ỨNG DỤNG BẢN SAO SỐ TRONG CÔNG TÁC KHẢO SÁT VÀ QUẢN LÝ KHAI THÁC CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG

USING DIGITAL TWIN IN THE PROJECT SURVEY AND EXPLOITATION OF TRAFFIC WORKS

Ths. Nguyễn Đình Phương*, PGS.TS. Phạm Hoàng Kiên - *Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam. Điện thoại: 0975474828 - Email: phkien@utc.edu.vn*

Tóm tắt: Bản sao số (Digital Twin) không chỉ là một khái niệm mà đã và đang trở thành một giải pháp mang tính cách mạng, hỗ trợ cho chiến lược xây dựng bền vững, cho phép đánh giá và tối ưu hóa toàn diện vòng đời của các công trình giao thông. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ đề cập đến việc ứng dụng bản sao số trong công tác khảo sát và quản lý khai thác công trình giao thông. Bài báo cũng đồng thời giới thiệu các ví dụ về việc hỗ trợ mô phỏng bằng cách kết nối với các dữ liệu mở, các cơ sở dữ liệu và kết quả phân tích khác nhau, nhằm hiện thực hóa một nền tảng ảo 3D kết nối đa lĩnh vực như giao thông, phòng chống thiên tai, môi trường, giáo dục và sản xuất.

Từ khóa: Bản sao số, công trình giao thông, xây dựng bền vững, thực tế ảo, chuyển đổi số.

Abstract: Digital Twin is not just a concept but a revolution, supporting sustainable construction, enabling comprehensive lifecycle assessment and optimization of traffic construction. In this paper, we will mention the application of digital twin in the project survey and exploitation of traffic works. Examples of enabling simulation by linking with open data, various databases, and various analysis results, realizing a 3D virtuality platform that links diverse fields such as transportation, disaster prevention, environment, education, and manufacturing are also introduced.

Keywords: Digital twin, traffic works, sustainable construction, VR, DX.

1. Giới thiệu

Trong cuộc cách mạng công nghệ 4.0, bản sao số (digital twin) là một thành tựu công nghệ được ứng dụng trong nhiều ngành công nghiệp.

Việc xây dựng bản sao số cho hạ tầng giao thông đường bộ có tiềm năng hỗ trợ đắc lực cho các hoạt động quản lý tài sản, giúp các dự án xây dựng mới trở nên hiệu quả hơn bao giờ hết, và thậm chí cho phép mô hình hóa giao thông tinh vi hơn; từ đó tiết kiệm thời gian, tiền bạc và góp phần làm giảm lượng khí thải trên toàn bộ mạng lưới đường bộ.

Vậy bản sao số giúp ích gì trong công tác khảo sát và quản lý khai thác các công trình giao thông?

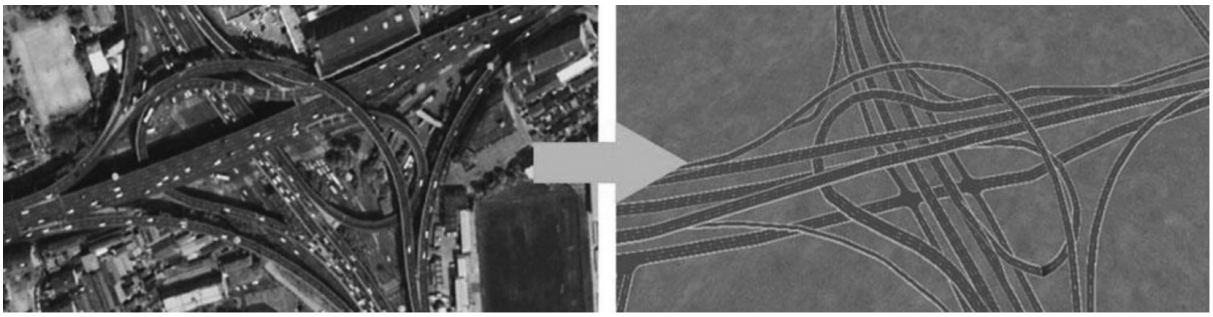
- Bản sao số lưu trữ thông tin của các đối tượng vật lý (công trình hạ tầng) ngoài thực địa.
- Công nghệ này giúp giám sát "sức khỏe" của kết cấu hạ tầng theo thời gian thực.
- Công nghệ bản sao số có thể được sử dụng đồng bộ với công nghệ thực tế ảo VR, đồ họa 3D và các mô hình dữ liệu đầu vào (trí tuệ nhân tạo, học máy, internet kết nối vạn vật) để thực hiện phân tích và mô phỏng các công trình giao thông trong không gian ảo.

