

**TRÍ TUỆ NHÂN TẠO VẠN VẬT (AIOT):
KIẾN TRÚC, ỨNG DỤNG VÀ XU HƯỚNG CÔNG NGHỆ**

Nguyễn Quốc Dũng

Phan Thị Gấm

Nguyễn Thị Duyên

Trường Đại học Hà Tĩnh

Email: dung.nguyenquoc@htu.edu.vn

Ngày nhận bài (received): 03/09/2025

Ngày nhận bài sửa (revised): 22/9/2025

Ngày nhận đăng (accepted): 01/10/2025

Tóm tắt

Trí tuệ nhân tạo vạn vật (AIoT) là sự kết hợp giữa Trí tuệ nhân tạo (AI) và Internet vạn vật (IoT), tạo nên một hệ thống kết nối thông minh có khả năng thu thập, phân tích, học hỏi và ra quyết định. Sự hội tụ này mở ra nhiều cơ hội trong nhiều lĩnh vực như y tế, công nghiệp, nông nghiệp, giao thông và đô thị thông minh. Tuy nhiên, việc triển khai AIoT cũng đối mặt với nhiều thách thức về kiến trúc hệ thống phức tạp, tối ưu hóa tài nguyên và bảo mật. Bài báo này trình bày tổng quan các nghiên cứu về AIoT và xu hướng phát triển, giúp định hướng nghiên cứu, ứng dụng về AIoT trong tương lai.

Từ khóa: IoT, AI, AIoT, bảo mật, điện toán biên, 5G.

Artificial Intelligence of Things (AIoT):

Architecture, Applications, and Technology Trends

Abstract

Artificial Intelligence of Things (AIoT) is the integration of Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT), resulting in an intelligent, connected system that can collect, analyze, and respond to data in real-time. This convergence presents numerous opportunities across various fields, including healthcare, industry, agriculture, transportation, and smart cities. However, the implementation of AIoT also faces significant challenges related to complex system architecture, resource optimization, and security. This paper provides an overview of AIoT research and development trends, thereby offering guidance for future research and applications of AIoT.

Keywords: IoT, AI, AIoT, Edge Computing, 5G.

1. Giới thiệu

Sự kết hợp giữa Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI) và Internet vạn vật (Internet of Things - IoT), được gọi chung là AIoT (Artificial Intelligence of Things), đang tạo ra một làn sóng đổi mới trong nhiều lĩnh vực công nghệ và công nghiệp. AIoT không chỉ giúp các thiết bị IoT đơn lẻ kết nối thông minh hơn mà còn cải thiện hiệu quả vận hành hệ

thông, nâng cao khả năng tự động hóa, dự đoán, ra quyết định và thích ứng theo thời gian thực [S. I. Siam et al].

Theo tài liệu [S. I. Siam et al], AIoT được định nghĩa là một hệ thống tích hợp trong đó AI đóng vai trò như bộ não xử lý và phân tích, trong khi IoT cung cấp dữ liệu đầu vào thông qua cảm biến và thực thi thông qua thiết bị kết nối. Mô hình này cho phép chuyển đổi dữ liệu lớn (big data) từ các thiết bị IoT thành tri thức có thể hành động thông qua các thuật toán học máy, học sâu và trí tuệ tăng cường (Augmented intelligence). Những tiến bộ trong khả năng tính toán tại biên (Edge computing), học liên kết (Federated learning), và tối ưu đa tầng đang tạo ra các hệ thống AIoT hiệu quả về tài nguyên, vận hành và chi phí [S. Liu et al.].

Ngày nay, AIoT đã chứng minh giá trị của mình trong nhiều lĩnh vực, từ thành phố thông minh, y tế số, sản xuất thông minh, đến nông nghiệp công nghệ cao và quản lý năng lượng. Một trong những điểm mạnh nổi bật của AIoT là khả năng ra quyết định tự động dựa trên dữ liệu thực tế và môi trường thay đổi liên tục. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh số hóa công nghiệp (Industry 4.0) và các hệ thống mạng vật lý (Cyber-Physical Systems - CPS) [J. Zhang and D. Tao].

