

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

**HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT XÂY DỰNG VÀ ỨNG DỤNG
BẢN SAO SỐ TRONG CÔNG TÁC QUẢN LÝ PHÁT TRIỂN ĐÔ THỊ
(Phiên bản 1.0)**

*(Kèm theo Công văn số/BKHCN-CDSQG ngày/..../2026
của Bộ Khoa học và Công nghệ)*

MỤC LỤC

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	3
I. ĐẶT VẤN ĐỀ	5
II. MỤC ĐÍCH VÀ PHẠM VI ÁP DỤNG	5
1. Mục đích áp dụng.....	5
2. Phạm vi áp dụng.....	5
3. Đối tượng áp dụng.....	5
III. CÁC HƯỚNG DẪN CỤ THỂ	6
1. Tổng quan.....	6
1.1. Khái niệm	6
1.2. Vai trò của UDT trong quản lý phát triển đô thị.....	6
1.3. Các giai đoạn triển khai UDT tham khảo	7
1.4. UDT và phân loại đô thị tại Việt Nam	7
1.5. Mối quan hệ của UDT với CIM, BIM, SIOC/IOC, SOC	8
2. Các nguyên tắc trong xây dựng và ứng dụng UDT trong quản lý phát triển đô thị tại Việt Nam	9
3. Mô hình Kiến trúc mức khái niệm của UDT	10
4. Mô hình cơ chế vận hành của UDT	11
5. Mô hình Kiến trúc tham chiếu của UDT.....	12
5.1. Lớp Người dùng	12
5.2. Lớp Tương tác và trực quan hóa	12
5.3. Lớp Ứng dụng dịch vụ lõi	13
5.4. Lớp Quản lý dữ liệu và mô hình	15
5.5. Lớp Hạ tầng số	16
5.6. Lớp Kết nối và thu thập.....	17
5.7. Lớp Vật lý	18
5.8. Lớp An toàn, an ninh mạng.....	18
5.9. Lớp Chính sách, quản trị	19
6. Các cấp độ trưởng thành năng lực của UDT.....	19
7. Các công nghệ chính trong xây dựng và ứng dụng UDT	22
8. Các thách thức và khuyến nghị khi xây dựng và ứng dụng UDT.....	24
8.1. Các thách thức	24
8.2. Các khuyến nghị.....	24
9. Kết luận	27

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Thuật ngữ, từ viết tắt	Diễn giải
AI (Artificial Intelligence)	Trí tuệ nhân tạo
2D/3D/4D	Hai/ba/bốn chiều
API (Application Programming Interface)	Giao diện lập trình ứng dụng
AR (Augmented Reality)	Thực tế tăng cường
BIM (Building Information Modeling)	Mô hình thông tin công trình
CDE (Common Data Environment)	Môi trường dữ liệu chung
CIM (City Information Modeling)	Mô hình thông tin đô thị
CityGML (City Geography Markup Language)	Ngôn ngữ đánh dấu địa lý thành phố hoặc đô thị
CNTT	Công nghệ thông tin
DL / DML (Deep Learning/ Deep Machine Learning)	Học sâu
DT (Digital Twin)/ UDT (Urban Digital Twin)	Bản sao số Bản sao số đô thị
Smart City/TPTM SmartUrban/ĐTTM	Thành phố thông minh Đô thị thông minh
GIS (Geographic Information System)	Hệ thống thông tin địa lý
ICT (Information & Communication Technology)	Công nghệ thông tin và Truyền thông
IFC (Industry Foundation Classes)	Các lớp nền tảng ngành
IoT (Internet of Things)	Mạng Internet vạn vật
KPI (Key Performance Indicator)	Chỉ số hiệu quả hoạt động chính
LOD (Level of Detail) LOD (Level of Development)	Mức độ chi tiết Mức độ phát triển thông tin
MAN (Metropolitan Area Network)	Mạng đô thị
ML (Machine Learning)	Học máy
OGC (Open Geospatial Consortium)	Hiệp hội mở về Địa không gian
SCP (Smart City Platform)	Nền tảng đô thị thông minh
SDI (Spatial Data Infrastructure)	Hạ tầng dữ liệu không gian

Thuật ngữ, từ viết tắt	Diễn giải
IOC/SIOC (Smart City Intelligence Operation Center)	Trung tâm giám sát, điều hành đô thị thông minh
SOC (Security Operations Center)	Trung tâm Giám sát, điều hành an ninh mạng
VR (Virtual Reality)	Thực tế ảo
WAN (Wide Area Network)	Mạng diện rộng

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đô thị là động lực tăng trưởng kinh tế chủ chốt, đóng góp khoảng 70% GDP cả nước và dự kiến đạt 85% vào năm 2030. Tuy nhiên, tốc độ đô thị hóa nhanh chóng cũng đặt ra những áp lực chưa từng có lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật và xã hội. Các vấn đề như tắc nghẽn giao thông, ô nhiễm môi trường, ngập lụt đô thị và các rủi ro từ biến đổi khí hậu đang thách thức giới hạn của các phương pháp quản lý truyền thống vốn dựa trên phản ứng thụ động và dữ liệu phân mảnh.

Để giải quyết các thách thức trên, Bản sao số đô thị (UDT) được xác định là một bước tiến hóa tất yếu từ đô thị thông minh. UDT là một hệ thống thực - ảo (cyber-physical system) cho phép kết nối dòng chảy dữ liệu liên tục giữa thế giới vật lý và không gian số. UDT không phải là một mô hình 3D trực quan để trình diễn mà là một hệ thống thu thập dữ liệu thực tế để mô phỏng và dự báo dựa trên dữ liệu, có thể can thiệp ngược lại thế giới thực thông qua các mô hình mô phỏng đa chiều, giúp tối ưu hóa công tác quy hoạch, vận hành và nâng cao chất lượng dịch vụ đô thị.

Căn cứ khoản 3, Điều 22, Nghị định số 269/2025/NĐ-CP ngày 14/10/2025 của Chính phủ về phát triển đô thị thông minh, Bộ Khoa học và Công nghệ đã chủ trì, phối hợp với Bộ Xây dựng ban hành Hướng dẫn kỹ thuật về xây dựng và ứng dụng bản sao số trong quản lý phát triển đô thị. Việc ban hành hướng dẫn này là nền tảng cốt lõi để triển khai UDT thống nhất, kết nối và hiệu quả trên quy mô toàn quốc.

II. MỤC ĐÍCH VÀ PHẠM VI ÁP DỤNG

1. Mục đích áp dụng

Tài liệu này được biên soạn và ban hành nhằm mục đích cung cấp một khung hướng dẫn kỹ thuật thống nhất để các tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương áp dụng trong quá trình xây dựng, triển khai bản sao số đô thị với mục tiêu cốt lõi là đảm bảo hệ thống UDT được xây dựng đáp ứng các yêu cầu và nhu cầu thực tế, giải quyết được các bài toán đặc thù của từng địa phương.

2. Phạm vi áp dụng

Phiên bản tài liệu 1.0 bao gồm các mô hình kiến trúc tham chiếu và các mô tả hướng dẫn kỹ thuật tối thiểu đối với các lớp, các thành phần chức năng và lộ trình trưởng thành của hệ thống Bản sao số đô thị. Tài liệu tuân thủ nguyên tắc trung lập về công nghệ, không áp đặt giải pháp của bất kỳ nhà cung cấp cụ thể nào và khuyến khích sử dụng các tiêu chuẩn mở để đảm bảo tính tương thích và khả năng mở rộng lâu dài.

3. Đối tượng áp dụng

Các tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương; tổ chức, doanh nghiệp, cá nhân

tham gia hoạt động đầu tư, xây dựng, kinh doanh, vận hành công trình, hạ tầng kỹ thuật và dịch vụ đô thị; các đơn vị tư vấn thiết kế, nhà thầu công nghệ và các doanh nghiệp tham gia cung cấp giải pháp đô thị thông minh tại Việt Nam.

III. CÁC HƯỚNG DẪN CỤ THỂ

1. Tổng quan

1.1. Khái niệm

Bản sao số đô thị (Urban Digital Twin hay gọi tắt là UDT) là mô hình số động của một đô thị, được tạo ra bằng cách tích hợp dữ liệu đa nguồn theo thời gian thực để mô phỏng, phân tích, dự báo và tối ưu hóa các quá trình vật lý và hoạt động diễn ra trong đô thị đó.¹

1.2. Vai trò của UDT trong quản lý phát triển đô thị

UDT là sự tích hợp tổng thể giữa dữ liệu không gian, mô hình công trình, dữ liệu thời gian thực và các mô hình phân tích, không đồng nhất với mô hình 3D đơn thuần. Sau đây là các vai trò, năng lực của UDT trong công tác quản lý phát triển đô thị.

- **Ảnh xạ và trực quan hóa:** Tạo cầu nối giữa thế giới thực và ảo, cung cấp mô hình trực quan giúp trình bày dữ liệu đô thị phức tạp một cách dễ hiểu. Nhờ đó, các nhà quản lý có thể quan sát hiện trạng và tương tác với đô thị một cách trực quan, đồng thời điều khiển các hệ thống vật lý dựa trên dữ liệu.

- **Phân tích và khai thác dữ liệu:** Cho phép thu thập, phân tích dữ liệu lớn đa ngành; hỗ trợ phát hiện xu hướng, mô phỏng các kịch bản và tối ưu hóa vận hành đô thị. UDT giúp các trung tâm giám sát, điều hành của đô thị (SIOC/IOC/SOC) đưa ra quyết định nhanh chóng khi xảy ra sự cố hoặc thảm họa.

- **Hỗ trợ tối ưu hóa và tự động hóa:** Cung cấp môi trường mô phỏng giúp thiết kế số, điều phối tài nguyên, giám sát tiến độ từ xa. Các thuật toán AI/ML hỗ trợ tự động dự báo nhu cầu, phân bổ nguồn lực, giảm lãng phí năng lượng và nguồn nhân lực.

