

CHĂN NUÔI THÔNG MINH

TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TRONG CHUỒNG TRẠI



Luật sư Kim Kyung-jin

Cuốn sách này được biên soạn và sản xuất với sự hỗ trợ của trí tuệ nhân tạo.

Nội dung tổng hợp các tài liệu được viết bằng những ngôn ngữ chính trên thế giới.

<https://notebook.google.com/notebook/be0dfa0c-fd2a-46f0-8561-27e1fc0c7abb>

Liên kết trên dẫn đến kho NotebookLM công khai chứa các tài liệu tham khảo dùng để biên soạn cuốn sách. Mọi người đều có thể truy cập và sử dụng tự do.

Mục lục

Chương 1	Chăn nuôi chính xác và chuyển đổi số trong chăn nuôi
1.1	Chuyển đổi số (DX) trong ngành chăn nuôi và mô hình Nông nghiệp 4.0
1.2	Cấu trúc bốn tầng của hệ thống chăn nuôi thông minh: cảm nhận, truyền dẫn, phân tích, thực thi
1.3	Điện toán biên, đám mây và học liên kết
Chương 2	Cảm biến đa phương thức và giám sát
2.1	Thị giác máy tính và thuật toán phát hiện đối tượng
2.2	Cảm biến gắn trên cơ thể và dữ liệu sinh học từ Internet vạn vật
2.3	Công nghệ đo không tiếp xúc: ảnh nhiệt, quang phổ và âm thanh
Chương 3	Sức khỏe và dự báo bệnh tật, sinh sản và dinh dưỡng
3.1	Trí tuệ nhân tạo phát hiện bệnh từ sớm
3.2	Đôi mắt đọc dấu hiệu động dục và sinh nở
3.3	Camera đo cơ thể: điểm thể trạng và ước tính khối lượng
Chương 4	Các trường hợp ứng dụng trí tuệ nhân tạo theo vật nuôi
4.1	Bò sữa và bò Hanwoo: robot vắt sữa và hàng rào ảo
4.2	Lợn: camera đọc tư thế và micro đếm tiếng ho
4.3	Gà: cách nhìn thấy một con giữa hàng chục nghìn con
Chương 5	Bản sao số và tính bền vững
5.1	Bản sao số: chuồng trại được dựng trong máy tính
5.2	Trí tuệ nhân tạo hiểu lời nói: AI tạo sinh và mô hình ngôn ngữ lớn
5.3	Methane, phúc lợi và chủ sở hữu dữ liệu

Chương 1

Chăn nuôi chính xác và chuyển đổi số trong chăn nuôi

1.1

Chuyển đổi số (DX) trong ngành chăn nuôi và mô hình Nông nghiệp 4.0

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu và dữ liệu thực địa. 4 giờ sáng, những vì sao phía trên mái chuồng vẫn chưa lặn. Không khí trong chuồng bò lạnh buốt, mỗi con bò nằm hoặc đứng ở một tư thế khác nhau, chậm rãi nhai lại. Chưa có người nào tới. Ở một góc phòng vắt sữa, cánh tay robot đứng im lặng chờ lượt tiếp theo. Hơi thở trắng xóa lan sau ô cửa kính, chỉ còn tiếng máy làm mát ù ù trầm thấp lấp đầy bóng tối. Đâu đó vang lên tiếng máng cỏ lạch cạch, rồi một tiếng chó sủa xa xăm cất lên và tắt hẳn. Đúng lúc ấy, thiết bị nhỏ đeo trên cổ con bò sữa ở ô số 3 chớp đèn xanh hai lần.

Trên màn hình máy tính ở văn phòng ngoài chuồng hiện ra cảnh báo rằng thời gian nhai lại của nó đã giảm so với bình thường. Trước khi con người mở mắt, máy móc đã bắt đầu phỏng đoán điều gì đang diễn ra bên trong cơ thể con bò.

Chỉ 10 năm trước, cảnh tượng này còn giống một đoạn phim khoa học viễn tưởng. Đã có thời người quản lý cầm đèn pin đi quanh chuồng, nhìn bò bằng mắt và sờ phân bằng tay để ước đoán sức khỏe. Giờ đây, camera độ phân giải cao gắn trên trần, micro thu âm cùng các thiết bị không dây đeo ở cổ và tai ghi lại hơi thở, dáng đi của vật nuôi suốt ngày. Dòng chảy đưa công nghệ thông tin và truyền thông, Internet vạn vật (Internet of Things, IoT) cùng trí tuệ nhân tạo vào tận giữa trang trại được gọi là chuyển đổi số trong ngành chăn nuôi (Digital Transformation, DX).

Người ta thường đặt nó trong dòng chảy lớn mang tên Nông nghiệp 4.0, nhưng những gì thực sự diễn ra trong chuồng cụ thể hơn nhiều: nhận ra riêng từng con bò, từng con lợn và từng con gà.

Cơ thêm thịt bò, thịt lợn và thịt gà của thế giới chưa có dấu hiệu lắng xuống. Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hợp Quốc dự báo đến năm 2050, mức tiêu thụ thịt sẽ tăng 73% và mức tiêu thụ sản phẩm sữa tăng 58% so với năm cơ sở. Năm 2022, khoảng 83 tỷ động vật trên cạn, gồm gà, vịt và lợn, đã bị giết mổ làm thực phẩm. Diện tích có thể mở rộng thành ruộng đồng có giới hạn, nước uống cho vật nuôi cũng vậy. Không thể cứ tăng mãi số lượng vật nuôi.

Những người từng chăm nom chuồng trại đang già đi, còn lao động trẻ sẵn lòng tiếp quản công việc thì hiếm khi xuất hiện. Ở các cuộc họp chăn nuôi cấp xã, phần lớn là những gương mặt cao tuổi; nhiều gia đình có con cái lên thành phố rồi không trở về. Chuyện văn phòng hợp tác xã chăn nuôi dán thông báo tuyển người suốt mấy tháng mà không nhận được một cuộc gọi nào đã không còn lạ.

Giá thức ăn và tiền điện tăng mỗi năm. Ở những quốc gia phụ thuộc nhiều vào ngũ cốc nhập khẩu làm thức ăn chăn nuôi, chỉ một biến động tỷ giá cũng đủ làm gánh nặng chi phí chao đảo. Mùa đông, hóa đơn điện vọt lên vì sưởi; mùa hè, vì làm mát và thông gió. Cùng lúc đó, quy định của chính phủ về cắt giảm methane và ammonia ngày càng dày đặc. Trong các kế hoạch quốc gia hướng tới trung hòa carbon, chăn nuôi bị chỉ ra là ngành phát thải nhiều methane. Lượng methane một con bò nhai lại thải ra mỗi ngày không hề nhỏ, vì thế đo và giảm phát thải đã trở thành phần không thể thiếu trong quản trị trang trại.

Khi những dịch bệnh như lở mồm long móng hay cúm gia cầm bùng lên, cả một chuồng trại có thể bị xóa sổ chỉ trong vài ngày. Cảnh xe tiêu hủy vật nuôi đổ ở đầu làng giờ không còn xa lạ. Số vật nuôi mà một người có thể quan sát bằng mắt có giới hạn rõ ràng, trong khi đàn vật nuôi cần chăm sóc đã từ hàng trăm tăng lên hàng chục nghìn con từ lâu.

Điều đáng sợ là bệnh tật tìm đến không một tiếng động. Khi viêm vú ở bò sữa hoặc đáng đi khắp khiếm vì đau chân đã lộ ra bên ngoài, bệnh thường đã tiến triển khá lâu. Vào khoảnh khắc nhip hàm nhai cỏ chậm đi chỉ một chút, mắt người rất khó nhận ra khác biệt mong manh ấy. Sản lượng sữa tụt mạnh, chi phí điều trị phình lên như quả cầu tuyết. Cách đồ cùng một lượng thức ăn cho cả đàn cũng mang lỗi hổng tương tự. Những con cần ăn nhiều và những con chỉ cần ăn ít đều nhận cùng một khẩu phần, thức ăn thừa bị bỏ đi, còn nitơ và phosphor trong chất thải chảy vào sông và đất.

Nỗ lực vượt qua những giới hạn ấy được gọi là chăn nuôi chính xác (Precision Livestock Farming, PLF). Đây là phương thức quản lý dùng cảm biến, camera và trí tuệ nhân tạo để theo dõi tình trạng cơ thể và hành vi của từng con vật suốt 24 giờ mỗi ngày. Trước kia, người ta gom cả chuồng bò, chuồng lợn hay chuồng gà thành một giá trị trung bình để chăm sóc. Chăn nuôi chính xác phá vỡ giá trị trung bình đó, coi bò số 17 và bò số 18 là hai cá thể khác nhau. Có thể hình dung như một bệnh viện từng dùng chung một đơn thuốc cho cả phòng bệnh, nay chuyển sang xem riêng hồ sơ của từng bệnh nhân.

Một ví dụ sẽ giúp dễ hình dung hơn. Bò số 17 cho hơn 40 lít sữa mỗi ngày, là cá thể có năng suất cao nên phải ăn nhiều thức ăn ngũ cốc mới không bị gầy. Bò số 18 đã già, lượng sữa giảm; nếu ăn cùng lượng thức ăn, nó lại béo lên và tạo thêm áp lực cho móng. Trước đây, hai con bò dùng chung một máng và cùng một loại thức ăn hỗn hợp. Trong hệ thống chăn nuôi chính xác, cảm biến đeo cổ đọc mã nhận dạng của từng con, còn máy cho ăn tự động cung cấp lượng và công thức thức ăn khác nhau cho mỗi con.

Lợn nuôi theo đàn cũng ở trong hoàn cảnh tương tự. Trong chuồng lợn có máy cho ăn điện tử, từng lợn nái phải bước riêng vào buồng cho ăn thì thức ăn mới được đưa xuống. Máy đọc thẻ đeo ở cổ, chỉ cấp lượng thức ăn phù hợp với cân nặng và giai đoạn mang thai của con lợn rồi mới mở cửa. Nhờ vậy, dù sống chung một chuồng, đàn lợn không bị chia thành những con quá béo và quá gầy.

Khác biệt giữa hai cách nuôi hiện rõ ngay từ bên ngoài. Trước kia, người chăm nuôi mỗi ngày nhìn một hoặc hai lượt rồi ghi tay vào sổ. Giờ đây, cảm biến, camera và micro tích lũy dữ liệu không ngừng cả ngày lẫn đêm. Trọng tâm đã chuyển từ phản ứng sau khi bệnh xuất hiện sang dự báo để hành động trước khi bệnh xảy ra.

Chăn nuôi chính xác vận hành theo ba bước: thu thập dữ liệu, phân tích dữ liệu và cuối cùng hỗ trợ con người ra quyết định. Ở bước đầu, cảm biến gắn trên cơ thể hoặc đặt trong chuồng, camera và micro gom nhiệt độ cơ thể, âm thanh và dáng đi. Trí tuệ nhân tạo đọc dữ liệu, học trạng thái bình thường riêng của từng con rồi tìm dấu hiệu lệch khỏi trạng thái đó. Sau cùng, nó hiển thị trên điện thoại của chủ trang trại những câu cụ thể như “Thời gian nhai lại của bò số 3 giảm 22% chỉ trong một ngày, nghi viêm vú giai đoạn đầu”, hoặc tự điều khiển máy cho ăn và quạt thông gió.

Màn hình mà chủ trang trại nhìn thấy không đầy những biểu đồ rối rắm. Nhiều hệ thống chỉ dùng ba màu xanh lá, vàng và đỏ để cho biết trạng thái chuồng trại ngay lúc này. Xanh lá nghĩa là bình thường. Vàng báo cần theo dõi thêm. Đỏ báo phải đến kiểm tra ngay. Nhờ một thiết bị nhỏ biến những con số phức tạp thành một màu sắc, cả những chủ trang trại lớn tuổi không quen máy tính cũng có thể quan sát toàn bộ chuồng trại bằng một chiếc điện thoại thông minh.

Chỉ cần nhìn vào quy mô thị trường trí tuệ nhân tạo trong chăn nuôi chính xác cũng có thể thấy tốc độ của dòng chuyển dịch này. Một báo cáo nghiên cứu thị trường ước tính thị trường trí tuệ nhân tạo trong chăn nuôi chính xác đạt 2,7 tỷ USD năm 2025 và 3,45 tỷ USD năm 2026. Đến năm 2030, con số được dự báo vượt 8 tỷ

USD. Hàn Quốc cũng không nằm ngoài dòng chảy. Chính phủ gọi xu hướng này là chăn nuôi thông minh và đặt nó ở trung tâm chính sách. Bộ Nông nghiệp, Lương thực và Nông thôn lập Kế hoạch cơ bản lần thứ nhất về phát triển nông nghiệp thông minh, xây dựng lộ trình từ năm 2025 đến năm 2029.

Viện Đánh giá Chất lượng Sản phẩm Chăn nuôi vận hành một đơn vị chuyên trách chăn nuôi thông minh từ tháng 6 năm 2025 và tháng 1 năm 2026 công bố thành lập Ban Chăn nuôi Thông minh. Tháng 5 năm 2026, Bộ Nông nghiệp, Lương thực và Nông thôn trao giấy chứng nhận bổ nhiệm cho các bạn trẻ dưới tên gọi Nhóm Thanh niên Hỗ trợ Chăn nuôi Thông minh. Mục đích là đưa những bàn tay trẻ và công nghệ số vào các trang trại đang già hóa. Lý do chính phủ vào cuộc rất rõ: nông thôn ngày càng ít người, còn dữ liệu trong chuồng trại ngày càng nhiều.

Các bài báo chính sách ghi nhận thực địa cũng cho thấy số trang trại lắp camera giám sát điều khiển không dây và máy phát hiện động dục đang tăng dần.

Trong chuồng bò có robot vắt sữa, bò tự bước vào phòng vắt. Robot đọc thẻ nhận dạng trên cổ để gọi lại sản lượng sữa lần trước và vị trí bầu vú của con bò. Cánh tay robot tính tọa độ rồi gắn chính xác cốc vắt vào từng núm vú. Không cần bàn tay con người, bò có thể được vắt sữa hai hoặc ba lần mỗi ngày vào lúc nó muốn.

Cảm biến bolus dạ cỏ mà bò nuốt trọn đóng vai trò lớn trong theo dõi sức khỏe. Thiết bị nhỏ hình viên thuốc đo độ pH và nhiệt độ trong dạ cỏ cách vài phút một lần rồi truyền đi bằng sóng vô tuyến. Nếu độ pH nằm dưới ngưỡng đã đặt trong một khoảng thời gian, hệ thống phát cảnh báo nguy cơ nhiễm toan. Trên đồng cỏ rộng, hàng rào ảo kết hợp hệ thống định vị toàn cầu (GPS), rung và âm thanh ở vòng cổ có thể thay thế hàng rào dây thép. Chủ trang trại chỉ cần vẽ một đường trên bản đồ điện thoại để di chuyển ranh giới đàn bò không được vượt qua bất cứ lúc nào.

Với lợn, đôi tai gánh một phần việc lớn. Micro gắn trên trần chuồng lọc riêng tiếng ho giữa âm thanh của hàng nghìn con vật. Hệ thống phân tích âm thanh như SoundTalks phân biệt tiếng kêu thông thường với tiếng ho do bệnh hô hấp, báo dấu hiệu truyền nhiễm trước khi con người nhìn thấy bất thường. Thiết bị mang tên Pig Cough Monitor cũng hoạt động theo nguyên lý ấy. Camera thay cho đôi mắt. Công nghệ nhận dạng trí tuệ nhân tạo mang tên YOLO chụp thân lợn đang đi qua bằng hình ảnh ba chiều, tính cân nặng mà không cần đưa lên cân, rồi xác định ngày thích hợp để xuất chuồng.

Bên cạnh lợn nái vừa sinh còn có một nguy cơ khác. Tai nạn lợn mẹ to lớn trở mình đè chết lợn con từ lâu đã là nỗi nhức nhối của các trang trại nuôi lợn. Camera trên trần đối chiếu tư thế lợn mẹ với vị trí lợn con theo thời gian thực; khi thấy tư thế nguy hiểm, nó phát âm báo trong ô chuông hoặc đánh thức lợn mẹ bằng thiết bị rung.

Với gà, tình hình lại khác. Một dãy chuồng có hàng chục nghìn con, con người không thể nhìn từng con. Camera chạy theo ray trên trần chụp suốt ngày màu mào đỏ hay nhợt, mí mắt có sưng hay không rồi chuyển hình ảnh cho trí tuệ nhân tạo. Micro nghe tách riêng tiếng mổ thức ăn và tiếng kêu, dùng cao độ cùng tần suất của âm thanh để đoán đàn gà đang yên ổn hay căng thẳng. Dữ liệu âm thanh và hình ảnh thu được còn được dùng làm thước đo lượng thức ăn tiêu thụ và mức tăng trọng. Máy móc nhận ra tình trạng của đàn gà trước khi nghe thấy bước chân con người.

Câu chuyện năng suất và câu chuyện làm vật nuôi dễ chịu tưởng như chỉ về hai hướng khác nhau. Một phía dễ được xem là chuyện tiền bạc, phía kia là chuyện cảm giác. Nhưng dữ liệu tích lũy ở các trang trại chăn nuôi chính xác lại chỉ về hướng khác. Những con vật ít chịu căng thẳng và được chăm sóc trước khi phát bệnh cho nhiều sữa và thịt hơn. Các con số một lần nữa cho thấy không thể để vật nuôi đau ốm mà vẫn mong giữ được lợi nhuận.

Một nghiên cứu theo dõi 90 trang trại bò sữa, lợn và gia cầm từ năm 2022 đến năm 2024 cho thấy sản lượng sữa tươi tại các trang trại bò sữa áp dụng chăn nuôi chính xác tăng trung bình 13.5%. Ở trang trại lợn, mức tăng trọng mỗi ngày cải thiện 15%. Lượng thức ăn cần để sản xuất 1 kg sữa tươi giảm từ 1.5 kg xuống 1.3 kg. Hệ số chuyển đổi thức ăn của lợn giảm từ 2.6 xuống 2.2. Vì kết quả được gộp từ nhiều quốc gia và trang trại khác nhau, không thể cho rằng mọi nơi đều cải thiện với cùng mức độ.

Trong cùng nghiên cứu, tỷ lệ viêm vú và què chân ở bò sữa giảm từ 18% xuống 10%. Các bệnh hô hấp và tiêu hóa ở lợn cũng giảm từ 21% xuống 12%. Nhóm nghiên cứu cho rằng kết quả cho thấy phát hiện chính xác và phản ứng sớm có thể giảm gánh nặng bệnh tật. Tuy nhiên, chỉ từ những con số này không thể khẳng định lượng kháng sinh sử dụng cũng giảm với tỷ lệ tương tự.

Công việc của con người cũng thay đổi. Khi robot vắt sữa tự động và thiết bị cho ăn đảm nhận việc lặp đi lặp lại, người quản lý có thể dành thêm thời gian chăm những con bò và bê vừa phát cảnh báo. Nghiên cứu 90 trang trại nói trên báo cáo rằng sau

khi áp dụng chăn nuôi chính xác, chỉ số phúc lợi vật nuôi cải thiện trong khoảng từ 16% đến 27%. Vào giữa trưa mùa hè, khi chỉ số nhiệt độ và độ ẩm trong chuồng vượt ngưỡng, quạt quay mạnh, màn sương nước mịn phun lên lưng bò. Cảm biến đọc cả nhiệt độ và độ ẩm điều khiển quạt thông gió và vòi phun để giảm nguy cơ stress nhiệt.

Mức tổn thất sữa tươi có thể ngăn được phụ thuộc vào khí hậu, kết cấu chuồng và thiết bị làm mát.

Nhưng tất cả những câu chuyện này không phải không có bóng tối. Trang bị robot vắt sữa tự động, camera 3 chiều và hệ thống thông gió thông minh đòi hỏi một khoản tiền lớn. Giá một robot đôi khi ngang với chi phí xây mới một chuồng trại nhỏ thông thường. Trang trại quy mô lớn, nhiều vốn có thể đi trước; hộ chăn nuôi nhỏ sống dựa vào nghề lại khó chạm tới thiết bị. Khoảng cách ấy có khả năng nới rộng theo thời gian thay vì thu hẹp. Trợ cấp nhà nước và các chương trình cho thuê thiết bị cố lấp khoảng trống, nhưng hiện nay cấu trúc vẫn gần với việc trang trại lớn giao tay trước.

Cảnh báo quá thường xuyên cũng là một vấn đề đau đầu. Cảm biến quá nhạy hoặc tiếng ồn lọt vào có thể khiến hàng chục cảnh báo giả làm điện thoại rung lên mỗi ngày. Chuyện chủ trang trại kiệt sức vì thông báo dội xuống mỗi rạng sáng rồi bấm chế độ im lặng cũng không hiếm. Đó là lý do ngay cả tín hiệu nguy hiểm thật sự đôi khi cũng bị bỏ qua. Gần đây, trí tuệ nhân tạo bắt đầu phân cấp cảnh báo, đưa những tín hiệu thật sự khẩn cấp lên trước để giảm bớt vấn đề này.

Thông tin liên lạc không phải lúc nào cũng trơn tru. Tín hiệu không dây ở chuồng trại vùng núi thường xuyên bị ngắt, thân hình dày của bò hay lợn cũng có thể chặn sóng vô tuyến. Thiết bị và phần mềm của mỗi công ty dùng tiêu chuẩn khác nhau, nên sự phiền toái phải nhập lại cùng một thông tin hôm qua trên màn hình hăng này, hôm nay trên màn hình hăng khác vẫn còn nguyên. Một bộ phận trong ngành mới bắt đầu thảo luận về tiêu chuẩn dữ liệu chung để giảm bất tiện ấy.

Còn một nỗi lo đặc biệt lặng lẽ: khoảng cách giữa con người và vật nuôi. Nếu chỉ chăm chú vào số liệu và biểu đồ trên màn hình, khả năng quan sát tích lũy qua việc trực tiếp nhìn, chạm vào bò rất dễ cùn đi. Những lúc một đường biểu đồ thay cho nhiệt độ và sự run rẩy của cơ bắp từng được cảm nhận bằng đầu ngón tay đang nhiều lên. Nguy cơ chỉ nhìn vật nuôi như cỗ máy tạo thịt và sữa cũng có thật. Ở chiều ngược lại, có chủ trang trại nói rằng nhờ giao việc cho ăn lặp lại và kiểm tra

tình trạng cho máy móc, họ có thêm thời gian vuốt ve lâu hơn những con vật bị bệnh.

Trở lại chuồng trại lúc rạng sáng. Khi người quản lý bước xuống xe tải và mở cửa văn phòng, những thông báo tích tụ suốt đêm đã phủ kín màn hình. Ông dùng ngón tay xác nhận cảnh báo nhai lại của bò số 3, nhưng vẫn xỏ ủng đi vào chuồng. Ông đặt tay lên sườn bò, dõi thật lâu theo nhịp thở lên xuống, rồi chỉ quay đi sau khi nhìn vào mắt nó. Bất thường mà máy phát hiện trước vẫn được con người xác nhận lần cuối bằng hai bàn tay.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Akinyemi, B. E., Siegford, J. M., Jessiman, L., Turner, S. P., Johnson, A. K., & Akaichi, F. (2025). Precision livestock farming usage among a subset of U.S. swine producers: Insights through a structural equation modeling approach. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100839.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100839>
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6-11.
<https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Kling-Eveillard, F., Allain, C., Boivin, X., et al. (2020). Farmers' representations of the effects of precision livestock farming on human-animal relationships. *Livestock Science*, 238, 104057.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104057>
- Lee, M., Tedeschi, L. O., & Seo, S. (2026). Biosensors in precision livestock farming in dairy production: Decoding animals' needs. *Animal Bioscience*, 39(4), 260154.
<https://doi.org/10.5713/ab.260154>
- Mehtab, A., Mun, H.-S., Laguna, E. B., Sharifuzzaman, M., Hasan, M. K., Kim, Y.-H., Gu, K. J., & Yang, C.-J. (2025). Precision livestock monitoring of lactating sows: YOLOv8-based behavioral analysis under varying feeding strategies. *Journal of Animal Science and Technology*, 67, e21.
<https://doi.org/10.5187/jast.2500395>
- Morrone, S., Dimauro, C., Gambella, F., & Cappai, M. G. (2022). Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to date overview across animal productions. *Sensors*, 22(12), 4319.
<https://doi.org/10.3390/s22124319>
- Rawat, S. K., & Kumar, V. (2026). Evaluation of productivity, welfare, and economic gains through precision livestock farming. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 10(4), 05-09.
<https://doi.org/10.33545/26174693.2026.v10.i4a.8036>
- Sani, M. I., van der Voort, M., Tekinerdogan, B., & Hogeveen, H. (2026). Application of precision livestock farming: Challenges and opportunities. *Animal Bioscience*, 39(4), 250895.
<https://doi.org/10.5713/ab.250895>
- Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez III, H. M., & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management. *Animal Bioscience*, 39(4), 250289.
<https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>
- Research and Markets. (2026). Artificial intelligence (AI) in precision livestock farming global market report 2026.
<https://www.researchandmarkets.com/reports/5980662/artificial-intelligence-ai-in-precision>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

Zin, T. T., & Tin, P. (2026). Computer vision in precision livestock farming: Artificial intelligence-driven technologies and applications for sustainable animal production. *Animal Bioscience*, 39(4), 260165.

<https://doi.org/10.5713/ab.260165>

Bộ Nông nghiệp, Lương thực và Nông thôn. (2025). Kế hoạch cơ bản lần thứ nhất về phát triển nông nghiệp thông minh (2025-2029). Bộ Nông nghiệp, Lương thực và Nông thôn.

<https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/584835/download.do>

Báo Nông dân. (2026, 1, 12). "Mở rộng chăn nuôi thông minh"... Viện Đánh giá Chất lượng Sản phẩm Chăn nuôi thành lập Ban Chăn nuôi Thông minh. Báo Nông dân.

<https://www.nongmin.com/article/20260112500274>

Bản tin Chính sách Đại Hàn Dân Quốc. (2026). Chăn nuôi thông minh, tìm lời giải tại hiện trường. Bản tin Chính sách Đại Hàn Dân Quốc.

<https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156619820>

1.2

Cấu trúc bốn tầng của hệ thống chăn nuôi thông minh: cảm nhận, truyền dẫn, phân tích, thực thi

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu và dữ liệu thực địa. 5 giờ sáng, đẩy cửa bước vào chuồng, bốn phía vẫn tối đen. Vài đốm sáng nhỏ nhấp nháy trong bóng tối. Đó là cảm biến dạng vòng cổ trên bò sữa số 47, đèn hồng ngoại của camera trần và đèn báo của cảm biến khí gắn trên tường. Hơi thở hít vào mang theo cả mùi thức ăn lẫn mùi thuốc sát trùng nhẹ nhẹ. Mùn cưa sột soạt dưới chân, một con bò ở sâu bên trong cất tiếng rống trầm. Con bò chẳng biết gì, vẫn nhai lại trước máng. Ngay lúc ấy, thiết bị trên cổ vẫn không ngừng đo chuyển động cổ của nó.

Trong chuồng trại tĩnh lặng này, những phép tính vô hình nhiều hơn hẳn những gì mắt nhìn thấy. Tín hiệu đi ra từ cơ thể bò phải vượt qua 4 lớp trước khi qua máy chủ rồi trở lại quạt và máng thức ăn: lớp cảm nhận chính xác, lớp truyền dẫn tốc độ cao, lớp quyết định thông minh và lớp thực thi tự động.

Bên trong cảm biến dạng vòng cổ của bò sữa số 47 có hai linh kiện chỉ bằng móng tay. Một là gia tốc kế đo chuyển động theo ba hướng, một là con quay hồi chuyển đo góc quay. Tùy thiết bị, gia tốc kế lặp lại phép đo chuyển động cổ bò từ vài lần đến hàng chục lần trong 1 giây. Tốc độ ấy đủ để phân biệt theo từng phút xem bò đang cúi đầu, đứng yên nhai lại hay nằm nghiêng nghỉ ngơi. Trên tai có thể điện tử cho biết mã cá thể. Mỗi lần bò ra vào chuồng, ăng-ten bên cửa tự đọc mã này và lưu lại con nào đã đứng trước máng vào lúc nào.

Sau này, khi con bò trở thành thịt trên quầy siêu thị, mã truy xuất trên bao bì có thể kết nối hồ sơ về trang trại, quá trình di chuyển và giết mổ. Một số trang trại tiến thêm một bước, cho bò nuốt cảm biến bolus dạ cỏ có hình như viên thuốc. Nằm lại trong dạ dày, cảm biến đo nhiệt độ cơ thể và độ pH suốt ngày rồi truyền ra bằng sóng vô tuyến. Vì được gắn lên cơ thể hoặc đưa vào bên trong, các thiết bị này được gọi là cảm biến đeo cho vật nuôi.

Cũng có thiết bị quan sát bò mà không chạm vào cơ thể. Camera 3 chiều treo trên trần quay hình liên tục, chọn những đoạn có chân sau và móng bò rồi chuyển sang máy tính. Các hình ảnh thu được cho biết bò khập khiễng đến mức nào khi bước đi và lượng mỡ tích tụ từ cột sống tới mông. Camera nhiệt làm lộ những vùng có nhiệt độ bề mặt tăng cục bộ bằng cách khác biệt màu sắc. Cảm biến nhiệt độ, độ ẩm cùng cảm biến ammonia, carbon dioxide và hydrogen sulfide đo không khí trong chuồng. Ở chuồng lợn, một mảng nhiều micro dùng cho nghiên cứu lọc tiếng ho khỏi các tạp âm khác.

Độ dẫn điện và số lượng tế bào soma đo trong phòng vắt sữa là chỉ dấu hỗ trợ phát hiện nguy cơ viêm vú. Không một giá trị đo đơn lẻ nào được dùng để khẳng định bệnh.

Việc chấm điểm thể trạng giờ cũng thuộc về camera chứ không còn là đôi mắt con người. Hệ thống đọc đường cong từ cột sống tới mông bằng ảnh ba chiều, rồi chấm theo thang 5 mức xem con bò gầy hay có nhiều mỡ. So với cách trước kia con người sờ dọc lưng để chấm điểm, giờ đây điểm số có thể được lấy thường xuyên và đồng đều hơn nhiều. Nó trở thành căn cứ đầu tiên để điều chỉnh lại công thức thức ăn.

Lớp cảm nhận chính xác này cũng có mặt tối. Phân bắn lên ống kính khiến camera chẳng khác nào nhắm mắt. Bò cọ mình vào hàng rào sắt có thể làm rơi thẻ tai. Theo thời gian, giá trị cảm biến có thể trôi khỏi mức hiệu chuẩn ban đầu, nên phải được hiệu chuẩn định kỳ. Chuồng càng đông, bò càng dễ đứng chồng hình lên nhau và tỷ lệ nhận dạng của camera càng giảm. Người quản lý phải lau ống kính theo chỉ dẫn của nhà sản xuất và mức độ bẩn, đồng thời kiểm tra thẻ còn gắn nguyên vẹn hay không. Cảm biến có thông minh đến đâu, dữ liệu cũng bắt đầu nói dối nếu thiếu bàn tay ấy.

Những con số từ cổ bò sữa số 47 không dừng lại ở đó. Chúng đi theo Bluetooth công suất thấp, Zigbee hoặc mạng truyền thông không dây tầm xa công suất thấp gọi là LoRaWAN, bay tới cổng kết nối đặt đâu đó trong chuồng. LoRaWAN có thể hoạt động nhiều năm chỉ với một viên pin nhỏ, còn một cổng kết nối đủ sức phủ bán kính vài kilomet. Tính đến cuối năm 2025, số thiết bị kết nối LoRaWAN trên toàn cầu đã vượt 125 triệu. Một công ty khởi nghiệp chăn nuôi ở Australia gắn thẻ tai sạc bằng năng lượng mặt trời cho bò trên đồng cỏ; mỗi thẻ nặng chưa tới 30 gram.

Ngay cả khi không có nguồn điện, vị trí vẫn được xác định theo thời gian thực trong phạm vi của cổng kết nối.

Trước khi tới cổng kết nối, tín hiệu cảm biến được một bo mạch cỡ lòng bàn tay thu gom đầu tiên. Bộ vi điều khiển giá rẻ, tiêu thụ điện thấp mang tên ESP32 đảm nhiệm việc này. Khi bo mạch nhỏ phát giá trị cảm biến dưới dạng thông điệp MQTT, cổng kết nối đăng ký chủ đề định sẵn để nhận giá trị. Độ tin cậy truyền tin được điều chỉnh bằng thiết lập chất lượng dịch vụ (QoS). Bo mạch phải sống qua nhiều tháng bằng một viên pin, nên tiết kiệm điện được ưu tiên trước tốc độ truyền thông.

Một con đường khác là dùng mạng mà nhà khai thác di động đã xây dựng. Phương thức gọi là Internet vạn vật băng hẹp (NB-IoT) khác LoRaWAN ở chỗ trang trại không phải tự dựng cổng kết nối và chất lượng liên lạc do nhà mạng chịu trách nhiệm. Nó mượn luôn trạm gốc đã có bên cạnh trang trại, không cần dựng tháp mới hay chôn cột điện mới. Nhưng trang trại phải trả phí hàng tháng, còn chuồng ở vùng núi xa trạm gốc vẫn chịu điểm yếu tín hiệu kém. Nếu trang trại đủ sức tự dựng cổng và muốn tự quản lý, LoRaWAN có vẻ phù hợp; nếu mạng di động đã tốt và muốn giao việc quản lý cho nhà mạng, NB-IoT là lựa chọn thực tế hơn.

Dữ liệu cổng kênh như video từ camera khó đi qua lối hẹp này. Vì vậy cần riêng những tuyến truyền thông có băng thông lớn như Wi-Fi 6, 4G hoặc 5G. Một nghiên cứu đã kết hợp Raspberry Pi 5 với mô-đun 5G để thử nghiệm cổng kết nối chuyên dùng cho chuồng trại. Trong môi trường thử nghiệm, độ trễ của Wi-Fi là 24.0 mili giây, 4G là 34.7 mili giây và chế độ 5G không độc lập là 38.5 mili giây. Giá trị thực tế có thể thay đổi theo tường chuồng, khoảng cách tới trạm gốc và mức tắc nghẽn mạng. Gửi cảm biến công suất thấp qua LoRaWAN hoặc NB-IoT, còn hình ảnh qua Wi-Fi hoặc 5G, là một trong những cấu hình thực tế.

Không cần khẳng định chọn một trong 4 cách. Với một trang trại nhỏ nuôi 50 bò Hanwoo, chỉ một mạng LoRaWAN nối thẻ tai với cảm biến nhiệt độ, độ ẩm có vẻ đã đủ. Khu trang trại bò sữa hơn 500 con lại khác. Tín hiệu thẻ tai phải gửi bằng LoRaWAN, còn hình ảnh camera giám sát bằng Wi-Fi hoặc 5G để hai loại dữ liệu không kéo chân nhau. Ở vùng núi xa trạm di động, dùng LoRaWAN cùng đường truyền vệ tinh sẽ phù hợp hơn; ở đồng bằng gần đô thị, dựa vào NB-IoT có vẻ ổn định hơn.

Vấn đề nằm ngay trong không gian chuồng trại. Mái khung thép và tường bê tông phản xạ sóng vô tuyến, thân hình dày của bò tự nó cũng trở thành bức tường chặn sóng. Cảm biến bolus nằm trong dạ cỏ phải phát tín hiệu xuyên qua thân bò, nên tỷ lệ thành công có thể giảm. Mạng cũng có lúc mất kết nối. Nếu bên trong cổng

không có bộ nhớ để giữ dữ liệu dù chỉ tạm thời, hồ sơ trong khoảng thời gian đó sẽ biến mất.

Những con số đi qua cổng kết nối được gom vào máy chủ hoặc một máy tính nhỏ đặt ở góc chuồng. Từ đây phép tính bắt đầu. Ban đầu, chúng chỉ là giá trị gia tốc trên ba trục X, Y, Z. Gộp các giá trị của một ngày sẽ tạo ra chỉ số hoạt động cho biết hôm nay con bò đi bao nhiêu. Phân tích tiếp chỉ số hoạt động sẽ làm lộ tình trạng cơ thể, như thời gian nhai lại và dáng đi có khác bình thường hay không. Chồng thêm kiến thức chăn nuôi, hệ thống đưa ra thời điểm khuyến nghị thụ tinh nhân tạo hoặc cảnh báo nguy cơ viêm vú. Mức nguy cơ thay đổi theo mô hình và trang trại kiểm chứng.

Dữ liệu phải lần lượt đi qua 4 ô gồm tín hiệu thô, chỉ số, trạng thái và phán đoán, rồi mới trở thành lời con người hiểu được.

Bò sắp sinh đôi khi bắt đầu chuyển dạ giữa đêm. Không ai có thể ngồi canh chuồng suốt đêm. Khi biểu đồ hoạt động và nhiệt độ cơ thể vẽ ra đường cong khác bình thường, hệ thống phát cảnh báo rằng thời điểm sinh đang tới gần. Có thể báo trước bao nhiêu giờ còn tùy thiết bị, giống bò và lịch sử sinh đẻ.

