

Hệ thống giám sát nhiệt độ tự động cho lợn bằng cảm biến thẻ tai tích hợp công nghệ bluetooth và học máy

Dương Thành Nam^{1*}, Nguyễn Mạnh Sơn¹, Trần Thị Hoa², Trần Sơn Tùng¹,
Nguyễn Hoàng Giang², Nguyễn Thị Kim Phương², Nguyễn Văn Huy²

¹Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường, Liên hiệp Các hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam, phường Long Biên, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/10/2024; ngày chuyển phân biện 10/10/2024; ngày nhận phân biện 22/11/2024; ngày chấp nhận đăng 28/11/2025

Tóm tắt:

Hệ thống giám sát nhiệt độ tự động cho lợn, tích hợp cảm biến thẻ tai kết hợp với công nghệ Bluetooth Low Energy (BLE) và các mô hình học máy, mang lại một giải pháp hiện đại và hiệu quả trong việc theo dõi sức khỏe đàn lợn. Các cảm biến được gắn trực tiếp lên thẻ tai có khả năng đo nhiệt độ cơ thể của từng cá thể liên tục, đồng thời thu thập thông tin về điều kiện môi trường như độ ẩm và nhiệt độ chuồng trại. Dữ liệu được truyền về trung tâm xử lý thông qua kết nối BLE và được phân tích trên nền tảng điện toán đám mây. Hệ thống sử dụng các mô hình học máy tiên tiến như PCA-SVC, PCA-Decision tree, PCA-Random forest và 1D-CNN để phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường. Trong số đó, mô hình 1D-CNN cho kết quả nổi bật với độ chính xác lên tới 96,6%, chứng minh hiệu quả vượt trội trong việc xử lý dữ liệu chuỗi và phát hiện các vấn đề sức khỏe. Việc ứng dụng cảm biến thông minh không chỉ nâng cao độ chính xác, giảm chi phí nhân công, mà còn tối ưu hóa khả năng giám sát theo thời gian thực, góp phần quan trọng trong phòng ngừa dịch bệnh và nâng cao hiệu quả quản lý chăn nuôi.

Từ khóa: Bluetooth Low Energy, cảm biến thẻ tai, giám sát nhiệt độ lợn, học máy, 1D-CNN.

Automatic temperature monitoring system for pigs using ear tag sensors integrated with bluetooth and machine learning

Thanh Nam Duong^{1*}, Manh Son Nguyen¹, Thi Hoa Tran², Son Tung Tran¹,
Hoang Giang Nguyen², Thi Kim Phuong Nguyen², Van Huy Nguyen²

¹Center for Advanced Science and Technology Research, Vietnam Academy of Science and Technology,
18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

²Institute of Environment, Technology and Verification, Vietnam Union of Science and Technology Associations, Long Bien Ward, Hanoi, Vietnam

Received 8 October 2024; revised 22 November 2024; accepted 28 November 2025

Abstract:

The automatic temperature monitoring system for pigs, integrated with ear tag sensors combined with Bluetooth Low Energy (BLE) technology and machine learning models, offers a modern and efficient solution for monitoring the health of pig herds. The sensors are directly attached to ear tags and are capable of continuously measuring each pig's body temperature, while also collecting environmental information such as humidity and ambient temperature inside the housing facility.

*Tác giả liên hệ: Email: namdt.vast@gmail.com

Data is transmitted to a central server via BLE and analysed on a cloud computing platform. The system employs advanced machine learning models such as PCA-SVC, PCA-Decision Tree, PCA-Random Forest, and 1D-CNN to enable early detection of abnormal signs. Among these models, 1D-CNN demonstrates outstanding performance, achieving an accuracy of 96.58%, proving its effectiveness in processing time-series data and identifying health issues. The application of smart sensor technology not only enhances monitoring accuracy and reduces labor costs but also optimises real-time surveillance capabilities. This contributes significantly to disease prevention and improves overall livestock management efficiency.

Keywords: Bluetooth Low Energy, ear tag sensor, machine learning, temperature monitoring, 1D-CNN.

1. Đặt vấn đề

Chăn nuôi lợn là một ngành truyền thống quan trọng, đóng góp lớn vào an ninh lương thực và kinh tế nông nghiệp, đặc biệt tại Việt Nam. Việc giám sát và cảnh báo sớm các vấn đề sức khỏe của lợn là yếu tố then chốt để ngăn chặn dịch bệnh và bảo vệ hệ thống chăn nuôi. Trên thế giới, nhiều nước phát triển đã áp dụng công nghệ tiên tiến trong giám sát và quản lý sức khỏe vật nuôi như: nhận dạng sinh trắc học, phân tích hành vi và robot tự động hóa trong quá trình chăn nuôi. Tuy nhiên, tại Việt Nam, công nghệ hiện đại vẫn chưa được áp dụng rộng rãi trong giám sát dịch bệnh.

Nhiệt độ cơ thể là chỉ số quan trọng để chẩn đoán sức khỏe lợn [1]. Nhiệt độ cơ thể là một chỉ số sinh lý quan trọng, nhiệt độ tăng lên khi xuất hiện các triệu chứng bệnh lý. Phương pháp đo truyền thống qua trực tràng gây căng thẳng và nguy cơ lây nhiễm chéo, trong khi hệ thống camera giám sát hiện tại yêu cầu nhân lực và không đáp ứng được việc giám sát liên tục [2, 3].

