

THAM LUẬN

ỨNG DỤNG AI, DỮ LIỆU LỚN VÀ KHOA HỌC HÌNH ẢNH TRONG PHÁT TRIỂN THÀNH PHỐ THÔNG MINH

Đào Thị Như¹, Nguyễn Quốc Toàn²

¹ Cục Phát triển đô thị, Bộ Xây dựng

² Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Bài viết này khám phá vai trò biến đổi của trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh trong việc định hình lại quản lý đô thị. Các tác giả lập luận rằng sự hội tụ của các công nghệ này là cốt lõi để phát triển các thành phố thông minh hiệu quả, bền vững và phản ứng nhanh. Bài viết đi sâu vào cách AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh hỗ trợ các trung tâm chỉ huy và điều khiển tích hợp, tăng cường nhận thức tình huống thời gian thực, quản lý dự đoán và tối ưu hóa tự động. Thông qua các nghiên cứu tình huống cụ thể, các tác giả minh họa tính ứng dụng của các công nghệ này trong quản lý giao thông, chất thải và an toàn công cộng. Cuối cùng, các tác giả thảo luận về các thách thức và cân nhắc trong việc triển khai các hệ thống quản lý đô thị thông minh, đặc biệt trong bối cảnh Việt Nam, nhằm cung cấp lộ trình cho việc phát triển đô thị dựa trên dữ liệu.

1. GIỚI THIỆU

Thế kỷ 21 chứng kiến một sự dịch chuyển nhân khẩu học chưa từng có, với dân số đô thị toàn cầu được dự kiến sẽ chạm mốc gần 70% vào năm 2050. Sự tăng trưởng bùng nổ này đang đặt ra áp lực khổng lồ và đa diện lên cơ sở hạ tầng, tài nguyên và dịch vụ hiện có của các thành phố. Từ tình trạng tắc nghẽn giao thông kinh niên và ô nhiễm môi trường, đến thách thức về quản lý chất thải hiệu quả và đảm bảo an toàn công cộng, các đô thị đang phải vật lộn để duy trì và nâng cao chất lượng cuộc sống cho cư dân trong bối cảnh nguồn lực hạn chế [1]. Phương pháp quản lý đô thị truyền thống, thường mang tính phản ứng và phân mảnh, đang cho thấy những hạn chế rõ rệt trong việc giải quyết các vấn đề phức tạp và liên kết chặt chẽ này. Một giải pháp đổi mới là cần thiết để biến những thách thức này thành cơ hội cho sự phát triển bền vững và đáng sống.

Đề ứng phó với bối cảnh này, khái niệm "thành phố thông minh" đã nổi lên như một mô hình đầy hứa hẹn. Đặc trưng bởi việc triển khai công nghệ số một cách chiến lược, các thành phố thông minh tìm cách cải thiện hiệu quả vận hành, tăng cường chia sẻ thông tin, và nâng cao đáng kể chất lượng cuộc sống của công dân [1]. Trọng tâm của sự chuyển đổi này là sự hội tụ của ba trụ cột công nghệ mạnh mẽ: Trí tuệ nhân tạo (AI), phân tích dữ liệu lớn (Big Data) và khoa học hình ảnh (Image Science). AI cung cấp khả năng phân tích lượng lớn dữ liệu đô thị, nhận diện các mẫu hình phức tạp và đưa ra quyết định dựa trên dữ liệu, mở ra kỷ nguyên quản lý chủ động thay vì chỉ phản ứng [2]. Dữ liệu lớn, được sinh ra từ vô số cảm biến, thiết bị IoT và tương tác của công dân, cung cấp cái nhìn toàn diện và theo thời gian thực về động lực đô thị [5, 6]. Hơn nữa, lĩnh vực khoa học hình ảnh đang phát triển mạnh mẽ, bao gồm thị giác máy tính và trí tuệ nhân tạo không

gian địa lý (GeoAI), đang cách mạng hóa cách chúng ta nhận thức, đo lường và hiểu môi trường đô thị thông qua việc phân tích hình ảnh vệ tinh, drone và hình ảnh cấp đường phố [3].

Quá trình đô thị hóa là một xu hướng tất yếu toàn cầu, và Việt Nam cũng không nằm ngoài dòng chảy này, với tốc độ đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển nhanh chóng, đô thị hóa cũng mang đến nhiều tác động tiêu cực đáng kể đến chất lượng cuộc sống của người dân và sự phát triển bền vững của các thành phố [11]. Những thách thức này bao gồm tình trạng ô nhiễm môi trường, ùn tắc giao thông, quá tải hệ thống hạ tầng kỹ thuật, quy hoạch thiếu tính thẩm mỹ và các hạn chế trong phát triển cộng đồng [11], [12]. Trong bối cảnh đó, định hướng phát triển thành phố thông minh trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết, không chỉ như một giải pháp đối phó với các vấn đề phức tạp trong quản lý đô thị mà còn như một con đường để đạt được sự phát triển bền vững trong kỷ nguyên Cách mạng công nghiệp 4.0 [13]. Mô hình thành phố thông minh, dù đã được nhiều quốc gia và thành phố tiên tiến trên thế giới lựa chọn, vẫn đòi hỏi một cách tiếp cận phù hợp với bối cảnh đặc thù của Việt Nam, nhằm khai thác tối đa tiềm năng và vượt qua những hạn chế hiện có [13].

Bài viết này đi sâu khám phá cách sự hội tụ của AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh định hình lại một cách cơ bản quy hoạch, quản lý và cung cấp dịch vụ đô thị. Bằng cách tổng hợp bằng chứng từ các nghiên cứu điển hình thực tế và nghiên cứu hiện có, chúng tôi sẽ phân tích tiềm năng biến đổi của các công nghệ này, thảo luận về các ứng dụng đa dạng của chúng trên các lĩnh vực đô thị khác nhau, và làm rõ những hàm ý quan trọng cho một tương lai đô thị được điều khiển bởi dữ liệu, minh bạch và có khả năng phản ứng vượt trội.

2. AI, DỮ LIỆU LỚN VÀ KHOA HỌC HÌNH ẢNH: NHỮNG TRỤ CỘT NỀN TẢNG CỦA THÀNH PHỐ THÔNG MINH

Trong kỷ nguyên đô thị hóa nhanh chóng, việc quản lý và phát triển các thành phố đòi hỏi những công cụ và phương pháp tiếp cận vượt trội. AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh nổi lên như những trụ cột công nghệ thiết yếu, cung cấp nền tảng vững chắc để chuyển đổi các đô thị truyền thống thành các thành phố thông minh, hoạt động hiệu quả, bền vững và lấy con người làm trung tâm. Sự hội tụ của ba lĩnh vực này tạo ra một hệ sinh thái thông tin mạnh mẽ, cho phép hiểu sâu sắc, dự đoán chính xác và ra quyết định tối ưu.