Tuy nhiên, nghiên cứu và ứng dụng AIoT cũng đối mặt với nhiều thách thức từ việc đảm bảo an toàn và bảo mật cho dữ liệu cá nhân, đến tối ưu hóa hiệu suất xử lý, thiết bị giới hạn tài nguyên [S. Liu et al.]. Ngoài ra, vẫn còn khoảng cách lớn giữa khả năng xử lý AI mạnh mẽ tại trung tâm dữ liệu và yêu cầu tính toán tại thiết bị biên [J. Zhang and D. Tao]. Vì vậy, AIoT đang trở thành một trong những hướng nghiên cứu và ứng dụng quan trọng trong công nghệ số hiện đại [IEEE AIoT 2025 Conference]. Với sự phát triển nhanh chóng của cả AI và IoT, AIoT hứa hẹn sự hội tụ công nghệ của trí tuệ nhân tạo vào các hệ thống vật lý, đóng góp mạnh mẽ cho một xã hội thông minh và kết nối toàn diện.

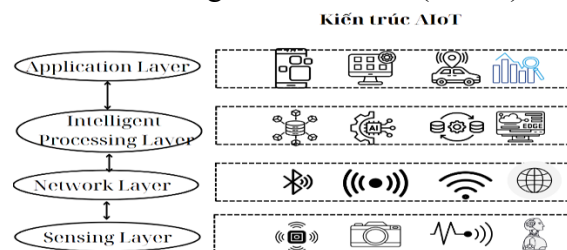
Bài báo được trình bày bao gồm phần tổng quan, phần 2 nghiên cứu và ứng dụng liên quan AIoT, phần 3 xu hướng nghiên cứu và ứng dụng, phần kết luận sau cùng.

2. Nghiên cứu và ứng dụng liên quan AIoT

2.1. Kiến trúc và sự hội tụ công nghệ

Kiến trúc tổng quan của hệ thống AIoT

Theo nhiều nghiên cứu [S. I. Siam et al.], [S. Liu et al.], kiến trúc tổng thể của AIoT thường được phân chia thành bốn tầng chính như sau (hình 1):



Hình 1. Kiến trúc mô hình trí tuệ nhân tạo vạn vật (AIoT)

Tầng cảm biến và thu thập dữ liệu (Perception Layer): Bao gồm các thiết bị IoT như cảm biến, camera, RFID, thiết bị đeo, robot, ... có chức năng thu thập dữ liệu từ môi trường vật lý. Các dữ liệu này có thể ở nhiều dạng như tín hiệu số, hình ảnh, âm thanh, vị trí và nhiệt độ.

Tầng mạng và truyền thông (Network Layer): Dữ liệu được truyền tải qua các giao thức mạng như Wi-Fi, ZigBee, 5G hoặc LPWAN đến các thiết bị xử lý trung gian hoặc đám mây. Mạng trong AIoT cần đáp ứng yêu cầu độ trễ thấp, tốc độ truyền cao và đảm bảo an toàn thông tin.

Tầng xử lý thông minh (Intelligent Processing Layer): Đây là tầng tích hợp các công nghệ AI (như học sâu, học tăng cường, học máy tự giám sát) để phân tích, dự đoán và ra quyết định. Việc xử lý có thể diễn ra trên thiết bị biên (Edge computing), hoặc đám mây (Cloud computing) tùy vào yêu cầu độ trễ của hệ thống và tài nguyên phân cứng [S. Liu et al.].

Tầng ứng dụng (Application Layer): là giao diện ứng dụng, tương tác, thực thi các kết quả suy luận AI được ứng dụng trong các lĩnh vực cụ thể như chăm sóc sức khỏe, giám sát giao thông, tự động hóa công nghiệp...

Sự hội tụ công nghệ trong AIoT

AIoT không chỉ là sự tích hợp giữa AI và IoT mà còn là sự hội tụ của nhiều công nghệ tiên tiến khác nhằm mở rộng khả năng cảm nhận, xử lý và hành động của hệ thống. Một số công nghệ phổ biến bao gồm:

Điện toán biên (Edge Computing) và điện toán sương (Fog Computing): Cho phép xử lý dữ liệu tại nơi dữ liệu được phát sinh hoặc gần nguồn phát sinh thay vì gửi tất cả dữ liệu về máy chủ để xử lý, giúp giảm chi phí, độ trễ, băng thông truyền tải, đồng thời tăng tính riêng tư [S. Liu et al.]. Ứng dụng điển hình như Camera an ninh thông minh (CCTV AI-based) có khả năng xử lý hình ảnh trực tiếp tại thiết bị hoặc gateway.