Phía đọc hình ảnh sử dụng mô hình nhận dạng thời gian thực YOLO và mạng nơ-ron tích chập (CNN) thuộc họ ResNet. Chúng phân biệt từng con bò và tìm dấu hiệu khắp khiếm trong dáng đi. Mạng nơ-ron tích chập giỏi đọc hoa văn phức tạp, còn phương pháp nhẹ như K láng giềng gần nhất (KNN) có thể chạy nhanh trên thiết bị ít tài nguyên. Mạng nơ-ron hồi tiếp và mô hình bộ nhớ dài-ngắn hạn (LSTM) đọc dòng thời gian, tính mối liên hệ giữa hoạt động hôm nay với bệnh tật hoặc sinh đẻ về sau.

Để chẩn đoán không dừng lại khi mạng trong chuồng bị ngắt, trí tuệ nhân tạo siêu nhẹ (TinyML) có thể chạy trên bộ vi điều khiển cũng đang được nghiên cứu.

Một nghiên cứu chuồng lợn công bố năm 2025 cho thấy một gương mặt khác của lớp quyết định. Không gian bên trong hẹp, không thể cảm cảm biến ở mọi vị trí mong muốn. Nhóm nghiên cứu thử trộn giá trị của vài cảm biến theo khoảng cách để ước tính trước giá trị ở chỗ trống, sau đó đặt mô hình chuỗi thời gian lên trên nhằm giảm sai số theo thời gian. Việc kiểm chứng dùng 34,992 hồ sơ thu từ tháng 1 đến tháng 8 năm 2025. Hệ số xác định giữa giá trị tính toán và thực tế là 0.970 với nhiệt độ, 0.978 với độ ẩm, 0.981 với carbon dioxide và 0.964 với ammonia.

Bài báo đặt điều kiện cảm biến ammonia dùng khoảng 8 đến 12 tháng, giá mỗi chiếc từ 60 đến 120 USD. Nhóm nghiên cứu ước tính thay một phần cảm biến vật lý bằng cảm biến ảo có thể giảm 30% đến 40% chi phí liên quan đến cảm biến. Các giá trị được lấp đầy còn được vẽ thành mô hình chuồng ba chiều trên giao diện web. Chủ trang trại xoay chuồng bằng chuột, nhìn màu sắc để biết ngay khu vực nào có không khí độc.

Nhưng lớp quyết định này có một điểm yếu mà nó không tự giải thích được. Mô hình học sâu dù đạt độ chính xác cao vẫn thường không thể nói vì sao đưa ra phán đoán ấy. Một mô hình đạt hơn 95% ở trang trại nghiên cứu cũng có thể tụt mạnh độ chính xác khi chuyển sang nơi khác giống vật nuôi, mật độ nuôi và kết cấu chuồng. Ngay cả thay đổi môi trường không đáng kể cũng có thể làm cảnh báo vang hàng chục lần mỗi ngày. Sau một đêm điện thoại báo hơn 20 lần, từ ngày hôm sau âm báo chỉ còn là tiếng ồn nền.

Tính toán xong không có nghĩa chuồng trại tự chuyển động. Quyết định phải theo dây điện đi xuống, qua bộ điều khiển logic khả trình (PLC), rồi tới cỗ máy thật sự hoạt động. Khi hệ thống phán đoán chỉ số nhiệt độ và độ ẩm (THI) vượt chuẩn, quạt thông gió tăng tốc, rèm làm mát có nước chảy và đầu phun sương mịn cùng bật. Khi quạt quay, khí nóng gần trần bị đẩy ra, vạch nhiệt kế trong chuồng hạ xuống thấy rõ. Robot đẩy khẩu phần hỗn hợp hoàn chỉnh (TMR) đưa thức ăn đã nằm trên bàn cho ăn lại gần bò. Robot cho ăn hoàn toàn tự động trộn và vận chuyển thức ăn có thể pha, cung cấp công thức đã định cho từng nhóm nuôi.

Trong phòng vắt sữa, hệ thống vắt sữa tự động (AMS) đọc thẻ tai điện tử và bắt đầu vắt khi bò tự bước vào. Với con bò bị xác định có chất lượng sữa bất thường, cổng phân loại tự động mở sau khi vắt xong và dẫn nó vào khu cách ly.

Trên đồng cỏ có hàng rào ảo kết hợp tín hiệu vị trí ở vòng cổ với kích thích điện ngắn, còn được gọi là eShepherd. Nó giữ bò khỏi vượt ranh giới mà không cần dây thép. Khi bò tới gần ranh giới, vòng cổ phát tiếng cảnh báo ngắn trước. Nếu nghe tiếng mà vẫn tiến lên, nó mới phát thêm một kích thích điện nhẹ. Sau khi cơ thể một con bò học được thứ tự ấy, về sau chỉ nghe âm báo nó đã tự quay đầu. Trên nền chuồng, robot dọn vệ sinh gọi là máy cào phân lỏng đi theo đường định sẵn, đẩy phân ra ngoài.

Nhiều hộ chăn nuôi dừng bước trước lớp thực thi cuối cùng này. Giá thiết bị tự động hóa chiếm phần lớn nhất trong tổng đầu tư chuồng trại. Quy mô càng nhỏ, càng khó vượt qua ngưỡng cửa. Máy kẹt dị vật hoặc động cơ quá nóng sẽ đứng

hắn, đôi khi giữ chân cả công việc trong chuồng. Còn một khó khăn nữa. Nếu công ty làm robot vắt sữa và công ty làm máy cho ăn dùng hai chuẩn truyền thông khác nhau, hai máy ở cùng một chuồng vẫn không đọc được dữ liệu của nhau và chỉ chạy riêng. Khi xích đứt hoặc dây đai trượt, từ giây phút đó thức ăn không còn được phân phối mà chỉ chất cao.

Màn hình robot vắt sữa hiện số liệu sữa vừa vắt, nhưng màn hình máy cho ăn không cho biết hôm nay con bò còn cần ăn bao nhiêu. Hai màn hình chỉ nhìn vào máy chủ của công ty mình, không nhìn thấy nhau.

Trở lại câu chuyện về con bò sữa, từ một tín hiệu chuyển động cổ đến lúc quạt quay chỉ mất nhiều nhất vài giây. Lớp cảm nhận tạo tín hiệu, lớp truyền dẫn mang tín hiệu đi, lớp quyết định đọc ý nghĩa và lớp thực thi làm quạt cùng máy cho ăn chuyển động. Nhiệt độ chuồng giảm sau khi quạt quay lại được cảm biến ở lớp cảm nhận ghi nhận, trở thành dữ liệu cho phán đoán kế tiếp. 4 lớp đi trọn một vòng, tạo thành vòng lặp khép kín. Trong mắt người, đó chỉ là một buổi sáng tĩnh lặng. Ánh nắng đầu tiên lọt qua cửa sổ phía đông.

Bò sữa vẫn đứng trước máng, nhưng trong khoảng ấy chuồng trại có lẽ đã chạy vòng lặp này nhiều lần. Đèn xanh trên cảm biến vòng cổ tối nay sẽ lại nhấp nháy.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6-11.
<https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Choe, H.-O., & Lee, M.-H. (2025). Digital twin-based virtual sensor data prediction and visualization techniques for smart swine barns. *Sensors*, 25(24), 7690.
<https://doi.org/10.3390/s25247690>
- Doe, N. P., Zagariasl, H., & Herglotz, C. (2026). Adaptive 5G gateway for smart livestock monitoring. *Proceedings of the BTU Cottbus-Senftenberg*.
<https://doi.org/10.5162/iCCC2026/P39>
- Gresse, A. U., & Van Marle-Köster, E. (2026). Precision livestock farming technologies to support sustainable beef cattle production: A South African perspective. *South African Journal of Animal Science*, 56(6), 226-242.
<https://doi.org/10.17159/sajas.v56i06.01>
- IoT Now. (2026, July 8). From remote pastures to satellite-connected fields: Why LoRaWAN is essential for smart agriculture. IoT Now.
<https://iot-now.com/2026/07/08/157331-from-remote-pastures-to-satellite-connected-fields-why-lorawan-is-essential-for-smart-agriculture/>
- Lee, M., Tedeschi, L. O., & Seo, S. (2026). Biosensors in precision livestock farming in dairy production: Decoding animals' needs. *Animal Bioscience*, 39(4), 260154.
<https://doi.org/10.5713/ab.260154>

- Rawat, S. K., & Kumar, V. (2026). Evaluation of productivity, welfare, and economic gains through precision livestock farming. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 10(4), 5-9.
<https://doi.org/10.33545/26174693.2026.v10.i4a.8036>
- Siachos, N., et al. (2026). Automated livestock monitoring using computer vision, infrared thermography, and machine learning. *Serbian Journal of Agricultural Science*.
<https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2406-2979/2026/2406-29792601026M.pdf>
- Suresh Kumar, B., et al. (2026). Design and implementation of an IoT-based autonomous environment and nutrition management system for precision dairy farming. *Journal of Science Engineering Technology and Management Science*, 3(4), 1-7.
<https://doi.org/10.64771/jsetms.2026.v03.i04.pp1-7>
- Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez III, H. M., & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management. *Animal Bioscience*, 39(4), 250289.
<https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>
- Yu, P., Teng, F., Zhu, W., Shen, C., Chen, Z., & Song, J. (2025). Cloud-edge-device collaborative computing in smart agriculture: architectures, applications, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1668545.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>
- Zin, T. T., & Tin, P. (2026). Computer vision in precision livestock farming: Artificial intelligence-driven technologies and applications for sustainable animal production. *Animal Bioscience*, 39(4), 260165.
<https://doi.org/10.5713/ab.260165>

1.3

Điện toán biên, đám mây và học liên kết

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu và dữ liệu thực địa. 3 giờ sáng, một ống kính camera lặng lẽ xoay trên trần chuồng bò sữa. Chủ trang trại vẫn nằm trong chăn, bên trong chuồng chỉ còn ánh đèn đỏ nhấp nháy từ cảm biến cạnh máng và tiếng thở của đàn bò. Ống kính chụp nhiều khung hình mỗi giây, ghi lại tư thế, hoạt động nhai lại và dáng đi của chúng. Tùy độ phân giải, tỷ lệ nén và bitrate, lượng video một camera tạo ra trong một tháng có thể lên tới vài terabyte.

Nếu đưa toàn bộ số video ấy lên đường truyền Internet rồi gửi đến máy chủ xa xôi, tuyến liên lạc của trang trại nông thôn sẽ chịu gánh nặng lớn.

Nhưng điều đó không xảy ra trong chuồng bò này. Chiếc hộp nhỏ gắn cạnh camera trần, cổng kết nối, hoàn tất phép tính ngay bên trong thay vì gửi video ra ngoài. Cách xử lý ngay tại nơi dữ liệu ra đời, trong cảm biến, camera và máy tính nhỏ ở chuồng, được gọi là điện toán biên (edge computing). Thuật toán nhận dạng mang tên YOLO xác định vị trí từng con bò, mô hình trí tuệ nhân tạo phía sau phân biệt xem nó đang nằm, nhai thức ăn hay co mình vì đau. Hệ thống có thể giữ dữ liệu gốc trong một thời hạn định sẵn hoặc xóa ngay, chỉ gửi thông tin sự kiện cần thiết ra ngoài.

Điện thoại của chủ trang trại nhận những câu ngắn như “Bò số 3 đang nghỉ”, “Nghỉ bò số 12 bị stress nhiệt”. Điều ông kiểm tra khi thức dậy không phải video tích tụ suốt đêm, mà là vài dòng tóm tắt này.

Khoảng trễ ngắn ngủi ấy gắn trực tiếp với an toàn của vật nuôi. Quạt thông gió và thiết bị phun sương trong chuồng lợn phải hoạt động ngay khi chỉ số kết hợp nhiệt độ và độ ẩm vượt đường chuẩn. Giữa trưa mùa hè, nhiệt độ trong chuồng có lúc tăng rất nhanh. Trong thời gian tín hiệu đi theo Internet tới máy chủ xa rồi mang câu trả lời trở về, việc điều khiển có thể bị chậm hoặc liên lạc bị cắt. Thiết bị biên phán đoán tín hiệu cảm biến tại chỗ và bật quạt, nhờ vậy giảm gánh nặng của chuyến khứ hồi và mất kết nối.

Trang trại vùng núi có một nỗi lo khác. Mưa lớn làm đứt đường truyền hoặc tín hiệu không dây chập chờn nhiều ngày không phải chuyện hiếm. Một trang trại bò

Hanwoo trong thung lũng tỉnh Gangwon từng mất Internet hoàn toàn suốt một ngày sau khi bão đi qua. Ngay cả lúc ấy, máy cho ăn tự động, robot vắt sữa và bộ điều khiển môi trường vẫn hoạt động. Cổng kết nối trong chuồng có thể tự phán đoán và ra lệnh mà không cần đám mây. Khi Internet bị cắt, chủ trang trại vẫn có thể nổi điện thoại vào mạng Wi-Fi cục bộ gần trong chuồng để tiếp tục xem tình trạng bò. Bò không chờ mạng được khôi phục.

Khoảng trống liên lạc ở nông thôn không chỉ là chuyện của Hàn Quốc. Các dự án do công ty máy nông nghiệp và nhà mạng hợp tác, mở rộng tín hiệu LTE và 5G tới trang trại hẻo lánh, đang đồng thời diễn ra ở nhiều nơi trên thế giới.

Không chỉ mất liên lạc đe dọa trang trại miền núi. Mỗi năm cũng có vài đêm cả làng mất điện vì bão hoặc sét đánh. Lúc này tình hình khác hẳn. Cổng kết nối trong chuồng có thể tự phán đoán khi Internet ngắt, nhưng khi chính nguồn điện mất, chiếc máy tính nhỏ cũng dừng. Đó là lúc camera, cảm biến và màn hình cùng tối đen. Khả năng tự chủ của điện toán biên từng trụ vững trước đứt mạng cuối cùng lại chờ bàn tay con người trước một sợi dây điện. Ở vùng núi nơi cả lưới điện lẫn mạng truyền thông đều mong manh, hai lớp nguy cơ này chồng lên nhau.

Công việc của thiết bị biên gần với lọc thông tin hơn là chuyển nguyên khối dữ liệu. Thay vì gửi hàng chục nghìn mẫu âm thanh mỗi giây hay hàng chục khung hình tích lại mỗi giây, nó chỉ chọn khoảnh khắc hành vi của bò thay đổi hoặc sự kiện khi giá trị vượt chuẩn rồi gửi một tín hiệu ngắn. Máy tính cỡ lòng bàn tay như Raspberry Pi hay ESP32 mang một động cơ trí tuệ nhân tạo siêu nhẹ gọi là TinyML. Động cơ này gom giá trị từ cảm biến gia tốc, nhiệt kế, máy dò ammonia và thiết bị đo độ pH, phát hiện dấu hiệu bất thường của bò hoặc lợn ngay tại chỗ.

Một cảm biến vòng cổ đồng thời đo số bước, số lần nhai lại và nhiệt độ; khi giá trị lệch khỏi bình thường, ứng dụng hiện thông báo. Trong một nghiên cứu đăng trên tạp chí quốc tế năm 2026, hệ thống TinyML đa cảm biến dùng chip Edge TPU giảm kích thước mô hình trí tuệ nhân tạo xuống còn tối đa 1/270 mà vẫn giữ thời gian phản hồi dưới 80 mili giây.

Cách chỉ chọn thông tin sự kiện để gửi thay cho tệp lớn được gọi là truyền dẫn hướng sự kiện. Khi kết hợp nén mô hình và tính toán công suất thấp, điện năng mà máy nhỏ tiêu thụ cũng giảm. AI xanh (Green AI) và AI tiết kiệm (Frugal AI) là những cách nhìn rộng hơn, bao trùm việc tiết kiệm tính toán và năng lượng này. CattleML là tên một thiết bị suy luận nhẹ cho chăn nuôi được đề xuất trong nghiên cứu năm

2026. Các công nghệ đi theo những con đường khác nhau nhưng cùng nhằm giảm khối lượng dữ liệu gửi ra khỏi chuồng và gánh nặng điện năng của thiết bị tại chỗ.

Nếu biên chịu trách nhiệm trả lời tức thì trong chuồng, điện toán đám mây (cloud computing) ở trung tâm dữ liệu xa dành thời gian vẽ bức tranh lớn. Nó gom thông tin tóm tắt từ nhiều trang trại trên cả nước, vẽ đường cong tăng trọng, sản lượng sữa tươi và hiệu quả thức ăn theo mùa kéo dài nhiều tháng, nhiều năm. Trên một màn hình văn phòng, bác sĩ thú y có thể đặt trang trại ở tỉnh Gyeongsang cạnh trang trại ở tỉnh Chungcheong, so xem bò nơi nào lớn tốt hơn, công thức thức ăn nơi nào có lợi hơn trong mùa đông. Không cần lái xe tới trang trại xa, họ vẫn ước lượng được tình trạng sức khỏe bằng một biểu đồ.

Đám mây huy động bộ xử lý đồ họa mạnh để huấn luyện lại mô hình trí tuệ nhân tạo lớn bằng hàng triệu hồ sơ, rồi tải mô hình đã được trau chuốt trở lại thiết bị biên trong chuồng. Dữ liệu được tóm lược đi từ dưới lên, còn trí tuệ được mài giũa đi từ trên xuống.

Ngay từ đầu, biên và đám mây làm hai việc khác nhau. Thiết bị biên đối mặt với hàng chục khung hình đổ xuống mỗi giây cùng giá trị cảm biến chảy liên tục, phản hồi trong vài đến vài trăm mili giây. Đám mây xử lý dữ liệu tóm tắt đã được lọc từ nhiều trang trại, thống kê kinh doanh và hồ sơ khám chữa, đưa ra câu trả lời trong vài giây đến vài phút. Biên vẫn tự hoạt động khi Internet bị cắt; đám mây chỉ vận hành khi liên lạc không dây ổn định không gián đoạn. Các kỹ sư gọi cấu trúc mà hiện trường và trung tâm bù khoảng trống cho nhau, cùng hoạt động như vậy là kiến trúc biên-đám mây lai.

Nhưng các chủ trang trại vẫn canh cánh một nỗi lo. Họ sợ tỷ lệ phối trộn thức ăn riêng, hồ sơ tài chính, lịch sử bệnh và hình ảnh trong chuồng sẽ rơi vào tay trang trại cạnh tranh hoặc công ty thức ăn khi đi qua đám mây. Tỷ lệ phối trộn được hoàn thiện qua hàng chục năm là bí quyết được họ quý như con. Nếu những con số ấy trôi dạt đâu đó trên Internet rồi chảy vào trang trại làng bên, ai cũng thấy bất bình. Nỗi bất an này có vẻ là một lý do thực sự làm chậm bước chân hướng tới chăn nuôi thông minh. Trí tuệ nhân tạo có thể trở nên thông minh mà không lấy dữ liệu đi không?

Nỗi lo ấy có tên: vấn đề quyền sở hữu dữ liệu. Sản lượng mỗi ngày của từng con bò, tỷ lệ chi li trong công thức thức ăn, hồ sơ tài chính và lịch sử bệnh của trang trại, cả video quay bên trong chuồng, tất cả thuộc về ai, có thể chuyển cho ai và chuyển tới mức nào vẫn là đường ranh chưa được vạch xong. Một khi dữ liệu gốc đi ra

ngoài, chủ trang trại khó kiểm tra từng chặng nó đi qua và cuối cùng vào tay ai. Đó cũng là lý do học liên kết, nơi chỉ trọng số được trao đổi, thu hút chú ý.

Học liên kết (federated learning) là một lời đáp cho câu hỏi này. Nguyên lý bắt nguồn là khá mộc mạc: dữ liệu ở lại trang trại, còn mô hình trí tuệ nhân tạo tới trang trại học rồi quay về. Nó giống người giáo viên lưu động không thu hết vở của học sinh, mà đến từng lớp dạy rồi chỉ ghi lại mẹo học được trong ngày mang về. Trước hết, máy chủ trung tâm tải cùng một mô hình nền xuống thiết bị biên ở trang trại A, B và C. Mỗi trang trại lặng lẽ huấn luyện mô hình chỉ bằng dữ liệu đàn bò của mình.

Khi học xong, hồ sơ gốc không rời trang trại; giá trị trọng số thể hiện mô hình đã thay đổi bao nhiêu được gửi tới máy chủ trung tâm. Những giá trị này cũng có thể làm rò rỉ thông tin, nên cần thêm mã hóa đường truyền và tổng hợp bảo mật. Máy chủ trung tâm lấy trung bình thống kê các con số từ ba trang trại để tạo một mô hình tích hợp, rồi phân phối lại cho tất cả. Tín hiệu bệnh mà đàn bò ở trang trại A từng trải qua có thể trở thành manh mối cứu một con bò không biết tên, chưa từng gặp ở trang trại C.

Quy trình lấy trung bình này cũng có tên. Vì nó trộn con số của nhiều trang trại thành một, các kỹ sư gọi là lấy trung bình liên kết (FedAvg). Cách tính giống việc gộp điểm thi khác nhau của từng lớp thành một điểm trung bình toàn trường. Nhưng nếu một trang trại tập trung bò bệnh, còn trang trại khác chỉ có bò khỏe, độ lệch không biến mất chỉ vì đã lấy trung bình. Trong môi trường dữ liệu không độc lập, không cùng phân phối (Non-IID), nơi dữ liệu mỗi trang trại có hình dạng khác nhau, hiệu năng của mô hình tích hợp có thể giảm.

Gần đây, sổ cái blockchain và kỹ thuật mật mã gọi là bằng chứng không tri thức cũng được chồng thêm lên hệ thống. Bằng chứng này cho phép chứng minh nội dung là thật mà không làm lộ chính nội dung. Ai gửi giá trị nào, vào lúc nào đều được lưu không thể xóa trên sổ cái, để khi nảy sinh tranh chấp có thể lần ngược lại. Nhằm giảm khác biệt hình dạng dữ liệu do môi trường nuôi và giống vật nuôi khác nhau giữa các trang trại, tức vấn đề Non-IID, đã có phương pháp dùng mạng neural chú ý đồ thị để nhóm trước các trang trại giống nhau rồi mới huấn luyện.

Trang trại bò sữa nhóm với trang trại bò sữa, trang trại bò Hanwoo chăn thả nhóm với trang trại bò Hanwoo chăn thả rồi mới học.

Một thí nghiệm áp dụng các kỹ thuật này cho kết quả đáng chú ý. Lượng truyền thông mỗi vòng là 4.25 KB, giảm 97.7% so với phương pháp đối chiếu. Trong điều

kiện cơ bản, độ chính xác của mô hình tích hợp là 96.94%. Ngay cả khi thêm nhiều vào 20% tín hiệu, độ chính xác vẫn vượt 90%. Tuy nhiên, đây là kết quả thử nghiệm bằng dữ liệu công khai, không thể xem là tương đương với hiệu năng dài hạn ở trang trại thực tế.

Tháng 3 năm 2026, một mô hình học liên kết dự báo đường cong tăng trưởng của bò từ hồ sơ cân nặng được công bố dưới dạng bản thảo arXiv. Mô hình kết hợp mạng nơ-ron hồi tiếp với perceptron đa lớp để đọc dòng tăng trưởng theo thời gian từ cân nặng trong quá khứ. Nó mượn kinh nghiệm học được từ các trang trại khác để ước tính bê ở một trang trại sẽ lớn tới đâu trong tháng sau, mùa sau. Xét việc mật độ nuôi và công thức thức ăn mỗi trang trại khác nhau, nghiên cứu còn đề xuất phương pháp cá nhân hóa, đặt thêm một lớp dự báo riêng cho từng trang trại trên mô hình chung.

Hạn chế còn lại là đây chưa phải bài báo hội nghị đã hoàn tất bình duyệt.

Ở Hàn Quốc, chuyển động cũng rõ rệt. Viện Đánh giá Chất lượng Sản phẩm Chăn nuôi có đơn vị chuyên trách chăn nuôi thông minh, triển khai chương trình hỗ trợ kết nối cảm biến đeo, cảm biến môi trường và tiêu chuẩn dữ liệu với trang trại. Viện cũng thúc đẩy nền tảng để hộ chăn nuôi, giới học thuật và doanh nghiệp tư nhân cùng dùng dữ liệu. Nhưng để kế hoạch bén rễ, cuối cùng không thể né câu hỏi ai phải đưa ra bao nhiêu dữ liệu. Học liên kết cũng đang cố trả lời đúng câu ấy: liệu có con đường làm tất cả cùng thông minh hơn mà không gom hồ sơ gốc về một chỗ hay không.

Dĩ nhiên, tấm lưới này vẫn còn những lỗ chưa lấp. Thiết bị biên trong chuồng chỉ cỡ lòng bàn tay, không dư dả bộ nhớ hay điện năng. Phơi lâu trong không khí nóng ẩm, khí ammonia và bụi có thể làm mòn bo mạch; nhiệt quá mức có thể gây hỏng hóc khiến giá trị tính toán sai lệch. Thiết bị chống nước, chống bụi và bảo vệ mạch càng yếu thì càng phải thay sớm.

Khác biệt hình dạng dữ liệu giữa các trang trại cũng là vật cản. Bò Hanwoo, bò sữa, lợn và gà khác nhau từ sinh lý; ngay cả cùng nuôi bò, mật độ, công thức thức ăn và kết cấu chuồng cũng khác từng nơi. Một trang trại miền núi có đồng cỏ rộng và một trang trại đồng bằng nhốt dày bò trong chuồng hẹp sẽ tạo ra dữ liệu hoàn toàn khác nhau, dù cùng nuôi một giống bò sữa. Vì thế, trọng số mô hình được huấn luyện riêng ở từng trang trại có thể cách xa nhau; vào khoảnh khắc máy chủ trung tâm lấy trung bình các giá trị, nghịch lý mô hình tích hợp giảm độ chính xác có thể xảy ra.

Một nút nơi nhiều trang trại trao đổi trọng số qua lại một lần được gọi là vòng (round). Sau mỗi vòng, mô hình tích hợp tinh vi hơn một chút; qua một thời điểm, mức tinh vi không còn thay đổi lớn. Tốc độ tiến tới thời điểm ấy phụ thuộc vào việc các trang trại phản hồi vòng thường xuyên và đồng đều đến đâu. Truyền thông càng nhẹ, thời gian chạy một vòng càng ngắn, thời gian mô hình tìm được quỹ đạo cũng giảm theo.

Trang trại hẻo lánh mất hẳn liên lạc nhiều giờ làm nhịp tuần hoàn rối loạn. Trong học liên kết đồng bộ, nơi phải đợi tất cả bên tham gia phản hồi, chỉ một trang trại chậm cũng kéo dài chu kỳ cập nhật chung. Hệ thống thực tế chỉ chọn một phần người tham gia hoặc đặt thời hạn phản hồi, đồng thời dùng học bất đồng bộ không chờ trang trại tới muộn để giảm vấn đề. Thiết kế thiết bị chống nước, chống bụi và tiêu chuẩn thống nhất các định dạng dữ liệu khác nhau giữa trang trại cũng là bài toán nhiều phòng thí nghiệm đang giải.

Bên ngoài chuồng bò lúc rạng sáng, tín hiệu Internet vẫn chập chờn. Nhưng trên màn hình cổng kết nối, trạng thái của 60 con bò vẫn lần lượt hiện lên rõ ràng. Cùng lúc, ở máy chủ xa xôi, vài con số trang trại gửi đêm qua đang lặng lẽ hòa với số liệu từ những trang trại khác. Trong chuồng vẫn tối, đàn bò vẫn nhai lại.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Caria, M., Schudrowitz, J., Jukan, A., & Kemper, N. (2017). Smart farm computing systems for animal welfare monitoring. *Proceedings of the 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 152-157.
<https://doi.org/10.23919/MIPRO.2017.7973408>
- Dembani, R., Karvelas, I., Akbar, N. A., Rizou, S., Tegolo, D., & Fountas, S. (2025). Agricultural data privacy and federated learning: A review of challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 232, 110048.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110048>
- Ganesan, L. P., Krishnan, S., & Batumalay, M. (2026). Blockchain empowered federated learning for intelligent analytics in cattle livestock farming. *Frontiers in Blockchain*, 9, 1815609.
<https://doi.org/10.3389/fbloc.2026.1815609>
- Garro, R. J., Wilson, C., Swain, D., Pordomingo, A., & Wibowo, S. (2025). A systematic literature review on the applications of federated learning and enabling technologies for livestock management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 234, 110180.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110180>
- Jiang, B., Tang, W., Cui, L., & Deng, X. (2023). Precision livestock farming research: A global scientometric review. *Animals*, 13(13), 2096.
<https://doi.org/10.3390/ani13132096>
- Kaur, J., Hazrati Fard, S. M., Amiri-Zarandi, M., & Dara, R. (2022). Protecting farmers' data privacy and confidentiality: Recommendations and considerations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 903230.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.903230>

Lee, M., Tedeschi, L. O., & Seo, S. (2026). Biosensors in precision livestock farming in dairy production: Decoding animals' needs. *Animal Bioscience*, 39(4), 260154.
<https://doi.org/10.5713/ab.260154>

Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez III, H. M., & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management. *Animal Bioscience*, 39(4), 250289.
<https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>

Wang, J., Dai, B., Li, Y., He, Y., Sun, Y., & Shen, W. (2024). An intelligent edge-IoT platform with deep learning for body condition scoring of dairy cow. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(10), 17453-17467.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3357862>

Wang, S., Ni, M., Liu, W., Chu, V. W., Zheng, B., Kanwal, A., Yang, R. J., Sabir, K., & Chen, F. (2026). Neural federated learning for livestock growth prediction. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2603.28117>

Zhang, Q., & Kanjo, E. (2026). A multicore and edge TPU-accelerated multimodal TinyML system for livestock behavior recognition. *IEEE Internet of Things Journal*, 13(1), 666-677.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3624811>

Zin, T. T., & Tin, P. (2026). Computer vision in precision livestock farming: Artificial intelligence-driven technologies and applications for sustainable animal production. *Animal Bioscience*, 39(4), 260165.
<https://doi.org/10.5713/ab.260165>

Kim Su-hyeong. (2026, 5, 13). Mở rộng sử dụng cảm biến đeo và cảm biến môi trường... tăng năng lực hỗ trợ lấy hiện trường làm trung tâm. *Báo Chăn nuôi*.
<https://www.chuksannews.co.kr/news/article.html?no=271557>

Chương 2

Cảm biến đa phương thức và giám sát

2.1

Thị giác máy tính và thuật toán phát hiện đối tượng

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu và dữ liệu thực địa. 5 giờ sáng, những con bò sữa xếp hàng trong lối đi hẹp dẫn tới phòng vắt. Hơi thở trắng xóa phun ra, mùi thức ăn trộn lẫn mùi sữa. Giữa đàn có một con không còn chiếc thẻ vàng lẽ ra phải nằm ở tai phải. Hôm qua nó húc đầu vào hàng rào sắt, nơi chiếc thẻ rơi ra chỉ còn lại một vết thương đỏ. Người quản lý rọi đèn pin, nhìn góc sườn và dáng đi, nói cách khác là ước bằng mắt, để đoán nó mang số mấy. Những con phía sau sốt ruột giậm chân, chỉ tiếng máy vắt sữa đều đặn vang lên.

Ông phải đi qua nhiều con có hình dáng gần giống mới nhận ra con bò không còn bảng tên. Camera trên trần không để ý đến cảnh náo động. Nó vẽ một khung chữ nhật theo đường nét khuôn mặt mỗi con bò đi qua, rồi lặng lẽ hiện một con số bên cạnh thay cho tên.

Thẻ tai treo qua lỗ bấm, hình xăm trên da và dấu khuyết cắt ở vành tai từ lâu là những cách tiêu biểu để phân biệt bò, lợn và cừu. Các phương pháp này để lại dấu trên cơ thể động vật. Thẻ tai có thể mắc vào lưới thép hoặc bị giật rơi khi va vào con khác; khi phủ bùn và phân, con số trở nên khó đọc. Mất bảng tên không làm hồ sơ cá thể trong sổ trang trại biến mất ngay, nhưng người ta phải gắn thẻ thay thế và nói lại lịch sử. Sau đó xuất hiện phương pháp dùng ăng-ten đọc thẻ tai điện tử chứa chip nhận dạng vô tuyến. Khi bò ra khỏi vùng đọc của ăng-ten, tín hiệu có thể bị bỏ lỡ.

Đó là lý do người ta bắt đầu tìm cách không gắn gì lên cơ thể mà vẫn dùng mắt máy để nhận ra và theo dõi đi bất cứ đâu.

Phân biệt chính xác từng cá thể không phải việc dễ ngấm cho vui. Con bò nào đang mang thai, con nào ăn ít hơn bình thường trong 3 ngày gần đây, con lợn nào tăng cân kém hơn anh em, tất cả đều là hồ sơ treo vào mã số của cá thể. Số lung lay, hồ sơ cũng lung lay. Chương trình chọn giống để tìm bò đực có thành tích sinh sản tốt còn không thể bắt đầu nếu thiếu hồ sơ chính xác. Hệ thống truy xuất đường đi từ trang trại nơi con bò sinh ra, qua lò mổ tới bàn ăn cũng phải đặt trên một mã cá thể

không dao động. Việc truy ngược dịch tễ xem bệnh bắt đầu từ trang trại nào cũng vậy.

Bảo hiểm và phả hệ lưu mã chính thức cùng giấy tờ, còn khuôn mặt và hoa văn camera đọc được là một manh mối nữa để bổ sung hồ sơ.

Ống kính camera tránh được vấn đề mà không chạm vào cơ thể bò. Thị giác máy tính (Computer Vision, CV) là lĩnh vực trí tuệ nhân tạo đọc hình dạng và chuyển động trong ảnh, video; bên trong đó, phát hiện đối tượng (Object Detection) là công nghệ tìm xem trong màn hình có vật gì ở đâu. Khung xương mặt bò, vị trí mắt, mũi và tai, cách sắp xếp nếp nhăn ở chóp mũi, hình dạng đốm đen trắng phủ thân, thậm chí hoa văn móng mắt của dê, mô hình học sâu (Deep Learning) đều đọc những đặc điểm bề ngoài hầu như không đổi trong suốt đời con vật.

Nếp mũi được ví như vân tay người; nghiên cứu cho thấy đối chiếu bằng thuật toán kết hợp biến đổi đặc trưng bất biến theo tỷ lệ (Scale-Invariant Feature Transform, SIFT) và mạng neural tích chập (Convolutional Neural Network, CNN) làm tăng mạnh độ chính xác khi tìm lại cùng một cá thể. Chỉ cần lưu trước một ảnh nếp mũi, lần sau con bò đi qua ống kính, hệ thống đối chiếu lại và xác định trong vài giây có phải cùng con hay không.

Giống Holstein có đốm đen trắng trên thân có thể được phân biệt chỉ bằng cách sắp xếp hoa văn; với vật nuôi có mắt tối như dê đen Bengal, hoa văn mạch máu nhỏ trong móng mắt đóng vai trò vân tay. Nghiên cứu nhận dạng nếp mũi còn kết hợp học ít mẫu (few-shot learning), cho phép học từ ít ảnh đối với giống hiếm khó thu hàng trăm tấm. Cách camera phát hiện khuôn mặt chưa đăng ký rồi gửi thông báo tới điện thoại người quản lý đã được dùng ở nhiều trang trại. Trong ô lợn hẹp, dù 10 lợn con chồng lên nhau, camera vẫn cố không để mất mã đã gán cho từng con.

Một lợn con nhỏ khác thường từ lúc sinh tăng cân giữa anh em ra sao cũng có thể được theo dõi mỗi ngày bằng một camera, không cần gắn bảng tên mới.

Một trong những thuật toán cốt lõi thực hiện nhận dạng này theo thời gian thực là YOLO. Chính tên gọi có nghĩa “chỉ nhìn một lần” (You Only Look Once). Phương pháp cũ quét ảnh nhiều lượt như bới từng kẽ, kiểm tra từng vị trí ứng viên. YOLO chia một ảnh thành lưới, dự đoán vật thể và ranh giới ở từng vị trí bằng một phép tính mạng neural. Con người vẽ trước ô vuông tại vị trí bò trên từng ảnh để đánh dấu đáp án; mạng neural so hình chữ nhật nó vẽ với hình đáp án rồi giảm dần sai

số. Từ YOLOv3, YOLOv5 đến YOLOv8, YOLOv11 và YOLOv12, mô hình nhẹ hơn và nhanh hơn.

Hiệu năng của dòng này thường được biểu diễn bằng độ chính xác trung bình (mean Average Precision, mAP), điểm phản ánh dự đoán vị trí và lớp đối tượng chính xác đến đâu. Một nghiên cứu chuẩn năm 2025 báo cáo trong nhiệm vụ học dấu số như lớp cá thể, YOLOv12m đạt mAP50 0.947 và mAP50-95 0.911. Trong nghiên cứu khác quay lợn nái đang cho sữa, YOLOv8l phân biệt tư thế đứng, nằm nghiêng và cho con bú với F1-score trên 0.90. Cũng có bài báo thử mô hình YOLOv11 nhẹ trên thiết bị cấu hình thấp để phát hiện và theo dõi bò sữa.