2.1. Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence -AI)- Bộ não nhận thức của đô thị

Trí tuệ nhân tạo (AI), đặc biệt là các nhánh như học máy (Machine Learning - ML) và học sâu (Deep Learning), đóng vai trò là bộ não nhận thức của một thành phố thông minh. Nó mang đến khả năng chưa từng có trong việc xử lý các tập dữ liệu phức tạp, học hỏi từ các mẫu hình ẩn và đưa ra các dự đoán hoặc khuyến nghị có giá trị [4]. Trong bối cảnh đô thị, AI không chỉ đơn thuần là tự động hóa mà là khả năng phân tích thông minh lượng dữ liệu khổng lồ được tạo ra mỗi giây, biến chúng thành thông tin có thể hành động.

Các ứng dụng của AI bao gồm từ mô hình dự đoán về tình trạng căng thẳng của cơ sở hạ tầng (ví dụ: dự báo hư hỏng đường, hệ thống thoát nước), tình trạng thiếu hụt năng lượng đến suy thoái môi trường (ví dụ: dự báo chất lượng không khí ô nhiễm). Khả năng dự đoán này cho phép quản lý đô thị chuyển từ trạng thái phản ứng (chỉ hành động khi vấn đề đã xảy ra) sang trạng thái chủ động (ngăn ngừa vấn đề trước khi chúng phát sinh), tối ưu hóa việc phân bổ nguồn lực và giảm thiểu rủi ro [4]. Hơn nữa, AI còn được sử dụng để tối ưu hóa lộ trình giao thông, quản lý rác thải thông minh và nâng cao hiệu quả các dịch vụ công cộng khác, giúp thành phố vận hành mượt mà và thông minh hơn [9].

2.2. Phân tích dữ liệu lớn (Big Data Analytics)- Mạch máu thông tin của thành phố

Các thành phố thông minh là những nhà máy sản xuất dữ liệu khổng lồ, tạo ra khối lượng dữ liệu cực lớn (Volume) với tốc độ nhanh chóng (Velocity) và sự đa dạng đáng kinh ngạc (Variety) - thường được gọi là "3Vs" của dữ liệu lớn [5]. Dữ liệu này đến từ một mạng lưới rộng lớn các cảm biến IoT (từ cảm biến giao thông, chất lượng không khí đến mức đầy của thùng rác), camera giám sát, tương tác trên mạng xã hội và các hệ thống giao dịch đô thị [6].

Phân tích dữ liệu lớn cung cấp các công cụ và kỹ thuật cần thiết để khai thác những hiểu biết có giá trị từ kho dữ liệu đồ sộ này. Nó cho phép các nhà quản lý đô thị có được sự hiểu biết theo thời gian thực về động lực của thành phố, cách thức sử dụng tài nguyên và hành vi của công dân [6]. Từ việc theo dõi luồng giao thông tức thời để điều chỉnh đèn tín hiệu, đến việc phân tích mô hình tiêu thụ năng lượng để xác định các khu vực lãng phí, dữ liệu lớn là nền tảng cho việc ra quyết định dựa trên dữ liệu trên mọi khía cạnh của hoạt động đô thị, từ quản lý rác thải đến lập kế hoạch phát triển [6]. Khả năng xử lý và tổng hợp dữ liệu quy mô lớn này là yếu tố thiết yếu để thành phố phản ứng nhanh nhạy và tối ưu hóa các dịch vụ của mình.

2.3. Khoa học hình ảnh (Image Science) và Trí tuệ thị giác đô thị (Urban Visual Intelligence)- Đôi mắt thấu đáo của thành phố

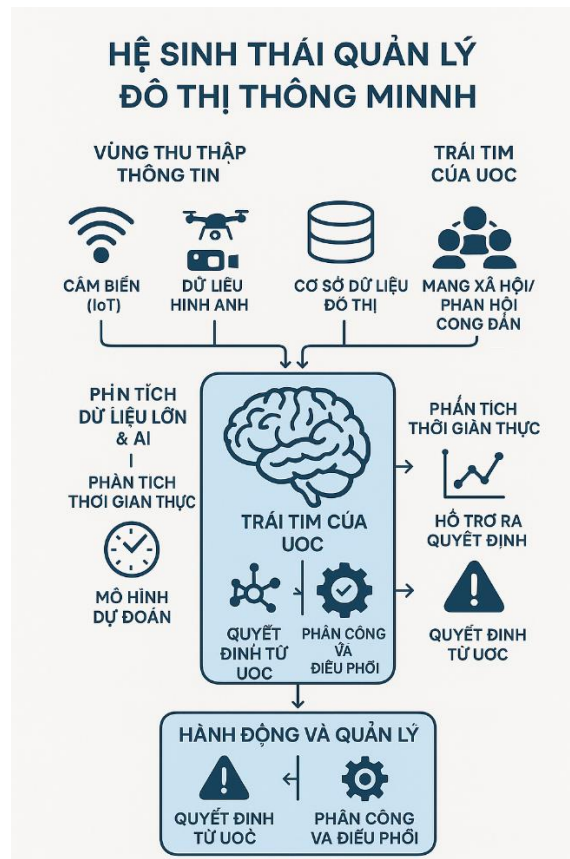
Những tiến bộ vượt bậc trong công nghệ cảm biến và sự phổ biến của các nguồn hình ảnh được gắn thẻ địa lý (geo-tagged imagery) đã mở ra một kỷ nguyên mới của "trí tuệ thị giác đô thị" [3]. Khoa học hình ảnh, thông qua các kỹ thuật như thị giác máy tính (Computer Vision) và trí tuệ nhân tạo không gian địa lý (GeoAI), cung cấp cho các thành phố "đôi mắt thấu đáo" để nhìn nhận và hiểu môi trường của mình một cách chưa từng có.

Nó bao gồm việc phân tích các loại hình ảnh đa dạng: từ hình ảnh vệ tinh cung cấp cái nhìn tổng quan về quy hoạch và phát triển đô thị, dữ liệu từ drone cho phép khảo sát chi tiết hạ tầng và tình trạng môi trường, đến hình ảnh cấp đường phố từ camera giám sát và xe chuyên dụng [3]. Khả năng chính của khoa học hình ảnh là tự động trích xuất các đặc điểm không gian địa lý (ví dụ: xác định loại đường, tình trạng vỉa hè, số lượng cây xanh), đánh giá tình trạng cơ sở hạ tầng (ví dụ: phát hiện vết nứt trên đường, hư hỏng của cầu) và lập bản đồ các yếu tố đô

thị với độ chi tiết cao [3], [7]. Điều này biến đổi các cuộc khảo sát thực địa truyền thống, tốn nhiều công sức thành các phân tích tự động, quy mô lớn, cung cấp bối cảnh và chi tiết vô song cho quy hoạch và quản lý đô thị, từ việc dự đoán giá bất động sản đến giám sát an ninh công cộng [3].

