



DARPA, phòng thí nghiệm nghiên cứu quốc phòng của Mỹ

Tổ chức, ngân sách, AI, tự chủ, lượng tử và y học chiến trường

Luật sư Kim Kyung-jin

AI Library - kimkj.com - 2026

Mục lục

1. Lời tựa

Phần I Tổ chức và ngân sách

2. Chương 1 Chiếc bình chứa sứ mệnh: Cuộc tái tổ chức MXO và IPTO

Phần I. Tổ chức và ngân sách

3. Chương 2. Hướng đi mà ngân sách hé lộ: Từ nghiên cứu cơ bản đến công nghệ tiên tiến

4. Chương 3. Cách DARPA giải quyết vấn đề: mục tiêu rõ ràng quan trọng hơn khoa học hay

Phần II. AI và chiến trường mạng

5. Chương 4. AIXCC và bảo mật mã tự động

Phần II AI và chiến trường mạng

6. Chương 5 AI đáng tin cậy: AI Forge, SABER và GARD

7. Chương 6 Hệ thống vật lý mạng và hợp tác quốc phòng

Phần III Hệ thống không người vận hành và phần cứng

8. Chương 7 Trí tuệ bên trong phần cứng

Phần III. Hệ thống không người lái và phần cứng

9. Chương 8. RACER và bước chuyển sang năng lực tự hành địa hình sẵn sàng cho tác chiến

Phần 3 Hệ thống không người lái và phần cứng

10. Chương 9 Tự chủ hàng không: chuyển đổi trực thăng, X-76, LongShot

Phần III Hệ thống không người lái và phần cứng

11. Chương 10 Vi điện tử và quang tử thế hệ mới

12. Chương 11 Dịch vụ robot trong không gian và an ninh mạng

Phần 4 Lượng tử, sự sống và y học chiến trường

13. Chương 12 Lượng tử: Những thí nghiệm tách rời quảng bá khỏi thực tế

Phần IV Lượng tử, sự sống và y học chiến trường

14. Chương 13 Máy tính sinh học và di truyền học quang học

15. Chương 14 Tự chủ y tế trên chiến trường: phân loại cấp cứu, VITAL, RAPIID

16. Chương 15 Vật liệu chiến lược và sản xuất dựa trên sinh học

Phần V. Chuyển đổi và câu hỏi đặt ra cho Hàn Quốc

17. Chương 16. Doanh nghiệp nhỏ và quá trình chuyển đổi của startup

Phần V Chuyển tiếp và câu hỏi của Hàn Quốc

18. Chương 17 Liên kết học thuật và DARPAConnect

Phần V. Chuyển đổi và câu hỏi đặt ra cho Hàn Quốc

19. Chương 18. Điểm khởi đầu cho một DARPA của Hàn Quốc

Lời tựa

Trong một phòng họp gần Washington, một bản xác định vấn đề dài một trang được đặt trên bàn. Có người đọc nó như một đề nghị ngân sách. Có người đọc nó như một thông báo nghiên cứu. Bên trong DARPA, nó được đọc theo một cách hơi khác. Đó là một mệnh lệnh: biến một năng lực chưa tồn tại thành một thí nghiệm có thể nắm bắt được trong vài năm.

Cuốn sách này đi theo ngữ pháp của mệnh lệnh ấy. Một cuộc thi nơi AI sửa mã. Những phương tiện không người lái băng qua đất liền không có đường. Tính toán giúp lưới điện và chuỗi cung ứng đứng vững. Những thiết bị sinh học thử tính toán bằng tế bào. Các kế hoạch biến sinh khối bị bỏ đi thành vật liệu chiến lược. Tôi không chỉ thu thập những câu chuyện thành công sáng chói. Kế hoạch được đọc như kế hoạch, kết quả được đọc như kết quả, và chính lời của DARPA được đọc cùng với giới hạn của nguồn tư liệu ấy.

Điều thường bị thiếu khi DARPA được bàn đến ở Korea không phải là tên của tổ chức này, mà là cách tổ chức ấy định khung một vấn đề. Trước khi hỏi đã chi bao nhiêu tiền, còn có những câu hỏi khác cần đặt ra. Nó đã chấp nhận thất bại nào? Nó đã xác định mục tiêu nào với độ rõ gần như không khoan nhượng? Mục tiêu ấy đã làm thay đổi hành vi của các nhà nghiên cứu ra sao? Nếu giữ những câu hỏi này trong khi đọc, DARPA không còn là một thiết chế ở một quốc gia xa xôi, mà trở thành một tấm gương đặt trước chính các tổ chức nghiên cứu của chúng ta.

Luật sư Kim Kyung-jin

Chương 1 Chiếc bình chứa sứ mệnh: Cuộc tái tổ chức MXO và IPTO

Các tổ chức đổi tên thật sự đã thay đổi điều gì

Ngày 20 tháng 5 năm 2026, một bài đăng ngắn xuất hiện trên website của DARPA. Tiêu đề của nó, nếu diễn đạt sang tiếng Việt, đại khái là "Tên gọi có gì quan trọng?" Chủ đề là một đợt sắp xếp lại tổ chức. Hai trong sáu văn phòng kỹ thuật của DARPA đã đổi bảng hiệu. Bài đăng rất ngắn. Nhưng chính bài đăng ngắn ấy lại nằm ở vạch xuất phát của một số chương trình mà cuốn sách này sẽ theo dõi.

Đổi một bảng hiệu thường không trở thành tin lớn. Thế giới không thay đổi chỉ vì một công ty đổi tên một phòng ban. Các cơ sở nghiên cứu thì hơi khác. Ở một nơi như DARPA, một văn phòng không chỉ là một ô trong sơ đồ tổ chức. Bên trong nó có nhiều chương trình nghiên cứu. Mỗi chương trình mang theo ngân sách nhiều năm, một quản lý chương trình, và các nhóm nghiên cứu bên ngoài. Dòng tiền chảy theo một hướng, và người quản lý chương trình đặt tên tuổi của mình vào hướng đó. Một văn phòng là chiếc bình chứa sứ mệnh. Khi hình dạng của chiếc bình thay đổi, thứ nó chứa cũng thay đổi theo. Ở một nơi như vậy, tên gọi gần như là một tuyên bố về việc tổ chức muốn làm tiếp điều gì. Trong tên gọi có một lời hứa về bài toán mà tổ chức sẽ giải. Việc DARPA đổi hai bảng hiệu cùng lúc giống như một tín hiệu rằng họ muốn dịch chuyển trọng tâm của mình.

Văn phòng đầu tiên thay đổi là Microsystems Technology Office, hay MTO. Trong một thời gian dài, văn phòng này xử lý những thứ rất nhỏ. Thiết bị bán dẫn, linh kiện tí hon, mạch đặt trên chip. Sân khấu của nó là một thế giới nhỏ hơn móng tay, nơi nhiệm vụ là kéo thêm hiệu năng ra khỏi vật liệu và thiết kế. Nếu thiết bị dùng trên chiến trường muốn thông minh hơn, trước hết các chip bên trong nó phải thông minh hơn. Nếu radar muốn nhìn xa hơn và thiết bị liên lạc muốn mang tín hiệu dày hơn, các thiết bị nằm bên dưới phải đỡ được công việc đó. MTO phụ trách nền móng ấy. Tên mới của nó là MXO. Viết đầy đủ là Multi-X Office.

Chữ X ở giữa mới là điểm cốt lõi. DARPA giải thích chữ X này như thể đó là dấu nhân. Nó có nghĩa là nhân quy mô, nhân ranh giới giữa các ngành, và nhân hiệu quả trong hoạt động thực tế. Nghe có vẻ như chơi chữ. Nhưng hướng đi bên trong khá rõ. Nếu MTO cũ tập trung vào từng linh kiện riêng lẻ, từng thứ một, thì MXO đang chuyển sự chú ý sang năng lực tích hợp mà các linh kiện ấy cùng tạo ra. Trọng tâm đã rời khỏi cuộc chạy đua vắt thêm 1 phần trăm hiệu năng từ một linh kiện, để chuyển sang câu hỏi nhiều linh kiện có thể làm được gì khi kết hợp với nhau. Whitney Mason, giám đốc lãnh đạo MXO, vẫn gọi văn phòng này là nơi xử lý "những thứ nhỏ bé nhưng có tác động khổng lồ." Văn phòng vẫn giữ tính chất xử lý những thứ nhỏ, nhưng vẽ lại phạm vi mà những thứ nhỏ ấy phải vươn tới.

Điểm khởi đầu cũng được kéo xuống sâu hơn. Từ việc phát hiện vật liệu mới ở quy mô nguyên tử và phân tử, cho đến việc biến các vật liệu ấy thành năng lực có thể thay đổi chiến trường tương lai và nền kinh tế, văn phòng này đang nói rằng toàn bộ chuỗi dài ấy sẽ thuộc phạm vi quan tâm của mình. Điều đó có nghĩa là đặt phần đầu xa nhất của phòng thí nghiệm, nơi vật liệu được tìm ra, và phần cuối xa nhất, nơi kết quả chảy vào hệ thống vũ khí hoặc công nghiệp, vào cùng một chiếc bình. Cách tính là một văn phòng sẽ chịu trách nhiệm cho toàn bộ quãng đường giữa phát hiện và ứng dụng. Từ linh kiện nhỏ đến năng lực lớn. Một dòng ấy là điểm cốt lõi của lần tái tổ chức đầu tiên.

Văn phòng thứ hai thay đổi là Information Innovation Office, hay I2O. Văn phòng này từng dẫn dắt nghiên cứu về trí tuệ nhân tạo và công nghệ thông tin. Công việc dưới văn phòng này bao gồm việc để máy kiểm tra mã mà con người không thể đọc hết, và xây dựng trí tuệ nhân tạo có thể giải thích vì sao nó đưa ra một phán đoán nhất định. Tên mới của nó là IPTO, Information Processing Technology Office. Tên này không phải mới được nghĩ ra. Nó được khôi phục. Đây là một tên cũ từng được dùng trong thập niên 1960 và 1970. Những nghiên cứu điện toán ban đầu, sau này trở thành nền móng của thế giới số hiện đại, đã nảy mầm dưới cái tên ấy. DARPA đã lấy tấm biển cũ đó ra và treo lên lần nữa.

Việc quay lại tên cũ có lý do đi kèm. Patrick Lincoln, người lãnh đạo IPTO, giải thích rằng việc đổi tên này có nghĩa là nhìn lại sức mạnh và độ bền bỉ của điện toán từ các nguyên lý đầu tiên. Để phát minh thế hệ công nghệ tiếp theo sẽ hỗ trợ an ninh quốc gia, văn phòng không được dừng ở việc chỉnh sửa các ứng dụng đang ở ngay trước mắt. Nó phải đi xuống các nền móng bên dưới. Cải thiện một dịch vụ trí tuệ nhân tạo xuất hiện trên màn hình để nó có cảm giác mượt hơn một chút là một tầng. Đặt lại câu hỏi về các nguyên lý tính toán nâng đỡ dịch vụ ấy là một tầng khác. Việc thứ nhất mở rộng một con đường đã có. Việc thứ hai mở ra một con đường mới. Tên IPTO nhằm vào việc thứ hai.

Mục tiêu cũng đã được mở rộng. Công việc của văn phòng nay bao gồm việc dự báo và giảm rủi ro trong các hệ thống lớn, phức tạp và đan xen như chuỗi cung ứng và lưới điện, những thứ DARPA gọi là megasystems. Một lưới điện vận hành như một thực thể thống nhất, với nhà máy điện, đường dây truyền tải và trạm biến áp đan vào nhau thành hàng nghìn tuyến. Nếu một điểm sụp đổ, rất khó dự đoán cú sốc sẽ lan xa đến đâu. Mục tiêu của IPTO đã trở thành xây dựng sức chịu đựng, hay khả năng phục hồi, để các hệ thống lớn như vậy vẫn giữ được nhiệm vụ của mình ngay cả khi bị tấn công hoặc hư hỏng. Một yếu tố nữa được gắn vào. Thay vì chỉ đặt các chương trình an ninh lên trên những hệ thống đã hoàn thiện, văn phòng này nói đến inherent cybersecurity, tức an ninh mạng được cấy vào ngay từ giai đoạn đầu của thiết kế. Ý tưởng này gắn với việc xây tường sao cho không thể bị xuyên thủng hơn là lắp thêm khóa sau khi ngôi nhà đã xây xong.

Đặt hai lần tái tổ chức cạnh nhau, nhìn trên bề mặt, hướng đi của chúng có thể có vẻ trái ngược. Một bên mở rộng từ các linh kiện nhỏ hướng tới năng lực lớn. Bên kia đào sâu từ các ứng dụng trí tuệ nhân tạo nhìn thấy được xuống các nguyên lý nền tảng của điện toán. Một bên có vẻ mở rộng lên trên, bên kia có vẻ đào xuống dưới. Nhưng có một sợi chỉ chạy qua cả hai. Chúng nhìn vượt ra ngoài từng phần riêng lẻ để thấy toàn bộ hệ thống mà các phần ấy cùng tạo thành, rồi cố làm cho hệ thống đó vẫn đứng vững khi bị rung lắc. Từ linh kiện đến hệ thống, từ ứng dụng đến nền móng. Hướng nhìn là tương tự. Khi đặt hai cái tên chồng lên nhau, ta có thể lờ mờ thấy DARPA hiện muốn đặt trọng lượng vào đâu.

Cần dừng lại ở đây một chút. Tất cả những gì được mô tả đến lúc này đều đến từ chính lời giải thích của DARPA trên website của họ. Đây là tài liệu gốc cho thấy tổ chức này hiểu việc tái tổ chức của mình như thế nào. Nó không phải là một báo cáo hiệu quả đã được kiểm chứng từ bên ngoài. Sự phân biệt này quan trọng. Đổi tên thì dễ. Một thông cáo báo chí là làm được. Phần khó đến sau đó. Dòng tiền có thật sự thay đổi không? Danh sách nhiệm vụ nghiên cứu có được xây lại để khớp với hướng đi mới không? Con người và tổ chức có dịch chuyển theo hướng đó không? Một tấm biển mới có thể được treo lên trong khi công việc bên trong vẫn giữ nguyên. Các công ty thường đổi tên phòng ban trong khi công việc không đổi suốt nhiều năm.

Vì vậy, tôi sẽ không tính riêng việc đổi tên là một thành tựu. Ngay từ cảnh đầu, tôi cố giữ lời hứa không vẽ DARPA chỉ như một huyền thoại thành công. Lần tái tổ chức này nên được đọc như một chiếc la bàn cho thấy DARPA muốn hướng mũi về đâu. Con tàu có thật sự đi theo hướng chiếc la bàn chỉ hay không thì phải kiểm tra bằng cách lần theo các tài liệu ngân sách và từng chương trình riêng lẻ. Việc kiểm chứng đó tiếp tục trong các chương sau. Chương tiếp theo nhìn vào dòng tiền. Sau đó, các chương trình sẽ được tháo ra từng cái một.

Với độc giả Hàn Quốc, cảnh này cũng là một tấm gương. Chúng ta cũng đã quen với việc lập ra tổ chức mới và đặt tên cho chúng. Khi quyết định thay đổi điều gì đó, trước hết chúng ta lập một ủy ban, mở một trung tâm, rồi treo biển. Nhiều năm sau, chúng ta hiếm khi bình tĩnh nhìn lại để hỏi liệu ngân sách, con người và nhiệm vụ phía sau tấm biển ấy có thật sự dịch chuyển theo hướng mới hay không. Ngày đầu tiên của một cuộc tái tổ chức trở thành bài báo. Việc cuộc tái tổ chức ấy có thành công hay không thì lặng lẽ bị chôn vùi. Nhìn cách DARPA giải thích cuộc tái tổ chức của chính mình khiến chúng ta phải hỏi lại rằng nên xem xét các tổ chức của mình như thế nào. Bài tập đầu tiên để tách điều đáng khâm phục khỏi điều không nên sao chép nguyên xi bắt đầu từ đây.

Những tổ chức được đổi tên ấy thật sự đã thay đổi điều gì? Với những tài liệu hiện có trong tay, chỉ có thể đi đến mức này. DARPA đã tuyên bố rằng họ sẽ đặt năng lực tích hợp lên trước các bộ phận nhỏ, và đặt nền tảng của điện toán cùng sức chống chịu của các hệ thống khổng lồ lên trước các ứng dụng trước mắt. Chưa ai có thể bảo đảm tuyên bố ấy đã dẫn đến điều gì bên trong các phòng thí nghiệm. Câu trả lời không nằm trong cái tên. Nó nằm trong dòng tiền và

nhiệm vụ đang chảy bên dưới cái tên đó.

Phương pháp nghiên cứu được gợi ra bởi MXO và IPTO

Phần trước đã xem xét những điều các cái tên tuyên bố. Bây giờ là lúc nhìn xem, dưới tuyên bố ấy, nghiên cứu đang cố mang lấy hình dạng nào. Một cái tên là tấm biển trước cửa. Nội dung thật sự là những câu hỏi mà con người đặt ra bên trong cánh cửa đó.

DARPA không phải là một phòng thí nghiệm lớn duy nhất. Đây là một tổ chức gồm nhiều văn phòng kỹ thuật, mỗi văn phòng có nhiệm vụ khác nhau. Trong mỗi văn phòng có những người được gọi là program manager, tức người quản lý chương trình. Trong nhiệm kỳ kéo dài vài năm, họ đặt ý tưởng của chính mình vào thử thách và điều hành các chương trình. Từ lâu, DARPA tự giới thiệu mình là nơi cấp vốn cho những công việc có rủi ro cao nhưng lợi ích lớn, miễn là công việc đó có thể làm thay đổi cả lĩnh vực, ngay cả khi khả năng thành công chưa tới một nửa. Khi tên của một văn phòng thay đổi, điều đó có nghĩa là câu hỏi được đặt ra trong căn phòng ấy, và cách câu hỏi ấy được đặt ra, đã được thiết lập lại.

Hãy nhìn MXO trước. Trong thời MTO cũ, câu hỏi trong căn phòng này thường được thu hẹp vào một việc. Con chip này có thể được làm nhỏ đến mức nào? Tốc độ của thiết bị này có thể được nâng lên bao nhiêu? Trung tâm của sân khấu là công việc ép phần cứng nhỏ bằng móng tay đến giới hạn của nó. Trong cái tên mới MXO, chữ X ở giữa mở rộng câu hỏi ấy. Giám đốc Mason mô tả chữ X này như một multiplier, một giá trị có tác dụng nhân lên. Nó nhân cái gì mới là điều đáng nói. Quy mô nghiên cứu, các loại ngành học, và hiệu quả tác chiến trên chiến trường. Điều đó có nghĩa là tạo ra kết quả lớn hơn bằng cách nhân ba yếu tố ấy với nhau.

Cốt lõi nằm trong một câu của Giám đốc Mason. Lợi thế trong tương lai sẽ không chỉ đến từ việc phát triển riêng lẻ một công nghệ. Một con chip dù xuất sắc đến đâu cũng không thể tạo ra sức mạnh trên chiến trường nếu nó không được kết nối với các công nghệ khác. Vì vậy MXO đặt nghiên cứu đa ngành lên phía trước. Nó đang rời bỏ mô hình trong đó khoa học vật liệu, vật lý và kỹ thuật ngồi trong những căn phòng riêng biệt. Phương pháp cũ, đẩy hiệu năng của một linh kiện đến giới hạn, và phương pháp mới, buộc các lĩnh vực khác nhau lại thành một năng lực, nhằm tới những mục tiêu khác nhau. Đây là điểm cần nhìn kỹ. Hướng đi như vậy làm thay đổi chính lý do một nhà nghiên cứu nhận được tài trợ. Giải thích công việc bằng cách tạo ra linh kiện tốt nhất trong lĩnh vực của mình không còn đủ nữa. Hồ sơ xin tài trợ còn phải cho thấy nó khớp với một ngành khác ở căn phòng bên cạnh như thế nào, và kết quả sẽ đi tới đâu.

Phạm vi nghiên cứu cũng được đặt rất rộng. Ở một đầu là cuộc tìm kiếm vật liệu mới ở thang nguyên tử và phân tử. Đó là thế giới mắt thường không nhìn thấy. Ở đầu kia là các linh kiện, công cụ và quy trình có thể làm thay đổi hình dạng của chiến trường và nền kinh tế trong tương lai. MXO nói rằng họ sẽ nối hai đầu này thành một dòng chảy. DARPA gọi công việc đưa phát hiện nền tảng ở cấp độ nguyên tử tới lợi thế quân sự là việc tạo ra architectures, tức các kiến

trúc. Điều đó có nghĩa là không dừng ở việc phát minh linh kiện, mà vẽ bản thiết kế cho cách các linh kiện ấy kết nối với nhau và cách chúng sẽ được dùng. Bước chuyển là từ nhà phát minh sang kiến trúc sư. Nhìn từ chính sách, phần này không bình thường. Năng lực của một quốc gia trong việc tạo ra các linh kiện xuất sắc và năng lực nối các linh kiện ấy thành một hệ thống vũ khí hoặc một ngành công nghiệp là hai loại cơ bắp khác nhau. Sức mạnh ở loại cơ bắp thứ nhất không tự động tạo ra loại thứ hai. Việc tái tổ chức MXO đọc lên như một tín hiệu rằng trọng tâm sẽ dịch chuyển từ loại cơ bắp thứ nhất sang loại thứ hai.

Bây giờ hãy chuyển sang IPTO. Lịch sử nằm ngay trong tên của văn phòng này. Tên mới IPTO làm sống lại tên cũ mà DARPA từng dùng trong thập niên 1960 và 1970, khi cơ quan này đang thúc đẩy nghiên cứu điện toán tiến lên. Việc một cái tên trong quá khứ được đưa trở lại tự nó đã là một thông điệp. Nó báo hiệu sự trở về với gốc rễ của xử lý thông tin, thay vì chạy theo những ứng dụng hào nhoáng.

Giám đốc Patrick Lincoln đã nói rõ hướng đi này. Văn phòng sẽ tập trung vào các nguyên lý nền tảng của hiệu năng điện toán và khả năng chống chịu. Cụm từ nguyên lý nền tảng có thể nghe khó, nhưng ý nghĩa thì không. Đó là thái độ xem xét lại các nguyên tắc ở tầng đáy, thay vì đặt một câu trả lời mới lên trên câu trả lời của người khác. Khi trí tuệ nhân tạo lan rộng nhanh chóng và cạnh tranh quanh thông tin trở nên tinh vi hơn, phán đoán nằm dưới động thái này là nghiên cứu nền tảng, chứ không phải những công nghệ đánh bóng bề mặt, sẽ quyết định vòng tiếp theo.

Quy mô của mục tiêu nghiên cứu cũng đã thay đổi. Trước đây, một mô hình trí tuệ nhân tạo riêng lẻ hoặc một phần mềm đơn lẻ là đơn vị nghiên cứu. IPTO nâng đơn vị đó lên thành các siêu hệ thống ở quy mô quốc gia. Những ví dụ mà DARPA trực tiếp nêu trong bài viết chính thức là chuỗi cung ứng và lưới điện. Các tuyến đường mà hàng hóa đi qua, các tuyến đường mà dòng điện đi qua. Dự báo điều gì xảy ra khi những mạng lưới rộng lớn này bị tấn công hoặc gặp tai nạn, giảm rủi ro đó, và bảo đảm rằng các chức năng thiết yếu cho nhiệm vụ vẫn sống sót sau bất kỳ cú đánh nào. Đó là ý nghĩa của khả năng chống chịu. Hướng đi này vượt ra ngoài câu hỏi một chương trình có chạy tốt hay không. Nó hỏi liệu mạng lưới nâng đỡ cả quốc gia có tránh được việc bị cắt đứt hay không.

Hãy quay lại một khái niệm đã được lướt qua ở phần trước. Đó là an ninh mạng nội tại. IPTO gạt sang một bên phương pháp bổ sung bảo mật lên trên các hệ thống sẵn có. Thay vào đó, văn phòng này muốn đặt an ninh và quyền riêng tư ngay ở nền móng thiết kế, để bản thân cấu trúc xử lý thông tin tự nhiên đẩy lùi các cuộc tấn công hoặc tự phục hồi. Đây là hướng nghiên cứu vượt qua việc dọn dẹp sau tai nạn và cố gắng loại bỏ ngay từ đầu những khe hở mà tai nạn có thể len vào. Ý tưởng này khớp chính xác với tên IPTO, nơi đặt hiệu năng và khả năng chống chịu cạnh nhau. Cấu trúc ấy giao cho một văn phòng cả việc làm cho hệ thống chạy nhanh lẫn việc làm cho hệ thống đứng vững.

Đặt hai văn phòng cạnh nhau, ta thấy hướng đi của chúng chồng lên nhau. MXO bắt đầu từ những đơn vị nhỏ của vật chất rồi đi lên. IPTO bắt đầu từ các nguyên lý nền tảng của xử lý thông tin rồi mở rộng ra các hệ thống ở quy mô quốc gia. Điểm xuất phát của họ trái ngược nhau, nhưng cả hai đều rời bỏ trạng thái cô lập để đi tới kết nối và tích hợp. Ở phía phần cứng, các linh kiện được buộc vào những kiến trúc. Ở phía phần mềm, các chương trình riêng lẻ được mở rộng thành hệ thống quốc gia. Tư thế lâu dài của DARPA vẫn nằm ở đây: ngay cả khi khả năng thành công thấp hơn một nửa, cơ quan này vẫn đặt cược nếu công việc đó có thể làm thay đổi cả lĩnh vực.

Câu hỏi mà bước ngoặt này đặt ra cho chính sách khá nặng. Khi một tổ chức nghiên cứu chuyển tầm nhìn từ linh kiện sang kiến trúc, từ phần mềm riêng lẻ sang hệ thống quốc gia, thước đo để đánh giá tổ chức đó cũng phải thay đổi. Hiệu năng của một linh kiện dễ được đo bằng con số. Nó bao nhiêu nanomet, nhanh hơn bao nhiêu lần, các con số hiện ra ngay. Nhưng một kiến trúc buộc nhiều công nghệ lại với nhau có được làm tốt hay không, hoặc sức chịu đựng của một hệ thống khổng lồ như lưới điện có thật sự tăng lên hay không, thì không thể nắm bắt bằng vài con số chỉ sau một đêm. Đó là loại thành tựu mà có hay không chỉ hiện rõ khi khủng hoảng kéo đến. Vì thế, nghiên cứu theo hướng này vừa khó khoe khoang quá sớm, vừa khó bị gạt bỏ quá nhanh là không có kết quả. Chính lịch đánh giá cũng kéo dài ra. Một tổ chức chịu đựng khoảng cách giữa kỳ hạn ngắn và kết quả dài hạn như thế nào mới là phép thử thật sự của kiểu tái tổ chức này.

Ranh giới cần được vạch rõ. Việc cái tên thay đổi tự nó không có nghĩa là đã có thành tựu. Bức tranh mà MXO và IPTO đưa ra phần lớn vẫn là một kế hoạch và một hướng đi. Kết quả trong tương lai sẽ cho biết các kiến trúc tích hợp có thật sự làm thay đổi chiến trường hay không, và sức chịu đựng của các siêu hệ thống có đứng vững trong khủng hoảng hay không. Điều có thể đọc được lúc này chỉ là một thay đổi về phương pháp. DARPA đã chuyển tầm nhìn từ linh kiện sang kiến trúc, từ phần mềm riêng lẻ sang các hệ thống ở quy mô quốc gia. Tầm nhìn ấy sẽ dừng ở đâu và tạo ra điều gì thì phải kiểm tra từng việc một, bắt đầu từ chương sau.

Cách giải thích một cuộc tái tổ chức cơ cấu cho độc giả Việt Nam

Một quan chức chính sách lướt qua bản tin buổi sáng và dừng lại ở một dòng. "DARPA changed MTO to MXO." Sau một lúc, vị quan chức lật sang trang. Một chữ viết tắt của văn phòng được đổi tên dường như không đáng ghi lại. Ba chữ cái đổi thành ba chữ cái khác thì có thể nặng đến đâu? Một sai lầm thường gặp khi giải thích cái tổ chức cho độc giả Hàn Quốc bắt đầu từ cảnh này. Sự kiện đổi tên được truyền đạt, nhưng lý do đổi tên lại bị bỏ qua. Người đọc có thêm một sự kiện, nhưng mất toàn bộ ý nghĩa.

Vì vậy, phần này có sắc thái khác với hai phần trước. Thay vì thêm tư liệu mới, nó đứng ở vị trí của người giải thích để nhìn xem các cuộc tái tổ chức MXO và IPTO nên được tháo mở như thế nào cho độc giả Hàn Quốc có học vấn và những người làm chính sách. Nó hỏi vì sao góc nhìn

này là cần thiết. Với độc giả Hàn Quốc, một cuộc tái tổ chức bên trong một cơ quan quốc phòng Hoa Kỳ rất dễ trông giống như chuyện nhà của người khác. Công việc của người giải thích là làm cho chuyện nhà ấy có thể được đọc như vấn đề của chúng ta.

Cần nói trước một điều. Tôi sẽ không miêu tả DARPA chỉ như một đối tượng để ngưỡng mộ. Chưa ai biết các tổ chức được đổi tên ấy có thật sự tạo ra kết quả hay không. Tái tổ chức là một tuyên bố về ý định, không phải bằng chứng về kết quả. Nhiệm vụ của người giải thích có hai mặt. Phải giải thích trung thực ý nghĩa chứa trong cuộc tái tổ chức, nhưng không thổi phồng ý nghĩa ấy như thể nó đã là một thành quả hoàn tất.

Điều chỉnh đầu tiên là giải mã bảng chữ cái. Chữ X trong tên gọi là phần cốt lõi. Giám đốc Mason mô tả chữ X này không phải như một thành phần, mà như một hệ số nhân. Nó có nghĩa là một nơi nhân lên quy mô, các lĩnh vực học thuật và hiệu ứng tác chiến. Với độc giả Hàn Quốc, có thể giải thích như sau. Nếu MTO cũ hỏi một con chip cỡ móng tay có thể được làm nhỏ và nhanh đến mức nào, thì MXO hỏi con chip ấy có thể tạo ra hiệu ứng lớn hơn bao nhiêu lần trên chiến trường khi gặp các công nghệ khác. Cấp độ của câu hỏi đã chuyển từ thành phần sang hệ thống. Sẽ dễ hiểu hơn nếu đọc X như dấu nhân. Nó báo hiệu rằng cái gì sẽ được nhân với cái gì vẫn còn mở. Khi câu hỏi xoay quanh một thành phần, câu trả lời thu hẹp vào một con đường. Con chip này có thể được giảm xuống bao nhiêu nanomet? Khi câu hỏi xoay quanh một hệ thống, câu trả lời tỏa ra nhiều hướng. Công nghệ này nên được đặt ở đâu, và cùng với công nghệ nào, để tạo ra khác biệt lớn trên chiến trường? Cái tên MXO đã viết những hướng mở ấy vào tên của tổ chức ngay từ đầu.

Có thể dùng một phép so sánh, nhưng phải giữ ranh giới: phép so sánh giúp người đọc hiểu, nhưng bản thân nó không phải là sự thật. Một phép so sánh tốt đưa người đọc đến trước cánh cửa. Bằng chứng phải xác nhận bên trong cánh cửa ấy thực sự có gì. Nếu trộn lẫn hai thứ này, lời giải thích có thể tạo cảm giác thành công nhưng lại không để lại sự thật nào. Người giải thích phải cưỡng lại một cám dỗ. Đó là đóng gói cái tên mới xuất hiện trên màn hình như thể nó đã là một thành tựu lớn. MXO hiện vẫn là một văn phòng được tổ chức lại. Văn phòng ấy đã đạt được gì là câu hỏi tiếp theo. Hãy giải thích ý nghĩa của cái tên, nhưng đừng hứa hẹn một kết quả chưa xuất hiện.

Điều chỉnh thứ hai là đọc sự trở lại của cái tên cũ. Việc đổi từ I2O sang IPTO không giống như treo một tấm biển mới. Đây là trường hợp lấy một tấm biển cũ ra và treo lại. IPTO từng là tên của một tổ chức thực sự tồn tại bên trong DARPA trong thập niên 1960 và 1970. Giám đốc Lincoln nói rằng ông sẽ quay lại những mối bận tâm của thời kỳ ấy và một lần nữa tập trung vào các nguyên lý nền tảng của hiệu năng tính toán và khả năng chống chịu. Khi giải thích sự trở lại này cho độc giả Việt Nam, tốt hơn nên đặt câu hỏi lên trước. Vì sao lại quay về một cái tên của nửa thế kỷ trước? Có phải đó là nỗi hoài niệm về một thời mọi thứ vận hành tốt đẹp? Đọc theo cách đó thì chỉ đúng một nửa. Nó gần với việc một công ty mang trở lại sứ mệnh từ ngày đầu

thành lập hơn. Đó là lựa chọn đưa một trọng tâm đã bị phân tán trở về vị trí ban đầu. Vì vậy cụm từ nguyên lý nền tảng có sức nặng. Nó có nghĩa là đi xuống những câu hỏi tận đáy về tính toán nhanh đến mức nào và một hệ thống có thể đứng vững ra sao, thay vì đặt thêm một ứng dụng hào nhoáng nữa lên bên trên.

Từ resilience cũng cần được giải thích. Nó có thể nghe như một thuật ngữ Hán-Việt xa lạ, nhưng ý nghĩa không khó. Nó chỉ sức mạnh giúp toàn bộ hệ thống không sụp đổ khi một nơi gặp lỗi, và giúp hệ thống đứng dậy trở lại sau khi bị đánh trúng. Trong thời bình thường, nó không hiện ra rõ. Có hay không có nó chỉ lộ ra khi một cuộc tấn công xảy đến hoặc một bộ phận bị hỏng. Việc IPTO đặt hiệu năng và khả năng chống chịu cạnh nhau là một tuyên bố rằng một văn phòng sẽ đảm nhận cả việc làm cho hệ thống chạy nhanh lẫn việc làm cho hệ thống đứng vững. Mục tiêu đã lớn hơn đến mức ấy. Vượt ra ngoài một công nghệ riêng lẻ, hướng đi hiện nay nhằm tới việc bảo vệ các siêu hệ thống đan vào nhau ở quy mô quốc gia, như chuỗi cung ứng và lưới điện. Nếu lưới điện sụp đổ, bệnh viện, thông tin liên lạc và cấp nước sẽ cùng dừng lại. Làm cho chuỗi ấy chịu đựng được đã trở thành công việc của IPTO mới. Cái tên đã quay về quá khứ, nhưng quy mô của vấn đề đã lớn lên. Một người làm thực tế ở Việt Nam tự nhiên sẽ thêm câu hỏi của mình. Lưới điện và chuỗi cung ứng của chúng ta có thể chịu được mức sụp đổ đến đâu?

Điều chỉnh thứ ba là phần tinh tế nhất của mục này. Đó là xử lý một cách thành thật cảm dỗ so sánh. Khi giải thích cải cách tổ chức, người ta rất nhanh muốn vẽ một bảng so sánh. Hoa Kỳ gom các dự án trí tuệ nhân tạo rải rác về một nơi, một quốc gia khác tách một đơn vị lớn thành nhiều đơn vị, còn Việt Nam mở rộng một trung tâm nhỏ thành một viện. Những đối chiếu như vậy có sức mạnh trong lớp học. Câu chuyện rằng mỗi nước đi đến một câu trả lời khác nhau vì mỗi nước có hoàn cảnh khác nhau sẽ lập tức vào đúng vị trí.

Tôi sẽ không vẽ bảng so sánh ấy một cách tùy tiện. Có lý do cho việc đó. Trường hợp tích hợp của U.S. Department of Defense, cách chia đơn vị trong China's People's Liberation Army, và việc mở rộng tái tổ chức của Korea's Agency for Defense Development đã được bàn trong cuốn sách trước của tác giả. Cuốn sách ấy đã mô tả các cảnh đó trên cơ sở chứng cứ riêng của nó. Bản thảo này bắt đầu bằng một cam kết khác. Những khẳng định sự kiện mới sẽ được gắn từng điểm một với các nguồn chính thức đã được thu thập cho công trình này. Các số liệu như ngân sách, quy mô nhân sự, và ngày thành lập chỉ có thể được đưa lên thành luận điểm trung tâm khi nguồn của chúng có thể được kiểm tra lại trong phần chính của văn bản. Việc tái tổ chức MXO và IPTO dựa trên một tài liệu do DARPA công bố dưới tên của chính cơ quan này vào tháng 5 năm 2026. Trái lại, các con số chi tiết của các nước khác nằm ngoài sổ nguồn của bản thảo này. Người viết phần giải thích không nên che giấu ranh giới này với độc giả. Một đối chiếu ba phần trơn tru kiểu "Hoa Kỳ đã làm thế này, Trung Quốc đã làm thế kia, Hàn Quốc đã làm việc khác" nghe có vẻ hay, nhưng khi sức nặng chứng cứ khác nhau, rất khó đặt chúng cạnh nhau trong cùng một bảng. Con số là vũ khí thuyết phục. Vì vậy, chỉ những con số có điểm tựa phía sau mới

nên được đưa ra.

Gác bảng so sánh sang một bên không làm câu chuyện Hàn Quốc biến mất. Nó chỉ chuyển câu chuyện ấy sang một vị trí khác. Thay vì mượn con số của các nước khác để đo tình trạng của chúng ta, phần giải thích chuyển sang rút ra những câu hỏi có ích cho chúng ta từ chính phương pháp tái tổ chức. Những câu hỏi mà DARPA đặt ra khi đổi tên có thể được chuyển nguyên vẹn vào tay chúng ta. Tên của tổ chức chúng ta đang hỏi điều gì? Cái tên ấy hỏi về linh kiện, hay hỏi về hệ thống? Các supersystems của chúng ta có được xây để đứng vững ngay cả khi một nơi sụp đổ không? Những câu hỏi này có thể được nêu ra mà không cần số liệu ngân sách của một nước khác. Và trên thực tế, những câu hỏi như vậy tồn tại lâu hơn.

Sự trung thực này hữu ích cho những người làm thực tế ở Hàn Quốc. Đó chính là cảm giác cần có khi đánh giá cải cách tổ chức. Có những cuộc tái tổ chức chỉ đổi tấm biển trước cửa. Có những cuộc khác viết lại chính sứ mệnh. Chữ X của MXO và sự trở lại của IPTO gần với trường hợp sau hơn. Khi đổi tên, mỗi văn phòng cũng đổi điều mình hỏi. Dĩ nhiên, phải có thời gian trôi qua chúng ta mới biết những câu hỏi mới ấy có dẫn đến câu trả lời tốt hay không. Đưa ra phán đoán ấy trước không phải vai trò của người giải thích. Khi có tin một tổ chức nào đó của Hàn Quốc đã đổi tên, vẫn nên dùng cùng một trình tự đặt câu hỏi. Vấn đề mà tổ chức ấy hỏi có thay đổi không, hay chỉ tấm biển được thay? Và tổ chức ấy đã sẵn sàng trả lời câu hỏi đã đổi chưa? Vẽ lại các ô trên sơ đồ tổ chức và thay đổi những câu hỏi mà người bên trong các ô ấy đặt ra mỗi ngày không có cùng sức nặng. Việc đầu có thể làm trong một ngày. Việc sau mất nhiều năm.

Giải thích cải cách tổ chức gồm ba điều chỉnh. Giải mã ý nghĩa của cái tên, đọc sự trở lại của tên cũ, và vạch ranh giới so sánh một cách trung thực. Điều cuối cùng là khó nhất trong ba điều. Nó đòi hỏi phải cất đi một bảng so sánh mà người ta muốn đem ra khoe. Dù vậy, vị trí ấy phải được giữ nếu không muốn câu hỏi mà cuộc tái tổ chức của DARPA đặt ra cho Hàn Quốc trở nên mờ đi. Đây là một cái tên để ngưỡng mộ, hay là một sứ mệnh để chất vấn? Giữ câu hỏi ấy trong tay, chương tiếp theo mở các tài liệu ngân sách. Việc kiểm tra bắt đầu ở đó, từ chuyện tiền có thật sự chảy theo hướng mà cái tên chỉ ra hay không.

Độc giả nên nhìn xa hơn những cái tên trên sơ đồ tổ chức và lần theo dòng chảy của các câu hỏi. Vấn đề mà quân đội nắm giữ được chuyển sang ngôn ngữ của các chương trình, rồi các nhà nghiên cứu lại tách câu ấy thành những nhiệm vụ trong phòng thí nghiệm. Việc tái tổ chức MXO và IPTO là một sự kiện đặt lại bộ máy phiên dịch đó. Câu này không hào nhoáng. Nó lặng lẽ cho thấy rằng khi cách tiến hành chiến tranh thay đổi, các tổ chức nghiên cứu thay đổi trước tiên.

Chương 2. Hướng đi mà ngân sách hé lộ: Từ nghiên cứu cơ bản đến công nghệ tiên tiến

Dòng ngân sách từ 2014 đến 2023

Hãy đặt hai tài liệu cạnh nhau trên bàn. Bên trái là một tập ngân sách dày do U.S. Department of Defense ban hành vào mùa hè năm 2025. Tiêu đề của nó khá dài: Fiscal Year 2026 Budget Estimates, DARPA Research and Development Master Justification Book. Các bảng biểu và mã hạng mục kéo dài hàng trăm trang. Tài liệu bên phải thì mỏng. Đó là một bài viết đăng trên Science and Technology Review, một tạp chí khoa học và công nghệ của Trung Quốc. Bài viết xem xét ngân sách của U.S. Defense Advanced Research Projects Agency từ 2014 đến 2023. Hai tài liệu đến từ hai quốc gia khác nhau và được viết cho những mục đích khác nhau. Nhưng chúng đặt ra cùng một câu hỏi. Tiền đã đi đâu?

Trước hết cần làm rõ một thuật ngữ. Ngân sách nghiên cứu và phát triển của DARPA được chia thành vài nhóm lớn theo tính chất công việc. U.S. Department of Defense gọi các nhóm này là Budget Activities, viết tắt là BA. Giai đoạn đầu là nghiên cứu cơ bản. Đây là khoản tiền dùng để đào sâu nền tảng khoa học, hướng tới mười hoặc hai mươi năm sau, dù nó chưa thể trở thành vũ khí ngay lập tức. Vật lý và khoa học vật liệu trong các phòng thí nghiệm đại học thuộc nhóm này. Giai đoạn thứ hai là nghiên cứu ứng dụng. Những gì đã được đào lên từ nền tảng được đem thử trước một vấn đề cụ thể. Vật liệu này có làm được một ăng-ten nhẹ hơn không? Thuật toán này có đứng vững trước tín hiệu cảm biến thật không? Đó là giai đoạn này. Giai đoạn thứ ba là phát triển công nghệ tiên tiến. Từ nhóm này trở đi, những thứ hữu hình bắt đầu được chế tạo. Mẫu thử được định hình, rồi được vận hành trên không và trên mặt đất. Mở cuốn FY2026 justification book, có thể thấy chi tiêu của DARPA được tách theo các nhóm này. Ngay trong ngân sách của cùng một cơ quan, việc bao nhiêu tiền chảy vào nhóm nào cho thấy cơ quan đó lúc này coi điều gì là cấp bách.

Kết luận đầu tiên mà bài viết trên Science and Technology Review rút ra từ mười năm số liệu là như sau. Trọng tâm của ngân sách đã dịch chuyển từ nghiên cứu cơ bản sang phát triển công nghệ tiên tiến. Các ngân sách DARPA trước đây đặt nặng nghiên cứu cơ bản. Bài viết đọc thập niên vừa qua, nhất là những năm cuối của thập niên đó, như một giai đoạn trong đó nghiên cứu cơ bản đánh mất vị trí đứng đầu trong phân bổ ngân sách. Tiền chuyển sang giai đoạn thứ ba, nơi các ý tưởng đã có được đẩy lên thành hệ thống thật. Nói theo chiều ngược lại, bàn tay của DARPA đã rời khỏi những hạt giống nhắm tới mười hoặc hai mươi năm sau, để hướng sang những quả có thể đưa ra chiến trường trong vài năm.

Điểm này cần được nói thẳng. Bức tranh về xu hướng mười năm này dựa phần lớn vào phân tích trong một bài viết của Trung Quốc. Các tài liệu ngân sách chính thức của DARPA cho thấy số liệu chi tiết về số tiền được đưa vào từng hạng mục mỗi năm. Để những con số đó trở thành

một câu chuyện về sự dịch chuyển trọng tâm, phải thêm vào một lớp diễn giải. Hình dạng của đường cong thay đổi tùy theo khoản nào được xem là nghiên cứu cơ bản và khoản nào được xếp vào công nghệ tiên tiến. Khi một chương trình bắt đầu ở nghiên cứu ứng dụng rồi chuyển sang phát triển công nghệ tiên tiến, hạng mục kế toán thay đổi, và nhìn bề ngoài có thể như thể trọng tâm đã dịch chuyển. Vì vậy, phần này nói về hướng đi, nhưng không trình bày các khoản tiền chính xác theo từng năm như sự thật đã được chốt. Hướng đi thì rõ, còn các chữ số sau dấu thập phân cần được xử lý thận trọng. Đó là thái độ mà cuốn sách này cố gắng giữ từ đầu đến cuối.

Vậy dòng tiền đã chỉ về đâu? Bài viết xác định bốn lĩnh vực công nghệ nơi ngân sách của DARPA tập trung trong giai đoạn này, nhất là quanh năm 2022 và 2023: vi điện tử, trí tuệ nhân tạo, truyền thông và mạng lưới, cùng công nghệ sinh học.

Vi điện tử là câu chuyện về bán dẫn, bộ não nằm bên trong mọi loại vũ khí. Từ điện thoại thông minh đến drone và radar, tất cả đều chứa một con chip chỉ cỡ móng tay. Khi con đường làm cho con chip ấy nhỏ hơn chạm tới giới hạn vật lý, DARPA rót tiền để chuẩn bị cho giai đoạn sau khi việc thu nhỏ không còn hiệu quả. Thay vì cạnh tranh để thu nhỏ transistor thêm vài nanomet, cơ quan này chuyển sang những cách mới để xếp chồng chip, tản nhiệt và kết nối tính toán với bộ nhớ. Trí tuệ nhân tạo là lĩnh vực có ngân sách tăng nhanh sau khi deep learning tạo ra bước đột phá vào giữa thập niên 2010. Mục tiêu không còn dừng ở các cỗ máy chỉ xử lý dữ liệu được đưa vào, mà hướng tới những hệ thống có thể đọc bối cảnh và đưa ra phán đoán ngay cả trong những tình huống chiến trường mà chúng chưa từng gặp. Chiến trường không phải phòng thí nghiệm. Những cảnh chưa từng xuất hiện trong quá trình huấn luyện có thể xuất hiện từng khoảnh khắc. Mục tiêu trở thành khả năng phán đoán không sập đổ trước những cảnh lạ ấy.

Truyền thông và mạng lưới là các sợi thần kinh nối ba lĩnh vực còn lại. Trong chiến tranh hiện đại, mạng thông tin liên lạc là mục tiêu mà đối phương tìm cách đánh vào trước tiên. Ngân sách được đưa vào việc tạo ra những kết nối vẫn sống sót ngay cả ở nơi liên lạc vệ tinh hoặc tín hiệu định vị bị cắt. Dù cảm biến và phương tiện không người lái thông minh đến đâu, nếu chúng không thể nói chuyện với nhau, chúng chỉ là những bộ phận rời rạc. Việc công nghệ sinh học xuất hiện trong danh sách này tự nó đã là một thay đổi. Sinh học, lĩnh vực cho đến gần đây vẫn đứng ngoài nghiên cứu và phát triển quốc phòng, đã bước vào như một trục chính, và một văn phòng công nghệ sinh học thuộc Department of Defense dẫn dắt các khoản đầu tư giao nhau giữa trí tuệ nhân tạo và khoa học sự sống. Ngôn ngữ của tế bào và gene đã đi vào những bảng ngân sách từng được viết bằng ngôn ngữ của tên lửa và radar.

Một đặc điểm thứ ba nối bốn nhánh này lại với nhau. Bài viết đọc cách thực thi ngân sách trong giai đoạn này như một sự ưu tiên dành cho trình diễn và kiểm chứng. DARPA được biết đến như một cơ quan sẵn sàng đặt cược táo bạo vào những thứ có thể lật ngược bàn cờ, ngay

cả khi xác suất thành công của chúng thấp hơn năm mươi phần trăm. Tính khí ấy được ghi thẳng vào ngân sách. Cơ quan này đề phòng kiểu nghiên cứu dừng lại ở bài báo hoặc mô phỏng máy tính, và đẩy tiền trực tiếp vào các giai đoạn trình diễn, nơi phần cứng thật được chế tạo và thử nghiệm trên không cũng như trên mặt đất. Cơ quan này ưu ái các nguyên mẫu hoạt động được hơn là những khả năng nằm trên giấy. Thái độ ấy có cái giá của nó. Khi thép được tạo hình và thật sự vận hành, thất bại trở nên nhìn thấy được. Một thiết kế luôn thành công trong mô phỏng có thể dừng lại trước bụi và đất. Việc chọn đặt vật thể thật lên trước, dù chấp nhận thất bại, cho thấy tính chất của phân bổ ngân sách trong giai đoạn này. Những chương trình xuất hiện ở các chương sau, từ thử nghiệm lái tự động trên đường đất không có đường cho đến trình diễn không chiến tự động, đều lớn lên từ những gốc rễ ngân sách này.

Dòng tiền ấy hướng tới điểm cuối nào? Sách thuyết minh FY2026 cho ta một manh mối. Một mục có thể xếp dưới các hệ thống composite tiên tiến tự nói rõ mục đích của nó. Ý chính là thế này. Thay vì phụ thuộc vào một số ít tài sản giá cao, mỗi tài sản trị giá hàng trăm tỷ won, DARPA tìm kiếm một cấu trúc công nghệ vũ khí mới, đạt sức sát thương bằng cách kết hợp hiệu năng áp đảo với số lượng áp đảo. Khi một vũ khí quyết định đặt đồ sụp đổ, cả bàn cờ rung chuyển. Nỗi lo ấy hiện ra trong các câu chữ của tài liệu ngân sách. Bức tranh là phân tán các cảm biến, nút liên lạc, phương tiện không người lái và hệ thống tấn công nhỏ, rẻ, có phần dư chức năng, rồi buộc chúng lại bằng một mạng truyền thông trí tuệ nhân tạo thành một hệ thống chiến đấu. Vì sao bốn nhánh nói trên cùng chuyển động với nhau trở nên rõ trong một câu. Nếu vi điện tử sản xuất hàng loạt những bộ não rẻ, trí tuệ nhân tạo chỉ huy chúng, mạng truyền thông kết nối chúng, và công nghệ sinh học được đặt trên cùng bàn cờ, thì bốn khoản đầu tư khác nhau hóa ra đã chạy trên những con đường riêng để hướng tới một bức tranh chiến tranh duy nhất.

Bức tranh này cũng đưa ra một manh mối cho độc giả Hàn Quốc. Trọng tâm của ngân sách nghiêng về đâu sẽ cho thấy một quốc gia sợ điều gì và coi điều gì là khẩn cấp. Việc Hoa Kỳ lùi nhẹ khỏi những hạt giống của nghiên cứu cơ bản và đặt nhiều trọng lượng hơn vào trình diễn trong thế giới thật là tín hiệu rằng nước này đánh giá tốc độ bị đuổi kịp là nhanh đến mức ấy. Một quốc gia đang gieo hạt và một quốc gia đang hái quả sẽ có bảng ngân sách khác nhau. Khi bàn về một tổ chức nghiên cứu và phát triển kiểu Hàn Quốc, bảng ngân sách này trước hết cho thấy câu hỏi hạng mục nào nhận tiền cũng chính là câu hỏi tổ chức ấy sợ điều gì.

Trước khi khép lại phần này, cần kẻ thêm một đường nữa. Hướng đi được mô tả ở đây đứng trên nền móng hẹp của một tài liệu ngân sách chính thức và một bài phân tích bên ngoài. Việc cả hai tài liệu cùng chỉ về một nơi khiến hướng đi này có sức nặng. Tuy vậy, chỉ với hai tài liệu này, không thể khẳng định chi tiết tăng giảm theo từng năm, hay quy mô chính xác của các khoản tiền thật sự được phân bổ cho từng chương trình. Lời hứa không miêu tả DARPA chỉ như một huyền thoại thành công phải được giữ trong chương về ngân sách. Chúng ta có thể nói tiền đã chảy về đâu. Tất cả số tiền ấy có đáng hay không vẫn là một câu hỏi riêng, cần được hỏi theo từng chương trình, từ phần tiếp theo trở đi.

Những ưu tiên thể hiện trong tài liệu ngân sách năm 2026

Mở một cuốn ngân sách ra, ta có thể thấy một tổ chức sợ điều gì và đang nhắm tới điều gì. Lời nói của một người có thể được tô vẽ, nhưng hướng đi của dòng tiền thì khó che giấu hơn. Khi lật từng trang trong các tài liệu thuyết minh ngân sách DARPA năm tài khóa 2026 của U.S. Department of Defense, những mục quen thuộc lần lượt biến mất. Đây là một tập hồ sơ dày, trong đó Department of Defense giải thích từng chương trình với Congress để xin cấp kinh phí. Những ô từng ghi hàng trăm triệu dollar nay hiện con số zero dollar. Nhìn qua, nó giống một đợt cắt giảm ngân sách. Nhìn kỹ hơn, tiền không biến mất. Nó đã chuyển chỗ. Đi theo nơi tiền chuyển đến, ta thấy ý định tương lai của tổ chức hiện ra.

Thay đổi đầu tiên nổi bật là chính bộ khung của tài liệu đã đổi. Theo các khuyến nghị của PPBE Reform Commission, cơ quan đã rà soát hệ thống ngân sách của Hoa Kỳ, DARPA gộp các program elements từ sixteen xuống eleven. Một program element là đơn vị kế toán mà qua đó Congress phân bổ và theo dõi tiền. Việc giảm số lượng những ô này có nghĩa là DARPA đã gác lại thói quen cũ: chia nghiên cứu theo lĩnh vực học thuật. Tài liệu ngân sách nêu rõ lý do của việc gộp này. Mục tiêu là làm cho việc mua sắm và thực thi dễ hơn, làm ngân sách minh bạch hơn với Congress, loại bỏ phần chồng lấn, và đưa công nghệ mới vào nhanh hơn. Khi mục lục của một tài liệu thay đổi, cách tổ chức ấy chia thể giới cũng thay đổi theo.

Kết quả là zero dollar. Mục Defense Research Sciences có 293.14 million dollars trong năm 2025, nhưng sang năm 2026 thì trống, ở mức zero dollar. Các tên như Electronic Technology, Network-Centric Warfare Technology, và Sensor Technology cũng vậy. Những cái tên này từ lâu là biển hiệu của DARPA. Điện tử, truyền thông, cảm biến. Chúng trùng với tên các khoa trong phòng thí nghiệm đại học. Những ô đó được làm trống toàn bộ, và tiền chuyển sang các ô mới được đặt tên theo nhiệm vụ. Một tài liệu ngân sách từng viết bằng ngôn ngữ của các ngành học thuật đã được viết lại bằng ngôn ngữ của nhiệm vụ. Các hạng mục tiền được vẽ lại quanh những vấn đề cần giải quyết, chứ không quanh những môn học cần nghiên cứu.

Trong số các hạng mục mới, một trong những hạng mục lớn nhất là Manufacturing, Sustainment, Supply Chain, and Logistics. Hạng mục này nhận 1.347 tỷ dollars. Tính theo won Hàn Quốc, con số đó vào khoảng 1.8 nghìn tỷ. Đây là một khoản tiền khác thường đối với một hạng mục riêng lẻ. Tên gọi của nó nghe gần với một nhà máy hơn là một phòng thí nghiệm. Vì sao DARPA bắt đầu lo về nhà máy và kho hàng? Phán đoán nằm bên dưới là: dù một vũ khí tốt được tạo ra trong phòng thí nghiệm, nó vẫn vô dụng trên chiến trường nếu không thể được sản xuất rẻ và với số lượng lớn ngay bên trong United States. Một cơ quan từng hình dung công nghệ tương lai đã bước vào vấn đề rất cụ thể: bàn tay và vật liệu cần có để thật sự làm ra công nghệ ấy.

Bên trong hạng mục này có một chương trình sản xuất vi điện tử thế hệ tiếp theo. Kế hoạch là đưa công nghệ tích hợp dị thể ba chiều, tức xếp chồng theo chiều dọc và ghép nối nhiều lớp

bán dẫn, vào các dây chuyền sản xuất bên trong United States. Mục tiêu được nêu là xây dựng một dây chuyền tạo mẫu mở, được giới học thuật, chính phủ và các công ty cùng dùng, để rút ngắn chu kỳ làm ra chip mới. Điều đó có nghĩa là thu hẹp khoảng cách giữa việc vẽ ra một thiết kế tốt và biến thiết kế ấy thành một con chip thật. Nỗi lo rằng phụ thuộc vào bên khác về bán dẫn sẽ trói tay America vào ngày chiến tranh nổ ra đã nằm ở giữa một văn kiện ngân sách của cơ quan nghiên cứu. Cùng hạng mục này còn có một chương trình mang tên Burn n' Go. Đây là dự án nhằm sản xuất động cơ rocket nhiên liệu rắn nhanh hơn và đáng tin cậy hơn. Chấn đoán ở đây là tình trạng thiếu tên lửa không đến từ lỗi thiết kế, mà đến từ nút thắt sản xuất. Chương trình nói rằng họ sẽ tạo ra một thiết kế động cơ tiêu chuẩn có thể dùng trên nhiều loại vũ khí, qua đó giảm thời gian các nhà cung cấp cần để thay đổi dây chuyền sản xuất.

Quantum Benchmarking Initiative, chương trình liên quan đến máy tính lượng tử, cũng được đưa vào hạng mục chuỗi cung ứng này. Năm 2025, Congress bổ sung riêng 135 triệu dollars cho chương trình đó. Mục đích là đo một cách lạnh lùng tốc độ mở rộng của các máy tính lượng tử thương mại, để một cú bất ngờ chiến lược không bùng lên vào một ngày nào đó từ một quốc gia khác. Điều nổi bật là tên gọi của chương trình tập trung vào kiểm chứng, chứ không phải khoe thành tích. Việc đo xem công nghệ do người khác tạo ra có thật hay không đã được đặt vào một nhóm ngân sách lớn, đứng cạnh công việc tự mình làm ra công nghệ mới trước tiên.

Dòng chảy thứ hai là một cách nhìn đã thay đổi về vũ khí. Hạng mục mới được lập, DARPA Advanced Technology Development, nhận 1.64346 tỷ dollars, còn hạng mục Advanced Composite Systems nhận 350.69 triệu dollars. Trong phần mô tả nhiệm vụ của hai hạng mục này, có một câu đáng để suy nghĩ thật lâu. Thay vì dựa vào một tài sản giá trị cao và đắt đỏ, DARPA tìm cách mở ra một cấu trúc mới, giành năng lực sát thương bằng cách trộn hiệu năng áp đảo với số lượng áp đảo.

Nói thẳng ra, điều này có nghĩa là DARPA sẽ không đặt cược chiến thắng vào một loại vũ khí trị giá hàng trăm tỷ won. Thay vào đó, họ kết nối nhiều vũ khí rẻ tiền như một tấm lưới. Một khi một vũ khí đắt tiền bị mất, chuyện đó kết thúc tại đó. Nếu vài vũ khí rẻ tiền bị mất, phần còn lại vẫn tiếp tục nhiệm vụ. Phép tính này đã làm dịch chuyển trọng tâm ngân sách. Box Kick, được đưa vào đây, là một dự án nhằm bắn hạ tên lửa hành trình bay chậm hoặc máy bay không người lái đang lao tới bằng phương tiện rẻ tiền. Cách tính là giữ lại các vũ khí thân thiện đắt tiền cho những mục tiêu nguy hiểm hơn. Archer bắt đầu từ mối lo rằng lực lượng thân thiện hiện phụ thuộc quá nặng vào các tài sản lớn có giá trị cao. Dự án này nhằm tạo ra các hệ thống tấn công thay thế để những tài sản lớn đó có thể được giải phóng cho các nhiệm vụ khác. Từ bảo vệ một thứ đắt tiền sang rải ra nhiều thứ rẻ tiền. Nơi trọng tâm của triết lý vũ khí đã dịch chuyển được in thành các con số trong tài liệu ngân sách.

Dòng thứ ba là bảo vệ AI và phần mềm từ bên trong. Hạng mục Advanced Implementation Technology nhận 335,64 triệu đô la. Constellation là một chương trình tạo ra công nghệ và

nguyên mẫu để quân đội có thể vừa phòng thủ vừa phản công trong không gian mạng. Bằng cách buộc phát triển, bảo mật và vận hành vào cùng một phương pháp, chương trình này nhằm đưa nhanh các công nghệ mạng mới vào môi trường tác chiến thực tế.

SABER bắt đầu từ một tiền đề khiêm tốn. Nó khởi đầu bằng việc thừa nhận rằng AI được đưa ra chiến trường dễ bị tổn thương trước sự đánh lừa vật lý và kỹ thuật số của đối phương. Chương trình này tìm cách tạo ra các công nghệ phát hiện và giảm bớt những điểm yếu đó, đồng thời lập các đội đồ AI bên trong Department of Defense. Điều đó có nghĩa là phía thân thiện sẽ tự tấn công AI của mình trước. SciFy là một chương trình dùng máy tính để kiểm tra xem các tuyên bố khoa học có thật sự khả thi hay không. Nó là một thiết bị nhằm tránh bị đánh lừa bởi những thành tựu kỹ thuật bị thổi phồng. Đặt tên của ba chương trình này cạnh nhau, ta có thể đọc ra một tổ chức lo về điểm yếu trong chính công nghệ của mình hơn là về thành công của công nghệ đó.

Ô cuối cùng quay về thân thể con người. Hạng mục Warfighter Performance nhận 278,12 triệu đô la, và BEST bên trong nó là một dự án tạo ra các cảm biến gắn vào vết thương. Dự án này nhắm tới một loại băng thông minh vòng kín, liên tục theo dõi mầm bệnh và phản ứng miễn dịch tại vị trí bị thương, kết hợp chẩn đoán và điều trị. Bức tranh được hình dung không phải là phòng thí nghiệm, mà là một cảnh cấp cứu tiền phương nơi một người lính đã ngã xuống. Việc ngân sách dành cho chế tạo vũ khí và ngân sách dành cho cứu người nằm cạnh nhau trong cùng một tài liệu cho thấy một khuôn mặt khác của hồ sơ này.

Bên cạnh hướng đi của dòng tiền, còn một câu nữa đáng chú ý. Sáng kiến Embedded Entrepreneurship Initiative trong mục Advanced Technology Development là một dự án đưa công nghệ DARPA ra thị trường, và kế hoạch năm 2026 ghi rõ một hạng mục nhằm chặn các khoản đầu tư nước ngoài có vấn đề vào công nghệ chiến lược. Tài liệu không nêu rõ họ đang nghĩ đến vốn của quốc gia nào. Nhưng điều rõ ràng là việc bảo vệ công nghệ nay đã vượt ra ngoài bằng sáng chế và an ninh, bước sang cả vấn đề sàng lọc đầu tư.

Đặt năm ô này lại với nhau, bức tranh sẽ nổi lên. Sản xuất rẻ và số lượng lớn ngay trong nước Mỹ, kết nối các vũ khí giá rẻ với nhau bằng ưu thế số lượng, bảo vệ từ bên trong các hệ thống AI và không gian mạng vận hành những vũ khí ấy, cứu chữa binh sĩ bị thương ở tiền tuyến, và ngăn công nghệ rò rỉ ra ngoài qua vốn của một quốc gia khác. Sản xuất, kết nối, bảo vệ, cứu chữa, và kiểm soát. Một tài liệu ngân sách từng được chia theo lĩnh vực học thuật bắt đầu đọc như một câu chuyện chiến tranh liên mạch.

Đặt tài liệu ngân sách này cạnh xu hướng từ năm 2014 đến năm 2023, hướng đi càng rõ hơn. Một cơ quan truyền thông khoa học và công nghệ của Trung Quốc đã phân tích mười năm ngân sách DARPA, và trọng tâm trong giai đoạn đó có sắc thái khác với trọng tâm của năm 2026. Diện mạo của tài liệu ngân sách này là những tên gọi hạng mục từng chứa nghiên cứu cơ bản đã biến mất, còn sản xuất, chuỗi cung ứng, và sản lượng đã được đưa lên phía trước. Đó là tín hiệu

cho thấy một cơ quan từng vẽ ra tương lai xa nay đã quay mắt về các vấn đề sản xuất và bảo vệ trong hiện tại.

Có một điểm khiến chúng ta phải lùi lại một bước. Việc một con số lớn xuất hiện trong tài liệu ngân sách không có nghĩa là chương trình đã thành công. Dự án chuỗi cung ứng được phân bổ 1,3 tỷ đô la và các dự án vũ khí nói về khối lượng áp đảo hiện vẫn là kế hoạch và tuyên bố ý định. Tiền được phân bổ không phải lúc nào cũng được chi, và tiền đã chi không phải lúc nào cũng kết trái. Nhiều chương trình DARPA bị dừng giữa đường, và hồ sơ của những chương trình bị dừng lặng lẽ biến mất khỏi bản ngân sách kế tiếp. Có thể xác nhận tiền đã chảy về đâu, nhưng tiền ấy tạo ra điều gì thì chỉ có thể biết khi các tài liệu ngân sách sau này và kết quả thử nghiệm xuất hiện. Phần này chỉ có thể nói về hướng đi. Phiếu điểm vẫn chưa nằm trong tay chúng ta.

Mối quan hệ giữa hướng đi của dòng tiền và mục tiêu chương trình

Hãy mở một tài liệu ngân sách quốc phòng của U.S. Trang bìa ghi rằng đây là tài liệu thuyết minh ngân sách DARPA Research, Development, Test, and Evaluation cho Fiscal Year 2026. Trên hàng trăm trang, tên chương trình và các con số xếp thành hàng, và bên cạnh một số mục chỉ có con số 0 đơn độc. Đó là những nơi vẫn còn nhận hàng trăm triệu đô la cho đến năm trước. Nhìn những số 0 ấy đủ lâu, một điều sẽ hiện ra. Chúng không phải dấu vết của một đợt cắt giảm ngân sách nhẹ tay. Chúng là dấu vết của một cú xoay hẳn trong hướng mà dòng tiền từng quay mặt tới.

Một tổ chức đặt tiền vào đâu là chỉ báo thành thật về điều tổ chức ấy sợ và điều tổ chức ấy muốn đạt được. Lời lẽ có thể được trang trí bao nhiêu cũng được. Những câu trong thông cáo báo chí càng được trau chuốt thì càng trơn tru. Các con số trong bảng ngân sách khó trang trí hơn. Quy tắc kế toán buộc tài liệu phải để lộ bao nhiêu tiền đã được đặt vào ô nào. Vì vậy, khi đặt cạnh nhau nơi DARPA đã chuyển tiền trong thập niên qua và cách cơ quan này xây lại cấu trúc ngân sách vào năm 2026, cuộc chiến mà cơ quan này đang chuẩn bị hiện lên khá rõ.

Hãy bắt đầu từ dòng chảy dài. Một bài viết đăng trên Science and Technology Review, một tạp chí khoa học và công nghệ của Trung Quốc, đã khảo sát mười năm ngân sách DARPA từ 2014 đến 2023. Vì sao các học giả Trung Quốc lại theo dõi ngân sách của một cơ quan quốc phòng nước khác suốt mười năm? Bản thân việc đó đã là một cảnh tượng. Nó có nghĩa là một cuốn ngân sách có thể được các nhà nghiên cứu ở một nước đối thủ đọc như bản thiết kế cho vũ khí tương lai. Sự dịch chuyển trọng tâm mà bài viết phát hiện là như sau. Trục của ngân sách đã chuyển rõ ràng từ nghiên cứu cơ bản sang phát triển công nghệ tiên tiến. Nghiên cứu cơ bản là khoản tiền tưới cho những hạt giống mà hình dạng cuối cùng vẫn chưa biết. Phát triển công nghệ tiên tiến là khoản tiền chọn những hạt giống có thể dùng được, đưa chúng ra ruộng, và bắt chúng ra quả. Tính chất của đồng tiền đã đổi, từ tiền làm ra các bài báo được viết thành tiền làm ra những thứ được chế tạo.

Bài viết này cũng chỉ ra rằng trong hai năm cuối, ngân sách đang dồn về bốn nhánh: vi điện tử, trí tuệ nhân tạo, truyền thông và mạng, cùng công nghệ sinh học. Bán dẫn, thuật toán, mạng, và cơ thể. Việc tiền tập trung vào bốn nơi này tự nó đã vẽ ra một bản đồ. Bài viết tóm tắt mục tiêu cuối cùng của bốn lĩnh vực này như sau: đẩy nhanh việc trình diễn và kiểm chứng công nghệ mới, đồng thời ghép chiến tranh mosaic thành một phương thức tác chiến thật sự.

Thuật ngữ chiến tranh mosaic có thể nghe khó hiểu. Hãy tạm tháo nó ra một chút. Nó có nghĩa là từ bỏ cách dồn mọi năng lực vào một máy bay chiến đấu đắt tiền, rồi thay vào đó kết nối rất nhiều hệ thống không người lái giá rẻ qua một mạng truyền thông, để từng hệ thống thì yếu khi đứng một mình, nhưng khi hợp lại thì bao phủ được đối phương. Một mảnh kính sẽ vỡ khi bị giẫm lên. Ghép hàng trăm mảnh lại với nhau, chúng trở thành một bức tranh tường. Dù đối phương phá vài mảnh, bức tranh cũng không sụp đổ. Điều phải nắm cho chắc là cách dùng tiền. Tiền không được chi để mài giũa lý thuyết của cách tiếp cận này. Nó được chi để cho thấy cách tiếp cận ấy chạy ngay trước mắt. Không phải một bài viết, mà là một màn trình diễn vận hành được. Tính chất của ngân sách tách ra ở ngã rẽ này.

Hướng đi này xuất hiện trong tài liệu ngân sách năm 2026 dưới một hình thức thô ráp hơn và mạnh tay hơn nhiều. DARPA đã sáp nhập trên quy mô lớn những hạng mục ngân sách vốn tách rời từ lâu. Một hạng mục ngân sách là chiếc hộp đựng tiền. Trước đây, các hộp được chia khá sát theo lĩnh vực học thuật. Điện tử ở hộp này, cảm biến ở hộp kia, mạng ở hộp bên cạnh. Khi chia như vậy, sổ sách rất gọn. Chỉ nhìn qua cũng dễ thấy mỗi ngành nhận bao nhiêu tiền. Nhưng một vấn đề xuất hiện. Tường mọc lên giữa các hộp. Tiền điện tử và tiền mạng khó đi qua lại. Năm 2026, những bức tường ấy sụp xuống.

Hãy nhìn các con số. Hạng mục Defense Research Sciences có 293.14 triệu dollars cho đến năm 2025. Năm 2026, con số là zero dollars. Hạng mục Network-Centric Warfare Technology có 866.53 triệu dollars, và nó cũng trở thành zero dollars. Khoản 267.96 triệu dollars của hạng mục Sensor Technology cũng được rút sạch về zero. Các hộp mang tên công nghệ như điện tử, cảm biến, và mạng đồng loạt đóng cửa. Chỉ riêng ba hộp này đã cộng lại hơn 1.4 tỷ dollars. Chừng ấy tiền mất bằng tên chỉ sau một đêm.

Số tiền ấy không biến mất. Nó chảy vào những ô ngân sách lớn mới được lập ra. Một mục nổi bật là Manufacturing, Sustainment, Supply Chain, and Logistics. Riêng ô này đã thu hút 1.34704 tỷ đô la, xấp xỉ 1.8 nghìn tỷ won. Mục mang tên DARPA Advanced Technology Development cũng mới được lập ra và nhận 1.64346 tỷ đô la. Dòng chảy mười năm đã thấy ở trên, trực dịch chuyển từ cơ bản sang tiên tiến, nay đã đông cứng thành tên gọi của các ô ngân sách.

Hãy mở lớp ý nghĩa của cuộc tái tổ chức này. Các ô cũ được chia theo loại công nghệ. Tiền được chia theo thứ đang được nghiên cứu. Các ô mới thì khác. Chế tạo, sửa chữa, vận chuyển. Chính các tên gọi manufacturing và supply chain đã nói rõ mục tiêu. Đây là tuyên bố rằng DARPA sẽ không dừng lại ở việc phát minh ra những bộ phận tốt. Cơ quan này đã đặt lên tuyến

đầu của bài toán quốc phòng câu hỏi: những bộ phận ấy có thể được sản xuất bên trong Hoa Kỳ nhanh đến đâu, đều đến đâu, với sản lượng bao nhiêu, rồi được đưa ra tiền tuyến như thế nào. Đằng sau các con số này là một phán đoán: trong chiến tranh, thứ thật sự làm ta vất vả không phải là một ý tưởng xuất sắc, mà là số lượng và thời gian giao hàng, dù món đó là chất bán dẫn hay động cơ rocket. Một vũ khí xuất sắc cũng vô dụng trong chiến tranh tổng lực nếu mỗi tháng chỉ làm được mười chiếc. Đó là một phép tính đau đớn.

Đi xuống các chương trình cụ thể, phán đoán này trở nên sờ thấy được. Hãy nhìn Burn n' Go trong tài liệu ngân sách. Chương trình này được giao nhiệm vụ thiết kế các động cơ rocket nhiên liệu rắn tiêu chuẩn có thể lắp vào nhiều loại vũ khí. Mục tiêu rất thẳng. Nó tìm cách giảm thời gian cần để đổi dây chuyền sản xuất cho các loại vũ khí khác nhau, hạ chi phí xử lý, và phá các nút thắt cứ liên tục chặn việc sản xuất vũ khí. Đây không phải câu chuyện về việc tìm ra một nguyên lý đẩy mới. Chương trình tồn tại để trả lời câu hỏi: công nghệ hiện có có thể được cung cấp đều đặn, rẻ và nhanh như thế nào. Ngay cả một động cơ rocket cũng mang chữ cung ứng, không phải phát minh.

Trong cùng tài liệu ngân sách ấy, ta cũng thấy những chương trình có mục tiêu khác hẳn. Quantum Benchmarking Initiative nhận 358.11 triệu đô la trong phần ngân sách liên quan năm 2026. Mục tiêu của khoản tiền này không phải là chế tạo vũ khí. Nó nhằm đo lường nghiêm ngặt tốc độ phát triển của máy tính lượng tử thương mại, tách rời khỏi phòng thí nghiệm, và ngăn trước một cú bất ngờ công nghệ. Đây không phải tiền để tạo ra thứ đem khoe, mà là tiền để lọc bỏ những lời khoát lác rỗng. NASCENT nhận 17.44 triệu đô la trong năm 2026. Chương trình này kết hợp khoa học máy tính với kinh tế học thực nghiệm để thiết kế các động lực kinh tế và dự báo những hệ quả bất ngờ từ các biện pháp kinh tế của Hoa Kỳ. Khoản tiền này nhằm vào lợi thế trên sân khấu kinh tế, không phải súng hay tên lửa. Ngay trong cùng một tài liệu ngân sách, có ô hướng tới sản lượng, có ô hướng tới kiểm chứng, có ô hướng tới cạnh tranh kinh tế. Việc dòng tiền chỉ về nhiều hướng cho thấy cơ quan này không hình dung một chiến trường duy nhất.

Mục tiêu cũng được cài sẵn trong cách cấp tiền. DARPA thường dùng các hợp đồng ấn định trước tiêu chí thành công và giải ngân mỗi khi các tiêu chí ấy được đạt tới. Khoản tiếp theo chỉ được chi sau khi một bước đã định được xác nhận rõ ràng và vượt qua. Nếu không quan sát thấy hiệu quả, tiền cũng dừng lại. Ngay từ đầu, trong hợp đồng đã có một cơ chế kéo các nhà nghiên cứu về phía mục tiêu. Không chỉ quy mô ngân sách, mà cả điều kiện để tiền được giải ngân cũng quyết định hướng đi của chương trình. Thời điểm tiền được cấp làm thay đổi một ngày làm việc của nhà nghiên cứu chẳng kém gì số tiền được cấp.

Có một điều cần nói thẳng với độc giả Hàn Quốc. Nếu chỉ nhìn các con số trong tài liệu ngân sách, DARPA có vẻ là một tổ chức có phương hướng rõ ràng và ra quyết định nhanh. Ấn tượng ấy chỉ đúng một nửa. Các tài liệu chính thức được thu thập cho cuốn sách này cho thấy tiền đã

đi đâu, nhưng không cho thấy số tiền ấy có thật sự tạo ra kết quả hay không, và bao nhiêu đã bị lãng phí. Chỉ riêng bảng ngân sách chưa thể đánh giá những chương trình được chuyển ra khỏi các ô 0 đô la đã tạo ra kết quả gì sau vài năm, hay cạnh bạc chuỗi cung ứng 1.3 tỷ đô la có đúng hay không. Tài liệu ngân sách là tài liệu về kế hoạch và ý định, không phải phiếu điểm. Đây là lý do cuốn sách trước đó đã hứa sẽ không đọc DARPA chỉ như một huyền thoại thành công. Sự táo bạo trong phương hướng và thành bại của kết quả là hai câu hỏi khác nhau. Tài liệu ngân sách làm chứng cho điều thứ nhất, nhưng không thể làm chứng cho điều thứ hai. Ngay khi làm mờ ranh giới này, chúng ta nhầm kế hoạch của người khác với thành tựu của người khác.

Dù vậy, vẫn còn một dòng cần giữ lại trong phần này. Các con số trong tài liệu ngân sách gần với một học thuyết chiến tranh hơn là một sổ cái. Hãy đọc xem những ô nào bị rút về 0 và những ô nào mới được lấp đầy, ta có thể thấy tổ chức ấy định chiến đấu bằng gì trong mười năm tới. DARPA đã viết câu trả lời ấy không ở phía phát minh, mà ở phía trình diễn và cung ứng. Câu hỏi đầu tiên Hàn Quốc nên đặt ra khi bàn về ngân sách nghiên cứu quốc phòng cũng tách ra tại ngã rẽ này. Vấn đề không phải là chi thêm bao nhiêu, mà là tiền nên đi vào ô nào và thứ gì phải được làm cho chạy trước mắt chúng ta. Tăng tổng ngân sách có thể được làm bằng một quyết định, nhưng xây lại các ô tiền nghĩa là viết lại nỗi sợ và tham vọng của tổ chức. Tài liệu ngân sách năm 2026 của DARPA còn lại như một dấu vết của việc viết lại ấy.

Chương 3. Cách DARPA giải quyết vấn đề: mục tiêu rõ ràng quan trọng hơn khoa học hay

Một câu chuyện bắt đầu bằng một mũi tên

Đầu năm 2026, trong tài liệu trình bày cho một DARPA Proposers Day, có một trang chiếu xuất hiện. Tiêu đề của trang đó là "How DARPA Thinks About Your Project." Ở phía trái màn hình có một điểm duy nhất, được ghi là "Today." Từ điểm ấy, nhiều mũi tên xòe ra như nan quạt. Những câu hỏi thú vị, những hướng rẽ có giá trị học thuật, những phát hiện có thể trở thành bài báo. Bài trình bày đặt tên cho các nan quạt ấy là "Good science."

Phần lớn các nhà nghiên cứu đều thích chiếc quạt đó. Đó là điều họ đã học ở bậc cao học, và cũng là điều các hội nghị thường tưởng thưởng. Khi đào sâu vào một câu hỏi, một câu hỏi thú vị hơn thường vẫy gọi từ bên cạnh; nếu đi theo nó, một nhánh mới lại mở ra. Tri thức lớn lên theo cách ấy. Nhưng mục đích của trang chiếu là xóa chiếc quạt đó đi. Ở mép phải màn hình có một mục tiêu ghi là "Program Goal." DARPA yêu cầu các nhà nghiên cứu đúng một việc: bắt đầu từ hôm nay và đi tới mục tiêu ấy bằng một mũi tên thẳng, dày, duy nhất. Không trôi sang bên.

Người chuẩn bị bài trình bày này là giám đốc chương trình Michael Feasel, và chương trình mà ông dẫn dắt có tên là Protean. Trong toàn bộ tài liệu, có một câu được cố định bằng chữ in hoa. Tất cả các chỉ số định lượng và sản phẩm bàn giao "must be useful for measuring progress toward the overall program goal." Những thí nghiệm chỉ được dựng lên để lấp đầy thời gian nghiên cứu, những quan sát thú vị nhưng không liên quan đến mục tiêu, không được tính là tiến bộ trong phép tính của DARPA. Việc câu ấy được viết bằng chữ in hoa tự nó đã cho thấy một sự căng thẳng. Nó có nghĩa là DARPA từ lâu đã thấy các nhà nghiên cứu trượt trở lại về phía chiếc quạt, trừ khi cơ quan này nhấn mạnh điểm đó đến mức ấy.

Chương này nói về mũi tên đó. Nó xem DARPA định khung một vấn đề như thế nào, rồi khiến tay chân của các nhà nghiên cứu quay về phía vấn đề ấy ra sao. Khoa học tốt và mục tiêu rõ ràng thường va chạm với nhau. Trong cú va chạm đó, DARPA chọn mục tiêu mà không do dự. Qua hai chương trình và một số tài liệu, chúng ta sẽ lần theo lý do của lựa chọn ấy, và xem phương pháp đó có phải lúc nào cũng đúng hay không. Một chương trình là câu chuyện hóa học và sinh học về việc bảo vệ protein bên trong cơ thể. Chương trình kia là câu chuyện kinh tế học về việc tính toán lại nền kinh tế thế giới như một vũ khí. Hai chủ đề cách nhau rất xa, nhưng cách hai chương trình đặt mục tiêu lại giống nhau đến mức đáng chú ý.

Protean: Làm thế nào để chặn hàng chục triệu chất độc?

Hãy bắt đầu với vấn đề mà Protean muốn giải quyết. Khi trí tuệ nhân tạo bước vào thiết kế thuốc, nó không chỉ làm cho việc tạo ra thuốc tốt trở nên dễ hơn. Nó cũng làm cho việc tạo ra chất xấu trở nên dễ hơn. Bài trình bày cho thấy bóng đen của công dụng kép này bằng những

con số. Thiết kế phân tử dựa trên AI có thể tạo ra hàng chục triệu tác nhân hóa học và tác nhân thần kinh tiềm năng. Con số đó buộc ta phải dừng lại một chút. Trước đây, phòng vệ thường ghép một thuốc giải với một vật liệu đe dọa, rồi cố kéo dài thời gian trước khi tử vong. Nếu có khí sarin, chuẩn bị cách điều trị sarin. Nếu có một tác nhân thần kinh khác, chuẩn bị cách điều trị cho tác nhân đó. Khi phía bên kia có mười hoặc hai mươi loại, phép tính ấy vẫn còn đứng được. Nhưng ngay khoảnh khắc phía bên kia có hàng chục triệu loại, phương pháp đó sụp đổ. Không thể tạo ra nhiều thuốc giải đến vậy. Dù người phòng vệ chăm chỉ đến đâu, cũng không có cách nào theo kịp thuật toán đang thiết kế độc tố mới.

