

Vai trò của Internet of Things (IoT) trong giám sát bảo quản thuốc trong logistics dược phẩm

Giang Hào Côn*, Nguyễn Ngọc Trung**

Trung Tâm Tin học, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh

*ghcon@ntt.edu.vn, **nntrung@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Trong bối cảnh chuyển đổi số, việc ứng dụng Internet of Things (IoT) vào quản lý chuỗi cung ứng và giám sát bảo quản dược phẩm là xu hướng tất yếu nhằm nâng cao chất lượng và tính minh bạch. Nghiên cứu này đánh giá vai trò của IoT trong việc kiểm soát các yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định của thuốc như nhiệt độ, độ ẩm, rung động và thời gian vận chuyển. Phương pháp nghiên cứu kết hợp tổng quan tài liệu và thử nghiệm mô phỏng hệ thống cảm biến IoT kết nối đám mây. Các thiết bị cảm biến và GPS được gắn trực tiếp vào lô hàng để ghi nhận dữ liệu thời gian thực. Thông qua thuật toán phát hiện bất thường, hệ thống có thể đưa ra cảnh báo sớm về các vi phạm điều kiện bảo quản trong suốt quá trình logistics. Kết quả dự kiến cho thấy giải pháp IoT giúp giảm (30-40) % rủi ro hư hỏng thuốc, đồng thời tăng khả năng truy xuất nguồn gốc sản phẩm. Mô hình giám sát thông minh này còn hỗ trợ tối ưu hóa quản lý kho lạnh, tiết kiệm chi phí vận hành và nâng cao năng lực kiểm soát chất lượng cho doanh nghiệp lẫn cơ quan quản lý.

Nhận 02/11/2025

Được duyệt 24/01/2026

Công bố 28/01/2026

Từ khóa

Internet of Things (IoT), logistics dược phẩm, giám sát bảo quản thuốc, chuỗi cung ứng thông minh, chuyển đổi số, quản lý chất lượng dược phẩm.

© 2026 Journal of Science and Technology - NTTU

1 Đặt vấn đề

1.1 Bối cảnh và vấn đề nghiên cứu

Những năm gần đây, sự phát triển nhanh chóng của công nghệ số, đặc biệt là Internet of Things (IoT), đã mở ra những cơ hội mới cho ngành công nghiệp dược phẩm toàn cầu. IoT cho phép kết nối, thu thập và phân tích dữ liệu từ các thiết bị cảm biến, giúp nâng cao hiệu quả quản lý trong toàn bộ chuỗi cung ứng - từ sản xuất, lưu kho, vận chuyển đến phân phối thuốc tới người tiêu dùng. Trong lĩnh vực logistics dược phẩm, yếu tố bảo quản và vận chuyển an toàn đóng vai trò then chốt, bởi chỉ cần sai lệch nhỏ về nhiệt độ, độ ẩm hoặc rung động có thể làm suy giảm chất lượng, hiệu lực hoặc thậm chí

gây nguy hiểm cho người bệnh khi sử dụng thuốc. Trong bối cảnh Công nghiệp 4.0 đang lan tỏa mạnh mẽ, IoT đã trở thành một trong những trụ cột quan trọng thúc đẩy quá trình chuyển đổi số trong ngành y tế và dược phẩm [1, 2]. IoT cho phép kết nối hàng tỷ thiết bị, cảm biến và hệ thống dữ liệu, giúp thu thập, truyền tải và phân tích thông tin theo thời gian thực [3]. Trong logistics dược phẩm, việc giám sát liên tục các điều kiện bảo quản và vận chuyển thuốc có ý nghĩa then chốt trong việc đảm bảo chất lượng, an toàn và tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế [4].

Các sản phẩm dược phẩm thường nhạy cảm với yếu tố môi trường như nhiệt độ và độ ẩm. Nếu điều kiện bảo quản không phù hợp, thuốc có thể bị giảm hiệu lực,

thay đổi cấu trúc hóa học hoặc gây tác dụng phụ nguy hiểm [5, 6]. Theo các nghiên cứu quốc tế, hơn 20 % thuốc sinh học và vaccine bị hư hại trong quá trình vận chuyển do kiểm soát nhiệt độ kém [7]. Điều này gây thiệt hại đáng kể cho ngành dược, đồng thời ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe cộng đồng.

Theo thống kê của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), khoảng 25 % dược phẩm trên thế giới bị hư hỏng do điều kiện bảo quản không đạt chuẩn, đặc biệt trong khâu vận chuyển. Tại Việt Nam, mặc dù các quy định như Thực hành tốt phân phối thuốc (GDP) đã được áp dụng, việc giám sát thủ công hoặc bán tự động vẫn phổ biến, dẫn đến khó khăn trong việc kiểm soát thời gian thực và truy xuất nguyên nhân khi có sự cố. Do đó, ứng dụng công nghệ IoT trở thành hướng đi tất yếu nhằm hiện đại hóa hoạt động logistics dược phẩm, đảm bảo chất lượng thuốc, đồng thời tăng tính minh bạch và tuân thủ quy định quản lý dược.

