

XU HƯỚNG NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ THÔNG TIN CHO CẢNG THÔNG MINH

INFORMATION TECHNOLOGIES RESEARCH TRENDS FOR SMART PORT

LÊ THỊ QUỲNH HƯƠNG*, PHẠM THỊ PHƯƠNG MAI

Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: huongltq@vimaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.2025.i84.855>

Tóm tắt

Trong bối cảnh công nghệ thông tin (CNTT) ngày càng phát triển, mô hình cảng thông minh đang trở thành xu hướng tất yếu trong hiện đại hóa ngành cảng biển. Bài báo này thực hiện một tổng quan có hệ thống các nghiên cứu về ứng dụng CNTT trong cảng thông minh theo phương pháp PRISMA, nhằm đảm bảo tính toàn diện và khách quan. Từ 254 tài liệu ban đầu, 10 nghiên cứu tiêu biểu đã được chọn lọc để phân tích chuyên sâu. Kết quả cho thấy ba công nghệ chủ đạo gồm Internet vạn vật (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI) và dữ liệu lớn (Big Data) đóng vai trò then chốt. Các chủ đề nghiên cứu chính tập trung vào tự động hóa, tối ưu hóa vận hành và quản lý dữ liệu, cùng với xu hướng tích hợp hệ thống ngày càng rõ nét. Ngoài ra, nghiên cứu cũng chỉ ra các khoảng trống học thuật, đặc biệt là sự thiếu hụt dữ liệu thực nghiệm và khung đánh giá mức độ trưởng thành số. Những phát hiện này cung cấp cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo và định hướng chiến lược chuyển đổi số bền vững trong lĩnh vực cảng biển.

Từ khóa: Cảng thông minh, CNTT, chuyển đổi số, PRISMA, tổng quan có hệ thống.

Abstract

In the context of rapid information technology (IT) advancement, smart ports are becoming a key direction in modernizing the maritime industry. This paper presents a systematic literature review on IT applications in smart ports using the PRISMA methodology to ensure comprehensive and objective analysis. Out of 254 initial records, 10 representative studies were selected for in-depth review. The findings highlight three core technologies—Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Big Data—as foundational pillars. Major research themes include automation, operational optimization, and data management, with a growing trend toward system

integration. The study also identifies academic gaps, notably the lack of empirical data and digital maturity assessment frameworks. These insights provide a foundation for future research and support sustainable digital transformation in the port sector.

Keywords: Smart ports, IT, digital transformation, PRISMA, systematic literature review.

1. Giới thiệu

Với khoảng 80% khối lượng hàng hóa toàn cầu được vận chuyển bằng đường biển, cảng biển đóng vai trò thiết yếu trong chuỗi cung ứng quốc tế và được coi là trụ cột của nền kinh tế thế. Các cảng không chỉ là điểm trung chuyển hàng hóa mà còn là nút kết nối thông tin, thương mại và dịch vụ giữa các khu vực địa lý khác nhau. Trước bối cảnh toàn cầu hóa và áp lực cạnh tranh ngày càng lớn, việc hiện đại hóa hệ thống cảng biển trở thành yêu cầu cấp thiết để đảm bảo hiệu quả vận hành, giảm chi phí và nâng cao năng lực cạnh tranh.

Làn sóng chuyển đổi số và sự xuất hiện của các công nghệ thuộc Cách mạng công nghiệp 4.0 như Internet vạn vật (IoT), trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn (Big Data) và điện toán đám mây đang mở ra cơ hội mới để tái cấu trúc hoạt động cảng biển. Những công nghệ này giúp giảm thiểu lỗi do con người, tự động hóa quy trình, nâng cao khả năng ra quyết định và giảm phát thải khí nhà kính - góp phần vào mục tiêu phát triển bền vững. Trong bối cảnh đó, các cảng biển đang có vị thế đặc biệt thuận lợi để ứng dụng và phát triển các giải pháp công nghệ tiên tiến, hướng đến mô hình “cảng thông minh” (smart port).