3. PHÂN TÍCH CHUYÊN SÂU VỀ QUẢN LÝ ĐÔ THỊ

Quản lý đô thị, trong bối cảnh thành phố thông minh, đang chuyển đổi từ các hoạt động theo phản ứng, phân mảnh theo từng phòng ban, sang một hệ sinh thái chủ động, tích hợp và được điều khiển bởi dữ liệu. AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh là nền tảng cho sự chuyển đổi này bằng cách cung cấp thông tin chi tiết theo thời gian thực, khả năng dự đoán và tự động hóa.



Hình 1: Smart Urban Management Ecosystem

Sơ đồ khái niệm này phác thảo cấu trúc và luồng thông tin của một hệ sinh thái quản lý đô thị tích hợp, nhấn mạnh vai trò trung tâm của Trung tâm Điều hành Đô thị (UOC) như bộ não điều phối. Mọi liên hệ chính được xây dựng trên một chu trình thu thập, xử lý và ra quyết định dữ liệu, cho phép quản lý đô thị chủ động và hiệu quả.

Các nguồn dữ liệu đa dạng như cảm biến IoT (giao thông, môi trường, rác thải), dữ liệu hình ảnh (camera, drone, vệ tinh), cơ sở dữ liệu đô thị và phản hồi từ công dân đều được tập trung về UOC. Tại UOC, một lớp phân tích AI và Dữ liệu lớn đóng vai trò xử lý, tổng hợp và chuyển đổi dữ liệu thô thành thông tin tình huống theo thời gian thực. Lớp này thực hiện phát hiện bất thường, nhận diện

các mẫu hình phức tạp và đưa ra các dự đoán về điều kiện đô thị trong tương lai (ví dụ: dự báo ùn tắc giao thông, dự đoán điểm nóng ô nhiễm).

Cuối cùng, các thông tin chi tiết và khuyến nghị tối ưu từ AI và Dữ liệu lớn được truyền tải để hỗ trợ các quyết định quản lý. Điều này không chỉ cho phép phản ứng và tối ưu hóa tự động (như điều chỉnh đèn giao thông thích ứng) mà còn cung cấp nền tảng cho các nhà quản lý đô thị đưa ra các quyết định chiến lược và chủ động hơn. Toàn bộ hệ sinh thái này tạo thành một vòng lặp phản hồi liên tục, nơi dữ liệu được chuyển đổi thành trí tuệ có thể hành động, liên tục cải thiện hiệu quả và khả năng phản ứng của quản lý đô thị.

3.1. Trung tâm chỉ huy và điều khiển tích hợp (Integrated Command and Control Centers)

Trái tim của quản lý đô thị thông minh là các Trung tâm Điều hành Đô thị (Urban Operation Centers - UOCs), đóng vai trò như bộ não điều phối các hoạt động của thành phố. Các trung tâm này đại diện cho sự chuyển đổi cốt lõi từ quản lý đô thị phản ứng và phân mảnh sang một cách tiếp cận chủ động, tích hợp và được điều khiển bởi dữ liệu [1]. UOCs hoạt động như các nền tảng tập trung, nơi dữ liệu thời gian thực từ vô số nguồn được thu thập, tổng hợp và phân tích để tạo ra bức tranh toàn cảnh về tình trạng của thành phố [6].

Các nền tảng Dữ liệu lớn là chìa khóa để tổng hợp lượng dữ liệu khổng lồ và đa dạng đổ về UOCs từ nhiều nguồn khác nhau. Những nguồn này bao gồm cảm biến IoT (giám sát lưu lượng giao thông, chất lượng không khí, mức độ đầy của thùng rác), camera giám sát, nguồn cấp dữ liệu mạng xã hội và các trạm thời tiết [6, 9]. Sau khi dữ liệu được tổng hợp, các thuật toán AI sẽ phân tích các luồng này để phát hiện bất thường và xác định các mẫu hình đang nổi lên - ví dụ, một sự gia tăng bất thường của lưu lượng giao thông, mức tăng đột biến về mức tiêu thụ năng lượng hoặc một lượng rác thải lớn bất ngờ ở một khu vực nhất định [6]. Khoa học hình ảnh đóng góp đáng kể vào khả năng này bằng cách xử lý các luồng video trực tiếp từ camera và drone. Thông qua thị giác máy tính và GeoAI, UOCs có thể tự động thực hiện phát hiện vật thể, nhận diện bất thường (ví dụ: hành lý vô chủ trong không gian công cộng) và giám sát đám đông, cung cấp một cái nhìn toàn diện và theo thời gian thực về tình trạng của thành phố [3], [7]. Khả năng này đảm bảo các nhà quản lý luôn được thông báo về những diễn biến quan trọng khi chúng xảy ra.

Một trong những năng lực biến đổi nhất của UOCs là khả năng quản lý dự đoán do AI điều khiển. Bằng cách phân tích dữ liệu lịch sử cùng với thông tin thời gian thực và các yếu tố bên ngoài, các mô hình AI có thể dự báo các điều kiện trong tương lai với độ chính xác cao. Ví dụ, trong quản lý giao thông, AI có thể phân tích dữ liệu giao thông lịch sử, dự báo thời tiết và lịch trình các sự kiện lớn để dự đoán tình trạng tắc nghẽn giao thông trước hàng giờ. Khả năng dự đoán này cho phép các nhà quản lý giao thông chủ động điều chỉnh thời gian tín hiệu giao thông, đề xuất các tuyến đường thay thế, hoặc thông báo cho công chúng để tránh các khu vực bị ảnh hưởng, từ đó giảm thiểu sự chậm trễ và cải thiện luồng giao

thông [9]. Tương tự, trong quản lý môi trường, AI có thể dự đoán các điểm nóng ô nhiễm không khí dựa trên các mẫu hình thời tiết, hoạt động công nghiệp và giao thông, cho phép các can thiệp kịp thời như điều tiết giao thông hoặc cảnh báo sức khỏe cộng đồng [4].

Khả năng phân tích của UOCs mở rộng đến việc tự động hóa các phản ứng hoặc cung cấp các khuyến nghị tối ưu hóa. Điều này đặc biệt có giá trị trong các tình huống cần phản ứng nhanh. Các hệ thống đèn giao thông thích ứng là một ví dụ điển hình; chúng sử dụng AI để điều chỉnh linh hoạt các pha tín hiệu dựa trên luồng giao thông thời gian thực, giúp giảm đáng kể tình trạng tắc nghẽn giao thông ở các thành phố như Singapore và Los Angeles [9]. Trong quản lý tòa nhà thông minh, AI tối ưu hóa hệ thống HVAC (sưởi ấm, thông gió, điều hòa không khí) bằng cách liên tục điều chỉnh dựa trên dữ liệu về mức độ sử dụng, điều kiện thời tiết và giá năng lượng. Điều này không chỉ nâng cao sự thoải mái mà còn dẫn đến việc giảm đáng kể mức tiêu thụ năng lượng và chi phí vận hành [9]. Khả năng tự động hóa và tối ưu hóa này cho phép các thành phố phản ứng hiệu quả và chủ động hơn với các thách thức đô thị, tối đa hóa hiệu suất và giảm thiểu sự can thiệp thủ công.

