

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ BẢN SAO KỸ THUẬT SỐ TẠI HỆ THỐNG CẢNG BIỂN MỚI CỦA VIỆT NAM

APPLICATION OF DIGITAL TWIN FOR FUTURE VIETNAM PORT SYSTEM

BÙI THỊ THÙY LINH*, NGUYỄN VĂN HÙNG

Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: linhbtt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài viết này đã xem xét các yếu tố khái niệm, lịch sử phát triển, đặc điểm kỹ thuật và xu hướng ứng dụng của công nghệ bản sao kỹ thuật số. Cảng biển đóng vai trò như một cửa ngõ kết nối thương mại quốc tế và hoạt động khai cảng có nhiều kết nối đa dạng và phức tạp. Bài báo đã tổng hợp các thông tin cho thấy việc áp dụng công nghệ kỹ thuật số vào hoạt động quản lý và khai thác cảng biển là cần thiết, và các vấn đề cần được chú trọng bao gồm nhu cầu số hóa cảng và quản lý tích hợp, thiết lập nghiên cứu về xây dựng cơ sở hạ tầng cảng, tích hợp dữ liệu, xây dựng mô hình thông tin, mở rộng nền tảng dịch vụ ứng dụng, ... Quá trình phát triển cảng và khả năng đảm bảo thích ứng được trực quan hóa, từ đó cắt giảm chi phí và nâng cao hiệu quả của toàn bộ chuỗi logistics và chuỗi giá trị.

Từ khóa: Công nghệ cảng biển, bản sao kỹ thuật số, cảng biển Việt Nam, bến container.

Abstract

This paper has reviewed the conceptual elements, development history, technical characteristics and application trends of digital twin technology. The seaport as a gateway connects international trade and its operation activities are diverse with complex connections. The study has compiled the information proving the necessity to apply digital twin technology in seaport management and operation, and the important focuses include the need for digitalization and integrated management, especially the establishment of infrastructure construction research, data integration, information modeling, application service platform expansion, etc. The development process and the ability to ensure adaptation are visualized, thereby facilitating costs cutting and improvement in the efficiency of the entire logistics and value chain.

Keywords: Maritime Port Technology, Digital Twin, Vietnam's Seaports, container terminals.

1. Đặt vấn đề

Cảng thông minh là xu hướng phát triển chung của các cảng biển trên thế giới, đặc biệt là các cảng container, bởi nhiều lợi ích mà cảng thông minh mang lại như hiệu quả khai thác, cắt giảm chi phí, giảm thiểu tác động môi trường [1]. Hai yếu tố quan trọng để hình thành cảng thông minh đó là số hóa và tự động hóa, trong đó số hóa được hiểu là việc áp dụng công nghệ số trong vận hành và khai thác cảng biển [2]. Đặc biệt, các sự kiện bất ngờ như dịch Covid-19, bão Yagi đã cho thấy việc quản lý và khai thác các nguồn lực của cảng, duy trì các kết nối giữa cảng và chuỗi logistics sau cảng là vô cùng quan trọng. Từ đó, công nghệ bản sao kỹ thuật số đã được chú ý đến, thông qua việc tạo ra một bản sao số hóa của một bến cảng, để vận hành, quản lý và nhanh chóng tìm đưa ra các quyết định vận hành hiệu quả [3]. Bài báo này nhằm hệ thống hóa kiến thức và chỉ ra các yêu cầu kỹ thuật của công nghệ bản sao kỹ thuật số và đối với các cảng biển thế hệ mới ở Việt Nam qua phương pháp nghiên cứu thứ cấp. Đối tượng nghiên cứu chính của bài báo là các bến container với các chức năng, hoạt động khai thác cũng như trang thiết bị được chuyên môn hóa cao.

2. Ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trong lĩnh vực khai thác cảng

2.1. Tổng quan về công nghệ bản sao kỹ thuật số

Digital Twin là bản sao kỹ thuật số theo thời gian thực của một đối tượng hoặc quy trình. Theo Amazon (2022), Digital Twin là phiên bản kỹ thuật số của một hệ thống vật lý riêng lẻ được cập nhật liên tục với dữ liệu theo thời gian để bắt chước cấu trúc, trạng thái và hành vi thực của hệ thống vật lý đó nhằm thúc đẩy kết quả kinh doanh. “Bản sao kỹ thuật số” là mô hình ba chiều của các thực thể vật lý, nhấn mạnh sự tương tác giữa ảo và thực, đồng thời hiện thực hóa cập nhật thời gian thực và tiến hóa động thông qua mô phỏng và các phương pháp khác [4].

Bản sao kỹ thuật số đã được áp dụng trong nhiều lĩnh vực. Năm 2011, Phòng thí nghiệm nghiên cứu của Không quân Hoa Kỳ đề xuất “Bản sao kỹ thuật số khung máy bay” để giải quyết vấn đề bảo dưỡng thân

máy bay chiến đấu [5]. Năm 2014, nhiều công ty phần mềm công nghiệp nổi tiếng như PTC, ESI, ANSYS,... đã sử dụng thuật ngữ "Digital Twin" trong các hoạt động tiếp thị của họ và đã liên tục thực hiện nhiều nghiên cứu chuyên sâu và mở rộng về phát triển công nghệ này. Cùng với sự phát triển của các công nghệ mới về thông tin và truyền thông như dữ liệu lớn, điện toán đám mây hay AI, bản sao kỹ thuật số đã được ứng dụng vào nhiều ngành công nghiệp như sản xuất hàng không, thiết kế công nghiệp, phân phối điện, thiết kế tàu, quản lý đô thị, xây dựng và khai thác năng lượng, y khoa,...

Chưa có định nghĩa chuẩn nào được công nhận về "bản sao số" và khái niệm này vẫn đang trong quá trình phát triển và tiến hóa. Dữ liệu cảm biến được lắp đặt trên hệ thống thực được sử dụng là điều kiện cơ bản của mô hình mô phỏng để hiện thực hóa hoạt động đồng bộ của hệ thống thể giới thực và hệ thống thể giới số. "Bản sao kỹ thuật số" bao gồm 3 phần: Mô hình dữ liệu, một tập hợp các phân tích hoặc thuật toán và kiến thức.

2.2. Đặc điểm kỹ thuật của công nghệ bản sao kỹ thuật số

Sách trắng về ứng dụng bản sao kỹ thuật số (Phiên bản 2020) đề xuất rằng các bản sao kỹ thuật số phải có tương tác thời gian thực, mô phỏng hệ thống, khả năng truy xuất nguồn gốc đầy đủ, tối ưu hóa cục bộ và các đặc điểm đặc trưng khác [6].

Các thực thể vật lý và không gian kỹ thuật số trong mô hình bản sao kỹ thuật số có thể được ánh xạ theo hai hướng, tương tác động và tương tác với nhau. Các thực thể kỹ thuật số trong bản sao kỹ thuật số có thể được sử dụng để mô tả một cách trực quan cấu trúc và cơ chế hoạt động bên trong một thực thể vật lý, từ đó theo dõi dữ liệu trạng thái của thực thể đó, phân tích và tối ưu hóa các tham số quy trình và tham số vận hành. Vòng đời của các thực thể ảo trong bản sao kỹ thuật số bao gồm khởi tạo, thiết kế và phát triển, xác minh và xác thực, triển khai, vận hành và giám sát,

đánh giá lại và ngừng hoạt động, tương ứng với toàn bộ vòng đời của các thực thể vật lý.