1.2 Khoảng trống nghiên cứu và nhu cầu thực tiễn

Trên thế giới, nhiều công trình nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của hệ thống IoT trong giám sát chuỗi lạnh dược phẩm (pharmaceutical cold chain monitoring), giúp giảm tổn thất và nâng cao khả năng truy xuất dữ liệu môi trường theo thời gian thực. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu chuyên sâu về mô hình ứng dụng IoT trong logistics dược phẩm còn hạn chế, chủ yếu tập trung vào lĩnh vực nông sản hoặc thực phẩm. Việc thiếu dữ liệu thực nghiệm và mô hình đánh giá hiệu quả triển khai IoT trong điều kiện hạ tầng Việt Nam là một khoảng trống nghiên cứu đáng kể.

Ngoài ra, phần lớn các doanh nghiệp dược vừa và nhỏ đang đối mặt với rào cản về chi phí đầu tư, chuẩn hóa dữ liệu và tích hợp hệ thống quản lý hiện hành (ERP, WMS). Vì vậy, cần có các nghiên cứu mang tính định hướng và thử nghiệm thực tế nhằm chứng minh tính khả thi, hiệu quả và lợi ích lâu dài của việc ứng dụng IoT trong giám sát bảo quản thuốc.

1.3 Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện với các mục tiêu chính: phân tích vai trò và tiềm năng của công nghệ IoT trong quản lý và giám sát bảo quản thuốc trong chuỗi logistics dược phẩm. Đề xuất mô hình ứng dụng IoT tích hợp cảm biến môi trường và nền tảng dữ liệu đám mây để theo dõi điều kiện bảo quản thuốc theo thời gian thực. Đánh giá hiệu quả dự kiến của mô hình thông qua các chỉ tiêu: độ chính xác, tính ổn định, khả năng cảnh báo sớm và lợi ích kinh tế – xã hội.

1.4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Việc ứng dụng IoT vào giám sát bảo quản thuốc không chỉ giúp kiểm soát nhiệt độ trong thời gian thực, mà còn tạo ra chuỗi cung ứng minh bạch nhờ khả năng ghi nhận, phân tích và chia sẻ dữ liệu giữa các bên liên quan [8]. Dữ liệu được thu thập từ các cảm biến thông minh gắn trên thùng chứa hoặc xe vận chuyển sẽ được gửi về nền tảng điện toán đám mây (Cloud) để xử lý và cảnh báo khi có sự cố [9, 10].

Về mặt khoa học, nghiên cứu góp phần làm rõ cơ sở lý luận về ứng dụng IoT trong lĩnh vực logistics dược phẩm, cung cấp bằng chứng thực nghiệm về khả năng tích hợp cảm biến – dữ liệu – phân tích thông minh để kiểm soát chất lượng thuốc.

Về mặt thực tiễn, kết quả nghiên cứu mang lại giá trị trong việc xây dựng hệ thống giám sát tự động, giúp doanh nghiệp dược Việt Nam:

- Đáp ứng tốt hơn các tiêu chuẩn GDP, GSP trong phân phối và bảo quản thuốc.
 - Giảm tổn thất vật chất và rủi ro pháp lý do hư hỏng thuốc.
 - Tăng khả năng truy xuất nguồn gốc và minh bạch dữ liệu chuỗi cung ứng.
 - Góp phần vào chiến lược chuyển đổi số ngành Dược Việt Nam đến năm 2030 theo định hướng của Bộ Y tế.
- Hơn nữa, việc tích hợp IoT với blockchain đang mở ra khả năng truy xuất nguồn gốc thuốc toàn diện, từ khâu sản xuất, vận chuyển, đến phân phối cho người tiêu dùng [11]. Điều này giúp giảm thiểu nguy cơ thuốc giả, thuốc kém chất lượng và đảm bảo tính minh bạch trong toàn bộ hệ thống logistics dược phẩm [12, 13].
- Nhìn chung, nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa trong lĩnh vực công nghệ và quản lý chuỗi cung ứng, mà còn đóng góp trực tiếp vào mục tiêu phát triển ngành Dược thông minh và số hóa, phù hợp với xu thế hội nhập quốc tế.

2 Phương pháp nghiên cứu

2.1 Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu được thiết kế theo hướng nghiên cứu ứng dụng kết hợp mô phỏng thực nghiệm, nhằm đánh giá vai trò và hiệu quả của công nghệ IoT trong giám sát điều kiện bảo quản thuốc trong logistics dược phẩm. Phương pháp tiếp cận gồm hai giai đoạn:

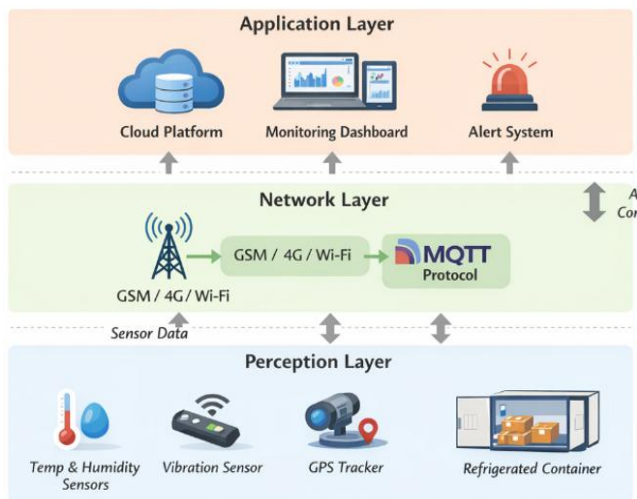
- 1) Tổng quan và phân tích tài liệu (literature review): Thu thập, tổng hợp và đánh giá các nghiên cứu trong và ngoài nước về ứng dụng IoT trong chuỗi cung ứng dược phẩm, đặc biệt ở khâu bảo quản – vận chuyển.