Khái niệm cảng thông minh được đề xuất lần đầu bởi Flynn, Lee & Notteboom như một chiến lược hiện đại hóa hoạt động cảng thông qua việc tích hợp các công nghệ số nhằm nâng cao hiệu suất, tính minh bạch và khả năng kết nối [18]. Mô hình cảng thông minh không chỉ bao gồm hạ tầng vật lý hiện đại mà còn đòi hỏi một nền tảng số hóa mạnh mẽ, cho phép các bên liên quan - từ nhà điều hành cảng, hãng vận tải, đơn

vị logistics đến nhà quản lý nhà nước - liên kết trong một hệ sinh thái tích hợp, phản ứng nhanh và ra quyết định tối ưu dựa trên dữ liệu thời gian thực [10], [19].

Tại Việt Nam, dù một số cảng lớn như Hải Phòng, Cát Lái hay Tân Cảng Sài Gòn đã bắt đầu áp dụng công nghệ thông tin trong quản lý và khai thác, khái niệm “cảng thông minh” vẫn chưa được nghiên cứu một cách hệ thống [1]. Các nghiên cứu hiện có chủ yếu đề cập đến ứng dụng công nghệ đơn lẻ mà chưa xây dựng được khung lý thuyết tích hợp hay phương pháp đánh giá toàn diện tác động của IT đối với hiệu quả vận hành cảng. Điều này gây khó khăn trong việc nhân rộng mô hình, lựa chọn công nghệ phù hợp, cũng như đánh giá mức độ trưởng thành của từng cảng.

Trong bối cảnh đó, việc thực hiện một tổng quan có hệ thống các xu hướng nghiên cứu về công nghệ thông tin trong phát triển cảng thông minh là hết sức cần thiết. Thứ nhất, nó giúp hệ thống hóa tri thức hiện có, phân loại các hướng tiếp cận và công nghệ chính đang được ứng dụng. Thứ hai, tổng quan có thể làm rõ các khoảng trống học thuật, từ đó định hướng các nghiên cứu tiếp theo. Thứ ba, với góc nhìn thực tiễn, nghiên cứu này cung cấp cơ sở tham khảo cho nhà hoạch định chính sách và nhà quản lý cảng trong việc ra quyết định công nghệ, tối ưu hóa quy trình và xây dựng chiến lược phát triển cảng theo hướng thông minh, bền vững và hiệu quả hơn.

Do vậy, mục tiêu của bài báo này là thực hiện một tổng quan có hệ thống về ứng dụng công nghệ thông tin trong mô hình cảng thông minh, nhằm nhận diện các chủ đề nghiên cứu nổi bật, công nghệ cốt lõi và xu hướng tích hợp hiện nay. Đồng thời, bài báo cũng xác định các khoảng trống trong nghiên cứu và đề xuất các hướng tiếp cận có thể hỗ trợ quá trình chuyển đổi số ngành cảng biển tại Việt Nam trong thời gian tới.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập dữ liệu

Bài báo áp dụng phương pháp tổng quan hệ thống PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) nhằm đảm bảo tính toàn diện, minh bạch và giảm thiểu thiên lệch trong quá trình lựa chọn và tổng hợp tài liệu. PRISMA là một khung hướng dẫn được quốc tế công nhận, đặc biệt hữu ích trong việc chuẩn hóa quy trình báo cáo và tái lập kết quả nghiên cứu tổng quan.

Quy trình tổng quan tuân theo bốn bước chính:

(1) Xác định các tài liệu liên quan thông qua các cơ sở dữ liệu học thuật uy tín gồm Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect và Google

Scholar, sử dụng các từ khóa “smart port” và “smart terminal”.

(2) sàng lọc tiêu đề và tóm tắt để loại trừ các bài trùng lặp và không liên quan.

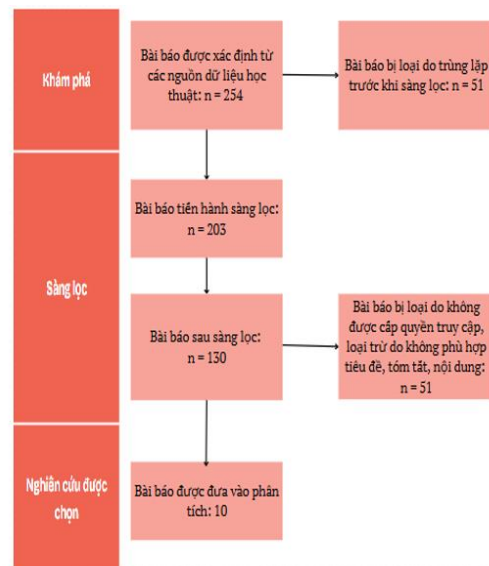
(3) Đánh giá toàn văn theo các tiêu chí nghiêm ngặt: bài viết bằng tiếng Anh, công bố từ 2015-2024, có nội dung liên quan đến ứng dụng công nghệ thông tin (IT) trong cảng thông minh, và có phạm vi phân tích toàn cầu.

