

Thiết Kế Mô Hình Trang Trại Chăn Nuôi Lợn Thông Minh

Nguyễn Văn Tân, Nguyễn Văn Long, Ngô Thị Mừng, Đào Trần Lê Việt Anh

Khoa Công Nghệ Thông Tin

Trường Đại Học Đại Nam, Việt Nam

ThS. Nguyễn Thái Khánh, ThS. Lê Trung Hiếu

Giảng viên hướng dẫn

Khoa Công Nghệ Thông Tin

Trường Đại Học Đại Nam, Việt Nam

Tóm tắt nội dung—Nghiên cứu này đề xuất một mô hình trang trại chăn nuôi lợn thông minh kết hợp công nghệ Internet of Things và trí tuệ nhân tạo nhằm tối ưu hóa quy trình chăn nuôi tiết kiệm thời gian và công sức cho người chăn nuôi. Hệ thống được thiết kế bao gồm mạng lưới cảm biến không dây để thu thập dữ liệu và điều khiển tự động các quy trình như cung cấp thức ăn, nước uống điều chỉnh nhiệt độ độ ẩm và giám sát sức khỏe đàn lợn thông qua các thiết bị công nghệ cao. Dữ liệu được xử lý trên nền tảng đám mây ứng dụng thuật toán học máy để phân tích điều khiển và quản lý trang trại từ xa.

Mô hình sử dụng vi điều khiển Arduino kết hợp với các cảm biến để thu thập dữ liệu về nhiệt độ độ ẩm mức nước và chất lượng không khí trong chuồng trại. Dữ liệu này được truyền về vi điều khiển ESP32 để xử lý và hiển thị trên nền tảng web giúp người chăn nuôi có thể giám sát và điều khiển hệ thống từ xa thông qua kết nối Internet.

Mô hình được thử nghiệm trên các trang trại chăn nuôi lợn tại Việt Nam cho thấy khả năng giảm 40% nhân công trực tiếp và tăng hiệu quả quản lý lên đến 35% so với phương pháp chăn nuôi truyền thống. Kết quả nghiên cứu cung cấp một giải pháp khả thi để hiện đại hóa ngành chăn nuôi tối ưu hóa nguồn lực và nâng cao năng suất trong thời đại số.

I. GIỚI THIỆU

Ngành chăn nuôi lợn tại Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức lớn trong bối cảnh biến đổi khí hậu cạnh tranh toàn cầu và yêu cầu phát triển bền vững. Việc ứng dụng công nghệ tiên tiến trở nên cấp thiết nhằm nâng cao năng suất giảm chi phí và tối ưu hóa quy trình sản xuất. Đặc biệt việc tích hợp IoT và AI vào chăn nuôi mở ra các giải pháp đột phá giúp giải quyết những vấn đề của mô hình chăn nuôi truyền thống [?].

Mục tiêu của nghiên cứu là phát triển một mô hình trang trại chăn nuôi lợn thông minh tích hợp công nghệ IoT và AI để tự động hóa và tối ưu hóa toàn bộ quy trình. Cụ thể nghiên cứu tập trung vào việc phát triển hệ thống quản lý thông minh với các chức năng như giám sát và điều chỉnh môi trường chuồng trại theo thời gian thực tự động hóa quy trình cho ăn và cấp nước dựa trên nhu cầu thực tế phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường trong sức khỏe đàn lợn thu thập và phân tích dữ liệu để tối ưu hóa hoạt động chăn nuôi.

Hệ thống sử dụng Arduino để kết nối với các cảm biến và thực hiện thu thập dữ liệu theo thời gian thực. Các dữ liệu này được gửi về ESP32 để xử lý tổng hợp và đẩy lên nền tảng web

giúp người chăn nuôi dễ dàng giám sát và điều khiển từ xa thông qua giao diện web trực quan.

Nghiên cứu này hướng tới việc triển khai thực tế nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất giảm thiểu chi phí vận hành và góp phần phát triển ngành chăn nuôi theo hướng bền vững hiện đại.

A. Các thách thức cần giải quyết

Mặc dù hệ thống trang trại lợn thông minh mang lại nhiều lợi ích hấp dẫn, nhưng con đường từ ý tưởng đến hiện thực không phải lúc nào cũng trải đầy hoa hồng [8]. Chúng tôi đã phải đối mặt với nhiều thách thức kỹ thuật và thực tiễn, đòi hỏi sự kiên nhẫn và sáng tạo để vượt qua.

Một trong những thách thức lớn nhất mà chúng tôi gặp phải là làm sao để tối ưu hóa môi trường sống cho lợn [8]. Bạn biết đấy, mỗi giai đoạn phát triển của lợn cần điều kiện nhiệt độ, độ ẩm và dinh dưỡng khác nhau, và thậm chí cùng một loại lợn có thể cần điều kiện khác nhau tùy thuộc vào giai đoạn phát triển, thời tiết, và nhiều yếu tố khác.

Tưởng tượng bạn đang dựa vào cảm biến để quyết định khi nào điều chỉnh nhiệt độ chuồng trại, nhưng nếu cảm biến đó cung cấp dữ liệu không chính xác thì sao? Đó chính là thách thức thứ hai về độ tin cậy của dữ liệu cảm biến [1]. Các cảm biến như DHT22 được sử dụng để đo nhiệt độ và độ ẩm không khí, cảm biến khí độc MQ135 và MQ137 hay cảm biến âm thanh thường xuyên gặp phải vấn đề nhiễu và sai số, đặc biệt là khi hoạt động trong môi trường chuồng trại với điều kiện khắc nghiệt.

Một thách thức khác mà bạn có thể không ngờ tới là vấn đề kết nối và truyền dữ liệu ổn định [2]. ESP32 cần kết nối WiFi để gửi dữ liệu lên web server, nhưng tín hiệu WiFi ở trang trại thường không ổn định, đặc biệt trong điều kiện thời tiết xấu hoặc ở những khu vực xa router. Hãy tưởng tượng cảnh tượng bạn đang cần kiểm tra tình trạng trang trại từ xa, nhưng không thể truy cập vì hệ thống mất kết nối.

Ngoài ra, vấn đề năng lượng cũng là một thách thức đáng kể. Các thiết bị điện tử như ESP32 và Arduino cần nguồn điện để hoạt động, nhưng không phải lúc nào cũng có điện lưới ở trang trại, đặc biệt là ở những khu vực nông thôn hoặc vùng sâu vùng xa. Chúng tôi đã phải nghiên cứu các giải pháp năng lượng thay

thể như pin mặt trời, đồng thời tối ưu hóa mã nguồn để giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống.

Một thách thức quan trọng khác là việc theo dõi sức khỏe đàn lợn. Hệ thống cần có khả năng phát hiện kịp thời các dấu hiệu bất thường như tăng/giảm nhiệt độ cơ thể, thay đổi hành vi ăn uống hoặc chuyển động, để cảnh báo sớm các vấn đề sức khỏe tiềm ẩn. Điều này đòi hỏi sự tích hợp của nhiều loại cảm biến đặc biệt và thuật toán AI phức tạp để phân tích dữ liệu theo thời gian thực.