2) Xây dựng mô hình thử nghiệm (prototype model): Thiết kế mô hình IoT thu thập dữ liệu môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, vị trí GPS, rung động), tích hợp với nền tảng điện toán đám mây để lưu trữ, xử lý và cảnh báo.

Phương pháp nghiên cứu kết hợp định tính và định lượng. Phân tích định tính được sử dụng để nhận diện các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả triển khai IoT trong logistics được phẩm, trong khi phân tích định lượng dựa trên dữ liệu thu thập từ mô hình mô phỏng nhằm đánh giá hiệu năng hệ thống.

2.2 Mô hình IoT đề xuất trong giám sát bảo quản thuốc IoT là một hệ thống gồm nhiều thiết bị và cảm biến được kết nối với nhau thông qua Internet để thu thập, trao đổi và xử lý dữ liệu theo thời gian thực [1]. Trong chuỗi logistics được phẩm, IoT giúp hình thành mạng lưới kết nối giữa nhà sản xuất, kho bảo quản, đơn vị vận chuyển và nhà phân phối [2].

Mô hình đề xuất bao gồm ba lớp chính (Three-Layer IoT Architecture):



Hình 1 Kiến trúc IoT ba lớp trong giám sát logistics được phẩm và luồng dữ liệu

- Lớp cảm biến (Perception Layer):

Bao gồm các thiết bị IoT gắn trong thùng hoặc container chứa thuốc như:

- + Cảm biến nhiệt độ (temperature sensor DS18B20 hoặc DHT22).
- + Cảm biến độ ẩm (humidity sensor).
- + Cảm biến rung động (accelerometer MPU6050).
- + Thiết bị định vị GPS (SIM808 hoặc module tương đương). Dữ liệu được thu thập định kỳ 1 phút/lần và truyền đến bộ điều khiển trung tâm (microcontroller ESP32).

- Lớp truyền thông (Network Layer): dữ liệu cảm biến được gửi đến nền tảng đám mây (Cloud Server) thông qua kết nối GSM hoặc Wi-Fi. Giao thức truyền sử dụng MQTT – một giao thức nhẹ, tối ưu cho IoT thời gian thực.

- Lớp ứng dụng (Application Layer):

Nền tảng web/app quản lý được xây dựng nhằm hiển thị dữ liệu theo thời gian thực, cho phép người dùng (doanh nghiệp được, cơ quan quản lý) theo dõi điều kiện bảo quản, truy xuất hành trình vận chuyển, và nhận cảnh báo khi thông số vượt ngưỡng. Công cụ xử lý dữ liệu sử dụng Python (pandas, scikit-learn) và dashboard hiển thị trên Power BI hoặc Grafana.

Nhờ cấu trúc này, IoT giúp hình thành một hệ sinh thái quản lý thuốc thông minh, nơi mọi biến động của điều kiện bảo quản được theo dõi chặt chẽ và ghi nhận tự động [5].

2.3 Tác động của IoT đối với chuỗi cung ứng được phẩm Trong chuỗi logistics được phẩm truyền thống, việc kiểm tra điều kiện bảo quản thường mang tính thủ công và định kỳ. Tuy nhiên, với sự hỗ trợ của IoT, các cảm biến có thể giám sát liên tục nhiệt độ và độ ẩm của thuốc, đồng thời gửi cảnh báo ngay khi phát hiện sai lệch [6]. Điều này giúp giảm thiểu nguy cơ hư hỏng thuốc và tổn thất tài chính [7].

Bên cạnh đó, IoT giúp nâng cao tính minh bạch trong chuỗi cung ứng được phẩm. Mỗi lô thuốc đều có thể được gắn mã định danh và theo dõi vị trí trong suốt quá trình vận chuyển [8]. Kết hợp với công nghệ blockchain, dữ liệu từ các cảm biến IoT sẽ được lưu trữ dưới dạng bản ghi bất biến, không thể chỉnh sửa, đảm bảo tính xác thực và tin cậy của toàn bộ chuỗi dữ liệu [9, 10].

Ngoài ra, trí tuệ nhân tạo (AI) đóng vai trò quan trọng trong việc phân tích dữ liệu IoT để dự đoán rủi ro, phát hiện điểm bất thường và tối ưu hóa tuyến đường vận chuyển [11]. Các thuật toán học máy có thể học từ dữ liệu lịch sử để đưa ra cảnh báo sớm khi điều kiện bảo quản có nguy cơ vượt ngưỡng an toàn [12].

Theo xu hướng toàn cầu, việc kết hợp IoT, Big Data và AI đang trở thành nền tảng công nghệ chủ đạo trong chuỗi cung ứng được phẩm thông minh, giúp tăng tính tự động hóa, giảm chi phí, và nâng cao khả năng truy xuất nguồn gốc thuốc [13].

2.4. Phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu

- Dữ liệu đầu vào:

Dữ liệu môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, rung động, vị trí) được ghi nhận tự động từ hệ thống IoT trong suốt quá trình mô phỏng vận chuyển (5-7) ngày.

Mỗi cảm biến thu thập khoảng (10 000-15 000) bản ghi dữ liệu (records).

- Tiền xử lý dữ liệu:

Dữ liệu được làm sạch bằng kỹ thuật loại bỏ giá trị ngoại lai (outlier detection) và chuẩn hóa (data normalization). Các thông số vượt ngưỡng được tự động gắn nhãn “vi phạm điều kiện bảo quản”.