2.3. Ứng dụng bản sao kỹ thuật số (Digital Twin) trong lĩnh vực khai thác cảng

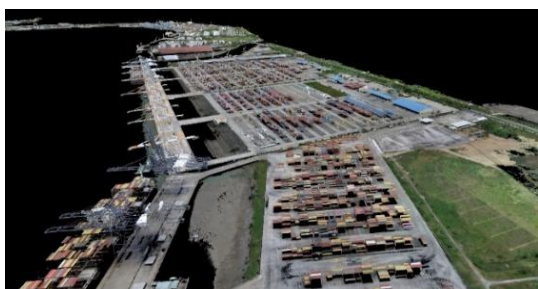
Quá trình số hóa tại cảng biển được diễn ra nhờ sự phát triển và ứng dụng của các công nghệ số hóa quan trọng, bao gồm: IoT, dữ liệu lớn, mô phỏng, thuật toán đám mây,... [7] Khi áp dụng công nghệ trong các cảng container thông minh, dữ liệu về vị trí, trạng thái, và điều kiện lưu trữ của container và hàng hóa sẽ trở thành dữ liệu đầu vào cần thiết để xây dựng bản sao kỹ thuật số. Độ chính xác và tần suất thu thập dữ liệu liên tục sẽ giúp dự đoán và tối ưu hóa luồng lưu chuyển hàng hóa và chuỗi cung ứng tại cảng biển.

Các cảng có thể phát triển ở nhiều cấp độ số hóa khác nhau và bản sao kỹ thuật số là một trong những công nghệ giúp quản lý các quy trình hoạt động tại cảng [8]. Phát triển các bãi container tự động kết hợp với công nghệ bản sao kỹ thuật số bao gồm quản lý thiết bị, các giao diện phần mềm, kiểm soát chương trình, và các đường dây truyền tải dữ liệu, giúp giảm khoảng cách giữa việc vận hành bến container và các biện pháp tối ưu hóa hoạt động khai thác [9]. Công nghệ bản sao kỹ thuật số được áp dụng tại cảng Gothenburg, Thụy Điển với các cảm biến giám sát phát thải trên tàu hay các công tự động cho xe tải giúp cải thiện hiệu quả khai thác đáng kể [10]. Nhiều cảng khác cũng áp dụng công nghệ này như Hamburg, Antwerp, Long Beach, Singapore, Ningbo,... trong quản lý trang thiết bị, giám sát quá trình vận hành, lập kế hoạch hoặc ra quyết định [11]. Công nghệ bản sao kỹ thuật số mô phỏng các tình huống hoạt động khác nhau, giúp đưa ra các quyết định tối ưu về vận hành, bảo trì, và tài chính. Nhiều rào cản kỹ thuật trong việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số cũng đã được nghiên cứu như chi phí cao, chất lượng dữ liệu, khả năng thu thập dữ liệu, xác thực mô hình [12]. Bảng 1 dưới đây tổng hợp các công nghệ và phương thức lấy dữ liệu tại một số cảng thông minh có áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trên thế giới [13].

Bảng 1. Các ứng dụng bản sao kỹ thuật số tại một số cảng thông minh

Cảng, quốc gia	Phần mềm	Phương thức lấy dữ liệu	Nền tảng
Cảng Valencia, Tây Ban Nha	BIM	IoTs	GoAigua
Cảng Singapore, Singapore	Bently	GPS Lands	Orbit 3DM Content Manager
Cảng Rotterdam, Hà Lan	BIM	IoTs cloud server	Chương trình ứng dụng bản sao kỹ thuật số phiên bản 1
Cảng Hamburg, Đức	BIM	5G	5G MoNArch

Việc áp dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trong hoạt động khai thác cảng sẽ là bước tiến mới để nâng cao năng suất khai thác cảng đồng thời hạn chế rủi ro vận hành trong tương lai. Tại Việt Nam, một bản sao kỹ thuật số hệ thống cảng khu vực Cái Mép - Thị Vải (Hình 1) đang được nghiên cứu và xây dựng bởi Portcoast tuy nhiên mới chỉ dừng lại ở mô hình 3D và thực tế ảo (VR). Bản sao kỹ thuật số không đơn giản chỉ tạo ra 1 mô hình 3D dạng tĩnh giống như trong ảnh, mà phải kết hợp thêm các hiệu ứng và công nghệ khác để thể hiện container đang được nâng hạ, thiết bị đang hoạt động như bên ngoài thật nhưng ở dạng mô phỏng. Do đó, tại các bến cảng khu vực Cái Mép - Thị Vải chỉ mới ở giai đoạn nghiên cứu triển khai công nghệ này.

