

Ứng dụng công nghệ AI, IoT và Tự động hóa trong quản lý rác thải: Các giải pháp tiên tiến cho môi trường bền vững

>CAO ĐỨC MINH

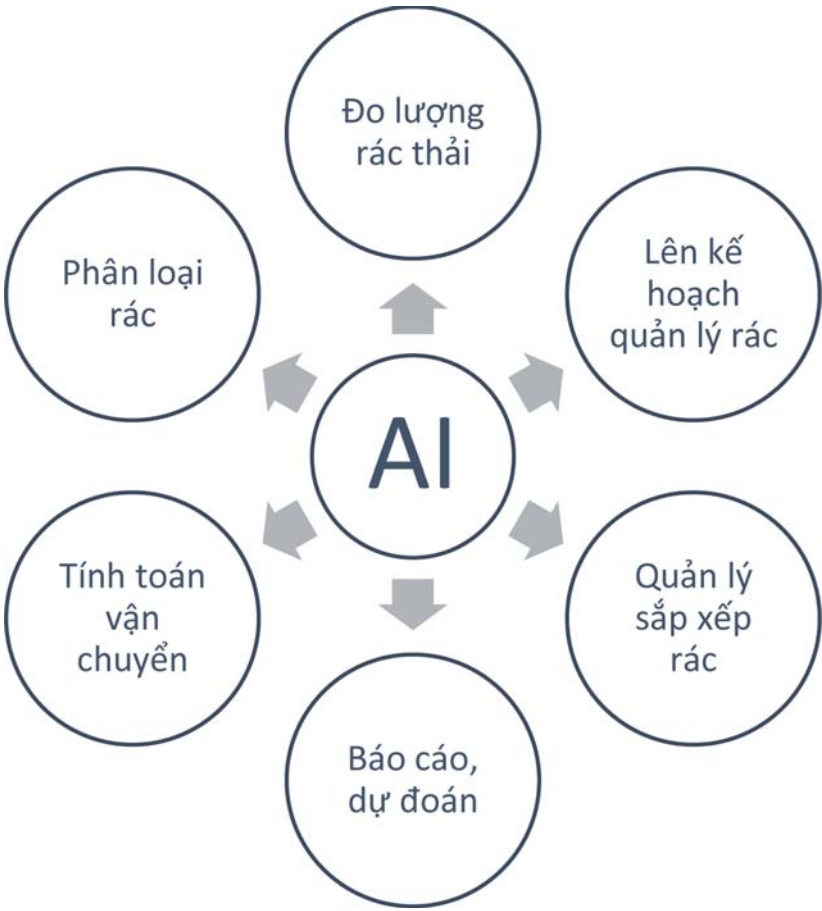
Rác thải đang là một thách thức ngày càng lớn đối với các thành phố trên khắp thế giới. Sự gia tăng dân số, sản xuất và tiêu dùng hàng hóa dẫn đến việc tăng lượng rác thải, gây áp lực lớn đến các hệ thống quản lý rác thải truyền thống. Các hệ thống này thường xuyên gặp phải các vấn đề như quá tải, khó khăn trong việc phân loại, tái chế và xử lý rác thải, và quan trọng hơn cả là ảnh hưởng đến môi trường sống. Với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ tiên tiến như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT) và Tự động hóa (Automation) đã mở ra những cơ hội mới để cải thiện các vấn đề nêu trên. Các công nghệ này có thể áp dụng trong nhiều giai đoạn, từ thu thập dữ liệu về lượng rác thải, xác định chất lượng và loại rác thải, và cải thiện quy trình xử lý rác thải... Đổi mới sáng tạo trong quản lý rác thải có thể giúp tăng khả năng tái chế rác thải và giảm lượng rác thải đưa vào các bãi rác, từ đó giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

Công nghệ AI trong quản lý rác thải

Trong những năm gần đây, công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI) đã trở thành một công cụ quan trọng trong việc quản lý rác thải. Sử dụng AI trong quản lý rác thải giúp giải quyết các thách thức về môi trường và kinh tế bằng cách tạo ra các giải pháp hiệu quả hơn và giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường. Ứng dụng AI trong quản lý rác thải có thể là một hệ thống hoàn chỉnh bao gồm cả phần mềm và phần cứng, hoặc chỉ đơn giản là một phần mềm được cài đặt trên một thiết bị có sẵn. Lấy ví dụ, hệ thống phân loại rác thải tự động bao gồm cả phần cứng (camera giám sát) và phần mềm (thuật toán học sâu), cùng với các bộ xử lý dữ liệu để phân tích và xác định loại rác thải. Các ứng dụng AI trong quản lý rác thải cũng có thể chỉ là một phần mềm được cài đặt trên thiết bị di động hoặc máy tính để bàn, giúp các nhân viên quản lý rác thải thu thập, phân tích và quản lý dữ liệu một cách hiệu quả hơn.

Một số ứng dụng của công nghệ AI trong quản lý rác thải bao gồm:

- Sắp xếp rác tự động: từ hình ảnh thu được, AI có thể phát hiện và phân loại các loại rác khác nhau bằng cách sử dụng các thuật toán



Hình 1: Các ứng dụng của AI trong quản lý rác thải

học máy và xử lý hình ảnh. Điều này giúp cho việc phân loại rác trở nên nhanh chóng, hiệu quả hơn và giảm thiểu lỗi phân loại.