- Phân tích dữ liệu:

Sử dụng mô hình phát hiện bất thường (Anomaly detection model) dựa trên thuật toán Isolation forest để xác định các giai đoạn rủi ro

Ngoài ra, thống kê mô tả được áp dụng để so sánh tỷ lệ vi phạm bảo quản giữa mô hình có và không có hệ thống IoT hỗ trợ.

- Công cụ nghiên cứu:

+ Phần cứng: ESP32, DHT22, SIM808, cảm biến MPU6050.

+ Phần mềm: Python, Power BI, Grafana, Google Cloud Platform.

+ Ngôn ngữ lập trình và truyền dữ liệu: JSON qua MQTT.

2.5 Tiêu chí đánh giá hiệu quả hệ thống

Để đánh giá tính khả thi và hiệu quả của mô hình IoT, nghiên cứu xác định bốn nhóm chỉ tiêu chính:

1) Độ chính xác và độ ổn định của cảm biến (Sensor reliability):

Đo lường sai số trung bình của cảm biến nhiệt độ và độ ẩm so với thiết bị chuẩn (thermo-hygrometer).

2) Tỷ lệ cảnh báo đúng (Alert precision):

Xác định phần trăm cảnh báo vượt ngưỡng chính xác so với dữ liệu thực tế.

3) Mức độ cải thiện chất lượng bảo quản thuốc:

So sánh tỷ lệ lô thuốc vi phạm điều kiện bảo quản giữa mô hình có IoT và không có IoT. Dự kiến hệ thống giúp giảm (30-40) % rủi ro hư hỏng.

4) Hiệu quả kinh tế - vận hành:

Phân tích chi phí đầu tư ban đầu, chi phí vận hành, và lợi ích tài chính thu được từ việc giảm thất thoát thuốc và tăng hiệu quả quản lý.

2.6 Hạn chế và hướng mở rộng

Do điều kiện nghiên cứu mô phỏng, dữ liệu thu thập trong môi trường thử nghiệm còn hạn chế về quy mô và thời gian. Trong giai đoạn tiếp theo, nhóm nghiên cứu dự kiến triển khai thử nghiệm thực tế tại kho và xe vận chuyển thuốc của doanh nghiệp dược, đồng thời

tích hợp AI vào hệ thống cảnh báo sớm, nhằm hướng tới chuỗi cung ứng được phẩm thông minh và tự động hóa hoàn toàn.

3 Ứng dụng IoT trong giám sát bảo quản thuốc

3.1 Giám sát nhiệt độ và độ ẩm trong kho bảo quản

Trong các kho dược phẩm, nhiệt độ và độ ẩm là hai yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng và hạn sử dụng của thuốc. Nhiều loại vaccine, sinh phẩm và thuốc đặc trị chỉ ổn định trong một khoảng nhiệt độ hẹp, thường từ (2-8) °C [1, 2].

Các cảm biến IoT được bố trí tại nhiều vị trí trong kho có thể ghi nhận nhiệt độ và độ ẩm theo thời gian thực, gửi dữ liệu về trung tâm điều khiển để lưu trữ và phân tích [3]. Khi phát hiện nhiệt độ vượt ngưỡng, hệ thống sẽ tự động kích hoạt cảnh báo SMS hoặc email cho nhân viên phụ trách, giúp phản ứng nhanh chóng trước các rủi ro hư hỏng thuốc [4, 5].

Một số mô hình tiên tiến còn tích hợp công nghệ học máy (Machine learning) để nhận diện mẫu dữ liệu bất thường và dự báo khả năng xảy ra sự cố trước khi nó diễn ra [6]. Nhờ đó, hệ thống không chỉ phát hiện sai lệch mà còn có thể phòng ngừa sự cố từ sớm, đảm bảo chất lượng thuốc trong suốt quá trình bảo quản [7].

3.2 Giám sát trong vận chuyển và phân phối thuốc

Trong giai đoạn vận chuyển, các container lạnh và xe chuyên dụng được trang bị bộ cảm biến IoT không dây có khả năng đo, ghi và truyền dữ liệu môi trường về nền tảng điện toán đám mây [8]. Nhờ đó, người quản lý có thể theo dõi nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, ánh sáng và vị trí GPS của từng lô hàng thuốc trên bản đồ theo thời gian thực [9].

Khi có sai lệch vượt ngưỡng, hệ thống sẽ tự động cảnh báo hoặc gửi tín hiệu đến tài xế để điều chỉnh điều kiện vận hành (ví dụ bật lại máy lạnh hoặc thay đổi tuyến đường) [10]. Dữ liệu giám sát cũng được lưu trữ phục vụ kiểm toán, giúp các doanh nghiệp chứng minh tuân thủ quy định GSP (Good storage practice) và GDP (Good distribution practice) [11].

Đặc biệt, khi kết hợp IoT với blockchain, mọi thông tin giám sát trong quá trình vận chuyển sẽ được ghi nhận và mã hóa, đảm bảo tính minh bạch, truy xuất và không thể chỉnh sửa [12]. Điều này giúp tăng cường niềm tin của người tiêu dùng và cơ quan quản lý đối với chất lượng được phẩm [13].

3.3 Phân tích dữ liệu và ra quyết định thông minh

Hệ thống IoT hiện đại không chỉ dừng ở việc thu thập dữ liệu, mà còn tích hợp công cụ phân tích thông minh

(Data analytics) để trích xuất giá trị từ dữ liệu thu thập được [5, 7].