(4) Lựa chọn các bài có chất lượng học thuật cao và đóng góp rõ ràng vào mục tiêu nghiên cứu.

Việc chỉ lựa chọn 10 bài báo từ tổng số hơn 200 tài liệu ban đầu là kết quả của quy trình đánh giá có hệ thống, nhằm đảm bảo chiều sâu phân tích và loại bỏ các bài viết không đủ tiêu chuẩn học thuật hoặc chỉ phản ánh góc nhìn cục bộ. Ưu điểm nổi bật của PRISMA là cho phép kiểm soát rõ ràng quy trình đánh giá tài liệu, đảm bảo tính minh bạch và khả năng tái lập, từ đó nâng cao độ tin cậy của kết quả tổng quan.

2.2. Cơ sở dữ liệu và tiêu chí tìm kiếm

Nghiên cứu này sử dụng các nguồn dữ liệu uy tín là Scopus/Elsevier, Web of science, IEEE explore, Science Direct và công cụ tìm kiếm Google Scholar để thu thập dữ liệu.



Hình 1. Luồng thông tin trong quá trình đánh giá tổng quan theo phương pháp PRISMA

Yêu cầu đầu vào của các nghiên cứu về mặt ngôn ngữ phải là tiếng Anh. Từ khóa tìm kiếm cơ bản sẽ là smart port hoặc smart terminal. Tất cả các nghiên cứu này bao gồm tạp chí, bài báo đánh giá và các báo cáo nghiên cứu từ 2015 đến 2024.

Ở khâu lựa chọn theo tiêu chí từ khóa như trên thì

tác giả đã lọc ra được 254 nghiên cứu và chỉ còn 203 bài viết sau khi đánh giá về chất lượng phù hợp với mục tiêu của bài báo của tác giả.

Quá trình sàng lọc sẽ tiến hành theo các tiêu chí sau:

- Bài viết phải là các bài báo chính thống, tổng quan và hội nghị. Các cơ sở lý luận, nghiên cứu điển hình, kỹ yếu hội nghị, bài viết tạp chí, bài viết công nghệ, báo cáo kỹ thuật, bài luận, ấn phẩm quảng cáo và các tài liệu thuyết trình đều phải được loại bỏ.

- Ngôn ngữ bài báo phải là tiếng Anh và liên quan đến các lĩnh vực: Khoa học máy tính, khoa học quyết định, khoa học môi trường, kỹ thuật và khoa học xã hội.

- Thời gian xuất bản từ 2015 đến 2024;

- Nội dung sẽ đánh giá chung cho các quốc gia trên thế giới thay vì tập trung vào một hoặc nhiều quốc gia.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả cuối cùng, chỉ có 10 bài báo được chọn sau quá trình phân tích tổng hợp.

Với mục tiêu tập trung nghiên cứu về mảng IT (công nghệ thông tin), các tiến bộ công nghệ đã được kiểm tra. Trong đó các tác giả cố gắng xác định các công nghệ nào nên được chọn và cách triển khai chúng để phát triển các hệ thống và tài sản kỹ thuật hiệu quả cho sự phát triển cảng, như được nêu trong Bảng 1.

Các cảng truyền thống đang được chuyển đổi thành các cảng thông minh thông qua hệ thống dữ liệu, hoạt động hiệu quả hơn, thân thiện với môi trường và có khả năng đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của thương mại toàn cầu. Các công nghệ hiện diện ở cả cấp độ thiết bị và cấp độ hệ thống thông tin, nơi thiết bị ngày càng trở nên dễ tiếp cận hơn (cảm biến và RFID, Internet of Things), và hệ thống thông tin trở nên phức tạp hơn (ví dụ, dữ liệu lớn, xử lý ngữ nghĩa để phát hiện, học máy). Các đổi mới đang tiến triển với tốc độ đáng kinh ngạc, đặc biệt là với sự xuất hiện của các công nghệ mới về số hóa và chuyển đổi các hệ thống vật lý mạng. Tuy nhiên, bất kỳ dự đoán nào về sự phát triển của các công nghệ này góp bao nhiêu phần vào cuộc cách mạng hóa vận tải, chuỗi cung ứng và đóng tàu,... vẫn là một vấn đề mở cần được giải đáp.