Xuất phát từ thực tế và các vấn đề nêu trên, nghiên cứu này đã tiến hành phát triển “Hệ thống giám sát nhiệt độ tự động cho lợn bằng cảm biến thẻ tai tích hợp công nghệ bluetooth và học máy” cho phép theo dõi liên tục, phát hiện sớm bất thường, từ đó cảnh báo kịp thời và nâng cao hiệu quả quản lý chăn nuôi. Ngoài ra, nghiên cứu này làm nổi bật tính mới trong việc áp dụng mạng nơ-ron tích chập

một chiều (1D-CNN) để phân tích và dự đoán các bất thường về nhiệt độ của lợn, một phương pháp chưa được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực này. So với các mô hình học máy truyền thống như PCA-SVC, PCA-Decision tree hay PCA-Random forest, mô hình 1D-CNN cho thấy khả năng học các đặc trưng phức tạp từ dữ liệu chuỗi thời gian, mang lại độ chính xác vượt trội trong việc phát hiện sớm các bất thường nhiệt độ, từ đó giúp cải thiện hiệu quả giám sát sức khỏe lợn.

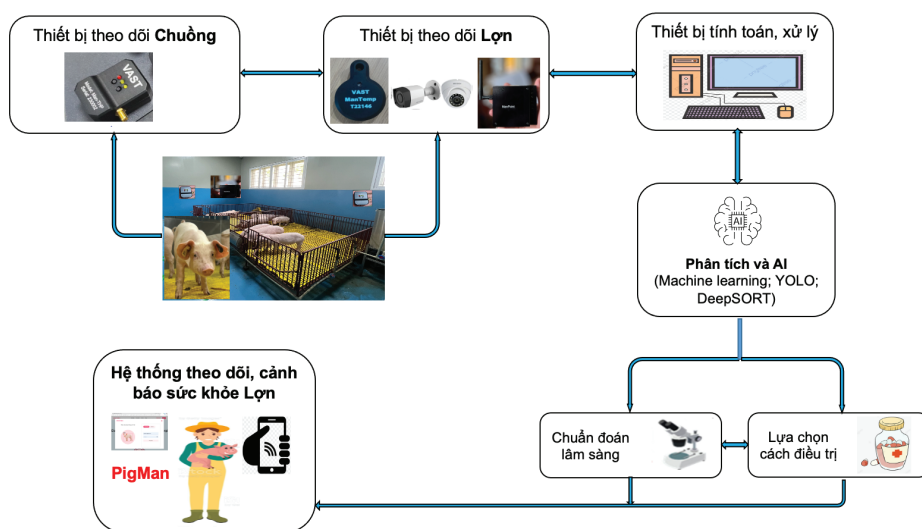
2. Thiết bị và phương pháp nghiên cứu

2.1. Hệ thống giám sát nhiệt độ bất thường ở lợn

Hệ thống giám sát nhiệt độ bất thường của lợn (hình 1) gồm: cảm biến thẻ tai (ManTemp), thiết bị đo điều kiện môi trường chuồng trại (Man-THP), camera giám sát hành vi, bộ nhận và truyền dữ liệu (ManPoint) và Cloud server (pigman.com).

Các cảm biến thẻ tai ManTemp được gắn vào tai lợn để đo và ghi nhận nhiệt độ cơ thể. Dữ liệu từ cảm biến ManTemp được truyền đến hệ thống thu nhận dữ liệu (ManPoint), sau đó chuyển đến máy chủ đám mây để xử lý và phân tích.

Thiết bị Man-THP chịu trách nhiệm giám sát các điều kiện môi trường chuồng trại thông qua các phép đo độ ẩm, nhiệt độ và áp suất. Hệ thống giúp phát hiện sự thay đổi môi trường có thể ảnh hưởng đến nhiệt độ cơ thể của lợn. Đồng thời, hệ thống camera giám sát được lắp đặt để ghi lại và theo dõi hoạt



Hình 1. Hệ thống giám sát hành vi và thân nhiệt.

động của lợn liên tục 24 giờ. Hình ảnh được lưu trữ và phân loại theo mã ID lợn và vị trí camera, sau đó gửi đến máy chủ đám mây pigman.com để phân tích.

Hệ thống tích hợp các thành phần này có khả năng sử dụng thuật toán phân tích dữ liệu để phát hiện sớm các bất thường về nhiệt độ cơ thể lợn hoặc môi trường sống. Thông tin thu thập được giúp người quản lý áp dụng kịp thời các biện pháp cần thiết nhằm đảm bảo sức khỏe và an toàn cho đàn lợn.

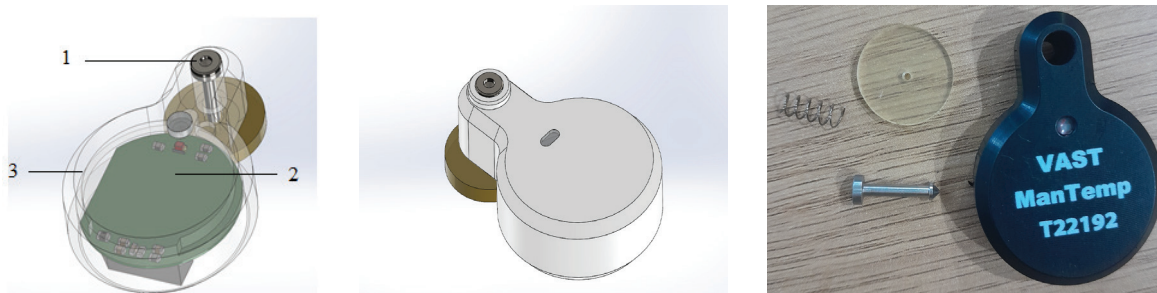
2.2. Cảm biến nhiệt độ thể tại ManTemp

Cảm biến nhiệt độ thể tại ManTemp được thiết kế với 3 thành phần chính: chốt khóa cố định có đệm lò xo; bo mạch điện tử với cảm biến nhiệt độ và phần thân vỏ (hình 2).

