

XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN VÀ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ BẢN SAO KỸ THUẬT SỐ TRÊN THẾ GIỚI VÀ MỘT SỐ HÀM Ý CHO VIỆT NAM¹

Trần Lan Hương²

Đại học Kinh tế Quốc dân, Việt Nam

Tóm tắt:

Bản sao kỹ thuật số là một đại diện ảo của các đối tượng, quy trình và hệ thống tồn tại trong thời gian thực. Công nghệ này đóng một vai trò quan trọng trong việc đáp ứng các yêu cầu khác nhau của Cách mạng công nghiệp 4.0. Với khả năng mô phỏng và thực thi toàn bộ các chức năng một cách dễ dàng, hiệu quả và giảm thiểu rủi ro, công nghệ bản sao kỹ thuật số đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới và mang lại nhiều lợi ích không chỉ cho các ngành công nghiệp mà còn đối với cả khu vực công. Bài báo tổng quan một cách có hệ thống các công trình nghiên cứu lý thuyết về khái niệm, đặc điểm, lợi ích và ứng dụng của bản sao kỹ thuật số và một số nghiên cứu thực nghiệm về bản sao kỹ thuật số trên thế giới, từ đó rút ra bài học kinh nghiệm nhằm đưa ra định hướng và hàm ý chính sách cho Việt Nam.

Từ khóa: Công nghệ; Ứng dụng công nghệ; Bản sao kỹ thuật số; Công nghiệp 4.0.

Mã số: 23092201

DEVELOPMENT AND APPLICATION TRENDS OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY WORLDWIDE AND IMPLICATIONS FOR VIETNAM

Summery:

Digital twin is a virtual representation of objects, processes, and systems existing in real-time. This technology plays a crucial role in meeting diverse requirements of the Fourth Industrial Revolution. With the ability to simulate and execute all functions easily, efficiently, and minimizing risks, digital twin technology is widely adopted globally, bringing numerous benefits not only to various industries but also to the public sector. This paper systematically reviews theoretical research on the concept, characteristics, benefits, and applications of digital twin technology, along with some experimental studies on digital twins worldwide. From this, it draws lessons to provide directions and policy implications for Vietnam.

Keywords: Technology; Technology Applications; Digital Twin; Industry 4.0.

¹ Bài báo là 1 phần nội dung thuộc Đề tài KX04.19/21-25.

² Liên hệ tác giả: huongtl@neu.edu.vn

1. Mở đầu

Cuộc Cách mạng công nghiệp 4.0 đề cập đến một loạt các công nghệ mới và tiến bộ kỹ thuật số làm thay đổi cách thức mà các doanh nghiệp sản xuất thông qua sự tích hợp giữa thế giới thực và ảo. Từ đó, góp phần tạo ra những nhà máy mà trong đó sự hiện diện của con người được giảm thiểu đáng kể và sự an toàn của người lao động được tối ưu hóa. Nhằm duy trì tính cạnh tranh trong những năm tới, các nhà sản xuất cần phải đầu tư vào các nền tảng Internet vạn vật công nghiệp (IIoT) thu thập và phân tích dữ liệu cũng như bản sao kỹ thuật số - sử dụng dữ liệu để giám sát, quản lý và cải thiện các hoạt động của doanh nghiệp (Ammar và cộng sự, 2021; Souza và cộng sự, 2019; Wu và cộng sự, 2020). Tuy nhiên, nhiều tổ chức vẫn đang do dự trong việc phát triển các hệ sinh thái kỹ thuật số toàn diện cho các quy trình sản xuất của họ, tích hợp các nền tảng IIoT với bản sao kỹ thuật số của thiết bị sản xuất và dây chuyền sản xuất. Bản sao kỹ thuật số mô phỏng hành vi của các thành phần vật lý cụ thể và tương tác của chúng với các thành phần khác. Sử dụng bản sao kỹ thuật số có thể giúp người sử dụng vận hành từ xa, bảo trì, dự đoán các giải pháp tối ưu bằng cách sử dụng thiết bị thực tế ảo và thực tế tăng cường (Liu và cộng sự, 2021; Matulis và Harvey, 2021; Negri và cộng sự, 2019; Sepasgozar, 2021). Để sử dụng bản sao kỹ thuật số một cách toàn diện, cần một lượng lớn dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau để xây dựng được phiên bản chính xác của vật thể trên thực tế và có thể đưa ra những phản hồi có giá trị.

Đặc biệt sau khi bước ra từ đại dịch Covid-19, giai đoạn 2021-2023 chứng kiến sự đầu tư mạnh mẽ của các ngành công nghiệp để phát triển tiềm năng của công nghệ từ đó tạo động lực hồi phục và thúc đẩy sự phát triển của hoạt động kinh doanh của các doanh nghiệp và toàn xã hội. Bản sao kỹ thuật số xứng đáng được ghi nhận vì đã tạo ra những dấu ấn đậm nét trong cách thức nhân loại ứng dụng công nghệ và tạo ra những chuyển đổi đáng kể trong hoạt động kinh doanh cũng như các ngành công nghiệp/lĩnh vực khác nhau. Tại Việt Nam, xu hướng này mới đang ở giai đoạn đầu và mới chỉ được manh nha áp dụng tại một số các tổ chức và doanh nghiệp. Các tổ chức và doanh nghiệp ở mọi ngành nghề, cấp độ đều cần phát triển nền tảng tri thức, sự hiểu biết về tiềm năng ứng dụng, xác định các kỹ năng quan trọng cần thiết khi tuyển dụng nhân sự tài năng, hoặc bồi dưỡng nâng cao kỹ năng của nhân sự hiện tại để có thể nhanh chóng nắm bắt các cơ hội, bắt kịp với xu hướng phát triển toàn cầu của công nghệ này. Giải pháp bản sao kỹ thuật số phù hợp trong nhiều lĩnh vực khác nhau quan tâm đến việc số hóa hoạt động và các tài sản của mình.

Các mục tiêu nghiên cứu chính của bài báo này như sau:

- Tổng quan về khái niệm, đặc điểm và lợi ích của bản sao kỹ thuật số;
- Các ứng dụng của bản sao kỹ thuật số đối với các doanh nghiệp trong bối cảnh Cách mạng công nghiệp 4.0

2. Công nghệ bản sao kỹ thuật số

2.1. Khái niệm bản sao kỹ thuật số

Thuật ngữ “Bản sao kỹ thuật số” được giới thiệu lần đầu vào năm 2002 bởi tiến sĩ Michael Grieves - Đại học Michigan trình bày với mục đích thành lập Trung tâm Quản lý Vòng đời Sản phẩm. Cho đến năm 2017, thuật ngữ và những hiểu biết nền tảng về bản sao kỹ thuật số chính thức được xuất bản (*Grieves và Vickers, 2016*). Đây cũng là thời gian mà những sáng chế công nghệ mới như trí tuệ nhân tạo, điện toán đám mây, nền tảng IoT,... bùng nổ tạo điều kiện cho công nghệ này được phát triển mạnh mẽ và biết đến rộng rãi hơn.