Trong quá khứ, hoạt động cảng chủ yếu dựa vào kích thước của cảng (ví dụ, chiều dài bến, số lượng và hiệu quả của các cần cẩu). Tuy nhiên, các lĩnh vực cảng và hàng hải đã được phát hiện là đang tụt hậu về mặt số hóa, như được chứng minh trong các nghiên cứu 1,2 và 9 ở Bảng 1. Trong những năm gần đây, lĩnh vực cảng đã chứng kiến một sự gia tăng trong việc áp dụng công nghệ Công nghiệp 4.0. Khi Công nghiệp 4.0 đã có các tác động tương tự đối với các ngành khác,

người ta dự đoán rằng các cảng sẽ có xu hướng như vậy trong những năm tới.

Chẳng hạn, Tài liệu 10 đề xuất một loạt các giải pháp Internet of Things (IoT) có thể được áp dụng để cải thiện dịch vụ logistics và vận tải tại cảng Le Havre. Một khoản đầu tư đáng kể vào các giải pháp công nghệ hiệu quả như cảm biến, thiết bị thông minh và điện toán đám mây. Điều này là cần thiết để chuyển đổi đúng cách chuỗi cung ứng cảng từ một cảng truyền thống thành một cảng thông minh. Điều này đặt ra nhiều thách thức, chẳng hạn như tính chất không đồng nhất của các công nghệ, sự đa dạng của các loại dữ liệu, và nhu cầu về sự minh bạch và an ninh cao hơn. Một số ví dụ về các giải pháp cảng thông minh bao gồm quản lý tàu thông minh, lưu lượng giao thông thông minh và vận chuyển cảng thông minh. Trong bối cảnh logistics cảng thông minh, các giải pháp logistic thông minh có thể được sử dụng để cải thiện quản lý container và lưu lượng giao thông, cũng như năng lực của các bến cảng và chỗ đậu xe trong tài liệu 6.

Nhà nghiên cứu trong tài liệu 7 lựa chọn các cảng ở Biển Bắc và Biển Baltic đã triển khai khái niệm cảng thông minh. Những cảng này được trang bị những thiết bị tiên tiến nhất, và công nghệ được sử dụng được điều chỉnh theo hồ sơ kinh doanh và loại hàng hóa xử lý. Điều này cho phép quản lý, phân tích và sử dụng một khối lượng dữ liệu lớn để đảm bảo rằng các dịch vụ hiệu quả và chất lượng cao được cung cấp. Các nghiên cứu khác ở tài liệu 4 và 8 cũng đã khám phá tiềm năng cho sự phát triển của internet vật lý trong các cảng, cũng như các khía cạnh hợp tác và môi trường.

Cùng định hướng với các nghiên cứu trước đó, một số tác giả ở tài liệu 2 và 3 đã đề xuất khái niệm cảng thể hệ thứ năm, tập trung vào khách hàng và cộng đồng, và dự kiến sẽ cung cấp dịch vụ ở mức độ cao hơn thông qua việc sử dụng lực lượng thị trường, các ưu đãi và quy định của chính phủ. Các yếu tố chính của một cảng thể hệ thứ năm bao gồm sự hài lòng của khách hàng, dịch vụ và định hướng công nghệ. Khi xem xét các khía cạnh công nghệ của các cảng, các cảng đã đi vào hoạt động từ những năm 2010 được gọi là cảng thể hệ thứ năm.