Trong công tác khảo sát và quản lý khai thác công trình giao thông, cần sử dụng các kỹ thuật/ công cụ để xây dựng bản sao số như: sử dụng dữ liệu GIS (hệ thống thông tin địa lý) bao gồm cao độ bề mặt, ảnh vệ tinh; sử dụng các cơ sở dữ liệu mở như mô hình thành phố 3D; sử dụng dữ liệu tập hợp điểm điểm 3D (point cloud), cũng như hệ thống định vị toàn cầu GNSS.

Bản sao số có khả năng thu thập và phân tích các nguồn dữ liệu lớn và đa dạng từ các đối tượng thực, giúp người dùng giải quyết các bài toán trong nhiều dự án. Trong quy hoạch phát triển đô thị, nó giúp thiết kế trực tuyến và mô phỏng các phương tiện cho hạ tầng dự án như đường bộ, đường sắt, nhà ga... từ đó giúp xây dựng sự đồng thuận giữa các bên: chủ đầu tư, nhà thầu và người dân. Trong phát triển công nghệ di động, bản sao số cung cấp nền tảng mô phỏng giao thông, xem xét các ứng dụng MaaS (Mô hình dịch vụ vận tải). Trong phòng chống thiên tai, bản sao số giúp xây dựng các kế hoạch ứng phó và phục hồi, cải thiện khả năng phục hồi của các kết cấu chống động đất, và ứng phó với lũ lụt, sóng thần. Trong việc phục hồi vùng và thúc đẩy tính bền vững, bản sao số hỗ trợ phát triển các công nghệ thông minh và các dịch vụ khác để thúc đẩy kinh tế địa phương và phát triển bền vững.

2. Ứng dụng bản sao số trong công tác khảo sát và quản lý khai thác công trình giao thông

Để xây dựng bản sao số cho các dự án giao thông, ngoài việc sử dụng các tính năng chính của công cụ



Hình 1. Chuyển đổi dữ liệu OSM thành dữ liệu thực tế ảo VR (dữ liệu hệ thống đường bộ)

Hình 2. Chuyển đổi dữ liệu OSM thành dữ liệu thực tế ảo VR (dữ liệu tòa nhà và cây xanh)

VR (thực tế ảo) nhằm tái tạo không gian ảo, các kỹ sư còn cần thêm một số tính năng khác để hỗ trợ việc khảo sát và quản lý khai thác công trình.

2.1. Bản đồ đường phố mã nguồn mở (OSM)

Bản đồ đường phố mã nguồn mở (OSM) là bản đồ miễn phí cung cấp dữ liệu chi tiết về đường sá, tòa nhà, địa hình, địa vật và các điểm tham quan, hỗ trợ đa dạng đối tượng từ tình nguyện viên đến doanh nghiệp và chính phủ.

Đối với việc khảo sát và lập báo cáo nghiên cứu khả thi, việc trích xuất dữ liệu từ OSM giúp rút ngắn thời gian xây dựng không gian ảo 3D, với các dữ liệu được chuyển đổi tương thích trong môi trường thực tế ảo (VR).

Việc xây dựng các bản sao số được thực hiện bằng cách thu thập dữ liệu qua các bản đồ mở, sử dụng những công cụ như Bản đồ đường phố mã nguồn mở

2.2. Tập hợp điểm 3D (Point Cloud)

Tập hợp điểm 3D là một mô hình kỹ thuật số 3D đại diện cho một đối tượng hoặc không gian. Nó bao gồm hàng triệu điểm, mỗi điểm được xác định dựa trên hệ tọa độ x, y và z. Khác với các dạng mô hình 3D khác như dạng lưới, các điểm trong tập hợp này không liên kết với nhau.

