

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT ĐỊNH HƯỚNG PHÁT TRIỂN BẢN SAO SỐ ỨNG DỤNG CHO HỆ THỐNG GIAO THÔNG THÍCH ỨNG BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI CAO BẰNG



Proposing Orientations for Digital Twin Development in Climate-adaptive Transport System in Cao Bang

/ TS. Đặng Minh Tân¹

Tóm tắt: Trong bối cảnh biến đổi khí hậu gia tăng thiên tai cực đoan tại miền núi phía Bắc, hạ tầng giao thông tỉnh Cao Bằng đang đối mặt với rủi ro sạt lở, ngập lụt và chia cắt nghiêm trọng, đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc chuyển dịch từ ứng phó thụ động sang quản trị chủ động dựa trên dữ liệu. Bài báo phân tích kinh nghiệm quốc tế và thực trạng địa phương để đề xuất mô hình bản sao số (Digital Twins) tinh gọn, phù hợp với đặc thù khu vực. Trên cơ sở đó, nghiên cứu thiết lập khung kiến trúc hệ thống bốn lớp gồm thu thập, truyền dẫn, phân tích và ứng dụng điều hành. Thay vì ưu tiên trực quan hóa 3D phức tạp, mô hình tập trung xây dựng nền tảng GIS đa lớp tích hợp dữ liệu giao thông, mưa, địa hình và thủy văn nhằm mô phỏng rủi ro và hỗ trợ ra quyết định theo thời gian thực. Lộ trình triển khai theo các giai đoạn thí điểm, mở rộng và tích hợp liên ngành được đề xuất nhằm tối ưu hóa nguồn lực, nâng cao năng lực chống chịu và đảm bảo an toàn hạ tầng giao thông bền vững cho địa phương.

Từ khóa: Giao thông thích ứng, bản sao số, biến đổi khí hậu, quản trị dựa trên dữ liệu, GIS đa lớp.

Abstract: In the context of escalating extreme weather events in Northern mountainous regions, Cao Bang Province's transport infrastructure faces severe risks of landslides, flooding and connectivity disruptions, necessitating a shift from reactive response to data-driven proactive governance. This paper analyzes international experience and local conditions to propose a lean Digital Twin model tailored to regional characteristics. The study establishes a four-layer system architecture comprising: data collection, transmission, analysis and operational application. Rather than prioritizing complex 3D

visualization, the model focuses on developing a multi-layered GIS platform that integrates traffic, rainfall, terrain and hydrological data to simulate risks and support real-time decision-making. A phased implementation roadmap - pilot, expansion and interdisciplinary integration - is proposed to optimize resources, enhance resilience and ensure sustainable transport infrastructure safety for the locality.

Keywords: Climate-adaptive transport, digital twin, climate change, data-driven governance, multi-layer GIS.

Nhận bài ngày 20/01/2026, chỉnh sửa ngày 10/02/2025, chấp nhận đăng ngày 23/3/2026.

I. MỞ ĐẦU

Trong điều kiện biến đổi khí hậu hiện nay, nhiều tỉnh thành tại Việt Nam, đặc biệt là khu vực miền núi phía Bắc, thường xuyên chịu tác động của mưa cực đoan gây ngập lụt, sạt lở và gián đoạn giao thông. Tại Cao Bằng, hệ thống đường bộ đóng vai trò huyết mạch trong kết nối liên phường, xã, giao thương và du lịch. Tuy nhiên, địa hình dốc và thung lũng hẹp khiến mạng lưới này cực kỳ nhạy cảm với mưa lớn cường suất cao. Thực tế sau các đợt bão như Yagi năm 2024 hay Bualoi năm 2025, hàng trăm điểm sạt lở đã phát sinh trên các tuyến quốc lộ, tình lộ với khối lượng đất đá hàng chục nghìn m³, gây ách tắc và cô lập cục bộ. Nhiều vị trí rủi ro cao hiện vẫn cần được giám sát và gia cố thường xuyên.