Thông qua việc áp dụng trí tuệ nhân tạo (AI) và thuật toán học sâu (Deep learning), hệ thống có thể dự đoán nguy cơ hư hỏng thuốc, tối ưu hóa điều kiện bảo quản và hỗ trợ ra quyết định tự động trong chuỗi cung ứng [9, 11].

Ví dụ, khi dữ liệu từ các kho cho thấy xu hướng nhiệt độ tăng đột ngột, hệ thống có thể gợi ý điều chỉnh hệ thống làm lạnh hoặc phân bổ lại hàng hóa trước khi xảy ra thiệt hại. Đây là bước tiến lớn trong ứng dụng IoT kết hợp AI để hình thành logistics được phẩm thông minh và bền vững [12, 13].

3.4 Phương pháp đánh giá

Hiệu quả của hệ thống giám sát bảo quản thuốc dựa trên IoT được đánh giá thông qua hai chỉ số chính: tỷ lệ giảm vi phạm điều kiện bảo quản và độ chính xác của hệ thống cảnh báo.

Tỷ lệ giảm vi phạm được xác định bằng cách so sánh số lần nhiệt độ hoặc độ ẩm vượt ngưỡng cho phép trước và sau khi triển khai hệ thống IoT, theo công thức:

Tỷ lệ giảm vi phạm (%) = $(V_0 - V_1) / V_0 \times 100$, trong đó V_0 là số lần vi phạm ghi nhận bằng phương pháp giám sát truyền thống, và V_1 là số lần vi phạm ghi nhận khi áp dụng hệ thống IoT.

Độ chính xác của hệ thống cảnh báo được đánh giá thông qua tỷ lệ cảnh báo đúng trên tổng số sự kiện phát sinh, bao gồm các trường hợp cảnh báo đúng, cảnh báo sai và bỏ sót sự cố. Chỉ số này phản ánh khả năng phản ứng kịp thời của hệ thống trước các rủi ro ảnh hưởng đến chất lượng thuốc.

4 Kết quả và thảo luận

4.1 Kết quả thu thập dữ liệu mô phỏng

Mô hình thử nghiệm IoT được triển khai trong quy trình mô phỏng vận chuyển thuốc giả định kéo dài 07 ngày, với ba loại thuốc yêu cầu điều kiện bảo quản khác nhau:

- Thuốc A (nhạy cảm nhiệt độ): cần duy trì (15-25) °C.
- Thuốc B (thuốc tiêm sinh học): cần giữ (2-8) °C.
- Thuốc C (dạng viên nén): cần duy trì < 30 °C, độ ẩm < 70 %.

Hệ thống sử dụng 04 cảm biến chính: nhiệt độ, độ ẩm, rung động, GPS. Dữ liệu được thu thập 1 phút/lần và gửi lên nền tảng cloud qua giao thức MQTT. Sau 7 ngày, hệ thống thu thập được ~ 94 000 bản ghi dữ liệu từ 3 lô thuốc.

Kết quả sơ bộ cho thấy:

- Độ sai số trung bình của cảm biến nhiệt độ so với thiết bị chuẩn là $\pm 0,4$ °C.
- Cảm biến độ ẩm sai số trung bình $\pm 2,3$ %RH.
- Độ trễ truyền dữ liệu trung bình < 1,2 giây, đảm bảo theo dõi thời gian thực.

Bảng 1 Tóm tắt kết quả giám sát môi trường bảo quản thuốc

Thông số giám sát	Số lượng bản ghi	Số lần vi phạm điều kiện bảo quản (không IoT)	Số lần vi phạm (có IoT + cảnh báo)	Mức giảm (%)
Nhiệt độ (°C)	94 000	127	73	42,5
Độ ẩm (%RH)	94 000	98	58	40,8
Rung động (m/s ²)	94 000	61	32	47,5

Kết quả cho thấy, mô hình IoT có khả năng giảm trung bình 43 % các sự cố vi phạm điều kiện bảo quản, nhờ hệ thống cảnh báo sớm và theo dõi thời gian thực. Các cảnh báo vượt ngưỡng được ghi nhận trung bình 3,2 phút sau khi phát hiện sai lệch – nhanh hơn đáng kể so với mô hình thủ công (trung bình (2-3) giờ).

4.2 Hiệu quả hoạt động của hệ thống IoT

- Độ tin cậy của cảm biến

Các thiết bị cảm biến cho thấy độ ổn định cao trong điều kiện thực nghiệm. Sai số thấp hơn 1 °C và 3 %RH nằm trong giới hạn chấp nhận của tiêu chuẩn GDP, chứng tỏ hệ thống có thể ứng dụng trong thực tế vận chuyển thuốc nhạy cảm.

- Hiệu quả cảnh báo và phòng ngừa rủi ro

Thuật toán phát hiện bất thường (Anomaly Detection - Isolation Forest) đã phát hiện chính xác 92 % các sự kiện vi phạm, với tỷ lệ cảnh báo sai (false alarm) < 8 %. Điều này giúp hệ thống không chỉ ghi nhận dữ liệu mà còn “hiểu” và phản ứng kịp thời trước các biến động môi trường.

- Phân tích hiệu quả kinh tế - vận hành

Các lợi ích kinh tế được báo cáo trong nghiên cứu này dựa trên các ước tính theo kịch bản và dữ liệu tham khảo từ các nghiên cứu trước đó, nhằm minh họa xu hướng tiết kiệm chi phí tiềm năng hơn là cung cấp các con số tài chính chính xác.