- **Mô phỏng và dự báo:** Cho phép chỉnh sửa mô hình số để đánh giá tác động của các quyết định quy hoạch và vận hành trước khi áp dụng trong thực tế. Nhờ khả năng mô phỏng, các kịch bản nguy cơ được dự báo và xử lý kịp thời, giúp đô thị an toàn và bền vững hơn.

- **Cải thiện chất lượng sống:** UDT tạo ra các dịch vụ cá nhân hóa dựa trên dữ liệu thời gian thực; tăng cường an toàn, an ninh; cung cấp không gian học tập, giải trí ảo; cung cấp cảnh báo sớm cho cư dân và tạo kênh phản hồi hai chiều.

- **Phát triển đô thị bền vững:** UDT giúp theo dõi biến đổi khí hậu, ô nhiễm,

¹ Căn cứ khoản 3, Điều 2, Nghị định số 269/2025/NĐ-CP ngày 14/10/2025 của Chính phủ về phát triển đô thị thông minh

hiệu ứng đảo nhiệt; tối ưu hoá tiêu thụ tài nguyên; đánh giá và lựa chọn phương án quy hoạch hiệu quả về mặt kinh tế và sinh thái.

1.3. Các giai đoạn triển khai UDT tham khảo

Bộ Khoa học và Công nghệ khuyến nghị các địa phương triển khai xây dựng UDT theo các giai đoạn có tính kế thừa sau:

- Giai đoạn 1 - Nền tảng dữ liệu: Tập trung số hóa dữ liệu nền (địa hình, địa chính, giao thông), xây dựng mô hình 3D mức độ chi tiết thấp (LOD1-LOD2) và chuẩn hóa cơ sở dữ liệu GIS dùng chung.

- Giai đoạn 2 - Tích hợp chuyên sâu: Nâng cấp mô hình lên mức LOD3 cho các khu vực trọng điểm, tích hợp dữ liệu quy hoạch, thông tin đất đai và bắt đầu số hóa hạ tầng ngầm.

- Giai đoạn 3 - Kết nối vạn vật: Triển khai diện rộng mạng lưới cảm biến IoT để thu thập dữ liệu thời gian thực, thiết lập nền tảng tích hợp dữ liệu động.

- Giai đoạn 4 - Phân tích và mô phỏng: Triển khai các module phân tích chuyên sâu (AI/ML) phục vụ dự báo và mô phỏng các kịch bản quản lý.

- Giai đoạn 5 - Mở dữ liệu và tối ưu hóa: Mở dữ liệu (Open Data) cho cộng đồng doanh nghiệp phát triển dịch vụ giá trị gia tăng, vận hành cơ chế cập nhật tự động và tối ưu hóa liên tục.

1.4. UDT và phân loại đô thị tại Việt Nam

Việt Nam hiện phân loại đô thị thành 06 cấp (đô thị loại đặc biệt, loại I, II, III, IV, V) theo Nghị quyết số 26/2022/UBTVQH15. Đồng thời, theo Nghị quyết 06-NQ/TW ngày 24/01/2022 của Bộ Chính trị, hệ thống đô thị còn được phân theo chức năng đặc thù (đô thị hành chính - chính trị, đô thị công nghiệp, đô thị cảng, đô thị du lịch - di sản, đô thị khoa học - giáo dục, đô thị sinh thái, đô thị biên giới, đô thị mới chuyên ngành). Việc triển khai UDT phải tuân thủ nguyên tắc “một khung - nhiều lộ trình”:

a) Về sự phù hợp với cấp đô thị: Các địa phương căn cứ cấp đô thị, loại hình chức năng và năng lực hiện trạng để xác định thời gian, phạm vi và mức độ đầu tư của mỗi giai đoạn. Đô thị loại đặc biệt, loại I có thể rút ngắn khoảng cách giữa các giai đoạn hoặc triển khai đồng thời một số giai đoạn, hướng tới cấp độ trưởng thành cấp 4 trở lên. Đô thị loại II, III khuyến nghị nên triển khai tuần tự, tối thiểu đạt cấp độ 3, tận dụng tối đa dịch vụ UDT dùng chung của tỉnh khi triển khai,

b) Về loại hình chức năng đô thị: Danh mục dịch vụ UDT ưu tiên phải phù hợp với chức năng chính của đô thị. Đô thị du lịch - di sản ưu tiên UDT quản lý khách và bảo tồn di sản; đô thị công nghiệp ưu tiên UDT năng lượng, phát thải, logistics; đô thị cảng - biển ưu tiên UDT thủy triều, ngập lụt; đô thị biên giới, miền núi ưu tiên UDT ứng phó thiên tai, sạt lở; đô thị hành chính - chính trị ưu

tiên UDT an ninh và quản lý sự kiện.

c) Về xu hướng phát triển đến năm 2030, tầm nhìn 2045: UDT phải thiết kế để hỗ trợ các mô hình đô thị đang được định hướng phát triển gồm đô thị nén (compact city), đô thị 15 phút (15-minute city), đô thị đa trung tâm (polycentric), đô thị xanh - trung hòa các-bon (net-zero), đô thị chống chịu biến đổi khí hậu (resilient city), đô thị sáng tạo (creative city) và đô thị vùng (mega-region).

1.5. *Mối quan hệ của UDT với CIM, BIM, SIOC/IOC, SOC*

UDT không phải là một hệ thống độc lập mà là sự tích hợp và tiến hóa từ các mô hình dữ liệu không gian tiên nhiệm, tuân thủ định hướng của Nghị định số 269/2025/NĐ-CP. Mối quan hệ này được mô tả như dưới đây:

- GIS quản lý dữ liệu không gian ở cấp độ vĩ mô như không gian đô thị và hạ tầng đô thị theo tọa độ (bản đồ nền, quy hoạch, giao thông, hạ tầng ngầm...).

- BIM quản lý dữ liệu không gian ở cấp độ vi mô như dữ liệu chi tiết về kiến trúc, kết cấu và kỹ thuật của công trình; sử dụng định dạng mở như IFC để đảm bảo tính độc lập và tính mở.

- CIM là sự tích hợp dữ liệu BIM với dữ liệu GIS, tạo ra bối cảnh không gian tổng thể (bản sao tĩnh) của đô thị.

- Dữ liệu Internet vạn vật (IoT Sensors) là nguồn dữ liệu thời gian thực được thu thập từ quá trình vận hành đô thị (cảm biến, SCADA, camera...), cho phép biến các bản đồ tĩnh (GIS/BIM) thành bản đồ động.

- Bản sao số đô thị (UDT) là hệ thống tạo ra môi trường hội tụ, tích hợp và hợp nhất dữ liệu để mô hình hóa, mô phỏng, dự báo và trực quan 4D.

- UDT được tạo ra bằng cách tích hợp CIM với dòng dữ liệu thời gian thực, trí tuệ nhân tạo và các thuật toán thông minh.

- Đô thị thông minh là nguồn cấp dữ liệu, chuẩn dùng chung để UDT hình thành mô hình số thống nhất.

- Dữ liệu từ IOC duy trì sự sống của UDT, ngược lại, kết quả phân tích từ UDT là cơ sở tri thức để IOC ra quyết định. UDT chuyển hóa dữ liệu thô (số liệu từ cảm biến, camera...) của IOC thành mô hình 3D sinh động theo thời gian thực.

- UDT có khả năng chạy các kịch bản mô phỏng (thiên tai, sự cố, quy hoạch) trong môi trường số, giúp IOC chuyển từ trạng thái “giám sát thụ động” sang “điều hành chủ động” với các phương án, kịch bản mô phỏng đã được kiểm chứng.

- SIOC/IOC là trung tâm điều hành tích hợp dữ liệu thời gian thực để giám sát, điều hành đô thị thông minh.

- UDT được hình thành trên cơ sở hợp nhất các nguồn để cung cấp các mô hình số động theo công thức khái quát sau:

UDT = CIM (GIS + BIM) + IoT + AI

- SIOC/IOC của đô thị sử dụng các kết quả từ UDT để theo dõi, giám sát, cảnh báo, chỉ huy và điều phối theo các quy trình nghiệp vụ, vận hành đô thị; giúp IOC chuyển từ trạng thái “giám sát thụ động” sang “điều hành chủ động”.

- SOC là thành phần hoạt động xuyên suốt, bảo vệ toàn vẹn dữ liệu và hệ thống điều khiển cho toàn bộ hệ thống UDT; phối hợp xử lý sự cố với IOC/SIOC (đặc biệt cho hệ OT/IoT).

2. Các nguyên tắc trong xây dựng và ứng dụng bản sao số trong quản lý phát triển đô thị tại Việt Nam

- Phù hợp chính sách, chiến lược phát triển đô thị: UDT phải gắn với chiến lược phát triển đô thị thông minh và chuyển đổi số quốc gia, đáp ứng yêu cầu của pháp luật hiện hành và nhu cầu phát triển đặc thù của từng địa phương.

- Lấy người dân làm trung tâm: UDT phải phục vụ mục tiêu cải thiện chất lượng cuộc sống người dân, bảo vệ môi trường và phát triển bền vững, không chỉ phục vụ lợi ích thương mại.

- Lấy dữ liệu làm trung tâm: Dữ liệu là tài sản quan trọng nhất của UDT; đảm bảo dữ liệu “Đúng - Đủ - Sạch - Sống - Thống nhất - Dùng chung”; quản lý theo vòng đời; tuân thủ tiêu chuẩn mở và mô hình dữ liệu thống nhất.

- Tuân thủ quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật: Các địa phương khi xây dựng UDT phải tuân thủ các tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật về kết nối, chia sẻ dữ liệu theo Khung kiến trúc tổng thể quốc gia, và Khung kiến trúc số của các bộ, ngành chủ quản; bảo đảm khả năng liên thông, tích hợp với các nền tảng số quốc gia, các cơ sở dữ liệu quốc gia.

- Tính mở và trung lập công nghệ: Khuyến khích các địa phương sử dụng tiêu chuẩn, giao thức mở; tránh phụ thuộc vào nhà cung cấp; dễ dàng tích hợp và mở rộng trong tương lai.