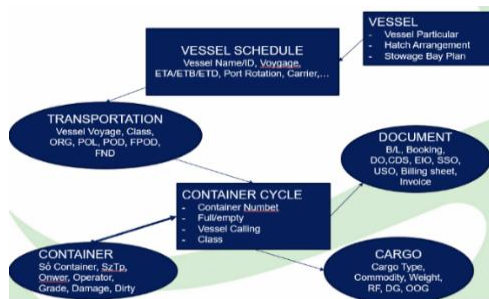


Hình 1. Bản sao kỹ thuật số hệ thống cảng khu vực Cái Mép - Thị Vải (Bà Rịa - Vũng Tàu)

2.4. Xây dựng bản sao kỹ thuật số cảng biển

Trong bản sao kỹ thuật số, các thực thể được mô tả bằng hàng triệu điểm phản ánh chính xác môi trường thực trong tọa độ không gian 3 chiều X, Y, Z và thông số màu dựa trên công nghệ đám mây điểm để xây dựng và quản lý nội bộ mô hình các bến cảng.

Các dữ liệu cơ bản do người dùng khai báo ban đầu để phần mềm bắt đầu vận hành gồm có: Hạ tầng cảng (mã cảng, cầu bến, cột neo, bãi/block/area, thiết bị xếp dỡ, thiết bị vận chuyển, công kiểm soát); Tàu, hành trình chuyến tàu; Người dùng, bộ phận & vai trò; Các danh mục căn bản chung: Cảng, Địa điểm giao nhận hàng, ISO SztP, Local SztP (Hình 2).



Hình 2. Các yếu tố thông tin cơ sở hạ tầng tại cảng

Những dữ liệu mà máy tính hiểu và điều khiển, không phải do người dùng định nghĩa, cần được thiết lập các quy định cụ thể, chẳng hạn như: Phương án giao nhận gồm lấy nguyên, cấp rỗng, nhập tàu, xuất tàu; trạng thái container gồm đang nằm trong bãi, trạng thái container đã làm lệnh nhưng chưa được giao đến cảng, trạng thái container vẫn đang nằm trên tàu, đang di chuyển vào bãi từ hướng cổng cảng, cầu tàu và ngược lại; phương án khai thác tại các khu vực cầu tàu, bãi, cổng và khu vực dịch vụ khác trong cảng biển.

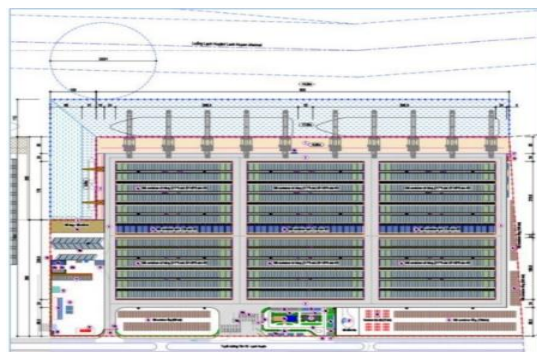
Mô hình thông tin có thể được thiết lập bằng cách sử dụng công nghệ BIM (Building Information Modeling) + GIS (Geographic Information System), công nghệ khớp ảnh, chụp ảnh xiên, công nghệ lập bản đồ kết cấu, kỹ thuật tối ưu hóa lưu trữ mô hình ba chiều như công nghệ mô hình hóa. Khu vực xếp dỡ hàng hóa tại bến tàu, kho bãi, các tòa nhà, bãi đậu xe, không gian xanh cần được xử lý thành mô hình dưới dạng các đơn phân, hình thành nên mô hình thông tin đơn phân định lượng và các chỉ số của cổng, có thể đồng bộ hóa để truy cập vào nhiều thành phần chức năng chính của các nguồn thông tin, cung cấp công nghệ thuật số từ bên trong ra bên ngoài theo cấu trúc. Dữ liệu nhận thức IoT phải được tải, hợp nhất và trình bày nhanh chóng theo thời gian thực trên nền tảng mô hình để hiện thực hóa hình ảnh dữ liệu giám sát hoạt động theo thời gian thực, chẳng hạn như hình ảnh video hoạt động theo thời gian thực, chỉ số ô nhiễm không khí, lưu lượng giao thông, quỹ đạo của người đi bộ và khối lượng hoạt động của bến.