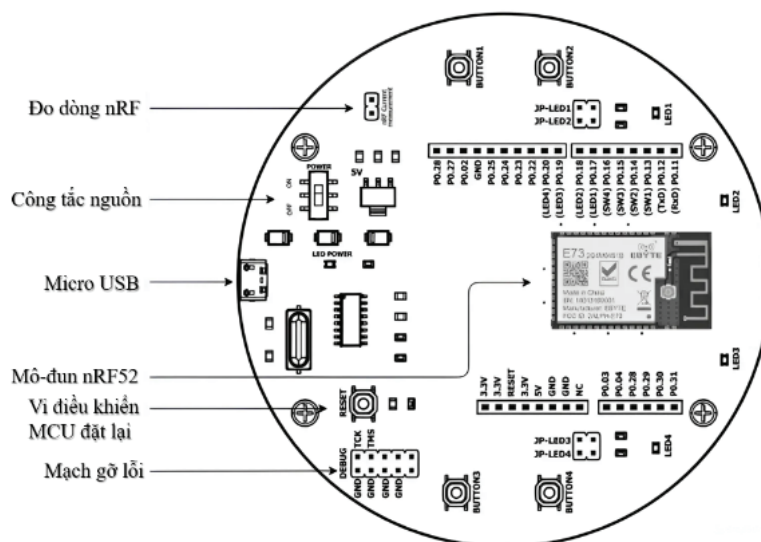
2.2.1. Bo mạch điện tử và cảm biến nhiệt độ

Bo mạch điện tử sử dụng công nghệ iBeacon và BLE nRF52832 (hình 3), cho phép kết nối và truyền dữ liệu nhiệt độ cùng với mã định danh của lợn đến hệ thống trung gian (ManPoint) và sau đó tới máy chủ đám mây. Bộ vi xử lý MCU (Microcontroller unit) được tích hợp trên bo mạch giúp tính toán nhiệt độ liên tục, phục vụ việc giám sát sức khỏe lợn theo thời gian thực.

Một cụm cảm biến (được hàn trên bảng mạch in tùy chỉnh PCB) được gắn vào thẻ đeo tai cho lợn để ghi lại thông số nhiệt độ và bên ngoài có định danh riêng cho từng con để phân biệt. Bộ xử lý trung tâm có thể thu thập và xử lý dữ liệu (ở đây là nhiệt độ của từng con lợn), từ đó xuất ra biểu đồ theo dõi nhiệt độ theo thời gian.



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo ManTemp. 1: Chốt khóa cố định có đệm lò xo; 2: Bo mạch điện tử với cảm biến nhiệt độ; 3: Thân vỏ.



Hình 3. Thiết kế phần cứng nRF52832.

Mạch thu phát BLE Bluetooth 4.0 SoC nRF52832 với bộ vi xử lý ARM Cortex-M4 64 MHz hỗ trợ FPU, dung lượng bộ nhớ RAM và Flash tăng gấp đôi, hỗ trợ BLE 5.0, với ưu điểm vượt trội về khoảng cách và thông lượng.

Với thiết kế linh hoạt, bo mạch hỗ trợ nhiều tùy chọn cấp nguồn như cổng Micro USB 5 V, jack đo dòng nRF 3,3 V và pin CR2032 3 V. Cảm biến nhiệt độ NTC-MF52 tích hợp sẵn cho phép đo nhiệt độ trong khoảng $(-55 \div 125^{\circ}\text{C})$ với độ chính xác $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, đảm bảo dữ liệu đo được ổn định và chất lượng.

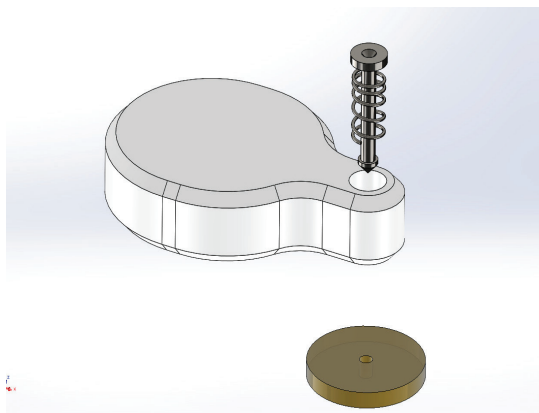
2.2.2. Thân vỏ và chốt khoá cố định

Phần thân vỏ của ManTemp được chế tạo từ nhựa tiêu chuẩn, bao gồm hai mặt trên và dưới tách rời, với các cạnh bo xung quanh để bảo vệ cảm biến.

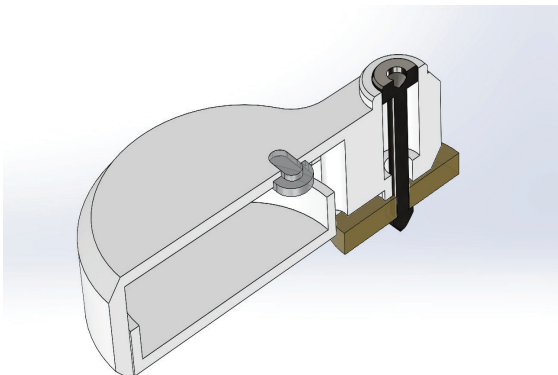
Thân vỏ được thiết kế một vị trí hạ bậc giúp cảm biến nhiệt tiếp xúc với da lợn, đảm bảo độ chính xác khi đo. Ngoài ra, có một vùng dành cho lò xo và chốt khóa (hình 4).

Chốt khóa bao gồm đỉnh chốt bằng vật liệu chống gỉ, với một đầu lõm dùng cho kim bấm và một đầu nhọn xuyên qua đệm cao su để giữ thiết bị cố định chắc chắn. Lò xo xoắn quanh đỉnh chốt tăng độ đàn hồi, cho phép thiết bị thích ứng với sự phát triển của lợn và đảm bảo phép đo liên tục chính xác.

ManTemp được thiết kế nhỏ gọn, thuận tiện trong sử dụng, giúp ngăn chặn phản ứng căng thẳng ở lợn. Phép đo nhiệt độ cố định tăng độ chính xác so với các phương pháp không tiếp xúc, giảm nguy cơ lây nhiễm. Thiết bị có khả năng truyền dữ liệu thời



Hình 4. Sơ đồ cấu tạo vỏ ManTemp.



gian thực tới các thiết bị di động hoặc hệ thống giám sát từ xa, nhờ kết hợp cảm biến nhiệt độ, MCU, các mô-đun cung cấp điện, lưu trữ dữ liệu và truyền dẫn.