- Tăng cường chia sẻ và liên thông: UDT phải liên thông với các cơ sở dữ liệu quốc gia, ngành và địa phương; phá bỏ rào cản chia sẻ dữ liệu giữa các sở, ban, ngành, bảo đảm sự sống của dòng chảy dữ liệu.

- Bảo đảm an toàn, an ninh mạng: Bảo vệ dữ liệu và hạ tầng trước các nguy cơ mạng, bảo vệ quyền riêng tư của người dân; tuân thủ quy định về an toàn thông tin và an ninh mạng; áp dụng nguyên tắc “Zero-Trust” trong thiết kế hệ thống.

- Bảo vệ dữ liệu: Dữ liệu hạ tầng trọng yếu và thông tin cá nhân công dân phải được lưu trữ, xử lý trong lãnh thổ Việt Nam và tuân thủ nghiêm ngặt các quy định về bảo vệ dữ liệu, bí mật nhà nước, dữ liệu cá nhân; tích hợp với SOC để giám sát 24/7; UDT phải có quy trình kiểm tra, giám sát liên tục và tự động chất lượng dữ liệu đầu vào.

- Tính bền vững và khả năng mở rộng: Kiến trúc UDT phải bảo đảm tính tin

cây của các mô hình tính toán, khả năng mở rộng theo quy mô, tích hợp công nghệ mới và cập nhật mô hình dữ liệu liên tục.

- Tính chuyên sâu: UDT phải cung cấp thông tin, dữ liệu chuyên sâu, giúp lãnh đạo nhìn thấy những quy luật vận động ngầm của đô thị mà các báo cáo truyền thống không thể hiện được.

- Tích hợp, kết nối dữ liệu quốc gia: Các UDT tích hợp, kết nối dữ liệu quốc gia phải đảm bảo chính xác, thống nhất với các cơ sở dữ liệu quốc gia như Cơ sở dữ liệu quốc gia về dân cư, Định danh điện tử, Cơ sở dữ liệu quốc gia về Đất đai...

- Tích hợp, kết nối với Đô thị thông minh: UDT phải được tích hợp sâu với Trung tâm giám sát, điều hành ĐTTM Trung tâm Điều hành an ninh mạng...; hoạt động điều hành của IOC phải dựa trên nền tảng dữ liệu phân tích từ UDT.

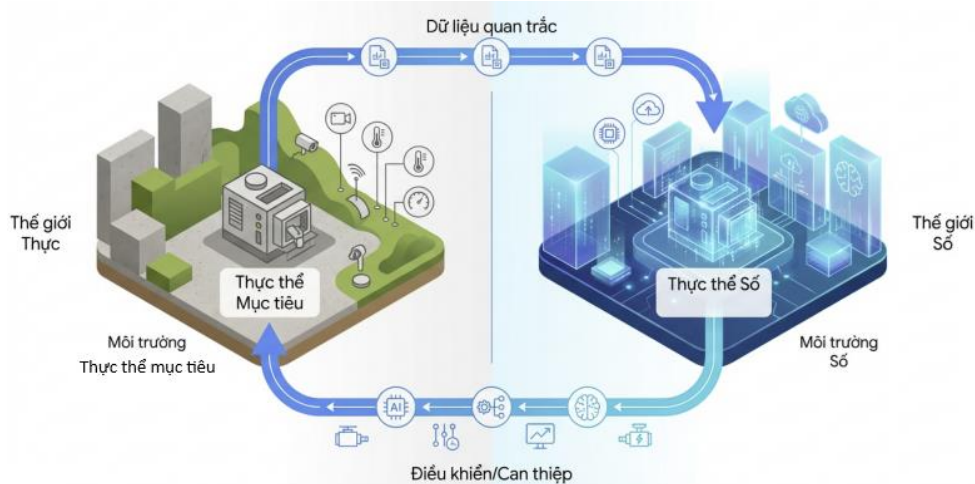
- Mô hình triển khai linh hoạt: Không xây dựng một siêu UDT tập trung cố định cho cả địa phương, mà xây dựng một hệ sinh thái các bản sao số liên kết với nhau, chia sẻ dữ liệu an toàn.

- Ưu tiên triển khai: Các địa phương ưu tiên triển khai UDT tại các đô thị có yêu cầu thiết phải tháo gỡ các điểm nghẽn và tạo đột phá chiến lược quan trọng; khuyến khích ưu tiên sử dụng sản phẩm, dịch vụ đám mây trong nước để bảo đảm an toàn, an ninh dữ liệu.

- Lộ trình triển khai: Xây dựng và ứng dụng UDT là quá trình dài hạn, cần thực hiện theo từng giai đoạn phù hợp với các cấp độ của đô thị và năng lực, nguồn lực của địa phương.

3. Mô hình Kiến trúc mức khái niệm của UDT

Mô hình Kiến trúc mức khái niệm của UDT được xây dựng dưới đây.



Hình 1: Mô hình Kiến trúc mức khái niệm của hệ thống Bản sao số đô thị

- Thực thể Mục tiêu (Target Entity - TE): Là đối tượng trong thế giới thực cần quản lý (công trình, hệ thống giao thông, quy trình, tổ chức...). TE tồn tại trong môi trường vật lý và có các thuộc tính quan trắc được.

- Thực thể Số (Digital Entity - DE): Là đại diện kỹ thuật số của TE trong môi

trường ảo. DE chứa dữ liệu, mô hình hình học, logic xử lý và liên tục cập nhật để phản ánh trạng thái của TE.

- Môi trường UDT: Bao gồm Môi trường Thực (nơi TE vận hành) và Môi trường Số (nơi cung cấp năng lực tính toán, lưu trữ và mô phỏng cho DE).

- Cơ chế Đồng bộ và Vận hành UDT (Vòng lặp Twin): Hệ thống vận hành dựa trên dòng chảy dữ liệu hai chiều liên tục:

+ Chiều từ Thực sang Ảo (Quan trắc và Ánh xạ): Dữ liệu trạng thái từ TE được thu thập qua cảm biến/IoT truyền về DE để cập nhật mô hình số, đảm bảo DE luôn là “bóng kỹ thuật số” (Digital Shadow) trung thực của TE.

+ Chiều từ Ảo sang Thực (Điều khiển và Can thiệp): Dựa trên kết quả phân tích và mô phỏng tại DE, hệ thống đưa ra quyết định hoặc lệnh điều khiển gửi ngược lại TE để tác động, tối ưu hóa hoạt động thực tế.

+ Các yêu cầu, tham số, quy trình đồng bộ hóa phải được thiết lập phù hợp với tính, chất, quy mô và yêu cầu thực tiễn đô thị.

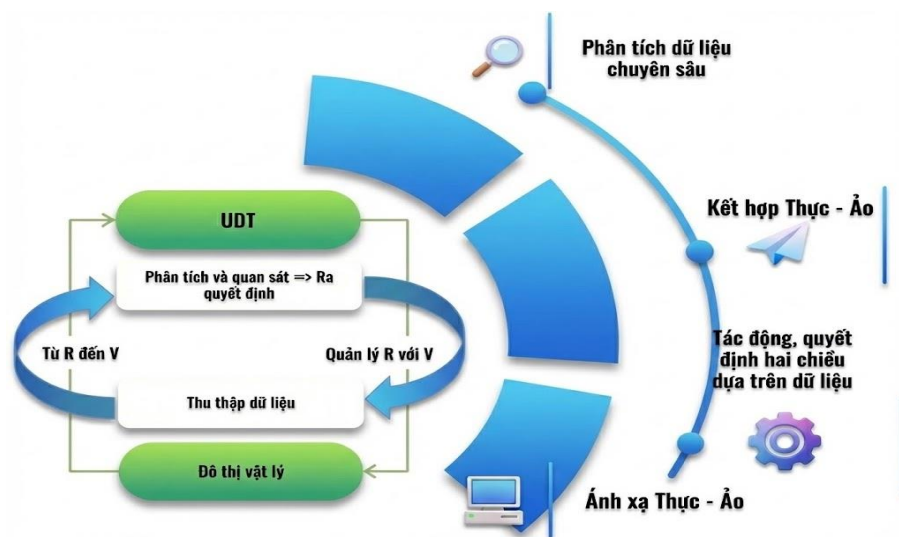
- Các mô hình tương tác của hệ thống UDT:

+ Tương tác Nội tại (Inner): Giao tiếp giữa các thành phần bên trong một UDT độc lập.

+ Tương tác Bên ngoài (Outer): Giao tiếp giữa Thực thể vật lý (TE) và Thực thể số (DE) thông qua các giao thức kết nối IoT.

+ Tương tác Xuyên suốt (Transversal): Khả năng kết nối, phối hợp giữa nhiều hệ thống UDT khác nhau (ví dụ: UDT Giao thông kết nối với UDT Thoát nước) để giải quyết các bài toán đô thị tổng thể.

4. Mô hình cơ chế vận hành của UDT



Hình 2: Mô hình vận hành của Bản sao số đô thị

Hệ thống UDT vận hành theo chu trình khép kín với các bước chính sau:

- Bước 1: Thực hiện triển khai mạng lưới thu thập dữ liệu thời gian thực.
- Bước 2: Thiết lập đồng bộ để ánh xạ từ thế giới thực sang thế giới ảo.
- Bước 3: Thực hiện mô phỏng, mô hình hóa thông tin.
- Bước 4: Phân tích dữ liệu lớn và hỗ trợ người dùng ra quyết định.
- Bước 5: Điều khiển, can thiệp để vận hành, quản lý đô thị.
- Bước 6: Hệ thống UDT tự học, tự điều chỉnh dựa trên dữ liệu.

5. Mô hình Kiến trúc tham chiếu của UDT



Hình 3: Mô hình Kiến trúc tham chiếu của UDT

5.1. Lớp Người dùng

Đây là các bên liên quan tương tác và khai thác giá trị của UDT.