Trong các mô hình AI dựa trên kỹ thuật học máy, học sâu, mô hình học máy TinyML (Tiny Machine Learning) hỗ trợ triển khai các mô hình AI trực tiếp trên thiết bị IoT. Điều này đáp ứng yêu cầu về hiệu năng và tài nguyên hạn chế, phù hợp với các ứng dụng AIoT phổ biến [Y. Wang et al.] (Bảng 1). Một ứng dụng điển hình như Thiết bị đeo thông minh (smartwatch).

Bảng 1. Bảng so sánh một số mô hình AI ứng dụng trong IoT

Mô hình AI	Ứng dụng chính trong IoT	Độ phức tạp
Machine Learning	Dự đoán, phân loại, giám sát	Trung bình
Deep Learning	Xử lý ảnh, video, âm thanh phức tạp	Cao
Reinforcement Learning	Tối ưu hành động, điều khiển thông minh	Cao
Federated Learning	Học bảo mật, phi tập trung	Trung bình - cao
TinyML	Nhúng AI vào thiết bị nhỏ, ngoại tuyến	Thấp - trung bình

Công nghệ mạng thế hệ mới (5G/6G): Cung cấp tốc độ truyền tải cao và độ trễ thấp, hỗ trợ các ứng dụng thời gian thực, nhà máy thông minh [M. Agiwal, H. Jin, and H. Min].

Ứng dụng điển hình như xe tự hành (autonomous vehicles) trao đổi dữ liệu cảm biến với trung tâm điều khiển trong thời gian thực thông qua 5G/6G.

Chuỗi khối (Blockchain): Được tích hợp để tăng tính minh bạch, bảo mật và khả năng truy xuất nguồn gốc trong các hệ thống AIoT phân tán [M. S. Ferdous et al.]. Ứng dụng truy xuất nguồn gốc nông sản xuất khẩu.

Điện toán nhận thức (Cognitive Computing): Khi kết hợp với AIoT, hệ thống không chỉ phản ứng mà còn học hỏi từ môi trường để đưa ra các hành vi thích ứng theo thời gian [J. Liu and K. Wang]. Ví dụ như các hệ thống quản lý năng lượng thông minh trong tòa nhà có khả năng học từ hành vi sử dụng điện của cư dân để tự động điều chỉnh điều hòa, chiếu sáng.

Trong bối cảnh cơ sở hạ tầng mạng có sẵn, các thiết bị công nghệ thông minh giá rẻ như hiện nay, các công nghệ Edge/Fog Computing, TinyML, Blockchain hoàn toàn có thể được triển khai hiệu các ứng dụng AIoT trong Nông nghiệp, Giám sát thông minh, truy xuất nguồn gốc. Sự hội tụ này không chỉ thúc đẩy khả năng xử lý thông minh phân tán mà còn giúp hệ thống thích nghi nhanh với môi trường phức tạp và không ổn định - một đặc điểm nổi bật của các ứng dụng AIoT.

2.2. Ứng dụng

Sự kết hợp giữa AI và IoT đã mở ra nhiều cơ hội ứng dụng thực tiễn vượt trội trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong cách mạng công nghiệp 4.0. Dưới đây là các nhóm ứng dụng AIoT tiêu biểu đã và đang được triển khai trên quy mô toàn cầu:

- Thành phố thông minh (Smart City)

AIoT đóng vai trò cốt lõi trong việc nâng cao năng lực quản lý đô thị thông minh. Các hệ thống như giám sát giao thông thông minh, điều khiển đèn tín hiệu thích ứng thời gian thực, và phân tích hành vi đám đông được triển khai tại nhiều thành phố lớn như Singapore, Barcelona và Thượng Hải [S. I. Siam et al.].