Nền tảng dựng về quy hoạch cảng, quản lý xây dựng, vận hành bảo dưỡng, dịch vụ công cộng,... cũng cần được mở rộng. Trước khi quy hoạch xây dựng cảng, cần tiến hành thử nghiệm trước về hiệu quả và kết quả triển khai. Thông qua mô hình cảng ảo và thực, mỗi điều chỉnh quy hoạch và thay đổi chương trình đều có thể dự đoán trước tác động đến mô hình phát triển chung của cảng. Ví dụ, trạng thái tại cổng cảng được hiển thị đầy đủ trong quá trình vận hành cổng, từ đó phân tích tình trạng tắc nghẽn và cải thiện hiệu quả cũng như công suất vận hành tại cổng.

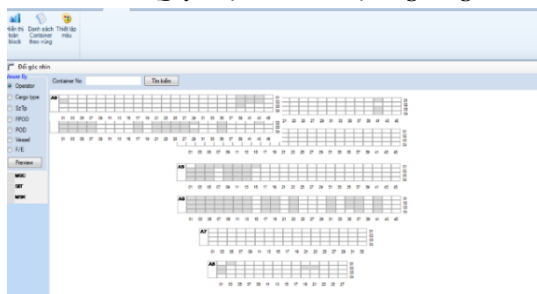
Việc quy hoạch chi tiết hạ tầng cảng đóng vai trò quan trọng trong việc thiết lập các thông số đầu vào của hệ thống. Nếu thiết kế quy hoạch các không gian khai thác, các phương án và thiết bị khai thác không đảm bảo có thể gây nhiễu dữ liệu khi vận hành (Hình 3).

Khi quy hoạch bãi chứa container trên hệ thống phần mềm, cần hiểu thông số các dạng quy hoạch ứng với thiết bị, căn cứ theo thiết kế và quy định của công suất bãi mà tiến hành bố trí bãi container được sắp xếp thành các block song song và các container nằm ở

giữa hai chân của hệ thống cầu khung RTG. Mỗi block có các vị trí xếp container 20FT (slot) và cứ hai vị trí xếp container 20FT theo chiều dọc của block có thể xếp được một container 40FT (Hình 4).



Hình 3. Quy hoạch chi tiết hạ tầng cảng



Hình 4. Thiết lập hạ tầng bãi chứa container trên hệ thống phần mềm



Hình 5. Thiết lập màu cho các trạng thái hoạt động của phương tiện xếp dỡ nâng hạ tại cảng



Hình 6. Thiết lập màu cho các trạng thái chờ (dwell) với những container được phân bổ công việc dịch chuyển tại bãi

Bãi chứa hàng của cảng có thể được thiết kế để chứa cả hàng tổng hợp và hàng container. Khi lượng hàng tổng hợp chiếm hết diện tích bãi, phần còn lại của bãi có thể chứa container. Bãi có thể được chia thành nhiều khu vực với chức năng riêng biệt như bãi hàng tổng hợp, bãi mở, bãi container, bãi vỏ container, bãi container lạnh. Bên cạnh đó, trong bãi cần bố trí các làn đường với bề rộng 1,5m cho cầu RTG di chuyển và cầu RTG có thể xếp chồng được 5 tầng container.

Dựa trên thông tin thu thập được, phần mềm Autodesk Revit sẽ xây dựng mô hình 3D công trình kết cấu cảng bằng các đám mây điểm, kết hợp với phần mềm hỗ trợ chuyên dụng từ máy quét laser 3D (Hình 5 và 6). Mô hình này không chỉ giúp quản lý, cập nhật dữ liệu về tài sản mà còn tạo ra mô hình ảo phục vụ tham quan cảng và đặc biệt là xây dựng bản sao số để tối ưu hóa quản lý và vận hành.