- Người dùng là Con người: Bao gồm lãnh đạo địa phương tại tất cả các cấp, cán bộ chuyên môn, các tổ chức, doanh nghiệp và người dân.
- Người dùng là Hệ thống: Là các hệ thống thông tin có tương tác thông qua các giao diện API, các giao thức Máy - Máy (Machine to Machine).

5.2. Lớp Tương tác và trực quan hóa

Lớp này cung cấp các dịch vụ và giao diện tương tác đa dạng phục vụ các đối tượng khác nhau, chuyển đổi dữ liệu số thành thông tin trực quan dễ hiểu.

- Trực quan hóa 3D/4D: Sử dụng các engine đồ họa để hiển thị mô hình đô thị 3D với độ trung thực cao, hỗ trợ các lớp dữ liệu thời gian thực (4D).
- VR/AR: Công nghệ thực tế ảo (VR) và thực tế tăng cường (AR) hỗ trợ nhà quy hoạch trải nghiệm không gian đô thị tương lai hoặc giúp nhân viên bảo trì nhìn thấy hạ tầng ngầm tại hiện trường.
- Dashboard điều hành: Các bảng điều khiển tổng hợp cung cấp cái nhìn toàn

cảnh về các chỉ số hiệu năng (KPIs) của đô thị, hỗ trợ ra quyết định nhanh.

- Công kết nối kỹ thuật số: Cung cấp công kết nối (như API Gateway) cho các hệ thống bên ngoài khai thác dịch vụ của UDT.

5.3. Lớp Ứng dụng dịch vụ lõi

Các thành phần trong UDT là tập hợp chức năng hỗ trợ giám sát, mô phỏng, phân tích và điều khiển đối tượng thực thông qua các mô hình số. Chúng giúp theo dõi trạng thái, dự đoán hỏng hóc, mô phỏng kịch bản, tối ưu vận hành và hỗ trợ ra quyết định.

a) Các UDT trong lĩnh vực quản lý phát triển đô thị

Các thành phần của các lĩnh vực/miền dịch vụ đô thị được ứng dụng UDT:

- Quản lý quy hoạch đô thị.
- Quản lý tác động quy hoạch.
- Quản lý giao thông và vận tải.
- Quản lý công trình xây dựng và hạ tầng dân dụng.
- Quản lý ứng phó khẩn cấp và thảm họa, thiên tai.
- Quản lý năng lượng và lưới điện thông minh.
- Quản lý chất thải, ô nhiễm môi trường.
- Quản lý an ninh, an toàn và trật tự đô thị.
- Quản lý, giám sát đô thị ứng dụng Geo-AI...

Các địa phương lưu ý nghiên cứu, xác định danh mục dịch vụ ưu tiên dựa trên nhu cầu cấp bách, cấp thiết của đô thị theo yêu cầu thực tiễn.

b) Phân tích

Thành phần này sử dụng các công cụ hỗ trợ các thuật toán Học máy, Học sâu và AI để phát hiện các mẫu bất thường, phân loại trạng thái và dự báo xu hướng.

- Biểu diễn thống kê: Sử dụng các phương pháp thống kê để mô tả hành vi và trạng thái của hệ thống trước khi phân tích nâng cao.

- Phân tích mô tả: Phân tích, tóm tắt dữ liệu quá khứ để hiểu rõ xu hướng, mức độ dao động, tình trạng thiết bị/quy trình.

- Phân tích chẩn đoán: Giúp xác định nguyên nhân gốc rễ của sự cố, sai lệch hay giảm hiệu suất. Là bước quan trọng trong bảo trì, kiểm soát chất lượng.

- Phân tích dự đoán: Dự báo thời điểm hỏng, sản lượng, mức tiêu thụ, rủi ro dựa trên dữ liệu thời gian thực.

- Đánh giá, đo lường và tối ưu hóa: Theo dõi chỉ số, trạng thái hoạt động của thực thể; xác định các tham số vận hành tốt nhất để bảo đảm hoạt động của thực

thể đạt hiệu suất cao nhất.

- Hỗ trợ điều hành: Cung cấp báo cáo, dashboard, thông tin tổng hợp, chuyển hóa dữ liệu thành thông tin hỗ trợ điều hành để giúp nhà quản lý ra quyết định.

- Học sâu, học máy: Phát hiện mẫu phức tạp để nhận diện các vấn đề bất thường, phân tích chuỗi thời gian,...

- Bảo trì dự đoán: Dự đoán thời điểm thiết bị sắp hỏng để lập lịch bảo trì trước sự cố; giúp giảm downtime, tiết kiệm chi phí sửa chữa và kéo dài tuổi thọ tài sản. Đây là ứng dụng phổ biến nhất của bản sao số.

- Nhận dạng mẫu: Tìm ra mẫu lặp lại trong dữ liệu; dùng để cảnh báo sớm hoặc tự động phân loại trạng thái thiết bị.

- Trích xuất đặc trưng: Tách các đặc trưng quan trọng từ dữ liệu cảm biến giúp mô hình dự đoán chính xác hơn, yêu cầu bắt buộc trong Học máy/Học sâu.

- Nhận diện mẫu sự kiện: Nhận diện chuỗi sự kiện bất thường, nguy hiểm; giúp cảnh báo sớm, tự động dừng hệ thống hoặc kích hoạt mô phỏng tiếp theo.

c) Mô phỏng: Thành phần này bao gồm các công cụ chuyên dụng sử dụng các mô hình toán học, vật lý và thuật toán máy tính để tái hiện hành vi của các Thực thể mục tiêu trên Môi trường Số nhằm dự báo kết quả của các kịch bản giả định phục vụ các mục đích khác nhau hoặc theo cấp độ trưởng thành của UDT. Các chức năng dịch vụ chính gồm có:

- Mô phỏng mô hình dựa trên vật lý.
- Mô phỏng mô hình dựa trên tác nhân.
- Mô phỏng mô hình dựa trên dữ liệu và AI.
- Mô phỏng mô hình động lực học hệ thống.
- Mô phỏng mô hình sự kiện rời rạc.
- Điều phối mô phỏng.
- Đồng bộ mô phỏng.
- Quản lý thời gian.
- Đồng bộ hóa dữ liệu và tự động hiệu chỉnh mô hình.
- Quản lý kịch bản “What-if” để hỗ trợ ra quyết định.
- Tối ưu hóa hiệu năng tính toán của hệ thống...

Địa phương ưu tiên sử dụng các bộ máy mã nguồn mở hoặc bản quyền trong nước trước khi lựa chọn giải pháp thương mại nước ngoài khi đầu tư UDT.

d) Tự động điều phối và tác động ngược (UDT cấp độ 5): UDT có khả năng tự động kết nối kết quả của nhiều mô hình mô phỏng khác nhau để đưa ra một quyết định tổng thể hoặc gửi lệnh điều khiển trực tiếp xuống thiết bị vật lý

(IoT/SCADA) để thay đổi trạng thái của TE trong Thế giới thực mà không cần con người can thiệp thủ công. Các thành phần chức năng dịch vụ chính gồm có:

- Xử lý sự kiện phức tạp.
- Quản lý quy tắc và kịch bản thực thi.
- Quản lý xung đột và ưu tiên lệnh thực thi.
- Kiểm soát, bảo đảm an toàn lệnh thực thi.
- Giao tiếp chấp hành và phản hồi lệnh thực thi...

Toàn bộ lệnh tác động ngược xuống thiết bị vật lý phải đi qua một thành phần chuyên dụng cho phép điều khiển và kiểm soát an toàn (Control Gateway với Safety Gate), không sử dụng chung với Cổng giao diện lập trình phục vụ người dùng (API Gateway). Thành phần này có các chức năng bắt buộc như: Kiểm soát quyền thực hiện; kiểm tra tính an toàn vật lý của lệnh; phát hiện lệnh mâu thuẫn; khả năng chuyển về chế độ thủ công (fallback) trong ngưỡng thời gian.

5.4. Lớp Quản lý dữ liệu và mô hình

Lớp Quản lý Dữ liệu và Mô hình đóng vai trò là “bộ não” và “hệ thần kinh trung ương” của toàn bộ hệ thống UDT. Lớp này không chỉ đơn thuần là một kho lưu trữ thụ động mà là một môi trường xử lý động, chuyển hóa dữ liệu thô từ mạng lưới thiết bị cảm biến và các tập dữ liệu không gian thành tri thức có thể thực hiện hành động hoặc tác động đến Thực thể Mục tiêu.

- Quản lý tích hợp dữ liệu: Xử lý luồng dữ liệu; tổng hợp dữ liệu từ nhiều nguồn, quản lý các giao diện APIs, quản lý quy trình tích hợp kết nối; tự động làm sạch, chuẩn hóa dữ liệu, làm giàu dữ liệu; quản lý danh mục; từ điển dữ liệu; quản lý dữ liệu chủ...

- Điều phối dữ liệu: Cho phép nhận dữ liệu từ các nguồn dữ liệu và định tuyến dữ liệu đó đến đúng mô hình hoặc cơ sở dữ liệu tương ứng, giúp UDT phản ánh chính xác trạng thái thực tế của Thực thể Mục tiêu trong thế giới thực.

- Quản lý ngữ nghĩa: Xây dựng và duy trì Từ điển nghiệp vụ, Từ điển dữ liệu, danh mục Phân loại học, danh mục Từ vựng kiểm soát, chuẩn Siêu dữ liệu và Quản trị dữ liệu chủ (MDM) để thống nhất định danh thực thể đô thị giữa các hệ thống; Bản thể học và Đồ thị tri thức (Ontology and Knowledge Graph), cho phép xây dựng Bản thể học đô thị, triển khai trên Cơ sở dữ liệu đồ thị (Graph DB), kết nối tới tầng Phân tích AI để hỗ trợ suy luận trên đồ thị và tới tầng ứng dụng để phục vụ truy vấn liên ngành.

- Quản lý siêu dữ liệu, gán ngữ nghĩa: Ánh xạ dữ liệu thô vào các mô hình ngữ nghĩa để các mô hình mô phỏng hiểu được môi trường vận hành thực tế.