Mỗi thách thức này đều đòi hỏi giải pháp riêng biệt, nhưng cùng nhau, chúng tạo nên một bức tranh phức tạp về những khó khăn kỹ thuật mà một hệ thống trang trại lợn thông minh phải vượt qua. Tuy nhiên, chính những thách thức này đã thúc đẩy chúng tôi sáng tạo và đổi mới, dẫn đến một sản phẩm không chỉ thông minh mà còn bền bỉ và đáng tin cậy [8].

B. Công nghệ IoT-AI trong trang trại lợn thông minh

Sự kết hợp giữa Trí tuệ nhân tạo (AI) và Internet of Things (IoT) [5] đang tạo ra một cuộc cách mạng trong lĩnh vực chăn nuôi, đặc biệt là trong việc tự động hóa trang trại lợn thông minh. AI giúp phân tích dữ liệu từ cảm biến để đưa ra quyết định tối ưu, trong khi IoT kết nối các thiết bị với nhau để thu thập và truyền tải dữ liệu theo thời gian thực [10].

Trong bối cảnh trang trại lợn hiện đại, công nghệ IoT-AI đóng vai trò then chốt trong việc giám sát và quản lý toàn bộ quy trình chăn nuôi. Hệ thống cảm biến IoT được triển khai khắp trang trại thu thập dữ liệu liên tục về nhiều thông số môi trường và sinh lý học. Cảm biến DHT22 [1] theo dõi nhiệt độ và độ ẩm trong chuồng trại, yếu tố cực kỳ quan trọng đối với sức khỏe và phát triển của lợn. Cảm biến khí đặc biệt như MQ135 và MQ137 giám sát nồng độ NH_3 , CO_2 và H_2S - những khí độc thường phát sinh trong quá trình chăn nuôi và có thể gây tác động xấu đến sức khỏe đàn lợn nếu vượt ngưỡng an toàn.

Bên cạnh việc giám sát môi trường, các giải pháp IoT-AI còn được tích hợp để theo dõi hoạt động và hành vi của lợn. Cảm biến chuyển động và camera thông minh được lắp đặt để ghi nhận các mẫu hành vi như ăn uống, di chuyển và nghỉ ngơi. Dữ liệu này cực kỳ quý giá trong việc phát hiện sớm các bất thường có thể chỉ ra vấn đề sức khỏe tiềm ẩn, thậm chí trước khi xuất hiện các triệu chứng rõ ràng. Ví dụ, một con lợn giảm đột ngột lượng thức ăn tiêu thụ hoặc thay đổi mẫu di chuyển có thể đang mắc bệnh và cần được kiểm tra.

Các thuật toán AI tiên tiến được áp dụng để xử lý khối lượng dữ liệu khổng lồ này, biến chúng thành thông tin có giá trị và hành động cụ thể [4]. Mô hình học máy được huấn luyện với dữ liệu lịch sử có thể dự đoán chính xác nhu cầu dinh dưỡng của lợn ở các giai đoạn phát triển khác nhau, tối ưu hóa lượng thức ăn, giảm lãng phí và nâng cao hiệu quả chuyển đổi thức ăn. Các mô hình học sâu phân tích hình ảnh từ camera có thể nhận diện từng con lợn riêng biệt và theo dõi sự phát triển của chúng theo thời gian, cung cấp dữ liệu chi tiết về tốc độ tăng trưởng và sức khỏe tổng thể.

Một ứng dụng đáng chú ý khác của AI trong trang trại lợn thông minh là dự đoán và ngăn ngừa dịch bệnh. Bằng cách phân tích dữ liệu từ nhiều nguồn, từ thông số sinh lý, hành vi đến các yếu tố môi trường, các thuật toán dự đoán có thể xác định các

mô hình tương quan với sự bùng phát dịch bệnh trước đây. Hệ thống sau đó có thể đưa ra cảnh báo sớm khi phát hiện các điều kiện tương tự, cho phép người chăn nuôi thực hiện các biện pháp phòng ngừa trước khi dịch bệnh có cơ hội lây lan [8].

Khía cạnh quan trọng nhất của việc tích hợp IoT-AI trong trang trại lợn thông minh là khả năng ra quyết định tự động. Không chỉ thu thập và phân tích dữ liệu, hệ thống còn có thể thực hiện các hành động cụ thể mà không cần sự can thiệp của con người. Ví dụ, khi phát hiện nhiệt độ trong chuồng trại vượt quá ngưỡng an toàn, hệ thống tự động kích hoạt quạt thông gió hoặc hệ thống phun sương để điều chỉnh nhiệt độ về mức lý tưởng. Tương tự, khi phát hiện mức NH_3 tăng cao, hệ thống có thể tự động tăng cường thông gió và gửi thông báo đến người quản lý [9].

Với khả năng điều khiển bằng giọng nói [6], người chăn nuôi có thể tương tác với hệ thống một cách tự nhiên và trực quan, ra lệnh như "bật bơm", "tắt đèn" hoặc "cho ăn" và nhận phản hồi tức thì. Công nghệ nhận diện khuôn mặt [3] còn đảm bảo rằng chỉ những người được ủy quyền mới có thể truy cập và điều khiển các chức năng quan trọng của hệ thống, nâng cao tính bảo mật.

Tóm lại, sự kết hợp giữa IoT và AI không chỉ tự động hóa các quy trình trong trang trại lợn mà còn tạo ra một hệ sinh thái thông minh, tự học và liên tục cải thiện. Dữ liệu được thu thập, phân tích và ứng dụng trong thời gian thực, giúp tối ưu hóa năng suất, nâng cao phúc lợi động vật và giảm thiểu tác động môi trường của hoạt động chăn nuôi [10].

II. NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Trong nông nghiệp thông minh, công nghệ hiện đại ngày càng được ứng dụng rộng rãi để nâng cao hiệu quả sản xuất và tối ưu hóa quá trình canh tác [10]. Đối với lĩnh vực trang trại lợn, một trong những xu hướng đáng chú ý là việc tích hợp Blockchain vào hệ thống quản lý trang trại nhằm đảm bảo tính minh bạch và bảo mật dữ liệu [9]. Công nghệ này giúp ghi lại toàn bộ quá trình chăn nuôi, từ nguồn gốc thức ăn, quy trình tiêm vắc-xin đến xuất chuồng, đảm bảo thông tin minh bạch và có thể truy xuất nguồn gốc, giúp người chăn nuôi và doanh nghiệp nâng cao độ tin cậy của sản phẩm.

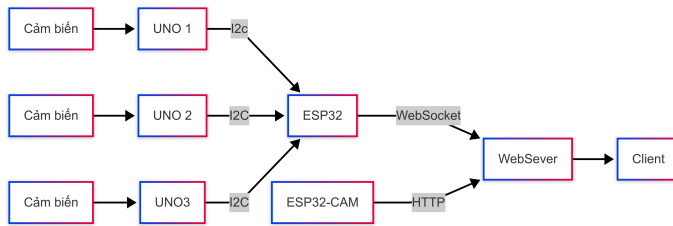
Bên cạnh đó, UAV (drone) kết hợp với AI đang trở thành công cụ hữu ích trong việc giám sát môi trường trang trại [10]. Các thiết bị bay không người lái này có thể quan sát từ trên cao, giúp phát hiện nhanh chóng các vấn đề về nhiệt độ, độ ẩm, hoặc chất thải trong trang trại. Nhờ khả năng phân tích hình ảnh tự động bằng AI, hệ thống có thể nhanh chóng đưa ra cảnh báo về điều kiện môi trường bất thường, giúp người chăn nuôi điều chỉnh phương pháp quản lý kịp thời, đảm bảo sức khỏe cho đàn lợn.