3.2. Nghiên cứu tình huống về quản lý đô thị

Để minh chứng cho tiềm năng biến đổi của AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh trong quản lý đô thị, việc xem xét các nghiên cứu tình huống cụ thể là rất cần thiết. Những ví dụ này không chỉ làm rõ tính ứng dụng mà còn cung cấp những bài học thực tiễn về hiệu quả và thách thức.

a. Quản lý giao thông thông minh

Khu vực đô thị đóng vai trò trụ cột trong sự tăng trưởng kinh tế của mỗi quốc gia, đóng góp tới 70-80% tổng sản phẩm quốc nội (GDP) [12]. Tại Việt Nam, đóng góp của các khu vực đô thị vào GDP cũng đạt khoảng 70% [12]. Mặc dù vậy, mô hình phát triển đô thị hiện tại ở Việt Nam vẫn còn những hạn chế, chủ yếu tập trung vào cấu trúc tổ chức không gian mà chưa chú trọng đúng mức đến việc sắp xếp và quản lý không gian kinh tế theo định hướng thị trường. Điều này đã kìm hãm đáng kể đóng góp của các thành phố vào GDP cũng như tốc độ tăng trưởng mạnh mẽ [12]. Việc áp dụng các giải pháp quản lý đô thị thông minh, đặc biệt là thông qua việc khai thác dữ liệu lớn (Big Data) và Internet of Things (IoT), có thể cung cấp khả năng xử lý và phân tích dữ liệu nhanh chóng, chính xác, từ đó hỗ trợ đưa ra các quyết định khoa học nhằm giải quyết các vấn đề cấp bách như ùn tắc giao thông và ô nhiễm môi trường, đồng thời thúc đẩy hiệu quả kinh tế của khu vực đô thị [13]. Giao thông đô thị là một thách thức lớn trong các thành phố phát triển nhanh chóng, gây ra tắc nghẽn, tăng chi phí vận hành và suy giảm chất lượng môi trường. Các thành phố thông minh đã tận dụng AI và dữ liệu lớn để chuyển đổi quản lý giao thông từ một hệ thống phản ứng sang một hệ thống linh hoạt và thích ứng. Các hệ thống giao thông thông minh (ITS) sử dụng AI để phân tích dữ liệu thời gian thực từ mạng lưới cảm biến đường bộ và camera, với khoa học hình ảnh đóng vai trò quan trọng trong việc nhận diện và theo dõi luồng

phương tiện [9]. Khả năng này cho phép tối ưu hóa động các tín hiệu giao thông, điều chỉnh thời gian đèn dựa trên mật độ và tốc độ lưu thông, như đã được triển khai thành công ở Singapore và Los Angeles, dẫn đến giảm đáng kể tắc nghẽn và thời gian di chuyển [9].

Ngoài ra, AI còn cho phép dự báo tắc nghẽn dựa trên dữ liệu lịch sử, dự báo thời tiết và lịch trình sự kiện, giúp các nhà quản lý đưa ra các chiến lược điều tiết chủ động. Bài học rút ra là hiệu quả của quản lý giao thông thông minh phụ thuộc vào mật độ và độ tin cậy của dữ liệu đầu vào, đòi hỏi một cơ sở hạ tầng cảm biến mạnh mẽ và khả năng xử lý dữ liệu lớn theo thời gian thực.

b. Quản lý chất thải tối ưu

Quản lý chất thải là một lĩnh vực khác mà sự can thiệp của AI và dữ liệu lớn đã mang lại những cải thiện đáng kể về hiệu quả hoạt động và tính bền vững. Các thành phố như Barcelona đã triển khai thùng rác thông minh được trang bị cảm biến báo cáo mức độ đầy, cung cấp dữ liệu liên tục về nhu cầu thu gom [9]. Dữ liệu này sau đó được truyền về các nền tảng dữ liệu lớn và được phân tích bằng AI để tối ưu hóa các tuyến đường thu gom rác cho xe tải, đảm bảo rằng việc thu gom chỉ diễn ra khi cần thiết, thay vì tuân theo lịch trình cố định. Cách tiếp cận này giúp giảm đáng kể mức tiêu thụ nhiên liệu, chi phí lao động và tác động môi trường liên quan đến hoạt động thu gom [9].

Hơn nữa, khoa học hình ảnh có thể được tích hợp để tự động xác định các vị trí đổ rác thải bất hợp pháp, nâng cao hiệu quả giám sát và thực thi. Bài học quan trọng từ các trường hợp này là tiềm năng của công nghệ trong việc biến các hoạt động thủ công, tốn kém thành các quy trình hiệu quả và dựa trên nhu cầu, giảm thiểu chi phí đơn vị trên mỗi tấn rác thải được xử lý.

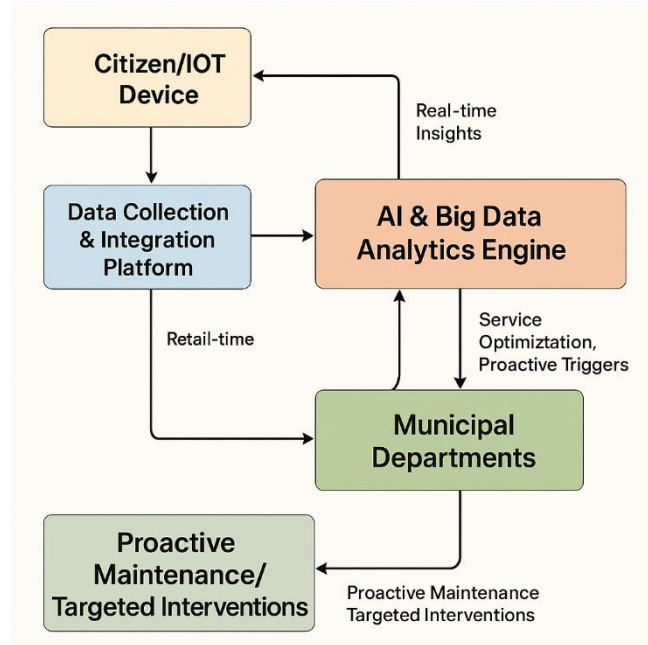
c. An toàn và an ninh công cộng

AI và khoa học hình ảnh đã tăng cường đáng kể khả năng của các thành phố trong việc đảm bảo an toàn và an ninh công cộng thông qua giám sát thông minh và phản ứng nhanh. Các hệ thống như hệ thống nhận thức phạm vi của thành phố New York tích hợp dữ liệu thời gian thực từ camera giám sát (được phân tích bằng khoa học hình ảnh), thiết bị đọc biển số xe và máy dò súng, kết hợp với các nguồn dữ liệu khác [9]. AI phân tích luồng dữ liệu này để xác định các mẫu hình đáng ngờ hoặc các sự kiện bất thường (ví dụ: hành lý vô chủ, tập trung đông người đột ngột), cảnh báo cho các nhà điều hành UOC để tạo điều kiện cho phản ứng khẩn cấp nhanh hơn [7, 9].