- Quản lý thiết bị: Giám sát sức khỏe và trạng thái kết nối của các thiết bị vật lý trong mạng lưới.

- Quản lý vòng đời: Cho phép khởi tạo, cập nhật cấu hình, lưu trữ và xóa bỏ các bản sao số các thực thể mục tiêu.

- Duy trì Bóng kỹ thuật số: Bảo đảm tính trung thực, tính kịp thời và tính toàn vẹn của dữ liệu truyền từ môi trường vật lý sang môi trường số.

- Cập nhật trạng thái: Duy trì sự đồng bộ dữ liệu liên tục Thực - Ảo để đảm bảo tính nhất quán của dòng thời gian, đảm bảo dữ liệu đầu vào cho mô phỏng tương ứng đúng với ngữ cảnh thời gian đang xét.

- Quản lý mô hình: Quản lý thông số kỹ thuật, yêu cầu đầu vào/đầu ra, phiên bản mô hình, trao đổi mô hình, mối quan hệ giữa mô hình và các chỉ số KPIs.

- Quản lý mô hình lai: Có khả năng liên kết ngữ nghĩa, kết nối các mô hình số khác nhau để thực hiện mô phỏng.

- Cung cấp dịch vụ: Đóng gói các kết quả phân tích thành các dịch vụ dữ liệu để các lớp Ứng dụng dịch vụ lõi, lớp Tương tác và trực quan hóa có thể sử dụng.

- Kho dữ liệu dùng chung và Hồ dữ liệu: Lưu trữ dài hạn toàn bộ dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn, dữ liệu lịch sử của UDT; Lưu trữ dữ liệu đa dạng (cấu trúc, bán cấu trúc, phi cấu trúc), áp dụng kỹ thuật quản trị dữ liệu lớn.

- Cơ sở dữ liệu nền địa lý: Đóng vai trò là “bộ khung” không gian cho toàn bộ đô thị bắt buộc phải tuân thủ các quy định, quy chuẩn quốc gia có liên quan.

- Môi trường dữ liệu chung: Thu thập, lưu trữ, quản lý và phổ biến tất cả các thông tin, dữ liệu, tài liệu được tạo ra bởi các bên tham gia thực hiện BIM; đảm bảo dữ liệu thống nhất, có nguồn gốc; hỗ trợ chia sẻ và tích hợp theo tiêu chuẩn mở (như OGC, IFC, CityGML...).

- Hệ thống quản trị vòng đời mô hình (MLOps): Kho đặc trưng (Feature Store) dùng chung giữa huấn luyện và suy luận; Kho mô hình (Model Registry) với quản lý phiên bản; Giám sát trôi dạt mô hình; Quy trình huấn luyện lại định kỳ tự động khi phát hiện trôi dạt; Ghi nhận thí nghiệm phục vụ kiểm toán; (Thẻ mô hình (Model Card) và Datasheet mô tả tập dữ liệu huấn luyện và hệ thống quản trị AI tuân thủ (AI Management System).

- Nền tảng tích hợp, chia sẻ dữ liệu: Thực hiện chức năng của một “trục liên thông”, kết nối các hệ thống thông tin rời rạc, đảm bảo tính thống nhất về định danh và xác thực dữ liệu giữa các hệ thống trong UDT (*các địa phương nghiên cứu đánh giá bảo đảm khả năng tận dụng nền tảng hiện có, bảo đảm đáp ứng yêu cầu triển khai UDT*).

5.5. Lớp Hạ tầng số

Đây là lớp cung cấp năng lực tính toán và lưu trữ để vận hành.

- Hạ tầng mạng: Các thiết bị mạng kết nối, dịch vụ mạng sử dụng trong trung tâm dữ liệu triển khai UDT.

- Hạ tầng tính toán: Hạ tầng điện toán đám mây và tính toán hiệu năng cao với các máy chủ cần được trang bị cụm GPU hoặc cao hơn để phục vụ huấn luyện và chạy các mô hình mô phỏng, học sâu để phân tích, dự báo, 3D Rendering...

- Hạ tầng lưu trữ: Bao gồm các công nghệ và thiết bị lưu trữ đảm bảo lưu trữ được các loại dạng thức dữ liệu được triển khai phục vụ cho hệ thống IOC.

- Hạ tầng Trung tâm giám sát, điều hành: Là nơi tiếp nhận thông tin và thực hiện chỉ đạo, điều hành; cung cấp các hệ thống trực quan hóa.

- Các phần mềm hệ thống, phần mềm bản quyền, các phần mềm nguồn mở hoặc các dịch vụ liên quan đến xây dựng, phát triển và duy trì, vận hành UDT.

- Võ trạm Trung tâm dữ liệu (hoặc phòng máy chủ) và hạ tầng, thiết bị cần thiết khác để phục vụ triển khai UDT...

Trong quá trình xây dựng và ứng dụng UDT, đề nghị các địa phương lưu ý khảo sát, đánh giá chi tiết hiện trạng đầu tư ứng dụng CNTT để bảo đảm tận dụng tối đa các thành phần, hệ thống hạ tầng sẵn có, tránh đầu tư trùng lắp, lãng phí.

5.6. Lớp Kết nối và thu thập

Lớp này cung cấp khả năng cho phép UDT kết nối và thu thập dữ liệu từ hai nguồn chính. Lớp này phải bảo đảm khả năng hỗ trợ đa giao thức để kết nối với các thiết bị IoT không đồng nhất.

- Đối với các UDT có khả năng can thiệp xuống hệ thống điều khiển công nghiệp (SCADA, PLC) của hạ tầng đô thị (như đèn tín hiệu, trạm bơm, trạm biến áp, cấp nước...), phải tuân thủ nghiêm các yêu cầu về an toàn hệ thống vận hành:

+ Phân vùng riêng giữa hệ thống điều khiển công nghiệp (OT) và hệ thống văn phòng (IT) theo chuẩn Việt Nam và quốc tế tương ứng;

- Khuyến nghị sử dụng tường lửa công nghiệp chuyên dụng và thiết bị truyền dẫn một chiều (Data Diode) cho dữ liệu chiều ra đối với công trình trọng yếu;

- Triển khai Trung tâm giám sát an ninh mạng chuyên dụng cho hệ thống điều khiển (OT-SIEM) hỗ trợ đa giao thức công nghiệp.

- Bảo đảm đạt đánh giá tuân thủ QCVN 109:2024/BTTTT về an toàn hệ thống điều khiển công nghiệp.

- Mạng lưới cảm biến (IoT): Tích hợp cảm biến môi trường, camera AI giao thông, SCADA hạ tầng điện nước, bộ kết nối thu thập dữ liệu...

- Thiết bị quét: LiDAR, Flycam (UAV), Mobile Mapping System để cập nhật hiện trạng không gian.

- Hạ tầng kết nối: Ưu tiên 4G/5G cho dữ liệu băng thông rộng và LPWAN (NB-IoT/LoRaWAN) cho thiết bị đo xa tiết kiệm năng lượng.

- Điện toán Biên/Sương mù (Edge/Fog computing): Xử lý sơ bộ dữ liệu tại

nguồn để giảm độ trễ cho các tác vụ thời gian thực.

- Hạ tầng mạng: Mạng cáp quang MAN/WAN/LPWAN; mạng không dây, mạng viễn thông di động, có phương án phân lớp mạng.

- Cổng kết nối (Gateways): Là các thiết bị trung gian truyền dữ liệu từ cảm biến và thiết bị biên lên nền tảng IoT hoặc cloud.

- Bộ điều khiển (Actuators) có khả năng tác động lại môi trường. Đây là yếu tố biến Bản sao số từ công cụ giám sát thành công cụ điều khiển.

- Nền tảng IoT (IoT Platform): Là nền tảng cung cấp khả năng quản lý thiết bị, lưu trữ dữ liệu, phân tích và các giao thức truyền nhận dữ liệu thời gian thực.

5.7. Lớp Vật lý

Lớp này bao gồm các đối tượng được số hóa và mô hình hóa trong UDT và nền tảng thực tế của đô thị, bao gồm các đối tượng tĩnh (công trình xây dựng, hạ tầng giao thông, điện, nước, viễn thông, cảnh quan...) và các đối tượng động (phương tiện vận tải, di chuyển, con người...).

5.8. Lớp An toàn, an ninh mạng

- Xây dựng, ban hành chiến lược bảo đảm an toàn thông tin, an ninh mạng theo chiều sâu, ngay từ khâu thiết kế hệ thống (security by design), phân tách hệ thống để cô lập rủi ro, ngăn chặn tấn công từ không gian mạng tác động đến hạ tầng thực, nhằm bảo đảm an ninh mạng đáp ứng các quy định pháp luật hiện hành;

- Triển khai giải pháp bảo đảm an toàn thông tin, an ninh mạng tổng thể, toàn diện, bảo vệ toàn bộ hệ thống từ vành đai cảm biến đến dữ liệu lưu trữ trên hạ tầng điện toán, tuân thủ các quy định pháp luật hiện hành.

- Giải pháp phải bảo đảm cơ chế phối hợp nhịp nhàng giữa các thành phần, phương án bảo vệ; chia sẻ thông tin về an toàn thông tin, an ninh mạng và phản ứng tự động giữa các thành phần trong hoạt động phòng thủ.

- Thực hiện phân loại cấp độ an toàn thông tin, an ninh mạng; triển khai các giải pháp bảo đảm an toàn thông tin, an ninh mạng, bảo vệ dữ liệu cho UDT theo đúng cấp độ và các quy định pháp luật.

- Bảo đảm an toàn, an ninh vật lý cho toàn bộ các cơ sở hạ tầng, hạ tầng IT/OT, môi trường vật lý để bảo đảm môi trường vận hành UDT ổn định.

- Bảo vệ vành đai, ngăn tấn công vào cảm biến, gateway, thiết bị biên và hạ tầng mạng truyền dữ liệu; ngăn chặn làm giả dữ liệu cảm biến.