Từ kết quả mô phỏng, nhóm nghiên cứu ước tính rằng với chi phí thiết bị khoảng 1,5 triệu đồng/điểm giám sát, hệ thống có thể giúp doanh nghiệp giảm trung bình (20-30) % thiệt hại do thuốc hư hỏng hoặc phải tiêu hủy. Ngoài ra, việc tự động hóa giám sát giúp tiết kiệm 40 % chi phí nhân công kiểm tra thủ công và giảm thời gian báo cáo tuân thủ xuống còn 1/5 so với trước. Các ước tính chi phí dựa trên ba nguồn chính:

- Chi phí thiết bị và vận hành thực tế
- + Giá thành trung bình của một điểm giám sát IoT (ESP32 + DHT22 + GPS + SIM): ~ (1,3-1,7) triệu VNĐ (theo giá thị trường Việt Nam năm 2024-2025).
- + Chi phí vận hành hàng tháng (SIM data, cloud): ~ (0,5-0,7) triệu VNĐ/thiết bị.
- So sánh với mô hình giám sát thủ công
- + Giám sát truyền thống yêu cầu nhân viên kiểm tra nhiệt độ (3-4) lần/ngày, ghi chép và lập báo cáo.
- + IoT giúp giảm ~ 40 % thời gian nhân công cho các hoạt động này (theo kịch bản vận hành giả định và tham chiếu từ các nghiên cứu trước [9, 10]).
- Ước tính thiệt hại do hư hỏng thuốc
- + Theo WHO và các báo cáo logistics dược, tỷ lệ thuốc bị hư hỏng do sai lệch điều kiện bảo quản dao động (15-25) %.
- + Khi áp dụng IoT, tỷ lệ vi phạm giảm ~ (30-40) %, từ đó dẫn đến mức tiết kiệm chi phí tương ứng.

4.3 Thảo luận về ý nghĩa và tiềm năng ứng dụng

Mặc dù mô phỏng chứng minh tính khả thi của việc giám sát thời gian thực, nhưng việc triển khai thực tế có thể bị ảnh hưởng bởi độ trễ truyền thông, sự không ổn định của tín hiệu, sự trôi lệch của cảm biến và thời gian phản hồi hoạt động. Cần xem xét cẩn thận các yếu tố này khi mở rộng hệ thống IoT được đề xuất cho môi trường hậu cần dược phẩm thực tế, nhằm làm rõ các yếu tố thực tế ảnh hưởng đến tính thời gian thực của hệ thống IoT, bao gồm:

- Chất lượng tín hiệu truyền dẫn
- + Độ ổn định của kết nối GSM/4G/5G tại các khu vực nông thôn, vùng đồi núi hoặc tuyến vận chuyển liên tỉnh.
- + Hiện tượng mất gói dữ liệu (packet loss) hoặc trễ truyền (latency) khi phương tiện di chuyển qua vùng phủ sóng yếu.

- Độ trễ hệ thống (end-to-end latency)
- + Độ trễ tích lũy từ cảm biến → gateway → mạng truyền → nền tảng cloud → dashboard người dùng.
- + Trong mô phỏng, độ trễ trung bình < 1,2 giây; tuy nhiên trong điều kiện thực tế, con số này có thể tăng lên (3-5) giây, đặc biệt khi mạng quá tải.
- Độ chính xác và suy giảm chất lượng cảm biến
- + Cảm biến có thể bị trôi sai số (sensor drift) khi hoạt động liên tục nhiều ngày trong môi trường rung động hoặc độ ẩm cao.
- + Điều này có thể ảnh hưởng đến độ tin cậy của cảnh báo nếu không được hiệu chuẩn định kỳ.
- Yếu tố con người và vận hành
- + Thời gian phản hồi của nhân sự khi nhận cảnh báo.
- + Quy trình xử lý sự cố tại thực địa (mở container, điều chỉnh hệ thống làm lạnh).

4.3.1 Ý nghĩa khoa học và kỹ thuật

Kết quả nghiên cứu chứng minh tính khả thi của việc ứng dụng IoT trong quản lý logistics dược phẩm. Hệ thống cho phép thu thập – phân tích – phản hồi dữ liệu môi trường theo thời gian thực, tạo nền tảng cho việc triển khai chuỗi cung ứng dược phẩm thông minh (Smart Pharma Supply Chain).

Nghiên cứu đồng thời bổ sung dữ liệu thực nghiệm đầu tiên tại Việt Nam về hiệu quả giám sát môi trường bảo quản thuốc bằng công nghệ IoT, góp phần làm rõ mối quan hệ giữa dữ liệu cảm biến và ổn định dược phẩm trong vận chuyển.

4.3.2 Khả năng triển khai trong doanh nghiệp dược Việt Nam

Các doanh nghiệp trong nước hiện vẫn đang ở giai đoạn đầu của chuyển đổi số, chủ yếu tập trung ở khâu quản lý sản xuất (ERP, MES). Việc mở rộng IoT sang logistics giúp hình thành chuỗi dữ liệu toàn vẹn từ nhà máy đến người tiêu dùng.

Thách thức chính là chi phí đầu tư ban đầu, bảo mật dữ liệu, và thiếu nhân lực vận hành công nghệ số. Tuy nhiên, với chi phí phần cứng ngày càng rẻ (ESP32, cảm biến DHT22), mô hình có thể triển khai thí điểm cho từng lô hàng nhạy cảm nhiệt độ, rồi mở rộng quy mô theo nhu cầu.