2.3. Mô hình học máy

Nghiên cứu sử dụng bốn mô hình học máy để dự đoán sức khỏe lợn dựa trên dữ liệu nhiệt độ: PCA-SVC, PCA-Decision tree (PCA - cây quyết định), PCA-Random forest (PCA - rừng ngẫu nhiên) và 1D-CNN. Các kỹ thuật phân tích thành phần (Component analysis - CA) giúp giảm chiều dữ liệu, trong khi SVC, Decision tree và Random forest là các thuật toán phân loại mạnh mẽ. PCA-SVC và PCA-Decision tree sử dụng PCA để giảm số lượng đặc trưng, giúp các mô hình phân loại hoạt động hiệu quả hơn, nhưng có thể mất thông tin quan trọng trong quá trình giảm chiều. PCA-Random forest kết hợp với nhiều cây quyết định để cải thiện độ chính xác và giảm overfitting. Mô hình 1D-CNN, tuy không dùng PCA, nhưng lại mạnh mẽ trong việc xử lý dữ liệu chuỗi như tín hiệu thời gian và âm thanh nhờ khả năng trích xuất đặc trưng phức tạp từ dữ liệu chuỗi.

Trong đánh giá các mô hình học máy, đặc biệt là trong các bài toán phân loại, có một số chỉ số quan trọng được sử dụng để đo lường hiệu suất của mô hình. Những chỉ số này không chỉ cung cấp thông tin về khả năng dự đoán đúng hay sai của mô hình mà còn giúp người dùng hiểu rõ hơn về khả năng xử lý dữ liệu của nó, đặc biệt trong những tình huống có sự chênh lệch lớn giữa các lớp dữ liệu. Các chỉ số phổ biến bao gồm Độ chính xác (Accuracy), Độ chính xác dương tính (Precision), Độ phủ dương tính (Recall), và F1-Score. Mỗi chỉ số có một ý nghĩa riêng và được áp dụng tùy thuộc vào đặc thù của bài toán cũng như yêu cầu cụ thể của người sử dụng.

Accuracy (độ chính xác): Tỷ lệ dự đoán chính xác của mô hình trên tổng số dữ liệu.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

Precision (độ chính xác dương tính): Tỷ lệ số lượng dương tính (tức là dự đoán bệnh) được phân loại chính xác trên tổng số các trường hợp được phân loại là dương tính.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

Recall (độ phủ dương tính): Tỷ lệ số lượng dương tính được phân loại chính xác trên tổng số các trường hợp thực tế là dương tính.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

trong đó: TP: True positive (Dự đoán đúng dương tính); TN: True negative (Dự đoán đúng âm tính); FP: False positive (Dự đoán sai dương tính); FN: False negative (Dự đoán sai âm tính).

3. Kết quả và bàn luận

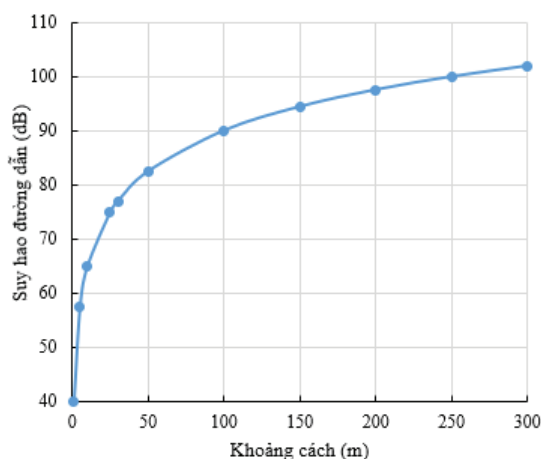
3.1. Thử nghiệm trong phòng thí nghiệm

3.1.1. Hiệu suất của Bluetooth Low Energy

Phạm vi hoạt động của mô-đun BLE phụ thuộc vào loại ăng-ten và suy hao đường dẫn (hình 5), được tính theo phương trình (4) dưới đây [4]:

$$\text{Suy hao đường dẫn} = 40+25 \times \log(d) \quad (4)$$

trong đó: d là khoảng cách giữa máy phát và máy thu. Độ nhạy của máy thu BLE nRF52832 là -70 dBm, với công suất phát từ -18 đến +8 dBm. Ví dụ, với công suất phát +8 dBm và độ nhạy -70 dBm, suy hao đường dẫn đạt +78 dB, tương ứng với khoảng cách giao tiếp lý thuyết là ~33 m.



Hình 5. Biểu đồ biểu diễn suy hao đường dẫn thu được từ phương trình (4).

Nghiên cứu đã thử nghiệm 10 cảm biến ManTemp ở nhiều khoảng cách và tốc độ lấy mẫu khác nhau để tối ưu hóa thời lượng pin. Với tốc độ lấy mẫu 5 lần/giây, mô-đun bluetooth tiêu thụ dòng điện 3 mA, trong khi cảm biến nhiệt độ tiêu thụ 1,5 mA.

Sử dụng pin CR2030 với dung lượng 230 mAh, thời lượng pin ước tính là 51 giờ.

Để kéo dài tuổi thọ pin, ManTemp được cấu hình để chỉ đo nhiệt độ khi phát hiện bất thường kèm theo tín hiệu đèn nháy sáng. Điều này giúp giảm tần suất đo không cần thiết, tập trung vào các thời điểm có biến đổi nhiệt độ, qua đó tiết kiệm năng lượng và tăng thời gian sử dụng thiết bị.

Việc kết hợp đèn nháy sáng và phát hiện nhiệt độ bất thường giúp tối ưu hóa hiệu suất và tiết kiệm pin, phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu theo dõi nhiệt độ một cách thông minh và tiết kiệm năng lượng.