- Triển khai các giải pháp bảo vệ dữ liệu (đặc biệt là dữ liệu không gian quan trọng), bí mật nhà nước và dữ liệu cá nhân, mã hóa dữ liệu; quản lý và định danh thiết bị bằng một định danh số duy nhất.

- Chủ động hoặc phối hợp với các cơ quan nhà nước có liên quan để bảo vệ

dữ liệu, quyền lợi người sử dụng và ứng phó, xử lý ngăn chặn các hành vi vi phạm pháp luật sử dụng các hệ thống, dịch vụ điện toán đám mây.

- Kiểm tra, đánh giá mức độ đáp ứng các yêu cầu an toàn thông tin mạng, an ninh mạng khi kết nối, hợp nhất mô phỏng với các bên liên quan.

- Tăng cường triển khai thử nghiệm, diễn tập an toàn thông tin mạng, an ninh mạng cho các hệ thống, dịch vụ của UDT.

- Khuyến khích ứng dụng các giải pháp, sản phẩm bảo đảm an toàn thông tin mạng, an ninh mạng cho UDT do doanh nghiệp Việt Nam làm chủ công nghệ.

- Triển khai phương án bảo vệ bí mật, dữ liệu cá nhân và quyền riêng tư cho người dân sử dụng cơ chế ẩn danh hoặc làm mờ dữ liệu không gian, thời gian.

- Tăng cường ứng dụng AI trong công tác bảo đảm an toàn thông tin, an ninh mạng cho UDT.

- Phân cấp độ, phân quyền truy cập nghiêm ngặt dữ liệu đô thị theo đối tượng khai thác, đặc biệt các dữ liệu liên quan đến UDT đạt Cấp độ 4, Cấp độ 5.

- Tăng cường đào tạo nhận thức, trình độ chuyên môn và hợp tác trong bảo đảm an toàn thông tin, an ninh mạng cho các bên liên quan khi tham gia quản lý, khai thác, sử dụng và duy trì vận hành UDT.

Đối với UDT liên quan đến thu thập, sử dụng dữ liệu cá nhân, trước khi vận hành chính thức, địa phương phải phối hợp với A05 - Bộ Công an để thẩm định đánh giá tác động.

5.9. Lớp Chính sách, quản trị

Lớp Chính sách, quản trị là lớp quản trị vĩ mô về đô thị, bao gồm: (1) Khung chính sách vận hành UDT và khai thác dữ liệu liên ngành; (2) Ma trận RACI phân vai trách nhiệm giữa các Sở, ngành, chính quyền cấp huyện/xã; (3) Bộ KPIs vĩ mô đo lường hiệu quả đô thị (giảm thời gian di chuyển, giảm thiệt hại thiên tai, chất lượng không khí, chỉ số hài lòng dân cư); (4) Công cụ kỹ thuật hỗ trợ để tự động hóa thực thi chính sách, BPMN/DMN Engine cho quy trình nghiệp vụ liên ngành, phê duyệt liên ngành; (5) Cơ chế đánh giá, thẩm định định kỳ sự phù hợp của UDT với mục tiêu phát triển đô thị địa phương.

6. Các cấp độ trưởng thành năng lực của UDT

Bước đầu tiên và bắt buộc khi lập Đề án/Dự án UDT là xác định rõ hiện trạng và cấp độ trưởng thành mục tiêu. Việc xây dựng và ứng dụng của UDT là một quá trình dài hạn, theo từng lĩnh vực ứng dụng trong công tác quản lý phát triển đô thị, từ Cấp độ 1 [Mô tả] cho đến Cấp độ 5 [Tự chủ], trong đó, Cấp độ 1 và Cấp độ 2 là các cấp độ nền tảng, trung gian trong quá trình phát triển UDT. Một lĩnh vực được đánh giá hoàn thành triển khai Bản sao số đô thị phải đáp ứng tối thiểu các yêu cầu triển khai, năng lực của Cấp độ 3. Các cấp độ trưởng thành năng lực

của UDT được mô tả dưới đây.

a) Cấp độ 1: Mô tả

Tại Cấp độ này, hệ thống UDT xây dựng một đại diện kỹ thuật số trực quan để phản ánh hình dạng và thông tin tĩnh của Thực thể Mục tiêu với mô hình số thường là mô hình 3D hoặc BIM cơ bản, cho phép người dùng chỉnh sửa và nhập dữ liệu thủ công theo nhu cầu. Mục tiêu của Cấp độ 1 giúp người dùng có bức tranh tổng thể về Thực thể Mục tiêu một cách trực quan. Các năng lực chính của hệ thống UDT tại Cấp độ 1:

- **Hiển thị 3D trực quan:** Cho phép xem cấu trúc công trình hoặc hệ thống dưới dạng 3D trực quan, thay thế bản vẽ truyền thống bằng mô hình số sinh động.
- **Thông tin kỹ thuật cơ bản:** Cung cấp các thông tin theo yêu cầu của người dùng như kích thước, vật liệu, hiện trạng thiết bị,... ngay trên mô hình, đóng vai trò như “hồ sơ số” của Thực thể Mục tiêu.
- **Cập nhật dữ liệu thủ công:** Người dùng có thể tương tác với mô hình (ví dụ thêm ghi chú, đính kèm tài liệu, cập nhật tham số) để đảm bảo mô hình phản ánh đúng thực tế hiện tại.
- **Hỗ trợ ra quyết định cơ bản:** Dựa trên các dữ liệu số tổng quan và chính xác về Thực thể Mục tiêu đã được số hóa, các cơ quan quản lý đô thị có thể ra các quyết định vận hành hoặc thiết kế dựa trên dữ liệu đáng tin cậy.

b) Cấp độ 2: Thông tin

Tại cấp độ này, hệ thống được kết nối với các cảm biến và các công cụ thu thập dữ liệu vận hành để phản ánh trạng thái hoạt động liên tục theo thời gian thực của Thực thể Mục tiêu từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau và hiển thị chúng trên mô hình số. Mục tiêu cốt lõi của hệ thống UDT tại Cấp độ 2 là nâng cao năng lực tổng hợp dữ liệu, theo dõi giám sát và nhận thức tình huống. Các năng lực chính của hệ thống UDT tại Cấp độ 2:

- **Giám sát thời gian thực:** Cho phép theo dõi liên tục các thông số hoạt động quan trọng thông qua giao diện trực quan. Người quản lý có thể nắm bắt bức tranh toàn cảnh về hiệu suất hệ thống gần như tức thời.
- **Cảnh báo và thông báo sớm:** Hệ thống cho phép đặt ngưỡng và tự động cảnh báo khi dữ liệu vượt ngưỡng an toàn, giúp phát hiện sớm các bất thường hoặc nguy cơ, rủi ro tiềm ẩn.
- **Báo cáo phân tích đa chiều:** Cung cấp các báo cáo phân tích với biểu đồ, bảng số liệu từ dữ liệu cảm biến được tổng hợp, giúp nhận biết xu hướng và mẫu (patterns) trong vận hành.
- **Tương tác và truy vấn dữ liệu:** Người dùng có thể tùy chọn các lớp dữ liệu hiển thị trên mô hình số (bật/tắt các thành phần dữ liệu cảm biến, xem dữ liệu tại

một thiết bị cụ thể) hoặc truy vấn chi tiết dữ liệu lịch sử của một cảm biến ngay trên giao diện trực quan hóa của hệ thống.

c) Cấp độ 3: Dự báo

Tại cấp độ này, hệ thống UDT có khả năng chạy các mô hình mô phỏng, thống kê để phân tích, nhận diện các quy luật, các mối tương quan phi tuyến tính và dự đoán các trạng thái tương lai của Thực thể Mục tiêu trong Thế giới thực. Mục tiêu của Cấp độ 3 là tạo sự đột phá trong quản lý vận hành nhờ khả năng chủ động phòng ngừa. Các năng lực chính của hệ thống UDT tại Cấp độ 3:

- Dự báo hiệu suất và tải trọng: Hệ thống có thể dự báo kết quả theo các chỉ số hiệu suất (KPI) của đô thị trong tương lai dựa trên xu hướng hiện tại.
- Cảnh báo sớm và đề xuất bảo trì: Cảnh báo sớm trước khi phát hiện dấu hiệu bất thường có thể dẫn đến sự cố.
- Mô phỏng kịch bản “nếu - thì”: Cho phép người dùng chạy thử các kịch bản trên mô hình số để xem kết quả dự kiến.
- Tối ưu hóa tham số vận hành: Dựa trên kết quả phân tích dự đoán và phân tích giá trị, đề xuất/gợi ý điều chỉnh các tham số vận hành các hệ thống của đô thị.

d) Cấp độ 4: Mô phỏng

Cấp độ 4 là cấp độ cho phép UDT mô phỏng tương lai dựa trên các kịch bản giả định và đưa ra khuyến nghị hoặc phương án hành động tối ưu cho người dùng. Mục tiêu của Cấp độ 4 là phát triển hệ thống UDT trở thành công cụ chiến lược giúp tổ chức ra quyết định tối ưu, giảm thiểu rủi ro và tối đa hóa hiệu quả vận hành. Các năng lực chính của hệ thống UDT tại Cấp độ 4:

- Phân tích tình huống “What-next”: Hệ thống UDT có khả năng tương tác thời gian thực, trả lời “Điều gì đang xảy ra?” và “Điều gì sẽ xảy ra tiếp theo?” bằng cách tích hợp AI/ML, dữ liệu IoT để tối ưu hóa vận hành và dự đoán.
- Khuyến nghị phương án hành động: Dựa trên các tham số về mục tiêu, các ràng buộc, chỉ tiêu... do người dùng đặt ra, UDT có thể đề xuất phương án hành động tối ưu sau khi đã đánh giá hàng loạt phương án qua mô phỏng.
- Điều chỉnh vận hành từ xa: Tại các mức độ nhất định do người dùng thiết lập, UDT có thể chủ động điều chỉnh một số tham số vận hành thông qua hệ thống điều khiển dưới sự giám sát của con người.
- Hỗ trợ ra quyết định liên ngành: Có khả năng liên kết, tích hợp các Thực thể Số hoặc UDT đơn lẻ (ví dụ như điện, nước, giao thông trong đô thị) và đánh giá sự ảnh hưởng qua lại giữa chúng để đưa ra phương án quản lý, vận hành đô thị tối ưu toàn diện.