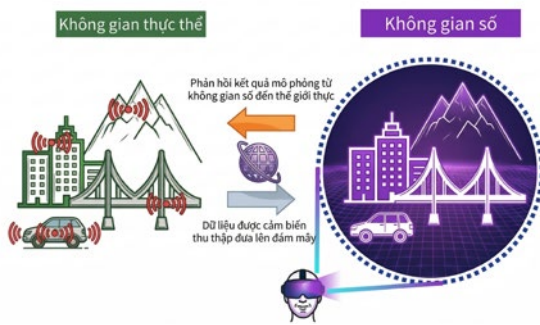
Khái niệm Bản sao số (Digital Twins) hình thành từ lĩnh vực hàng không vũ trụ, gắn liền với NASA vào khoảng năm 2010 [1]. Thuật ngữ này lần đầu được đề cập trong lộ trình công nghệ của NASA nhằm định hướng ứng dụng mô phỏng, phân tích và quản lý vòng đời hệ

¹Bộ môn Đường bộ, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải
Email: tandang@utc.edu.vn

thống. Từ đó, bản sao số dần mở rộng sang lĩnh vực xây dựng hạ tầng và giao thông vận tải (Hình 1). Trong lĩnh vực này, bản sao số được hiểu là mô hình số hóa toàn diện, tích hợp dữ liệu thời gian thực phục vụ mô phỏng và dự báo và phản ứng rủi ro. Công nghệ này phát huy hiệu quả cao trong giai đoạn khai thác vận hành, giúp giảm thiểu gián đoạn, ùn tắc, tai nạn giao thông, quản trị rủi ro sạt lở, giám sát “sức khỏe” công trình và hỗ trợ thích ứng với biến đổi khí hậu.

Đối với một tỉnh miền núi còn hạn chế về nguồn lực như Cao Bằng, xây dựng Digital Twins quy mô lớn là mục tiêu dài hạn. Giai đoạn hiện nay cần tiếp cận theo hướng “Digital Twins thực dụng” (Practical Digital Twins) – triển khai từng phần, tập trung vào các khu vực rủi ro cao để phòng ngừa tác động của mưa cực đoan, lũ quét và sạt lở đất.

Mục tiêu bài báo là nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn tại Cao Bằng, từ đó đề xuất khung hệ thống Digital Twins giao thông theo hướng khả thi. Trên cơ sở thực tế về hạ tầng và năng lực quản lý địa phương, nghiên cứu hướng tới xác lập cấu trúc hệ thống (dữ liệu – mô hình – nền tảng – vận hành), đồng thời đề xuất lộ trình triển khai theo giai đoạn: Thí điểm, mở rộng và tích hợp liên ngành. Cách tiếp cận này đảm bảo tính thực tiễn, hiệu quả đầu tư và khả năng vận hành bền vững trong điều kiện miền núi.



Hình 1. Minh họa mô hình bản sao số hệ thống hạ tầng giao thông vận tải

II. VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Bối cảnh chuyển đổi số hạ tầng giao thông tại Việt Nam

Những năm gần đây, Việt Nam đang đẩy mạnh chương trình chuyển đổi số quốc gia nhằm hiện đại hóa quản lý và nâng cao năng lực cạnh tranh. Định hướng này được khẳng định qua các nghị quyết của Đảng, đặc biệt là Nghị quyết số 52-NQ/TW (2019) [2], nghị quyết số 57-NQ/TW (2024) [3], từ đó được cụ thể hóa bằng hệ thống văn bản quy phạm pháp luật như Luật Chuyển đổi số số 148/2025/QH15 [4], Nghị định số 55/2025/NĐ-CP [5], Quyết định 749/QĐ-TTg [6] và Chiến lược hạ tầng số tại Quyết định 1132/QĐ-TTg [7]...

Trong bối cảnh đó, hạ tầng giao thông là lĩnh vực ưu tiên với việc triển khai hệ thống giao thông thông minh (ITS), thu phí không dừng và quản lý dựa trên dữ liệu nhằm nâng cao hiệu quả hệ thống giao thông, giảm thiểu ùn tắc và tai nạn giao thông. Tuy nhiên, các ứng dụng hiện nay chủ yếu tập trung vào giám sát camera, điều khiển tín hiệu và xử lý vi phạm. Những bước tiến này bước đầu nâng cao hiệu quả điều hành nhưng vẫn thiên về thu thập dữ liệu và phản ứng theo tình huống thay vì dự báo chủ động.

So với yêu cầu của mô hình Digital Twins, mức độ phát triển hiện nay còn khoảng cách lớn. Bản sao số đòi hỏi hệ sinh thái dữ liệu tích hợp từ mô hình không gian (GIS 2D/3D), dữ liệu thời gian thực đến

khả năng mô phỏng đa kịch bản. Trong lĩnh vực giao thông đường bộ, đặc biệt tại khu vực miền núi, Digital Twins vẫn ở giai đoạn sơ khai do thiếu kiến trúc thống nhất, cơ sở dữ liệu phân tán và thiếu chuẩn tích hợp đa ngành giữa giao thông, khí tượng và thủy văn. Trước tác động của mưa lũ cực đoan ngày càng phức tạp, yêu cầu chuyển dịch từ quản lý dựa trên kinh nghiệm sang quản trị dựa trên dữ liệu và mô phỏng thông qua Digital Twins trở thành nhu cầu cấp thiết.