3. Các yêu cầu trong ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại cảng biển tại Việt Nam

3.1. Các yêu cầu khi triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số tại cảng biển Việt Nam

Bản sao kỹ thuật số là một công nghệ mô phỏng vật thể thực tế trong không gian ảo dựa trên những thông tin được tiếp nhận từ thế giới thực, vì vậy dữ liệu đầu vào có quyết định rất lớn đến hiệu quả và độ tin cậy của bản sao kỹ thuật số. Chất lượng, độ tin cậy và lượng dữ liệu phù hợp là yếu tố cốt lõi để mô phỏng chính xác hệ thống thực tế và mang lại lợi ích cho các đơn vị vận hành.

Dữ liệu thời gian thực liên tục được thu thập qua các cảm biến, camera và các thiết bị kết nối khác. Do đó, cảng biển cần trang bị các thiết bị thu thập thông tin và công nghệ để truyền tải, chia sẻ thông tin (IoT, 5G, RFID).

Khi áp dụng bản sao kỹ thuật số trong các hoạt động của cảng biển, các vấn đề về bảo mật và quản lý dữ liệu cũng cần được kiểm soát. Dữ liệu được chia sẻ giữa nhiều bên liên quan trong chuỗi cung ứng, khiến việc kiểm soát và quản lý quyền truy cập dữ liệu trở nên phức tạp.

Bản sao kỹ thuật số thu thập dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, dẫn đến lượng dữ liệu khổng lồ cần được lưu trữ, xử lý và phân tích khiến bản sao kỹ thuật số có thể trở thành mục tiêu tấn công mạng bởi hacker.

Người lao động tại cảng biển cần được đào tạo nâng cao, tập trung vào kỹ năng sử dụng bản sao kỹ thuật số, giám sát và quản lý hoạt động cảng biển qua giao diện màn hình, đưa ra quyết định kịp thời, chính xác.

3.2. Thuận lợi và thách thức khi ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số tại cảng biển Việt Nam

3.2.1. Thuận lợi

Hiện tại các cảng biển Việt Nam đang được ứng dụng nhiều phần mềm quản lý và khai thác của cả doanh nghiệp cung cấp phần mềm trong nước và doanh nghiệp nước ngoài. Hệ thống phần mềm của các nhà cung cấp tại Việt Nam bao gồm PLTOS của Công ty Cổ phần Giải pháp Cảng và Hậu Cần; phần mềm VTOS của Công ty TNHH Tin học CEH đã được các đơn vị Công ty Cổ phần Cảng Hải Phòng, Công ty Cổ phần tập đoàn Container Việt Nam. Các hệ thống phần mềm của nhà cung cấp nước ngoài như Catos của Hàn Quốc, TopX của Úc hay Navis của Mỹ cũng đang được triển khai ứng dụng tại các cảng nước sâu khu vực Lạch Huyện và Cái Mép Thị Vải - 2 cảng nước sâu lớn nhất Việt Nam hiện nay.

Bằng cách "số hóa" toàn bộ quy trình từ giai đoạn lập kế hoạch, quản lý đến vận hành, các cảng nói chung và cảng trọng điểm như cảng Hải Phòng và Cái Mép - Thị Vải (Bà Rịa - Vũng Tàu), có thể phát huy vai trò chiến lược của mình như cửa ngõ trung chuyển container quốc tế, hướng tới các mục tiêu về tối ưu hóa hiệu suất khai thác, giảm rủi ro tác động môi trường, tăng cường kết nối với hệ sinh thái cảng biển toàn cầu. Đồng thời, các bên liên quan tới chuỗi cung ứng cảng biển gồm cơ quan quản lý, doanh nghiệp kinh doanh và khai thác cảng, các mắt xích trong chuỗi vận tải cũng có thêm công cụ mạnh mẽ để quản lý và khai thác tiềm năng của cảng biển một cách toàn diện.