AI giúp phân tích dữ liệu từ các thiết bị IoT như camera, cảm biến đường phố, cảm biến không khí để dự đoán ùn tắc, cảnh báo ô nhiễm và tối ưu hóa vận hành giao thông đô thị. Tuy nhiên, chi phí hạ tầng, bảo vệ quyền riêng tư, tích hợp và xử lý dữ liệu lớn đang là thách thức chính cho phát triển Thành phố thông minh.

- Y tế thông minh (Smart Healthcare)

AIoT đang chuyển đổi mô hình chăm sóc sức khỏe truyền thống sang y tế dự phòng và giám sát liên tục. Thiết bị đeo (wearables) tích hợp AI có thể theo dõi nhịp tim, huyết áp, chỉ số stress theo thời gian thực và cảnh báo sớm nguy cơ bệnh lý [S. Liu et al.].

Hệ thống AI tại bệnh viện sử dụng dữ liệu từ IoT để hỗ trợ chẩn đoán hình ảnh, quản lý bệnh nhân, và tối ưu hóa lịch trình phòng mổ. Ví dụ, IBM Watson Health đã triển khai AI hỗ trợ đọc ảnh MRI và CT trong nhiều bệnh viện lớn [IBM Watson Health]. Thách thức lớn nhất cho các ứng dụng Y tế thông minh là độ chính xác, xác thực của các thiết bị theo dõi giám sát, và khó đồng bộ tại các cơ sở vùng sâu, vùng xa.

- *Nông nghiệp thông minh (Smart Agriculture)*

Trong lĩnh vực nông nghiệp, AIoT được sử dụng để phân tích dữ liệu cảm biến môi trường như độ ẩm, ánh sáng, pH đất kết hợp với ảnh chụp từ drone hoặc vệ tinh để dự đoán sâu bệnh, tối ưu hóa tưới tiêu và tăng năng suất mùa vụ [A. Ray et al.].

Một hệ thống "Precision Farming" do John Deere phát triển, ứng dụng AIoT để tự động hóa thiết bị nông nghiệp và tối ưu hóa đầu vào nông nghiệp theo từng vùng đất cụ thể [D. John]. Thách thức lớn hiện nay là chi phí thiết bị IoT cao, hạ tầng kết nối mạng tại các vùng và trang trại.

- *Công nghiệp thông minh (Smart Manufacturing)*

AIoT là thành phần cốt lõi của công nghiệp 4.0, trong đó các máy móc, robot và dây chuyền sản xuất được kết nối và điều khiển thông minh. Hệ thống AI có thể phát hiện bất thường từ dữ liệu cảm biến, cảnh báo bảo trì sớm, dự đoán lỗi thiết bị, giảm thời gian dừng máy [M. M. Hassan et al.].

Hãng Siemens và General Electric đã triển khai các nền tảng AIoT như MindSphere và Predix để giám sát và tối ưu hóa hiệu suất nhà máy theo thời gian thực. Tuy nhiên hiện nay, tích hợp các hệ thống cũ, bảo mật dữ liệu, nhân lực vận hành đang là thách thức lớn trong các ứng dụng Công nghiệp thông minh.

- *Nhà thông minh (Smart Home)*

AIoT giúp tự động hóa các chức năng trong ngôi nhà như điều khiển ánh sáng, nhiệt độ, an ninh và các thiết bị điện tử. Trợ lý ảo tích hợp AI như Amazon Alexa, Google Assistant là trung tâm điều khiển trong nhà thông minh [Google Nest].

Các hệ thống AI học thói quen sinh hoạt để tự điều chỉnh theo người dùng như bật điều hòa trước khi về nhà, nhắc nhở lịch trình hoặc phát hiện rò rỉ nước và khói bất thường. Thách thức lớn trong các hệ thống nhà thông minh là bảo mật dữ liệu, khả năng ổn định khi mất kết nối.

- *Giao thông thông minh và xe tự hành (Smart Mobility)*

Xe tự hành là ví dụ điển hình cho sự hội tụ của AI và IoT. Dữ liệu từ radar, camera, GPS và cảm biến lidar được xử lý bởi AI để giúp phương tiện tự định vị, tránh va chạm và điều hướng chính xác. Tesla, Waymo và Baidu là những đơn vị tiên phong trong triển khai AIoT cho xe tự lái [Waymo].