2.2. Thách thức kỹ thuật và thể chế

Việc phát triển Bản sao số hiện nay vẫn phải đối mặt với nhiều rào cản liên quan đến thể chế, dữ liệu và nguồn lực triển khai. Trước hết, bản sao số đòi hỏi hệ thống dữ liệu đầu vào đầy đủ, chính xác và được cập nhật thường xuyên. Tuy nhiên, tại Việt Nam, nhiều loại dữ liệu quan trọng như mô hình địa hình chi tiết (DEM), hệ thống thoát nước đô thị hay dữ liệu về các điểm sạt lở vẫn chưa được chuẩn hóa và tích hợp trong một nền tảng thống nhất. Sự thiếu đồng bộ này làm hạn chế khả năng mô phỏng liên ngành, đồng thời ảnh hưởng đến độ tin cậy của các kết quả dự báo và đánh giá rủi ro. Bên cạnh đó, về mặt thể chế, kiến trúc phát triển giao thông thông minh nói chung và bản sao số nói riêng vẫn chưa được hoàn thiện. Cơ chế chia sẻ dữ liệu giữa các bộ, ngành, địa phương và các bên liên quan còn thiếu rõ ràng, đặc biệt trong các quy định về quyền truy cập, quản lý và bảo mật dữ liệu. Về khía cạnh kỹ thuật, việc xây dựng một hệ thống bản sao số tích hợp nhiều lớp dữ liệu và mô hình - như mô hình thủy văn, thủy lực, mô hình dòng giao thông và mô hình rủi ro hạ tầng - ứng dụng người dùng đòi hỏi năng lực chuyên môn cao và sự phối hợp đa ngành, trong khi đây vẫn là lĩnh vực còn tương đối mới tại nhiều địa phương.

Ngoài ra, chi phí đầu tư ban đầu cho hạ tầng dữ liệu, thiết bị cảm biến và nền tảng tính toán khá lớn, khiến yêu cầu đánh giá hiệu quả thực tiễn và khả năng mang lại lợi ích xã hội trở nên đặc biệt quan trọng trước khi triển khai trên quy mô rộng. Nếu không có lộ trình phát triển phù hợp, gắn với chiến lược dữ liệu và nguồn lực dài hạn, Bản sao số có thể chỉ dừng lại ở mức định hướng hoặc mục tiêu dài hạn khó đạt được trong thực tế.

2.3. Bối cảnh và đặc thù tại tỉnh Cao Bằng

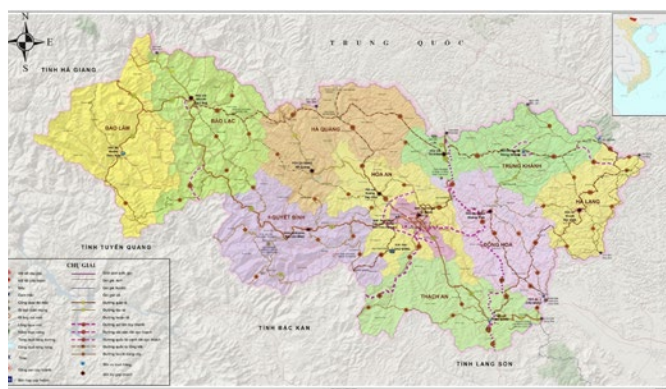
Cao Bằng có địa hình phức tạp, độ dốc lớn với mạng lưới giao thông phân bố dọc thung lũng và sườn núi, nhiều tuyến đường độc đạo. Trong mùa mưa, nguy cơ sạt lở và ngập cục bộ gây gián đoạn giao thông nghiêm trọng, ảnh hưởng lớn đến kết nối liên vùng. Tuy nhiên, hệ thống quan trắc hiện nay còn thưa thớt, dữ liệu chưa được tích hợp chặt chẽ với công tác vận hành theo thời gian thực. Hạ tầng giao thông, dân cư phân tán và hạn chế về kết nối đặc biệt là điện, internet, thông tin liên lạc cần thiết khác tại một số khu vực (Hình 2) càng làm tăng khó khăn trong giám sát và điều hành.