Protean đảo ngược vấn đề. Thay vì chặn từng chất độc lao về phía chúng ta, nó chuyển sang bảo vệ các mục tiêu bên trong cơ thể mà những chất độc ấy tấn công. Sự thay đổi trong cách nghĩ nằm ở đó. Tác nhân thần kinh, opioid và độc tố kênh ion cuối cùng đều phải gắn vào một nơi nào đó trong cơ thể trước khi có thể gây hại cho con người. Những vị trí gắn đó là thụ thể, enzyme và kênh ion. Vậy thay vì chặn từng chất độc một, hãy làm cho chính protein, tức nơi chất độc bám vào, đủ mạnh để tiếp tục hoạt động bất kể chất độc nào xuất hiện. Thay vì canh từng cánh cửa, hãy xây một ngôi nhà có những cánh cửa không bị phá. Con số mục tiêu của chương trình khiến người ta phải dừng lại. Tạo ra các phân tử phòng ngừa và điều trị cho phép protein giữ được chức năng ngay cả sau khi phơi nhiễm ở mức 10,000x LD50. Nói cách khác, ngay cả khi cơ thể bị đánh trúng bằng lượng lớn gấp mười nghìn lần mức thường giết chết một người, mục tiêu bên trong cơ thể vẫn phải chịu được.

Thoạt nhìn, mục tiêu này có vẻ viển vông. Vì vậy DARPA đưa ra cùng với nó một giả thuyết. Tự nhiên đã làm được việc này rồi. Cây mangut có thể chống nọc rắn hổ mang mạnh hơn 200 lần, đột biến Arg181Cys cho thấy khả năng kháng opioid cao gấp 30 lần, và ve bò có thể chịu được thuốc diệt côn trùng. Chúng có chung một đặc điểm. Chúng có được khả năng kháng một độc tố mới mà không đánh mất chức năng duy trì sự sống vốn đã có. Cây mangut chống được nọc rắn hổ mang mà vẫn dùng hệ thần kinh bình thường. Tự nhiên đã biết cách đặt khả năng kháng vào một protein mà không phá hỏng công việc ban đầu của protein đó. Giả thuyết của Feasel là bí mật nằm ở cấu trúc protein, chuyển động của protein và túi liên kết. Thay vì đối đầu trực diện tại vị trí hoạt động nơi độc tố bám vào, hãy tác động lên một vị trí khác trong protein, giữ nguyên chức năng bình thường, và chỉ chặn sự bám dính của độc tố. Bài trình bày gọi đây là bảo vệ không chính vị, non-orthosteric protection. Nói dễ hiểu, nó không vật lộn ở cổng trước. Nó thay đổi cấu trúc của một cửa bên để chỉ những kẻ xâm nhập bị lọc ra.

Đó là hướng đi. Điều tách DARPA khỏi các nhà tài trợ nghiên cứu khác nằm ở bước tiếp theo: cách họ chia thời hạn và con số thành các mốc nhỏ. Nhiều tổ chức công bố một hướng đi nghe rất ấn tượng rồi ba năm sau mới hỏi kết quả. DARPA cắt ba năm ấy thành những đoạn nhỏ hơn.

Cầu thang dẫn tới mức mười nghìn lần

Protean chia toàn bộ 33 tháng thành hai giai đoạn. Giai đoạn 1 kéo dài 18 tháng, Giai đoạn 2 kéo dài 15 tháng. Trong mỗi giai đoạn, chương trình lại chia các điểm mà nhà nghiên cứu phải đạt được theo từng tháng. Lịch trình này mới là gương mặt thật của chương trình.

Hãy nhìn vào Giai đoạn 1. Đến tháng thứ 6, các nhà nghiên cứu phải xác định được ít nhất một vị trí điều hòa xa mới trong protein mục tiêu. Nói cách khác, họ phải tìm được ít nhất một cửa bên, chứ không phải cổng chính. Đến tháng thứ 12, họ phải làm giảm ái lực liên kết của chất mô phỏng mối đe dọa đã chọn xuống hơn mười lần, đồng thời giữ tác động lên chức năng nội sinh bình thường dưới năm lần. Điều đó có nghĩa là gần như không động đến chức năng gốc của cơ thể, trong khi cắt lực liên kết của độc tố xuống còn một phần mười. Đến tháng thứ 16, họ phải khôi phục hoặc ngăn chặn tổn hại chức năng protein trong in vitro, và phải nâng liều hiệu quả lên hơn mười lần đối với ít nhất ba chất mô phỏng mối đe dọa. Sau đó, vào tháng thứ 18, khi Giai đoạn 1 kết thúc, một nhóm đánh giá của chính phủ Hoa Kỳ, không phải các nhà nghiên cứu, trực tiếp bước vào. Nhóm này xác minh hiệu quả in vitro đối với ít nhất ba mối đe dọa hóa học thật do DARPA chỉ định. Chỉ những nhóm vượt qua mới nhận được kinh phí cho Giai đoạn 2. Một nhà nghiên cứu không thể kết thúc câu chuyện bằng báo cáo: "Nó đã hoạt động." Người chấm điểm đến từ bên ngoài.

Giai đoạn 2 đẩy cường độ lên thêm một mức. Đến tháng thứ 24, liều hiệu quả phải tăng một nghìn lần trong in vitro, không được có độc tính cấp tính, và nhóm đánh giá của chính phủ phải xác nhận trên loài gặm nhấm rằng LD50 đã tăng ít nhất một nghìn lần. Đến tháng thứ 30, hợp chất dẫn đầu đã tối ưu hóa phải đạt mức mười nghìn lần trong in vitro. Vào tháng thứ 33, khi chương trình kết thúc, thành công có nghĩa là loài gặm nhấm sống sót sau khi tiếp xúc với các mối đe dọa thật, với khả năng sống sót được cải thiện ít nhất mười nghìn lần so với đường cơ sở. Từ mười lần lên một nghìn lần, rồi đến mười nghìn lần. Mục tiêu được đặt ra như các bậc thang, và bàn tay của chính phủ xuất hiện ở từng bậc. Khi nhìn thấy những bậc thang này, bạn hiểu vì sao DARPA đã xóa chiếc quạt khỏi trang trình chiếu đó. Một người phải đạt một con số cụ thể sau mỗi sáu tháng không còn chỗ để đi lang thang. Lịch trình ghim đôi mắt của nhà nghiên cứu vào mục tiêu.

Chúng ta sẽ sớm quay lại xem cấu trúc chặt chẽ này tác động ra sao đến các nhà nghiên cứu. Trước đó, cần ghi nhận rằng DARPA viết rất rõ những việc không được làm khi đặt mục tiêu. Một nửa việc đặt mục tiêu nằm ở đó.

Những việc sẽ không được làm

Đề xuất Protean có một mục riêng về tiêu chí loại trừ. Đó là danh sách những điều nghiên cứu này không được chạm tới. Những chiến lược chỉ theo đuổi chất ức chế hoặc chất hoạt hóa cạnh tranh trực diện tại vị trí hoạt động đều bị loại. Những vật liệu giống miếng bọt biển, hấp thụ hoặc phân hủy chính chất gây đe dọa, cũng bị loại. Nghiên cứu trực tiếp chỉnh sửa gene người như một biện pháp can thiệp bị loại. Những cách tiếp cận tăng dần, chỉ cải thiện nhẹ các

biện pháp y tế đối phó hiện có, bị loại. Thiết kế phân tử bằng AI kiểu hộp đen, chỉ tạo ra kết quả mà không hiểu nguyên lý, cũng bị loại.

Vì sao danh sách này quan trọng? Nếu mục tiêu chỉ được nêu rộng, các nhà nghiên cứu sẽ trôi về con đường dễ đi. Một con đường là chỉnh sửa công nghệ hiện có thêm 10 đến 20 phần trăm rồi báo cáo hiệu năng tốt hơn. Con đường khác là đổ dữ liệu vào deep learning đang thịnh hành rồi chỉ trình bày các con số độ chính xác. Những con đường này ít rủi ro thất bại hơn, dễ biến thành bài báo hơn, và giúp giành khoản tài trợ tiếp theo. Các tiêu chí loại trừ chặn trước những lối rẽ dễ chịu đó. Protean muốn một nguyên lý mới bảo vệ mục tiêu như cây mangut, chứ không phải một phiên bản cải tiến của thuốc giải độc hiện có. Vì vậy, nó khóa lối thoát dẫn về cải thiện tăng dần. [Suy luận: Cách viết này giống một tín hiệu rằng DARPA sẽ không chi tiền đổi mới quốc phòng cho nghiên cứu an toàn và hiển nhiên. Bản trình bày không nói thẳng cách hiểu này, nên đây là suy luận rút ra từ cấu trúc của tài liệu.]

Một mục trong tiêu chí loại trừ đáng được chú ý: AI hộp đen. Protean gạt sang một bên kiểu thiết kế bằng AI đưa ra hiệu năng nhưng không biết nguyên lý. Thái độ này sẽ xuất hiện lại khi chúng ta nhìn sang các chương trình khác ở phần sau. DARPA không ghét trí tuệ nhân tạo. Cơ quan này chỉ xem việc không thể giải thích vì sao AI đưa ra một câu trả lời nhất định là điều không thể chấp nhận trong quốc phòng. Một phán đoán có thể quyết định mạng sống con người trên chiến trường không thể được giao trọn cho một cỗ máy mà ta không biết lý do của nó.

Nói thẳng ra, Protean là một kế hoạch, chưa phải một thành tựu. Các nguồn được thu thập cho bản thảo này không có dữ liệu kiểm chứng cho thấy chương trình đã đạt mức phòng vệ gấp mười nghìn lần sau 33 tháng. Điều chúng ta đang đọc là ngữ pháp đặt mục tiêu, không phải báo cáo chiến thắng. Con số gấp mười nghìn lần có thật sự đạt được hay không, hoặc chương trình có lặng lẽ khép lại sau 33 tháng hay không, hiện chưa thể biết. Lời hứa không đọc DARPA chỉ như một huyền thoại thành công cũng áp dụng ở đây. Kỹ năng đặt mục tiêu và kết quả đạt được mục tiêu là hai chuyện khác nhau.

NASCENT: Tính toán lại nền kinh tế như một vũ khí

Trường hợp thứ hai có sắc thái hoàn toàn khác. Đây không phải là hóa học hay sinh học. Đây là tiền tệ và kinh tế học. Chương trình này được gọi là NASCENT, viết tắt của National Security Economic Theory. Nó do một văn phòng của DARPA gắn với lĩnh vực thông tin phụ trách, và được dẫn dắt bởi giám đốc chương trình David Dewhurst.

Dewhurst bắt đầu bằng cách đặt hai cảnh cạnh nhau: năm 1956 và hiện nay. Năm 1956, khi Egypt quốc hữu hóa Suez Canal, Britain và France đưa quân. United States không bắn một phát đạn nào. Thay vào đó, nước này nhấn vào thực tế rằng dự trữ vàng và dollar của Britain đang giảm nhanh, rồi đe dọa phá giá đồng pound. Chỉ một lời đe dọa ấy đã khiến Britain và France chấm dứt can thiệp quân sự. United States dùng lời nói làm rung chuyển tỷ giá hối đoái và chặn

đứng một cuộc chiến. Đó là khoảnh khắc tỷ giá hối đoái, chứ không phải pháo binh, tung ra đòn quyết định.

Cảnh tượng bảy mươi năm sau khiếm tốn hơn. Trong chiến tranh Russia-Ukraine, United States áp đặt các lệnh trừng phạt mạnh về dầu mỏ và tài chính. Dòng thời gian trong bài trình bày, với các mốc tham chiếu vào February 2022, November 2022, và March 2026, cho thấy Russia duy trì hoặc thậm chí mở rộng quyền kiểm soát lãnh thổ, trong khi doanh thu dầu khí của Russia từ đầu năm 2022 vẫn đứng vững như thể đang chế giễu các lệnh trừng phạt. Các lệnh trừng phạt không đổi được hướng đi của cuộc chiến. Cùng một United States, năm cùng một vũ khí kinh tế, lại tạo ra những kết quả khác nhau đến vậy trong bảy mươi năm.

Chẩn đoán của NASCENT rất sắc bén. Nền kinh tế thế giới năm 1956 và nền kinh tế thế giới ngày nay quá khác nhau để có thể so sánh. Nhưng khi Hoa Kỳ dùng kinh tế như một vũ khí, nước này vẫn dựa vào những công cụ cũ. Mượn cách diễn đạt trong tài liệu ngân sách Năm tài khóa 2026 của Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ (PDF-001), cách tiếp cận địa kinh tế ngày nay vẫn dựa nặng vào các ý tưởng định tính từ quan hệ quốc tế và luật học. Những lý thuyết như vậy thường khó bị kiểm chứng là sai và có phạm vi hẹp. Các học giả không đồng thuận, và không có chuẩn nào có thể biết trước trong tình huống nào một lý thuyết sẽ đúng hay sai. Vì vậy, không có cách nào biết trước khi nào lệnh trừng phạt sẽ có tác dụng, khi nào chúng sẽ quay vòng vô ích, hoặc tác dụng phụ ngoài ý muốn nào có thể bật ra. Tài liệu ngân sách cũng coi đây là vấn đề kém hiệu quả về chi phí. Vì không có một định chế nơi các lý thuyết địa kinh tế có thể được thảo luận một cách trung lập và được mài giũa qua lặp lại, việc xây dựng công cụ cho chiến tranh kinh tế tự nó đã trở nên tốn kém và chậm chạp.

Vì thế NASCENT tuyên bố mục tiêu của mình rất rõ. Chương trình sẽ kéo các lệnh trừng phạt kinh tế xuống khỏi vùng trực giác và kinh nghiệm, rồi xây dựng lại chúng thành một khoa học có thể kiểm chứng.

Mục tiêu xa lạ mang tên địa kinh tế học định lượng

Phương pháp là nối ba ngành lại với nhau: thiết kế cơ chế kinh tế, các phương pháp hình thức trong khoa học máy tính, và kinh tế học thực nghiệm. NASCENT kiểm tra giả thuyết kỹ thuật rằng ba ngành này có thể được buộc lại với nhau để xây dựng một bộ khung khoa học cho địa kinh tế học. Thiết kế cơ chế là nhánh kinh tế học thiết kế các quy tắc sao cho kết quả mong muốn xuất hiện khi con người theo đuổi lợi ích riêng của mình. Phương pháp hình thức là những cách để máy tính xác minh hệ thống bằng toán học. Kinh tế học thực nghiệm quan sát hành vi kinh tế bằng cách tập hợp người thật. NASCENT đưa ba công cụ có tính chất khác nhau vào cùng một nơi để thiết kế lại nghề cũ của các lệnh trừng phạt kinh tế. Bức tranh mười năm sau của chương trình là một chuẩn mới, trong chính phủ và khu vực tư nhân, về nghệ thuật điều hành kinh tế của nhà nước, vừa chặt chẽ về lý thuyết vừa dựa trên bằng chứng. Chương trình đã đặt tên cho ngành mới này: Quantitative Geoeconomics. Nó đủ táo bạo để đặt tên cho

một lĩnh vực chưa tồn tại, rồi lấp đầy cái tên ấy bằng nội dung.

Thứ tự công việc cũng bị đảo ngược. Thông thường, chính sách được thi hành rồi kết quả mới được quan sát. Áp đặt trừng phạt, nếu có tác dụng thì giữ lại, nếu không thì rút bỏ. NASCENT đi theo hướng ngược lại. Trước hết, chương trình xác định thật rõ kết quả an ninh mà Hoa Kỳ muốn đạt được, rồi lần ngược lại để tính xem cần những động lực và cơ chế nào để đi tới kết quả đó. Theo cách nói trong bản trình bày, đó là "work backwards" từ mục tiêu. Cố định điểm đến rồi vẽ ngược con đường. Ngữ pháp ấy giống với Protean khi vẽ ngược các bậc thang từ đích đến mười nghìn lần.

Để đi ngược từ kết quả, NASCENT phải tách một thế giới phức tạp thành nhiều lớp. Bản trình bày chia thế giới thành ba lớp. Trên cùng là các mục tiêu quốc gia: an ninh, tăng trưởng, ổn định xã hội và ổn định chính trị. Bên dưới, các mục tiêu an ninh quốc gia tách thành hướng vào trong và hướng ra ngoài. Hướng vào trong, chương trình nhìn các thiết chế trong nước qua lăng kính an ninh: tài trợ nghiên cứu và phát triển, hợp tác công-tư, trợ cấp, giáo dục và tiêu chuẩn, chứng nhận, thuế, thị trường lao động, chính sách nhà ở, dịch vụ tài chính và an ninh bầu cử. Hướng ra ngoài, chương trình dùng liên minh, hiệp định thương mại, trung tâm thương mại và an ninh tuyến hàng hải, dự trữ chiến lược, hạn chế xuất khẩu và nhập khẩu, mua lại chiến lược, trừng phạt và thuế quan, cùng kiểm soát vốn. Ở đáy là mục tiêu của các doanh nghiệp trên thị trường: thị phần, lợi nhuận và giảm rủi ro. [Suy luận: Cách phân tách này dường như giả định rằng mục tiêu chiến lược của nhà nước và động cơ lợi nhuận của doanh nghiệp chắc chắn sẽ va chạm. Nhà nước muốn ngăn vốn chảy sang các nước thù địch, trong khi doanh nghiệp muốn đi tới nơi có thể kiếm tiền. Điều NASCENT dường như tìm kiếm thông qua mô hình hóa và thí nghiệm là một cơ chế cho phép doanh nghiệp hành động tự nhiên để theo đuổi lợi nhuận, đồng thời mục tiêu an ninh của Hoa Kỳ cũng đạt được. Cách hiểu này được rút ra từ cấu trúc của tài liệu.]

Ranh giới mà NASCENT tự vạch quanh mình cũng rõ ràng. Chương trình không cố mô hình hóa toàn bộ thế giới một cách hoàn hảo, và cũng không trực tiếp làm chính sách. Nó chỉ đi tới mức xây dựng các lý thuyết và công cụ có thể lần ngược từ một trạng thái mục tiêu và thiết lập niềm tin giữa hành động và kết quả. Việc vạch trước giới hạn của chính chương trình cũng là một phần của đặt mục tiêu. Nếu tuyên bố sẽ làm mọi thứ, sẽ không thể kiểm chứng được gì. Công việc được chia thành Giai đoạn 1 kéo dài 4 tháng và Giai đoạn 2 kéo dài 24 tháng. Trong Giai đoạn 1, chương trình xây dựng một bản thể luận để phân rã địa kinh tế. Nó định nghĩa từng yếu tố kinh tế và an ninh của thế giới, rồi lập bản đồ quan hệ giữa chúng. Trong Giai đoạn 2, các đợt nghiên cứu nước rút và sự kiện đánh giá được lặp lại. Các lý thuyết được phát triển sẽ được kiểm tra qua trò chơi chiến tranh thử nghiệm, diễn tập bàn tròn cho lãnh đạo và áp dụng vào hoạt động thực tế. Trọng tâm không phải là để lý thuyết nằm trên giấy, mà là tập hợp con người, chạy các tình huống mô phỏng và cố làm cho nó gãy. Kế hoạch Năm tài khóa 2026 nói rằng chính phủ và ngành công nghiệp sẽ tổ chức một hội nghị chuyên đề để định nghĩa chính

xác các mục tiêu an ninh và động lực kinh tế, rồi xây dựng các cơ chế tạo ra cả kết quả an ninh lẫn lợi ích kinh tế, và cuối cùng kiểm chứng giá trị thực nghiệm của chúng. Kế hoạch này cũng bao gồm việc xây dựng một diễn đàn phản hồi công-tư vận hành lâu dài. Điều đó có nghĩa là để lại một kênh thường trực, qua đó tín hiệu chính sách và tín hiệu thị trường có thể tiếp tục đi qua lại.

Nếu Protean là bài toán bảo vệ protein bên trong cơ thể ở mức mười nghìn lần, thì NASCENT là bài toán vẽ lại mạng lưới kinh tế thế giới bằng toán học. Đối tượng thì đối lập, nhưng ngữ pháp giống nhau. Xác định rõ mối đe dọa, đi ngược từ kết quả, và kết thúc bằng các chỉ số có thể kiểm chứng. DARPA không yêu cầu một bài báo hay. DARPA yêu cầu một điểm bắt buộc phải đạt tới. Ngữ pháp lặp lại này là cách DARPA suy nghĩ như một tổ chức.

Mục tiêu nắm tay nhà nghiên cứu như thế nào

Bây giờ chúng ta đi đến câu hỏi thật sự của chương này. Những mục tiêu được thiết kế theo cách đó có thật sự làm thay đổi các nhà nghiên cứu bên trong phòng thí nghiệm không? Khi đặt tài liệu của nhiều chương trình chồng lên nhau, mục tiêu không còn là những điều ước. Chúng hoạt động như những thiết bị lái hành vi của nhà nghiên cứu. Các ví dụ dưới đây đến từ những chương trình khác ngoài Protean và NASCENT, nhưng được đặt ở đây để xem liệu cùng những tay nắm ấy có xuất hiện lặp đi lặp lại hay không. Những chương trình này cũng chủ yếu được thể hiện qua tài liệu lập kế hoạch và tài liệu ở giai đoạn FAQ. Đây là cách đọc các tài liệu mục tiêu, không phải một bảng điểm đã hoàn tất.

Một thiết bị thường gặp là cấm hộp đen. Chương trình VITAL, vốn dự đoán phản ứng sinh lý của thương vong trên chiến trường, nêu trong FAQ rằng học máy hộp đen chỉ dựa vào quan hệ thống kê giữa đầu vào và đầu ra, không có các cơ chế sinh học và vật lý đã được kiểm chứng, nằm ngoài phạm vi chương trình. Ngay cả khi độ chính xác cao, chương trình cũng sẽ không chấp nhận nếu sinh lý học không thể giải thích vì sao dự đoán đó xuất hiện. Một mục khác trong cùng tài liệu chặn lại một cái bẫy mà các nhà nghiên cứu rất dễ rơi vào. Xây dựng một mô hình cá nhân hóa hoàn hảo tự nó không phải là mục tiêu. Cá nhân hóa chỉ là phương tiện để đạt hiệu năng bắt buộc, chẳng hạn mức đồng thuận 90 percent với phán đoán của chuyên gia hoặc thời gian dự báo sớm. Công việc làm cho một mô hình cá nhân hóa chính xác hơn có sức hút học thuật. Tài liệu giữ các nhà nghiên cứu lại từ trước để họ không đánh mất mục tiêu trong sức hút đó.

Cũng có một cách đòi hỏi toán học. MATHBAC, chương trình nghiên cứu năng lực của AI trong khám phá khoa học, nói trong FAQ rằng hiệu năng tốt hơn là điều được hoan nghênh, nhưng mục tiêu trung tâm là thiết lập lý thuyết toán học nền tảng sẽ đẩy khoa học AI tiến lên. Tài liệu cảnh báo rằng các đề xuất tuyên bố có hiệu năng tốt hơn bằng cách áp dụng các công cụ AI hiện có vào một lĩnh vực cụ thể không phù hợp với mục tiêu. Áp lực ở đây là vượt ra ngoài việc viết mã và tinh chỉnh hiệu năng, để tiến tới chứng minh vì sao một điều gì đó hoạt động. Đó

là một cách thúc đẩy các nhà khoa học máy tính làm việc cùng các nhà toán học.

Đôi khi khả năng giải thích bị ép đi qua một con số. CLARA, chương trình kết hợp suy luận tự động với học máy, nêu trong FAQ của mình rằng các lời giải thích phải là những suy diễn tự nhiên có cấu trúc phân cấp và chia nhỏ, và độ mở rộng giữa các tầng phải bằng 10 hoặc thấp hơn. Nó biến từ mơ hồ “khả năng giải thích” thành con số 10. [Suy luận: Đây dường như là một thiết bị nhằm ngăn các bước phát triển logic trở nên phức tạp đến mức con người không thể theo dõi, buộc hệ thống ngay từ đầu phải được thiết kế trong một cấu trúc mà người chỉ huy có thể đọc được.]

Một phương pháp khác là chuyển hướng công việc qua các giới hạn vật lý. O-Circuit, chương trình thử tính toán siêu tiết kiệm năng lượng bằng tế bào sinh học, đặt mục tiêu tiêu thụ năng lượng hằng ngày là 10 milliwatt-giờ. Con số đó bao gồm cả thời gian chờ và thời gian tính toán. Các giải pháp thuần túy dựa trên silicon nằm ngoài phạm vi. Trước giới hạn năng lượng cực đoan này, các nhà nghiên cứu không còn lựa chọn nào khác ngoài việc tạm gác những cách tiếp cận silicon quen thuộc. Phương pháp đánh giá cũng khác thường. Thiết bị tính toán sinh học mà họ xây dựng phải học hành vi trong môi trường trò chơi Pac-Man và, khi được một drone mang theo, phải lần theo mùi của ba hóa chất được chỉ định để tìm mục tiêu. Một điều kiện nữa được thêm vào: trí nhớ phải còn lại ngay cả sau 24 giờ nghỉ mà không được huấn luyện. Yêu cầu ở đây là thiết kế không phải những tế bào tạo ra phản ứng một lần, mà là một cấu trúc ghi nhớ lâu dài và biết thay đổi. O-Circuit hiện cũng được thể hiện qua các tài liệu ở giai đoạn kế hoạch và FAQ, chứ chưa phải bản đồ điểm của một máy tính sinh học đã hoàn thành. Nguyên tắc đọc một kế hoạch như một kế hoạch cũng đúng ở đây.

Cũng có áp lực phải phát minh ra chính quy trình. Fleetwood, chương trình nhằm biến sinh khối bị bỏ đi thành vật liệu chiến lược, đẩy các phương pháp nhiệt phân và khí hóa thông thường ra ngoài phạm vi. Bằng cách chặn con đường quen thuộc, nó cố buộc các nhà nghiên cứu phát minh những quy trình hóa học mới như xúc tác sinh học không dùng tế bào. Một chương trình khác đặt mục tiêu định lượng là nâng tốc độ phản ứng lên một triệu vòng chuyển hóa trên mỗi gram mỗi giây. Áp lực đó buộc các nhà nghiên cứu phải vượt ra khỏi cốc thủy tinh trong phòng thí nghiệm và mô hình hóa bằng toán học cơ chế khuếch đại của sản xuất hàng loạt. Bản thảo này chỉ đọc Fleetwood trong phạm vi các tài liệu kế hoạch. Nó không phải là kết quả cho thấy rác thải đã thật sự trở thành vật liệu chiến lược. Đây là một cách nhìn xem mục tiêu cấm các nhà nghiên cứu làm điều gì.

Khi chồng các trường hợp này lên nhau, những tay nắm chung bắt đầu hiện ra. Tiêu chí loại trừ chặn các lối rẽ dễ đi. Các con số định lượng không cho phép thỏa hiệp kiểu học thuật. Yêu cầu chứng minh cơ chế chặn việc học dữ liệu mù quáng. Khi mục tiêu được thiết kế theo cách này, các nhà nghiên cứu tạm đặt thứ khoa học tốt đẹp của tháp ngà sang một bên và đưa tay chân mình về phía nhiệm vụ mà nhà nước đòi hỏi. Khoảnh khắc chiếc quạt trong slide biến mất

và chỉ còn lại một mũi tên thật ra đang diễn ra xuyên suốt các tài liệu.

Một tấm gương cho độc giả Hàn Quốc

Bây giờ, chúng ta đưa Hàn Quốc vào một cách thận trọng. Một cuốn sách trước đây, *AI Defense Revolution*, đã bàn về văn hóa trong giới nghiên cứu quốc phòng của Hàn Quốc. Cuốn sách cho rằng vì những thất bại trong thực hiện ngân sách bị trừng phạt nặng, các nhà nghiên cứu có xu hướng chen vào những đề tài an toàn, có rủi ro thất bại thấp, thay vì theo đuổi các công nghệ nguồn có thể làm thay đổi cả bàn cờ. Họ chọn những nhiệm vụ gần như không thể thất bại, chẳng hạn cải thiện hiệu năng radar hiện có khoảng 10 phần trăm. Đây không phải là một sự kiện mới được kiểm chứng trong bản thảo này. Nó chỉ được dùng như bối cảnh tiếng Hàn do một tác phẩm trước đó cung cấp. Nó sẽ không được tính là bằng chứng độc lập.

Khi đặt hai trường hợp ở trên vào nền cảnh đó, những điều đáng khâm phục và những điều không nên sao chép bắt đầu tách ra. Điều đáng khâm phục là ngữ pháp của việc đặt mục tiêu. Xác định mối đe dọa ở quy mô hàng chục triệu, xác định thành công bằng con số mười nghìn lần, và để chính phủ can thiệp sáu tháng một lần để kiểm chứng. Dùng tiêu chí loại trừ để nói rõ điều gì sẽ không làm, rồi khóa trước những cánh cửa mà qua đó các nhà nghiên cứu có thể lách sang con đường dễ hơn. Ngữ pháp này có thể được chuyển sang hầu như mọi kế hoạch nghiên cứu, vượt ra ngoài lĩnh vực quốc phòng. Làm rõ đích đến, vẽ ngược các bậc thang từ đó, và đặt người chấm điểm ở bên ngoài. Hàn Quốc ít nhất có thể học được chừng ấy.

Nhưng có những thứ sẽ trở nên nguy hiểm nếu sao chép nguyên xi. Những cột mốc chặt như vậy và cơ chế tài trợ có điều kiện chỉ vận hành được khi đi cùng một văn hóa chấp nhận thất bại như một cách học, và một thiết chế không trừng phạt nhà nghiên cứu khi họ gục ngã giữa đường. Cấu trúc trong *Protean*, nơi nhóm đánh giá của chính phủ kiểm chứng kết quả ở tháng thứ 18 và chỉ những nhóm vượt qua mới nhận khoản tài trợ tiếp theo, chỉ vận hành lành mạnh khi các nhóm không đạt có thể lặng lẽ rút lui. Nếu việc bị loại dẫn thẳng tới quy trách nhiệm và bất lợi, các nhà nghiên cứu sẽ không chấp nhận rủi ro để hướng tới mục tiêu mười nghìn lần. Họ sẽ chỉ đề xuất những mục tiêu thấp, chắc chắn vượt qua. Nếu thiếu nền móng đó, con số mười nghìn lần không còn là sự khích lệ mà trở thành một lời đe dọa. Một công cụ vốn nhằm gợi dậy tinh thần thử thách sẽ biến thành công cụ giết chết tinh thần thử thách.

Cần nói thêm một điểm nữa. *Protean* và *NASCENT*, hai chương trình được dùng trong chương này, ở thời điểm này là những hướng đi, không phải kết quả. Các nguồn đã thu thập đến nay chưa thể cho biết hai chương trình ấy có thật sự đạt mục tiêu hay không. Những tài liệu chúng ta đọc là tài liệu *Proposers Day*, mô tả chương trình và tài liệu ngân sách. Chúng cho thấy rất rõ mục tiêu đã được đặt ra như thế nào, nhưng cần có tài liệu khác để xác nhận các mục tiêu ấy có được hoàn thành hay không. Sức mạnh của DARPA nằm ở cách cơ quan này đặt mục tiêu, không phải ở việc lúc nào cũng đạt được những mục tiêu đã đặt ra. Trên thế giới có nhiều chương trình DARPA từng đưa ra những mục tiêu rực rỡ rồi âm thầm khép lại. Ngay khi làm mờ

ranh giới này, chúng ta lại đang viết một huyền thoại thành công. Bản thảo này đứng về phía chống lại việc đó.

Không phải khoa học hay, mà là một mục tiêu rõ. Cách mục tiêu ấy nắm tay các nhà nghiên cứu. Và điều phải đi cùng phương pháp đó nếu nó muốn vận hành ở Hàn Quốc. Bàn tay xóa chiếc quạt khỏi slide có thể tồn tại ở Hoa Kỳ hoặc ở Hàn Quốc. Việc ở nơi bàn tay ấy chỉ tới có một định chế chịu được thất bại hay không sẽ quyết định mũi tên trở thành vũ khí hay công cụ gây hại. Từ chương sau, chúng ta sẽ đi theo cách thứ ngữ pháp này và chạm với các chiến trường thật của AI và tác chiến mạng.

Chương 4. AIXCC và bảo mật mã tự động

Thiết kế của AI Cyber Challenge

Đó là mùa hè năm 2025, trong một hội trường thi đấu ở Las Vegas. Trên sân khấu DEF CON 33, lễ hội của giới hacker, kết quả cuối cùng đã được định đoạt. Những nhân vật chính trên sân khấu ấy không phải con người. Các hệ thống tự động đang cạnh tranh với nhau, tự đọc phần mềm gần như không cần con người trợ giúp, tìm ra những điểm yếu bị che giấu, rồi sửa chúng ngay tại chỗ. Đó là cảnh cuối của AI Cyber Challenge, một cuộc thi mà DARPA đã theo đuổi trong gần hai năm. Người ta gọi tắt tên cuộc thi là AIXCC.

Để hiểu cảnh tượng ấy đã hình thành như thế nào, trước hết chúng ta cần nhìn vào vấn đề mà cuộc thi được thiết kế để đối mặt.

Những ngọn đèn chúng ta bật vào buổi sáng, tín hiệu giao thông trên đường đi làm, nước chảy từ vòi, và hệ thống liên lạc trong tay chúng ta hiện nay gần như đều vận hành bằng phần mềm. Bên trong phần mềm ấy có nhiều mã hơn mức một người có thể đọc hết trong cả đời. Vấn đề là mã không hoàn hảo. Mã do con người viết luôn để lại kẽ hở. Kẻ tấn công luồn vào những kẽ hở đó. Người phòng thủ phải tìm ra và đóng chúng trước, nhưng với tốc độ con người kiểm tra từng dòng, họ không thể theo kịp lượng mã tăng lên mỗi ngày. Mã tăng. Nhân sự an ninh thiếu. Khi khoảng cách ấy rộng ra, hạ tầng xã hội càng dễ bị phơi lộ. Liệu chính công việc tìm và chặn điểm yếu có thể giao cho máy móc hay không? Đó là câu hỏi mà AIXCC đặt ra.

DARPA không phải là một cơ quan yêu cầu các nhà nghiên cứu nộp những bài báo đẹp. Cơ quan này đặt ra vấn đề trước, rồi trao tiền và sân khấu cho những người thật sự giải được vấn đề đó. Vì vậy, DARPA không đưa câu hỏi này ra như một đề tài nghiên cứu. Họ biến nó thành một cuộc thi mở có tiền thưởng. DARPA, với tư cách là một cơ quan nghiên cứu quốc phòng, cũng không thiết kế cuộc thi này một mình. ARPA-H, Advanced Research Projects Agency for Health, tham gia vì cơ quan này cũng lo ngại về mã trong bệnh viện và các cơ sở y tế. Nhận định rằng bảo vệ mã vừa là vấn đề quân sự, vừa là vấn đề của đời sống dân sự, đã đặt hai cơ quan này lên cùng một sân khấu.

Cách thức thi đấu là bộ khung của sự kiện này. Mỗi đội tham gia mang đến cuộc thi một hệ thống suy luận mạng tự động. Đây không phải là hình thức con người đứng bên cạnh và ra lệnh theo thời gian thực. Hệ thống phải tự phân tích mã, tìm các điểm dễ bị tấn công, tạo mã sửa lỗi và gắn nó vào. Vai trò của con người kết thúc ở việc thiết kế tốt hệ thống đó từ trước. Thứ thật sự cạnh tranh trên sân khấu là chương trình phòng thủ tự động do các đội xây dựng. DARPA không tạo ra một cuộc thi giữa các chuyên gia con người. Họ tạo ra một cuộc thi giữa các hệ thống AI phòng thủ do con người làm ra.

Khác biệt đó lớn hơn vẻ bề ngoài. Trong một cuộc thi an ninh thông thường, các hacker giỏi thức trắng đêm, tháo tung mã và giải bài toán. Tài năng và sự tập trung của con người trở

thành điểm số. Nhưng cốt lõi của vấn đề mà chúng ta đã thấy trước đó là bàn tay con người không thể theo kịp khối lượng mã. Một cuộc thi chỉ đưa những con người nhanh hơn vào làm việc không thể trả lời vấn đề ấy. Muốn trả lời, phải có những cỗ máy quét mã không nghỉ trong khi con người ngủ. Thiết kế của AIXCC đã viết thẳng yêu cầu đó vào luật thi. Con người rời khỏi sân khấu, còn các hệ thống tự động mà họ xây dựng vật lộn với mã trên đó. Bản chất của vấn đề đã đặt ra luật thi. Luật không có trước rồi ép vấn đề phải chui vào đó.

Vì sao nó phải mang hình thức một cuộc thi có giải thưởng? Câu hỏi đó chứa phép tính riêng của DARPA. Cơ quan này hoàn toàn có thể tự viết và công bố một chương trình phòng thủ. Họ đã chọn không làm vậy. Thay vì để một nhánh của chính phủ tạo ra và phân phối một đáp án duy nhất, họ mở cửa cho hacker và nhà nghiên cứu AI trên khắp thế giới, rồi đặt ra một mục tiêu: chiến thắng và nhận một giải thưởng lớn. Kế hoạch là để mỗi bên xây dựng công nghệ phòng thủ tự động tốt nhất theo cách riêng của mình, sau đó kéo năng lực của khu vực tư nhân ấy về phía an ninh mạng quốc gia tự động. Thay vì gọi tên đáp án và ban hành mệnh lệnh, chính phủ bày ra một sân chơi nơi những người có đáp án tốt sẽ tự tìm đến. Nếu các đội khác nhau được phép giải vấn đề bằng những con đường khác nhau, các giải pháp mà chính phủ một mình không thể tưởng tượng ra sẽ xuất hiện trên sân khấu. Cạnh tranh là thiết bị đưa những nỗ lực khác nhau ấy về cùng một nơi.

Văn phòng phụ trách cuộc thi này là Information Processing Techniques Office, IPTO. Đây cũng là cái tên đã xuất hiện ở chương trước khi chúng ta bàn về cải cách tổ chức. Việc một văn phòng có lịch sử lâu dài trong lĩnh vực điện toán và xử lý thông tin đảm nhận cả phòng thủ mạng cho thấy AIXCC không chỉ là một cuộc thi an ninh, mà là một chương trình nằm trong dòng chảy lớn hơn của nghiên cứu AI và điện toán. Cuộc thi này cũng được xếp vào lĩnh vực mạng. Đọc và sửa mã chạm đến công việc AI xử lý ngôn ngữ, tức là ngôn ngữ lập trình. Việc văn phòng từ lâu phụ trách mảng nghiên cứu đó đứng ra vận hành cuộc thi cho ta thấy đôi điều về thiết kế của nó. Đây không hẳn là một thử nghiệm bên lề về an ninh mạng, mà là một nhánh của câu hỏi lớn hơn: AI có thể xử lý ngôn ngữ của con người và ngôn ngữ của máy móc đến mức nào?

Quy mô tiền bạc cũng bộc lộ thiết kế ấy. Tài liệu ngân sách công cho thấy cuộc thi nhận 34 triệu USD trong năm tài khóa 2024 và 40 triệu USD trong năm tài khóa 2025. Trong các tài liệu ngân sách, khoản này được xếp dưới các mục công nghệ thông tin. Tổng quỹ giải thưởng của toàn cuộc thi là 29,5 triệu USD, trong đó có 7 triệu USD hỗ trợ đổi mới cho doanh nghiệp nhỏ. Một phần lớn số tiền đó chảy vào giải thưởng và vận hành cuộc thi. Đó không phải là khoản tiền để chính phủ mua một chương trình phòng thủ duy nhất. Đó là khoản tiền dùng để vận hành cả một sân chơi, nơi nhiều đội có thể thử giải quyết vấn đề theo những cách khác nhau. Chỉ xét về quy mô, khó có thể gọi đây là một trong những chương trình lớn bậc nhất của DARPA. Nhưng nếu nhìn vào nơi dòng tiền đi đến, mục tiêu trở nên rõ ràng. DARPA muốn dùng tiền thưởng để kéo nhân tài tư nhân vào cuộc, đồng thời mở một con đường để máy móc tiếp quản việc phòng

thủ mã ở những nơi bàn tay con người không thể vươn tới. Hướng đi của dòng tiền là chỉ dấu trung thực về điều mà một tổ chức xem là cấp bách.

Chính DARPA gọi cuộc thi này là một bước ngoặt trong phòng thủ mạng. Đó là một cách nói lớn. Những lời như vậy phải được đọc cẩn thận. Một cơ quan gọi chương trình của mình là bước ngoặt là một chuyện. Chương trình đó có thật sự trở thành bước ngoặt hay không lại là chuyện khác. Dù vậy, cụm từ ấy chứa đựng ý đồ thiết kế. Nó có nghĩa là DARPA muốn tạo ra thời điểm mà tốc độ của con người và tốc độ của máy móc đối chọi cho nhau trong công việc bảo vệ mã, khoanh khắc những người phòng thủ lần đầu nhận được sự trợ giúp thực sự từ tự động hóa. Những đội thắng cuộc được công bố trên sân khấu DEF CON 33 vào năm 2025. Sân khấu đó là vòng chung kết, và trước nó là gần hai năm chuẩn bị cùng các vòng sơ loại.

Nếu đi theo thiết kế đó, câu hỏi mà cuộc thi này đặt ra cho chính sách phòng thủ mạng quốc gia sẽ tự nhiên hiện ra. Một quốc gia sẽ xây dựng phòng thủ mạng chỉ bên trong các tổ chức chính phủ, hay sẽ mời nhân tài bên ngoài vào và cùng xây dựng? Thiết kế của AIXCC đã chọn phương án sau. Nó cũng chọn đưa năng lực phòng thủ vào các cỗ máy tự động thay vì lấp đầy bằng nhân sự. Chưa lựa chọn nào được chứng minh là câu trả lời cuối cùng. Nhưng DARPA đã cho thấy qua hình thức một cuộc thi rằng sân chơi nơi vấn đề được đặt xuống đã quyết định một nửa câu trả lời. Năng lực thiết kế sân chơi trở thành sức mạnh cạnh tranh quốc gia không kém năng lực viết mã tốt.

Những gì chúng ta đã thấy trong phần này chưa phải là kết quả, mà là bản thiết kế. Mỗi hệ thống tự động đã sửa mã trên sân khấu tốt đến đâu, và chúng ta nên đọc các điểm số ấy như thế nào, là việc của phần tiếp theo. Lúc này, cần giữ lại ba điểm. Thứ nhất, DARPA đặt vấn đề như một cuộc thi không phải giữa con người với nhau, mà giữa các hệ thống AI phòng thủ do con người tạo ra. Thứ hai, thay vì để chính phủ tự tạo ra câu trả lời, cơ quan này chọn cách gọi các lời giải từ khu vực tư nhân bằng tiền thưởng. Thứ ba, IPTO vận hành sân chơi đó như một chương trình mạng, với 34 triệu USD và 40 triệu USD được chi trong hai năm tài khóa.

Cần vạch sẵn ranh giới. Một cuộc thi được thiết kế tốt tự nó không có nghĩa là thành công. Còn quá sớm để nói rằng các hoạt động mạng trong quốc phòng đã được tự động hóa nhờ AIXCC. Từ các tài liệu hiện có, có thể xác nhận rõ cấu trúc cuộc thi, ngân sách và mục tiêu mà DARPA công bố. Điều còn lại là liệu thiết kế này có thật sự làm thay đổi việc phòng thủ mã trên chiến trường hay không. Điều đó chỉ có thể được đánh giá khi nhìn vào kết quả trên sân khấu và những gì diễn ra sau đó. Đọc đúng bản thiết kế như một bản thiết kế là bước đầu tiên để đi tới phán đoán ấy.

Cuộc thi bảo mật mã được hé lộ trên sân khấu DEF CON

Las Vegas Convention Center, tháng 8 năm 2025. Tại DEF CON lần thứ ba mươi ba, một trong những lễ hội hacker hàng đầu thế giới, một sân khấu hơi lạ xuất hiện. Trên sân khấu đó không

có hacker nào đang gõ bàn phím. Mã và điểm số di chuyển theo thời gian thực trên một màn hình lớn. Máy móc, chứ không phải con người, đang tìm các lỗ hổng trong phần mềm và tự sửa những lỗ hổng mà chúng tìm thấy. Các chuyên gia bảo mật trong khán phòng theo dõi những phán đoán của AI cạnh tranh trên màn hình, chứ không phải công việc từ chính đôi tay mình. Đó là một hội trường thi quen thuộc, nhưng đã bị lộn ngược từ bên trong.

Trong phần trước, chúng ta đã đọc bản thiết kế của cuộc cạnh tranh này. Bây giờ đã đến lúc xem bản thiết kế ấy tạo ra những con số nào trên sân khấu thực tế.

Tên của sân khấu này là AI Cyber Challenge, hay AIXCC. Mục tiêu của nó hơi bất ngờ. Đó không phải là hệ thống vũ khí của một quốc gia đối địch, mà là phần mềm mã nguồn mở chúng ta dùng hằng ngày. Hồ sơ y tế của bệnh viện, thiết bị điều khiển nhà máy điện, và hệ thống quản lý nước sạch, nước thải phần lớn đều chạy trên mã công khai mà bất kỳ ai cũng có thể kiểm tra. Trong phần mã ấy, có thể đang ẩn những lỗ hổng chưa ai tìm thấy. Khối lượng quá lớn để mắt người có thể bao quát hết. Câu hỏi của DARPA là thế này: AI có thể đọc và sửa trước những đoạn mã mà con người không thể đọc trọn vẹn hay không?

Có sự tính toán đằng sau việc chọn mã nguồn mở làm mục tiêu. Vì không chỉ vũ khí của Defense Department, mà toàn bộ hạ tầng dân sự cũng đặt trên cùng lớp mã công khai ấy, công nghệ bảo vệ lớp mã đó lập tức trở nên hữu ích cho cả quân sự lẫn dân sự. Ý tưởng là bảo vệ cả hai thế giới thông qua một cuộc thi. Nhìn từ bên ngoài, hình thức này có thể giống một màn trình diễn, nhưng bên trong nó là một phương pháp quản lý nghiên cứu. Nó biến những hy vọng mơ hồ thành con số, biến các tuyên bố thành kiểm chứng. Tiêu chí chấm điểm được cố định từ trước, điểm số được tính theo thời gian thực, và kết quả được công bố công khai.

Sau vòng bán kết tại DEF CON năm 2024, vòng chung kết được tổ chức từ ngày 7 đến ngày 10 tháng 8 năm 2025. Bảy đội lọt vào chung kết. Các hệ thống mà mỗi đội mang tới được gọi là cyber reasoning systems, hay CRS. Đó là các hệ thống phòng thủ tự động, có thể phân tích mã, tìm lỗ hổng, và tự tạo bản sửa mà không cần con người đứng bên cạnh chỉ dẫn. Từ khóa ở đây là quyền tự chủ. Trước đây, tìm lỗ hổng và sửa lỗ hổng thuộc về những người khác nhau. Một nhà nghiên cứu bảo mật tìm ra lỗ hổng và báo cáo. Một lập trình viên đọc báo cáo đó rồi sửa. Điều kiện của cuộc thi này là nối hai giai đoạn ấy vào trong một hệ thống duy nhất, không đi qua bàn tay con người. Tổng giải thưởng vòng chung kết là \$8.5 million, và riêng giải lớn cho đội hạng nhất là \$4 million. Về quy mô, nó vượt xa bảng giải thưởng của các cuộc thi hacking thông thường.

Hãy đi qua các con số ở vòng chung kết. Hệ thống của bảy đội đã đọc tổng cộng hơn 54 triệu dòng mã. Ban tổ chức cố ý giấu các lỗ hổng được tạo ra trong 63 nhiệm vụ. Các hệ thống tìm thấy 54 lỗ hổng trong số đó. Tỷ lệ là 86 phần trăm. Chúng không dừng lại ở việc tìm ra lỗ hổng. Với 43 lỗ hổng, chúng tạo ra mã sửa lỗi thực sự chạy được. Con số đó là 68 phần trăm.

Bước nhảy này nhanh đến mức nào sẽ rõ hơn khi so với năm trước. Ở vòng bán kết năm 2024, tỷ lệ phát hiện lỗi hổng chỉ ở mức 37 phần trăm, còn tỷ lệ tạo bản vá là 25 phần trăm. Trong mười hai tháng, khả năng phát hiện đã tăng hơn gấp đôi, còn khả năng sửa lỗi tăng gần hai lần rưỡi. Phạm vi ngôn ngữ cũng mở rộng. Ở vòng bán kết, các hệ thống chủ yếu chỉ thành công với mã C, nhưng ở vòng chung kết chúng cho thấy tỷ lệ thành công tương tự ở cả C và Java. Điều đó có nghĩa là kỹ năng này không chỉ hữu ích trong một ngôn ngữ. Việc lĩnh vực này đi xa đến vậy trong một thời gian ngắn cho thấy mọi thứ vẫn còn ở giai đoạn đầu, và những thay đổi lớn hơn nhiều có thể vẫn đang ở phía trước.

Một điểm khác cũng thu hút sự chú ý. Các hệ thống không chỉ bắt được những lỗ hổng giả do ban tổ chức cài vào. Chúng còn tìm thấy các lỗ hổng thật mà trước đó chưa ai biết. Vòng chung kết đã phát hiện tổng cộng 18 lỗ hổng thật: 6 lỗ hổng trong mã C và 12 lỗ hổng trong mã Java. Các đội tham gia không bí mật khai thác những điểm yếu đó. Họ báo cáo có trách nhiệm cho những người bảo trì các dự án mã nguồn mở liên quan. Một số đội gửi kèm cả mã sửa lỗi trong báo cáo. Một bài tập diễn ra trong hội trường thi đấu đã khiến phần mềm ngoài đời thật an toàn hơn một chút. Đó là khoảnh khắc một thử nghiệm không kết thúc như một thử nghiệm, mà để lại dấu vết bên ngoài căn phòng.

Tốc độ cũng rất đáng chú ý. Thời gian trung bình để các đội nộp mã sửa lỗi vào khoảng 45 phút. Có những lúc, ba đội ghi điểm ở các nhiệm vụ khác nhau chỉ trong vòng một phút. Phong cách sửa lỗi cũng khác nhau. Một đội giải quyết vấn đề bằng một bản sửa chính xác, chỉ thay đổi một dòng. Đội khác chặn vấn đề bằng cách viết thêm hơn 300 dòng mã mới. Ngay trước cùng một vấn đề, mỗi hệ thống lại cho thấy một tính cách khác. Đó là dạng đa dạng giống như đặt vài lập trình viên con người ngồi trong cùng một phòng. Chi phí trung bình để giải một nhiệm vụ là khoảng \$152. Tính theo tiền Hàn Quốc, hơn 200.000 won một chút. Con số chi phí này là ước tính của ban tổ chức, nên cần hiểu là gần đúng. Nhưng so với chi phí để con người tìm và sửa một lỗ hổng bảo mật, nó nằm ở một bậc hoàn toàn khác. Đó là con số làm lung lay phép tính về việc bảo vệ mã.

Không phải toàn bộ việc này chỉ dựa vào sức của vài nhóm riêng lẻ. Các công ty AI tuyển đầu như Anthropic, Google và OpenAI cấp cho mỗi nhóm 50.000 USD tín dụng để dùng các mô hình ngôn ngữ lớn của họ, tổng cộng 350.000 USD. Microsoft cung cấp tài nguyên đám mây cần cho tính toán, còn một tổ chức an ninh mã nguồn mở thuộc Linux Foundation đóng góp chuyên môn. Đó là bức tranh trong đó công nghệ mới nhất của khu vực tư nhân và mối quan tâm công cộng gặp nhau trên cùng một sân khấu. Nếu không có liên minh như vậy, các nhóm tham gia sẽ phải dồn sức tìm nguồn lực tính toán đắt đỏ trước khi kịp nghĩ đến thuật toán phòng thủ. Việc các công ty, chứ không phải chính phủ, hạ thấp rào cản tham gia cũng cho thấy tính chất của cuộc thi này. Một vấn đề quốc gia không chỉ do quốc gia gánh. Nó được đặt lên hạ tầng của doanh nghiệp tư nhân và được cùng nhau giải quyết.

Đội chiến thắng cuối cùng là Team Atlanta. Đây là một liên minh đa quốc gia gồm các nhà nghiên cứu từ Georgia Tech, Samsung Research, KAIST và POSTECH. Tên của các trường đại học Hàn Quốc và một công ty Hàn Quốc xuất hiện ở vị trí cao nhất trong danh sách thắng cuộc tại một cuộc thi của cơ quan quốc phòng Hoa Kỳ. Trail of Bits, một công ty an ninh nhỏ ở New York, đứng thứ hai và nhận 3 triệu USD. Theori, với nhân sự Hàn Quốc và Hoa Kỳ, đứng thứ ba và nhận 1,5 triệu USD. Chỉ nhìn nhanh vào danh sách thắng cuộc cũng thấy cuộc thi này không phải chuyện nội bộ của Hoa Kỳ, mà là cuộc tranh tài giữa những tài năng vượt qua biên giới quốc gia.

DARPA không định để cuộc thi này kết thúc như một màn trình diễn trong một ngày. Một số hệ thống suy luận mạng và công cụ liên quan của các đội vào chung kết đã được công bố, và một kế hoạch được kèm theo để đưa phần còn lại ra qua các kênh công khai. Lựa chọn ở đây là không khóa phương pháp của đội thắng lại cùng với giải thưởng, mà để chúng mở ra để toàn bộ lĩnh vực công nghệ phòng thủ cùng đi lên. Công cụ tấn công thường hữu dụng hơn khi được giấu kín, nhưng công cụ phòng thủ làm thế giới an toàn hơn khi chúng được lan rộng. Với một cuộc thi bắt đầu từ mục tiêu bảo vệ mã nguồn mở, việc suy nghĩ kỹ về cách công bố kết quả là một đoạn kết phù hợp. Giám đốc chương trình Andrew Carney nói rằng các chuyên gia an ninh từng hoài nghi về AI trước cuộc thi nay đã trở thành người ủng hộ và người dùng. Đó là nơi công nghệ làm đổi ý con người.

Chúng ta nên lùi lại và hỏi nên đọc bảng điểm này như thế nào. Tỷ lệ phát hiện 86 phần trăm trông rất ấn tượng, nhưng nhìn ngược lại, nó có nghĩa là cứ mười bốn lỗi thì bỏ sót một. Tỷ lệ sửa chữa 68 phần trăm cũng có nghĩa là một trong ba lỗi còn lại không được sửa. Trong một hệ thống phòng thủ thật, để lại một trong ba lỗi chưa sửa có thể biến chính chỗ đó thành cánh cửa để toàn bộ hệ thống bị xâm nhập. Phần lớn các con số này đến từ tài liệu DARPA công bố về cuộc thi của chính mình. Vì bên tổ chức là người báo cáo thành tích của cuộc thi, cách trung thực hơn là xem chúng như hồ sơ ghi nhận cho đến khi kiểm chứng độc lập từ bên ngoài xác nhận cùng kết quả. Liệu các hệ thống đã chạy tốt trên sân khấu có cho thấy cùng mức hiệu năng trước những đoạn mã cũ kỹ, rối rắm trong lĩnh vực quốc phòng thật hay không vẫn là câu hỏi còn mở. Mã dùng trong cuộc thi là mẫu sạch được sắp đặt để chấm điểm. Mã ngoài chiến trường quân sự đầy dấu vết vá sửa và mở rộng qua nhiều thập niên. Chiến thắng trên màn hình không giống với an toàn trên chiến trường. Ở phần tiếp theo, chúng ta sẽ tiếp tục với những nhiệm vụ mà phòng thủ tự động này để lại cho hoạt động mạng quốc phòng.

Những nhiệm vụ mà phòng thủ tự động để lại cho an ninh mạng quốc phòng

Sân khấu ở phần trước đã khép lại rực rỡ. Nhưng thứ còn lại sau sân khấu không chỉ là tiếng vỗ tay. Những câu hỏi cũng ở lại. Phần này sẽ lần lượt lấy những câu hỏi ấy ra xem xét.

Trước hết, hãy nhớ lại khung cảnh đó. Tháng 8 năm 2025, Las Vegas. Bảy trạm đội được dựng trên sân khấu DEF CON 33. Có người ngồi ở từng trạm, nhưng những bàn tay thật sự đọc và sửa mã không phải là con người. Chương trình mà mỗi đội mang đến, tức hệ thống suy luận mạng, tự quét phần mềm. Nó tìm ra điểm yếu và tạo mã sửa chữa để lấp các điểm yếu đó. Con người có mặt để quan sát. Tên cuộc thi là AI Cyber Challenge, hay AIXCC. Trong DARPA, đây là một chương trình an ninh mạng do văn phòng phụ trách công nghệ xử lý thông tin đảm nhiệm.

Chúng ta đã thấy vì sao một cơ quan nghiên cứu quốc phòng lại tổ chức cuộc thi như vậy. Việc dùng mắt người để nhìn qua từng dòng trong khối mã khổng lồ nhằm tìm điểm yếu gần như đã bất khả thi ngay từ đầu. Chuyên gia an ninh giỏi thì ít, còn mã thì tăng lên mỗi ngày. Nếu khoảng cách ấy không thể được thu hẹp bằng cách tuyển thêm người, con đường còn lại là giao việc đọc cho máy. AIXCC là nơi khả năng đó được thử nghiệm trên sân khấu.

Hãy phân tích quá trình một cỗ máy sửa mã. Một hệ thống suy luận mạng liên kết ba nhiệm vụ. Trước hết, nó đọc một chương trình và chỉ ra những vị trí đáng nghi. Sau đó, nó tự kiểm tra xem những vị trí ấy có thật sự bị tấn công phá vỡ hay không. Cuối cùng, nó viết và gán mã sửa chữa để bịt lỗ hổng. Với con người, ba bước này có thể mất nhiều ngày. Hệ thống xử lý chúng theo trình tự mà không cần con người ra lệnh. Chính mức tự chủ ấy là lý do những người tham gia trên sân khấu có thể rời tay khỏi bàn phím.

Các con số về hiệu suất đúng như chúng ta đã thấy ở phần trước. Những hệ thống vào chung kết đã đọc hơn 54 triệu dòng mã mà không qua tay con người, tìm ra 54 trong số 63 điểm yếu do ban tổ chức bí mật cài vào, và sửa được 43 điểm. Chúng cũng tìm ra 18 điểm yếu thật mà trước đó không ai biết, và với 11 điểm trong số đó, chúng tạo ra mã sửa chữa có thể dùng được trong thực tế. Chi phí trung bình để giải một vấn đề vào khoảng \$152, và thời gian sửa chữa trung bình là 45 phút. Đội chiến thắng là Team Atlanta.

Nếu dừng ở đây, câu chuyện trông rất gọn. Đó là hình ảnh máy móc thay con người canh giữ mã suốt đêm. Vấn đề nằm ở phần tiếp theo. Điều cuộc thi này để lại cho phòng thủ mạng quốc phòng không hẳn là một tấm khiên đã hoàn chỉnh, mà là một bó nhiệm vụ phải giải. Nếu lật lại các con số và đọc thêm một lần nữa, những nhiệm vụ ấy sẽ hiện ra.

Nhiệm vụ đầu tiên là những vị trí bị bỏ sót. Các hệ thống đã không tìm ra 9 trong tổng số 63 điểm yếu. Trong 54 điểm chúng tìm được, chỉ có 43 điểm thật sự được sửa, nghĩa là hơn mười điểm đã được phát hiện nhưng chưa được sửa chữa. Đó là trong một phòng thử nghiệm, nơi đáp án đã được đặt sẵn từ trước. Một mạng phòng thủ thật khác với phòng thử nghiệm. Không ai đánh dấu sẵn điểm yếu nằm ở đâu, và cách mã chồng chéo với nhau rối hơn nhiều. Việc tìm ra 86 phần trăm trên một sân khấu được kiểm soát không có nghĩa cùng mức hiệu suất ấy sẽ xuất hiện trong một mạng chiến trường thật. Muốn đưa phòng thủ tự động vào quốc phòng, con người vẫn phải tiếp tục theo dõi xem phần bị bỏ sót có thể bị xuyên thủng ở đâu và bằng cách nào.

Nhiệm vụ thứ hai là niềm tin. Giả sử một cỗ máy tạo ra mã sửa lỗi trong 45 phút. Liệu đoạn mã đó có thể được gắn ngay vào một mạng điều khiển vũ khí hoặc hạ tầng trọng yếu mà không qua con người rà soát không? Rất khó nhìn vào bên trong một câu trả lời do AI tạo ra để biết vì sao nó sửa mã theo cách ấy. Một bản sửa nhìn bề ngoài có vẻ ổn có thể tạo ra một lỗ hổng mới ở nơi khác. Lập luận rằng vì nó được sửa tự động nên cũng nên được áp dụng tự động là điều khó chấp nhận khi sinh mạng con người và hạ tầng quốc gia đang bị đặt vào rủi ro. Nhiệm vụ còn lại là quyết định phải giữ nguyên tắc máy móc có thể sửa chữa, nhưng con người nắm phán đoán cuối cùng, đến mức nào. Phòng thủ càng nhanh, quy tắc về thời điểm phải dừng tốc độ ấy lại và đưa con người vào càng quan trọng.

Nhiệm vụ thứ ba là ai kiểm chứng. Những con số đã nêu đến đây, 54 triệu dòng, \$152 và 45 phút, đều đến từ các thông báo của chính DARPA về cuộc thi của chính mình. Điều đó có nghĩa là bên tổ chức cuộc thi đã tự đếm thành quả của cuộc thi. Nhiều chương trình khác được bàn trong cuốn sách này cũng ở trong tình cảnh tương tự. Vẫn chưa có đủ tài liệu từ các tổ chức độc lập bên ngoài lặp lại công việc trong cùng điều kiện và xác nhận kết quả. Đây không phải là lời kêu gọi nghi ngờ năng lực đó. Điều này có nghĩa là phòng thủ mạng trong lĩnh vực quốc phòng vẫn còn thiếu quy mô cần có để tách năng lực thật khỏi lời tự khen: một hệ thống kiểm chứng của bên thứ ba. Càng giao phòng thủ cho máy móc, câu hỏi càng nặng hơn: ai kiểm tra xem máy thật sự đã làm việc hay chưa, và kiểm tra bằng cách nào?

Nhiệm vụ thứ tư nằm ở phía bên kia của bàn cân. Nói rằng một vấn đề có thể được giải quyết với khoảng 200.000 won và 45 phút nghĩa là phòng thủ đã rẻ hơn và nhanh hơn. Nhưng chính những công cụ ấy cũng có thể nằm trong tay bên tấn công. Công nghệ tìm điểm yếu trong mã cho bên phòng thủ biết trước phải đóng lỗ hổng nào, nhưng nó cũng cho bên tấn công biết trước phải xuyên thủng lỗ hổng nào. Khi giá giảm, cả hai phía sẽ dùng nó thường xuyên hơn và trên phạm vi rộng hơn. Khi phòng thủ tự động tiến lên, tấn công tự động cũng đi theo. Một quốc gia xây được chiếc khiên tốt không lập tức trở nên an toàn. Quốc gia đó bước vào một cuộc đua nơi cả giáo lẫn khiên đều tăng tốc. Nếu một quốc gia dẫn đầu về phòng thủ tự động, đối thủ của họ sẽ vội vã tiến vào tấn công tự động.

Thứ năm, có khoảng cách giữa sân khấu trình diễn và vận hành thật. Vòng chung kết DEF CON là nơi giải các bài toán đã được đặt ra trong một khoảng thời gian đã định. Một mạng phòng thủ thật không chạy trong một ngày, mà chạy 365 ngày mỗi năm. Các cuộc tấn công đến không báo trước, và mã của ngày hôm qua không còn là mã của ngày hôm nay. Một hệ thống thể hiện tốt trong một cuộc thi có thể được gắn vào một mạng thật chạy không nghỉ và được tin cậy trong thời gian dài hay không lại là câu hỏi khác. Một cuộc thi cho thấy khả năng. Đưa khả năng ấy vào vận hành hằng ngày là việc bắt đầu lại sau khi cuộc thi kết thúc.

Bản thân DARPA không gọi kết quả này là điểm cuối của phòng thủ. Trong các tài liệu chính thức tóm lược cuộc thi, cơ quan này mô tả khoảnh khắc ấy như một bước ngoặt trong phòng

thủ mạng. Điều đó không hẳn là lời tuyên bố rằng mọi thứ đã hoàn tất, mà là một điểm mà từ đó hướng đi thay đổi. Cảnh những cỗ máy sửa mã ngay trên sân khấu rất sống động, nhưng điều nó để lại gần với những câu hỏi hơn là tiếng vỗ tay. Vận hành phòng thủ một cách tự động cũng có nghĩa là phải quyết định ai giám sát thiết bị tự động ấy và ai có quyền dừng nó. Công việc tạo ra công nghệ và công việc đặt ra quy tắc để quản lý công nghệ đó luôn phải đi cùng nhau.

Với độc giả Hàn Quốc, cảnh này có thể được đọc theo hai tầng. Team Atlanta, đội chiến thắng, có các nhà nghiên cứu từ KAIST và POSTECH. Tên của Samsung Research cũng xuất hiện cùng họ. Những bàn tay Hàn Quốc đã vươn tới hàng đầu của sân khấu này. Nhưng khung thiết kế sân khấu, đặt ra bài toán, đo hiệu suất và đưa kết quả vào chính sách quốc phòng lại thuộc về Hoa Kỳ. Làm tốt trong một cuộc thi công nghệ và đặt công nghệ đó thành một nhiệm vụ quốc phòng mà quốc gia phải tự giải quyết là hai việc khác nhau. Một đất nước đào tạo được những người chơi giỏi không nhất thiết là đất nước thiết kế được một đấu trường tốt. Danh sách nhiệm vụ mà phòng thủ tự động để lại không chỉ thuộc về Hoa Kỳ. Nó cũng đã được trao cho chúng ta, bởi tên của chúng ta đã xuất hiện trên sân khấu ấy. Quan trọng hơn việc ai thắng cuộc thi tiếp theo, cuộc đua bền lâu hơn sẽ là ai viết ra trước, bằng chính ngôn ngữ của mình, năm câu hỏi còn lại sau khi trận đấu kết thúc.

Chương 5 AI đáng tin cậy: AI Forge, SABER và GARD

Mở đầu: AI thông minh và AI đáng tin cậy là hai bài toán khác nhau

Hãy bắt đầu bằng hai căn phòng đặt cạnh nhau. Căn phòng thứ nhất là phòng họp tại một công ty AI tuyển đầu. Trên màn hình là biểu đồ hiệu năng của một mô hình mới. Độ chính xác đã tăng so với quý trước, số người dùng đã tăng, và vòng gọi vốn tiếp theo đang đến gần. Mọi người đang bàn xem nên bán mô hình này ở đâu. Quảng cáo, hỗ trợ khách hàng, viết mã, tóm tắt tài liệu. Cuộc trao đổi dần nghiêng về tiền. Đó là một cảnh quen thuộc. Phần lớn các bước tiến AI khiến thế giới kinh ngạc trong vài năm qua đã ra đời từ những căn phòng như thế này.

Cùng lúc đó, có một căn phòng hoàn toàn khác. Các lãnh đạo phụ trách AI của Department of Defense và các cơ quan tình báo đã tụ họp. Những câu hỏi họ đặt ra có sắc thái khác hẳn với những câu hỏi trong phòng họp kia. Mô hình này có đưa ra cùng một phán đoán trên chiến trường khi điện đã mất và liên lạc bị chặn không? Nếu đối thủ đã bí mật đầu độc dữ liệu huấn luyện, nó có nhận ra không? Vào khoảnh khắc mạng sống của một binh sĩ phụ thuộc vào nó, con người có thể lập tức hiểu vì sao nó đưa ra quyết định ấy không? Các mô hình thương mại không được xây dựng để trả lời những câu hỏi này. Chúng cũng không có lý do để làm vậy.

Ba chương trình trong chương này đều sinh ra từ khoảng cách giữa hai căn phòng ấy. AI Forge cố gắng thu hẹp toàn bộ khoảng cách đó vào một đấu trường nghiên cứu cấp quốc gia. SABER đi thẳng vào bài toán kiểm tra thật sự những AI sẽ được đưa ra chiến trường. GARD cố gắng giải thích, trên bình diện lý thuyết, nền tảng của việc vì sao AI bị đánh lừa. Chúng nhắm tới những điểm khác nhau, nhưng câu hỏi nằm bên dưới chỉ có một. Tạo ra AI thông minh và xác nhận liệu AI ấy có thể được tin cậy hay không là hai việc riêng biệt. U.S. Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA, đã bắt đầu trực tiếp xử lý bài toán thứ hai này.

AI Forge và vấn đề an ninh quốc gia

Chương trình AI Forge của DARPA, được giới thiệu vào năm 2026, bắt đầu bằng việc đặt tên cho khoảng cách giữa hai căn phòng vừa được mô tả. DARPA gọi khoảng cách này là 'khoảng cách AI có thể triển khai'. AI thương mại đã tiến bộ với tốc độ chói mắt, nhưng tiến bộ đó không tự động chuyển sang môi trường an ninh quốc gia. AI Forge không phải do một mình DARPA tạo ra. Đây là một hệ sinh thái nghiên cứu và phát triển có sự tham gia của U.S. National Science Foundation và Center for AI Standards and Innovation thuộc National Institute of Standards and Technology. Từ 'Forge' trong tên gọi cho thấy tính chất của kế hoạch. Đây không phải là nơi mua hàng hóa đã hoàn thiện. Đây là nơi kim loại được nung nóng và rèn bằng búa, nơi các công cụ cần thiết được trực tiếp rèn ra.

Vì sao khoảng cách này xuất hiện? Cách giải thích của DARPA rất rõ. Đối mới AI hiện nay do một số ít công ty AI tuyển đầu dẫn dắt. Các công ty này tập trung vào thương mại hóa và lợi

nhuận đầu tư. Điều đó không sai. Doanh nghiệp theo đuổi lợi nhuận là chuyện tự nhiên. Vấn đề nằm ở chỗ những phẩm chất mà an ninh quốc gia đòi hỏi thường không tạo ra tiền. Bảo đảm, khả năng dự đoán, độ tin cậy, sức chống chịu, tính minh bạch. Năm phẩm chất này không cần hoàn hảo trong các ứng dụng tiêu dùng. Nếu một đề xuất sai một lần, hoặc một bản tóm tắt hơi lệch, sẽ không có ai chết. Hoạt động quân sự thì khác. Chúng diễn ra trong môi trường rủi ro cao, nơi sinh mạng bị đặt lên bàn cân, vận hành với tốc độ con người không thể kiểm tra từng việc một, và xảy ra ở nơi đối thủ liên tục tìm cách làm sập hệ thống. Các tài liệu ngân sách năm tài khóa 2026 của Department of Defense cũng đưa ra cùng một chẩn đoán. Trong khi một số ít công ty AI tuyến đầu đã thúc đẩy đổi mới để tìm kiếm lợi nhuận, những phẩm chất cần cho an ninh quốc gia đã bị đẩy sang một bên. AI Forge bắt đầu từ quyết định của nhà nước: tự đứng ra xử lý những vấn đề khó mà khu vực tư nhân đã bỏ lại.

Chương trình này định làm gì? DARPA đã tập hợp các lãnh đạo AI từ hơn mười lăm cơ quan quốc phòng và tình báo, các công ty AI tuyến đầu, cùng đại diện giới học thuật để xác định các nhiệm vụ AI phục vụ an ninh quốc gia. Cơ quan này công bố kết quả dưới dạng một báo cáo chính thức và nối các kết quả đó với 'America's AI Action Plan' của White House. Điều đó có nghĩa là chương trình được đặt trong một bức tranh quốc gia rộng hơn. Các nhiệm vụ được chọn được chia thành ba nhánh. Chúng ta lần lượt xem từng nhánh.

Nhánh thứ nhất là khả năng diễn giải. Điều này có nghĩa là con người phải biết được vì sao AI đưa ra một câu trả lời nhất định. DARPA không nhắm tới kiểu giải thích mà các nhà nghiên cứu có thể chậm rãi mổ xẻ trong phòng thí nghiệm. Cơ quan này đòi hỏi một mức độ mà người vận hành có thể hiểu ngay hành vi của hệ thống tại hiện trường, đúng vào khoảnh khắc phải đưa ra phán đoán. DARPA gọi đó là 'khả năng diễn giải trong vận hành.' Đi sâu thêm một bước, thuật ngữ 'diễn giải nhân quả' xuất hiện. Một mối tương quan như 'đặc trưng này đã ảnh hưởng đến phán đoán' là chưa đủ. Mục tiêu là xác minh cơ chế nào bên trong AI thực sự gây ra quyết định đó, và cơ chế ấy sẽ vận động ra sao dưới áp lực. Nhánh này cũng bao gồm việc xác định liệu các kết quả khoa học do AI tạo ra có đúng hay không, và xây dựng các gói bằng chứng có thể truy vết và kiểm toán.

Nhánh thứ hai là kiểm soát. Khi năng lực quân sự của AI tăng lên, những thiết bị giữ cho nó không rời khỏi ý định của con người phải được tích hợp vào hệ thống. DARPA muốn nhúng các cơ chế kiểm soát vào bên trong mô hình, thay vì gắn chúng ở bên ngoài. Thiết kế này yêu cầu hệ thống tự đưa ra bằng chứng về mức độ bất định của chính nó, và biết cách tạm dừng phán đoán khi mục tiêu hoặc tình huống thay đổi. Khi AI tự tạo ra mã hoặc dữ liệu khác, hoặc sửa đổi các mô hình khác, hồ sơ nguồn gốc phải truy vết được điểm xuất phát đến tận cùng để lỗi không lan qua chuỗi cung ứng phần mềm. Các cấu trúc ngăn giữ có thể dừng hoặc quay lui AI một cách an toàn khi nó rời khỏi đường đi dự kiến cũng thuộc cùng thiết kế này. Yêu cầu từ bỏ tuyên bố yếu rằng 'nó hoạt động tốt trong phòng thí nghiệm' và xây dựng các phương pháp đánh giá có thể ước tính hiệu năng trước khi triển khai thực địa cũng nằm trong nhánh này.

Nhánh thứ ba là sức chống chịu trước đối thủ. Trong ba nhánh, đây là nhánh gần chiến trường nhất. Đối phương không phải là nhiều tự nhiên, mà là một kẻ địch biết suy nghĩ. Các mô hình lớn được huấn luyện trên dữ liệu ở quy mô internet dễ bị tấn công bằng cách làm nhiễm bẩn dữ liệu, trong đó đối thủ bí mật cài thông tin độc hại vào dữ liệu huấn luyện. Dấu vết không dễ lộ ra trong thống kê. Chúng ẩn khỏi tầm nhìn, rồi kéo mô hình đi sai hướng vào khoảnh khắc quyết định. AI Forge tìm cách xây dựng nền tảng khoa học cho những hệ thống được thiết kế ngay từ đầu để chịu được các cuộc tấn công như vậy. Các nhiệm vụ của nó bao gồm bảo vệ AI học và tiến hóa theo thời gian thực trong nhiệm vụ để nó không thừa hưởng các lỗ hổng mới, và tạo ra các tiêu chuẩn đo sức chống chịu với độ chính xác đủ để dùng cho chứng nhận an ninh quốc gia, thay vì chỉ đo từng mảnh rời rạc. Nhánh thứ ba này là nơi GARD và SABER, được bàn dưới đây, trực tiếp gặp chương trình.

Mô hình vận hành cũng đáng chú ý. AI Forge không chỉ là một cửa sổ phân phối kinh phí nghiên cứu. Nó là một nền tảng kết nối nhiều tác nhân. Sau khi DARPA phát đi yêu cầu cung cấp thông tin, khoảng 130 trường đại học hàng đầu của Hoa Kỳ đã phản hồi. Con số này cho thấy giới học thuật đã khát đề bài này đến mức nào. Chương trình dự kiến chính thức khởi động vào mùa hè năm 2026 dưới hình thức do một tổ chức phi lợi nhuận quản lý, và tìm cách kết nối các mô hình khổng lồ cùng tài nguyên tính toán của các công ty AI tuyển đầu với tài năng nghiên cứu cơ bản của các trường đại học. Nó nhắm tới cả quy mô lẫn chiều sâu, những thứ mà không bên nào dễ đạt được một mình. Doanh nghiệp có mô hình và sức mạnh tính toán, nhưng thiếu đủ nhân sự để làm nghiên cứu sâu theo nhiệm vụ. Đại học có trí tuệ, nhưng không có nguồn lực để chạy các mô hình khổng lồ. Thiết kế của đấu trường này là ghép hai sự thiếu hụt ấy lại với nhau. Cũng đáng lưu ý là mười lăm nhiệm vụ không bị cố định tại chỗ, mà sẽ được sửa đổi sáu tháng một lần. Trong một lĩnh vực mà công nghệ có thể thay đổi chỉ trong nửa năm, danh sách nhiệm vụ sẽ cố gắng bắt kịp nhịp đó.

Đó là những gì các tài liệu chính thức nói. Tôi xin vạch rõ một ranh giới ở đây. AI Forge là một chương trình mới bắt đầu vào năm 2026. Thứ chúng ta đang có trong tay hiện nay là một kế hoạch, một báo cáo và phản hồi từ các trường đại học, chứ chưa phải kết quả đã được kiểm chứng. Việc 130 trường đại học giơ tay tham gia cho thấy giới học thuật quan tâm, nhưng chưa ai biết sự quan tâm ấy có tạo ra được AI không thất bại trong môi trường quốc phòng thực tế hay không. Trước đó, tôi đã hứa sẽ không đọc các tài liệu kế hoạch như thể chúng là thành tựu. AI Forge cũng nằm dưới quy tắc đó. Công nghệ mà đấu trường này, sẽ mở vào mùa hè, đưa ra thực địa sau vài năm nữa phải được đánh giá vào lúc đó, không phải bây giờ.

Với độc giả Việt Nam, câu hỏi mà câu chuyện này đặt ra rất rõ. Hoa Kỳ đang từ chối con đường chỉ mua AI thương mại đã hoàn thiện. Họ đang cố xây dựng nền tảng AI riêng chỉ dành cho quốc phòng bằng cách buộc vốn quốc gia, nhân tài đại học và hạ tầng Big Tech lại với nhau. Bên dưới phán đoán đó là một cảm giác khủng hoảng: ngay cả một AI được làm tốt cũng trở thành lỗ hổng an ninh nếu nó sụp đổ trước đòn tấn công của đối phương. Nhìn lại ba nhóm

nhệm vụ, đây không phải cuộc thi xem AI của ai thông minh hơn. Đây là câu hỏi ai sẽ có trước loại AI có thể chịu đựng được trong tầm kiểm soát của con người giữa các cực hạn chiến trường và hoạt động tấn công mạng của đối phương. Rất dễ ghen tị với cấu trúc này. Nhưng có một điều cần hỏi trước khi ghen tị. Chúng ta đã từng định nghĩa lại các điểm yếu của AI thương mại bằng ngôn ngữ an ninh quốc gia hay chưa? Nếu trì hoãn câu trả lời đó và chỉ nhập khẩu tên gọi các chương trình của người khác, chúng ta sẽ chỉ còn lại một đấu trường giống cái vỏ bên ngoài, không hơn. Khi câu hỏi thứ ba trong ba câu hỏi của AI Forge, khả năng chống chịu trước tấn công đối nghịch, được kéo xuống chiến trường thực tế, chương trình tiếp theo xuất hiện.

SABER và vấn đề kiểm chứng AI chiến trường

Một AI được gắn trên xe chiến đấu nhìn thấy một vật thể trên đường. Màn hình ghi 'xe dân sự.' Phán đoán đó có đúng không? Nếu ai đó đã dán một họa tiết gần như không nhìn thấy lên bề mặt chiếc xe, hoặc trộn một lượng nhiễu rất nhỏ vào tín hiệu đi vào cảm biến, cùng một vật thể ấy có thể bị đọc theo cách hoàn toàn khác. Những thủ thuật này đã nhiều lần được chứng minh trong phòng thí nghiệm. Vấn đề là phần lớn các màn chứng minh đó diễn ra trong điều kiện nhà nghiên cứu có thể tự do kiểm tra dữ liệu và bên trong mô hình. Đánh lừa một hệ thống khi bạn đang nắm mọi thứ trong tay khác với việc một đối thủ không biết gì về bên trong hệ thống đánh lừa nó trên một chiến trường đầy bụi.

Hãy nhìn kỹ hơn vào sự khác biệt này. Trong phòng thí nghiệm, một nhà nghiên cứu đánh lừa AI thường nắm ba thứ: dữ liệu mà nó đã được huấn luyện, cấu trúc của mô hình, và điểm nào sẽ làm lung lay phán đoán của nó nếu bị tác động. Một cuộc tấn công thành công trong các điều kiện ấy cho thấy rằng 'điểm yếu này tồn tại về mặt lý thuyết.' Kẻ địch trên chiến trường thường không có những thông tin đó. Thứ kẻ địch có là dáng vẻ bên ngoài của hệ thống bên ta và ý chí làm nó dao động. Các tài liệu ngân sách của Department of Defense cũng chỉ ra rằng phần lớn mô hình tấn công AI được nghiên cứu cho đến nay rất khó thực hiện trong thế giới vật lý, hoặc dựa vào những giả định không thực tế rằng kẻ địch đã có một mức độ tiếp cận nào đó với hệ thống bên ta. Vì vậy, thành công trong phòng thí nghiệm không lập tức có nghĩa là mối đe dọa trên chiến trường, và an toàn trong phòng thí nghiệm cũng không bảo đảm an toàn trên chiến trường. Việc kiểm chứng trở nên khó khăn chính trong khoảng cách này.