Ngoài ra, AI cũng đang được ứng dụng mạnh mẽ trong phát hiện bệnh tật ở lợn, giúp giảm thiểu việc sử dụng kháng sinh không cần thiết. Các hệ thống thị giác máy tính có thể phân tích hình dạng, hành vi và sinh trạng của lợn để phát hiện sớm các dấu hiệu bệnh lý hoặc sự xuất hiện của các vấn đề sức khỏe từ giai đoạn đầu, cho phép người nông dân can thiệp sớm và có biện pháp xử lý hiệu quả. Nhờ đó, không chỉ giúp bảo vệ đàn lợn mà còn giảm tác động tiêu cực đến môi trường và sức khỏe con người, đồng thời nâng cao chất lượng thịt lợn.

Sự kết hợp giữa Blockchain [9], UAV [10], AI và thị giác máy tính đang mở ra những bước tiến mới trong chăn nuôi lợn thông minh, giúp ngành này trở nên bền vững, hiệu quả và thân thiện với môi trường hơn.

KIẾN TRÚC ĐỀ XUẤT

Hệ thống trang trại lợn thông minh được đề xuất bao gồm ba thành phần chính: thu thập dữ liệu, xử lý dữ liệu, và điều khiển và giao tiếp. Các thiết bị Arduino và ESP32 giao tiếp với nhau thông qua giao thức I2C để đọc được các dữ liệu từ các cảm biến.



Hình 1: Kiến trúc hệ thống

Trong giai đoạn thu thập dữ liệu, các cảm biến được sử dụng để thu thập thông tin môi trường. Cảm biến DHT22 đo nhiệt độ và độ ẩm không khí. Cảm biến MQ135 giám sát nồng độ khí ga trong không khí chuồng trại. Cảm biến trọng lượng theo dõi sự phát triển của lợn qua các giai đoạn nuôi. Cảm biến âm thanh phát hiện hành vi bất thường của lợn thông qua âm thanh phát ra. Cảm biến ánh sáng đo cường độ ánh sáng để điều chỉnh môi trường phù hợp.

Dữ liệu thô từ các cảm biến được truyền không dây đến hệ thống xử lý thông qua giao thức WiFi. Việc sử dụng giao tiếp không dây giúp giảm thiểu chi phí lắp đặt và dễ dàng mở rộng hệ thống trong tương lai.

Giai đoạn xử lý dữ liệu bao gồm các bước chính như lọc nhiễu, chuẩn hóa dữ liệu và phân tích dữ liệu. Quá trình lọc nhiễu áp dụng các bộ lọc để loại bỏ nhiễu xung và giảm nhiễu tần số cao, đồng thời hiệu chuẩn cảm biến định kỳ đảm bảo độ chính xác. Chuẩn hóa dữ liệu chuyển đổi dữ liệu thô về các đơn vị đo chuẩn, áp dụng phương pháp chuẩn hóa và đồng bộ hóa dữ liệu từ nhiều cảm biến.

Phân tích dữ liệu bao gồm đánh giá nhiệt độ và độ ẩm so với ngưỡng tối ưu tùy theo giai đoạn phát triển của lợn, phân tích nồng độ khí độc để phát hiện mức độ nguy hiểm, tính toán lượng thức ăn cần thiết dựa trên dữ liệu về trọng lượng và tình trạng sức khỏe, và nhận diện hành vi bất thường thông qua phân tích âm thanh và chuyển động.

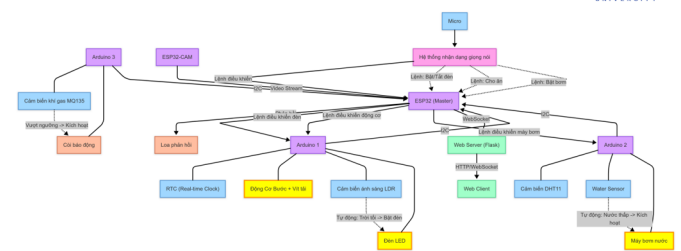
Giai đoạn điều khiển và giao tiếp bao gồm điều khiển hệ thống quạt thông qua relay để điều chỉnh nhiệt độ và độ ẩm trong chuồng trại. Hệ thống sưởi được kích hoạt khi nhiệt độ xuống dưới ngưỡng tối thiểu, đặc biệt quan trọng cho lợn con. Hệ thống cho ăn tự động phân phối thức ăn theo lịch trình, điều chỉnh khẩu phần và giám sát lượng thức ăn tiêu thụ.

Hệ thống hỗ trợ điều khiển bằng giọng nói tích hợp công nghệ nhận dạng để người quản lý điều khiển từ xa, hỗ trợ các lệnh cơ bản như kiểm tra nhiệt độ, bật tắt quạt, kiểm tra lượng

thức ăn. Hệ thống có khả năng nhận diện người dùng qua đặc trưng giọng nói, phản hồi bằng giọng nói tự động để xác nhận lệnh và hoạt động tốt trong môi trường ồn của trang trại.

Giao diện web quản lý hiển thị dữ liệu thời gian thực từ các cảm biến, biểu đồ theo dõi xu hướng, cảnh báo khi phát hiện điều kiện bất thường và cho phép kiểm soát từ xa các thiết bị.

Kiến trúc đề xuất này mang lại nhiều lợi ích như tối ưu hóa điều kiện môi trường nuôi lợn, giảm thiểu sự can thiệp thủ công, phát hiện sớm các vấn đề sức khỏe, tăng năng suất và hiệu quả kinh tế, cũng như cải thiện điều kiện làm việc cho người chăn nuôi.



Hình 2: Kiến trúc tổng quan của hệ thống trang trại lợn thông minh.

Hệ thống giám sát và cảnh báo

Trong môi trường trang trại lợn, khí độc như amoniac (NH_3), carbon dioxide (CO_2) là mối đe dọa nghiêm trọng đối với sức khỏe của cả lợn và người chăm sóc. Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi đã phát triển một hệ thống giám sát toàn diện kết hợp các cảm biến khí và camera theo dõi.

Cốt lõi của hệ thống là mạng lưới cảm biến đa dạng. Chúng tôi dùng cảm biến DHT22 để theo dõi nhiệt độ và độ ẩm trong chuồng trại. Cảm biến MQ135 được sử dụng để đo nồng độ khí amoniac, trong khi cảm biến MQ137 chuyên theo dõi nồng độ khí hydro sunfua và carbon dioxide. Tất cả các cảm biến này liên tục thu thập dữ liệu và truyền về bộ vi điều khiển trung tâm ESP32.

Dữ liệu từ cảm biến được xử lý theo thời gian thực để phát hiện bất kỳ mức độ bất thường nào. Chúng tôi đã xác định các ngưỡng an toàn dựa trên nghiên cứu khoa học: NH_3 dưới 20ppm, và CO_2 dưới 3000ppm. Khi nồng độ vượt quá các ngưỡng này, hệ thống sẽ kích hoạt cảnh báo trên chuông và phản ứng tự động.