Grieves và Vickers (2016) định nghĩa bản sao kỹ thuật số là một tập hợp các cấu trúc thông tin ảo mô tả đầy đủ về một sản phẩm được sản xuất thực hay sản phẩm tiềm năng từ cấp độ nguyên tử vi mô đến cấp độ hình học vĩ mô. IBM (2023) đưa ra định nghĩa về bản sao kỹ thuật số, đó là sự thể hiện ảo của một đối tượng hoặc hệ thống kéo dài vòng đời của nó, được cập nhật từ dữ liệu thời gian thực và sử dụng mô phỏng, học máy và lý luận để giúp đưa ra quyết định. Bản sao kỹ thuật số có thể là bản sao máy tính của một vật thật, chẳng hạn như động cơ phản lực hoặc trang trại gió, hoặc một vật thể quan trọng hơn, chẳng hạn như một cấu trúc hoặc thậm chí là toàn bộ thành phố. Ngoài tài sản vật chất, công nghệ bản sao kỹ thuật số có thể được sử dụng để tái tạo các quy trình nhằm thu thập dữ liệu về cách chúng sẽ hoạt động (*Maggie Mae Armstrong, 2020*).

Tuy nhiên, điều đó chưa phải là đặc điểm nhận diện bản sao kỹ thuật số. Bản sao kỹ thuật số là một chương trình máy tính sao chép các thành phần vật lý và hành vi của thiết bị IoT ở tất cả các giai đoạn trong vòng đời của thiết bị/ vật thể này, bằng cách sử dụng các cảm biến để thu thập dữ liệu thời gian thực từ các yếu tố trong thế giới thực. Dữ liệu đó sau đó được sử dụng để tạo ra một bản sao kỹ thuật số, có thể hỗ trợ người sử dụng (nhà khoa học, nhà nghiên cứu, nhà quản lý,...) hiểu rõ hơn và phân tích các đối tượng hoặc hệ thống trong thế giới thực (*Kholopov và cộng sự, 2019; Židek và cộng sự, 2020*). Như vậy, ở điều kiện lý tưởng nhất, nếu muốn lấy bất kỳ thông tin nào từ vật thể vật lý ở bất kỳ thời điểm nào đều có thể được lấy từ bản sao kỹ thuật số của nó tại cùng một thời điểm.

Nói một cách dễ hiểu, công nghệ bản sao kỹ thuật số nghĩa là tạo ra một mô hình ảo rất phức tạp, là bản sao chính xác của một vật thể. “Vật” có thể là ô tô, tòa nhà, cây cầu hoặc động cơ phản lực. Các cảm biến được kết nối trên tài sản vật lý thu thập dữ liệu có thể được ánh xạ lên mô hình ảo. Giờ đây, bất kỳ ai nhìn vào bản sao kỹ thuật số đều có thể thấy thông tin quan trọng về cách thức vật chất đang hoạt động ở ngoài thế giới thực.

2.2. Bản chất và mô hình hoạt động của bản sao kỹ thuật số

Về bản chất, bản sao kỹ thuật số là một chương trình máy tính tiếp nhận dữ liệu đầu vào từ các cảm biến hỗ trợ thu thập dữ liệu trong thế giới thực về một đối tượng hoặc hệ thống vật lý (*K. Shaw, 2022*). Các thiết bị vật lý này sẽ được trang

bị một hệ thống cảm biến để theo dõi các thông số hoạt động, tình trạng vận hành, vị trí, và các yếu tố quan trọng khác. Các cảm biến này được kết nối với nền tảng đám mây, nơi các dữ liệu sẽ được thu thập, lưu trữ, xử lý và phân tích. Dữ liệu này sẽ sử dụng để làm đầu vào và tạo ra các dự đoán hoặc mô phỏng đầu ra về cách đối tượng hoặc hệ thống vật lý đó hoạt động. Sau khi các dữ liệu vận hành được phân tích với các điều kiện ngữ cảnh giả định khác nhau sẽ mô phỏng ra các kết quả khác nhau. Bản chất này cho phép bản sao kỹ thuật số mô phỏng đối tượng vật lý trong thời gian thực hay cung cấp thông tin chi tiết về hiệu suất và các vấn đề doanh nghiệp quan tâm. Trong một số trường hợp, bản sao kỹ thuật số có thể đóng vai trò là một nguyên mẫu trước khi bất kỳ phiên bản vật lý nào được chế tạo. Các khám phá quan trọng trong môi trường ảo hóa này sẽ giúp quá trình triển khai ở thực tế diễn ra nhanh hơn và giảm thiểu rủi ro có thể xảy ra (*Javaid và cộng sự, 2023*).

Bản sao kỹ thuật số phải đáp ứng ba yêu cầu: chúng phải trông giống hệt đối tượng ban đầu, bao gồm tất cả các chi tiết nhỏ; chúng phải hoạt động chính xác như đối tượng ban đầu trong quá trình thử nghiệm; và chúng phải có khả năng phân tích thông tin về đối tượng ban đầu, dự đoán các vấn đề tiềm ẩn và đề xuất giải pháp.

3. Lợi ích của bản sao kỹ thuật số

3.1. Cung cấp dữ liệu thời gian thực

Ưu điểm chính của bản sao kỹ thuật số là nó cung cấp dữ liệu thời gian thực có thể hỗ trợ việc học, suy luận và hiểu cách các đối tượng và hệ thống hoạt động (*Uhlemann và cộng sự, 2017*). Nó cho phép người dùng phân tích, lập mô hình và tối ưu hóa hiệu suất của đối tượng vật lý trong suốt vòng đời của nó. Do có nhiều lợi thế, nhiều doanh nghiệp sử dụng bản sao kỹ thuật số để lập mô hình và mô phỏng tài sản cơ sở hạ tầng.

3.2. Tối ưu hoá quy trình sản xuất thông qua dự báo

Tuy nhiên, mục tiêu của Bản sao kỹ thuật số không chỉ giới hạn ở việc mô phỏng về đối tượng hay hệ thống vật lý, mà còn là dự đoán phương thức hoạt động của một sản phẩm hoặc quy trình sản xuất. Dựa vào các thông tin mô phỏng và dự đoán này, người dùng có thể đưa ra quyết định tốt hơn. Đồng thời, người dùng còn tự động hóa việc điều chỉnh thiết bị, dây chuyền và hệ thống sản xuất hiệu quả (*Dalibor và cộng sự, 2020; Liu và cộng sự, 2020*). Cùng với học máy, người dùng cũng có thể sử dụng bản sao kỹ thuật số để xác định các vấn đề trước khi chúng xảy ra và dự đoán kết quả cho tương lai. Có thể có nhiều kết quả được dự báo khi các tham số/ dữ liệu đầu vào thay đổi, từ đó người dùng có căn cứ để đưa ra các quyết định nhằm đạt được kết quả tối ưu.