Đây là khoảng cách mà DARPA đã đưa vào chương trình mang tên SABER. Tên đầy đủ của nó là Securing Artificial Intelligence for Battlefield Effective Resilience. Tên này được ghép từ các chữ cái đầu trong tiếng Anh, và chương trình do Information Processing Techniques Office của DARPA vận hành. Đối tượng của nó trải rộng qua trí tuệ nhân tạo, tự chủ và mạng. Chỉ riêng việc ba nhánh này được buộc lại trong một chương trình đã cho thấy tính chất của vấn đề. Điểm yếu của AI không chỉ nằm trong mã nguồn. Chúng trở nên thật sự nguy hiểm khi thao túng vật lý và xâm nhập mạng chồng lên nhau. Một họa văn gắn lên bề mặt là thao túng vật lý, nhiễu trộn vào tín hiệu là xâm nhập mạng, còn việc đọc sai nó là phán đoán của AI. Nếu ba thứ này

được kiểm tra riêng rẽ, từng thứ có thể trông ổn, nhưng chúng có thể sụp đổ trước một cuộc tấn công kết hợp. Department of Defense dự kiến các quốc gia đối thủ sẽ phát triển đúng kiểu tấn công kết hợp giữa AI, mạng và vật lý như vậy, tinh luyện chúng thành các tactics, techniques, and procedures rõ ràng, rồi dùng chúng để nhắm vào AI quân sự của Hoa Kỳ.

DARPA đặt vấn đề theo cách này. Người ta đã biết rằng đối thủ có nhiều cách đẩy AI bên ta vào tình trạng hoạt động suy giảm. Người ta cũng đã biết rằng AI chứa những điểm yếu mà đối thủ có thể nhắm tới. Điều chưa được nắm chắc là đối thủ sẽ kết hợp các kiểu tấn công ấy như thế nào để tạo ra thiệt hại thật trên chiến trường. U.S. Army Lieutenant Colonel Nathaniel Bastian, người dẫn dắt SABER, nói rằng chương trình phải đứng ở tuyến đầu của những sự kết hợp đó. Ông nói thêm rằng binh sĩ có quyền biết liệu AI họ dùng có an toàn và có chịu được các mối đe dọa từ kẻ địch hay không. Nếu người cầm vũ khí không biết liệu vào một thời điểm nào đó vũ khí ấy có thể quay ngược lại mình hay không, thì vũ khí đó không phải là tài sản mà là gánh nặng. Biết từng điểm yếu riêng lẻ và biết thứ tự những điểm yếu ấy sẽ bùng phát trong chiến đấu thật là hai loại tri thức khác nhau. Cái thứ nhất là một danh sách. Cái thứ hai là một kịch bản.

Vì vậy, cách tiếp cận của SABER không phải là dựng thêm một bức tường phòng thủ, mà là tạo ra kẻ tấn công ngay bên trong phía mình. Ý tưởng là thiết lập một 'AI red team' thường trực trong Department of Defense. Mượn định nghĩa từ National Institute of Standards and Technology, red team là một nhóm được trao quyền và được tổ chức để mô phỏng năng lực tấn công và khai thác của một đối thủ tiềm tàng. Nếu lực lượng phòng thủ được gọi là blue team, thì red team cố ý tấn công AI bên ta và cho thấy biện pháp phòng vệ nào thật sự có tác dụng. Nó giống một đội bóng đá tự đá hết sức với chính mình trong buổi tập để khỏi mắc lỗi trong trận đấu thật. Điểm khác là bài tập red-versus-blue này không kết thúc sau một vòng.

Đó là điểm SABER tách khỏi các cách kiểm tra hiện có. Việc kiểm chứng AI hiện nay gần với một phương pháp kiểm tra một lần trước khi triển khai rồi đóng dấu phê duyệt. Lập luận là vũ khí đã vượt qua bài kiểm tra trước khi được đưa ra sử dụng, nên như vậy là ổn. SABER nói rằng nó sẽ không dừng lại ở lần kiểm tra một lần đó. Nó sẽ tiếp tục đưa vào các công cụ chống AI và kỹ thuật tấn công mạng mới xuất hiện, liên tục thử tấn công, và trong quá trình ấy đo quy mô rủi ro mà chiến trường thật sẽ đối mặt. Nó coi kiểm chứng không phải là một sự kiện, mà là một trạng thái. Một AI từng được đánh giá là an toàn không an toàn mãi mãi. Nó phải tiếp tục nằm trên giá thử trong khi phương pháp của đối phương thay đổi. Cũng như cài phần mềm diệt virus một lần chưa phải là xong và phần mềm đó phải tiếp tục được cập nhật, an toàn AI đang được định nghĩa lại thành thứ cũng phải được cập nhật.

Các mục tiêu được đặt lên giá thử rất rõ. Chúng không phải là những công nghệ tưởng tượng của tương lai xa, mà là các hệ thống có khả năng được triển khai trên chiến trường thật trong vòng một đến ba năm tới. Trong đó có các hệ thống không người lái trên mặt đất và trên không

do AI điều khiển, nói dễ hiểu là xe robot và drone. Việc ấn định khung thời gian như vậy có ý nghĩa riêng. Thay vì lo trước về những công nghệ cách xa hàng chục năm, chương trình sẽ thử nghiệm những vũ khí sắp đứng bên cạnh binh sĩ. Cách vận hành cũng được công khai. Đây là một chương trình một giai đoạn kéo dài 24 tháng, được cấu trúc bằng bốn pha và các thí nghiệm. Các hệ thống vũ khí AI đã được chế tạo sẽ bị đưa vào môi trường giống chiến trường, bị tấn công lặp đi lặp lại, rồi được quan sát xem có trụ được hay không. Các bản tóm tắt đề xuất và đề xuất để tuyển chọn đơn vị thực hiện đều có hạn nộp. Điều đó có nghĩa là tài liệu đã nêu rõ khi nào chương trình mở ra và nó sẽ xử lý những gì.

Chúng ta phải lùi lại một bước. SABER là một kế hoạch, không phải một kết quả. Tài liệu chương trình và các thông báo cho biết nó định làm gì, chứ không cho biết nó đã đạt được gì. Hiện chúng ta chưa có tài liệu bên ngoài cho thấy đội đỏ đã tìm ra bao nhiêu lỗ hổng, hoặc hệ thống vũ khí nào đã trở nên an toàn hơn bao nhiêu nhờ kết quả đó. Vì vậy SABER phải được nhìn nhận thận trọng. Nếu chúng ta giả định rằng một thiết kế vững chắc sẽ tạo ra kết quả vững chắc, chúng ta rơi vào mâu thuẫn là tin một chương trình về kiểm chứng mà chưa có kiểm chứng. Như thường thấy ở các chương trình của DARPA, giữa mục tiêu viết trong tài liệu và kết quả cầm trên tay luôn có một khoảng thời gian. Câu hỏi của SABER thì rõ, nhưng phải chờ khoảng thời gian ấy đi qua thì câu trả lời của nó mới xuất hiện.

Dù vậy, điều chương trình này để lại cho độc giả Hàn Quốc là rõ ràng. Khi nói về AI quốc phòng, mắt chúng ta thường hướng về việc làm cho nó nhanh hơn và thông minh hơn. Nhận dạng mục tiêu chính xác hơn, phán đoán nhanh hơn, tự chủ nhiều hơn. SABER quay về hướng ngược lại và trước hết hỏi liệu AI đã được tạo ra có tránh được việc bị đối phương thao túng hay không. Nó chuyển trọng tâm từ cuộc đua tốc độ phát triển sang sống sót và kiểm chứng. Có một điểm hai lực này va vào nhau. Lực muốn nhanh chóng đưa vũ khí ra dùng và lực muốn kiểm chứng an toàn đến tận cùng kéo ngược nhau. Nếu kiểm chứng chạy như một quy trình thường trực, triển khai sẽ chậm lại. Nếu triển khai bị thúc ép, kiểm chứng sẽ mỏng đi. SABER không xóa bỏ căng thẳng đó. Nó cố đưa căng thẳng ấy vào trong một thiết chế. Đội đỏ thường trực chính là hình thức cố định căng thẳng đó bên trong tổ chức.

Bat ky quoc gia nao tim cach phat trien vu khi AI deu se dung truoc cung nhung cau hoi. Chung ta da thuc sukiem thu AI ma minh du dinh dua ra chien truong chua? Baikiem tra do se ket thuc mot lan truoc khi trien khai, hay se tiep tuc trong suot thoi gian ke thu thay doi phuong phap? Va ai se tien hanhkiem thu? Nhung nguoi xay dung he thong phong thu se tukiem tra no, hay mot to chuc chuyen trach rieng se duoc lap ra de co y tan cong cac he thong cua phe minh? SABER van chua chung minh duoc cau tra loi cua minh. Nhung no da ro rang doi vi tri cua cau hoi. Truoc van de tao ra AI tot, no dat van de xac nhan lieu AI do co dang tin hay khong. De lam cong viec mang ten xac minh nay, can them mot nen tang nua. Do la ly thuyet giai thich vi sao AI bi danh lua va bi danh lua theo nguyen tac nao. Chuong trinh thu ba di thang vao cho do.

Lỗi giai thích của GARD về phong thủ AI đối kháng

Một bức ảnh hiện trên màn hình. Mặt người không thay có gì sai. Một vài điểm nhỏ rất nhỏ, tinh vi đến mức con người khó nhận ra, được đặt lên trên bức ảnh. Sau đó câu trả lời của bộ phân loại AI đảo ngược hoàn toàn. Một cỗ máy vừa trả lời rằng đó là một vật thể này, sau khi thêm nhiều lại nói đó là một vật thể hoàn toàn khác. Con người không cảm thấy khác biệt, nhưng máy nhìn thấy một thể loại khác. DARPA đặt tên cho hiện tượng này là: danh lừa đối kháng. GARD là chương trình nhắm trực tiếp vào kiểu danh lừa này. Nếu SABER hỏi việc danh lừa này phải được xác minh trên chiến trường ra sao, thì GARD có gắng nhận diện bản chất của chính sự danh lừa đó ở một tầng sâu hơn.

Ngay cái tên đã chưa mục đích. GARD là viết tắt của Guaranteeing AI Robustness against Deception. Nếu diễn đạt theo tiếng Hán Quốc, nó có nghĩa là bảo đảm sức chống chịu của AI trước sự danh lừa. Chương trình do DARPA's Information Processing Techniques Office vận hành, và các chủ đề của nó được xếp vào nhóm thuật toán và mạng. Đối tượng phong thủ và mục tiêu đều nằm trong cái tên. Cần ngăn chặn điều gì? Sự danh lừa. Cần bảo vệ điều gì? Sức chống chịu của AI.

Vì sao cần một chương trình như vậy? Vì khi học máy nhanh chóng đi vào vũ khí và thiết bị giám sát, những điểm yếu trước đây chưa từng có cũng đi theo nó. Một hệ thống tự chủ càng giỏi, nó càng giao phó phán đoán cho đôi mắt của máy. Nếu đôi mắt ấy bị đánh lừa, mọi phán đoán phía sau nó đều sai theo. Nếu AI nhận dạng mục tiêu bị đánh lừa, kết quả không dừng lại ở một câu trả lời sai cho một bức ảnh. Trên chiến trường, các phán đoán sinh tử cũng sai theo. Những trường hợp một miếng dán gần như không nhìn thấy, đặt trên biển báo dừng, có thể khiến AI trong xe tự hành hoặc hệ thống nhận dạng mục tiêu đọc nó thành một tín hiệu khác cho thấy rõ mối nguy này. Cùng nguyên lý ấy có thể tạo ra tình huống một hoa văn nào đó sơn trên xe tăng đồng minh khiến AI của đối phương bỏ qua nó như phông nền, hoặc một hoa văn gắn trên xe dân sự khiến xe đó bị nhầm là mục tiêu. Mô tả chương trình GARD ghi nhận rằng, dù nghiên cứu về tấn công đối nghịch mới có lịch sử ngắn, hàng chục phương pháp tấn công và phòng thủ đã xuất hiện. Vấn đề nằm ở chỗ cán cân nghiêng về một phía. Kẻ tấn công ngày càng cần biết ít hơn về hệ thống mục tiêu. Nhưng các cuộc tấn công vẫn mạnh lên và dễ dàng vượt qua những lớp phòng thủ đã dựng sẵn. Bên phòng thủ luôn chậm một bước. GARD bắt đầu từ chính sự bất đối xứng này.

Vì sao các biện pháp phòng thủ cho đến nay vẫn tụt lại? Mô tả của GARD chỉ ra hai lý do.

Một là các biện pháp phòng thủ quá hẹp. Những kỹ thuật phòng thủ hiện nay được chỉnh cho một kiểu tấn công cụ thể. Nếu kẻ tấn công chỉ thay đổi hình thức một chút, tất nhiên lập tức bị xuyên thủng. Vấn đề thật sự là chưa có lý thuyết nào đi đến tận gốc vì sao học máy bị đánh lừa. Một phương pháp cứ thấy lỗ hổng nào thì bịt lỗ hổng đó không thể theo kịp tốc độ những lỗ hổng mới mở ra. Bên phòng thủ chỉ xử lý được những cuộc tấn công đã xuất hiện, trong khi kẻ

tấn công có thể tạo ra những cuộc tấn công chưa từng xuất hiện. Ngay từ đầu, cuộc đấu này đã bất lợi cho bên phòng thủ.

Hai là các phương pháp đánh giá tách rời thực tế. Cách đo xem AI vững đến đâu vẫn chỉ là những chỉ số mỏng, không gắn với các tình huống an ninh thật. Một mô hình trông vững trong phòng thử nghiệm có thể sụp đổ yếu ớt trước một mối đe dọa thật. Chúng ta đã nhầm những mô hình có điểm số cao nhưng sức chịu đựng kém ngoài hiện trường là mô hình vững. Nếu cầm sai thước đo, ta sẽ cho qua sai đối tượng.

Câu trả lời của GARD là đối hướng. Không vá từng lỗ hổng mỗi khi nó bị xuyên thủng nữa, mà trước hết xây dựng nền tảng lý thuyết để hiểu vì sao học máy bị đánh lừa. Trên nền tảng đó, GARD nhắm tới ba việc: tìm điểm yếu của hệ thống trước khi chúng bị tấn công, xác định những thuộc tính khiến mô hình vững chắc, và tạo ra các biện pháp phòng thủ có thể chặn cả một lớp tấn công rộng, chứ không chỉ một kiểu tấn công riêng lẻ. Việc thứ ba là cốt lõi. Mục tiêu không phải là đánh bại một đòn tấn công, mà là tìm ra một thuộc tính khiến cả một họ tấn công trở nên vô hiệu. Phương pháp đánh giá cũng được xây lại. Nó không dừng ở một điểm chuẩn benchmark. Nó chọn cách kiểm tra xem các biện pháp phòng thủ có thật sự chịu được trong những kịch bản mô phỏng tình huống thực hay không. Thái độ ở đây là đo khả năng sống sót ngoài hiện trường, chứ không phải lấy điểm đẹp trong phòng thí nghiệm.

Chỉ lý thuyết thì không thay đổi được gì. Để biến ý tưởng này thành công cụ thật, GARD lập một liên minh nghiên cứu. Các nhà nghiên cứu từ Two Six Technologies, IBM, MITRE, University of Chicago và Google Research cùng tham gia. Và họ không khóa kết quả trong kho lưu trữ của Department of Defense. Họ đưa chúng lên GitHub, một kho mã công khai được dùng rộng rãi trên toàn thế giới. Thay vì giấu công nghệ phòng thủ, họ mở ra để các nhà nghiên cứu trên khắp thế giới có thể cùng dùng và cùng cải thiện. Trong một đấu trường nơi kỹ thuật tấn công lan nhanh hơn kỹ thuật phòng thủ, có thể đọc ra phán đoán rằng nhiều con mắt đáng tin hơn một số ít bí mật.

Có hai kết quả nổi bật. Một là bãi thử nghiệm ảo có tên Armory. Đó là nơi các thuật toán phòng thủ mới được tạo ra có thể được kiểm tra lặp đi lặp lại trong những kịch bản ảo khắc nghiệt, để xem chúng có thật sự vững chắc hay không. Đây là bãi thử dành cho các nhà nghiên cứu muốn có những đánh giá có thể lặp lại, mở rộng quy mô và chịu sức ép lớn. Kết quả còn lại là Adversarial Robustness Toolbox, gọi tắt là ART. Đây là một gói phần mềm giúp các nhà phát triển và nhà nghiên cứu bảo vệ mô hình của họ trước nhiều mối đe dọa đối kháng khác nhau, đồng thời đo xem các lớp phòng thủ ấy mạnh đến đâu. Một bãi thử và một hộp công cụ đã được mở ra cùng lúc.

Mối lo mà GARD nêu ra không dừng lại ở riêng chương trình này. Các chương trình an ninh AI khác mà DARPA đưa ra sau đó cũng kế thừa cùng mối lo ấy. Trong AI Forge, một trong ba lĩnh vực nghiên cứu cốt lõi là khả năng chống chịu trước tấn công đối kháng. Tài liệu của AI Forge

cảnh báo rằng sự đánh lừa đã trở nên tinh vi hơn. Trong đó có data poisoning và backdoor attacks, những cách giấu các thao tác rất nhỏ ngay trong dữ liệu huấn luyện, cũng như interactive AI attacks, những cuộc tấn công AI tương tác có thể di chuyển, tìm kiếm và lặp lại không nghỉ. Mối quan tâm của GARD về nền tảng lý thuyết và đánh giá dựa trên kịch bản tiếp tục xuất hiện trong AI Forge dưới dạng thách thức xây dựng các thước đo và tiêu chuẩn phù hợp với môi trường an ninh quốc gia. SABER đi xa hơn một bước. Vượt ra ngoài điều kiện phòng thí nghiệm, chương trình này tổ chức một AI red team chính thức để kiểm tra các biện pháp phòng thủ trước những hệ thống không người lái trên bộ và trên không có khả năng được triển khai trong vài năm tới. Ý tưởng là cố ý đánh lừa các vũ khí AI thân thiện và tìm trước những khoảng hở của chúng.

Mặc dù tôi đã nối ba chương trình này với nhau, vẫn có một điểm cần thận trọng. Khó có thể kết luận rằng AI Forge và SABER đã trực tiếp kế thừa nguyên trạng các công cụ của GARD. Tài liệu công khai chỉ cho thấy ba chương trình cùng chia sẻ một mối quan tâm. Vẫn chưa có đủ tư liệu có thể kiểm chứng từ bên ngoài về việc Armory và ART của GARD thực sự được dùng đến mức nào trong đội đồ của SABER, hoặc kết quả của chúng ra sao. Tôi sẽ không thổi phồng khoảng trống đó thành một thành tích. Tôi sẽ để nó đúng là một khoảng trống. Rõ ràng ba chương trình cùng chia sẻ một triết lý, nhưng bằng chứng cho thấy triết lý này đã mở rộng thành sự kế thừa công cụ lại là chuyện khác.

Với độc giả Hàn Quốc, câu hỏi của GARD khá sắc. Hàn Quốc cũng đang đưa AI vào vũ khí và thiết bị giám sát. Nỗ lực chấp nhận rằng AI này có thể bị đánh lừa, giải thích bằng lý thuyết vì sao nó bị đánh lừa, và cùng kiểm chứng điều đó bằng các công cụ mở đã đi được đến đâu? Khoe rằng mình có AI được làm tốt và tự kiểm tra xem AI ấy bị đánh lừa như thế nào là hai việc khác nhau. Bài học thật sự của GARD không nằm ở lời khoe rằng họ đã xây dựng AI vững chắc. Nó nằm ở thái độ thiết kế lại phòng thủ từ tiền đề rằng AI có thể bị đánh lừa, và ở thái độ mở phòng thủ đó ra thay vì che giấu, để mọi người có thể cùng kiểm chứng. Câu hỏi còn lại là chúng ta có được bao nhiêu phần của thái độ ấy.

Đặt ba chương trình cạnh nhau: niềm tin không được tạo ra, nó được kiểm chứng

Chúng ta đã lần lượt đi qua AI Forge, SABER và GARD. Bây giờ hãy đặt cả ba vào cùng một căn phòng. AI Forge cố thu hẹp khoảng cách giữa AI thương mại và AI an ninh quốc gia thông qua một đấu trường cấp quốc gia. SABER cố tiếp tục kiểm tra AI đang hướng tới chiến trường thông qua một đội đồ thường trực. GARD giải thích bằng lý thuyết vì sao AI bị đánh lừa và công bố các công cụ cho công việc đó. Các tầng của chúng khác nhau, nhưng ba chương trình cùng chỉ về một nơi. AI có hiệu năng cao và AI đáng tin cậy không phải là cùng một thứ, và niềm tin không sinh ra ngay tại khoảnh khắc tạo dựng. Nó chỉ được duy trì chừng nào việc kiểm chứng còn tiếp diễn.

Khi xử lý ba chương trình này, chúng ta đã ba lần dừng lại ở cùng một chỗ. AI Forge là một kế hoạch đang chờ khởi động. SABER là một thiết kế còn đang được triển khai. Các mối liên kết giữa ba chương trình vẫn còn ít được kiểm chứng từ bên ngoài. Lời hứa không mô tả DARPA chỉ như một câu chuyện thành công có sức nặng trong chương này. Không gì mâu thuẫn hơn việc tin vào một chương trình về kiểm chứng mà lại không có kiểm chứng. Chương này đã nhiều lần đánh dấu khoảng thời gian nằm giữa những mục tiêu được viết trong tài liệu và những kết quả thật sự nằm trong tay.

Điều chương này để lại cho những người làm chính sách ở Việt Nam không phải là một danh sách những thứ đáng ghen tị. Nó gần với ba câu hỏi hơn. Chúng ta đã từng viết lại các điểm yếu của AI thương mại bằng ngôn ngữ an ninh quốc gia hay chưa? Chúng ta có một thiết chế đặt AI dự định đưa ra chiến trường dưới sự kiểm chứng thường trực, thay vì chỉ qua một lần thử nghiệm, hay không? Và chúng ta có sẵn sàng mở ra, thay vì che giấu, những lý do khiến AI bị đánh lừa để chúng có thể được xem xét cùng nhau hay không? Ba chương trình của Hoa Kỳ vẫn chưa đưa ra câu trả lời hoàn chỉnh cho những câu hỏi này. Nhưng chúng đã đặt các câu hỏi ấy vào một hình thức thiết chế. Thay vì sao chép câu trả lời của người khác, chúng ta có thể dựng lại những câu hỏi mà người khác đã nêu lên bằng ngôn ngữ của chính mình. Đến lúc đó, cuộc thảo luận về AI quốc phòng của Việt Nam có thể bắt đầu lại.

Chương 6 Hệ thống vật lý mạng và hợp tác quốc phòng

Hãy đặt ba tài liệu cạnh nhau. Một tài liệu là thông báo chương trình, nói rằng nó sẽ đảo ngược cách đưa máy bay chiến đấu lên trời để thử nghiệm. Một tài liệu là thông báo hợp tác, nói rằng an toàn sẽ được chứng minh ngay từ lúc mã điều khiển máy bay không người lái được viết ra. Một tài liệu là lập luận rằng bảo vệ vệ tinh, xét đến cùng, là bảo vệ binh sĩ trên mặt đất. Ba tài liệu ấy nằm trên những sân khấu rất xa nhau. Nhà chứa máy bay, trạm điều khiển mặt đất, quỹ đạo. Có ba sân khấu, nhưng chỉ có một khung nhìn. Chúng ta nên xây dựng và bảo vệ những hệ thống trong đó thiết bị chuyển động trong thế giới vật lý và mã lệnh làm nó chuyển động được buộc thành một thân thể như thế nào, tức các hệ thống cyber-physical? Chúng ta sẽ đi theo câu hỏi ấy qua ba sân khấu. Chúng ta sẽ không ca ngợi kết quả trước khi nó xuất hiện. Cả ba nguồn vẫn đang là kế hoạch, nỗ lực hợp tác và tuyên bố, đứng đầu đó gần vạch xuất phát.

CyPhER Forge và môi trường thử nghiệm số

Giả sử một máy bay chiến đấu mới đang được chế tạo. Khi bản vẽ đã chốt và nguyên mẫu lăn ra khỏi nhà chứa máy bay, công việc thật sự bắt đầu. Một phi công đưa chiếc máy bay ấy lên trời. Phi công thay đổi độ cao từng chút một, tăng tốc từng nấc, rồi đọc từng thiết bị để xem thân máy bay bắt đầu rung ở đâu. Mỗi điểm được ghi lại theo cách đó được gọi là một điểm thử nghiệm. Để xác minh hiệu năng của chỉ một chiếc máy bay, phải ghi lại hàng nghìn điểm như vậy. Một con người cầm cần lái và bay qua từng điểm một. Đây là cảnh đã lặp lại suốt nhiều thập niên tại Edwards Air Force Base ở California.

Cách làm này chậm và tốn kém. Mở tài liệu chương trình CyPhER Forge mà DARPA công bố vào tháng 3 năm 2026, ngay trang đầu đã hiện ra một con số gây bức bối. Các chương trình quốc phòng lớn của Hoa Kỳ mất trung bình mười hai năm để đưa một năng lực mới vào sử dụng. Nơi quãng thời gian dài ấy và chi phí khổng lồ ấy lộ ra rõ nhất là thử nghiệm bay. Công đoạn này tiêu tốn một phần tư tổng chi phí phát triển một máy bay và hơn một nửa lịch trình phát triển. Bước cuối cùng, đưa máy bay lên trời để xác nhận, lại là gánh nặng nặng nhất trong hành trình dài mang tên phát triển. Đó là một cấu trúc trong đó ngay cả khi đã nằm trong tay một thiết kế tốt, người ta vẫn mất nhiều năm để chứng minh rằng thiết kế ấy là đúng.

Còn một điểm gây bức bối khác. Trong hai mươi năm qua, hiệu năng máy tính và học máy đã bước sang một thế giới khác. Nhưng cách thử nghiệm các hệ thống cyber-physical phức tạp gần như không thay đổi. Tình trạng này giống nhau dù hệ thống là máy bay, phương tiện mặt đất hay tàu. Thuật ngữ cyber-physical system có thể nghe khó, nhưng nó chỉ loại thiết bị trong đó một cỗ máy chuyển động trong thế giới vật lý và phần mềm điều khiển nó được gắn lại thành một cơ thể. Máy bay chiến đấu là một hệ thống như vậy. Trong toàn bộ dữ liệu tuân ra

khi loại thiết bị này được thử nghiệm, chưa đến 5 phần trăm thật sự được dùng. 95 phần trăm còn lại ngủ yên trong các thiết bị lưu trữ. Các kỹ sư bị buộc vào công việc nặng nhọc: đem các mô hình vật lý đồ sộ, chính xác đối chiếu từng điểm một với hàng nghìn điều kiện bay do con người điều khiển thủ công. CyPhER Forge nhắm vào lỗi làm việc cũ này. Mục tiêu của nó có thể gói trong một câu: giảm số điểm thử nghiệm cần cho các hệ thống đang phát triển xuống hơn mười lần.

Chương trình định làm việc đó bằng cách nào? Nó đặt hai trục cạnh nhau. Một trục là digital twin, trục kia là AI test agent. Chương trình gọi hệ thống thử nghiệm tự động kết hợp hai trục này là CyPhER. Cái tên nghe lạ, nhưng ý tưởng lại rõ hơn ta tưởng. Những gì có thể biết trước bằng tính toán thì hoàn tất bằng tính toán; chỉ xác nhận trên bầu trời những gì bắt buộc phải xác nhận ở đó. Phán đoán ở đây là muốn tiết kiệm các chuyến bay thật đắt đỏ thì phải tính toán nhiều hơn từ trước.

Hãy bắt đầu với digital twin. Có thể hình dung nó như một bản sao tính toán được dựng bên trong máy tính bằng cách sao chép chiếc máy bay thật. Bản sao này phải có ba năng lực. Trước hết, nó biến mô hình vật lý gốc nặng và chậm thành một mô hình thay thế nhẹ hơn, chạy gần với thời gian thực. Kế đến, nó tính bằng con số xem các dự đoán của chính nó đáng tin hay không đáng tin đến mức nào. Nếu thiếu tự tin, nó có khả năng tự thừa nhận điều đó. Cuối cùng, nó lập tức hấp thụ dữ liệu tuôn vào trong khi bay và liên tục tự sửa. Cấu trúc này giữ cho ba việc chạy không ngừng: dự đoán, đo mức bất định trong dự đoán đó, và học lại từ dữ liệu mới. Chỉ khi ba việc này ăn khớp với nhau, những thứ không cần xác nhận trên bầu trời mới được lọc ra trước ở mặt đất.

AI test agent là phía nhận các dự đoán của bản sao và ra quyết định. Nó tìm xem máy bay thử nghiệm nên thực hiện động tác nào tiếp theo để thu được nhiều thông tin nhất trong khi vẫn giữ an toàn ở mức cao nhất có thể. Nó đánh giá an toàn bằng thống kê, không dựa vào kinh nghiệm cảm tính của con người. Nó tính một đường bay có thể rút ra càng nhiều dữ liệu càng tốt từ một chuyến bay duy nhất. Sau đó, nó thực hiện động tác đã chọn với độ chính xác của máy. Có ba trục: bảo đảm an toàn dựa trên thống kê, thiết kế động tác bay để tăng lượng thông tin thu được, và thực thi tự động ở cấp độ máy. Kết hợp với ba trụ cột của digital twin, sáu trụ cột kỹ thuật nâng đỡ CyPhER. Một phía dự đoán thế giới, phía kia quyết định chuyển động dựa trên dự đoán đó.

Điều đáng chú ý trong bức tranh này là những gì DARPA xây dựng thay cho các nhà nghiên cứu tham gia. Để các nhà nghiên cứu có thể tập trung vào chính thuật toán, cơ quan này cung cấp toàn bộ môi trường tích hợp, thẩm định và kiểm chứng. Trong suốt thời gian của chương trình, năng lực tính toán hiệu năng cao đi kèm hàng tỷ giờ CPU và một lượng dung lượng GPU dự trữ nhất định. Một kho dữ liệu thông tin chưa phân loại nhưng được kiểm soát, chứa các hồ sơ thử nghiệm bay trước đây, cũng được cung cấp kèm theo. Năm mô hình có độ trung thực

cao, có thể mô phỏng một máy bay thử nghiệm, cũng được chuẩn bị. Năm mô hình này bao phủ luồng không khí quanh thân máy bay, độ đàn hồi và quán tính của kết cấu, nhiệt động lực học của động cơ, các quy luật điều khiển bay, và chuyển động của các servo bề mặt điều khiển. Trên nền đó, thuật toán của các nhà nghiên cứu được huấn luyện và đánh giá liên tục trong một môi trường ảo. Cách làm này hạ thấp rào cản tham gia nghiên cứu. Những nhóm nhỏ vốn có thể phải từ bỏ ý tưởng vì thiếu hạ tầng thử nghiệm đắt đỏ nay có thể mượn dữ liệu và tài nguyên tính toán từ một nền tảng chung để cạnh tranh. Cách mở cửa lĩnh vực này tự nó đã là một chính sách. Hạ tầng quyết định ai có thể cạnh tranh.

Lịch trình kéo dài ba mươi tháng, được sắp xếp thành ba giai đoạn. Sáu tháng đầu là phần đặt nền móng. Môi trường thử nghiệm, các giao diện và cấu trúc dữ liệu được xây dựng. Mười hai tháng tiếp theo là thời gian tạo ra các hệ thống CyPhER nguyên mẫu. Các vòng thử thách bắt đầu từ đây. Các nhà nghiên cứu cạnh tranh về độ chính xác của mô hình, tốc độ học và khả năng tính toán bất định, bằng dữ liệu mô phỏng và dữ liệu bay thật đã được giấu trước. Việc dùng dữ liệu bị giấu rất quan trọng. Nó có nghĩa là chương trình sẽ không đánh giá một học sinh đã nhìn thấy đáp án, mà đánh giá một học sinh lần đầu đối mặt với bài toán. Chỉ những nhóm đứng đầu vượt qua các thước đo khách quan mới được đi tiếp. Cuối mười tám tháng cuối cùng, các thuật toán còn trụ lại được nạp lên máy bay thử nghiệm thật tại Edwards Air Force Base. Con người vẫn ở trong vòng điều khiển với vai trò giám sát, nhưng các lệnh cơ động trong chuyển bay thật do CyPhER phát ra. Sau đó, kế hoạch thử nghiệm truyền thống và kế hoạch thử nghiệm do CyPhER dẫn dắt được đặt cạnh nhau để so sánh, nhằm xem đã tiết kiệm được bao nhiêu điểm thử nghiệm.

Tiêu chí thành công của DARPA rất khắc nghiệt. Nhìn vào các mục tiêu ở giai đoạn cuối, sai số của mô hình thay thế phải thấp hơn 0.25 trên một thước đo đã chuẩn hóa. Một phép tính đơn lẻ không được kéo dài quá 0.1 giây. Việc cập nhật mô hình bằng dữ liệu mới không được kéo dài quá một phút. Theo phương pháp cũ, cùng công việc đó có thể mất nhiều tháng. Phần an toàn còn chặt hơn. Tỷ lệ báo động sai về rủi ro phải thấp hơn 0.1, và tỷ lệ bỏ sót nguy hiểm thật phải thấp hơn 0.005. Hiệu quả tìm kiếm thông tin phải vượt hệ số mười. Chỉ khi toàn bộ các con số này cùng khớp, lời hứa cuối cùng về việc giảm số điểm thử nghiệm xuống còn một phần mười mới đứng vững. Chỉ cần một chỉ số trượt đi, khẩu hiệu giảm mười lần sẽ lung lay. Khi các thước đo được đóng chặt đến mức này, các nhà nghiên cứu dành thời gian không phải cho vẻ đẹp của một bài báo, mà cho việc vượt qua các ngưỡng đó. Đây là một cảnh cho thấy mục tiêu làm thay đổi hành vi của con người.

Chúng ta cần lùi lại một bước. Những gì vừa được mô tả không phải là một thành tựu, mà là một kế hoạch. Tài liệu CyPhER Forge là phiên bản sửa đổi của một yêu cầu đề xuất được ban hành vào tháng 3 năm 2026. Sai số 0.25 và tỷ lệ bỏ sót an toàn 0.005 ở trên chưa phải là các kỷ lục đã đạt được. Đó là các mục tiêu mà các nhóm phải cạnh tranh để đáp ứng. Chuyển bay thật trên bầu trời Edwards do CyPhER dẫn dắt nằm ở cuối lịch trình ba mươi tháng. Liệu các con số

đó có đứng vững trên bầu trời thật hay không, và bao nhiêu nhóm sẽ vượt qua các vòng thử thách, hiện vẫn chưa có câu trả lời. Đọc chương trình này như thể nó đã là một chiến thắng là đọc sai nguồn tư liệu. Điều tài liệu đã hứa và điều tài liệu đã chứng minh là hai việc khác nhau. Thứ chúng ta đang cầm trong tay là vế trước.

Nhìn qua lăng kính chính sách, câu hỏi mà CyPhER Forge đặt ra xuất hiện trước cả công nghệ. Hoa Kỳ đang mở ra một sân chơi mới, nơi cuộc đua không nằm ở hiệu năng của vũ khí mà ở tốc độ xác minh vũ khí. Một thiết kế tiêm kích dù tốt đến đâu, nếu phải mất mười hai năm mới xác nhận được trên bầu trời, thì mười hai năm ấy trở thành một tổn thất chiến lược. DARPA đang cố đưa nút nghẽn đó ra khỏi tay con người và chuyển vào tính toán cùng phán đoán tự chủ. Cách tiếp cận này cũng có sức nặng ở phía còn lại. Dù con người vẫn giữ vai trò giám sát, phần lớn phán đoán dùng để chọn và phát lệnh cơ động sẽ chuyển sang máy móc. Kho dữ liệu controlled unclassified information và các mô hình multi-physics high-fidelity tích lũy qua thử nghiệm có thể trở thành nền tảng chung để các công ty quốc phòng và giới học thuật Hoa Kỳ phát triển cyber-physical systems trong tương lai. Đây là điểm mà những người làm chính sách ở Hàn Quốc nên theo dõi. Vấn đề không phải là khả năng chế tạo nhanh một loại vũ khí. Đó là một thiết kế muốn biến chính phương pháp thử nghiệm vũ khí thành một nền tảng chung. Điều có thể xác nhận lúc này là Hoa Kỳ đã đặt một thứ nào đó lên bệ thử đến mức nào. Bệ thử đó có thực sự đứng vững hay không, bầu trời trên Edwards sẽ trả lời sau ba mươi tháng nữa.

Vấn đề mà CyPhER Forge nhắm tới không chỉ nằm ở giai đoạn thử nghiệm. Nếu quá trình xác nhận dài trên bầu trời quá tốn kém, vẫn có một con đường khác: giảm vấn đề ngay từ lúc mã được viết ra. Bên cạnh câu chuyện đưa thử nghiệm lên sớm hơn là câu chuyện làm cho phát triển an toàn ngay từ đầu. Sân khấu chuyển từ nhà chứa máy bay sang trạm điều khiển mặt đất.

Hợp tác về khả năng chống chịu trước tấn công mạng giữa Air Force và DARPA

Ở đâu đó trên bầu trời, một chiếc MQ-9 Reaper đang bay. Bên trong trạm điều khiển mặt đất, một phi công ngồi trước màn hình, đối hướng, xoay cảm biến và xác nhận mục tiêu. Những chuyển động của bàn tay ấy không chạm trực tiếp vào máy bay. Mã nằm ở giữa. Lực kéo cần điều khiển và góc mà camera xoay tới chỉ chuyển động sau khi phần mềm nhận và diễn giải lệnh. Một câu hỏi lặng lẽ xuất hiện. Nếu ai đó bí mật động vào đoạn mã ấy, phi công có thể nhìn thấy gì để nhận ra điều đó?

Tháng 6 năm 2025, DARPA thông báo sẽ phối hợp với U.S. Air Force để trực tiếp xử lý câu hỏi này. Điểm xuất phát là nỗi lo rằng nếu phần mềm điều khiển vũ khí và hệ thống hỗ trợ sụp đổ, toàn bộ sức mạnh chiến đấu cũng sẽ rung chuyển theo. Chẩn đoán của DARPA rất lạnh lùng. U.S. Department of Defense đã vận hành các hệ thống dựa trên gần ba mươi năm chính sách an ninh cũ tích tụ và nền tảng công nghệ thông tin đã lão hóa. Kẻ tấn công chen vào qua những khe hở đó. Chúng đánh cắp mã quân sự nhạy cảm và đảo ngược kỹ thuật các thiết bị quan

trọng để tìm điểm yếu. Bức tranh mà DARPA đưa ra là các cấu trúc cũ bị phơi lộ rộng hơn trước kiểu xâm nhập này. Nếu phần thử nghiệm bay ở mục trước nói về việc muợn màng xác nhận hiệu năng của một máy bay đã hoàn tất, câu chuyện này chuyển ánh nhìn của chúng ta sang khoảnh khắc mã điều khiển chiếc máy bay đó được tạo ra.

DARPA tìm thấy gốc rễ vấn đề trong một thói quen. Steven Kuhn, người quản lý chương trình dẫn dắt chương trình này, gọi nó là 'patch-and-pray'. Nói thẳng ra, nó có nghĩa là thế này: hoàn thành phần mềm, phát hành, vá lỗ hổng khi vấn đề xuất hiện, rồi hy vọng tai nạn tiếp theo không xảy ra. Với một ứng dụng điện thoại thông minh, cách này có thể không gây rắc rối nghiêm trọng. Nếu lỗi xuất hiện, người dùng chỉ cần tải thêm một bản cập nhật. Kuhn nói dứt khoát rằng cách làm dựa vào may rủi này không thể chấp nhận trong các hệ thống vũ khí, nơi mạng sống con người đang bị đặt cược. Khoảnh khắc mã của một máy bay chiến đấu hoặc máy bay không người lái vận hành sai có thể trực tiếp dẫn đến mất mạng và nhiệm vụ thất bại.

Vì vậy, phương án thay thế mà hai tổ chức đưa ra là 'formal methods'. Cái tên nghe lạ, nhưng ý tưởng lại rõ ràng ngoài dự đoán. Thay vì kiểm tra lỗ hổng sau khi phần mềm đã hoàn tất, chứng minh toán học được dùng ngay trong quá trình tạo ra phần mềm để xem trước hành vi của mã. Trước khi mã được đưa vào chiến trường thật, chứng minh xác nhận rằng nó chỉ hoạt động đúng như dự định và không làm gì khác. Không phải xây xong một căn nhà rồi gõ lên tường và cầu mong nó không sập, mà là chứng minh khả năng chịu tải của các cột bằng tính toán ngay ở giai đoạn bản vẽ. Công việc chuyển từ vá lỗ hổng sau sự cố sang sửa ngay khâu thiết kế để lỗ hổng không xuất hiện từ đầu. Nếu CyPhER Forge ở mục trước đã kéo việc xác nhận trên bầu trời về phía trước bằng tính toán, formal methods kéo tính đúng đắn của mã về trước thời điểm triển khai. Cả hai đều đi cùng một hướng: đưa kiểm chứng từ cuối quy trình lên đầu quy trình.

Nội dung hợp tác là một chương trình có tên Resilient Software Systems Capstone. Mục tiêu của nó không phải là mã ví dụ trong phòng thí nghiệm, mà là các nền tảng vận hành đang thật sự được dùng cho nhiệm vụ. Mỗi dự án được Air Force và DARPA cùng tài trợ, với mục tiêu tạo ra kết quả trong khoảng 24 tháng. Hai năm là thời gian ngắn đối với phát triển hệ thống vũ khí. Trong khoảng thời gian đó, Capstone nhắm tới bốn việc: làm cho mã an toàn hơn ngay từ đầu, đẩy nhanh thời gian cần cho quy trình authorization to operate, loại bỏ lãng phí trong phát triển và thử nghiệm, và tạo một hướng dẫn best-practices để các tổ chức khác có thể làm theo. Mục tiêu cuối cùng nổi bật. Nó có nghĩa là nỗ lực này sẽ không dừng ở việc sửa một hệ thống vũ khí, mà sẽ để lại tài liệu để phương pháp có thể được chuyển sang nơi khác. Quy trình authorization to operate là con dấu nói rằng phần mềm mới được phép đặt lên một mạng nhiệm vụ thật. Thời gian cần để nhận con dấu đó chính là tốc độ đưa ra thực địa. Phép tính nằm bên dưới là nếu an toàn được bảo đảm trước bằng chứng minh, con dấu có thể được nhận nhanh hơn.

Mục tiêu thử nghiệm đầu tiên là MQ-9 Reaper. Reaper là máy bay không người lái tầm trung, bay lâu, di chuyển giữa nhiệm vụ trinh sát và tấn công sâu trong lãnh thổ đối phương. Điều đáng chú ý là lựa chọn này không phải một mệnh lệnh từ cấp trên truyền xuống. Chính Không quân đã xác định hệ thống vũ khí thí điểm và chủ động liên hệ với DARPA trước. Máy bay này do General Atomics chế tạo. Đằng sau quyết định đó là nhận định rằng, với một máy bay không người lái bay vòng trong thời gian dài trên lãnh thổ đối phương, độ an toàn của đoạn mã điều khiển nó quyết định thành bại của nhiệm vụ. Chỉ một dòng liên lạc sai hoặc một lệnh sai cũng có thể biến một tài sản trinh sát thành một tài sản đe dọa trong chớp mắt. Việc lực lượng quân sự nhận ra vấn đề trước và mời một cơ quan nghiên cứu tham gia cho thấy DARPA không phải tổ chức chỉ đẩy công nghệ từ trên xuống.

Kuhn tóm tắt phương pháp hợp tác này bằng cụm từ 'correct by construction'. Nghĩa là không làm xong rồi hy vọng sản phẩm vượt qua kiểm tra, mà khiến chính quá trình xây dựng bảo đảm tính đúng đắn. Ông nói ông hy vọng nỗ lực này sẽ trở thành cơ hội đưa các công cụ phần mềm bền bỉ tới cả các quân chủng và các đối tác công nghiệp. Ông nói thêm rằng ông kỳ vọng nó sẽ trở thành điểm khởi đầu và ví dụ để các nhà thầu quốc phòng hoặc cơ quan quân sự khác đưa công cụ của DARPA vào nền tảng và quy trình phát triển của chính họ. Ý tưởng này không dừng ở việc tạo ra một công cụ. Nó cố thiết kế cả những kênh mà qua đó công cụ ấy sẽ lan rộng.

Câu chuyện này nghe như một thành công gọn gàng. Nhưng trong chính phần giải thích của DARPA có một khoảng trống được thừa nhận thẳng thắn. Một số công cụ được tạo bằng formal methods đã được chuyển tới vài quân chủng và đang chờ phát triển tiếp cùng triển khai thực tế, tài liệu cho biết như vậy. Đó là tin tốt. Trong cùng câu đó, DARPA nói rõ rằng việc áp dụng rộng hơn và nhanh hơn trong toàn Department of Defense vẫn là nhiệm vụ chưa hoàn tất. Sự hợp tác này là 'một thử nghiệm bắt đầu từ một hệ thống vũ khí'. Nó không phải lời tuyên bố rằng 'toàn bộ hệ thống quốc phòng đã an toàn'. MQ-9 Reaper là chương trình thí điểm đầu tiên, còn kết quả của nó sẽ lan sang các máy bay và hệ thống khác đến đâu vẫn là câu hỏi cần theo dõi. Mốc 24 tháng không phải lời hứa thành công, mà gần với lịch trình của một cuộc thử nghiệm hơn. Có một công cụ tốt và khiến công cụ đó bén rễ trong toàn quân là hai câu chuyện khác nhau. DARPA không che giấu khoảng cách ấy.

Với độc giả Việt Nam, câu hỏi mà trường hợp này để lại không nằm ở quy mô thành tựu. Điều chúng ta nên nhìn là phương pháp. Chúng ta sẽ đứng ở vị trí vá lỗi sau khi vấn đề bùng nổ, hay sẽ đòi bằng chứng ngay từ lúc chế tạo? Formal methods không rẻ. Xây dựng bằng chứng cần thời gian và con người chuyên môn, và khó áp dụng ngay cho toàn bộ mã. Vì vậy ngay cả DARPA cũng bắt đầu từ một máy bay không người lái. Nếu việc mua sắm phần mềm quốc phòng của chúng ta vẫn dựa vào kiểm tra sau khi hoàn thành, trường hợp này trở thành một tọa độ để đổi hướng. Câu hỏi đầu tiên không phải là đưa thứ gì vào, mà là bắt đầu đòi bằng chứng ở đâu. Việc thử nghiệm này chưa đi đến hồi kết chính là lý do chúng ta nên đọc cách tiếp

cận trước khi đọc kết quả.

Hai giai đoạn cho đến nay là những câu chuyện giữa mặt đất và bầu trời. Sự kết hợp giữa mã lệnh và thiết bị còn vươn cao hơn nữa. Một vệ tinh trên quỹ đạo, xét đến cùng, cũng là một hệ thống cyber-physical được mã lệnh điều khiển. Nếu vệ tinh đó chao đảo, đơn vị dưới mặt đất sẽ mất mắt và tai. Tài liệu thứ ba đưa tầm nhìn của chúng ta lên không gian, rồi kéo nó trở lại mặt đất.

Các cuộc tranh luận về space cyber đòi hỏi gì ở phòng thủ mặt đất

Hãy hình dung một đơn vị chưa từng phóng dù chỉ một vật thể lên không gian. Ngay cả một đơn vị như vậy cũng mất cả mắt lẫn tai khi vệ tinh ngừng hoạt động. Vệ tinh trinh sát ghi lại chuyển động của đối phương, còn vệ tinh liên lạc nối trung đội này với trung đội kia. Khi thiết bị trên quỹ đạo chao đảo, người lính nằm trên đất là người trả giá trước tiên. Cụm từ 'space cyber' nghe như một cuộc trò chuyện giữa các nhà khoa học ngoài khí quyển. Nhưng điều cụm từ ấy thật sự nhắm đến là vấn đề của người cầm súng dưới mặt đất. Chúng ta hãy lần theo sự thật này qua ba tài liệu chính thức. Một tài liệu là lập luận ngắn, một tài liệu là thông báo về một chương trình đang diễn ra, và một tài liệu là thông báo rằng hợp tác đang bắt đầu. Khi ba nguồn có tính chất khác nhau cùng chỉ về một hướng, chúng ta có thể đọc hướng đó một cách cẩn thận.

Một tài liệu ngắn do DARPA công bố vào tháng 4 năm 2026 nói thẳng vào điểm này. Nhan đề của nó là 'Winning the New Space Race Starts with Cyber.' Trước hết, tài liệu tóm tắt tình hình như sau. Chi phí đi vào không gian đã giảm đến mức không thể so với quá khứ, và kết quả là nhiều quốc gia cùng công ty đã bước vào không gian hơn. Tài liệu khẳng định chắc chắn rằng đây không phải là khoa học viễn tưởng, mà là điều đang diễn ra ngay lúc này. Khi ngưỡng phóng tên lửa đã hạ xuống, quỹ đạo bắt đầu trở nên đông đúc. Chính sự đông đúc ấy là tín hiệu của một cuộc cạnh tranh mới. Tài liệu gọi cuộc cạnh tranh này là 'new space race' và đưa ra một nhận định. Bên nắm được lợi thế bền lâu sẽ không phải là quốc gia phóng nhiều tên lửa hơn, mà là quốc gia học được trước cách xây dựng và vận hành các hệ thống một cách an toàn trong môi trường xa lạ này.

Tác giả của tài liệu là một 'service chief fellow' của DARPA. Đây là vị trí do một người được quân đội biệt phái sang làm việc bên trong cơ quan nghiên cứu đảm nhiệm. Người này nói nhiệm vụ của mình tập trung vào một mảng mà người ta thường bỏ sót: nơi không gian và mạng chồng lên nhau, tức space cyber. Nếu không gian chỉ được nhìn như vấn đề của tên lửa và quỹ đạo, mảng này sẽ không hiện ra. Sự chú ý dễ bị hút vào các con số như tỷ lệ phóng thành công, trọng lượng vệ tinh, độ cao quỹ đạo. Nhưng ngay khi nhớ rằng mỗi vệ tinh, xét đến cùng, là một máy tính vận hành bằng mã, câu chuyện thay đổi. Bất cứ thứ gì chạy bằng mã đều luôn có những khe hở để thăm dò. Ai nhìn thấy những khe hở đó trước, đó là mối bận tâm của fellow này. Đây cũng là cùng loại câu hỏi như mã máy bay không người lái và phần mềm thử nghiệm

máy bay chiến đấu đã thấy trong hai mục trước.

Đến đây là phần đáng làm các cơ quan phòng thủ mặt đất đau đầu. Chúng ta không thể mang nguyên các phương pháp an ninh thông tin dùng trên mặt đất lên không gian. Trên mặt đất, khi có sự cố, phần mềm bảo mật có thể được cài mới và các bản vá có thể được tải xuống thường xuyên. Người phụ trách ngồi trước màn hình điều khiển, theo dõi dấu hiệu bất thường, và tắt bật thiết bị nếu cần. Thiết bị đã đi vào quỹ đạo thì khó xử lý theo cách đó. Không ai có thể lên đó sửa bằng tay, và cũng có rất ít chỗ để nạp các chương trình nặng. Một khi vệ tinh đã được phóng lên, nó phải vận hành trong trạng thái ấy nhiều năm. Vì vậy tài liệu cảnh báo không được xem an ninh là thứ thêm vào sau. Trong tiếng Anh, tài liệu nói an ninh phải được 'baked in', không phải 'bolted on'. Nghĩa là nó phải được trộn vào khối bột ngay từ giai đoạn thiết kế đầu tiên, chứ không phải sau đó mới dùng vít siết thêm vào hệ thống đã hoàn thiện. Rắc muối sau khi bánh mì đã nướng xong khác với cho muối vào khi đang nhào bột. Sau khi vệ tinh đã được nướng xong, không còn cách nào thêm muối nữa. Khi 'correct by construction' của Kuhn ở mục trước bay lên không gian, nó trở thành 'baked in' này. Những tài liệu khác nhau đang diễn đạt cùng một niềm tin bằng những lời khác nhau.

Nếu bỏ lỡ điều này thì cảnh gì sẽ diễn ra? Tài liệu dùng cụm 'messy patchwork'. Nó có nghĩa là phần cứng và phần mềm theo các chuẩn khác nhau đã bị ghép vội với nhau. Nếu các mảnh được khâu lại như một tấm chăn vá, hệ thống nhìn bên ngoài có thể vẫn chạy, nhưng bên phòng thủ sẽ vất vả ngay cả trong việc biết các lỗ hổng nằm ở đâu. Mỗi mối nối nơi một mảnh gặp mảnh khác tạo ra một khe hở mới. Kẻ tấn công chỉ cần tìm một mối nối. Người phòng thủ phải bảo vệ mọi mối nối. Sự bất đối xứng này làm phòng thủ kiệt sức. Vì vậy tài liệu đưa ra một 'government reference framework' như đơn thuốc của mình. Nó đề xuất đặt phương tiện bay trên quỹ đạo, thiết bị đầu cuối mặt đất và trạm điều khiển vào cùng một bó, rồi tạo ra một bộ tiêu chuẩn chung giúp chúng chịu đựng và sống sót ngay cả khi mối đe dọa thay đổi. Thay vì xây theo các chuẩn khác nhau, tài liệu đề xuất dùng chung một bản vẽ nền ngay từ đầu. Còn một điểm nữa cần nhìn kỹ. Tài liệu đề xuất lấy những gì đã học được từ các công cụ mạng từng được làm cho tấn công và đưa trở lại phòng thủ không gian. Đó là câu chuyện rèn lại chiếc khiên bằng kinh nghiệm có được từ việc mài sắc ngọn giáo. Người biết bàn tay đối phương luôn vào ổ khóa ở đâu sẽ khóa cửa tốt nhất.

Đến đây, vấn đề có thể trông như một câu chuyện không gian. Rút lại thành một dòng, đơn thuốc của tài liệu là thế này: cấy an ninh vào thiết kế từ trước. Đừng làm một tấm chăn vá. Bảo vệ bầu trời và mặt đất như một bó thống nhất. Ba câu này không chỉ áp dụng cho vệ tinh. Chúng áp dụng cho mọi hệ thống mạng-vật lý trên mặt đất. Nếu thiết bị vật lý và phần mềm chuyển động cùng nhau, hệ thống vũ khí, trạm điều khiển và mạng thông tin liên lạc đều không phải ngoại lệ. Các thiết bị điều khiển đóng mở nhà máy điện, hệ thống tác chiến trên tàu, và trạm mặt đất phóng drone đều nằm trong ba câu này. Tài liệu space cyber nêu ra câu hỏi thật sự cho phòng thủ mặt đất. Các hệ thống mặt đất của bạn có giữ được ba câu này không? Có

phải chúng ta đã bỏ quên các mối nối của hệ thống mặt đất chính vì chúng không nằm ở một nơi khó với tới như vệ tinh không?

Các chương trình phía mặt đất của DARPA diễn ra cùng lúc cho thấy sự chùng lún ấy. Năm 2026, DARPA ban hành một thông báo sửa đổi cho một chương trình không gian mạng-vật lý có tên CyPhER Forge. Trọng tâm của chương trình nằm ở việc tấn công trước các hệ thống nơi thiết bị vật lý và phần mềm đã quấn vào nhau trong một môi trường số. Cách làm là tìm điểm yếu trước trên một bộ thử ảo, rồi mới đưa vật thể thật ra chiến trường. Thay vì học bằng cách làm hỏng thiết bị thật, nó trải nghiệm trước các cuộc tấn công nhằm vào một mô hình được dựng theo cùng cách bên trong máy tính. Điều này có cùng gốc với ý tưởng đã được cài sẵn trong văn kiện về không gian: đặt an ninh vào giai đoạn thiết kế. Thay vì đếm các lỗ hổng sau khi tấm chắn vá đã dày lên, nó chuyển sang bịt lỗ ngay khi còn đang vẽ bản thiết kế. Việc kiểm thử càng được đưa lên sớm, chi phí sửa chữa càng giảm. Chi phí sửa một điểm yếu lộ ra trên chiến trường và chi phí sửa nó trên bản vẽ nằm ở hai bậc hoàn toàn khác nhau.

Còn một trường hợp nữa. Tháng 6 năm 2025, một thông báo cho biết Không quân và DARPA đã bắt tay để nâng cao sức chống chịu trước tấn công mạng. Sức chống chịu là từ khóa. Đó không phải là lời hứa sẽ chặn hoàn hảo mọi cuộc tấn công, mà là mục tiêu chịu được va đập và đứng dậy lại ngay cả sau khi bị đánh trúng. Ý tưởng này bắt đầu bằng việc thừa nhận rằng lá chắn có thể bị xuyên thủng, rồi để lại một con đường cho nhiệm vụ tiếp tục ngay cả sau khi có xâm nhập. Đây cũng là cùng thứ ngôn ngữ với yêu cầu 'resilient, survivable' trong văn kiện về không gian. Ba văn kiện khác nhau không tình cờ chọn cùng một từ. Dù ở quỹ đạo hay trên đường băng, điều đó giống một tín hiệu hơn: ngữ pháp phòng thủ đang hội tụ về một hướng. Trọng tâm đang dịch chuyển từ thời kỳ mơ về những bức tường hoàn hảo sang thời kỳ xây những cơ thể có thể đứng dậy sau khi sụp đổ. Vì vậy, ba phần của chương này, dù nói về các giai đoạn khác nhau, vẫn gom lại thành một câu chuyện: kéo việc kiểm chứng lên phía trước, gieo an toàn vào thiết kế, và làm cho hệ thống chịu được tổn hại ngay cả sau khi bị đánh trúng.

Chúng ta cần giữ cái nhìn lạnh. Những gì hiện nằm trong tay chúng ta gồm ba thứ. Một là luận do một nghiên cứu viên viết, một là thông báo cho một chương trình đang diễn ra, và một là thông báo rằng hợp tác đang bắt đầu. Chúng không phải là báo cáo thành tích. Chúng ta chưa có hồ sơ cho thấy khung này đã chặn một cuộc tấn công thật vào vệ tinh, cũng chưa có con số nào cho thấy CyPhER Forge đã lọc ra lỗi trong một thiết bị nào đó. Chỉ riêng thông báo này cũng không thể cho chúng ta biết hợp tác với Không quân đã đem lại kết quả gì. Chính ở đây phải giữ lời hứa rằng không vẽ DARPA chỉ như một huyền thoại thành công. Một tuyên bố phải được đọc như một tuyên bố, một kế hoạch phải được đọc như một kế hoạch, để độc giả không bị đánh lừa. Đặt khung vấn đề tốt không giống với có kết quả tốt. Từ việc nêu vấn đề rõ ràng đến việc thật sự giải quyết được nó là một quãng đường dài. Các tài liệu DARPA này vẫn đang đứng gần đầu quãng đường đó.

Vậy câu hỏi nào còn lại cho độc giả Việt Nam? An ninh của thông tin vệ tinh quân sự, trạm điều khiển mặt đất và phần mềm hệ thống vũ khí của chúng ta đã được trộn vào khối bột ngay từ đầu, hay chỉ được siết thêm bằng ốc vít sau khi mọi thứ đã xây xong? Tấm chắn vá ấy hiện đã dày đến mức nào? Chúng ta phải hỏi những mối nối nào đang liên kết các thiết bị được đưa vào ở những thời điểm khác nhau, theo những tiêu chuẩn khác nhau, và liệu chúng ta có một bản vẽ duy nhất cho phép nhìn thấy các mối nối đó chỉ trong một lượt hay không. Các văn kiện của DARPA không trả lời câu hỏi này. Thay vào đó, chúng đổi hướng câu hỏi. Bảo vệ không gian và bảo vệ mặt đất không phải là hai nhiệm vụ tách rời, mà là mặt trước và mặt sau của cùng một bản thiết kế.

Chúng ta đã đi qua chương này theo ba chặng, nhưng bài học mà ba chặng ấy để lại lại quy tụ vào một điểm. Điều Hoa Kỳ đang tranh đua hiện nay không phải là vũ khí mạnh hơn. Đó là phương pháp kiểm chứng vũ khí nhanh hơn, thiết kế chúng an toàn hơn, và khiến chúng vẫn đứng vững sau khi bị đánh trúng. Điều chúng ta cần không phải là sự ghen tị, mà là một tấm gương soi. Chính việc các chương trình này vẫn còn ở giai đoạn kế hoạch, hợp tác và tranh luận cũng có nghĩa là chúng ta còn thời gian để học cách tiếp cận ấy trước khi chờ kết quả. Thời điểm chúng ta mở bản thiết kế đó ra sẽ quyết định liệu chúng ta có thể bảo vệ đôi mắt và đôi tai của mình trong cuộc chiến tiếp theo hay không.

Chương 7 Trí tuệ bên trong phần cứng

Bước chuyển mang tên trí tuệ vật lý

Một robot trinh sát leo lên một ngọn đồi đầy bụi. Bánh trước của nó vướng vào một hòn đá. Một camera gắn trên nóc robot ghi lại cảnh đó. Hình ảnh lập tức được đưa vào bộ xử lý bên trong thân máy. Bộ xử lý kiểm tra hình ảnh. Nó quyết định rằng có một vật cản. Nó gửi lệnh đến động cơ điều khiển bánh xe. Chỉ khi đó robot mới đổi hướng. Khi viết ra thành lời, chuỗi này có vẻ dài, nhưng trong thực tế nó diễn ra chỉ trong chớp mắt. DARPA cho rằng ngay cả cái chớp mắt ấy cũng là quá lâu trên chiến trường tương lai. Trên một bãi thử yên bình, độ trễ đó không thành vấn đề. Ở nơi đạn đang bay, tình hình sẽ khác.

Ngày 29 tháng 4 năm 2026, DARPA đăng một bài trên trang tin chính thức của mình, kêu gọi một cách nghĩ mới về robot học. Tiêu đề có một cụm từ còn lạ: “physical intelligence”, tức trí tuệ vật lý. Thoạt nhìn, nó có thể giống một thuật ngữ thời thượng nữa. Nhưng câu hỏi đứng sau bài viết khá cơ bản. Trí tuệ nên nằm ở đâu? Có thật là tốt nhất khi nhồi trí tuệ vào một con chip máy tính duy nhất trong phần đầu của robot không? DARPA đặt dấu hỏi ở đó. Theo chính cách nói của cơ quan này, để đáp ứng đòi hỏi của các môi trường động trong tương lai, cần thay đổi chính “vị trí nơi trí tuệ cư trú.” Đây không phải là đề xuất làm cho một câu trả lời quen thuộc tốt hơn một chút. Đây là đề xuất chất vấn chính chiếc bình đang chứa câu trả lời đó.

Để hiểu vì sao câu hỏi này xuất hiện, trước hết chúng ta phải nhìn vào phương pháp đã chi phối robot và các hệ thống vũ khí cho đến nay. Phương pháp đó được chia thành ba giai đoạn. Trước tiên, cảm biến phát hiện thế giới bên ngoài. Kế đó, chúng gửi thông tin ấy đến bộ não ở trung tâm, tức bộ xử lý, để xử lý. Cuối cùng, kết quả đã xử lý được gửi ngược xuống tay và chân, bánh xe và cánh, rồi biến thành hành động. Cảm nhận, xử lý, hành động. Ba giai đoạn này tạo thành một vòng lặp quay liên tục. Bất kỳ ai từng học kiến trúc máy tính đều biết hình dung đó. Có đầu vào, phép tính diễn ra ở giữa, rồi đầu ra xuất hiện. Trong nửa thế kỷ qua, trí tuệ máy phần lớn đã lớn lên bên trong khung này. Khung ấy đã được dùng lâu đến mức người ta quên mất rằng ngay từ đầu nó cũng là một lựa chọn.

Điểm yếu của phương pháp này nằm ở chỗ thông tin phải liên tục di chuyển từ nơi này sang nơi khác. Giám đốc chương trình Julian McMorroo chỉ ra rằng vòng lặp truyền thống này, vốn đòi hỏi dữ liệu phải được chuyển đi không ngừng, làm giảm tốc độ và hiệu năng của robot. Từ cảm biến đến bộ não, rồi từ bộ não trở lại các chi, khoảng thời gian rất ngắn dùng để gửi tín hiệu qua lại cộng dồn lại và làm chậm phản ứng. Trong điều kiện bình thường, đó không phải là vấn đề. Nhưng trước một mối đe dọa lao tới với tốc độ hàng trăm kilomet mỗi giờ, sự chậm trễ ấy trở thành ranh giới quyết định sống còn. Chỉ vài mili giây chậm lại cũng có thể quyết định một vũ khí bắn trượt hay bắn trúng mục tiêu, một robot né được hay vỡ ra từng mảnh. Con đường chuyên chở dữ liệu chính là nút thắt. Đó không phải là nút thắt có thể giải quyết bằng

cách mở rộng con đường. Nó chỉ có thể được giải quyết bằng cách loại bỏ chính con đường đó.

Trí thông minh vật lý là một nỗ lực nhằm giải quyết vòng lặp này theo một cách khác. Nó không chia cảm nhận, tính toán và chuyển động cho các bộ phận riêng rẽ đặt cách xa nhau. Nó cấy trực tiếp những chức năng ấy vào chính vật liệu, linh kiện và cấu trúc. Thay vì đưa thông tin đến một bộ xử lý trung tâm, thiết kế vật lý của chính đối tượng sẽ phản ứng ngay lập tức. McMorrow mô tả điều này là “làm sụp vòng lặp.” Mục tiêu là đặt trí thông minh trực tiếp vào phần cứng và xây dựng các hệ thống có thể phản ứng theo thời gian thực mà không phụ thuộc vào dòng dữ liệu di chuyển không ngừng.

Nếu những từ này nghe khó hiểu, cơ thể con người cho ta một so sánh hữu ích. Khi tay chúng ta chạm vào vật nóng, chúng ta không gửi tín hiệu đi hết đường lên não, suy nghĩ về nó, rồi mới rút tay lại. Cơ thể phản ứng trước ở cấp độ tủy sống. Bộ não chỉ nhận ra “nóng” sau khi bàn tay đã chuyển động. Bức tranh mà trí thông minh vật lý vẽ ra cũng tương tự. Ý tưởng là làm cho vật liệu tạo nên bề mặt hoặc khung của robot phản ứng như một phản xạ ngay khi nó cảm nhận được nguy hiểm. Nó loại bỏ chuyển đi khứ hồi trong đó một phán đoán được gửi lên trung tâm rồi lại được nhận xuống phía dưới. Đừng nghĩ đến một robot biết suy nghĩ, hãy nghĩ đến một robot biết phản xạ.

Còn một điểm khác cần theo dõi trong sự dịch chuyển này. Đó là nơi DARPA đã chuyển sự chú ý của mình. Trọng tâm hạ từ “cỗ máy” đã hoàn chỉnh xuống “vật liệu” tạo nên cỗ máy đó. Yêu cầu cung cấp thông tin của DARPA trong lĩnh vực này, tức tài liệu chính thức mời các nhà nghiên cứu gửi ý tưởng, nói rõ rằng trọng tâm là vật liệu, không phải máy móc. Nó không hỏi làm thế nào để chế tạo thật tốt một robot đã hoàn chỉnh. Nó hỏi những bước tiến cơ bản nào có thể có ở cấp độ vật liệu, bộ phận và lớp lõi bên dưới chúng. Nó làm lung lay giả định cũ rằng tính toán chỉ phải diễn ra trên một chip silicon. Khi vấn đề được đặt ở một lớp thấp như vậy, những người đi tìm câu trả lời cũng thay đổi. Gọi các nhà thiết kế robot đến là chưa đủ. Các nhà khoa học vật liệu, nhà hóa học và nhà vật lý phải ngồi cùng một bàn. Đó là lý do bài viết này đặt ba hạng mục cạnh nhau: khoa học vật liệu, robotics và cảm biến. Câu hỏi không nằm trong một lĩnh vực duy nhất. Nó được đặt tại nơi ba lĩnh vực chồng lên nhau.

Chúng ta cần dừng lại và nói thẳng điều này. Điều tôi vừa giới thiệu ở đây là một khái niệm nằm trong bản tin và yêu cầu cung cấp thông tin mà DARPA công bố vào mùa xuân năm 2026. Đó là một văn bản nhằm thu thập ý tưởng, không phải một kết quả đã được chứng minh trên chiến trường. Hiện vẫn chưa có đủ tài liệu công khai để xác nhận những nỗ lực nghiên cứu nào dưới tên gọi trí tuệ vật lý đã thành công, và những nỗ lực nào đã đi vào ngõ cụt. Vì vậy, phần này không mô tả trí tuệ vật lý như một loại vũ khí đã hoàn thiện. Nó chỉ nói về điều DARPA hiện đang đặt câu hỏi, và câu hỏi ấy đang hướng đến đâu. Điều tương tự cũng đúng với các chương trình điện toán sinh học như O-Circuit, chương trình mà chúng ta sẽ xem xét sau. Ý tưởng loại bỏ chip silicon và tính toán bằng tế bào sống là táo bạo, nhưng nó cũng nên được đọc như một

văn bản hoạch định, chứ không phải một kết quả đã có trong tay. Câu chuyện chi tiết xin để lại Chương 13. Lúc này, chỉ cần nhớ rằng ngay cả những thí nghiệm cực đoan như vậy cũng nằm trong cùng một dòng chảy: đưa trí tuệ vào phần cứng.

Vậy vì sao DARPA lại chọn con đường khó khăn này? Manh mối nằm ở điều kiện chiến trường. Hãy nghĩ đến những nơi thiếu điện, những vùng xa nơi việc tiếp nhiên liệu rất khó, và những nhiệm vụ phải tiến vào giữa mạng lưới phòng không của đối phương. Trong những hoàn cảnh như vậy, mang theo một bộ tính toán nặng và nóng tự nó đã là gánh nặng. Một máy tính lớn tiêu thụ rất nhiều điện và tỏa nhiệt. Nhiệt trở thành tín hiệu hồng ngoại và làm lộ vị trí. Nếu trí tuệ có thể được hòa vào chính vật liệu, có thể chế tạo những cỗ máy biết phán đoán bằng cơ thể của chúng mà không cần mang theo một máy tính lớn riêng biệt. Phản ứng sẽ nhanh hơn, mức tiêu thụ điện giảm xuống, và không gian để đối phương tấn công mạng hoặc gây nhiễu điện tử cũng thay đổi. Dĩ nhiên, tất cả những điều này vẫn là mục tiêu, chưa phải bằng chứng. Quy tắc đầu tiên khi đọc chương này là không đọc mục tiêu như thể chúng đã là thành tựu.

Đối với độc giả Việt Nam, câu hỏi do sự chuyển dịch này đặt ra vượt ra ngoài một màn phôi diễn công nghệ tiên tiến. DARPA không bảo ai mua một vũ khí đã hoàn thiện. Trước hết, họ hỏi trí tuệ nên nằm ở đâu, rồi tập hợp các nhà khoa học vật liệu, chuyên gia robot và nhà sinh học quanh câu hỏi đó. Có lẽ điều đáng để chúng ta nhìn vào không phải là bản thân robot tiên tiến, mà là năng lực hạ tầng câu hỏi xuống sâu hơn và đặt lại vấn đề. Cách một tổ chức đặt câu hỏi trước một vấn đề tự nó đã là sức mạnh của tổ chức đó. Phần tiếp theo sẽ theo dõi điều gì thay đổi khi ý tưởng này đi vào thiết kế thực tế, và việc giảm tính toán trung tâm để lại những dấu vết nào trên cơ thể robot.

Thiết kế làm giảm tính toán trung tâm

Nếu phần trước đặt câu hỏi, “Trí tuệ nên nằm ở đâu?”, thì phần này đưa câu hỏi ấy xuống bàn thiết kế. Ý tưởng có thanh nhả đến đâu, cuối cùng vẫn phải có người vẽ mạch và đặt thiết bị vào đúng chỗ. Hãy hình dung một drone trinh sát nhỏ đang lơ lửng trên một sống núi đầy bụi. Video do camera của nó ghi lại được truyền qua vệ tinh về một trung tâm dữ liệu ở hậu phương. Các máy chủ ở đó nhận diện mục tiêu, rồi gửi lệnh ngược lại cho drone. Trong điều kiện bình thường, cách này hoạt động tốt. Vấn đề bắt đầu ngay khi đối phương cắt đứt liên lạc. Chỉ với một lần gây nhiễu vô tuyến, drone biến thành một cục kim loại mở mắt nhưng không còn khả năng phán đoán. Trong lúc đó, pin của nó vẫn tiếp tục cạn chỉ để gửi video về hậu phương. Một cơ thể có đôi mắt vẫn ổn, nhưng cái đầu lại ở quá xa. Đó là kiểu robot mà chúng ta đã có cho đến nay.

Cảnh này là điểm xuất phát của vấn đề mà DARPA đã nắm lấy. Cho đến nay, phần lớn trí tuệ máy móc được gom vào một nơi. Cảm biến thu thập thông tin, gửi thông tin đó đến một máy tính trung tâm, rồi máy tính gửi kết quả đã tính toán trở lại các bộ phận. Cảm nhận, xử lý, hành động. Robot học từ lâu đã vận hành trên những mạch giữ ba giai đoạn này tách rời nhau. Đó là

một cấu trúc tiện lợi. Vấn đề nằm ở chuyển đi khứ hồi mà dữ liệu phải thực hiện giữa thiết bị và trung tâm. Nó mất thời gian. Nó tiêu tốn điện. Nếu đường truyền bị cắt, toàn bộ hệ thống dừng lại. Khi McMorrow ở phần trước nói về việc “thu gọn vòng lặp”, chuyển đi khứ hồi này chính là vòng lặp mà ông muốn nói.

Trong cùng bài viết ngày 29 tháng 4 năm 2026, McMorrow nêu điểm cốt lõi bằng một câu. Vị trí nơi trí tuệ cư trú phải thay đổi. Cho đến nay, trí tuệ nằm trong “bộ não” của robot, tức bộ xử lý trung tâm. Hướng mà McMorrow đề xuất là chuyển trí tuệ ấy vào chính phần cứng, vào cấu trúc, vật liệu và linh kiện của máy. Thay vì đưa thông tin về trung tâm, bản thân vật liệu cảm nhận thay đổi trong môi trường và đồng thời phản ứng về mặt vật lý. McMorrow mô tả điều này là thu gọn vòng lặp vốn chạy từ cảm nhận qua xử lý rồi đến hành động. “Thiết kế giảm tính toán trung tâm” được nói đến trong phần này là một nhóm biểu hiện của sự thu gọn đó. Đây không phải tên của một phát minh riêng lẻ, mà là một hướng đi được nhiều chương trình cùng chia sẻ.

Điểm đầu tiên nằm bên trong chất bán dẫn. Máy tính ngày nay tách thiết bị tính toán khỏi thiết bị lưu trữ dữ liệu. Để tính toán, máy phải gọi các con số đang lưu trong bộ nhớ vào bộ xử lý, rồi đưa chúng trở lại bộ nhớ sau khi phép tính hoàn tất. Nó lặp lại chuyển đi khứ hồi này hàng tỷ lần. Cấu trúc này được gọi là kiến trúc von Neumann, theo tên người đã thiết kế nó từ lâu, và điểm nơi lưu lượng dữ liệu tạo ra nút thắt được gọi là nút thắt von Neumann. Tài liệu giải trình ngân sách năm tài khóa 2026 của DARPA liệt kê một chương trình nhằm vào nút thắt này. Tên của nó là OPTIMA. Cái tên mang ý tưởng xử lý tối ưu bên trong các mảng bộ nhớ. Ý tưởng là thế này. Đừng gọi dữ liệu vào bộ xử lý. Hãy hoàn tất phép nhân và phép cộng ngay bên trong thiết bị bộ nhớ, nơi dữ liệu vốn đã nằm sẵn. Nếu phép nhân ma trận, xương sống của tính toán trí tuệ nhân tạo, được xử lý ngay trong bộ nhớ, thì có thể tiết kiệm điện năng và thời gian bị mất khi di chuyển dữ liệu. Với con người, nó giống như đọc câu trả lời trực tiếp từ giá sách đang cầm trên tay, thay vì đi vào phòng làm việc rồi rút một cuốn sách ra. Nếu “phản xạ” được bàn ở phần trước được kéo xuống tầng chất bán dẫn, nó sẽ trông như thế này. Tính toán và bộ nhớ trở thành một cơ thể.

Một ý tưởng tương tự đang dịch chuyển sang phía cảm biến. Cùng tài liệu ngân sách đó có một chương trình tên là ScAN. Ảnh siêu phổ được dùng khi máy bay không người lái quét mặt đất tạo ra một khối lượng tín hiệu analog khổng lồ. Lý do là nó chia nhỏ và ghi lại những khác biệt rất nhỏ trong màu sắc ánh sáng trên hàng trăm dải phổ. Cho đến nay, máy tính chỉ có thể xử lý các tín hiệu này sau khi chuyển chúng thành giá trị kỹ thuật số gồm số không và số một. ScAN muốn bỏ qua chính bước chuyển đổi kỹ thuật số đó. Nó nhắm đến việc suy luận trực tiếp trên các tín hiệu analog phát ra từ cảm biến. Nếu có thể cắt bỏ chặng dài gồm chuyển đổi, gửi về trung tâm rồi tính toán, thiết bị tuyến đầu có thể đưa ra phán đoán ngay tại chỗ. DARPA viết trong tài liệu rằng họ đặt mục tiêu giảm mạnh lượng điện cần cho suy luận bằng phương pháp này. Nếu OPTIMA giảm vòng đi về bên trong bộ nhớ, ScAN giảm vòng đi về chuyển đổi ở ngưỡng cảm biến. Mục tiêu khác nhau, nhưng hướng đi giống nhau. Hãy xử lý xong ở đó trước

khi gửi về trung tâm.

Chúng ta cần vạch một ranh giới rõ ràng. OPTIMA và ScAN vẫn là các thiết kế và mục tiêu nằm trong tài liệu thuyết minh ngân sách. Chúng chưa phải vũ khí hoàn chỉnh, cũng chưa phải thành quả đã được chứng minh trên chiến trường. Những con số tiết kiệm điện được ghi trong tài liệu là các mốc mà chương trình muốn đạt tới, không phải kết quả đã có trong tay. Xét tính chất của một tài liệu ngân sách, điều đó không lạ. Loại tài liệu này cố thuyết phục người ta vì sao tiền thuế nên được chi cho nghiên cứu này, nên nó thường tô màu tươi sáng cho một tương lai có vẻ hợp lý. Người đọc phải giữ hai chuyện đó tách bạch. Đây cũng là nơi lời hứa của cuốn sách này, không đọc DARPA chỉ như một câu chuyện thành công, phải được giữ đúng. Ngay khoảnh khắc mục tiêu của một chương trình và việc mục tiêu đó đã thật sự đạt được hay chưa bị gộp vào một câu, kế hoạch sẽ khoác áo thành tích. Vì vậy, ngay cả khi chép lại một con số, trước hết chúng ta phải hỏi đó là lời hứa hay kết quả.

Còn có một kế hoạch cực đoan cho thấy ý tưởng đưa trí thông minh vào phần cứng có thể đi xa đến đâu. Một ví dụ là O-Circuit, một khái niệm nuôi cấy neuron sống và dùng chúng để tính toán. Ý tưởng là loại bỏ bán dẫn silicon và để một cụm tế bào ngửi rồi tự chọn hướng đi. Tài liệu chương trình nêu rằng các giải pháp thuần silicon nằm ngoài phạm vi của nó, và thay vào đó đặt ra một mục tiêu kỳ lạ: một đơn vị xử lý sinh học. Nó còn liệt kê một con số nhỏ, 10 milliwatt-hours, làm mục tiêu năng lượng hằng ngày. Điều này đáng chú ý, nhưng ở thời điểm này nó không phải hồ sơ về hiệu năng. Nó là một ý tưởng được viết trong tài liệu lập kế hoạch. Bản thảo này sẽ đọc một kế hoạch đúng như một kế hoạch. Hiện vẫn chưa có cơ sở công khai để gọi nó là một thành tựu. Đường nối từ OPTIMA qua ScAN đến O-Circuit có thể được xem như một chuỗi bước cùng đẩy về một hướng, với mức độ táo bạo khác nhau. Bên trong bán dẫn, ở ngưỡng cảm biến, và vượt ra ngoài silicon. Các lớp khác nhau, nhưng câu hỏi thì giống nhau.

Vậy vì sao vẫn cố phân tán tính toán bất chấp từng ấy bất tiện? Câu trả lời nằm trong điều kiện chiến trường. Trên chiến trường tương lai, không thể bảo đảm nguồn điện ổn định hay một mạng liên lạc không đứt đoạn. Nếu một trung tâm dữ liệu trung ương bị tấn công hoặc liên lạc bị tê liệt, mọi cỗ máy phụ thuộc vào trung tâm đó sẽ dừng lại theo. Một điểm sống còn trở thành điểm sống còn của toàn bộ hệ thống. Nếu tính toán được phân tán ra các rìa, tình hình sẽ khác. Dù là drone hay cảm biến, mỗi thiết bị vẫn tiếp tục tự đưa ra phần phán đoán của mình ngay cả ở nơi liên lạc đã bị cắt. Một thiết kế tiết kiệm điện sẽ kéo dài thời gian máy có thể trụ bằng một viên pin. Đó không phải thiết kế để khoe hiệu năng, mà để sống sót trong điều kiện xấu nhất. Nó mang gương mặt của một công nghệ mới hào nhoáng, nhưng gốc rễ của nó là một mối bận tâm quân sự cũ: làm thế nào xây một cơ thể không chết khi bị cắt rời.

Với độc giả Hàn Quốc, đây không phải là câu chuyện của người khác. Ngành công nghiệp quốc phòng và các viện nghiên cứu của chúng ta cũng đang suy nghĩ nghiêm túc về việc đưa trí tuệ nhân tạo vào các hệ thống vũ khí. Nhưng các cuộc thảo luận ấy thường nghiêng về máy chủ

lớn hơn, thông tin liên lạc nhanh hơn và nhiều dữ liệu hơn. Câu hỏi của DARPA lại chỉ về hướng ngược lại. Không phải thêm bao nhiêu vào trung tâm, mà là lấy gì ra khỏi trung tâm. Khi đưa câu hỏi này vào hoàn cảnh của chính chúng ta, thiết kế bán dẫn, thiết kế cảm biến và ngân sách năng lượng, vốn từng được xem là những vấn đề riêng, bắt đầu buộc lại thành một vấn đề duy nhất. Câu hỏi một máy bay không người lái phía bên kia sườn núi có thể tự làm gì sau khi liên lạc bị cắt cuối cùng quay trở lại cách thân thể của chiếc máy bay ấy được thiết kế ngay từ đầu. Điều đó có nghĩa đây không phải là vấn đề để sau này giải bằng cách thêm phần mềm, mà là vấn đề phải được giải từ khoảnh khắc kim loại bắt đầu được cắt. Phần tiếp theo xem xét vì sao nguyên tắc thiết kế này hiện ra rõ như vậy trong robot chiến trường, và điều gì tách chúng khỏi những robot di chuyển thùng hàng trong nhà kho.