3.1.2. Đặc tính nhiệt độ và đánh giá hiệu chuẩn của thiết bị ManTemp

ManTemp là thiết bị đo nhiệt độ cơ thể lợn, hoạt động trong phạm vi nhiệt độ $-5\div 125^{\circ}\text{C}$. Để đảm bảo tính chính xác và ổn định, việc hiệu chuẩn thiết bị trước khi sử dụng là bắt buộc. Quy trình hiệu chuẩn được thực hiện tại ba điểm nhiệt độ đặc trưng (35 , 40 và 45°C), trong điều kiện môi trường ổn định với nhiệt độ $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ và độ ẩm tương đối $50\div 60\%$. Quá trình hiệu chuẩn dựa trên so sánh trực tiếp giữa giá trị đo của ManTemp và tổ hợp thiết bị chuẩn (Rotronic).



Hình 6. Hệ thống giám sát nhiệt độ trại lợn (ManTemp, Man-THP, ManPoint).



Hình 7. Cảm biến thẻ tai (ManTemp) được bấm vào tai trái của lợn.

Bảng 1. Độ không đảm bảo đo nhiệt độ ($k=2$, $U=95\%$).

Điểm chuẩn (°C)	Giá trị trung bình của chuẩn (°C)	Giá trị trung bình của đối tượng (°C)	Số hiệu chỉnh (°C)	Độ không đảm bảo đo mở rộng (°C)
35	34,900	34,70	0,20	1,0
40	39,910	39,80	0,11	1,0
45	44,910	45,10	-0,19	1,0

Kết quả hiệu chuẩn cho thấy, sai số nhỏ ở tất cả các điểm: tại 35°C, sai số là 0,20°C; tại 40°C, sai số 0,11°C; tại 45°C, sai số -0,19°C. Độ không đảm bảo đo mở rộng ở các điểm là 1,0°C, nằm trong giới hạn cho phép.

Kết quả từ các điểm kiểm tra cho thấy, ManTemp hoạt động ổn định trong dải nhiệt độ được yêu cầu. Độ không đảm bảo đo mở rộng tại tất cả các điểm là 1,0°C, phù hợp với tiêu chuẩn của thiết bị và đảm bảo tính chính xác khi đo nhiệt độ cơ thể lợn (bảng 1). So với các thiết bị tương tự, ManTemp thể hiện độ chính xác cao và ổn định, đặc biệt là ở các điểm nhiệt độ quan trọng trong quy trình theo dõi sức khỏe động vật.

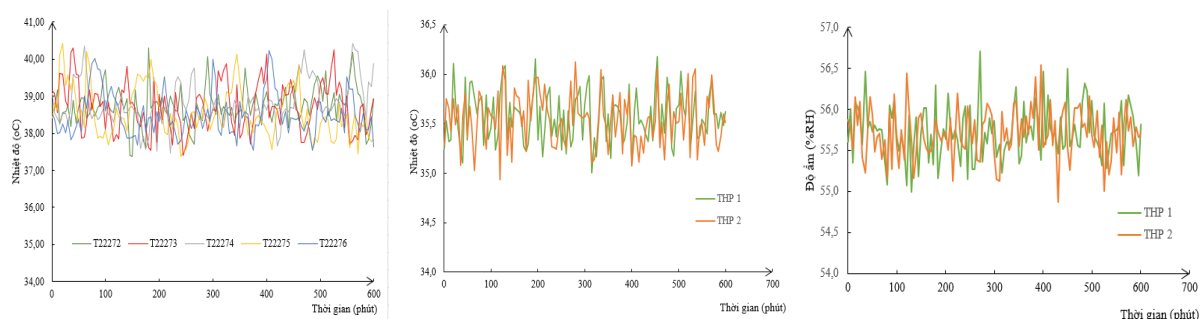
Qua quá trình hiệu chuẩn, thiết bị ManTemp đã chứng minh được khả năng hoạt động đáng tin cậy trong việc đo lường nhiệt độ. Với sai số nhỏ và độ không đảm bảo đo mở rộng nằm trong giới hạn tiêu chuẩn, ManTemp đáp ứng tốt các yêu cầu kỹ thuật của một thiết bị giám sát nhiệt độ trong chăn nuôi. Mặc dù có những sai số nhỏ ở một số điểm nhiệt độ, nhưng những sai số này đều nằm trong phạm vi chấp nhận được, không ảnh hưởng lớn đến kết quả đo lường và đánh giá sức khỏe động vật.

Việc so sánh với các thiết bị đo nhiệt độ khác cho thấy, ManTemp có lợi thế về tính ổn định và khả năng duy trì độ chính xác trong suốt quá trình vận hành. Điều này khiến ManTemp trở thành một giải pháp hiệu quả và tin cậy trong lĩnh vực theo dõi nhiệt độ trong chăn nuôi lợn, đặc biệt khi so sánh với các phương pháp đo nhiệt độ không tiếp xúc khác.