Ở cấp quản lý, tỉnh thiếu dữ liệu số, trong đó có dữ liệu địa hình chi tiết phục vụ mô phỏng thiên tai; hệ thống cảm biến tại các điểm xung yếu chưa được đầu tư đầy đủ. Việc ra quyết định vẫn phụ thuộc nhiều vào báo cáo thủ công và kinh nghiệm thực tế do thiếu trung tâm điều hành tích hợp. Tuy nhiên, chính sự nhạy cảm của mạng lưới giao thông trước thiên tai lại khẳng định nhu cầu cấp thiết của Bản sao số. Với quy mô quản lý vừa phải, Cao Bằng có thể ưu tiên các điểm rủi ro cao để triển khai theo từng giai đoạn, lồng ghép vào chương trình chuyển đổi số cấp tỉnh nhằm huy động đa nguồn lực và tránh đầu tư trùng lặp.

2.4. Yêu cầu đối với hướng tiếp cận phù hợp

Việc phát triển Digital Twins tại Cao Bằng cần thực hiện theo hướng từng bước, ưu tiên các khu vực rủi ro cao và tận dụng tối đa hạ tầng ITS hiện có. Thay vì đầu tư mới toàn diện, tỉnh có thể tích hợp và chuẩn hóa dữ liệu sẵn có, xây dựng nền tảng GIS đa lớp làm cơ sở mô phỏng.

Trong điều kiện tỉnh miền núi, Bản sao số không nên được tiếp cận theo hướng là một mô hình 3D và hệ thống dữ liệu, ứng dụng phức tạp ngay từ đầu. Thay vào đó, nó là quá trình số hóa có lộ trình các thành phần quan trọng, hướng tới nâng cao năng lực dự báo và ứng phó với mưa lũ cực đoan. Cách tiếp cận "thực dụng" này vừa phù hợp với nguồn lực địa phương, vừa tạo nền tảng vững chắc cho hệ thống giao thông thông minh thích ứng khí hậu trong tương lai.



Hình 2. Mạng lưới hạ tầng dân cư và đường bộ ở Cao Bằng bị chia cắt bởi địa hình (Nguồn: Cổng du lịch Cao Bằng)

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

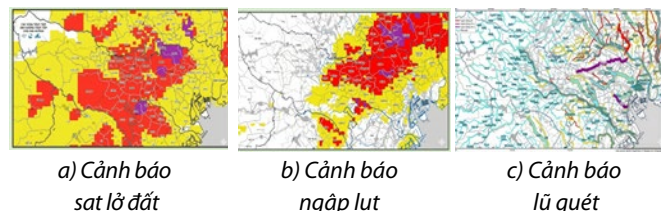
3.1. Kinh nghiệm phát triển Bản sao số trên thế giới và kiến trúc ITS tích hợp

Trên thế giới, phát triển bản sao số (Digital Twins) trong giao thông ngày càng gắn chặt với mục tiêu tăng cường khả năng chống chịu của hạ tầng trước biến đổi khí hậu. Bản sao số không phải là một hợp phần độc lập mà là cấu thành lõi của Hệ thống giao thông thông minh (ITS). Theo tiêu chuẩn ISO 14813 [8] và khung kiến trúc quốc gia về ITS của Hoa Kỳ (ARC-IT) [9], cấu trúc hệ thống gồm bốn lớp: thu thập dữ liệu, truyền dẫn – tích hợp, xử lý – phân tích và ứng dụng/điều hành. Trong đó, Digital Twins đóng vai trò phân tích nâng cao, đồng bộ mô hình số với dữ liệu thời gian thực (mưa, mực nước, lưu lượng) để mô phỏng đa kịch bản. Cách tiếp cận này phù hợp với định hướng của Hiệp hội Đường bộ quốc tế (PIARC) [10] khi coi hạ tầng thông minh là nền tảng tích hợp dữ liệu phục vụ quản lý rủi ro thiên tai.

Các quốc gia và vùng lãnh thổ có đặc điểm địa hình, khí hậu tương đồng với Việt Nam như Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc và Đài Loan và đây cũng là những quốc gia tiên tiến, có nền khoa học công nghệ phát triển đã triển khai thành công nhiều mô hình bản sao số ứng dụng trong giảm thiểu tác động thiên tai và tổ chức điều hành giao thông thông minh.