- Dự đoán lượng rác: AI có thể dự đoán lượng rác được sản xuất bằng cách phân tích dữ liệu về lượng rác tiêu thụ, tần suất đổ rác và dữ liệu khác. Việc này giúp các nhà quản lý rác thải có thể lên kế hoạch đối với tài nguyên và nhân lực một cách chính xác hơn, đồng thời giảm thiểu chi phí và tăng tính hiệu quả của việc thu gom và vận chuyển rác.

- Theo dõi các hệ thống quản lý rác thải: Dữ liệu từ các cảm biến có thể được phân tích bởi AI để phát hiện các vấn đề như việc rác chôn cất hoặc chậm chuyển đổi đối với các bãi rác.

- Tối ưu hóa quá trình tái chế: AI có thể tối ưu quá trình tái chế bằng cách phân tích dữ liệu từ các cảm biến và các nguồn khác để xác định những công đoạn không hiệu quả, đề xuất các thay đổi để cải thiện tỷ lệ tái chế và tự động hóa các phần khác nhau của quá trình.

- Dự báo bảo trì: AI có thể được sử dụng để dự đoán khi thiết bị tái chế có khả năng gặp sự cố để bảo trì có thể được lên kế hoạch một cách chủ động, giảm thiểu thời gian chết và giảm chi phí sửa chữa.

- Địa điểm/thiết bị tập kết rác thông minh: AI có thể được sử dụng để giám sát nhằm tối ưu hóa tuyến đường thu gom của chúng, giảm số lượng phương tiện thu gom trên đường và do đó giảm lượng khí thải.

- Báo cáo bền vững: cơ quan quản lý có thể sử dụng AI để tự động hóa việc thu thập và phân tích dữ liệu về nỗ lực bền vững của họ, đặc biệt trong việc giảm rác thải và tái chế, và theo dõi tiến độ.

Công nghệ AI đã được áp dụng thành công trong quản lý rác thải tại nhiều nước trên thế giới, giúp tăng cường hiệu quả quản lý rác thải và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường:

- Nhật Bản: Công ty Fujitsu đã triển khai hệ thống sử dụng AI để phân loại rác thải tại các nhà máy xử lý rác thải. Hệ thống này giúp phân loại rác thải một cách chính xác và nhanh chóng, từ đó tối ưu hóa quá trình xử lý rác thải và giảm thiểu chi phí cho các công ty xử lý rác thải.

- Mỹ: ZenRobotics đã phát triển robot tự động để phân loại rác thải, sử dụng công nghệ học sâu và thu thập dữ liệu từ cảm biến để phân tích rác thải. Hệ thống này giúp tối ưu hóa quá trình phân loại rác thải và giảm thiểu sự cố hỏng hóc của máy móc trong quá trình xử lý.

- Anh: Công ty Winnow đã sử dụng công nghệ AI để giảm thiểu lượng thực phẩm bị lãng phí trong các nhà hàng và khách sạn. Hệ thống này giúp đánh giá lượng thực phẩm bị lãng phí và tìm ra các nguyên nhân gây lãng phí, từ đó đề xuất các giải pháp nhằm giảm thiểu lãng phí thực phẩm.

- Hàn Quốc: Công ty Naver Labs đã phát triển robot tự động để thu gom rác thải tại các khu vực công cộng. Robot này được trang bị cảm biến và hệ thống định vị GPS để thu thập thông tin về khu vực thu gom rác thải và tự động rải thức ăn cho các loài động vật như chim, cá sấu trong các khu vực đó.

- MobiDev là một công ty đa quốc gia đã phát triển một ứng dụng tái chế dựa trên trí tuệ nhân tạo cung cấp các khuyến nghị thời gian thực về cách phân loại rác. Sử dụng các thuật toán thị giác và học máy, ứng dụng có thể nhận diện các loại rác khác nhau và cung cấp thông tin về cách tiêu thụ chúng một cách chính xác. Phương pháp này đơn giản hóa quản lý rác và khuyến khích tái chế thường xuyên hơn, giảm lượng rác kết thúc đổ vào đại dương và các khu đất rác.

Các ví dụ trên cho thấy sức mạnh và tiềm năng của công nghệ AI trong quản lý rác thải. Sự kết hợp giữa công nghệ AI và IoT cũng tạo ra nhiều giải pháp mới cho quản lý rác thải hiệu quả hơn.

Công nghệ IoT và ứng dụng trong quản lý rác thải

IoT (Internet of Things - mạng lưới thiết bị kết nối Internet) là công nghệ cho phép các thiết bị điện tử kết nối và giao tiếp với nhau thông qua Internet. Các thiết bị này có khả năng thu thập dữ liệu và truyền tải thông tin về các hoạt động, quá trình sản xuất, vị trí và trạng thái của chúng.

Việc kết nối và thu thập dữ liệu này giúp cho việc quản lý rác thải được hiệu quả hơn.