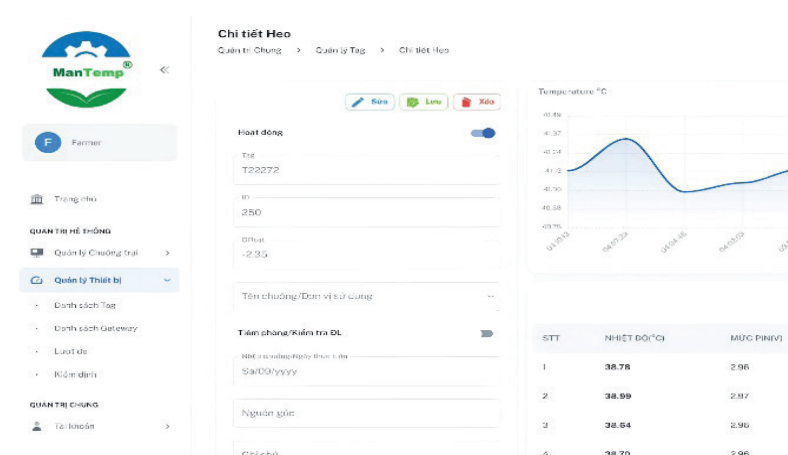
3.2. Thử nghiệm trên cá thể lợn

Trong thử nghiệm thực địa, hệ thống cảm biến thể tại ManTemp được kiểm tra trên 5 cá thể lợn có trọng lượng trung bình 24 kg, theo dõi liên tục trong 600 phút để đánh giá hiệu quả và tính ổn định trong điều kiện chuồng trại thực tế (hình 6). Cảm biến được gắn vào tai trái của lợn (hình 7), không gây ra phản ứng căng thẳng, đảm bảo an toàn và không ảnh hưởng đến hành vi hay sức khỏe của lợn. Thân nhiệt bình thường của lợn khỏe mạnh dao động trong khoảng 38,5-39,5°C. Tuy nhiên, trong suốt quá trình theo dõi, nhiệt độ cơ thể của lợn có thể dao động 37,5-40,5°C do các hoạt động sinh lý như ăn uống, di chuyển và tắm rửa. Dữ liệu thu thập từ ManTemp cho thấy, khả năng giám sát nhiệt độ cơ thể gần với thời gian thực, đạt độ chính xác cao, từ đó giúp phát hiện sớm các dấu hiệu bất thường về sức khỏe của lợn.

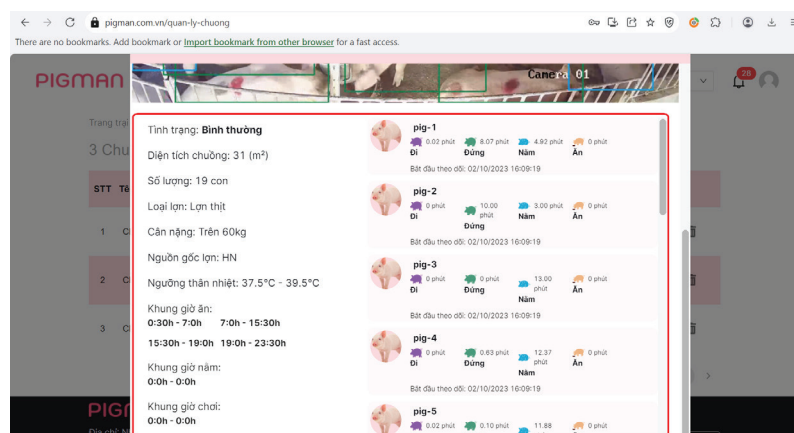
Hệ thống cảm biến ManTemp đã được thử nghiệm trong điều kiện thực tế tại chuồng trại, theo dõi nhiệt độ cơ thể lợn trong khoảng cách 25-30 m, với độ chính xác cao và khả năng giám sát gần thời gian thực. Hệ thống phát hiện và cảnh báo sớm các dấu hiệu bất thường về sức khỏe thông qua sự thay đổi nhiệt độ. Đồng thời, hai cảm biến môi trường (Man-THP) đặt tại các vị trí khác nhau trong chuồng trại ghi nhận nhiệt độ trung bình 35,5°C và độ ẩm trung bình 55,7%RH, với độ lệch chuẩn thấp, cho thấy tính ổn định cao. Hệ thống ManTemp kết hợp với Man-THP cung cấp dữ liệu toàn diện, giúp giám sát hiệu quả môi trường sống của lợn và phát hiện sớm các vấn đề sức khỏe tiềm ẩn (hình 8).



Hình 8. Dữ liệu thu thập từ 5 thiết bị ManTemp và 2 thiết bị Man-THP.



Hình 9. Dữ liệu ManTemp ID T22272 được xuất ra từ phần mềm ManTemp.



Hình 10. Hệ thống theo dõi nhiệt độ ManTemp.

So với các hệ thống giám sát môi trường khác trong chăn nuôi, hệ thống ManTemp kết hợp với các cảm biến môi trường Man-THP mang lại sự ổn định và độ chính xác cao hơn. Việc đặt các cảm biến ở nhiều vị trí khác nhau giúp theo dõi và phát hiện những thay đổi trong môi trường một cách toàn diện hơn, đảm bảo rằng dữ liệu thu thập không chỉ phản ánh một phần của chuồng trại mà còn bao quát toàn

bộ môi trường sống của lợn. Điều này giúp tăng cường khả năng dự báo và phát hiện sớm các vấn đề tiềm ẩn, liên quan đến sức khỏe của lợn, đặc biệt là các thay đổi đột ngột về nhiệt độ hoặc độ ẩm.

Hệ thống ManTemp đã chứng minh khả năng hoạt động ổn định và cung cấp dữ liệu có giá trị trong việc giám sát sức khỏe lợn. Cảm biến ManTemp theo dõi nhiệt độ cơ thể lợn một cách chính xác mà không ảnh hưởng đến hành vi tự nhiên của chúng, điều này rất phù hợp cho ứng dụng trong thực tế chăn nuôi. So với phương pháp thủ công hay dùng camera, ManTemp tự động hóa quá trình thu thập và xử lý dữ liệu, giảm thiểu chi phí và công sức, đồng thời cung cấp khả năng giám sát từ xa và gần như trong thời gian thực, giúp phát hiện sớm các bất thường về sức khỏe.

Hệ thống vượt trội hơn so với các giải pháp hiện tại về độ chính xác, độ ổn định và khả năng phát hiện sớm. Bên cạnh theo dõi nhiệt độ, ManTemp còn tích hợp các cảm biến môi trường để giám sát các yếu tố như độ ẩm, giúp cải thiện hiệu quả chăm sóc và nuôi dưỡng. Thử nghiệm cho thấy ManTemp có độ chính xác cao và hỗ trợ ngăn ngừa dịch bệnh qua việc phát hiện sớm các triệu chứng bất thường.