Ultralytics báo trước YOLO26 vào tháng 9 năm 2025 và công bố phát hành chính thức tháng 1 năm 2026. Tài liệu chính thức nêu thời gian suy luận CPU ONNX của YOLO26n là 38.9 mili giây. Kích thước đầu vào, phần cứng và môi trường chạy khác nhau thì tốc độ cũng khác. Mức độ mô hình tìm bò hoặc lợn tốt đến đâu trong chuồng cần được kiểm chứng hiện trường riêng.

Để đưa một mô hình như vậy vào sử dụng thực tế cần rất nhiều bàn tay con người. Trước khi cố định camera lên trần, các nhà nghiên cứu ra vào chuồng nhiều tháng, chụp hàng nghìn bức ảnh rồi đánh dấu bằng tay vị trí, giống và tư thế của bò trong từng tấm. Nếu không trộm đều ảnh chụp ngày tối, ngày nhiều mây, cả ảnh hoa văn bị nhòe vì mưa, mô hình rất dễ chỉ giới nhận ảnh chính diện trong ngày nắng.

Nếu YOLO trả lời “ở đâu”, mạng neural như ResNet (Residual Network) đóng vai trò bộ xương phía sau để phán đoán “hình dạng này là gì”. Mạng càng xếp sâu nhiều lớp có thể càng đọc tốt hoa văn tinh vi, nhưng học trở nên khó, xuất hiện vấn đề suy giảm khiến sai số tăng ngược lại. ResNet tạo đường tắt đưa thông tin từ lớp trước vượt qua một số lớp, hình thành cấu trúc học phần dư (Residual Learning) để việc học không sụp đổ dù xếp sâu. Lớp thấp nhận ra đường nét và độ sáng tối, lớp giữa đọc thớ lông hoặc mép đốm, lớp cao phân biệt khối lớn như toàn bộ hình dạng khuôn mặt.

Một nghiên cứu ResNet-50 kết hợp chú ý kênh (Channel Attention) trên ảnh của 5 loài vật nuôi, 44 giống báo cáo độ chính xác nhận dạng giống 94.3%. Dòng biến đổi thị giác (Vision Transformer, ViT), mã hóa ảnh bằng cách chia toàn ảnh thành các ô vuông nhỏ, cũng bước vào cuộc đua. Trong nghiên cứu so sánh 459 lớp ảnh bò, ResNet18 đạt 95.86%, Vision Transformer đạt 96.27%. Xác suất đưa đáp án vào 5 ứng viên đầu vượt 99% ở cả hai. Mô hình dựa trên Detectron2 của Dairy DigiD, theo dõi tọa độ quanh mắt, mũi và tai, ghi nhận F1-score có trọng số toàn bộ 0.92.

F1-score theo lớp là 1.00 với bò mang thai và bò non, 0.96 với bò trưởng thành, 0.94 với bò cặn sữa. Mô hình nhận dạng mặt lợn chuyên dụng DGS-YOLO công bố năm 2026 được thiết kế để phân biệt nhanh từng cá thể ngay cả trong ô lợn hẹp.

Ra khỏi mái chuồng, camera còn bay lên trời. Camera độ phân giải cao trên thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), tức drone, quét đồng cỏ rộng từ độ cao hàng chục mét và gom đàn vật nuôi rải rác vào một khung hình. Trước lúc mặt trời mọc, drone chỉ để lại tiếng cánh quạt rồi bay lên trên thảm cỏ ẩm sương, đã trở thành cảnh sáng quen thuộc ở nhiều trang trại. Việc đếm từng con, vốn đòi hỏi phải lái xe máy hoặc xe tải đi vòng vài giờ, giờ đây được hoàn tất bằng một đoạn quay ngắn.

Cách cũ cưỡi ngựa hoặc lái xe dòn bò vào một chỗ để lại không ít căng thẳng; drone giữ độ cao đủ để bò không hoảng chạy tán loạn mà vẫn không bỏ sót cá thể. Kết quả nghiên cứu năm 2025 cho thấy ngay trong video đồng cỏ nuôi lẫn các giống có hình dạng chông lẩn như Simmental, Holstein và Brown Swiss, các mô hình học sâu C-DCNN, Xception, VGG19 vẫn kết hợp đường nét thân, vóc dáng và cách sắp xếp màu lông để phân loại giống và đếm đầu con. Mùa hè năm 2026, một công ty tuyên bố cho nhiều drone bay đồng thời và đếm xong 90,000 con bò tại một trang trại lớn trong 2 giờ. Công ty công bố độ chính xác 99.997%.

Nhưng đây là số do chính công ty đưa ra, không phải kết quả được một nhóm nghiên cứu độc lập kiểm chứng. Ở địa hình sương mù dày hoặc nhiều bóng cây, liệu con số ấy còn được giữ nguyên hay không cần theo dõi thêm. Không chỉ sương và bóng cây, trên đồng cỏ tối đen giữa đêm ngày cả hình khối cũng khó phân biệt, nên ngày càng nhiều trang trại chông thêm camera nhiệt (Thermal) cảm nhận nhiệt độ cơ thể.

Tìm bò trong một bức ảnh và liên tục theo cùng mã số một con bò đi lại suốt 10 phút là hai nhiệm vụ hoàn toàn khác. Nhiệm vụ sau gọi là theo dõi đa đối tượng (Multi-Object Tracking, MOT), từ lâu được các thuật toán như DeepSORT và ByteTrack đảm nhiệm. Chúng nối thông tin vị trí lấy từ từng khung hình. Dựa vào nơi cá thể vừa đứng, chúng tính trước vị trí có thể xuất hiện ở khoảnh khắc sau; khi ảnh mới tới, chúng nối cùng mã cho cá thể gần vị trí dự đoán nhất, rồi kiểm tra lại bằng hoa văn và hình dạng.

Trên đồng cỏ, bò đứng cách nhau nên cách này tương đối hiệu quả; ở lối đi hẹp hoặc trước bàn cho ăn, tình hình khác hẳn. Khoảnh khắc khoảng cách giữa các cá thể hẹp hơn một thân xảy ra nhiều lần mỗi ngày. Khi thân bò chông lên và che

khuất nhau, hiện tượng che khuất (Occlusion) xuất hiện, phép tính bắt đầu sai. Trong ô lộn hẹp, 2 hoặc 3 con quần vào nhau và trèo lên con khác, chương trình theo dõi có thể mất mã ngay lúc đó hoặc đổi hoàn toàn mã của hai cá thể. Một nghiên cứu năm 2026 thử phương pháp Depth-OC-SORT kết hợp camera đọc thông tin chiều sâu.

Bài báo chỉ ra rằng các phương pháp theo dõi hiện có thường dùng trong môi trường chuồng phức tạp gặp sự cố đổi nhầm mã từ 10 đến 20 lần mỗi phút. Nguyên nhân không chỉ là chồng hình. Bụi thức ăn và hơi ẩm mang mùi phân bám vào bề mặt ống kính; góc nắng đi qua cửa sổ khác nhau giữa sáng và tối; ban đêm ngay cả đèn cũng tắt. Mô hình học ở một trang trại, một giống, một mật độ nuôi thường tụt mạnh tỷ lệ nhận dạng khi chuyển nguyên sang trang trại bên có kết cấu chuồng khác. Chẳng hạn, mô hình chỉ học ảnh bò sữa có thể hoàn toàn không dùng được khi đưa sang camera chuồng lợn.

Nếu không trộn đều ảnh từ nhiều trang trại để huấn luyện, khoảng cách này khó thu hẹp. Những lớp vốn ít ảnh, như bò mang thai hay cá thể vừa bắt đầu bệnh, vẫn có hạn chế hiệu năng nhận dạng thấp. Một bài tổng quan năm 2025 về những khó khăn này cũng chỉ ra che khuất, nhiễu môi trường và điều kiện nuôi khác nhau giữa các trang trại là yếu tố cản trở theo dõi đa đối tượng. Để lấp khe hở, các nhà nghiên cứu đang thử gắn đồng thời camera chiều sâu nhìn xuống từ trần và camera nhiệt, tiếp tục theo cá thể bằng đường viền nhiệt độ dù hoa văn nhìn thấy bị che.

Trở lại lối đi lúc rạng sáng, con bò mất thẻ tai giờ chỉ cần bước dưới camera là tìm lại được số của mình. Người quản lý không còn phải cầm đèn pin đo góc sừng. Một hạt bụi đậu trên ống kính và tia nắng sáng xiên qua cửa sổ vẫn làm phép tính chao đảo. Nhưng trước khi con bò tiếp theo bước vào lối đi, hệ thống đang lặng lẽ sửa lại sai số của buổi sáng hôm nay.

Nguồn và tài liệu tham khảo

Bumbálek, R., Ufitikirezi, J. de D. M., Umurungi, S. N., Zoubek, T., Kuneš, R., Stehlík, R., & Bartoš, P. (2025). Computer vision in precision livestock farming: Benchmarking YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11, and YOLOv12 for individual cattle identification. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101208. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101208>

Çakmakçı, C., Turan, M., Çakmakçı, Y., & Assis Ferraz, P. (2025). Morphological phenotyping for cattle breeds classification from unmanned aerial vehicle imagery via computer vision and deep learning. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 9(Special), 82-91. <https://doi.org/10.31015/2025.si.16>

- Chao, H., Tu, W., Liu, T., Zhu, H., Hu, J., Hu, T., Sun, Y., Mu, Y., Fan, J., & Gong, H. (2026). DGS-YOLO: A detection network for rapid pig face recognition. *Animals*, 16(2), 187.
<https://doi.org/10.3390/ani16020187>
- DroneDJ. (2026, July 7). One way you probably didn't know drones were being used. DroneDJ.
<https://dronedj.com/2026/07/07/one-way-you-probably-didnt-know-drones-were-being-used/>
- Kareem, F., Ahmed, S. U., Shahid, M. F., & Tanveer, M. H. (2026). A deep learning approach for cattle classification to enhance livestock monitoring. *International Journal of Innovations in Science & Technology*, 8(3), 562-573.
<https://doi.org/10.33411/IJIST/1802>
- Li, Z., Cheng, G., Yang, L., Han, S., Wang, Y., Dai, X., Fang, J., & Wu, J. (2025). Method for dairy cow target detection and tracking based on lightweight YOLO v11. *Animals*, 15(16), 2439.
<https://doi.org/10.3390/ani15162439>
- Mahato, S., Bi, H., & Neethirajan, S. (2025). Dairy DigiD: A keypoint-based deep learning system for classifying dairy cattle by physiological and reproductive status. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 8, 1545247.
<https://doi.org/10.3389/frai.2025.1545247>
- Maheswari, J., Boopathi, M., Dinesh, V., Cibi Arulnath, J., & Aswin, D. (2026). Smart livestock breed identification and health monitoring system using deep learning. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 14(4), 14-22.
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2026.79945>
- Mehtab, A., Mun, H.-S., Laguna, E. B., Sharifuzzaman, M., Hasan, M. K., Kim, Y.-H., Gu, K. J., & Yang, C.-J. (2025). Precision livestock monitoring of lactating sows: YOLOv8-based behavioral analysis under varying feeding strategies. *Journal of Animal Science and Technology*, 67, e21.
<https://doi.org/10.5187/jast.2500395>
- Meng, H., Zhang, L., & Yang, F. (2025). Livestock biometrics identification using computer vision approaches: A review. *Agriculture*, 15(1), 102.
<https://doi.org/10.3390/agriculture15010102>
- Nidhi, M. H., Liu, K., & Flay, K. J. (2025). Review: Multiobject tracking in livestock: From farm animal management to state-of-the-art methods. *Animal*, 19(5), 101503.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101503>
- Sapkota, R., Cheppally, R. H., Sharda, A., & Karkee, M. (2025). YOLO26: Key architectural enhancements and performance benchmarking for real-time object detection. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2509.25164>
- Shojaeipour, A., Falzon, G., Kwan, P., Hadavi, N., Cowley, F. C., & Paul, D. (2021). Automated muzzle detection and biometric identification via few-shot deep transfer learning of mixed breed cattle. *Agronomy*, 11(11), 2365.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11112365>
- Zhu, M., Liu, Y., Zhang, H., Liu, X., & Li, Z. (2026). Depth-OC-SORT-based multi-object tracking of cattle in real-world farming scenarios. *Computers and Electronics in Agriculture*, 240, 111151.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.111151>

2.2

Cảm biến gắn trên cơ thể và dữ liệu sinh học từ Internet vạn vật

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu và dữ liệu thực địa. 5 giờ sáng, mở cửa chuồng, thứ gặp đầu tiên không phải ánh sáng mà là âm thanh. Tiếng bò vùi mũi vào máng nhai thức ăn xen với tiếng “bíp” điện tử ngắn. Một con bò sữa đeo chiếc đai dày quanh cổ cúi xuống rồi ngẩng lên; bên trong đai, ánh đèn xanh nhấp nháy đều. Trong mắt người, đó chỉ là động tác lắc đầu, nhưng với con chip nhỏ trong đai, đó là tọa độ thay đổi từng khoảnh khắc. Ánh đèn không tắt trong buổi sớm mùa đông hơi thở hóa trắng, cũng không tắt giữa trưa mùa hè nóng như lò hấp.

Con bò đi mấy bước, cúi đầu bao nhiêu lần, chiếc đai vẫn đếm không ngừng khi con người ngủ.

Con chip ấy là gia tốc kế 3 trục. Nguyên lý giống linh kiện khiến màn hình điện thoại tự xoay khi đặt ngang. Nó chia và đo chuyển động ra trước-sau, trái-phải, lên-xuống theo ba trục; chồng ba con số lên nhau, dạng sóng cho thấy bò đang cúi đầu, chạy hay đứng yên. Thêm con quay hồi chuyển đo cơ thể quay nhanh đến đâu sẽ tạo thành một linh kiện tinh vi hơn gọi là bộ đo quán tính, tiếng Anh là IMU. Ngay cả lúc con bò nghĩ mình không làm gì, linh kiện trên cổ vẫn biến chuyển động cơ thể thành con số và ghi lại hàng chục lần trong 1 giây.

Những con số phải qua vài bước mới tới được con người. Chip trong vòng cổ tạm giữ giá trị gia tốc đọc ở từng khoảnh khắc ngắn, vài phút một lần gom thành khối rồi gửi theo tín hiệu không dây. Bộ thu đặt trên mái chuồng hoặc một góc sân nhận tín hiệu, chuyển qua đường Internet tới máy chủ; mô hình trí tuệ nhân tạo trong máy chủ đọc dạng sóng, phân biệt nhai lại, ăn hay nghỉ. Cách nhiều thiết bị trao đổi tín hiệu, tạo thành một mạng quản lý như vậy gọi là Internet vạn vật, viết tắt IoT. Kết quả phân đoán lập tức hiện dưới dạng thông báo trên điện thoại chủ trang trại.

Động tác một con bò lắc đầu vài lần biến thành một câu trong lòng bàn tay người chỉ sau vài giây.

Chuyển động nhai lại với hàm chậm rãi đảo từ bên này sang bên kia và chuyển động ăn khi bò vùi đầu vào máng, nhanh chóng giết thức ăn có dạng sóng khác nhau ngay từ hình dáng. Nhai lại lặp những đường cong tròn, chậm theo khoảng đều; ăn tạo chuỗi sóng ngắn, nhọn nằm sát nhau. Khi bò nằm xuống sàn, giá trị trực lên-xuống tụt mạnh; khi đứng dậy, nó bật lên tức thì. Một bò sữa khỏe mạnh thường dành từ 400 đến 600 phút mỗi ngày để nhai lại. Máy chủ không nhìn một tỷ lệ giảm cố định, mà xét thời gian nhai lại giảm bao nhiêu so với đường nền bình thường riêng của con bò và thay đổi kéo dài bao lâu.

Nếu mức giảm tiếp diễn, nó phát cảnh báo khả năng mắc viêm vú hoặc ketosis. Dạng sóng ghi thay chuyển động hàm mà con người khó quan sát cả ngày.

Gia tốc kế không chỉ phân biệt nhai lại, ăn, đứng và nằm. Khi bò cọ mạnh thân hoặc đầu vào cột chuồng, hàng rào ảo hay bàn chải cọ lưng, dạng sóng có một gương mặt khác. Nó không phải đường cong tròn của nhai lại hay chuỗi nhọn của ăn, mà là tín hiệu cao tần nhảy thất thường dồn vào khoảnh khắc ngắn. Dù người đứng ở đầu kia chuồng, máy chủ vẫn dùng riêng tín hiệu này để lập tức biết con bò nào đang gãi mình.

Các cảm biến đời đầu so con số thu được với ngưỡng để phân loại hành vi. Gần đây, mô hình trí tuệ nhân tạo như mạng neural tích chập và bộ nhớ dài-ngắn hạn, viết tắt CNN và LSTM, được đặt cả trong đầu cuối cảm biến lẫn máy chủ. Độ chính xác thay đổi theo vị trí thiết bị, loại hành vi, cửa sổ thời gian và môi trường trang trại. Cùng ở mức trên 90%, thử nghiệm phân biệt hành vi đứng và thử nghiệm đoán đúng thời điểm bắt đầu nhai lại có độ khó khác nhau. Quá trình biến dạng sóng vốn chỉ là vài con số lên xuống thành thông tin gần với lịch sinh hoạt một ngày của con bò luôn đi kèm những điều kiện ấy.

Nếu độ chính xác phân loại hành vi là 97%, điều đó có nghĩa hệ thống sai ở 3% của sổ quan sát hoặc sự kiện hành vi. Không thể đổi con số này thành số cá thể bị đọc sai mỗi ngày. Đo thời gian nhai lại theo phút cũng vậy. Dạng sóng không phải lúc nào cũng cắt gọn khoảnh khắc bắt đầu và kết thúc. Khi bò chuyển động hàm hực vài lần, dừng ngắn rồi nhai tiếp, sai số có thể lọt vào giữa thời gian nhai lại thực tế và thời gian máy đếm.

Cùng một gia tốc kế nhưng đeo ở đâu sẽ bắt được những cử động khác nhau. Cảm biến vòng cổ đọc nhay chuyển động hàm và góc đầu, nên thuộc nhóm phương pháp có độ chính xác cao khi phân biệt nhai lại và ăn. Cảm biến dạng tai phản ứng tốt hơn với động tác giữ tai hoặc lắc đầu, đồng thời nhẹ nên ít gây gánh nặng

cho bò. Cảm biến vòng mũi còn bắt hơi thở và áp lực qua lỗ mũi, có thể đọc tín hiệu sâu hơn như nhịp thở và mạch.

Một nghiên cứu so sánh cảm biến ở vòng cổ, dây cương và thẻ tai cho thấy chuyển động lớn như đi hoặc đứng được phân biệt tốt ở mọi vị trí; cử động càng nhỏ, chênh lệch tỷ lệ nhận dạng theo vị trí càng lớn. Đeo cảm biến ở đâu không phải chuyện sở thích mà là bài toán thiết kế tùy điều muốn biết.

Bên trong vòng cổ thật sự đeo cho bò có chip Bluetooth công suất thấp hoặc chip truyền thông diện rộng công suất thấp LoRa, mang dữ liệu tới bộ thu đặt trong chuồng. Một nghiên cứu đánh giá gia tốc kế vòng cổ RUMI ghi nhận độ đặc hiệu 100% và độ nhạy 90.9%. Thiết bị phân biệt rất tốt bò không động dục, đồng thời bắt được khoảng 9 trong 10 con thật sự động dục. Trong các nghiên cứu máy đếm bước cũ khác, tỷ lệ báo động dù bò không động dục dao động từ 17% đến 55%. Thiết bị và điều kiện trang trại khác nhau, không được trộn các số này với thành tích RUMI.

Thẻ tai chứa chip nhận dạng tần số vô tuyến, tức RFID, đồng thời làm bảng tên. Cảm biến vòng mũi mới chỉ dùng ở ít trang trại, nhưng các thử nghiệm đọc biến đổi áp lực do hô hấp và nhịp tim bằng một màng mỏng bên trong vòng vẫn tiếp tục.

Không thể treo thiết bị nặng lên cừu và dê ăn cỏ trên đồng rộng. Vì vậy, người ta chủ yếu dùng vòng cổ nhẹ chỉ gắn một gia tốc kế nhỏ. Động tác cừu cắn đứt cỏ từng đoạn ngắn và động tác ngẩng đầu bước đi khác nhau rõ rệt ngay từ nhịp dạng sóng. Chỉ bằng nhịp ấy cũng có thể đoán khu vực nào hết cỏ trước, cá thể nào chưa ăn đủ. Nhiều nghiên cứu đã phân biệt ăn, đi và nhai lại chỉ bằng một vòng cổ. Đồng cỏ càng rộng, những việc mắt người khó đếm từng con càng được vòng cổ nhỏ này thay thế.

Cách ghép nó với hàng rào ảo vô hình, dùng rung hoặc âm thanh khiến cừu quay lại khi định rời khu vực quy định, cũng đang lan rộng.

Với lợn, một vấn đề hoàn toàn khác chờ sẵn. Lợn có thói quen dùng cái miệng tò mò cắn mọi thứ nhìn thấy, khiến thẻ tai hỏng hoặc rơi. Vì vậy, thẻ điện tử cho lợn được bọc trong vỏ chịu va đập, còn gia tốc kế bên trong tập trung đo tư thế đứng, nằm và tốc độ chuyển tư thế của lợn mẹ. Lợn con mới sinh đôi khi bị mẹ nặng hơn nhiều đè lên. Đó là lý do nghiên cứu đọc đồng thời tư thế mẹ và tiếng kêu của con để báo nguy vẫn tiếp diễn. Cảnh thẻ bị cắn nằm lẫn trên nền mùn cưa không lạ ở

trang trại lợn. Bên cạnh mảnh nhựa in rõ dấu răng, con lợn từng là chủ chiếc thẻ thường vẫn thản nhiên vùi mũi vào máng.

Cũng có thiết bị đi vào miệng bò và nằm lại trong dạ dày. Cho bò nuốt viên nang gồm lớn hơn viên thuốc nhiều lần, nó chìm trong dạ cỏ, dạ dày thứ nhất. Tại đó, nó đo nhiệt độ và độ pH rồi truyền giá trị ra ngoài bằng sóng vô tuyến. Ở Hàn Quốc, công ty LiveCare đã thương mại hóa cảm biến dạng viên nang này. Trong tài liệu giải thích giai đoạn phát triển năm 2018, Cục Phát triển Nông thôn đưa độ chính xác dự báo bệnh, động dục và sinh đẻ ở mức 70%, so với 40% của quan sát bằng mắt. Không thể áp nguyên hiệu năng trong những điều kiện khác nhau cho mọi trang trại hiện nay.

Công ty Canada Wandering Shepherd nêu thời lượng pin 10 năm cho bolus dạ cỏ không dây của mình. Đây là thông số nhà sản xuất, không phải kết quả theo dõi dài hạn ngoài hiện trường.

Có lý do người ta dành nhiều công sức cho chỉ một con số là nhiệt độ cơ thể. Trong một số bệnh truyền nhiễm, stress nhiệt, động dục và sinh đẻ, nhiệt độ bên trong có thể thay đổi trước hoặc cùng những dấu hiệu khác. Khi chỉ số nhiệt độ và độ ẩm, viết tắt THI, vượt một ngưỡng nhất định, bò có thể rơi vào stress nhiệt. Nắng chiếu lên lưng hoặc gió lạnh lướt qua sườn dễ làm nhiệt độ da lên xuống. Cảm biến đặt trong cơ thể ít chịu tác động môi trường hơn, nhưng chỉ nhiệt độ không thể khẳng định bệnh hay trạng thái sinh sản.

Nhiệt độ không nhất thiết phải đo trong dạ dày. Cảm biến đặt trong âm đạo bò chuẩn bị sinh sản đo nhiệt độ và độ dẫn điện, tìm thay đổi xuất hiện trong kỳ động dục. Cũng có cảm biến cấy ghép dạng viên nhỏ đặt dưới da hoặc sau tai. Thiết bị đọc nhiệt độ tại vị trí đặt; muốn ước tính nhiệt độ lõi phải kiểm chứng sai số với nhiệt kế chuẩn. Mục tiêu cùng là nhiệt độ, nhưng đặt ở đâu trên cơ thể sẽ quyết định tần suất đo và thời gian tồn tại.

So với thị giác máy tính dùng camera quan sát bò, ưu điểm của cảm biến gắn cơ thể rất rõ. Camera bỏ lỡ chuyển động đúng lúc ánh sáng tối, bò che nhau hoặc đi sau cấu trúc chuồng. Cảm biến không có điểm mù ấy. Treo ở cổ, gắn ở tai hay nằm trong cơ thể, nó phát tín hiệu suốt 24 giờ mỗi ngày, dù bò đi tới góc nào của chuồng hay đêm đã tối sâu. Nhưng bước ra cửa chuồng và nhìn hiện trường thật, hàng loạt vấn đề không thể giải bằng riêng ưu điểm này vẫn đang chờ.

Nguồn năng lượng cho mọi thiết bị là một viên pin nhỏ. Một nhà sản xuất nêu rằng thẻ Bluetooth dùng pin CR2032 có thể hoạt động tối đa 765 ngày trong điều kiện công suất 0 dBm, chu kỳ truyền 5 giây và gia tốc kế 3 trục không hoạt động. Đây là thông số sản phẩm theo điều kiện định sẵn, không phải đo ngoài hiện trường. Cảm biến vòng cổ đọc gia tốc kế hàng chục lần trong 1 giây và còn truyền không dây nên có thể tiêu thụ điện nhiều hơn. Khi pin cạn, người ta phải bắt hàng trăm con bò, tháo vòng rồi thay pin. Đó không phải công việc mà người làm chuồng vui lòng đón nhận.

Tốc độ tiêu hao này là một sự đánh đổi. Gia tốc kế đọc càng nhiều mẫu trong 1 giây, dữ liệu dạng sóng dùng để phân biệt nhai lại và ăn càng chi tiết, chính xác, nhưng pin cạn nhanh hơn. Lấy mẫu thưa để tiết kiệm pin sẽ đảo ngược tình hình: chuyển động ngắn, tinh vi lọt qua khe giữa các lần lấy mẫu. Mỗi nhà sản xuất không thể tránh sự cân nhắc này khi chọn chu kỳ lấy mẫu; kết quả quay trở lại thành chu kỳ thay pin và độ tinh vi nhận dạng hành vi.

Ngay cả khi pin còn tốt, tín hiệu không phải lúc nào cũng tới nguyên vẹn. Khi bò đứng sát nhau trong chuồng hẹp, thân hình đầy cơ dày và nước hấp thụ sóng vô tuyến. Vòng cổ đã phát nhưng bộ thu không nhận gì. Trong cái nóng giữa hè, động tác bò liên tục lắc đầu đuổi ruồi có thể bị đọc nhầm là nhai lại và phát cảnh báo về căn bệnh không tồn tại. Cùng cuộc khảo sát còn ghi nhận trường hợp bò có một chân khập khiễng làm rối toàn bộ dáng đi bị nhận nhầm là động dục.

Còn một việc rất tốn công: cảm biến rơi hẫng khỏi cơ thể. Bò thường cọ mạnh cổ và đầu vào cột hàng rào sắt hoặc cây; ma sát làm khóa vòng cổ bung hoặc kéo rách nguyên thẻ tai. Một khảo sát ở Canada theo dõi trong 4 năm 2,000 bê, 1,000 bò tơ và 700 bò trưởng thành cho thấy tỷ lệ giữ thẻ ở bê vượt 96%, nhưng ở bò trưởng thành trung bình là 82%. Tại trang trại lợn, hành vi cắn tai nhau cũng gây mất thẻ. Thẻ rơi không làm lịch sử trong sổ trang trại biến mất ngay, nhưng tạo ra việc phải nối lại cá thể với hồ sơ.

Chính quá trình gắn thẻ đôi khi để lại vết thương. Khi bấm tai và lắp thẻ, viêm có thể lan vào sụn; côn trùng như ruồi kéo tới vết thương và làm nhiễm trùng nặng thêm. Vòng cổ cũng không hoàn toàn an toàn. Nếu siết quá chặt, da bên dưới bị chà xát, bong ra, thậm chí thành loét. Thiết bị đeo để đọc chuyển động bò cuối cùng lại để lại một vết xước mới trên chính cơ thể ấy.

Những nỗ lực giải quyết vấn đề vẫn tiếp diễn. Vòng cổ tự phát điện lấy năng lượng từ nhiệt độ hoặc chuyển động cơ thể bò mà không cần pin, thẻ tai bằng vật liệu khó

vỡ dù bị cắn, đang được thử trong phòng thí nghiệm và ở giai đoạn nguyên mẫu. Thiết bị vòng cổ sạc bằng năng lượng mặt trời kết hợp gia tốc kế với cảm biến nhiệt độ để giảm gánh nặng thay pin. Một nghiên cứu thị trường thương mại ước tính thị trường cảm biến đeo cho chăn nuôi đạt 2.18 tỷ USD năm 2025 và sẽ tăng trung bình 12% mỗi năm từ năm 2026 đến năm 2034. Phạm vi thị trường và con số khác nhau theo đơn vị nghiên cứu.

Vẫn chưa có thống kê đại diện rõ ràng cho tỷ lệ phổ biến ở toàn bộ trang trại chăn nuôi Hoa Kỳ. Dù vậy, bàn tay người mở cửa chuồng lúc rạng sáng vẫn sờ trước vào chiếc đai quanh cổ bò, xem hôm nay nó còn gắn an toàn hay không.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Alipio, M., & Villena, M. L. (2022). Intelligent wearable devices and biosensors for monitoring cattle health conditions: A review and classification. *Smart Health*, 27, 100369.
<https://doi.org/10.1016/j.smhl.2022.100369>
- Alvarenga, F. A. P., Borges, I., Palkovič, L., Rodina, J., Oddy, V. H., & Dobos, R. C. (2016). Using a three-axis accelerometer to identify and classify sheep behaviour at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, 181, 91-99.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.05.026>
- Benaissa, S., Tuytens, F. A. M., Plets, D., De Pessemier, T., Trogh, J., Tanghe, E., et al. (2017). On the use of on-cow accelerometers for the classification of behaviours in dairy barns. *Research in Veterinary Science*, 125, 425-433.
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.10.005>
- Bikker, J. P., van Laar, H., Rump, P., et al. (2014). Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 2974-2979.
<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
- Canadian Cattle Identification Agency. (2016). National Tag Retention Project final report.
https://www.canada.ca/content/uploads/2020/03/Tag_Retention_Project_Final_Report_2016-EN1.pdf
- Feng, W., Fan, D., Wu, H., & Yuan, W. (2024). Cow behavior recognition based on wearable nose rings. *Animals*, 14(8), 1187.
<https://doi.org/10.3390/ani14081187>
- Finstad, D. (2026, February 10). Cool new tools: A look at the Wandering Shepherd rumen bolus. *ABP Daily*.
<https://abpdaily.com/business-tools/cool-new-tools-a-look-at-the-wandering-shepherd-rumen-bolus/>
- Higaki, S., Miura, R., Suda, T., et al. (2019). Estrous detection by continuous measurements of vaginal temperature and conductivity with supervised machine learning in cattle. *Theriogenology*, 123, 90-99.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.09.038>
- Huang, Y., Lv, Y., Xiao, D., Liu, J., Tan, Z., & Li, G. (2025). Behavior classification and rhythm analysis of pigs based on wearable sensors. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101457.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101457>
- Kaur, D., & Virk, A. K. (2025). Smart neck collar: IoT-based disease detection and health monitoring for dairy cows. *Discover Internet of Things*, 5, 12.
<https://doi.org/10.1007/s43926-025-00109-5>
- Lansitec. (2026). I3 portable Bluetooth label.
<https://www.lansitec.com/products/i3-portable-bluetooth-label/>

Lamanna, M., Bovo, M., & Cavallini, D. (2025). Wearable collar technologies for dairy cows: A systematized review of the current applications and future innovations in precision livestock farming. *Animals*, 15(3), 458.
<https://doi.org/10.3390/ani15030458>

Peng, W., Liu, Z., Zhao, Y., et al. (2025). Research and application progress of electronic ear tags as infrastructure for precision livestock industry: a review. *Intelligence & Robotics*, 5(2), 433-449.
<https://www.oaepublish.com/articles/ir.2025.22>

Rahman, A., Smith, D. V., Little, B., Ingham, A. B., Greenwood, P. L., & Bishop-Hurley, G. J. (2018). Cattle behaviour classification from collar, halter, and ear tag sensors. *Information Processing in Agriculture*, 5(1), 124-133.
<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.001>

Salzer, Y., Lidor, G., Rosenfeld, L., et al. (2022). Technical note: A nose ring sensor system to monitor dairy cow cardiovascular and respiratory metrics. *Journal of Animal Science*, 100, 1-8.
<https://doi.org/10.1093/jas/skac240>

Sankarganesh, D., Krishna Prasad, P. D. S. S. Y., Sujit, S., Thiraviam, A. I. G., & Ambrose, D. J. (2026). Estrus detection in dairy cattle: an updated review on strategies and technologies. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1807199.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1807199>

Intelevoresearch. (2026). Global livestock wearable sensor market.
<https://www.intelevoresearch.com/reports/livestock-wearable-sensor-market/>

Cục Phát triển Nông thôn. (2018, 7, 19). Giải thích liên quan đến bài báo “Đầu tư 10 tỷ won phát triển sản phẩm, rồi bị chính phủ đâm sau lưng bằng sản phẩm tương tự?”.
https://www.rda.go.kr/board/board.do?dataNo=100000747461&mode=view&prgId=spe_truelike

2.3

Công nghệ đo không tiếp xúc: ảnh nhiệt, quang phổ và âm thanh

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu và dữ liệu thực địa. 5 giờ sáng, camera nhiệt treo trên trần chuồng bò chậm rãi xoay ống kính. Vùng quanh mắt và gốc tai của những con bò sữa đang ngủ nổi lên thành các khối màu cam trên màn hình; chỉ một con nằm ở ô góc có màu đậm khác thường. Con người còn chưa mở cửa chuồng. Trước khi người trực ngồi xuống ghế văn phòng, máy chủ đã tự lật qua hình ảnh quay suốt đêm và tiếp tục tính toán.

Nhóm công nghệ này có một tên gọi chung. Vì đọc trạng thái vật nuôi chỉ bằng tín hiệu mà không chạm vào cơ thể, chúng được gọi là công nghệ đo thông tin sinh học không tiếp xúc, không xâm lấn; vì quan sát dày đặc toàn bộ trang trại, chúng được xếp dưới tên lớn chăn nuôi chính xác (Precision Livestock Farming, PLF). Không cần đeo thẻ tai hay vòng cổ, camera và micro vẫn theo dõi chuồng 24 giờ mỗi ngày, 365 ngày mỗi năm. Trong khi cảm biến đeo gặp chuyện thẻ rơi, da bị cọ xát và phải thay pin, công nghệ này làm cùng công việc mà không gắn gì lên bò, lợn hay gà.

Camera không chạm vào bò. Nó nhận năng lượng hồng ngoại phát ra từ bề mặt cơ thể và phản xạ từ xung quanh, rồi biến thành bản đồ nhiệt độ bề mặt. Màu trên màn hình chỉ là bảng màu thiết bị quy định; màu đỏ không phải lúc nào cũng có nghĩa một nhiệt độ. Trong bóng tối, mắt và gốc tai, bầu vú và móng của con bò vốn chỉ là một hình đen sẽ hiện thành những vùng nhiệt độ khác nhau trước camera nhiệt hồng ngoại (Infrared Thermography, IRT). Nhiệt độ bề mặt ở nơi có nhiều máu lưu thông là chỉ dấu hỗ trợ để đoán tình trạng cơ thể.

Giá trị camera đọc không phải chính nhiệt độ lõi, nên phải hiệu chỉnh cùng nhiệt độ không khí, độ ẩm, gió, khoảng cách và độ phát xạ.

Viêm vú là căn bệnh làm chao đảo sinh kế trang trại bò sữa. Khi viêm xảy ra, nhiệt độ bề mặt ở phần tư bầu vú nhiễm bệnh có thể thay đổi. Một nghiên cứu chụp ảnh nhiệt mắt và bầu vú của bò sữa bước vào phòng vắt, rồi phân đoạn bằng mô hình học sâu CLE-UNet. Khi so theo số lượng tế bào soma, độ chính xác phân loại viêm vú là 86.67%, độ nhạy 82.35% và giá trị F1 87.5%. Đây là nghiên cứu phân loại tại

một thời điểm, nên không thể nói nó phát hiện sớm hơn triệu chứng lâm sàng vài ngày. Sau cảnh báo ảnh nhiệt vẫn cần xét nghiệm tế bào soma và xác nhận thú y.

Ngoài CLE-UNet, nhiều mô hình phân đoạn ảnh và phát hiện đối tượng đang được thử để tìm vị trí mắt và bầu vú. Mỗi mô hình cắt đường viền và tìm vùng nhiệt độ theo cách khác nhau. Việc dùng nhiều mô hình tự nó không làm giảm chẩn đoán sai; phải so độ nhạy và độ đặc hiệu trên cùng dữ liệu. Thay vì chẩn đoán xác định chỉ bằng ảnh nhiệt, nên xem nó là thiết bị sàng lọc nổi xét nghiệm sữa với quan sát lâm sàng.