Bản sao kỹ thuật số có thể giúp các nhà sản xuất tăng hiệu quả, tạo ra các sản phẩm sáng tạo và nâng cao quy trình. Các nhà sản xuất có thể đánh giá các cải tiến để tăng công suất hoặc giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động bằng cách lập

mô hình quy trình sản xuất. Nhà máy thông minh là sự tích hợp liền mạch của các quy trình sản xuất riêng biệt, từ lập kế hoạch đến thiết bị truyền động. Chẳng bao lâu nữa, thiết bị và máy móc sẽ sử dụng tính năng tự tối ưu hóa để tối ưu hóa hoạt động. Các hệ thống sẽ điều chỉnh theo môi trường làm việc mạng với một hồ sơ lưu lượng truy cập. Robot di động tự động là thành phần thiết yếu của nhà máy thông minh. Trí thông minh tự nhận thức của chúng liên kết nhà máy, cho phép vận hành trơn tru (*Javaid và cộng sự, 2021; Qi và cộng sự, 2021*).

3.3. Giám sát từ xa

Công nghệ bản sao kỹ thuật số còn cho phép người dùng giám sát từ xa. Trong thực tiễn công việc, bản sao kỹ thuật số cho phép người dùng theo dõi và kiểm soát hệ thống từ xa và truy cập chương trình này ở bất cứ đâu (*Major và cộng sự, 2021*). Công nghệ này còn giúp tăng khả năng làm việc nhóm, giúp người dùng tự động hóa quy trình sản xuất và cho phép truy cập vào hệ thống 24/7. Điều này giúp các chuyên viên kỹ thuật tập trung cộng tác với nhau, nâng cao năng suất và hiệu quả hoạt động.

3.4. Xác định và giảm thiểu rủi ro

Công nghệ bản sao kỹ thuật số còn giúp người dùng xác định rủi ro nhanh chóng. Với khả năng tạo ra một bản sao của quy trình sản xuất sản phẩm, bản sao kỹ thuật số hỗ trợ doanh nghiệp có thể đánh giá sản phẩm trước khi chúng được đưa ra thị trường. Bản sao kỹ thuật số cho phép người dùng kiểm tra mọi bước đi của quy trình, giúp nhanh chóng phát hiện những lỗi sai hoặc tình huống bất ngờ. Nhờ đó, việc đánh giá rủi ro được cải thiện đáng kể. Đồng thời, tốc độ phát triển sản phẩm mới và độ uy tín của quy trình sản xuất được nâng cao. Dữ liệu được thu thập cho bản sao kỹ thuật số có thể cho biết khi nào cần bảo trì thiết bị và khi nào sẽ xảy ra lỗi. Báo cáo kịp thời những nhu cầu này cho người giám sát có thể tiết kiệm thời gian và tiền bạc cho doanh nghiệp và giảm thời gian ngừng hoạt động để sửa chữa thiết bị. Doanh nghiệp lên kế hoạch bảo trì chính xác hơn, thúc đẩy hiệu quả sản xuất và giảm bớt chi phí bảo trì.

3.5. Tiết kiệm chi phí

Cuối cùng, công nghệ bản sao kỹ thuật số giúp tiết kiệm chi phí. Bản sao kỹ thuật số làm giảm thiểu rủi ro đối với hoạt động sản xuất thực tế. Chúng cho phép người dùng thực hành và mô phỏng quy trình trong môi trường ảo, hoạt động này thường sẽ dễ dàng, nhanh chóng và tiết kiệm hơn. Bạn có thể loại bỏ mọi rủi ro về quy trình làm việc cũng như đảm bảo sản phẩm sẽ chất lượng như mong đợi. Lợi ích của bản sao kỹ thuật số vượt ra ngoài quy trình thiết kế và sản xuất vì nó còn giúp kéo dài tuổi thọ của sản phẩm/ thiết bị. Thay vì lãng phí thời gian và tiền bạc trong khi liên tục thay thế các nguyên mẫu vật lý, người dùng có thể thực hiện các thay đổi và tiến hành thử nghiệm ngay lập tức, tránh khả năng xảy ra những khó khăn trong tương lai (*Agostino và cộng sự, 2020; Guo và cộng sự, 2020*).

4. Ứng dụng của bản sao kỹ thuật số

Phần sau đây trình bày về một số ứng dụng thực tiễn của công nghệ bản sao kỹ thuật số trong các lĩnh vực và ngành công nghiệp khác nhau.

4.1. Không gian vũ trụ

Trước đây, bản sao kỹ thuật số đã được sử dụng trong kỹ thuật hàng không vũ trụ. Một ví dụ là Chương trình Apollo 13. Sau đó vào năm 2002, khái niệm bản sao kỹ thuật số được giới thiệu bởi John Vickers từ NASA. Ý tưởng về bản sao kỹ thuật số ra đời tại NASA vào những năm 1960 như một “mô hình sống” của sứ mệnh Apollo (Allen, 2021). Để đối phó với vụ nổ bình oxy của Apollo 13 và sau đó là hư hỏng động cơ chính, NASA đã sử dụng nhiều thiết bị mô phỏng để đánh giá sự cố và mở rộng mô hình vật lý của phương tiện để bao gồm các thành phần kỹ thuật số. Bản sao kỹ thuật số đầu tiên này cho phép nhập dữ liệu liên tục để mô hình hóa các sự kiện dẫn đến tai nạn để phân tích pháp y và thăm dò các bước tiếp theo. Nhờ thế kỷ trôi qua nhanh chóng và NASA cùng với những người khác trong cộng đồng hàng không vũ trụ, tiếp tục phát triển và sử dụng các mô hình kỹ thuật số có độ chính xác cao của các hệ thống và thành phần vật lý cũng như các môi trường khắc nghiệt mà chúng hoạt động. NASA đặt mục tiêu du hành xa hơn và ở lại lâu hơn trong không gian thông qua chương trình Artemis, đưa con người từ mặt trăng đến Sao Hỏa bằng cách thiết lập sự hiện diện bền vững trên Mặt trăng để chuẩn bị cho các sứ mệnh lên Sao Hỏa.

Ngày nay, tầm quan trọng của bản sao kỹ thuật số trong ngành hàng không vũ trụ được các chuyên gia thừa nhận. Với bản sao kỹ thuật số, các kỹ sư có thể sử dụng phân tích dự đoán để thấy trước bất kỳ vấn đề nào trong tương lai liên quan đến khung máy bay, động cơ hoặc các bộ phận khác để đảm bảo an toàn cho những người trên máy bay.