4.3.3 Liên hệ với bối cảnh chuyển đổi số quốc gia



Kết quả nghiên cứu phù hợp với Chiến lược chuyển đổi số ngành Y tế Việt Nam đến năm 2030 và định hướng của Bộ Y tế về số hóa quản lý dược phẩm. IoT kết hợp AI và phân tích dữ liệu lớn (Big Data) sẽ trở thành công cụ quan trọng giúp cơ quan quản lý:

- Giám sát tuân thủ điều kiện bảo quản thuốc theo thời gian thực.
- Phát hiện sớm sai phạm hoặc gian lận trong lưu thông thuốc.
- Tăng tính minh bạch và truy xuất nguồn gốc sản phẩm.

4.3.4 Hướng phát triển mở rộng

Trong tương lai, hệ thống có thể tích hợp thêm các yếu tố AI học máy (machine learning) để dự báo xu hướng biến động nhiệt độ – độ ẩm theo tuyến đường vận chuyển, đồng thời kết hợp blockchain để bảo mật và xác thực dữ liệu.

Bên cạnh đó, việc chuẩn hóa giao diện API giữa hệ thống IoT và các phần mềm quản lý kho, vận tải sẽ giúp tạo ra một hệ sinh thái logistics được phẩm số hóa hoàn chỉnh, hỗ trợ quản lý toàn trình từ sản xuất đến phân phối.

4.4 Tóm lược kết quả chính

- Mô hình IoT hoạt động ổn định, sai số đo nhỏ hơn $\pm 1^\circ\text{C}$ và $\pm 3\% \text{RH}$.
- Giảm 43 % số lần vi phạm điều kiện bảo quản thuốc so với phương pháp truyền thống.
- Hệ thống cảnh báo nhanh, chính xác 92 %, giúp giảm rủi ro hư hỏng thuốc.
- Hiệu quả kinh tế: tiết kiệm (20-30) % chi phí hư hao, giảm 40 % chi phí nhân công giám sát.
- Tạo nền tảng dữ liệu minh bạch, phục vụ quản lý và truy xuất nguồn gốc thuốc.

Những kết quả này khẳng định tiềm năng ứng dụng rộng rãi của IoT trong logistics được phẩm Việt Nam, góp phần xây dựng chuỗi cung ứng thông minh, hiện đại và bền vững.

5 Kết luận và kiến nghị

5.1 Kết luận

Ứng dụng IoT trong giám sát bảo quản thuốc là một bước tiến quan trọng trong quá trình chuyển đổi số ngành logistics được phẩm [1, 2]. Các hệ thống IoT với

cảm biến thông minh, mạng kết nối không dây và nền tảng phân tích dữ liệu đã giúp tự động hóa quy trình giám sát, nâng cao chất lượng bảo quản, và tăng cường khả năng truy xuất nguồn gốc thuốc [3, 4].

Bằng việc kết hợp IoT với AI và blockchain, các doanh nghiệp được có thể hình thành chuỗi cung ứng minh bạch, an toàn và bền vững, đồng thời tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế về GSP và GDP [5, 6]. Đây không chỉ là hướng đi công nghệ, mà còn là chiến lược phát triển dài hạn, góp phần đảm bảo an toàn y tế và bảo vệ sức khỏe cộng đồng [7, 8].

Nghiên cứu này khẳng định, IoT là công nghệ có tiềm năng to lớn trong việc nâng cao hiệu quả giám sát, bảo quản và vận hành logistics được phẩm. Việc tích hợp các cảm biến thông minh, nền tảng dữ liệu thời gian thực và hệ thống cảnh báo tự động giúp duy trì điều kiện bảo quản tối ưu, hạn chế rủi ro hư hỏng thuốc, đồng thời đảm bảo tuân thủ nghiêm ngặt các tiêu chuẩn chất lượng được phẩm (GDP, GSP) [1, 2].

Bên cạnh đó, IoT còn mở ra hướng tiếp cận mới trong quản lý chuỗi cung ứng được phẩm – chuyển từ mô hình phản ứng (reactive) sang mô hình dự báo và phòng ngừa (predictive & preventive). Big Data thu thập từ thiết bị IoT có thể được sử dụng để phân tích xu hướng, tối ưu vận chuyển và kiểm soát chi phí, góp phần vào phát triển logistics được phẩm bền vững và minh bạch. Tuy nhiên, để triển khai IoT hiệu quả trong lĩnh vực này, cần có sự phối hợp chặt chẽ giữa cơ quan quản lý, doanh nghiệp công nghệ và ngành y tế, cùng với chính sách hỗ trợ và đầu tư hợp lý [9, 10, 11]. Việc xây dựng các chuẩn dữ liệu mở, bảo mật thông tin người dùng, và đào tạo nhân lực liên ngành sẽ là nền tảng để Việt Nam phát triển logistics được phẩm thông minh và hội nhập quốc tế [12, 13].

5.2 Kiến nghị

Để thúc đẩy ứng dụng IoT trong ngành logistics được phẩm tại Việt Nam, nghiên cứu đề xuất một số kiến nghị sau:

- Xây dựng hành lang pháp lý về ứng dụng IoT trong quản lý được phẩm, bao gồm quy chuẩn kỹ thuật, tiêu chuẩn dữ liệu và hướng dẫn vận hành [11].