Vì Sao Robot Chiến Trường Phải Tính Toán Bằng Chính Cơ Thể Của Mình

Hãy hình dung một robot chở hàng trong nhà kho. Nó đứng cạnh con người, di chuyển thùng hàng, dừng lại khi có người chặn đường và hiển thị một khuôn mặt mỉm cười trên màn hình. Những cỗ máy như vậy đặt vẻ ngoài quen thuộc và cách vận hành dễ dàng lên phía trước. Chúng được thiết kế để làm việc bên cạnh con người và giúp con người. Nếu chúng mắc lỗi, không có thảm họa nào xảy ra. Nếu robot dừng lại trong chốc lát, một người có thể bước tới và bật nó lên lại. Nếu liên lạc bị cắt, quản lý có thể gọi bằng bộ đàm. Nếu pin yếu, robot có thể được đưa về bộ sạc. Nhu cầu về các nguyên tắc thiết kế đã bàn trong hai phần trước sẽ lập tức trở nên rõ ràng nếu ta đặt nguyên xi robot nhà kho này lên chiến trường.

Một robot bước vào chiến trường phải đối mặt với những yêu cầu khác ngay từ đầu. Cuối tháng 4 năm 2026, DARPA viết trong một bài về việc suy nghĩ lại robot thông qua trí thông minh vật lý rằng robot thương mại và robot phục vụ an ninh quốc gia cần những năng lực khác nhau. Robot chiến trường phải hoạt động ở nơi liên lạc dễ bị cắt, nơi con người gần như không còn chỗ để can thiệp, và nơi môi trường thù địch, khó đoán. Đó là một thế giới khác với thế giới mà robot nhà kho phải đối mặt. Mỗi quan tâm của phần này nằm trọn trong câu ấy. Nơi robot làm việc thay đổi điều được xem là trí thông minh đối với robot đó.

Thước đo hiệu suất thay đổi trước tiên. Với một robot kho hàng, xử lý nhanh khối lượng dữ liệu lớn có thể là điều đáng tự hào. Robot trên chiến trường thì khác. DARPA viết ở đây rằng hiệu suất không được quyết định bởi “nó xử lý bao nhiêu dữ liệu”, mà bởi “nó phản ứng nhanh và đáng tin cậy đến mức nào”. Nếu phản ứng chậm chỉ nửa nhịp, robot sẽ trở thành mục tiêu. Lưu lượng xử lý có thể là thứ để khoe, nhưng nó không bảo vệ được sự sống còn. Nếu sự đổi mới này nghe có vẻ xa lạ, đó là vì chúng ta đã vô thức dùng thước đo của nhà kho khi nói về robot. Bộ não thông minh hơn, năng lực tính toán lớn hơn, nhiều dữ liệu hơn. Chiến trường lật ngược cây thước đó.

Để hiểu sự khác biệt này, chúng ta phải nhớ lại một lần nữa cấu trúc đã thấy ở phần trước. Từ trước đến nay, trí tuệ của robot thường được gom vào một nơi. Cảm biến nhận biết thế giới bên

ngoài, gửi tín hiệu về máy tính trung tâm, rồi máy tính phán đoán trước khi ra lệnh cho các chi. Cảm nhận, xử lý và hành động bị tách riêng, dữ liệu liên tục di chuyển giữa chúng. Cấu trúc này có ưu điểm riêng. Gom năng lực tính toán vào một nơi khiến hệ thống dễ chế tạo hơn, dễ sửa chữa hơn và dễ cải thiện hiệu suất hơn. Trong một phòng thí nghiệm yên tĩnh, cấu trúc này không gây rắc rối. Con đường dữ liệu đi qua ngắn và an toàn.

Vấn đề nằm ở chiến trường. Khoảng thời gian ngắn dùng để gửi tín hiệu đi xa rồi chờ câu trả lời khiến robot trở nên chậm chạp. Ở những nơi sóng vô tuyến khó vươn tới, như giữa các tòa nhà trong đô thị, dưới lòng đất hoặc trong thung lũng, chính chuyển đi khứ hồi đó trở nên mong manh. Nếu đối phương gây nhiễu tín hiệu vô tuyến hoặc cắt liên lạc, toàn bộ cấu trúc lập tức dừng lại. Trí tuệ gom vào một nơi trở thành một điểm sống còn duy nhất. Đánh trúng điểm đó, cả robot bị tê liệt. Thiết bị đặt tiền trong khoảng khắc sụp xuống thành một khối kim loại nằm trên đường. Điều từng là ưu điểm trong phòng thí nghiệm trở thành điểm yếu trên chiến trường. Cùng một thiết kế nhận đánh giá trái ngược chỉ vì môi trường thay đổi. Cảnh chiếc drone trên sống núi trước đó, mở mắt mà đứng im dưới nhiễu vô tuyến, chính là hình dạng vật lý của lỗ hổng này.

Câu hỏi mới của DARPA bắt đầu từ đây. Trí tuệ nên nằm ở đâu? Đề xuất là ngừng dựa vào phương pháp cứ mang tín hiệu đi vòng quanh, và khiến chính thiết kế vật lý phản ứng ngay lập tức. Trí tuệ được cấy thẳng vào phần cứng, phá vỡ ranh giới giữa ba giai đoạn cảm nhận, xử lý và hành động. Cơ thể robot trở thành thiết bị tính toán. Đây là điều DARPA gọi là trí tuệ vật lý. Cụm từ nghe khó, nhưng mục tiêu rất rõ. Xóa bỏ khoảng cách giữa nơi phán đoán và nơi chuyển động.

Nếu so với cơ thể người, chuyện này trông như sau. Khi bàn tay chạm vào một chiếc nồi nóng, chúng ta rút tay lại trước khi não phán đoán rằng nó nóng. Tuy sống xử lý việc đó như một phản xạ, và tín hiệu không đi trọn một vòng lên não ở trung tâm rồi quay trở lại. Trí tuệ vật lý gần với nỗ lực trao cho robot loại phản xạ này. Thay vì dồn toàn bộ phán đoán vào trung tâm, nó cố đặt cảm giác và phản ứng cạnh nhau ngay từ cấp độ vật liệu và bộ phận cấu thành cơ thể. Bức tranh ở đây là rút thời gian từ cảm nhận đến hành động gần như về không. Một robot mà đầu ngón tay tự quyết định, thay vì bộ não quyết định mọi thứ. Nói đại khái, đó là hình dung cốt lõi.

Vì vậy DARPA mô tả hướng đi này là tập trung vào vật liệu, không phải máy móc. Điều đó có nghĩa công việc không nằm ở chỗ lắp ráp một robot hoàn chỉnh cho tốt hơn. Đây là một kế hoạch xây dựng lại trí tuệ từ cấp độ vật liệu, bộ phận và nền tảng nằm bên dưới chúng. Những vật liệu có cảm giác riêng, những cấu trúc phản ứng mà không cần mệnh lệnh. Đó là các tiến bộ ở tầng đáy mà DARPA nhắm tới. Vì thế bài viết cũng được xếp vào các lĩnh vực khoa học vật liệu, robot học và cảm biến. Sản phẩm hoàn chỉnh không phải nhân vật chính. Vật liệu mới là nhân vật chính. Đây không phải câu chuyện về lắp ráp một robot, mà là câu chuyện thay đổi chính

những vật liệu tạo nên robot. Nếu OPTIMA và ScAN ở phần trước là câu trả lời ở cấp độ linh kiện của bán dẫn và cảm biến, thì thiết kế lấy vật liệu làm trung tâm được bàn ở phần này là mối quan tâm ở tầng cao hơn, nối các câu trả lời ấy lại với nhau.

Cũng cần nhìn cách phương pháp này khớp với cách tổ chức đó vận hành. DARPA không hẳn là một phòng thí nghiệm, mà giống một định chế đặt ra vấn đề hơn. Cơ quan này không yêu cầu các nhà khoa học viết những bài báo hay. Trước hết, họ công khai những câu hỏi mà có thể chưa có câu trả lời, rồi buộc các nhà nghiên cứu mang về những vật liệu và cấu trúc phù hợp với các câu hỏi ấy. Lần này, câu hỏi được đặt ra là: "Vì sao trí tuệ bắt buộc chỉ nằm trong đầu?" Câu hỏi này không ra lệnh chế tạo một loại vũ khí cụ thể. Nó bảo con người thay đổi khung nhìn về robot. Nó yêu cầu họ gác lại hình ảnh quen thuộc về một bộ não trung tâm và tưởng tượng một robot có trí tuệ rải khắp cơ thể. Nhận xét đã nêu trước đó trong bản thảo này, rằng DARPA đặt mục tiêu rõ ràng lên trước khoa học hay, lại xuất hiện trong chương trình robot học này.

Lý do phải tính toán bằng cơ thể có thể gom lại trong một câu. Đó là loại bỏ độ trễ liên lạc, loại bỏ trung tâm có thể trở thành điểm chí mạng, và cho phép robot tự phán đoán bằng năng lực của chính nó ngay cả trong môi trường ngập nhiễu vô tuyến. Nếu trí tuệ rải khắp cơ thể, đánh trúng một chỗ sẽ không giết chết toàn bộ. Nếu bỏ được gánh nặng vừa nặng vừa nóng gọi là máy tính trung tâm, thời gian một robot có thể trụ lại trên tiền tuyến, nơi tiếp tế khó khăn, cũng có thể thay đổi. Đây là những vấn đề mà thước đo của robot kho hàng không nhìn thấy được. Liên lạc, điểm chí mạng, độ trễ và điện năng. Bốn yếu tố này tạo nên bức tường ngăn cách robot chiến trường với robot thương mại.

Tôi sẽ tránh nói quá. Điều DARPA đưa ra không phải là một vũ khí đã hoàn chỉnh, mà là một hướng nghiên cứu. Trong bài này không có bằng chứng nào cho thấy các robot tính toán bằng chính cơ thể của chúng đã đi lại trên chiến trường. Trí tuệ vật lý hiện mới đứng ở cửa ngõ của một ý tưởng có thể thiết kế lại vật liệu và linh kiện. Hướng này có dẫn tới trang bị thật hay không, và nếu có thì sẽ mất bao nhiêu năm, không thể biết chỉ từ tài liệu này. Cách làm DARPA ưa dùng xưa nay vẫn như vậy. Cơ quan này đặt ra một câu hỏi rõ ràng trước, rồi sau đó mới kiểm tra xem có câu trả lời nào xuất hiện hay không. Họ đặt vấn đề trước thành tựu. Thái độ đó là chìa khóa để đọc cơ quan này. Đây cũng là lý do phần trước đã cảnh báo rằng những con số sáng sủa trong một tài liệu ngân sách phải được đọc tách bạch giữa mục tiêu và thành tựu.

Với độc giả Việt Nam, cảnh này có thể được đọc theo hai cách. Một cách liên quan đến hướng đi của công nghệ. Khi bàn về robot, chúng ta thường nói về bộ não thông minh hơn và năng lực tính toán lớn hơn. DARPA đang gõ vào cánh cửa ngược lại. Họ đang rải bộ não ra khắp cơ thể. Khi thiết kế các hệ thống không người lái, điều này có nghĩa là trước hết ta phải hỏi một robot có thể tự làm gì vào khoảnh khắc liên lạc bị cắt. Cách đọc còn lại liên quan đến cách một tổ chức vận hành. Rất lâu trước khi thành tựu xuất hiện, khi vấn đề vẫn còn ở giai đoạn vật liệu, cơ quan đó công khai đặt câu hỏi dưới chính tên của mình. Nghĩa là mở sân chơi đủ sớm để thất bại

được phép xảy ra. Khi nghĩ đến cách nghiên cứu và phát triển ở Việt Nam thường bị các chỉ số thành tích thúc đẩy và khó cho phép kiểu thất bại sớm như vậy, sức nặng của thái độ này trở nên khác hẳn. Có lẽ điều đáng ghen tị không phải là một robot đã hoàn thiện, mà là tư thế đưa ra trước một câu hỏi chưa có lời đáp và chịu đựng nó. Tại thời điểm giả định cũ về việc bộ não của robot nên được đặt ở đâu đang bị lung lay, Việt Nam phải tự hỏi mình sẽ tiếp tục là một nước mua công nghệ hay sẽ trở thành một nước biết định hình câu hỏi.

Ở điểm cuối của trí tuệ nằm trong phần cứng, điều chúng ta nên nhìn lại không phải là sự mới lạ của một cái tên công nghệ. Các chương trình của DARPA biến những câu hỏi quân sự thành các nhiệm vụ mà nhà nghiên cứu có thể nắm được, rồi gắn vào đó lịch trình và phương pháp kiểm chứng. Vì vậy câu chuyện của một chương không dừng ở việc giới thiệu trang bị hay mô hình. Điều còn lại là ai đã định nghĩa vấn đề, rủi ro nào được chấp nhận trước, và điều gì được học khi thất bại xảy ra. Đi theo dòng chảy này sẽ thấy vì sao DARPA gắn với một cơ quan chọn ra các câu hỏi của chiến trường hơn là một phòng thí nghiệm. Khi độc giả nghĩ về nghiên cứu quốc phòng của Việt Nam, câu hỏi tương tự cũng đi theo. Trước khi tăng ngân sách, điều cần có là quyết định sẽ nắm giữ vấn đề nào đến cùng.

Lựa chọn đó không kết thúc như một câu nói trong phòng họp. Một giám đốc chương trình trao cho các nhà nghiên cứu quyền tự do rộng, đồng thời thu hẹp mục tiêu để công việc không trôi dạt thành những bài báo tách khỏi chiến trường. Sự căng kéo này là sức mạnh khó chịu của nghiên cứu kiểu DARPA. Nếu tự do đi quá xa, chỉ có những bài báo vô dụng trên chiến trường chất đống. Nếu mục tiêu đi quá xa, công việc sẽ dừng lại ở những cải tiến có thể đoán trước. Bàn tay giữ khoảng không giữa hai bên là giám đốc chương trình. Một chương như thế này không thể ra đời nếu ai cũng chỉ cố tránh thất bại. Nếu thất bại không được ghi lại, ngay cả hướng của thí nghiệm tiếp theo cũng trở nên mờ mịt.

Chương 8. RACER và bước chuyển sang năng lực tự hành địa hình sẵn sàng cho tác chiến

Mọi chuyện bắt đầu bằng một cảnh trong bụi đất.

Tháng 10 năm 2025, một xe không người lái cỡ lớn lăn bánh trên nền đất khô ở Fort Hood, Texas. Ghế lái trống không. Vô lăng mà lẽ ra một người sẽ cầm, cùng các bàn đạp mà lẽ ra một người sẽ đạp, vẫn ở đúng vị trí, nhưng không ai ngồi trước chúng. Chiếc xe không đi theo đường trải nhựa. Nó tự chọn lối băng qua vùng đất không có đường và rẽ khi cần. Bánh xe lún qua lớp đất mềm, xé qua bụi rậm, rồi leo qua những mô đất thấp. Sau đó nó dừng lại trước một khu vực có mìn. Nó trải một dây thuốc nổ dài, được phóng bằng rocket, ngang qua mặt đất rồi kích nổ. Nơi luồng nổ đi qua, một lối đi mở ra cho con người bước qua.

Đây từng là công việc của người lính. Các binh sĩ phải bò thấp vào vùng đất có mìn, dùng tay và dụng cụ kiểm tra từng điểm để tạo một con đường. Trong các nhiệm vụ công binh chiến đấu, dây thuốc loại có nguy cơ tử vong cao. Lần này, một cỗ máy đi vào thay con người. Nếu nó thất bại, tổn thất sẽ là thiết bị đắt tiền, không phải mạng người.

Đằng sau cảnh đó là một chương trình của DARPA. Tên chương trình là RACER. Viết đầy đủ, đó là Robotic Autonomy in Complex Environments with Resiliency. Tactical Technology Office, TTO, của DARPA điều hành chương trình này, và mô tả chính thức của chương trình tóm gọn công việc trong ba từ: thuật toán, tự chủ, khả năng thích nghi. Những từ này nghe khô cứng, nhưng bài toán thì rất cụ thể. Hãy chế tạo một cỗ máy có thể chạy qua vùng đất không đường, nhanh như một tài xế con người, mà không cần con người.

Tôi sẽ vạch rõ ranh giới ngay từ đầu. Phần lớn chứng cứ được dùng trong chương này đến từ trang chương trình chính thức và các thông cáo báo chí của chính DARPA. Về bản chất, thông cáo báo chí đặt thành tựu lên trước. Những thử nghiệm thất bại, phần ngân sách bị thất thoát, và các màn trình diễn không đạt kỳ vọng hiếm khi xuất hiện trong đó. Vì vậy, chương này sẽ giới thiệu những gì RACER đã đạt được, đồng thời luôn giữ gần bên sự thật rằng lời kể này là tiếng nói của chính DARPA. Các nguồn được dùng ở đây không có đủ tài liệu độc lập từ bên thứ ba để kiểm chứng cùng các con số ấy. Sau này, khi tôi bàn đến những số liệu như 'huấn luyện lại trong một ngày,' tôi cũng sẽ nói rõ con số đó phát ra từ miệng ai. Nguyên tắc của cuốn sách này là không biến những câu chuyện thành công thành tiếng vỗ tay thuần túy.

Tự chủ trên đường, tự chủ khi không có đường

Trước hết, chúng ta cần thấy vì sao việc này khó. Xe tự hành dân dụng đã phát triển đáng kể trong thập niên vừa qua. Taxi hiện nay đã tự chạy trong các thành phố, và xe du lịch cho phép tài xế rời tay khỏi vô lăng trên đường cao tốc đã được bán ra thị trường. Tiến bộ đó diễn ra trong những điều kiện cụ thể. Mô tả chương trình RACER nêu các điều kiện ấy rất thẳng. Ngành

lái xe tự hành thương mại đã phát triển thuật toán trong môi trường đường bộ, nơi chướng ngại vật có giới hạn, cấu trúc được tổ chức rất chặt, và kết quả tương đối dễ dự đoán. Làn đường được kẻ sẵn, đèn giao thông tồn tại, và mọi người được giả định là tuân theo cùng một bộ luật giao thông. Các công ty cải thiện hiệu năng qua một chu trình nhanh: cho xe chạy, thu thập dữ liệu, sửa hệ thống, rồi cho xe chạy lại. Phương pháp đó có thể thực hiện được vì con đường vốn đã là một sân khấu có trật tự.

Chiến trường phá vỡ tiền đề ấy ngay từ đầu. Phần công nghệ chiến thuật trong tài liệu ngân sách năm tài khóa 2026 của U.S. Department of Defense mô tả rất chi tiết mức độ khắc nghiệt của môi trường cơ động quân sự. Có hàng trăm loại chướng ngại vật. Những thứ cần vượt qua và những thứ cần tránh bị trộn lẫn với nhau. Đất mềm đến mức bánh xe có thể lún xuống và quay trượt. Cỏ và bụi rậm quấn vào nhau trong không gian ba chiều và che khuất tầm nhìn. Trên hết, không có mạng lưới đường cố định. Không có luật lái xe nào để tuân thủ. Lời hứa rằng bạn không được rời khỏi làn đường của mình và lời hứa rằng mọi người sẽ tuân theo tín hiệu không tồn tại ở đó.

Câu chuyện không dừng ở đó. Trên chiến trường, địa hình trở thành công cụ để che giấu thân xe. Muốn sống sót, phải di chuyển sau đồi núi và thảm thực vật để tránh mắt đối phương. Các tài liệu ngân sách nêu rõ điểm này và nói rằng các đặc điểm địa hình phải được dùng để nguy trang và che chắn. Đây không chỉ là một không gian không có quy tắc. Đây là một không gian mà việc cố ý phá vỡ quy tắc có thể đem lại lợi thế. Nếu tự hành trên đường bộ dựa trên niềm tin rằng mọi người đều tuân thủ quy tắc, thì tự hành trên chiến trường bắt đầu từ một mặt đất nơi niềm tin ấy không còn tác dụng.

Các khái niệm tác chiến hiện nay còn thêm một lớp nữa. Theo khái niệm Multi-Domain Operations, MDO, được nhắc đến trong phần mô tả RACER, các nền tảng chiến đấu mặt đất không di chuyển như một khối duy nhất. Chúng phải phân tán rộng để giành lợi thế chiến thuật và tăng khả năng sống sót. Nếu chúng tụ lại một chỗ, một đòn tấn công có thể hạ gục tất cả cùng lúc. Nếu chúng phân tán, việc đó khó hơn. Để các xe không người lái phân tán có thể tự mình vượt qua địa hình gồ ghề, việc con người điều khiển tập trung từng xe là không khả thi. Một người vận hành không thể lái mười xe cùng lúc. Vì vậy câu hỏi của RACER rất thẳng. Trên vùng đất không có đường, không có quy tắc, và không có bản đồ lập sẵn, một robot có thể tự lái với tốc độ tương đương một người lái xe hay không?

Với độc giả Hàn Quốc, sức nặng của câu hỏi này có thể cảm nhận rõ hơn khi nghĩ đến địa hình Bán đảo Triều Tiên. Ở đó có nhiều núi, thung lũng sâu, cùng sự pha trộn giữa đồng ruộng và đồi thấp. Ngay khi một chiếc xe rời khỏi con đường được trải nhựa tốt, nó đi vào mặt đất gồ ghề. Nếu xe không người lái được dùng trong tình huống khẩn cấp, mặt đất mà chúng gặp sẽ không phải là nhựa đường bằng phẳng. Đó sẽ là loại địa hình như thế này. Vấn đề mà RACER cố giải quyết không chỉ là câu chuyện về sa mạc của một quốc gia khác.

Xây dựng ngăn xếp, không phải chiếc xe

Khi vấn đề được đặt trong khung như vậy, lời giải cũng mang một hình dạng khác. DARPA không chọn chế tạo một phương tiện không người lái đặc biệt. Trong thông cáo báo chí tháng 6 năm 2026 công bố việc hoàn tất RACER, giám đốc chương trình Stuart Young giải thích rằng mục tiêu là một Autonomy Stack. Một stack không phải là một khung gầm cụ thể. Đó là một gói phần mềm kết hợp các thuật toán, bộ dữ liệu và mô hình mạng nơ-ron. Cũng có thể nói rằng việc này là xây dựng bộ não của phương tiện, chứ không phải thân thể của nó.

Sức mạnh của cách tiếp cận này nằm ở khả năng chuyển từ một nền tảng sang nền tảng khác. Nếu lắp đúng các cảm biến, stack có thể được đặt lên bất kỳ phương tiện mặt đất nào và biến nó thành một cỗ máy tự lái. Không cần dựa vào tín hiệu GPS, thậm chí không cần tuyến đường được lập kế hoạch trước, nó vẫn có thể vượt qua địa hình ngoài đường ở tốc độ phù hợp với nhiệm vụ. Chương trình bắt đầu vào năm 2021, và thông cáo báo chí cho biết công nghệ đã phát triển nhanh từ thời điểm đó đến nay. Mượn cách diễn đạt của Stuart Young, RACER không chỉ sao chép năng lực quân sự sẵn có. Nó xuất phát từ việc hình dung lại cách chính nhiệm vụ được thực hiện.

Vì sao xây dựng một stack lại quan trọng hơn việc chế tạo một phương tiện? Hãy mở rộng thêm một chút. Khi một vũ khí được hoàn thiện, nó già đi cùng với chính vũ khí đó. Nếu bộ não bị cố định vào khung gầm, bộ não ấy cũng phải bị loại bỏ khi phương tiện trở nên lỗi thời. Stack được tách khỏi khung gầm, nên khi một phương tiện mới xuất hiện, nó có thể được lắp lại. Trên thực tế, RACER đã đặt cùng một bộ não lên cả xe bánh xích hạng nặng lẫn buggy hạng nhẹ. Trong mua sắm quốc phòng, nền tảng thay đổi thường xuyên, còn phần mềm sống lâu hơn. Nếu một xe chiến đấu tồn tại trong nhiều thập kỷ, phần mềm nằm trên nó có thể được thay thế vài năm một lần. Việc RACER sớm tập trung vào tính di động giữa các nền tảng cho thấy một thiết kế hiệu được quy luật sống còn này.

Với những người quen với cách vũ khí được mua bán, ý tưởng này có thể khá lạ. Chúng ta thường hiểu quốc phòng qua những cách nói như 'một phương tiện nào đó đã được mua' hoặc 'một robot nào đó đã được triển khai.' Đó là tư duy lấy vật thể làm trung tâm. RACER đặt câu hỏi từ phía ngược lại. Điều gì xảy ra nếu thứ chúng ta mua không phải là một vật thể mà là một năng lực, và nếu năng lực đó có thể được mang qua nhiều vật thể khác nhau? Câu trả lời là tính linh hoạt. Ngay cả khi một mối đe dọa mới đòi hỏi một khung gầm mới, bản thân năng lực vẫn có thể được chuyển sang, nên không có lý do gì phải bắt đầu lại từ đầu.

Một cỗ máy hiểu những con đường quê

Trong các công nghệ của RACER, phần mà Stuart Young giải thích cẩn trọng là Perception Architecture. Đây là cấu trúc quyết định cách cỗ máy đọc thế giới và đưa ra phán đoán. Ông so sánh nó với việc lái xe trên một con đường quê. Vì ông trình bày một khái niệm khó trước hết

qua một cảnh cụ thể, chúng ta có thể đi theo đúng mạch đó.

Hãy tưởng tượng bạn đang lái xe trên một con đường quê đã trải nhựa và vượt qua đỉnh một ngọn đồi thoải thoải. Đoạn đường phía sau đồi vẫn chưa hiện ra. Dù vậy, con người không đạp phanh gấp. Cơ thể mang theo niềm tin rằng con đường sẽ không đột ngột chấm dứt ngay sau ngọn đồi. Young gọi đây là nhận thức tiên nghiệm. Đó là cảm giác sinh ra từ kinh nghiệm, một cảm giác không hoảng hốt trước điều nó chưa nhìn thấy. Khác biệt giữa người mới lái và người lái có kinh nghiệm xuất hiện ở đây. Người có kinh nghiệm vẫn giữ được nhịp di chuyển ngay cả qua một đoạn đường chưa thể nhìn thấy.

Cũng có trường hợp ngược lại. Hãy tưởng tượng một chiếc xe đổ vung về trên lề con đường quê ấy, hoặc những cọc tiêu màu cam được xếp thành hàng. Một tín hiệu cảnh báo vang lên trong đầu. Có thể phía trước có công nhân làm đường, hoặc có thể đã xảy ra tai nạn, nên bàn chân rời khỏi chân ga. Ngay cả khi chưa biết chính xác điều gì không ổn, chỉ riêng cảm giác bất định đã khiến hành vi đổi sang hướng thận trọng hơn. Hai cảm giác này chỉ về hai hướng trái ngược. Một cảm giác cho phép bạn tiếp tục tiến lên dù chưa nhìn thấy. Cảm giác kia khiến bạn giảm tốc trước một tín hiệu khác thường.

Perception Architecture của RACER mô phỏng đồng thời hai giác quan ấy của con người. Nó không chỉ phản ứng với chướng ngại vật ngay trước xe. Nó kết hợp những bằng chứng đã quan sát được cho đến lúc đó với thông tin có sẵn từ trước, rồi dự đoán điều gì có thể xảy ra tiếp theo. Ngay cả khi thông tin bị thiếu hoặc mờ, nó vẫn tạo ra một dự đoán về thế giới xung quanh và điều chỉnh chuyển động theo dự đoán đó. Đây là một tầng khác so với các hệ thống tự hành trước đây, vốn chỉ phản ứng với một tảng đá cách một mét phía trước. Khác biệt ấy hiện ra thành tốc độ. Một cỗ máy chỉ nhìn thấy thứ ngay trước mặt sẽ cứ chần chừ. Một cỗ máy nhìn xa hơn sẽ giữ được nhịp di chuyển. Mục tiêu đặt tốc độ tương đương người lái xe đến từ năng lực dự đoán này.

Còn có vấn đề về tốc độ huấn luyện lại. Theo thông cáo báo chí, các hệ thống tự hành giai đoạn đầu mất nhiều tuần để huấn luyện lại mô hình nhằm thích nghi với môi trường xa lạ. RACER được cho là đã hoàn tất quá trình đó trong một ngày. Con số này cần được nhìn kỹ. 'Một ngày' là giá trị do phía chương trình công bố. Các nguồn được dùng ở đây không có tài liệu cho thấy một tổ chức thử nghiệm độc lập bên thứ ba đã tái lập cùng con số ấy. Vì vậy, chính xác hơn là nên xem 'một ngày' như kết quả DARPA báo cáo từ các thử nghiệm của chính mình.

Nếu con số đó đúng, đây là một lợi thế khó định giá đối với các đơn vị phải nhanh chóng đưa robot vào những vùng đất chúng chưa từng đi qua. Tác chiến là cuộc đua với thời gian. Nếu phải mất nhiều tuần để học đặc tính của địa hình mới, robot đó sẽ vô dụng trong tình huống khẩn cấp. Công tác chuẩn bị sẽ chưa kịp hoàn tất thì tình hình đã đổi khác. Một ngày thì khác. Nếu hôm nay có thể đưa robot vào địa hình vừa nhận lệnh triển khai hôm qua, thiết bị sẽ theo kịp nhịp tác chiến. Nếu sự linh hoạt này là thật, nó không phải là một chỉ số hiệu năng riêng lẻ.

Nó là điều kiện làm thay đổi toàn bộ cách hệ thống được sử dụng.

Trở lại bãi mìn ở Fort Hood

Công nghệ thường chỉ trông ổn khi còn ở trong phòng thí nghiệm. Lịch sử quốc phòng có đầy những thiết bị có biểu đồ rất đẹp trên giấy, nhưng lại thất bại ngoài chiến trường. Điều khiến RACER khác với các dự án tự hành khác là nó đã hai lần ra ngoài cùng các đơn vị thật vào mùa thu năm 2025. Đó không phải là một bài thử trên đường chạy được kiểm soát. Nó được đặt vào tay các đơn vị đang hoạt động thật.

Lần đầu tiên là cảnh đã mở đầu chương này: mở đường qua bãi mìn tại Fort Hood, Texas. DARPA làm việc với Lữ đoàn Công binh 36 thuộc Quân đoàn III Lục quân Hoa Kỳ và tiến hành màn trình diễn trong một chương trình có tên Machine Assisted Rugged Soldier. Thiết bị được dùng là một xe không người lái cỡ lớn gọi là RACER Heavy Platform. Carnegie Robotics LLC chế tạo nó trên khung gầm M-5 của Textron. Như chữ 'Heavy' trong tên gọi cho thấy, đây không phải là xe trinh sát hạng nhẹ, mà là một cỗ máy lớn và nặng.

Lục quân gắn một M58 MICLIC lên xe tự hành này. Đó là một khối nổ dạng dây dài được tên lửa đẩy ra, dùng để mở một lối đi xuyên qua bãi mìn trong một lần. Nguyên lý là như sau. Nếu một dây dài chứa thuốc nổ được kéo căng qua bãi mìn rồi kích nổ, chấn động từ vụ nổ sẽ kích nổ hoặc vô hiệu hóa các quả mìn ở gần. Dải hẹp và dài mà vụ nổ quét qua trở thành lối đi cho người và xe. Vấn đề là thiết bị này phải được đưa đến gần bãi mìn. Nếu con người làm việc đó, họ phải tiến sát mép trước của bãi mìn.

Trong màn trình diễn, xe tự hành tự lái trên địa hình không đường vào giữa khu vực gài mìn, kích nổ khối nổ và mở một lối đi để lực lượng chiến đấu theo sau. Stuart Young đánh giá rằng màn trình diễn này không chỉ cho thấy triển vọng của công nghệ. Nó chứng minh cách bảo vệ lực lượng có thể thay đổi trong tương lai. Bảo vệ lực lượng nghĩa là bảo vệ binh sĩ trước các mối đe dọa. Khó có hình thức bảo vệ nào trực tiếp hơn việc đặt một cỗ máy vào nơi mà nếu không thì một con người sẽ phải đứng trong nguy hiểm.

Điều đáng chú ý trong cảnh này không phải là tốc độ hay hỏa lực, mà là ai đang đứng ở nơi nguy hiểm. Khi mở đường qua bãi mìn, người chết là người giẫm lên mìn. Đặt một cỗ máy vào vị trí đó có nghĩa là nếu nó thất bại, tổn thất chỉ dừng ở chi phí thiết bị. Xe không người lái cũng đắt. Một phương tiện tự hành cỡ lớn như RACER Heavy Platform chắc chắn không rẻ. Dù vậy, nó không thể đem so với mạng người. Giá trị đầu tiên của công nghệ không người lái trên chiến trường không phải là hỏa lực. Đó là sự hoán đổi vị trí này.

15 kilomet của Fort Irwin

Cuộc trình diễn thứ hai diễn ra một tháng sau tại National Training Center, NTC, ở Fort Irwin, California. Đây là một địa điểm lớn của U.S. Army dùng để huấn luyện lực lượng đối kháng trong điều kiện gần với chiến đấu thật. Tính chất của nó khác với cuộc trình diễn đầu tiên. Đây

không phải là một nhiệm vụ một lần nhằm kích nổ thuốc nổ, mà là một cuộc diễn tập đối đầu giữa các đơn vị thật. Điều đó có nghĩa đây không phải là màn trình diễn viết sẵn. Đối phương đang di chuyển.

Các binh sĩ thuộc một tiểu đoàn trinh sát dưới quyền U.S. Army's 11th Armored Cavalry Regiment đã dùng công nghệ RACER ở phía lực lượng đối kháng. Chiếc xe này không phải loại hạng nặng. Đó là RACER Fleet Vehicle, RFV, được chế tạo trên nền xe buggy Polaris RAZR, và mang theo thiết bị tình báo, giám sát và trinh sát tích hợp, ISR. Cần nhớ lại rằng cùng một ngăn xếp công nghệ đã được đặt trên hai thân xe khác nhau: xe hạng nặng trong cuộc trình diễn đầu tiên và xe buggy hạng nhẹ trong lần này. Đây là bằng chứng nhìn thấy được cho lựa chọn thiết kế: xây dựng bộ não, chứ không phải chiếc xe.

Những người lính giao nhiệm vụ cho các phương tiện và đưa chúng tiến về phía lãnh thổ đối phương. Không có người đi kèm, các RFV thâm nhập sâu 12 đến 15 kilomet vào lãnh thổ đối phương và thực hiện trinh sát tầm xa. Thông cáo báo chí nói rằng đây là một hình thức trinh sát tự động mà trước đó trung đoàn chưa từng có. Staff Sergeant Gavin Ros, người theo dõi cuộc thử nghiệm ngoài thực địa, nói rằng đó là một hệ thống xuất sắc, phù hợp với mục đích họ cần, và ông mong được thấy phần mềm sẽ phát triển như thế nào. Vì đoạn trích ngắn này chứa đánh giá của một người lính thật sự đã xử lý thiết bị, chứ không chỉ là ngôn ngữ quảng bá, nên nó có trọng lượng nhất định. Đó là lời của người dùng, không phải lời khoe khoang của nhà sản xuất.

Stuart Young tóm tắt ý nghĩa của cuộc trình diễn này như sau. Bằng cách giảm sự phụ thuộc vào GPS và các tuyến đường được lập kế hoạch trước, chiến binh có thể đưa các tài sản tự động vào những môi trường off the grid, nơi mạng liên lạc và mạng điện đã bị cắt. Thay vì đưa trinh sát người vào lãnh thổ đối phương cách xa 12 đến 15 kilomet với rủi ro lớn, con người ở lại nơi an toàn hơn trong khi robot gánh lấy nguy hiểm đó.

Hãy dừng lại ở cụm từ 'off the grid.' Các đơn vị hiện đại phụ thuộc rất sâu vào GPS và liên lạc không dây. Họ nhận vị trí qua GPS và trao đổi mệnh lệnh bằng vô tuyến. Đối phương càng mạnh thì càng sớm nhắm vào cả hai thứ đó. Nó gây nhiễu tín hiệu, bóp méo thông tin vị trí và cắt liên lạc. Những môi trường như vậy thường được gọi là môi trường bị phủ nhận liên lạc và bị phủ nhận định vị. Một robot bị buộc vào các tuyến đường lập sẵn và GPS sẽ trở nên bất lực vào khoảnh khắc đó. Bản đồ trở nên vô dụng nếu cỗ máy không biết mình đang ở đâu, và một cỗ máy chỉ di chuyển sau khi nhận lệnh sẽ dừng lại khi mệnh lệnh ngừng đến. RACER nhằm tới khả năng đọc địa hình và tiếp tục tiến lên ngay cả khi đó. Một cỗ máy tự phán đoán sau khi tín hiệu biến mất. Đó là ý nghĩa của tự chủ off-grid.

Uran-9 như một tấm gương

Khi giải thích cho độc giả Hàn Quốc vì sao RACER đi theo hướng này, việc đặt bên cạnh nó một thất bại đối lập sẽ giúp dễ hiểu hơn. Đó là câu chuyện về xe chiến đấu mặt đất không người

lái Uran-9 của Nga được đưa sang Syria, điều tôi từng bàn trong cuốn sách trước của mình, AI Defense Revolution. Tôi không dùng trường hợp này như một khẳng định sự kiện mới trong cuốn sách này. Tôi chỉ mượn nó làm bối cảnh. Việc kiểm chứng tình trạng chi tiết của thiết bị Nga không phải nhiệm vụ của chương này, nên tôi chỉ dùng nó như một tấm gương cho thấy phương hướng.

Uran-9 là một robot có vũ trang, nhìn từ bên ngoài khá chắc chắn, được trang bị pháo tự động 30 mm và cả tên lửa chống tăng. Trong ảnh, nó trông rất đáng gờm. Nhưng trong địa hình đô thị phức tạp của Syria, liên lạc điều khiển từ xa của nó nhiều lần bị cắt chỉ trong phạm vi vài trăm mét. Các tòa nhà chặn sóng vô tuyến. Khi mất liên lạc, robot dừng tại chỗ hoặc trượt khỏi tầm kiểm soát. Vũ khí của nó gây tiếng nổ lớn, nhưng vì nó thiếu trí tuệ để tự tìm đường, chỉ một lần mất liên lạc đã biến nó thành đồng phế liệu đắt tiền. Dù có bao nhiêu nòng súng đi nữa, chúng cũng vô dụng nếu khả năng phán đoán để nhắm bắn không nằm bên trong robot.

Đặt điểm yếu của Uran-9 bên cạnh hướng đi của RACER, bức tranh trở nên rõ ràng. Một robot chỉ phụ thuộc vào điều khiển từ xa chỉ hữu ích chừng nào liên lạc còn hoạt động. Khoảnh khắc liên lạc bị cắt, robot đó trở thành một vật thể yếu ớt trên chiến trường. Đối phương sẽ nhắm vào đường liên lạc ấy. Nỗ lực của RACER nhằm giảm phụ thuộc vào GPS và các tuyến đường định sẵn, đồng thời đặt quyền tự chủ ngoài lưới lên trước, có thể được đọc như một thiết kế nhắm thẳng vào điểm yếu này. Nếu chế tạo một cỗ máy vẫn tiếp tục làm việc sau khi đường liên lạc bị cắt, thì khi đối phương cắt đường đó, thứ bị mất sẽ ít hơn.

Chúng ta cũng cần lùi lại một bước. Uran-9 là thiết bị tác chiến của Nga, còn RACER là một chương trình thử nghiệm của Mỹ. Một bên đã hoạt động trên chiến trường, bên kia đã hoàn thành các cuộc trình diễn trên bãi huấn luyện. Đặt chúng lên cùng một thước đo rồi phán xét bên nào vượt trội là quá mức. RACER chưa từng chạy 15 kilometers trong một cuộc chiến thật khi phải đối mặt với sự gây nhiễu chủ động của đối phương. Tôi sẽ chỉ để Uran-9 lại như một tấm gương cho thấy 'vấn đề nào cần được giải quyết.' Bất cứ ai từng thấy số phận của một robot bị trói vào liên lạc đều có thể đoán vì sao hướng đi của RACER, thoát khỏi sự lệ thuộc vào liên lạc, đã xuất hiện.

Vạch ra ranh giới của thành tựu

Để đánh giá những gì RACER đã đạt được, cần tách bạch hai điều: những gì đã được xác nhận và những gì chưa được xác nhận. Nếu ranh giới ấy bị làm mờ, một chương trình thử nghiệm sẽ bị đọc như một vũ khí đã hoàn thiện, và độc giả sẽ có một bức tranh sai lệch.

Những gì đã được xác nhận là như sau. DARPA đã tiến hành hai cuộc trình diễn với các đơn vị thật vào mùa thu năm 2025. Một cuộc là mở đường qua bãi mìn, cuộc còn lại là trinh sát tự hành ở độ sâu 12 đến 15 kilometer. Bộ hệ thống được gắn trên cả một xe bánh xích hạng nặng và một xe buggy hạng nhẹ, và một đánh giá tích cực từ một binh sĩ tại hiện trường vẫn được ghi

nhận. Những sự kiện này được ghi trong thông cáo báo chí chính thức của DARPA, kèm tên đơn vị, tên thiết bị và tên cá nhân. Điểm đáng giá của thông cáo này là nó không phải lời tự khen mớ hồ. Đó là một bản tường thuật gắn với các danh từ riêng có thể kiểm chứng.

Những gì chưa được xác nhận cũng rõ ràng. Các cụm từ như 'huấn luyện lại trong một ngày' và 'tốc độ tương đương người lái xe' là phần giải thích từ phía chương trình. Các nguồn được dùng ở đây không nói rõ địa hình và điều kiện nào đã tạo ra những con số đó, hoặc đã có bao nhiêu lượt chạy thất bại. Các cuộc trình diễn diễn ra trên thao trường huấn luyện. Fort Hood và Fort Irwin là những địa điểm huấn luyện gần với chiến đấu thật, nhưng vẫn được kiểm soát nhiều hơn một chiến trường thực tế. Chỉ riêng các tài liệu này không thể cho chúng ta biết liệu hiệu năng tương tự có xuất hiện trong chiến đấu hay không, khi đối phương chủ động gây nhiễu tín hiệu vô tuyến và giả mạo vị trí.

Vì vậy, tôi nghĩ gọi RACER là một 'thí nghiệm đã cán đích' sẽ trung thực hơn gọi nó là một 'vũ khí hoàn chỉnh'. Ngay chính tiêu đề thông cáo báo chí đã dùng cụm 'vạch đích', và điều đó giữ được sự cân bằng này. Vạch đích là điểm đến, nhưng nó cũng là điểm xuất phát của cuộc đua tiếp theo. Nó có nghĩa là một cuộc đua đã kết thúc, chứ không phải mọi cuộc đua đều đã kết thúc.

Chính DARPA cũng để lại những dấu hiệu về các điều kiện giới hạn của chương trình. Thông cáo báo chí nói rằng tốc độ chạy của RACER chỉ bị giới hạn bởi ba yếu tố: năng lực cảm biến, giới hạn cơ khí và an toàn. Thoạt nghe, điều đó giống một lời khoe. Nhưng đọc theo chiều ngược lại, nó cũng có nghĩa ba yếu tố này vẫn là những bức tường thật sự. Nếu cảm biến không nhìn thấy, cỗ máy không thể chạy. Nếu khung gầm không chịu nổi, nó không thể tăng tốc. Nếu phán đoán an toàn chưa được giải quyết ổn thỏa, nó phải dừng lại. Nếu không có cảm biến tốt hơn, khung gầm bền hơn và phán đoán an toàn đáng tin cậy hơn, tốc độ sẽ dừng ở đó. Phần mềm có thông minh đến đâu cũng vô dụng nếu phần thân không theo kịp.

Một tầng công nghệ vượt ra ngoài chiến trường

Câu chuyện không kết thúc trong quân đội. Bài toán địa hình không đường mà RACER xử lý đang đi thẳng vào nền kinh tế dân sự. Thông cáo báo chí nói chương trình đã phát triển công nghệ lưỡng dụng. Điều đó có nghĩa nó phục vụ đồng thời nhu cầu quân sự và thương mại. Thông cáo cũng nói dòng tiền vốn cổ phần tư nhân đã bắt đầu bám vào dòng chảy này. Khi đầu tư tư nhân tụ lại quanh công nghệ được tạo ra từ nghiên cứu quốc phòng, đó là tín hiệu cho thấy có những người đánh giá công nghệ ấy có thể kiếm tiền trên thị trường.

Tên của các công ty cụ thể cũng xuất hiện. Đó là Field AI, được tách ra từ nghiên cứu do DARPA tài trợ tại Jet Propulsion Laboratory của NASA, JPL, và Overland AI, được tách ra từ Robot Learning Laboratory của University of Washington. Các công ty này đang đưa bộ công nghệ tự hành địa hình mà RACER đã trình diễn vào các lĩnh vực như nông nghiệp, xây dựng, khai

khoáng và vận tải, mở ra các thị trường mới. Có nhiều ngành phải xử lý mặt đất không có đường hơn người ta thường nghĩ. Máy kéo trên đồng ruộng, xe ben trong mỏ và thiết bị hạng nặng tại công trường đều di chuyển qua những không gian không có làn đường. Ngoài chiến trường, có rất nhiều nơi cần công nghệ có thể tự lái qua địa hình không phải đường bộ.

Một câu chuyện từ 20 năm trước lại xuất hiện. Thông cáo báo chí nói rằng DARPA's Grand Challenge đã mở ra kỷ nguyên lái xe tự hành trên đường bộ 20 năm trước. Một cuộc đua xe không người lái băng qua sa mạc đã trở thành hạt giống của ngành lái xe tự hành đô thị ngày nay. RACER tự đặt mình vào vị trí phiên bản địa hình của con đường đó. Cách kể chuyện ở đây là: nếu tự hành trên đường trải nhựa đã tạo ra một thể hệ công nghiệp, thì tự hành trên vùng đất không có đường có thể tạo ra thế hệ tiếp theo.

Đây là một luận điểm dễ thu hút sự chú ý, nhưng cũng cần được đọc lùi lại một bước. Việc có các công ty spin-off tồn tại và việc những công ty đó có thật sự xây dựng được các thị trường lớn hay không là hai vấn đề khác nhau. Không ai có thể bảo đảm điều gì sẽ xảy ra sau vài năm với một công ty vừa được tách ra. Nhận định rằng Grand Challenge 20 năm trước đã tạo ra các thành tựu ngày nay cũng là phả hệ mà chính DARPA dựng lên cho lĩnh vực này. Việc đặt gốc rễ của ngành lái xe tự hành ở đâu có thể thay đổi tùy theo góc nhìn. Các nguồn được dùng ở đây không cung cấp đủ tư liệu để bác bỏ phả hệ đó, cũng không đủ để hoàn toàn ủng hộ nó. Tôi sẽ trình bày đây như câu chuyện tự kể của DARPA và để việc kiểm chứng lại sau, khi có thêm tư liệu được tập hợp.

Câu hỏi mà Korea nên rút ra từ chương này

Cuối cùng, chúng ta cần nói rõ thí nghiệm này đặt ra điều gì cho những người làm chính sách ở Hàn Quốc. Vấn đề không phải là lập một danh sách những thứ đáng ghen tị. Chương này chỉ hoàn thành nhiệm vụ của nó nếu làm rõ hơn điều gì không nên sao chép nguyên xi.

Trước hết là cách đặt vấn đề. RACER không nói rằng 'hãy làm nghiên cứu tốt về lái xe tự hành.' Nó thu hẹp vấn đề thành 'hãy xây dựng một stack có thể chạy nhanh như con người trên địa hình không có đường và không có luật.' Vì mục tiêu rõ ràng, ranh giới giữa thành công và thất bại cũng rõ ràng. Nó có vượt qua bãi mìn không? Nó có đi được 15 kilometer không? Câu trả lời là có hoặc không. Điểm mà nghiên cứu quốc phòng Hàn Quốc thường vấp phải là mục tiêu được đặt quá rộng, bằng những cách nói như 'bảo đảm năng lực,' khiến thành công và thất bại khó phân biệt. Mục tiêu rộng cũng rất giỏi che giấu thất bại. Khi đó khó hỏi được điều gì đã không đạt. RACER cho thấy hướng ngược lại. Một mục tiêu hẹp và rõ ràng không cho cả thành công lẫn thất bại chỗ để ẩn nấp.

Tiếp theo là cảm giác đầu tư vào phần mềm, không phải khung xe. Quyết định xây dựng một stack có thể di chuyển qua nhiều loại xe, thay vì một xe không người lái trưng bày duy nhất, đã đọc đúng một thực tế: nền tảng thay đổi thường xuyên, còn phần mềm sống lâu hơn. Nhiệm vụ

của Hàn Quốc là làm sao đặt được cảm giác này lên trên quán tính mua sắm hệ thống vũ khí xoay quanh phần cứng. Một dự án mua một chiếc xe xuất sắc thì dễ nhìn thấy và dễ trình bày như một thành tích. Một dự án xây dựng bộ não sẽ ngồi trên nhiều chiếc xe thì ít thấy hơn. Nhưng cái sau mới là thứ còn lại lâu dài.

Điểm cuối cùng là thái độ đối với kiểm chứng. Xuyên suốt chương này, tôi dùng các thông cáo báo chí của DARPA làm bằng chứng, đồng thời lặp đi lặp lại điều kiện rằng đó là tiếng nói của chính DARPA. Con số 'one day' đi kèm điều kiện rằng đó là con số được báo cáo. Phả hệ sa mạc đi kèm điều kiện rằng đó là một phả hệ. Thái độ này thường là thứ bị thiếu khi người ta nói về một DARPA kiểu Hàn Quốc. Làm một cuốn sách kể chuyện thành công thì dễ. Ghi lại cả thất bại và lãng phí bên cạnh chúng thì khó. Lời khoe khoang ở lại trong báo cáo. Sai lầm đi vào ngăn kéo.

RACER gây chú ý không phải vì bản thân màn trình diễn, mà vì màn trình diễn đó được thực hiện ngoài trời với các đơn vị thực. Thí nghiệm được đưa ra thực địa, đặt vào tay binh sĩ, và đánh giá của binh sĩ được giữ lại trong hồ sơ. Tên riêng và điều kiện được ghi cùng nhau, để có thể tách biệt thành tựu với giới hạn. Câu hỏi thật sự mà câu chuyện về năng lực tự hành trên chiến trường không có đường sá đặt ra cho Korea không phải là khi nào chúng ta sẽ chế tạo được một phương tiện không người lái gây ấn tượng. Đó là chúng ta có thể định nghĩa vấn đề hẹp đến mức nào, liệu chúng ta có thể tách năng lực ra khỏi thân xe hay không, và liệu chúng ta có đủ trung thực để gắn điều kiện vào chính những thành tựu của mình hay không. Câu hỏi nằm ở ba điều đó.

Chương 9 Tự chủ hàng không: chuyển đổi trực thăng, X-76, LongShot

Chương này đặt câu hỏi con người có thể lùi xa khỏi bầu trời đến mức nào. Một câu chuyện nói về việc rời tay khỏi các cần điều khiển trong buồng lái. Câu chuyện khác nói về việc được giải phóng khỏi mặt đất mang tên đường băng. Câu chuyện thứ ba nói về việc tách phi công khỏi điểm phóng. Ba cảnh này cùng ép một câu hỏi từ những vị trí khác nhau. Đó là việc DARPA chuyển giao công nghệ trực thăng tự hành cho Lục quân vào năm 2026, máy bay thử nghiệm X-76, và máy bay không người lái LongShot. Ngay từ đầu cần làm rõ một điểm. Trong ba trường hợp đó, chỉ công nghệ trực thăng tự hành đã thật sự được chuyển vào tay một lực lượng tác chiến. Hai trường hợp còn lại vẫn nằm trên bãi thử và trong kế hoạch. Tôi muốn đọc chúng mà không làm mờ ranh giới ấy. Khi ta viết một kế hoạch như thế nó đã là thành tựu, ta đã mua trước một chiến thắng chưa đến.

Việc chuyển giao công nghệ trực thăng tự hành cho Lục quân

Buồng lái trống không. Sau lớp kính, các đèn thiết bị nhấp nháy, nhưng không có ai ngồi trước chúng. Cánh quạt bắt đầu quay, và chiếc máy bay từ từ cất lên. Từ kiểm tra trước chuyến bay, bay theo tuyến, cho đến hạ cánh, không có bàn tay con người nào chạm vào nó. Năm 2022, một trực thăng Sikorsky Black Hawk đã tự mình thực hiện toàn bộ chuỗi thao tác đó, không có phi công. Trước đó đã có những bản tin về trực thăng tự bay. Nhưng chuyến bay này mang một tính chất khác. Ngay cả khi một lỗi hệ thống được cố ý đưa vào trong lúc bay, chiếc máy bay vẫn tự đánh giá tình hình, tự phản ứng, và hạ cánh an toàn. Không có người nào can thiệp để cứu nó. Cỗ máy tự mình vượt qua khủng hoảng.

Chương trình tạo ra cảnh này được gọi là ALIAS. Trong tiếng Anh, ALIAS chỉ một hệ thống tự động hóa công việc của tổ bay bên trong buồng lái. Cơ quan Dự án Nghiên cứu Tiên tiến Quốc phòng Hoa Kỳ, DARPA, đã thúc đẩy dự án này trong nhiều năm. Mục tiêu của DARPA không phải là chế tạo một loại trực thăng mới. Cơ quan này muốn bổ sung tự động hóa cho những máy bay mà các đơn vị đã dùng, để chúng có thể thực hiện nhiệm vụ an toàn hơn và linh hoạt hơn ngay cả trên chiến trường nơi mỗi đe dọa của đối phương dày đặc và điều kiện phức tạp. Thay vì chế tạo một máy bay chưa tồn tại, họ đưa trí tuệ vào những máy bay đã tồn tại. Sự khác biệt này về sau giải thích vì sao Lục quân đón nhận công nghệ đó. Nếu một công nghệ nằm trên nền các hệ thống bảo trì và huấn luyện phi công mà đơn vị đã dùng, gánh nặng học thiết bị mới từ đầu sẽ giảm đi từng ấy. Mua một vũ khí mới và làm cho một vũ khí sẵn có thông minh hơn được đối xử rất khác nhau trong các phòng xét duyệt ngân sách. Phương án sau thường gặp ngưỡng thấp hơn.

Vì sao cách tiếp cận này quan trọng sẽ trở nên rõ ràng khi nhìn vào chính việc lái trực thăng. Phi công trực thăng phải tránh địa hình ở độ cao thấp, đồng thời theo dõi thời tiết và các mối đe

dọa từ phòng không đối phương. Tay và chân giữ máy bay, mắt liên tục chuyển giữa bảng thiết bị và khung cảnh bên ngoài, còn đầu óc vẫn phải đưa ra các phán đoán nhiệm vụ. Sự tập trung của con người có giới hạn. Khi nhiều việc cùng ập đến một lúc, ở đâu đó chắc chắn sẽ có thứ bị bỏ sót. Nếu một hệ thống tự động chia sẻ gánh nặng lớn là giữ máy bay ổn định, con người có thể dành nhiều chú ý hơn cho việc phán đoán. Nó từng bước giải phóng con người khỏi lao động thể chất của việc lái máy bay, để con người tập trung vào công việc tinh thần của chỉ huy nhiệm vụ. Đó là điểm mà ALIAS nhắm tới. Ý tưởng không phải là xóa bỏ phi công. Nó gần với việc vẽ lại vai trò của phi công hơn.

Tháng 3 năm 2026, DARPA chính thức thông báo rằng công nghệ này đã được chuyển giao cho U.S. Army. Hạng mục được chuyển giao là một chiếc H-60Mx Black Hawk thử nghiệm. Đây là máy bay fly-by-wire, gửi và nhận tín hiệu điều khiển bay qua dây dẫn, và tích hợp gói tự chủ Sikorsky MATRIX được hoàn thiện bằng nguồn tài trợ của DARPA. Việc bàn giao diễn ra theo một thỏa thuận chuyển tiếp công nghệ giữa DARPA và giám đốc chương trình trực thăng đa dụng của Army. Sau giai đoạn chứng minh khái niệm trong phòng thí nghiệm, một vật thể thật mà một lực lượng thực tế có thể tiếp nhận và thử nghiệm đã được chuyển sang Army. Trọng lượng của tin tức nằm ở chỗ vật thể này không phải là bản thiết kế trên giấy hay một trình mô phỏng, mà là một chiếc Black Hawk thật bay trên bầu trời.

Vào thời điểm chuyển giao, Program Manager Stuart Young, người dẫn dắt ALIAS tại Tactical Technology Office của DARPA, đã giải thích như sau. ALIAS đã phát triển và trình diễn một kiến trúc tự động hóa bền bỉ và linh hoạt, và giờ đây đã sẵn sàng đem lại cho Army những lợi thế tác chiến đáng kể. Ông cô đọng sứ mệnh của DARPA thành hai phần: phát triển công nghệ đột phá và giảm các rủi ro xuất hiện khi quân đội tiếp nhận công nghệ đó. Điểm thứ hai đáng được chú ý. DARPA không phải là nơi tạo ra công nghệ rồi bỏ đi. Cơ quan này coi một phần công việc của mình là hạ thấp rủi ro cho đến khi công nghệ bám được vào các đơn vị thực tế. Đưa ra một ý tưởng hay và khiến ý tưởng đó sống được ngoài thực địa là hai việc khác nhau. DARPA xem khoảng cách giữa hai việc ấy là trách nhiệm của chính mình. Chúng ta sẽ gặp lại cùng một ý tưởng với X-76 và LongShot. Giảm rủi ro trước, rồi mới bàn giao. Câu ấy chạy xuyên suốt cả chương.

Bên tiếp nhận công nghệ là U.S. Army Combat Capabilities Development Command, được biết đến với tên DEVCOM. DEVCOM dùng chiếc trực thăng tự hành thử nghiệm này như một phòng thí nghiệm bay. Giai đoạn tiếp theo bắt đầu ở đây. Một việc là tích hợp các cảm biến tiên tiến dành riêng cho từng nhiệm vụ vào máy bay. Đôi mắt mà trực thăng cần sẽ khác nhau tùy nhiệm vụ là trinh sát hay vận tải. Một việc khác là xem xét mức linh hoạt tác chiến nào có thể xuất hiện từ bay với phi hành đoàn rút gọn hoặc bay hoàn toàn không có phi công. Cần đánh dấu một điểm. Công việc này của DEVCOM chưa phải là một thành tựu đã hoàn tất. Nó là một kế hoạch thử nghiệm sẽ được tiến hành. Đúng là công nghệ tự chủ đã hoàn tất phát triển và trình diễn, rồi chuyển sang Army. Điều đó không có nghĩa là công nghệ này đã trở thành trang

bị tiêu chuẩn trong các đơn vị tác chiến. Nếu làm mờ điểm này, chúng ta sẽ nhầm một kế hoạch với một thành tựu. Chúng ta phải đọc một tài liệu kế hoạch đúng như một tài liệu kế hoạch, nếu không muốn thất vọng về sau. Đây cũng là nơi cuốn sách này giữ lời hứa của mình: không chỉ gom những câu chuyện thành công lại rồi vỗ tay tán thưởng.

Từ chuyển giao nghe có vẻ nhạt. Nhưng trong thế giới nghiên cứu quốc phòng, nó rất nặng. Nhiều dự án nghiên cứu để lại những màn trình diễn gây chú ý, rồi dừng lại trước khi đến được đơn vị. Giữa thành công trong phòng thí nghiệm và việc được dùng ngoài thực địa là một thung lũng rộng. Nhiều công nghệ biến mất hơn vì nguồn tiền kết thúc, vì chúng không khớp với thủ tục mua sắm quân sự, hoặc vì gánh nặng bảo trì và huấn luyện không thể gánh nổi. Chúng để lại một video ấn tượng rồi bị quên đi. Vì vậy, việc công nghệ tự chủ do DARPA tạo ra đã đi vào tay Army trên một chiếc Black Hawk thật sự, tự nó đã là một thành tựu. Điều đó có nghĩa là một cây cầu bắc qua thung lũng đã được đặt xuống. Một cây cầu không có nghĩa là đã tới đích. Câu hỏi còn lại là từ nay sẽ có bao nhiêu hàng hóa thật sự đi qua cây cầu ấy.

Câu hỏi mà trường hợp này đặt ra cho độc giả Hàn Quốc rất rõ. Tổ chức tạo ra công nghệ và tổ chức tiếp nhận rồi học cách dùng nó ngoài thực địa là hai bên khác nhau, nhưng thỏa thuận chuyển giao và phân công vai trò giữa họ được viết thành một thiết chế. DARPA giảm rủi ro rồi bàn giao. DEVCOM tiếp nhận nó như một phòng thí nghiệm bay. Ai làm ra nó và ai nuôi lớn nó được ghi trong văn bản. Điều này chồng lên một nỗi bức bối quen thuộc trong nghiên cứu và phát triển quốc phòng của Hàn Quốc: trình diễn thì thành công, nhưng đơn vị không tiếp nhận; cơ quan phát triển và đơn vị vận hành coi đó là việc của người khác. Trước khi ghen tị với năng lực của một trực thăng tự chủ, chúng ta phải hỏi trước. Chúng ta có cây cầu nào để công nghệ đi từ phòng thí nghiệm tới đơn vị không, và chúng ta có thỏa thuận nào để quản lý cây cầu ấy không? Việc chuyển giao Black Hawk tự chủ cho thấy, trong một cảnh, cây cầu ấy trông như thế nào. Thứ đáng ghen tị có lẽ không phải là chiếc máy bay, mà là cây cầu.

Sự tự do bay mà X-76 hướng tới

Nếu trực thăng tự chủ ở phần trước là câu chuyện về việc giảm gánh nặng bên trong buồng lái, thì X-76 giờ đây lại đặt câu hỏi về mặt đất nơi một máy bay đứng. Trọng tâm của vấn đề rời khỏi bàn tay con người và chuyển sang nơi máy bay cất cánh rồi hạ cánh.

Với một phi công tiêm kích, đường băng là mặt đất có hai khuôn mặt. Một chiếc phản lực nặng cần mặt đất ấy để vươn lên bầu trời. Cùng lúc, mặt đất ấy lại cố định trên bản đồ bằng những tọa độ chính xác. Không chỉ lực lượng bạn biết các tọa độ đó. Vệ tinh trinh sát của đối phương và tên lửa của đối phương cũng nhìn vào cùng những tọa độ ấy. Một máy bay cần một dải bê tông dài và phẳng để cất cánh, nhưng ngay khi dải bê tông đó bị phá hỏng, cả một máy bay hiện đại bậc nhất cũng phải nằm yên tại chỗ. Máy bay chỉ sống nếu căn cứ còn sống. Cặp ràng buộc cũ này đã làm phi công và chỉ huy đầu đầu như nhau.

DARPA không né tránh vấn đề này. Cơ quan này đối diện thẳng với nó. Phần giải thích chính thức năm 2026 của DARPA có ý này: từ lâu, đường băng là thứ giúp máy bay lấy tốc độ, nhưng cùng lúc, nó cũng là sợi dây buộc máy bay vào một nơi. DARPA nói sợi dây ấy đã tạo ra một điểm yếu chí mạng. Cuộc đánh đổi nằm ở đây: máy bay có được tốc độ bằng cái giá là mất tự do về nơi chốn. Chấm dứt cuộc đánh đổi ấy là điểm khởi đầu của câu chuyện X-76.

Tôi xin nói ngắn gọn bối cảnh vì sao cuộc đánh đổi này giờ đã thành vấn đề. Trước kia, đường băng nằm ở vùng hậu phương an toàn. Mắt của đối phương không vươn tới xa như vậy. Bây giờ thì khác. Vệ tinh nhìn xuống từ bầu trời, còn tên lửa dẫn đường chính xác đánh vào các tọa độ ấy từ xa. Đường băng càng rộng, càng được lát tốt, nó càng dễ trở thành mục tiêu bị xóa sổ. Đây là thời đại mà mặt đất nơi máy bay đứng có thể sụp đổ trước cả chiếc máy bay cất tiền. Trong ván chơi này, câu hỏi một máy bay có thể cất cánh từ bất cứ đâu hay không trở nên quan trọng không kém câu hỏi nó bay nhanh đến mức nào.

X-76 không phải một ngày nào đó bỗng xuất hiện từ hư không. Đằng sau nó là một chương trình mang tên SPRINT. Tên này là viết tắt của Speed and Runway Independent Technologies. Chính cái tên đã chứa mục tiêu: nắm được công nghệ có thể bay nhanh mà không bị trói vào đường băng. DARPA không tự mình gánh chương trình này. Cơ quan này đang xây dựng nó cùng U.S. Special Operations Command. Chi tiết đó đáng nhớ. Việc lực lượng tác chiến đặc biệt là một bên đồng bảo trợ cho ta biết khoảng một nửa nơi chiếc máy bay này được dự định đưa vào dùng. Những nơi không có đường băng, nằm sâu trong lãnh thổ đối phương, những nơi lực lượng phải đi vào và rút ra trong im lặng. Xâm nhập và rút quân, đưa binh sĩ vào rồi bí mật kéo họ ra, là những cách dùng rất gần với mục tiêu mà SPRINT nhắm tới từ đầu.

Máy bay thử nghiệm sinh ra từ chương trình này là X-76. Trong tiếng Anh, những máy bay như vậy được gọi là X-planes. Đó là những thử thách mang chữ X, được chế tạo thành máy bay thật để kiểm nghiệm những cách bay chưa từng tồn tại trước đây. Bell Textron hiện đang chế tạo chiếc máy bay này. Nó đã vượt qua giai đoạn thiết kế trên giấy. Nó đã qua cuộc rà soát thiết kế trọng yếu, cánh cổng kiểm tra thiết kế cốt lõi. Thiết kế đã được đánh giá là đủ chín để bắt đầu cắt phần cứng.

Cái tên này có câu chuyện riêng. Con số 76 trong X-76 trở về năm 1776, năm Hoa Kỳ tuyên bố độc lập. Năm 2026 đánh dấu 250 năm kể từ thời điểm đó, và DARPA chọn con số này để tôn vinh tinh thần của cuộc cách mạng ấy. Cơ quan này khắc năm lập quốc lên một chiếc máy bay mới. Cái tên mang theo niềm tin rằng nó sẽ lật lại những quy tắc cũ từng chi phối hoạt động bay.

Vậy X-76 đang cố giành lấy thứ tự do nào? Các mục tiêu của DARPA rất rõ ở ba điểm. Nó phải cất cánh và hạ cánh trên mặt đất gồ ghề chưa được chuẩn bị từ trước. Hoạt động phải có thể bắt đầu không phải từ một căn cứ không quân trải nhựa phẳng, mà từ địa hình chưa chuẩn bị như đất hoặc sỏi. Nó phải treo mình như trực thăng trong những môi trường khắc nghiệt

không có hạ tầng. Đó là khả năng dừng lại và giữ vị trí trên không. Và tốc độ bay hành trình của nó phải vượt 400 knots. Nghĩa là một máy bay vươn lên theo phương thẳng đứng như trực thăng, rồi khi đã ở trên trời thì bay như phản lực.

Ba mục tiêu này chỉ thật sự có ý nghĩa khi được buộc vào nhau. Trực thăng vốn đã có năng lực cất cánh thẳng đứng. Nhưng trực thăng chậm. Chính kết cấu của một rotorcraft tạo ra giới hạn tốc độ. Chậm có nghĩa là ở lâu hơn trong vùng phòng không của đối phương, và cũng có nghĩa là đến nơi muộn. Ngược lại, tốc độ cao thuộc về máy bay phản lực. Nhưng máy bay phản lực cần đường băng dài để cất cánh. Tự do vươn lên thẳng đứng và tốc độ bay nhanh hiếm khi cùng tồn tại trong một máy bay. Có được cái này thì thường phải từ bỏ cái kia. X-76 cố đặt cả hai vào một thân máy bay. Nó nhắm tới việc nắm giữ cùng lúc tự do về địa điểm và tự do về thời gian.

Hãy dừng lại một chút và nói thẳng điều này. Những gì tôi mô tả đến đây chưa phải là thành tựu, mà là một mục tiêu. Tính đến ngày mốc của tài liệu này, X-76 vẫn chưa bay. Tháng 5 năm 2025, Bell cuối cùng được chọn làm nhà thầu, SPRINT bước sang giai đoạn thứ hai, và nỗ lực của chương trình hiện tập trung không phải vào bay thử, mà vào các bước trước đó: chế tạo linh kiện, đưa chúng về cùng nhau, lắp ráp, rồi thử nghiệm trên mặt đất. Con số 400 knots và khả năng cất hạ cánh không cần đường băng, vào lúc này, vẫn là các giá trị mục tiêu được ghi trong tài liệu thiết kế và kế hoạch thử nghiệm. Một thông số trên giấy và một năng lực đã được chứng minh trong thực tế là hai chuyện khác nhau. X-76 kiểm tra lời hứa được đưa ra từ đầu: hãy đọc tài liệu kế hoạch như kế hoạch. Khoảnh khắc chúng ta gọi nó là một yếu tố làm thay đổi cuộc chơi trước khi máy bay thử nghiệm còn chưa bay, chúng ta đã mua trước câu chuyện thành công.

Cách DARPA dự định xử lý chiếc máy bay này cũng cho thấy tính cách của tổ chức đó. DARPA không cố giữ X-76 đến cùng để biến nó thành một máy bay tác chiến hoàn chỉnh. Vai trò của mẫu trình diễn là kiểm tra xem các công nghệ then chốt có vận hành được trong những môi trường đại diện hay không, và giảm trước các rủi ro mà những hệ thống tác chiến sau này sẽ gặp. Công nghệ có hoạt động không? Tiến độ có giữ được không? Chi phí sẽ là bao nhiêu? Chiếc máy bay này là người chạy trước, mang theo phần bất định ấy đầu tiên. Khi việc đó hoàn tất, chiếc máy bay dự kiến sẽ được chuyển sang một tổ chức quân sự khác cho giai đoạn tiếp theo. Đó cũng là con đường của trực thăng tự hành đã chuyển sang Army trong phần trước. Tổ chức nghiên cứu làm cho hạt giống nảy mầm, rồi các quân chủng tiếp nhận việc dùng trong tác chiến. Điểm khác là trực thăng đã qua cây cầu ấy, còn X-76 vẫn đang đứng trước cầu.

Sức nặng của câu hỏi này đối với độc giả Việt Nam nối tiếp từ phần trước. Chúng ta thường ghen tị với một vũ khí mới. Thứ khó sao chép hơn không phải là máy bay, mà là cấu trúc bàn giao. Một tổ chức đứng phía trước và gánh rủi ro, rồi một tổ chức tác chiến tiếp nhận ở phía sau. Ngay cả khi thí nghiệm thất bại, thất bại ấy không phải là nỗi xấu hổ của tổ chức, mà là tài

sản cho thiết kế tiếp theo. Sự phân công lao động ấy khó sao chép hơn con số được gọi là máy bay cất hạ cánh thẳng đứng 400-knot. Nghiên cứu và phát triển của Việt Nam không chịu đựng thất bại tốt. Nếu kiểm toán và khiển trách đến trước, sẽ không ai gắn ngân sách vào một máy bay thử nghiệm chưa từng bay. Câu hỏi thật sự mà X-76 đặt ra không phải là liệu chúng ta có thể đạt 400 knots hay không. Đó là liệu chúng ta có một thiết chế có thể đạt 400 knots làm mục tiêu và chấp nhận rủi ro thất bại hay không.

Nếu thu gọn tự do bay mà X-76 tìm kiếm vào một dòng, thì đó là: nỗ lực thoát khỏi cả sợi dây mang tên đường băng lẫn giới hạn tốc độ mang tên trục thẳng. Nhưng sự tự do ấy vẫn đang nằm trên một bãi thử mặt đất. Nếu LongShot, thứ chúng ta sẽ gặp ở phần sau, nhắm vào một sợi dây khác gọi là khoảng cách, thì X-76 nhắm cùng lúc vào hai sợi dây cũ: địa điểm và tốc độ. Chúng ta chỉ biết các sợi dây ấy đã thật sự được tháo ra hay chưa vào ngày chiếc máy bay này lần đầu cất thẳng đứng từ một bãi đất.

LongShot và vấn đề khoảng cách trong không chiến

Nếu trục thẳng đã giảm bớt công việc của đôi tay phi công, và X-76 vẽ lại mặt đất dưới chân máy bay, thì vẫn còn một sợi dây thứ ba. Đó là khoảng cách giữa con người và mục tiêu. LongShot nhắm vào khoảng cách ấy.

Một tiêm kích bay về phía lãnh thổ đối phương. Phi công vẫn chưa nhìn thấy máy bay địch bằng mắt thường. Chỉ có một dấu nhỏ lơ lửng rất xa trên màn hình. Không chiến ngày nay bắt đầu như vậy. Nó không còn là kiểu cận chiến trên không cũ, nơi các phi công nhìn thấy nhau rồi đuổi theo đuôi máy bay đối phương. Bên nào bắn trước bằng radar và tên lửa tầm xa từ ngoài khoảng cách nhìn thấy được sẽ thắng. Quân nhân gọi kiểu giao chiến này là tác chiến ngoài tầm nhìn, hay BVR.

Vấn đề xuất hiện ở một thời điểm nhất định. Dù tên lửa có thể bay xa đến đâu, nó cũng chỉ bay được trong giới hạn nhiên liệu rocket của nó. Sau khi bay một quãng dài từ lúc phóng, tên lửa mất dần năng lượng. Đến khi nó vừa vặn tới được máy bay địch, nó có thể không còn đủ năng lượng để bám theo nếu máy bay kia bất ngờ đổi hướng và thoát đi. Muốn đánh trúng với độ tin cậy cao, tên lửa phải được phóng từ khoảng cách ngắn hơn. Tiến gần hơn có nghĩa là tiêm kích có người lái phải đi vào trong lưới phòng không của đối phương và đặt tính mạng phi công vào nguy hiểm. Muốn kéo dài tầm bắn, người ta phải đẩy một con người vào vùng nguy hiểm. Đây là vấn đề khoảng cách mà không chiến đã mang theo từ lâu.

Nút thắt này không thể được tháo gỡ chỉ bằng công nghệ. Một tiêm kích thế hệ thứ năm đặt đồ bay trên bầu trời, bên trong nó là quá trình huấn luyện và sinh mạng của một phi công. Với người chỉ huy, quyết định đưa một máy bay như vậy vào tầm tên lửa đối phương luôn là một phép cân nhắc. Ta có thể giữ mục tiêu chắc đến đâu và ta sẵn sàng mất bao nhiêu phi công nằm trên cùng một bàn cân. Tầm hoạt động và an toàn từ lâu đã đẩy ngược nhau. Có được một bên

thì phải nhường bên kia.

Chương trình LongShot của DARPA dựng lại bàn cân ấy từ một hướng khác. Ý tưởng là thế này: để một máy bay không người lái bay chặn cuối nguy hiểm thay cho con người. Mục tiêu chính thức của LongShot là tạo ra một máy bay không người lái, được phóng từ trên không, có thể mang nguyên trạng các vũ khí không đối không hiện có, qua đó tăng mạnh tầm giao chiến và hiệu quả nhiệm vụ.

Chuỗi hoạt động này khá dễ hiểu nếu ta hình dung thành một cảnh cụ thể. Trước hết, máy bay không người lái này được phóng từ tiêm kích hoặc oanh tạc cơ. Sau khi phóng, nó không vội tăng tốc. Nó tiết kiệm nhiên liệu và di chuyển chậm, tiến vào hướng lãnh thổ đối phương trước các máy bay có người lái của phía mình. Rồi khi thời điểm giao chiến cuối cùng đến, khoảng cách với máy bay đối phương đã đủ hẹp, máy bay không người lái tự phóng các tên lửa không đối không năng lượng cao mà nó mang theo từ chính vị trí đó. Nhìn từ phía tên lửa, điểm xuất phát đã được đẩy lên xa hơn rất nhiều. Thay vì tiêu hao sức lực để bay một quãng đường dài, nó được phóng ngay trước mục tiêu và dùng lực đẩy của rocket để truy đuổi máy bay đối phương. Trên thực tế, máy bay không người lái đã mang tên lửa tới sát tầm đối phương.

Trong cấu trúc này, vị trí của tiêm kích có người lái thay đổi. Phi công có thể ở lại rất xa phía sau tuyến đầu. Máy bay không người lái đảm nhận phần thâm nhập nguy hiểm, còn con người chỉ huy toàn cảnh từ một khoảng cách an toàn. DARPA giải thích rằng cách tiếp cận này cải thiện lớn mức độ an toàn cho phi công, đồng thời mở rộng tầm với chung và hiệu quả tấn công của lực lượng. Điểm cân bằng của bàn cân dịch chuyển chỉ vì một máy bay không có người trên khoang bước vào khoảng không giữa người trong buồng lái và mục tiêu. Nếu X-76 ở phần trước đẩy đường bằng lùi về phía sau, LongShot đẩy con người lùi về phía sau. Ý tưởng đưa máy móc tiến lên phía trước trong khoảng không mà con người đã rút khỏi sẽ lặp lại xuyên suốt chương này.

LongShot còn có một nguyên tắc thiết kế đáng chú ý. Nó không được làm riêng cho một loại tiêm kích cụ thể. Các nhà phát triển hình dung máy bay không người lái này có thể xuất phát từ nhiều loại máy bay mang khác nhau. Nó có thể được treo bên ngoài một tiêm kích, mang bên trong khoang vũ khí của máy bay ném bom, hoặc thả từ máy bay vận tải dưới dạng đạn được đóng trên pallet. Họ thậm chí vẫn để ngỏ ý tưởng dùng máy bay chở hàng đẩy nhiều máy bay không người lái ra từ phía sau. Các nhà phát triển gọi phẩm chất này là độc lập với nền tảng mang. Điều đó có nghĩa là ngay cả khi không có đủ tiêm kích tiên tiến, các máy bay vận tải và máy bay ném bom hiện có vẫn có thể trở thành nền tảng phóng cho tác chiến đường không tầm xa. Hình ảnh tung nhiều phát bắn về phía trước từ các nền tảng phóng rẻ hơn dựa trên một phép tính khác với việc đặt tất cả vào một số ít máy bay tinh hoa.

Khái niệm này đã vượt khỏi giấy tờ và đi vào một máy bay thật. Máy bay không người lái phóng từ trên không này đã nhận định danh máy bay thử nghiệm chính thức X-68A. General

Atomics Aeronautical Systems, hay GA-ASI, được chọn làm đơn vị công nghiệp dẫn đầu về phát triển, sản xuất và trình diễn. Khi một máy bay không người lái nhỏ bắn một tên lửa lớn, lực giật rất dễ làm rung máy bay hoặc khiến nó mất tư thế bay. Vấn đề ổn định và điều khiển này được xem là một trong những rào cản kỹ thuật lớn của chương trình. Phản lực tại khoảnh khắc một tên lửa được đẩy ra có thể lật cả một máy bay hạng nhẹ.

Điều cũng gây chú ý là có bao nhiêu bên cùng tụ lại để giải một vấn đề. DARPA đã gắn nhiều quân chủng và cơ quan vào chương trình này. Các đơn vị thử nghiệm bay và phòng thí nghiệm của Không quân, các trung tâm liên quan đến hàng không của Hải quân, NASA, và các trường thử nghiệm của Lục quân đều tham gia. Trong số đó, Hải quân và Không quân được chỉ định là các đối tác chuyển giao, tức những bên sẽ thật sự tiếp nhận và sử dụng công nghệ nếu nó hoàn tất. Mục tiêu bàn giao cho quân đội, thay vì dừng lại ở nghiên cứu, hiện ra trực tiếp trong danh sách các tổ chức tham gia. Điều đó cũng có nghĩa đây không phải là thành quả của một phòng thí nghiệm riêng lẻ, mà là công việc chỉ có thể tiến lên khi có sự đồng thuận giữa nhiều quân chủng. Đây là cấu trúc bàn giao thứ ba mà chúng ta gặp trong chương này. Trực thăng cho Lục quân, X-76 cho một tổ chức quân sự khác, LongShot cho Hải quân và Không quân. Thói quen ghép sẵn bên chế tạo với bên tiếp nhận là xương sống trong phương pháp của DARPA.

Tiến độ cho đến nay được quản lý bởi một nhóm do Đại tá John Casey dẫn đầu. Nhóm này cho biết họ đã vượt qua thử nghiệm hầm gió toàn quy mô, thử nghiệm hệ thống dù dùng để thu hồi máy bay, và thử nghiệm hệ thống thả vũ khí vốn từng được coi là khó. Mục tiêu tiếp theo là thử nghiệm bay trên bầu trời thật. DARPA đã đưa ra kế hoạch thử nghiệm bay nhằm tới thời điểm sớm nhất là cuối năm 2026. Trình tự là chế tạo và xác minh máy bay thử nghiệm, tích hợp phần mềm, nhận chứng nhận đủ điều kiện bay, rồi thực hiện các thử nghiệm mang treo khi bay cùng máy bay chiến thuật như F-15. Ở cuối chương trình, họ sẽ xác nhận rằng máy bay không người lái có thể thả và bắn tên lửa của chính nó một cách an toàn trong khi bay.

Cần lùi thêm một bước nữa để đọc vấn đề một cách tinh tế. Tính đến ngày tham chiếu này, X-68A chưa từng bay. Nó đã vượt qua các thử nghiệm trong hầm gió và thử nghiệm mặt đất, đồng thời đã đặt lịch thử nghiệm bay. Nó chưa bắn hạ máy bay địch nào trong chiến đấu. Phát biểu của Colonel Casey cũng nói về hướng đi, không phải sự hoàn tất. Ông nói LongShot giảm rủi ro kỹ thuật và cho thấy một con đường khả thi để quân đội tiến tới phóng từ trên không bằng hệ thống không người lái. Một con đường khả thi. Điều đó có nghĩa là lối đi, không phải điểm đến. Kế hoạch phải được đọc như kế hoạch, thử nghiệm phải được đọc như thử nghiệm. Qua ba mục, chúng ta đã nhắc lại cùng một lời thận trọng ba lần. Trực thăng đã được chuyển giao, nhưng chưa trở thành chuẩn mực. X-76 đã vượt qua đánh giá thiết kế, nhưng chưa bay. LongShot đã vượt qua thử nghiệm mặt đất, nhưng chưa cất lên bầu trời.

Nhìn từ chính sách, câu hỏi sâu thêm một lớp. Thứ LongShot nhằm tới không phải là tính năng của một vũ khí, mà là phép tính tạo nên sức mạnh không quân. Cho đến nay, một lực

lượng không quân mạnh thường được đo bằng số lượng tiêm kích có người lái đắt tiền mà lực lượng đó sở hữu. Nếu một lớp bộ phóng không người lái được đặt phía trước chúng, chuẩn tính toán sẽ chuyển từ số phi công sang số thân phóng có thể đẩy ra phía trước. Bên nào có thể đưa nhiều mối đe dọa ra tuyến trước với ít tiền hơn có thể giành lợi thế. Xu hướng này không chỉ là câu chuyện của Mỹ. Với một nước như Korea, nơi không có dư dả số lượng máy bay tinh nhuệ, ý tưởng tăng tầm với trong khi đặt con người vào ít nguy hiểm hơn không hề xa vời. Đây không phải lời kêu gọi vội vã thay đổi cơ cấu lực lượng quanh một khái niệm chưa được chứng minh. Nhưng câu hỏi có thể đẩy người ngồi trong buồng lái lùi lại bao xa sẽ sớm xuất hiện cả trong các phòng ban ngân sách. Để trả lời câu hỏi đó, trước hết chúng ta cần một thiết chế có thể tài trợ cho một máy bay ý tưởng chưa bay và chịu được thất bại. Cấu trúc bàn giao và văn hóa chịu được thất bại, được nhắc lại ba lần trong chương này, là những bài học sẽ tồn tại lâu hơn ba tên vũ khí.