4.2. Thúc đẩy công nghệ CAD trong thiết kế

Bản sao kỹ thuật số mang lại nhiều lợi ích cho ngành công nghiệp. Một trong những lợi ích đáng kể của công nghệ bản sao kỹ thuật số là thúc đẩy công nghệ CAD (computer-aided design) trong thiết kế. Các phần mềm CAD đã được sử dụng từ lâu để thiết kế ra các sản phẩm vật lý, các cách thức bố trí và hệ thống vận hành nhà máy khác nhau. Nói chung, phần mềm thiết kế CAD sẽ cho phép tạo ra các bề mặt; Đường viền 3D xác định hình dạng và sau đó, các kỹ sư bắt đầu xây dựng hệ thống ngoài đời thực. Công nghệ bản sao kỹ thuật số cho phép mô phỏng và thực thi toàn bộ các chức năng trên mà không cần thiết phải xây dựng hệ thống thực. Điều này được thực hiện nhờ khả năng liên kết gần như chính xác và trùng khớp giữa thực thể vật lý và thực thể số do bản sao kỹ thuật số mô phỏng lại. Sự thay thế này mang lại các mô hình mạnh mẽ hơn, thực tế hơn và các đo lường toàn diện về các rủi ro không dự đoán được. Cũng với công nghệ bản sao kỹ thuật số, các kiến trúc sư có thể khai thác mọi tiềm năng, giả lập các ngữ cảnh, thử nghiệm nhiều phương án sắp xếp và quản lý khác nhau

trước khi quyết định đầu tư. Từ đó, rủi ro của toàn bộ dự án được giảm thiểu, và thời gian triển khai dự án cũng sẽ nhanh hơn đồng thời tiết kiệm chi phí đáng kể (Lee và cộng sự, 2021; Pérez và cộng sự, 2020; Uhlenkamp và cộng sự, 2019).

4.3. Hoạt động sản xuất

Đây là lĩnh vực phù hợp nhất khi áp dụng bản sao kỹ thuật số trong hoạt động kinh doanh. Vì bản sao kỹ thuật số phản ánh toàn bộ vòng đời của một sản phẩm, do đó chúng có thể ứng dụng trong tất cả các giai đoạn sản xuất, từ thiết kế, sản xuất đến hoàn thiện thành phẩm. Những nhà máy ứng dụng công nghệ này để mô phỏng quy trình sản xuất. Chúng giúp các nhà sản xuất giải quyết nhanh gọn mọi tình huống bất ngờ. Qua đó, những sản phẩm đưa ra thị trường sẽ chất lượng hơn. Không chỉ giới hạn ở sản phẩm, kỹ thuật mô phỏng các bản sao của toàn bộ một nhà máy cũng có thể được tạo ra. Tất cả các máy móc, quy trình,... là đầu vào cho phần mềm. Điều này giúp người sử dụng thiết kế và lên kế hoạch bố trí nhà máy. Ngoài ra, bản sao kỹ thuật số cho phép mô phỏng quá trình tương tác của nhân viên với toàn bộ dây chuyền sản xuất, giúp cho việc cải thiện hay thay đổi diễn ra dễ dàng, liền mạch và hạn chế các rủi ro có thể xảy ra. Điều này giúp người quản lý vận hành thử nghiệm nhiều phương án giải quyết các điểm nghẽn khác nhau cũng như triển khai các phương án cải tiến quy trình một cách dễ dàng và hiệu quả.

4.4. Thúc đẩy thương mại điện tử

Ngoài ra, công nghệ bản sao kỹ thuật số, cho phép các doanh nghiệp có thể xây dựng hệ thống cửa hàng, phát triển chuỗi showroom trưng bày sản phẩm, tổ chức các buổi triển lãm hay sự kiện ra mắt sản phẩm mới ngay trên không gian số (Jeong và cộng sự, 2022). Từ đó, sản phẩm, dịch vụ của doanh nghiệp tiếp cận đến các nhóm khách hàng mục tiêu không chỉ tại Việt Nam mà trên toàn thế giới một cách trực quan và sinh động nhất. Các doanh nghiệp có thể tăng cường nhận diện thương hiệu, đa dạng hóa khả năng tiếp cận khách hàng, mở rộng quy mô hoạt động và nâng cao năng lực cạnh tranh trên thị trường.

Với sự phát triển của bản sao kỹ thuật số, nhiều nền tảng thương mại điện tử đã có thể đạt được trải nghiệm mua sắm tùy chỉnh cho những nhóm khách hàng nhất định, các đề xuất được cung cấp dựa trên lịch sử tìm kiếm của họ. Bên cạnh đó công nghệ này còn được sử dụng để nâng cao tỷ lệ chuyển đổi thông qua việc giải quyết những nghi ngờ của người mua khi sản phẩm thuộc một số danh mục nhất định như quần áo, nội thất,... Công nghệ bản sao kỹ thuật số đề nghị người dùng tải lên hình ảnh của họ, sau đó thực hiện các bước kỹ thuật để đưa ra cho khách hàng nhiều đề xuất bằng cách cho họ thấy hình ảnh của bản thân khi sử dụng sản phẩm (Hinduja và cộng sự, 2020).

Tích hợp bản sao kỹ thuật số vào quản lý tồn kho và chuỗi cung ứng trong thương mại điện tử có thể mang lại nhiều lợi ích quan trọng, từ việc cải thiện khả năng dự báo tới tối ưu hóa hiệu suất toàn bộ hệ thống cung ứng. Dựa trên dữ liệu thời

gian thực và các thông số như dự đoán nhu cầu, tình trạng đơn hàng, và thông tin vận chuyển, công nghệ này có thể thực hiện dự báo tồn kho và giúp tối ưu hóa lập kế hoạch nhập, xuất hàng, từ đó giảm thiểu lượng tồn kho không cần thiết và đảm bảo sẵn sàng cung ứng (*Yevgenievich Barykin, 2021*). Nó còn giúp tích hợp dữ liệu về tình trạng giao thông, thời tiết và các yếu tố tương tự để đưa ra các kịch bản tối ưu cho vận chuyển hàng hóa, nhằm tiết kiệm thời gian và chi phí (*Greif và cộng sự, 2020*).

4.5. Nâng cao trải nghiệm khách hàng

Bản sao kỹ thuật số không chỉ hữu ích với các nhà sản xuất. Chúng còn giúp khách hàng tận hưởng những trải nghiệm tuyệt vời (*Zhang và cộng sự, 2019*). Bản sao kỹ thuật số cung cấp các dịch vụ trực tiếp cho khách hàng. Giai đoạn trước khi thực hiện mua sắm, bản sao kỹ thuật số có khả năng đề xuất và gợi ý những sản phẩm cá nhân hóa dựa trên lịch sử tìm kiếm và thói quen của khách hàng giúp họ giảm thời gian tìm kiếm và tiếp cận được những sản phẩm cần mua nhanh hơn (*Muschkiat và cộng sự, 2022*). Tiếp theo, khi khách hàng thực hiện mua hàng, nó đóng vai trò như một tấm gương ảo về tương tác vật lý, giúp khách hàng thấy được hiệu quả sử dụng sản phẩm khi mà chưa cần sử dụng sản phẩm thực sự (*Dahmen và Rossmann, 2021*). Điều này vừa mang lại cho người mua cái nhìn tổng quan hơn về sản phẩm, vừa giúp giảm thiểu khả năng mua sản phẩm không phù hợp. Ví dụ điển hình cho ứng dụng này đó là việc sử dụng công nghệ này mô phỏng hóa thời trang dựa trên sự cảm nhận của khách hàng.