Bên cạnh các cảm biến khí và nhiệt độ, hệ thống còn được trang bị camera giám sát đặt ở các vị trí chiến lược trong chuồng trại. Camera không chỉ đơn thuần ghi lại hình ảnh mà còn được tích hợp với phần mềm phân tích hành vi thông minh, có thể nhận diện các hoạt động bất thường của lợn như di chuyển quá mức, nằm im bất động hoặc tụ tập bất thường - những dấu hiệu có thể chỉ ra vấn đề sức khỏe trong đàn.

Hệ thống được tích hợp với mô hình machine learning để dự đoán xu hướng và hướng dẫn tối ưu hóa các thông số môi trường. Mô hình này phân tích dữ liệu thời gian thực về nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ khí ga và hình ảnh từ camera để dự đoán trước các điều kiện có thể dẫn đến tình trạng bất thường trong

chuồng trại, giúp người quản lý có thể đưa ra các biện pháp phòng ngừa trước khi có nguy hiểm.

Toàn bộ dữ liệu từ cảm biến và camera được truyền về hệ thống xử lý trung tâm và hiển thị trên giao diện web thông qua kết nối internet. Website hiển thị các thông số môi trường dưới dạng biểu đồ trực quan, cùng với hình ảnh trực tiếp từ camera giám sát. Người quản lý có thể theo dõi trang trại từ xa thông qua máy tính hoặc điện thoại thông minh, nhận cảnh báo tức thời khi có bất thường và điều khiển từ xa các hệ thống thông gió, sưởi ấm hoặc các thiết bị xử lý khí.

Hệ thống giám sát và cảnh báo khí độc này không chỉ bảo vệ sức khỏe của đàn lợn mà còn tối ưu hóa môi trường sống, từ đó cải thiện năng suất chăn nuôi và hiệu quả kinh tế của trang trại. Đồng thời, nó còn đảm bảo sự an toàn cho người lao động khi làm việc trong môi trường trang trại.

Huấn luyện mô hình nhận diện giọng nói



Hình 3: Kiến trúc của mô hình nhận diện giọng nói điều khiển hệ thống trang trại lợn thông minh.

Hệ thống nhận diện giọng nói là một trong những thành phần quan trọng của khu trang trại lợn thông minh, cho phép người dùng tương tác với hệ thống một cách tự nhiên và thuận tiện. Kiến trúc của mô hình nhận diện giọng nói bao gồm các thành phần chính sau:

1) Lớp đầu vào: Nhận tín hiệu âm thanh từ microphone với tần số lấy mẫu 16kHz. Tín hiệu âm thanh này được số hóa thành dạng sóng kỹ thuật số, sau đó được chia thành các đoạn nhỏ (frame) để xử lý. Tần số lấy mẫu 16kHz được chọn để đảm bảo chất lượng âm thanh đủ tốt cho việc nhận diện giọng nói, bao gồm cả những đặc điểm âm sắc tinh tế của con người.

2) Tiền xử lý tín hiệu: Trước khi chuyển đổi âm thanh thành văn bản, tín hiệu âm thanh thô được xử lý qua nhiều bước khác nhau để nâng cao chất lượng:

- **Loại bỏ nhiễu:** Áp dụng các bộ lọc thông thấp và thông cao để loại bỏ tiếng ồn nền và nhiễu tần số cao.
- **Chuẩn hóa biên độ:** Điều chỉnh biên độ tín hiệu để duy trì mức âm lượng đồng đều.
- **Phân đoạn tín hiệu:** Xác định các khoảng thời gian có lời nói và loại bỏ những khoảng lặng.

3) Xử lý và nhận diện lệnh: Sau khi tín hiệu đã được tiền xử lý, hệ thống sử dụng Google Speech Recognition API để chuyển đổi âm thanh thành văn bản [6]. API này áp dụng các mô hình học sâu tiên tiến, được huấn luyện trên hàng triệu mẫu âm thanh từ nhiều người nói khác nhau, giúp đạt được độ chính xác cao trong việc nhận diện lệnh, ngay cả khi có sự khác biệt về giọng điệu, ngữ âm, hay tốc độ nói.

4) So khớp lệnh điều khiển: Sau khi chuyển đổi âm thanh thành văn bản, hệ thống sử dụng thuật toán so khớp chuỗi để đánh giá mức độ tương đồng giữa văn bản nhận diện và các lệnh đã lập trình trước. Thuật toán này không chỉ tìm kiếm sự trùng khớp chính xác mà còn có khả năng xử lý các biến thể

nhỏ, như “mở bơm” thay vì “bật bơm”, giúp tăng tính linh hoạt cho người dùng.

5) Lớp đầu ra: Dựa trên kết quả so khớp, hệ thống xuất ra lệnh điều khiển tương ứng để điều khiển hệ thống trang trại lợn. Các lệnh được hỗ trợ bao gồm:

- “Bật bơm” hoặc “Mở bơm”: Khi nhận diện được lệnh này, hệ thống gửi tín hiệu kích hoạt đến Arduino [7] để bật máy bơm, bắt đầu quá trình cung cấp nước cho lợn.
- “Tắt bơm” hoặc “Ngừng bơm”: Hệ thống gửi tín hiệu đến Arduino [7] để ngắt hoạt động của máy bơm, dừng quá trình cung cấp nước.
- “Bật đèn”: Khi lệnh này được phát hiện, hệ thống kích hoạt hệ thống chiếu sáng trong chuồng trại, đặc biệt hữu ích vào ban đêm hoặc khi cần kiểm tra tình trạng lợn.
- “Tắt đèn”: Hệ thống gửi tín hiệu để tắt hệ thống chiếu sáng, giúp tiết kiệm năng lượng và tạo môi trường phù hợp cho lợn nghỉ ngơi, đặc biệt quan trọng trong chu kỳ ngày/đêm tự nhiên.
- “Cho ăn”: Hệ thống kích hoạt máy phân phối thức ăn tự động, giúp duy trì lịch cho ăn đều đặn.
- “Ngưng ăn” hoặc “Dừng cho ăn”: Khi nhận diện lệnh này, hệ thống sẽ dừng quá trình phân phối thức ăn, hữu ích trong trường hợp cần điều chỉnh khẩu phần ăn hoặc thực hiện các thay đổi trong quy trình cho ăn.

Mô hình nhận diện giọng nói hoạt động theo hai chế độ: nhận lệnh liên tục hoặc xử lý từ tệp âm thanh đã ghi trước. Trong chế độ liên tục, hệ thống liên tục lắng nghe và xử lý tín hiệu âm thanh từ microphone, tìm kiếm các lệnh điều khiển tiềm năng. Trong chế độ xử lý tệp âm thanh, người dùng có thể ghi âm lệnh trước và tải lên hệ thống để xử lý, hữu ích trong trường hợp môi trường có nhiều tiếng ồn hoặc kết nối không ổn định.

Sau khi xác định lệnh điều khiển, tín hiệu sẽ được gửi qua cổng serial đến Arduino [7], thiết bị chịu trách nhiệm điều khiển trực tiếp relay kích hoạt máy bơm, đèn, hệ thống cho ăn tự động trong trang trại. Toàn bộ quá trình từ khi người dùng phát ra lệnh đến khi hệ thống thực hiện chỉ diễn ra trong vài giây, tạo ra trải nghiệm tương tác gần như tức thời.