LongShot đứng cùng hàng với trực thăng tự hành đang chuyển sang Army và X-76 đang hỏi lại về tự do bay. Trực thăng làm nhẹ đôi tay của phi công. X-76 vẽ lại giới hạn của chính hoạt động bay. LongShot tách con người khỏi điểm phóng. Ba chương trình đẩy cùng một câu hỏi từ những vị trí khác nhau. Con người có thể lùi lại bao xa, và máy móc có thể tiến lên bao xa? Câu hỏi của chương này về tự chủ hàng không xuất hiện sắc nét tại đây, trong bài toán khoảng cách của không chiến. Câu trả lời nằm trong bãi thử. Điều chúng ta cần giữ lúc này là sự trung thực không viết trước câu trả lời đó như một thành công, và câu hỏi liệu các thiết chế của chính chúng ta có chịu được những thử nghiệm như vậy hay không.

Ở cuối Aircraft Autonomy: Helicopter Transition, X-76, LongShot, điểm cần nhìn lại không phải là sự mới lạ của các tên công nghệ. Các chương trình của DARPA biến những câu hỏi mà quân đội nắm giữ thành nhiệm vụ mà các nhà nghiên cứu có thể nắm bắt, rồi gắn thời hạn và phương pháp kiểm chứng vào các nhiệm vụ đó. Vì vậy, câu chuyện của một chương không dừng ở việc giới thiệu thiết bị hay mô hình. Điều còn lại là ai đã định nghĩa vấn đề, những rủi ro nào được chấp nhận trước, và đã học được gì khi một việc thất bại. Đi theo dòng này, DARPA trông không giống một viện nghiên cứu cho bằng một tổ chức chọn ra các câu hỏi của chiến trường. Khi đọc giả nghĩ về nghiên cứu quốc phòng của Korean, cùng câu hỏi ấy sẽ đi theo. Trước khi tăng ngân sách, chúng ta phải quyết định mình sẽ bám đến cùng những vấn đề nào.

Chương 10 Vi điện tử và quang tử thế hệ mới

JUMP 2.0 và hệ sinh thái nghiên cứu đại học

Hãy hình dung một phòng thí nghiệm bán dẫn tại một trường đại học ở Mỹ. Đêm muộn, vài nghiên cứu sinh đặt một tấm wafer mỏng dưới kính hiển vi và chăm chú quan sát. Giáo sư hướng dẫn của họ đang sửa lại các slide cho bài trình bày tại một hội nghị vào tháng tới. Trên tường không có ảnh vũ khí, và cũng không có người mặc quân phục đi dọc hành lang. Nhìn từ bên ngoài, căn phòng này dường như chẳng liên quan gì đến chiến trường. Nhưng nếu lần theo từng nguồn tiền nghiên cứu chảy vào một phòng thí nghiệm như vậy, một cái tên quen thuộc sẽ hiện ra. Defense Advanced Research Projects Agency của Hoa Kỳ, DARPA. Có một điểm mà nghiên cứu bán dẫn cơ bản và chiến trường tương lai nối với nhau thành một đường, và tại mắt nối đó là một chương trình mang tên JUMP 2.0.

JUMP 2.0 là viết tắt của Joint University Microelectronics Program 2.0. Cái tên dài và cứng, nhưng công việc mà chương trình này nhắm tới thì rõ ràng. Nó kết nối các trung tâm nghiên cứu ở nhiều trường đại học thành một mạng lưới để họ cùng xây dựng thế hệ công nghệ bán dẫn tiếp theo. DARPA đặt chương trình này dưới chiếc ô lớn hơn là Electronics Resurgence Initiative. Từ “resurgence” xuất hiện ở đó không phải ngẫu nhiên. Nó mang ý định vẽ lại bản đồ của ngành công nghiệp điện tử, một ngành mà Hoa Kỳ từng dẫn đầu.

Chương trình này không xuất hiện chỉ sau một đêm. Nó đứng trên phần nổi dài của 25 năm hợp tác giữa DARPA, Semiconductor Research Corporation, SRC, và giới công nghiệp. Mỗi quan hệ lâu dài đó rất quan trọng. Một cấu trúc trong đó chính phủ đặt ra hướng đi rộng, doanh nghiệp cung cấp tiền và nhân lực, còn các trường đại học đảm nhận nghiên cứu cơ bản nhiều rủi ro, không thể được dựng lên trong một ngày. Chỉ riêng việc xem mỗi bên có thể tin bên kia hay không cũng đã cần nhiều thời gian. Thông qua mô hình hợp tác công tư này, DARPA giúp các trung tâm nghiên cứu đại học giữ vai trò dẫn dắt trong việc giải quyết những vấn đề lớn của công nghệ thông tin và truyền thông. Mục tiêu của chương trình rất rõ. Bằng những nghiên cứu có khả năng làm rung chuyển cả lĩnh vực, chương trình này nhằm giữ Hoa Kỳ ở tuyến đầu của vi điện tử.

Vì sao lại là các trường đại học, trong rất nhiều nơi có thể chọn? Rót tiền vào một phòng thí nghiệm doanh nghiệp duy nhất có vẻ nhanh hơn, nhưng DARPA lại nối nhiều trường đại học vào một liên minh chung. Lý do nằm ở việc phân tán rủi ro. Nếu toàn bộ nghiên cứu nền tảng được đặt cược vào một hướng đi chưa biết có thành công hay không, thiệt hại sẽ rất lớn khi con đường đó khép lại. Nếu nhiều trường đại học cùng lúc thăm dò các vật liệu và cấu trúc khác nhau, khả năng một nơi nào đó mở được đường sẽ tăng lên. Trường đại học cũng là mạch nước liên tục tạo ra các nhà nghiên cứu trẻ và ý tưởng mới. Trong khi các phòng thí nghiệm doanh nghiệp nhìn vào những sản phẩm có thể bán ngay bây giờ, trường đại học có khoảng trống để

giữ lại những câu hỏi có thể chỉ trở nên quan trọng sau mười năm nữa. DARPA cố giữ cho mạch nước ấy không cạn, đồng thời hướng dòng chảy của nó về phía quốc phòng và công nghiệp.

Vậy những bài toán nào đã được giao cho các nhà nghiên cứu đại học? Các tài liệu ngân sách của U.S. Department of Defense cho fiscal year 2026 nêu năm thách thức kỹ thuật lớn. Phần cứng analog có thể được xây dựng mới đến mức nào? Bộ nhớ và lưu trữ phải được chuẩn bị ra sao trước sự bùng nổ dữ liệu? Làm thế nào để thu hẹp khoảng cách giữa lượng dữ liệu đang đổ vào và năng lực truyền thông cần thiết để chuyên chở nó? Khi mọi thứ được kết nối qua artificial intelligence, làm sao có thể chặn các lỗ hổng bảo mật mới ngay từ tầng phần cứng? Nhu cầu điện năng cho tính toán đang tăng khó kiểm soát, vậy phải kiểm chế thể nào? Năm câu hỏi này không tách rời nhau. Giải được một câu, câu khác lại nín chân. Thay đổi thiết bị để tiết kiệm điện, phương thức truyền thông trở thành vấn đề. Đụng vào hệ thống truyền thông, an ninh bắt đầu lung lay.

Để đối mặt với các thách thức này, các nhóm nghiên cứu đại học chia nhau bảy chủ đề công nghệ nền tảng: nhận thức, truyền thông, từ cảm nhận đến hành động, tính toán và xử lý, bộ nhớ và lưu trữ, tích hợp và đóng gói, cùng các thiết bị cho hiệu năng cao trong khi dùng ít điện. Nếu liệt kê theo tên, chúng trông giống mục lục của một cuốn giáo trình. Nhưng các chủ đề này gần với một mệnh lệnh hơn: trộn vật liệu và thiết bị mới, cấu trúc và thuật toán, công nghệ thiết kế và tích hợp vào cùng một nơi. Bên trong đó là yêu cầu buộc các nhà vật lý, kỹ sư vật liệu và nhà nghiên cứu phần mềm va chạm trong cùng một dự án, rồi vượt qua ranh giới của các lĩnh vực sẵn có.

Nhìn kỹ hơn vào các tài liệu ngân sách sẽ thấy một thay đổi đáng chú ý. Bắt đầu từ fiscal year 2026, dòng ngân sách dành cho JUMP 2.0 được chuyển chỗ. Chương trình vốn nằm dưới mục “Electronics Science” trong “Defense Research Sciences” được sắp xếp lại dưới một hạng mục mới có tên “Emerging Opportunities,” trong dòng mang tên “Disruptive Microtechnologies Sciences.” Nếu chỉ nhìn vào việc một ô ngân sách đổi vị trí, chuyện này có thể giống một việc hành chính nhỏ. Nhưng nên nhớ rằng từ “disruptive,” nghĩa là thứ làm đảo lộn cả lĩnh vực, nay đã được gắn vào tên của dòng ngân sách đó. Cùng một nghiên cứu, nhưng trọng lượng tổ chức sẽ khác tùy nó được đặt vào ngăn nào. Sự đổi tên này lặng lẽ cho thấy DARPA muốn đặt nghiên cứu bán dẫn đại học ở đâu.

Có một điều cần ghi nhớ. Phần lớn những gì tôi đã viết cho đến đây là “mục tiêu” và “kế hoạch” nằm trong mô tả chương trình và tài liệu ngân sách của DARPA. Đó không phải là bảng kết quả nói rằng năm thách thức đã được giải quyết đến mức nào, hay bảy chủ đề đã tạo ra những kết quả cụ thể nào. Một trang chương trình là tài liệu ghi lại lời hứa về những việc sẽ được làm, còn tài liệu ngân sách ghi lại kế hoạch về nơi tiền sẽ được đưa vào. Chỉ dựa vào những tài liệu công khai hiện có, rất khó nói chắc JUMP 2.0 đã thực sự tạo ra gì và tạo ra bao nhiêu. Tôi không muốn tô màu khoảng trống đó như thể nó đã là thành tựu. Tôi sẽ tiếp tục tách

kế hoạch khởi kết quả cho đến cuối. Giới thiệu DARPA như một thiết chế được xây dựng tốt khác với việc vội khoe những kết quả chưa xuất hiện.

Dù vậy, đường nét mà chương trình này vẽ ra rất rõ. Nếu các trường đại học là nguồn nước của ý tưởng, thì JUMP 2.0 là con kênh dẫn dòng nước ấy về phía quốc phòng và công nghiệp. Các vật liệu và cấu trúc được tinh luyện ở đại học dẫn tới NGMM, chương trình sản xuất mà chúng ta sẽ gặp tiếp theo trong chương này. Chúng cũng mở rộng sang PICASSO, nơi xử lý ánh sáng như một tín hiệu, và sang RAAPTR, nơi xử lý môi trường tần số vô tuyến. Vấn đề chip nóng lên được tiếp nhận bởi các nghiên cứu như THREADS và Thermonat. Nghiên cứu cơ bản, sản xuất và thiết bị được thiết kế để ăn khớp với nhau như một chuỗi, thay vì vận hành riêng rẽ. Nếu đọc chương này đến cuối, bạn sẽ thấy con đường mà một ý tưởng bắt đầu trong phòng thí nghiệm đại học chảy ra bên ngoài.

Tên của văn phòng đặt JUMP 2.0 cũng khớp với bức tranh này. Chương trình thuộc Multi X Office của DARPA, MXO, và các chủ đề được liệt kê của văn phòng này gồm điện tử, vi mạch và cảm biến. Tính chất của văn phòng, băng qua nhiều công nghệ thay vì bị giữ trong một lĩnh vực, trùng với hướng đi của chương trình là nối rộng hệ sinh thái nghiên cứu đại học. Ngay cả vị trí trên sơ đồ tổ chức cũng mang theo ý định về cách một chương trình sẽ được đối xử.

Với độc giả Hàn Quốc, phần này để lại cả sự ghen tị lẫn bài tập phải làm. Mô hình quen thuộc, trong đó một viện nghiên cứu của nhà nước chịu trách nhiệm về một công nghệ lõi, bắt đầu từ một nơi khác với mô hình đã buộc nhiều trường đại học và doanh nghiệp vào một liên minh trong 25 năm. Trước khi cắt ngang câu hỏi bằng cách nói bên nào đúng, có một điều chúng ta phải hỏi trước. Chúng ta đã từng nối nghiên cứu cơ bản ở đại học với các vấn đề của quốc phòng và công nghiệp trong thời gian dài như vậy và chặt như vậy chưa? Nếu câu trả lời không đến dễ dàng, chính sự ngập ngừng đó là một điểm bắt đầu. Tôi sẽ quay lại câu hỏi này ở phần cuối.

NGMM và sản xuất vi điện tử thế hệ tiếp theo

Trong một khu phức hợp nghiên cứu ở Austin, Texas, một dây chuyền sản xuất bán dẫn mới đang được xây dựng. Mục tiêu của nó nghe hơi lạ. Đây không phải là cuộc đua khắc các transistor nhỏ hơn. Đây là công việc xếp chồng các mảnh chip được sản xuất ở những nhà máy khác nhau, bằng những vật liệu khác nhau, thành một khối thống nhất. Một chip truyền thông được đặt lên trên một chip xử lý tính toán, rồi một thiết bị khác lại được xếp thêm phía trên. Có thể hình dung gần giống như các khối Lego được xếp thẳng đứng.

DARPA gọi phương pháp này là tích hợp dị thể ba chiều. Chữ viết tắt của nó là 3DHI. Tên gọi khó hiểu, nhưng ý tưởng thì rõ ràng. Việc tiếp tục chia nhỏ mạch điện ngày càng mịn hơn trên một tấm wafer silicon đơn lẻ có giới hạn vật lý. Khi transistor đã được thu nhỏ tới bề rộng chỉ còn vài nguyên tử, sẽ không còn chỗ để thu nhỏ nữa. Trong hơn nửa thế kỷ, lực đẩy ngành bán

dẫn tiến lên là lời hứa khắc được nhiều transistor hơn vào cùng một diện tích. Lời hứa đó đã chạm vào bức tường vật lý. Vì vậy, câu trả lời là xây lên theo chiều dọc thay vì tiếp tục thu hẹp theo chiều ngang. Điều đó có nghĩa là không chỉ bám vào silicon, mà gắn các bộ phận có tính chất khác nhau, như bán dẫn hợp chất mạnh về truyền thông hoặc các thiết bị truyền tín hiệu bằng ánh sáng, vào trong cùng một package. DARPA nhìn thấy đổi mới vi điện tử trong tương lai sẽ xoay quanh kiểu hợp nhất này. Cuộc cạnh tranh không chỉ nằm ở hiệu năng của từng bộ phận, mà ở việc các bộ phận có tính chất khác nhau có thể được gắn với nhau chặt đến đâu và vận hành như một thể thống nhất ra sao.

Chương trình đưa ý tưởng này vào một nhà máy thực tế là Next-Generation Microelectronics Manufacturing, hay NGMM. Mục tiêu DARPA công bố rất rõ. Cơ quan này muốn xây dựng một trung tâm sản xuất bên trong Hoa Kỳ, có thể hỗ trợ nghiên cứu và phát triển cũng như sản xuất thử nghiệm quy mô nhỏ bằng 3DHI. Chương trình cũng nhắm tới việc tạo ra một trung tâm tự duy trì, tiếp tục vận hành sau khi hỗ trợ của chính phủ kết thúc. Ngay cả khi một nhà nghiên cứu muốn sản xuất nguyên mẫu, ý tưởng vẫn dừng trên giấy nếu không có dây chuyền trong nước đủ khả năng xếp chồng và liên kết chip theo ba chiều. NGMM là nỗ lực đặt dây chuyền đó trên đất Mỹ.

Có một điểm độc giả Hàn Quốc có thể dễ nhầm lẫn. Khi Hoa Kỳ nói về việc xây dựng nhà máy bán dẫn trong nước, điều đầu tiên người ta nghĩ đến thường là CHIPS and Science Act of 2022. NGMM được cấp tiền từ một nguồn khác. Đây là một khoản ngân sách của Department of Defense. Nếu CHIPS and Science Act hướng đến việc bảo đảm năng lực sản xuất ngay bên trong Hoa Kỳ, thì NGMM đưa trước tiền quốc phòng vào những công nghệ còn xa hơn một chút, chưa ổn định trong thị trường thương mại. Hai dự án đi đến hai đích khác nhau. Một bên lấp khoảng trống sản xuất của hôm nay. Bên kia, dưới danh nghĩa quốc phòng, gieo hạt vào những công nghệ mà giá trị có thể chỉ được thị trường định giá sau nhiều năm nữa. Vì nhắm tới cả mục đích thương mại lẫn an ninh, NGMM ngay từ đầu đã được thiết kế như một dự án lưỡng dụng.

Trung tâm này được gọi là TNC. Tên đầy đủ là TIE NGMM Center. DARPA đang xây dựng nó cùng University of Texas at Austin và Texas Institute for Electronics, TIE, của trường này. TNC không phải là nhà máy thuộc về một công ty. Đây là một dây chuyền nghiên cứu mở, nơi các công ty quốc phòng, foundry trong nước, startup, công ty thiết kế và đại học đều có thể tham gia. Tính chất này định hướng cho NGMM. Nếu đó là một nhà máy tư nhân bị khóa sau cánh cửa của một tập đoàn lớn, thí nghiệm của một nghiên cứu sinh và nguyên mẫu của một startup nhỏ đều sẽ phải quay lại ngay từ lối vào. Việc đưa thiết bị về một nơi để dùng chung cũng mang ý nghĩa như vậy. Nếu thiết bị chế tạo, lắp ráp, đo lường và kiểm thử nằm rải rác ở nhiều tòa nhà khác nhau, chỉ làm một con chip cũng có thể mất nhiều tháng. Khi chúng được gom dưới cùng một mái nhà, khi tiêu chuẩn giữa các máy được khớp với nhau, và khi quy trình được chuẩn hóa và tự động hóa, thời gian để biến một con chip mới thành nguyên mẫu sẽ rút ngắn. Khoảng cách từ ý tưởng đến vật thể thật trở nên ngắn hơn.

Xây dựng phần cứng mới là chưa đủ. Phần mềm thiết kế phải theo kịp. Các công cụ electronic design automation đang được dùng trên thị trường hiện nay được tạo ra để vẽ chip phẳng. Chúng không đủ để xử lý độ phức tạp của các cấu trúc ba chiều xếp chồng. Các tài liệu ngân sách của U.S. Department of Defense cũng nêu rằng các công cụ EDA thương mại thiếu năng lực và độ linh hoạt để xử lý các hệ thống 3DHI. Nếu công cụ không theo kịp, nhà thiết kế không thể điều khiển phần cứng, dù phần cứng đã tiến xa đến đâu. Vì vậy NGMM cũng xây dựng phần mềm. Chương trình bao gồm bộ công cụ thiết kế lắp ráp ba chiều, 3D-ADK, chứa các quy tắc thiết kế để lắp nhiều chip thành một; quy trình EDA cho mạch ba chiều; mô phỏng digital twin để chạy thử hiệu năng trong môi trường ảo trước khi tạo vật thể thật; và các tiêu chuẩn kiểm thử để đánh giá hiệu năng. Những công cụ này sẽ vô dụng nếu không khớp với quy trình của nhà máy thật. Chương trình đặt nền để kỹ sư foundry, đóng gói và phần mềm làm việc đồng bộ tại cùng một nơi. Thay vì để bộ công cụ thiết kế chạy theo quy trình nhà máy sau khi mọi việc đã xong, cấu trúc này buộc bộ công cụ thiết kế gắn với các thay đổi quy trình ngay khi chúng diễn ra.

Cần nói rõ về tư thế nhìn nhận ở đây. Sẽ sai nếu đọc trung tâm này như thể nó đã tạo ra kết quả. NGMM là một kế hoạch đang được xây dựng và là một công trường. Chương trình được chia thành các giai đoạn. Phase 0, giai đoạn vẽ bức tranh cơ bản, đã kết thúc vào năm 2023. Các nhóm nghiên cứu tham gia đã xác định và phân tích họ sẽ xây dựng loại hệ thống 3DHI nào, từ đó đặt khung cho việc lập trung tâm. Phase 1, giai đoạn dựng bộ khung của trung tâm, được chính thức trao vào tháng 7 năm 2024, và một sự kiện khởi động được tổ chức tại Austin vào tháng 9 năm đó. Mỗi giai đoạn xây dựng được đặt thời hạn hai năm rưỡi, còn việc tạo ra các nguyên mẫu thật thuộc về Phase 2 tiếp theo. Từ một sự kiện khởi động đến việc in ra chip vẫn còn một quãng đường dài.

Những gì diễn ra trong Giai đoạn 1 cho ta hình dung về quy mô của dự án. Giai đoạn này thiết lập một hệ thống điều hành sản xuất để giám sát quy trình và thiết bị, thu thập dữ liệu và lịch thử nghiệm, đồng thời xây dựng một kế hoạch an ninh bao gồm an ninh vật lý và bảo vệ dữ liệu. Dự án mua, lắp đặt và thẩm định các thiết bị cốt lõi cần thiết để liên kết chip theo ba chiều. Các quy trình tham chiếu như thermocompression bonding, tức nối chip bằng nhiệt và áp lực; hybrid bonding, tức nối trực tiếp các bề mặt; và patterning, tức tạo các kết nối kim loại, đều được trình diễn trong giai đoạn này. Tất cả những việc đó là phần chuẩn bị nền tảng cần có trước khi có thể làm nguyên mẫu. Mục tiêu không phải là tạo ra một kết quả chói sáng ngay từ đầu. Mục tiêu là xây dựng cơ thể có khả năng tạo ra kết quả.

Điểm này cần được đọc một cách thẳng thắn. Nếu nhìn vào danh sách nhiệm vụ cho năm tài khóa 2026 trong các tài liệu ngân sách của DARPA, các mục được nêu không phải là kết quả đã hoàn tất, mà là một hàng dài những việc sẽ phải được thiết lập từ nay về sau. Tại thời điểm này, NGMM cũng chuyển sang một dòng ngân sách khác, từ PE 0603739E, MT-16 hiện có, sang một dòng thuộc Advanced Disruptive Microtechnologies, PE 0603469E. Những bài tập mới được liệt

kê gồm: mô hình tiếp cận của người dùng để xác định cách công nghiệp và học thuật sẽ chia sẻ quyền sở hữu trí tuệ; kế hoạch tự chủ để trung tâm tồn tại nhờ hội viên và khách hàng sau khi tiền chính phủ kết thúc; và việc sản xuất thực tế các chip thử nghiệm tham chiếu như power amplifiers, low-noise amplifiers và interposers. Một trung tâm tự duy trì có thật sự tự duy trì được hay không vẫn chưa được chứng minh. Nó mới chỉ được viết ra như một mục tiêu. Sau khi nguồn vốn chính phủ đổ vào như nước mồi, liệu các công ty thành viên và khách hàng có trả đủ tiền để dây chuyền tiếp tục chạy không? Câu trả lời cho câu hỏi đó sẽ không đến từ tài liệu ngân sách, mà từ các hóa đơn vài năm sau.

Vì vậy, tôi khuyên nên đọc phần này theo cách sau. Đừng xem NGMM là một vũ khí đã nằm sẵn trong tay nước Mỹ. Hãy xem nó là một vụ đặt cược lớn mà Hoa Kỳ đang thực hiện. Đây là nỗ lực đưa hoạt động sản xuất chip tiên tiến, vốn tập trung ở một số foundry châu Á, quay trở lại bên trong Hoa Kỳ, ít nhất là ở mảng quốc phòng. Với độc giả Việt Nam, đây không phải là chuyện của người khác. Các công ty Hàn Quốc đứng ở giữa nhóm “Asian foundries” mà Hoa Kỳ muốn kéo trở lại. Vì sao Hoa Kỳ lại chi cả tiền quốc phòng để gieo một hệ sinh thái sản xuất trên đất của mình? Vì việc giao phó chip tiên tiến cho các nhà máy ở nước khác đã bắt đầu được nhìn như một mắt xích yếu trong an ninh. Trong số các nhà máy mà ánh nhìn đó hướng tới có tên của Hàn Quốc. Đó là đối tượng của sự ngưỡng mộ, đồng thời là tấm gương khiến chúng ta nhìn lại vị trí của chính mình. Tại nơi Hoa Kỳ gọi các nhà máy trở về nhân danh quốc phòng, chúng ta đặt vị trí của bán dẫn Hàn Quốc bên cạnh nó.

Đọc PICASSO, RAAPTR và vấn đề nhiệt cùng nhau

Bất cứ ai từng đặt tay phía sau một ăng-ten radar đều biết điều này. Sóng vô tuyến càng bị đẩy ra mạnh, thiết bị càng nóng. Nhiệt tăng cùng với cường độ tín hiệu. Trên chiến trường, nhiệt này ăn mòn hiệu suất, rút ngắn tuổi thọ linh kiện, và thêm gánh nặng làm mát thiết bị. Kích thước, trọng lượng, công suất và chi phí. Quân đội gộp bốn yếu tố này thành SWaP-C. Càng muốn có hiệu suất cao, cả bốn yếu tố này càng cùng tăng lên. Nâng hiệu suất thêm một gang tay, trọng lượng tăng thêm một nắm tay. Khi trọng lượng tăng, cần làm mát nhiều hơn. Thêm làm mát, nhu cầu điện và thể tích lại tăng tiếp. Nhiệt nằm ở trung tâm của vòng luẩn quẩn này.

Khi DARPA xử lý vi điện tử và quang tử thế hệ tiếp theo, trên bề mặt xuất hiện nhiều chương trình với các tên khác nhau: PICASSO, RAAPTR, cùng THREADS và Thermonat, hai chương trình nhắm thẳng vào nhiệt. Nhìn theo tên gọi, chúng có vẻ tách biệt. Lùi lại một bước, ta thấy chúng đang đánh vào cùng một bức tường từ nhiều vị trí khác nhau. Bức tường đó là nhiệt. Thay vì tách ba hướng đi này ra, tôi sẽ đọc chúng cùng nhau như ba mặt của cùng một vấn đề.

Trước hết là phía đối đầu trực diện với nhiệt. Tháng 6 năm 2026, DARPA công bố một bài viết thông báo về chương trình mang tên THREADS. Tiêu đề của nó khá đáng chú ý. Bài viết dùng hình ảnh luân kim qua rào cản nhiệt do công suất tần số cao tạo ra. Chương trình này nhằm vào việc nhiệt tạo ra trần hiệu suất trong các thiết bị xử lý công suất tần số cao, tức RF, như thế

nào, và làm sao có thể xuyên qua trần đó. Cụm từ quản lý nhiệt nghe có vẻ nhạt. Nhưng trong thực địa, chính yếu tố này quyết định công suất radar và tầm liên lạc. Nhiệt độ mà một thiết bị chịu được là đường giới hạn của mức công suất mà thiết bị đó có thể tạo ra. THREADS cố gắng đẩy đường giới hạn ấy lên cao hơn từ phía thiết bị và đường dẫn nhiệt.

Bên cạnh đó là Thermonat. Tháng 5 năm 2026, DARPA nói nghiên cứu này đã nâng dự báo nhiệt ở thang nano lên mức có thể dùng trong thiết kế chip thực tế. Ý tưởng là tính trước nơi nhiệt sẽ tích tụ bên trong chip, tích tụ bao nhiêu, xuống tới các thang đo cực nhỏ, rồi xử lý ngay từ giai đoạn thiết kế. Nó đảo ngược thứ tự làm chip trước rồi mới kiểm tra xem chip có nóng hay không. Nếu có thể xác định trước các điểm nóng trên bản vẽ thiết kế, chi phí và thời gian phải làm lại nguyên mẫu nhiều lần có thể giảm xuống. Nhưng thông báo này là mô tả của chính DARPA. Đọc nó như một báo cáo tiến độ về nghiên cứu đang diễn ra sẽ trung thực hơn là coi đó như một kết quả đã được một chồng dày kiểm chứng độc lập bên ngoài hậu thuẫn. Nếu làm mờ ranh giới ấy, ta sẽ nhầm kế hoạch với thành tựu.

Nếu những gì chúng ta đã thấy cho đến đây là con đường kiểm soát nhiệt bằng vật liệu và dự đoán, thì PICASSO là một nỗ lực nhằm thay đổi chính nguyên nhân sinh nhiệt. Tên đầy đủ của PICASSO là Photonic Integrated Circuit Architectures for Scalable System Objectives. Ý tưởng là thế này. Điện tử học ngày nay chuyển ánh sáng thành điện, rồi chuyển điện trở lại thành ánh sáng khi xử lý tín hiệu. Mỗi lần xảy ra chuyển đổi quang-điện như vậy, năng lượng bị rò rỉ và nhiệt được tạo ra. Mỗi điểm chuyển đổi là một bếp nhỏ. Vậy nếu tín hiệu không bị đổi thành điện, mà được tính toán lâu hơn và sâu hơn trong khi vẫn giữ ở dạng ánh sáng thì sao? Đó là câu hỏi của PICASSO.

Chỉ số cần theo dõi trong PICASSO là độ sâu mạch. DARPA định nghĩa nó là số lượng phần tử chức năng được nối quang học mà một tín hiệu ánh sáng đi qua trước khi kết thúc bằng chuyển đổi quang-điện. Một mạch biến ánh sáng thành điện sau một hoặc hai tầng sẽ khác về sinh nhiệt và hiệu suất so với một mạch đi qua nhiều tầng trong khi vẫn ở trạng thái ánh sáng. Nếu số lần chuyển đổi giảm, lượng nhiệt rò rỉ cũng giảm tương ứng. Vì vậy, chỉ số này không hỏi đã gắn bao nhiêu bộ phận quang học vào mạch. Nó hỏi công việc đã được thực hiện bằng ánh sáng sâu đến mức nào.

Để đạt mục tiêu này, các nhóm tham gia dùng các xưởng đúc thương mại và thử những tổ hợp vật liệu mới, chẳng hạn đặt lithium niobate mỏng lên silicon. Đó là cách gán và dùng thể mạnh của những vật liệu khác nhau trên một con chip duy nhất. Để thật sự vẽ được các thiết kế quang tử quy mô lớn, cũng cần đến công cụ tự động hóa thiết kế điện tử. Khi mạch trở nên phức tạp hơn, việc vẽ các đường liên kết bằng tay trở nên bất khả thi. DARPA duy trì một kho thiết kế để các tổ chức liên quan có thể truy cập, và cho phép bên tham gia đưa vào tài sản trí tuệ mà họ đã tự bỏ chi phí tạo ra trước đó. Đổi lại, chính phủ bảo đảm quyền dữ liệu ở mức quyền sử dụng cho mục đích chính phủ, để công nghệ có thể chuyển sang các hệ thống vũ khí

khác. Cấu trúc này đặt sẵn một ổ khóa từ sớm, để một mạch tốt không bị nhốt mãi trong kết của riêng một công ty. Cần nhớ rằng tài liệu này không phải là báo cáo kết quả khoe thành tích, mà là tài liệu hỏi đáp xác định nền móng sẽ được đặt như thế nào.

Nếu PICASSO biến tính toán bên trong thiết bị thành ánh sáng, thì RAAPTR cố gắng biến radar và truyền thông, tức các kênh mà thiết bị dùng để trao đổi tín hiệu với bên ngoài, thành ánh sáng. Tên đầy đủ của RAAPTR là Radio Frequency Architectures Applying Photonic Timing and Routing. Vật liệu cốt lõi của nó là một lược tần số quang học đã được gia cường. Lược tần số quang học xếp các màu của ánh sáng dày và đều như một cây thước, và được dùng để đo thời gian cùng tần số với độ chính xác cực cao. Trong một thời gian dài, nó thuộc về các thí nghiệm chính xác trong phòng thí nghiệm. RAAPTR cố kéo vật thể này vào một chiến trường rung lắc, nóng lên và đầy bụi.

Khó khăn thật sự hiện ra trong cảnh này. Một bộ dao động chạy tốt trên bàn thí nghiệm sẽ bị rung lắc khi đặt trên xe hoặc máy bay. Rung động có nghĩa là tín hiệu bị dao động thời điểm, và dao động thời điểm có nghĩa là nhiễu. RAAPTR đòi hỏi các phân hệ analog đáp ứng đồng thời các ràng buộc về kích thước và trọng lượng, công suất và chi phí, cùng các tiêu chuẩn môi trường khắc nghiệt. Trọng tâm là thiết kế một bộ dao động bền bỉ, có thể triệt tiêu và chịu được rung động. DARPA cho biết sẽ chọn ba đến năm nhóm cho chương trình này và rót 58 triệu dollars, tương đương hàng trăm tỷ won theo tiền Hàn Quốc, thông qua một thỏa thuận Other Transaction. Kế hoạch là thiết kế kiến trúc ở Phase 1, rồi mở rộng ở Phase 2 thành một hệ thống hoạt động, tiến tới trình diễn ở cấp độ radar được hỗ trợ bằng ánh sáng. Đây là một cấu trúc theo từng bước: trước hết để các thiết kế trên giấy cạnh tranh, rồi cho bên sống sót xây dựng hệ thống vật lý.

Chương trình này không mở cửa cho tất cả mọi người. Các federally funded research and development centers, bao gồm national laboratories, và các university-affiliated research centers không được tham gia với tư cách đơn vị thực hiện hoặc nhà thầu phụ. Chỉ các tổ chức bên trong United States đã chính thức nhận phụ lục controlled unclassified information từ DARPA mới có thể làm prime contractors. Bản thân thiết kế bộ dao động bền bỉ cũng được xếp là non-fundamental research, được bảo vệ theo hướng dẫn controlled unclassified information. Một ngưỡng ở mức này cho thấy Department of Defense coi công nghệ này là thứ có thể quyết định ưu thế trong tác chiến điện tử và thông tin liên lạc. Chương trình đứng ở khoảng giữa nghiên cứu cơ bản mà ai cũng có thể công bố thành bài báo và nghiên cứu ứng dụng được xử lý sau những cánh cửa khóa kín.

Đặt ba hướng đi cạnh nhau, bức tranh trở nên rõ ràng. THREADS và Thermonat kiểm soát lượng nhiệt đã tồn tại thông qua vật liệu và dự đoán. PICASSO cố giảm nguyên nhân sinh nhiệt ngay tại nơi tính toán diễn ra. RAAPTR nhắm tới điều tương tự tại nơi cảm biến và thông tin liên lạc diễn ra. Cấu trúc này đánh vào cùng một bài toán nhiệt từ ba điểm cùng lúc: vật liệu, tính

toán, và thông tin liên lạc. Việc phần lớn các chương trình này nằm dưới cùng Multi X Office không phải là ngẫu nhiên. JUMP 2.0, chương trình nối kết hệ sinh thái nghiên cứu đại học, và NGMM, chương trình nhằm tới sản xuất vi điện tử thế hệ tiếp theo, cũng nằm dưới cùng văn phòng đó. Có vẻ một văn phòng đang đặt vật liệu, sản xuất, tính toán, và thông tin liên lạc lên cùng một bản đồ rồi thúc đẩy chúng cùng chuyển động. Khi các chương trình khác nhau nằm chung một mái nhà, vật liệu hoặc công cụ thiết kế có được ở một phía sẽ dễ đi sang phía khác hơn.

Đây là câu hỏi dành cho những độc giả làm chính sách. Điều đáng học không phải về hào nhoáng của từng chương trình, mà là cách bài toán được chia ra. Lấy nhiệt làm bức tường lớn, một văn phòng lập riêng các nhóm làm mát lượng nhiệt đã sinh ra, các nhóm giảm nhiệt ngay từ nguồn tính toán, và các nhóm giảm nhiệt trong thông tin liên lạc, rồi vận hành các nhóm đó song song. Ngân sách và mục tiêu được quản lý trong các văn kiện khác nhau, nhưng bàn tay giám sát chúng là một. Khi được thiết kế theo cách này, dù một chương trình thất bại, một nhánh khác vẫn sống sót, và kết quả từ một nhánh trở thành vật liệu cho nhánh bên cạnh.

Dù vậy, sẽ là sai nếu đọc bức tranh này như một chiến thắng đã giành được. Các tài liệu hỏi đáp của PICASSO, cũng như phần Q&A và bài trình bày trong ngày dành cho bên đề xuất của RAAPTR, đều là tài liệu trước khi hợp đồng được ký. Những mạch điện tính toán sâu bằng ánh sáng và những bộ dao động quang học chịu được rung chấn trên chiến trường vẫn còn là mục tiêu và canh cược. Chúng không phải bảng điểm bảo đảm thành công, mà giống những bảng cho thấy sẽ đặt cược bao nhiêu và đặt vào đâu. Con số 58 triệu đô la không phải quy mô của thành tựu. Đó là quy mô của canh cược. Điểm hữu ích cho độc giả Hàn Quốc nằm ở đây. Điều đáng học không phải là một radar quang tử đã hoàn thiện, mà là phương pháp thiết kế: sắp xếp các chương trình để chúng cùng lúc đánh vào một bức tường từ nhiều góc, rồi ghi chép trung thực từng chương trình là kế hoạch hay kết quả. Ngày thiết kế ấy thật sự xuyên thủng bức tường vẫn là điều mỗi người sẽ phải tận mắt xác nhận tại một điểm trình diễn trong nhiều năm tới.

Chương 11 Dịch vụ robot trong không gian và an ninh mạng

Ý nghĩa của việc bảo dưỡng vệ tinh địa tĩnh

Có một nơi nằm cách Trái Đất 36.000 km. Tính theo dặm, con số đó vào khoảng 22.000 dặm. Chỉ riêng con số đã tạo cảm giác rất xa. Nhưng những gì diễn ra ở đó lại có trật tự ngoài dự đoán. Hàng trăm vệ tinh bay quanh Trái Đất với cùng tốc độ mà Trái Đất tự quay. Nhìn từ mặt đất, chúng như đứng yên tại một điểm trên bầu trời. Một khi ăng-ten chảo đã được hướng về phía đó, nó có thể tiếp tục nhìn vào cùng một vệ tinh mà không cần chỉnh lại. Nhờ đặc tính cố định này, các dịch vụ dùng cho liên lạc quân sự, quan sát thời tiết và an ninh quốc gia có thể tiếp tục không gián đoạn ở độ cao ấy. Nơi đó được gọi là quỹ đạo địa tĩnh.

Khoảng cách tạo ra sự tiện lợi ấy cũng là một lời nguyền. Một khi vệ tinh đã lên tới quỹ đạo địa tĩnh, bàn tay con người gần như không thể chạm tới nó nữa. Nếu dù chỉ một bộ phận bắt đầu hoạt động bất thường, cũng không có cách nào tiến lại gần để nhìn vào bên trong. Nó không thể được chẩn đoán, sửa chữa, hay lắp thiết bị mới thay cho phần cứng cũ ngay tại chỗ. Còn có một trường hợp đau xót hơn. Thân vệ tinh vẫn có thể hoạt động hoàn hảo, nhưng nhiệm vụ vẫn phải kết thúc chỉ vì thiết bị bên trong đã lỗi thời. DARPA từng mô tả tình trạng này là nỗi bức bối sâu sắc đối với những chủ sở hữu các tài sản trị giá hàng trăm triệu đô la. Một cỗ máy đắt tiền vẫn còn sống, nhưng bị bỏ lại vì con người không có cách nào can thiệp.

Nỗi bức bối ấy đã làm méo mó cách vệ tinh được chế tạo. Vì không thể sửa chữa sau khi hỏng, vệ tinh phải mang cùng một chức năng thành hai hoặc ba lớp. Nếu một lớp chết, lớp khác được kỳ vọng sẽ tiếp quản. Để kéo dài thời gian phục vụ thêm dù chỉ một chút, chúng cũng mang theo càng nhiều nhiên liệu càng tốt. Điều đó khiến vệ tinh nặng hơn và phức tạp hơn. Khi khối lượng tăng, chi phí chế tạo tăng, và chi phí phóng cũng tăng theo. Vì không thể sửa chữa, chúng phải mang nhiều bộ phận dự phòng; và vì mang quá nhiều, chúng trở nên đắt đỏ hơn. Một phần lớn số tiền chi cho vệ tinh không đi vào thiết bị nhiệm vụ, mà đi vào việc phòng ngừa khả năng hỏng hóc. Trước khi vệ tinh kịp lên quỹ đạo, thiết kế dựa trên nỗi sợ đã nuốt mất một nửa khối lượng của nó.

Câu hỏi của DARPA bắt đầu từ chính điểm này. Liệu độ cao tưởng như không thể vươn tới ấy có thể trở thành một nơi được bảo dưỡng một cách đáng tin cậy không? Chương trình gom câu hỏi này thành một nỗ lực chung có tên Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites, hay RSGS. Cái tên dài và cứng, nhưng công việc thì dễ hình dung. Đó là chế tạo một phương tiện tiếp cận một vệ tinh bị hỏng hoặc đã già cỗi trong không gian, kiểm tra nó bằng các cánh tay robot, rồi bảo dưỡng nó. Khi phương tiện ấy đến nơi, một vệ tinh có thêm nhiều năm hoạt động trên quỹ đạo. Trong mô tả chương trình của DARPA, RSGS được xếp là một chương trình về robot, vệ tinh và không gian do Tactical Technology Office dẫn dắt. Đây không phải là một ý

tướng bị khóa trong bản vẽ khái niệm. Nó được phân loại là một kế hoạch để thực hiện hành động thật trên quỹ đạo.

Cách chương trình này được xây dựng cũng đáng chú ý. DARPA không tự mình chế tạo toàn bộ vệ tinh. DARPA chịu trách nhiệm về tải trọng robot. Đây là phần kết hợp phần cứng, phần mềm và các công cụ có thể thay đổi tùy theo tình huống. Một công ty tư nhân đem đến và gắn vào đó thân tàu vũ trụ, bộ phận đóng vai trò như cơ thể. Cùng nhau, chúng tạo thành phương tiện bảo dưỡng robot, hay RSV. Phương tiện hoàn chỉnh không thuộc sở hữu và vận hành của chính phủ, mà thuộc về một đối tác thương mại. Cấu trúc ở đây là nhà nước vượt qua ngưỡng kỹ thuật khó, còn khu vực tư nhân biến nó thành một hoạt động kinh doanh thật sự. Quyền điều khiển không được giao hết cho tự động hóa hoàn toàn. Nó kết hợp mức tự động hóa cao với vận hành từ xa trên mặt đất. Con người giữ phán đoán cuối cùng ở Trái Đất, trong khi máy móc xử lý những chuyển động tinh vi ngoài tầm với trực tiếp của con người.

Bản thân công việc này nằm ở rìa năng lực công nghệ của con người. Phương tiện phải tiếp cận một vệ tinh đang di chuyển trong chân không nhanh hơn viên đạn và căn thẳng hàng bên cạnh nó mà không va chạm. Sau đó, nó phải dùng các cánh tay robot để chạm vào vệ tinh một cách chính xác. Những bài toán khó mà DARPA nêu ra cho thấy rõ độ khó của nhiệm vụ. Chúng gồm việc làm cho các công cụ gắn ở đầu cánh tay robot đáp ứng yêu cầu, di chuyển phương tiện bảo dưỡng giữa các quỹ đạo trong khi tiết kiệm nhiên liệu, điều khiển các cánh tay với độ chính xác cao, tự động hóa một số thao tác, và xây dựng nền tảng để phối hợp điều khiển giữa đội vận hành phương tiện bảo dưỡng và đội khách hàng đang vận hành vệ tinh được bảo dưỡng. Mục cuối cùng rất dễ bị hiểu sai. Vào khoảnh khắc một vệ tinh được bảo dưỡng, chủ sở hữu ban đầu của vệ tinh và những người vận hành phương tiện sửa chữa cùng phát lệnh liên quan đến cùng một vật thể vào cùng một thời điểm. Nếu tín hiệu của hai đội lệch nhịp, sửa chữa sẽ biến thành tai nạn. Việc phân chia và chuyển giao quyền điều khiển như thế nào tự nó trở thành một đề tài nghiên cứu.

Nếu đó là bức tranh, thì lịch trình là kế hoạch kéo bức tranh ấy vào thực tế. Chương trình đang bước vào giai đoạn ngay trước khi phóng. Nó hoàn tất thử nghiệm tích hợp tải trọng robot và thân tàu vũ trụ, huấn luyện đối tác thương mại, và chạy diễn tập dựa trên các kịch bản nhiệm vụ thật. Năm 2026, tải trọng robot tích hợp sẽ được phóng lên quỹ đạo, rồi được kiểm tra và hiệu chuẩn tại đó. Mục tiêu không phải là bảo dưỡng một lần rồi dừng lại. Mục tiêu là để tàu vũ trụ bảo dưỡng mang đủ nhiên liệu đẩy và đủ năng lực thiết bị nhằm thực hiện hàng chục hoạt động trong nhiều năm. Một phương tiện sửa chữa sống lâu và lần lượt chăm sóc nhiều vệ tinh trên quỹ đạo. Nếu bức tranh này thành hiện thực, các nhà thiết kế vệ tinh có thể bỏ bớt phần tải trọng bảo hiểm vì sợ hỏng hóc và dùng khoảng trống đó cho cảm biến cùng bộ phát đáp tốt hơn. Khối lượng giảm, chi phí giảm, và chu kỳ bắt đầu quay theo hướng ngược lại, hướng tới hiệu suất nhiệm vụ tốt hơn.

Hoa Kỳ không chỉ tìm kiếm công nghệ để phóng robot. Nước này đang cố nắm trước các quy tắc của ngành công nghiệp mới này. Thông qua một liên minh có tên CONFERS, DARPA đang góp phần xây dựng các tiêu chuẩn cho dịch vụ trên quỹ đạo. Liên minh này đưa các chuyên gia tư nhân và chính phủ ngồi lại với nhau để nghiên cứu và công bố các tiêu chuẩn an toàn dựa trên đồng thuận, nhưng không ép các bên tham gia phải tuân theo. Mục đích là ghi lại trước các thủ tục để tiếp cận vệ tinh của bên khác một cách an toàn. Nếu công nghệ đi trước còn quy tắc đến muộn, tai nạn sẽ là thứ viết ra quy tắc. Đây là nỗ lực đảo ngược trật tự đó và đặt ra quy tắc trước.

Phải nói thẳng một sự thật khó chịu. Khả năng tiếp cận vệ tinh của bên khác và thay thế linh kiện, nếu xoay sang hướng ngược lại, sẽ trở thành khả năng gây hư hại cho vệ tinh đó. Khoảng cách giữa một robot sửa chữa và một vệ tinh tấn công ngắn hơn người ta tưởng. Nếu một cỗ máy có thể chạm vào tấm pin mặt trời trên quỹ đạo, nó cũng có thể gạt hoặc bẻ gãy tấm pin đó. Việc Hoa Kỳ vội vàng đặt ra tiêu chuẩn và chuẩn mực cho thấy ý định kiềm chế tính hai mặt này bằng các quy tắc quốc tế. Một quốc gia ngồi trước ở chiếc ghế nơi các chuẩn mực được viết ra cũng có cơ sở để gọi hành vi về sau của quốc gia khác là vi phạm các chuẩn mực ấy. Đi trước về công nghệ và đi trước về ngôn ngữ trở thành cùng một việc.

Với độc giả Hàn Quốc, câu chuyện này để lại hai câu hỏi. Một là câu hỏi công nghiệp. Nếu thị trường sửa chữa vệ tinh trên quỹ đạo và kéo dài tuổi thọ sử dụng của chúng mở ra, cách tính toán của các nước chế tạo vệ tinh và các nước cung cấp linh kiện sẽ thay đổi. Khi việc sửa chữa trở nên khả thi, vệ tinh không còn là vật tiêu hao mà trở thành tài sản sống lâu, và trọng tâm của ngành sẽ chuyển từ một lần phóng sang nhiều năm vận hành. Câu hỏi còn lại là câu hỏi về chuẩn mực. Việc Hàn Quốc ngồi vào bàn nơi các tiêu chuẩn được xây dựng, hay chỉ chấp nhận tiêu chuẩn sau khi chúng đã được xây dựng, sẽ tạo ra khác biệt lớn về sau. Khi Hàn Quốc tăng số lượng vệ tinh của mình, hai câu hỏi này không còn là chuyện của người khác. Chúng là những mục sẽ sớm xuất hiện trong chính các văn kiện ngân sách của chúng ta.

Tôi xin thêm một điểm. Phần lớn những gì chúng ta đã thấy ở đây là một lịch trình và một tập hợp mục tiêu. Các con số, một lần phóng vào năm 2026 và hàng chục hoạt động, chưa phải là thành tựu đã hoàn tất. Chúng là những lời hứa vẫn còn phải được giữ. Tôi sẽ không trình bày những lời hứa đó như thành quả. Việc một cánh tay robot có thật sự hồi sinh một vệ tinh già cỗi trên quỹ đạo hay không chỉ có thể được xác nhận độc lập sau khi phóng. Vì vậy, RSGS phải được đọc theo hai lớp. Nếu thành công, nó sẽ trở thành bước ngoặt chấm dứt lối thiết kế vệ tinh xoay quanh việc vứt bỏ như một vật tiêu hao. Nếu bị trì hoãn hoặc không đạt mục tiêu, nó sẽ cho thấy dịch vụ không gian vẫn khó đến mức nào. Dù thế nào, nó cũng sẽ được ghi lại như một trong những nỗ lực đầu tiên nhằm vươn tới khoảng cách 36.000 kilometer từng được xem là không thể chạm tới.

Chuyen giao cong nghe RSGS va ke hoach phong nam 2026

Neu phan truoac dat cau hoi vi sao can sua chua tren quy dao, thi phan nay dat cau hoi ai se dam nhan nhu cau do va bang cach nao. Ngay ca khi cong nghe nghe co ve kha thi, no van chi dung lai o mot thong cao bao chi neu chua xac dinh ro ben se xay dung den cung, cung nhu ben se cap von va van hanh. RSGS thu hut su chu y chinh vi cach chia vai tro nay.

Hay bat dau bang mot khung canh. O do cao khoang 36,000 kilometer tren Trai Dat, hay hinh dung mot ve tinh thong tin lien lac tren quy dao dia tinh gan nhu da can nhien lieu. Than ve tinh van nguyen ven. Camera van hoat dong, va ang-ten van huong dung vi tri. Nhung ngay khi luong nhien lieu day can thiet de duy tri tu the can kiet, su menh cua ve tinh ket thuc. Mot co may duoc phong len voi chi phi hang tram trieu dollar bien thanh rac tren quy dao, du khong mot bo phan nao bi hong. Trong mot thoi gian dai, ve tinh vu tru duoc doi xu nhu vay. Sau khi phong len, chung la tai san dung mot lan. Vi chung nam o do cao vuot ngoai tam voi cua con nguoi, cau tra loi cho hong hoc hoac can nhien lieu luon giong nhau. Bo lai no va phong mot ve tinh moi.

Chuong trinh Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites cua DARPA nham vao chinh diem nay. Ten tieng Anh cua no la Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites, viet tat la RSGS. Cau hoi cua chuong trinh rat ngan gon. Neu mot ve tinh van con tot nhung da het nhien lieu, va neu thay mot bo phan co the giup no hoat dong them vai nam nua, tai sao viec bao duong no tren quy dao lai phai la dieu khong the?

Truoc het, can hieu vi sao chuong trinh nay chon rieng quỹ đạo địa tĩnh. Trên quỹ đạo địa tĩnh, vệ tinh di chuyển cùng tốc độ với Trái Đất, nên nhìn từ mặt đất, nó dường như đứng yên tại một điểm trên bầu trời. Vì vệ tinh luôn ở cùng một vị trí, ăng-ten mặt đất có thể cố định theo một hướng. Không cần xoay chảo ăng-ten để đuổi theo vệ tinh. Nhờ vậy, liên lạc và giám sát liên tục trở thành khả thi. Theo thông báo chính thức năm 2026 của DARPA, hàng trăm vệ tinh phụ trách an ninh quốc gia và liên lạc toàn cầu vẫn đang bay trên quỹ đạo này. Chúng đắt tiền, và vai trò của chúng rất nặng. Cảnh báo sớm quân sự, trinh sát và liên lạc chỉ huy đều phụ thuộc vào độ cao này. Nếu một tài sản như vậy phải bị bỏ lại chỉ vì một bình nhiên liệu, tổn thất không thể chỉ tính bằng tiền. Trong những năm cần để chế tạo và phóng một vệ tinh mới, chính vị trí bị bỏ trống ấy trở thành một lỗ hổng an ninh.

Thực chất của RSGS là một phương tiện robot làm nhiệm vụ. Trong tiếng Anh, nó được gọi là Mission Robotic Vehicle, viết tắt là MRV. Tàu vũ trụ này mang theo một bộ cánh tay robot có thể chuyển động tinh tế như bàn tay con người. Công việc của nó chia thành bốn nhóm lớn. Nó bảo dưỡng hiệu năng vệ tinh trên quỹ đạo, kiểm tra tình trạng tàu vũ trụ ở cự ly gần, xử lý các hỏng hóc bất ngờ, và khi cần, di chuyển vệ tinh sang vị trí khác. Di chuyển một vệ tinh nghe có thể lạ tai. Danh sách công việc bao gồm đưa một vệ tinh đã trôi khỏi quỹ đạo trở lại đúng vị trí, hoặc đẩy một vệ tinh đã hết nhiệm vụ tới nơi nó không gây cản trở cho các vệ tinh khác. Có hay không có một robot như vậy quyết định liệu trật tự trên quỹ đạo có thể được khôi phục hay

không.

Những lời này nghe có vẻ dễ, nhưng để một robot sửa một vệ tinh khác trong chân không của quỹ đạo địa tĩnh là phải vượt qua nhiều rào cản cùng lúc. Trước hết, tiếp cận và ghép nối phải diễn ra mà không va chạm. Hai vật thể cùng di chuyển theo một hướng với tốc độ hàng nghìn kilômét mỗi giờ, nên ngay cả khi chúng trông như đang đứng yên cạnh nhau, một sai lệch nhỏ cũng có thể tạo ra va đập lớn. Sau đó, cánh tay robot phải nắm, xoay và lắp các bộ phận gần như không được lệch. Người ở mặt đất khó có thể điều khiển từng động tác theo thời gian thực. Vì tín hiệu cần thời gian để truyền đi, một phần hệ thống phải được thiết kế để tàu vũ trụ tự phán đoán. Một sai lầm có thể làm hỏng cả vệ tinh đang được sửa và vệ tinh được gửi lên để sửa nó. Ở đây không có khoảng đệm như trong xưởng sửa chữa.

Cách tiếp cận mà DARPA chọn là trọng tâm của phần này. Chính phủ không đi theo con đường tự mình chế tạo và vận hành một phương tiện sửa chữa trong không gian từ đầu đến cuối. DARPA, cùng U.S. Naval Research Laboratory và NASA, phát triển phần đầu của robot, tức phần cứng cốt lõi tương ứng với bàn tay. Phần đầu đó là bộ cánh tay robot chuyển động như bàn tay con người. Nhiệm vụ đưa tải trọng robot này vào không gian và tích hợp nó vào một tàu vũ trụ hoàn chỉnh để vận hành được chuyển cho khu vực tư nhân. Chủ thể tư nhân là SpaceLogistics, một công ty con của Northrop Grumman. Một công ty thương mại lắp các cánh tay robot do chính phủ chế tạo lên tàu vũ trụ của chính mình và vận hành chúng như hoạt động kinh doanh riêng. Theo cách nói của DARPA, đây là chuyển giao công nghệ. Chính phủ đóng vai trò khởi động, phá vỡ những bài toán khó ban đầu mà không ai khác chạm tới, rồi lùi lại ở thời điểm thị trường có thể hình thành.

Tầm quan trọng của sự phân chia vai trò này sẽ rõ hơn nếu ta hình dung thất bại theo chiều ngược lại. Nếu chính phủ sở hữu và vận hành toàn bộ phương tiện sửa chữa, mọi dịch vụ vệ tinh sẽ rút tiền từ ngân sách quốc phòng, và khi chương trình kết thúc, công nghệ ấy có thể bị đưa vào kho cùng với nó. Nếu thay vào đó một công ty tư nhân sở hữu tàu vũ trụ, công ty ấy có thể bán dịch vụ sửa chữa và tiếp nhiên liệu không chỉ cho chính phủ Mỹ mà còn cho các nhà vận hành vệ tinh thông tin trên toàn thế giới. Công nghệ được mở ra từ nhu cầu quốc phòng chảy vào thị trường thương mại, và nếu thị trường đó lớn lên, chi phí cho vệ tinh tiếp theo giảm xuống, chi phí quốc phòng cũng giảm theo. Đây là một thiết kế lưỡng dụng, trong đó một công nghệ phục vụ quốc phòng và thương mại cùng lúc.

James Shoemaker, giám đốc chương trình RSGS, mô tả chương trình này là một quan hệ hợp tác giữa chính phủ và khu vực tư nhân về dịch vụ vệ tinh thế hệ tiếp theo. Mục tiêu ông nêu ra cũng rất rõ. Công nghệ robot của DARPA sẽ được kết hợp với một nền tảng tàu vũ trụ đã được chứng minh trong thương mại để cho thấy trong thực tế rằng dịch vụ trên quỹ đạo có thể vận hành như một hoạt động kinh doanh ở quỹ đạo địa tĩnh. Từ cần chú ý là cho thấy. Nó không có nghĩa là hoạt động kinh doanh ấy đã được thiết lập. Nó có nghĩa là cuộc trình diễn sẽ kiểm tra

xem hoạt động đó có thể được thiết lập hay không.

Vụ vụ phóng năm 2026 nằm ở đâu trong bức tranh này? DARPA thông báo rằng họ sẽ phóng công nghệ dịch vụ robot này vào mùa hè năm 2026. Phóng không phải là hoàn tất. Trên mặt đất, tải trọng robot và tàu vũ trụ được tích hợp và thử nghiệm, đối tác thương mại sẽ tiếp nhận công nghệ được đào tạo, và sau khi phóng, hệ thống được kiểm tra trên quỹ đạo để xác nhận thiết bị hoạt động đúng. Vụ phóng là một nút trong quá trình chuẩn bị dài. Nó không phải vạch đích. Bài kiểm tra thật sự bắt đầu khi cánh tay robot lần đầu vươn tới một vệ tinh khác.

Điều này phải được nói một cách thẳng thắn. RSGS chưa phải là một hoạt động kinh doanh đã được chứng minh. Nó là một cuộc trình diễn. Phát biểu của Shoemaker nói về việc chứng minh khả năng tồn tại về mặt thương mại, chứ không phải về một khả năng đã được chứng minh. Việc sửa chữa trên quỹ đạo có thật sự kiếm được tiền hay không, và cuộc trình diễn đầu tiên có diễn ra như kế hoạch hay không, là những câu hỏi mà vụ phóng và quá trình vận hành sau đó phải trả lời. Như các chương trình khác của DARPA, việc này có thể diễn ra tốt đẹp hoặc không đạt kỳ vọng. Điều chúng ta có thể xác nhận lúc này là kế hoạch và các thông báo. Ngay từ đầu tôi đã hứa sẽ đọc kế hoạch như kế hoạch, và tôi sẽ giữ ranh giới đó. Tôi sẽ không biến một lộ trình gây ấn tượng thành một thành tựu.

Từ góc nhìn chính sách, bài học của phần này không nằm ở danh sách công nghệ, mà nằm ở bảng phân vai. Nhà nước đi xa đến đâu, và lùi lại ở chỗ nào? RSGS kẻ đường ranh đó tại phần phần cứng khó, tức cánh tay robot. Chính phủ đột phá ở nơi không ai đi trước vì bài toán kinh doanh còn bất định, rồi để khu vực tư nhân phụ trách những phần thị trường đã có thể tự xây dựng, chẳng hạn như bus tàu vũ trụ. Bảng phân vai này thường bị bỏ sót khi Korea bàn về các viện nghiên cứu kiểu Korea. Nếu chính phủ không quyết định trước mình sẽ gánh phần nào và đến thời điểm nào sẽ chuyển việc đó cho thị trường, công nghệ tốt sẽ kết thúc như một bản báo cáo không có bước chuyển tiếp.

Dù vậy, câu hỏi mà kế hoạch này đặt ra không hề nhẹ. Nếu một tàu vũ trụ có cánh tay robot có thể tiếp cận một vệ tinh khác, tháo và lắp linh kiện, thì chính đôi tay đó cũng có thể vươn tới vệ tinh của người khác. Từ bên ngoài nhìn vào, một lần tiếp cận để sửa chữa và một lần tiếp cận để đe dọa không khác nhau nhiều. Quỹ đạo của một phương tiện tiến tới để tiếp nhiên liệu cho vệ tinh đồng minh và quỹ đạo của một phương tiện áp sát vệ tinh đối phương có thể trông giống nhau trên radar. Khi thị trường mới mang tên dịch vụ trên quỹ đạo mở ra, câu hỏi ai kiểm soát và bảo vệ những robot đó cũng lớn lên theo. Nếu liên lạc bị cắt hoặc tín hiệu điều khiển bị chiếm đoạt, một robot sửa chữa có thể trở thành vật thể nguy hiểm. Tựa đề một tài liệu DARPA tháng 4 năm 2026 cho thấy trực tiếp sự căng thẳng này. Chiến thắng trong cuộc đua không gian mới bắt đầu từ cyber. Đưa phần cứng lên quỹ đạo và bảo vệ phần cứng đó gắn chặt với nhau. Phần tiếp theo tiếp tục câu chuyện ấy.

Cuộc đua không gian mới và an ninh mạng

Ở độ cao 36.000 kilometer trên quỹ đạo địa tĩnh, một cánh tay robot tiếp cận một vệ tinh đã già. Đây là RSGS, công nghệ sửa chữa bằng robot cho vệ tinh địa tĩnh đã được bàn trong hai phần trước. Một cỗ máy khác tiến đến một vệ tinh đã cạn nhiên liệu hoặc có linh kiện không còn phản hồi, nắm lấy nó và bảo dưỡng nó. DARPA đã nói rằng họ sẽ đưa công nghệ này lên quỹ đạo vào năm 2026. Đây là một chương trình do Tactical Technology Office dẫn dắt. Đến đây, câu chuyện nói về một người thợ sửa chữa trên bầu trời.

Hãy chỉ thay đổi một câu hỏi. Điều gì xảy ra nếu có người chặn được tín hiệu ra lệnh cho cánh tay robot đó? Một cỗ máy có thể sửa vệ tinh của bên khác thì, theo chiều ngược lại, cũng có thể chiếm lấy vệ tinh của bên khác. Ranh giới nơi một thợ sửa chữa trên quỹ đạo trở thành một mối đe dọa trên quỹ đạo nằm trên một dòng phần mềm và một đường liên lạc. Đây là nơi câu chuyện về dịch vụ robot trong không gian trở thành câu chuyện về an ninh mạng. Nếu phần trước nói về bàn tay của robot, phần này nói về hệ thần kinh gửi mệnh lệnh đến bàn tay ấy.

Một bài tiểu luận ngắn do DARPA công bố năm 2026 đối diện trực tiếp với vấn đề này. Chính tiêu đề của nó đã là lập luận: chiến thắng trong cuộc đua không gian mới bắt đầu từ mạng. Tác giả là một sĩ quan quân đội cấp cao được biệt phái đến DARPA, một người được gọi là Service Chief Fellow. Ông nhìn lại và nói rằng trọng tâm nhiệm vụ của mình là không gian mạng trong lĩnh vực không gian. Theo ông, đó là một vị trí quan trọng nhưng thường bị bỏ quên trên sân khấu không gian.

Bài tiểu luận bắt đầu bằng một sự thật bình thản. Chi phí đi vào không gian đã giảm đến mức không còn so được với quá khứ. Một ngưỡng cửa từng chỉ mở cho một số rất ít cường quốc có nguồn vốn và công nghệ khổng lồ nay đã hạ xuống. Các vụ phóng tên lửa thường không còn là tin lớn, và vệ tinh lấp đầy bầu trời theo từng trăm chiếc. Vì thế, thế giới đã bước vào một cuộc đua không gian mới. Đến đây, ai cũng có thể nói như vậy.

Sau đó, bài tiểu luận đi thêm một bước. Trong cuộc cạnh tranh này, quốc gia giành được lợi thế chiến lược lâu dài không phải là quốc gia phóng những tên lửa lớn nhất. Lợi thế thuộc về bên đầu tiên tìm ra cách xây dựng và vận hành các hệ thống một cách an toàn trong môi trường mới này. Điều quyết định cuộc đua không phải là lực đẩy của phương tiện phóng, mà là khả năng bảo vệ tài sản sau khi chúng đã ở trên quỹ đạo. Câu hỏi không phải là đã phóng bao nhiêu vệ tinh, mà là các vệ tinh ấy có được đặt ngoài tầm với của bàn tay đối thủ hay không. Sự chuyển hướng chú ý từ bộ phóng lên quỹ đạo là trục chính của bài tiểu luận.

Vấn đề là lớp an toàn này không thể cứ mang nguyên từ mặt đất lên. Phần lớn an ninh mạng mà chúng ta biết là câu chuyện của Trái Đất. Chúng ta cài những công cụ chống virus nặng nề, tải bản vá khi lỗ hổng xuất hiện, rồi để quản trị viên đăng nhập vào máy chủ và sửa lỗi. Cách làm này không phù hợp với vệ tinh đang bay trên quỹ đạo. Bài luận nói rõ rằng phải hiểu những ràng buộc riêng của hệ thống không gian. Đó là những nơi bàn tay con người không thể chạm tới, nơi nguồn điện và năng lực tính toán bị bó chặt, và nơi lệnh điều khiển từ xa cần thời gian

để truyền đi. Lễ thường về an ninh được xây trên mặt đất sẽ không khớp nếu đặt nguyên xi lên trên đó.

Vì vậy, bài luận nhấn vào một nguyên tắc. An ninh cho tài sản không gian không được gắn thêm về sau, khi vệ tinh đã được chế tạo xong. Nó phải được cấy vào ngay từ khoảnh khắc đầu tiên của thiết kế. Khác biệt nằm ở chỗ bắt vít thêm một thứ sau cùng, hay trộn nó vào ngay từ lúc nhào bột. Tầm quan trọng của sự khác biệt này sẽ rõ hơn nếu ta hình dung thất bại. Hãy tưởng tượng mỗi công ty phóng vệ tinh bằng phần cứng và phần mềm riêng của mình, rồi mới vá an ninh muộn màng và rời rạc. Tài sản không gian được xây theo cách ấy sẽ thành một tấm chắn vá lộn xộn, cực kỳ khó bảo vệ. Không ai có thể nhìn thoáng qua mà biết điểm yếu nằm ở đâu, hay một vụ xâm nhập tại một nơi sẽ lan xa đến mức nào.

Để ngăn tấm chắn vá đó, bài luận đề xuất một khung tham chiếu của chính phủ. Đó là một bộ quy tắc chung có thể áp dụng trên tàu vũ trụ quỹ đạo, trạm điều khiển mặt đất và thiết bị đầu cuối. Có thể hình dung nó như một kịch bản chuẩn. Thay vì để mọi bên tự xây rồi sau đó mới ghép hệ thống với nhau, khung này cố buộc họ xây trên cùng một nền tảng ngay từ đầu. Sĩ quan viết bài luận nói rằng ông đang chuyển kinh nghiệm thu được từ các công cụ mạng tấn công sang phòng thủ, rồi dùng kinh nghiệm ấy để làm hạ tầng không gian vững hơn. Điều đó cũng có nghĩa là người từng mài giũa thường nhìn ra mối nối yếu của khiên trước tiên.

Cần dừng lại để xác định bản chất của tài liệu này. Bài luận này không phải một báo cáo thành quả đã hoàn tất. Nó không phải hồ sơ cho thấy một chương trình cụ thể đã đạt được gì. Nó gần với một lập luận của một sĩ quan được phân công tại DARPA, nhằm thuyết phục người đọc rằng đây là hướng nên đi. Nguyên tắc không chỉ mô tả DARPA như một câu chuyện thành công cũng đúng trong phần này. Hướng đi của an ninh mạng không gian khá rõ, nhưng chúng ta chưa có đủ tài liệu bên ngoài để kiểm chứng từ bên ngoài rằng hướng đi ấy đã bén rễ đến đâu trong ngân sách và lực lượng thật, hoặc tiền đã bị lãng phí ở chỗ nào. Vì vậy, tôi sẽ giới thiệu hướng đi và logic của nó, nhưng sẽ không nói như thể đó là những chiến thắng đã được xác nhận. Tuyên bố và thành quả phải được cân riêng.

Dù vậy, nếu đặt các phần trước của chương này cạnh phần này, một bức tranh sẽ khớp lại. RSGS là công nghệ dùng để chạm vật lý vào vệ tinh trên quỹ đạo. Nếu một robot có thể nắm lấy và sửa chữa một cỗ máy khác, quỹ đạo không còn là nơi trú ẩn nằm ngoài tầm với nữa. Khi khả năng tiếp cận vật lý mở ra, việc bảo vệ các kênh liên lạc và phần mềm chỉ đạo sự tiếp cận đó trở thành công việc nặng hơn. Chuỗi chỉ huy của robot sửa chữa phải luôn sạch thì người thợ sửa chữa mới vẫn là người thợ sửa chữa. Khoảnh khắc chuỗi đó bị nhiễm bẩn, cùng một cánh tay sẽ làm công việc ngược lại.

Hãy nhìn kỹ hơn một chút vào thực tế vận hành. Một vệ tinh trên quỹ đạo địa tĩnh di chuyển bằng cách nhận lệnh gửi từ mặt đất. Những lệnh đó đi qua một liên kết liên lạc. Với một robot phục vụ như RSGS, các hành động vật lý như tiếp cận, dừng lại, nắm giữ và thao tác đều dựa

trên liên kết đó. Nếu liên kết bị xâm nhập, hoặc nếu hệ thống mặt đất tạo ra lệnh bị nhiễm bẩn, đầu ngón tay của robot sẽ chỉ sai hướng. Vì vậy, lớp an ninh được cài ngay từ đầu, như bài luận mô tả, không phải là một khẩu hiệu trừu tượng. Nó có nghĩa là cho phép chính vệ tinh phân biệt lệnh nào thật sự đến từ trạm điều khiển, và thiết kế hệ thống sao cho liên lạc bị gián đoạn hoặc bất ổn không biến thành sự cố nguy hiểm. Những việc này phải được quyết định ngay ở giai đoạn bản vẽ thiết kế đầu tiên. Sau khi vệ tinh đã được chế tạo, thay bộ khung này gần như là điều không thể.

Từ góc nhìn chính sách, hàm ý của phần này chạm tới trật tự phân bổ ngân sách. Câu hỏi cần phóng thêm bao nhiêu vệ tinh mới thì dễ thấy. Các vụ phóng để lại ảnh chụp và con số. Trái lại, câu hỏi liệu chuỗi chỉ huy của một vệ tinh có được thiết kế an toàn ngay từ đầu hay không thì khó thấy. Cho đến khi tai nạn xảy ra, mọi thứ trông như chưa có gì xảy ra. Lập luận của bài luận nhằm vào sự bất cân xứng này. Nó kêu gọi tiền và con người phải được giao trước cho những công việc thường bị đẩy lùi vì chúng vô hình. Lý do nó đưa ra một kịch bản chuẩn, tức một khung tham chiếu của chính phủ, cũng giống như vậy. Nếu để từng dự án tự làm tốt theo cách riêng, từng dự án cũng sẽ tự để lại những điểm yếu khác nhau.

CONFERS ở phần trước và khung tham chiếu của chính phủ trong phần này có thể trông như hai câu chuyện riêng, nhưng chúng có cùng mạch. Một bên là nỗ lực đặt ra quy trình an toàn cho dịch vụ trên quỹ đạo thông qua thỏa thuận giữa các quốc gia. Bên kia là nỗ lực đặt ra các thông số chung cho an ninh mạng vệ tinh trong phạm vi một quốc gia. Cả hai đều đặt quy tắc đi trước công nghệ. Khả năng đưa cánh tay robot lên quỹ đạo và khả năng viết tài liệu trước để những cánh tay đó không vận hành trong một vùng vô luật, không có quy tắc. Hoa Kỳ đang thúc đẩy cả hai song song. Nếu công nghệ chạy trước mà không có quy tắc, tai nạn sẽ viết ra quy tắc thay con người, và những quy tắc được viết theo cách đó thường rất đắt giá.

Với độc giả Hàn Quốc, cảnh này sẽ không giống câu chuyện của người khác. Korea cũng đang tăng số lượng vệ tinh và dựa nhiều hơn vào quỹ đạo cho liên lạc và trinh sát. Câu hỏi mà bài viết của DARPA nêu ra trở thành câu hỏi của chính chúng ta. Không chỉ là phóng thêm bao nhiêu vệ tinh, mà là chúng ta đã sẵn sàng bảo vệ chuỗi chỉ huy của các vệ tinh ấy ngay từ bản vẽ thiết kế đầu tiên hay chưa. Nếu các cơ quan và công ty khác nhau phóng vệ tinh theo những thông số khác nhau, bức tranh chấp vá lộn xộn mà United States lo ngại cũng có thể xuất hiện trên bầu trời của chúng ta. Khi cánh cửa vào không gian mở rộng, bên nào học được cách khóa cánh cửa đó trước sẽ tồn tại lâu hơn. Bài viết ngắn của DARPA giống một lời cảnh báo hơn là một lời khoe khoang, và lời cảnh báo ấy không dừng lại ở biên giới quốc gia.

Khi chương này khép lại, hãy nối ba phần thành một đường thẳng. Chúng ta bắt đầu từ lý do vì sao vệ tinh trên quỹ đạo địa tĩnh phải nặng và đắt đến vậy, chuyển sang câu hỏi ai chế tạo và vận hành những robot có thể làm nhẹ gánh nặng đó, rồi cuối cùng đi tới cách bảo vệ các lệnh gửi đến những robot ấy. Khoảnh khắc một bàn tay vươn tới quỹ đạo, nó mở ra không chỉ khả

năng sửa chữa. Nó cũng mở ra khả năng chính bàn tay đó trở thành mối đe dọa. Vì thế, dịch vụ robot trong không gian và an ninh mạng là hai mặt của cùng một câu chuyện. Vào mùa hè năm 2026, việc cánh tay robot thật sự làm gì trên quỹ đạo, và ai bảo vệ các tín hiệu gửi đến cánh tay ấy, sẽ viết nên chương tiếp theo của câu chuyện này.

Chương 12 Lượng tử: Những thí nghiệm tách rời quảng bá khỏi thực tế

QBI và việc kiểm chứng điện toán lượng tử

Tháng 3 năm 2026, một tiêu đề ngắn nhưng gợi nhiều tranh luận xuất hiện trên trang tin chính thức của DARPA. Tiêu đề nói rằng Quantum Benchmarking Initiative đang mở rộng nỗ lực tách sự thổi phồng khỏi thực tế. Thông cáo báo chí của các cơ quan nghiên cứu chính phủ thường mở đầu bằng thành tựu. Một thiết bị mới được chế tạo, một kỷ lục được lập, một giới hạn được vượt qua. Tiêu đề này không bắt đầu bằng niềm tự hào, mà bằng sự hoài nghi. Đó là lời tuyên bố rằng DARPA sẽ phân định xem bao nhiêu trong những lời bàn về máy tính lượng tử là thật. Đây là một nỗ lực làm dịu sức nóng quanh chính lĩnh vực của mình, một lập trường hiếm thấy đối với một cơ quan chi tiền quốc phòng.

Hãy hình dung một cảnh. Một công ty ra mắt một con chip mới với hàng trăm qubit và tuyên bố rằng họ sắp đưa ra một cỗ máy sẽ thay đổi thế giới. Nhà đầu tư vỗ tay, giá cổ phiếu dịch chuyển. Bây giờ hãy tưởng tượng có một quan chức chính phủ ngồi trong căn phòng đó. Dựa vào đâu ông ấy có thể quyết định tuyên bố ấy là thật hay bị phóng đại? Điện toán lượng tử hiện là một lĩnh vực mà tiền bạc và kỳ vọng đang cùng lúc đổ vào. Các tuyên bố liên tục xuất hiện về số lượng qubit lớn hơn và tỷ lệ lỗi thấp hơn, nhưng cỗ máy đó có thật sự xứng đáng với chi phí hay không lại là một câu hỏi khác. Không có thước đo dễ dàng. Đây là lúc DARPA đưa ra một chương trình mang tên QBI.

Câu hỏi của QBI có thể được nén lại trong một câu. Liệu một hướng tiếp cận điện toán lượng tử hoạt động ở quy mô hữu dụng có thể thật sự tồn tại vào năm 2033 hay không? Thuật ngữ quy mô hữu dụng có thể nghe lạ, nhưng ý nghĩa không khó. Nó chỉ khoanh khắc khi giá trị của các phép tính mà một cỗ máy giải được lớn hơn chi phí xây dựng và vận hành nó. Đó là lúc cỗ máy không còn là vật trưng bày trong phòng thí nghiệm mà trở thành một công cụ đáng để trả tiền. QBI đặt câu hỏi liệu khoanh khắc ấy có thể đến trong tám năm tới hay không. Chương trình này mở rộng một nỗ lực trước đó mang tên US2QC. Bên dưới nó là mục tiêu ngăn chặn cái gọi là bất ngờ chiến lược, một tình huống trong đó một đột phá thương mại ngoài dự đoán bất ngờ đánh vào Hoa Kỳ từ phía sau. Phép tính an ninh ở đây là ai xây dựng nó trước là điều quan trọng, nhưng thời điểm bạn nhận ra nó đã được xây dựng cũng quan trọng không kém.

Có một điểm không được bỏ qua khi đọc chương trình này. QBI hoàn toàn không phải là một cuộc thi chọn ra một người thắng cuộc. Đây không phải là cuộc đua trong đó một giải thưởng được treo lên và chiếc cúp thuộc về đội cán đích đầu tiên. DARPA muốn đánh giá mọi cách tiếp cận có thể vận hành được, đặt cạnh nhau, trong phạm vi ngân sách cho phép. Vì vậy, việc kiểm chứng được sắp xếp thành ba giai đoạn. Yêu cầu ở mỗi giai đoạn sẽ nặng hơn, nên chúng ta hãy lần lượt đi theo từng bước.

Ở Phase A, các công ty tham gia trình bày khái niệm về một máy tính lượng tử ở quy mô tiện ích có thể được hiện thực hóa trong tương lai gần, đồng thời đưa ra bằng chứng cho thấy khái niệm đó có cơ sở. Yêu cầu chế tạo cỗ máy vẫn chưa đến. Yêu cầu lúc này là vẽ ra một con đường có thể đi được. Sang Phase B, yêu cầu trở nên cụ thể. Các công ty phải đưa ra kế hoạch nghiên cứu và phát triển để thực sự xây dựng khái niệm đó, các rủi ro trên đường đi, cách họ sẽ giảm các rủi ro ấy, và những nguyên mẫu nào sẽ cần thiết. DARPA không nhìn nhiều vào việc lời nói nghe có vẻ hợp lý đến đâu, mà nhìn vào kế hoạch chặt chẽ đến mức nào. Đến Phase C, việc kiểm chứng rời khỏi tài liệu và chuyển sang phần cứng. Nhóm làm việc trực tiếp với chính phủ Hoa Kỳ để cho thấy, thông qua trình diễn, liệu cỗ máy đã thiết kế có thể được chế tạo và vận hành như dự định hay không. Trọng tâm chuyển từ khái niệm sang kế hoạch, rồi từ kế hoạch sang hệ thống vật lý. Chiếc rây dùng để lọc lời nói trở nên mịn hơn ở mỗi giai đoạn.

Vai trò mà DARPA tự đặt cho mình gần với một bên thứ ba trung lập hơn là một trọng tài. Cơ quan này đứng cách một bước với việc quảng bá của bất kỳ công ty nào và kỳ vọng của bất kỳ phe nào, đồng thời đóng vai trò như một kênh chuyển kết quả kiểm chứng đến các bên liên quan khác trong chính phủ. Đây là một cơ chế nhằm giữ cho đầu tư lượng tử quốc gia không lao về một hướng chỉ dựa vào tin đồn và kỳ vọng. Hình ảnh tiền quốc phòng được dùng để đo lường phần cứng của các công ty thương mại có thể khiến người ta thấy lạ. Có người sẽ hỏi vì sao khoản tiền dành cho vũ khí lại được dùng để kiểm tra chip doanh nghiệp. Nhưng nếu mục tiêu là ngăn nguồn lực tụ về sai chỗ, thì bản thân việc kiểm chứng trở thành công việc quốc phòng. Giảm các bước đi lãng phí cũng là một dạng sức mạnh.

Các con số cho thấy quy mô của việc kiểm chứng này. Kể từ khi QBI bắt đầu vào giữa năm 2024, chương trình đã đánh giá khoảng hai mươi công ty thương mại dùng các kiến trúc qubit khác nhau. Mười một tổ chức đã vượt qua Phase A và chuyển lên Phase B. Danh sách đó cho thấy bản đồ hiện tại của thị trường điện toán lượng tử. IBM trong hệ thống siêu dẫn, IonQ và Quantinuum trong ion bị bẫy, Atom Computing và QuEra trong nguyên tử trung hòa, Diraq và Quantum Motion trong spin silicon, cùng Xanadu dựa trên photon, tất cả xuất hiện cạnh nhau. Đây là một khung cảnh trong đó nhiều con đường vẫn cùng tồn tại, thay vì hội tụ vào một câu trả lời duy nhất. Microsoft và PsiQuantum, những bên đã tham gia từ thời kỳ US2QC, đã chuyển sang Phase C, nơi hoạt động ở cấp hệ thống được kiểm tra, còn Google mới tham gia Phase A. Các nhóm đang đi trước và các nhóm vừa bước vào được đặt trên cùng một bàn cờ.