Khả năng tỏa nhiệt bằng mồ hôi của bò có giới hạn. Trong ngày nóng ẩm, nó thở hổn hển để đẩy nhiệt bên trong ra ngoài. Camera nhiệt được dùng đo nhiệt độ bề mặt quanh mắt và gốc tai. Nhịp thở còn có thể đo bằng cách khác. Một nghiên cứu dùng DeepLab V3+ tách thân bò trong video RGB thông thường, sau đó phóng đại chuyển động ngực rất nhỏ bằng khuếch đại pha video (Phase-based Video Magnification), báo cáo độ chính xác đo nhịp thở trung bình 93.04% trên 70 video. Với 105 video stress nhiệt, con số là 98.69%. Ảnh nhiệt và video RGB có thể dùng cùng nhau nhưng không phải cùng một cảm biến.

Khi stress nhiệt nặng lên, nhiệt độ bề mặt quanh mắt và gốc tai, nhịp thở và tư thế có thể cùng thay đổi. Trí tuệ nhân tạo đặt các tín hiệu cạnh chỉ số nhiệt độ và độ ẩm rồi phát cảnh báo. Nếu chỉ dựa vào một mức nhiệt hoặc nhịp thở cố định, rất dễ bỏ qua khác biệt cá thể và mùa. Nghiên cứu đọc đồng thời nhiệt độ bề mặt và hành vi để quan sát stress nhiệt ở vật nuôi nhai lại như dê và cừu vẫn tiếp tục.

Bê mới sinh dễ mắc bệnh hô hấp ở bò (Bovine Respiratory Disease, BRD). Giai đoạn đầu viêm phổi, nhiệt độ cơ thể chỉ nhích lên một chút, tay người khó cảm thấy. Tự động đo nhiệt độ nhãn cầu và lỗ mũi bằng ảnh nhiệt cho phép chuyển riêng bê bệnh để điều trị mà không cần cưỡng ép đưa nhiệt kế vào miệng. Bê cách ly ăn riêng trong ô tách khỏi đàn, còn viêm bên trong được làm dịu bằng kháng sinh. Điều tương tự xảy ra ở móng. Khi viêm khớp hoặc viêm móng xuất hiện, nhiệt độ quanh đó tăng; bắt được thay đổi có thể giúp nhận ra trước khi bò đi khập khiễng.

Mắt người nhìn ánh sáng khả kiến có bước sóng khoảng từ 400 đến 700 nanomet. Camera đa phổ và siêu phổ chụp tách nhiều dải bước sóng, gồm cận hồng ngoại (Near-Infrared, NIR). Camera đa phổ chọn vài dải, còn camera siêu phổ liên tục đọc các dải dày hơn. Khác biệt phản xạ có thể dùng để ước tính trạng thái bề mặt, độ ẩm và thành phần vật chất, nhưng đây không phải thiết bị chỉ chụp một lần đã xác

định được độ bão hòa oxy máu, dòng chảy mao mạch và phù nề. Chỉ dấu sinh lý nào có thể đọc phụ thuộc vào dải bước sóng và dữ liệu hiệu chỉnh.

Gần đồng thời camera nhiệt và đa phổ lên drone cho phép quét đồng cỏ rộng. Một nghiên cứu xuất bản năm 2026 báo cáo độ chính xác vượt 90% khi dùng drone và trí tuệ nhân tạo phát hiện bất thường sức khỏe ở bò. Kết quả xem chung bất thường nhiệt độ, chuyển động và vấn đề da, không có nghĩa vết thương và mất nước riêng rẽ đều đạt cùng độ chính xác. Drone có thể quét vùng rộng nhanh hơn người, nhưng thời gian phụ thuộc diện tích, địa hình và quy định bay.

Cũng có nghiên cứu phân biệt giống gà bằng độ phản xạ theo bước sóng. Nhưng nghiên cứu không nhận dạng gà con sống trong chuồng; nó dùng camera siêu phổ chụp lát ức gà đã giết mổ của 4 giống để xác thực thực phẩm. Đối tượng và mục đích khác với nghiên cứu thị giác máy tính đọc hình mào, dáng đi và vị trí trong đàn của gà sống. Cần vạch rõ: nhận dạng cá thể sống dùng hình ảnh thông thường, còn phân biệt giống thịt dùng ảnh quang phổ.

Mảng micro trên trần chuồng lợn bắt một tín hiệu hoàn toàn khác. Giữa tiếng động cơ quạt, máy cho ăn và tiếng lợn va vào nhau kêu thét, trí tuệ nhân tạo lọc tiếng ho. Khi âm thanh được trải thành các hệ số cepstrum tần số Mel (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC), mạng nơ-ron tích chập (CNN) và mạng nơ-ron hồi tiếp (RNN) tìm dấu vết cơn ho. Các hệ thống thương mại như Pig Cough Monitor và SoundTalks dùng nguyên lý này. Nhà sản xuất cho biết SoundTalks có thể báo bất thường hô hấp sớm hơn kiểm tra thủ công tối đa 5 ngày.

Tuyên bố phát hiện sớm này không phải chỉ số hiệu năng giống độ chính xác 90% của nghiên cứu độc lập.

Màn hình thực tế không chỉ hiện số. Khi bắt được tín hiệu bất thường, nó hiển thị cùng một câu ngắn mà người có thể hiểu ngay, như “Ồ lợn số 3, phát hiện kiểu ho giai đoạn đầu của bệnh truyền nhiễm hô hấp”. Hệ thống không dừng ở việc biến tiếng thành số; nó chuyển thành lời để người nuôi đọc và hành động ngay.

Phán đoán này không chỉ diễn ra trên máy chủ lớn. Gần đây, ngày càng nhiều hệ thống nhúng trực tiếp mô hình trí tuệ nhân tạo siêu nhẹ TinyML vào con chip nhỏ cạnh micro, phán đoán tức thì mà không gửi âm thanh qua Internet đến máy chủ. Toàn bộ quá trình thu tín hiệu, lọc nhiễu và xử lý bằng kỹ thuật tín hiệu số (DSP) diễn ra trong một hộp nhỏ trong chuồng. Ở trang trại xa xôi có Internet bị ngắt hoặc liên lạc chậm, cách này đáng tin hơn.

Tiếng ho không phải tín hiệu duy nhất. Khi lợn bệnh hoặc căng thẳng, chất tiếng kêu và hơi thở có thể thay đổi. Các nhà nghiên cứu đang thử tách tiếng ho, tiếng thét và tiếng kêu bình thường để dùng làm chỉ dấu hỗ trợ về sức khỏe và phúc lợi. Chỉ âm thanh không thể xác định tên bệnh; cần thêm cảm biến môi trường, hình ảnh và xác nhận của bác sĩ thú y.

Năm 2026, Viện Khoa học Chăn nuôi Quốc gia bắt đầu kiểm chứng thực địa công nghệ này tại 2 trang trại lợn ở Gimje, tỉnh Bắc Jeolla và Cheonan, tỉnh Nam Chungcheong. Khi bước vào kiểm chứng, độ chính xác của mô hình đã phát triển là 91.4% với phát hiện mức hoạt động, 91.3% với tiếng ho và 90.0% với hành vi ăn. Những con số này không phải thành tích thu được sau khi hoàn tất kiểm chứng ở 2 trang trại. Nhóm nghiên cứu dự kiến đối chiếu hồ sơ lợn chết và lợn còi với dữ liệu hình ảnh, âm thanh để lập tiêu chuẩn cảnh báo sớm.

Bò cũng báo tình trạng cơ thể bằng tiếng kêu. Nghiên cứu dùng học máy phân loại tiếng, tìm tín hiệu động dục, căng thẳng và đói vẫn tiếp diễn. Bỏ lỡ kỳ động dục sẽ kéo dài thời gian chờ lần mang thai tiếp theo. Liên tục nghe tiếng ho của bê có thể giúp sớm nhận ra bất thường hô hấp trong đàn.

Với cừu, tiếng kêu cũng là tín hiệu quan trọng. Cừu con mới sinh và cừu mẹ nhận ra tiếng của nhau giữa âm thanh đàn. Khi máy học được đặc trưng tiếng kêu khác nhau của từng cá thể, con đường tìm âm thanh một con cụ thể trong đàn mở ra. Cattle Call Monitor dành cho bò là thiết bị ra đời từ một dòng nghiên cứu riêng. Nó chọn và ghi tiếng kêu thời kỳ động dục trong đàn bò sữa, giúp chủ trang trại xem thời điểm phối giống thích hợp.

Micro trong chuồng gà đếm tiếng mổ thức ăn và rung động khi nuốt để ước tính thay đổi ăn của cả đàn. Cũng có trí tuệ nhân tạo nhắm vào tiếng ho gà con. Trong một nghiên cứu công bố năm 2026, mAP lúc huấn luyện là 92.86%, độ chính xác xác định số lần ho trên dữ liệu thử độc lập là 92.11%. Phán đoán một đoạn âm thanh 5 giây mất khoảng 200 mili giây. Không được gộp các chỉ số khác nhau thành một tỷ lệ nhận dạng. Cừu báo trạng thái chặn thả bằng tiếng cắn và nhai cỏ.

Gần đây, các nhà nghiên cứu tiến tới thử gom nhiều tín hiệu để đọc trọn ngôn ngữ hành vi của bò. Chồng tiếng kêu, động tác, nhiệt độ và mức hoạt động lên nhau làm manh mối về việc một con bò đang đói, bệnh hay tới mùa giao phối rõ hơn. Hình ảnh mờ khi chỉ nhìn một tín hiệu trở nên sắc nét khi nhiều tín hiệu chồng lại. Việc này gần với để máy chép thay hoàn cảnh của con vật không nói được tiếng người.

Nhưng chuồng trại không phải phòng thí nghiệm. Camera nhiệt chịu tác động không chỉ của nhiệt bò phát ra mà còn của độ phát xạ bề mặt và năng lượng bức xạ phản xạ từ xung quanh. Năng lượng cửa sổ nằm trên lưng bò có thể khiến một con khỏe bị nhận nhầm là stress nhiệt. Gió thông mạnh, phân và bùn khô dính trên da cũng làm giá trị nhiệt dao động; ngày ẩm, ống kính mờ hơi. Bụi lắng cũng có thể làm số nhảy, nên người quản lý phải lau ống kính. Chỉ chênh lệch nhiệt độ đông-hè cũng khiến cùng con bò được đọc thành số khác, vì thế chuẩn phải hiệu chỉnh theo mùa và môi trường.

Loại lỗi này gọi là dương tính giả (False Positive). Hệ thống đọc nhầm một con bò thật ra không có vấn đề thành bò bệnh, làm tăng công việc người quản lý phải nhìn lại bằng mắt mỗi lần.

Phía âm thanh cũng không khác. Trong chuồng lợn và chuồng gà nơi quạ lớn, máy cào thức ăn và robot dọn phân hoạt động, tiếng ồn nền phủ tiếng vật nuôi, làm giảm tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (Signal-to-Noise Ratio, SNR). Hơi ẩm ngấm vào micro và bảng mạch làm âm thanh đục, ăn mòn nhanh hơn. Nghiên cứu định vị hướng tiếng ho đã kéo dài nhiều năm, nhưng trong ô có hàng trăm con lợn chen dày, xác định ổn định cá thể nào ho vẫn khó. Thiết bị theo dõi sức khỏe cả đàn và thiết bị chẩn đoán cá thể không phải một.

Giá thiết bị cũng không nhẹ. Trang bị camera nhiệt độ phân giải cao, cảm biến đa phổ và máy chủ phân tích âm thanh đòi hỏi đầu tư ban đầu lớn; trí tuệ nhân tạo xử lý hình ảnh chất lượng cao theo thời gian thực cũng tốn điện và năng lực tính toán tương ứng. Trang trại càng nhỏ, khoản này càng có khả năng trở thành một bức tường.

Để lấp khoảng trống, gần đây cách hợp nhất dữ liệu đa phương thức, gom hình ảnh, ảnh nhiệt và âm thanh lên một màn hình thay vì dựa vào một camera hoặc một micro, đang tăng. Các thuật toán đưa thêm chỉ số nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió và độ chiếu sáng quanh chuồng để tự hiệu chỉnh giá trị nhiệt cũng theo sau. Dù vậy, bước chân con người đi một vòng chuồng lúc rạng sáng chưa biến mất. Khi một con số trên màn hình đỏ lên, vẫn phải có người xỏ ủng, bước tới ô chuồng và nhìn tận mắt thì việc xác nhận mới hoàn tất.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Aerts, J.-M., Jans, P., Halloy, D., Gustin, P., & Berckmans, D. (2005). Labeling of cough data from pigs for on-line disease monitoring by sound analysis. *Transactions of the ASAE*, 48(1), 351-354.
<https://doi.org/10.13031/2013.17948>
- Alsaad, M., Schaefer, A. L., Büscher, W., & Steiner, A. (2015). The role of infrared thermography as a non-invasive tool for the detection of lameness in cattle. *Sensors*, 15(6), 14513-14525.
<https://doi.org/10.3390/s150614513>
- Cai, B., Zhou, B., Kong, X., & Zhai, M. (2026). Automatic chick cough detection system based on improved audio spectrogram convolutional transformer neural network. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, Article 1810310.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1810310>
- Cho, O. H. (2026). Drone-assisted health monitoring of livestock: Bridging technology and veterinary science. *Indian Journal of Animal Research*, 1-7.
<https://doi.org/10.18805/IJAR.BF-1999>
- Ghezzi, M. D., Napolitano, F., Casas-Alvarado, A., et al. (2024). Utilization of infrared thermography in assessing thermal responses of farm animals under heat stress. *Animals*, 14(4), 616.
<https://doi.org/10.3390/ani14040616>
- Jung, D. H., Kim, N. Y., Moon, S. H., Jhin, C., Kim, H. J., Yang, J. S., ... & Park, S. H. (2021). Deep learning-based cattle vocal classification model and real-time livestock monitoring system with noise filtering. *Animals*, 11(2), 357.
<https://doi.org/10.3390/ani11020357>
- Korelidou, V., Simitzis, P., Massouras, T., & Gelasakis, A. I. (2024). Infrared thermography as a diagnostic tool for the assessment of mastitis in dairy ruminants. *Animals*, 14(18), 2691.
<https://doi.org/10.3390/ani14182691>
- Manikandan, V., & Neethirajan, S. (2025). AI-powered vocalization analysis in poultry: Systematic review of health, behavior, and welfare monitoring. *Sensors*, 25(13), Article 4058.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12251831/>
- Pinto, V. S., Vilela, L. G. P., de Souza, I. M. F., Sousa, C. E. L., da Silva, T. N., Souza, A. S., de Araújo, C. V., Gomes, M. N. B., Martorano, L. G., Camargo-Júnior, R. N. C., et al. (2026). Use of infrared thermography in assessing the thermal comfort of cattle: A systematic review. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, Article 1788172.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1788172>
- Schaefer, A. L., Cook, N. J., Church, J. S., Basarab, J., Perry, B., Miller, C., et al. (2012). The noninvasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, 93(2), 928-935.
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.09.021>
- Sharifuzzaman, M., Mun, H.-S., Laguna, E. B., Hasan, M. K., Kang, J.-G., Kim, Y.-H., Mehtab, A., Park, H.-R., & Yang, C.-J. (2026). Advances in audio classification and artificial intelligence for respiratory health and welfare monitoring in swine. *Biology*, 15(2), Article 177.
<https://doi.org/10.3390/biology15020177>
- Silva, M., Ferrari, S., Costa, A., Aerts, J. M., Guarino, M., & Berckmans, D. (2008). Cough localization for the detection of respiratory diseases in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), 286-292.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.024>
- SoundTalks. (2026). Swine respiratory health monitoring.
<https://www.soundtalks.com/en/swine-respiratory-health-monitoring>
- Tian, X., Zhong, N., Li, P., Cheng, T., & Ma, J. (2022). Identification of four chicken breeds by hyperspectral imaging combined with chemometrics. *Processes*, 10(8), 1484.
<https://doi.org/10.3390/pr10081484>
- Vandermeulen, J., Bahr, C., Johnston, D., et al. (2016). Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 129, 15-26.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.014>
- Wu, D., Yin, X., Jiang, B., Jiang, M., Li, Z., & Song, H. (2020). Detection of the respiratory rate of standing cows by combining the DeepLab V3+ semantic segmentation model with the phase-based video magnification algorithm.

Biosystems Engineering, 192, 72-89.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.01.012>

Zhang, Q., Yang, Y., Liu, G., Ning, Y., & Li, J. (2023). Dairy cow mastitis detection by thermal infrared images based on CLE-UNet. *Animals*, 13(13), 2211.

<https://doi.org/10.3390/ani13132211>

Lợn và Người. (2026, 6, 21). Trí tuệ nhân tạo (AI) theo dõi sức khỏe lợn... bắt đầu kiểm chứng thực địa tại trang trại lợn thông thường. Lợn và Người.

<https://www.pigpeople.net/news/article.html?no=19450>

Chương 3

Sức khỏe và dự báo bệnh tật, sinh sản và dinh dưỡng

3.1

Trí tuệ nhân tạo phát hiện bệnh từ sớm

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nhiều nghiên cứu về giám sát vật nuôi. Lúc 4 giờ 30 phút sáng, khi những ngôi sao vẫn còn trên mái chuồng, điện thoại của người chủ trại đổ chuông. Cảnh báo cho biết sản lượng sữa, độ dẫn điện của sữa và thời gian nhai lại của một con bò sữa đã lệch khỏi quy luật thường ngày. Ông khoác áo dày rồi bước ra khoảng sân còn tối. Khi ông cầm đèn pin đến gần, con bò vẫn chúi mũi vào máng ăn như mọi khi. Nó không đi khắp khiêng, bầu vú cũng không có vẻ sưng. Sau khi kiểm tra bầu vú và tình trạng sữa, ông gọi bác sĩ thú y. Cảnh báo từ cảm biến không phải là chẩn đoán.

Nó là tín hiệu thúc giục con người kiểm tra sớm hơn.

Ở chuồng bên cạnh, một loại cảnh báo khác xuất hiện. Những chiếc micro ghi lại tiếng ho của đàn lợn suốt đêm, còn trí tuệ nhân tạo quét các phổ âm đã biến dạng sóng âm thành hình ảnh. Những tiếng ho mà tai người không thể phân biệt với tiếng quạt thông gió lại hiện ra trước máy như những mẫu hình rõ ràng.

Gia súc không thể nói rằng mình đang bị bệnh. Nhiệt độ cơ thể, dáng đi, thời gian nhai lại và thành phần sữa lên tiếng thay cho chúng. Vấn đề là các tín hiệu này tăng giảm theo mùa, giai đoạn sản xuất, thậm chí theo thời tiết từng ngày. Nếu hệ thống chỉ xét một giá trị tại một thời điểm có vượt ngưỡng hay không, cảnh báo giả có thể vang lên nhiều lần trong ngày. Một con bò thở hổn hển vào buổi chiều oi bức có thể bị đánh dấu như đang sốt. Điều đáng quan tâm không phải là con số của một ngày, mà là mẫu hình được vẽ nên trong nhiều ngày và nhiều tuần trước đó.

Dữ liệu được đọc theo đúng trình tự thời gian được gọi là dữ liệu chuỗi thời gian. Trên biểu đồ, chúng tạo thành một đường uốn lượn như sóng núi; một đoạn tụt khỏi quỹ đạo quen thuộc có thể là dấu hiệu bệnh tật.

Một cấu trúc trí tuệ nhân tạo dùng để đọc dòng chảy này là mạng nơ-ron hồi quy (Recurrent Neural Network, RNN). Nó giữ lại thông tin vừa thấy và dùng thông tin ấy cho lần phán đoán tiếp theo. Điểm yếu là ký ức phai dần theo thời gian, giống như con người nhớ mơ hồ về một việc xảy ra mười ngày trước. Bộ nhớ dài-ngắn hạn (Long Short-Term Memory, LSTM) được thiết kế để khắc phục nhược điểm đó.

Mỗi tế bào có ba cổng nhỏ, phân loại thông tin nào đáng giữ và thông tin nào có thể quên.

LSTM học quy luật bình thường về thời gian nhai lại và vận động mà một con bò sữa thể hiện trong nhiều tuần, rồi xác định thời điểm nó rời khỏi quy luật ấy. Nếu một con bò thường nhai lại khoảng 540 phút mỗi ngày nhưng giảm xuống dưới 480 phút trong hai ngày liên tiếp, LSTM xem sự suy giảm này là cảnh báo chứ không phải dao động ngẫu nhiên. Những cách tiếp cận mới hơn gồm LSTM hai chiều, đọc dòng thời gian theo cả hai hướng, và bộ tự mã hóa LSTM, phát hiện bất thường trong khi nén rồi tái tạo các mẫu hình bình thường. Cả hai đều có thể tìm dấu hiệu cảnh báo mà không cần con người tiền xử lý dữ liệu bằng tay.

Một phương pháp khác tìm câu trả lời bằng phép tính dạng cây. Nhiệt độ cơ thể có vượt 39,5°C không? Con vật có ăn ít hơn hôm qua không? Hệ thống lần theo từng câu hỏi dọc các nhánh rồi đi đến xác suất mắc bệnh. Rừng ngẫu nhiên (Random Forest, RF) trồng hàng trăm cây như vậy và quyết định theo đa số. Một cây có thể sai, nhưng hàng trăm cây ít có khả năng cùng phạm một lỗi trong một lúc. Nếu 270 trong 300 cây bỏ phiếu cho nguy hiểm, phán đoán cuối cùng cũng nghiêng về nguy hiểm.

Cây tăng cường gradient (Gradient Boosted Trees, GBT) phát triển cây theo trình tự để mỗi cây mới tập trung vào những lỗi mà cây trước bỏ sót. XGBoost là phiên bản nhanh hơn và được tinh chỉnh kỹ hơn của phương pháp này. Ngay cả khi hàng chục biến số như nhiệt độ cơ thể, sản lượng sữa, số lượng tế bào soma và lượng thức ăn tiêu thụ quấn vào nhau, những cây này vẫn rút xác suất mắc bệnh ra khỏi mớ dữ liệu ấy.

Tại các chuồng trại miền núi xa xôi, nơi tín hiệu internet không ổn định, việc gửi dữ liệu lên máy chủ đám mây gặp nhiều khó khăn. Vì thế đã xuất hiện công nghệ hoàn tất phép tính trí tuệ nhân tạo trên một con chip không lớn hơn móng tay. Công nghệ này được gọi là học máy siêu nhỏ, hay TinyML. Một nghiên cứu công bố năm 2025 đã dùng nhiều bộ xử lý nhỏ cùng chip hỗ trợ mang tên edge TPU, thu nhỏ mô hình trí tuệ nhân tạo xuống còn 1/270 kích thước ban đầu mà vẫn giữ thời gian phản hồi dưới 80 mili giây. Khoảng thời gian ấy ngắn hơn một cái chớp mắt. Tuy nhiên, kết quả được tạo ra trên thiết bị nghiên cứu.

Cần thêm thử nghiệm thực địa để biết tốc độ và độ chính xác ấy có được duy trì trong chuồng trại thường xuyên mất liên lạc hay không.

Viêm vú là tình trạng viêm xảy ra khi vi khuẩn xâm nhập mô vú, từ lâu đứng đầu danh sách thiệt hại của các trang trại bò sữa. Tình trạng viêm có thể làm tăng nồng độ ion natri và clorua trong sữa, kéo theo độ dẫn điện và số lượng tế bào soma tăng lên. Những thay đổi này có thể xuất hiện đầu tiên trong dữ liệu do robot vắt sữa và cảm biến thu thập. Tuy vậy, một bài tổng quan năm 2026 cho thấy độ nhạy của các hệ thống phát hiện viêm vú dao động từ 26% đến 98%, còn độ đặc hiệu từ 40% đến 99,8%. Khác biệt giữa các trang trại và thiết bị quá lớn để có thể điều trị chỉ dựa vào một cảnh báo.

Một nghiên cứu năm 2026 trên 2.420 bò sữa tại ba trang trại ở Sri Lanka đặt ngưỡng 353.000 tế bào soma trên mỗi mililít. Khi so sánh nhiều mô hình học máy sử dụng dữ liệu độ dẫn điện của sữa và lú sữa, XGBoost đạt độ chính xác 77,3%; độ dẫn điện là biến đóng góp nhiều nhất cho dự báo. Con số này không có nghĩa cảm biến thay thế chẩn đoán của bác sĩ thú y. Nó giống một tín hiệu hỗ trợ giúp quyết định cần kiểm tra con bò nào trước.

Khập khiễng là đáng đi bất thường do viêm móng hoặc bệnh khớp, làm giảm cả lượng thức ăn tiêu thụ lẫn khối lượng cơ thể ở bò và lợn. Một camera chiều sâu 3D treo phía trên lối đi hoặc cửa phòng vắt sữa lần lượt ghi lại đường cong lưng bò, độ cân bằng trái phải của bước chân và tốc độ đi. Trên màn hình, khi con bò cong lưng như cánh cung, nó khẽ chuyển trọng lượng sang chân lành. Các nghiên cứu dùng camera và gia tốc kế đã tự động phân loại những khác biệt này, nhưng định nghĩa về khập khiễng và các chỉ số đánh giá hiệu năng không giống nhau giữa các nghiên cứu.

Cần kiểm chứng riêng để xác định độ chính xác đạt được ở một trang trại có còn giữ nguyên với giống bò và lối đi khác hay không, cũng như hệ thống có thể cảnh báo khập khiễng sớm vài ngày hay không.

Trong chuồng lợn và chuồng gia cầm, micro lắng nghe những âm thanh khác. Khi âm thanh thu bằng micro gắn trên trần được biến đổi bằng phương pháp như hệ số cepstrum theo thang tần số Mel (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC), tiếng ho và tiếng kêu để lại những mẫu hình khác với tiếng thông gió. Hệ thống thương mại SoundTalks chuyển âm thanh thu suốt ngày đêm thành điểm sức khỏe hô hấp trên màn hình của người quản lý. Tuy nhiên, hệ thống phát hiện bệnh sớm bao nhiêu ngày và phân loại tiếng ho chính xác đến đâu còn thay đổi theo bệnh, trang trại và vị trí lắp thiết bị.

Sau khi nhận cảnh báo, người quản lý phải trực tiếp kiểm tra thông gió và nhiệt độ trong ô chuồng, quan sát nhịp thở của lợn rồi cùng bác sĩ thú y quyết định điều trị.

Quanh thời điểm đẻ, bò sữa năng suất cao bước vào giai đoạn sản lượng sữa tăng mạnh và năng lượng cơ thể phải tiêu hao có thể vượt quá năng lượng được cung cấp. Nếu mất cân bằng nặng hơn, bò có thể mắc bệnh ketosis hoặc toan dạ cỏ. Cảm biến bolus đặt trong dạ cỏ đo độ pH và nhiệt độ cơ thể theo từng phút. Tuy nhiên, một lần thay đổi độ pH hoặc thời gian nhai lại không thể lập tức bị gắn nhãn là bệnh. Phải xem xét cùng lúc thời gian nằm dưới đường cơ sở, thức ăn và lứa đẻ. Một nghiên cứu tại Litva công bố năm 2025 đã theo dõi 94 bò sữa Holstein tại một trang trại trong 21 ngày sau khi đẻ.

Random Forest và XGBoost đều đạt độ chính xác 100% trên bộ dữ liệu nội bộ nhỏ này; hồi quy logistic đạt 89,5%, cây quyết định 84,2%, còn Naive Bayes và máy vectơ hỗ trợ đạt 78,9%. Nhóm nghiên cứu cảnh báo rằng kết quả có thể phản ánh hiện tượng quá khớp và phải được kiểm tra lại bằng dữ liệu độc lập từ nhiều trang trại.

Cảnh báo về bốn bệnh này thường hội tụ trên một màn hình. Trên máy tính bảng gắn vào tường chuồng hoặc ứng dụng điện thoại thông minh của chủ trại, mỗi con bò hiện ra bằng số thay vì tên, kèm mức nguy cơ viêm vú, khớp khiễng, bệnh hô hấp và rối loạn chuyển hóa được mã hóa bằng màu. Xanh lá nghĩa là an toàn, vàng là cần theo dõi, đỏ là phải kiểm tra ngay. Từ nhiều năm nay, đây là màn hình mà người chủ trại nhìn vào mỗi sáng trước khi tận mắt nhìn đàn bò.

Bệnh không tự giảm chỉ vì cảm biến phát cảnh báo sớm. Kết quả chỉ thay đổi khi con người kiểm tra bò sau cảnh báo, bác sĩ thú y chẩn đoán, rồi việc điều trị và chăm sóc được điều chỉnh. Trong các hệ thống chăn nuôi chính xác được một bài tổng quan năm 2026 xem xét, rất ít hệ thống nổi cảnh báo đến khâu ra quyết định tại trang trại và can thiệp tự động. Vì vậy, không thể nổi một điểm phân loại cao trong phòng thí nghiệm với tỷ lệ bệnh thấp hơn, sản lượng sữa cao hơn và chi phí thức ăn giảm thành một chuỗi nhân quả duy nhất.

Nhưng kể lại thành công mới chỉ là một nửa câu chuyện. Tại một trang trại được quản lý tốt, các ca viêm vú lâm sàng hoặc bệnh nặng chiếm chưa đến 5% toàn bộ dữ liệu. Quan sát trên bò khỏe chất thành núi, còn ca bệnh chỉ đếm trên đầu ngón tay, vì thế trí tuệ nhân tạo có thể rất giỏi nhận ra bò khỏe nhưng lại bỏ sót những con thật sự mắc bệnh. Đó là lý do nhóm nghiên cứu Litva tự đưa ra cảnh báo.

Trong 94 con bò, chỉ có 24 ca ketosis và 26 ca toan dạ cỏ. Con số 100% có thể gần với may rủi hơn là năng lực. Cảnh báo quá nhiều là một vấn đề nghiêm trọng khác.

Nếu tiếng ồn nhỏ trong chuồng hoặc lỗi cảm biến thoáng qua tạo ra cảnh báo giả nhiều lần mỗi ngày, chủ trại dần chai lì với thông báo rồi để một tín hiệu nguy hiểm thật sự trôi qua. Một mô hình đạt gần 95% độ chính xác ở một trang trại thường giảm mạnh khi được chuyển nguyên trạng sang nơi có giống vật nuôi, khẩu phần thức ăn, thiết kế chuồng hoặc khí hậu khác. Trang bị cảm biến, vòng cổ và thiết bị theo dõi nhai lại cho từng con cũng rất tốn kém.

Trang trại có hàng trăm con bò có thể thu hồi chi phí thiết bị trong vài năm nhờ giảm tiền thuốc và thiệt hại do chết, nhưng trang trại nhỏ chỉ có vài chục con sẽ chần chừ trước khoản đầu tư ban đầu. Vì vậy, nghiên cứu gần đây đang vượt khỏi cách chỉ đưa số đọc cảm biến vào thuật toán. Hướng đi mới là những phương pháp lai kết hợp mô hình sinh lý bò đã được xác lập với trí tuệ nhân tạo, cùng hệ thống học sâu cá nhân hóa học lại đường cơ sở theo thời gian thực cho từng trang trại và từng con vật.

Trở lại chuồng bò trước bình minh trong cảnh dựng lại, đầu ngón tay người chủ trại vẫn đặt trên điện thoại. Một số thông báo có thể là cảnh báo giả do lỗi cảm biến hoặc thời tiết. Nhưng ông không thể mặc nhiên bỏ qua thông báo tiếp theo. Ông đọc màn hình rồi đi đến chuồng kiểm tra bò. Những bước chân qua lại trước bình minh giữa con số trên màn hình và con bò sống trong chuồng có lẽ chưa sớm biến mất, dù trí tuệ nhân tạo có tinh vi đến đâu.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Arlauskaitė, S., Girdauskaitė, A., Malašauskienė, D., Televičius, M., Džermeikaitė, K., Krištolaitytė, J., Lembovičiūtė, G., Šertvytytė, G., & Antanaitis, R. (2025). Machine learning approaches for early identification of subclinical ketosis and low-grade ruminal acidosis during the transition period in dairy cattle. *Life*, 15(9), 1491. <https://doi.org/10.3390/life15091491>
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6-11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Ebrahimi, M., Mohammadi-Dehcheshmeh, M., Ebrahimie, E., & Petrovski, K. R. (2019). Comprehensive analysis of machine learning models for prediction of sub-clinical mastitis: Deep learning and gradient-boosted trees outperform other models. *Computers in Biology and Medicine*, 114, 103456. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2019.103456>
- Fan, X., Watters, R. D., Nydam, D. V., Virkler, P. D., Wieland, M., & Reed, K. F. (2023). Multivariable time series classification for clinical mastitis detection and prediction in automated milking systems. *Journal of Dairy Science*, 106(5), 3448-3464. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22355>

- Naqvi, S. A., King, M. T. M., Matson, R. D., DeVries, T. J., Deardon, R., & Barkema, H. W. (2022). Mastitis detection with recurrent neural networks in farms using automated milking systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106618.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106618>
- Paudyal, S., Maunsell, F. P., Richeson, J. T., Risco, C. A., Donovan, D. A., & Pinedo, P. J. (2018). Rumination time and monitoring of health disorders during early lactation. *Animal*, 12(7), 1484-1492.
<https://doi.org/10.1017/S1751731117002932>
- Rathnayaka, R. M. C. O., Devindi, K. M., Saiju, M. P., Ajitha, A. P., Kaniyamattam, K., Deshapriya, R. M. C., & Ranasinghe, R. M. S. B. K. (2026). Machine learning-based prediction of subclinical mastitis in large-scale dairy herds using a locally established somatic cell count threshold. *Scientific Reports*, 16(1), 19661.
<https://doi.org/10.1038/s41598-026-50467-5>
- Sani, M. I., van der Voort, M., Tekinerdogan, B., & Hogeveen, H. (2026). Application of precision livestock farming: Challenges and opportunities. *Animal Bioscience*, 39(4), 250895.
<https://doi.org/10.5713/ab.250895>
- Taechachokeyivat, N., Kou, B., Zhang, T., et al. (2024). Evaluating the performance of herd-specific long short-term memory models to identify automated health alerts associated with a ketosis diagnosis in early-lactation cows. *Journal of Dairy Science*, 107(12), 11489-11501.
<https://doi.org/10.3168/jds.2023-24513>
- Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez III, H. M., & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management. *Animal Bioscience*, 39(4), 250289.
<https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>
- Tian, H., Zhou, X. J., Wang, H., Xu, C., Zhao, Z. X., Xu, W., et al. (2024). The prediction of clinical mastitis in dairy cows based on milk yield, rumination time, and milk electrical conductivity using machine learning algorithms. *Animals*, 14(3), 427.
<https://doi.org/10.3390/ani14030427>
- Vandermeulen, J., Bahr, C., Johnston, D., et al. (2016). Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 129, 15-26.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.014>
- Zhang, K., Han, S., Wu, J., et al. (2023). Early lameness detection in dairy cattle based on wearable gait analysis using semi-supervised LSTM-autoencoder. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108252.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108252>
- Zhang, Q., & Kanjo, E. (2025). A multicore and edge TPU-accelerated multimodal TinyML system for livestock behavior recognition. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2504.11467>

3.2

Đôi mắt đọc dấu hiệu động dục và sinh nở

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ các nghiên cứu phát hiện động dục. Trong chuồng sau nửa đêm, một con bò đi tới đi lui trên lối đi thay vì nằm xuống. Nó thoáng đặt hai chân trước lên lưng con bò ở ô bên cạnh rồi lập tức bước xuống. Trong chuồng tối, con mắt theo dõi chuyển động ấy là camera hồng ngoại treo trên trần. Mức vận động do gia tốc kế trên cổ ghi lại cũng tăng cao hơn đường cong thường ngày. Điện thoại của người quản lý đang ngủ hiện thông báo rằng con bò có dấu hiệu động dục rõ rệt và cần được kiểm tra.

Thời điểm thụ tinh nhân tạo được chọn bằng cách xem xét đồng thời lúc bắt đầu động dục và hồ sơ của con vật, chứ không dựa vào một cảnh báo cảm biến duy nhất.

Khả năng sinh sản quyết định sinh kế của một trang trại chăn nuôi. Chỉ một lần bỏ lỡ thời điểm động dục thích hợp cũng làm chậm quá trình mang thai, kéo dài thời gian không tạo ra sữa, trong khi tiền thức ăn vẫn liên tục phát sinh. Nếu con người hỗ trợ quá muộn lúc đẻ, bò mẹ hoặc bê con có thể chết. Cách quản lý theo dõi tín hiệu của từng con vật suốt ngày đêm này được gọi là chăn nuôi chính xác (Precision Livestock Farming, PLF). Một người chỉ có thể quan sát bằng mắt vài chục con bò, còn cảm biến và camera có thể ghi nhận chuyển động của hàng trăm con cùng lúc.

Tại vùng nông thôn ngày càng khó thuê nhân công, những thiết bị thức suốt đêm thay con người không còn là tiện ích có thì tốt. Chúng đang trở thành công cụ không thể thiếu.