đ) Cấp độ 5: Tự chủ

Tại cấp độ này, hệ thống có khả năng tự phân tích, tự ra quyết định và thực thi các tác động điều chỉnh đến Thực thể Mục tiêu mà không cần (hoặc cần rất ít) sự can thiệp của con người. Mục tiêu của Cấp độ 5 là "Xây dựng triển khai dịch vụ đô thị tự vận hành", cho phép các hạ tầng thiết yếu có thể tự điều phối để phục vụ người dân tốt nhất, ngay cả trong bối cảnh phức tạp. Các năng lực chính của hệ thống UDT tại Cấp độ 5:

- Tự động điều chỉnh và tối ưu theo thời gian thực: Hệ thống UDT tự chủ sẽ liên tục điều chỉnh tham số vận hành dựa trên dòng dữ liệu vào, nhằm giữ cho mọi thứ ở trạng thái tối ưu.

- Phản ứng tự động với sự cố: Khi xảy ra sự cố hoặc tình huống bất thường, bản sao số tự chủ có thể tự động kích hoạt phương án ứng phó đã được học.

- Tự động phối hợp vận hành nhiều hệ thống: Tự động điều khiển đồng bộ nhiều hệ thống khác nhau một cách hài hòa theo các quy tắc đã được AI tối ưu.

- Dịch vụ “tự vận hành”: Cung cấp một hoặc nhiều dịch vụ đô thị dưới dạng tự động hoàn toàn. Hệ thống cũng có khả năng tự động thu thập phản hồi và cải thiện dịch vụ mà không cần người điều hành trực tiếp.

Các địa phương khi xây dựng UDT phải hướng đến đạt tối thiểu cấp độ 3, đồng thời, đặc biệt lưu ý, UDT cấp độ 5 - UDT có khả năng can thiệp, tác động điều khiển đến TE trong thế giới thực - chỉ được triển khai áp dụng khi đã hoàn thành đánh giá rủi ro, thử nghiệm Sandbox và có cơ chế giám sát con người.

7. Các công nghệ chính trong xây dựng và ứng dụng UDT

Bản sao số đô thị không phải là một công nghệ đơn lẻ mà là sự hội tụ của một hệ sinh thái kỹ thuật số đa chiều với các nhóm công nghệ trụ cột sau:

a) Nhóm công nghệ thu thập dữ liệu và kết nối thực - ảo

- Internet vạn vật và cảm biến: Mạng lưới cảm biến diện rộng đóng vai trò như “hệ thần kinh” của đô thị, thu thập liên tục dữ liệu hiện trạng.

- Điện toán biên (Edge Computing/Edge IoT): Cho phép phân tích dữ liệu phân tán ngay tại nguồn (biên mạng) thay vì đẩy toàn bộ về trung tâm; giúp giải quyết bài toán độ trễ trong xử lý dữ liệu thời gian thực, tối ưu hóa băng thông và tăng tốc độ phản hồi cho các quyết định vận hành tức thời.

- Hạ tầng truyền dẫn 5G: Với băng thông rộng, độ trễ cực thấp và khả năng kết nối mật độ thiết bị lớn, 5G là mạch máu đảm bảo dòng dữ liệu được truyền tải liên tục, không gián đoạn giữa thế giới thực và ảo.

b) Nhóm công nghệ khung không gian và dữ liệu nền địa lý

- Công nghệ trắc địa và Số hóa 3D: Sử dụng LiDAR (quét laser 3D), ảnh chụp từ vệ tinh/máy bay không người lái (Drone) và hệ thống định vị GPS để tái

hiện chính xác bề mặt địa hình và ngoại quan công trình.

- Quản trị và chuẩn hóa dữ liệu: Công nghệ quản lý hạ tầng dữ liệu không gian như SDI/GIS, Geo-database, BIM và các chuẩn dữ liệu mở như CityGML, IFC... để đảm bảo tính tương tác liên thông và tích hợp đa nguồn dữ liệu vào một mô hình thống nhất.

- Số hóa dữ liệu hạ tầng ngầm sử dụng kết hợp của công nghệ GPR (Ground Penetrating Radar - Radar xuyên đất) và chuẩn hóa dữ liệu GIS hạ tầng kỹ thuật theo các mô hình dữ liệu (Data Schema) thống nhất.

c) Nhóm công nghệ hạ tầng tính toán và nền tảng hợp nhất

- Điện toán đám mây và tính toán hiệu năng cao (HPC): Công nghệ điện toán đám mây cung cấp tài nguyên lưu trữ linh hoạt và khả năng chia sẻ dữ liệu an toàn. Trong khi đó, HPC giải quyết các bài toán mô phỏng phức tạp (dự báo thời tiết vi mô, mô phỏng giao thông toàn đô thị) với tốc độ tiệm cận thời gian thực.

- Nền tảng kỹ thuật số (Digital Platform): Công nghệ lớp giữa, cho phép tích hợp tất cả các công nghệ và ứng dụng, kết nối các bên liên quan trong hệ sinh thái UDT để khai thác tối đa giá trị dữ liệu tổng hợp.

d) Nhóm công nghệ dữ liệu và mô phỏng

- Trí tuệ nhân tạo và Học máy: Giúp hệ thống có khả năng “tự học”, nhận diện mẫu hình để dự báo xu hướng trong hoạt động đô thị và tự động hóa các tác vụ vận hành.

- Dữ liệu lớn và phân tích dữ liệu lớn: Sử dụng các thuật toán cao cấp để trích xuất những thông tin có giá trị tiềm ẩn hoặc chuyên sâu, các xu hướng và mối quan hệ bất thường mà phương pháp thống kê truyền thống khó phát hiện.

- Mô phỏng 3D và Engine đồ họa: Sử dụng các công cụ như Unity/Unreal để dựng mô hình đô thị chi tiết, sinh động, cho phép chạy các kịch bản giả định để hỗ trợ ra quyết định.

- Mô phỏng vật lý: Tích hợp sẵn các module tính toán vật lý để mô phỏng ngập lụt, dòng chảy hạt, va chạm, giúp việc hình dung các kịch bản thiên tai trở nên sống động và chính xác.

- Công nghệ bản thể học (Ontology) và Knowledge Graphs (Đồ thị tri thức): Sử dụng công nghệ web ngữ nghĩa (như RDF/OWL) để xây dựng các đồ thị tri thức, định nghĩa rõ ràng ý nghĩa và mối quan hệ giữa các dữ liệu, giúp giải quyết bài toán “silos dữ liệu” và tăng cường khả năng suy luận của máy tính.

đ) Nhóm công nghệ trực quan hóa và tương tác

- Rendering thời gian thực: Tạo ra hình ảnh đồ họa chất lượng điện ảnh, xử lý ánh sáng và bóng đổ động, mang lại trải nghiệm trực quan vượt trội so với các phần mềm kỹ thuật truyền thống.

- Công nghệ VR/AR: Hỗ trợ tương tác đa nền tảng, cho phép xuất bản sang kính AR/thiết bị di động hoặc kính VR, giúp lãnh đạo và người sử dụng có thể trực quan hóa và trải nghiệm không gian đô thị tương lai.

8. Các thách thức và khuyến nghị khi xây dựng và ứng dụng UDT

8.1. Các thách thức

Việc triển khai UDT đang đối mặt với nhiều thách thức, từ nhận thức lý luận, quản trị dữ liệu, nguồn lực, con người cho đến các vấn đề kỹ thuật chuyên sâu.

- Tấn công chiếm quyền điều khiển: UDT chứa nhiều thông tin quan trọng, nhạy cảm liên quan đến hạ tầng thông tin trọng yếu và hàng vạn thiết bị công nghệ quan trọng của đô thị. Khi bị tấn công, chiếm quyền điều khiển hoặc thực thi lệnh với dữ liệu giả mạo, có thể dẫn đến thảm họa trong thế giới thực.

- Tồn tại sự nhầm lẫn giữa UDT và mô hình 3D đơn thuần: Việc quá chú trọng vào trực quan hóa mà bỏ qua năng lực cốt lõi là mô phỏng, dự báo và tương tác hai chiều dẫn đến sự phát triển mất cân bằng.

- Định hướng phát triển xây dựng sai lệch: Các sản phẩm thiếu giá trị thực tiễn trong quy hoạch, quản lý và cung cấp dịch vụ đô thị.

- Tầm nhìn ngắn hạn: Tập trung vào hình ảnh thương hiệu đô thị thay vì giá trị quản trị tinh vi và kiểm soát không-thời gian trong dài hạn.

- Hạn chế của hạ tầng IoT: Thu thập dữ liệu không đồng đều, thiếu chiều sâu ở tầng cơ sở và không đồng bộ về tiêu chuẩn.

- Tích hợp dữ liệu đa nguồn: Khó khăn trong việc hợp nhất dữ liệu từ thực thể vật lý và mô hình ảo.

- Tích hợp BIM-GIS: Quá trình tích hợp dữ liệu giữa hai hệ thống thành phần này có thể dẫn đến mất mát dữ liệu.

- Thiếu chuẩn hóa: Sự đa dạng của các nhà cung cấp và thiếu vắng các tiêu chuẩn liên ngành thống nhất của UDT dẫn đến khả năng tương tác hệ thống kém.

- Trình độ chuyên môn, kỹ năng làm việc với UDT: Thiếu nguồn nhân lực lớn có khả năng làm chủ các công cụ mô phỏng, phân tích dữ liệu lớn và AI.

- Thiếu cơ chế phối hợp chuyên gia liên ngành: Thiếu sự tham gia của các chuyên gia quản lý đô thị và phân tích nghiệp vụ quản lý phát triển đô thị khiến các kịch bản của UDT không hoạt động chính xác.