Ngoài ra, các hệ thống giao thông công cộng cũng sử dụng AIoT để phân tích dòng người và tối ưu hóa lịch trình phương tiện. Thách thức hiện nay là an toàn và độ tin cậy, công nghệ kết nối, tính pháp lý và sự phức tạp của môi trường giao thông.

2.3. Thách thức

Mặc dù AIoT hứa hẹn mang lại nhiều đột phá trong các lĩnh vực công nghiệp và dân sinh, nhưng việc triển khai rộng rãi và hiệu quả công nghệ này vẫn còn đối mặt với nhiều thách thức kỹ thuật, bảo mật, đạo đức và pháp lý.

Hạn chế về tài nguyên tại thiết bị biên: Phần lớn các thiết bị IoT có năng lực tính toán, bộ nhớ và dung lượng pin hạn chế. Việc triển khai các mô hình AI phức tạp trên các thiết bị này đòi hỏi các phương pháp tối ưu hóa mô hình, như học máy nhẹ (TinyML) và suy luận tại biên (edge inference), để đảm bảo hiệu suất và tiết kiệm năng lượng [S. Liu et al.].

Bảo mật và quyền riêng tư dữ liệu: AIoT xử lý lượng lớn dữ liệu nhạy cảm, bao gồm dữ liệu sinh trắc học và hành vi người dùng. Việc bảo vệ dữ liệu này khỏi các mối đe dọa an ninh mạng và đảm bảo quyền riêng tư là một thách thức lớn. Các phương pháp như học liên kết (federated learning) và học máy bảo vệ quyền riêng tư (privacy-preserving ML) đang được nghiên cứu để giải quyết vấn đề này [J. Zhang and D. Tao].

Thiếu tiêu chuẩn và khả năng tương tác: Hệ sinh thái AIoT hiện nay rất đa dạng với nhiều thiết bị và giao thức khác nhau, dẫn đến thiếu sự tương thích và khả năng tương tác giữa các hệ thống. Việc phát triển các tiêu chuẩn chung và khung kiến trúc mở là cần thiết để đảm bảo sự tích hợp hiệu quả và mở rộng của các hệ thống AIoT [IEEE AIoT 2025 Conference].

Thiếu dữ liệu chất lượng cao cho huấn luyện AI: Mặc dù AIoT thu thập dữ liệu phong phú, nhưng phần lớn dữ liệu này thường không được gắn nhãn, bị nhiễu hoặc không đồng nhất. Điều này gây khó khăn cho việc huấn luyện các mô hình AI chính xác và đáng tin cậy. Các phương pháp học không giám sát và học bán giám sát đang được nghiên cứu để tận dụng dữ liệu chưa gắn nhãn [V. Dankan Gowda and M. Kaur].

Đạo đức và trách nhiệm pháp lý của AIoT: Việc triển khai AIoT trong các lĩnh vực nhạy cảm như y tế và giao thông đặt ra các câu hỏi về đạo đức và trách nhiệm pháp lý. Cần có các khung pháp lý rõ ràng và các hệ thống AI có khả năng giải thích (explainable AI) để đảm bảo tính minh bạch và trách nhiệm trong các quyết định do AI đưa ra [J. Yan].

3. Xu hướng công nghệ

Nhiều định hướng nghiên cứu và ứng dụng tiên tiến đang được đề xuất và triển khai nhằm khai thác tối đa tiềm năng của AIoT trong các hệ thống thông minh thế hệ mới. Dưới đây là một số xu hướng công nghệ nổi bật:

3.1. AIoT siêu nhẹ (Tiny AIoT)

Việc triển khai AI trên các thiết bị IoT với tài nguyên hạn chế (như bộ vi xử lý nhỏ, pin yếu) đang trở thành một ưu tiên. Các mô hình TinyML - học máy siêu nhẹ - đang được tích hợp vào cảm biến, thiết bị đeo và camera thông minh [L. Deng and Y. Zhang].

Ví dụ, Google Edge TPU và NVIDIA Jetson Nano đã hỗ trợ huấn luyện và suy luận mô hình AI trực tiếp trên thiết bị với độ trễ thấp và không cần kết nối mạng thường xuyên.