Trong cơ thể bò bước vào kỳ động dục, nồng độ hormone sinh sản estrogen tăng vọt. Những thay đổi do hormone này tạo ra hiện rõ trong hành vi. Bò đi xa hơn và đứng lâu hơn. Nó nhảy lên con khác, hoặc đứng yên thay vì tránh đi khi con khác nhảy lên mình. Trong trang trại, tư thế này được gọi là phản xạ đứng yên khi chịu đực. Những con bò khác không để ý đến sự xáo động, vẫn chúm mũi vào máng ăn và tiếp tục nhai lại. Trái lại, con bò động dục giảm mạnh thời gian ăn và nhai lại. So

với đường cơ sở hằng ngày, thời gian nhai lại của nó giảm khoảng 20% đến 40%. Bên trong cơ thể cũng diễn ra những thay đổi âm thầm.

Độ dẫn điện trong âm đạo thay đổi nhẹ, nhiệt độ ở tai và sâu trong cơ thể lên xuống, con bò liên tục phát ra những tiếng kêu cao vốn hiếm khi xuất hiện. Lợn ở chuồng bên cũng gửi tín hiệu riêng. Âm hộ của lợn nái sưng lên; khi con đực đến gần và tì vào, nó đứng vững thay vì tránh đi. Không hành vi nào kéo dài lâu. Chúng đạt đỉnh trong khoảng một ngày rồi lắng xuống. Một con bò ngừng nhai lại, liên tục đứng dậy đi lại đang viết câu đầu tiên bằng chính cơ thể mình.

Gia tốc kế gắn ở cổ, tai hoặc cổ chân biến câu ấy thành con số. Cảm biến ghi chuyển động của bò nhiều lần mỗi giây; số đọc được tích lũy theo ngày để so với mức vận động bình thường của nó. Khi mức vận động đột ngột tăng cao trùng với thời gian nhai lại giảm, thuật toán tính xác suất động dục. Hệ thống định vị trong nhà có thể bổ sung con bò đã đi tới lui ở đâu và trong bao lâu. Các mô hình như Random Forest, máy vector hỗ trợ và LSTM đọc những dữ liệu này. Kết quả không đồng đều. Trong một bài tổng quan năm 2026, độ nhạy của hệ thống giám sát sinh sản dao động từ 45% đến 98%, độ đặc hiệu từ 70% đến 99%.

Số bò bị bỏ sót và số cảnh báo giả thay đổi theo giống, vị trí cảm biến và tiêu chuẩn dùng để xác nhận động dục. Các hệ thống này có thể giảm nhu cầu một người phải canh chuồng suốt đêm, nhưng chưa thiết bị nào phát hiện được mọi con vật.

Tìm đúng thời điểm thụ tinh nhân tạo khó hơn nhiều so với phát hiện động dục. Khoảng cách từ khi bắt đầu động dục đến lúc rụng trứng khác nhau ở từng con bò; tình trạng tinh dịch và lứa đẻ cũng ảnh hưởng tỷ lệ thụ thai. Thuật toán tìm thời điểm đường cong vận động đạt đỉnh để khoanh hẹp lúc bắt đầu động dục, rồi kết hợp với hồ sơ phối giống trước đây cho kỹ thuật viên thụ tinh xem xét. Nó không thể chỉ ra một khoảng hai giờ gần như tuyệt đối chính xác cho mọi con bò. Thời điểm cảnh báo giúp kỹ thuật viên sắp thứ tự kiểm tra dịch nhầy, phản xạ đứng yên khi chịu được và lịch sử từng cá thể.

Những hồ sơ ấy lại được đưa vào lần dự báo động dục tiếp theo. Cảm biến và video bù khoảng trống cho nhau, nhưng thời điểm cuối cùng chỉ được quyết định sau khi con người kiểm tra bò.

Camera theo dõi hành vi của đàn mà không cần vòng cổ hay thẻ tai. Hệ thống kết hợp ảnh hồng ngoại với học sâu có thể ghi hành vi nhảy lên lưng nhau vào ban đêm khi con người đang ngủ. Một số mạng nơ-ron phân biệt hoa văn trên thân từng

con bò, gán danh tính rồi mới phán đoán hành vi nhảy. Nếu danh tính sai ngay từ bước đầu, kết quả ở bước sau cũng bị gán cho nhầm con. IATEFF-YOLO được thiết kế để phát hiện hành vi nhảy trong điều kiện tối; các phương pháp tổ hợp kết hợp video từ hai góc cũng đang được nghiên cứu.

Tuy nhiên, một nghiên cứu PLOS ONE năm 2026 chỉ thử nghiệm ba con bò trong 17 giờ 16 phút video ghi trong một ngày, và chỉ hai con đang động dục. Một nghiên cứu khác năm 2026 ghép mạng nơ-ron họ YOLO với DeepSORT vẫn mới ở giai đoạn tóm tắt hội nghị. Video chỉ là một lựa chọn không tiếp xúc. Gia tốc kế, GPS, dấu đánh do con đực để lại và xét nghiệm hormone cung cấp những phương pháp khác cho cừu và dê. Nghiên cứu dùng mạng nơ-ron tích chập 3D để nhận biết động tác vẩy đuôi của cừu cái bổ sung thêm một lựa chọn.

Con bò sắp đẻ phát ra tín hiệu khác với động dục. Một hoặc hai ngày trước khi sinh, nó ở máng ăn ít hơn và có thể tách đàn tìm một góc riêng. Nó liên tục nằm xuống, đứng lên và nhấc đuôi thường xuyên hơn. Cảm biến nhiệt gắn ở đuôi ghi lại thay đổi nhiệt độ bề mặt trước khi đẻ. Đây không phải nhiệt độ sâu trong cơ thể và chịu ảnh hưởng của gió, mùa. Vì vậy, nghiên cứu tiếp tục đọc tư thế cùng mức vận động thay vì dựa vào một đường nhiệt độ duy nhất.

Các phương pháp kết hợp thay đổi nhiệt độ và tư thế đang được hoàn thiện theo hai hướng: cảm biến và video. Một thiết bị gắn đuôi có cảm biến nhiệt cùng gia tốc kế đã được thử nghiệm để dự báo riêng khoảng 24 giờ và 6 giờ trước khi đẻ. Camera chiều sâu 3D gắn trên trần đánh nhãn từng cảnh bò đang nằm, đứng hay nhấc đuôi. Mô hình Markov ẩn theo dõi trình tự thay đổi của các trạng thái này. Một số nghiên cứu kết hợp quỹ đạo và tư thế để phân biệt ca đẻ bình thường với ca cần hỗ trợ, nhưng đây chưa phải hệ thống thực địa có thể xác định chính xác phút sinh và dự báo có xảy ra đẻ khó hay không.

Ushi-Waka và NiLIMo phát hiện cảnh túi ối hoặc chân bê bắt đầu lộ ra rồi gửi cảnh báo đến điện thoại. Nikon công bố hiệu năng phát hiện sinh nở của NiLIMo đạt 95%. Cảnh báo của sản phẩm có thể giảm số lượt tuần tra ban đêm, nhưng cần kiểm chứng ở cấp trang trại để biết còn phải tuần tra bao nhiêu phút và tỷ lệ bê sống tăng bao nhiêu.

Những con số khiến công nghệ này trông gần như hoàn hảo, nhưng chuồng trại thật dựng lên ba rào cản.

Rào cản thứ nhất là cảnh báo giả. Bò chịu nóng mùa hè, viêm vú hoặc khớp khiếm cũng có thể ngừng nhai lại và bồn chồn đi tới đi lui. Với thuật toán, những chuyển động này có thể không khác dấu hiệu động dục hoặc sắp đẻ. Vào buổi chiều oi bức, một con bò cứ đi tìm một dải bóng râm có thể bị vòng cổ đọc thành đang động dục. Nhiệt độ bề mặt đuôi bò cũng giảm trong gió lạnh mùa đông, và cảm biến có thể nhầm cái lạnh ấy với tín hiệu sắp đẻ. Nếu bò khớp khiếm liên tục nằm xuống, đứng lên vì đau, thuật toán theo dõi sinh có thể hiểu nhầm chuyển động đó là chuyển dạ.

Khi kỹ thuật viên thụ tinh vội đến theo cảnh báo trước bình minh rồi chỉ thấy một con bò què thay vì bò động dục, một liều tinh, phí gọi người trong ngày và thời gian bỏ ra đều bị lãng phí. Sau vài ngày cảnh báo giả như vậy, người quản lý có thể kéo chăn trùm đầu thay vì đứng dậy khi điện thoại báo. Mỗi cảnh báo lặp lại lại bào mòn một chút niềm tin của chủ trại vào hệ thống.

Tín hiệu cũng có thể bị bỏ sót. Bò tơ dễ lừa đầu biểu hiện trước động dục và sinh khác hẳn bò đã đẻ nhiều lần. Một số con hầu như không bộc lộ dấu hiệu động dục ra ngoài; thuật toán tiêu chuẩn duy nhất khó phát hiện tình trạng động dục thầm lặng này. Một con bò có thứ bậc thấp trong đàn có thể bị những con khác đẩy ra, phải lùi lại trước cả khi thể hiện hành vi nhảy. Khác biệt cá thể trong biểu hiện động dục được xem là một trở ngại đối với phát hiện tự động. Bỏ lỡ một kỳ động dục, trang trại phải chờ gần ba tuần nữa mới có kỳ tiếp theo. Trong khoảng ấy, con bò vẫn chưa mang thai và vẫn ăn thức ăn.

Mỗi ngày không mang thai kéo dài đều cộng thẳng vào chi phí thức ăn, còn kỳ tiết sữa tiếp theo bị lùi tương ứng. Cộng thêm sản lượng sữa bị mất, thiệt hại từ một con bò không hề nhỏ. Khi số ngày không vắt sữa tăng lên, một số chủ trại bắt đầu cân nhắc có nên tiếp tục giữ con bò đó hay không. Bỏ lỡ tín hiệu sắp đẻ gây hậu quả nặng hơn. Nếu bò vật lộn một mình và thai nằm sai tư thế, cả bò mẹ lẫn bê con đều gặp nguy hiểm. Nếu trời sáng mà không có cảnh báo, sự việc có thể kết thúc trước khi con người kịp can thiệp.

Độ bền thiết bị là một vấn đề khác. Nước ối, máu và phân thải ra khi sinh bám lên cảm biến gắn ở đuôi và ống kính camera. Khi bò cọ người vào cột trong ô để chật hẹp, cảm biến được gắn cẩn thận có thể bị giật rơi hoàn toàn. Nếu bùn và vụn thức ăn khô lại trên ống kính, hình ảnh trở nên mờ đục; suốt nhiều ngày hệ thống nhìn chuồng như đang nhắm mắt. Pin cạn hoặc ô chuồng ở góc ngoài vùng phủ sóng có thể khiến thiết bị hoàn toàn không tạo số đọc. Rắc rối ấy trở lại vào những sáng

mùa đông khi sương giá phủ trắng ống kính. Thiết bị đắt tiền có thể im tiếng đúng lúc cần nhất.

Thay những cảm biến rơi hoặc hỏng rất tốn kém; chi phí càng phình ra ở trang trại nuôi nhiều bò cùng lúc.

Vì thế, nghiên cứu ở giai đoạn tiếp theo tiếp tục chuyển sang các mô hình cá nhân hóa, học hồ sơ cũ của từng con và điều chỉnh ngưỡng phán đoán riêng cho con bò ấy, cũng như thị giác máy tính theo dõi mà không cần cảm biến chạm vào cơ thể. Các nhà nghiên cứu đang thử vẽ đường cơ sở riêng cho bò để lựa đầu và bò đã đẻ nhiều lứa, đồng thời đặt phạm vi bình thường khác nhau cho mùa hè và mùa đông. Giảm giá thiết bị và làm cho việc lắp đặt dễ hơn vẫn là những bài toán phải giải quyết song song.

Thiết bị của các hãng khác nhau thường hoạt động tách biệt vì không trao đổi được tín hiệu, một vấn đề khác vẫn chờ lời giải. Số bước chân của con người vòng quanh chuồng trước bình minh đã ít đi, nhưng vẫn còn vài bước nữa trước khi chúng biến mất hoàn toàn.

Nguồn và tài liệu tham khảo

Arıkan, İ., Ayav, T., Seçkin, A. Ç., & Soygazi, F. (2023). Estrus detection and dairy cow identification with cascade deep learning for augmented reality-ready livestock farming. *Sensors*, 23(24), 9795.

<https://doi.org/10.3390/s23249795>

Benaissa, S., Tuytens, F. A. M., Plets, D., et al. (2020). Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105153.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105153>

Clayton, C., Hartley, E., Hudson, C., & McGee, M. (2026). Automated detection and tracking of estrus behaviors in dairy cows using YOLOv10s and DeepSORT. *Journal of Animal Science*, 104(Supplement_2), skag057.080.

https://academic.oup.com/jas/article/104/Supplement_2/skag057.080/8571649

Hanpinitsak, P., Katanyukul, T., Tonmitr, N., Suntara, C., Tanusilp, S., & Phuphaphud, A. (2026). Artificial intelligence-based dairy cattle behavior recognition for estrus detection via ensemble fusion of two camera views. *PLoS ONE*, 21(1), e0340999.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0340999>

Higaki, S., Matsui, Y., Sasaki, Y., et al. (2022). Prediction of 24-h and 6-h periods before calving using a multimodal tail-attached device equipped with a thermistor and 3-axis accelerometer through supervised machine learning. *Animals*, 12(16), 2095.

<https://doi.org/10.3390/ani12162095>

Khin, M. P., Tin, P., Horii, Y., & Zin, T. T. (2024). Predictive modeling of cattle calving time emphasizing abnormal and normal cases by using posture analysis. *Scientific Reports*, 14, 31871.

<https://doi.org/10.1038/s41598-024-83279-6>

Kshirsagar, R., Kalbande, K., Yerunkar, P., Lokhande, A., Mondal, K., Jagtap, H., & Chunarkar, R. (2026). IoT-enabled estrus detection in dairy cattle using machine learning technique. *International Journal of Information*

Engineering and Electronic Business, 18(2), 121-139.

<https://doi.org/10.5815/ijieeb.2026.02.08>

Li, D., Dai, B., Li, Y., et al. (2024). IATEFF-YOLO: Focus on cow mounting detection during nighttime. Biosystems Engineering, 246, 54-66.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2024.07.017>

Mg, W. H. E., Zin, T. T., Tin, P., Aikawa, M., Honkawa, K., & Horii, Y. (2025). Automated cattle monitoring system for calving time prediction using trajectory data embedded time series analysis. IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 6, 216-234.

<https://doi.org/10.1109/OJIES.2025.3533663>

Mg, W. H. E., Tin, P., Aikawa, M., Honkawa, K., Horii, Y., & Zin, T. T. (2026). Signal-based feature analysis of behavioral trajectories for predicting calving time and classifying assistance needs. Computers and Electronics in Agriculture, 243, 111301.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.111301>

Sani, M. I., van der Voort, M., Tekinerdogan, B., & Hogeveen, H. (2026). Application of precision livestock farming: Challenges and opportunities. Animal Bioscience, 39(4), 250895.

<https://doi.org/10.5713/ab.250895>

Sankarganesh, D., Krishna Prasad, P. D. S. Y., Sujit, S., Thiraviam, A. I. G., & Ambrose, D. J. (2026). Estrus detection in dairy cattle: An updated review on strategies and technologies. Frontiers in Veterinary Science, 13, 1807199.

<https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1807199>

Shi, J., Chen, X., Zhang, Y., Gong, P., Xiong, Y., Shen, M., Norton, T., Gu, X., & Lu, M. (2025). Detection of estrous ewes' tail-wagging behavior in group-housed environments using Temporal-Boost 3D convolution. Computers and Electronics in Agriculture, 234, 110283.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110283>

Slebioda, L., Zawieja, B., Grodkowski, G., Sakowski, T., Baars, T., & Szwaczkowski, T. (2026). Prediction of calving time based on sensor measurements of behaviour in cattle. Animal, 20(5), 101808.

<https://doi.org/10.1016/j.animal.2026.101808>

Sumi, K., Maw, S. Z., Zin, T. T., Tin, P., Kobayashi, I., & Horii, Y. (2021). Activity-integrated hidden Markov model to predict calving time. Animals, 11(2), 385.

<https://doi.org/10.3390/ani11020385>

Wojewodzic, D., Gołębiewski, M., & Grodkowski, G. (2025). Methods of observing the signs of approaching calving in cows: A review. Animals, 15(7), 1018.

<https://doi.org/10.3390/ani15071018>

3.3

Camera đo cơ thể: điểm thể trạng và ước tính khối lượng

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nghiên cứu về đo hình thể tự động. Lúc 5 giờ sáng, những con bò rời phòng vắt sữa lần lượt đi qua một lối hẹp. Mỗi khi một con bò bước dưới chiếc hộp treo trên trần, đèn báo chớp lên trong giây lát. Ánh sáng từ trong hộp quét lưng và thắt lưng của nó; trên màn hình văn phòng hiện ra một bản đồ ba chiều gồm hàng chục nghìn điểm đỏ và xanh. Vài giây sau, màn hình hiển thị điểm thể trạng và khối lượng ước tính. Con bò đã ra khỏi lối đi và đang bước về phía máng ăn. Nó không bước lên cân, cũng không có bàn tay người nào chạm vào cơ thể.

Cho đến gần đây, điểm số này đến từ đầu ngón tay con người. Người quản lý dùng lòng bàn tay ấn và xoa quanh gốc đuôi cùng các đốt sống thắt lưng của bò, đánh giá độ dày của mỡ và xương rồi chuyển cảm giác đó thành một con số trên bảng kẹp giấy. Khối lượng còn được đo thô hơn. Bò hoặc lợn phải bị lừa lên cân. Bị ép trong lối hẹp, con vật sợ mặt sàn kim loại xa lạ có thể lùi lại hoặc trượt chân làm bị thương chân. Người chăn nuôi không hiếm khi bị đá hoặc bị thân con vật đè, dẫn đến chấn thương cổ tay hay gãy xương sườn. Ngay với cùng một con bò, điểm của hai người đánh giá có thể lệch gần nửa điểm.

Đo lại bằng tay cả đàn bò sữa có khối lượng thường xuyên thay đổi đôi khi mất trọn nửa ngày. Sự mệt mỏi khiến điểm do con người chấm dao động; điểm buổi sáng đôi khi khác điểm buổi tối. Người phải tin vào điểm số đó để đặt khẩu phần thức ăn lại rơi vào thế khó mỗi lần như vậy.

Điểm thể trạng (Body Condition Score, BCS) nén lượng mỡ và cơ tích trữ trong cơ thể bò hoặc lợn thành một con số. Tiêu chuẩn khác nhau tùy loài và quốc gia, nhưng thang phổ biến chạy từ 1, cực gầy, đến 5, béo phì; một số quốc gia và loài dùng thang chi tiết hơn gồm chín mức. Điểm số dao động mạnh nhất quanh thời điểm đẻ, khi giai đoạn tiết sữa vừa bắt đầu. Mỡ dự trữ đang nhanh chóng được chuyển thành sữa. Nếu bò sữa mất mỡ quá nhanh trong lúc tạo sữa, bệnh ketosis

và gan nhiễm mỡ có thể xuất hiện, còn xác suất mang thai lần tiếp theo giảm xuống. Nếu bò quá béo trước khi đẻ, nguy cơ đẻ khó và viêm vú tăng mạnh.

Chênh lệch chỉ nửa điểm có thể làm thay đổi sức khỏe và thành tích sinh sản của nó trong nhiều tuần. Công việc cũng chưa kết thúc khi bò vượt qua an toàn vài tuần quanh kỳ sinh. Phải tiếp tục theo dõi đường cong điểm số tăng giảm dần trong khoảng mười tháng sản xuất sữa. Chỉ khi đó mới có thể ước tính lần phối giống tiếp theo và sản lượng sữa năm sau. Cả một năm sản xuất của một con bò treo trên điểm số duy nhất này.

Thiết bị đánh giá tự động đã chuyển độ nhạy của đầu ngón tay con người sang camera và LiDAR. LiDAR tính khoảng cách bằng cách đo thời gian ánh sáng phát ra quay trở lại. Nhìn từ trên xuống một lối đi, camera RGB-D như Intel RealSense hoặc Kinect, hay một thiết bị LiDAR, ghi hàng chục nghìn tọa độ trên bề mặt con vật trong khoảnh khắc nó đi qua, tạo thành đám mây điểm, tức bản đồ ba chiều được cấu thành từ các điểm. Từng điểm riêng lẻ không có ý nghĩa, nhưng hàng chục nghìn điểm ghép lại làm lộ toàn bộ đường nét lưng và thất lưng bò.

Thuật toán phân đoạn ảnh như Detectron2 hoặc Mask R-CNN sau đó chỉ cắt lấy đường sống lưng, xương hông trước, xương hông sau và mô nhô ở gốc đuôi. Phần nền, chân và đầu biến mất khỏi ảnh, chỉ còn đường cong lưng và thân sau. Độ cong và độ sâu của những vùng được chọn đi vào một mạng nơ-ron như PointNet++, rồi được nén thành một điểm số. Mọi phép tính kết thúc trước khi con bò đi hết hành lang. Ánh sáng đã thay cho xúc giác.

Hệ số tương quan cho biết điểm của chuyên gia và camera biến động sát nhau đến đâu; càng gần 1, chúng càng giống nhau. Nhiều lần kiểm chứng đã báo cáo giá trị trên 0,90. Camera có thể chấm điểm bò theo cùng một cách mỗi lần chúng vào và ra khỏi phòng vắt sữa, từ đó vẽ nên mẫu hình dài hạn. Điều này không xóa được bất đồng giữa con người hoặc sai lệch giữa các trang trại. Thay đổi tư thế, ánh sáng và giống vẫn có thể làm điểm số dịch chuyển. Một nghiên cứu công bố năm 2026 đặt cạnh nhau ảnh chiều sâu và đám mây điểm ba chiều của 1.020 bò sữa.

Ngay cả sau phép so sánh này, câu hỏi liệu nhiều thông tin ba chiều hơn có nhất thiết tạo ra điểm chính xác hơn hay không vẫn bỏ ngỏ.

Chỉ điểm số là chưa đủ. Khối lượng phải được đo riêng bằng con số thực tính theo kilôgam, cùng mức tăng khối lượng trung bình hằng ngày (Average Daily Gain, ADG), tức lượng tăng thêm mỗi ngày. Các giá trị này cần thiết để xác định ngày

xuất chuồng và mức độ hiệu quả khi thức ăn chuyển thành khối lượng cơ thể. Việc nhận ra con nào tăng tốt với cùng một loại thức ăn và con nào không bắt đầu từ những con số ấy. Chỉ cần xuất chuồng chậm vài ngày, lượng thức ăn tiêu thụ trong khoảng đó trở thành tổn thất trực tiếp. Camera tìm nhiều mốc trên cơ thể bò hoặc lợn.

Trong khoảnh khắc, nó xác định chiều cao thân đo tại vùng xương cùng, chiều dài thân từ vai đến hông, vòng ngực, độ sâu ngực và bề rộng hông. Một người sẽ phải đo riêng năm lần bằng thước dây. Camera ước tính khối lượng từ các số đo đó.

Vấn đề nằm ở khoảng cách và góc giữa camera với con vật. Cùng một con bò trông lớn hơn khi đi sát camera và nhỏ hơn khi lệch về mép lối đi. Để giảm sai số, một camera ước tính chiều sâu, hoặc hai camera chồng các góc nhìn chụp từ những hướng khác nhau rồi tính khoảng cách thật. Phép hiệu chuẩn gán số xentimet cho điểm ảnh làm giảm biến dạng trong một phạm vi chụp xác định. Thay đổi độ cao camera hoặc ống kính thì hệ thống phải hiệu chuẩn lại; sai số vẫn còn khi con vật nghiêng người hoặc chồng lên con khác.

Sau khi hiệu chuẩn, các số đo cơ thể lại đi qua công thức đã được huấn luyện. Một số hệ thống đánh dấu mốc bằng YOLOv8-Pose rồi tính khối lượng bằng mô hình hồi quy như XGBoost hoặc LightGBM. Hệ thống khác ước tính trực tiếp thể tích và khối lượng từ ảnh chiều sâu hoặc đám mây điểm ba chiều. Quy trình khác nhau, nhưng nền tảng giống nhau: huấn luyện bằng dữ liệu camera ghép cặp với số đọc từ cân thật.

Trong nhiều lần kiểm chứng trên bò, hệ số tương quan giữa ước tính của camera và số đọc của cân vượt 0,90. Trong một nghiên cứu đo bò Holstein đang lớn bằng LiDAR, chỉ vòng ngực và chiều dài thân đã đủ dự báo khối lượng mà không cần cân. Một nghiên cứu của Hàn Quốc trên bò Hanwoo tiến thêm một bước, dùng học máy dự báo cả độ dày mỡ lưng dùng để xếp hạng thân thịt. Đây là nỗ lực dùng camera ước tính khi con vật còn sống một cấp hạng vốn chỉ biết được ở lò mổ. Một nghiên cứu tại Đông Nam Á chụp bò Bali cũng báo cáo kết quả tương tự.

Độ tin cậy tương đương tiếp tục xuất hiện trong các nghiên cứu kiểm chứng lắp camera ở trang trại bò sữa thương mại thay vì phòng thí nghiệm và theo dõi trong nhiều tháng. Loài vật và quốc gia khác nhau, nhưng nguyên lý vẫn vậy: con vật đi dưới camera biến thành một tập hợp con số.

Camera 3D gắn trên trần chuồng lợn vỗ béo đo thể tích thân lợn và trong một số lần kiểm chứng đã ghi hệ số xác định từ 0,96 đến 0,98. Đây là các con số cao, nhưng sai số tăng khi điều kiện chụp và tư thế thay đổi. Trên đồng cỏ, một số nghiên cứu gắn LiDAR và camera RGB lên thiết bị bay không người lái để ước tính kích thước cơ thể bò. Một bộ dữ liệu năm 2025 chụp 96 con bò từ độ cao 8 đến 50 mét. Hệ số xác định của ước tính khối lượng khoảng 0,94 khi bò đứng và giảm còn khoảng 0,74 khi bò nằm.

Đây giống nghiên cứu thử ảnh hưởng của tư thế và điều kiện bay hơn là thiết bị có thể xác định khối lượng cả đàn trong vài phút.

Lấy khối lượng hôm nay trừ hôm qua sẽ được mức tăng khối lượng trung bình hằng ngày. Biểu đồ tích lũy mức tăng này qua nhiều ngày quyết định ngày xuất chuồng. Lợn lớn chậm hơn đường cong mục tiêu sẽ được đổi khẩu phần và ở lại thêm vài ngày; con vượt đường cong sẽ ra thị trường sớm hơn kế hoạch. Xuất chuồng dưới khối lượng mục tiêu làm giảm giá trị sản phẩm; tiếp tục cho ăn sau khi con vật đã ngừng lớn chỉ làm rò rỉ chi phí thức ăn. Trước đây, mọi con lợn trong một ô được xuất cùng lúc, nên những con chưa lớn đủ cũng lên xe tải.

Giờ đây có thể theo dõi riêng đường cong từng con, nhờ đó chọn trước những con lớn nhanh nhất trong cùng ô. Số còn lại ăn thêm vài ngày cho đến khi bắt kịp đường cong. Không cần vật lợn trên cân, một đường cong duy nhất trên màn hình đặt thời điểm xuất chuồng cho từng con.

Những con số này bộc lộ giá trị thật ở máng ăn. Khi bò bước vào trạm ăn cá thể, RFID nhận diện nó trước. Khối lượng, sản lượng sữa và điểm thể trạng quyết định lượng thức ăn tinh bổ sung dành cho con đó. Robot cung cấp khẩu phần hỗn hợp hoàn chỉnh (Total Mixed Ration, TMR) thường cấp hỗn hợp cho những nhóm có nhu cầu dinh dưỡng giống nhau, không phải từng con bò. TMR theo nhóm và trạm cấp thức ăn tinh cá thể là hai loại thiết bị khác nhau.

Dinh dưỡng chính xác có thể giảm thức ăn thừa và chất dinh dưỡng bài tiết, nhưng còn quá sớm để nói một camera chấm thể trạng có thể hạ hệ số chuyển đổi thức ăn và phát thải methane theo một tỷ lệ cố định.

Camera không đọc được mọi tư thế. Nếu bò cong lưng, cúi thấp đầu, bắt chéo chân hoặc đứng xiên, chính đường sống lưng bị biến dạng, làm sai cả điểm lẫn khối lượng. Một tư thế trông khó xử với con người cũng vẫn khó đối với camera. Ống kính không thể thoát khỏi bụi chuồng, bùn, phân hay mạng nhện. Khi chúng bám

lên bề mặt, tín hiệu LiDAR bị chặn; khi những mảng bùn dày dính trên da con vật, đường viền thân cũng bị ghi sai. Những vấn đề như vậy dễ chồng chất vào ngày sau mưa. Một camera khó tách từng con khi nhiều con đứng chồng lên nhau trong ô hẹp.

Trong đám lợn chen chúc, hình ảnh có thể không cho biết lưng một con kết thúc ở đâu và mông con bên cạnh bắt đầu từ đâu. Một nghiên cứu công bố năm 2026 thử giải quyết bằng cách chồng hình ảnh từ nhiều góc camera và loại các phép tính không thống nhất. Nghiên cứu vẫn tiếp tục với kỹ thuật chỉ chọn khung hình khi con vật đứng yên, cùng nắp ống kính chống bụi ngăn bụi và phân. Xử lý dữ liệu ba chiều lớn theo thời gian thực đòi hỏi một máy chủ có bộ xử lý đồ họa hiệu năng cao trong chuồng; chi phí vẫn là gánh nặng với trang trại nhỏ. Trang trại càng nhỏ, thời gian thu hẹp khoảng cách này có thể càng dài.

Trở lại lối đi trước bình minh, con bò chỉ bước về phía máng ăn mà không biết mình đang được chụp. Nó không biết ánh sáng quét qua lưng đang đo điều gì. Khi camera tiếp quản công việc từng thuộc về đầu ngón tay người quản lý, con người vẫn còn đó để nhấn nút cuối cùng, quyết định trộn loại thức ăn nào và bao nhiêu. Chưa ai biết chắc điều gì sẽ lấp vào khoảng trống do cảm giác bàn tay lướt trên lưng bò biến mất để lại. Ít nhất, những con số trên màn hình hôm nay vẫn được cập nhật một lần nữa, không sai hèn.

Nguồn và tài liệu tham khảo

Albornoz, R. I., Giri, K., Hannah, M. C., & Wales, W. J. (2022). An improved approach to automated measurement of body condition score in dairy cows using a three-dimensional camera system. *Animals*, 12(1), 72.

<https://doi.org/10.3390/ani12010072>

Arnaldy, D., Seminar, K. B., Muladno, Sukoco, H., & Neyman, S. N. (2026). A computer vision approach for Bali cattle morphometric measurement using multi-threshold segmentation and FIS–CF-based classification. *Jurnal Teknik Informatika*, 19(1), 203-210.

<https://doi.org/10.15408/jti.v19i1.47324>

de Oliveira, F. M., Ferraz, P. F. P., e Silva Ferraz, G. A., Pereira, M. N., Barbari, M., & Rossi, G. (2025). Prediction of body mass of dairy cattle using machine learning algorithms applied to morphological characteristics. *Animals*, 15(7), 1054.

<https://doi.org/10.3390/ani15071054>

Dulal, R., Jia, W., Zheng, L., & Quinn, J. (2026). Agreement-driven multi-view 3D reconstruction for live cattle weight estimation. *arXiv*.

<https://arxiv.org/abs/2601.17791>

Kashiha, M., Bahr, C., Ott, S., Moons, C. P., Niewold, T. A., Tuytens, F. A., & Berckmans, D. (2014). Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 107, 38-44.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.06.003>

- Los, S., Mücher, C. A., Kramer, H., Franke, G. J., & Kamphuis, C. (2023). Estimating body dimensions and weight of cattle on pasture with 3D models from UAV imagery. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100167.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100167>
- Mullins, I. L., Truman, C. M., Campler, M. R., Bewley, J. M., & Costa, J. H. C. (2019). Validation of a commercial automated body condition scoring system on a commercial dairy farm. *Animals*, 9(6), 287.
<https://doi.org/10.3390/ani9060287>
- Pomar, C., & Remus, A. (2023). Review: Fundamentals, limitations and pitfalls on the development and application of precision nutrition techniques for precision livestock farming. *Animal*, 17(S1), 100763.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100763>
- Qin, L., Ma, Z., Zhang, Z., Zuo, Y., & He, D. (2025). Research on a non-contact cattle weight measurement system based on deep learning. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 13(2), 41-46.
<https://doi.org/10.54097/q5fkjz34>
- Tang, Z., Wang, J., De Castro, A., Zhang, Y., Bastos Primo, V., Montevecchio Bernardino, A. B., Morota, G., Wang, X., Chebel, R. C., & Yu, H. (2026). Can 3D point cloud data improve automated body condition score prediction in dairy cattle? *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2601.22522>
- Wang, J., Dai, B., Li, Y., He, Y., Sun, Y., & Shen, W. (2024). An intelligent edge-IoT platform with deep learning for body condition scoring of dairy cow. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(10), 17453-17467.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3357862>
- Wang, Y., Kooistra, L., Mücher, S., & Wang, W. (2025). Integrated unmanned aerial vehicle-based LiDAR and RGB data for individual cattle growth monitoring in precision livestock farming. *Scientific Data*, 12(1), 1318.
<https://doi.org/10.1038/s41597-025-04783-6>
- Yun, T., Jeong, D., Yun, J., & Lee, W. (2026). Comparative analysis of machine learning models to predict backfat thickness in Hanwoo cattle. *Research Square*, Preprint rs.3.rs-9026112.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-9026112/v1>
- Zin, T. T., Seint, P. T., Tin, P., Horii, Y., & Kobayashi, I. (2020). Body condition score estimation based on regression analysis using a 3D camera. *Sensors*, 20(13), 3705.
<https://doi.org/10.3390/s20133705>
- Zin, T. T., & Tin, P. (2026). Computer vision in precision livestock farming: Artificial intelligence-driven technologies and applications for sustainable animal production. *Animal Bioscience*, 39(4), 260165.
<https://doi.org/10.5713/ab.260165>
- Zuidhof, M. J. (2020). Precision livestock feeding: Matching nutrient supply with nutrient requirements of individual animals. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(1), 11-14.
<https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.12.009>

Chương 4

Các trường hợp ứng dụng trí tuệ nhân tạo theo vật nuôi

4.1

Bò sữa và bò Hanwoo: robot vắt sữa và hàng rào ảo

Đây là một ngày giả định được dựng lại tại trang trại bò sữa tự động. Lúc 5 giờ sáng, không khí trong chuồng vẫn lạnh. Một con bò sữa tách đàn, đi về phía phòng vắt sữa. Khi thẻ trên cổ nó đi qua ăng-ten ở lối vào, cổng mở và nó chúi mũi vào máng ăn. Máy tính kiểm tra lần vắt sữa gần nhất và sản lượng sữa dự kiến. Người quản lý vẫn nằm trong chăn, còn số hiệu cùng hồ sơ vắt sữa của con bò lặn lẽ hiện trên điện thoại.

Hệ thống vắt sữa tự động (Automatic Milking System, AMS), thường gọi là robot vắt sữa, đã đảo ngược cách cũ khi con người lừa bò vào phòng vắt. Thay vào đó, hệ thống được thiết kế để bò tự nguyện bước vào khi muốn. Khi ăng-ten nhận dạng bằng tần số vô tuyến (Radio-Frequency Identification, RFID) ở lối vào đọc thẻ trên vòng cổ, máy tính trung tâm lập tức gọi lại thời điểm vắt sữa gần nhất và lượng sữa đã lấy của con bò đó. Nếu chưa đủ khoảng cách giữa hai lần vắt, cổng không mở. Bò ăn một ít rồi quay về đàn. Nếu hệ thống phán đoán đã tích đủ sữa, cửa mở và nó có thể bước vào ô vắt.

Trong hệ thống truyền thống, con người dẫn bò vào phòng vắt hai lần mỗi ngày theo giờ cố định. Với robot, chúng tự đi vào hai hoặc ba lần mỗi ngày, theo nhịp cơ thể.

Công việc thật sự bắt đầu khi bò bước vào ô vắt và đứng yên. Camera ba chiều (3D) cùng cảm biến laser ở đầu cánh tay robot quét dưới bụng, tính đường cong bầu vú và vị trí bốn núm vú thành tọa độ ba chiều. Bầu vú mỗi con có hình dạng khác nhau, tư thế đứng khi bước vào cũng lệch đôi chút, vì vậy phép tính được thực hiện lại mỗi lần. Khi tọa độ đã cố định, bàn chải xoay hoặc cốc nước ấm rửa và khử trùng núm vú. Vài giọt sữa đầu được vắt riêng để kích thích xuống sữa. Chỉ sau đó, cánh tay robot mới lần lượt gắn bốn cốc vắt vào từng núm vú. Nếu không tìm thấy núm vú ở lần đầu, cánh tay đổi góc và thử lại.

Nếu liên tục thất bại, hệ thống đánh dấu con bò để vắt bằng tay. Vài giây trước mắt con người thực ra là kết quả camera đọc hình dạng, tính góc cánh tay, lần ngược lỗi và liên tục sửa lại trong một khoảng ngắn.