Tập hợp điểm 3D có thể được ứng dụng trong thực tế ảo, cụ thể như thực hiện các mô phỏng mặt bằng. Trong lĩnh vực khảo sát và xây dựng, việc mô hình hóa 3D bằng dữ liệu tập hợp điểm (thu thập qua các thiết bị GPS di động độ chính xác cao) ngày càng được quan tâm. Nó hỗ trợ tạo ra các mô hình 3D chân thực và so sánh điều kiện xây dựng thực tế với bản vẽ thiết kế. Dữ liệu này làm tăng độ chính xác và khả năng phối hợp, hỗ trợ việc ra quyết định sáng suốt trong suốt vòng đời dự án.

Có nhiều phương pháp khác nhau để thu thập dữ liệu tập hợp điểm 3D. Các lựa chọn như quét laser (laser scanning) mang lại độ chính xác cao nhưng chi phí có thể đắt đỏ. Phép đo ảnh (photogrammetry) – sử dụng nhiều ảnh chụp ghép lại – là một giải pháp thay thế tiết kiệm hơn. Công nghệ Lidar, dù tốn kém, lại cung cấp khả năng thu thập dữ liệu nhanh và độ phân giải cao.

FORUM8, một công ty phần mềm Nhật Bản, đã ra mắt "Dịch vụ Quét Laser và Mô hình hóa 3D" sử dụng thiết bị của Nikon-Trimble. Dữ liệu tập hợp điểm sau đó được mô hình hóa trong phần mềm UC-win/Road và có thể ứng dụng theo nhiều cách, chẳng hạn như để thẩm tra dự án với các mô hình 3D và VR được tạo từ giai đoạn quy hoạch nhờ việc đo đạc chính xác toàn bộ hiện trạng đường xá và vật thể 3D.

Sau bước xử lý nội nghiệp, dữ liệu tập hợp điểm 3D được dùng để tạo ra các mô hình 3D chi tiết.

Hình 3. Dữ liệu tập hợp điểm 3D tại nút giao ở Shibuya (Tokyo-Nhật Bản)

Các kỹ thuật rất đa dạng, từ mô hình bề mặt, mô hình khối đến mô hình tham số và mô hình Thông tin công trình (BIM), mỗi loại đáp ứng các nhu cầu dự án khác nhau.

Kết lại là, việc sử dụng tập hợp điểm 3D sẽ giúp bạn hoàn thành các dự án xây dựng nhanh chóng và chính xác hơn, từ đó cải thiện tiến độ và giảm thiểu các chi phí.

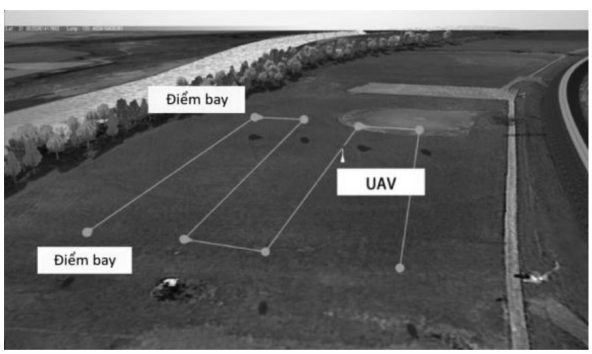
2.3. Thiết bị bay không người lái (UAV)

Để tạo ra một bản sao số cho bất kỳ dự án giao thông nào, bước đầu tiên là xây dựng dữ liệu không gian về địa hình. Dữ liệu đầu vào để xây dựng bản sao số của dự án rất đa dạng về chủng loại với nhiều định dạng khác nhau như CAD, BIM, ảnh UAV, GML,…

Một trong những công nghệ phổ biến hiện nay để thu thập dữ liệu nguồn cho việc chỉnh sửa và xử lý dữ liệu 3D là dữ liệu hình ảnh từ thiết bị bay không người lái, ảnh vệ tinh, dữ liệu quét Lidar; các dữ liệu này được lựa chọn tùy thuộc vào mức độ chi tiết, phạm vi triển khai cũng như tần suất xử lý dữ liệu 3D. Trong đó, phổ biến nhất hiện nay là dữ liệu hình ảnh từ UAV với độ phân giải cao; độ chính xác về mặt bằng và độ cao được cải thiện nhờ kết hợp các yếu tố định vị mặt đất bằng công nghệ đo động thời gian thực (RTK).