Mặc dù tiềm năng của cảnh sát dự đoán (sử dụng AI để dự báo các khu vực có nguy cơ tội phạm cao) vẫn đang được tranh luận về mặt đạo đức, nó cho thấy khả năng của AI trong việc phân bổ nguồn lực cảnh sát một cách hiệu quả hơn để ngăn chặn tội phạm. Tuy nhiên, việc triển khai các công nghệ này đòi hỏi phải có các khuôn khổ pháp lý và đạo đức rõ ràng để đảm bảo cân bằng giữa an ninh và quyền riêng tư của công dân, đây là một cân nhắc quan trọng trong việc áp dụng các giải pháp an toàn công cộng dựa trên AI.

4. SỰ PHÁT TRIỂN CỦA CÁC DỊCH VỤ ĐÔ THỊ

Các dịch vụ đô thị đang trở nên hiệu quả hơn, cá nhân hóa hơn và lấy công dân làm trung tâm nhờ sự tích hợp của AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh. Sự chuyển đổi này nâng cao chất lượng cuộc sống và khả năng tiếp cận dịch vụ cho cư dân.



Hình 2: Luồng dịch vụ đô thị dựa trên AI/Dữ liệu lớn

Sơ đồ khái niệm này trình bày một cách học thuật quy trình vận hành và tự động hóa các dịch vụ đô thị trong một thành phố thông minh, được thúc đẩy bởi sự hội tụ của trí tuệ nhân tạo (AI) và phân tích dữ liệu lớn. Nó phác thảo một chu trình liên tục và phản ứng nhanh, bắt đầu từ việc thu thập thông tin và kết thúc bằng các hành động dịch vụ được tối ưu hóa.

Điểm khởi đầu của luồng là các nguồn dữ liệu đầu vào đa dạng, chủ yếu từ công dân (thông qua báo cáo vấn đề, phản hồi) và thiết bị IoT (cảm biến giao thông, môi trường, thùng rác thông minh, camera). Dữ liệu thô này, bao gồm số liệu, hình ảnh và văn bản, sau đó được đưa vào nền tảng thu thập và tích hợp dữ liệu. Tại đây, dữ liệu được hợp nhất, chuẩn hóa và xử lý sơ bộ, sẵn sàng cho các phân tích sâu hơn, đồng thời cung cấp thông tin chi tiết theo thời gian thực cho các hệ thống tự động hóa ban đầu.

Dữ liệu đã tích hợp được chuyển đến công cụ phân tích AI và dữ liệu lớn - trung tâm trí tuệ của hệ thống. Tại đây, các thuật toán AI và kỹ thuật phân tích dữ liệu lớn được áp dụng để xử lý khối lượng dữ liệu khổng lồ. Công cụ này thực hiện phân tích chuyên sâu, bao gồm phát hiện bất thường, phân tích xu hướng, và đặc biệt là khả năng dự đoán các vấn đề hoặc nhu cầu dịch vụ trong tương lai. Dựa trên những phân tích này, công cụ tạo ra các đề xuất tối ưu hóa dịch vụ và kích hoạt các tín hiệu chủ động để khởi động các hành động cần thiết. Những

thông tin chuyên sâu này cũng được truyền đạt tới các phòng ban chức năng của đô thị để hỗ trợ quá trình ra quyết định của con người.

Các đề xuất và tín hiệu từ công cụ AI được chuyển đến hệ thống cung cấp và tự động hóa dịch vụ. Hệ thống này đóng vai trò điều phối, tự động hóa các quy trình bằng cách gửi cảnh báo tự động và thực hiện điều phối tối ưu các nguồn lực (ví dụ: điều động đội bảo trì, điều chỉnh lịch trình xe). Cuối cùng, những chỉ đạo này dẫn đến bảo trì chủ động hoặc Can thiệp có mục tiêu trên thực địa. Điều này có nghĩa là các vấn đề được giải quyết trước khi chúng trở nên nghiêm trọng (ví dụ: sửa chữa ổ gà trước khi lớn hơn, thu gom rác khi thùng gần đầy chứ không đợi tràn), đảm bảo dịch vụ đô thị được cung cấp một cách hiệu quả, kịp thời và lấy công dân làm trung tâm. Chu trình này liên tục lặp lại, tạo ra một vòng phản hồi liên tục để cải thiện chất lượng dịch vụ đô thị.

4.1. Cung cấp dịch vụ chủ động (Proactive Service Delivery)

Với sự tích hợp của AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh, các thành phố thông minh đang chuyển đổi từ mô hình cung cấp dịch vụ phản ứng, nơi công dân phải báo cáo vấn đề, sang một cách tiếp cận chủ động hơn. Mục tiêu là xác định và giải quyết các vấn đề tiềm ẩn trước khi chúng trở nên nghiêm trọng hoặc ảnh hưởng đến trải nghiệm của công dân.

a. Bảo trì cơ sở hạ tầng dự đoán

Một ứng dụng nổi bật của việc cung cấp dịch vụ chủ động nằm trong lĩnh vực bảo trì cơ sở hạ tầng. Thay vì dựa vào kiểm tra thủ công tốn kém hoặc chờ đợi các sự cố xảy ra, các thành phố thông minh sử dụng khoa học hình ảnh, đặc biệt từ các nguồn như drone và camera cấp đường phố, kết hợp với các thuật toán AI mạnh mẽ [7]. AI có thể phân tích một lượng lớn hình ảnh về các tài sản cơ sở hạ tầng, chẳng hạn như đường sá, cầu cống, và đường ống nước, để tự động phát hiện các bất thường nhỏ nhất [3, 7].