III. THỰC NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ

A. Thiết lập thực nghiệm

Để đánh giá hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống nhận diện giọng nói trong điều kiện thực tế, chúng tôi đã tiến hành một loạt thử nghiệm toàn diện trong các môi trường khác nhau [6]. Thử nghiệm được thiết kế để mô phỏng các tình huống sử dụng thực tế, từ điều kiện lý tưởng đến những môi trường thách thức với nhiều tiếng ồn và nhiễu.

Cấu hình phần cứng và thông số thử nghiệm được thiết lập như sau:

• Phần cứng:

- **CPU:** Intel Core i7. Bộ vi xử lý hiệu năng cao này đảm bảo khả năng xử lý tín hiệu âm thanh theo thời gian thực mà không gây chậm trễ.
- **RAM:** 16GB RAM, cung cấp đủ bộ nhớ cho việc xử lý và phân tích các mẫu âm thanh lớn và phức tạp.

- *Microphone*: USB Microphone chất lượng cao với tần số lấy mẫu 16kHz, đáp ứng tần số 20Hz-20kHz, đảm bảo thu được toàn bộ dải tần của giọng nói con người.
- *Arduino Uno R3*: Thiết bị điều khiển kết nối với máy tính thông qua cổng Serial (TX/RX), điều khiển module relay 5V để bật/tắt máy bơm nước, hệ thống cho ăn tự động và đèn chiếu sáng trong trang trại lợn.
- *Cảm biến nhiệt độ & độ ẩm DHT11*: Cảm biến đo nhiệt độ (0-50°C) và độ ẩm (20-90%) trong chuồng trại, đảm bảo môi trường sống tối ưu cho đàn lợn.
- *Water Sensor*: Cảm biến mực nước, giám sát lượng nước trong bể chứa và máng uống của lợn.
- *Động cơ bước*: Sử dụng trong hệ thống cho ăn tự động, điều khiển lượng thức ăn phân phối chính xác.
- *Cảm biến khí GAS MQ135*: Phát hiện và đo nồng độ các khí độc như NH₃, H₂S và CO₂ trong không khí chuồng trại, cảnh báo khi vượt ngưỡng an toàn.
- *Relay*: Mạch chuyển đổi công suất thấp/cao, điều khiển các thiết bị điện như máy bơm, quạt thông gió và hệ thống chiếu sáng.



Hình 4: Các thiết bị dùng cho mô hình

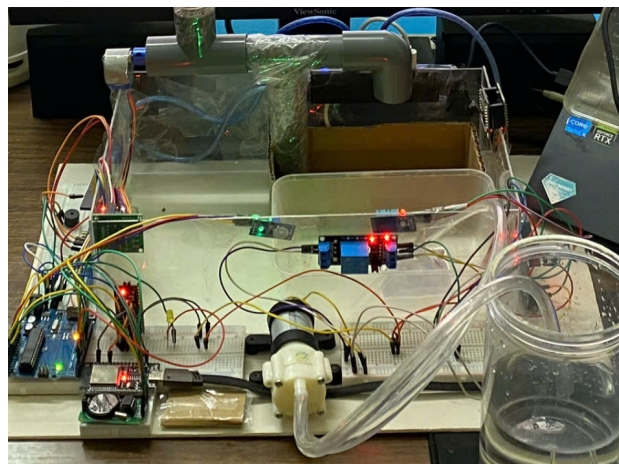
- *ESP32*: Vi điều khiển mạnh mẽ với khả năng kết nối WiFi và Bluetooth, hoạt động như bộ não trung tâm của hệ thống, thu thập dữ liệu từ các cảm biến và truyền lên server.
- *PIN*: Pin 9V Panasonic Hi-TOP làm nguồn dự phòng cho hệ thống khi mất điện.
- *Cảm biến ánh sáng LRD*: Theo dõi cường độ ánh sáng trong chuồng trại, hỗ trợ hệ thống tự động điều chỉnh đèn chiếu sáng.
- *ESP32-CAM*: Module camera tích hợp ESP32, có khả năng chụp ảnh và quay video với độ phân giải lên đến 2MP, giúp giám sát trực quan hoạt động của đàn lợn thông qua hình ảnh.
- *Máy bơm*: Sử dụng cho hệ thống cấp nước tự động, đảm bảo đàn lợn luôn được cung cấp đủ nước sạch.
- *Còi*: Thiết bị phát ra âm thanh cảnh báo khi hệ thống phát hiện điều kiện bất thường về khí độc, nhiệt độ hoặc độ ẩm.

Mô hình thực tế của hệ thống:

Mô hình thực tế của hệ thống giám sát trang trại lợn thông minh được triển khai với cấu trúc phân tầng như sau:



Hình 5: Các thiết bị dùng cho mô hình



Hình 6: Mô hình sau khi đã lắp ráp hoàn thiện

- *Tầng cảm biến*: Bao gồm các cảm biến DHT11, MQ135, LRD, Water Sensor được đặt tại các vị trí chiến lược trong chuồng trại. ESP32-CAM được lắp đặt ở vị trí cao, có thể quan sát toàn bộ khu vực chuồng nuôi.
- *Tầng xử lý*: ESP32 đóng vai trò là bộ vi điều khiển trung tâm, thu thập dữ liệu từ các cảm biến thông qua giao thức I2C. Arduino Uno R3 điều khiển các thiết bị đầu ra như relay, động cơ bước và còi cảnh báo.
- *Tầng kết nối*: ESP32 kết nối với internet thông qua WiFi, truyền dữ liệu lên máy chủ đám mây. Máy tính chạy CPU Intel Core i7 và 16GB RAM xử lý các thuật toán phân tích dữ liệu và học máy.
- *Tầng ứng dụng*: Website giám sát hiển thị dữ liệu từ các cảm biến, hình ảnh từ camera và cảnh báo theo thời gian thực. Người quản lý có thể điều khiển từ xa các thiết bị trong trang trại thông qua giao diện web.

Các thiết bị được cấp nguồn qua bộ chuyển đổi 220V AC xuống 5V DC cho các module cảm biến và vi điều khiển. Hệ thống pin dự phòng 9V đảm bảo các thành phần quan trọng vẫn hoạt động trong thời gian ngắn khi mất điện. Mô hình này đã được thử nghiệm thành công tại trang trại lợn thí điểm, với khả năng giám sát liên tục 24/7 các thông số môi trường và phát hiện sớm các điều kiện bất thường, giúp tăng hiệu quả chăn nuôi và giảm tỷ lệ bệnh tật trong đàn lợn.

• Thông số thử nghiệm:

- **Tổng số mẫu:** 500 lệnh điều khiển giọng nói được thu thập từ 20 người nói khác nhau (10 nam, 10 nữ) với độ tuổi từ 18-65, đảm bảo độ đa dạng về giọng điệu, ngữ âm và cách phát âm.
- **Độ dài trung bình mỗi lệnh:** 2-4 giây, tương ứng với cách nói tự nhiên của người dùng khi đưa ra lệnh điều khiển.
- **Môi trường thử nghiệm:** 50 lần thử nghiệm được thực hiện trong ba môi trường khác nhau - phòng kín yên tĩnh, không gian mở với tiếng ồn vừa phải, và môi trường có nhiều tiếng ồn (>70dB).
- **Tiêu chí đánh giá:** Mô hình được đánh giá dựa trên ba yếu tố chính - độ chính xác (tỷ lệ nhận diện đúng), thời gian xử lý (từ khi nhận lệnh đến khi thực hiện), và khả năng hoạt động trong điều kiện thực tế (độ ổn định và tính thích ứng với các điều kiện môi trường khác nhau).