Người dẫn dắt chương trình cũng đã thay đổi. Nhà quản lý đầu tiên thiết lập QBI là Joe Altepeter, và Micah Stotimore, trước đây là phó quản lý, đã tiếp nhận vai trò giám đốc điều hành mới. Stotimore nói rằng khả năng có người xây dựng được một máy tính lượng tử ở quy mô tiện ích vào năm 2033 đã tăng so với trước, nhưng ông nói thêm rằng vẫn chưa rõ đội nào sẽ cán đích trước. Đó là lý do lời mời Phase A dành cho các công ty mới được mở lại trong nửa sau năm 2026. Bản tóm tắt phải nộp trước ngày 31 tháng 7, còn đề xuất đầy đủ phải nộp trước ngày 30 tháng 9. Chính việc tiếp tục để cửa mở là một sự thừa nhận thẳng thắn rằng câu trả lời

vẫn chưa được biết. Ngay cả sau khi chọn hơn mười một ứng viên nhiều triển vọng, chương trình vẫn không đóng cửa, và điều đó cho chúng ta thấy đây là kiểu chương trình gì. Những tổ chức tin rằng mình đã biết câu trả lời thì đóng cửa. Chỉ những tổ chức thừa nhận rằng mình chưa biết mới giữ cửa mở.

Vì sao DARPA xem xét nhiều phương pháp cùng lúc thay vì dồn mọi thứ về một hướng? Một manh mối nằm ở quan điểm rằng các loại qubit khác nhau có thể tốt hơn khi đi cùng nhau. Hệ siêu dẫn, ion bị bẫy, nguyên tử trung hòa, photon và spin silicon đều có điểm mạnh và điểm yếu khác nhau. Có cách tiếp cận nhanh, có cách giữ trạng thái lâu hơn, và có cách dễ kết nối hơn. Ở thời điểm này, tuyên bố một bên thắng cuộc gần như là đánh cược. Vì vậy DARPA không tự trói mình vào một phương pháp. Cơ quan này chỉ hỏi liệu phương pháp đó có thể đạt mục tiêu gọi là quy mô tiện ích hay không. Phần tiếp theo sẽ mở lại quan điểm này. Còn lúc này, chỉ cần mang theo một sự thật: QBI không đứng về phía một công nghệ cụ thể nào.

Có tài liệu giúp chúng ta so sánh xem lập trường này có chỉ thuộc về Hoa Kỳ hay không. Một báo cáo của Electronics and Telecommunications Research Institute, hay ETRI, về cạnh tranh giữa các nền tảng phần cứng lượng tử chỉ ra rằng Hoa Kỳ và châu Âu đang đi theo những con đường khác nhau. Liên minh châu Âu đã đặt mục tiêu rõ ràng là bảo đảm 100 qubit sửa lỗi trong một hệ thống vào năm 2030, và cách làm đó gần với đường lối chính sách chọn một số ít nền tảng để hỗ trợ thông qua đánh giá định kỳ. Chính phủ gọi tên những bên có khả năng thắng từ phía trên. QBI của Hoa Kỳ đứng ở phía ngược lại. Thay vì quyết định trước phương pháp nào vượt trội, chương trình đặt trọng tâm vào việc đo từng phương pháp theo chuẩn tuyệt đối: liệu nó có thể đạt quy mô tiện ích hay không. Dù phương pháp là siêu dẫn, spin silicon hay quang tử, mục đích là đặt một cỗ máy thật sự hoạt động được trên đất Mỹ trước, chứ không phải giơ tay ủng hộ một công nghệ cụ thể. Một con đường đặt con số mục tiêu lên phía trước. Con đường kia đo khả năng đi tới đích. Hai con đường nhắm tới cùng một đích, nhưng khác nhau ở chỗ bàn tay của chính phủ vươn xa đến đâu.

Điều độc giả Việt Nam nên rút ra từ phần này không phải là một câu chuyện thành công lấp lánh. QBI vẫn chưa chứng minh được điều gì. Chính DARPA nói rằng họ không biết liệu một máy tính lượng tử ở quy mô tiện ích có xuất hiện vào năm 2033 hay không, hoặc nếu có thì ai sẽ đứng ở đó. Vì vậy, chương trình này nên được đọc như một thiết bị kiểm chứng hơn là một hồ sơ thành tựu. Dòng tiêu đề về việc tách cường điệu khỏi thực tế cho thấy rõ thứ DARPA đang cầm trong tay không phải là sự chắc chắn mà là một dấu hỏi. Đo công nghệ mà không thổi phồng nó, và thừa nhận rằng câu trả lời chưa được biết trong khi xây thước đo trước. Khi Việt Nam nói về công nghệ lượng tử, điều đáng học hỏi có lẽ không nằm nhiều ở hiệu năng của cỗ máy, mà ở tư thế kiểm chứng này. Hiệu năng có thể được bắt kịp theo thời gian, nhưng con mắt tách lời nói bị thổi phồng khỏi thực tế phải được rèn qua các định chế. Vì sao con mắt ấy cuối cùng lại nhìn vào nhiều loại qubit cùng lúc là điều chúng ta sẽ đi tiếp ở phần sau, lần lượt cầm từng qubit trên tay.

Vì sao phải nhìn các loại qubit khác nhau cùng một lúc

Một ngày tháng 4 năm 2026, một bài viết xuất hiện trên website của DARPA. Nhan đề của nó có một góc nhìn hơi lệch khỏi thói quen thông thường. Bài viết nói rằng trong điện toán lượng tử, các loại qubit khác nhau sẽ tốt hơn khi đi cùng nhau. Khi viết về cạnh tranh công nghệ, người ta thường hỏi ai đang dẫn trước. Bài viết này đi theo hướng ngược lại. Nó nói rằng không nên chọn một phương pháp rồi dồn lực đẩy nó lên, mà phải quan sát nhiều phương pháp đặt cạnh nhau. Vì sao một cơ quan quốc phòng dùng tiền thuế của dân lại nói như vậy? Ở phần trước, tôi đã nói rằng QBI không đứng về phía một công nghệ cụ thể nào. Gốc rễ của lập trường ấy nằm trong bài viết này. Muốn tìm câu trả lời, trước hết chúng ta cần cầm trên tay vật thể còn xa lạ mang tên qubit.

Máy tính thông thường chỉ tính toán bằng 0 và 1. Nếu một công tắc tắt, nó là 0. Nếu bật, nó là 1. Công tắc trong máy tính lượng tử thì kỳ lạ hơn. Nó có thể trải rộng giữa trạng thái bật và tắt. Trạng thái trải rộng ấy càng được giữ lâu, và càng nhiều trạng thái như vậy được nối với nhau một cách sạch sẽ, sức mạnh tính toán càng lớn. Vấn đề là trạng thái đó rất dễ sụp đổ. Nhiệt độ chỉ tăng nhẹ hoặc một rung động rất nhỏ từ bên ngoài cũng có thể làm nó nhiễu loạn. Vì vậy, việc tạo qubit từ vật liệu nào sẽ quyết định số phận của cỗ máy. Vật liệu đặt ra hiệu năng, và hiệu năng đặt ra cách dùng.

Một báo cáo năm 2026 của Electronics and Telecommunications Research Institute chia phần cứng lượng tử đang được phát triển hiện nay thành sáu nhánh lớn. Báo cáo cũng chỉ ra rằng cả sáu nhánh đều mang những điểm yếu nghiêm trọng. Chúng ta hãy lần lượt đi qua từng nhánh một cách ngắn gọn.

IBM và Google thuộc nhánh siêu dẫn. Vì con đường này có thể đưa vào công nghệ mạch vốn đã được dùng trong các nhà máy bán dẫn, nó thuận lợi cho việc mở rộng quy mô, và tốc độ vận hành cao. Nhưng trạng thái chồng trải ấy không kéo dài lâu. Hệ thống chỉ vừa đủ chạy khi được làm lạnh gần độ không tuyệt đối bằng một bộ làm lạnh khổng lồ. Hãy hình dung một chiếc máy tính chỉ hoạt động bên trong một cái tủ lạnh chiếm kín cả căn phòng.

Phương pháp ion bị bẫy có một sắc thái khác. IonQ và Quantinuum đang đi theo con đường này. Mỗi nguyên tử được giữ bằng điện trường và được dùng làm qubit, nên các đơn vị riêng lẻ gần như giống hệt nhau, và trạng thái chồng trải kéo dài lâu. Nhưng các thao tác lại chậm. Số nguyên tử có thể giữ trên một hàng là có hạn, nên việc mở rộng quy mô sẽ đụng vào một bức tường.

Phương pháp nguyên tử trung hòa dùng những chiếc nhíp tạo bằng laser để giữ nguyên tử và tự do sắp xếp lại các mảng của chúng. Nó phù hợp cho mở rộng quy mô và trạng thái duy trì lâu, nhưng thiết bị laser đòi hỏi cao, và các thao tác chậm. Phương pháp quang tử mang thông tin trên các hạt ánh sáng. Nó có thể chạy ở nhiệt độ phòng mà không cần làm lạnh và phù hợp với truyền dẫn đường dài. Nhưng các thao tác liên kết hai qubit rất khó, và ánh sáng rò rỉ từng

chút một khi di chuyển.

Hai nhánh còn lại là spin silicon và khuyết tật kim cương. Nhánh thứ nhất ăn khớp tốt với quy trình bán dẫn và tiết kiệm không gian, nhưng hệ thống dây dẫn trở thành điểm nghẽn. Nhánh thứ hai chạy ở nhiệt độ phòng, nhưng khó mở rộng quy mô và khó kết nối các đơn vị với nhau. Đặt cả sáu nhánh vào cùng một căn phòng, bức tranh sẽ rõ ra. Chưa có qubit phổ quát nào đồng thời thỏa mãn tốc độ, độ ổn định, khả năng mở rộng và nhiệt độ. Nếu một phía nhanh, phía khác yếu. Nếu một phía duy trì lâu, phía khác chậm chạp. Nếu chỉ bám vào một phương pháp, điểm yếu của phương pháp đó sẽ trở thành trần giới hạn. Bảng so sánh giải thích bằng ngôn ngữ vật lý vì sao DARPA đã không dồn tất cả vào một con đường trong phần trước.

Nếu chỉ nhìn bề mặt của thị trường, cuộc đua có vẻ như đã ngã ngũ. Theo báo cáo MIT Quantum Index tháng 6 năm 2025 được báo cáo của ETRI dẫn lại, một nửa trong số 40 bộ xử lý lượng tử đã được thương mại hóa cho đến thời điểm đó dùng phương pháp siêu dẫn. Chỉ xét theo số lượng, các hệ thống siêu dẫn trông như đã dẫn trước. Nhưng khi đánh giá đồng thời số qubit, tỷ lệ lỗi và tốc độ vận hành, ion bị bẫy và nguyên tử trung hòa bám rất sát phía sau, và bên cạnh các con số còn có nhận định rằng khó gọi tên một bên thắng rõ ràng. Số lượng lắp đặt lớn hơn và hiệu năng tốt hơn là hai chuyện khác nhau.

Các chuyên gia theo dõi thị trường cũng chỉ về một hướng tương tự. Trong một khảo sát năm 2025 được báo cáo của ETRI dẫn lại, các chuyên gia được phỏng vấn trên nền tảng lượng tử khác nhau cho rằng các phương pháp có khả năng bù vào khoảng trống của nhau. Họ cũng dự đoán lĩnh vực này sẽ chuyên môn hóa theo từng trường hợp sử dụng, thay vì một phương pháp chiếm toàn bộ bàn cờ. Nhu cầu của những nơi cần vận hành nhanh gấp khác với nhu cầu của những nơi phải mang theo một thiết bị nhỏ không cần tủ lạnh. Nhận định được đưa ra là chính ý tưởng dùng một cỗ máy để đảm nhận mọi vai trò đã trở nên gượng ép.

Từ đó xuất hiện một lý do thực tế hơn cho việc phải nhìn các loại qubit cùng nhau. Các công ty đã bắt đầu pha trộn những phương pháp hoàn toàn khác nhau trong cùng một cỗ máy. Chìa khóa để mở rộng máy tính lượng tử đến quy mô hữu dụng nằm ở việc kết nối tốt nhiều mô-đun, và có phân tích cho rằng ánh sáng có lợi thế khi kết nối mô-đun này với mô-đun khác. IonQ, công ty lấy ion bị bẫy làm hướng đi chính, đã công bố kế hoạch mở rộng lên 2 triệu qubit vật lý vào năm 2030 và nói rằng họ cũng sẽ dùng công nghệ liên kết quang tử mà họ mua lại trong năm 2025. Quantum Brilliance, công ty ủng hộ hướng kim cương, đã xây dựng một hệ thống lai kết hợp bộ xử lý nhiệt độ phòng của mình với các bộ xử lý trung tâm và bộ xử lý đồng hóa của máy tính thông thường, rồi lắp đặt hệ thống đó tại Oak Ridge National Laboratory ở Hoa Kỳ. Các hoạt động bên trong có thể dùng một phương pháp, trong khi thông tin giữa các mô-đun di chuyển bằng phương pháp khác. Đến đây, câu nói rằng bám chặt vào chỉ một phương pháp sẽ khiến việc về đích trở nên khó khăn bắt đầu có sức nặng thật sự. Cuộc đua có thể không được quyết định bởi một phương pháp thuần túy, mà bởi một tổ hợp được pha trộn

tốt.

Trên dòng chảy này, DARPA lại xuất hiện. Tháng 3 năm 2026, DARPA thông báo mở rộng Quantum Benchmarking Initiative. Tên viết tắt của chương trình là QBI. Tiêu đề bài viết cho thấy rất rõ tính chất của chương trình. Nó nói rằng nỗ lực tách sự thổi phồng khỏi thực tế đang được mở rộng. QBI nhắm vào một câu hỏi sắc bén. Liệu có thật sự tồn tại con đường xây dựng một máy tính lượng tử ở quy mô hữu dụng vào năm 2033 hay không? Điều gì sẽ tách quảng bá khỏi thực tế? Quy trình kiểm chứng ba giai đoạn được mô tả ở phần trước chính là công cụ được tạo ra để trả lời câu hỏi đó.

Những lời của Micah Stotimore, người lãnh đạo QBI, chạm thẳng vào cốt lõi của câu hỏi. Ông nói rằng có khả năng sẽ có người tạo ra một máy tính lượng tử ở quy mô hữu ích trước năm 2033, nhưng hiện vẫn chưa biết đội nào sẽ cán đích. Vì vậy QBI vạch rõ ranh giới và nói rằng đây không phải là cuộc thi để chọn một người thắng duy nhất. Chừng nào ngân sách còn cho phép, chương trình sẽ đo từng con đường có cơ sở. Danh sách mười một tổ chức ở phần trước là kết quả của phép đo đó.

Điều đó không dừng lại ở lời nói. Danh sách các công ty bước sang giai đoạn QBI tiếp theo trong năm 2025 được trộn khá đều giữa các phương pháp. Nguyên tử trung hòa, spin silicon, hệ siêu dẫn, ion bị bẫy và photon, các nhánh đã bàn ở trên đều xuất hiện cạnh nhau. Thay vì trao phần thưởng cho một phương pháp, DARPA bày ra một bàn đo, nơi các con đường khác nhau được đánh giá bằng cùng một thước đo. Đo các đội dùng những phương pháp khác nhau bằng cùng một chuẩn không dễ như nghe qua. Xây dựng chiếc thước đo khó ấy chính là nội dung thật sự của chương trình này.

Lập trường này rõ hơn khi đặt cạnh lựa chọn của châu Âu. Như đã ghi nhận ở phần trước, báo cáo của ETRI mô tả Liên minh châu Âu là bên đặt mục tiêu định lượng 100 qubit sửa lỗi trên mỗi hệ thống vào năm 2030 và cố chọn từ cấp trên những hướng nào sẽ được hỗ trợ. Hoa Kỳ đứng ở phía ngược lại. Thay vì xếp hạng các phương pháp cụ thể, họ giữ trung lập về kỹ thuật và đặt nhiều nhánh lên cùng một bàn cân. Còn quá sớm để tuyên bố bên nào đúng. Nhưng trong một lĩnh vực mà người thắng vẫn chưa lộ diện, Hoa Kỳ đang trả lời bằng thiết kế tổ chức rằng việc nêu tên người thắng quá sớm rủi ro đến mức nào.

Vì sao phải giữ nhiều phương pháp cùng sống? Theo phép tính của một cơ quan quốc phòng, điều đó hợp lý. Nếu một quốc gia dồn tiền vào chỉ một phương pháp, rồi một đột phá bất ngờ lại đến từ một phương pháp hoàn toàn khác, phán đoán ấy sẽ trở thành lỗ hổng an ninh. Nhìn nhiều loại qubit cùng lúc giống như mua bảo hiểm bằng cách đặt tay sẵn trên nhiều cánh cửa, để Hoa Kỳ có mặt ở bất cứ nơi nào bức tường bị chọc thủng. Việc ngăn chặn bất ngờ chiến lược đã mô tả ở phần trước xuất hiện ở đây như hành động đặt tay đều lên sáu nhánh qubit.

Điểm này cần được đọc một cách thẳng thắn. QBI chưa phải là một thành tựu. Nó là một thử nghiệm. Năm 2033 và đội sẽ băng qua vạch đích hiện nay chưa được ấn định. Điều DARPA đưa

ra không phải là tuyên bố rằng chúng ta đã thắng, mà là một phương pháp và một thước đo để tách sự thổi phồng khỏi thực tế. Câu nói rằng các loại qubit khác nhau sẽ tốt hơn khi đi cùng nhau không phải là biên bản chiến thắng. Nó gần với một lời thừa nhận rằng cuộc đua vẫn chưa ngã ngũ. Giá trị của chương trình này nằm ở nơi lời thừa nhận ấy được chuyển thành ngân sách và hệ thống đánh giá. Và tư thế thử nghiệm này không chỉ dừng lại ở các máy tính. Trong phần tiếp theo, cùng một câu hỏi sẽ chuyển từ tính toán sang thời gian và liên lạc.

Tác chiến không có GPS và cuộc tranh luận về mạng lượng tử

Một đơn vị tác chiến điện tử bắn một tín hiệu vô tuyến mạnh lên bầu trời. Mục tiêu của nó không phải chính quả tên lửa đang bay tới, mà là tín hiệu mà quả tên lửa ấy dựa vào. Nếu các sóng vô tuyến yếu từ vệ tinh bị tiếng nhiễu phủ lấp rồi biến mất, một vũ khí dẫn đường đắt tiền sẽ mất cả vị trí của nó lẫn thời gian của nó. Một vũ khí mất phương hướng, ngay khoảnh khắc đó, gần như trở thành sắt vụn. Một vũ khí chính xác có giá hàng trăm triệu won cho mỗi phát bắn sẽ mất tác dụng khi một tín hiệu chỉ nhỏ bằng móng tay bị cắt đứt. Các phần trước nói về độ chính xác của tính toán. Phần này nhằm vào độ chính xác của thời gian.

Các quân đội hiện đại gom vị trí, dẫn đường và thời gian dưới tên gọi PNT. Phần giới thiệu của DARPA về chương trình ROCKN, công bố ngày 2 tháng 3 năm 2026, cho thấy cả ba yếu tố ấy gắn chặt với thời gian đến mức nào. Tên lửa tiên tiến, cảm biến, máy bay, tàu chiến và hệ thống pháo binh đều lấy mốc thời gian cấp nano giây từ đồng hồ nguyên tử trên vệ tinh GPS. Một nano giây là một phần tỷ của một giây. Với cảm giác của con người, nó gần như không phải là thời gian. Trên chiến trường, khoảng thời gian tưởng như không tồn tại ấy quyết định một mục tiêu sống hay chết.

Lý do sẽ rõ hơn nếu ta tính theo tốc độ ánh sáng. Ánh sáng đi được khoảng 30 cm trong 1 nano giây. Nếu thời điểm lệch chỉ vài nano giây, phép tính vị trí sẽ dịch đi đúng quãng đường mà tín hiệu đã đi trong khoảng thời gian đó. Sai số vài nano giây có thể lan thành sai số vị trí hơn 1 mét. Một vũ khí lệch mục tiêu 1 mét thì đã trượt. Vấn đề lớn hơn khi nhiều đơn vị cùng nhắm vào một mục tiêu trong cùng một thời điểm. Nếu mỗi đồng hồ lệch nhau một chút, thứ tự và khoảng cách của một đòn đánh phối hợp sẽ rối loạn, và một chiến dịch được lên kế hoạch kỹ sẽ sụp đổ trong nháy mắt. Không phải chỉ một chiếc đồng hồ sai. Đó là nhíp thử của cả một đơn vị bị lệch nhau.

Điểm yếu của tín hiệu GPS đã được biết từ lâu. Vì tín hiệu quá yếu, nó rất dễ bị đánh lừa. Đối phương có thể gây nhiễu bằng cách phủ lên nó tiếng ồn mạnh, hoặc kéo vũ khí về tọa độ giả bằng spoofing, tức phát ra một tín hiệu giả trông giống tín hiệu thật. DARPA gọi lỗ hổng này là một điểm yếu đã quá quen thuộc. Đây không phải rủi ro mới được phát hiện, mà là một lỗ hổng đã bị chỉ ra hết lần này đến lần khác. Khi vũ khí càng chính xác, cái giá của lỗ hổng này càng lớn. Độ chính xác trở thành sự lệ thuộc, và sự lệ thuộc trở thành điểm yếu. Nó giống như một con dao sắc trở nên nguy hiểm hơn khi cán dao gãy.

Ý tưởng phía sau ROCKN là tách thời gian khỏi vệ tinh và đưa nó đến cạnh vũ khí. Tên này là viết tắt của Resilient Optical Clock Network. Kế hoạch là chế tạo những đồng hồ có thể tự giữ thời gian chính xác trong một thời gian dài ngay cả khi tín hiệu vệ tinh bị cắt, và làm cho những đồng hồ đó đủ nhỏ để mang ra chiến trường. Chúng không được là những đồng hồ chính xác đặt giữa phòng thí nghiệm. Chúng phải là đồng hồ mà một người lính có thể mang theo hoặc một phương tiện có thể chở được. Vì vậy, kích thước và điện năng trở thành điều kiện quan trọng ngang với hiệu năng. Dù một chiếc đồng hồ chính xác đến đâu, nếu nó chiếm cả một căn phòng và tiêu thụ hết công suất của một máy phát điện, nó không thể dùng trên chiến trường.

Phần giới thiệu của DARPA nói đến hai loại đồng hồ. Loại thứ nhất có kích thước khoảng bằng một hộp giày. Nó chạy bằng lượng điện nhỏ đủ để thắp sáng một bóng đèn, và ngay cả khi không nhận bất kỳ tín hiệu bên ngoài nào, nó vẫn tự giữ độ chính xác dưới nano giây trong hai tuần. Loại thứ hai là đồng hồ tham chiếu khu vực, có kích thước khoảng bằng một máy giặt. Không cần đồng bộ GPS, nó chia sẻ cùng một thời gian với nhiều đơn vị rải trên một khu vực rộng trong hơn sáu tháng. Nếu chiếc đồng hồ thứ nhất là cổ tay của từng người lính, thì chiếc thứ hai là tháp đồng hồ của ngôi làng để những cổ tay ấy đối chiếu. Đồng hồ đeo tay di chuyển cùng con người, còn tháp đồng hồ đứng yên một chỗ để đặt chuẩn cho nhiều người. Hai chiếc đồng hồ có vai trò khác nhau, nên mục tiêu về kích thước và thời lượng của chúng cũng khác nhau.

Phần này phải được đọc thật cẩn thận. Những con số ở trên không phải là bảng hiệu năng của các loại vũ khí đã hoàn tất và được triển khai. Chúng gần với mục tiêu chương trình hơn. Trong các tài liệu chính thức tôi thu thập được cho chương này, tôi không tìm thấy ghi chép nào cho thấy một chiếc đồng hồ cỡ hộp giày đã vận hành trong các đơn vị thực tế suốt nhiều năm. Bài viết của DARPA nên được đọc chính xác hơn như điều cơ quan này đang cố xây dựng, chứ không phải như điều họ đã đạt được. Chính vì vậy, ở trên tôi đã hứa sẽ không chỉ gom các câu chuyện thành công. Ngay khoảnh khắc các con số mục tiêu và thành tựu đã được kiểm chứng được chép lại với cùng một trọng lượng, một kế hoạch sẽ biến thành báo cáo chiến trường. Những người làm chính sách phải nhảy với lớp nguy trang này. Nếu người phân bổ ngân sách và quyết định áp dụng đọc mục tiêu như thành tựu, họ sẽ tính một năng lực chưa xuất hiện như thể mình đã có trong tay. Cũng như QBI đã cố đo các tuyên bố của doanh nghiệp, chúng ta phải nhìn các tuyên bố của chính DARPA bằng cùng một con mắt.

Câu chuyện không kết thúc chỉ vì thời gian đã được tách khỏi vệ tinh. Ngay cả khi vũ khí và cảm biến rải khắp chiến trường đều mang theo đồng hồ chính xác, những chiếc đồng hồ đó vẫn vô dụng nếu mạng liên lạc nối chúng với nhau bị xuyên thủng. Nếu đối phương âm thầm cài một nút giả, bí mật nghe lén tín hiệu thời gian đang truyền đi, hoặc đẩy thông tin sai vào đường liên lạc, các đồng hồ vốn được căn chỉnh kỹ lưỡng lại rung lắc. Bảo vệ đồng hồ và bảo vệ mạng lưới chia sẻ thời gian là hai nhiệm vụ riêng. Tạo ra thời gian chính xác và chia sẻ thời gian đó một cách an toàn là hai vấn đề khác nhau. Đây là nơi cuộc tranh luận về mạng lượng tử xuất

hiện.

DARPA có một chương trình tên là QuANET, hay Quantum-Augmented Network. Chương trình này thuộc Information Processing Techniques Office, và phần giới thiệu chương trình nêu các chủ đề là lượng tử, truyền thông, an ninh và thông tin. Gốc của ý tưởng nằm ở một thuộc tính của cơ học lượng tử. Nếu ai đó bí mật đo một trạng thái lượng tử, chính hành động đo sẽ làm thay đổi trạng thái đó. Nghe lén để lại dấu vết. Nếu đặt thuộc tính này lên một mạng liên lạc, người ta có thể hy vọng xây dựng một đường truyền phát hiện ngay các nỗ lực nghe lén. Viễn cảnh là một mạng lưới trong đó, khi các đơn vị chia sẻ thời gian đã được căn chỉnh tốt và kẻ địch cố chặn hoặc thao túng tín hiệu đó, chính nỗ lực ấy bị lộ ra. Nó không giống việc bảo vệ một chiếc chìa khóa cho bằng việc kích hoạt báo động ngay khi cánh cửa được mở.

Nhưng khoảng cách giữa hy vọng này và thực tế phải được nói thật. Chính khoảng cách ấy là lý do chương này mang tên một thí nghiệm tách sự thổi phồng khỏi thực tế. Câu nói rằng truyền thông lượng tử về mặt lý thuyết là không thể nghe lén thường được trích dẫn. Nhưng câu đó giả định các điều kiện lý tưởng. Thiết bị thật có kẽ hở, và các mạng lượng tử ở quy mô chiến trường hiện vẫn đang ở giai đoạn chương trình và tranh luận. Chúng chưa phải là một tấm khiên hoàn chỉnh, mà là một dấu hỏi được đặt trên bệ thử để xem liệu chúng có thể trở thành tấm khiên hay không. Khi đọc giả gặp những bài viết xóa đi khác biệt này, họ nên dừng lại. Giữa điều lý thuyết hứa hẹn và điều các linh kiện có thể làm, thường có nhiều năm thất bại.

Điều đáng lưu ý là chính DARPA cũng thừa nhận khoảng cách nhiệt độ này. Ở phía điện toán lượng tử, DARPA vận hành QBI, Quantum Benchmarking Initiative. Chương trình này thuộc Microsystems Technology Office, và nhan đề phần giới thiệu ngày 10 tháng 3 năm 2026 nói thẳng mục đích của nó. DARPA nói họ đang mở rộng hành trình tách sự thổi phồng khỏi thực tế. Mục tiêu là đo lường một cách lạnh lùng xem các máy tính lượng tử do nhiều công ty đưa ra có thật sự thực hiện được những phép tính hữu ích hay không. DARPA xem bong bóng trong chính lĩnh vực của mình như một đối tượng cần kiểm chứng, và thái độ này trở thành thước đo để đọc ROcK N và QuANET. Cùng một cơ quan đang tuyên bố về thứ mình sẽ xây dựng, đồng thời đo xem thứ đã được xây dựng có thật sự hoạt động hay không. Bàn tay tuyên bố và bàn tay kiểm chứng cùng gắn trên một cơ thể, và đó là tính cách của tổ chức này.

Cách DARPA nhìn qubit cũng không dồn về một phía. Trong một bài viết ngày 14 tháng 4 năm 2026, DARPA nói các loại qubit khác nhau sẽ tốt hơn khi đi cùng nhau. Không chỉ có một con đường để xây dựng máy tính lượng tử. Mạch siêu dẫn, ion bị bẫy và vài hướng khác đang cạnh tranh, mỗi hướng mang theo điểm mạnh và điểm yếu riêng. Thay vì đặt toàn bộ tiền cược vào một hướng từ trước, DARPA cho rằng tốt hơn là đặt nhiều phương pháp cạnh nhau và để chúng lấp vào khoảng trống của nhau. Lý do phần trước đã tách sáu nhánh qubit ra xem từng nhánh một quay lại đúng câu này. Trong một lĩnh vực nơi người thắng chưa được quyết định, đó là tư thế từ chối khép lại phán đoán quá sớm.

Korea cũng đang theo dõi dòng chảy này. Tháng 4 năm 2026, Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI, công bố một báo cáo so sánh các nền tảng phần cứng điện toán lượng tử theo từng loại. Báo cáo xem động thái của DARPA trong việc đánh giá cạnh tranh về công nghệ phần cứng lượng tử như một điểm tham chiếu. Báo cáo ghi nhận rằng phương pháp qubit nào sẽ dẫn đầu vẫn chưa được quyết định, vì vậy nhiều phương pháp cần được đặt lên bàn cân cùng nhau. Nơi United States đang cố gắng gạt bỏ bong bóng cũng được một viện nghiên cứu của Korea ghi lại bằng cùng một ánh nhìn bình tĩnh. Đây không phải là nơi dành cho sự ghen tị và sao chép, mà là nơi nhìn cùng một vấn đề với cùng một sự thận trọng. Điểm này cũng là một manh mối cho cuộc thảo luận theo kiểu Korea ở chương cuối.

Bài học mà phần này để lại cho các nhà hoạch định chính sách rất rõ. Khi đọc một mô tả công nghệ, họ phải tách thì và tính chất của từng câu. Những mục tiêu như các con số của ROCKN về kích thước linh kiện, công suất và thời gian holdover là các lời hứa có thể kiểm chứng. Vài năm sau, người ta có thể hỏi những con số ấy đã đạt được hay chưa. Trái lại, cụm từ rằng một mạng lượng tử không thể bị nghe lén sẽ phình to về ý nghĩa nếu các điều kiện không được đọc kèm theo nó. Điều Korea nên học khi thiết kế một cơ quan nghiên cứu quốc phòng không phải là một danh sách chương trình hào nhoáng. Đó là sự tiết chế, đặt sự phóng đại trong chính lĩnh vực của mình trước một quy trình kiểm chứng, và là cách cầm sự tiết chế ấy vào ngân sách cùng các hệ thống đánh giá. Sao chép vài chương trình chỉ cần tiền. Xây dựng con mắt thể chế để kiểm chứng thì không thể làm bằng tiền mà thôi.

Hai trục được đề cập trong phần này có tính chất khác nhau. ROCKN, chương trình tìm cách tạo ra thời gian mà không cần GPS, đã đặt các mục tiêu bằng con số về kích thước linh kiện, công suất và thời gian duy trì khi tiến tới một mục tiêu hữu hình. Mạng lượng tử vẫn được viết bằng ngôn ngữ của tranh luận và kiểm chứng. Khi gặp những tài liệu gộp hai thứ này lại như những thành tựu có cùng mức độ trưởng thành, hãy lùi lại một bước và hỏi: đây là thiết bị đã được triển khai, hay chỉ là lời hứa trên bệ thử nghiệm? Câu hỏi ấy là nhát cắt đầu tiên tách cường điệu khỏi thực tế. Và nhát cắt này không phải là công cụ chỉ dùng cho lượng tử. Bất cứ chương trình DARPA nào chúng ta đọc, con mắt biết tách một kế hoạch khỏi một bản tường thuật chiến trường sẽ đi xuyên qua các chương còn lại sau Chương 12.

Chương 13 Máy tính sinh học và di truyền học quang học

Đọc O-Circuit như một kế hoạch, không phải một thành tựu

Mùa xuân năm 2026, một nhà nghiên cứu mở SAM.gov, trang hợp đồng chính thức của chính phủ Hoa Kỳ. Người đó nhập vào ô tìm kiếm một mã chương trình duy nhất: DARPA-PS-26-28. Thứ hiện ra trên màn hình không phải là ảnh chụp một thiết bị đã hoàn thiện, cũng không có video về một thí nghiệm. Đó là một tài liệu hỏi đáp chứa hàng chục câu hỏi và câu trả lời. Loại tế bào nào có thể được dùng, ngân sách là bao nhiêu, thứ gì không được phép chế tạo. Tài liệu này là nội dung hiện tại của O-Circuit. Không phải ảnh chụp, mà là hỏi đáp. Không phải thiết bị, mà là quy tắc. Không gì cho thấy tình trạng hiện tại của chương trình chính xác hơn thế.

Nhiều câu chuyện đang được lan truyền. Người ta nói DARPA đang chế tạo máy tính từ những bộ não sống. Người ta nói các bộ não trong bình thủy tinh có thể tự suy nghĩ. Bức tranh ấy gây kích thích mạnh. Nhưng khi mở các tài liệu chính thức ra, khung cảnh lắng xuống. O-Circuit không phải là một máy tính sinh học đang đặt ở đâu đó. Nó là một bản thiết kế nghiên cứu cơ bản, vẫn đang chọn các nhóm sẽ nghiên cứu nó. Đó là một kế hoạch vừa mới nhỏ neo. Chúng ta nên đọc bản thiết kế này đúng như một bản thiết kế. Đọc nó như một thành tựu, nó sẽ thành phóng đại. Đọc nó như một kế hoạch, cuối cùng nó mới trở nên chính xác.

Chúng ta bắt đầu từ lý do một chương trình như vậy xuất hiện. Trí tuệ nhân tạo ngày nay tiêu thụ lượng điện khổng lồ. Một trung tâm dữ liệu riêng lẻ có thể dùng lượng điện ngang với một thành phố. Chiến trường thì khác. Không có ổ cắm điện, và nhiên liệu cho máy phát sẽ cạn khi tuyến tiếp tế bị cắt. DARPA xác định chính điểm này là vấn đề. Liệu một thiết bị có thể tự học và tự tính toán chỉ với một lượng năng lượng rất nhỏ, tại những nơi thiếu điện và khó tiếp tế hay không? O-Circuit bắt đầu bằng ý tưởng đi tìm câu trả lời đó không phải trong chất bán dẫn, mà trong tế bào sống. Nó đảo chiều câu hỏi. Nó không hỏi làm thế nào để tạo ra một con chip mạnh hơn. Nó hỏi làm thế nào để tính toán mà không cần chip.

Hãy bắt đầu từ tên chính thức của chương trình. O-Circuit là một chữ viết tắt. Viết đầy đủ, nó có nghĩa là "Organoid Cellular Intelligence from Convergent Understanding and Information Transfer". Theo mô tả chương trình của DARPA, chương trình này thuộc Biological Technologies Office. Mục tiêu của nó dồn về một điểm. Chương trình tìm cách xây dựng một đơn vị xử lý sinh học, hay BPU, có thể tự học và tự tính toán với chỉ một lượng năng lượng rất nhỏ, ngay cả ở "tactical edge", nơi điện khan hiếm và việc tiếp tế dễ bị đứt đoạn. Đây là một thiết bị mới, trong đó một khối tế bào xử lý tính toán thay cho chip bán dẫn. Nó chưa phải là thứ đã được làm ra. Nó là một câu hỏi về việc liệu thứ đó có thể được làm ra hay không.

Việc chương trình này còn ở giai đoạn đầu trở nên rõ qua vài mốc ngày tháng. Theo mô tả chương trình, O-Circuit bắt đầu vào March 10, 2026. Vào May 1, thông báo mời đề xuất được

đăng trên SAM.gov. Sau khi các câu hỏi từ những bên đề xuất đổ về, phiên bản sửa đổi lần hai của phần Q&A được ban hành vào May 12. Một chương trình khởi động trong March, rồi phần Q&A chi tiết được sửa hai lần trong May. Điều đó có nghĩa là chương trình hiện đang ở giữa giai đoạn tuyển chọn và lập kế hoạch, tập hợp các nhóm tham gia và điều chỉnh quy tắc cho khớp. Đây không phải là nơi để khoe kết quả nghiên cứu. Nó gần với một thông báo tìm kiếm nhà nghiên cứu hơn. Dấu vết của hai lần sửa Q&A trong vòng hai tháng cũng cho thấy các quy tắc chưa đóng cứng, mà vẫn đang được định hình bởi chính các câu hỏi.

Quy mô tiền bạc cũng cho thấy đây là một kế hoạch. Trong tài liệu Q&A, DARPA nói tổng ngân sách ước tính dành cho Phases 1 và 2 là \$36 million. Cơ quan này không đặt một trần cứng mà các đề xuất không được vượt quá, và thông báo rằng nhiều nhóm sẽ được chọn tùy theo chất lượng của các đề xuất nộp vào. Sự tham gia của đại học được chính thức cho phép. Đặt ba điểm này cạnh nhau, bức tranh trở nên rõ. Đây không phải là một dự án giao cho một nhà thầu quốc phòng cụ thể. Đây là vòng đầu nhằm thu hút rộng rãi năng lực nghiên cứu cơ bản của các trường đại học và ngành công nghiệp. Cách làm việc của DARPA hiện ra khá nguyên vẹn. Cơ quan này không đặt hàng sau khi đã quyết sẵn câu trả lời. Nó dựng lên một mục tiêu rõ ràng, rồi khiến những người thông minh trên thế giới chạy về phía mục tiêu đó bằng nhiều con đường khác nhau.

Khi đọc một kế hoạch, điều quan trọng không chỉ là nó sẽ xây gì, mà còn là nó sẽ không xây gì. Trong phần Q&A, DARPA vạch ra các ranh giới chắc chắn để các nhà nghiên cứu không tiêu tiền sai chỗ. Một bên đề xuất hỏi liệu chương trình có đang đi theo hướng xây dựng một bộ não cô lập bên trong một bioreactor hay không. DARPA nói không, thẳng thắn. O-Circuit không phải là chương trình xây dựng một bộ não. Tin đồn về một bộ não trong lọ thủy tinh bị bác bỏ trực tiếp. Những ý tưởng giảm năng lượng chỉ bằng bán dẫn tiên tiến, tức các giải pháp gọi là "pure silicon-based", cũng bị đẩy ra ngoài phạm vi. Các thiết bị silicon hiện có như điện cực có thể được dùng để hỗ trợ đưa tín hiệu thần kinh vào và lấy tín hiệu ra, nhưng các đề xuất phải đặt xử lý sinh học ở trung tâm và giảm tỷ phần tính toán bằng silicon nếu muốn được chọn. Vạch ranh giới từ trước giúp giảm việc tiền chảy vào các hướng vô ích. Đó là một mặt trong phong cách đặt bài toán của DARPA, bắt đầu bằng việc làm rõ mục tiêu.

Các chỉ số mục tiêu cho thấy chương trình này đang nhắm xa đến mức nào. Mục tiêu năng lượng cho một BPU là 10 milliwatt-giờ mỗi ngày. Khi các bên đề xuất hỏi liệu con số này chỉ được đo trong lúc tính toán hay không, DARPA nói rằng nó sẽ được đo trong 24 giờ, bao gồm cả trạng thái chờ và tính toán đang hoạt động. Về nguồn gốc của giá trị năng lượng này, lời giải thích là nó được rút ra từ mức sử dụng năng lượng của não người, rồi thu nhỏ theo một mẫu nuôi cấy khoảng hai triệu nơ-ron, như đã thảo luận tại hội thảo dành cho bên đề xuất. DARPA cũng để ngỏ khi nói rằng họ không áp một trần cứng đối với số lượng nơ-ron, và điều quan trọng là toàn bộ hệ thống có đạt mục tiêu hay không. Thêm một lớp nghĩa nữa. DARPA thừa nhận rằng nghiên cứu nhằm xác định các thụ thể để phát hiện những chất tạo mùi có liên quan

trực tiếp đến hoạt động có thể nằm trong phạm vi chương trình, nếu nó gắn trực tiếp với việc tạo ra một BPU có khả năng cảm nhận mùi. Hàng triệu tế bào tính toán ngày đêm bằng một lượng nhỏ dưỡng chất, đồng thời ngửi như râu của côn trùng. Đó là phác thảo của thiết kế cuối cùng được tài liệu Q&A vẽ ra.

Bằng chứng thẳng thắn cho thấy chương trình này chưa đến giai đoạn thành tựu nằm trong thái độ của DARPA đối với việc chuyển sang vận hành thực tế. Một bên đề xuất hỏi liệu có lộ trình chuyển giao công nghệ này cho warfighters hay không. Câu trả lời của DARPA khá khiêm tốn. Cơ quan này nói rằng họ luôn quan tâm đến chuyển giao, nhưng hiện chưa có kế hoạch chuyển giao cụ thể, và cách chương trình diễn tiến sẽ quyết định con đường đó. Điều tương tự cũng áp dụng cho sản xuất hàng loạt và khả năng mở rộng. Khi được hỏi liệu Phase 1 có phải xem xét khả năng mở rộng hoặc khả năng chế tạo của BPUs hay không, DARPA nói rằng Phases 1 và 2 là các giai đoạn nghiên cứu và phát triển, còn chuyển giao và mở rộng được hoãn đến Phase 3. Chương trình hiện không được phân loại mật và không có kế hoạch gán một mức phân loại khác. Một dự án xây dựng vũ khí để cắm thẳng vào chiến trường sẽ không để mọi thứ mở như vậy. Thay vì vội tuyên bố thành tựu, đây là một tài liệu ghi rõ những phần vẫn chưa có câu trả lời là chưa có câu trả lời.

Thêm vào đó việc quản lý quy định đang được xử lý từ trước, bản chất của chương trình trở nên rõ hơn. Vì có thể sử dụng tế bào hoặc mô động vật, các thủ tục đạo đức được phối hợp trước. Khi được hỏi liệu có cần phê duyệt từ một ủy ban chăm sóc và sử dụng động vật khi dùng nơ-ron có nguồn gốc từ induced pluripotent stem cells được cung cấp thương mại hay không, DARPA giải thích rằng phê duyệt chỉ cần thiết khi công việc được xem là nghiên cứu trên động vật. Khi được hỏi việc thử nghiệm và đánh giá do chính phủ vận hành sẽ diễn ra trong nhà hay ngoài trời, DARPA trả lời rằng chi tiết sẽ được công bố sau như một phần của kế hoạch thử nghiệm và đánh giá. Ngay cả môi trường thử nghiệm cũng chưa được ấn định.

Những độc giả làm chính sách nên ghi nhớ hai điều. Thứ nhất, hãy rèn thói quen cân đo sức nặng của văn bản chính thức một cách tách biệt giữa kế hoạch và thành tựu. Ngay trong cùng một chương trình, câu “\$36 million has been put on the table” và câu “computation with cells has succeeded” mang trọng lượng hoàn toàn khác nhau. Câu đầu là một kế hoạch đã được xác nhận. Câu thứ hai không xuất hiện ở đâu trong tài liệu này. Thứ hai, việc đặt ra mục tiêu định lượng và vẽ trước ranh giới cấm đoán tự thân đã là một định chế. Mười milliwatt-giờ mỗi ngày, đo trong 24 giờ. Đừng xây một bộ não. Giảm tính toán bằng silicon. Vài dòng này sẽ hướng hàng chục nhóm nghiên cứu về cùng một phía trong vài năm tới. Khi Korea bàn về một tổ chức tương tự, điều đáng ghen tị không phải là một sản phẩm chói sáng, mà là kỹ năng viết ra những tài liệu gắn ngân sách, quy tắc và thời hạn vào các câu hỏi chưa có lời đáp, rồi khiến người ta bắt tay chạy theo.

Đó là cách phải đọc O-Circuit thì mới chính xác. Nó không phải là một máy tính sinh học đã hoàn thiện. Nó là một sân thử thách, nơi DARPA đặt ra ngân sách, quy tắc và các con số mục tiêu để các trường đại học và viện nghiên cứu của Hoa Kỳ thử tạo ra thiết bị tính toán từ những khối tế bào. Một tài liệu vạch rõ rằng chương trình này sẽ không xây dựng một bộ não, đẩy việc chuyển sang ứng dụng thực tế sang giai đoạn sau, và đặt ngưỡng khắc nghiệt là 10 miliwatt-giờ mỗi ngày. Lời hứa đọc một tài liệu lập kế hoạch như đúng bản chất của nó, tức là một tài liệu lập kế hoạch, được thử thách ở những đoạn như thế này. Một thiết bị trong đó tế bào thực hiện tính toán nghe rất ấn tượng. Còn lúc này, phần thực chất của sự ấn tượng ấy là một lời mời trị giá 36 triệu USD dành cho những thí nghiệm còn chưa bắt đầu.

Chương trình GO và quang di truyền học

Ánh sáng ở một bước sóng cụ thể chiếu xuống một đĩa nuôi cấy nhỏ chứa tế bào. Không có kim tiêm, cũng không thấy pipette nhỏ thuốc thử. Thứ thay đổi chỉ là cường độ ánh sáng và nhịp nhấp nháy của nó. Khi nhận ánh sáng đó như một tín hiệu, một chuỗi di truyền mới bắt đầu được tạo ra từng chữ cái một bên trong các tế bào sống. Không có vật chất hữu hình nào đi vào hay đi ra, nhưng giờ đây các tế bào đã mang thông tin chưa từng tồn tại chỉ vài khoảnh khắc trước đó.

Cảnh này không phải là một câu chuyện thành công trong phòng thí nghiệm. Đó là bức tranh mục tiêu được vẽ trong tài liệu hỏi đáp cho chương trình GO, phần FAQ về chương trình mà DARPA công bố năm 2026. GO là viết tắt của “Generative Optogenetics.” Thứ chúng ta đang cầm trong tay không phải là kết quả, mà là một kế hoạch. FAQ là tài liệu trong đó DARPA trả lời những câu hỏi mà các nhà nghiên cứu có thể đặt ra trước khi nộp đề xuất. Nó không chứa những gì đã làm được, mà chứa những gì DARPA định yêu cầu. Cần giữ rõ sự khác biệt này ngay từ đầu. Cũng như O-Circuit ở phần trước là một chương trình do Biological Technologies Office thúc đẩy, GO cũng đứng trong cùng dòng chảy: cố gắng cấy năng lực tính toán vào các hệ thống sống. Cả hai đều là những thí nghiệm đã được đặt cược vào đó, chứ không phải thành tựu để đem ra khoe.

Thuật ngữ optogenetics có thể nghe lạ, nhưng gốc rễ của nó đã có từ lâu. Đây là công nghệ bật và tắt các công tắc tế bào bằng ánh sáng. Các nhà khoa học thần kinh đã dùng phương pháp này để chiếu ánh sáng vào những neuron cụ thể và điều khiển hoạt động của chúng. Họ cấy các kênh chịu điều khiển bởi ánh sáng vào màng tế bào, và khi ánh sáng được bật lên, tế bào phản ứng. GO muốn đi sâu hơn một bước. Nó không dừng ở việc bật tắt một thứ gì đó bằng ánh sáng. Nó tìm cách tạo ra các trình tự acid nucleic mong muốn ngay bên trong tế bào chỉ bằng ánh sáng. Đó là bước chuyển từ một công tắc bật tắt sang một cây bút chép chính tả từng chữ một.

Ở trung tâm của mục tiêu này là một thiết bị được gọi là “nucleic acid compiler.” Viết tắt tiếng Anh của nó là NAC. Theo FAQ, NAC là một phức hợp protein được thiết kế để biểu hiện bên

trong tế bào sống. Công nghệ sinh học hiện có thường đưa gene được tạo ra bên ngoài tế bào vào trong tế bào, hoặc sao chép DNA từ các khuôn mẫu đã có sẵn bên trong tế bào. Khuôn mẫu là sợi gốc được dùng làm mẫu khi sao chép một trình tự. NAC đảo ngược lẽ thường đó. Nó vận hành theo cách không cần khuôn mẫu và kết hợp khả năng điều khiển bằng optogenetics phản ứng với ánh sáng, khả năng gắn với các chất nền đóng vai trò vật liệu, và hoạt tính enzyme thật sự nối các trình tự lại với nhau. Đáp lại các tín hiệu ánh sáng được đưa vào từ bên ngoài, nó tự tổng hợp các trình tự DNA hoặc RNA bên trong tế bào. DARPA viết rằng họ hy vọng hướng đi này sẽ trở thành nền tảng cho “mass-free genetic programming.” Điều đó có nghĩa là truyền thông tin di truyền chỉ bằng tín hiệu ánh sáng, không vận chuyển vật chất.

Một quy tắc nghiêm ngặt được gắn kèm. Thông tin mã hóa trình tự chỉ được là ánh sáng. Một nhà nghiên cứu hỏi liệu các tín hiệu không phải hóa chất như điện, âm thanh, hoặc từ trường có thể được dùng làm đầu vào hay không. Câu trả lời của DARPA được giới hạn rõ. Những tín hiệu như vậy chỉ có thể được dùng cho điều khiển phụ trợ, chẳng hạn như giới hạn số base được thêm vào trong một lần. Thông tin quyết định trình tự nào sẽ được tạo ra phải do ánh sáng mang theo. Các tín hiệu khác không thể thay thế vai trò đó. Một quy tắc đã làm rõ tính chất của chương trình. Nó có nghĩa là ánh sáng phải trở thành hơn cả sự chiếu sáng. Nó phải trở thành ngôn ngữ. Nhiệm vụ là đặt các chữ cái lên cường độ, nhịp điệu, và bước sóng, rồi khiến tế bào đọc những chữ cái ấy và phiên mã chúng thành trình tự.

DARPA cũng vạch rõ ranh giới thí nghiệm. Trong tài liệu GO, “in vivo” chỉ bên trong tế bào sống. Dù đang trôi nổi trong môi trường nuôi cấy hay bám vào đĩa nuôi cấy, một mẫu nuôi cấy tế bào sống vẫn được tính là in vivo. Các hệ thống không có tế bào được xếp vào in vitro. Cửa kiểm tra cuối của Phase 2 phải được vượt qua bằng cách chứng minh lập trình do ánh sáng điều khiển và tổng hợp trình tự bên trong tế bào sống. Việc phá hủy tế bào để đọc trình tự đã được tạo ra là được phép. Thứ hoạt động tốt trong ống nghiệm và thứ hoạt động bên trong tế bào sống là hai mức khó khăn hoàn toàn khác nhau. Vì vậy DARPA đã đặt cửa kiểm tra cuối cùng ở bên trong tế bào.

Các trường hợp bị loại trừ cũng được nêu rõ. Nghiên cứu trên đối tượng là con người và nghiên cứu trên đối tượng là động vật nằm ngoài phạm vi của chương trình. Việc dùng tế bào gốc phôi làm vật liệu thí nghiệm cũng bị cấm. Các đề xuất có thể tìm cách khiến hệ thống chỉ hoạt động trong một bào quan cụ thể bên trong tế bào thay vì trên toàn bộ tế bào, nhưng DARPA xem cách đó là có rủi ro kỹ thuật cao hơn và yêu cầu phải giải thích vì sao cần đến độ chính xác như vậy. DARPA cũng yêu cầu phần trình diễn phải thực hiện được bằng thiết bị quang học có bán trên thị trường, chứ không phải bằng thiết bị chuyên dụng đắt tiền. Những điều kiện này không nhằm hạ thấp trần công nghệ. Chúng là các cơ chế để người khác có thể kiểm chứng kết quả.

Tài liệu cũng nêu rõ thế nào sẽ được tính là thành công. Một năng lực mà DARPA theo dõi sát là khả năng tạo ra các trình tự khó tạo bằng những phương pháp hiện có. Đó là các trình tự phức tạp có hàm lượng GC cao. Trong bốn chữ cái của DNA, những vùng có nhiều G và C liên kết chặt với nhau và thường làm quá trình tổng hợp bị đình lại. Ở Phase 2, DARPA có thể cố ý giao các trình tự khó làm nhiệm vụ để kiểm tra giới hạn của các nhóm đề xuất. Các acid nucleic được tạo ra không chỉ được phép tồn tại. Chúng phải làm thay đổi chức năng tế bào một cách nhìn thấy được. Việc chứng minh sự kích hoạt của một reporter như green fluorescent protein hoặc enzyme luciferase được ưu tiên. Reporter là một protein đánh dấu, báo hiệu thành công bằng ánh sáng hoặc màu sắc. Những kế hoạch lớn hơn liên quan đến chuyển hóa, vận động hoặc biệt hóa tế bào cũng được hoan nghênh. Chương trình cũng để mở khả năng dùng generative AI trong các thiết kế như mạch di truyền, hoặc dùng AI hỗ trợ thiết kế trình tự, như những cách để đẩy nhanh mục tiêu.

Cách xử lý kinh phí cho thấy rất rõ bản chất của chương trình này. Ở Phase 1, một bên đề xuất có thể yêu cầu tối đa \$1.7 million nếu tham gia một lĩnh vực nghiên cứu, và tối đa \$1.99 million nếu tham gia cả hai lĩnh vực. Đề xuất ban đầu chỉ nêu chi phí và công việc cho Phase 1. Phạm vi và ngân sách của Phase 2 không được cố định ngay từ đầu. Chúng được đàm phán riêng với DARPA quanh thời điểm đánh giá thiết kế khái niệm vào tháng thứ chín của Phase 1. Đây là một cấu trúc chỉ mở cánh cửa kế tiếp và khoản ngân sách kế tiếp cho những nhóm đã chứng minh được năng lực. Nó trái ngược với việc giao toàn bộ tiền nghiên cứu trước rồi chờ kết quả. Nhiều cánh cửa được dựng lên, và chỉ những nhóm vượt qua cánh cửa trước mới được đặt trước cánh cửa tiếp theo.

Ý tưởng xây dựng gene bên trong tế bào chỉ bằng ánh sáng có thể trở thành một phúc lành hoặc một mối đe dọa. DARPA đã chỉ ra điều này ngay trong chính tài liệu. Để xử lý câu hỏi generative optogenetics mới làm thay đổi rủi ro biosecurity và cybersecurity ra sao, DARPA đã phát hành một thông báo riêng, trong đó có ba nhóm chuyên trách, bao gồm một biosecurity working group, tách khỏi phần phát triển kỹ thuật. DARPA cũng đưa vào một cơ chế nhằm bảo đảm công bằng. Theo nguyên tắc, DARPA thận trọng với việc cho phép cùng một tổ chức vừa làm nhà phát triển công nghệ vừa vận hành working group. Nếu một tổ chức nhất quyết làm cả hai, tổ chức đó phải thiết lập một firewall hoàn chỉnh giữa hai nhóm. Cùng một người không được xuất hiện ở cả hai phía. Một ngoại lệ cho phép một giảng viên thuộc cùng tổ chức tham gia working group nếu người đó không liên quan đến nhiệm vụ kỹ thuật. Ngay từ đầu, DARPA muốn tách bàn tay xây dựng công nghệ khỏi bàn tay theo dõi rủi ro của công nghệ đó.

Tại một hội thảo dành cho bên đề xuất tổ chức ở Washington vào ngày 7 tháng 1 năm 2026, các nhà nghiên cứu từ giới học thuật và doanh nghiệp đã tự giới thiệu, rồi lập nhóm thông qua poster và các bài trình bày ngắn mười phút. Công dân nước ngoài và thường trú nhân có thể tham gia, nhưng họ phải trải qua một quy trình an ninh riêng để xác nhận liệu họ có được xử lý thông tin chưa phân loại nhưng bị kiểm soát hay không; nếu cần, họ có thể bị hạn chế quyền

truy cập. Cánh cửa mở ra cho các nhà nghiên cứu quốc tế, nhưng lại thu hẹp trước những thông tin nhạy cảm.

Nhìn từ góc độ chính sách, GO vừa là một kế hoạch công nghệ, vừa là một kế hoạch kiểm soát. Điều độc giả Hàn Quốc nên rút ra từ văn kiện này không phải là cảm giác rằng thành công đã ở gần. Chưa có cột mốc nào được vượt qua. Sẽ sai nếu đọc GO như một thành tựu của công nghệ sinh học Hoa Kỳ. Đoạn đáng chú ý nằm ở chỗ khác. Công nghệ càng nguy hiểm, tổ chức giám sát rủi ro càng được lập ra ngay trong cùng ngày với thông báo phát triển. Ngân sách được chia theo từng giai đoạn và gắn với kết quả thực hiện. Tiêu chí thành công được cố định dưới những hình thức mà người khác có thể kiểm chứng lại. Có tham vọng khiến tế bào viết gene bằng ánh sáng, và cũng có sự thận trọng ghi sẵn con đường mà tham vọng ấy có thể biến thành vũ khí. GO là một thí nghiệm chưa có lời giải, với hai điều đó được đặt cạnh nhau trong cùng một văn kiện.

Nơi tính toán sinh học gặp bài toán năng lượng

Hãy hình dung một chiếc drone trinh sát đơn lẻ. Cánh quạt quay, camera quét mặt đất, và một trí tuệ nhân tạo bên trong luồng video ấy liên tục tính toán để phân biệt con người với phương tiện. Hiệu năng thuật toán cải thiện qua từng năm. Lý do chiếc drone trên bầu trời thường không thể trụ được lâu không nằm ở thuật toán, mà nằm ở pin. Thiết bị tính toán hiệu năng cao tiêu thụ rất nhiều điện. Ở hậu phương, nơi các nhà máy điện vận hành và các trung tâm dữ liệu xếp thành hàng, cơn khát ấy có thể được đáp ứng. Ở tuyến đầu, nơi nhiên liệu và pin khó vận chuyển, câu chuyện thay đổi hoàn toàn. Dù phán đoán của một cỗ máy thông minh đến đâu, khoảnh khắc nguồn điện tắt, nó trở thành một khối kim loại phế liệu nặng nề.

Có một tài liệu bắt đầu từ chính tình thế khó này. Đó là tài liệu giới thiệu chương trình O-Circuit của DARPA, được công bố năm 2026. Trang chính thức của chương trình mở đầu bằng nhận định rằng trí tuệ nhân tạo hiện đại rất mạnh, nhưng cần một lượng điện lớn để vận hành. Sau đó tài liệu nói rằng ở tuyến chiến thuật tiền phương, nơi nguồn điện eo hẹp và việc tiếp tế khó khăn, chính nhu cầu năng lượng ấy trở thành bức tường chặn hoạt động tác chiến. Câu này làm đổi trọng tâm của vấn đề. Làm cho AI thông minh hơn và cung cấp đủ điện để AI ấy tiếp tục chạy là hai bài toán khác nhau.

Cách tiếp cận mà DARPA đưa ra trước bức tường này hơi xa lạ. Không phải làm ra chất bán dẫn tốt hơn, mà là dùng chất bán dẫn ít hơn. Tên O-Circuit là một từ viết tắt rút ra từ một tiêu đề chính thức dài. Nếu diễn đạt sang tiếng Việt, nó gần với “trí tuệ tế bào organoid từ sự hiểu biết hội tụ và truyền tải thông tin.” Từ ngữ khó, nhưng cấu trúc thì rõ. Chương trình này thuộc Biological Technologies Office, hay BTO, của DARPA, và đưa sinh học, điện toán hiệu năng cao, cùng khoa học thần kinh vào cùng một nơi. Mục tiêu là tạo ra một thiết bị tính toán từ mô tế bào sống, tức biological processing unit, hay BPU. Nó nhắm tới một thiết bị dùng rất ít năng lượng trong khi tự học và tự tính toán. Ý tưởng là giao việc tính toán cho các môi trường nuôi

cấy tế bào thay vì chip silicon.

Vì sao lại là tế bào? Đây là điểm đầu tiên nơi sinh học gặp bài toán điện năng. Trong tài liệu hỏi đáp của O-Circuit, một bên đề xuất hỏi: “Còn những cách giảm năng lượng trên nền silicon thì sao?” Câu trả lời của DARPA rất dứt khoát. Một giải pháp được xử lý hoàn toàn bên trong silicon nằm ngoài phạm vi chương trình này. Việc dùng phần cứng silicon như các mảng vi điện cực làm thiết bị phụ trợ để đọc tín hiệu từ tế bào và đưa tín hiệu vào tế bào thì được phép. Nhưng phần tính toán thật sự nên được đẩy càng nhiều càng tốt sang xử lý sinh học, và tỷ lệ tính toán bằng silicon nên được giảm xuống. Bên dưới đó là một quan sát cũ. Trong máy tính ngày nay, nơi lưu dữ liệu và nơi thực hiện phép tính bị tách rời, nên thông tin liên tục phải được vận chuyển qua lại giữa hai nơi. Một lượng điện lớn thất thoát thành nhiệt trong chuyến đi về ấy. Ngược lại, trong neuron, tính toán và bộ nhớ diễn ra cùng nhau ngay trong chính mạng lưới. Quãng đường di chuyển ngắn hơn, và kỳ vọng là ít năng lượng bị thất thoát hơn.

Quy mô của kỳ vọng ấy hiện ra rõ trong một con số. Mục tiêu năng lượng của O-Circuit là 10 milliwatt-hours mỗi ngày. Đây không phải một đơn vị dễ cảm nhận. Nếu nhớ rằng sạc đầy một điện thoại thông minh cần khoảng 10 watt-hours điện, thì con số này tương đương khoảng một phần nghìn mức đó. Một thiết bị tính toán suốt cả ngày phải chạy bằng một phần nghìn dung lượng của một lần sạc điện thoại. Tài liệu không cho phép dùng con số này một cách lỏng lẻo. Khi một bên đề xuất khác hỏi liệu có thể loại các khoảng nghỉ để tiết kiệm điện ra khỏi phép đo hay không, DARPA trả lời là không. Toàn bộ 24 giờ, gồm cả thời gian nghỉ và thời gian tính toán thật, phải là cơ sở đo. Mức điện năng này không được đo cho toàn bộ thiết bị, mà được tính như mức tiêu thụ chuyển hóa trực tiếp của tế bào khi đốt chất dinh dưỡng. Điện dùng cho lồng ấp, bộ trao đổi khí, hoặc mảng điện cực để giữ tế bào sống phải được báo cáo, nhưng không có mục tiêu riêng đặt lên phần đó. Con mắt đánh giá được đặt vào mức tiêu thụ của chính các tế bào thực hiện việc tính toán.

Tài liệu cũng ghi lại đích đến 10 milliwatt-giờ này bắt nguồn từ đâu. Theo phần giải thích tại hội thảo dành cho bên đề xuất, đây là một ước tính có được bằng cách thu nhỏ mức năng lượng mà não người dùng xuống quy mô của một mẫu nuôi cấy khoảng hai triệu neuron. Điểm tiếp theo khá đáng chú ý. DARPA nói thêm rằng các nhà nghiên cứu không bị buộc phải giữ đúng con số hai triệu này. Ngay cả khi dùng nhiều neuron hơn, họ vẫn có thể làm vậy, miễn là đáp ứng chuẩn năng lượng 10 milliwatt-giờ mỗi ngày. Điều đó có nghĩa mục tiêu không phải là số lượng tế bào, mà là hiệu suất năng lượng. Thông điệp gửi tới các nhà nghiên cứu không phải là “hãy dùng chừng này”, mà là “hãy vượt qua ngưỡng này”. Đó là một cách đặt vấn đề rất DARPA. Cơ quan này không chỉ định phương pháp. Nó cố định đích đến.

Tài liệu lập kế hoạch cũng nêu chiếc máy tính sinh học này có thể được mang trên nền tảng nào trong thực tế. Ở các giai đoạn sau của chương trình, tài liệu hình dung một BPU hoàn chỉnh được lắp lên drone. Tài liệu ước tính giới hạn tải trọng của drone là 10 pound, khoảng 4,5

kilogram, đồng thời giải thích rằng giá trị này chỉ là ước tính dựa trên hiệu năng drone hiện nay và có thể thay đổi tùy nền tảng là trên không hay trên mặt đất. Trong giới hạn trọng lượng đó, bức tranh được vẽ ra là một máy tính tế bào tự cảm nhận mùi của các chất hóa học và tạo tín hiệu điều khiển để di chuyển qua địa hình về phía mục tiêu mà không cần máy chủ trung tâm hỗ trợ. Nó hình dung một cỗ máy nhỏ tự phán đoán một mình, không có trạm sạc pin hay trạm chuyển tiếp thông tin liên lạc.

Cần giữ các ranh giới cho rõ. 10 milliwatt-giờ, hai triệu neuron và drone 4,5 kilogram vừa nêu không phải là những thành tựu đã hoàn thành. Tất cả đều là mục tiêu và điều kiện DARPA đặt ra để thu hút các bên đề xuất, là những con số nằm trong hồ sơ mời đề xuất và phần hỏi đáp của hồ sơ đó. Hiện chưa có kết quả đã được kiểm chứng nào cho thấy một khối tế bào đã đáp ứng các tiêu chí này và thật sự tự tìm đường đi. Vì vậy, phần này không nên được đọc như một câu chuyện thành công. O-Circuit hiện là một chương trình ở giai đoạn lập kế hoạch, và thứ chúng ta đang có trong tay là quy mô của tham vọng được đặt ra trong kế hoạch ấy. Nếu trộn lẫn tham vọng với thành tựu, độc giả có thể hiểu nhầm rằng Hoa Kỳ đã cho bay các drone dùng máy tính tế bào. Tài liệu không ủng hộ cách hiểu nhầm đó.

Dù vậy, điểm mà tham vọng này nhắm tới khá rõ. Làm sao giữ cho trí tuệ nhân tạo tiếp tục chạy ở nơi thiếu điện? Phần lớn nghiên cứu quốc phòng trả lời câu hỏi này bằng chip hiệu quả hơn và pin nhẹ hơn. O-Circuit gõ vào một cánh cửa khác. Nó hỏi liệu tính toán có thể được chuyển từ silicon sang tế bào và vận hành bằng dưỡng chất như nước đường thay vì điện hay không. Nhìn từ chính sách, câu hỏi này vượt ra ngoài chuyện một công nghệ riêng lẻ thành công hay thất bại. Ở tiền tuyến, nơi tuyến cung cấp năng lượng tự nó trở thành sức mạnh chiến đấu, một nỗ lực giảm chi phí năng lượng của tính toán xuống nhiều bậc độ lớn cũng viết lại bài toán quân sự cũ về tiếp tế. Khi chương trình quang di truyền học GO được bàn trong cùng chương tìm cách xử lý các mạch thần kinh sinh học bằng ánh sáng, những thí nghiệm này của Biological Technologies Office tiến tới làm mờ ranh giới giữa tính toán và sự sống.

Câu hỏi mà cảnh này đặt ra cho độc giả Việt Nam không phải là sự ganh tị. Đó là liệu chúng ta có con mắt để đọc những văn kiện quy hoạch như đúng bản chất của chúng: các kế hoạch hay không. Là sự tỉnh táo để không nhầm những con số chói mắt với thành tựu, là thói quen tách một nỗ lực đang mở khỏi một kết quả đã được kiểm chứng. Điều DARPA cho thấy qua O-Circuit không phải là một kết quả, mà là một tọa độ. Đó là tọa độ đánh dấu việc nghiên cứu quốc phòng Hoa Kỳ định đẩy tới giới hạn vật lý mang tên điện năng xa đến đâu, và theo hướng xa lạ nào. Nỗ lực ấy có đạt được hiệu suất mục tiêu hay kết thúc như một bài học đắt đỏ hay không, hiện chưa ai có thể hứa chắc.

Chương 14 Tự chủ y tế trên chiến trường: phân loại cấp cứu, VITAL, RAPIID

Vấn đề tại hiện trường đăng sau DARPA Triage Challenge

Hãy hình dung một tòa nhà vừa sập. Những mảng bê tông chất đống như núi, và người mắc kẹt bên dưới. Khói phủ đầy không khí, lại là ban đêm nên tầm nhìn rất kém. Một nhân viên y tế đến nơi. Có hàng chục người bị thương. Ai cần được khám trước? Ai có thể sống nếu được điều trị ngay, và ai có thể chờ thêm một chút? Quyết định ấy phải được đưa ra trong vài phút. Đó là cảnh mà DARPA đang cố gắng tái hiện thông qua một cuộc thi mang tên DARPA Triage Challenge, hay DTC.

Triage là một thuật ngữ y khoa có nghĩa là phân loại người bị thương. Đó là việc quyết định ai cần được điều trị trước. Từ này vốn bắt nguồn từ tiếng Pháp, có nghĩa là 'phân loại', và khái niệm ấy đã hình thành vững chắc trong các bệnh viện dã chiến trên chiến trường. Khi nguồn lực khan hiếm, phép tính lạnh lùng là điều trị trước cho những người còn có thể cứu được. Khó khăn nằm ở chỗ các phương pháp phân loại hiện nay không còn phù hợp khi các sự cố thương vong hàng loạt, hay MCIs, đưa một số lượng lớn nạn nhân vào hệ thống chăm sóc cùng lúc. DARPA xác định chương trình này là một vấn đề tại hiện trường của U.S. Department of Defense, đồng thời lưu ý rằng các cách triage hiện nay không phù hợp với tình huống thương vong hàng loạt và có khả năng hạn chế trong việc dự báo thời điểm cần can thiệp để cứu sống người bệnh. Chương trình do Biological Technologies Office của DARPA điều hành.

Vì sao phương pháp hiện nay chưa đủ? Triage ban đầu đòi hỏi nhân viên y tế phải trực tiếp tiếp cận từng người bị thương và kiểm tra tình trạng của họ bằng tay. Khi từng người đều phải được chạm vào và khám riêng, phương pháp này bắt đầu đổ vỡ khi số người bị thương tăng lên. Phán đoán cũng thay đổi tùy người quan sát. Một nhân viên y tế giàu kinh nghiệm và một nhân viên mới có thể đưa ra quyết định khác nhau về cùng một bệnh nhân. Trong triage thứ cấp, nơi xử lý sơ tán và hồi sức, khả năng dự đoán tình trạng của người bị thương sẽ xấu đi ra sao sau đó vẫn chỉ ở mức trung bình hoặc thấp hơn. Một bệnh nhân trông ổn định bên ngoài có thể suy sụp nhanh chỉ vài phút sau. Khoảng trống này làm chậm điều trị, và điều trị chậm có thể trở thành cái chết. Người đáng lẽ ban đầu còn có thể sống sót lại bị thời gian lấy mất. Đó là kẻ thù thật sự mà DTC nhắm tới.

DARPA muốn đưa máy móc vào trước con người. Bức tranh ở đây là các phương tiện bay không người lái, drone và phương tiện mặt đất không người lái đi vào những nơi nguy hiểm trước tiên để tìm người bị nạn. Trước khi bàn tay của nhân viên y tế con người có thể chạm tới họ, robot quét hiện trường và vẽ bản đồ cho biết ai đang ở đâu, trong tình trạng nào. Hiện trường thật không giống phòng thí nghiệm. Luật thi mô tả rõ địa hình mà robot phải vượt qua. Chúng phải đi qua bùn, nhựa đường và những con đường phủ tro sau đám cháy. Chúng phải

tìm người không chỉ dưới ánh sáng ban ngày, mà cả ban đêm khi gần như không có ánh sáng, trong khói dày, bụi mù và giữa ngọn lửa. Các tòa nhà nhiều tầng và đồng đồ nát lớn chặn lối đi, và không có mốc đánh dấu nào để robot tự xác định vị trí của mình. Để mô phỏng cảnh hỗn loạn này, DARPA dùng Guardian Centers ở Georgia và Disaster City ở Texas làm đường thi thật. Những thuật toán chạy tốt trên dữ liệu thử nghiệm được đưa đến đó để xem liệu chúng có thất bại trước đồng đồ nát thật hay không.

Thời gian cũng ngắn đến tàn nhẫn. Các đội thi được thả vào hiện trường với chỉ vài thông tin mơ hồ, chẳng hạn như 'đây là tình huống chiến đấu' hoặc 'một tòa nhà sập trong động đất.' Họ không được cho biết người bị nạn ở đâu, có bao nhiêu người, hay họ bị thương như thế nào. Không kịch bản nào kéo dài quá 30 phút. Trong 30 phút đó, robot phải tìm kiếm một hiện trường xa lạ và phát hiện người bị nạn. Con số 30 phút ấy lặng lẽ cho thấy phản ứng ban đầu trong một thảm họa thật phải được tổ chức chặt chẽ đến mức nào.

Một nguyên tắc nghiêm ngặt nữa được đặt ra. Robot tuyệt đối không được chạm vào người bị nạn. Chúng không được tiếp xúc với bất kỳ bộ phận nào trên cơ thể người bị nạn, cũng không được dọn mảnh vỡ tại hiện trường. Những thương tích mà robot phải phát hiện không hề nhẹ. Chúng phải nhận ra chấn thương đầu, vết thương xuyên thấu, bỏng, suy hô hấp, chảy máu nặng, nhiều thương tích xảy ra cùng lúc, thậm chí cả tình trạng cụt chi. Chúng phải đọc được tất cả những điều này trong thời gian thực, từ xa, chỉ bằng cảm biến và không chạm vào con người. Bài toán nhận dạng rất khắc nghiệt. Những gì con người xác nhận bằng cách bắt mạch và ấn vào vết thương, máy móc phải thay thế bằng thị giác và cảm biến nhiệt.

Luật thi cũng xử lý rất nặng các bước đi sai của robot. Để mô phỏng chiến trường có liên lạc kém, các sở chỉ huy của DARPA buộc phải giới hạn số báo cáo về người bị nạn mà mỗi đội có thể gửi. Mục đích là ngăn các đội gửi phỏng đoán bừa bãi và giữ lại dung lượng liên lạc. Nguyên tắc tương tự được áp dụng trong chấm điểm. Nếu một đội báo nhầm có người bị nạn ở nơi thực tế không có ai, báo cáo đó được tính là dương tính giả và bị phạt theo trọng số. Một lỗi của máy có thể đưa nhân viên y tế đến sai chỗ, làm lãng phí con người và thời gian. Bảng điểm phản ánh không chỉ những gì robot tìm thấy, mà cả những gì nó đã nhìn sai.

Mục tiêu tăng dần theo thời gian. Ban đầu, việc con người điều khiển từ xa được cho phép, nhưng mục tiêu cuối cùng của Phase 3 giả định một tình huống trong đó liên lạc bị cắt đứt và có quá ít người để vận hành máy móc. Khi đó, mười robot phải di chuyển hoàn toàn tự chủ và không có sự can thiệp của con người. Các robot phải tự tìm người bị thương, đánh giá tình trạng của họ và xếp họ vào các nhóm triage. Hình ảnh ở đây không phải là một người vận hành bám sát một robot, mà là một đội hình tự tỏa ra và tự chia khu vực hiện trường.

Giai đoạn tiếp theo sau khi tìm thấy người bị thương có tính chất khác. Trong secondary triage, khi nhân viên y tế đến nơi và gắn biosensors lên bệnh nhân, cuộc đấu chuyển thành cuộc đấu với dữ liệu. Những đội tham gia cuộc thi dữ liệu làm việc với hồ sơ bệnh nhân chấn

thương thật do các nhóm như U.S. Army Institute of Surgical Research thu thập. Họ dùng 4,230 ca trong Phase 1, 6,061 ca trong Phase 2, và cuối cùng là hơn 8,000 ca thật. Thuật toán chỉ được nhìn vào vài phút dữ liệu đầu tiên sau khi bệnh nhân đến nơi, rồi dự đoán liệu có cần can thiệp cứu sống trong vòng bốn giờ sau đó hay không. Nó phải báo cáo thay đổi qua các cửa sổ trượt 15 phút và thích nghi với những môi trường có nguồn lực khác nhau, chẳng hạn một bệnh viện dân sự ở tuyến sau và một lều y tế nghèo nàn ở tuyến trước. Ngay cả với cùng một bệnh nhân, điều có thể làm được cũng khác nhau tùy bệnh nhân ấy đang ở bệnh viện nào.

Chương trình cũng gặp bức tường đạo đức và quy định. Nghiên cứu liên quan đến đối tượng con người chịu sự quản lý của những quy tắc nghiêm ngặt. Các đội tự tài trợ, không nhận tài trợ trực tiếp từ DARPA, không thể được DARPA giám sát, nên họ bị cấm thu thập hoặc dùng dữ liệu mới về đối tượng con người ngoài những tài liệu được cung cấp chính thức. Họ cũng bị cấm tìm cách tái định danh bệnh nhân từ dữ liệu chấn thương quân sự mà họ nhận được, hoặc gửi dữ liệu đó ra bên ngoài. Để vượt qua bức tường này, các đội dùng trình mô phỏng được xây dựng bằng cách kết nối Unreal Engine 5, một game engine, với một physiology engine. Họ tạo ra những con người ảo chi tiết, khác nhau về tuổi, giới tính và màu da, rồi huấn luyện thuật toán trong thế giới đó bằng cách mô phỏng huyết áp giảm, nhịp tim tăng và mao mạch thay đổi do bỏng. Vì không thể tùy tiện đưa người bị thương thật vào thử nghiệm, bệnh nhân ảo trở thành sân tập.

Nhìn bằng con mắt chính sách, mọi quy tắc của cuộc thi đều phơi bày một mối lo của U.S. Department of Defense. Giới hạn 30 phút phản ánh tốc độ phản ứng ban đầu. Quy tắc không tiếp xúc phản ánh mong muốn đưa ít người hơn vào vùng nguy hiểm. Mức phạt đối với false positives phản ánh phép tính rằng nguồn lực không được lãng phí. Mục tiêu về một đội hình chủ gồm mười robot đã giả định sẵn một chiến trường nơi liên lạc thất bại. Đây không phải là sân khấu để khoe công nghệ. Nó giống một đề thi hơn, trong đó những điều kiện tệ nhất được viết ra trước và các đội buộc phải cạnh tranh trong chính các điều kiện ấy.

Cần đánh dấu rõ một điểm. DTC là một cuộc cạnh tranh đang tiếp diễn, không phải một thành tựu đã làm thay đổi chiến trường. Bộ quy tắc và phần tóm tắt chương trình mô tả mục tiêu và điều kiện thử nghiệm, chứ không phải kết quả đã được kiểm chứng. Một hệ thống trong đó mười robot phân loại thương vong trong đồng đồ nát trong vòng 30 phút mà không cần tiếp xúc, dự báo trước bốn giờ, và hỗ trợ sơ tán không người lái để cứu sinh mạng là bài toán mà chương trình này nói rằng nó sẽ giải quyết. Đó không phải bằng chứng cho thấy bài toán đã được giải xong. Cách đọc trung thực hơn là coi đây như phần việc vẫn còn phải làm. Với ứng phó thảm họa hoặc y học quân sự của Korea cũng vậy, điều đáng học có thể không phải là một robot đã hoàn thiện, mà là phương pháp chia một bài toán thành những phần nhỏ và cố định các phần đó thành điều kiện.

Thiết kế của VITAL và quyền tự chủ y tế

Giả sử một người lính ngã xuống trên chiến trường. Người ở bên cạnh anh ta thường không phải là bác sĩ cấp cứu. Người đó có thể là quân y đã được huấn luyện, nhưng bước vào hiện trường với kinh nghiệm lâm sàng từ bệnh viện còn hạn chế. Trong tay anh ta cũng có rất ít căn cứ để phán đoán. Anh ta ước lượng mức nguy hiểm của bệnh nhân từ vài ngưỡng, chẳng hạn nhịp tim đã vượt 100 nhịp mỗi phút hay nhịp thở đã giảm xuống dưới 15 lần mỗi phút. Những con số này là mức trung bình rút ra từ nhiều cơ thể. Chúng không cho anh ta biết bệnh nhân cụ thể đang nằm trước mặt mình lúc này đang chuyển biến theo hướng nào.

Vấn đề là thời gian. Một bệnh nhân trông có vẻ ổn định có thể đột ngột suy sụp chỉ vài phút sau đó. Khi mất máu vượt qua một ngưỡng nhất định, rất khó đảo ngược tình thế. DARPA gọi điểm này là 'delayed lethality'. Nó chỉ tình trạng mà khi nguy cơ được nhận ra thì đã quá muộn, và vài phút còn có thể hành động đã trôi qua. Trên các chiến trường trước đây, nơi việc sơ tán có thể diễn ra ngay, việc mất vài phút đó có thể ít gây chết người hơn. Chiến trường tương lai của DARPA thì khác. Nó giả định một tiền tuyến nơi sự can thiệp của đối phương chặn đường sơ tán bằng trực thăng, liên lạc và tiếp tế bị cắt đứt, và binh sĩ bị thương phải cầm cự trong thời gian dài. Con đường tới bệnh viện càng xa, vài phút ngoài hiện trường càng trở nên nặng nề.

VITAL là một chương trình được xây dựng để giành lại vài phút ít ỏi ấy. Tên này có nghĩa là Virtual Integrated Twin for Autonomous Lifesaving. Ý tưởng cốt lõi là dựng hệ tim mạch của bệnh nhân bên trong máy tính. Bằng cách nhận tín hiệu sinh học từ cơ thể thật, chương trình tạo ra 'bản sao số' của chính người đó trên màn hình. Rồi nó hỏi bản sao ấy về tương lai gần. Điều gì sẽ xảy ra với bệnh nhân này sau 15 phút nữa? Nếu đặt garô, nếu bắt đầu truyền máu, nếu thực hiện CPR, kết quả sẽ rẽ theo những hướng nào? VITAL cố chạy trước các nhánh đó trong môi trường ảo, rồi đưa cho quân y lựa chọn tốt hơn để hành động ngay. Mục tiêu là đưa phán đoán rời khỏi các ngưỡng trên giấy, tiến tới các dự báo khớp với chuyển động thật của cơ thể bệnh nhân này.

Ý tưởng này khó vì hiệu năng và trọng lượng kéo về hai phía ngược nhau. Muốn mô phỏng cơ thể người thật sát về mặt vật lý, mô hình sẽ trở nên nặng. Nó phải tiếp nhận dữ liệu phong phú từ MRI, CT, siêu âm và cảm biến hóa học, rồi tính từng chuyển động của mạch máu và tim. DARPA gọi phiên bản nặng này là mô hình độ trung thực cao, hay HF. HF chính xác, nhưng đòi hỏi thiết bị tính toán lớn. Nó không thể chạy trong chiến hào, nơi liên lạc và nguồn điện đã hòng. Một mô hình cho câu trả lời chính xác trong phòng thí nghiệm và một mô hình phải đưa ra câu trả lời trong vòng năm giây trên nền đất có yêu cầu khác nhau ngay từ đầu.