Bốn núm vú được quản lý riêng. Lưu lượng kế đo dòng sữa từ từng núm; khi một núm cạn trước, chỉ chiếc cốc đó nhẹ nhàng tuột ra. Máy vắt sữa truyền thống xử lý cả bốn núm như một bộ, nên núm cạn sớm có thể vẫn chịu áp lực cho đến khi những núm còn lại vắt xong. Robot giảm tình trạng vắt quá mức và lượng lao động cố định vào sáng sớm, chiều tối. Tuy nhiên, thay đổi về số bò một người có thể quản lý và sản lượng sữa khác nhau rất lớn tùy số bò trên mỗi robot, thức ăn, khả năng thích nghi của vật nuôi và bố trí trang trại.

Một số trang trại tạo ra nhiều sữa hơn khi tần suất vắt tăng, nhưng không thể xem đây là hiệu quả cố định ở mọi nơi.

Tự động hóa không chỉ thay đổi một ngày của bò. Người từng phải đứng trong phòng vắt đúng hai thời điểm sáng và tối mỗi ngày giờ có thể dùng những giờ ấy để chăm bê, sửa khẩu phần hoặc ngủ bù. Đổi lại, một thói quen mới xuất hiện: không thể đặt điện thoại xuống. Việc kiểm tra từng con bò đã ghé phòng vắt bao nhiêu lần trong đêm và có con nào giảm sản lượng hay không tự nó cũng có thể cắt ngang giấc ngủ trước bình minh.

Các công ty chế tạo robot này tiếp tục mở rộng. Công ty Lely của Hà Lan ra mắt Astronaut A5 Next và Astronaut Max vào mùa hè năm 2025. Max kết nối 18 robot trong một hệ thống, nhắm đến trang trại có từ 500 đến 1.100 con bò. Công ty DeLaval của Thụy Điển mở rộng ô vắt trong mẫu VMS 300 năm 2025, tạo thêm chỗ cho bò lớn bước vào. DairyRobot R9500 của công ty GEA tại Đức cung cấp chức năng vắt riêng từng núm vú và tương thích với cảm biến M6850. Tài liệu chính thức của nhà sản xuất không xác nhận số thiết bị lắp đặt trên toàn cầu hoặc tốc độ tăng trưởng hàng năm.

Lely Hub không phải thiết bị điều khiển nhiều robot; nó quản lý dữ liệu và an ninh mạng giữa robot với internet. Astronaut Max đảm nhiệm vận hành nhiều robot.

Tình hình tại Hàn Quốc khác đi. Tháng 2 năm 2022, Cơ quan Phát triển Nông thôn đếm được 153 robot vắt sữa nhập khẩu, được khoảng 2% trang trại bò sữa sử dụng. Tài liệu chính thức năm 2023 nêu khoảng 180 thiết bị, vì vậy phải xem ngày khảo sát cùng tổng số lắp đặt. Một cuộc khảo sát năm 2022 cho thấy nuôi một bò sữa cần 69,22 giờ lao động mỗi năm; riêng vắt sữa chiếm 27,55 giờ, tương đương

39,8%. Mẫu trong nước do Cơ quan Phát triển Nông thôn và công ty chuyên về robot vắt sữa DAWOON phát triển đặt mục tiêu giá cung cấp khoảng 200 triệu won, xấp xỉ 60% giá một thiết bị nhập khẩu.

DairyBot-K3 được chọn vào chương trình năm 2026 của chính phủ nhằm hỗ trợ thương mại hóa nhanh sản phẩm ứng dụng trí tuệ nhân tạo; dự án sẽ theo đuổi thương mại hóa và kiểm chứng thực địa trong hai năm.

Lee Jae-gwang, người vận hành trang trại Doohui, vắt sữa bằng robot cho 40 trong tổng số 100 bò sữa. Thông qua chương trình hỗ trợ công nghệ thông tin và truyền thông trong chăn nuôi của chính phủ năm 2020, ông đưa vào một robot vắt sữa, máy cho bê ăn tự động và robot đẩy thức ăn thô về phía bò. Ông cho biết nhu cầu lao động giảm khoảng 70% sau khi có robot. Khi còn tự tay mang bộ phận vắt sữa, ông thường phải đến bệnh viện vì rối loạn cơ xương; số lần đi viện nay giảm rõ rệt. Robot không giải quyết mọi vấn đề.

Năm con bò có cách sắp xếp núm vú không phù hợp với khả năng nhận dạng của robot cuối cùng phải bị loại thải; nước thải từ việc vệ sinh sau vắt nổi lên thành nỗi đau đầu mới. Vì ban đầu không chọn tùy chọn tự làm sạch cho máy cho bê ăn của robot, sau đó ông phải trả thêm tiền để bổ sung. Ông nói phải chọn và nuôi riêng những con bò phù hợp với robot, còn rất nhiều thứ phải chuẩn bị trước khi mua thiết bị.

Ngay trong lúc vắt sữa, một công việc khác diễn ra bên trong đường ống. Cảm biến nội tuyến đo độ dẫn điện (Electrical Conductivity, EC) và số lượng tế bào soma (Somatic Cell Count, SCC). Viêm vú có thể làm cả hai giá trị tăng, nhưng chỉ hai giá trị ấy cũng không đủ xác nhận chẩn đoán. Tỷ lệ mỡ sữa trên protein lớn hơn 1,5 cũng chỉ là tín hiệu sàng lọc ketosis ngay sau khi đẻ, không phải ngưỡng chẩn đoán. Sữa vượt ngưỡng có thể được van chuyển qua một đường riêng thay vì vào bồn chứa; sau đó người quản lý kiểm tra lại bò và sữa nguyên liệu.

Năm 2026, CowManager giới thiệu cảm biến sữa đo độ dẫn điện, lưu lượng, áp suất chân không và nhiệt độ ở từng núm vú. Công ty công bố triển khai ban đầu vào cuối năm 2026 và phân phối rộng hơn trong năm 2027.

Các trang trại chăn thả bò trên đồng cỏ rộng phải chịu chi phí dựng và sửa hàng rào dây. Hàng rào ảo (Virtual Fence) dùng vòng cổ GPS và ranh giới vẽ trên bản đồ điện thoại để giới hạn di chuyển của bò. Khi bò đến gần đường ranh, vòng cổ phát âm thanh trước; nếu nó tiếp tục, thiết bị tạo một xung điện ngắn. Xung dùng ít năng

lượng hơn hàng rào điện, nhưng cách truyền khác nhau nên không thể so trực tiếp cường độ bằng con số. Nofence liên lạc giữa mạng di động và vòng cổ, cung cấp sản phẩm cho bò, cừu và dê. Tháng 4 năm 2026, Halter giới thiệu hàng rào ảo kết nối qua vệ tinh.

Khi đó sản phẩm được bán tại Hoa Kỳ và New Zealand, chưa có dữ liệu về phân phối ở Hàn Quốc hoặc kiểm chứng trên địa hình núi. Chỉ nên đánh giá mức hữu ích với trang trại bò Hanwoo tại Hàn Quốc sau khi kiểm tra điều kiện vô tuyến trong nước, quy định và sai số GPS dưới tán rừng.

Tại trang trại dùng hàng rào ảo, chặn thả luân phiên có thể được quản lý bằng điện thoại: bò được chuyển vào khoảnh cỏ đã mọc, rồi sang khoảnh tiếp theo khi cỏ đã bị ăn thấp. Cài đặt trong ứng dụng có thể ngăn vật nuôi đi vào vùng ven suối được bảo vệ hoặc nơi sống của loài nguy cấp. Tại vùng khô hạn, công nghệ được dùng để dẫn bò vào những bụi cây khô cho ăn, dọn trước hành lang mà cháy rừng có thể lan theo. Tuy vậy, việc kích thích điện được áp lên vật nuôi vẫn gây khó chịu. Các nhóm bảo vệ động vật và một số người tiêu dùng cho rằng kiểm soát hành vi bằng âm thanh và kích thích gây căng thẳng.

Công ty nhấn mạnh kích thích nhẹ và có âm thanh báo trước, nhưng chưa loại bỏ hoàn toàn khả năng vòng cổ lỗi lặp lại nhiều hơn mức cần thiết. Phía ủng hộ đáp lại rằng xung điện yếu hơn nhiều so với căng thẳng khi bị đưa lên xe tải đến trang trại xa lạ, hoặc đau đớn do đóng dấu sắt nung. Cả hai lập luận đều có căn cứ riêng, nên tranh cãi khó sớm lắng xuống. Ở vùng núi rừng rậm, cũng có báo cáo tín hiệu vệ tinh bị mất hoặc dội lại, khiến vị trí được ghi của bò lệch khỏi vị trí thật.

Công nghệ chấm điểm vận động (Locomotion Scoring) đang mở rộng phạm vi sử dụng. Khi bò rời phòng vắt qua lối đi, camera 3D ghi độ cong lưng và khoảng cách giữa các bước chân. Trong các nghiên cứu, độ nhạy dao động từ 58% đến 97%, độ đặc hiệu từ 42% đến 99%. Một số camera và cảm biến áp suất vượt 95% ở cả hai chỉ số, nhưng ít hệ thống dự báo khắp khiêng sớm với cùng hiệu năng ở nhiều trang trại. Không nên đọc trực tiếp điểm phân loại độ cong lưng thành tỷ lệ chẩn đoán sớm. Điểm camera là thông tin hỗ trợ dùng để xếp thứ tự những con bò cần kiểm tra móng; điều trị chỉ bắt đầu sau khi khám móng.

Mỗi công nghệ này đều đi kèm một mức giá. Robot vắt sữa nhập khẩu có giá khoảng 350 triệu won, còn mẫu nội địa hóa vẫn khoảng 200 triệu won. Sự cố nhỏ không hiếm: rơm mắc vào bàn chải vệ sinh hoặc dị vật kẹt khớp cánh tay robot. Chỉ một lỗi như vậy cũng làm việc vắt sữa của cả chuồng dừng lại từ thời điểm đó. Nếu

khớp tay máy đứng im vào tối thứ Sáu, thử thách đầu tiên là tìm kỹ thuật viên có thể đến vào cuối tuần. Trong lúc ấy, bò không thể hoãn vắt sữa, nên con người có thể phải quay lại làm bằng tay. Vì vậy, trang trại dùng robot cần cả lịch kiểm tra định kỳ lẫn nhân lực dự phòng khi hỏng hóc.

Hàng rào ảo gặp điều kiện tương tự. Tín hiệu vệ tinh yếu đi trên đồng cỏ có cây; ranh giới mới vẽ có thể đến vòng cổ chậm tại khu xa xôi ngoài vùng phủ sóng di động. Bụi và phân bám trên ống kính có thể làm sai phép đo khoảng cách của cảm biến 3D. Khi nhiều con bò cùng chen vào lối hẹp, trí tuệ nhân tạo có thể nhầm con này với con khác.

Dù vậy, cánh cổng vẫn mở mỗi bình minh. Như Lee Jae-gwang ở trang trại Doohui nói, một khi chọn và nuôi những con bò phù hợp với robot, con người có thời gian ngủ lâu hơn một chút hoặc đi bộ trong chuồng thay vì đến bệnh viện. Trong khi biểu đồ trên màn hình cho thấy số lượng tế bào soma của con bò nào đã nhích lên đêm qua, một con khác đã tự bước về phía trước ở cuối chuồng. Trước khi rời đi, người quản lý luôn kiểm tra dòng cuối cùng: hôm nay có tên nào sáng đồ hay không.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- GEA. (2026). DairyRobot R9500. GEA.
<https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/milking-solutions/automatic-milking/dairyrobot-r9500/>
- Campbell, D. L. M., Ouzman, J., Mowat, D., Lea, J. M., Lee, C., & Llewellyn, R. S. (2020). Virtual fencing technology excludes beef cattle from an environmentally sensitive area. *Animals*, 10(6), 1069.
<https://doi.org/10.3390/ani10061069>
- DeLaval. (2025, April). DeLaval unveils faster, smarter, bigger milking robot model. DeLaval.
<https://corporate.delaval.com/2025/04/delaval-unveils-faster-smarter-bigger-milking-robot-model/>
- Halter. (2026, April 28). Halter launches world-first virtual fencing via satellite. Halter.
<https://www.halterhq.com/news/halter-launches-world-first-virtual-fencing-via-satellite>
- John, A. J., Clark, C. E. F., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., Garcia, S. C., & Halachmi, I. (2016). Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*, 10(9), 1484-1492.
<https://doi.org/10.1017/S1751731116000495>
- King, M. T. M., LeBlanc, S. J., Pajor, E. A., & DeVries, T. J. (2017). Cow-level associations of lameness, behavior, and milk yield of cows milked in automated systems. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4818-4828.
<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12281>
- Lomax, S., Colusso, P. I., & Clark, C. E. F. (2019). Does virtual fencing work for grazing dairy cattle? *Animals*, 9(7), 429.
<https://doi.org/10.3390/ani9070429>
- Narli, S. S., Schmidt, H., Firouzabadi, A., Schönnagel, L., Reich, M. S., & Reitmaier, S. (2025). Automated detection of lameness in dairy cattle through computer vision analysis of back shape characteristics. *Computers in Biology and Medicine*, 197(Pt A), 111038.
<https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2025.111038>

- Lely. (2025, June 24). Future-proof automatic milking solutions and digital resilience on farm. Lely.
<https://www.lelyna.com/us/about-lely/news/future-proof-automatic-milking-solutions-and-digital-resilience-on-farm/>
- Siachos, N., Neary, J. M., & Smith, R. F. (2024). Automated dairy cattle lameness detection utilizing the power of artificial intelligence; current status quo and future research opportunities. *The Veterinary Journal*, 304, 106091.
<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2024.106091>
- Tun, S. C., Onizuka, T., Tin, P., Aikawa, M., Kobayashi, I., & Zin, T. T. (2024). Revolutionizing cow welfare monitoring: A novel top-view perspective with depth camera-based lameness classification. *Journal of Imaging*, 10(3), 67.
<https://doi.org/10.3390/jimaging10030067>
- Van Hertem, T., Schlageter Tello, A., Viazzi, S., Lokhorst, C., Berckmans, D., & Halachmi, I. (2018). Implementation of an automatic 3D vision monitor for dairy cow locomotion in a commercial farm. *Biosystems Engineering*, 173, 166-175.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.011>
- Nongmin Newspaper. (2026, February 11). High satisfaction with robotic milkers, but human hands are still essential [Monthly Livestock]. Nongmin Newspaper.
<https://www.nongmin.com/article/20260210500583>
- CowManager. (2026). Milk Sensor.
<https://www.cowmanager.com/milk-sensor/>
- Rural Development Administration. (2024). Survey of dairy-farm labor hours and the status of robotic milkers.
https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&currPage=150&dataNo=100000796781&mode=updateCnt&prgId=day_farmprmninfoEntry&searchKey=subject
- Rural Development Administration. (2026). Field validation and commercialization of DairyBot-K3.
https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&currPage=1&dataNo=100000811742&mode=updateCnt&prgId=day_farmprmninfoEntry

4.2

Lợn: camera đọc tư thế và micro đếm tiếng ho

Đây là một cảnh giả định được dựng lại từ nghiên cứu video về lợn. Lúc 5 giờ sáng, đàn lợn ở một khu trong chuồng vỗ béo nằm thành một khối, lưng và bụng chồng lên nhau. Phía trên, đèn đỏ trên camera trần nhấp nháy. Thứ trông như một ụ thịt trước mắt con người phải được máy tính chia thành từng con. Từng điểm ảnh một, máy phải xác định lưng của con này kết thúc ở đâu, chiếc đuôi kia thuộc về con nào. Gánh nặng đặt lên một camera và một micro lớn hơn về bề ngoài rất nhiều.

Thị giác máy tính trước đây làm theo những quy tắc do con người đặt. Nó có thể chỉ phân loại các điểm ảnh tối hơn độ sáng hoặc màu đã định là lợn, nhưng ánh sáng chỉ thay đổi nhẹ cũng đủ làm cả quy tắc sai lệch. Mô hình học sâu ngày nay không để con người đặt những quy tắc ấy. Từ hàng chục nghìn bức ảnh, mô hình tự tìm ra đâu là lưng lợn, đâu là bóng. Dẫu vậy, con mắt tự học này vẫn thường chao đảo trước cảnh nhiều con vật chồng lên nhau.

Khác bò sữa hoặc gà, lợn nghỉ thành đàn với cơ thể áp sát nhau. Phương pháp hộp giới hạn (Bounding Box), đánh dấu mỗi con bằng một hình chữ nhật, dễ sụp đổ ở đây. Nếu nửa mõng con bên cạnh lọt vào hộp, thuật toán có thể đếm hai con thành một hoặc tách một con thành hai. Vì thế, nghiên cứu gần đây chuyển từ hình chữ nhật sang phân đoạn (Segmentation), gán nhãn từng điểm ảnh. Khi khác biệt về màu và mẫu điểm ảnh phân biệt được cả đường nơi hai tấm lưng chạm nhau, những con bị hộp giới hạn gộp thành một cuối cùng mới tách ra.

Một mô hình được huấn luyện ở cấp điểm ảnh trên bốn hành vi của lợn nuôi theo nhóm, gồm đứng, ăn, uống và nghỉ, đạt độ chính xác trung bình (mean Average Precision, mAP) 96,9% và độ chuẩn xác (precision) 92,5%. Theo những con số đó, mô hình gần như luôn đúng, nhưng nhóm nghiên cứu ghi nhận độ chính xác giảm rõ khi ánh sáng yếu hoặc bùm bụp lên lưng lợn. Nếu hệ thống nhầm hai con chen bên máng ăn thành một, hồ sơ lượng thức ăn của cá thể ấy bị bỏ trống suốt ngày.

Vấn đề tiếp theo bắt đầu sau khi đã tách được từng cá thể một lần. Khi 40 con lợn cùng di chuyển trong ô chuồng, camera phải gán số cho từng con và tiếp tục bám

theo. Nhiệm vụ này gọi là theo dõi đa vật thể (Multi-Object Tracking, MOT). Nếu lợn số 17 biến mất sau máng ăn rồi hiện ra, hệ thống có thể đăng ký lại nó bằng số mới, 42. Máy đánh mất danh tính con vật trong khoảnh khắc cơ thể bị che. Nhầm lẫn tăng lên khi lợn húc nhau hoặc vận mình. Thuật toán như ORP-Byte đánh dấu cá thể bằng hộp xoay có định hướng, theo dõi độ nghiêng và tư thế lưng để giảm đổi nhầm danh tính.

Một mô hình năm 2025 kết hợp YOLOv5s cải tiến với DeepSORT đã nâng độ chuẩn xác (precision) khi phát hiện hành vi lợn, gồm hành vi hung hăng, từ 92,7% lên 99,3%. Độ chính xác theo dõi cá thể cũng vượt 94%. Dẫu vậy, vẫn có báo cáo đổi nhầm danh tính khi tám hoặc chín con lợn cùng chen quanh máng ăn. Một lần đổi nhầm có thể gây tổn thất lớn. Hành vi cắn tai hoặc đuôi lặp đi lặp lại thường bắt đầu từ một con rồi lan khắp đàn. Nếu hệ thống mất dấu con cắn đầu tiên, hồ sơ của nó bị trộn với con khác và cơ hội phòng ngừa cũng biến mất.

Chuồng lợn vốn ồn. Quạt thông gió lớn kêu ù, động cơ máy cào thức ăn nghiền rền. Giữa tiếng ồn đó, micro phải nhặt ra một tiếng ho khan. Khi dạng sóng micro được chuyển thành hệ số cepstrum theo thang tần số Mel (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC), tiếng ho và tiếng quạt để lại những mẫu hình khác nhau. Một nghiên cứu định vị nguồn tiếng ho xuất hiện năm 2008. Nhưng trong gian chuồng có hàng trăm con lợn, xác định cá thể nào vừa ho vẫn khó.

Bộ tự mã hóa đơn vị hồi quy có cổng (Gated Recurrent Unit Autoencoder, GRU-Autoencoder) mà Cowton và cộng sự sử dụng không đọc tiếng ho, mà đọc chuỗi thời gian từ các cảm biến môi trường đo nhiệt độ, độ ẩm tương đối và carbon dioxide. Nhóm nghiên cứu báo cáo rằng thay đổi môi trường liên quan đến triệu chứng hô hấp có thể xuất hiện sớm hơn từ 1 đến 7 ngày. Hiệu năng phân loại tiếng ho của mô hình âm thanh và phát hiện bất thường của mô hình cảm biến môi trường là hai kết quả khác nhau.

Các hệ thống thương mại như Pig Cough Monitor và SoundTalks liên tục đếm tiếng ho trong một ô chuồng. SoundTalks chuyển âm thanh ghi được thành điểm sức khỏe hô hấp từ 0 đến 100 rồi hiển thị cho người chăn nuôi. Nếu điểm giảm, người quản lý có thể kiểm tra lợn trong ô đó và nhờ bác sĩ thú y khám. Cần thêm kiểm chứng ở cấp trang trại trước khi khẳng định điểm số này phát hiện mọi bệnh hô hấp sớm 4 hoặc 5 ngày, nhờ đó giảm kháng sinh và tỷ lệ chết. Cảnh báo micro không phải đơn thuốc. Nó là biển chỉ đường cho biết cần kiểm tra ô nào trước.

Kiểm chứng thực địa cũng đã bắt đầu tại Hàn Quốc. Tháng 6 năm 2026, Viện Khoa học Chăn nuôi Quốc gia thuộc Cơ quan Phát triển Nông thôn lắp hệ thống giám sát bằng camera và micro tại hai trang trại lợn ở Gimje và Cheonan, bắt đầu thu thập dữ liệu. Các con số 91,4% đối với hoạt động, 91,3% đối với tiếng ho và tiếng kêu, 90,0% đối với hành vi ăn không phải kết quả thực địa từ hai trang trại này. Chúng là điểm hiệu năng của các mô hình phát triển trước khi triển khai.

Tại hai trang trại, nhóm nghiên cứu đang đối chiếu dữ liệu hình ảnh và âm thanh với thời điểm chết cùng hồ sơ lợn còi để đánh giá hiệu năng phát hiện thật. Đã xác nhận bốn nghiên cứu và đơn xin cấp bằng sáng chế liên quan, nhưng vào thời điểm đó vẫn chưa có câu trả lời liệu điểm số trước đây có được giữ trong chuồng lợn đang hoạt động hay không.

Có một khoảng cách giữa con số trong bài báo phòng thí nghiệm và con số đo được trong chuồng lợn thật. Những nghiên cứu báo cáo mAP hoặc độ chuẩn xác (precision) 96% hay 99% phải được đọc cùng điều kiện quay, ánh sáng và dữ liệu đánh giá. Khoảng cách đó chính là lý do cần thử nghiệm tại Gimje và Cheonan. Điểm số mô hình trước đây có tồn tại trong dữ liệu bị bụi và tiếng ồn phủ mờ hay không chỉ có thể biết sau khi đối chiếu với hồ sơ trang trại.

Cách cân lợn cũng thay đổi. Trước đây, công nhân dùng tấm ván đẩy vào lưng và la hét để lừa chúng lên cân. Trong vài phút ấy, lợn có thể hoảng loạn, giãy giụa, bị thương chân và làm cả đàn náo động. Camera chiều sâu ba chiều treo trên lối đi quét chiều dài lưng, vòng ngực, bề rộng vai và diện tích lưng cùng lúc trong vài giây con lợn bước bên dưới. Mô hình hồi quy học sâu chuyển các số đo này thành thể tích rồi khối lượng cơ thể, đạt hệ số xác định từ 0,96 đến 0,98 so với số đọc cân thật. Trong vài giây ấy, con lợn thậm chí không biết mình đang được đo.

Không cần bước lên cân lần nào, vài tấm ảnh chụp cùng một giờ mỗi ngày có thể vẽ đường cong tăng trưởng của cả đàn. Cập nhật mức tăng khối lượng trung bình hằng ngày cho phép trang trại quyết định mỗi ngày nên tăng hay giảm thức ăn. Với trang trại lợn nơi ngày xuất chuồng chỉ tiến hoặc lùi vài ngày cũng có thể làm chi phí thức ăn thay đổi đáng kể, lần quét vài giây này chi phối một khoản tiền lớn.

Khoảnh khắc nguy hiểm nhất trong chuồng đẻ là vài giây lợn nái nằm xuống. Lợn con mới sinh tìm hơi ấm của mẹ và chui dưới bụng, lưng mẹ. Nếu lợn nái hạ cơ thể nặng khoảng 200 kilôgam mà không biết chúng ở đó, một con có thể bị đè chết ngay lập tức. Lợn mẹ không có lỗi. Khi xoay một cơ thể nặng gấp hàng chục lần con non trong cũi hẹp, nó không phải lúc nào cũng biết chính xác từng con nằm

đầu. Tai nạn này, gọi là đè chết (Crushing), nằm trong nhóm nguyên nhân tử vong hàng đầu trước cai sữa.

Mỗi vụ làm giảm số lợn xuất bán trên một nái mỗi năm, chỉ số cho biết một con nái đưa được bao nhiêu con non an toàn đến lúc xuất chuồng. Nỗ lực phòng ngừa bằng âm thanh đã có từ nhiều thập niên. Năm 1989, các nhà nghiên cứu Hoa Kỳ thử một thiết bị trong ô lợn phát báo động khi phát hiện tiếng kêu thét của lợn con. Rất lâu trước internet, khi cả máy tính cá nhân còn hiếm, đã có người hình dung một cỗ máy phản ứng với tiếng kêu thét của lợn con. Công trình dừng ở bài báo, không đi đến thương mại hóa. Hơn 30 năm sau, hệ thống đã tinh vi hơn nhiều.

Camera tràn đọc thay đổi tư thế của lợn nái theo thời gian thực và xem tần suất đổi tư thế cao hơn bình thường là dấu hiệu nguy cơ đè con tăng.

Năm 2025, các nhà nghiên cứu dùng 422 mẫu ảnh thật làm dữ liệu huấn luyện để phát hiện tư thế lợn nái. Họ không thu thập 422 vụ đè con. Mô hình phát hiện tư thế đạt mAP@50 là 0,976, nhưng giá trị này không đồng nghĩa hiệu năng cảnh báo đè con. Với cảnh báo chia theo đơn vị 60 phút, độ nhạy là 62,5% và độ đặc hiệu 60,25%. Khi gom theo ngày, độ nhạy là 71,42% và độ đặc hiệu 84,61%. Con mắt tìm tư thế lợn nái rất sắc, nhưng dự báo tư thế ấy có dẫn đến một vụ đè con thật hay không khó hơn nhiều.

PigTalk do các nhà nghiên cứu Đài Loan phát triển lắng nghe tiếng kêu thét của lợn con thay vì dùng camera. Khi phát hiện âm thanh, nó kích hoạt rung sàn hoặc phun nước để khuyến khích lợn nái đứng lên. Bài báo đưa ra thời gian xử lý 0,05 giây và xác suất thành công 99,93% từ phân tích và mô phỏng. Không nên đọc những con số này như tỷ lệ cứu lợn con tại trang trại thật. Tháng 7 năm 2026, các nhóm thuộc Đại học Quốc gia Chungnam và Đại học Nông nghiệp và Thủy sản Quốc gia Hàn Quốc bắt đầu thử nghiệm thực địa tại một trang trại ở Buyeo với một nguyên mẫu riêng, kết hợp camera nhiệt và cảm biến âm thanh.

Hai công nghệ dùng cảm biến và bộ chấp hành khác nhau, không thể xem là một hệ thống.

Con mắt đọc tư thế, đôi tai đếm tiếng ho và một con mắt khác đo khối lượng cho đến nay chạy bằng các chương trình riêng. Các bài tổng quan gần đây cho biết nghiên cứu đang chuyển sang hợp nhất dữ liệu đa phương thức (Multimodal Data Fusion), đặt các tín hiệu vào cùng một mô hình. Nếu hệ thống chỉ dùng camera nhận thêm tín hiệu micro, nó có thể bắt dấu hiệu sớm mà một giác quan bỏ lỡ, như

một con lợn có dáng đi bình thường nhưng tiếng ho tăng trước. Tuy nhiên, hiện nay đây vẫn gần với đề xuất trong bài báo hơn; ít trường hợp hệ thống như vậy được triển khai khắp một chuồng lợn thương mại.

Mỗi camera và micro mới lại đòi hỏi đặt lại tiêu chuẩn đồng bộ dữ liệu, nên công nghệ cần thêm thời gian để bén rễ ngoài hiện trường.

Không khí chuồng lợn đặc biệt khắc nghiệt với camera. Ammonia và hydrogen sulfide bốc lên từ phân trộn với bụi thức ăn rồi lắng thành màng xám trên ống kính. Khi một lớp bụi phủ ống kính, mô hình học sâu không còn phân biệt được lưng lợn với bóng sàn và bắt đầu mắc lỗi nhận dạng tư thế. Vào đêm ẩm, hơi nước làm mờ ống kính và vấn đề lặp lại; đêm hè oi ẩm, cả bên trong ống kính cũng có thể đục. Không biến số nào trong số này xuất hiện trên bảng thông số của nhà sản xuất camera. Âm thanh cũng không khác nhiều. Tiếng ồn tần số thấp từ quạt thông gió và động cơ máy cào chôn vùi tiếng ho mà micro cần nghe.

Khi tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu giảm, hệ thống có thể phát hiện tiếng ho nhưng không xác định được con lợn nào phát ra. Vì vậy, tại nhiều trang trại con người vẫn dùng tay lau ống kính mỗi ngày một lần. Dù trí tuệ nhân tạo tinh vi đến đâu, bàn tay làm sạch ống kính vẫn là bàn tay người.

Tại Jeju, một thí nghiệm đang trực diện đối phó vấn đề này. Tháng 4 năm 2026, Viện Nghiên cứu Điện tử và Viễn thông xây một không gian thử nghiệm chuồng lợn rộng khoảng 800 mét vuông trong khuôn viên Đại học Quốc gia Jeju. Bên cạnh cảm biến đo nhiệt độ, độ ẩm và nồng độ ammonia, nơi đây lắp thiết bị lọc rửa trực tiếp mùi ammonia. CCTV tại cùng địa điểm phát hiện hành vi bất thường của vật nuôi, còn điện toán biên ra quyết định bên trong chuồng, giảm độ trễ khi gửi dữ liệu tới máy chủ xa và chờ phản hồi. Cơ sở đặt mục tiêu giảm phát thải carbon hơn 10% so với mức hiện có.

Dù camera và micro thông minh đến đâu, chúng cũng vô dụng nếu không có đường ống và bộ lọc giữ mát, tai sạch sẽ.

Cơ quan nhà nước hoặc viện nghiên cứu tham gia tại hai trang trại ở Gimje và Cheonan, một trang trại ở Buyeo cùng địa điểm thử nghiệm tại Jeju. Việc tài liệu công khai không nêu trường hợp tư nhân mua thiết bị không chứng minh rằng không có trang trại như vậy. Tuy nhiên, các câu hỏi vẫn còn: sau khi kinh phí nghiên cứu kết thúc, ai sẽ mua camera và micro, ai lau ống kính, ai trả tiền cho thiết bị hỏng?

Trước khi mặt trời mọc hẳn, vẫn có người mang khăn khô vào chuồng lợn lau ống kính. Máy trộn thức ăn bắt đầu rền lên ngay sau đó. Qua ống kính vừa trong lại, camera ghi 15 hoặc 16 con lợn chậm rãi cựa mình đứng dậy. Trong lúc ấy, micro đã ghi lại một tiếng ho ngắn bật ra đâu đó giữa những tấm lưng.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Berckmans, D. (2026). Precision livestock farming: From where we came and where we go. *Animal Bioscience*, 39(4), 260110.
<https://doi.org/10.5713/ab.260110>
- Chen, W. E., Lin, Y. B., & Chen, L. X. (2021). PigTalk: An AI-based IoT platform for piglet crushing mitigation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4345-4355.
<https://doi.org/10.1109/TII.2020.3012496>
- Cheng, T., Sun, F., Mao, L., Ou, H., Tu, S., Yuan, F., & Yang, H. (2025). The group-housed pigs attacking and daily behaviors detection and tracking based on improved YOLOv5s and DeepSORT. *PLOS ONE*, 20(10), e0334783.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0334783>
- Cowton, J., Kyriazakis, I., Plötz, T., & Bacardit, J. (2018). A combined deep learning GRU-autoencoder for the early detection of respiratory disease in pigs using multiple environmental sensors. *Sensors*, 18(8), 2521.
<https://doi.org/10.3390/s18082521>
- Franchi, G. A., Bus, J. D., Boumans, I. J. M. M., Bokkers, E. A. M., Jensen, M. B., & Pedersen, L. J. (2023). Estimating body weight in conventional growing pigs using a depth camera. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100117.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100117>
- Friend, T., O'Connor, L., Knabe, D., & Dellmeier, G. (1989). Preliminary trials of a sound-activated device to reduce crushing of piglets by sows. *Applied Animal Behaviour Science*, 24(1), 23-29.
[https://doi.org/10.1016/0168-1591\(89\)90122-6](https://doi.org/10.1016/0168-1591(89)90122-6)
- Lu, J., Chen, Z., Li, X., Fu, Y., Xiong, X., Liu, X., & Wang, H. (2024). ORP-Byte: A multi-object tracking method of pigs that combines Oriented RepPoints and improved Byte. *Computers and Electronics in Agriculture*, 219, 108782.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108782>
- Mumm, J. M., Bortoluzzi, E. M., Ruiz, L. A., Goering, M. J., Coffin, M. J., Medin, D. T., et al. (2020). Behavioral responses of sows exposed to conventional methods or precision-technology to mitigate piglet-crushing. *Journal of Animal Science and Livestock Production*, 4(3), 1.
<https://www.primescholars.com/articles/behavioral-responses-of-sows-exposedto-conventional-methods-or-precision-technology-to-mitigate-pigletcrushing.pdf>
- Riekert, M., Klein, A., Adrion, F., Hoffmann, C., & Gallmann, E. (2020). Automatically detecting pig position and posture by 2D camera imaging and deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105391.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105391>
- Sharifuzzaman, M., Mun, H.-S., Laguna, E. B., Hasan, M. K., Kang, J.-G., Kim, Y.-H., Mehtab, A., Park, H.-R., & Yang, C.-J. (2026). Advances in audio classification and artificial intelligence for respiratory health and welfare monitoring in swine. *Biology*, 15(2), 177.
<https://doi.org/10.3390/biology15020177>
- Silva, M., Ferrari, S., Costa, A., Aerts, J. M., Guarino, M., & Berckmans, D. (2008). Cough localization for the detection of respiratory diseases in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), 286-292.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.024>
- Sukkuea, A., & Akkajit, P. (2025). Deep learning-based behavior recognition for group-housed pigs: Advancing livestock management with segmentation techniques. *Emerging Science Journal*, 9(5), 2522-2525.
<https://doi.org/10.28991/esj-2025-09-05-013>

Thongsrimoung, K., Kusakunniran, W., Wisetpaitoon, K., Thongkanchorn, K., Yano, T., Thanapongtharm, W., & Boonyo, K. (2025). Sow posture detection for determining piglet crushing through a camera system. *PeerJ Computer Science*, 11, e3400.

<https://peerj.com/articles/cs-3400/>

Pig & People. (2026, July 21). AI now detects the risk of nursing piglets being crushed: "Intelligent pig health monitoring" begins field trials. Pig & People.

<https://www.pigpeople.net/news/article.html?no=19651>

National Institute of Animal Science, Rural Development Administration. (2026, June 18). Artificial intelligence monitors pig health: Field demonstration at commercial farms to begin.

<https://www.nias.go.kr/front/soboarddown.do?boardSeqNum=4481&cmCode=M090814150850297&fileSeqNum=4392>

Herald Economy. (2026, April 30). "Data + AI" tackles the economy and the environment at once: ETRI builds a pig-farming AX smart farm on Jeju. Herald Economy.

<https://biz.heraldcorp.com/article/10729077>

4.3

Gà: cách nhìn thấy một con giữa hàng chục nghìn con

Đây là một cảnh được dựng lại từ nghiên cứu giám sát chuồng gia cầm. Mở cánh cửa thép của chuồng không cửa sổ, một bức tường nóng và ồn lập tức phủ lên cơ thể. Cả mặt sàn chuyển động. Camera và cảm biến hồng ngoại lướt phía trên những con gà thịt chen hàng trăm con trong mỗi khu. Ở máng ăn, tiếng mổ gõ vào hạt không ngừng. Trước mắt người quan sát là một làn sóng lông vàng, nhưng camera chia tư thế và chuyển động của từng con trong tầm nhìn thành các điểm ảnh.

Một người quản lý nhiều nhất chỉ có thể đi qua chuồng gà hai hoặc ba lần mỗi ngày. Mong người đó tìm ra một con bị bệnh giữa 50.000 con trong những lượt kiểm tra ngắn đã vượt quá khả năng con người ngay từ đầu. Đến khi triệu chứng bên ngoài xuất hiện ở bệnh truyền nhiễm như cầu trùng, do ký sinh trùng phát triển trong ruột gây ra, bệnh thường đã lan khắp chuồng. Hệ số chuyển đổi thức ăn tăng vọt, gà bắt đầu chết trước khi trang trại hiểu chuyện gì xảy ra. Chuồng gà càng lớn, nghịch lý là từng con bên trong càng khó nhìn thấy.