Tại Nhật Bản, nơi hơn 70% diện tích là đồi núi, hệ thống bản sao số giao thông dựa trên dữ liệu địa hình – địa chất độ phân giải cao và dữ liệu mưa thời gian thực. Bộ Đất đai, Hạ tầng, Giao thông và Du lịch Nhật Bản (MLIT) triển khai nền tảng Xây dựng số "i-Construction"

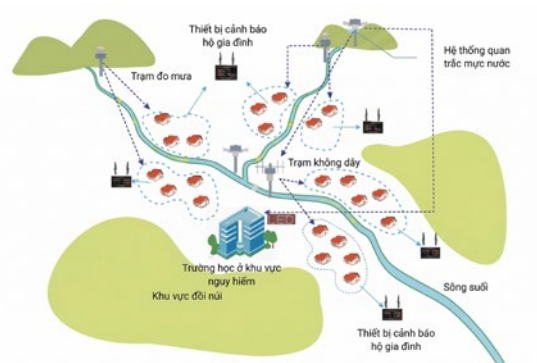
kết hợp dữ liệu mưa tích lũy và độ bão hòa đất để xác định ngưỡng đóng đường an toàn [11]. Theo Sách trắng về quản lý thiên tai Nhật Bản [12], việc tích hợp này giúp rút ngắn thời gian phản ứng và giảm thiểu thiệt hại tại các tuyến đường miền núi. Trọng tâm của Nhật Bản là mô hình hóa quan hệ giữa mưa cực đoan với sạt lở đất, ngập lụt, lũ quét và các sự cố giao thông khác thông qua các ứng dụng cảnh báo trực tuyến (Hình 3).



Hình 3. Một số ứng dụng cảnh báo nguy cơ thiên tai dịch họa ở Nhật Bản (Nguồn: jma.go.jp)

Tại Hàn Quốc, Chính phủ đã đầu tư hơn 4.000 tỷ won (Khoảng hơn 70 ngàn tỷ VND) cho hàng ngàn dự án Digital Twins [13]. Điển hình tại Seoul, công nghệ bản sao kỹ thuật số siêu thực được áp dụng để quản lý đường sá và phòng chống thiên tai. Các trung tâm điều hành sử dụng dữ liệu thời gian thực để điều tiết phương tiện khi mưa lớn gây nguy cơ ngập cục bộ trên các tuyến đường miền núi. Hàn Quốc cũng nhấn mạnh vai trò của chuẩn hóa dữ liệu và điều phối liên ngành.

Tại Trung Quốc, các tỉnh miền núi như Tứ Xuyên và Vân Nam ứng dụng bản sao số để giám sát sạt lở và lũ quét. Hệ thống tích hợp dữ liệu vệ tinh, cảm biến IoT và UAV để xây dựng mô hình rủi ro 3D. Đáng chú ý là "Hệ thống cảnh báo khu vực miền núi kết hợp công nghệ cao và phòng thủ cộng đồng" [14]. Giải pháp này sử dụng vệ tinh Bắc Đẩu và công nghệ truyền tin dự tích sao băng để duy trì liên lạc tại các vùng "mù" sóng, đảm bảo truyền tin chặng cuối đến tận thiết bị đầu cuối tại nhà dân, hay các hệ thống hạ tầng trọng yếu khác giúp giảm thiểu đáng kể thiệt hại, thương vong (Hình 4).



Hình 4. Minh họa hệ thống cảnh báo ngập lụt, lũ quét ở Trung Quốc [13]

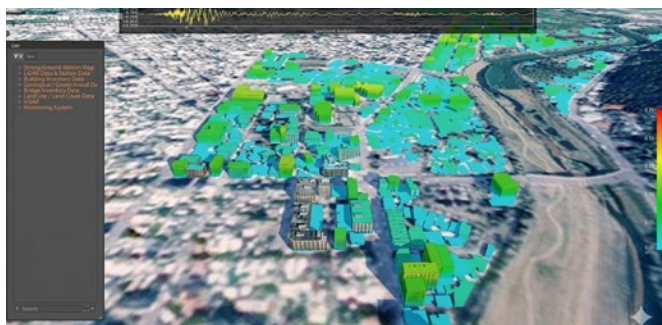
Đài Loan cũng là một trong những quốc gia, vùng lãnh thổ tiên phong ứng dụng bản sao số vào quản lý hệ thống hạ tầng dân cư và giao thông cũng như trong phòng chống thiên tai do đặc thù địa hình đồi núi chiếm 60%. Cục Đường bộ Đài Loan phối hợp với Trung tâm Quốc gia về Khoa học và Công nghệ Phòng chống Thiên tai xây dựng các nền tảng tích hợp dữ liệu khí tượng thủy văn và trạng thái giao thông (Hình 5). Các hệ thống này cho phép giám sát tập trung,