Thực tế, các thuật toán AI có thể nhận diện các vết nứt nhỏ, ổ gà hoặc vạch kẻ đường bị mờ trên mặt đường, hoặc phát hiện các dấu hiệu xuống cấp cấu trúc trên cầu và tòa nhà [7]. Khi những điểm bất thường này được xác định, hệ thống có thể tự động kích hoạt các yêu cầu bảo trì và chuyển chúng đến các đội ngũ có liên quan, cho phép thực hiện các sửa chữa nhỏ, kịp thời trước khi vấn đề leo thang thành hư hỏng lớn, tốn kém hơn [7]. Cách tiếp cận này không chỉ kéo dài tuổi thọ của tài sản công mà còn giảm thiểu chi phí và sự gián đoạn dịch vụ, minh họa rõ ràng khả năng của AI trong việc tạo ra một quy trình bảo trì chủ động và hiệu quả.

b. Dịch vụ y tế và xã hội dự đoán

Mặc dù vẫn còn ở giai đoạn sơ khai, tiềm năng của AI trong việc thúc đẩy các dịch vụ y tế và xã hội dự đoán là rất lớn. AI có khả năng phân tích các tập dữ liệu đa dạng bao gồm dữ liệu sức khỏe cộng đồng, các yếu tố môi trường (ví dụ: chất lượng không khí, nhiệt độ), và xu hướng nhân khẩu học để dự đoán các đợt bùng phát dịch bệnh tiềm ẩn hoặc xác định các khu vực có nhu cầu chăm sóc sức

khỏe hoặc xã hội cao [10]. Bằng cách xác định sớm các mô hình và rủi ro, các nhà quản lý thành phố có thể phân bổ nguồn lực một cách chủ động hơn,

AI có thể ứng dụng trong triển khai các chiến dịch y tế dự phòng tại các khu vực dễ bị tổn thương hoặc điều động nhân viên xã hội đến những nơi có nhu cầu cao trước khi khủng hoảng xảy ra [10]. Khả năng này đại diện cho một sự thay đổi cơ bản từ mô hình chăm sóc phản ứng sang mô hình chăm sóc phòng ngừa, tối ưu hóa việc cung cấp dịch vụ công và cải thiện sức khỏe cộng đồng tổng thể, mặc dù việc triển khai đòi hỏi sự cân nhắc cẩn thận về quyền riêng tư dữ liệu và các khía cạnh đạo đức [10].

4.2. Dịch vụ cá nhân hóa và theo yêu cầu (Personalized and On-Demand Services)

AI đóng vai trò trung tâm trong việc chuyển đổi các dịch vụ đô thị từ mô hình cung cấp đại trà sang các giải pháp mang tính cá nhân hóa và có khả năng phản ứng cao hơn, đáp ứng nhu cầu cụ thể của từng công dân. Sự thay đổi này nâng cao đáng kể sự tiện lợi, hiệu quả và khả năng tiếp cận các dịch vụ thiết yếu, góp phần cải thiện chất lượng cuộc sống đô thị.

Các hệ thống giao thông công cộng được hỗ trợ bởi AI đang cách mạng hóa trải nghiệm di chuyển của công dân bằng cách cung cấp thông tin và định tuyến phù hợp với từng cá nhân. Các ứng dụng được hỗ trợ bởi AI không chỉ cung cấp thông tin giao thông công cộng theo thời gian thực mà còn có khả năng điều chỉnh lịch trình một cách linh hoạt và đề xuất các tuyến đường tối ưu hóa dựa trên sở thích cá nhân, điều kiện giao thông hiện tại và dự đoán [9]. Ví dụ, một ứng dụng có thể đề xuất tuyến đường nhanh nhất đến điểm đến của người dùng, xem xét các yếu tố như ùn tắc, sự chậm trễ của phương tiện và thậm chí là tùy chọn đi bộ hoặc đạp xe. Khả năng cá nhân hóa này không chỉ nâng cao hiệu quả di chuyển trong đô thị mà còn khuyến khích việc sử dụng giao thông công cộng, giảm áp lực lên cơ sở hạ tầng đường bộ và giảm lượng khí thải carbon [9].

AI cũng đang thúc đẩy sự cá nhân hóa trong việc quản lý các tiện ích đô thị thiết yếu như năng lượng và nước. Trong các lưới điện thông minh, AI có thể tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng ở cấp hộ gia đình bằng cách phân tích thói quen sử dụng, dự báo thời tiết và giá điện theo thời gian thực [9]. Điều này cho phép các hệ thống thông minh cung cấp thông tin chi tiết và khuyến nghị được cá nhân hóa cho công dân về cách giảm hóa đơn tiền điện và dấu chân carbon của họ, từ việc điều chỉnh nhiệt độ phòng đến tối ưu hóa việc sử dụng các thiết bị điện tử [9]. Tương tự, các đồng hồ nước thông minh, kết hợp với phân tích AI, có thể phát hiện rò rỉ nước theo thời gian thực trong các hộ gia đình hoặc mạng lưới phân phối, cảnh báo kịp thời cho người dùng hoặc cơ quan quản lý về sự cố [9]. Khả năng can thiệp sớm này không chỉ ngăn ngừa lãng phí nước đáng kể mà còn giúp người tiêu dùng quản lý tốt hơn việc sử dụng tài nguyên của mình, góp phần vào mục tiêu bền vững của thành phố.

4.3. Tăng cường sự tham gia của công dân (Enhanced Citizen Engagement)

Sự phát triển của các nền tảng dữ liệu lớn và giao diện được hỗ trợ bởi AI đang tạo điều kiện thuận lợi cho một mức độ tham gia của công dân hiệu quả và mang tính tương tác hơn trong việc quản lý và phát triển đô thị. Điều này không chỉ nâng cao tính minh bạch mà còn đảm bảo rằng các dịch vụ đô thị thực sự đáp ứng nhu cầu của cộng đồng.

Các cổng thông tin công dân kỹ thuật số (Digital citizen portals) đã trở thành một kênh thiết yếu cho sự tương tác giữa chính quyền và người dân. Các nền tảng này cho phép công dân báo cáo các vấn đề đô thị một cách dễ dàng và hiệu quả, chẳng hạn như hình vẽ bậy, đèn đường hỏng, hoặc các ổ gà trên đường [2]. Công nghệ khoa học hình ảnh được tích hợp cho phép người dùng đính kèm ảnh được gắn thẻ địa lý vào báo cáo của họ, cung cấp bối cảnh chính xác và dữ liệu vị trí cụ thể cho chính quyền [7]. Sau khi gửi, AI có thể tự động định tuyến các yêu cầu này đến đúng phòng ban phụ trách và thậm chí ưu tiên chúng dựa trên mức độ khẩn cấp, tác động tiềm tàng đến cộng đồng, hoặc số lượng báo cáo tương tự [2]. Công dân cũng có thể theo dõi trạng thái các yêu cầu của mình theo thời gian thực, nâng cao tính minh bạch và sự tin cậy vào khả năng phản ứng của chính quyền thành phố.