3.2. Học máy liên kết (Federated Learning) cho AIoT

Để giải quyết vấn đề bảo mật và quyền riêng tư trong môi trường IoT phân tán, Federated Learning (FL) đang được triển khai rộng rãi. FL cho phép đào tạo mô hình AI từ nhiều thiết bị IoT mà không cần truyền dữ liệu về trung tâm [Y. Wang et al.].

Hệ thống này đã được thử nghiệm trong chăm sóc sức khỏe và xe tự hành, nơi dữ liệu nhạy cảm không thể chia sẻ trực tiếp giữa các bên.

3.3. Tích hợp mạng 5G/6G và AIoT

Sự phát triển của mạng 5G và chuẩn bị cho 6G là nền tảng hạ tầng quan trọng để mở rộng AIoT. Nhờ tốc độ truyền tải cao, độ trễ thấp và khả năng kết nối hàng triệu thiết bị, mạng thế hệ mới sẽ cho phép triển khai các ứng dụng AIoT thời gian thực như robot cộng tác, phẫu thuật từ xa, hay xe tự hành [H. Tataria et al.].

3.4. AIoT với Blockchain và bảo mật thông minh

Sự gia tăng kết nối trong AIoT làm gia tăng nguy cơ tấn công mạng. Do đó, việc tích hợp công nghệ blockchain giúp đảm bảo tính minh bạch, bất biến và phân quyền trong lưu trữ - chia sẻ dữ liệu giữa các thiết bị IoT [M. S. Ferdous et al.]. Ngoài ra, các phương pháp AI được sử dụng để phát hiện bất thường và phản ứng sớm với mối đe dọa an ninh mạng trong hệ sinh thái AIoT.

3.5. AIoT hướng đến tính bền vững (Sustainable AIoT)

Tính năng tiết kiệm năng lượng và thân thiện với môi trường đang được tích hợp trong thiết kế hệ thống AIoT. Các nghiên cứu tập trung vào việc giảm mức tiêu thụ năng lượng của cả phần cứng (vi xử lý, mạng) và phần mềm (mô hình AI) nhằm hướng đến các mục tiêu phát triển bền vững [S. Liu et al.].

3.6. Tự động hóa tự thích nghi (Autonomous and Adaptive AIoT)

Hệ thống AIoT thế hệ mới không chỉ phản ứng theo luật cố định mà có thể tự học hỏi từ dữ liệu thời gian thực, điều chỉnh hành vi, và ra quyết định trong môi trường thay đổi. Điều này đặt nền móng cho AIoT tự hành, áp dụng trong xe tự lái, nhà máy tự động, hoặc mạng năng lượng tự tối ưu [J. Liu and K. Wang].

3.7. Lộ trình phát triển công nghệ và khuyến nghị

Mặc dù các xu hướng công nghệ AIoT mang đến tiềm năng to lớn, việc hiện thực hóa chúng trong thực tiễn vẫn gặp nhiều thách thức: Giới hạn hạ tầng và phần cứng; Chi phí triển khai; Nguy cơ an ninh mạng nâng cao; Tính bền vững và Khoảng cách nhân lực công nghệ.

Để khắc phục những thách thức trên, bài báo đề xuất những lộ trình phát triển rõ ràng như sau:

- Phát triển công nghệ AIoT nhẹ và xanh, hợp tác quốc tế và xây dựng hệ sinh thái khởi nghiệp AIoT theo xu hướng phát triển và định hướng hiện nay;
- Đầu tư hạ tầng chiến lược: Ưu tiên triển khai 5G/6G và edge computing ở các khu công nghiệp, đô thị thông minh;

- Tăng cường bảo mật thông minh: Kết hợp blockchain, AI phát hiện bất thường, và các mô hình học máy bảo vệ quyền riêng tư;
- Chuẩn hóa và xây dựng khung pháp lý: Xây dựng tiêu chuẩn chung, đồng thời thiết lập hành lang pháp lý minh bạch cho các ứng dụng trong y tế, giao thông, công nghiệp;
- Đào tạo và phổ biến công nghệ: Trang bị kiến thức AIoT cho kỹ sư, nhà quản lý và cộng đồng để tăng khả năng tiếp cận và ứng dụng.