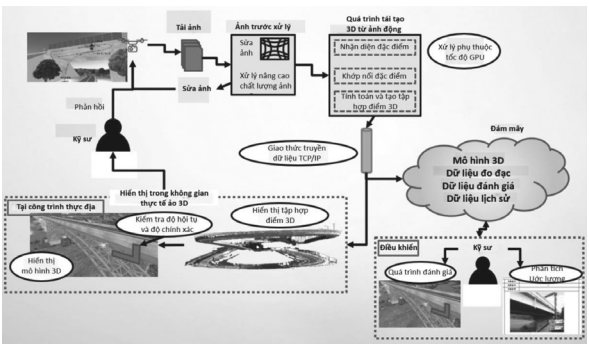
Một số công ty phần mềm cung cấp các giải pháp cho phép mô phỏng kế hoạch bay và thực hành bay thủ công song song với VR (tái tạo không gian thực vào không gian thực tế ảo) mà không cần sử dụng các ứng dụng khác. Một ví dụ điển hình là phần mềm thực tế ảo 3D thời gian thực UC-win/Road của FORUM8. Giải pháp này đôi khi rất hữu ích khi thành lập bản đồ, giúp người dùng dễ dàng tìm các vùng chưa quét theo thời gian thực và điều khiển thiết bị để quét toàn bộ khu vực.

Hình 4. Hệ thống điều khiển UAV



Hình 5. Triển khai kế hoạch bay và hình ảnh của đường bay trong không gian ảo (UC-win/Road)

Đối với việc quản lý khai thác và bảo trì các dự án giao thông hiện có, việc thu thập chính xác tình hình thực tế và cập nhật vào kế hoạch là rất quan trọng. UAV được điều khiển từ xa để kiểm tra kết cấu một cách nhanh chóng và an toàn. Trên thiết bị bay sẽ có camera, camera hồng ngoại, cảm biến nhiệt độ và độ ẩm để đo đạc và chụp ảnh hiện trường. Dữ liệu này được chuyển đến máy tính để mô hình hóa môi trường và kết cấu xung quanh khu vực hoạt động của UAV thành mô hình 3D. Từ đó, các kỹ sư sẽ trình bày nội dung bảo trì dự kiến, xác nhận tính khả thi của các phương án thông qua mô phỏng 3D và chọn ra phương án an toàn, hiệu quả nhất.