4.6. Mô hình thành phố thông minh (smart city)

Công nghệ bản sao kỹ thuật số sẽ định hình lại các cấu trúc và quy tắc quản trị thành phố, đồng thời tạo động lực liên tục cho sự phát triển và chuyển đổi của các thành phố. Nhiều thành phố quan trọng trên thế giới đã đưa ra kế hoạch xây dựng thành phố bản sao kỹ thuật số. Sự phát triển nhanh chóng của công nghệ bản sao kỹ thuật số cũng giúp việc xây dựng các thành phố bản sao kỹ thuật số trở nên khả thi (*Deng và cộng sự, 2021*). Bản sao kỹ thuật số có khả năng thu thập thông tin chi tiết từ các mạng cảm biến và hệ thống thông minh khác nhau. Nhờ đó, việc hoạch định chính sách và quy hoạch thành phố diễn ra hiệu quả. Các dự án smart city thực tế đã được triển khai ở rất nhiều quốc gia, ví dụ như Virtual Singapore 3D (*Cheong Koon Hean, 2016*). Quy hoạch và triển khai thành phố thông minh với dữ liệu bản sao kỹ thuật số và IoT giúp tăng cường phát triển kinh tế, quản lý tài nguyên hiệu quả, tăng chất lượng chung của cuộc sống công dân.

4.7. Chăm sóc sức khỏe

Vì mô phỏng đang đóng một vai trò ngày càng quan trọng trong y học nên việc cung cấp cho từng bệnh nhân chẩn đoán và điều trị tùy chỉnh được coi là một phần của y học chính xác trong tương lai. Việc tùy chỉnh như vậy sẽ trở nên khả thi thông qua sự xuất hiện của công nghệ bản sao kỹ thuật số (*Sun và cộng sự, 2023*). Bản sao kỹ thuật số cung cấp một bệnh viện ảo cho người dùng. Mục đích

của chúng là tạo ra môi trường an toàn. Đồng thời, bản sao kỹ thuật số còn có khả năng kiểm soát những thay đổi đối với hiệu suất của hệ thống. Ngoài ra, công nghệ này giúp nâng cao chất lượng dịch vụ y tế cho bệnh nhân. Trên thực tế, bác sĩ thường dựa vào bản sao kỹ thuật số để mô phỏng dữ liệu của tim trước khi phẫu thuật. Các nhà cung cấp dịch vụ chăm sóc sức khỏe và các công ty dược phẩm cũng có thể sử dụng bản sao kỹ thuật số để lập mô hình mã bộ gen, đặc điểm sinh lý và lối sống của bệnh nhân để các công ty cung cấp dịch vụ chăm sóc cá nhân hóa, chẳng hạn như các loại thuốc đặc trị cho từng bệnh nhân.

4.8. Bảo trì

Bản sao kỹ thuật số có khả năng phân tích dữ liệu hiệu suất được thu thập theo thời gian và trong các điều kiện khác nhau. Ví dụ, một động cơ xe đua có thể được xác định các mức tình trạng để xác định bảo trì khi cần thiết, chẳng hạn như một thành phần sắp cạn năng lượng hoặc sắp cháy nổ. Chevron ứng dụng bản sao kỹ thuật số trong các mỏ dầu và máy lọc dầu để tiết kiệm chi phí bảo trì (Newsroom, 2023).

Trong những năm gần đây, bản sao kỹ thuật số đã được triển khai trong các lĩnh vực công nghiệp khác nhau nhưng trong đó bảo trì là một trong những ứng dụng được nghiên cứu nhiều nhất, bởi tác động của việc thực hiện nhiệm vụ bảo trì có thể tác động rất lớn đến hoạt động kinh doanh của các công ty (Errandonea và cộng sự, 2020). Ví dụ, trong lĩnh vực như năng lượng hoặc sản xuất, hoạt động bảo trì có thể khiến toàn bộ dây chuyền sản xuất ngừng hoạt động hoặc trong trường hợp kiểm tra tuabin gió, người vận hành có thể phải đối mặt với sự an toàn khi đo chỉ báo đơn giản. Do đó, việc áp dụng các chiến lược bảo trì thông minh hơn có thể mang lại lợi ích to lớn.

5. Kinh nghiệm quốc tế và bài học

5.1. Kinh nghiệm sử dụng bản sao kỹ thuật số để quản lý đất đai của Hàn Quốc

Để bắt kịp xu hướng đang phát triển này, Hàn Quốc đã tìm cách áp dụng bản sao kỹ thuật số vào các hệ thống quản lý đất đai. Một dự án thí điểm đã được triển khai ở thành phố Jeonju và có kế hoạch thực hiện thí điểm ở các địa phương khác. Bảng sau đây trình bày về các ứng dụng của bản sao kỹ thuật số trong quản lý đất đai tại Jeonju.

Bảng 1. Ứng dụng của bản sao kỹ thuật số trong quản lý đất đai ở Jeonju

Ứng dụng	Mục đích	Nguồn / loại dữ liệu
Hệ thống thu gom chất thải thực phẩm	Phân tích nguyên nhân gia tăng lãng phí thực phẩm và giải quyết vấn đề liên quan	Dữ liệu rác thải thực phẩm, công ty thu gom rác thải thực phẩm, khu hành chính, bản đồ địa chính,...