AI và dữ liệu lớn tạo ra một vòng lặp phản hồi dựa trên dữ liệu mạnh mẽ, cho phép chính quyền thành phố thu thập và phân tích thông tin chi tiết về tâm lý và nhu cầu của công chúng. AI có thể phân tích phản hồi của công dân từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm mạng xã hội, khảo sát chính thức, diễn đàn trực tuyến và các cổng thông tin góp ý [2]. Thông qua phân tích tình cảm và xử lý ngôn ngữ tự nhiên, AI có thể hiểu tâm lý công chúng, xác định các điểm khó khăn chung (pain points) và những lĩnh vực mà dịch vụ đô thị còn thiếu sót hoặc chưa đáp ứng [2]. Những hiểu biết sâu sắc này là vô giá cho các nhà quản lý thành phố trong việc điều chỉnh dịch vụ để đáp ứng tốt hơn các nhu cầu thực tế của cộng đồng và giải quyết các vấn đề một cách chủ động hơn. Vòng lặp phản hồi liên tục này đảm bảo rằng sự phát triển và cải thiện dịch vụ đô thị luôn được định hướng bởi dữ liệu thực tế và lấy trải nghiệm của công dân làm trung tâm.

5. THÁCH THỨC TRONG QUẢN LÝ ĐÔ THỊ THÔNG MINH

Việc triển khai các giải pháp quản lý đô thị thông minh, đặc biệt thông qua ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh, mang lại tiềm năng chuyển đổi to lớn nhưng cũng đặt ra những thách thức đáng kể. Trong bối cảnh Việt Nam, những thách thức này càng trở nên phức tạp do đặc thù về thể chế, cơ sở hạ tầng, nguồn nhân lực và khuôn khổ pháp lý. Việc nhận diện và giải quyết các rào cản này là yếu tố then chốt để hiện thực hóa tầm nhìn đô thị thông minh.

- **Thách thức về khung khổ thể chế và quản trị:** Quản trị đô thị thông minh được xem là một trụ cột không thể thiếu của thành phố thông minh, tập trung vào việc giải quyết hiệu quả các vấn đề đô thị thông qua sự hợp tác năng động giữa các chủ thể hướng tới phát triển bền vững [15]. Thành phố thông minh không chỉ đơn thuần là việc tích hợp công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) vào hạ tầng

vật lý mà còn bao gồm các khía cạnh "phần mềm" như tầm nhìn chiến lược, quản trị hiệu quả và cộng đồng thông minh [15]. Để hiện thực hóa tầm nhìn này, một khung khổ thể chế vững chắc là điều kiện tiên quyết. Tuy nhiên, hiện trạng thể chế về quản lý phát triển đô thị gắn với tăng trưởng xanh ở Việt Nam vẫn còn tồn tại những khoảng trống và rào cản đáng kể từ định hướng chính sách đến thực thi [14]. Những hạn chế này làm giảm hiệu quả trong việc đảm bảo chất lượng cuộc sống, thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, đảm bảo hòa nhập xã hội và bảo vệ tài nguyên, hệ sinh thái [14]. Do đó, việc hoàn thiện thể chế và chính sách, đặc biệt là các quy định về chuẩn hóa dữ liệu, chia sẻ thông tin và hợp tác liên ngành, là yếu tố then chốt để các ứng dụng AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh có thể phát huy tối đa hiệu quả trong công tác quản lý đô thị, tạo nền tảng vững chắc cho sự hợp tác và ra quyết định dựa trên dữ liệu.

- **Thách thức về dữ liệu và công nghệ:** Mặc dù Việt Nam đang đẩy mạnh quá trình chuyển đổi số, song vẫn còn nhiều rào cản trong việc thu thập, tích hợp và khai thác dữ liệu cho đô thị thông minh. Một vấn đề phổ biến là thiếu hụt dữ liệu chất lượng cao và đồng nhất, do dữ liệu thường nằm rải rác ở các bộ, ban, ngành khác nhau và chưa được chuẩn hóa [6]. Tình trạng này gây khó khăn cho việc tổng hợp và xử lý dữ liệu lớn cần thiết để các thuật toán AI hoạt động hiệu quả. Hơn nữa, khả năng tương tác (interoperability) giữa các hệ thống công nghệ hiện có còn hạn chế, dẫn đến việc các nền tảng không thể "giao tiếp" với nhau một cách liền mạch, cản trở việc tạo ra một hệ sinh thái quản lý đô thị tích hợp [1]. Trong bối cảnh Việt Nam, việc thiếu một tiêu chuẩn chung cho dữ liệu và nền tảng công nghệ càng làm trầm trọng thêm vấn đề này, đòi hỏi nỗ lực lớn trong việc xây dựng cơ sở hạ tầng dữ liệu và nền tảng công nghệ tích hợp.

- **Thách thức về an ninh mạng và quyền riêng tư:** Khi lượng dữ liệu khổng lồ được thu thập, xử lý và trao đổi trong môi trường thành phố thông minh, các vấn đề về an ninh mạng trở nên tối quan trọng. Các hệ thống đô thị thông minh rất dễ bị tấn công mạng, có thể dẫn đến rò rỉ dữ liệu nhạy cảm hoặc thậm chí làm tê liệt các dịch vụ thiết yếu [1]. Đối với Việt Nam, năng lực phòng thủ an ninh mạng cần được nâng cao liên tục để đối phó với các mối đe dọa ngày càng tinh vi và đa dạng. Song song đó, quyền riêng tư của công dân là một mối quan ngại sâu sắc khi dữ liệu cá nhân, chẳng hạn từ camera giám sát hoặc giao dịch điện tử, được thu thập và phân tích bởi AI [10]. Việc cân bằng giữa nhu cầu sử dụng dữ liệu để cải thiện dịch vụ công và bảo vệ quyền riêng tư cá nhân đòi hỏi một khuôn khổ pháp lý rõ ràng, minh bạch và vững chắc về bảo vệ dữ liệu, điều mà Việt Nam đang trong quá trình xây dựng và hoàn thiện để tạo dựng niềm tin cho người dân và doanh nghiệp.

- **Thách thức về nguồn nhân lực và khả năng thích ứng:** Việc triển khai và vận hành các hệ thống đô thị thông minh tiên tiến, đặc biệt là các ứng dụng AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh, đòi hỏi một lực lượng lao động có trình độ chuyên môn cao trong các lĩnh vực này [4]. Tại Việt Nam, sự thiếu hụt chuyên gia có kiến thức sâu rộng về cả công nghệ và quản lý đô thị là một thách thức lớn. Bên cạnh đó, quá trình chuyển đổi từ các quy trình vận hành truyền thống sang

các hệ thống được hỗ trợ bởi AI cũng yêu cầu khả năng thích ứng cao từ cả đội ngũ cán bộ quản lý và công dân [10]. Sự kháng cự với thay đổi, thiếu hiểu biết về lợi ích hoặc cách thức vận hành của công nghệ, có thể cản trở đáng kể việc áp dụng và phát huy tối đa tiềm năng của thành phố thông minh. Để vượt qua những rào cản này, việc đầu tư vào đào tạo, nâng cao nhận thức cộng đồng và xây dựng văn hóa đổi mới sáng tạo là vô cùng cần thiết.