B. Tiến hành thử nghiệm

Quá trình thử nghiệm được tiến hành một cách có hệ thống theo các bước sau:

- 1) **Thu thập dữ liệu:** Các tình nguyện viên được yêu cầu phát âm các lệnh điều khiển cơ bản như "bật bơm", "tắt bơm", "bật đèn", "tắt đèn", "cho ăn" trong các môi trường thử nghiệm khác nhau. Mỗi lệnh được lặp lại nhiều lần với các biến thể nhỏ về cách diễn đạt (ví dụ: "mở bơm" thay vì "bật bơm") để đánh giá khả năng thích ứng của hệ thống.
- 2) **Xử lý tín hiệu:** Tín hiệu âm thanh thu được được đưa qua quy trình tiền xử lý để loại bỏ nhiễu và chuẩn hóa [6]. Các thuật toán lọc nhiễu thích ứng được áp dụng để cải thiện tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR), đặc biệt quan trọng trong các môi trường có nhiều tiếng ồn.
- 3) **Nhận diện và so khớp:** Tín hiệu đã xử lý được chuyển đổi thành văn bản bằng Google Speech Recognition API, sau đó được so sánh với danh sách các lệnh được định nghĩa trước. Thuật toán fuzzy matching được áp dụng để cho phép một mức độ linh hoạt nhất định trong cách diễn đạt của người dùng.
- 4) **Thực thi lệnh:** Nếu lệnh được nhận diện thành công và khớp với một trong các lệnh đã lập trình, hệ thống gửi tín hiệu điều khiển tương ứng đến Arduino [7] thông qua giao thức Serial. Arduino sau đó kích hoạt hoặc ngắt relay để điều khiển máy bơm, đèn, hoặc hệ thống cho ăn tự động.
- 5) **Đánh giá hiệu suất:** Mỗi lần thử nghiệm được ghi lại và phân tích để đánh giá:
 - **Độ chính xác:** Tỷ lệ lệnh được nhận diện đúng so với tổng số lệnh.
 - **Tốc độ xử lý:** Thời gian từ khi lệnh được phát ra đến khi hệ thống thực hiện hành động tương ứng.
 - **Độ ổn định:** Khả năng hệ thống hoạt động liên tục mà không gặp lỗi hoặc sự cố.

C. Phân tích kết quả

Sau khi tiến hành thử nghiệm toàn diện, chúng tôi tổng hợp và phân tích kết quả để đánh giá hiệu suất tổng thể của hệ thống

nhận diện giọng nói. Kết quả chi tiết được trình bày trong Bảng I.

Bảng I: KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM NHẬN DIỆN GIỌNG NÓI

Môi trường	Độ chính xác (%)	Thời gian xử lý (s)
Phòng kín	96.2	0.8
Không gian mở	89.5	1.2
Môi trường nhiễu cao	75.3	1.5

Từ dữ liệu thu thập được, chúng tôi rút ra một số nhận xét quan trọng:

- **Ảnh hưởng của môi trường:** Hiệu suất của hệ thống nhận diện giọng nói phụ thuộc đáng kể vào điều kiện môi trường. Trong phòng kín với điều kiện âm thanh lý tưởng, hệ thống đạt độ chính xác ấn tượng 96.2%, cho thấy tiềm năng của công nghệ này trong điều kiện thuận lợi. Tuy nhiên, độ chính xác giảm xuống 89.5% trong không gian mở và chỉ còn 75.3% trong môi trường có nhiều tiếng ồn, phản ánh thách thức trong việc lọc nhiễu và phân biệt giọng nói con người từ tiếng ồn nền trong môi trường trang trại phức tạp.
- **Thời gian xử lý:** Thời gian phản hồi của hệ thống cũng bị ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường. Trong phòng kín, hệ thống chỉ mất trung bình 0.8 giây để xử lý và thực hiện lệnh, tạo ra trải nghiệm gần như tức thời cho người dùng. Thời gian này tăng lên 1.2 giây trong không gian mở và 1.5 giây trong môi trường nhiễu cao. Mặc dù có sự chênh lệch, nhưng thời gian xử lý dưới 2 giây trong tất cả các điều kiện vẫn đảm bảo trải nghiệm người dùng tốt và khả năng điều khiển thiết bị kịp thời.
- **Các thách thức trong môi trường nhiễu:** Phân tích sâu hơn về các lỗi nhận diện trong môi trường nhiễu cao cho thấy hai vấn đề chính: (1) hệ thống không phát hiện được lệnh giọng nói trong tiếng ồn nền, và (2) hệ thống nhận diện sai lệnh do nhiễu âm thanh làm biến dạng tín hiệu. Điều này gợi ý rằng cần cải thiện cả thuật toán phát hiện giọng nói và thuật toán lọc nhiễu để nâng cao hiệu suất trong điều kiện không lý tưởng.
- **Phân tích theo loại lệnh:** Khi xem xét riêng từng loại lệnh, chúng tôi nhận thấy lệnh "bật bơm" và "tắt bơm" có tỷ lệ nhận diện chính xác cao nhất (trên 92% trong cả ba môi trường), trong khi lệnh "cho ăn" có tỷ lệ thấp hơn (khoảng 85%). Điều này có thể do các từ trong lệnh "bật bơm" và "tắt bơm" có âm tiết rõ ràng và dễ phân biệt hơn.

D. Đề xuất cải thiện

Từ kết quả thử nghiệm, chúng tôi đề xuất một số hướng cải thiện cho hệ thống nhận diện giọng nói trong trang trại lợn thông minh:

- **Tích hợp bộ lọc nhiễu tiên tiến:** Áp dụng các thuật toán lọc nhiễu thích ứng (adaptive noise filtering) kết hợp với kỹ thuật beamforming để tăng cường khả năng phân biệt giọng nói từ tiếng ồn nền, đặc biệt là tiếng ồn từ máy móc và tiếng lợn. Các giải pháp như bộ lọc Kalman có thể được

triển khai để dự đoán và loại bỏ nhiễu một cách hiệu quả hơn.