Ứng dụng	Mục đích	Nguồn / loại dữ liệu
Phân tích vị trí trồng 10 triệu cây xanh	Để giảm lượng khí nhà kính và giải quyết các vấn đề môi trường như bụi mịn, hiện tượng đảo nhiệt và sóng nhiệt	Bản đồ địa chính, ranh giới sông, công trình quy hoạch đô thị, quy hoạch đơn vị huyện, bản đồ lớp phủ mặt đất, bụi mịn,...
Phân tích và ứng phó với các khu vực dễ bị ảnh hưởng bởi sóng nhiệt	Để giảm thiểu mối nguy hiểm do sóng nhiệt gây ra cho người già (Dự kiến số người cao tuổi ở thành phố Jeonju sẽ tăng)	Nhiệt độ, dân số, cơ sở vật chất cho các trung tâm làm mát,...
Hiệu quả sản xuất điện mặt trời của tòa nhà	Cung cấp và phổ biến năng lượng tái tạo mới nhằm độc lập về năng lượng	Mức tiêu thụ năng lượng của các tòa nhà, bản đồ địa hình, địa chỉ đường phố,...
Giải pháp chống đỗ xe trái phép	Để kiểm soát việc đỗ xe và dừng xe, đảm bảo an ninh cho bãi đỗ xe	Dữ liệu đỗ và dừng trái phép, dữ liệu camera quan sát, dữ liệu tai nạn giao thông, điểm dừng xe buýt, cơ sở chữa cháy,...
Quản lý và hỗ trợ an toàn tòa nhà	Để giảm khả năng xảy ra vụ việc và xác định trước các khu vực nguy hiểm (Có những ngôi nhà cổ, truyền thống ở thành phố Jeonju)	Địa chỉ đường phố, bản đồ địa hình, sổ đăng ký tòa nhà,...
Cơ sở vật chất và mức độ ô nhiễm trong các cụm công nghiệp	Để đo mức độ ô nhiễm không khí mọi lúc thông qua hệ thống đo lường tự động và quản lý việc xả chất gây ô nhiễm trong 24 giờ	Cơ sở xả khí, nhà máy, khu nhà máy đóng cửa, bụi mịn, địa chỉ đường phố, dữ liệu TMS,...
Sửa chữa và quản lý nhà ở cho các nhóm dễ bị tổn thương	Để tránh chông chéo lợi ích trong việc sửa chữa nhà và quản lý kho nhà ở cũ (Dự án hỗ trợ sửa chữa nhà do từng bộ phận quản lý)	Nhà ở cũ cho tầng lớp thu nhập thấp, lợi ích của nhà ở cũ, dự án cải thiện hiệu quả năng lượng, dự án xây dựng lại nhà ở cho người khuyết tật

Nguồn: Park et al. (2023)

Dữ liệu thô liên quan đến đất đai được thu thập và cập nhật từ các nguồn dữ liệu sơ cấp và thứ cấp trên thực tế, bao gồm công cơ sở hạ tầng dữ liệu không gian quốc gia, Viện Thông tin Địa lý Quốc gia, Tập đoàn Thông tin Đất đai Quốc gia Hàn Quốc (LX), những đơn vị thu thập và quản lý dữ liệu dưới dạng số hóa của Thành phố. Tất cả các dữ liệu thô này được số hóa thông qua quá trình xử lý và được hiển thị trong không gian ảo. Trong không gian ảo này, các dữ liệu mới liên quan đến đất đai sẽ được phát hiện thông qua phân tích và mô phỏng. Dữ liệu mới được quản lý để hỗ trợ việc ra quyết định và giải pháp tối ưu được áp dụng trong không gian thực.

Tuy nhiên, trong quá trình thử nghiệm, một số vấn đề phát sinh trong quá trình áp dụng thử nghiệm công nghệ này đối với Jeonju. Thứ nhất, dữ liệu không được

quản lý một cách có hệ thống. *Thứ hai*, một số bên liên quan cung cấp thông tin có xu hướng không chia sẻ dữ liệu rộng rãi mà chỉ cung cấp một cách hạn chế theo đúng quy định của pháp luật. *Thứ ba*, rất khó để liên kết dữ liệu một cách tự động. *Thứ tư*, chu kỳ cập nhật dữ liệu chậm đến mức dữ liệu không được sử dụng kịp thời và khó duy trì các tiêu chuẩn nhất quán. *Thứ năm*, liên quan đến việc bảo mật thông tin cá nhân. *Thứ sáu*, thách thức trong việc đảm bảo ngân sách dành cho cơ sở hạ tầng và phần mềm. Các hạng mục như phần mềm, phần cứng và kết nối vật lý/đám mây đòi hỏi chi phí khổng lồ. Ngoài ra, việc xây dựng và duy trì cơ sở hạ tầng CNTT phù hợp cho Internet vạn vật (Internet of Things - IoT) và phân tích dữ liệu, cũng như bảo trì liên tục do cập nhật phần mềm cũng được coi là những thách thức.

5.2. Kinh nghiệm ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số trong quản lý bảo trì đường sắt tại Đài Loan

Tại Đài Loan, dân cư sử dụng các phương tiện đường sắt/ tàu điện ngầm như phương tiện di chuyển chính. Tuy nhiên, bên cạnh hỗ trợ nâng cao chất lượng cuộc sống đô thị của dân cư, sự phát triển nhanh chóng của cơ sở hạ tầng giao thông đường sắt mặt khác lại làm tăng thêm tình trạng ùn tắc, khiến việc quản lý các công trình bao gồm nhiều nhiệm vụ, hoạt động và hợp phần trở nên khó khăn. Trên thực tế, xây dựng, vận hành và bảo trì đường sắt là một dự án lớn thường có sự tham gia của nhiều bên liên quan. Việc thiếu hiệu quả trong quản lý tài sản có thể dẫn đến những tai nạn nghiêm trọng, đặc biệt là trong khâu vận hành và bảo trì.

Để cải thiện việc xây dựng, vận hành và bảo trì đường sắt, Đài Bắc đã xây dựng một bản sao kỹ thuật số giúp các bên liên quan có thể trực quan hóa, chia sẻ dữ liệu và theo dõi tiến độ cũng như tình trạng trong quá trình cung cấp và sử dụng dịch vụ (Kaewunruen et al., 2021). Bản sao kỹ thuật số hoạt động như một nền tảng thông tin mạnh mẽ (thông qua việc tích hợp Mô hình thông tin xây dựng - BIM và Phần mềm đánh giá dự án chuyên nghiệp - Navisworks). Bản sao kỹ thuật số không chỉ có thể chứa một nhóm thông tin mà còn cho phép truy cập thông tin trong toàn bộ vòng đời của một dự án. Bằng cách sử dụng bản sao kỹ thuật số, tất cả các bên liên quan đến dự án có thể cộng tác, cùng tạo và thu thập tiến trình mới nhất trong thời gian thực. Cơ sở dữ liệu trong bản sao kỹ thuật số có thể giúp đạt được mục tiêu bền vững bằng cách cho phép quản lý và giám sát tài sản hiệu quả, đồng thời có thể xác định và kiểm soát lượng khí thải carbon, ước tính chi phí và quản lý thời gian trong toàn bộ vòng đời.

5.3. Bài học

Việt Nam có thể rút ra bài học từ những kinh nghiệm ứng dụng bản sao kỹ thuật số của các quốc gia kể trên.