Nhịp đi tuần của con người và nhịp giám sát của trí tuệ nhân tạo khác nhau từ gốc. Trong hệ thống giám sát dựa trên công nghệ thông tin và truyền thông (Information and Communication Technology, ICT), camera và micro không ngủ. Chúng thu tín hiệu mà không chạm vào gà suốt 24 giờ mỗi ngày, 365 ngày mỗi năm. Hai từ không tiếp xúc và không xâm lấn có nghĩa ống kính không làm gà hoảng loạn đập cánh, trong khi vẫn có một thứ đang quan sát lúc 3 giờ sáng khi không có người ở đó. Nếu tính trên cả trang trại thay vì một chuồng, số gà dao động từ hàng chục nghìn đến hàng trăm nghìn.

Số lượt tuần tra của con người không thể tăng trong khi chỉ số lượng gà cứ tăng, vì thế vai trò lớn hơn của giám sát tự động trông giống hệ quả tất yếu hơn là một lựa chọn. Lấp khoảng trống một hoặc hai ngày mà con người bỏ lỡ là lý do toàn bộ thiết bị này bước vào chuồng gà.

Mào và mắt là những nơi sức khỏe của gà hiện ra. Bệnh Newcastle có thể gây tím tái, làm mào và tích chuyển xanh; bệnh cầu trùng và thiếu máu có thể làm mào nhợt đi. Viêm thanh khí quản truyền nhiễm hoặc viêm phế quản có thể gây chảy nước mắt và sưng quanh mắt. Camera có thể cắt các màu sắc, hình dạng này thành vùng quan tâm (Region of Interest, ROI) rồi chuyển thành số. Một số nghiên cứu đã phân loại màu mào trong ảnh có kiểm soát, nhưng kết quả ấy không phải hồ sơ chẩn đoán bệnh nhiều ngày trước khi gà chết trong chuồng thương mại.

Khi đầu gà đã được tìm thấy trong ảnh, phân đoạn (Segmentation) cắt riêng mào và vùng quanh mắt. Mô hình phân loại sau đó tính độ đỏ, độ sưng và tỷ lệ thời gian mắt nhắm. Đến đây có thể thử nghiệm trong phòng thí nghiệm. Liên tục bám theo khuôn mặt của một con trong chuồng nơi hàng chục nghìn con di chuyển chồng lên nhau, tách biến đổi màu do nhiễm bệnh khỏi biến đổi do ánh sáng, rồi nối phán đoán đó với cách ly và cuộc gọi bác sĩ thú y là những vấn đề riêng. Một chiếc mào nhợt không phải chẩn đoán một bệnh cụ thể.

Khi camera đánh dấu vùng bất thường, con người còn phải kiểm tra nhịp thở, phân và hồ sơ chết của đàn.

Một bài tổng quan năm 2026 của các nhà nghiên cứu Đại học Georgia chỉ ra rằng vẫn còn khoảng trống khi chỉ dùng thị giác để tự động đánh giá trạng thái phúc lợi trong điều kiện thương mại thật. Hàng chục nghìn con nằm chồng lên nhau trên sàn, ánh sáng mờ hoặc chớp nháy, bụi thức ăn và lông bám vào ống kính. Qua ống kính đầy bụi, ngay cả gà bệnh cũng có thể trông khỏe. Vì thế, hiện tượng che khuất, ánh sáng và khả năng tái lập giữa các trang trại phải được ghi bên cạnh một điểm phân loại cao.

Bụi tích tụ trên ống kính và cả trong dữ liệu. Thứ bay lên từ sàn chuồng không chỉ là bột thức ăn mà còn có bụi phân khô và lông rụng. Trộn lại, chúng tạo một màng mỏng trên bề mặt ống kính. Trong tiếng Anh, sự nhiễm bẩn này gọi là Fouling. Dù camera 3D hay RGB, màng càng dày thì đường nét ảnh càng mờ. Thay vì giảm từ từ, độ chính xác chẩn đoán của mô hình đọc màu mào có thể bất ngờ sụp đổ. Mỗi hệ thống nuôi đặt một trở ngại khác trước camera. Trong chuồng gà thịt nuôi nền, thân gà chồng lên nhau che mào. Trong chuồng gà đẻ sống ở lồng nhiều tầng, chính vách dây ngăn giữa camera và mặt.

Việc một cơ thể che một cơ thể khác, hoặc dây che cơ thể, được gọi là che khuất (Occlusion). Cả hai cảnh đều làm khó việc nhận dạng cá thể (Individual Identification), tức tách từng con. Vì vậy, nuôi lồng xét về cấu trúc còn bất lợi hơn

cho theo dõi cá thể. Một góc nằm ngoài mắt camera cuối cùng cho thấy điều kiện không gian nơi con gà ấy sống.

Âm thanh nghe được điều camera không thấy. Micro quanh máng ăn thu dạng sóng tạo ra khi mỏ gà chạm thức ăn. Để nhặt tiếng gõ này khỏi tiếng ồn, kỹ thuật xử lý tín hiệu như hệ số cepstrum theo thang tần số Mel (Mel-Frequency Cepstral Coefficients, MFCC) tách mẫu tiếng quạt khỏi tiếng mỏ va vào hạt. Các nhà nghiên cứu Bỉ đã ước tính lượng thức ăn theo cách này năm 2014. Năm 2024, các nhóm tại Đại học Georgia và Đại học Arkansas tạo ChickenSense bằng thiết bị giá rẻ. Hệ thống ước tính hành vi mổ thức ăn và lượng ăn.

Chỉ lượng thức ăn tiêu thụ không thể xác lập mức tăng khối lượng trung bình hằng ngày nếu không có cân.

Tiếng kêu và tiếng mổ thức ăn của gà là các dấu ấn sinh học âm thanh (Acoustic Biomarkers) mang thông tin về tình trạng cơ thể. Có mối quan hệ đo được giữa số lần mổ và lượng thức ăn tiêu thụ. Khi số lần mổ mỗi phút tăng, khối lượng thức ăn biến mất khỏi máng trong ngày cũng tăng gần như theo tỷ lệ thuận. Một khi biết quan hệ này, không cần cân. Chỉ âm thanh có thể ước tính hôm nay đàn ăn bao nhiêu; mẫu hình trong nhiều ngày có thể gợi ý ngày mai chúng sẽ ăn bao nhiêu. Có một giả định lặng lẽ dưới phép tính: số đếm chỉ đúng nếu micro nghe được mọi cú mổ.

Giả định ấy vỡ trước quạt. Quạt thông gió đường hầm đẩy toàn bộ không khí qua chuồng không cửa sổ tạo tiếng gầm không dứt. Tiếng mỏ đập vào hạt và tiếng ho sớm còn nhỏ hơn nhiều biến mất trong tiếng ồn dưới dạng tín hiệu có tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (Signal-to-Noise Ratio, SNR) thấp. Tín hiệu càng bị chôn, thuật toán lọc nhiễu càng cần nhiều phép tính; ngay cả vậy, chẩn đoán sai có thể tăng chứ không giảm. Tham vọng phân biệt hơi thở của 30.000 con gà bằng một micro thường dừng lại trước quạt. Không có chuồng gà yên tĩnh. Chừng nào quạt còn chạy, micro luôn lắng nghe trong khi vẫn bỏ sót một điều gì đó.

Những nhà nghiên cứu hiểu giới hạn này đã đặt hướng đi tiếp theo. Câu trả lời cho ống kính là vỏ camera chống bụi, tự làm sạch, tự lau ngay cả khi bụi lắng xuống. Câu trả lời cho micro là một bộ xử lý trí tuệ nhân tạo siêu nhẹ tiếp tục chạy lặng lẽ giữa tiếng quạt. Những bộ xử lý như vậy gọi là TinyML: thay vì dùng máy chủ, chúng hoàn tất phép tính trong một chip nhỏ bên cạnh cảm biến. Nỗ lực kết hợp hai giác quan trong một khung, bỏ lại hệ thống vận hành camera và micro riêng biệt,

cũng chỉ cùng hướng. Cách này gọi là hợp nhất dữ liệu đa phương thức (Multimodal Data Fusion).

Gà kêu khi bị bệnh, giật mình hoặc nóng. Mạng nơ-ron nhân tạo (Artificial Neural Network, ANN) được huấn luyện để ghép tiếng kêu với tác nhân gây căng thẳng môi trường như lạnh, nóng và gió. Nghiên cứu gần đây đã chuyển các mô hình tự giám sát vốn xây cho tiếng người, gồm wav2vec2 và Whisper, sang tiếng gà. Trong một nghiên cứu phân loại trạng thái tiếng kêu của gà mái đẻ đã tiêm phòng, điểm F1 là 0,80. Vì F1 là trung bình điều hòa của độ chuẩn xác (precision) và độ bao phủ (recall), không thể đổi giá trị này thành tỷ lệ phân loại sai của toàn bộ mẫu.

Nhiệt độ và độ ẩm không phải những biến môi trường duy nhất mà mô hình phân biệt tiếng kêu theo đuôi. Khí độc tích tụ trong chuồng và chính mật độ nuôi cũng được đưa vào huấn luyện như các biến làm thay đổi sắc thái giọng gà. Tiếng kêu có thể đưa ra gợi ý sớm trước khi nhiệt kế và cảm biến khí bắt được.

Nếu tiếng kêu và màu mào là tín hiệu từ một cá thể, cúm gia cầm là sự kiện xóa cả chuồng gà. Năm 2025, hàng chục triệu gà mái đẻ tại Hoa Kỳ bị tiêu hủy vì cúm gia cầm độc lực cao, làm giá trứng chao đảo. Tháng 6 năm 2026, nhà virus học Rong Hai thuộc Đại học California, Riverside công bố ông nhận 1,8 triệu đô la từ Cơ quan Kiểm dịch Động thực vật của Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ để phát triển công cụ giám sát kết hợp trí tuệ nhân tạo và proteomics. Nghiên cứu tìm dấu vết protein do tế bào nhiễm bệnh để lại thay vì gene virus. Công cụ này là dự án phát triển, không phải sản phẩm cảnh báo sớm đã triển khai tại trang trại.

Những tín hiệu từng tách rời đang hội tụ. Năm 2026, một nhóm nghiên cứu thu video RGB, âm thanh 48 kilohertz, ảnh nhiệt cùng dữ liệu nhiệt độ và độ ẩm trong 22 tuần tại năm chuồng nghiên cứu theo kiểu thương mại. Bộ dữ liệu đạt 10,2 terabyte. Thành quả của bài báo không phải độ chính xác chẩn đoán, mà là hạ tầng dữ liệu đồng bộ và lưu số đọc từ các cảm biến khác nhau. Gồm nhiều giác quan chưa tự động tách gà bệnh khỏi gà khỏe.

Chính phủ Hàn Quốc cũng tham gia một dòng chảy tương tự. Tháng 3 năm 2026, Bộ Nông nghiệp, Lương thực và Nông thôn công bố chương trình hỗ trợ thương mại hóa nhanh sản phẩm trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực nông nghiệp và thực phẩm, cấp trung bình 2 tỷ won mỗi dự án cho 25 dự án, trong đó có dự báo bệnh vật nuôi. Kết quả lựa chọn toàn chính phủ được công bố ngày 19 tháng 6, nhưng ví dụ tiêu biểu của ngành chăn nuôi là robot tự động hóa giết mổ. Không xác nhận được dự án riêng cho gà hoặc gia cầm.

Công nghệ này có thật sự vì con gà hay không lại là một câu hỏi khác. Camera đọc màu mỏ và micro nghe tiếng kêu không tự làm giảm mật độ nuôi. Tìm sớm một con bệnh và thay đổi không gian chen chúc khiến gà mắc bệnh là hai vấn đề khác nhau. Trí tuệ nhân tạo có thể hỗ trợ việc đầu tiên. Con người vẫn đặt mật độ nuôi, chọn giống và quyết định giá trứng, thịt gà.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Ajibola, G., Kilders, V., & Erasmus, M. A. (2024). A peep into the future: artificial intelligence for on-farm poultry welfare monitoring. *Animal Frontiers*, 14(6), 72-75.
<https://doi.org/10.1093/af/vfae031>
- Amirivojdan, A., Nasiri, A., Zhou, S., Zhao, Y., & Gan, H. (2024). ChickenSense: a low-cost deep learning-based solution for poultry feed consumption monitoring using sound technology. *AgriEngineering*, 6(3), 2115-2129.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering6030124>
- Aydin, A., Bahr, C., Viazzi, S., Exadaktylos, V., Buyse, J., & Berckmans, D. (2014). A novel method to automatically measure the feed intake of broiler chickens by sound technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 101, 17-23.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.11.012>
- Berckmans, D. (2026). Precision livestock farming: From where we came and where we go. *Animal Bioscience*, 39(4), 260110.
<https://doi.org/10.5713/ab.260110>
- Bhuiyan, M. R., & Wree, P. (2023). Animal behavior for chicken identification and monitoring the health condition using computer vision: A systematic review. *IEEE Access*, 11, 126601-126610.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3331092>
- Campbell, M., Miller, P., Diaz-Chito, K., Irvine, S., Baxter, M., Del Rincon, J., Hong, X., McLaughlin, N., Arumugam, T., & O'Connell, N. (2025). Automated precision weighing: leveraging 2D video feature analysis and machine learning for live body weight estimation of broiler chickens. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100793.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100793>
- Engelbrecht, D., Steyn, N., Djouani, K., & Bosman, H. (2026). Precision farming: A review of artificial intelligence applications in broiler poultry farming. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 38, 1-13.
<https://doi.org/10.3897/ejfa.2026.172240>
- Essien, D., Dhaliwal, Y., & Neethirajan, S. (2026). A longitudinal multimodal big data infrastructure for precision poultry monitoring. *Frontiers in Big Data*, 9, 1821612.
<https://doi.org/10.3389/fdata.2026.1821612>
- Lev-ron, T., Yitzhaky, Y., Halachmi, I., & Druyan, S. (2025). Classifying vocal responses of broilers to environmental stressors via artificial neural network. *Animal*, 19, 101378.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101378>
- Paneru, B., Dhungana, A., Dahal, S., Ritz, C. W., Kim, W., Liu, T., & Chai, L. (2026). Computer vision models for precision poultry farming: A narrative review of behavioral and welfare monitoring studies. *Poultry Science*, 105(7), 106887.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.106887>
- Paneru, B., et al. (2026). Artificial intelligence in precision poultry farming: opportunities, challenges, and future features. *Animal Frontiers*, 16(2), 41-50.
<https://doi.org/10.1093/af/vfag004>
- Venkatraman, M., & Neethirajan, S. (2025). AI-powered vocalization analysis in poultry: Systematic review of health, behavior, and welfare monitoring. *Sensors*, 25(13), 4058.
<https://doi.org/10.3390/s25134058>

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (2026). Notice of the AX-Sprint support program for rapid commercialization of AI application products in the agrifood sector. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/577339/artclView.do>

Ministry of Planning and Budget and other relevant ministries. (2026, June 19). AI application products race to market within one to two years. <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/598167/download.do>

University of California, Riverside. (2026, June 23). Preventing the next egg crisis with smarter avian flu detection. <https://news.ucr.edu/articles/2026/06/23/preventing-next-egg-crisis-smarter-avian-flu-detection>

Chương 5

Bản sao số và tính bền vững

5.1

Bản sao số: chuồng trại được dựng trong máy tính

Sau đây là một cảnh giả định kết hợp nhiều chức năng hiện còn ở giai đoạn nghiên cứu. Năm giờ sáng, chuồng bò vẫn tối. Một con bò đứng dậy, rướn cổ rồi bước về phía máng thức ăn. Hơi thở trắng xóa lan trong không khí lạnh, quạt thông gió trên mái phát ra tiếng ù ù trầm thấp. Ánh đèn xanh trên cảm biến đeo ở cổ chớp nháy, ống kính máy quay trên trần lặng lẽ bám theo từng cử động. Trên màn hình trong văn phòng có thêm một chuồng bò giống hệt. Khi con bò thật nhấc chân, con bò ba chiều trên màn hình gần như đồng thời co rồi duỗi chân. Giữa hai chuồng không có bức tường dày hay khoảng cách xa.

Chỉ có những con số truyền qua lại từng giây.

Chuồng trại song sinh được dựng trong máy tính này có tên tiếng Anh là bản sao số (Digital Twin, DT). Nhiệt độ, độ ẩm trong chuồng, thân nhiệt và dáng đi của từng con bò liên tục truyền vào theo từng giây, khiến chuồng trại trên màn hình vận động theo thời gian thực. Mô phỏng chăn nuôi đã có từ trước. Nhưng những mô phỏng ấy giống việc tổng hợp số liệu trung bình của cả năm thành bảng rồi treo lên tường hơn. Chúng không cho biết hôm nay con bò này có đang sốt hay không, hoặc lúc này không khí ở góc chuồng lợn kia đục đến mức nào. Bản sao số thì khác.

Nó không ngừng thu nhận dữ liệu từ cảm biến và máy quay, phản chiếu nguyên trạng hiện tại của các sinh vật trong chuồng, rồi tính xem một giờ hay một ngày sau chuyện gì có thể xảy ra. Nó giống một tấm gương đang sống và chuyển động.

Mỗi sáng, người quản lý trang trại nhìn màn hình này trước tiên. Biến động nhiệt độ ở từng chuồng trong đêm và số bò bỏ thừa thức ăn được trình bày thành bảng và biểu đồ. Những cá thể có dấu hiệu bất thường được đánh dấu riêng bằng màu đỏ ở phía trên màn hình. Công việc đi từng ô chuồng để kiểm tra bằng tay giảm đi nhiều nhờ vài giây xem xét này. Khi gộp dữ liệu của một tuần, người quản lý còn nhận ra ô nào đòi hỏi nhiều công chăm sóc khác thường.

Muốn tấm gương ấy hoạt động, trước hết phải có những con số thô. Giá trị rung mà gia tốc kế trên cổ bò gửi về mỗi giây, hình ảnh từ máy quay trên trần và số đo của nhiệt ẩm kế gắn trên tường là điểm khởi đầu. Lên một tầng, những con số thô được chuyển thành chỉ số có ý nghĩa. Hệ thống tính mỗi ngày bò nhai lại bao nhiêu phút, đi bao nhiêu bước và nhiệt độ sâu bên trong cơ thể là bao nhiêu. Lên thêm một tầng, máy tính dựa vào các chỉ số ấy để đưa ra nhận định. Nó phân biệt con vật đang chịu stress nhiệt, có dấu hiệu sớm của viêm vú hay đã động dục.

Nếu một con bò đột ngột đi ít hơn và thân nhiệt nhích lên, máy tính đọc tổ hợp này như tín hiệu sớm của viêm vú rồi hiện cảnh báo ở một góc màn hình. Chỉ ở tầng trên cùng, bản sao số mới bộc lộ công dụng thực sự. Nó thử trước trong chuồng ảo xem bò sẽ phản ứng ra sao nếu môi trường thay đổi theo một cách nào đó, rồi đề xuất cho con người nên làm gì và làm thế nào. Năm 2026 đã có một bài báo hệ thống hóa cấu trúc nhiều tầng này thành một khung thống nhất.

Năm 2026, các nhà nghiên cứu công bố một hệ thống trí tuệ nhân tạo chỉ dùng hình ảnh từ máy quay thương mại trong chuồng để phân biệt bảy hành vi của bò. Hệ thống nhìn màn hình để nhận ra con vật đang nhai thức ăn trước máng, uống nước, đứng yên hay nằm. Họ dùng 4964 đoạn video do con người gán nhãn làm dữ liệu học, rồi tăng cường thành 9600 đoạn để huấn luyện. Độ chính xác đạt khoảng 85 phần trăm và một bộ xử lý đồ họa xử lý được hơn 22 khung hình mỗi giây. Hồ sơ hành vi của từng cá thể được rút ra theo cách này có thể trở thành dữ liệu đầu vào cần thiết để xây dựng bản sao số.

Nghiên cứu ấy chưa kiểm chứng đồng thời cả việc tính khẩu phần và tái tạo hình ảnh ba chiều ngoài phân loại hành vi.

Động cơ tính toán nâng đỡ bốn tầng này không phải một mà là hai loại. Một loại giải trực tiếp các phương trình vật lý mô tả chuyển động của không khí và nhiệt. Phép cân bằng nhiệt, so sánh lượng nhiệt đi vào và thoát ra khỏi chuồng, tạo nên bộ khung của nó. Loại còn lại là mô hình trí tuệ nhân tạo tự tìm quy luật từ dữ liệu quá khứ. Mô hình dựa trên phương trình vật lý chính xác nhưng chậm; mô hình học từ dữ liệu nhanh nhưng thường chao đảo trước tình huống lạ. Những người xây dựng bản sao số cho ngành chăn nuôi kết hợp hai loại mô hình.

Phương trình vật lý dựng nên khung lớn, máy học (Machine Learning, ML) và học sâu (Deep Learning, DL) điền các chi tiết bên trong, còn học tăng cường (Reinforcement Learning, RL), liên tục thử sai và tự tinh chỉnh quy luật, tìm ra chiến lược điều chỉnh môi trường tối ưu.

Không phải mọi phép tính đều diễn ra ở một nơi. Chiếc máy tính nhỏ gắn dưới mái hiên chuồng trại lập tức hoàn thành các phép tính cần phản ứng nhanh, như chỉ tách chân bò khỏi hình ảnh máy quay. Những phép tính có thể thực hiện chậm hơn, như gom dữ liệu nhiều ngày để thiết kế lại khẩu phần, được chuyển tới trung tâm dữ liệu ở xa. Một bài tổng quan công bố năm 2025 nghiêng về nhận định rằng cách kết hợp thiết bị tại trang trại với đám mây như vậy phù hợp với bản sao số trong chăn nuôi.

Trong chuồng lợn ảo, hai loại mô hình này gặp nhau rõ nét hơn cả. Trước đây, khi cân nhắc lắp thêm bao nhiêu quạt thông gió trên trần và đặt chúng ở bức tường nào, người ta chỉ có cách lắp thử rồi theo dõi vài ngày. Phương pháp tính toán mang tên động lực học chất lưu tính toán (Computational Fluid Dynamics, CFD) đã đảo ngược thứ tự ấy. Trước hết, nó vẽ toàn bộ đường đi của luồng không khí. Mô hình chuồng lợn ảo như vậy từng được công bố trên một tạp chí kỹ thuật quốc tế năm 2023. Khi thay đổi vị trí và điều kiện vận hành của quạt trên màn hình, luồng không khí biểu thị bằng màu sắc lan khắp các góc chuồng.

Những nơi không khí tù đọng hoặc lưu thông tốt hiện ra, đồng thời có thể tính đường di chuyển của nhiệt và khí trong chuồng. Đây là công cụ dùng ở giai đoạn thiết kế để xem nên vận hành hệ thống sưởi, làm mát và thông gió ra sao nhằm giữ nhiệt độ. Chưa có bằng chứng cho thấy cùng mô hình này đã kiểm chứng cả biến động khí nhà kính theo khẩu phần hoặc cách bố trí thanh chắn an toàn trong ô đẻ.

Với bò, bản sao số mà các nhà nghiên cứu hướng đến vận hành theo một phép tính hơi khác. Hệ thống tập hợp nhiệt độ lõi, thời gian nhai lại, lượng thức ăn ăn vào và sản lượng sữa của từng con để cập nhật trạng thái cá thể, rồi dùng mô hình ước tính trước phản ứng khi thay đổi thức ăn hoặc chất bổ sung. Tuy vậy, chưa ghi nhận một bản sao số hoàn chỉnh có thể tái hiện chính xác cả độ pH dạ cỏ, sản lượng sữa và phản ứng methane tại trang trại bò sữa thương mại.

Chức năng gần thực tế hiện nay là hỗ trợ quyết định: tìm cá thể bất thường từ dữ liệu cảm biến và cho bác sĩ thú y cùng người quản lý biết ô chuồng nào cần xem trước. Cảnh báo trên màn hình không thể thay cho việc con người dùng đầu ngón tay sờ bầu vú và tiến hành xét nghiệm.

Giả sử giá thức ăn tăng mạnh trong mười ngày, mục đích của những phép tính này trở nên rõ ràng. Người quản lý có thể đưa giá thức ăn và mức tăng trọng dự kiến vào cùng một phép so sánh để xem bán ngay hay nuôi thêm hai tuần rồi bán có lợi hơn. Trước khi đợt nắng nóng ập tới, họ cũng có thể thử nhiều điều kiện để xác

định thời điểm bật quạt thông gió và hệ thống phun sương. Nhưng kết quả tính toán phụ thuộc vào dữ liệu trang trại và độ chính xác của mô hình; con người vẫn phải kiểm tra chi phí cùng tình trạng vật nuôi trước khi quyết định.

Giá trị của bản sao số nằm ở khả năng xem trước những điều kiện nguy hiểm trong mô hình trước khi tác động tới vật nuôi thật. Trước khi thử thức ăn hay môi trường mới trên bò và lợn thật, người ta có thể thu hẹp các điều kiện ứng viên và so sánh nhiều phương án an toàn sinh học trên màn hình. Tuy nhiên, mô phỏng không thay thế được thí nghiệm chứng minh tính an toàn và hiệu quả.

Dù có thể chạy kịch bản một dịch bệnh như lở mồm long móng lan sang trang trại bên cạnh để cân nhắc khi nào cần đóng cửa chuồng và hạn chế ra vào đến đâu, quyết định phòng dịch trên thực tế vẫn phải tuân theo dữ liệu dịch tễ đã được kiểm chứng và hướng dẫn của cơ quan chức năng.

Dòng chảy này đã bắt đầu đi vào đời thực. Tháng 10 năm 2025, SRUC (Scotland's Rural College), một tổ chức nghiên cứu nông nghiệp ở Scotland, giới thiệu farm-twin là bản sao số nguồn mở đầu tiên trên thế giới dành cho trang trại bò sữa. Dự án nhận hỗ trợ từ chương trình phát triển trung tâm khu vực của UKRI, cơ quan nghiên cứu và đổi mới trực thuộc chính phủ Anh, cùng chương trình Digital Dairy Chain.

SRUC mô tả các chức năng gom hồ sơ sức khỏe bò sữa, sản lượng sữa, lượng thức ăn ăn vào và dữ liệu môi trường chuồng trại từ thiết bị của nhiều công ty lên một màn hình; khi phát hiện bò nghi mắc bệnh, hệ thống vận hành công cách ly và cung cấp cho chủ trại bối cảnh cần thiết để ra quyết định. Tuy nhiên, “đầu tiên trên thế giới” là cách diễn đạt do SRUC công bố, còn nguồn mở thực sự giúp các trang trại nhỏ giảm chi phí triển khai đến mức nào vẫn cần được theo dõi thêm.

Một bức tranh tương tự đang được vẽ trong chuồng gà. Các thử nghiệm đang chuyển nhiệt độ và nồng độ ammonia trong chuồng nuôi hàng chục nghìn gà thịt vào không gian ảo, rồi tính trước tỷ lệ chết có thể giảm bao nhiêu nếu hạ nhẹ mật độ nuôi. Nhưng bằng chứng cho thấy phép tính ấy đúng như nhau ở hàng chục hoặc hàng trăm chuồng gà thực tế vẫn còn mỏng. Mỗi loài có kích thước cơ thể và cách mắc bệnh khác nhau, nên khó bề nguyên phương pháp phù hợp với bò sang dùng cho gà.

Nhưng chuồng trại trên màn hình không phải lúc nào cũng hiển thị đúng những con số như chuồng trại thật. Cặp song sinh này không hoàn hảo. Bụi phủ trắng ống kính

máy quay hoặc một con bò lấy sừng húc lệch cảm biến ở vòng cổ là chuyện thường gặp. Bụi, khí độc trong chuồng và cú va của vật nuôi vào cảm biến khiến số đo nhảy vọt hoặc tín hiệu đứt hẳn không phải chuyện hiếm. Nếu liên lạc bị ngắt trong chốc lát vào một đêm mùa đông, chuồng trên màn hình đông cứng như ảnh tĩnh trong vài phút ấy. Khi tín hiệu trở lại, nó mới đuổi kịp bằng cách nhận toàn bộ dữ liệu tồn đọng.

Nếu sai lệch hiệu chuẩn tích tụ khi cảm biến dần đọc chệch, bản sao trên màn hình bắt đầu chuyển động nhanh hoặc chậm hơn chuồng thật nửa nhịp. Có lúc màn hình báo 32 độ trong khi nhiệt kế ở chuồng thật đã vượt 35 độ.

Một số bài tổng quan học thuật công bố năm 2026 thẳng thắn chỉ ra khoảng cách này. Suresh Neethirajan, nhà nghiên cứu đã theo dõi lĩnh vực chăn nuôi chính xác nhiều năm, đánh giá rằng khó tìm được trường hợp bản sao số hoàn thiện về kỹ thuật đã được đưa vào trang trại bò sữa hoặc gia cầm thương mại. Phía sau lời quảng bá về hiệu quả thức ăn tăng và bệnh được phát hiện sớm, dữ liệu kiểm chứng qua nhiều năm tại trang trại thực tế vẫn chưa đủ dày. Một tổng quan riêng về chuồng gà cũng chỉ tìm thấy rất ít trường hợp kiểm chứng thương mại tại hiện trường.

Chỉ có một nghiên cứu kiểm chứng hệ số chuyển đổi thức ăn ở quy mô thương mại, trong khi dữ liệu về tỷ lệ thất bại hoặc tỷ lệ ngừng dùng hệ thống sau khi triển khai cũng thiếu. Một bài tổng quan năm 2025 phân tích 122 bài báo được công bố từ năm 2010. Một số nguyên mẫu và thử nghiệm hiện trường báo cáo hiệu quả thức ăn tăng 15 đến 20 phần trăm, còn lượng nước sử dụng giảm tới 40 phần trăm. Chính bài báo ấy cảnh báo rằng còn thiếu các hệ thống thương mại bền vững và kiểm chứng từ bên ngoài. Giữa bản trình chiếu rực rỡ và nền chuồng trại thật vẫn còn một khe hở cần thu hẹp.

Không chỉ có vấn đề sai lệch số liệu. Dù hai con bò song sinh cùng thuộc một giống bò sữa, trên thực tế chúng thường phản ứng khác nhau. Do đặc điểm di truyền và tình trạng miễn dịch, cùng ăn một loại thức ăn nhưng có con tăng cân rất nhanh, con khác thì không. Việc đưa trọn những khác biệt cá thể ấy vào tính toán, lại đồng thời tái tạo luồng không khí trong chuồng ở độ phân giải cao, đòi hỏi nguồn lực điện toán đám mây không nhỏ. Trang trại lớn có nguồn vốn dồi dào có thể chịu được chi phí này, nhưng với hộ nhỏ nuôi mười hay hai mươi con bò, nó trở thành rào cản ngay từ đầu.

Cộng phí thuê máy chủ, chi phí lắp cảm biến và tiền thuê người đọc dữ liệu, tổng số có thể tăng đến mức hộ nhỏ khó gánh nổi. May thay, giá cảm biến đang dần hạ, và ngày càng có thêm nơi công khai phần mềm như trường hợp SRUC, nên rào cản này còn khả năng thấp xuống. Nhưng tranh chấp về việc ai sở hữu dữ liệu và làm sao ngăn thông tin trang trại tích lũy bị rò rỉ ra ngoài dường như vẫn chưa tìm được lời giải rõ ràng.

Vì vậy, hướng đi hiện nay của công nghệ này không phải là tự động hóa để con người buông tay hoàn toàn, mà là gợi ý bước tiếp theo cho con người trong khi vẫn hoạt động khi dữ liệu bị gián đoạn hoặc sai lệch. Đó là lý do người ta vẫn nhìn vào màn hình mỗi sáng, dù biết đôi lúc nó có thể sai.

Hãy trở lại cảnh giả định lúc năm giờ sáng. Chuồng trại trên màn hình lặng lẽ tính và đưa ra nhiệt độ cùng độ ẩm trong sáu giờ tới. Không ai có thể bảo đảm con số ấy sẽ gần với vạch nhiệt kế của chuồng thật đến mức nào sau sáu giờ. Ngoài cửa sổ vẫn tối, đàn bò vẫn xếp hàng trước máng. Người quản lý nhìn con số một lần, xò ủng rồi bước ra chuồng.

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Abdelrahman, M., Issa, S., Elsayed Ali, M., Alotaibi, J., & Alshanbari, F. (2026). From machine learning to digital twin integration for livestock production and research. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1744053. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1744053>
- Abdelrahman, M., Issa, S., Elsayed Ali, M., Alotaibi, J., & Alshanbari, F. (2026). Correction: From machine learning to digital twin integration for livestock production and research. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1810873. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1810873>
- Albayrak, A. (2026). A multi-layered digital twin framework for smart agriculture and livestock: System architecture and implementation challenges. *Information and Software Technology*, 195, 108139. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2026.108139>
- Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6-11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>
- Goldenits, G., Mallinger, K., Raubitzek, S., & Neubauer, T. (2024). Current applications and potential future directions of reinforcement learning-based digital twins in agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100512. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100512>
- Han, X., Lin, Z., Clark, C., Vucetic, B., & Lomax, S. (2022). AI-based digital twin model for cattle caring. *Sensors*, 22(19), 7118. <https://doi.org/10.3390/s22197118>
- Jeong, D.-Y., Jo, S.-K., Lee, I.-B., Shin, H., & Kim, J.-G. (2023). Digital twin application: Making a virtual pig house toward digital livestock farming. *IEEE Access*, 11, 121592-121602. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3313618>
- Neethirajan, S. (2024). Twin farms nexus: Digital twins for sustainable animal farming. *Archives of Animal and Poultry Sciences*, 2, 555595. <https://doi.org/10.19080/AAPS.2024.02.555595>

Neethirajan, S. (2026). Digital twins for cows and chickens: From hype cycles to hard evidence in precision livestock farming. *Agriculture*, 16(2), 166.

<https://doi.org/10.3390/agriculture16020166>

Neethirajan, S. (2026). Digital twins in poultry farming: Deconstructing the evidence gap between promise and performance. *Applied Sciences*, 16(3), 1317.

<https://doi.org/10.3390/app16031317>

Neethirajan, S., & Kemp, B. (2021). Digital twins in livestock farming. *Animals*, 11(4), 1008.

<https://doi.org/10.3390/ani11041008>

Norton, T., Chen, C., Larsen, M. L. V., & Berckmans, D. (2019). Precision livestock farming: Building 'digital representations' to bring the animals closer to the farmer. *Animal*, 13(12), 3009-3017.

<https://doi.org/10.1017/S175173111900199X>

Rao, S., Garcia, E., & Neethirajan, S. (2026). Video-based cattle behaviour detection for digital twin development in precision dairy systems. *npj Veterinary Science*, 1(1), 3.

<https://doi.org/10.1038/s44433-026-00004-x>

Rao, S., & Neethirajan, S. (2025). Computational architectures for precision dairy nutrition digital twins: A technical review and implementation framework. *Sensors*, 25(16), 4899.

<https://doi.org/10.3390/s25164899>

SRUC (Scotland's Rural College). (2025, October 23). SRUC launches world's first open-source digital twin for dairy farming. SRUC.

<https://www.sruc.ac.uk/all-news/sruc-launches-world-s-first-open-source-digital-twin-for-dairy-farming/>

Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez III, H. M., & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management. *Animal Bioscience*, 39(4), 250289.

<https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>

5.2

Trí tuệ nhân tạo hiểu lời nói: AI tạo sinh và mô hình ngôn ngữ lớn

Sau đây là một cảnh giả định về quá trình hồ sơ chuồng trại biến thành dữ liệu số. Năm giờ sáng, ở một góc chuồng, bác sĩ thú y ngậm đèn pin trong miệng, viết nguệch ngoạc vào sổ khám bệnh. Mực nhòe trên giấy. Một con bò sữa bỏ thức ăn và đứng trong tư thế lạ nên bác sĩ vừa được gọi tới gấp. Mùa đông, đầu ngón tay cóng lạnh khiến chữ càng xiêu vẹo, nhưng nếu không ghi lại những gì nhìn thấy hôm nay thì ngày mai sẽ quên. Trên giấy chen lẫn số hiệu con bò, thân nhiệt, vài tên thuốc khó đọc và những từ viết tắt chỉ người viết mới hiểu.

Thực ra chỉ một tháng sau, chính bác sĩ cũng lơ mờ không nhớ từ viết tắt ấy có nghĩa gì. Những ghi chép trong cuốn sổ không chỉ dùng trong một ngày. Trong ngăn kéo chuồng trại, những cuốn tương tự đã chất nhiều năm, lẫn với phiếu kiểm tra vệ sinh gửi từ lò mổ và nhật ký chăn nuôi do chủ trại viết tay. Ba tháng sau, nếu con bò ấy lại ốm, người phải đọc lại nét chữ như những vết nguệch ngoạc này có thể là một bác sĩ thú y khác.