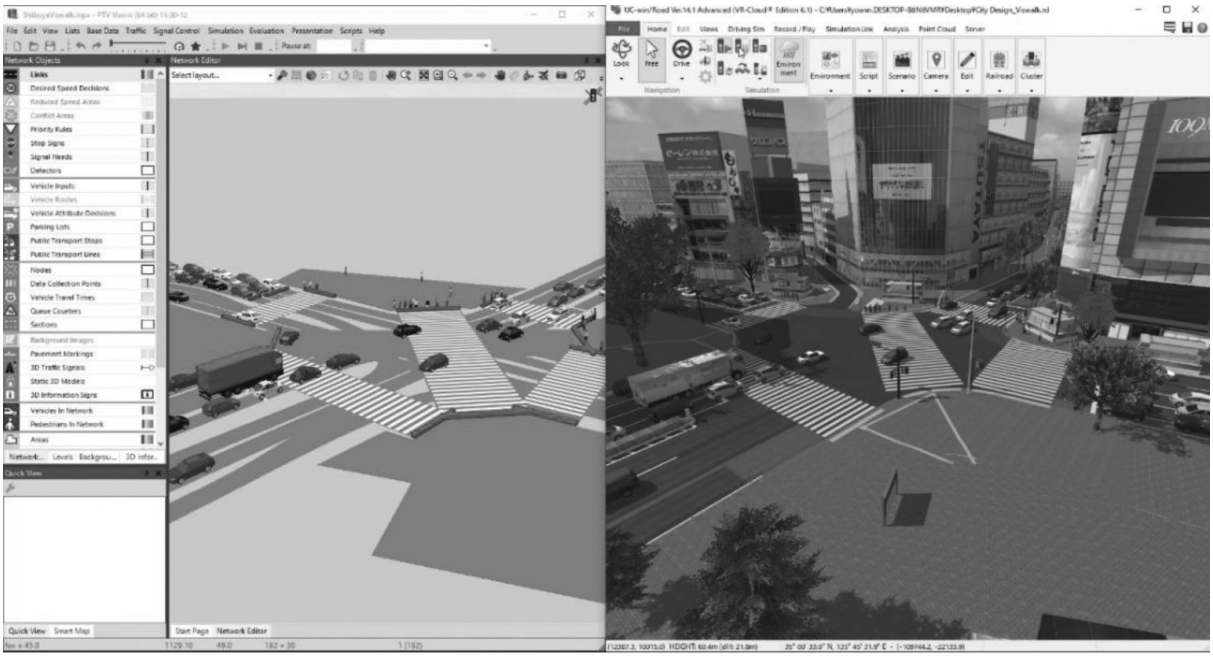


Hình 6. Ứng dụng UAV trong khai thác, kiểm tra và bảo trì công trình cầu

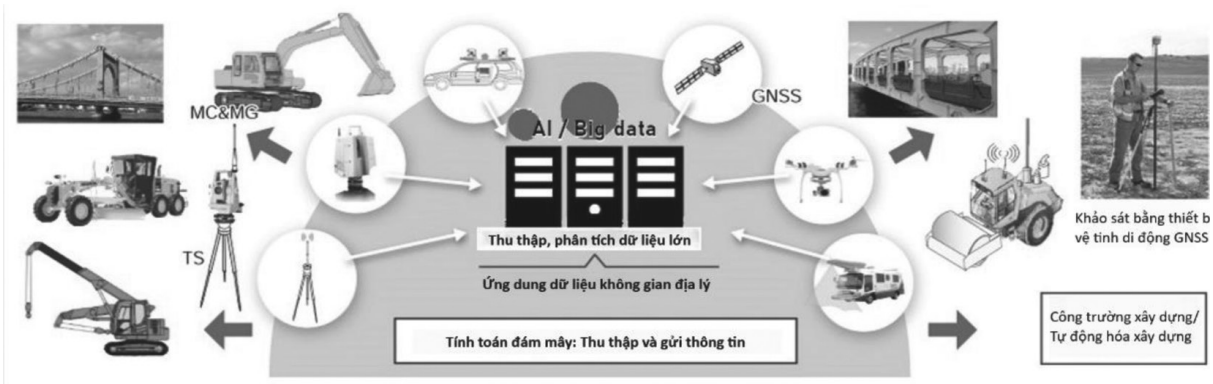
2.4. VISSIM

Trong việc quản lý khai thác các công trình giao thông, các bài toán về quản lý giao thông phải được đề cập đến, đặc biệt là với các công trình giao thông đô thị. Trước đây, vấn đề này được giải quyết bởi các trung tâm điều hành; hiện nay, các trung tâm này yêu cầu sự hiện đại hóa dựa trên bản sao số (digital twins) và trí tuệ nhân tạo (AI). Việc đưa vào vận hành các Hệ thống Giao thông Thông minh (ITS) cho phép giải quyết các vấn đề chính của mạng lưới giao thông và phát triển mạng lưới này một cách hiệu quả.

VISSIM (phần mềm mô phỏng vi mô dòng giao thông) là một công cụ mạnh mẽ, dễ sử dụng để lưu trữ, xử lý, xác thực và phân tích dữ liệu giao thông; đồng thời là một công cụ hiện đại để dự báo các tình huống giao thông theo thời gian thực, sử dụng dữ liệu được cập nhật liên tục từ các cảm biến. Và



Hình 7. Chức năng kết nối theo thời gian thực của UC-win/Road với VISSIM



Hình 8. Hệ thống mục tiêu của các dự án công trình giao thông

để hỗ trợ sâu hơn cho chức năng trực quan hóa phân tích giao thông, cũng như hỗ trợ các hoạt động nghiên cứu và phát triển về mô phỏng lái xe, lái xe tự động/Hỗ trợ lái xe nâng cao, các kỹ sư giao thông có thể kết hợp nó với phần mềm thực tế ảo VR-Design Studio UC-win/Road.