6. KẾT LUẬN

Sự hội tụ của trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh đang định hình lại căn bản bức tranh quản lý và cung cấp dịch vụ đô thị, đưa khái niệm thành phố thông minh từ lý thuyết thành hiện thực. Như đã phân tích, những công nghệ này không chỉ tối ưu hóa các quy trình hiện có mà còn mở ra những khả năng chưa từng có trong việc ra quyết định dựa trên dữ liệu, quản lý dự đoán và cá nhân hóa dịch vụ. Từ việc giảm chi phí thông qua tối ưu hóa vận hành và bảo trì dự đoán, đến việc phân bổ tài nguyên hiệu quả hơn và định giá dịch vụ dựa trên giá trị, tác động của chúng đối với đơn giá tiêu chuẩn là gián tiếp nhưng sâu sắc. Đồng thời, khả năng thiết lập các thỏa thuận mức độ dịch vụ (SLA) và chỉ số hiệu suất chính (KPI) dựa trên dữ liệu thời gian thực cho phép các thành phố không ngừng nâng cao chất lượng và tính minh bạch của dịch vụ.

Tuy nhiên, con đường hướng tới các đô thị thông minh toàn diện không phải không có thách thức. Đặc biệt trong bối cảnh Việt Nam, những rào cản về chất lượng và khả năng tích hợp dữ liệu, những lo ngại về an ninh mạng và quyền riêng tư, cùng với khoảng cách về nguồn nhân lực và khả năng thích ứng, đòi hỏi những chiến lược chủ động và đầu tư dài hạn. Để thực sự khai thác toàn bộ tiềm năng của AI, dữ liệu lớn và khoa học hình ảnh, các thành phố cần ưu tiên xây dựng khuôn khổ pháp lý vững chắc, phát triển cơ sở hạ tầng dữ liệu đồng bộ, và đầu tư vào đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao. Chỉ khi đó, Việt Nam mới có thể hiện thực hóa tầm nhìn về những thành phố không chỉ thông minh hơn mà còn bền vững, đáng sống và thực sự lấy công dân làm trung tâm.

Tuyên bố

Xung đột lợi ích: Các tác giả không báo cáo bất kỳ xung đột lợi ích tiềm ẩn nào.

Tuyên bố về AI tạo sinh trong bài viết: Trong quá trình biên soạn, các tác giả đã sử dụng ChatGPT để hỗ trợ quá trình viết một cách tự nhiên hơn và thể hiện các sơ đồ trên cơ sở ý tưởng đề xuất của các tác giả. Sau khi sử dụng công cụ này, các tác giả đã xem xét và chỉnh sửa nội dung khi cần thiết và hoàn toàn chịu trách nhiệm về nội dung của ấn phẩm.

Tài liệu tham khảo

- [1] UCLG Digital Cities Community of Practice, “Smart Cities Study 2023,” Bilbao, 2023. [Online]. Available: <https://www.idom.com/wp-content/uploads/2024/06/SCS-2023-VF-Eng.pdf>. [Accessed: Jul. 26, 2025].
- [2] U. Ejaz, W. Ramon, and G. Olaoye, “The Role of Big Data and AI in Smart Cities and Urban Planning,” *ResearchGate*, Jan. 17, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/388035908_The_Role_of_Big_Data_and_AI_in_Smart_Cities_and_Urban_Planning. [Accessed: Jul. 26, 2025].
- [3] F. Zhang, A. Salazar-Miranda, F. Duarte, L. Vale, G. Hack, M. Chen, *et al.*, “Urban visual intelligence: Studying cities with artificial intelligence and street-level imagery,” *Annals of the American Association of Geographers*, vol. 114, no. 5, pp. 876–897, 2024.
- [4] S. Joanson, “Improving Urban Planning and Smart City Initiatives with Artificial Intelligence,” *PhilArchive*, Dec. 8, 2024. [Online]. Available: <https://philarchive.org/archive/JOAIUP>. [Accessed: Jul. 26, 2025].
- [5] E. Al Nuaimi, H. Al Neyadi, N. Mohamed, and J. Al-Jaroodi, “Applications of big data to smart cities,” *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 1–15, 2015.
- [6] Axians, “Data Management for Smart City.” [Online]. Available: <https://www.axians.com/news/big-data-volume-velocity-and-variety-in-smart-city-management/>. [Accessed: Jul. 26, 2025].
- [7] Picterra, “How Smart Cities Are Using Artificial Intelligence?,” Apr. 2, 2020. [Online]. Available: <https://picterra.ch/blog/how-smart-cities-are-using-artificial-intelligence/>. [Accessed: Jul. 26, 2025].
- [8] E. Cina, E. Elbasi, G. Elmazi, and Z. AlArnaout, “The Role of AI in Predictive Modelling for Sustainable Urban Development: Challenges and Opportunities,” *Sustainability*, vol. 17, no. 11, 2025.
- [9] Stack AI, “How Is AI Enhancing Smart Cities and Urban Living?,” Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.stack-ai.com/blog/how-is-ai-enhancing-smart-cities-and-urban-living>. [Accessed: Jul. 26, 2025].
- [10] I. Skubis, R. Wolniak, and W. W. Grebski, “AI and human-centric approach in smart cities management: case studies from Silesian and lesser Poland voivodships,” *Sustainability*, vol. 16, no. 18, p. 8279, 2024.
- [11] D. T. Nhu, T. T. H. Quynh, and L. H. Trung, “Assessing the Feasibility of Smart Cities and Promoting an Intelligent Urban System for Vietnam,” in *Creative Approaches Towards Development of Computing and Multidisciplinary IT Solutions for Society*, pp. 483–508, 2024.
- [12] Q. T. Nguyen and T. N. Dao, “Breakthrough to promote the urban economy of Vietnam urban system in the forthcoming period,” in *Proceedings of the 15th International Asian Urbanization Conference (AUC 2019)*, Singapore: Springer Singapore, Oct. 2020, pp. 525–537.
- [13] N. T. L. Phuong and D. T. Nhu, “Smart-oriented urban development for urban administrative units and smart urban areas in the urbanization context of Vietnam,” *Edelweiss Applied Science and Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 2537–2547, 2025.
- [14] P. X. Anh, P. Van Thanh, and D. Thi Nhu, “The institutional status on urban development management associated with green growth in Vietnam and challenges,” in *VIII International Scientific and Technical Conference “Solving Environmental Problems in the Construction Industry” ESCI 2022*, vol. 2560, no. 1, p. 050008, AIP Publishing LLC, May 2023.

[15] N. Q. Toan and D. T. Nhu, “Smart urban governance in smart city,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 869, no. 2, p. 022021, IOP Publishing, Jun. 2020.