Muốn máy đọc được chữ viết vội ấy cần hai bước. Trước tiên, thiết bị nhận dạng ký tự quang học hoặc nhận dạng chữ viết tay chuyển chữ trên giấy thành văn bản. Sau đó, mô hình xử lý ngôn ngữ tự nhiên tìm tên bệnh, thuốc đã dùng, triệu chứng và ngày tiêm vaccine trong hồ sơ đã được chuyển thành ký tự. BioBERT là mô hình ngôn ngữ được huấn luyện trên tài liệu y sinh, chứ không phải thiết bị tự đọc ảnh chữ viết tay. Nếu nhận dạng ký tự sai, phần phân tích phía sau cũng sai theo.

Khi hồ sơ được sắp xếp chính xác, việc xem con bò nào đã được tiêm kháng sinh gì vào lúc nào và kiểm tra thời gian ngừng thuốc trước khi xuất chuồng trở nên dễ dàng hơn. Hệ thống cũng có thể tạo một câu cho biết tiếng ho và số đo cảm biến ammonia biến động cùng thời điểm. Nhưng chỉ vì hai giá trị cùng thay đổi không có nghĩa ammonia chắc chắn là nguyên nhân gây ho. Sau khi đọc một dòng bảng và một câu văn, chủ trại vẫn phải kiểm tra lại dữ liệu gốc và vật nuôi.

Các chương trình chăn nuôi chính xác khởi đầu bằng việc hiển thị số liệu cảm biến dưới dạng biểu đồ. Khi điểm và đường tràn kín màn hình, mắt người mệt trước tiên,

còn chủ trại phải tự quyết định cần làm gì. Sau đây là cảnh sử dụng giả định mà một hệ thống hỗ trợ quyết định gắn mô hình ngôn ngữ hướng tới. Trong văn phòng của một trang trại bò sữa, chủ trại yêu cầu giải thích đồng thời thân nhiệt, thời gian nhai lại, tỷ lệ mỡ và protein sữa của bò số 105. Màn hình báo thời gian nhai lại gần đây giảm, còn tỷ lệ mỡ trên protein sữa tăng, và khuyến kiểm tra nguy cơ rối loạn chuyển hóa, trong đó có ketosis.

Nó không đưa ra chỉ định đổi ngay tỷ lệ thức ăn. Bác sĩ thú y kiểm tra máu, sữa, diễn biến sau khi đẻ và lượng thức ăn ăn vào rồi mới quyết định chẩn đoán và điều chỉnh khẩu phần. Cấu trúc đa tác nhân, trong đó đường cong tiết sữa, chu kỳ sinh sản và chương trình phối trộn thức ăn chia sẻ dữ liệu, còn mô hình ngôn ngữ gói kết quả thành một câu, cũng đang được nghiên cứu. Đây chưa phải tiêu chuẩn vận hành được kiểm chứng rộng rãi tại các trang trại bò sữa. Báo cáo chuyển tới chủ trại là mẫu ghi chú giúp bác sĩ thú y đến khám sớm hơn, không phải đơn thuốc thay cho buổi khám.

Muốn tạo ra câu trả lời như vậy, máy tính không được tùy tiện bịa nên những câu nghe có vẻ hợp lý. Trí tuệ nhân tạo hội thoại phổ thông có thể tạo ra ảo giác, nói điều sai sự thật như thể đó là sự thật. Trong chuồng trại, chỉ một tỷ lệ chất bổ sung thức ăn hoặc một chỉ định sai cũng có thể ảnh hưởng đến sức khỏe của nhiều con bò và chất lượng sữa nguyên liệu. Để giảm nguy cơ này, một số nghiên cứu và nguyên mẫu đang thử phương pháp tạo sinh tăng cường truy xuất, viết tắt tiếng Anh là RAG. Hệ thống tìm trước các bài báo đã được kiểm chứng và hồ sơ cảm biến của trang trại, rồi tạo câu trả lời dựa trên nội dung ấy.

Khi câu trả lời kèm tài liệu tham khảo và vị trí hồ sơ, bác sĩ thú y dễ mở bản gốc để kiểm tra. Nhưng nếu tài liệu truy xuất không khớp câu hỏi hoặc mô hình chuyển câu sai, vẫn có thể xuất hiện câu trả lời sai mang theo nguồn dẫn. RAG mở rộng khả năng kiểm tra đối chiếu, chứ không phải con dấu bảo đảm chẩn đoán chính xác.

Phương pháp này không phải lúc nào cũng đưa ra đáp án đúng. Chỉ xét một triệu chứng là thời gian nhai lại giảm, đó có thể là ketosis, rối loạn tiêu hóa tạm thời hoặc tín hiệu bắt đầu động dục. Mô hình ngôn ngữ có xu hướng nghiêng về những tình huống xuất hiện nhiều trong các bài báo đã học, nên có nguy cơ áp nguyên một đáp án phổ biến cho con bò này. Phần lớn bài báo dùng để huấn luyện thiên về dữ liệu bò sữa Holstein ở Mỹ hoặc châu Âu; khi xử lý những giống nuôi chủ yếu trong nước như bò Hanwoo, tỷ lệ phối trộn thức ăn hoặc ngưỡng nhiệt độ phù hợp có thể lệch đi mà khó nhận thấy.

Nếu ngay từ đầu mô hình ngôn ngữ đọc sai ghi chú viết tay nguệch ngoạc của bác sĩ thú y, một ký tự bị đọc sai sẽ bám theo đến cuối, dù phía sau có truy xuất và tính toán tinh vi đến đâu. Câu do máy tính viết nghe trôi chảy và tự tin như nhau cả khi đúng lẫn khi sai. Không có ngữ điệu hay sự ngập ngừng, nên chủ trại khó dựa vào giọng nói để cân nhắc có nên tin câu trả lời hay không. Huấn luyện mới từ đầu một mô hình ngôn ngữ chuyên về chăn nuôi đòi hỏi sắp xếp hàng trăm nghìn bài báo và hồ sơ trang trại; chi phí máy chủ cho công việc ấy quá sức một trang trại nhỏ nếu phải gánh một mình.

Còn một vấn đề phải kiểm tra: liệu hồ sơ chăn nuôi riêng của trang trại có bị dùng cùng làm dữ liệu học cho công ty bên ngoài hay không.

Chẳng hạn, tại một trang trại bò Hanwoo, một con bò đột ngột bỏ ăn và bụng trướng lên. Trí tuệ nhân tạo có thể nghi chứng chướng hơi dạ cỏ, nguyên nhân phổ biến trong phần lớn bài báo mà nó đã học, rồi khuyên dùng thuốc tiêu hóa. Nhưng nếu nguyên nhân thật là nấm mốc trên rơm mới nhập vài ngày trước và chỉ con bò này phản ứng nhạy khác thường, trí tuệ nhân tạo sẽ không chỉ ra được câu chuyện hiếm gặp trong tài liệu. Khi đó, bác sĩ thú y phải bước vào chuồng, tự ngửi mùi rơm và tận mắt thấy lớp mốc trắng thì nguyên nhân thật mới lộ ra.

Dù bài báo có nhiều đến đâu, trước một sự việc lạ chỉ xảy ra trong chuồng này, mũi và mắt người vẫn chính xác hơn. Vì vậy, các công nghệ cho thấy bằng hình ảnh lý do chẩn đoán đang được phát triển tiếp theo.

Trí tuệ nhân tạo dự báo bệnh bằng học sâu dù có độ chính xác cao vẫn thường khó cho thấy bên trong nó đã suy luận vì sao. Đây được gọi là vấn đề hộp đen. Trong trí tuệ nhân tạo có khả năng giải thích, viết tắt tiếng Anh là XAI, có hai kỹ thuật LIME và SHAP để xử lý vấn đề ấy. Chúng ước tính một giá trị đầu vào như thời gian nhai lại, thành phần sữa hay thân nhiệt ảnh hưởng đến một dự báo cụ thể theo hướng nào và ở mức độ bao nhiêu. Kết quả này là con số giải thích dự báo của mô hình, không phải tỷ lệ phân chia nguyên nhân gây bệnh.

Với hình ảnh máy quay, Grad-CAM có thể đánh dấu bằng bản đồ nhiệt đỏ những vùng mô hình tham khảo nhiều khi đưa ra nhận định. Bác sĩ thú y trực tiếp xem bầu vú hoặc móng chân được đánh dấu để kiểm tra nhận định có đúng hay không. Vùng màu đỏ không tự nó xác nhận bệnh. Màn hình giải thích là tài liệu hỗ trợ chỉ nơi nên bắt đầu khám; điều trị và thay thức ăn vẫn phải qua kiểm tra lâm sàng cùng phán đoán của con người.

Một hướng nghiên cứu nhằm giảm những vấn đề này là mô hình ngôn ngữ nhỏ, SLM, chạy trên máy tính nhỏ trong chuồng mà không gửi dữ liệu tới máy chủ của công ty. Nó có thể giảm lượng ảnh và tiếng nói phải chuyển lên đám mây, đồng thời có khả năng hoạt động khi mất Internet. Nhưng xử lý trong thiết bị không tự động làm thông tin trở nên an toàn. Kiểm soát truy cập, mã hóa và quản lý cập nhật vẫn phải đi kèm.

Các mô hình đa phương thức đọc ảnh, âm thanh và chữ cùng lúc cũng đang được nghiên cứu, nhưng hệ thống chăn nuôi kết hợp tiếng ho, video đáng đi và hồ sơ khám bệnh chưa ở giai đoạn được kiểm chứng rộng rãi tại hiện trường. Việc thu nhỏ mô hình mà vẫn giữ hiệu năng và huấn luyện nó hiểu phương ngữ tiếng Hàn vẫn là những việc còn phải giải quyết.

Ngay cả trí tuệ nhân tạo tinh vi như vậy cũng thường cứng họng trước cách nói ở các vùng chăn nuôi Hàn Quốc. Khi một chủ trại ngoài tám mươi tuổi mô tả triệu chứng bằng phương ngữ và cách nói cũ như “con bò cứ ủ rũ mãi” hoặc “ở làng tôi, gặp thế này người ta cho ăn cám gạo”, mô hình ngôn ngữ chủ yếu học tiếng chuẩn và tài liệu tiếng Anh có thể hiểu sai. Cùng một thứ thức ăn cho bò mà mỗi vùng gọi bằng một tên khác, địa phương này gọi là cháo bò, địa phương kia gọi là cỏ trộn.

Người không hiểu có thể hỏi lại, nhưng nếu trí tuệ nhân tạo nghe sai rồi ra lệnh cho máy cấp thức ăn hoặc thiết bị thông gió, tai nạn có thể xảy ra. Vì vậy, giữa phản hồi bằng giọng nói và điều khiển thiết bị phải có bước con người xác nhận. Năm 2025, Cục Phát triển Nông thôn Hàn Quốc hợp tác với NAVER Cloud giới thiệu tác nhân trí tuệ nhân tạo trong nông nghiệp. Đây là dịch vụ ban đầu cung cấp thông tin canh tác cho nông dân và nhận diện sâu bệnh từ ảnh. Không có dữ liệu cho thấy dịch vụ đã được kiểm chứng về khả năng hiểu phương ngữ chăn nuôi hoặc điều khiển thiết bị chuồng trại.

Tại AFPRO 2026, các trường hợp trí tuệ nhân tạo và robot mở rộng từ trồng trọt sang chăn nuôi và chế biến thực phẩm đã được giới thiệu. Việc máy tính hiểu trọn vẹn phương ngữ thấm vào lời ăn tiếng nói qua nhiều năm và biệt ngữ riêng của nghề chăn nuôi vẫn còn dang dở.

Khi bác sĩ thú y rời chuồng vào sáng sớm, lần này nội dung vừa khám tự động hiện lên, được sắp xếp trên màn hình máy tính bảng. Tên bệnh, chỉ định và ngày khám tiếp theo đều được ghi rõ ràng. Thông tin mà trước kia bác sĩ phải trở về văn phòng, lục tủ hồ sơ khá lâu mới tìm thấy, giờ tập trung trên một màn hình; nhờ thời gian tiết kiệm được, bác sĩ có thể vội lái xe đến trang trại tiếp theo. Nhưng một câu

chủ trại vừa lẩm bẩm bằng giọng địa phương, “hôm nay sao con này cứ ngẩn ngẩn ngơ ngơ”, không được chép đúng vào bất kỳ hồ sơ nào. Ngay cả bác sĩ thú y cũng chỉ đoán được khoảng nửa ý câu nói.

Dẫu vậy, bác sĩ vẫn mỉm cười đáp rằng đã hiểu và tự nhủ lần thăm khám sau sẽ quay lại nhìn tận mắt. Trí tuệ nhân tạo hiểu ngôn ngữ đã có thể khéo léo kết nối hồ sơ khám bệnh, bài báo và số đo cảm biến, nhưng đến bao giờ mô hình ngôn ngữ mới hiểu trọn cách nói của người đã chăm bò trong chuồng này hơn năm mươi năm?

Nguồn và tài liệu tham khảo

- Aqib, A. I., Fatima, M., Muneer, A., Atta, K., Arslan, M., Zaheer, C. N. F., et al. (2023). Explainable Artificial Intelligence (XAI) in the Veterinary and Animal Sciences Field. In *Explainable Artificial Intelligence for Biomedical Applications* (pp. 33-56).
<https://doi.org/10.1201/9781032629353-3>
- Dahiya, S., Rani, N., Dalal, A., & Sheoran, D. (2026). Wearable sensors and AI - Real-time animal health monitoring. In S. Borah & S. Soren (Eds.), *AI and Robotics in Animal Science* (pp. 21-28). Cornous Publications.
<https://doi.org/10.37446/edibook202024/21-28>
- Mahato, S., Bi, H., & Neethirajan, S. (2025). Dairy DigiD: A keypoint-based deep learning system for classifying dairy cattle by physiological and reproductive status. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 8, 1545247.
<https://doi.org/10.3389/frai.2025.1545247>
- Menezes, G. L., Mazon, G., Ferreira, R. E. P., Cabrera, V. E., & Dorea, J. R. R. (2024). Artificial intelligence for livestock: A narrative review of the applications of computer vision systems and large language models for animal farming. *Animal Frontiers*, 14(6), 42-53.
<https://doi.org/10.1093/af/vfae048>
- Niu, M., Guo, G., & Cabrera, V. E. (2026). Artificial intelligence for animal science: From applications to integrated knowledge systems. *Animal Frontiers*, 16(2), 26-33.
<https://doi.org/10.1093/af/vfaf054>
- Nsabiyeze, A., Zhang, M., Li, J., Zhao, Q., & Zhang, X. (2025). Precision Livestock Farming for climate-resilient livestock management: A review of real-time monitoring and decision support systems. *Journal of Cleaner Production*, 524, 146454.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146454>
- Silvestri, A., Parlato, M. C. M., Ruchay, A., Guo, H., Iussig, G., & Pezzuolo, A. (2026). Tech-driven evolution of animal housing: An in-depth analysis of the impact of digital technologies, AI, and GenAI in the Era of precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 246, 111602.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111602>
- Tedeschi, L. O., Guarnido-Lopez, P., Menendez III, H. M., & Seo, S. (2026). Advancing precision livestock farming: Integrating artificial intelligence and emerging technologies for sustainable livestock management. *Animal Bioscience*, 39(4), 250289.
<https://doi.org/10.5713/ab.25.0289>
- Trabachini, A., Moreira, M. d. R., Harada, É. d. S., Amorim, M. d. N., & Silva-Miranda, K. O. d. (2025). Precision livestock farming applied to swine farms: A systematic literature review. *Animals*, 15(14), 2138.
<https://doi.org/10.3390/ani15142138>

Zhang, X., He, P., & Guo, C. (2025). Deep reinforcement learning for intelligent decision-making in smallholder beef cattle farming: Model innovation and industrial practice. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1715568. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1715568>

Cục Phát triển Nông thôn Hàn Quốc. (2025). Hợp tác với NAVER Cloud, lần đầu ra mắt tác nhân trí tuệ nhân tạo (AI) trong lĩnh vực nông nghiệp. Cục Phát triển Nông thôn Hàn Quốc. https://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000805404

VentureSquare. (2026). Từ trang trại đến bàn ăn cùng AI: AFPRO 2026 mở ra kỷ nguyên AX trong nông nghiệp và thực phẩm. VentureSquare. <https://www.venturesquare.net/1098971>

Tech42. (2026). Vệ tinh và AI hỗ trợ canh tác, robot thu hoạch và giết mổ: sự tiến hóa của nông nghiệp qua AFPRO 2026. Tech42. <https://www.tech42.co.kr/%ED%98%84%EC%9E%A5-%EC%9C%84%EC%84%B1%EA%B3%BC-ai%EA%B0%80-%EC%9E%AC%EB%B0%B0-%EB%8F%95%EA%B3%A0-%EB%A1%9C%EB%B4%87%EC%9D%B4-%EC%88%98%ED%99%95%C2%B7%EB%8F%84%EC%B6%95%ED%95%98%EA%B3%A0/>

5.3

Methane, phúc lợi và chủ sở hữu dữ liệu

Sau đây là một cảnh giả định kết hợp chức năng của cảm biến môi trường và thiết bị đo methane trong một chuồng trại. Năm giờ sáng, trong chuồng lợn chưa nghe tiếng xe chở thức ăn đi qua, chỉ có cánh quạt thông gió quay với âm thanh trầm thấp. Hàng trăm con vật sống cùng nhau trong đó, nên vô số tiếng thở hòa vào nhau như một tiếng rì rào. Vài cảm biến điện hóa gắn thành hàng ở độ cao khoảng 1 mét trên tường đang đồng thời đo ammonia, carbon dioxide và hydrogen sulfide, loại khí được biết đến với mùi trứng thối. Chỉ số ammonia hiện 18.5 ppm và con số thay đổi mỗi phút một lần.

Khi đường biểu diễn nồng độ methane ở góc màn hình cong nhẹ lên, bộ điều khiển tại hiện trường mang tên gateway tăng tốc độ quay của quạt thông gió. Ngay cả vào sáng mùa đông khi nhiệt kế ngoài chuồng xuống dưới 0 độ, quyết định này cũng không qua bàn tay con người. Ngoài cửa sổ vẫn tối đen, chỉ ánh sáng trên bảng điều khiển rực lên một mình. Lúc con người còn nằm trong chăn, chuồng trại đã bắt đầu điều hòa nhịp thở. Bước sang khu chuồng bò, phong cảnh hơi khác. Một con bò sữa vui đùa vào máng thức ăn cạnh máy vắt sữa tự động, còn thiết bị hình hộp treo phía trên hút luồng khí nó thở ra.

Thiết bị này mang tên GreenFeed đo lượng khí ợ lên trong vài phút bò nhai thức ăn rồi gửi ngay tới máy chủ.

Có một cái tên bao trùm toàn bộ cảnh tượng ấy. Cách tiếp cận mang tên chăn nuôi chính xác (Precision Livestock Farming, PLF) đặt cảm biến và thiết bị kết nối Internet, tức Internet vạn vật (Internet of Things, IoT), khắp mọi ngóc ngách chuồng trại để đọc trạng thái của từng con vật theo thời gian thực. Mỗi cảm biến là linh kiện rẻ và phổ biến, nhưng đôi mắt tập hợp rồi đọc các tín hiệu ấy ngày càng tinh vi. Khi cộng cả cảm biến gắn trên cơ thể vật nuôi với cảm biến cắm vào tường chuồng, giờ đây chính bò và lợn, chứ không phải con người, là bên phát ra dòng dữ liệu.

Ban đầu, trọng tâm đặt vào việc tăng sản lượng sữa và khối lượng thịt. Nhưng khi khí nhà kính và khiếu nại về mùi hôi lớn dần thành sức ép lên toàn ngành chăn

nuôi, chính những cảm biến và dữ liệu ấy phải gánh thêm nhiệm vụ rất khác: cắt giảm và kiểm chứng.

Methane mà một con bò thải ra qua hơi ợ và hơi thở được tạo thành khi vi sinh vật lên men cỏ cùng thức ăn trong dạ cỏ. Theo mốc 100 năm trong Báo cáo đánh giá lần thứ sáu của IPCC, tiềm năng làm nóng toàn cầu của methane không có nguồn gốc hóa thạch gấp khoảng 27 lần carbon dioxide. Giá trị này thay đổi tùy khung thời gian được chọn. GreenFeed thu hơi thở của bò lúc ăn để đo methane. Thiết bị dò methane bằng laser cầm tay (Laser Methane Detector, LMD) đo nồng độ methane tích phân theo đường truyền từ một khoảng cách nhất định. Một lần đo trước mũi bò không thể đại diện cho lượng phát thải của cả ngày.

Muốn so sánh các cá thể phải giữ khoảng cách và thời gian đo đồng nhất, đồng thời lặp lại trong nhiều ngày. Buồng hô hấp kín được dùng để lấy giá trị chuẩn chính xác, nhưng chi phí quá lớn nên khó đặt tại hàng nghìn trang trại thương mại. Vì thế, các nhà nghiên cứu thử nghiệm mô hình máy học ước tính nồng độ methane bằng cách kết hợp nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ carbon dioxide và ammonia, lượng thức ăn tiêu thụ, độ pH cùng độ dẫn điện của phân. Một nghiên cứu tại Hàn Quốc so sánh 8923 bản ghi thu thập mỗi 5 phút tại một chuồng lợn trong suốt tháng 7 năm 2024.

Theo nội dung bài báo, hệ số xác định (R^2) của mô hình tăng cường gradient dựa trên histogram (HistGB) là 0.835, còn căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE) là 3.899 ppm. Kết quả cho thấy năng lực dự báo nồng độ methane ở chuồng lợn ấy. Đây không phải kết quả đo lượng phát thải hay thông lượng phát thải; quá trình huấn luyện và kiểm chứng vẫn cần số đo từ cảm biến methane. Trước khi được kiểm chứng lại ở trang trại, mùa và loài vật khác, mô hình chưa thể dùng ngay cho báo cáo phát thải hằng tháng hoặc đo lường, báo cáo và thẩm định.

Ammonia là khí kích thích bốc lên từ phân. Quy định của Liên minh châu Âu về nuôi gà thịt mật độ cao yêu cầu giữ nồng độ ammonia ở độ cao ngang đầu gà không quá 20 ppm. Con số này không phải ngưỡng sinh học phổ quát mà từ đó cả lợn và gà đều đồng loạt bắt đầu viêm. Mức tổn hại thay đổi theo loài, tuổi, nồng độ và thời gian phơi nhiễm. Khi nồng độ cao và phơi nhiễm kéo dài, mắt cùng đường hô hấp bị kích ứng, nguy cơ bệnh tật và giảm năng suất tăng lên. Vật nuôi không phải đối tượng duy nhất hít bầu không khí này. Người làm việc lâu trong chuồng cũng có thể bị kích ứng mắt, họng và đau đầu.

Mùa đông, khi đóng cửa khiến thông gió giảm, ammonia dễ tích tụ, vì vậy cảm biến cần đo liên tục. Mũi người quen dần với mùi, còn cảm biến điện hóa vẫn ghi biến

động nồng độ. Hydrogen sulfide bùng lên khi khuấy bể chứa phân tạo ra nguy cơ cấp bách hơn; ở nồng độ đậm đặc, nó có thể khiến con người nhanh chóng bất tỉnh.

Tuyên bố đã cắt giảm carbon sẽ chỉ là lời nói nếu không có người kiểm tra. Đó là lý do cần quy trình đo lường, báo cáo và thẩm định (Measurement, Reporting, and Verification, MRV) để đo, công bố và kiểm chứng lượng phát thải. Dinh dưỡng chính xác (Precision Nutrition) là phương pháp điều chỉnh protein và năng lượng cần thiết dựa trên khối lượng cơ thể, sản lượng sữa và thời gian nhai lại của từng cá thể.

Nó có khả năng giảm thất thoát thức ăn, giảm lượng nitrogen thoát ra theo phân và hạ lượng methane trên một đơn vị sản phẩm, nhưng quy mô hiệu quả phải được xác nhận riêng trong thử nghiệm hiện trường phù hợp với loài, thức ăn và điều kiện trang trại. Cũng có phương pháp ước tính methane từ phổ hồng ngoại trung (Mid-Infrared, MIR) và thành phần acid béo của sữa nguyên liệu. Đây không phải thiết bị đo trực tiếp methane mà là chỉ số đại diện qua phương trình hiệu chỉnh phù hợp với giống, thức ăn và lứa đẻ. Chỉ số do cảm biến và mô hình tạo ra không tự sinh ra tín chỉ carbon.

Muốn giao dịch lượng giảm phát thải của dự án bên ngoài tại Hàn Quốc, dự án phải trải qua phương pháp luận được phê duyệt, đường cơ sở, tính bổ sung, đăng ký, giám sát, thẩm định và chứng nhận. Chứng nhận sản phẩm chăn nuôi cũng phải đáp ứng tiêu chí cắt giảm cùng điều kiện tiên quyết đã định; dấu chứng nhận không bảo đảm giá loại thịt hay sữa ấy sẽ tăng. Giữa con số trong chuồng với giao dịch và nhãn hiệu trên bao bì là một chuỗi thủ tục hành chính dài cùng lựa chọn của thị trường.

Ai là chủ của những con số tích lũy như vậy? Khối lượng, đáng đi, lượng thức ăn ăn vào, thành phần sữa, ngày bác sĩ thú y đến khám và danh mục thuốc đều được lưu trên một máy chủ nào đó. Nhưng ai nắm giữ dữ liệu và dữ liệu có thể được tái sử dụng ở đâu thường chỉ được ghi vài dòng ở mặt sau hợp đồng. Trong một nghiên cứu về dữ liệu nông nghiệp năm 2022, 74 phần trăm trang trại tham gia trả lời không biết điều khoản hợp đồng, còn 55 phần trăm cho biết đã ký mà không được giải thích đầy đủ.

Điều các trang trại lo ngại là không kiểm soát được phạm vi tái sử dụng hồ sơ chăn nuôi và không thể chuyển trọn dữ liệu khi đổi thiết bị. Một trong những công nghệ nhằm giảm nỗi lo này là học liên kết (Federated Learning, FL). Dữ liệu gốc được

giữ trên thiết bị tại trang trại, còn các bản cập nhật mô hình do từng thiết bị tính toán được tập hợp để huấn luyện mô hình chung. Bản cập nhật gửi ra ngoài không tự động được mã hóa và vẫn có nguy cơ một phần dữ liệu gốc bị suy luận. Các lớp bảo vệ như tổng hợp bảo mật, quyền riêng tư vi sai và mã hóa phải được bổ sung riêng.

Blockchain liên danh cho phép những bên được cấp quyền cùng lưu lịch sử giao dịch, khiến việc thay đổi về sau khó hơn và để lại dấu vết chỉnh sửa. Điều đó không có nghĩa mọi hồ sơ tuyệt đối không thể xóa hoặc sửa. Cần quy trình đính chính phù hợp với quy tắc của thành viên và pháp luật về dữ liệu cá nhân. Công nghệ có thể giảm rủi ro khi di chuyển dữ liệu, nhưng khả năng thay đổi các điều khoản hợp đồng phụ thuộc vào năng lực thương lượng của trang trại và thể chế.

Tiêu chuẩn của việc chăm sóc vật nuôi cũng đang thay đổi. Trong thời gian dài, phúc lợi vật nuôi được giải thích xoay quanh Năm quyền tự do (Five Freedoms), giúp con vật thoát khỏi đói, khát, đau đớn và sợ hãi. Mô hình Năm lĩnh vực (Five Domains Model) được đề xuất năm 1994 và mở rộng năm 2015 để bao gồm trạng thái phúc lợi tích cực. Cấu trúc này xem xét dinh dưỡng, môi trường, sức khỏe và hành vi, rồi đánh giá ảnh hưởng của chúng biểu hiện ra sao trong trạng thái tinh thần. Nó chứa quan điểm rằng động vật không phải sinh vật chỉ cần hết đau khổ, mà còn có thể trải nghiệm sự dễ chịu và vui thích.

Lĩnh vực môi trường xem nền chuồng và không gian; lĩnh vực hành vi xem con vật có quyền lựa chọn giao tiếp với cá thể khác hoặc nghỉ một mình hay không. Nghiên cứu cũng tiếp tục dùng máy quay và micro để phân biệt không chỉ dấu hiệu bệnh sớm mà cả tư thế nằm thoải mái, hành vi khám phá và tiếng kêu, qua đó đọc trạng thái tích cực. Tuy nhiên, một tín hiệu hành vi không trực tiếp chứng minh sự hài lòng hay vui thích. Vẫn còn câu hỏi liệu những quan sát ấy có thực sự lấy phúc lợi làm mục tiêu hay chỉ thêm một mục vào danh sách chỉ số năng suất.

Thế nhưng, công nghệ đo phúc lợi tinh vi cũng làm tăng nguy cơ theo hướng ngược lại. Các học giả đã hệ thống hóa mười hai mối đe dọa mà chăn nuôi chính xác có thể gây ra cho phúc lợi vật nuôi. Trong đó có nguy cơ con vật chỉ được đối xử như con số trên màn hình, con người chai lì trước cảnh báo dồn dập và thiết bị làm tổn thương cơ thể. Trong nghiên cứu định tính tại 25 trang trại ở Pháp, một số chủ trại nói rằng cảm biến và máy quay có thể khiến thời gian họ ở bên vật nuôi giảm đi. Những người khác trả lời rằng công nghệ giúp quan sát nên mối quan hệ không xấu đi.

Đó là lý do không thể lấy trải nghiệm một phía để phán xét mọi trang trại. Thẻ tai và vòng cổ nếu lắp không vừa hoặc lâu không kiểm tra cũng có thể gây chèn ép, trầy xước và viêm. Phải dùng tay kiểm tra tình trạng lắp đặt để thiết bị đo trạng thái vật nuôi không quay ngược lại làm con vật đau. Thu hẹp khoảng cách giữa màn hình và chuồng trại không thể kết thúc chỉ bằng hiệu năng cảm biến.

Những con số trong không khí như methane và ammonia, sức khỏe hô hấp của con người và trạng thái tinh thần của vật nuôi rất dễ được ghi riêng trên những loại giấy tờ khác nhau. Nhưng cũng có một tên gọi cho cách đặt cả ba lên cùng một màn hình. Cách tiếp cận mang tên Một Phúc lợi (One Welfare) cho rằng phúc lợi vật nuôi, cuộc sống con người và bầu không khí của Trái Đất không tách rời nhau. Nếu hình dung một con số đi ra từ cửa xả khí của chuồng, lan vào khí quyển rồi bầu không khí ấy trở lại phổi người và cũng đi vào phổi vật nuôi, chính việc xem ba yếu tố ấy riêng rẽ lại có vẻ kỳ lạ.

Mỗi con số hiện trên màn hình gateway thực ra nối dài đến tận những nơi xa như thế.

Khi mặt trời đã lặn hẳn, đèn chuồng lần lượt tắt, chỉ màn hình gateway phát ánh xanh trong bóng tối. Không khí chiều hè trộn mùi rơm khô và thức ăn. Chủ trại cầm đèn pin đi vòng cuối quanh chuồng. Mở ứng dụng, ông thấy thân nhiệt, mức vận động và lượng thức ăn ăn vào của mọi cá thể trong ngày đã được sắp xếp sẵn, nhưng theo thói quen, ông vẫn nhìn vào mắt từng con và vuốt lưng chúng. Con bò sữa không phân biệt được bàn tay ấy đến để kiểm tra dữ liệu hay chỉ để chào hỏi. Dưới ánh đèn pin, nó chớp mắt hai lần rồi lại nhai thức ăn.

Trên bảng đồng hồ gần cửa xả, chỉ số ammonia vẫn đổi mỗi phút, còn bên cạnh, tiếng bò nhai lại tiếp tục trầm thấp trong bóng tối. Tiếng xe tải chạy trên con đường xa vang lên trong chốc lát rồi chìm vào tiếng côn trùng rả rích.

Nguồn và tài liệu tham khảo

Alshehri, M. (2023). Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming. *Internet of Things*, 22, 100739.

<https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100739>

Apollon, W., Jean-Baptiste, Y., Maheshwari, S., Ghosh, S., Ghosh, S., Ariste, A., Joseph, R., Kamaraj, S.-K., & Bedair, H. (2026). Smart agriculture for greenhouse gas mitigation: Integrating digital tools, engineering metrics, and policy instruments-A review. *Next Research*, 7, 101445.

<https://doi.org/10.1016/j.nexres.2026.101445>

- Bos, J. M., Bovenkerk, B., Feindt, P. H., & Van Dam, Y. K. (2018). The quantified animal: Precision livestock farming and the ethical implications of objectification. *Food Ethics*, 2(1), 77-92.
<https://doi.org/10.1007/s41055-018-00029-x>
- Dawkins, M. S. (2025). Smart farming and Artificial Intelligence (AI): How can we ensure that animal welfare is a priority? *Applied Animal Behaviour Science*, 283, 106519.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2025.106519>
- Dembani, R., Karvelas, I., Akbar, N. A., Rizou, S., Tegolo, D., & Fountas, S. (2025). Agricultural data privacy and federated learning: A review of challenges and opportunities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 232, 110048.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110048>
- European Union. (2007). Council Directive 2007/43/EC laying down minimum rules for the protection of chickens kept for meat production.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0043>
- Ghassemi Nejad, J., Ju, M. S., Jo, J. H., Oh, K. H., Lee, Y. S., Lee, S. D., & Lee, H. G. (2024). Advances in methane emission estimation in livestock: A review of data collection methods, model development and the role of AI technologies. *Animals*, 14(3), 435.
<https://doi.org/10.3390/ani14030435>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Chapter 7.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-7/>
- Kang, K., Cho, H., Jeong, S., Jeon, S., Lee, M., Lee, S., Baek, Y., Oh, J., & Seo, S. (2022). Application of a hand-held laser methane detector for measuring enteric methane emissions from cattle in intensive farming. *Journal of Animal Science*, 100(8), skac211.
<https://doi.org/10.1093/jas/skac211>
- Kaur, J., Hazrati Fard, S. M., Amiri-Zarandi, M., & Dara, R. (2022). Protecting farmers' data privacy and confidentiality: Recommendations and considerations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 903230.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.903230>
- Kling-Eveillard, F., Allain, C., Boivin, X., et al. (2020). Farmers' representations of the effects of precision livestock farming on human-animal relationships. *Livestock Science*, 238, 104057.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104057>
- Mellor, D. J., & Beausoleil, N. J. (2015). Extending the 'Five Domains' model for animal welfare assessment to incorporate positive welfare states. *Animal Welfare*, 24(3), 241-253.
<https://doi.org/10.7120/09627286.24.3.241>
- Min, K. W., Kim, R. W., Park, D. H., Kim, J. G., Ahn, S. B., Lee, S. H., Kim, C. M., & Seok, H. W. (2025). Comparison and evaluation of machine learning models for predicting CH₄ emissions from pig housing. *Journal of Bio-Environment Control*, 34(4), 604-618.
<https://doi.org/10.12791/KSBEC.2025.34.4.604>
- Mixtajová, E., Nery, J., Kasarda, R., Denli, M., Schiavone, A., Çağlı, A., Pérez, J. F., İpçak, H. H., Repetto, J. L., Drotárová, S., & Cajarville, C. (2026). Mitigating methane in dairy cattle: Integrated strategies and the evolving role of precision livestock farming. *Czech Journal of Animal Science*, 71(2), 41-58.
<https://doi.org/10.17221/116/2025-CJAS>
- National Institute of Standards and Technology. (n.d.). Privacy attacks in federated learning.
<https://www.nist.gov/blogs/cybersecurity-insights/privacy-attacks-federated-learning>
- Pinillos, R. G., Appleby, M. C., Manteca, X., Scott-Park, F., Smith, C., & Velarde, A. (2016). One Welfare-a platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Record*, 179(16), 412-413.
<https://doi.org/10.1136/vr.i5470>
- Pomar, C., & Remus, A. (2023). Review: Fundamentals, limitations and pitfalls on the development and application of precision nutrition techniques for precision livestock farming. *Animal*, 17(S1), 100763.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100763>

Tuytens, F. A. M., Molento, C. F. M., & Benaissa, S. (2022). Twelve threats of precision livestock farming (PLF) for animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 889623.

<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.889623>

Werkheiser, I. (2020). Technology and responsibility: A discussion of underexamined risks and concerns in Precision Livestock Farming. *Animal Frontiers*, 10(1), 51-57.

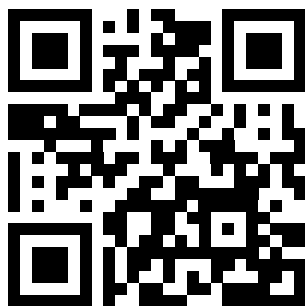
<https://doi.org/10.1093/af/vfz056>

Đại Hàn Dân Quốc. Điều 30, Đạo luật về phân bổ và giao dịch quyền phát thải khí nhà kính.

<https://www.law.go.kr/LSW/lsLinkCommonInfo.do?chrClsCd=010202&lsJoLnkSeq=1030183593>

Hãy ủng hộ cuốn sách này

Nếu cuốn sách này hữu ích, xin hãy ủng hộ các bản dịch tiếp theo,
các ấn bản công khai và dự án tri thức AI mở qua PayPal.



PayPal

<https://paypal.me/kimkjkj>

Quét mã QR hoặc mở liên kết ở trên.