VITAL chuẩn bị phiên bản thứ hai. Đó là mô hình bậc rút gọn, hay ROM. Đây là phiên bản nhẹ hơn, chỉ chọn những chuyển động thật sự quan trọng từ HF và giảm mạnh khối lượng tính toán. Một câu trong định nghĩa của chính chương trình này nổi bật. VITAL nói công việc không phải là tạo một mô hình, mà là 'học' phương pháp chuyển một HF nặng thành một ROM nhẹ. Công cụ được dùng ở đây là 'trí tuệ nhân tạo cơ chế'. Nó nhận các trạng thái cơ thể như tốc độ

chảy máu hoặc trương lực mạch máu, cùng các can thiệp như cầm máu và truyền máu, làm đầu vào, rồi dự báo các dạng sóng mà cảm biến sẽ phát hiện. Khác với mô hình thống kê ghi nhớ trực tiếp câu trả lời từ dữ liệu quan sát, cách tiếp cận này cố giữ lại lý do vì sao cơ thể phản ứng như vậy thông qua các định luật vật lý.

Các mục tiêu VITAL tự đặt ra rất khắc nghiệt. Điều kiện mục tiêu được chia làm hai. Tình trạng cấp tính là sốc mất máu, còn tình trạng mạn tính là suy tim. Nhóm nghiên cứu đề xuất phải chọn một trong hai khi nộp bản tóm tắt. Với sốc mất máu, nguy cơ phải được nhận diện ít nhất 15 phút trước khi biến cố xảy ra. Với suy tim, sự xấu đi từ Stage 3 sang Stage 4 phải được dự báo trước khi 80 percent thời gian cần để tình trạng ấy xấu đi đã trôi qua. Đến Phase 2 của chương trình, thời gian dự báo đó phải tăng hơn 30 percent so với giai đoạn đầu.

Mô hình phải trở nên nhẹ hơn mà không trở nên kém sắc bén. Khi HF được rút gọn thành ROM, mức mất hiệu năng phải được giữ ở 15 phần trăm hoặc thấp hơn, và mô hình không được bịa ra những dạng sóng kỳ lạ vốn không thể xuất phát từ một cơ thể thật. Đồng thời, nó phải chạy nhanh hơn hơn 1.000 lần so với một HF đã được tinh chỉnh tốt. Thời gian cần để chỉnh lại mô hình theo tình trạng thời gian thực của bệnh nhân không được vượt quá năm giây. Khi gặp một tình huống xa lạ mà nó chưa từng học, nó phải nhận ra điều đó với xác suất trên 90 phần trăm và báo cáo khả năng sai sót của chính mình. Điều kiện cuối cùng này rất đáng chú ý. Chương trình đưa sự trung thực trước điều chưa biết thành một chỉ số hiệu năng, thay vì chỉ đo khả năng trả lời đúng những việc quen thuộc. Nó ghi thẳng vào thiết kế rằng một cỗ máy sai nhưng lại tự tin là cỗ máy nguy hiểm nhất khi sinh mạng con người đang bị đặt cược. Đây cũng là điều kiện để hệ thống không trở thành một cỗ máy chỉ nhả ra các con số. VITAL phải tạo ra lập luận ở cấp chuyên gia, phong phú hơn hơn mười lần so với các phương pháp đánh giá tiêu chuẩn. Nó không được dừng ở việc liệt kê nhịp tim và chỉ số huyết áp. Nó cũng phải mang theo các căn cứ cho một phán đoán có ý nghĩa lâm sàng.

Các cơ chế kiểm chứng được gắn vào để những mục tiêu này không kết thúc như lời nói suông. Một nhóm đánh giá độc lập, được DARPA hỗ trợ riêng, kiểm tra kết quả nghiên cứu từ bên ngoài. Nếu có nghiên cứu trên động vật hoặc con người, quy trình xét duyệt đạo đức bắt buộc phải hoàn tất trước khi công việc bắt đầu. Đây là hàng rào bảo vệ chống lại một cấu trúc trong đó một nhóm tự chấm điểm hiệu năng của chính mình. Từ góc nhìn của người làm chính sách, thiết kế này có ý nghĩa. Mục tiêu càng tham vọng, cảm dỗ thổi phồng kết quả càng mạnh. Việc trao quyền đánh giá cho một nhóm độc lập thay vì cho chính các nhà nghiên cứu cho thấy thủ tục tưởng như khô khan gọi là quản lý hiệu năng, trên thực tế, chính là khung của niềm tin.

VITAL không chỉ nhắm tới chiến trường. Tài liệu của chương trình cũng đưa ra các phép tính dẫn sang y học dân sự. Tại Hoa Kỳ, bệnh tim mạch chiếm một phần tư tổng số ca tử vong. Ước tính cho rằng chỉ cần giảm số ca nhập viện do suy tim 10 phần trăm cũng sẽ tiết kiệm được 7 tỷ đô la mỗi năm. Bức tranh này để ngỏ khả năng công nghệ dự báo được mài sắc trên chiến

trường có thể chuyển sang phòng cấp cứu và khoa hồi sức tích cực của bệnh viện. Nghiên cứu bắt đầu bằng tiền quốc phòng trong khi vẫn nhắm tới giá trị dân sự là một phép tính DARPA đã dùng từ lâu.

Những gì đã viết đến đây chưa phải là thành tựu, mà là thiết kế. Một bản sao số nhìn trước 15 phút và một mô hình nhẹ nhanh hơn 1.000 lần vẫn là các mục tiêu. VITAL là một chương trình do văn phòng công nghệ sinh học của DARPA vận hành, và những con số vừa nêu là điều kiện chương trình đặt ra cho các nhóm nghiên cứu, không phải những kỷ lục đã đạt được. Chuyển một mô hình nặng thành một mô hình nhẹ mà không mất mát, rồi tự phát hiện các trạng thái bệnh nhân xa lạ, là việc không dễ ngay cả trong phòng thí nghiệm. Mục tiêu càng cao, rủi ro không đạt tới càng lớn. Các tài liệu chính thức hiện có không cho chúng ta biết chương trình này sẽ vượt qua rủi ro đó bằng cách nào. Lời hứa không chỉ vẽ DARPA như một huyền thoại thành công được giữ trong những đoạn như thế này.

Khi nhìn VITAL trong một khung cảnh rộng hơn một chút, bức tranh trở nên rõ hơn. Văn phòng công nghệ sinh học của DARPA đang chia y học chiến trường thành nhiều chương trình và thúc đẩy chúng cùng lúc. DARPA Triage Challenge được bàn trong chương này tìm cách phát hiện thương vong từ xa bên trong các tòa nhà sụp đổ và thực hiện phân loại ban đầu, trong khi RAPIID tìm cách đưa các chất thay thế máu có thể bảo quản lâu dài ở nhiệt độ phòng ra chiến trường. Tài liệu chương trình cũng đưa ra một kịch bản trong đó các phần này ghép lại thành một tương lai chung. Một drone phát hiện người bị thương, VITAL dự đoán trạng thái gần sắp tới của cơ thể, rồi cầm máu và truyền máu tiếp nối. Tuy vậy, kịch bản ấy chưa phải là sự thật đã được kiểm chứng ngoài thực địa. Nó là bản phác thảo về hướng đi mà các chương trình này cùng chỉ tới. Khi nào từng phần sẽ hoàn thành, và liệu chúng có thật sự nối được với nhau hay không, vẫn chưa ngã ngũ. Trong bản phác thảo ấy, VITAL giữ vị trí phán đoán, nói cho các thiết bị khác biết khi nào phải làm gì và làm việc gì.

Cụm từ tự chủ y tế có thể nghe đáng sợ. Nó có thể được hiểu như việc trao sự sống và cái chết của con người cho dự đoán của máy móc. Nhưng nhìn kỹ thiết kế của VITAL, nó gần với việc để máy móc báo cho con người biết vài phút mà trước đây họ thường bỏ lỡ, hơn là tham vọng thay thế con người. Nó không được thiết kế để đẩy bàn tay của quân y ra xa, mà để những bàn tay ấy chuyển động sớm hơn một chút. Bài học mà các nhà hoạch định chính sách Hàn Quốc có thể rút ra từ chương trình này cũng nằm ở đó. Điều đáng để ý có lẽ không phải là năng lực dự đoán hào nhoáng, mà là thái độ ấn định mục tiêu bằng con số, giao việc chấm điểm cho bên ngoài, và nói trước khả năng thất bại. Liệu thiết kế ấy có vượt khỏi các mục tiêu trên giấy và trở thành hiện thực trên chiến trường hay không sẽ được trả lời bằng các kết quả thử nghiệm còn ở phía trước.

RAPIID và bước chuyển sang chất thay thế máu trên chiến trường

Trước hết, hãy hình dung một người lính bị thương đang nằm trên mặt đất. Dù vết thương đến từ đạn súng hay mảnh văng, thứ khiến người đó gục xuống trong vài phút không phải là bản thân vết thương. Đó là máu rời khỏi cơ thể qua vết thương ấy. Khi một mạch máu lớn bị rách, máu chảy ra rất nhanh. Rồi một tình trạng bắt đầu xuất hiện, trong đó oxy không thể tới mọi góc ngách của cơ thể. Các cơ ở tay chân, thận và não bắt đầu thiếu oxy. Y học từ lâu đã biết câu trả lời cho cảnh tượng này. Hãy truyền máu toàn phần của người, nghĩa là máu hoàn chỉnh lấy từ một người. Vấn đề là gần như không thể mang câu trả lời ấy ra tuyến đầu.

Các tài liệu chính thức do DARPA công bố năm 2026 nêu giới hạn này rất rõ. Máu người phải được giữ lạnh. Nếu hệ thống phân phối lạnh, tức chuỗi lạnh, bị đứt gãy dù chỉ một lần, máu đó không thể dùng được. Thời hạn bảo quản của máu ngắn. Và nguồn cung hoàn toàn phụ thuộc vào lượng máu mà người khác đã hiến. Trong một đơn vị tiền phương không có cơ sở bệnh viện, hoặc trong một chiến hào nơi không ai biết khi nào trực thăng sơ tán sẽ tới, rất khó đáp ứng cùng lúc ba điều kiện này. Ngay cả khi việc cầm máu được kiểm soát tốt, một binh sĩ bị thương vẫn dần suy sụp vì thiếu oxy nếu không có máu để truyền. DARPA gọi tình trạng mô thiếu oxy và chức năng bị phá vỡ này là ischemia, tức thiếu máu cục bộ. Tên của chương trình bắt nguồn từ chính từ đó.

RAPIID là từ viết tắt tiếng Anh của Resuscitation and Prevention of Ischemic Injury and Dysfunction. Chương trình này do văn phòng công nghệ sinh học của DARPA, Biological Technologies Office, hay BTO, điều hành. Chương trình có một câu chuyện đi trước. Đó là chương trình FSHARP. FSHARP trước hết thử nghiệm xem các thành phần sinh tổng hợp có thể bắt chước những chức năng cốt lõi của máu người hay không. Những chức năng đó là vận chuyển oxy, bịt chỗ rò rỉ để đạt cầm máu, và khôi phục thể tích máu cùng các yếu tố đông máu đã bị giảm. DARPA tóm tắt FSHARP là chương trình đã giảm rủi ro trong quá trình tạo ra các thành phần này. Đó là giai đoạn xác nhận trong phòng thí nghiệm rằng nguyên lý này vận hành được.

Thứ vận hành được trong phòng thí nghiệm và thứ thật sự có thể dùng trên chiến trường là hai chuyện hoàn toàn khác nhau. Vượt qua khoảng cách đó là cánh cửa kế tiếp. RAPIID được khởi động để nhắm đúng vào khoảng cách ấy. Người quản lý chương trình, Thiếu tá Robert Murray, Ph.D., giải thích tính chất của nó như sau. Nếu FSHARP đã chứng minh rằng việc tạo ra một vật liệu giống máu có thể bảo quản ở nhiệt độ phòng là khả thi về mặt khoa học, thì RAPIID tập trung biến khả năng đó thành một 'deployable reality', tức một thực tế có thể triển khai, để cứu mạng người ngay tại điểm bị thương. Cách dùng từ này đáng chú ý. Đây không phải là phát minh, mà là chuyển giao. Không phải câu chuyện tạo ra một thứ mới, mà là câu chuyện lấy thứ đã được tạo ra và đưa nó vào túi đồ của quân y.

Mốc thời gian mục tiêu đã được ấn định. DARPA đặt mục tiêu thúc đẩy lần lượt các bước thử nghiệm lâm sàng, phê duyệt theo quy định, mở rộng sản xuất và công nghệ triển khai thực địa,

và sớm nhất là trong năm tài khóa 2029, đưa ra chiến trường một hệ thống triển khai hoàn chỉnh đã được U.S. Food and Drug Administration, hay FDA, phê duyệt. Toàn bộ lịch trình là 36 tháng. Nó được chia thành hai giai đoạn lớn. Trong 12 tháng đầu, các nhóm chứng minh độ an toàn và hiệu quả trước khi dùng trên người, đồng thời thiết kế kế hoạch sản xuất để sản xuất hàng loạt. Các kế hoạch đó phải đáp ứng tiêu chuẩn Good Manufacturing Practice, hay GMP. Trong 24 tháng tiếp theo, công việc chuyển sang các thử nghiệm lâm sàng sớm trên người và xác nhận một chiến lược thương mại hóa để đưa công nghệ vào thị trường y tế dân sự hoặc mua sắm quốc phòng. Cấu trúc là xây dựng bằng chứng trong phòng thí nghiệm trong vòng một năm, rồi dùng hai năm tiếp theo để đi qua hai cánh cửa: cơ thể con người và thị trường.

Một điểm nổi bật trong thiết kế của RAPIID là chương trình này không đặt toàn bộ gánh nặng lên một nhóm nghiên cứu. Chương trình được chia thành bốn mảng kỹ thuật chạy cùng lúc. Mảng đầu tiên tạo ra chính các thành phần có thể bảo quản ở nhiệt độ phòng. Đó là chất mang oxy, sản phẩm có nguồn gốc từ tiểu cầu, và huyết tương khô. Cả ba được phát triển độc lập và được đưa qua các giai đoạn lâm sàng, quản lý, và sản xuất ở quy mô lớn. Mảng thứ hai xử lý phần phần cứng cho phép dùng các chất lỏng đó trên chiến trường. Phần này gồm bao bì bền chắc có thể chịu môi trường khắc nghiệt, như ống tiêm hoặc túi chứa đã nạp sẵn. Các thiết bị chẩn đoán tại điểm chăm sóc cũng thuộc mảng này. Chúng là công cụ phán đoán cho người quân y biết rằng người lính bị thương này cần truyền máu ngay. Mảng thứ ba và thứ tư hỗ trợ công việc lâm sàng, quản lý, thương mại hóa, và duy trì. Để vượt qua đoạn mà kết quả nghiên cứu thường biến mất vì không thể đi vào thị trường, điểm thường được gọi là 'valley of death', DARPA vận hành mảng thương mại hóa này song song với hai mảng đầu. Trình tự không phải là hoàn tất các thành phần trước rồi mới nghĩ cách bán chúng. Điều đó có nghĩa là mang theo con đường quản lý và thị trường ngay từ ngày đầu tiên.

Cấu trúc này đáng được dừng lại nhìn từ góc độ chính sách. Nghiên cứu quốc phòng ở nhiều nước thường đạt tới giai đoạn tạo ra một nguyên mẫu tốt. Vấn đề xuất hiện sau đó. Một nguyên mẫu đã hoàn thành có thể mất nhiều năm trong khâu xét duyệt quản lý, hoặc có thể dừng lại ở một hoặc hai nguyên mẫu vì không ai chuẩn bị quy trình sản xuất hàng loạt. RAPIID kéo điểm thất bại đó vào trong chương trình từ trước. Phản ứng quản lý và kế hoạch sản xuất được đặt cùng lịch trình với nghiên cứu. Đây là một ví dụ cho thấy cách DARPA định nghĩa vấn đề, đặt kết quả có thể triển khai lên trước riêng khoa học tốt, xuất hiện trong y học như thế nào.

Cần nói thẳng một điểm. RAPIID chưa phải là một thành tựu. Nó là một kế hoạch. Năm 2029 không phải là kết quả đã đến, mà là một mục tiêu. Không có chỗ nào trong các tài liệu này ghi rằng máu bảo quản ở nhiệt độ phòng đã thật sự được cung cấp cho chiến trường. Bản thân DARPA cũng hạ tư thế trước quản lý. Tài liệu Q&A của chương trình nói rõ rằng FDA là một cơ quan chính phủ độc lập và DARPA sẽ tôn trọng, tuân theo thẩm quyền của FDA trong các vấn đề quản lý. Tài liệu cũng nói DARPA sẽ làm việc để xin giấy phép sử dụng khẩn cấp của FDA hoặc phê duyệt chính thức nhằm chuyển tiếp nhanh. Đó không phải là câu bảo đảm sẽ được phê

duyet. Đó là câu nói rằng họ sẽ cố gắng xin phê duyệt. Nếu làm mờ khác biệt này, một kế hoạch sẽ bị đọc nhầm thành báo cáo thành tích. Thử nghiệm lâm sàng đưa máu nhân tạo vào cơ thể người là một lĩnh vực cực kỳ thận trọng. Các chất thay thế mang oxy đã được thử ở nhiều nước trong vài thập niên qua, nhưng nhiều thử nghiệm đã dừng lại sau khi không vượt qua được ngưỡng tác dụng phụ và an toàn. Kết quả lâm sàng trong tương lai sẽ phải trả lời RAPIID sẽ vượt qua lịch sử đó như thế nào.

Vì vậy, phần này yêu cầu đọc RAPIID như một lộ trình. Đây là kế hoạch phá vỡ chuỗi cung ứng máu của thế kỷ 20 dựa vào tủ lạnh và người hiến máu, đồng thời tạo ra loại máu có thể bảo quản ở nhiệt độ phòng và dùng ngay tại điểm bị thương. Tham vọng rất lớn. Các cửa kiểm chứng phải đi qua cũng nhiều không kém. Thử nghiệm lâm sàng trên người vẫn còn đó, sản xuất hàng loạt ở cấp GMP vẫn còn đó, và phán đoán của FDA vẫn còn đó. Ngay cả khi việc phân loại thương vong của Triage Challenge và dự báo tình trạng bệnh nhân của VITAL đã bàn ở trên trở nên nhanh hơn, những phán đoán ấy sẽ mất đích đến nếu không có máu để truyền. Nếu một robot tìm thấy một người lính bị thương và trí tuệ nhân tạo cảnh báo nguy hiểm trước 15 phút, dự báo vẫn chỉ là một con số trên giấy nếu trong tay không có công cụ điều trị. RAPIID đang cố lấp chỗ trống đó. Nhưng chỗ trống ấy chưa được lấp. Nó đang được lấp hướng tới năm 2029. Bất kỳ ai suy nghĩ về y học quân sự của Korea đều nên giữ cả sự khâm phục lẫn thận trọng trước cảnh này. Điều đáng khâm phục là thiết kế đã tính các điểm thất bại và đưa chúng vào lịch trình. Điều đáng thận trọng là sao chép một mục tiêu chưa đến như thể nó đã đến rồi.

Chương 15 Vật liệu chiến lược và sản xuất dựa trên sinh học

Một tấm bản đồ trong Ngày Công nghiệp

Ngày 12 tháng 3 năm 2026, một tấm bản đồ xuất hiện trên màn hình trong buổi thuyết trình Ngày Công nghiệp do Biological Technologies Office của DARPA tổ chức. Bản đồ cho thấy vùng Gulf Coast của Texas. Những đường màu đỏ chen dày vào một đoạn bờ biển hẹp. Hình ảnh ấy cho thấy các nhà máy lọc dầu và đường ống dẫn sản phẩm tập trung trong khu vực mà tài liệu gọi là PADD3. Điều đó có nghĩa là gần như toàn bộ vật liệu mà Hoa Kỳ dùng, như nhựa, keo dán và vật liệu composite, đều bắt nguồn từ dầu mỏ, và các nhà máy xử lý lượng dầu đó lại nằm sát nhau trong cùng một vùng.

Bài thuyết trình đặt những hình ảnh khác bên cạnh tấm bản đồ. Đó là ảnh tin tức về các nhà máy lọc dầu của Nga đang bốc cháy. Các bản tin mô tả chiến dịch được gọi là Operation Spiderweb của Ukraine, trong đó drone tấn công các nhà máy lọc dầu sâu trong hậu phương Nga, khiến một nửa nguồn cung nhiên liệu cho Moscow rơi vào rủi ro. Một bên là hạ tầng hóa chất của Hoa Kỳ tập trung tại một nơi. Bên kia là các nhà máy lọc dầu của đối phương sụp đổ dưới một bầy drone. Ý nghĩa của việc đặt hai hình ảnh cạnh nhau rất rõ. DARPA trước hết muốn cho thấy phương thức sản xuất hóa chất hiện nay của Hoa Kỳ có thể trở nên mong manh đến mức nào trong thời chiến.

Người dẫn dắt bài thuyết trình là Dr. William Moundfield. Thông điệp ông đưa ra trên sân khấu nói về hóa học, nhưng cũng nói về địa lý và an ninh. DARPA tóm gọn bức tranh ấy bằng hai cụm từ. Một là "Peer Adversary in Conflict". Cụm còn lại là "Vulnerable Infrastructure and Supply Chains". Nếu một cuộc tấn công bằng tên lửa hoặc drone có thể làm ngưng trệ sản xuất hóa chất của một quốc gia, đó không còn chỉ là vấn đề công nghiệp. Đó là vấn đề an ninh. Kế hoạch ra đời từ nhận thức ấy là chủ đề của chương này, chương trình Fleetwood.

Với độc giả Hàn Quốc, có một bối cảnh cần hiểu. Việc các nhà máy lọc dầu và hóa dầu tập trung dọc Gulf Coast trong lãnh thổ United States không phải là chuyện ngẫu nhiên. Đó là lịch sử. Cảng biển ở gần, dầu thô chảy qua, đường ống đã nằm sẵn dưới đất, nên các nhà máy cứ tiếp tục được xây trên nền ấy. Trong thời bình, đó là hiệu quả. Trong thời chiến, đó là điểm sống còn. Khi tài nguyên tụ lại một nơi, chi phí giảm. Khi chính nơi ấy bị đánh trúng, mọi thứ dừng lại. Fleetwood nhắm thẳng vào mặt sau của hiệu quả, tức điểm yếu do sự tập trung tạo ra.

Fleetwood chưa phải là một thành tựu. Nó là một kế hoạch. Những tài liệu làm nền cho chương này gồm bộ slide Industry Day (PDF-034), tài liệu FAQ giải thích hướng dẫn đề xuất (PDF-012), và hai thông cáo tin tức chính thức của DARPA (NEWS-020, NEWS-011). Không có chỗ nào là báo cáo kết quả nói rằng lignin đã được phân hủy 100 phần trăm, hoặc nhiên liệu hàng không đã được làm từ lá cọ ngay trên chiến trường. Vì vậy, chương này đọc Fleetwood không

phải như câu chuyện 'họ đã làm được', mà như câu chuyện 'họ yêu cầu việc đó phải được làm theo cách này'. Nếu ranh giới ấy bị làm mờ, một kế hoạch sẽ biến thành bảng điểm thành tích. Lời hứa không viết về DARPA chỉ như một huyền thoại thành công được giữ ở những chỗ như thế này.

Đọc một văn kiện kế hoạch nghĩa là gì

Có một cách tốt để hiểu một chương trình của DARPA. Hãy nhìn vào việc nó buộc các nhà nghiên cứu phải làm gì. Không phải vài bài báo, mà là những vạch họ phải vượt qua để qua được vòng xét duyệt đề xuất. Khi thấy đội nào được nhận và đội nào bị loại, ta thấy tổ chức ấy thật sự muốn gì. Tài liệu FAQ của Fleetwood kể những vạch ấy rất chặt.

Trước hết là tiền. Chương trình đặt mức hỗ trợ dự kiến từ 4 triệu đến 8 triệu đô la cho mỗi nhóm qua Phase 1 và Phase 2. Quy đổi sang tiền Hàn Quốc, con số này vào khoảng 5,5 tỷ đến 11 tỷ won. Mỗi giai đoạn kéo dài mười hai tháng. Ngắn và nhanh. Đây không phải là kiểu nghiên cứu thông thả đào sâu nguyên lý trong phòng thí nghiệm. Nó được thiết kế để buộc người tham gia chứng minh bằng con số trong một thời hạn cố định. Ngay từ đầu, bản đề xuất đã bị gắn một chiếc đồng hồ 24 tháng.

Tài liệu cũng ấn định ai có thể đứng ra dẫn dắt. Tổ chức chính phụ trách nghiên cứu không thể chỉ là một đơn vị quản trị trên giấy. Phần FAQ bác bỏ rõ ràng mô hình tổ chức chính chỉ đóng vai trò 'program manager with minimal technical contribution.' Tổ chức chính phải có chuyên môn cốt lõi cần cho mục tiêu của chương trình và trực tiếp đảm nhận một vai trò kỹ thuật đáng kể. Một liên danh không thể đưa một cái tên nổi tiếng lên phía trước rồi đẩy công việc xuống cho các nhà thầu phụ. Một dòng trong tài liệu đã cắt bỏ thói quen nhận tiền chỉ nhờ danh tiếng.

Một điểm đáng chú ý khác xuất hiện. Các thực thể chính phủ, bao gồm federally funded research and development centers (FFRDCs), university affiliated research centers (UARCs), và U.S. Army Research Laboratory (ARL), đều không được tham gia với tư cách tổ chức chính hay nhà thầu phụ. Các phòng thí nghiệm quốc gia bị loại toàn bộ. Vì sao một chương trình quốc phòng lại chặn các phòng thí nghiệm chính phủ? Chính các tài liệu không đưa ra lý do.

[Inference: Có thể hiểu đây là ý định tránh khóa công nghệ trong một chiếc tủ bí mật quân sự và đưa nó nhanh vào hệ sinh thái vốn và thương mại của khu vực tư nhân cùng các trường đại học. Những công nghệ có phòng thí nghiệm chính phủ tham gia thường đi vào sử dụng thương mại chậm hơn. Dù vậy, cách hiểu này không phải là sự thật được nêu trong tài liệu. Đó là suy luận rút ra từ quy tắc loại trừ.]

Cánh cửa cũng mở cho các tổ chức nước ngoài. Nhưng cửa kiểm soát mà họ phải đi qua rất nặng. Họ phải trải qua một quy trình gọi là Fundamental Research Risk-Based Security (FRRBS), và các nhà nghiên cứu nước ngoài phải giải thích không chỉ CV và nhiệm vụ được giao, mà cả lý

do vì sao không thể dùng một công dân Hoa Kỳ thay thế. Họ phải nộp kế hoạch an ninh để ngăn việc truy cập vào controlled unclassified information (CUI), và chỉ được tham gia sau khi DARPA phê duyệt. Điều khoản này không phải là chuyện của người khác đối với độc giả Việt Nam khi nhìn từ trường hợp Hàn Quốc. Nó cho thấy rõ bức tường nào đang đứng trước các trường đại học hoặc công ty Hàn Quốc khi họ muốn bước vào nghiên cứu quốc phòng của Hoa Kỳ. Cánh cửa mở, nhưng một núi giấy tờ nằm ngay trên ngưỡng cửa. Trước khi nói về hợp tác quốc tế, ta phải hiểu sức nặng của những tài liệu đó.

Bản thân quy trình đề xuất được thiết kế như một trò chơi sinh tồn. Các nhà nghiên cứu không nộp một bản đề xuất dày ngay từ đầu. Trước hết, họ nộp một bản tóm tắt không quá năm trang và một slide tóm lược. Một quản lý chương trình của DARPA sẽ sàng lọc những tài liệu đó trước. Chỉ những nhóm được chọn mới có quyền nộp đề xuất trình bày miệng (OPP), và chỉ sau khi trình bày trực tiếp tại Washington, họ mới trở thành ứng viên cho một thỏa thuận Other Transaction (OT). Thiết kế này không yêu cầu các nhóm chiến thắng bằng một tài liệu dài. Nó buộc họ đi qua nhiều cổng ngăn. Thay vì dồn mọi thứ vào một lần nộp, chương trình lọc các nhóm ở từng giai đoạn. Đây là cách làm trái ngược với việc rải rộng tiền nghiên cứu. Chương trình dựng các cổng kiểm tra và chỉ mở cánh cửa tiếp theo cho những nhóm còn trụ lại.

Rắc rối mang tên lignin

Nguyên liệu đầu vào của Fleetwood không phải là dầu mỏ. Đó là phần dư thực vật. Nói chính xác hơn, đó là thứ được gọi là sinh khối lignocellulose, phần dư từ nông nghiệp và lâm nghiệp. Tài liệu tin tức của DARPA (NEWS-020) nói rằng lượng phần dư này bị bỏ đi trên toàn thế giới mỗi năm ở quy mô gigaton. Một gigaton nghĩa là một tỷ tấn. Vấn đề nằm ở chỗ một nguồn tài nguyên khổng lồ đang ở ngay dưới chân chúng ta, nhưng vẫn chưa được dùng đến.

Thành phần khó xử lý trong loại sinh khối này là lignin. Nó tạo cho cây cối hình dạng và độ cứng. Nó giàu carbon và có mật độ năng lượng cao, nhưng cấu trúc hóa học của nó rối rắm, nên khó xử lý. Có thể hình dung nó như thành phần giống keo giúp cây đứng vững và giữ cho thân cây không bị gãy. Vì lý do đó, lignin từ lâu đã bị đốt như nhiên liệu rẻ tiền hoặc bị vứt bỏ. Việc đốt lignin còn lại sau quá trình làm giấy trong nồi hơi đã là một thực hành lâu đời. Fleetwood nhắm thẳng vào vật liệu phiền toái này. Chương trình muốn phân rã lignin với độ chính xác ở cấp nguyên tử và biến nó thành những vật liệu có thể được sản xuất ngay trong lãnh thổ United States khi cần.

Chương trình chia công nghệ này thành hai lĩnh vực. Lĩnh vực thứ nhất (FA1) là tạo ra các chất xúc tác có thể tách và phân hủy lignin một cách hiệu quả từ sinh khối thật. Lĩnh vực thứ hai (FA2) là tạo ra các chất xúc tác chuyển các mảnh lignin thu được thành các hóa chất cuối cùng có giá trị cao. Vật liệu mục tiêu là các hóa chất chuyên dụng có giá trị cao như dược phẩm, vật liệu quốc phòng và chất bôi trơn. Tài liệu FAQ không để lại lối đi dễ dãi nào. Các nhóm đề xuất phải đưa ra một giải pháp xử lý cả FA1 và FA2 thì mới được đánh giá. Một nhóm chỉ xử lý tốt

khâu phân hủy nguyên liệu đầu vào rồi để phần sau cho người khác sẽ không được chấp nhận. Chương trình đòi hỏi một quy trình hoàn chỉnh, nối liền với nhau, trong đó một nhóm chịu trách nhiệm từ nguyên liệu thô đến sản phẩm cuối cùng.

Điều khoản cho phép gần như mọi phương pháp cũng đáng chú ý. Các nhóm có thể kết hợp bất kỳ cách tiếp cận xúc tác nào, gồm nhiệt, điện, ánh sáng, chất xúc tác sinh học không tế bào, plasma và vi sinh vật sống. Phương pháp được để mở. DARPA không quan tâm các nhóm dùng vi sinh vật, cho dòng điện chạy qua hay chiếu ánh sáng. Nhưng đích đến thì cao đến mức đáng sợ. Con đường được mở, nhưng đích đến thì không thể thương lượng. Đó là tư thế mà chương trình này đòi hỏi ở các nhà nghiên cứu.

Con Số 100 Phần Trăm

Các chỉ số hiệu suất bắt buộc của Fleetwood gần như không để lại chỗ cho thỏa hiệp. Các nhóm tham gia không thể đi đường vòng bằng cách chỉ chọn những thành phần carbohydrate dễ xử lý hơn như cellulose hoặc hemicellulose. Chiến lược đó lập tức bị đẩy ra ngoài phạm vi chương trình và bị loại. Họ phải nhắm riêng vào lignin. Chương trình chặn ngay từ cửa con đường dễ quen thuộc: chỉ xử lý phần dễ và đem lignin khó xử lý đi đốt.

Các con số tăng theo cách này. Đến cuối Phase 1 kéo dài mười hai tháng, các nhóm phải cho thấy mức khử lignin và hiệu suất thu monomer thơm vượt 50 percent. Đến cuối Phase 2, họ phải chứng minh mức khử lignin vượt 90 percent, đồng thời đạt 100 percent tách và chuyển đổi lignin thành monomer theo khối lượng. Trong một quy trình hóa học, 100 percent gần như là yêu cầu không có chất thải. Trong phòng thí nghiệm, hiệu suất 100 percent gần như là chuyện thần thoại. Phản ứng luôn để lại cặn, sản phẩm phụ hình thành, và thất thoát xảy ra. Biết vậy, DARPA vẫn ghi 100 percent vào dòng mục tiêu. Điều này giống như một cách xem các nhóm có thể đẩy xa đến đâu theo hướng đó, chứ không chỉ xem họ có đến đích hay không. Độ dốc của mục tiêu nằm trong đúng con số ấy.

Các điều kiện thí nghiệm cũng được kiểm soát. Để ngăn các nhóm tham gia mang vào loại nguyên liệu hợp với sở thích của mình rồi chỉ trình ra kết quả đẹp, toàn bộ sinh khối thí nghiệm phải là nguyên liệu thô chưa qua xử lý, do nhóm thử nghiệm và đánh giá của chính phủ, tức test and evaluation (T&E), mua và cung cấp. Một khi các nhóm chạm vào nguyên liệu, tính khách quan của kết quả có thể lung lay, nên chính phủ nắm tay cầm đó ngay từ đầu. Ai cũng có thể tạo ra con số đẹp với nguyên liệu tốt. Năng lực thật được đánh giá bằng loại nguyên liệu thô ráp do người khác giao cho.

Danh sách nguyên liệu gây chú ý. Các ví dụ sinh khối của DARPA gồm phụ phẩm lúa gạo, chất thải chuối, vỏ dừa, bã cà phê, vỏ hạt, lá cọ, thân lá ngô sau thu hoạch, bã mía, phụ phẩm đậu tương, vỏ macadamia, rong biển sargassum, switchgrass, cỏ voi, phế thải rừng, và phụ phẩm lúa mì cùng lúa mạch. Có hơn seventeen loại. Vì sao phải liệt kê nhiều thứ khác nhau như vậy?

Vì chiến trường không chỉ nằm ở một nơi. Trong rừng rậm, lá cọ nằm khắp nơi. Trên bờ biển, rong biển dạt vào bờ. Trên đất nông nghiệp, thân cây ngô còn lại sau thu hoạch. Vì không ai biết cuộc chiến sẽ xảy ra ở đâu, ý tưởng là tạo vật liệu từ bất cứ thứ gì vùng đất đó cung cấp. Cách nghĩ ấy nằm trong danh sách này.

Những lối cũ cũng bị chặn lại. Các phương pháp hiện có dùng nhiệt cao để phá vỡ mọi thứ, như pyrolysis, gasification, và hydrothermal liquefaction, đều nằm ngoài phạm vi chương trình. Những chiến lược nhắm tới các hợp chất giá trị thấp C1 đến C2 như carbon dioxide, methanol, ethanol, hoặc hydrogen làm mục tiêu cuối cùng cũng bị loại. DARPA muốn một con đường mới như 'reductive catalytic fractionation,' chứ không phải đốt thô mọi thứ xuống. Mục tiêu không phải là tạo ra những đồng sản phẩm rẻ tiền. Mục tiêu là giữ lại phân tử phức tạp gọi là lignin và biến nó thành những mảnh có giá trị. Mệnh lệnh là đảo ngược một thế kỷ coi lignin như thứ phải đốt bỏ, và hồi sinh lignin như một nguyên liệu thô.

Vì sao phải tính toán tiền bạc

Đến đây, chương trình này có thể đọc giống như một bài tập hóa học khó. Nhưng Fleetwood không chỉ đòi hỏi hóa học. Nó còn đòi hỏi tính toán tiền bạc. Mỗi nhóm tham gia phải nộp các mô hình phân tích kinh tế - kỹ thuật (TEA) và đánh giá vòng đời (LCA). Họ phải chuyển không chỉ các phương trình phản ứng hóa học, mà cả chi phí đầu tư, chi phí vận hành, chi phí bảo trì, giá thị trường của thuốc thử xúc tác, và mức tiêu thụ năng lượng theo nhiệt độ và áp suất phản ứng thành tiền. Họ phải ghi trong bảng tính lò phản ứng phải nóng đến mức nào, cần bao nhiêu điện để tạo ra lượng nhiệt đó, và chi phí là bao nhiêu.

Các yêu cầu vẫn tiếp tục. Các nhóm phải cho thấy hệ thống có thể mở rộng qua ba mức sản xuất, từ sản xuất mô-đun nhỏ được triển khai tiền phương đến các nhà máy hóa chất lớn. Nhóm T&E của chính phủ dùng những tài liệu này để kiểm chứng giá bán tối thiểu (MSP) của các vật liệu thu được. Ngay từ giai đoạn đề xuất, DARPA đã cố định một sự thật: thứ hoạt động trong phòng thí nghiệm và thứ sống được trên thị trường là hai chuyện khác nhau. Hóa học có tính tế đến đâu, sẽ không ai dùng nếu nó đắt hơn dầu mỏ. Các nhà nghiên cứu buộc phải đối diện phép tính lạnh lùng đó ngay từ đầu.

Cuối mỗi giai đoạn, những nhóm chứng minh được giá trị kinh tế nổi bật sẽ nhận khoản khuyến khích hiệu suất bằng tiền mặt 50.000 dollar. Đó không phải là một số tiền lớn. Trong một chương trình 8 triệu dollar, 50.000 dollar gần với một biểu tượng hơn. Nhưng giải thưởng không nhằm vào số tiền, mà nhằm vào hướng cạnh tranh. Nó khiến các nhóm cạnh tranh bằng giá trị kinh tế, không chỉ bằng hiệu suất hóa học. Các nhóm bị đẩy vào cuộc đua không phải xem ai phá vỡ lignin tốt hơn, mà là ai có thể làm ra nó với mức giá sống được trên thị trường. Đó là một thiết bị chuyển niềm kiêu hãnh của phòng thí nghiệm sang chiếc máy tính của thị trường.

Cả chất thải từ các đơn vị

Sinh khối không phải là nguồn tài nguyên duy nhất ở đây. Chất thải do lực lượng U.S. tạo ra trong quá trình tác chiến cũng là một gánh nặng ở tuyến đầu. Tài liệu ngân sách Fiscal Year 2026 của U.S. Department of Defense (PDF-001) có một chương trình mang tên 'Turning Upcycled Waste into Novel, Sustainable Materials.' Trong ngân sách, chương trình này được ghi là nhiệm vụ WP-01 thuộc PE 0602024E và nhiệm vụ MBT-02 thuộc PE 0602715E. Việc tài liệu ngân sách gán số mục cho thấy khái niệm này đã vượt qua giai đoạn ý tưởng và trở thành một dự án có kinh phí.

Trong các chiến dịch viễn chinh, quân đội phụ thuộc vào những sản phẩm làm từ dầu mỏ, cao su và gỗ. Nhưng sau khi sử dụng, chúng chất đống thành rác quanh các đơn vị. Chúng không tạo ra giá trị nào, chỉ làm tăng gánh nặng hậu cần và môi trường. Hãy hình dung những đồng lớp xe phế liệu, gỗ gãy và giấy bỏ đi cao dần ở một bên căn cứ tiền phương. Để xử lý chúng, xe tải phải ra vào liên tục, và chính những xe tải đó trở thành mục tiêu. Chương trình này nghiên cứu tính khả thi của việc biến các loại chất thải quốc phòng phổ biến như lớp xe phế liệu, gỗ thải và giấy trở lại thành vật liệu bền. Nếu thành công, quân đội có thể tái chế tại chỗ chất thải do các đơn vị tạo ra và biến chúng thành vật liệu xây dựng khẩn cấp hoặc hóa chất cơ bản, thay vì chở vật liệu đắt tiền từ quê nhà sang. Cần nhớ rằng bức tranh này vẫn đang ở giai đoạn nghiên cứu tính khả thi. Cảnh rác biến thành vật liệu rất hấp dẫn, nhưng tài liệu ngân sách chỉ nói rằng khả năng đó sẽ được xem xét.

Chuyển sang triển khai khó hơn phát minh

Một trục khác trong câu chuyện về vật liệu chiến lược là đất hiếm và khoáng sản trọng yếu. Từ máy bay chiến đấu đến điện thoại thông minh, các thiết bị tiên tiến luôn chứa nguyên tố đất hiếm và khoáng sản trọng yếu. Động cơ xe điện, thiết bị dẫn đường tên lửa và máy chủ trung tâm dữ liệu không thể vận hành nếu thiếu những vật liệu này. Vấn đề nằm ở chỗ Hoa Kỳ và các nước phương Tây khác phụ thuộc gần như áp đảo vào nguồn cung nước ngoài. DARPA gọi đây là một 'điểm dễ tổn thương nghiêm trọng trong chuỗi cung ứng' (NEWS-011). Phần mô tả chương trình 'OPEN' trong tài liệu ngân sách cũng đưa ra cảnh báo tương tự. Tài liệu nói rằng thị trường và chuỗi cung ứng khoáng sản trọng yếu rất dễ gãy, và khi cú sốc nguồn cung quốc tế xảy ra, giá cả tăng nhanh và mạnh, lập tức tạo ra các làn sóng lan khắp nền kinh tế.

Shashall Manning, giám đốc Commercial Strategy Office của DARPA, đã để lại một câu sắc gọn: 'Thách thức trong lĩnh vực này không phải là phát minh, mà là chuyển tiếp.' Câu ấy ngắn, nhưng nặng. Ngay cả khi một công nghệ xuất sắc để chiết tách đất hiếm được tạo ra trong phòng thí nghiệm, độc lập chuỗi cung ứng vẫn nằm ngoài tầm với nếu công nghệ đó không lớn tới quy mô nhà máy thật và chịu được thị trường. Giữa khoa học tốt và năng lực có thể dùng được là một khoảng cách sâu thẳm được gọi là 'thung lũng chết'. Có bài báo khoa học, nhưng không có nhà máy. Có bằng sáng chế, nhưng không có sản phẩm. Vô số công nghệ đầy hứa

hẹn biến mất trong khoảng cách ấy. Câu hỏi của DARPA là làm sao đi qua nó.

Câu trả lời xuất hiện là SMART. Tên này là viết tắt của 'Strategic Materials Accelerator & Research Test Bed.' DARPA và bang Utah đã đồng ý thành lập cơ sở này thông qua University of Utah. Mục tiêu là tăng nguồn cung nội địa của Hoa Kỳ đối với khoáng sản trọng yếu và đất hiếm cần cho an ninh quốc gia và an ninh kinh tế. Cơ sở này trao cho các nhà đổi mới một địa điểm vật lý để kiểm tra trực tiếp hiệu suất công nghệ của họ ở quy mô có ý nghĩa, vượt khỏi phòng thí nghiệm. Jakob Jensen, phó chủ tịch phụ trách nghiên cứu của University of Utah, mô tả điểm làm SMART khác biệt như sau: khả năng nối kết khám phá đẳng cấp thế giới với hạ tầng đo chuẩn và mở rộng quy mô mạnh ngang như vậy. Nói cách khác, nơi khám phá và nơi trưởng thành đã được đặt cạnh nhau. Nó cung cấp một sân trước nhà máy, nơi kết quả từ phòng thí nghiệm có thể được kiểm tra ngay ở quy mô lớn hơn.

Đất hiếm được khai thác bằng vi sinh vật

Nhóm đầu tiên thu nghiệm nang lực mở rộng quy mô của SMART sẽ là các nhà nghiên cứu thuộc chương trình EMBER của DARPA. EMBER là viết tắt của 'Environmental Microbes as a BioEngineering Resource.' Họ đang tạo ra các phương pháp công nghệ sinh học để tách và tinh chế đất hiếm từ những nguồn tài nguyên bên trong Hoa Kỳ chưa được sử dụng đúng mức. Các nguồn nguyên liệu mục tiêu rất đáng chú ý. Đó không phải là các mỏ ở nước ngoài, mà là chất thải mỏ phosphate còn lại trên lục địa Hoa Kỳ, nước thải axit từ mỏ, và phản ứng từ các quy trình tái chế thiết bị điện tử. Ý tưởng là khai thác nhưng thu đa bị vứt bỏ. Dòng nước do chảy ra từ các mỏ bỏ hoang, nhưng dòng thiết bị điện tử cũ. Hiện nay chúng là những vấn đề tốn kém cần quản lý, nhưng câu chuyện sẽ khác nếu bên trong chúng có đất hiếm.

Ý tưởng vi sinh vật có thể khai thác khoáng sản nghe có vẻ xa lạ. Nguyên lý là như sau. Một số vi sinh vật có đặc tính cho phép chúng bám vào một số kim loại nhất định hoặc hòa tan chúng. Nếu những đặc tính đó được tinh chỉnh, khoáng sản có thể được chọn lọc bằng vi sinh vật sống thay vì axit nóng hay dung môi mạnh. Dr. Tiffany Prest, quản lý chương trình EMBER, nói các đơn vị thực hiện đang phát triển công nghệ sinh học mới cho xử lý khoáng sản, và SMART sẽ mang lại một cơ hội quan trọng để thử nghiệm và tinh chỉnh đối môi này. Bà kỳ vọng sẽ thu nghiệm sẽ giúp các nhóm hiểu các nút thắt và thách thức thực sự khi họ mở rộng công nghệ, đồng thời đưa công nghệ vi sinh cấp phòng thí nghiệm thành nguồn lực nơi địa có thể sử dụng. Lợi của bà mang cùng mối lo mà Manning đã nêu trước đó. Việc vi sinh vật có thể chiết xuất đất hiếm là chưa đủ. Quy trình đó phải lặp lại được ở quy mô lớn.

Tài liệu ngắn sách còn có nhưng nội dung khác làm bức tranh này rộng hơn. Chương trình SMASH (PDF-030) đặt ra một mục tiêu cụ thể: tách riêng 80 nguyên tố trong bảng tuần hoàn từ nguồn nguyên liệu rắn do chính phủ cung cấp, với mức 100 phần trăm. Đó là tham vọng tách bảng tuần hoàn ra, từng nguyên tố một. Chương trình NASCENT (PDF-040) kết nối thiết kế cơ chế kinh tế và khoa học máy tính dưới tên gọi lý thuyết kinh tế an ninh quốc gia. Vượt ra ngoài

hoa học và sinh học, kinh tế học cùng bị kéo vào vật liệu của các chương trình quốc phòng.

Khi các phần này được đặt cạnh nhau, một khái niệm thô bắt đầu hiện ra. [Suy luận: Có thể hình dung một cách phối hợp do nhà nước dẫn dắt vận hành như các bánh răng: khai thác băng vi sinh vật (EMBER), tách nguyên tố vôi do chính xác (SMASH), mô phỏng và kiểm chứng ở quy mô vật lý (SMART), rồi bọc quanh nó một mạng lưới phòng vệ kinh tế để gia thị trường không bị làm rung lạc bởi hành vi bán phá giá thu dịch (OPEN, NASCENT). Tuy vậy, cấu trúc này là một cách diễn giải rút ra từ nhiều tài liệu, và các tài liệu này không cho thấy DARPA đã chính thức hóa nó thành một bản thiết kế tích hợp duy nhất.] Tại sao cần một mạng lưới phòng vệ kinh tế? Vì dù đạt hiểm được chiết xuất bên trong Hoa Kỳ nhiều đến đâu, nó vẫn vô dụng nếu gia không dùng. Nếu một quốc gia cắt gia mạnh và tràn ngập thị trường, các công ty khoáng sản khai thác của Hoa Kỳ vừa mới bắt đầu bước đi sẽ không chống chịu nổi và sụp đổ. Họ chết vì gia, không phải vì công nghệ. Để ngăn cái chết đó, phải có những con mắt theo dõi gia ca và những công cụ giúp doanh nghiệp dùng vùng khi cụ áp dụng. Chính ý tưởng này cho thấy an ninh không chỉ là vấn đề hóa học hay khai mỏ, mà là một vấn đề thị trường.

Đừng nhầm lẫn kế hoạch với kết quả

Điều tôi thận trọng khi viết chương này là không đọc các kế hoạch như thể chúng đã là kết quả. Các slide trình bày và phần FAQ của Fleetwood chứa những cảnh tượng có sức tác động mạnh. Nhiên liệu hàng không cho drone được rút ra từ lá cọ trong rừng rậm, tiền chất cho thuốc nổ và dược phẩm được tạo ra từ rong biển trên bãi biển, các đơn vị bị cô lập vẫn tiếp tục chiến đấu không ngừng chỉ với những loài cây dưới chân. Một thiết bị tinh luyện nhỏ được đặt cạnh lều, và nhiên liệu hàng không chảy ra khi những mảnh gỗ nhặt gần đó được đưa vào. Đó là một câu chuyện khiến tim người đọc đập nhanh hơn.

Kịch bản tự cung tự cấp đầy kịch tính trên chiến trường ấy xuất hiện trong tài liệu dưới dạng [inference], chứ không phải như một sự kiện đã xảy ra. Những cụm từ như self-sufficient kill web hay ultimate material autonomy là các diễn giải trong đó những người bình luận đầy tham vọng được vẽ ra trong tài liệu trình bày đi xa hơn. Các văn bản thực tế nói giản dị hơn nhiều. Hãy đặt các chỉ số này. Hãy tuân theo các quy tắc này. Hãy chứng minh bài toán kinh tế này. Chưa có báo cáo kết quả nào nói rằng hiệu năng đã chạm vạch mục tiêu. Những tài liệu này không chứa kết quả thí nghiệm cho thấy lignin thực sự đã được phân hủy 90 percent, cũng không có báo cáo nào cho thấy nhiên liệu đã thực sự được sản xuất trên chiến trường.

Thái độ của cuốn sách này, tức từ chối đọc DARPA chỉ như một huyền thoại thành công, được thử thách ngay ở cảnh này. Một hình ảnh tương lai rực rỡ là mục đích của một chương trình, không phải bảng điểm của nó. Con số 100 percent viết trong kế hoạch không phải là con số đã đạt được. Đó là con số được yêu cầu. Nếu trộn lẫn hai điều này, công việc thậm chí chưa bắt đầu sẽ bị hiểu nhầm thành công việc đã hoàn tất. Sai lầm kiểu đó nguy hiểm hơn hết trong việc làm chính sách. Hãy tôn trọng tham vọng của DARPA, nhưng đừng nói rằng nó đã được hiện thực

hóa. Sự cân bằng đó là nguyên tắc xuyên suốt toàn bộ chương này.

Một tấm gương cho chính sách của Korea

Câu chuyện trong chương này phản chiếu trực tiếp trở lại Korea. Sự phụ thuộc nặng vào một số quốc gia trong nguồn cung đất hiếm và khoáng sản quan trọng, cùng cấu trúc mà trong đó chuỗi cung ứng hóa chất và vật liệu tập trung vào vài điểm, là những vấn đề Korea đang đối mặt với mức độ cấp bách còn lớn hơn. Nếu đặt phần bàn về AI quốc phòng của Korea trong các cuốn sách trước của tôi như bối cảnh, những điểm đáng học hỏi và những điểm không nên sao chép nguyên dạng bắt đầu tách ra rõ hơn.

Điều đáng học hỏi là cách nhìn nhận vấn đề như một vấn đề an ninh. Khi America thấy các nhà máy hóa chất tập trung ở một nơi, họ nhìn thấy một điểm sinh tử, chứ không chỉ nhìn thấy hiệu quả. Cách thiết kế không dừng ở phát minh, mà buộc chuyển giao và mở rộng quy mô vào cùng một chương trình, cũng đáng để học. Đó là một cấu trúc không kết thúc ở một bài báo, mà đẩy kết quả đi về phía thị trường. Sự khắt khe lạnh lùng với tính toán tiền bạc và giá bán tối thiểu ngay từ giai đoạn đề xuất, phương pháp giữ tính khách quan bằng cách để chính phủ kiểm soát nguyên liệu đầu vào, và quy tắc loại bỏ các nhóm chỉ có danh tiếng bằng một dòng trong tài liệu. Trong những chi tiết như vậy có trí tuệ vận hành mà DARPA đã xây dựng qua nhiều năm.

Cũng có những điều Korea không nên sao chép nguyên dạng. Một giai đoạn ngắn trị giá 8 million dollars và một thước đo dốc đứng 100 percent chỉ phát huy tác dụng khi phía sau nó có một hệ sinh thái công nghiệp dày và một ngân sách đủ sức hấp thụ thất bại. Ở United States, nhiều lớp công ty hóa chất và đại học có thể thử những thước đo đó, và ngay cả khi vài nhóm sụp đổ, chương trình vẫn tiếp tục đi tới. Có một độ dày đủ để chịu thất bại. Nếu Korea chỉ sao chép các thước đo mà không có phần chống đỡ ấy, họ rất dễ tạo ra một chương trình có kế hoạch lấp lánh nhưng không có chuyển giao. Nếu vạch mục tiêu được đặt cao nhưng chỉ có hai hoặc ba nhóm có thể thử, con số cao ấy không trở thành hồ sơ thành tựu, mà trở thành hồ sơ thất vọng. Đây là nơi Korea thường vấp ngã khi nói về một DARPA kiểu Korea. Các mục tiêu hào nhoáng thì dễ sao chép, nhưng hệ sinh thái và ngân sách chịu được thất bại đỡ bên dưới chúng thì không dễ xây dựng.

Những câu hỏi phù hợp với Hàn Quốc lại khác. Hàn Quốc đang phụ thuộc vào những nước nào về vật liệu nào? Nếu nguồn cung bị cắt đứt, ngành nào sẽ dừng lại trước? Ai sẽ thử các phương án thay thế ở quy mô nhà máy, chứ không phải trong phòng thí nghiệm? Hàn Quốc có một không gian kiểm chứng giống như bãi thử mà Mỹ đã xây ở Utah không? Những câu hỏi ấy phải được đặt ra trước khi sao chép con số 100 phần trăm. Lòng ngưỡng mộ khiến ta bắt chước mục tiêu. Tự soi xét một cách trung thực khiến ta xây phần chống đỡ trước.

Câu hỏi thật sự của DARPA không phải là bao nhiêu phần trăm lignin có thể được phân hủy. Câu hỏi là làm thế nào để đưa những điều kỳ diệu trong phòng thí nghiệm thành năng lực thật, đủ sức chịu được việc đối phương vũ khí hóa tài nguyên và những cú đứt gãy của thị trường; ai sẽ vượt qua khoảng cách ấy, và vượt qua bằng cách nào. Câu hỏi này không chỉ thuộc về nước Mỹ. Chưa ai biết cảnh làm nhiên liệu hàng không từ lá cọ khi nào sẽ thành hiện thực. Có lẽ nó sẽ không bao giờ thành hiện thực. Nhưng đã có một tổ chức viết cảnh ấy vào một kế hoạch, đưa con số 100 phần trăm và các phép tính tiền bạc vào kế hoạch ấy, rồi chuẩn bị một sân trước nhà máy để kiểm chứng nó. Ít nhất, sự thật đó hiện đã được xác nhận. Và trước sự thật ấy, câu hỏi của Hàn Quốc không nên là mình ngưỡng mộ nước Mỹ đến mức nào, mà là mình đang nhìn vào những điểm sống còn của chính mình trung thực đến đâu.

Chương 16. Doanh nghiệp nhỏ và quá trình chuyển đổi của startup

Cho đến đây, bản thảo này đã đi theo những chương trình lớn. Trí tuệ nhân tạo tự sửa mã. Xe chạy qua đường đất ở nơi không có đường. Robot sửa vệ tinh trên quỹ đạo. Khi nhìn những hình ảnh như vậy, người ta dễ chỉ xem DARPA như một sân khấu của các thí nghiệm khổng lồ. Phía sau sân khấu ấy là những cảnh nhỏ hơn nhiều. Một công ty có ba mươi nhân viên. Một kỹ sư sửa tài liệu đến khuya. Một kế hoạch kinh doanh dài năm trang. Chương này xem những cảnh nhỏ ấy đi vào bên trong hạ tầng quốc phòng như thế nào. Nó cũng xem con đường ấy thật ra hẹp đến đâu.

SimVentions và một trường hợp chuyển giao thành công

Hãy hình dung một sĩ quan đang ngồi trước màn hình sở chỉ huy. Tình hình trước mặt ông thay đổi rất nhanh. Ông phải đưa ra phán đoán trong vài phút. Thứ ông cần lúc này không phải là một vũ khí mới. Ông cần tìm, trong hàng trăm mô phỏng trước đây, mô phỏng phù hợp với giai đoạn hiện tại. Những tài liệu ấy nằm rải rác ở nhiều đơn vị và cơ quan. Định dạng của chúng khác nhau. Con người lập danh sách bằng tay, nên mục này bị thiếu, mục kia bị sai thứ tự. Khi tình thế trở nên cấp bách, ông không tìm được một kịch bản đáng dùng. Nó gần giống một nhà kho đầy hàng nhưng không có sổ kiểm kê.

Quân đội Hoa Kỳ gọi loại thí nghiệm ảo này là modeling and simulation. Viết ngắn là M&S. Nghĩa là chạy vô số phép thử bên trong máy tính trước khi quyết định đặt lực lượng ở đâu hoặc kẻ địch có thể di chuyển như thế nào. Khi các hệ thống vũ khí trở nên phức tạp và các chiến dịch trải trên nhiều miền tăng lên, các chỉ huy ngày càng dựa vào nó trước khi ra quyết định. Vấn đề không nằm ở bản thân thí nghiệm. Con đường lấy kết quả ra và dùng lại đã bị chặn. Dữ liệu từ các cơ quan khác nhau không làm việc được với nhau, và lỗi xuất hiện khi con người liệt kê tài sản thủ công. Ngay cả khi những kịch bản có giá trị, vốn đã được làm sẵn cho tình huống khẩn cấp, đang nằm đâu đó trong một nhà kho, cũng không ai kéo chúng ra được. Thách thức của DARPA bắt đầu từ cảnh này. Gom các tài sản M&S rải rác về một nơi, giảm thời gian cần để tìm chúng, và xây một kho lưu trữ mà các đơn vị có thể cùng dùng. Đó không phải là yêu cầu viết một bài nghiên cứu hay. Đó là yêu cầu gỡ bỏ sự bất tiện ngay trước mắt họ.

Công ty đáp lại thách thức này là SimVentions. Số chủ đề mời thầu là HR001121S0007-03. DARPA hỗ trợ công ty 1,5 triệu USD thông qua chương trình Small Business Innovation Research, hay SBIR. Với khoản tiền đó, SimVentions xây dựng một ứng dụng web bảo mật có tên SmartKM. SmartKM đầu tiên không phải là một sản phẩm đồ sộ. Nó giống một kho lưu trữ hơn, nơi tập hợp an toàn các hạng mục M&S như bộ dữ liệu, kịch bản và báo cáo liên quan đến những vấn đề chiến trường có thật. Trọng tâm nằm ở cách lưu trữ, sắp xếp và tìm lại tri thức. Nó không tạo ra một vũ khí mới. Nó làm cho những tài liệu đã có trở nên dùng được.

Cần dừng lại một chút ở hình dạng của SBIR như một hệ thống. Chương trình Small Business Innovation Research của Hoa Kỳ cấp tiền theo từng giai đoạn. Trước hết, chương trình kiểm tra ở quy mô nhỏ xem một ý tưởng có thể hoạt động hay không. Sau đó công ty xây dựng nguyên mẫu. Đến cuối, nó chuyển sang một hợp đồng mà một khách hàng thật sự mua. Các chỉ dẫn đề xuất SBIR và STTR của DARPA đưa dòng chảy này vào tài liệu và đặt điều kiện để chuyển sang giai đoạn kế tiếp. Điều đó có nghĩa là các ngưỡng được đặt nối tiếp nhau. Vì vậy, phần lớn công ty nhỏ dừng lại ở giai đoạn nguyên mẫu. Thường hơn, một thứ trông có vẻ hợp lý trong phòng thí nghiệm biến mất trước khi bước sang hạ tầng quân sự thật. Trường hợp SimVentions còn lại trong hồ sơ vì nó đã vượt qua ngưỡng cuối cùng đó. Nếu những công ty vượt qua ngưỡng ấy nổi bật, thì chiều ngược lại cũng cho thấy nhiều công ty đã không làm được.

Tháng 12 năm 2024, DARPA ký một hợp đồng ba năm với SimVentions thông qua Adaptive Capabilities Office. Giá trị hợp đồng là 14 triệu USD. Trong hệ thống SBIR, giai đoạn này được gọi là Phase III. Đây là nơi nghiên cứu ban đầu vượt qua thẩm định và đi tới triển khai thực tế. Một nghiên cứu khởi đầu bằng 1,5 triệu USD đã dẫn tới một hợp đồng chính lớn gần gấp mười lần. Cảnh này cho thấy vốn gieo mầm phát triển thành một hợp đồng tiếp nhận lớn hơn nhiều như thế nào. Điểm cần chú ý không phải bản thân mức gấp mười lần. Đó là trình tự: chính phủ rót tiền sớm trước, đồng thời gánh rủi ro; chỉ sau khi rủi ro ấy lùi xuống, khoản tiền lớn hơn mới đi theo.

Cốt lõi của hợp đồng này là bổ sung trí tuệ nhân tạo và machine learning vào SmartKM hiện có. Yêu cầu là biến nó từ một kho chỉ thu thập tài liệu thành một kho tri thức có thể tự học và tự suy luận. DARPA muốn SmartKM được thiết kế lại để có thể tăng tốc độ ra quyết định của chỉ huy và mở rộng phạm vi các phương án có thể dùng. Công ty mô tả ba kết quả. Hạ thấp những bức tường thông tin từng đứng giữa Department of Defense và các quân chủng, khiến hợp tác thời gian thực trở thành khả thi. Bảo vệ an ninh bằng cách đối chiếu nghiêm ngặt thông tin xác thực của từng người dùng với các hạng mục nhạy cảm bên trong kho. Giảm thời gian cần cho tìm kiếm và đánh giá, để hệ thống có thể chỉ ra trước những phương án tác chiến mà mắt người có thể đã bỏ lỡ trong tình huống bận rộn. Điểm thứ ba gây chú ý. Đó là câu chuyện về một cỗ máy nhặt ra những câu trả lời mà con người bỏ sót. Một công cụ sắp xếp kho lưu trữ đã bắt đầu nhìn về chiếc ghế của sĩ quan tham mưu.

Hướng phát triển cũng đã hiện ra. SimVentions đặt mục tiêu chuyển giao chính thức SmartKM cho Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering vào năm 2026. Công ty cho biết họ không dừng lại ở việc dùng trong quân đội Hoa Kỳ, mà vẫn tiếp tục đàm phán về việc áp dụng với U.S. Indo-Pacific Command và Department of Homeland Security. Kế hoạch còn đi xa hơn một bước. Công nghệ này sẽ được mở rộng sang các ngành dân sự dùng nhiều M&S, như hàng không, ô tô, logistics, y tế và máy móc. Đây là bức tranh quen thuộc của công nghệ lưỡng dụng, trong đó một công cụ lớn lên bằng tiền quốc phòng chảy sang thị trường dân sự. Con đường để một vật được dùng trong quân đội lan sang bệnh viện và hãng

hàng không là một cấu trúc cho phép công nghệ được tạo ra bằng chi tiêu quốc phòng kiểm lại giá trị của nó thêm một lần nữa trong nền kinh tế Hoa Kỳ.

Bối cảnh giúp SimVentions xử lý được một hợp đồng như vậy cũng đáng chú ý. Công ty được thành lập vào năm 2000 và nay có hơn 450 nhân viên. Năm 2020, công ty trở thành một công ty mẹ do nhân viên sở hữu. Từ lâu, công ty đã cung cấp dịch vụ kỹ thuật hệ thống, phát triển phần mềm và M&S cho chính phủ liên bang. Công ty cung cấp công việc an ninh mạng cho chương trình tên lửa Tomahawk tại Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division, và cũng từng xử lý các nhiệm vụ tác chiến điện tử của Hải quân. Đây không phải là một công ty mới sinh rơi từ trên trời xuống. Công ty đã biết sẵn ngữ pháp của hợp đồng quốc phòng. Ngay cả một công ty như vậy cũng cần năm năm để đẩy một kho lưu trữ mới vào sử dụng thực địa. Tram Chase, phó chủ tịch Technology Solutions Group của công ty, nói rằng SimVentions đã dành năm năm qua để xây dựng SmartKM cùng DARPA, rằng nó đã trở thành niềm tự hào của công ty, và rằng nó đã mang lại lợi ích cho cả DARPA lẫn công ty. Việc ngay cả một công ty đã hiểu thị trường quốc phòng cũng cần năm năm cho thấy con đường này dài đến mức nào đối với một startup lần đầu gõ cửa.

Tôi muốn vạch một ranh giới rõ ràng cho độc giả. Câu chuyện đến đây xuất phát từ tài liệu câu chuyện chuyển tiếp thành công của chính DARPA. Điều đó có nghĩa đây là một văn bản trong đó cơ quan ký hợp đồng giới thiệu thành quả của chương trình do mình phụ trách. Các sự kiện như giá trị hợp đồng, ngày tháng và lịch sử công ty có thể được chấp nhận như đã nêu. Nhưng việc đánh giá độc lập xem công nghệ này hiệu quả ra sao khi dùng trong thực địa, hoặc điều gì khiến nó tốt hơn các nỗ lực xây dựng kho lưu trữ khác, không thể được lấp đầy chỉ bằng một tài liệu này. Một câu chuyện thành công nên được đọc như một câu chuyện thành công, chứ không nên lập tức xem là toàn bộ kết quả đã được kiểm chứng. Nếu bản thảo này không muốn trở thành một tuyển tập tiếng vỗ tay dành cho các câu chuyện thành công, nó phải tiếp tục giữ ranh giới ấy.

Dù vậy, bức tranh mà trường hợp này đem lại cho độc giả Việt Nam vẫn rõ ràng. Một khoản vốn hạt giống nhỏ 1,5 triệu USD. Một con đường trong đó khoản tiền ấy tăng lên trong năm năm thành hợp đồng chính trị giá 14 triệu USD. Một nỗ lực đưa công cụ ấy tiếp tục lan sang công nghiệp dân sự. Công việc lấy một thứ đã nằm trong tay một công ty nhỏ, thêm trí tuệ nhân tạo vào đó, rồi đẩy nó vào hạ tầng quốc phòng, không kém phần quan trọng so với việc phát minh một công nghệ mới ngay từ đầu. Một cấu trúc đặt các ngưỡng theo từng lớp và loại bỏ phần lớn doanh nghiệp, nhưng gán một hợp đồng lớn gấp mười lần cho bên vượt qua được các ngưỡng ấy. Phần sau này là điều DARPA làm tốt. Chuyển tiếp hơn là phát minh. Đưa vào vận hành ổn định hơn là phát minh. Đằng sau cái tên SimVentions, câu ấy đứng đó. Câu ấy lại lặp lại một lần nữa với công ty tiếp theo, chỉ thay các con số.

Jarjet Technologies và con đường SBIR

Nếu câu chuyện trước nói về phần mềm xử lý vật liệu, thì lần này là một linh kiện có thể cầm trên tay. Nó đi theo cùng con đường SBIR, nhưng quy mô tiền bạc thay đổi thêm một chữ số.

Có những sóng vô tuyến mà mắt không thể nhìn thấy. Tín hiệu GPS, vô tuyến quân sự, thông tin vệ tinh và các cuộc gọi điện thoại di động đều đi qua chúng. Trên chiến trường, bên nào thu được các sóng này trước và rõ hơn thì nhìn thấy sớm hơn bên kia. Phải nhìn thấy sớm mới phán đoán sớm. U.S. Department of Defense đặt cho năng lực này một cái tên: spectral dominance. Nó chỉ trạng thái trong đó quyền truy cập vào phổ tần không bị gián đoạn. Thuật ngữ nghe có vẻ lớn lao, nhưng khi tách ra, cuối cùng nó vẫn quay về các linh kiện.

Vấn đề là các sóng này ở dạng analog. Để máy tính đọc được tín hiệu analog mà ăng-ten nhận vào, trước hết tín hiệu đó phải được chuyển sang dạng số. Linh kiện xử lý việc chuyển đổi này là bộ chuyển đổi analog sang số, gọi là ADC. Nếu quá trình chuyển đổi này chậm hoặc tiêu thụ quá nhiều điện, ngay cả một thiết bị tính toán tốt ở phía sau cũng không thể chạy hết tốc độ. Bộ não có thông minh đến đâu cũng vô ích nếu đôi mắt bị mờ. Nút thắt làm nghẹt nhiều hệ thống điện tử quốc phòng nằm ngay tại đây. Vì vậy DARPA đặt cho các nhà nghiên cứu một câu hỏi. Có thể tạo ra một ADC hiệu quả hơn và rẻ hơn không? Nếu câu hỏi ở phần trước là làm sao gom các vật liệu rải rác lại, thì câu hỏi ở đây là làm sao làm sáng đôi mắt đang bị mờ.

Công ty nhỏ trả lời câu hỏi này là Jarjet Technologies. Tài liệu trường hợp chuyển giao của DARPA, PDF-021, đặt con đường của công ty này trên tuyến SBIR và giải thích tại đó. SBIR là viết tắt của Small Business Innovation Research. Đây là nguồn vốn gieo mầm được thiết kế để các công ty nhỏ, vốn hạn chế nhưng có công nghệ cao, có thể đưa ra những ý tưởng táo bạo cho các vấn đề an ninh quốc gia. Đây không phải là cách đổ những khoản tiền lớn vào các công ty lớn. Đây là cách trước hết đặt hạt giống vào những bàn tay nhỏ đang có ý tưởng.

SBIR được chia thành ba giai đoạn. Phase I xem xét tính khả thi, tức ý tưởng có thể trở thành công nghệ hay không. Chỉ những hạt giống có vẻ có triển vọng mới đi sang ô tiếp theo. Phase II phát triển công nghệ và xây dựng nguyên mẫu. Đây là phần nơi một vật thể hữu hình được tạo ra. Phase III gặp nguồn vốn lớn của chính phủ hoặc tư nhân rồi đi vào triển khai thực địa và thương mại hóa. Phase III là cánh cổng trong các cánh cổng. Hướng dẫn đề xuất của DARPA, PDF-036, yêu cầu hai điều trong quá trình này. Một là chiến lược thương mại hóa. Điều còn lại là năng lực lưỡng dụng nhắm tới cả thị trường quân sự và dân sự. Công nghệ tốt thôi chưa đủ. Điều đó có nghĩa là ngay từ đầu công ty phải viết ra kế hoạch bán công nghệ đó và một cách dùng hoạt động được ở cả hai thị trường. Nếu SimVentions ở phần trước cho thấy kết quả của lưỡng dụng, thì các hướng dẫn này cho thấy lưỡng dụng không phải là chuyện tình cờ mà là điều kiện hệ thống đã yêu cầu ngay từ đầu.

Yêu cầu này có lý do của nó. Ngành công nghiệp gọi đoạn mà công nghệ không chuyển được từ phòng thí nghiệm ra thị trường là 'valley of death.' Các công ty thường đi được tới nguyên mẫu, rồi biến mất vì không tìm được tiền và đối tác cần thiết cho sản xuất hàng loạt và bán

hàng thật sự. SBIR là cây cầu giúp họ đi qua thung lũng đó. Việc yêu cầu chiến lược thương mại hóa và lưỡng dụng gần như là bảo các công ty chuẩn bị trước cơ bắp để qua cầu. Việc DARPA cung cấp hướng dẫn riêng cho doanh nghiệp nhỏ cũng xuất hiện trong FAQ dành cho doanh nghiệp nhỏ năm 2026, PDF-016. Tài liệu này sắp xếp riêng các câu hỏi thường gặp để các startup chưa quen thủ tục không quay đầu ngay trước cửa. Bàn tay dựng một cánh cổng cao và bàn tay đặt các bậc thang trước cánh cổng ấy cùng tồn tại trong một cơ quan.

Bây giờ hãy nhìn vào các con số của Jariet. Mã chủ đề mà công ty nhận được là SB153-004. Theo PDF-021, công ty nhận 3 triệu USD qua hai khoản tài trợ SBIR Phase II, rồi được cộng thêm 1,5 triệu USD vốn đối ứng của chính phủ ở Phase III. Cộng lại là 4,5 triệu USD. Trong con mắt của ngân sách quốc phòng, số tiền này thậm chí chưa bằng giá của một vũ khí lớn. Với số tiền đó, công ty đã làm ra một chiplet ADC có tốc độ lấy mẫu cao.

Từ chiplet có thể nghe còn lạ. Trước hết hãy hình dung khung cảnh. Các loại bán dẫn cũ in những chức năng cần thiết thành một khối lớn. Mọi thứ được khắc vào một tấm lớn duy nhất. Chiplet thì khác. Nó nối các mảnh chức năng nhỏ như những khối đồ chơi để tạo ra hình dạng mong muốn. Chiplet của Jariet thực hiện chuyển đổi analog sang digital nhanh hơn, đồng thời giảm mạnh mức tiêu thụ điện. Khi những mảnh này được đặt như gạch lát trên một con chip lớn hơn, nhiều kênh liên lạc có thể được lắp cùng lúc. Điều đó có nghĩa là việc tăng số kênh trở nên dễ hơn. Những chiplet được làm theo cách này đi vào bên trong các ăng-ten mảng pha số. Trạm gốc 5G, bộ thu phát tần số vô tuyến, vệ tinh và radar đều dùng những ăng-ten này. Việc một linh kiện có thể được dùng trên nhiều bảng mạch là hạt giống của câu chuyện tiếp theo. Nếu một linh kiện đi vào radar quân sự cũng đi vào trạm gốc dân sự, điều kiện gọi là lưỡng dụng không còn là giấy tờ bị ép cho vừa khuôn. Nó trở thành thuộc tính bẩm sinh của linh kiện.

Đó là câu chuyện về công nghệ. Tiếp theo là câu chuyện về tiền và thị trường. Sau khi khoản đầu tư ban đầu của DARPA kết thúc, Jariet thu hút hơn \$150 million vốn đầu tư từ khách hàng. Số tiền được gọi về nhờ \$4.5 million lớn hơn hơn ba mươi lần. Phần lớn doanh thu này đến từ NRE, non-recurring engineering, nghĩa là các hợp đồng tùy chỉnh một lần để thiết kế và làm sản phẩm mới. Những công ty có tên tuổi rộng rãi đã tham gia. Lockheed Martin, L3Harris và Altera rót vốn để áp dụng chiplet. Về phía quân sự, Jariet ký hợp đồng với sáng kiến 'STEAM PIPE 24' của Naval Surface Warfare Center. Một con chip duy nhất từ một công ty nhỏ đã bước vào bên trong các hệ thống vũ khí của quân đội Hoa Kỳ. Sau khi tiền gieo hạt cạn đi, thị trường tiếp quản để dòng nước tiếp tục chảy. Nếu trong trường hợp SimVentions chính phủ gặt thêm số tiền gấp mười lần, thì ở đây chính phủ chỉ gieo hạt, còn các thế lực lớn trong khu vực tư nhân và quân sự lấp đầy phần còn lại, gấp ba mươi lần.

Quy mô công ty cũng lớn lên cùng quá trình đó. Jariet có 30 nhân viên khi được thành lập vào năm 2015. Hiện nay công ty có 80 người. Năm 2025, công ty lập Jariet International, một công ty con tại Thụy Sĩ, với 23 người. Đó là bước đi nhắm tới châu Âu và thị trường quốc tế. Chiplet này

không chỉ ở lại trong quốc phòng. Ngành mạng vệ tinh thương mại dân sự đang bùng nổ cần đúng linh kiện ấy. Lưỡng dụng giữa quân sự và dân sự, điều kiện mà SBIR yêu cầu ngay từ đầu, đã quay lại thành doanh thu thật. David Clarke, phó chủ tịch cấp cao phụ trách quản lý chương trình và hợp đồng của công ty, nói rằng khoản đầu tư của DARPA đã đóng vai trò quyết định trong việc phát triển công nghệ mạch tích hợp tiên tiến hỗ trợ ưu thế phổ tần.

Điểm này cần được xử lý một cách thẳng thắn. Các con số và trích dẫn vừa nêu đều đến từ một tài liệu 'success story' do chính DARPA công bố. Đúng như tên gọi, đó là bản tường thuật thuận lợi, đặt những phần thành công lên trước. Tài liệu về một công ty khác được giới thiệu theo cùng định dạng success story, SimVentions, PDF-010, cũng có tính chất như vậy. Những tài liệu này không chứa các đề xuất thất bại hay câu chuyện của những doanh nghiệp nhỏ khác không vượt qua được thung lũng rồi biến mất. Sẽ sai nếu đọc con đường từ \$4.5 million đến \$150 million như mức trung bình cho mọi công ty đi qua SBIR. Jarriet là một trường hợp đã chạy tốt, và chúng ta để nó đúng là một trường hợp. SBIR thật sự chuyển tiếp được bao nhiêu công nghệ và làm dịch chuyển bao nhiêu tiền thì không thể biết chỉ từ một tài liệu này. Không thể nhìn một cái cây thành công rồi nói cả khu rừng đều rậm rạp.

Dù vậy, con đường này để lại một bức tranh rõ ràng cho độc giả Hàn Quốc. Nhà nước không rót một khoản tiền lớn cùng một lúc. Trước hết, nhà nước gieo một hạt giống nhỏ trị giá 4,5 triệu USD vào một công ty nhỏ có công nghệ. Nhà nước yêu cầu một chiến lược thương mại hóa và khả năng dùng kép, để công ty có thể vượt qua thung lũng chết. Ở phía bên kia thung lũng, Lockheed Martin và Navy đang chờ. Hạt giống ấy lớn lên không phải bằng chi tiêu quốc phòng, mà bằng tiền của thị trường. Chuỗi vận động trong đó khoản tài trợ hạt giống nhỏ gọi được nguồn vốn lớn, cùng với lớp kết cấu thể chế gồm hướng dẫn đề xuất và chỉ dẫn dành cho doanh nghiệp nhỏ nâng đỡ chuỗi ấy, phải được đặt cạnh nhau thì bức tranh mới trọn vẹn. Điều Hàn Quốc nên nhìn không phải là tên của công ty đã thành công. Nó nằm ở thiết kế của hệ thống đã đưa công ty ấy vượt qua. Tên có thể thay, nhưng thiết kế thì còn lại.

Giữa hệ thống đề xuất và chuyển tiếp thật sự

Khi đặt câu chuyện của hai công ty cạnh nhau, một khung chung hiện ra. Ở đầu tiên trong khung ấy là bản đề xuất. Thành công được hoàn tất ở giá trị hợp đồng, nhưng điểm khởi đầu bao giờ cũng nằm trước vài trang tài liệu.

Hãy hình dung văn phòng của một công ty nhỏ. Khoảng ba mươi nhân viên. Vài kỹ sư thức đến khuya, sửa đi sửa lại một tập tài liệu. Trên bàn là sơ đồ mạch và các biểu đồ kết quả thử nghiệm. Tài liệu đang được sửa lúc này không phải là sổ tay kỹ thuật. Đó là một văn bản năm trang có tên là 'chiến lược chuyển tiếp và thương mại hóa', sẽ được đưa vào đề xuất Phase II gửi DARPA. Trong năm trang ấy, công ty phải chứng minh rằng công nghệ của mình có thể bán cho quân đội và cho dân sự, đồng thời cho thấy ai đã gửi thư nói rằng, "Chúng tôi sẽ dùng cái này." Công nghệ tốt đến đâu đi nữa, rắc rối sẽ bắt đầu nếu cảnh này trống rỗng. Một công ty thức

trắng đêm không phải vì mạch điện, mà vì tuyến đường bán hàng. Cảnh ấy là điểm khởi đầu của phần này.

Yêu cầu này được ghi trong hướng dẫn đề xuất Giai đoạn II của chương trình SBIR và STTR của DARPA, PDF-036. Hãy nói ngắn gọn về các thuật ngữ. SBIR là Small Business Innovation Research, còn STTR là Small Business Technology Transfer, cả hai đều là các chương trình hỗ trợ lâu năm của Hoa Kỳ. Đây là những kênh được lập ra để các công ty nhỏ, chứ không phải các nhà thầu quốc phòng lớn, có thể nhận ngân sách nghiên cứu quốc phòng. Kênh này thường được chia thành ba giai đoạn. Giai đoạn I là giai đoạn ngắn để kiểm tra xem một ý tưởng có thể vận hành được hay không. Giai đoạn II là giai đoạn chính để xây dựng nguyên mẫu. Giai đoạn III đi vào mua sắm thực tế và thị trường. Vấn đề là chương trình đã yêu cầu chuẩn bị cho Giai đoạn III ngay trong Giai đoạn II. Nó yêu cầu một công ty thậm chí chưa hoàn thành nguyên mẫu phải viết trước rằng họ sẽ bán nguyên mẫu đó cho ai.

Cứ theo đúng hướng dẫn hiện hành mà nhìn. Để một doanh nghiệp nhỏ nhận được tài trợ Giai đoạn II, họ không thể chỉ viết rằng công nghệ của mình xuất sắc ra sao. Họ phải đưa vào một chiến lược chuyển tiếp và thương mại hóa trong không quá năm trang, đồng thời chứng minh công nghệ có năng lực lưỡng dụng, nghĩa là có thể được dùng trong cả lĩnh vực quốc phòng và dân sự. Thư bày tỏ ý định từ Department of Defense hoặc các nhà thầu quốc phòng là bằng chứng hỗ trợ mạnh. Ngay ở giai đoạn đề xuất, câu hỏi đã là: 'Hãy cho chúng tôi thấy các anh sẽ bán nó ở đâu.' Trước khi nghiên cứu bắt đầu, cấu trúc này đã buộc công ty phải viết nghiên cứu ấy sẽ đi đâu sau khi kết thúc. Giới hạn năm trang cũng có ý nghĩa. Nó cho thấy DARPA không muốn một danh sách dài các khát vọng, mà muốn một kế hoạch thực thi được nén lại. Nếu một công ty không thể vẽ ra tuyến bán hàng của mình trong năm trang, hệ thống coi công ty đó là chưa sẵn sàng. Chúng ta đã thấy yêu cầu này kết quả ra sao ở hai công ty phía trên. Việc SimVentions tiến vào thị trường dân sự và việc Jarjet bước vào thị trường vệ tinh đều bắt đầu từ một dòng trong đề xuất đầu tiên: lưỡng dụng.