3.2.2. Thách thức

Để đảm bảo hệ thống cơ sở dữ liệu triển khai công nghệ bản sao kỹ thuật số, các cảng biển Việt Nam cần tập trung vào việc xây dựng và duy trì dữ liệu toàn diện trong suốt vòng đời dự án, trong các khâu khảo sát, thiết kế, thi công đến vận hành và bảo trì. Việc triển khai cảm biến IoT chưa đầy đủ khiến việc thu thập, chuẩn hóa và đồng bộ dữ liệu giữa các khu vực hoạt động gặp nhiều khó khăn.

Trong tích hợp dữ liệu, hệ thống phần mềm khai thác cảng còn rời rạc, được cung cấp và phát triển bởi nhiều bên, nên công tác trao đổi dữ liệu hay còn gọi là API hệ thống (Application Programming Interface) - giao diện lập trình ứng dụng, cho phép các phần mềm hoặc hệ thống khác nhau kết nối và tương tác với nhau - còn thực hiện thủ công, chưa tự động hóa.

Bên cạnh đó, các công nghệ được sử dụng kết hợp cùng bản sao kỹ thuật số gồm có mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling), quy

trình Scan-to-BIM, và đám mây điểm pointcloud. Trong đó, cơ sở hạ tầng cảng biển, từ khâu từ khâu thiết kế tới thi công và vận hành, sẽ được tạo lập và quản lý các thông số đặc trưng kỹ thuật số nhằm nâng cao hiệu quả vận hành. Máy quét 3D laser, mobile mapping hoặc aerial mapping sẽ được sử dụng để theo dõi hiện trạng các thực thể bên trong bến cảng, luồng tàu, quy hoạch chi tiết cảng một cách chính xác nhất theo quy trình Scan-to-BIM. Việc xây dựng mô hình và mô phỏng dữ liệu bị hạn chế bởi sự thiếu hụt các mô hình BIM/GIS do chi phí cao của việc mô hình hóa 3D cao và chuyên môn kỹ thuật tại địa phương trong việc sử dụng các công cụ mô phỏng như Anylogic hoặc Simio còn thiếu.

Về hạ tầng công nghệ, tại các hệ thống cảng mới, như khu vực Lạch Huyện Hải Phòng, được trang bị hệ thống phần mềm khai thác cảng hiện đại, tuy nhiên hệ thống vẫn đang vận hành theo dạng thu thập, lưu trữ và xử lý dữ liệu từ các bộ phận khác nhau trong nội bộ tổ chức chưa được vận hành đưa lên nền tảng đám mây và khả năng điện toán đám mây và thiếu thiết bị mạng cần thiết để thu thập và xử lý dữ liệu theo thời gian thực. Theo đó, chưa có một nền tảng dịch vụ ứng dụng toàn diện cho các cảng biển Việt Nam giúp giám sát dữ liệu theo thời gian thực để hỗ trợ lập kế hoạch, giám sát hoạt động và ra quyết định.

Những hạn chế này cản trở việc hiện thực hóa bản sao kỹ thuật số của cảng biển tại Việt Nam. Để vượt qua những thách thức này, cần đầu tư đáng kể vào cơ sở hạ tầng, nâng cao năng lực, công cụ kỹ thuật số và sự đồng bộ chiến lược với các sáng kiến cảng thông minh nhằm hỗ trợ quá trình chuyển đổi số dài hạn, cải thiện hiệu quả, an toàn và khả năng cạnh tranh trong hoạt động của cảng.

4. Kết luận

Việc áp dụng công nghệ hiện đại vào quy trình vận hành cảng biển mang lại khả năng hỗ trợ cho các doanh nghiệp cảng. Nhân viên tại các phòng ban phụ trách khai thác có thể giám sát, quản lý từ xa và truy cập hệ thống bất kỳ lúc nào. Điều này tạo điều kiện cho các chuyên gia kỹ thuật tập trung hợp tác, điều chỉnh thiết kế hoặc tiến hành sửa chữa một cách hiệu quả. Cảng biển được xem như là một điểm nút quan trọng chung chuyển hàng hóa trong chuỗi hoạt động logistics, việc xây dựng kế hoạch triển khai và ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số để quản lý hoạt động cảng biển là phù hợp. Công nghệ bản sao số cần được kết hợp với việc xây dựng cảng thông minh hiện tại để tiến hành thăm dò sâu hơn, đồng thời phải liên kết chặt chẽ và tích hợp sâu với thể hệ công nghệ