Thứ nhất, trong quá trình thu thập và cập nhật dữ liệu, cần thiết lập một hệ thống quản lý dữ liệu mang tính hệ thống. Sự hợp tác giữa các phòng ban liên quan

và/hoặc người phụ trách hoặc giữa các tổ chức liên quan cần được quan tâm hàng đầu. Để vận hành hệ thống ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số cần có sự hợp tác tích cực giữa các bên liên quan để chia sẻ và tương tác dữ liệu. Ngoài ra, các vấn đề như bảo mật, quyền riêng tư, chất lượng, chia sẻ, khả năng tương tác, tin học hóa, chu kỳ cập nhật và tiêu chuẩn cần được quan tâm hàng đầu để đảm bảo tính hệ thống trong quản lý.

Thứ hai, để hoạt động xử lý số hóa diễn đạt được đúng mục tiêu, việc đảm bảo có đủ ngân sách và quản lý nguồn nhân lực được xác định là những yếu tố quan trọng. Việc thiết lập bản sao kỹ thuật số trong bất kỳ lĩnh vực nào cũng đều đòi hỏi chi phí tài chính đáng kể. Ngoài ra, nguồn nhân lực chuyên nghiệp cần được đào tạo và quản lý, đồng thời cũng cần ngăn chặn tình trạng độc quyền của một số ít công ty có trình độ kỹ thuật trong lĩnh vực này.

Thứ ba, cần phải xây dựng niềm tin vào tầm quan trọng và hiệu quả của hệ thống với các nhân sự phụ trách các công việc liên quan đến xây dựng và duy trì bản sao kỹ thuật số. Ngoài ra, luân chuyển công việc thường xuyên, đặc biệt trong khu vực công, là một trở ngại lớn về tính bền vững khi công chức/nhân sự phụ trách các công việc liên quan chuyển sang vai trò mới, người kế nhiệm của họ không được sử dụng các mô hình dựa trên bản sao kỹ thuật số.

Thứ tư, trong quá trình ra quyết định, các vấn đề xã hội có thể do công nghệ số gây ra cần phải được xem xét cẩn thận. Ví dụ, những người quen thuộc với công nghệ kỹ thuật số dễ dàng được hưởng lợi từ quyết định này, trong khi những người ít quen thuộc với công nghệ đó sẽ khó nhận biết lợi ích, điều này có thể gây ra khoảng cách xã hội.

Thứ năm, việc ứng dụng công nghệ bản sao kỹ thuật số cần được thúc đẩy và được hỗ trợ bởi các hệ thống pháp luật và thể chế. Ví dụ, vai trò của mỗi tổ chức trong quy trình này cần được làm rõ bằng các quy định hoặc luật liên quan để giảm thiểu nhầm lẫn và xung đột lợi ích.

6. Kết luận và hàm ý chính sách

Nghiên cứu này đã tổng kết và phân tích những lợi ích nổi bật cùng với các ứng dụng tiên tiến mà bản sao kỹ thuật số mang lại trong nhiều lĩnh vực. Sự kết hợp giữa thế giới thực và ảo thông qua bản sao kỹ thuật số đã khai phá một tầm nhìn mới với những ứng dụng đa dạng, từ quản lý tồn kho đến trải nghiệm mua sắm cá nhân hóa, tạo nên những thay đổi đáng kể trong cách mỗi cá nhân tiếp cận và trong hoạt động kinh doanh của doanh nghiệp cũng như hoạt động của các tổ chức thuộc khu vực công.

Trong thời đại Cách mạng Công nghiệp 4.0 hiện nay, bản sao kỹ thuật số đã nổi lên như một trong những xu hướng tiên phong, đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong quá trình phát triển công nghệ của cả thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Nhằm khai thác hết tiềm năng của bản sao kỹ thuật số cần có sự hợp tác chặt chẽ giữa Chính phủ và các tổ chức, doanh nghiệp để tạo môi trường thích

hợp cho sự phát triển và áp dụng công nghệ này. Việc xây dựng khung pháp luật và quy định bảo vệ thông tin, quyền riêng tư và an ninh dữ liệu liên quan đến bản sao kỹ thuật số là rất cần thiết. Bên cạnh đó, đào tạo nhân lực có kiến thức, kỹ năng và thái độ về lĩnh vực này cũng là một yếu tố quan trọng để đảm bảo sự thành công trong triển khai. Ngoài ra, Chính phủ có thể ưu tiên đầu tư vào việc nghiên cứu và phát triển các ứng dụng mới của bản sao kỹ thuật số. Việc hỗ trợ các dự án nghiên cứu và khởi nghiệp có thể tạo ra sự khích lệ và thúc đẩy sự sáng tạo trong việc tận dụng công nghệ này. Với nhận thức rằng bản sao kỹ thuật số là một xu hướng công nghệ quan trọng cùng những biện pháp hỗ trợ và phối hợp kịp thời của Chính phủ, hy vọng rằng Việt Nam sẽ có những bước phát triển đột phá, góp phần đẩy nhanh tiến trình công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Agostino, Í.R.S., Broda, E., Frazzon, E.M. and Freitag, M. (2020), "Using a digital twin for production planning and control in industry 4.0", *International Series in Operations Research and Management Science*, Springer, Vol. 289, pp. 39-60, doi: 10.1007/978-3-030-43177-8_3/COVER.
2. Allen, B.D. (2021), "Digital Twins and Living Models at NASA", ASME Digital Twin Summit Keynote.
3. Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Walia, R. and Bahl, S. (2021), "Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies", *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, Vol. 45, pp. 5089-5096, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.01.585.
4. Cheong Koon Hean. (2016), "How we design and build a smart city and nation TEDxSingapore".
5. Dahmen, U. and Rossmann, J. (2021), "What is a Digital Twin - A Mediation Approach", *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, IEEE Computer Society, Vol. 2021-May, pp. 165-172, doi: 10.1109/EIT51626.2021.9491883.
6. Dalibor, M., Michael, J., Rumpe, B., Varga, S. and Wortmann, A. (2020), "Towards a Model-Driven Architecture for Interactive Digital Twin Cockpits", *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, Vol. 12400 LNCS, pp. 377-387, doi: 10.1007/978-3-030-62522-1_28/COVER.
7. Deng, T., Zhang, K. and Shen, Z.J. (Max). (2021), "A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities", *Journal of Management Science and Engineering*, Elsevier Ltd, Vol. 6 No. 2, pp. 125-134, doi: 10.1016/j.jmse.2021.03.003.
8. Errandonea, I., Beltrán, S. and Arrizabalaga, S. (2020), "Digital Twin for maintenance: A literature review", *Computers in Industry*, Elsevier, Vol. 123, p. 103316, doi: 10.1016/J.COMPIND.2020.103316.
9. Greif, T., Stein, N. and Flath, C.M. (2020), "Peeking into the void: Digital twins for construction site logistics", *Computers in Industry*, Elsevier, Vol. 121, p. 103264, doi: 10.1016/J.COMPIND.2020.103264.
10. Grieves, M. and Vickers, J. (2016), "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems", *Transdisciplinary Perspectives on Complex*