hỗ trợ phân tích rủi ro và điều phối khẩn cấp [16]. Đài Loan đã phát triển bản sao số cấp độ 5D làm nền tảng cho hệ thống Phòng chống và Cứu trợ Thảm họa Thành phố Thông minh [17]. Theo báo cáo thường niên của Bộ Giao thông vận tải Đài Loan [18], cơ chế đồng bộ dữ liệu sau mỗi sự kiện thiên tai giúp hình thành vòng lặp phản hồi liên tục để hiệu chỉnh mô hình dự báo và tối ưu hóa quyết định vận hành (Hình 6).

Những kinh nghiệm quốc tế này cho thấy, sự thành công của Bản sao số không chỉ nằm ở công nghệ hiển thị mà quan trọng hơn là khả năng tích hợp dữ liệu đa ngành và xây dựng các kịch bản ứng phó thực dụng phù hợp với đặc thù địa phương.



Hình 5. Cơ chế phòng chống thiên tai thông minh
(Nguồn: MundoGEO)



Hình 6. Bản sao số thể hiện sóng địa chấn tại Đài Loan [18]

3.2. Đề xuất chiến lược phát triển Bản sao số cho Tỉnh Cao Bằng

Tỉnh Cao Bằng đã cụ thể hóa các chủ trương quốc gia về chuyển đổi số bằng một loạt chương trình, nghị quyết và kế hoạch chiến lược cấp tỉnh nhằm thúc đẩy chuyển đổi số trong mọi lĩnh vực. Một trong những văn bản định hướng quan trọng là Nghị quyết số 11-NQ/TU của Ban Chấp hành Đảng bộ tỉnh về chuyển đổi số giai đoạn 2022–2025 [19], với tầm nhìn đến năm 2030. Trên cơ sở này, UBND tỉnh đã ban hành kế hoạch, quyết định như quyết định số 1159/QĐ-UBND (2022) lấy ngày 10/10 hằng năm là “Ngày Chuyển đổi số tỉnh Cao Bằng” [20], quyết định số 356-KH-UBND ngày 14/02/2025 [21], xác định chuyển đổi số là nhiệm vụ trọng tâm để cải thiện dịch vụ công và năng lực quản lý dựa trên dữ liệu. Kế hoạch chuyển đổi số năm 2026 số 210/KH-UBND [22] đã dự kiến nguồn vốn gần 170 tỷ đồng để phát triển hạ tầng số, xây dựng chính quyền số và đảm bảo an ninh thông tin, với mục tiêu bao phủ 100% kết nối băng rộng đến tận thôn bản. Với hành lang pháp lý thuận lợi, nhưng trong điều kiện một tỉnh miền núi còn hạn chế về nguồn lực, chiến lược phát triển bản sao số (Digital Twins) cho giao thông Cao Bằng cần được xây dựng theo hướng thực tiễn, chi phí hợp lý và triển khai từng bước. Trọng tâm không phải là đầu tư đồng loạt công

nghệ đắt tiền, mà là hình thành một hệ sinh thái dữ liệu đủ tin cậy để phục vụ dự báo rủi ro và điều hành khi xảy ra mưa cực đoan, sạt lở. Cách tiếp cận này tương thích với kiến trúc ITS nhiều lớp, nhấn mạnh vai trò của lớp thu thập và tích hợp dữ liệu làm nền tảng cho phân tích nâng cao, từ đó đề xuất mô hình bản sao số tinh gọn phù hợp với đặc thù địa phương.