Các bài báo được lựa chọn thể hiện sự đa dạng trong cách tiếp cận nghiên cứu đối với ứng dụng công nghệ thông tin (IT) trong cảng thông minh, bao gồm cả các nghiên cứu thực nghiệm như Al-Fatlawi & Motlak, de Moura, Zhuang và các nghiên cứu khái niệm Shah, Karas, Yao. Mặc dù khác biệt về phương pháp và phạm vi, các công trình này đều chia sẻ những điểm tương đồng nổi bật: tập trung vào ứng dụng các

Bảng 1. Xu hướng nghiên cứu IT cho cảng thông minh

Tác giả	Phân loại	Mô tả
Al-Fatlawi and Motlak (2023) (1)	Thực nghiệm	Bài báo này tập trung vào việc lập lịch tích hợp cho thiết bị xử lý thông minh tại các cảng container tự động trong bối cảnh phân bổ tài nguyên và lập lịch tại các cảng container.
de Moura (2022) (2)	Thực nghiệm	Nghiên cứu này phân tích việc ứng dụng các công nghệ thuộc Công nghiệp 4.0 trong hoạt động xử lý container tại năm cảng, nhằm đánh giá tính khả thi và tác động tiềm năng của chúng đối với quản lý môi trường bền vững.
Zhuang et al. (2022) (3)	Thực nghiệm	Nghiên cứu này xác định các chức năng cốt lõi của cảng thông minh, bao gồm tàu thông minh, cần cầu tự động, container thông minh, tự động hóa vận chuyển và tối ưu hóa hiệu suất năng lượng. Đồng thời, nghiên cứu trình bày khái niệm cảng thông minh và phân tích các công nghệ chủ chốt hiện đang hỗ trợ mô hình này.
Hirata et al. (2022) (4)	Thực nghiệm	Bài báo đề xuất mô tả khái niệm số hóa vận tải và tự động hóa cảng, đồng thời tổng quan các công nghệ, chiến lược kinh doanh và sáng kiến quốc tế liên quan đến quá trình tự động hóa cảng trên toàn cầu.
Yao et al. (2021) (5)	Khái niệm	Tài liệu cung cấp cái nhìn tổng quan về các nghiên cứu hiện tại liên quan đến thiết kế và phát triển bến cảng tự động, quy hoạch hệ thống cảng thông minh, và định hướng tương lai như nâng cấp thiết bị, tiêu chuẩn hóa quy trình kỹ thuật, cùng với cải tiến trong tích hợp hệ thống.
Shah (2021) (6)	Khái niệm	Tài liệu tổng quan các nghiên cứu về thiết kế và xây dựng bến cảng tự động, quy hoạch hệ thống cảng thông minh và triển vọng phát triển tương lai, bao gồm nâng cấp thiết bị, chuẩn hóa quy trình kỹ thuật và tích hợp hệ thống. Bài viết nhấn mạnh vai trò của cảng thông minh như một bước tiến quan trọng trong hiện đại hóa hoạt động cảng và là xu hướng chủ đạo định hình tương lai cảng biển. Đồng thời, phân tích các công nghệ số tiên tiến được triển khai tại các cảng như Hamburg và Rotterdam, cùng các chiến lược thúc đẩy chuyển đổi số trong ngành cảng.
Karas (2020) (7)	Khái niệm	Bài báo muốn chứng minh rằng cảng thông minh là tất yếu và khái niệm này sẽ định hình xu hướng tương lai trong tiến trình phát triển cảng biển. Bài viết đề cập đến các công nghệ KTS mới nhất đang được triển khai tại cảng Hamburg và Rotterdam. Bài báo cũng phân tích các chiến lược ra quyết định để thúc đẩy quá trình chuyển đổi số.
Inkinen et al. (2020) (8)	Thực nghiệm	Bài báo phân tích tiềm năng số hóa trong tương lai thương mại và vận tải quốc tế tại các cảng Phần Lan, đồng thời xác định các yếu tố và công nghệ chủ chốt liên quan đến quá trình này. Ngoài ra, ba kịch bản thay thế - sự thống trị kỹ thuật số, bình thường hóa kinh doanh và thất bại kỹ thuật số - được phân tích theo khung SWOT và PESTEL.
Acciaro et al. (2018) (9)	Thực nghiệm	Mục tiêu của bài báo là xác định các mối liên kết giữa các nghiên cứu toàn cầu và đánh giá sự thích ứng trong quá trình chuyển đổi thông qua ba phương pháp kết hợp: H- và I-, phân tích hệ thống chuyển đổi và phân tích so sánh nghiên cứu định tính. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng sự thành công trong quá trình chuyển đổi có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, bao gồm mục tiêu xếp hạng, sự hợp tác giữa các bên liên quan và mức độ đổi mới.
Belfkih et al. (2017) (10)	Thực nghiệm	Bài báo đưa ra tổng quan khái niệm của cảng thông minh và đưa vài giải pháp IoT tại cảng Le Havre nhằm nâng cao dịch vụ logistics và vận tải.