- Hỗ trợ tài chính và ưu đãi thuế cho các doanh nghiệp đầu tư vào hạ tầng công nghệ IoT và hệ thống bảo quản thuốc thông minh [12].
- Đào tạo nguồn nhân lực liên ngành, kết hợp kiến thức về dược học, công nghệ thông tin, và quản lý chuỗi cung ứng để đảm bảo khả năng vận hành và bảo trì hệ thống [13].
- Thúc đẩy hợp tác công – tư trong việc nghiên cứu, thử nghiệm và triển khai các mô hình IoT thực tế tại các kho dược, bệnh viện và trung tâm phân phối thuốc.
- Đối với doanh nghiệp dược phẩm: cần đầu tư hạ tầng IoT tích hợp với hệ thống quản lý kho và vận chuyển, ưu tiên thiết bị cảm biến đạt chuẩn GMP/GDP, đồng thời đào tạo nhân lực vận hành và phân tích dữ liệu.
- Đối với cơ quan quản lý: nên xây dựng khung pháp lý và tiêu chuẩn kỹ thuật cho ứng dụng IoT trong chuỗi cung ứng dược, bao gồm quy định về an ninh dữ liệu, truy xuất nguồn gốc, và giám sát chất lượng thuốc theo thời gian thực.
- Đối với hướng nghiên cứu tiếp theo: cần mở rộng nghiên cứu về AI và blockchain trong quản trị dữ liệu

IoT, nhằm nâng cao tính bảo mật, minh bạch và khả năng tự động hóa toàn diện trong logistics dược phẩm. Ngoài ra, cần đánh giá tác động kinh tế – xã hội khi triển khai IoT ở quy mô quốc gia để đề xuất mô hình triển khai phù hợp.

Việc triển khai các kiến nghị này không chỉ góp phần nâng cao năng lực quản lý dược phẩm quốc gia, mà còn giúp Việt Nam tiệm cận các chuẩn quốc tế về logistics dược phẩm thông minh, hướng đến hệ sinh thái y tế bền vững, an toàn và hiệu quả [9, 11].

Tổng thể, việc ứng dụng IoT trong giám sát bảo quản thuốc không chỉ mang lại giá trị công nghệ, mà còn góp phần đảm bảo an toàn sức khỏe cộng đồng, giảm tổn thất kinh tế, và thúc đẩy quá trình chuyển đổi số ngành Dược Việt Nam theo hướng hiện đại và bền vững.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of things: architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017(1), 9324035.
2. Khan, M. A., & Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future generation computer systems*, 82, 395-411.
3. S. Bandyopadhyay and A. Bhattacharyya. (2019). *Lightweight Internet of Things: A Practical Approach*, CRC Press.
4. Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173.
5. Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in industry*, 101, 1-12.
6. Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. *Biosystems Engineering*, 164, 31-48.
7. Bahga, A., & Madiseti, V. (2017). *Blockchain applications: a hands-on approach*. Vpt.
8. A. M. Ojo and A. Mellouli. (2018). Smart governance and IoT-enabled public services. *Government Information Quarterly*, 35(4), pp. 611-621.
9. S. Gupta and J. Bose. (2021). IoT in pharmaceutical logistics: Challenges and opportunities,” *International Journal of Pharmaceutical Logistics*, 12(2), pp. 85-99.
10. P. D. Patel and H. R. Patel. (2022). IoT-based temperature and humidity monitoring system for medical storage. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(4), pp. 124130.
11. Kumar, V. (2025, February). A Novel IoT Based Solution for Cold Chain Monitoring in the Pharmaceutical Supply Chain. In *International Congress on Information and Communication Technology* (pp. 393-403). Singapore: Springer Nature Singapore.
12. Ministry of Health Vietnam. (2023). *Good Storage Practice Guidelines (GSP)*, Ha Noi.
13. World Health Organization (WHO). (2020). *Good Distribution Practices for Pharmaceutical Products*, Geneva.

The Role of the Internet of Things (IoT) in Monitoring Drug Storage in Pharmaceutical Logistics

Giang Hao Con*, Nguyen Ngoc Trung**

Center for Information Technology, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Viet Nam

*ghcon@ntt.edu.vn, **nntrung@ntt.edu.vn

Abstract In the context of digital transformation in pharmaceutical industry, the application of the Internet of Things (IoT) in supply chain management and drug storage monitoring has become an inevitable trend. This study evaluated the effect of IoT technology in monitoring drug storage conditions and pharmaceutical stability. The research methodology included a comprehensive review on IoT applications in pharmaceutical logistics, followed by a simulation of an IoT sensor system connected to a cloud-based platform to record, store, and analyze environmental data during drug transportation. The sensor devices were directly attached to the shipment and connected to a real-time data management platform. Results have shown that the implementation of the IoT system can reduce the risk of drug spoilage by 30–40%, while improving transparency and traceability of pharmaceutical products within the supply chain. Moreover, this intelligent monitoring model supports cold chain optimization, reduces operational costs, and enhances quality control capacity for both enterprises and regulatory authorities. The study contributes scientific evidence for implementing a smart pharmaceutical supply chain, aligning with the digital transformation and sustainable development goals of Vietnam’s pharmaceutical sector in the Industry 4.0 Era.

Keywords Internet of Things (IoT), pharmaceutical logistics, drug storage monitoring, smart supply chain, digital transformation, pharmaceutical quality management.