Thiết bị ManTemp được gắn trực tiếp lên lợn, ghi nhận liên tục nhiệt độ và truyền dữ liệu lên hệ thống để phân tích (hình 9). Thuật toán phát hiện sự thay

đổi nhiệt độ bất thường, cảnh báo kịp thời về nguy cơ bệnh dịch, cho phép người quản lý và chuyên gia thú y can thiệp nhanh chóng. Dữ liệu này cũng được lưu trữ để tạo lịch sử sức khỏe, giúp người quản lý hiểu rõ hơn về yếu tố ảnh hưởng đến sức khỏe của đàn lợn, từ môi trường nuôi đến dinh dưỡng và chăm sóc (hình 10).

3.3. Dự đoán sự bất thường nhiệt độ bằng mô hình học máy

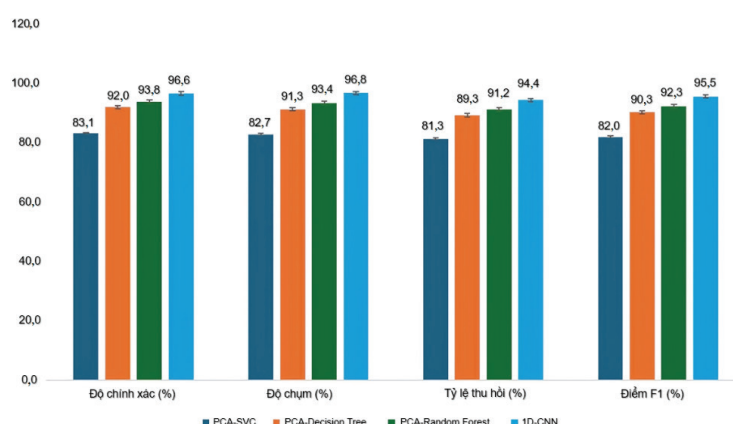
Để tăng cường khả năng phát hiện sớm các bất thường về nhiệt độ ở lợn, nghiên cứu đã sử dụng bốn mô hình học máy khác nhau: PCA-SVC, PCA-Decision tree, PCA-Random forest và 1D-CNN. Mục tiêu của việc áp dụng các mô hình này là phân tích và dự đoán các trạng thái nhiệt độ thông thường (BT) và bất thường (BBT) từ việc thu thập nhiệt độ dữ liệu được thông qua hệ thống cảm biến thể tại ManTemp.

Quá trình chuẩn bị dữ liệu cho hệ thống giám sát thân nhiệt lợn PigMan bao gồm việc lựa chọn và xử lý dữ liệu từ 1500 thẻ tại ManTemp của cả lợn bình thường và bất thường. Dữ liệu được phân loại dựa trên ngưỡng nhiệt độ: lợn có nhiệt độ $\leq 40^{\circ}\text{C}$ (TN) được coi là bình thường, trong khi lợn có nhiệt độ $> 40^{\circ}\text{C}$ (TP) được coi là bất thường. Chúng tôi đã sử dụng các mô hình học máy, bao gồm; Phân tích thành phần chính kết hợp với PCA-SVC, PCA-Decision tree, PCA-Random forest và 1D-CNN để đánh giá hiệu suất dự đoán trên cùng một bộ dữ liệu. Kết quả dự đoán lợn bất thường từ các mô hình thu được tại bảng 2.

Dữ liệu trên phản ánh kết quả phân loại của bốn mô hình học máy, bao gồm PCA-SVC, PCA-Decision tree, PCA-Random forest và 1D-CNN, dựa trên các chỉ số True positive (TP), True negative (TN), False positive (FP) và False negative (FN). Mô hình PCA-SVC có kết quả kém nhất với 694 trường hợp dự đoán đúng lợn bất thường và 806 trường hợp

Bảng 2. Kết quả dự đoán lợn bất thường từ các mô hình.

Mô hình	TP	TN	FP	FN
PCA-SVC	694	806	145	160
PCA-Decision tree	607	893	58	73
PCA-Random forest	591	909	42	57
1D-CNN	568	932	19	34



Hình 11. Biểu đồ đánh giá mô hình dự đoán bất thường dựa trên cảm biến nhiệt độ.

đúng lợn bình thường, nhưng lại có số lượng dự đoán sai khá cao với 145 sai dương tính (FP) và 160 sai âm tính (FN). Trong khi đó, PCA-Decision tree cho thấy sự cải thiện rõ rệt, với số lượng sai dương tính và âm tính giảm đáng kể, chỉ còn 58 FP và 73 FN, cùng với độ chính xác tốt hơn trong phân loại. PCA-Random forest thể hiện hiệu suất cao với 929 trường hợp TN và 571 TP, đồng thời chỉ có 22 FP và 37 FN, cho thấy khả năng phân loại rất đáng tin cậy. Cuối cùng, 1D-CNN là mô hình có hiệu suất tốt nhất, với chỉ 19 FP và 34 FN, phản ánh khả năng phân loại chính xác và ổn định nhất trong số các mô hình được so sánh. Điều này cho thấy, 1D-CNN là lựa chọn tối ưu khi cần giảm thiểu sai sót trong dự đoán bất thường nhiệt độ của lợn. Cụ thể, kết quả đánh giá mô hình dự đoán sự bất thường của lợn dựa trên dữ liệu cảm biến nhiệt độ theo thời gian bằng các thuật toán học máy (hình 11).

Mô hình PCA-SVC đạt độ chính xác 83,1%, với Precision 82,7% và Recall 81,3%. Mặc dù có khả năng phân loại khá, mô hình này vẫn bỏ sót một số trường hợp bất thường do việc giảm chiều dữ liệu bằng PCA có thể làm mất thông tin quan trọng.