công nghệ cốt lõi của Công nghiệp 4.0 (như Internet vạn vật - IoT, trí tuệ nhân tạo - AI, và dữ liệu lớn - Big Data), nhấn mạnh vai trò của tự động hóa và quản lý dữ liệu trong vận hành cảng, và xác định chuyển đổi số là yếu tố then chốt nhằm nâng cao năng lực cạnh

tranh cũng như tính bền vững của hệ thống cảng biển. Đáng chú ý, xu hướng chuyển dịch từ các giải pháp IT riêng lẻ sang các mô hình tích hợp toàn hệ thống đang ngày càng trở nên rõ nét.

Để mở rộng và làm rõ thêm xu hướng này, hai

nghiên cứu của Belmoukari, Audy & Forget và Rodrigue, Notteboom & Pallis đã được bổ sung vào phân tích nhằm nâng cao tính toàn diện của tổng quan. Nghiên cứu của Belmoukari et al. đề xuất một mô hình tích hợp IT dựa trên dữ liệu thời gian thực nhằm hỗ trợ ra quyết định và tối ưu hóa vận hành trong môi trường cảng thông minh. Công trình này nhấn mạnh vai trò của các hệ thống thông minh trong việc hỗ trợ quản lý chuỗi cung ứng cảng theo thời gian thực - một hướng tiếp cận hiện còn ít được khai thác trong các nghiên cứu hiện tại [7].

Trong khi đó, nghiên cứu của Rodrigue, Notteboom & Pallis đưa ra một phân tích có chiều sâu về tác động của số hóa đến cấu trúc tổ chức, chiến lược quản trị và năng lực cạnh tranh của cảng biển. Bài viết làm rõ rằng sự thành công của các cảng trong chuyển đổi số không chỉ phụ thuộc vào yếu tố công nghệ, mà còn gắn chặt với mức độ thích ứng tổ chức và sự liên kết chiến lược giữa các bên liên quan trong hệ sinh thái logistics biển [19].

Những bổ sung này cho thấy bức tranh nghiên cứu về IT trong cảng thông minh đang mở rộng từ tầng kỹ thuật (thiết bị, tự động hóa, cảm biến) lên tầng chiến lược và tổ chức, phản ánh một hướng tiếp cận toàn diện hơn. Mặc dù số lượng tài liệu được lựa chọn tương đối hạn chế, nhưng chính sự tuyển chọn có chủ đích, mang tính đại diện cho các hướng nghiên cứu chủ đạo, đã cung cấp cơ sở đáng tin cậy để nhận diện các xu thế phát triển chính của lĩnh vực này.

Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại một số khoảng trống nghiên cứu đáng lưu ý. Phần lớn các công trình hiện nay vẫn mang tính khái niệm hoặc mô phỏng, thiếu các nghiên cứu thực nghiệm quy mô lớn hoặc điển hình triển khai trong thực tế. Ngoài ra, có sự mất cân đối về phạm vi địa lý khi phần lớn nghiên cứu tập trung vào các cảng châu Âu và Đông Á, trong khi khu vực Đông Nam Á, Nam Mỹ và châu Phi còn ít được khảo sát. Các nghiên cứu tương lai cần tập trung vào ba hướng chính:

- (1) Phát triển mô hình tích hợp IT dựa trên dữ liệu thực tiễn.
- (2) Phân tích định lượng về tác động của IT đến hiệu quả vận hành, môi trường và năng suất cảng.
- (3) Xây dựng khung đánh giá mức độ trưởng thành số (digital maturity) của cảng làm cơ sở cho hoạch định chiến lược chuyển đổi số.