4. Kết luận

AIoT là xu hướng tất yếu trong việc thiết kế các hệ thống thông minh kết hợp Trí tuệ nhân tạo và Mạng vạn vật. AIoT mở ra nhiều cơ hội trải nghiệm cho người dùng trên nhiều lĩnh vực trong cuộc sống. Tuy nhiên, việc triển khai còn đối mặt nhiều khó khăn như tài nguyên phần cứng, tốc độ tính toán, bảo mật, tích hợp và đồng bộ. Các nghiên cứu tương lai cần tập trung vào việc đơn giản hóa hệ thống, tích hợp các công nghệ tiên tiến, bền vững và tính bảo mật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- S. I. Siam et al., "Artificial Intelligence of Things: A Survey," arXiv preprint arXiv:2410.19998, Oct. 2024.
- S. Liu et al., "Enabling Resource-efficient AIoT System with Cross-level Optimization: A survey," arXiv preprint arXiv:2309.15467, Sep. 2023.
- J. Zhang and D. Tao, "Empowering Things with Intelligence: A Survey of the Progress, Challenges, and Opportunities in Artificial Intelligence of Things," arXiv preprint arXiv:2011.08612, Nov. 2020.
- IEEE AIoT 2025 Conference, "Call for Papers," [Online]. Available: <https://www.ieee-aiot.org/2025/cf-papers.php>
- Y. Wang et al., "Federated Learning for Internet of Things: A Federated Learning Framework for On-Device Machine Learning," IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 12, pp. 11154-11166, Dec. 2020.
- M. Agiwal, H. Jin, and H. Min, "Next Generation Wireless Networks for AIoT: Opportunities and Challenges," IEEE Wireless Communications, vol. 28, no. 3, pp. 10-17, Jun. 2021.
- M. S. Ferdous, M. Chowdhury, and R. Ranjan, "Blockchain for AIoT: A Decentralized and Trustworthy Framework for the Internet of Intelligent Things," Future Generation Computer Systems, vol. 107, pp. 583-606, Jun. 2020.
- J. Liu and K. Wang, "Cognitive AIoT: Concepts, Architecture and Applications," IEEE Network, vol. 36, no. 4, pp. 8-14, Jul.-Aug. 2022.

- IBM Watson Health, "Transforming Healthcare with AI and IoT," [Online]. Available: <https://www.ibm.com/watson-health>
- A. Ray et al., "AIoT Applications in Smart Agriculture: A Review," *Future Internet*, vol. 13, no. 3, pp. 62-78, 2021.
- D. John, "Precision Ag Technology," [Online]. Available: <https://www.deere.com/en/technology-products/>
- M. M. Hassan et al., "AIoT for Smart Manufacturing: Architectures, Applications, and Challenges," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 6, pp. 4100-4113, Jun. 2021.
- Google Nest, "Smart Home with Google AI," [Online]. Available: <https://store.google.com/>
- Waymo, "How AI and IoT Drive Our Self-Driving Technology," [Online]. Available: <https://waymo.com/>
- V. Dankan Gowda and M. Kaur, "AIoT Integration: Advancements and Challenges in Smart Sensing Technologies for Smart Devices," *ResearchGate*, 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/378049431>
- J. Yan, "AIoT in Smart Homes: Challenges, Strategic Solutions, and Future Directions," *ResearchGate*, 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/381533022>
- L. Deng and Y. Zhang, "TinyML for AIoT Devices: Techniques and Applications," *IEEE Internet of Things Magazine*, vol. 4, no. 1, pp. 22-27, Mar. 2021.
- H. Tataria et al., "6G Wireless Systems: Vision, Requirements, Challenges, Insights and Opportunities," *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 7, pp. 1166-1199, Jul. 2021.
- M. S. Ferdous et al., "Blockchain for AIoT: A Decentralized and Trustworthy Framework for the Internet of Intelligent Things," *Future Generation Computer Systems*, vol. 107, pp. 583-606, Jun. 2020.
- J. Liu and K. Wang, "Cognitive AIoT: Concepts, Architecture and Applications," *IEEE Network*, vol. 36, no. 4, pp. 8-14, Jul.-Aug. 2022.