- Systems: New Findings and Approaches, No. August, pp. 85-113, doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
11. Guo, D., Ling, S., Li, H., Ao, D., Zhang, T., Rong, Y. and Huang, G.Q. (2020), “A framework for personalized production based on digital twin, blockchain and additive manufacturing in the context of Industry 4.0”, *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, IEEE Computer Society, Vol. 2020-August, pp. 1181-1186, doi: 10.1109/CASE48305.2020.9216732.
 12. Hinduja, H., Kekkar, S., Chourasia, S. and Chakrapani, H.B. (2020), “Industry 4.0: Digital Twin and its Industrial Applications”, Vol. 8, p. 4.
 13. IBM. (2023), “What is a digital twin?”, available at: <<https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>> (accessed 24 August 2023).
 14. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P. and Suman, R. (2021), “Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation”, *Cognitive Robotics*, Elsevier, Vol. 1, pp. 58-75, doi: 10.1016/J.COGR.2021.06.001.
 15. Javaid, M., Haleem, A. and Suman, R. (2023), “Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review”, *Cognitive Robotics*, Elsevier B.V., Vol. 3 No. September 2022, pp. 71-92, doi: 10.1016/j.cogr.2023.04.003.
 16. Jeong, H., Yi, Y. and Kim, D. (2022), “An Innovative E-Commerce Platform Incorporating Metaverse To Live Commerce”, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol. 18 No. 1, pp. 221-229, doi: 10.24507/ijicic.18.01.221.
 17. K. Shaw, J.F. (2022), “What is a digital twin and why is it important to IoT? | Network World”, *Network World*, <<https://www.networkworld.com/article/3280225/what-is-digital-twin-technology-and-why-it-matters.html>> (accessed 24 August 2023).
 18. Kholopov, V.A., Antonov, S. V. and Kashirskaya, E.N. (2019), “Application of the Digital Twin Concept to Solve the Monitoring Task of Machine-Building Technological Process”, *Proceedings - 2019 International Russian Automation Conference*, RusAutoCon 2019, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867800.
 19. Lee, J., Azamfar, M. and Bagheri, B. (2021), “A unified digital twin framework for shop floor design in industry 4.0 manufacturing systems”, *Manufacturing Letters*, Elsevier, Vol. 27, pp. 87-91, doi: 10.1016/J.MFGLET.2021.01.005.
 20. Liu, C., Jiang, P. and Jiang, W. (2020), “Web-based digital twin modeling and remote control of cyber-physical production systems”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Pergamon, Vol. 64, p. 101956, doi: 10.1016/J.RCIM.2020.101956.
 21. Liu, Q., Leng, J., Yan, D., Zhang, D., Wei, L., Yu, A., Zhao, R., et al. (2021), “Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system”, *Journal of Manufacturing Systems*, Elsevier, Vol. 58, pp. 52-64, doi: 10.1016/J.JMSY.2020.04.012.
 22. Maggie Mae Armstrong. (2020), “Cheat sheet: What is Digital Twin?”, IBM, <<https://www.ibm.com/blog/iot-cheat-sheet-digital-twin/>> (accessed 24 August 2023).
 23. Major, P., Li, G., Zhang, H. and Hildre, H.P. (2021), “Real-time digital twin of research vessel for remote monitoring”, *Proceedings of 35th European Council for Modelling and Simulation*.
 24. Matulis, M. and Harvey, C. (2021), “A robot arm digital twin utilising reinforcement learning”, *Computers & Graphics*, Pergamon, Vol. 95, pp. 106-114, doi: 10.1016/J.CAG.2021.01.011.

25. Muschkiet, M., Paschmann, J. and Nissen, A. (2022), *Towards Human Digital Twins for Improving Customer Experience*.
26. Negri, E., Ardakani, H.D., Cattaneo, L., Singh, J., MacChi, M. and Lee, J. (2019), "A Digital Twin-based scheduling framework including Equipment Health Index and Genetic Algorithms", *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier, Vol. 52 No. 10, pp. 43-48, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.10.024.
27. Newsroom. (2023), "Digital Twins driving progress for Gas Plants - Chevron", <<https://www.chevron.com/newsroom/2023/q1/how-digital-doppelgangers-are-driving-progress>> (accessed 25 August 2023).
28. Pérez, L., Rodríguez-Jiménez, S., Rodríguez, N., Usamentiaga, R. and García, D.F. (2020), "Digital Twin and Virtual Reality Based Methodology for Multi-Robot Manufacturing Cell Commissioning", *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 3633, doi: 10.3390/AP10103633.
29. Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Wang, L., et al. (2021), "Enabling technologies and tools for digital twin", *Journal of Manufacturing Systems*, Elsevier, Vol. 58, pp. 3-21, doi: 10.1016/j.jmsy.2019.10.001.
30. Sepasgozar, S.M.E. (2021), "Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment", *Buildings* 2021, Vol. 11, Page 151, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 11 No. 4, p. 151, doi: 10.3390/BUILDINGS11040151.
31. Souza, V., Cruz, R., Silva, W., Lins, S. and Lucena, V. (2019), "A Digital Twin Architecture Based on the Industrial Internet of Things Technologies", *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics, ICCE 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., doi: 10.1109/ICCE.2019.8662081.
32. Sun, T., He, X. and Li, Z. (2023), "Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges", *Digital Health*, Vol. 9, doi: 10.1177/20552076221149651.
33. Uhlemann, T.H.J., Schock, C., Lehmann, C., Freiburger, S. and Steinhilper, R. (2017), "The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems", *Procedia Manufacturing*, Elsevier, Vol. 9, pp. 113-120, doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.043.
34. Uhlenkamp, J.F., Hribernik, K., Wellsandt, S. and Thoben, K.D. (2019), "Digital Twin Applications: A first systemization of their dimensions", *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., doi: 10.1109/ICE.2019.8792579.
35. Wu, J., Yang, Y., Cheng, X.U.N., Zuo, H. and Cheng, Z. (2020), "The Development of Digital Twin Technology Review", *Proceedings - 2020 Chinese Automation Congress, CAC 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 4901-4906, doi: 10.1109/CAC51589.2020.9327756.
36. Yevgenievich Barykin, S. (2021), "THE PLACE AND ROLE OF DIGITAL TWIN IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT", *Marketing Management and Strategic Planning*, Vol. 20 No. 2.
37. Zhang, H., Ma, L., Sun, J., Lin, H. and Thürer, M. (2019), "Digital twin in services and industrial product service systems: Review and analysis", *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., Vol. 83 No. March, pp. 57-60, doi: 10.1016/j.procir.2019.02.131.
38. Židek, K., Pitel', J., Adámek, M., Lazorík, P. and Hošovský, A. (2020), "Digital Twin of Experimental Smart Manufacturing Assembly System for Industry 4.0 Concept", *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 3658, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 12 No. 9, p. 3658, doi: 10.3390/SU12093658