Những định hướng này không chỉ giúp khép lại các khoảng trống nghiên cứu hiện hữu mà còn góp phần nâng cao tính ứng dụng và giá trị thực tiễn cho lĩnh vực quản lý cảng biển và logistics toàn cầu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tổng hợp và phân tích có hệ thống các xu hướng nghiên cứu liên quan đến ứng dụng công nghệ thông tin (IT) trong phát triển cảng thông minh, thông qua việc áp dụng phương pháp PRISMA để đảm bảo tính khách quan và khoa học. Kết quả chỉ ra rằng các nghiên cứu hiện tại chủ yếu tập trung vào việc khai thác các công nghệ của Công nghiệp 4.0 như IoT, AI và Big Data nhằm tối ưu hóa hoạt động cảng, tự động hóa quy trình, và tăng cường năng lực phân tích dữ liệu. Xu hướng tích hợp hệ thống IT đang dần thay thế các giải pháp công nghệ riêng lẻ, phản ánh bước chuyển dịch quan trọng trong tiếp cận nghiên cứu và thực tiễn triển khai.

Tuy nhiên, vẫn tồn tại những khoảng trống cần được nghiên cứu trong tương lai, đặc biệt là sự thiếu hụt các nghiên cứu thực nghiệm quy mô lớn, hạn chế về phạm vi địa lý (thiên lệch về châu Âu và Đông Á), và sự thiếu vắng các mô hình đánh giá mức độ trưởng thành số trong vận hành cảng. Trong bối cảnh đó, các nghiên cứu tương lai nên ưu tiên phát triển các khung mô hình IT tích hợp, kết hợp phân tích định lượng tác động và xây dựng chỉ số đánh giá phục vụ cho hoạch định chính sách. Những hướng đi này không chỉ làm sâu sắc thêm nền tảng học thuật mà còn đóng vai trò thiết thực trong việc hỗ trợ quá trình chuyển đổi số hiệu quả và bền vững cho ngành cảng và logistics toàn cầu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số **DT24-25.115**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Văn Hùng và Nguyễn Văn Trường (2021). *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ thông tin trong khai thác và điều hành cảng container tại Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 65, tr.23-31.
- [2] Đặng Văn Hòa và Trần Đức Trung (2020). *Đánh giá tiềm năng triển khai mô hình cảng thông minh tại khu vực Cảng Hải Phòng*. Tạp chí Giao thông Vận tải, Số 10/2020. tr.45-50.
- [3] Tổng Công ty Tân Cảng Sài Gòn (2022). *Báo cáo chuyển đổi số trong quản lý và khai thác cảng container tại Việt Nam*. Hội thảo quốc gia về logistics và chuyển đổi số, TP. Hồ Chí Minh.
- [4] Nguyễn Xuân Sang (2021). *Định hướng phát triển cảng biển Việt Nam trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0*. Diễn đàn Logistics Việt Nam 2021, Bộ Công Thương & Ngân hàng Thế giới.