Một nội dung then chốt của chiến lược được đề xuất trong bài báo này là phát triển hạ tầng thu thập dữ liệu với chi phí thấp nhưng hiệu quả cao (Hình 7). Đối với mạng lưới đường tỉnh và xã, có thể triển khai hệ thống camera IP hoặc cảm biến thông minh giá rẻ tại các vị trí xung yếu như taluy đào sâu, đắp cao, cầu qua suối và các điểm thường xuyên xảy ra sạt lở, ngập lụt. Các camera, cảm biến này tập trung vào khả năng truyền hình ảnh, thông tin theo thời gian thực và lưu trữ dữ liệu phục vụ phân tích sau sự kiện. Bên cạnh đó, các cảm biến mưa tự động, cảm biến mực nước hoặc radar chi phí thấp có thể được lắp đặt theo cụm thí điểm. Sự kết hợp giữa cảm biến vật lý và dữ liệu mưa từ trạm khí tượng quốc gia sẽ giúp hình thành cơ sở xác định ngưỡng cảnh báo đóng đường phù hợp. Song song với phần cứng, tỉnh có thể xây dựng nền tảng WebGIS chi phí thấp trên các công nghệ mã nguồn mở như GeoServer hay PostgreSQL/PostGIS để làm lớp giao diện tích hợp dữ liệu. WebGIS đóng vai trò là bảng điều khiển không gian số, cho phép hiển thị vị trí sự cố và tình trạng lưu thông trên cùng một nền bản đồ. Về mô hình kỹ thuật, bản sao số giao thông Cao Bằng có thể được xây dựng theo hướng tinh gọn (lightweight Digital Twins), tập trung vào mô hình rủi ro thay vì mô hình 3D phức tạp. Hệ thống sẽ tích hợp tính toán ngưỡng mưa tích lũy, ổn định mái dốc, ngập lụt và phân tích tính liên thông mạng lưới khi bị chia cắt, kết hợp với các sự kiện, sự cố giao thông khác. Lộ trình triển khai nên bắt đầu bằng các hành lang giao thông trọng điểm, sau đó mở rộng dần và hiệu chỉnh ngưỡng cảnh báo dựa trên dữ liệu tích lũy qua mỗi mùa mưa. Quan trọng hơn cả là cơ chế quản trị và chia sẻ dữ liệu liên ngành giữa giao thông, tài nguyên môi trường, an ninh quốc phòng và phòng chống thiên tai. Ngoài ra, việc xây dựng nền tảng giao tiếp trực tuyến để thông báo kịp thời tình trạng thời tiết cực đoan, sạt trượt cho người tham gia giao thông và cư dân trong hành lang đường bộ là vô cùng cần thiết để nâng cao khả năng chống chịu của hệ thống giao thông miền núi trước biến đổi khí hậu.



Hình 7. Sơ đồ kiến trúc hệ thống điều hành giao thông thông minh trên nền tảng bản sao số tinh gọn

IV. KẾT LUẬN

Bài báo phân tích bối cảnh chuyển đổi số hạ tầng giao thông trong điều kiện biến đổi khí hậu, đồng thời làm rõ tính cấp thiết của việc ứng dụng Digital Twins (Bản sao số) đối với tỉnh Cao Bằng – địa phương có địa hình phức tạp, mạng lưới giao thông dễ bị tổn thương trước các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa lớn, lũ quét và sạt lở đất. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, để nâng cao năng lực thích ứng của hệ thống giao thông miền núi, cần chuyển đổi từ phương thức quản lý dựa trên kinh nghiệm sang mô hình quản trị dựa trên dữ liệu tích hợp và mô phỏng.

Trên cơ sở kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn địa phương, nghiên cứu đề xuất chiến lược phát triển bản sao số theo hướng tinh gọn, lấy việc xây dựng nền tảng GIS đa lớp và hệ thống thu thập dữ liệu chi phí hợp lý làm trung tâm. Trọng tâm của mô hình không nằm ở việc trực quan hóa 3D phức tạp, mà tập trung vào khả năng phân tích rủi ro, thiết lập ngưỡng cảnh báo và hỗ trợ ra quyết định kịp thời khi có thiên tai. Kiến trúc hệ thống được thiết lập theo các lớp chức năng rõ ràng, cho phép triển khai cuốn chiếu theo lộ trình: thí điểm – hiệu chỉnh – nhân rộng.

Cách tiếp cận này đảm bảo tính khả thi về nguồn lực, đồng thời tạo nền tảng dài hạn cho hệ thống giao thông thông minh (ITS) hợp nhất và quản lý hạ tầng thích ứng với biến đổi khí hậu. Nếu được triển khai đồng bộ với cơ chế chia sẻ dữ liệu liên ngành trong chương trình chuyển đổi số của tỉnh, Bản sao số giao thông sẽ trở thành công cụ chiến lược hỗ trợ điều hành, giảm thiểu rủi ro gián đoạn giao thông và góp phần phát triển bền vững hạ tầng tỉnh Cao Bằng.