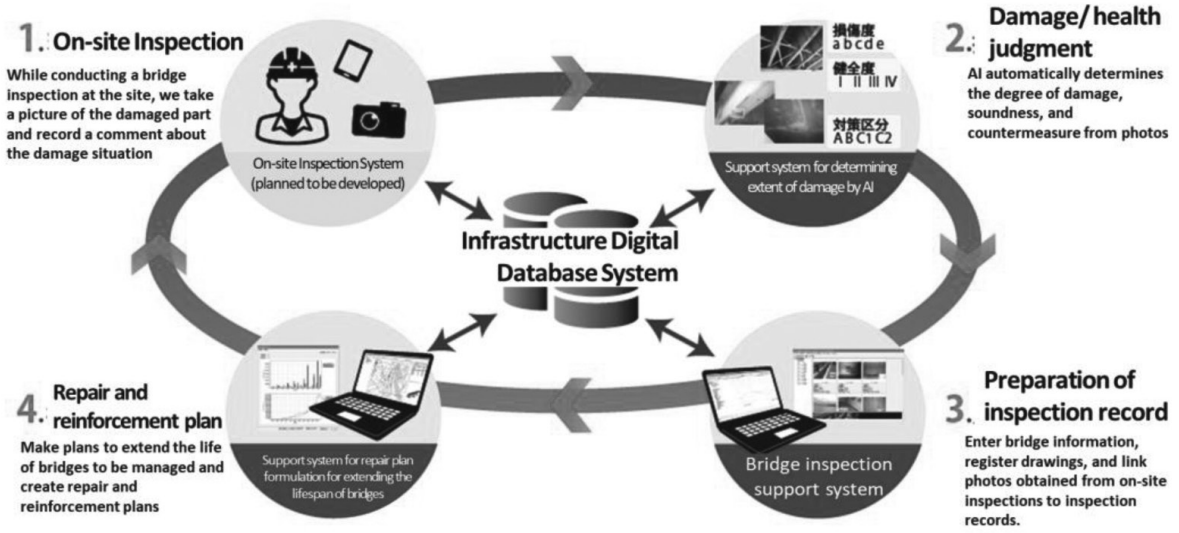
3. Hệ thống cơ sở dữ liệu số về hạ tầng

Hệ thống cơ sở dữ liệu hạ tầng là hệ thống hạ tầng số được xây dựng để quản lý, lưu trữ và xử lý dữ liệu. Hệ thống này bao gồm các cơ sở dữ liệu, kho dữ liệu, máy chủ, phần cứng và phần mềm, thiết bị mạng và các trung tâm dữ liệu. Đây chính là nền tảng để xây dựng chiến lược quản lý dữ liệu. Một cơ sở hạ tầng dữ liệu hiệu quả cho phép các công ty xây dựng tổ chức được khối lượng dữ liệu lớn, áp dụng các công cụ phân tích, tạo điều kiện truy cập và đảm bảo tính toàn vẹn của dữ liệu; từ đó dẫn đến việc hình thành các thông tin và kiến thức có ý nghĩa cho việc ra quyết định. Nó cũng bao gồm các quy tắc, quy trình và tiêu chuẩn được thiết lập để đảm bảo chất lượng dữ liệu và tính dễ sử dụng.

Công cụ thực tế ảo (VR) cho phép mô phỏng bằng cách liên kết với dữ liệu mở, các cơ sở dữ liệu khác nhau và các kết quả phân tích đa dạng; từ đó hiện thực hóa một nền tảng thực tế ảo 3D kết nối nhiều lĩnh vực như giao thông, phòng chống thiên tai, môi trường, đào tạo và sản xuất. Công cụ này hỗ trợ mạnh mẽ cho việc thúc đẩy chuyển đổi số (DX) thông qua việc kết nối hệ thống cơ sở dữ liệu số về hạ tầng.