thông tin mới, dựa trên các công nghệ mới như dữ liệu lớn, IoT và AI để xây dựng một cảng kết hợp giữa ảo và thực. Tại Việt Nam, các khu bến cảng mới đang được xây dựng ở khu cảng Lạch Huyện, Hải Phòng hay bến Germalink ở khu vực Cái Mép, Thị Vải là những bến cảng mới, hiện đại, mức độ áp dụng công nghệ cao với các thiết bị xếp dỡ hàng hóa chuyên dụng là một điều kiện thuận lợi để ứng dụng các công nghệ mới như bản sao kỹ thuật số. Tuy nhiên, một số rào cản cần được khắc phục như chi phí đầu tư cao, các công nghệ hỗ trợ đi kèm, năng lực vận hành và ra quyết định.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.117**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Cảnh Lam, Bùi Thị Thùy Linh (2020). *Tổng hợp khái niệm về cảng thông minh và bài học từ trường hợp điển hình cảng Hamburg*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 64-11/2020.
- [2] Agatić, A., & Kolanović, I. (2020). *Improving the seaport service quality by implementing digital technologies*. Pomorstvo, Vol.34(1), pp.93-101.
- [3] Neugebauer, J., Heilig, L., Voß, S. (2023). *Digital Twins in Seaports: Current and Future Applications*. In: Daduna, J.R., Liedtke, G., Shi, X., Voß, S. (eds) Computational Logistics. ICCL 2023. Lecture Notes in Computer Science, Vol.14239. Springer, Cham.
- [4] *Digital twin workshop: a new paradigm for futureworkshop [J]*. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, Vol.23(1), pp. 1-9.
- [5] Aaron Parrott, Dr. Lane Warshaw. *Industry 4.0 and the digital twin*, Deloitte University Press;
- [6] An Industrial Internet Consortium White Paper. *Digital Twins for Industrial Applications-Definition, Business Values, Design Aspects, Standards and Use Cases* (2020).
Access via:
https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf
- [7] Neugebauer, J., Heilig, L. & Voß, S (2024). *Digital Twins in the Context of Seaports and Terminal Facilities*. Flex Serv Manuf J, Vol.36, pp.821-917.
- [8] Wang K, Hu Q, Liu J (2022), *Digital twin-driven approach for process management and traceability towards ship industry*. Processes, Vol.10(6), 1083p.
- [9] Gao Y, Chang D, Chen CH, Xu Z (2022b) *Design of digital twin applications in automated storage yard scheduling*. Adv Eng Inform, Vol.51, 101477p.
- [10] Dalaklis D, Christodoulou A, Ölcner A, Ballini F, Dalaklis A, Lagdami K (2021), *The Port of Gothenburg under the influence of the fourth stage of the industrial revolution: Implementing a wide Portfolio of digital tools to optimize the conduct of operations*. Maritime Technol Res, Vol.4(3), pp.1-18.
- [11] Bi, J., Wang, P., Zhang, W., Bao, K., & Qin, L. (2024). *Research on the Construction of a Digital Twin System for the Long-Term Service Monitoring of Port Terminals*. Journal of Marine Science and Engineering, Vol.12(7), 1215p.
- [12] Homayouni, S.M., Pinho de Sousa, J. & Moreira Marques, C (2025). *Unlocking the potential of digital twins to achieve sustainability in seaports: the state of practice and future outlook*. WMU J Marit Affairs, Vol.24, pp.59-98.
- [13] Wang, K., Hu, Q., Zhou, M., Zun, Z., & Qian, X. (2021). *Multi-aspect applications and development challenges of digital twin - driven management in global smart ports*. Case Studies on Transport Policy, Vol.9(3), pp.1298-1312.

Ngày nhận bài:	15/03/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	10/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	11/04/2025
Ngày duyệt đăng:	12/04/2025