Dương Ngân (BT)

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Shafto, Mike & Conroy, Michael & Doyle, R & Glaessgen, E & Kemp, C & LeMoigne, J & Wang, L. (2010). *DRAFT Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap Technology Area 11*. NASA, Hoa Kỳ.
- [2]. Bộ Chính trị (2019), *Nghị quyết số 52-NQ/TW ngày 27/9/2019 về một số chủ trương, chính sách chủ động tham gia cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư*.
- [3]. Bộ Chính trị (2024), *Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia*.
- [4]. Quốc hội (2025), *Luật số 148/2025/QH15 của Quốc hội: Luật Chuyển đổi số*.
- [5]. Chính phủ, *Nghị định số 55/2025/NĐ-CP của Chính phủ: Quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Bộ Khoa học và Công nghệ*; Ngày ban hành, 02-03-2025.
- [6]. Chính phủ (2020), *Quyết định số 749/QĐ-TTg ngày 03/6/2020 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt "Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030"*.
- [7]. Chính phủ (2024), *Quyết định số 1132/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ ngày 09/10/2024: Phê duyệt "Chiến lược hạ tầng số đến năm 2025 và định hướng đến năm 2030"*.
- [8]. International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14813-1:2015 Intelligent transport systems — Reference model architecture(s) for the ITS sector — Part 1: ITS service domains, service groups and services*. ISO.
- [9]. United States Department of Transportation. (n.d.). *Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation (ARC-IT)*. ITS Joint Program Office. <https://www.arc-it.net>.
- [10]. World Road Association (PIARC). (2021). *PIARC Special Project "Smart Roads Classification"*.
- [11]. Yukikazu YAMAGUCHI (2019), PhD, Dept. of Civil Engineering and Urban Design, Osaka Institute of Technology, *THE STRATEGIC APPROACHES TO ENHANCE THE BIM AND CIM APPLICATION IN JAPAN*, Link: https://research-db.oit.ac.jp/html/100001031_en.html.
- [12]. Văn phòng Nội Các Nhật Bản (2024) *Sách trắng về quản lý thiên tai năm 2024*.
- [13]. 中国水利学会减灾专业委员会 (编). (2016). 第六届防汛抗旱信息化暨山洪灾害预警新技术应用论坛论文集.
- [14]. MOLIT Hàn Quốc (2021), *Report MOLIT accelerates the realization of the Korean version of the New Deal with 'Digital Twins'*, Korea, link: <https://smartcity.go.kr/>.
- [15]. Leu, J. H. (2021). *Smart city development in Taiwan*. IET Smart Cities, 3(3), 158–166. <https://doi.org/10.1049/smc.2.12008>.
- [16]. Yang, S.-H., Hsieh, S.-L., Wang, X.-J., Chang, D.-L., Wei, S.-T., Song, D.-R., Pan, J.-H., & Yeh, K.-C. (2025). *Adaptive pluvial flood disaster management in Taiwan: Infrastructure and IoT technologies*. Water, 17(15), 2269. <https://doi.org/10.3390/w17152269>.
- [17]. NIAR (2021), *Taiwan's 5D Smart City Disaster Prevention & Relief Platform; 5D Smart City Disaster Prevention & Relief Platform: Integrating Cutting-Edge Technology*.
- [18]. Ministry of Transportation and Communications. (2022). *Annual report of transportation statistics 2022*. Taipei, Taiwan, link: <https://www.motc.gov.tw/en/app/statistics501/query?module=view&id=610>.
- [19]. Ban Chấp hành Đảng bộ Tỉnh Cao Bằng (2022). *Nghị quyết số 11-NQ/TU về chuyển đổi số tỉnh Cao Bằng giai đoạn 2022–2025, tầm nhìn đến năm 2030*.
- [20]. Ủy ban nhân dân tỉnh Cao Bằng. (2022). *Quyết định số 1159/QĐ-UBND về việc lấy ngày 10 tháng 10 hằng năm là "Ngày Chuyển đổi số tỉnh Cao Bằng"*.
- [21]. Ủy ban nhân dân tỉnh Cao Bằng. (2025). *Kế hoạch số 356/KH-UBND ngày 14 tháng 2 năm 2025 về chuyển đổi số tỉnh Cao Bằng năm 2025*. Cao Bằng.
- [22]. Ủy ban nhân dân tỉnh Cao Bằng. (2026) *Kế hoạch số 210/KH-UBND ngày 27 tháng 1 năm 2026 về chuyển đổi số tỉnh Cao Bằng năm 2026*. Cao Bằng.