Nhan đề của mục này xuất phát từ cảnh đó. Giữa hệ thống đề xuất và chuyển tiếp thực tế. Giữa hai điểm ấy là một thung lũng rộng. Các nhà nghiên cứu gọi đó là 'valley of death.' Đó là nơi công nghệ đã được chứng minh rõ ràng trong phòng thí nghiệm, nhưng không thể bước sang thiết bị thật hoặc thị trường, rồi lặng lẽ biến mất trong một chồng giấy tờ. Khả năng viết một đề xuất hay và khả năng đưa công nghệ đó vào chiến trường thật hoặc thị trường thật là hai việc khác nhau. Việc trước gần với kỹ năng viết. Việc sau là chuyện tiền, hợp đồng và khách hàng. Một bài viết tốt không tự biến thành một sản phẩm tốt. Giữa hai thứ ấy cần có cơ sở sản xuất. Cần có người mua. Cần có thời gian để vượt qua thẩm định. Những câu chuyện về hai công ty mà DARPA công bố dưới tên các câu chuyện thành công là hồ sơ về việc vượt qua thung lũng này.

Trước hết, hãy nhìn lại SimVentions. Department of Defense của Hoa Kỳ có một nỗi đau đầu lâu cũ. Các tài sản mô hình hóa và mô phỏng, tức các công cụ dùng máy tính để bắt chước và thử nghiệm vũ khí cùng hoạt động tác chiến, bị phân tán riêng rẽ giữa các bộ phận và không kết nối với nhau. Cùng một thứ bị làm nhiều lần, và lãng phí tích tụ khi các văn phòng mua công cụ mới mà không biết văn phòng bên cạnh đã có gì. SimVentions nhận 1.5 triệu USD tài trợ SBIR từ DARPA và xây dựng một chương trình web tên SmartKM để buộc các tài sản rời rạc này lại với nhau. Ban đầu, nó gần với một công cụ sắp xếp kho. Nó giống một bảng kiểm kê cho biết thứ gì nằm ở đâu hơn.

Câu chuyện sau đó là phần cốt lõi của mục này. Vào tháng 12 năm 2024, công nghệ này bước vào một hợp đồng Phase III trị giá 14 triệu USD. Một triệu rưỡi đã thành mười bốn triệu. Khi hợp đồng lớn lên, trí tuệ nhân tạo đi vào hệ thống, và tính chất của nó đổi thành một công cụ chủ động tìm trước những phương án tác chiến mà một chỉ huy có thể đã bỏ sót. Một chương trình từng chỉ hiển thị danh sách đã đổi thành chương trình lên tiếng trước và nói: "Còn có phương án này nữa." Công ty hiện có hơn 450 nhân viên, và trong năm 2026 dự kiến sẽ chính thức chuyển sang Office of the Under Secretary of Defense for Research and Engineering. Công ty cũng đang bước vào các thị trường dân sự như hàng không và y học. Lời hứa về công dụng kép được viết trong đề xuất đã không dừng lại như một câu chữ trên giấy. Nó dẫn tới doanh thu thật, một trường hợp hiếm gặp.

Hồ sơ của Jarjet Technologies lớn hơn một bậc về quy mô. Công ty nhận tổng cộng 4,5 triệu USD từ DARPA: 3 triệu USD ở Phase II và 1,5 triệu USD khi bắt đầu Phase III. Thứ họ tạo ra bằng số tiền đó là một bộ chuyển đổi tương tự sang số tốc độ cực cao, một con chip biến tín hiệu sóng vô tuyến thành các con số. Có thể hình dung đó là thiết bị chuyển những tín hiệu dạng sóng mà ăng-ten thu được thành các con số máy tính có thể xử lý. Việc chuyển đổi này càng nhanh, dải tần mà nó xử lý được càng rộng, và trong chiến tranh điện tử, nó có thể đọc và phản ứng với tín hiệu trước đối phương. Jarjet thiết kế con chip này dưới dạng chiplet. Thay vì in cả một con chip khổng lồ thành một khối, nó nối các mảnh nhỏ lại với nhau như các khối Lego. Vì phần lắp ghép có thể thay đổi theo nhu cầu, nó linh hoạt hơn rất nhiều. Nếu một phần hỏng, chỉ cần thay đúng mảnh đó, và cấu hình cũng có thể được dựng lại để phù hợp với một hệ thống vũ khí khác.

Kết quả lớn hơn những gì vài trang đề xuất có thể hình dung. Chiplet này thu hút đầu tư từ các nhà thầu quốc phòng lớn như Lockheed Martin và L3Harris, cùng Naval Surface Warfare Center, và nguồn vốn từ khách hàng gắn với Phase III đã vượt 150 triệu USD. So với 4,5 triệu USD ban đầu, con số đã đổi hẳn bậc. Khoản vốn hạt giống do DARPA cấp trở thành một phần nhỏ trong tổng số. Chính phủ nhận lấy đoạn đầu đầy rủi ro trước, và khi công nghệ chứng minh được giá trị, dòng tiền lớn từ doanh nghiệp tư nhân và quân đội đi theo. Nhân sự tăng từ ba mươi lên tám mươi người, và công ty còn lập một công ty con ở Thụy Sĩ để bước vào thị trường truyền thông vệ tinh thương mại. Một con chip bắt đầu từ nghiên cứu quốc phòng đã mở rộng

sang truyền thông vệ tinh dân sự. Một lần nữa, đó là trường hợp công dụng kép.

Các doanh nghiệp nhỏ lần đầu bước vào con đường này có rất nhiều câu hỏi. Cần giấy tờ gì, quy trình diễn ra ra sao, và khi nào phải nộp thứ gì. Yêu cầu viết một tài liệu chiến lược dài năm trang tự thân đã là một ngưỡng cửa. Với một công ty thử sức lần đầu, ngưỡng này có vẻ cao. DARPA ban hành các tài liệu hướng dẫn riêng cho doanh nghiệp nhỏ để trả lời những câu hỏi đó. FAQ liên quan đến BARK từ năm 2026, PDF-016, là một tài liệu như vậy. Nó không phải một bảng thành tích hào nhoáng. Nó gần với hướng dẫn thực hành để hạ thấp lối vào hơn. Nếu đề xuất là một cánh cổng cao, tài liệu này đặt một bậc thềm trước cổng. Phía sau những câu chuyện thành công lớn, cũng có những công cụ lặng lẽ như thế giúp người mới bước vào. Nếu chỉ nhìn hai công ty thành công, hệ thống trông thật rực rỡ, nhưng bên dưới nó là những tài liệu như vậy, dẫn đường cho các công ty đến lần đầu. Thành công không chỉ được tạo ra bằng hợp đồng. Nó còn được tạo ra bằng những sửa chữa nhỏ chuẩn bị con đường dẫn tới các hợp đồng đó.

Lùi lại một bước, có một điều cần nói thật. Câu chuyện về SimVentions và Jarriet đến từ những tài liệu do chính DARPA công bố dưới nhan đề success stories. Nghĩa là đó là những câu chuyện được chọn ra từ các công ty đã thành công. Những tài liệu này không nói có bao nhiêu đề xuất đã bị từ chối, bao nhiêu công nghệ đã biến mất trong thung lũng chết, hay bao nhiêu tiền đã bị lãng phí trong quá trình đó. Phần này chỉ có thể cho thấy bản đồ của những người đã vượt qua thung lũng. Nó không chứa dấu vết của những người không vượt qua được. Chỉ từ những tài liệu này, chúng ta không thể biết tỷ lệ thành công là bao nhiêu, hay hai công ty ấy gần với mức trung bình hay là ngoại lệ. Nếu làm mờ điểm này, DARPA sẽ bắt đầu trông giống như một cơ quan không có thất bại. Đó không phải là sự thật. Đó là giới hạn của tài liệu. Muốn vẽ bản đồ cho đúng, phải đếm cả những người đã vượt qua lẫn những người đã ngã xuống, còn những tài liệu hiện có trong tay chúng ta chỉ cho thấy phía đã vượt qua.

Vì vậy, trước khi ghen tị với hai công ty này, các nhà hoạch định chính sách Hàn Quốc nên hỏi trước về phần vô hình. Một hệ thống buộc doanh nghiệp phải viết kế hoạch thương mại hóa và nêu những bên mua có khả năng xuất hiện ngay ở giai đoạn đề xuất. Một kênh giữ Phase III luôn mở để khoản tiền gieo mầm có thể dẫn tới một hợp đồng thật sự lớn. Một số ít công ty sống sót trên kênh đó. Điều Hàn Quốc có thể cần mang về không phải là câu chuyện thành công này, mà là khung hệ thống đã làm cho thành công ấy có thể xảy ra. Không dừng ở việc thẩm định để phân bổ tiền nghiên cứu, mà hỏi về tuyển bán hàng và dual use ngay từ giai đoạn đề xuất, đồng thời chuẩn bị sẵn một vị trí để hợp đồng lớn có thể gắn vào sau khoản tiền gieo mầm. Nhiều thất bại bị khung đó lọc ra vẫn vắng mặt trong các tài liệu này.

Khi khép lại chương này, tôi muốn để lại một điểm cuối cùng. Điều Hoa Kỳ thu được từ con đường này không phải là tên của hai công ty. Đó là chính trình tự: đặt khoản tiền nhỏ trước, rồi gắn khoản tiền lớn vào sau. Phát minh có thể xảy ra ở bất cứ đâu. Cây cầu đưa phát minh ra thị

trường và chiến trường, quy tắc đòi hỏi cây cầu ấy ngay từ trang đầu của một đề xuất, và sự hướng dẫn dành cho các công ty nhỏ đang do dự trước cây cầu đó. Nếu Hàn Quốc nói về một DARPA kiểu Hàn Quốc và cần một thứ để học theo, thì thứ đó không phải là chân dung của một công ty thành công, mà là bản thiết kế của cây cầu này. Cũng phải nhớ rằng tên của những người không vượt qua được không được viết trên bản thiết kế ấy.

Chương 17 Liên kết học thuật và DARPAConnect

Hai mươi năm của Young Faculty Award

Một giáo sư trẻ, vừa mới ngồi trong phòng thí nghiệm đại học vật lộn với các phương trình, chỉ vài tháng sau đã bước lên một xe quân sự thay vì cầm thiết bị thí nghiệm. DARPA đã sắp xếp một chuyến đi thực địa. Vị giáo sư tận mắt nhìn thấy loại nhiệt, rung động và tình trạng thiếu điện mà sơ đồ mạch ông từng vẽ trên giấy phải chịu đựng trong thực tế. Hôm đó, ông cảm nhận bằng chính cơ thể mình khoảng cách rộng đến đâu giữa điều kiện sạch sẽ của phòng thí nghiệm và điều kiện khắc nghiệt ngoài hiện trường. Những phương trình quen thuộc vẫn như cũ, nhưng nơi các phương trình ấy phải tồn tại đã thay đổi.

Cảnh này cho thấy tính chất của Young Faculty Award, hay YFA. Chỉ nghe tên, chương trình này có thể giống một học bổng bổ sung kinh phí nghiên cứu cho các giáo sư đại học mới vào nghề. Nhưng cách DARPA vận hành giải thưởng này trong 20 năm được thiết kế chặt hơn thế. Nó không phải một chương trình trao tiền rồi dừng lại, mà giống một kênh kéo các nhà nghiên cứu trẻ vào hệ sinh thái nghiên cứu quốc phòng.

Trước hết, cần hỏi vì sao giải thưởng này nhắm vào người trẻ. Mỗi quan tâm nghiên cứu của một nhà khoa học thường định hình sớm trong sự nghiệp. Vấn đề sẽ trở thành lĩnh vực theo đuổi cả đời thường được xác lập trong vài năm sau khi nhận bằng tiến sĩ. DARPA nhắm đúng vào giai đoạn đó. Thay vì mời những bậc thầy đã thành danh, cơ quan này chọn tìm những người sẽ còn chạy tiếp trong 20 hoặc 30 năm tới ngay từ giai đoạn đầu, rồi cùng họ xoay hướng. Nó can thiệp trước khi hạt giống quyết định sẽ mọc về phía nào.

Tài liệu chính thức của DARPA công bố vào tháng 6 năm 2026 cho biết YFA đã hỗ trợ hơn 500 nhà nghiên cứu trẻ đang lên ở giai đoạn đầu sự nghiệp tại hơn 60 trường đại học và viện nghiên cứu ở Hoa Kỳ trong 20 năm qua. Nếu chỉ nhìn vào con số, đây là một chương trình tài trợ nghiên cứu có quy mô đáng kể. Mục tiêu cũ của chương trình rất rõ. Chương trình kéo các giảng viên trẻ tại đại học, hoặc các nhà nghiên cứu ngang cấp tại các viện nghiên cứu khoa học và công nghệ phi lợi nhuận, vào các nghiên cứu được tài trợ nhằm xây dựng năng lực cho các hệ thống quốc phòng trong tương lai. Đó là một thiết kế hướng ánh mắt của thể hệ nhà khoa học, kỹ sư và nhà toán học kế tiếp về phía Bộ Quốc phòng Hoa Kỳ và các vấn đề an ninh quốc gia ngay từ đầu sự nghiệp của họ.

Một nhà nghiên cứu được chọn vào YFA không chỉ nhận một tài khoản ngân hàng dành cho nghiên cứu. Người đó ngồi gần các quản lý chương trình của DARPA, các nhóm nghiên cứu hiện có đang thực hiện dự án DARPA, và những người dùng trong quân đội cuối cùng sẽ dùng công nghệ ấy. Họ được cố vấn và có đường dây liên lạc với giới công nghiệp và quốc phòng. Trong quá trình đó, họ mài giũa lại ý tưởng nghiên cứu của mình, không phải bằng ngôn ngữ học thuật thuần túy, mà trong bối cảnh những gì an ninh quốc gia đang cần. Ý nghĩa bên trong của

chương trình nằm ở đó. Yêu cầu không phải là viết một bài báo hay, mà là định hình lại vấn đề bằng ngôn ngữ quốc phòng. Ngay cả với cùng một nghiên cứu, hướng đi được công nhận tại hội nghị và hướng đi có tác dụng trên chiến trường có thể tách xa nhau. Tại ngã rẽ ấy, YFA chiếu ánh sáng về phía hướng thứ hai.

Một quy định nổi bật trong chương trình này là chuyến thăm thực địa quân sự. Một chủ nhiệm nghiên cứu của YFA phải đến thăm một cơ sở quân sự ít nhất một lần để hiểu rõ hơn nhu cầu thực tế và môi trường của Bộ Quốc phòng. Đó là một cơ chế đưa hiện trường ra trước mắt người vốn quen cầm bút. Cảnh đã mô tả ở trên xuất phát từ quy định này. Nó có nghĩa là nhà nghiên cứu nên ít nhất một lần trải nghiệm nơi lý thuyết vận hành và nơi lý thuyết sụp đổ. Một chuyến thăm không phải là một chương trình huấn luyện lớn lao nào đó. Dù vậy, có những lúc chỉ một chuyến thăm cũng đủ thay đổi đường chuẩn trong tâm trí nhà nghiên cứu. Chương trình cố gieo thói quen thiết kế trong khi hình dung không phải người phản biện bài báo, mà là người lính sẽ thật sự mang thiết bị ấy.

Phạm vi đề tài nghiên cứu cũng rộng. Từ học máy và vật lý nhiều hạt, đến điểm giao giữa bộ phát băng rộng và ăng-ten, rồi các mô hình xem xét sự lây lan của bệnh truyền nhiễm trên nhiều thang đo, chỉ riêng tài liệu đã liệt kê 15 nhóm chủ đề. Trọng tâm đặt vào các lĩnh vực tiên tiến nhằm nâng năng lực của vi hệ thống, công nghệ sinh học và khoa học quốc phòng. Thay vì dồn mọi thứ vào một lĩnh vực, chương trình gieo hạt ở nhiều lĩnh vực có thể có ý nghĩa trên chiến trường tương lai. Vì không ai biết trước hạt giống nào sẽ kết trái, nó đặt ra một phạm vi rộng. Chính độ rộng ấy là một chiến lược. Nó giảm rủi ro của việc đặt cược lớn vào một hướng rồi bỏ lỡ, bằng cách đặt những khoản cược nhỏ hơn theo nhiều hướng.

Trong lộ trình 20 năm ấy, còn có một cơ chế cao hơn một bậc. Đó là Director's Fellowship. DARPA chọn một số ít người đã nhận giải YFA, những người cho thấy kết quả nổi bật so với mục tiêu ban đầu của dự án, rồi trao học bổng này cho họ. Trên nền hai năm nghiên cứu cơ bản, chương trình cấp thêm tối đa 500.000 USD cho kinh phí nghiên cứu năm thứ ba. Thông điệp ở đây là tiếp tục xây trên thành công ban đầu, mài sắc công nghệ, rồi điều chỉnh nó cho phù hợp với nhu cầu của Department of Defense. Những người đã làm tốt được thêm một cơ hội nữa, nhưng cơ hội ấy được buộc rõ vào hướng đi của quốc phòng. Chương trình không rót một khoản tiền lớn ngay từ đầu, mà chỉ bổ sung tiền về sau sau khi đã nhìn thấy kết quả. Trật tự này, đặt rủi ro ở phía trước và đặt phần thưởng ở phía sau, giống với cách DARPA vận hành trong nhiều chương trình.

Trong danh sách YFA năm 2024, có bảy người nhận học bổng này. Chỉ cần nhìn qua tên các đề tài nghiên cứu của họ, ta đã thấy những mối quan tâm của công nghệ quốc phòng tương lai. Bộ phát nhiệt nanophotonic siêu mỏng để thải nhiệt công suất cao thích ứng, động lực học tán xạ khí-bề mặt trong quỹ đạo Trái Đất rất thấp, và mô hình hóa đầu-cuối cùng biện pháp giảm thiểu các cuộc tấn công tiềm ẩn. Nên thải nhiệt như thế nào? Nên xử lý lực cản không khí ra sao đối

với những vật thể di chuyển ở quỹ đạo thấp? Nên chặn các cuộc tấn công vật lý nhằm vào phần cứng bằng cách nào? Những vấn đề thật như vậy nằm phía sau các nhan đề phòng thí nghiệm nghe xa lạ. Chỉ nhìn tên đề tài, chúng có thể trông chẳng liên quan đến nhau, nhưng nhiệt của vũ khí công suất cao, lực cản không khí đối với vệ tinh quỹ đạo thấp, và an ninh phần cứng đều là những bức tường mà hệ thống vũ khí thế hệ sau sẽ đụng phải.

Gần đây DARPA đã điều chỉnh chương trình này. Thông báo YFA năm 2026 bổ sung một hạng mục mới. Hạng mục này cho phép cấp thêm tối đa 350.000 USD để hỗ trợ các nghiên cứu sinh Hoa Kỳ tham gia vào vai trò giúp ích cho một dự án YFA. DARPA nói biện pháp này phù hợp với mối quan tâm của họ trong việc mở rộng nhóm nhân lực có thể được cấp security clearances và thực sự được triển khai trong các chương trình tương lai. Ý tưởng không dừng ở việc hỗ trợ một nhà nghiên cứu trẻ, mà còn bao trùm cả các nghiên cứu sinh đang lớn lên bên cạnh nhà nghiên cứu ấy như một nguồn dự trữ nhân tài an ninh. DARPA đã buộc việc xây dựng công nghệ và việc đào tạo những con người có thể xử lý công nghệ đó vào cùng một dòng ngân sách. Phép tính ở đây không chỉ là tạo ra một loại vũ khí, mà là chuẩn bị trước những người sẽ vận hành loại vũ khí ấy trong thế hệ kế tiếp.

Quy mô khoản tiền cũng đáng để nhìn kỹ. Tài liệu ngân sách năm tài khóa 2026 của Department of Defense cho thấy YFA được phân bổ hơn 17 triệu USD một chút trong mục nghiên cứu cơ bản của năm tài khóa 2024. So với ngân sách của các chương trình vũ khí khổng lồ, đây không phải là con số lớn. Với bản chất của một chương trình chia vốn mỗi giai đoạn đầu cho nhiều nhà nghiên cứu đang lên, quy mô ấy không gây cảm giác lạ. Chương trình rải những khoản nhỏ trên diện rộng, rồi chỉ rút thêm về sau ở nơi nào mầm đã nhú lên. Gương mặt của chương trình này không nằm ở độ lớn của ngân sách, mà nằm ở thứ tự ngân sách chảy đi.

Phần lớn những gì tôi viết cho đến đây dựa trên tài liệu do chính DARPA công bố. Những con số như 500 người trong 20 năm, 60 tổ chức, và học bổng 500.000 USD đều có thể kiểm chứng. Vấn đề nằm ở phần tiếp theo. Lần này, tôi không thu thập được đủ tài liệu độc lập để từ bên ngoài đánh giá chương trình này thực sự đã dẫn tới những vũ khí và hệ thống nào, hoặc những dự án nào đã tiêu tiền rồi kết thúc mà không có kết quả. Nghiên cứu quốc phòng đôi khi chôn kết quả trong im lặng và không dễ để lộ thất bại. Vì vậy, gọi YFA là một chương trình được thiết kế tốt sẽ chính xác hơn là khẳng định nó là một chương trình thành công. Thiết kế và kết quả là hai chuyện khác nhau. Việc bản thiết kế của một chương trình xuất sắc và việc quả thực sự mọc lên theo bản thiết kế đó cần hai loại bằng chứng khác nhau.

Với độc giả Việt Nam, câu hỏi mà chương trình này đặt ra không nằm ở quy mô ngân sách. Nhiều nước cấp tiền cho các nhà nghiên cứu trẻ. Điều đáng theo dõi là cách định hướng được gắn vào đồng tiền. Một chuyến đi thực địa bắt buộc, một chỗ ngồi đối diện với người dùng, một khoản đầu tư có điều kiện tiếp theo cho những người làm tốt, và cả các nghiên cứu sinh bên cạnh họ cũng được tính là một phần của nguồn nhân lực. Một quốc gia rải quỹ nghiên cứu và

một quốc gia đào một dòng kênh quốc phòng vào trong các quỹ ấy có thể trông giống nhau trên bề mặt, nhưng bên trong thì khác. Chúng ta nên đi theo mối liên kết này đến đâu, và nên dừng lại ở đâu? Phải tách điều đáng khâm phục ra khỏi điều sẽ nguy hiểm nếu sao chép nguyên xi. Đó là bài tập còn lại trước khi bước sang phần tiếp theo.

Deep Thoughts Industry Day và lối vào dành cho nhà nghiên cứu

Sáng ngày 6 tháng 2 năm 2026, từng người bắt đầu tụ lại trước số 675 North Randolph Street ở Arlington, Virginia. Lúc đó là 7:45 sáng. Sự kiện chưa bắt đầu, nhưng người tham dự đã đứng xếp hàng, chờ kiểm tra danh tính. Những chiếc điện thoại di động trong tay họ không thể đi qua ngưỡng cửa này. Máy ghi âm hay máy ảnh cũng không được vào. Các thiết bị điện tử nhỏ phải được gửi lại ở khu giữ đồ cạnh lối vào. Quán cà phê bên trong tòa nhà mở cửa lúc 7 giờ sáng. Bên tách cà phê, những nhà nghiên cứu lần đầu gặp nhau trao danh thiếp. Đây là cảnh mở đầu của Deep Thoughts Industry Day của DARPA.

Văn phòng phụ trách sự kiện này là Tactical Technology Office của DARPA. Người dẫn dắt chương trình là Kevin Sloan. Tên chương trình là Deep Thoughts. Công nghệ đang được bàn tới là các phương tiện dưới nước không người lái tự hành cỡ nhỏ. Mục tiêu là chế tạo những con tàu nhỏ có thể tự di chuyển trong biển mà không cần người trên tàu. Để xây dựng loại công nghệ này, sức của một nhà thầu quốc phòng là chưa đủ. Những người viết phần mềm, những người xử lý pin, và những người nghiên cứu dẫn đường dưới nước phải được tập hợp tại một nơi. Industry Day là nơi đầu tiên gọi những con người ấy vào cùng một phòng.

Ở đây cần dừng lại để nhìn cách DARPA vận hành một chương trình. DARPA không phải là một cơ quan rải tiền nghiên cứu rồi chờ kết quả tốt xuất hiện. Một quản lý chương trình quyết định vấn đề mình muốn giải quyết, đặt vấn đề đó trước thế giới, rồi tập hợp những người có thể trả lời nó. Industry Day là nút bấm đầu tiên. Đó là nơi công bố vấn đề, xem ai quan tâm, và thúc đẩy mọi người lập nhóm. Nếu tách cấu trúc của ngày này ra để xem, ta có thể thấy DARPA sàng lọc các nhà nghiên cứu và gọi họ vào bên trong như thế nào.

Để một nhà nghiên cứu bước vào chương trình này, bước đầu tiên là lấy được một tài liệu. Thông báo xuất hiện lần đầu vào ngày January 20, 2026. Chín ngày sau, vào January 29, DARPA ban hành Amendment 01. Số hiệu tài liệu là DARPA-SN-26-17. Điểm được thay đổi là cách nhận phụ lục kỹ thuật. Phụ lục này là controlled unclassified information, gọi tắt là CUI. Đây là tài liệu ở mức trung gian, không mở cho mọi người, nhưng cũng không phải tuyệt mật. Ban đầu, thông báo chỉ nói rằng hướng dẫn sẽ được đưa ra sau thông qua hệ thống mua sắm. Bản sửa đổi đã thay điều đó, yêu cầu các tổ chức có khả năng xử lý CUI phải trực tiếp yêu cầu tài liệu qua một đường dẫn được chỉ định. Hạn cuối cho yêu cầu này là 4 p.m. Eastern Time ngày February 4, 2026. Việc đăng ký tham dự sự kiện phải hoàn tất trên website riêng trước 4 p.m. ngày February 2, tức sớm hơn hai ngày. Chỉ những người đã đăng ký trước mới có thể bước qua cửa. Sửa đổi nhỏ này, được đưa ra chín ngày sau thông báo đầu tiên, ngay từ đầu đã xác định lại tài liệu có

thể đến tay ai.

Rào cản đầu tiên đối với nhà nghiên cứu xuất hiện trong cảnh này. Đó là quốc tịch. Chương trình này xử lý thông tin chịu sự kiểm soát của International Traffic in Arms Regulations, gọi tắt là ITAR. Vì lý do đó, người tham dự bị giới hạn ở công dân U.S. đại diện cho các công ty U.S. Các nhà nghiên cứu mang quốc tịch nước ngoài và các tổ chức ở nước ngoài không thể bước vào căn phòng này. Một nhà nghiên cứu người Korea sẽ phải dừng lại ở điểm này. Những chỗ ngồi bên trong của nghiên cứu quốc phòng U.S. trước hết được chia theo màu hộ chiếu, dù năng lực có mạnh đến đâu.

Sự kiện bắt đầu lúc 8:30 a.m. và kết thúc lúc 3:30 p.m. Địa điểm là DARPA Conference Center. Lịch trình trong ngày được chia thành hai phần. Buổi sáng, phần tổng quan toàn bộ chương trình và Technical Area 1 được giải thích ở cấp CUI. Những người vào phiên này phải đồng ý tuân thủ Department of Defense Instruction 5200.48 và National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-171. Nếu sĩ quan an ninh Eric Bafour yêu cầu, họ phải xuất trình giấy tờ tùy thân có ảnh do chính phủ cấp. Buổi chiều, mức phân loại tăng lên một bậc. Technical Area 2 được xử lý ở cấp top secret. Muốn ngồi trong căn phòng đó, một người phải đã có sẵn security clearance, và facility security officer tại tổ chức của người đó phải gửi visit request tới DARPA thông qua Defense Information System for Security. Mã hệ thống được chỉ định là DDAAUS4. Fax và email mã hóa cũng có thể được dùng làm kênh thay thế. Chỉ cách nhau một cánh cửa, một số người đã ngồi cùng nhau vào buổi sáng không thể vào căn phòng buổi chiều.

Ngay cả sau khi dựng lên các lớp cửa như vậy, DARPA vẫn vẫy gọi những cái tên xa lạ. Thông báo khuyến khích mạnh mẽ sự tham gia của các bên đề xuất phi truyền thống. Nhóm này gồm doanh nghiệp nhỏ, trường đại học và viện nghiên cứu, cùng các công ty mới lần đầu ký hợp đồng với chính phủ. Điều đó có nghĩa đây không phải cuộc tụ họp chỉ dành cho các nhà thầu quốc phòng khổng lồ. DARPA liệt kê năm mục tiêu cho ngày này. Thông báo cho ngành công nghiệp, giới học thuật và chính phủ về tầm nhìn và mục tiêu của chương trình. Để những người có mối quan tâm và năng lực phù hợp gặp nhau. Giải thích cho người mới tham gia biết chương trình đi theo nguyên tắc nào và sẽ đi qua các mục tiêu trung gian nào. Giúp các tổ chức có chuyên môn và cơ sở cần thiết lập nhóm. Thu thập câu hỏi tại địa điểm tổ chức rồi sau đó trả lời trong một tài liệu hỏi đáp. Nếu nhìn kỹ năm dòng này, chúng cùng hướng về một điều. DARPA giữ ngưỡng cửa cao, nhưng cố làm cho phạm vi những người có thể bước qua ngưỡng cửa ấy rộng nhất có thể.

Sự kiện này cũng đáng được chú ý vì nó không kết thúc như một buổi trình bày một chiều. Trong giờ ăn trưa và buổi chiều, ban tổ chức dành riêng thời gian để người tham dự bàn chuyện hợp tác với nhau. Đó là nơi một startup mạnh về phần mềm và một công ty lâu năm hiểu phần cứng có thể bù vào khoảng trống của nhau và lập thành một đội. Sau sự kiện, thông

tin liên hệ của những người đồng ý được phân phát dưới dạng danh sách. Mục đích là để họ tiếp tục các cuộc trao đổi chưa kịp hoàn tất trong ngày hôm đó. Với một nhà nghiên cứu, lợi ích thật sự là cuộc gặp một đối một với người phụ trách chương trình. Các cuộc gặp riêng với Kevin Sloan không diễn ra trong ngày sự kiện đông đúc, mà tiếp tục trực tuyến vào Monday, February 9, và Tuesday, February 10, sau cuối tuần. Để có một suất như vậy, người tham dự phải đăng ký riêng tới địa chỉ email được chỉ định trước hạn chót đăng ký. Cấu trúc này đưa người nêu ra bài toán và người có thể trả lời bài toán ấy đối diện nhau, không phải trong một ngày ồn ào đông người, mà trước một màn hình yên tĩnh.

Có một điểm cần ghi nhận. DARPA gán các tuyên bố miễn trừ ở cuối thông báo. Việc tham dự Industry Day không phải điều kiện để nộp đề xuất sau này. Bản thân sự kiện không phải request for proposals hay request for information chính thức. Chính phủ cũng sẽ không hoàn trả chi phí tham gia. Nó có thể trông giống một lời mời ẩn tượng, nhưng về mặt pháp lý, đó không gì hơn một cuộc họp sơ bộ để chia sẻ thông tin. Thái độ này gắn với cách chúng ta nên đọc nó. Sẽ khó nhìn vào một Industry Day rồi nói DARPA đã mở toang mọi cánh cửa. Những cánh cửa mở và những cánh cửa đóng nằm cạnh nhau trong cùng một thông báo.

Khi ngày này được đọc cùng với phần trước, bức tranh trở nên rõ hơn. Nếu Young Faculty Award là một cơ chế giữ cánh cửa mở trong thời gian dài cho các giáo sư trẻ, thì Industry Day là một cơ chế gọi người vào bên trong khi một chương trình cụ thể mở cửa. An ninh được siết chặt đến mức ngột ngạt, nhưng phạm vi lời mời lại rộng hơn dự đoán. Điểm va chạm giữa hai lực này cho thấy cách DARPA sàng lọc các nhà nghiên cứu. Các ngưỡng về quốc tịch và quyền tiếp cận an ninh vẫn tồn tại, nhưng với những người có thể vượt qua các ngưỡng ấy, DARPA không gạt bỏ một công ty nhỏ hay một người lần đầu làm việc cho chính phủ.

Nếu Korea hình dung một hệ thống tương tự, chỉ riêng một ngày này đã cho thấy cả điều đáng học hỏi lẫn điều khó bề nguyên sang. Cách để một program manager nêu ra một vấn đề rồi kéo các startup và trường đại học xa lạ vào để lập nhóm là điều đáng học. Bức tường ITAR, vốn cắt tư cách tham gia theo quốc tịch, bên trong United States là một cơ chế bảo vệ ngành công nghiệp trong nước, nhưng nhìn từ bên ngoài thì đó là một bức tường không thể vượt qua. Khi bàn về một mô hình Korea, điều quan trọng có thể không phải là sân khấu gây ấn tượng, mà là thiết kế tinh tế ghi cùng lúc quy tắc mở cửa và quy tắc đóng cửa trong cùng một văn bản.

Ngưỡng mà DARPAConnect cố hạ xuống

Hãy hình dung một assistant professor trẻ ở một trường đại học. Trong tay là một công nghệ được tạo ra qua nhiều đêm trong phòng thí nghiệm. Ba bài báo đã được công bố, và công nghệ ấy đã giành giải tại một hội nghị. Một ngày nọ, vị giáo sư muốn thử công nghệ này trong nghiên cứu quốc phòng. Ngay lúc đó, một bức tường hiện ra. Không ai giải thích phải liên hệ với DARPA như thế nào, phải nộp những giấy tờ gì, hay hợp đồng thực chất là gì. Các công ty như Lockheed Martin hoặc Boeing có những bộ phận chuyên trách thủ tục này. Vị assistant

professor thì không có bộ phận nào như vậy. Tất cả những gì đang có chỉ là một ý tưởng tốt.

DARPAConnect là lối đi được mở ra cho vị trợ lý giáo sư này.

Hãy bắt đầu từ cái tên. DARPAConnect là một cổng hướng dẫn trực tuyến do DARPA vận hành. Nó nhắm đến những người lần đầu tìm cách bước vào nghiên cứu quốc phòng, chứ không phải các nhà thầu quốc phòng hiện có. Đối tượng là các nhà nghiên cứu đại học, các startup mới thành lập, và các doanh nghiệp nhỏ và vừa chưa từng làm việc với chính phủ. Ý tưởng là đặt sẵn bản đồ và biển chỉ đường vào tay họ, để họ không lạc trong thế giới xa lạ mang tên DARPA. Bên dưới đó là nhận thức rằng chỉ mở cửa thôi là chưa đủ. Với người không biết cánh cửa ở đâu, hoặc sau khi bước vào thì chuyện gì xảy ra, một cánh cửa mở cũng chẳng khác gì một cánh cửa đóng.

Hãy nhìn cụ thể xem nó trao cho họ những gì. Tài liệu Industry Day của chương trình Deep Thoughts, được công bố vào cuối tháng 1 năm 2026, giới thiệu ba khóa học miễn phí do DARPAConnect cung cấp. Các khóa này theo hình thức on demand, nên người học không phải kết nối vào một giờ cố định và có thể xem bất cứ khi nào muốn.

Khóa đầu tiên giải thích hệ thống trao tài trợ của DARPA và các yêu cầu mời nộp đề xuất. Các phương thức hợp đồng của Department of Defense khác xa giao dịch giữa các công ty thông thường. Khóa này giúp những người lần đầu gặp các cơ chế xa lạ, như other transaction agreements hoặc nguồn tài trợ Small Business Innovation Research đã được nhắc trong các chương trước, hiểu được khung vận hành. Khóa thứ hai giải thích cách dùng tốt Proposers Day. DARPA hầu như luôn tổ chức một sự kiện Proposers Day trước khi bắt đầu một chương trình mới. Khóa này dạy trước cho người tham gia cách giới thiệu công nghệ của mình và nên lập nhóm với những loại công ty nào. Khóa thứ ba hướng dẫn cách để một đề xuất được chấp nhận. Các chỉ số hiệu năng mà DARPA đòi hỏi rất khắt khe theo chuẩn học thuật. Nó giúp một nhà nghiên cứu vốn chỉ quen viết bài báo biết cách hướng một tài liệu về nhu cầu an ninh quốc gia.

Ba khóa học này có một điểm chung. Tất cả đều nhắm vào ngưỡng của thủ tục và thông tin. Chúng là phần hướng dẫn dành cho những người không vào được không phải vì thiếu công nghệ, mà vì không biết phải vào bằng cách nào. Sự khác biệt này quan trọng hơn vẻ ngoài của nó. Ngưỡng năng lực và ngưỡng thông tin là hai vấn đề khác nhau. Nếu ngưỡng năng lực được hạ xuống, chất lượng nghiên cứu có thể giảm. Nếu ngưỡng thông tin được hạ xuống, chất lượng không giảm. Trái lại, nó đưa lên sân khấu những người có công nghệ tốt nhưng đã quay đi vì không biết đường. DARPAConnect chạm vào ngưỡng thứ hai này.

Việc hạ thấp ngưỡng không dừng lại ở các khóa học trực tuyến. Chính các thông báo chương trình của DARPA cũng chỉ về cùng một hướng. Hãy nhìn lại tài liệu Deep Thoughts Industry Day vừa được nhắc đến. Thông báo chính thức này khuyến khích mạnh mẽ sự tham gia của các bên đề xuất phi truyền thống. Cụm từ bên đề xuất phi truyền thống không phải là lời nói trang trí.

Tài liệu nêu rõ phạm vi. Nó bao gồm các doanh nghiệp nhỏ, các cơ sở học thuật và nghiên cứu, cùng những công ty mới lần đầu tham gia hợp đồng với chính phủ. Vị trợ lý giáo sư được hình dung ở trên nằm đúng trong phạm vi này. Một cánh cửa từng chỉ hướng về các nhà thầu quốc phòng khổng lồ nay đã quay sang các phòng thí nghiệm đại học và các startup trong gara chỉ bằng một câu trong thông báo.

Ở đây ta nên dừng lại một lát. Khi một thông báo gọi các công ty mới, nghĩa ngược lại là trước đó nó đã không gọi họ. Thị trường nghiên cứu quốc phòng từ lâu đã bị một số ít công ty lớn chiếm giữ. Có lý do cho điều đó. Quy định dày đặc, quá trình kiểm chứng kéo dài, và một văn hóa không dễ chấp nhận thất bại đã bén rễ. Trong môi trường ấy, chỉ những tổ chức có nhân sự chuyên trách đủ sức xử lý thủ tục mới còn trụ lại. DARPAConnect và điều khoản về bên đề xuất phi truyền thống có thể được đọc như những nỗ lực dùng tay lay chuyển tấm bảng đã cứng lại ấy.

Còn một con đường khác hướng tới giới học thuật. Tháng 6 năm 2026, DARPA công bố các Director's Fellows mới, đồng thời ghi nhận rằng Young Faculty Award đã tròn 20 năm. Young Faculty Award, đã được xem xét ở phần trước của chương này, là một chiếc thang cũ kéo các nhà nghiên cứu ở giai đoạn đầu sự nghiệp vào nghiên cứu quốc phòng. Hai mươi năm có nghĩa là chiếc thang này không phải một thử nghiệm thoáng qua, mà là một thiết chế đã ổn định. Nếu phần hướng dẫn trực tuyến của DARPAConnect trao bản đồ cho người mới bước vào, thì Young Faculty Award cung cấp khoản tài trợ đầu tiên cho những nhà nghiên cứu thật sự bước vào với bản đồ ấy trong tay. Hai công cụ này vận hành ở những tầng khác nhau và chỉ về cùng một hướng. Một bên chỉ đường ở ngưỡng cửa, bên kia nắm tay người đã vào bên trong.

Những loại cánh cửa khác cũng đang mở ra. Multi-domain X Office của DARPA đã tổ chức Spark Tank Pitch Day vào tháng 6 năm 2026. Cái tên nghe có vẻ vui. Sự kiện này, gợi nhớ đến một chương trình tuyển chọn startup, đưa các công nghệ có thể dùng cho cả dân sự và quân sự lên sân khấu dưới danh nghĩa thiết kế lưỡng dụng. Các lĩnh vực được nhắm tới gồm điện tử, phần cứng, vật liệu, microsystems và robotics. Người tham gia đứng trên sân khấu, trình bày ngắn, rồi nhận sự quan tâm ngay tại chỗ. Đây là một cấu trúc cho phép họ gõ cửa bằng vài phút thuyết trình thay vì một bản đề xuất dày cộp. Có thể đọc nó như một nỗ lực làm cho chính hình thức bước vào trở nên nhẹ hơn. Với những người thậm chí không thể bắt đầu dưới sức nặng của giấy tờ, nó mở ra một lối khác: vài phút trước micro.

Đó là bức tranh mà các tài liệu cho thấy. Bây giờ đến lúc phải hỏi một cách thẳng thắn.

Các tư liệu trong phần này cho thấy rõ DARPA đã mở cửa. Có các khóa học miễn phí, các thông báo kêu gọi công ty mới, Young Faculty Award đã đi qua 20 năm, và một ngày pitching. Nhưng mở cửa là một chuyện; biết có bao nhiêu người thật sự bước qua cánh cửa đó, giành được hợp đồng, và chuyển giao công nghệ tới các đơn vị lại là câu hỏi khác. Về trước được các tài liệu này xác nhận. Về sau thì chỉ riêng các tài liệu này chưa xác nhận được. Phần này không

có số liệu bên ngoài cho thấy có bao nhiêu người đã tham gia khóa học, bao nhiêu người trong số đó vượt qua vòng đề xuất, hay tỷ lệ thành công đã tăng bao nhiêu so với trước đây. Vì vậy tôi sẽ không dùng phỏng đoán để lấp đầy quy mô của kết quả.

Có một nhận định rằng trung bình phải mất 14 năm để một vũ khí của U.S. được đưa vào biên chế thực địa. Trong các bài viết trước, tôi đã dùng con số này như bối cảnh để giải thích độ cứng của hệ thống mua sắm quốc phòng. Nó có thể làm một đường tham chiếu để đánh giá bức tường mà DARPAConnect muốn vượt qua dày đến mức nào. Nhưng tôi sẽ không dựng con số này lên như một bằng chứng độc lập cho bản thảo này. Bối cảnh phải ở đúng vị trí của bối cảnh, và tôi không muốn trộn lẫn điều đã được xác nhận với điều chưa được xác nhận. Tôi giữ nguyên tắc này không phải vì tôi rụt rè. Nếu DARPA chỉ được khắc họa như một huyền thoại thành công, trí tuệ thiết kế mà chúng ta thật sự cần học sẽ bị chôn dưới tiếng vỗ tay.

Vì vậy, nhận định của phần này phải thận trọng. DARPAConnect là một nỗ lực thiết kế lại con đường đi vào nghiên cứu quốc phòng. Chương trình đặt mục tiêu vào những người mới tham gia, giải thích quy trình qua các khóa học, gắn lời mời bằng ngôn ngữ của thông báo chính thức, và còn chuẩn bị cả sân khấu trình bày qua các ngày pitch. Hướng đi rất rõ. Quy mô kết quả vẫn còn để ngỏ.

Điểm mà Hàn Quốc nên quan sát khi hình dung một cửa sổ nghiên cứu và phát triển kiểu Hàn Quốc cũng nằm ở đây. Điều đáng học là thiết kế mở cửa. Đó là khả năng tách ngưỡng thông tin khỏi ngưỡng năng lực, rồi chỉ hạ phần có thể hạ. Giải thích quy trình qua hướng dẫn trực tuyến, ghi rõ đối tượng được mời trong thông báo, và giảm sức nặng của giấy tờ qua một sân khấu trình bày là những cách đáng thử. Nhưng trước khi sao chép chúng, phải giữ thêm một thói quen. Trước khi tự hào rằng cánh cửa đã được mở, hãy đếm xem người ta có thật sự bước qua cánh cửa đó hay không. Nếu sau đó không âm thầm đếm số người tham gia, tỷ lệ dẫn tới hợp đồng, và danh sách công nghệ được chuyển giao cho các đơn vị, cửa sổ ấy vẫn chỉ là một khẩu hiệu quảng bá, còn bàn cờ vẫn đông cứng. Chúng ta có thể khôi phục kỹ năng mở cửa của DARPA, nhưng cũng phải mang theo thói quen tự mình kiểm chứng kết quả bên trong những cánh cửa ấy. Nếu thiếu con mắt kiểm chứng đó, cửa sổ chúng ta xây có thể kết thúc như một cánh cửa đóng khác, chỉ có cái tên nghe ẩn tượng.

Chương 18. Điểm khởi đầu cho một DARPA của Hàn Quốc

Một cánh cửa được mở bằng một chữ ký ở Brussels

Ngày 17 tháng 7 năm 2025, một lễ ký kết lặng lẽ diễn ra tại trụ sở Ủy ban châu Âu ở Brussels, Bỉ. Đèn máy ảnh lóe lên vài lần, một bản tin ngắn lướt qua vòng quay tin tức, và đến tối hôm đó những câu chuyện khác đã đẩy nó sang một bên. Quốc gia đặt tên mình lên văn kiện là Republic of Korea. Đó là thủ tục để gia nhập Horizon Europe, chương trình nghiên cứu rộng lớn của châu Âu, với tư cách một quốc gia liên kết. Đây là trường hợp đầu tiên thuộc loại này đối với một quốc gia châu Á.

Một cuốn sách về DARPA kết thúc bằng châu Âu và một lễ ký kết ở Brussels có thể nghe hơi đột ngột. Nhưng nếu mở bản tin hằng tuần do Korea-EU Research Centre, hay KERC, công bố ngày 21 tháng 8 năm 2025, khung cảnh ấy sẽ hiện ra khác. Lễ ký kết đó là một ô cửa cho thấy cái tên DARPA đã vượt sang các văn kiện chính sách ở phía bên kia thế giới và bám lại ở đó như thế nào. Một tổ chức do United States lập ra đã trở thành mô hình được viết vào thiết kế ngân sách của châu Âu, và Korea vừa bước lên bàn cờ ấy. Nếu muốn nói về một DARPA của Korea, đây là điểm bắt đầu trung thực. Tôi dùng chữ trung thực vì ngay từ đầu, tôi muốn ghìm lại sự nôn nóng nhảy thẳng từ ghen tị sang bắt chước.

Theo bản tin của KERC, Korea đã có thể tham gia ngay vào Pillar 2 của Horizon Europe với tư cách quốc gia liên kết từ ngày 1 tháng 1 năm 2025, theo các biện pháp chuyển tiếp. Pillar 2 là trực xử lý các thách thức toàn cầu và năng lực cạnh tranh công nghiệp. Trong ba năm tới, khoản đóng góp của Korea sẽ là 22.5 triệu euro, khoảng 33 tỷ won Hàn Quốc. Nếu chỉ nhìn vào con số, khoản này khá khiêm tốn trong quy mô ngân sách quốc gia. Nhưng cánh cửa mà số tiền ấy mở ra thì không hề khiêm tốn. Chúng ta cần biết bên trong cánh cửa đó có gì trước khi thấy được sức nặng thật sự của con số này.

Châu Âu đổi hướng

Vì sao châu Âu lại mở cánh cửa này vào lúc này? Nếu đọc chậm bản tóm lược của KERC, ta sẽ thấy rõ rằng toàn bộ bức tranh nghiên cứu của châu Âu đang đổi hướng. Trước đây, biến đổi khí hậu và khoa học cơ bản thuần túy đứng ở trung tâm ngân sách nghiên cứu của châu Âu. Giờ đây, an ninh và quốc phòng đã tiến lên phía trước. Sự thay đổi này trước hết xuất hiện trong các khẩu hiệu.

Ba Lan, nước giữ chức chủ tịch luân phiên trong nửa đầu năm 2025, đưa khẩu hiệu "Security, Europe!" lên hàng đầu. Ba Lan tuyên bố sẽ xem quốc phòng, kinh tế, lương thực và an ninh mạng như một gói thống nhất, đồng thời nói sẽ mở rộng việc dùng trí tuệ nhân tạo. Đan Mạch, nước tiếp quản trong nửa cuối năm, cũng đặt độc lập an ninh và năng lực cạnh tranh lên trước

dưới khẩu hiệu "A Strong Europe in a Changing World." Dù quốc gia thay đổi, trọng tâm trong các khẩu hiệu vẫn chỉ về cùng một hướng. Khi khẩu hiệu thay đổi ở châu Âu, dòng tiền sẽ chuyển động phía sau.

Dòng tiền có thể được kiểm tra bằng các con số. Ủy ban châu Âu đã trình một đề xuất cho Khung Tài chính Đa niên tiếp theo, trị giá 2 nghìn tỷ euro. Bên trong đó là Quỹ Năng lực Cạnh tranh châu Âu mới được thành lập. Quy mô của quỹ này là 409 tỷ euro, khoảng 600 nghìn tỷ won. Trong bốn lĩnh vực mà quỹ này sẽ rót tiền vào, "quốc phòng và không gian" xuất hiện rất rõ. Bên cạnh chuyển đổi sạch và khử carbon, chuyển đổi số, y tế và công nghệ sinh học, quốc phòng được nêu tên là một mục tiêu đầu tư cốt lõi. Điều này có nghĩa là châu Âu đã bắt đầu nổi bật trực tiếp mục tiêu phát triển công nghệ với quốc phòng và năng lực sinh tồn. Nói thẳng cho độc giả Hàn Quốc, châu Âu từ lâu đã do dự khi tài trợ trực tiếp cho nghiên cứu quân sự. Sự thận trọng của một lục địa từng trải qua hai cuộc chiến tranh thế giới đã được viết vào cấu trúc ngân sách của họ. Sự thận trọng ấy giờ đang sụp đổ.

Khoảnh khắc DARPA xuất hiện trong các văn kiện châu Âu

Nhân vật chính của cuốn sách này để lộ tên mình ngay trong các văn kiện châu Âu. Ủy ban châu Âu cho biết họ đang thay đổi Hội đồng Đổi mới châu Âu, hay EIC, bằng cách lấy Cơ quan Các dự án Nghiên cứu Tiên tiến Quốc phòng của Hoa Kỳ, DARPA, làm hình mẫu, để có thể tập trung hỗ trợ cho các startup quốc phòng và công nghệ lưỡng dụng. Ủy ban cũng tuyên bố rằng trong chương trình Horizon Europe tiếp theo, các dự án lưỡng dụng sẽ mặc nhiên được hỗ trợ trong mọi lĩnh vực.

Tôi xin dừng lại một chút để giải thích thuật ngữ lưỡng dụng. Lưỡng dụng chỉ công nghệ được phát triển cho mục đích thương mại dân sự nhưng cũng có thể chuyển thẳng sang mục đích quân sự và an ninh. AI, drone không người lái và điện toán lượng tử là những ví dụ điển hình. Công nghệ dành cho drone giao hàng có thể chuyển thành drone trinh sát, còn AI tối ưu hóa logistics có thể chuyển thành AI xử lý mục tiêu. Châu Âu, nơi trước đây chỉ tài trợ cho nghiên cứu thuần túy dân sự, đang tự tay xóa đi ranh giới đó.

Trọng lượng của việc nói rằng DARPA là hình mẫu không hề nhẹ. [Inference] Câu đó đọc lên giống như một sự sẵn sàng tài trợ cho những công nghệ có rủi ro thất bại cao, nhưng nếu thành công thì có thể đảo lộn chiến trường. Nghiên cứu châu Âu, vốn lâu nay gắn với bộ máy hành chính phức tạp và sản phẩm học thuật, dường như đang tuyên bố rằng họ sẽ vận hành như một đường ống kết hợp giữa vốn đầu tư mạo hiểm kiểu Mỹ và mua sắm nhanh. Bản tin KEREC không nói trực tiếp như vậy. Đây là cách tôi diễn giải câu đó. Tôi đánh dấu rõ để sự kiện trong nguồn và nhận định của tôi không bị trộn lẫn.

Trường hợp Israel cho thấy tiền dành cho công nghệ lưỡng dụng có thể trở thành một vũ khí nhạy cảm đến mức nào. Tháng 7 năm 2025, khi cuộc khủng hoảng nhân đạo trở nên nghiêm

trọng hơn vì lệnh phong tỏa lương thực ở Gaza, Ủy ban châu Âu đề xuất hạn chế các startup Israel tham gia EIC Accelerator. Báo cáo KERC đánh giá biện pháp này là một lệnh trừng phạt có mục tiêu, nhắm vào những lĩnh vực mà công nghệ Israel có khả năng cao được dùng kếp cho quân sự và an ninh. Bàn tay trao tiền cũng trở thành bàn tay cắt tiền. Tài trợ cho công nghệ lưỡng dụng đã bắt đầu vượt ra ngoài hỗ trợ kỹ thuật và trở thành đòn bẩy của ngoại giao và sức mạnh quân sự. Korea có một điểm cần ghi nhớ. Bước vào cánh cửa tài trợ nghiên cứu của châu Âu cũng có nghĩa là bị ràng buộc với các phán đoán chính trị của châu Âu.

Ngân sách tăng gấp đôi, cuộc cạnh tranh giành con người

Đứng sau tất cả những dòng chảy này là Horizon Europe thế hệ tiếp theo, chương trình được gọi là FP10 trong các tài liệu. Ủy ban châu Âu đề xuất nâng ngân sách này, vốn sẽ vận hành từ năm 2028 đến năm 2034, lên 175 tỷ euro, khoảng 260 nghìn tỷ won Korea, tức khoảng gấp đôi quy mô hiện nay. Chương trình được tổ chức quanh bốn trục: khoa học xuất sắc, năng lực cạnh tranh và xã hội, đổi mới, và European Research Area. Trục thứ hai, phần chạm đến việc đưa công nghệ vào đời sống thực, vận hành cùng với Competitiveness Fund trị giá 409 tỷ euro đã nhắc ở trên.

Tăng tiền không phải là toàn bộ câu chuyện. Commissioner Zaharieva nói rõ rằng trước khi tăng ngân sách, bà sẽ theo đuổi cải cách trước, để loại bỏ các thủ tục lãng phí và vận hành hệ thống gọn hơn. President von der Leyen cũng xác nhận rằng FP10 sẽ giữ tính độc lập của mình, đồng thời được kết nối chặt chẽ với Competitiveness Fund. Họ đang giữ hai mục tiêu cùng lúc: mở rộng nguồn tiền trong khi cắt phần dư thừa. Bất cứ ai biết bộ máy quản lý nghiên cứu và phát triển của Korea đều sẽ thấy cảnh này quen thuộc. Ngân sách tăng, nhưng thủ tục vẫn như cũ, nên tiền không thể chảy theo tốc độ của chính nó. Nỗi lo ấy trông khá giống nhau ở Brussels và Seoul.

Cuộc đua giành con người đang diễn ra song song. Ủy ban đã công bố một gói mang tên "Choose Europe for Science". Cốt lõi của gói này là trao cho các nhà nghiên cứu đầu sự nghiệp sự ổn định tài chính và kéo họ đến châu Âu. Thí điểm Marie Curie trị giá 22,5 triệu euro gắn hỗ trợ cho nhà nghiên cứu trong hai đến ba năm với nghĩa vụ của cơ sở tuyển dụng phải cung cấp thêm hai năm việc làm và một con đường tiến tới vị trí lâu dài. Nó dùng để giữ lấy vấn đề các nhà nghiên cứu trẻ mất chỗ đứng khi hợp đồng ba năm kết thúc. Pháp mở "Choose France for Science", tập trung vào không gian và các lĩnh vực số, trong khi Đức đang vận hành chương trình "1,000 Heads" để đưa về 1.000 tài năng quốc tế, bao gồm các học giả Mỹ. Hội đồng Nghiên cứu châu Âu đã công bố một siêu tài trợ từ năm 2026, có thể dồn tối đa 7 triệu euro cho một người trong bảy năm. WIDERA, chương trình nhằm thu hẹp khoảng cách vùng miền, nhận 29 triệu euro. Đây là một cuộc chiến tiền bạc toàn diện để giành nhân tài.

Hàn Quốc đã bước vào giữa dòng chảy rộng lớn này. Với tư cách quốc gia liên kết đầu tiên của châu Á, Hàn Quốc nay có thể tiếp cận trực tiếp các nguồn vốn của Competitiveness Fund trị giá

409 tỷ euro và 175 tỷ euro trong FP10 Pillar 2. Hàn Quốc và EU đang nói rộng bước đi hợp tác mạng bằng việc hoàn tất đàm phán về một hiệp định thương mại số. KERC xây cầu nối bằng cách tóm lược các điểm cốt lõi của các chương trình làm việc theo cụm, để các nhà nghiên cứu Hàn Quốc có thể kết nối dễ hơn với nguồn vốn châu Âu này. Đúng lúc châu Âu mô phỏng DARPA, Hàn Quốc đã có được một chỗ trên bàn cờ đó. Chữ ký duy nhất ở Brussels ấy không chỉ là một khoản đóng góp khiêm tốn.

AI Làm Gì Trên Chiến Trường

Trong lúc châu Âu xoay về phía quốc phòng, AI đã thay đổi bàn cờ trên chiến trường. Báo cáo "U.S. Policy Trends and Implications for Securing AI-Cyber Superiority", do Software Policy & Research Institute, hay SPRI, công bố năm 2026, lần theo thực tế ấy một cách sát sao.

Cần đọc báo cáo này một cách thận trọng. Tên các chiến dịch và những con số trong đó là các nhận định được SPRI tổng hợp và truyền đạt, không phải những sự kiện mà chúng tôi đã trực tiếp xác minh tại hiện trường. Ngay từ đầu, tôi đã cam kết đọc tài liệu hoạch định như tài liệu hoạch định, và đọc các tường thuật được báo cáo như các tường thuật được báo cáo. Ở đây tôi cũng giữ cam kết đó. Xin hãy đọc những cảnh dưới đây trong khuôn khổ "báo cáo nói như vậy."

Báo cáo của SPRI cho thấy khoảnh khắc AI và không gian mạng hội tụ qua vài cảnh khác nhau. Báo cáo nói rằng trong cuộc chiến Nga-Ukraine năm 2022, tình trạng gián đoạn liên lạc vệ tinh và các cuộc tấn công chính xác bằng AI đã xuất hiện; và trong xung đột Iran-Israel năm 2024, AI đã trở thành một lực răn đe nắm quyền chủ động trên chiến trường. Báo cáo cũng nêu một trường hợp từ một chiến dịch Mỹ-Israel, trong đó nền tảng chọn mục tiêu của Palantir xử lý hơn 1,000 mục tiêu trong vòng 24 giờ. Bên cạnh đó là một trường hợp phòng không đánh chặn hơn 99 phần trăm số tên lửa và drone được phóng đi. Chúng tôi không thể tự mình kiểm chứng tính xác thực của các con số này. Nhưng hướng mà báo cáo muốn chỉ ra thì rõ ràng. AI nay đã trở thành cả mũi giáo lẫn tấm khiên.

Con đường của DARPA giải thích sự thay đổi này đã lớn lên trong không gian mạng như thế nào. Năm 2014, DARPA mở Cyber Grand Challenge và bắt đầu một thử nghiệm trong đó máy móc tự tìm và tự sửa các lỗi hỏng mã. Công việc từng được các hacker con người xem xét từng điểm một đã được giao cho máy móc. Trong AI Cyber Challenge, hay AIXCC, vừa hoàn tất gần đây, một hệ thống suy luận mạng do Team Atlanta tạo ra đã tự động tìm lỗi hỏng trong mã nguồn mở quy mô lớn và tạo bản vá với chi phí trung bình thấp, 152 dollars. Máy móc đã sửa thứ mã mà con người không thể kiểm tra hết.

Cùng công nghệ ấy cũng chảy sang phía bên kia. Báo cáo ghi nhận rằng một mô hình AI do Anthropic phát hành vào tháng 4 năm 2026 đã cho thấy năng lực cao trong phân tích lỗi hỏng và tạo đường tấn công, qua đó chỉ ra hai khuôn mặt của AI: vừa là công cụ phòng thủ, vừa là vũ khí tấn công. Bàn tay sửa mã và bàn tay đột nhập vào mã đến từ cùng một công nghệ. Tính hai mặt

này là gánh nặng lớn mà phòng thủ mạng phải mang.

Những Cặp Mắt Thay Đổi Theo Từng Chính Quyền

Chiến lược mạng của Hoa Kỳ đã thay đổi cách nhìn về AI mỗi khi chính quyền thay đổi. Báo cáo của SPRi chia quá trình chuyển đổi đó thành bốn giai đoạn.

Trong thời kỳ Obama, trọng tâm đặt vào việc cải thiện hạ tầng liên bang và bảo vệ tài sản trí tuệ. AI được xem như một động cơ đổi mới trong tương lai, nhưng vẫn chủ yếu ở mức ngăn chặn việc đối thủ đánh cắp công nghệ. Nhiệm kỳ đầu của Trump nêu lên ý tưởng phòng thủ phủ đầu dưới khẩu hiệu "hòa bình thông qua sức mạnh" và bắt đầu nhìn nhận AI như một nền tảng kỹ thuật cho năng lực phòng thủ mạng. Trong thời kỳ Biden, khả năng phục hồi và trách nhiệm của doanh nghiệp được đưa lên phía trước, cùng với các yêu cầu về "security by design" và "responsible AI." AI được khuyến khích như một công cụ phòng thủ, nhưng cũng bị xem là một yếu tố rủi ro khiến hệ thống trở nên phức tạp hơn.

Chiến lược mạng quốc gia do chính quyền Trump thứ hai công bố vào tháng 3 năm 2026 đã định nghĩa lại AI, từ một biện pháp phòng thủ thụ động thành một phương tiện tạo lợi thế tấn công. Với "ưu thế công nghệ" và "sự thống trị công nghệ" được đặt ở tuyến đầu, chiến lược này xác lập "agentic AI," loại AI có thể tự thực hiện các hoạt động phát hiện và làm gián đoạn phủ đầu, làm công cụ thực thi cốt lõi cho các hoạt động mạng. Agentic AI có nghĩa là AI có thể tự phán đoán và tiếp tục hành động mà không cần con người ra lệnh trong từng lần. AI, vốn từng ở vị trí phòng thủ, đã được đẩy ra tuyến đầu của tấn công.

Khung chính sách này xuất hiện trong "AI Action Plan" do United States công bố vào tháng 7 năm 2025. Kế hoạch chia thành hai hướng. Một hướng là "AI for cybersecurity". Hướng này đưa AI vào phòng thủ và tấn công như một công cụ làm việc để tăng tốc độ phản ứng. Hướng còn lại là "cybersecurity for AI". Vì chính các hệ thống AI và dữ liệu cũng trở thành mục tiêu của tấn công mạng và đầu độc, hướng này bảo vệ toàn bộ tầng công nghệ đó. Mài sắc ngọn giáo và bảo vệ bàn tay cầm giáo được đặt cạnh nhau. Để làm việc này, United States tập hợp nhân tài đại học cho các hackathon, xây dựng các trung tâm dữ liệu an ninh cao xử lý tình báo thô, và lập một "AI Information Sharing and Analysis Center" để chia sẻ thông tin về mối đe dọa giữa các lĩnh vực hạ tầng trọng yếu.

Một chương trình của DARPA khớp đúng với chính sách này. [Inference] Tuyển bảo vệ tầng công nghệ AI dường như trùng với chương trình SABER của DARPA. SABER là nỗ lực chặn các cuộc tấn công đối kháng, trong đó kẻ địch làm nhiễu nhẹ đầu vào của AI, đồng thời duy trì một "AI red team" bền vững bên trong Department of Defense. Tấn công đối kháng là kiểu tấn công trộn một lượng nhiễu rất nhỏ vào một hình ảnh trông vẫn bình thường với mắt người, khiến AI nhầm xe tăng thành xe buýt. Những câu chữ trong kế hoạch hành động đã có hình hài cụ thể qua một chương trình của DARPA, nhưng mối liên hệ này là cách diễn giải của tôi dựa trên báo

cáo SPRI.

Cái bóng của một chiến lược chạy theo ưu thế

Một chiến lược chạy theo ưu thế luôn mang theo cái bóng của nó. Báo cáo SPRI chỉ ra ba mâu thuẫn mà United States phải giải quyết.

Một mâu thuẫn là va chạm giữa việc nới lỏng quy định để thúc đẩy đổi mới và đồng thời đòi hỏi an ninh. Nếu doanh nghiệp được trao nhiều quyền tự do hơn, tốc độ sẽ tăng, nhưng nếu các yêu cầu an ninh nặng nề được đặt lên trên, tốc độ ấy lại chậm lại. Tốc độ và an toàn kéo ngược nhau. Mâu thuẫn khác là thể lưỡng nan an ninh, trong đó việc thúc đẩy ưu thế kích thích nỗi sợ của bên kia và tạo ra một cuộc chạy đua vũ trang. Nếu AI tiên tiến được đưa ra như một vũ khí tấn công, sự lo ngại sẽ tăng lên ở các đối thủ như China và Russia, rồi chính họ mở rộng các mối đe dọa mạng bằng AI, tạo thành một vòng luẩn quẩn. Mâu thuẫn cuối cùng là ma sát với đồng minh. United States muốn dẫn dắt các chuẩn mực đa phương, nhưng cũng cố chuyển trách nhiệm và chi phí phòng thủ mạng sang cho đồng minh. Một yêu cầu kiểu như, hãy cùng chúng tôi xây dựng chuẩn mực nhưng chia sẻ chi phí riêng, sẽ làm rạn nứt sự gắn kết trong liên minh theo thời gian.

Ba mâu thuẫn này lặng lẽ nói với chúng ta một điều. Dù công nghệ mà DARPA tạo ra xuất sắc đến đâu, nó vẫn có thể kêu cọt két nghiêm trọng ở cấp chính sách. Thành công công nghệ không đồng nghĩa với thành công chiến lược. Lời hứa không chỉ mô tả DARPA như một huyền thoại thành công được giữ trong những đoạn như thế này.

Âm thanh cảnh báo cũng rất lớn. Trong một báo cáo tháng 3 năm 2026, RAND Corporation cảnh báo về một "cyber surprise", tức tình huống một đối thủ được trang bị trí tuệ nhân tạo tổng quát phát động một cuộc tấn công mạng quy mô lớn vào thời điểm bất ngờ. Ngược lại, báo cáo ghi nhận rằng "AI Action Plan" của Korea, công bố tháng 2 năm 2026, bị đánh giá là gây thất vọng về chiều sâu chiến lược vì phần lớn chỉ liệt kê những việc phải làm. Europe đã đổi hướng bằng tiền, United States thúc đẩy vũ khí hóa thông qua học thuyết, còn văn kiện của Korea vẫn dừng ở mức liệt kê hạng mục. Điểm xuất phát của Korea hiện ra khi chúng ta nhìn nghiêm túc vào sự đối lập này.

Độc riêng các cuốn sách trước đây và các nguồn mới

Trước khi chuyển sang câu chuyện của Hàn Quốc, tôi sẽ chia nền tảng lập luận thành hai lớp. Tôi chỉ dùng phần bàn về AI quốc phòng của Hàn Quốc trong cuốn sách trước của tôi, "The AI Defense Revolution," như bối cảnh. Điều này có nghĩa là tôi sẽ không đặt phần trình bày của cuốn sách đó thành một cơ sở độc lập cho các khẳng định sự kiện mới. Vì sao cần phân biệt như vậy? Nếu tôi đưa một cuốn sách trước đó của cùng tác giả vào như thể đó là bằng chứng, những nhận định chưa được kiểm chứng có thể khoác áo sự thật đã được xác minh. Vì vậy, tôi chỉ đặt cuốn sách trước đó làm bối cảnh để nhớ lại hoàn cảnh của Hàn Quốc, còn các sự kiện

mới thì gắn với source_id trong sổ nguồn này.

Với tư cách bối cảnh, tình hình hiện nay của Hàn Quốc được cuốn sách trước mô tả như sau. Đối mặt với "vách đá quân số" do dân số suy giảm, Hàn Quốc đang theo đuổi "Defense Innovation 4.0" và hướng tới xây dựng hệ thống ba trục thông minh cùng kill web. Agency for Defense Development, ADD, giữ vị trí trung tâm, và Defense AI Center của cơ quan này đã phát triển vào tháng 1 năm 2025 thành Defense Artificial Intelligence Technology Research Institute, với ngân sách 15 tỷ won Hàn Quốc và khoảng 1.000 người. Hanwha Systems, LIG Nex1, Korea Aerospace Industries, và Hyundai Rotem kết hợp từ trên xuống để xây dựng các hệ thống vũ khí. Xin nhấn mạnh lại, phần trình bày này là chẩn đoán do cuốn sách trước đưa ra, và tôi không tính nó là một khẳng định sự kiện đã được xác nhận độc lập.

Điểm đau mà cuốn sách đó chỉ ra không phải là công nghệ, mà là thể chế. Cuốn sách chẩn đoán rằng thời gian trung bình để đưa một loại vũ khí vào sử dụng ở Hàn Quốc là 14 năm. Tốc độ ấy không phù hợp với phần mềm AI, thứ có thể lỗi thời chỉ sau một hoặc hai năm. Đến khi một hệ thống AI mới mua được triển khai, công nghệ ấy có thể đã cũ hơn bảy hoặc tám thế hệ. Văn hóa quan liêu không dung thứ thất bại và ngân sách R&D bị dồn vào các dự án ngắn hạn cũng kìm hãm tiến độ. Vì vậy, cuốn sách đã nêu ra các nhiệm vụ gồm một tuyến mua sắm nhanh phù hợp với phần mềm, một "Korean DARPA" chấp nhận rủi ro cao, và một đường ống nhân tài được nối bằng chế độ đãi ngộ phi truyền thống. Cuốn sách đã nhận diện vấn đề ở tầng lý thuyết.

Một lời thú nhận thẳng thắn về những nguồn đầy các câu chuyện thành công

Các nguồn mới cho thấy lý thuyết đó thật sự vận hành ở Hoa Kỳ như thế nào. Tôi xin dừng lại một chút và nói thẳng một điều. Phần lớn nguồn tư liệu chúng ta có là phần giới thiệu chương trình của DARPA và các trường hợp chuyển giao thành công. Chúng ta gần như không có tài liệu nào kiểm chứng từ bên ngoài về thất bại và lãng phí của DARPA.

Đây không phải là vấn đề nhỏ. Ai hiểu tổ chức này đều có thể đoán rằng trong nhiều chương trình DARPA đã theo đuổi, chỉ một phần đi được vào thực địa, còn nhiều chương trình hơn đã lặng lẽ khép lại. Những tài liệu còn lại trong tay chúng ta nghiêng về các câu chuyện thành công đã sống sót. Khi đọc các câu chuyện chuyển giao thành công dưới đây, nên nhớ rằng đây có thể là những cảnh được chọn riêng vì chúng thành công. Chúng ta có thể học công thức thành công, nhưng vô số lần bị loại bỏ bị công thức ấy che khuất đang nằm trong khoảng lặng của nguồn tư liệu. Nếu giả vờ không nhìn thấy khoảng lặng đó, cuộc bàn luận về một DARPA Hàn Quốc sẽ bắt đầu bằng việc chỉ nhìn thấy một nửa bức tranh.

Đặt tiền đề đó trước mắt, chúng ta hãy nhìn vào các trường hợp chuyển giao. Jariet Technologies là một công ty sản xuất chiplet chuyển đổi tín hiệu cho mạng truyền thông tốc độ

siêu cao. Đây là những mảnh bán dẫn nhỏ chuyển đổi giữa tín hiệu analog và tín hiệu số, và trong cuộc cạnh tranh về phổ tần vô tuyến, hiệu năng của linh kiện này dẫn thẳng tới ưu thế. Công ty bắt đầu với 4.5 triệu dollars vốn cơ bản SBIR từ DARPA, rồi giành được các hợp đồng triển khai trị giá 150 triệu dollars từ những nơi như Lockheed Martin. Khoản vốn hạt giống 4.5 triệu dollars đã lớn lên thành một hợp đồng lớn hơn hơn ba mươi lần.

SimVentions là một công ty xây dựng nền tảng mô hình hóa và mô phỏng. Công ty khởi đầu với 1.5 triệu dollars vốn tài trợ và phát triển thành hợp đồng Phase III trị giá 14 triệu dollars có bổ sung trí tuệ nhân tạo. Hoa Kỳ đã xây cây cầu từ khoản vốn hạt giống nhỏ đến các hợp đồng lớn thông qua SBIR và thẩm quyền Other Transaction. SBIR là chương trình Small Business Innovation Research, còn thẩm quyền Other Transaction là một phương thức ký hợp đồng linh hoạt, đi vòng qua các thủ tục mua sắm truyền thống. Nơi cuốn sách trước đó kêu gọi cần có một tuyến mua sắm nhanh, Hoa Kỳ đã xây sẵn một cây cầu vật chất và đang cho xe chạy qua đó.

Đọc văn kiện kế hoạch như đúng nghĩa là văn kiện kế hoạch

Cũng có những kế hoạch làm rung chuyển nền tảng của phần cứng và hậu cần. Những văn kiện này nên được đọc như kế hoạch, không phải như thành tựu đã đạt được. Nếu bỏ lỡ sự phân biệt này, phán đoán của chúng ta sẽ đi chệch rất xa.

O-Circuit của DARPA là một kế hoạch nuôi cấy 2 triệu neuron, loại bỏ bán dẫn silicon, và xây dựng một thiết bị xử lý sinh học có thể tính toán trong 24 giờ với mức điện năng thấp, 10 milliwatt-hours mỗi ngày. Đây là một ý tưởng gần với khái niệm phòng thí nghiệm: nuôi lớn các tế bào thần kinh sống và khiến chúng tính toán. Fleetwood là một bài trình bày hướng tới độc lập chuỗi cung ứng, phân giải hoàn toàn lignin từ chất thải sinh khối bị bỏ lại trên chiến trường, rồi sản xuất nhiên liệu và vật liệu chiến lược tại chỗ ngay cả khi bị phong tỏa hải quân bởi đối phương. Ý tưởng là chiết xuất và dùng nhiên liệu từ gỗ và cỏ nằm quanh chiến trường, ngay cả khi đối phương chặn đường biển và cắt nguồn tiếp tế.

Cả hai chương trình đều không phải là thành quả đã đạt được, mà là các kế hoạch được công bố như những việc sẽ được thử nghiệm. Chúng là những hình ảnh nằm trong phạm vi tài liệu FAQ và tài liệu briefing của ngành. Nếu đọc văn kiện kế hoạch như thành tựu, sự phóng đại sẽ xuất hiện, chẳng hạn như "Hoa Kỳ đã vận hành máy tính bằng bộ não sống." Sự phóng đại đó nhanh chóng dẫn tới nôn nóng: "chúng ta cũng phải làm việc đó ngay bây giờ." Lời hứa của cuốn sách này là giữ kỷ luật đọc kế hoạch như kế hoạch và thành tựu như thành tựu. Theo cùng kỷ luật đó, các chương trình như RAPIID trong y học chiến trường và SMART cho vật liệu chiến lược hữu ích như những tín hiệu, vì chúng đưa triển khai thực địa và phê duyệt quy định vào kế hoạch ngay từ đầu, nhưng tôi sẽ không chấp nhận chúng như những thành tựu đã hoàn tất.

Vậy nhiệm vụ của Korea là gì?

Khi đặt chẩn đoán về thể chế trong cuốn sách trước lên trên thực tế được các nguồn mới cho thấy, những nhiệm vụ mà Korea nay phải xây dựng trở nên rõ hơn một chút. Bốn khuyến nghị dưới đây đều là diễn giải của tôi dựa trên các nguồn. Tôi sẽ giữ dấu hiệu này đến cuối để sự kiện và phán đoán không bị trộn lẫn.

[Inference] Con đường đầu tiên là Korea không thể chỉ dừng lại ở các hệ thống tấn công vật lý. Hệ thống ba trục thông minh được mô tả trong cuốn sách trước đặt trọng tâm vào sức mạnh vật lý như tên lửa và robot. Như báo cáo SPRI cảnh báo, nếu đối thủ dùng artificial general intelligence để phát động một "cyber surprise", chính hệ thống chỉ huy và kiểm soát của Korea có thể dừng lại. Dù tên lửa chính xác đến đâu, nó cũng không thể được phóng nếu hệ thống chỉ huy bị tê liệt. Điều này dẫn tới khuyến nghị rằng Defense Artificial Intelligence Technology Research Institute phải phát triển, ở cùng cấp chiến lược với vũ khí vật lý, cả năng lực phòng vệ ngăn dữ liệu làm ô nhiễm các mô hình AI của lực lượng mình, như SABER của America, lẫn năng lực tấn công làm nhiễu neural networks của đối phương.

[Inference] Con đường thứ hai là xây một cây cầu thật sự để phá vỡ chu kỳ mua sắm kéo dài 14 năm. Điều này có nghĩa là đưa công thức Jarier và SimVentions lên đất Korea. Thay vì ở lại trong cấu trúc từ trên xuống, nơi ngân sách chỉ tập trung vào ADD và các công ty quốc phòng lớn, Korea nên phân bổ rộng seed funding cho các venture và phòng thí nghiệm đại học, gán vốn của công ty lớn vào những công nghệ đã thành công, và tạo bằng luật một xa lộ chuyển tiếp đưa chúng thẳng vào vũ khí tác chiến. United States đã tạo cây cầu này thông qua . Korea vẫn mới chỉ có nó như một khẩu hiệu. Cầu không được xây bằng lời nói. Chúng được xây bằng luật và ngân sách.

[Suy luận] Con đường thứ ba là Hàn Quốc không được chỉ đi ngang qua cánh cửa đang mở của châu Âu. Vị thế mới của Hàn Quốc với tư cách một quốc gia liên kết trong Horizon Europe là tấm vé vào Competitiveness Fund trị giá 409 tỷ euro và nhóm tài trợ Pillar 2. Nếu các công ty quốc phòng và startup AI của Hàn Quốc lập consortium với các trường đại học và viện nghiên cứu châu Âu, rồi giành được các dự án lưỡng dụng, một con đường sẽ mở ra để hệ thống vũ khí Hàn Quốc thấm dần một cách tự nhiên vào tiêu chuẩn châu Âu và thị trường dân sự. Đó là cơ hội nắm lấy một trục thứ ba mang tên châu Âu, vượt ra ngoài thị trường trong nước và khuôn khổ liên minh Korea-U.S. Như đã thấy trong trường hợp Israel, chúng ta cũng phải nhớ rằng tiền của châu Âu đi kèm chính trị châu Âu.

[Suy luận] Con đường thứ tư là chuẩn bị sự độc lập ở các nền tảng vận hành AI, tức điện năng và vật liệu. Cuộc thảo luận về AI trong cuốn sách trước nghiêng về thuật toán, dữ liệu và nền tảng. Những kế hoạch như O-Circuit và Fleetwood tìm cách thay đổi chính nguồn điện và logistics vận hành AI. Nếu hình dung một chiến trường thiếu pin và điện, Hàn Quốc cũng cần phân bổ nguồn vốn mạnh tay cho chip tính toán tiêu thụ ít điện và các công nghệ có thể sản xuất vật tư quân sự từ rác thải trong nước khi nguồn cung đất hiếm và nhiên liệu bị cắt đứt. Ở

đây cũng vậy, chúng ta phải nhớ rằng đây là một hướng đi học được từ các chương trình nước ngoài vẫn còn ở giai đoạn lập kế hoạch. Sự chuẩn bị bắt đầu khi chúng ta không nhằm kế hoạch của người khác với thành tựu của chính mình.

Bắt đầu bằng sự ganh tị, nhưng đừng dừng lại ở đó

Khi bốn con đường được đặt ra, tôi lo rằng cụm từ Korean DARPA có thể đông cứng thành một khẩu hiệu sao chép nguyên trạng Hoa Kỳ. Đúng là DARPA đáng để ganh tị. Ngay cả châu Âu cũng đã đưa cái tên này vào các tài liệu ngân sách của mình. Những cảnh trong đó hệ thống cấp vốn gieo mầm của Mỹ nuôi các công ty nhỏ lớn lên thành những hợp đồng khổng lồ rất đáng học hỏi.

Thái độ được giữ từ chương đầu không phải là chỉ vỗ tay trước những câu chuyện thành công. Các nguồn tư liệu trong tay chúng ta nghiêng về mặt sáng của DARPA, còn chúng ta không có đủ căn cứ để kiểm chứng mặt tối. Những chương trình bị gấp lại, ngân sách bị lãng phí, và vô số thử nghiệm chưa bao giờ bước ra thực địa đều ẩn sau sự im lặng của nguồn tư liệu. Trong hoàn cảnh đó, câu nói "chúng ta cũng hãy xây một DARPA" rất dễ trở thành khẩu hiệu được ném ra sau khi chỉ nhìn thấy một nửa bức tranh. Vì thế, trước khi hỏi nên sao chép điều gì, chúng ta phải hỏi trước điều gì không nên bê nguyên xi sang.

Hãy trở lại lễ ký kết tại Brussels. Thứ Korea nhận được ngày hôm đó là tấm vé bước vào nguồn tài trợ của Europe, nhưng cũng là một tấm gương. Europe đang cân nhắc phần nào của DARPA nên chọn cho hoàn cảnh của mình, phần nào nên bỏ. Một văn hóa chịu được thất bại, một hệ thống rải rộng vốn gieo hạt, một thái độ thành thật tách kế hoạch khỏi thành quả. Trong số đó, thứ Korea thật sự cần cấy ghép có lẽ không phải là tên của một tổ chức, mà là những thói quen nằm bên dưới nó. Điểm bắt đầu của một DARPA kiểu Korea có thể không nằm ở việc vẽ sơ đồ tổ chức, mà ở việc thành thật đếm xem chúng ta chưa biết những gì.

Điều Korea nên học từ cảnh này không hẳn là một nhãn hiệu kiểu American, mà là công việc nhìn trong cùng một mạch, trước khi thay biển hiệu của một viện nghiên cứu, xem các dự án thất bại được ghi lại bằng ngôn ngữ của kỳ rà soát ngân sách tiếp theo ra sao, một giám đốc chương trình có thể đặt cược phán đoán cá nhân trong bao nhiêu năm, nhà nghiên cứu được thưởng để chạy theo hướng nào giữa bài báo và bàn giao, người dùng quân sự có bước vào sớm và cùng sửa vấn đề hay không, ai chịu trách nhiệm cho đến khi những câu chữ đẹp trong đề xuất đi tới bãi thử thật, quy trình mua sắm, và bàn tay của binh sĩ, một công nghệ bắt đầu trông giống thành quả sẽ sống sót trong thủ tục nào của đơn vị nào, các công ty vừa và nhỏ gặp nguồn tài trợ giai đoạn tiếp theo, bãi thử, và người mua ở đâu sau khi nhận hợp đồng đầu tiên, các nhà nghiên cứu đại học có giành được thời gian trong hệ thống để học ngôn ngữ của người dùng thực địa hay không, và liệu có còn lại những hồ sơ giúp lần thử tiếp theo chính xác hơn những báo cáo che giấu thất bại hay không.

Support This AI Library Book

If this book was useful, you can support future translations, public editions, and open AI knowledge projects through PayPal.



PayPal

[**https://paypal.me/kimkjj**](https://paypal.me/kimkjj)

Scan the QR code or open the link above.