- Thiếu hụt nguồn lực: UDT là hệ thống tiên tiến, là tương lai của Đô thị thông minh nên cần nguồn nhân lực và tài chính mạnh, bền vững trong dài hạn.

8.2. Các khuyến nghị

- Không xây dựng một hệ thống UDT tập trung cố định cho cả địa phương,

mà xây dựng một hệ sinh thái các bản sao số liên kết, chia sẻ dữ liệu với nhau, bảo đảm an toàn, an ninh mạng trên môi trường số, đồng thời, cho phép trao đổi ngữ cảnh, dữ liệu thực thể giữa các đô thị, tạo lập kho lược đồ dữ liệu dùng chung hỗ trợ chuẩn mở theo tiêu chuẩn trong nước và quốc tế, liên kết giao diện lập trình và kết nối không gian dữ liệu cho các đô thị trong cùng vùng đô thị lớn.

- Khi áp dụng danh mục UDT chuyên ngành, mỗi địa phương khi bắt đầu chỉ nên chọn thí điểm cho một đến ba khu vực hoặc lĩnh vực điểm nóng (ngập lụt, kẹt xe, an ninh sự kiện, quản lý di sản, cảng biển...) để triển khai UDT thí điểm. Sau khi đánh giá được tính hiệu quả, chi phí và tinh chỉnh quy trình vận hành, mới mở rộng ra các lĩnh vực còn lại.

- Cấp độ 4 và Cấp độ 5 bắt buộc áp dụng cơ chế Human-in-the-Loop (HITL) cho mọi quyết định có tác động vật lý với 04 thành phần kỹ thuật: (1) Hiện thị khuyến nghị của AI kèm bằng chứng/giải thích (XAI); (2) Phân quyền phê duyệt theo mức độ rủi ro và khung giờ (ngày/đêm, bình thường/khẩn cấp); (3) Cơ chế tự động quay về trạng thái an toàn nếu không có phê duyệt trong thời gian quy định; (4) Ghi nhận đầy đủ chữ ký số của người phê duyệt theo quy định pháp luật về giao dịch điện tử.

- Cấp độ 5 chỉ nên triển khai sau Sandbox tối thiểu 01 chu kỳ vận hành hoàn chỉnh (02 mùa đối với thoát nước, 12 tháng đối với giao thông) và được hội đồng chuyên môn độc lập đánh giá rủi ro.

- Triển khai UDT phải đồng bộ Trung tâm giám sát, điều hành đô thị thông minh và Trung tâm Giám sát, điều hành an ninh mạng.

- Xây dựng chiến lược bảo mật toàn vòng đời dữ liệu, đặc biệt với các dữ liệu ưu tiên cao; đảm bảo quyền sở hữu dữ liệu và quyền riêng tư của công dân.

- Các địa phương phải phối hợp chặt chẽ với cơ quan Công an trong công tác bảo đảm an ninh, an toàn thông tin cho UDT, đặc biệt đối với các UDT được xác định là hệ thống thông tin quan trọng về an ninh quốc gia.

- Phối hợp với cơ quan Công an để đánh giá tác động bảo vệ dữ liệu cá nhân trước khi triển khai UDT có thu thập, xử lý dữ liệu cá nhân.

- Không sử dụng các giải pháp công nghệ, nền tảng UDT của nước ngoài để xử lý, lưu trữ các dữ liệu liên quan đến an ninh quốc gia, bí mật nhà nước và dữ liệu cá nhân của công dân Việt Nam.

- Có phương án, giải pháp tổ chức lưu trữ dữ liệu phân tầng phù hợp để tiết kiệm chi phí.

- Thành lập Tổ công tác liên ngành kết hợp với các doanh nghiệp, tổ chức, chuyên gia công nghệ và các chuyên gia, các nhà quản lý phát triển đô thị.

- Tổ chức các hội thảo, khóa đào tạo định kỳ để nâng cao năng lực số về

UDT cho khu vực công và khu vực tư nhân.

- Khuyến khích hợp tác giữa doanh nghiệp và các cơ sở đào tạo để đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao, đạt chứng chỉ, chứng nhận trong nước và quốc tế.

- Về dữ liệu đô thị:

- + Dữ liệu nền đô thị: Sử dụng chuẩn như CityGML (OGC) để quản lý không gian rộng, quy hoạch và hiện trạng bề mặt; ưu tiên độ phủ và khả năng hiển thị.

- + Dữ liệu công trình xây dựng sử dụng chuẩn BIM như TCVN 14177:2024; ưu tiên độ chính xác và thông tin phi hình học.

- + Tuân thủ tiêu chuẩn trong nước hoặc quốc tế về tích hợp BIM-GIS.

- Nghiên cứu, xác định chiến lược quản lý, ứng dụng LOD phù hợp với từng yêu cầu quản lý phát triển đô thị.

- Dữ liệu từ các cảm biến khác nhau phải được chuyển đổi về định dạng chuẩn trước khi đưa vào hồ dữ liệu/ kho dữ liệu dùng chung của đô thị;

- Các địa phương phải tuân thủ chuẩn mở quốc tế (như OGC SensorThings API) để quản lý và truy xuất dữ liệu cảm biến trong không gian địa lý.

- Tổ chức cơ chế liên ngành và xác định rõ vai trò, trách nhiệm của các tổ chức, cá nhân có liên quan khi triển khai UDT.

- Nghiên cứu, áp dụng cơ chế thí điểm (Sandbox) để giảm thiểu rủi ro và tối ưu hóa nguồn lực, khuyến nghị quy trình thí điểm gồm các bước tối thiểu sau:

- + Bước 1. Đánh giá và chọn lựa: Các địa phương không triển khai UDT toàn diện ngay lập tức, nên chọn một khu vực hoặc một lĩnh vực cụ thể để thí điểm.

- + Bước 2. Xây dựng nền tảng dữ liệu cơ sở: Triển khai tập trung số hóa dữ liệu quy hoạch, xây dựng bản đồ nền 2D/3D.

- + Bước 3. Ứng dụng nghiệp vụ đơn lẻ: Triển khai các giải pháp thiết thực, đang là điểm nóng trong công tác quản lý phát triển đô thị tại địa phương.

- + Bước 4. Đánh giá và Mở rộng: Dựa trên kết quả thí điểm để hoàn thiện khung pháp lý và mô hình kỹ thuật trước khi nhân rộng ra toàn đô thị.

- Đánh giá, đo lường hiệu quả của UDT thông qua KPIs của ĐTTM kết hợp với bộ chỉ số đo lường hiệu quả (KPIs) định lượng riêng của UDT với các tham số khuyến nghị như sau:

- + Độ phủ dữ liệu: Tỷ lệ phần trăm diện tích đô thị hoặc tài sản công được số hóa trong mô hình 3D.

- + Độ tươi dữ liệu: Thời gian trễ giữa sự kiện thực tế và sự kiện trên UDT.

- + Độ chính xác mô hình: Sai số giữa kết quả dự báo và thực tế.

- + Mức độ sử dụng: Số lượng quyết định hành chính hoặc quy hoạch được hỗ trợ bởi dữ liệu từ UDT.

+ Tỷ lệ chia sẻ: Số lượng API được chia sẻ và sử dụng bởi các sở ngành khác nhau hoặc bên thứ ba.

Ví dụ minh họa cụ thể:

+ Độ phủ: Bao nhiêu phần trăm diện tích đô thị đã được dựng lên 3D/BIM?

+ Độ tươi: Từ lúc xảy ra sự kiện (tai nạn giao thông, vỡ đường ống) đến lúc sự kiện hiển thị trên UDT là bao nhiêu giây? Yêu cầu < 10 giây với giao thông;

+ Độ chính xác: Hệ thống dự báo ngập 50 cm thì thực tế lệch bao nhiêu? Cho phép lệch < 10 cm;

+ Độ tin dùng: Có bao nhiêu quyết định hành chính, quy hoạch của UBND đã ký dựa trên dữ liệu UDT trong năm?

+ Tỷ lệ chia sẻ: Có bao nhiêu sở, ngành và bên thứ ba đang dùng chung dữ liệu UDT qua API?

- Khi triển khai, địa phương cần lưu ý các công việc chính sau:

(1) Xác định đối tượng thật cần số hóa (Lớp Vật lý);

(2) Thu thập dữ liệu qua mạng lưới thiết bị, công nghệ như cảm biến, camera AI, LiDAR, drone (Lớp Kết nối);

(3) Chuẩn bị phần cứng tính toán có GPU (Lớp Hạ tầng số);

(4) Tổ chức kho dữ liệu dùng chung, làm sạch và kết nối GIS/BIM (Lớp Quản lý dữ liệu);

(5) Phát triển não bộ AI mô phỏng, dự báo, điều phối (Lớp Ứng dụng lõi);

(6) Trình chiếu qua Dashboard, VR/AR, API (Lớp Tương tác);

(7) Phân quyền rõ cán bộ, người dân, doanh nghiệp, máy (Lớp Người dùng);

(8) Dựng hàng rào an ninh kết nối SOC 24/7 (Lớp An ninh mạng);

(9) Ban hành quy chế, quy trình vận hành (Lớp Chính sách).

- Khuyến khích sử dụng thuê dịch vụ, nguồn vốn xã hội hóa, mô hình hợp tác công tư (PPP) và các nguồn vốn hợp pháp khác theo quy định của pháp luật.

9. Kết luận

Bản sao số đô thị không phải là một dự án công nghệ thông tin đơn thuần, mà là một chiến lược chuyển đổi số toàn diện phương thức quản lý đô thị. Việc tuân thủ Hướng dẫn kỹ thuật này sẽ giúp các Bộ, ngành và địa phương xây dựng được các hệ thống UDT đồng bộ, hiệu quả, có khả năng kết nối và chia sẻ dữ liệu trên phạm vi quốc gia, góp phần hiện thực hóa mục tiêu xây dựng Chính phủ số, Kinh tế số và Xã hội số tại Việt Nam.