- [5] Acciaro, Michele, et al (2018). *Are the innovation processes in seaport terminal operations successful?* Maritime Policy & Management, Vol.45.6, pp.787-802.
- [6] Al-Fatlawi, Hayder Ali, and Hassan Jassim Motlak (2023). *Smart ports: towards a high performance, increased productivity, and a better environment*. International Journal of Electrical & Computer Engineering, Vol.13(2).
- [7] Barros, Carlos Pestana, and Manolis Athanassiou (2004). *Efficiency in European seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal*. Maritime Economics & Logistics, Vol.6, pp.122-140.
- [8] Belfkih, Abderrahmen, Claude Duvallet, and Bruno Sadeg (2017). *The Internet of Things for smart ports: Application to the port of Le Havre*. Proceedings of IPaSPort 2017.
- [9] Boullauazan, Yassin, Christa Sys, and Thierry Vanelander (2023). *Developing and demonstrating a maturity model for smart ports*. Maritime Policy & Management, Vol.50(4), pp.447-465.
- [10] Chen, Jihong, et al (2019). *Constructing governance framework of a green and smart port*. Journal of Marine Science and Engineering, Vol.7(4): 83.
- [11] Chiang, Chao-Hung, and Cherng-Chwan Hwang (2009). *Competitiveness of container ports in a region with cooperation and integration*. Journal of the Society for Transportation and Traffic Studies, Vol.1, pp.77-91.
- [12] Chiu, Rong-Her, Le-Hui Lin, and Shih-Chan Ting (2014). *Evaluation of green port factors and performance: a fuzzy AHP analysis*, Mathematical problems in engineering 2014, Vol.1: 802976.
- [13] Coto-Millan, Pablo, Jose Banos-Pino, and Ana Rodriguez-Alvarez (2000). *Economic efficiency in Spanish ports: some empirical evidence*, Maritime Policy & Management, Vol.27(2)m pp.169-174.
- [14] Cullinane, Kevin, et al (2004). *An application of DEA windows analysis to container port production efficiency*, Review of network Economics, Vol.3(2).
- [15] Cullinane, Kevin, and Teng-Fei Wang (2006). *Data envelopment analysis (DEA) and improving container port efficiency*, Research in Transportation Economics, Vol.17, pp.517-566.
- [16] De Moura, Delmo Alves (2022). *Analysis of industry 4.0 and their impact on port environmental management*, Independent Journal of Management & Production, Vol.13(5), pp.1168-1190.
- [17] Denyer, David, and David Tranfield (2009). *Producing a systematic review*.
- [18] Flynn, Matthew, P-W. Lee, and Theo Notteboom (2011). *The next step on the port generations ladder: customer-centric and community ports*, Current issues in shipping, ports and logistics/Notteboom, Theo [edit.], pp.497-510.
- [19] Heikkilä, Marikka, Jouni Saarni, and Antti Saurama (2022). *Innovation in smart ports: Future directions of digitalization in container ports*, Journal of Marine Science and Engineering, Vol.10(12):1925.
- [20] Hirata, Enna (2022). *Shipping Digitalization, Supply Chain: Recent Advances and New Perspectives in the Industry 4.0 Era*:107.
- [21] Kaliszewski, Adam (2018). *Fifth and sixth generation ports (5GP, 6GP)-evolution of economic and social roles of ports*, Retrieved, Vol.5:31.
- [22] Karas, Adrianna (2020). *The role of digitalization for smart port concept*, Economic and Social Development: Book of Proceedings, pp.406-412.
- [23] Lee, Paul Tae-Woo, and Jasmine Siu Lee Lam (2016). *Developing the fifth generation ports model*, Dynamic shipping and port development in the globalized economy, Vol.2: Emerging trends in ports, pp.186-210.
- [24] Lin, Sheng-Che, Hsien-Kuo Chang, and Ying-Feng Chung (2022). *Exploring the impact of different port governances on smart port development strategy in Taiwan and Spain*. Sustainability, Vol.14(15): 9158.
- [25] Lirn, Taih-Cherng, Helen A. Thanopoulou, and Anthony KC Beresford (2003). *Transshipment port selection and decision-making behaviour: analysing the Taiwanese case*. International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol.6(4), pp.229-244.
- [26] Yang, Yongsheng, et al (2018). *Internet of things for smart ports: Technologies and challenges*. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol.21(1), pp.34-43.

- [27] Sohaib, R. M., et al (2010). *Network Slicing for Beyond 5G Systems: An Overview of the Smart Port Use Case*. Electronics 2021, 10, 1090.
- [28] Tongzon, Jose (2001). *Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.35(2), pp.107-122.
- [29] Verhoeven, Patrick. (2010), *A review of port authority functions: towards a renaissance?*. Maritime Policy & Management, Vol.37(3), pp.247-270.
- [30] Wu, Jie, Hong Yan, and John Liu (2010). *DEA models for identifying sensitive performance measures in container port evaluation*. Maritime Economics & Logistics, Vol.12, pp.215-236.
- [31] Yao, Haiyuan, et al (2021). *Development direction of automated terminal and systematic planning of smart port*. 2021 IEEE 2nd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE). IEEE.
- [32] De la Peña Zarzuelo, Ignacio (2021). *Cybersecurity in ports and maritime industry: Reasons for raising awareness on this issue*. Transport Policy, Vol.100: 1-4.
- [33] Zhuang, Zilong, et al (2022). *Optimization for integrated scheduling of intelligent handling equipment with bidirectional flows and limited buffers at automated container terminals*. Computers & Operations Research, Vol.145: 105863.

Ngày nhận bài:	19/05/2025
Ngày nhận bản sửa:	10/06/2025
Ngày duyệt đăng:	16/06/2025