Hệ thống cơ sở dữ liệu số về hạ tầng trong các dự án công trình giao thông:

- Cho phép sử dụng (đăng ký, tìm kiếm, hiển thị và in ấn) các dữ liệu riêng lẻ hoặc các hệ thống liên quan đến xây dựng đường bộ.
- Tập trung vào các đối tượng: đường bộ, cầu, hầm, vỉa hè, hệ thống thoát nước và các kết cấu tạm thời.
- Dữ liệu thu thập được sẽ được phân tích và lưu



Hình 9. Hệ thống quản lý bền vững cơ sở dữ liệu số về hạ tầng (phiên bản cầu)

trữ trên điện toán đám mây để chia sẻ, sau đó phản hồi lại cho công trường xây dựng.

• Thực hiện Chuyển đổi số (DX) để giải quyết các vấn đề xã hội như: cơ sở hạ tầng xuống cấp, thiếu hụt kỹ sư lành nghề, cắt giảm chi phí, rút ngắn thời gian làm việc, loại bỏ sự chênh lệch trong kết quả phân tích đánh giá,…

Tại Nhật Bản, bên cạnh hệ thống cơ sở dữ liệu số hạ tầng hiện có, công ty FORUM8 đang phát triển một hệ thống quản lý bảo trì (phiên bản dành cho cầu) sử dụng cơ sở dữ liệu số hạ tầng với sự hợp tác của các giáo sư thuộc công ty Emeritus.com. Chúng tôi đang kết nối nhiều công nghệ khác nhau như chương trình đánh giá sự xuống cấp của công trình nhờ trí tuệ nhân tạo và trích xuất thông tin cơ bản các dữ liệu.

4. Kết luận

Bản sao số cung cấp một cái nhìn đa chiều về cách một công trình giao thông được thiết kế và quản lý khai thác, bao gồm cả hành vi người dùng, thói quen sử dụng, việc sử dụng không gian và các đặc điểm lưu thông. Bản sao số có thể được áp dụng từ giai đoạn khảo sát cho đến khi khai thác dự án; thông qua việc mô phỏng các phương án thiết kế khác nhau, nó cho phép các kỹ sư giám sát và điều hành từ xa theo thời gian thực, lựa chọn các phương án khách quan, tối ưu hóa công việc, giúp mọi người có thể tập trung phối hợp và chia sẻ thông tin với các bên liên quan một cách trực quan và dễ dàng.

Mặc dù mới chỉ được đề cập rộng rãi trong những năm gần đây, nhưng những lợi ích mà bản sao số mang lại trong nhiều lĩnh vực đang ngày càng được chứng minh rõ rệt hơn. Nhiều công ty công nghệ hàng đầu thế giới đang đầu tư mạnh mẽ vào việc xây dựng các thế giới ảo, trong đó bản sao số đô thị là một phần rất quan trọng. Các công ty phần mềm Nhật Bản như FORUM8 cũng đang tập trung vào Hệ thống Cơ sở dữ liệu số Hạ tầng để tạo ra các bản sao số đô thị tiệm cận nhất với việc quản lý khai thác một công trình trên thực tế.❑

Tài liệu tham khảo

1.Wanwan Li. 2022. Simulating Virtual Construction Scenes on OpenStreetMap (2022).
2.FORUM8 Website – UC-win/Road.2024. OpenStreetMap Plugin and Online Map Import Plugin (Product Information VR Design Studio UC-win/Road (forum8.co.jp))
3.Hugo Sibué. 2022. The point cloud of a building: 3D representation of reality, pp. 1–2. (2012).
4.Intertraffic. 2023. Digital Twins of Road Infrastructure (March 01, 2023).
5.FORUM8 Website – UC-win/Road.2024. UAV Plugin (Product Info: UC-win/Road UAV Plugin Option (forum8.co.jp))
6.Andrey Rudskoy, Igor Ilin, Andrey Prokhorow. 2021. Digital Twins in the Intelligent Transport Systems. Transport Research Procedia 54 (2021).