Mô hình PCA-Decision tree có độ chính xác tăng lên 92,0%, với Precision 91,3% và Recall 89,3%. Mô hình này cải thiện khả năng phân loại nhờ cấu trúc phân nhánh của cây quyết định, nhưng vẫn có nguy cơ overfitting khi xử lý dữ liệu phức tạp.

Mô hình PCA-Random forest với độ chính xác 93,8%, Precision 93,4% và Recall 91,2%, mô hình này cho thấy hiệu suất tốt hơn nhờ việc tổng hợp kết quả từ nhiều cây quyết định, giảm thiểu overfitting và tăng khả năng tổng quát hóa.

Mô hình 1D-CNN đạt hiệu suất cao nhất với độ chính xác 96,6%, Precision và Recall đều đạt 96,8 và 94,4%. 1D-CNN có khả năng trích xuất các đặc trưng phức tạp từ dữ liệu chuỗi thời gian, giúp phát hiện chính xác các bất thường nhiệt độ.

Mối tương quan giữa các chỉ tiêu cho thấy 1D-CNN vượt trội hơn các mô hình khác trong việc cân bằng giữa độ chính xác và khả năng phát hiện đầy đủ các bất thường, khẳng định tiềm năng lớn của việc ứng dụng mạng nơ-ron tích chập trong giám sát sức khỏe lợn.

Kết quả nghiên cứu phù hợp với xu hướng trong lĩnh vực ứng dụng học sâu vào giám sát sức khỏe vật nuôi. Cụ thể, việc sử dụng mạng nơ-ron tích chập để phân tích dữ liệu cảm biến đã được chứng minh là hiệu quả trong nhiều nghiên cứu trước đây. Ví dụ, nghiên cứu của B. Savoini và cs (2025) [5] đã sử dụng 1D-CNN để phân tích dữ liệu và phát hiện sớm bệnh ở gia súc, đạt độ chính xác 90%. Kết quả 96,6% của nghiên cứu này cao hơn, cho thấy tiềm năng lớn của việc áp dụng 1D-CNN trong giám sát sức khỏe lợn. Ngoài ra, nghiên cứu của Y. Kim và cs (2019) [6] đã áp dụng Random forest để phân loại tình trạng sức khỏe ở lợn dựa trên dữ liệu hành vi, đạt độ chính xác 92%. Kết quả 94,5% của nghiên cứu này với PCA-Random forest cho thấy, việc kết hợp giảm chiều dữ liệu bằng PCA có thể cải thiện hiệu suất mô hình.

Các kết quả cho thấy, mô hình 1D-CNN có hiệu suất vượt trội trong việc dự đoán sự bất thường nhiệt độ ở lợn, nhờ khả năng học các đặc trưng phức tạp từ dữ liệu chuỗi thời gian. Việc phát hiện sớm các bất thường nhiệt độ là rất quan trọng để ngăn chặn dịch bệnh và đảm bảo sức khỏe đàn lợn. So với các mô hình truyền thống, 1D-CNN không chỉ cải thiện độ chính xác mà còn đạt sự cân bằng tốt giữa Precision và Recall.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã phát triển và thử nghiệm hệ thống giám sát nhiệt độ tự động ManTemp dành cho chăn nuôi lợn, sử dụng cảm biến thể tai và kết nối Bluetooth sóng ngắn (BLE). Kết quả cho thấy, hệ thống ManTemp có khả năng đo lường và truyền tải dữ liệu nhiệt độ chính xác, hiệu quả trong việc phát hiện các bất thường về nhiệt độ cơ thể của lợn.

Các thuật toán học máy được áp dụng, bao gồm PCA-SVC, PCA-Decision tree, PCA-Random forest và 1D-CNN, đã được đánh giá dựa trên các chỉ tiêu độ chính xác, precision, recall và F1-score. Trong đó, 1D-CNN đã chứng minh là mô hình hiệu quả nhất với độ chính xác 96,6%, vượt trội so với các mô hình khác. Điều này khẳng định tiềm năng của 1D-CNN trong việc xử lý dữ liệu chuỗi thời gian, giúp phát hiện sớm các bất thường và các dấu hiệu bệnh tật.

Hệ thống ManTemp không chỉ là một bước tiến trong việc ứng dụng công nghệ vào chăn nuôi mà còn mở ra nhiều cơ hội mới để xây dựng một nền nông nghiệp thông minh. Việc kết hợp giữa công nghệ cảm biến và các thuật toán học máy trong giám sát sức khỏe lợn, mở ra hướng đi mới trong việc áp dụng công nghệ số vào nông nghiệp. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng phạm vi ứng dụng sang các loại vật nuôi khác và tiếp tục tối ưu hóa các mô hình học máy để nâng cao hiệu suất dự đoán.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam trong đề tài mã số CN4000.01/21-23. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. Wang, R. Madera, Y. Li, et al. (2020), "Recent advances in the diagnosis of classical swine fever and future perspectives", *Pathogens*, **9**(8), DOI: 10.3390/pathogens9080658.
- [2] M. Stewart, J.R. Webster, G.A. Verkerk, et al. (2007), "Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography", *Physiol. Behav.*, **92**(3), pp.520-525, DOI: 10.1016/j.physbeh.2007.04.034.
- [3] K.A. Herborn, J.L. Graves, P. Jerem, et al. (2015), "Skin temperature reveals the intensity of acute stress", *Physiol. Behav.*, **152**, pp.225-230, DOI: 10.1016/j.physbeh.2015.09.032.
- [4] R. Heydon (2012), *Bluetooth Low Energy - The Developer's Handbook*, Prentice Hall, 368pp.
- [5] B. Savoini, J. Bertolaccini, S. Montavon, et al. (2025), "Convolutional neural network for early detection of lameness and irregularity in horses using an IMU sensor", *arXiv*, DOI: 10.48550/arXiv.2503.13578.
- [6] Y. Kim, S. Lee, D. Park (2019), "Health status classification of pigs using random forest algorithm", *Animal Bioscience*, **32**(9), pp.1377-1383.