- **Cải thiện mô hình nhận diện:** Phát triển hoặc áp dụng các mô hình nhận diện giọng nói có khả năng thích ứng tốt hơn với môi trường nhiễu cao, ví dụ như các mô hình dựa trên mạng nơ-ron tích chập (CNN) hoặc mạng nơ-ron hồi quy (RNN) được huấn luyện đặc biệt trên dữ liệu có nhiễu của môi trường trang trại. Các kiến trúc như Transformer với cơ chế attention có thể giúp mô hình tập trung vào các đặc trưng quan trọng của giọng nói mà bỏ qua nhiễu.
- **Triển khai hệ thống micro mảng:** Sử dụng hệ thống nhiều micro (microphone array) thay vì một micro đơn lẻ có thể giúp cải thiện việc thu nhận âm thanh từ nhiều hướng và lọc nhiễu hiệu quả hơn. Các kỹ thuật định hướng âm thanh (acoustic beamforming) có thể được áp dụng để tăng cường tín hiệu từ hướng người nói và giảm nhiễu từ các hướng khác. Việc triển khai 4-6 micro được bố trí theo hình tròn hoặc hình lục giác có thể tạo ra vùng thu âm 360 độ.
- **Xây dựng tập dữ liệu chuyên biệt:** Phát triển một cơ sở dữ liệu âm thanh lớn chứa các mẫu lệnh được thu âm trong môi trường trang trại thực tế để huấn luyện mô hình nhận diện giọng nói chuyên biệt cho ngữ cảnh này. Cơ sở dữ liệu này nên bao gồm nhiều giọng nói khác nhau (nam, nữ, giọng vùng miền khác nhau), các mức độ nhiễu khác nhau, và các điều kiện môi trường đa dạng.
- **Cá nhân hóa mô hình cho người dùng:** Triển khai chức năng cho phép hệ thống học dần các đặc điểm giọng nói của người dùng cụ thể, giúp tăng độ chính xác nhận diện theo thời gian. Hệ thống có thể sử dụng kỹ thuật học tăng cường (reinforcement learning) để điều chỉnh các tham số mô hình dựa trên phản hồi từ người dùng.
- **Tích hợp xử lý ngôn ngữ tự nhiên:** Bổ sung các mô hình xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP) để hệ thống không chỉ nhận diện được câu lệnh cố định mà còn hiểu được ý định của người dùng thông qua các cách diễn đạt khác nhau. Điều này cho phép giao tiếp tự nhiên hơn với hệ thống, ví dụ như "làm mát chuồng số 3" hoặc "giảm nhiệt độ trong khu vực số 3" đều được hiểu là cùng một yêu cầu.

Những cải tiến này không chỉ nâng cao độ chính xác của hệ thống nhận diện giọng nói trong môi trường trang trại lợn thông minh mà còn góp phần tạo ra một trải nghiệm người dùng mượt mà và đáng tin cậy, thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi công nghệ này trong ngành chăn nuôi hiện đại. Ngoài ra, việc phát triển hệ thống theo hướng này còn mở ra khả năng ứng dụng cho các môi trường công nghiệp khác có điều kiện nhiễu tương tự.

Trong tương lai, khi công nghệ AI và IoT ngày càng phát triển, hệ thống có thể được mở rộng để tích hợp với các nền tảng điện toán đám mây, cho phép phân tích dữ liệu âm thanh nâng cao và học máy liên tục để cải thiện độ chính xác. Việc kết hợp nhận diện giọng nói với các công nghệ khác như thị giác máy tính cũng có thể tạo ra các hệ thống quản lý trang trại toàn diện hơn, cung cấp giải pháp hoàn chỉnh cho người chăn nuôi hiện đại.

IV. ỨNG DỤNG THỰC TẾ

Hệ thống trang trại lợn thông minh của chúng tôi có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, từ trang trại quy mô nhỏ đến các tổ hợp chăn nuôi công nghiệp quy mô lớn [10]. Chúng tôi đã xác định ba lĩnh vực chính nơi hệ thống có thể tạo ra tác động đáng kể.

Trong lĩnh vực chăn nuôi công nghệ cao, hệ thống mang lại hiệu quả vượt trội trong việc tối ưu hóa quy trình chăm sóc lợn [8]. Bằng cách thu thập và phân tích dữ liệu từ cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ khí độc NH_3 , CO_2 và H_2S [1], hệ thống có thể xác định chính xác thời điểm và lượng thức ăn cần thiết cho từng giai đoạn phát triển của lợn. Điều này không chỉ tiết kiệm nguồn tài nguyên thức ăn quý giá mà còn góp phần nâng cao năng suất và chất lượng đàn lợn [8]. Khả năng điều khiển từ xa bằng giọng nói [6] cũng giúp người chăn nuôi quản lý hiệu quả đàn lợn với năng suất cao mà không cần có mặt trực tiếp.

Đối với ứng dụng trong trang trại lợn gia đình và quy mô nhỏ, hệ thống mang đến giải pháp tiện lợi và thân thiện với người dùng [5]. Người cao tuổi hoặc người khuyết tật có thể dễ dàng điều khiển hệ thống môi trường chuồng trại bằng các lệnh giọng nói đơn giản [6], giúp họ duy trì và thích thú với hoạt động chăn nuôi mà không gặp khó khăn về thể chất. Hệ thống có thể tích hợp liền mạch với các thiết bị nhà thông minh khác, như hệ thống đèn, cảm biến an ninh và thiết bị điều khiển nhiệt độ [2], tạo nên một hệ sinh thái thông minh toàn diện. Khả năng này mở ra tiềm năng phát triển các không gian sống xanh, bền vững và thông minh, đặc biệt trong các khu vực nông thôn hiện đại.

Trong bối cảnh trang trại công nghiệp quy mô lớn, hệ thống nhận diện giọng nói và điều khiển tự động giúp giảm đáng kể chi phí nhân công và nâng cao năng suất quản lý [3]. Mô hình máy học tích hợp trong hệ thống không chỉ có khả năng phát hiện sớm các vấn đề sức khỏe tiềm ẩn của lợn mà còn có thể dự báo xu hướng phát triển và tiêu thụ thức ăn, cho phép người chăn nuôi tối ưu hóa quy trình sản xuất và cải thiện phúc lợi động vật. Các trang trại lớn với hàng nghìn con lợn có thể đạt được mức độ tự động hóa chưa từng có, giảm thiểu sai sót do con người, đồng thời tăng cường khả năng truy xuất nguồn gốc và kiểm soát chất lượng.

Không chỉ áp dụng ở Việt Nam, hệ thống trang trại lợn thông minh còn có tiềm năng mở rộng ra thị trường quốc tế, đặc biệt là các nước đang phát triển trong khu vực Đông Nam Á, nơi ngành chăn nuôi lợn đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế nông nghiệp. Khả năng thích ứng với điều kiện khí hậu nhiệt đới, chi phí triển khai hợp lý và giao diện người dùng đơn giản là những ưu điểm giúp hệ thống của chúng tôi phù hợp với nhiều đối tượng người dùng khác nhau.

Một ứng dụng đầy hứa hẹn khác là khả năng tích hợp với hệ thống truy xuất nguồn gốc thực phẩm, sử dụng công nghệ blockchain [9]. Khi người tiêu dùng ngày càng quan tâm đến nguồn gốc thực phẩm họ tiêu thụ, hệ thống của chúng tôi cung cấp dữ liệu chi tiết về toàn bộ quá trình chăn nuôi, từ điều kiện môi trường, lịch sử cho ăn đến các biện pháp y tế đã áp dụng. Thông tin này có thể được mã hóa an toàn trên blockchain, tạo

nên một hệ thống minh bạch và đáng tin cậy, nâng cao giá trị thương hiệu và sự tin tưởng của người tiêu dùng.

Với những ứng dụng thực tế đa dạng này, hệ thống trang trại lợn thông minh không chỉ là một công cụ công nghệ mà còn là một giải pháp toàn diện, góp phần vào việc nâng cao chất lượng sản phẩm chăn nuôi, cải thiện phúc lợi động vật, và thúc đẩy sự phát triển bền vững của ngành chăn nuôi trong kỷ nguyên số.

V. KẾT LUẬN VÀ CÔNG VIỆC TƯƠNG LAI

A. Kết luận

Hành trình xây dựng hệ thống trang trại lợn thông minh của chúng tôi là một minh chứng cho tiềm năng của công nghệ trong việc cách mạng hóa ngành chăn nuôi lợn truyền thống [10]. Từ những bước đầu tiên khi chúng tôi lên ý tưởng về một hệ thống có thể tự động hóa việc chăm sóc đàn lợn, đến khi triển khai và thử nghiệm thực tế, mỗi giai đoạn đều mang đến những bài học quý giá và những thành tựu đáng tự hào. Nghiên cứu của chúng tôi đã thành công trong việc phát triển một hệ thống trang trại lợn thông minh tích hợp nhiều công nghệ hiện đại, trong đó nổi bật là khả năng nhận diện giọng nói để điều khiển tưới nước, bật/tắt đèn và cho ăn [6]. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống đạt độ chính xác cao trong việc nhận diện các lệnh điều khiển, đặc biệt trong môi trường có điều kiện âm thanh tốt. Với độ chính xác 96.2% trong phòng kín, hệ thống chứng tỏ tiềm năng đáng kể.

Điểm nổi bật của nghiên cứu này là tính thực tiễn và khả năng ứng dụng rộng rãi. Hệ thống không chỉ phù hợp với các trang trại quy mô gia đình mà còn có tiềm năng mở rộng cho trang trại quy mô lớn. Đây là một bước tiến quan trọng hướng tới chăn nuôi lợn thông minh, bền vững và thân thiện với môi trường - những giá trị ngày càng được đề cao trong bối cảnh biến đổi khí hậu và khan hiếm tài nguyên nuôi lợn hiện nay. Qua quá trình nghiên cứu, chúng tôi cũng nhận thấy tiềm năng to lớn của trí tuệ nhân tạo (AI) trong việc nâng cao hiệu quả của hệ thống [3]. Khả năng phân tích dữ liệu thời gian thực và đưa ra quyết định dựa trên học máy mở ra nhiều khả năng hấp dẫn cho việc cá nhân hóa và tối ưu hóa chăm sóc đàn lợn theo từng điều kiện cụ thể.

Tóm lại, nghiên cứu này đã thành công trong việc thiết kế và triển khai một hệ thống trang trại lợn thông minh có khả năng tự động hóa và tối ưu hóa quá trình chăm sóc đàn lợn. Bằng cách kết hợp các công nghệ hiện đại như IoT [5], nhận diện giọng nói [6], và xác thực khuôn mặt [3], chúng tôi đã tạo ra một giải pháp toàn diện, không chỉ nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên mà còn cải thiện trải nghiệm người dùng trong việc làm trang trại.

B. Công việc tương lai

Mặc dù đã đạt được những kết quả khả quan, nhưng chúng tôi nhận thức rõ rằng hệ thống trang trại lợn thông minh này vẫn còn nhiều dư địa để cải thiện và phát triển. Trong tương lai, chúng tôi dự định mở rộng nghiên cứu theo nhiều hướng đầy hứa hẹn, nhằm nâng cao hơn nữa hiệu suất và tính ứng dụng của hệ thống.

Một hướng nghiên cứu quan trọng khác là cải thiện thuật toán lọc nhiễu để tăng độ chính xác của hệ thống nhận diện giọng nói

trong môi trường có nhiều tạp âm. Như kết quả thực nghiệm đã chỉ ra, độ chính xác của hệ thống giảm đáng kể trong môi trường nhiễu cao, xuống còn 75.3%.

Bên cạnh đó, chúng tôi cũng nhận thấy tiềm năng to lớn trong việc kết hợp hệ thống với các cảm biến sinh học để tối ưu hóa sức khỏe đàn lợn [9]. Bằng cách tích hợp các cảm biến theo dõi nhiệt độ cơ thể, mẫu hành vi ăn uống, hệ thống có thể đưa ra quyết định thông minh hơn về việc nuôi dưỡng. Ví dụ, nếu phát hiện một con lợn trong đàn có dấu hiệu sốt, hệ thống có thể tự động kích hoạt quy trình cách ly và gửi thông báo cho người chăn nuôi để kiểm tra kịp thời.

Một hướng phát triển đầy hứa hẹn khác là xây dựng ứng dụng di động hoặc giao diện web tương tác hơn [2]. Hiện tại, người dùng có thể theo dõi và điều khiển hệ thống thông qua một giao diện web cơ bản, nhưng chúng tôi mong muốn phát triển một ứng dụng toàn diện hơn với nhiều tính năng như: hiển thị dữ liệu theo biểu đồ thời gian thực, thông báo tự động khi có vấn đề xảy ra, khả năng thiết lập lịch cho ăn tùy chỉnh, và thậm chí là công cụ phân tích dữ liệu để người dùng có thể theo dõi xu hướng và tối ưu hóa việc chăm sóc đàn lợn của mình.

Ngoài ra, chúng tôi cũng muốn mở rộng nghiên cứu về khả năng tích hợp với hệ thống truy xuất nguồn gốc thông minh. Tiếp theo các nghiên cứu gần đây về blockchain trong ngành nông nghiệp [9], hệ thống trang trại lợn thông minh có thể được nâng cấp để tự động lưu trữ dữ liệu về quá trình chăn nuôi và phân phối, tạo ra một hệ thống truy xuất nguồn gốc đáng tin cậy và minh bạch.

Với những hướng phát triển đầy hứa hẹn này, chúng tôi tin rằng hệ thống trang trại lợn thông minh sẽ tiếp tục phát triển và trở thành một giải pháp toàn diện, hiệu quả cho ngành chăn nuôi lợn bền vững trong tương lai.

TÀI LIỆU

- [1] Aosong Electronics Co., *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT11*, Datasheet, 2017.
- [2] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*, Version 3.3, 2021.
- [3] Kaipeng Zhang, Zhanpeng Zhang, et al., *Joint Face Detection and Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks*, IEEE Signal Processing Letters, vol. 23, no. 10, pp. 1499-1503, 2016.
- [4] A. Walter, R. Finger, R. Huber, and N. Buchmann, *Smart farming is key to developing sustainable agriculture*, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 114, no. 24, pp. 6148-6150, 2017.
- [5] M. S. Mekala and P. Viswanathan, *A Survey: Smart agriculture IoT with cloud computing*, In 2017 International conference on microelectronic devices, circuits and systems (ICMDCS), pp. 17-11, IEEE, 2017.
- [6] L. Muda, M. Begam, and I. Elamvazuthi, *Voice recognition algorithms using mel frequency cepstral coefficient (MFCC) and dynamic time warping (DTW) techniques*, Journal of Computing, vol. 2, no. 3, pp. 138-143, 2010.
- [7] Arduino AG, *Arduino Uno Rev3*, Technical specs, 2018.
- [8] K. O. Flores, I. M. Butaslac, et al., *Precision agriculture monitoring system using wireless sensor network and Raspberry Pi local server*, In 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), pp. 3018-3021, 2016.
- [9] F. Tian, *An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology*, In 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), pp. 1-6, IEEE, 2016.
- [10] J. Primicerio, S. F. Di Gennaro, et al., *A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture*, Precision Agriculture, vol. 13, no. 4, pp. 517-523, 2012.