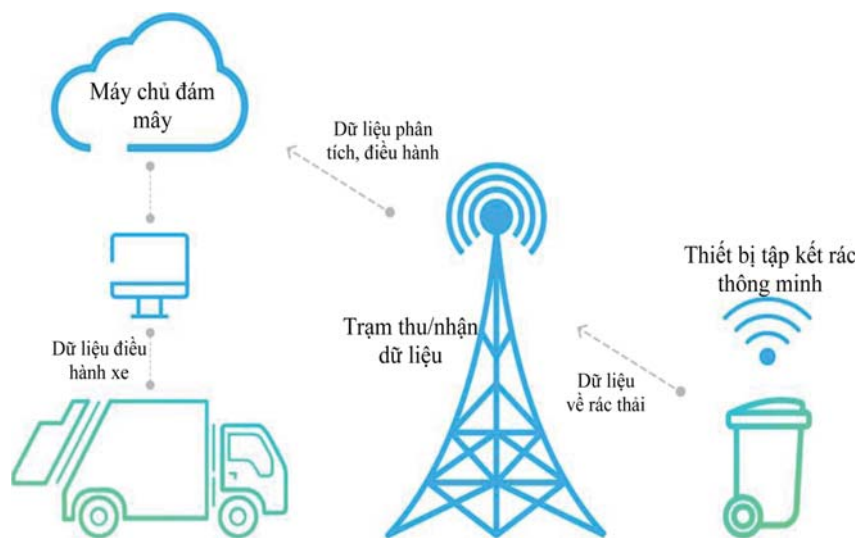
Cụ thể, các thiết bị IoT có thể được lắp đặt trên các thùng rác để thu thập thông tin về mức độ đầy của chúng, loại rác, vị trí của thùng rác. Các dữ liệu này được gửi đến một trung tâm điều khiển, tại đây, dựa vào dữ liệu thống kê người quản lý rác thải có thể kiểm soát việc thu gom, xử lý rác thải một cách hiệu quả hơn.

Nhiều công ty như IBM, Intel, Dell, Cisco, Schneider Electric, Hitachi đã nghiên cứu và triển khai thành công các giải pháp IoT trong quản lý rác thải. Dell đã phát triển một hệ thống IoT giúp kiểm soát các thiết bị thu thập dữ liệu rác thải từ xa. Trong khi đó, công ty Hitachi cũng đã triển khai một hệ thống IoT giúp thu thập thông tin về mức độ đầy của các thùng rác trên đường phố và thông báo đến các đội thu gom rác để lên kế hoạch vận chuyển rác thải phù hợp nhất.

Dưới đây là một số ví dụ cụ thể về ứng dụng công nghệ IoT trong quản lý rác thải từ các nước và các công ty lớn trên thế giới:

- Thành phố Barcelona, Tây Ban Nha đã triển khai một hệ thống thông minh để quản lý rác thải, sử dụng công nghệ IoT để giám sát các thùng rác công cộng. Hệ thống này cho phép quản lý tình trạng đầy và trống của thùng rác và gửi thông tin đến các tài xế xe tải rác để thu gom đúng thời điểm. Hơn nữa, hệ thống còn giúp phân tích dữ liệu về lượng rác được tạo ra và giúp tối ưu hóa quy trình thu gom, giảm thiểu thời gian và chi phí.

- Công ty Ecube Labs, Hàn Quốc: Công ty này đã phát triển các thùng rác thông minh sử dụng công nghệ IoT, giúp giám sát tình trạng đầy và trống của thùng rác và gửi thông tin đến các tài xế xe tải rác để thu gom đúng thời điểm. Các thùng rác này còn được trang bị các cảm biến hương và khí, giúp giám sát mùi hôi và độc hại từ rác. Bên cạnh đó, công ty còn phát triển hệ thống quản lý rác thải toàn diện sử dụng công nghệ IoT, kết hợp với phần mềm quản lý và dịch vụ tư vấn.



Hình 2: Công nghệ IoT trong quản lý rác thải

- Rubicon Global, Hoa Kỳ đã phát triển hệ thống quản lý rác thải thông minh sử dụng công nghệ IoT, giúp giám sát tình trạng đầy và trống của các thùng rác và cung cấp thông tin chi tiết về lượng rác được tạo ra.

- Chúng ta có thể đề cập đến công ty Enevo, một công ty của Phần Lan, đã phát triển các cảm biến IoT để giám sát mức độ đầy của thùng rác. Công nghệ này cho phép các tổ chức quản lý rác thải dự đoán mức độ đầy của các thùng rác và tối ưu hóa việc thu gom rác, từ đó giảm thiểu tình trạng rác thải đầy trên đường phố.

- Tại Singapore, chính phủ đã triển khai hệ thống quản lý rác thải thông minh mang tên "Smart Waste Management System" sử dụng các cảm biến IoT để giám sát tình trạng đầy và trống của các thùng rác trên đường phố. Dữ liệu thu thập được từ hệ thống này sẽ được phân tích để tối ưu hóa việc thu gom rác và đưa ra các giải pháp quản lý rác thải hiệu quả hơn.

Các số liệu thống kê cụ thể về hiệu quả của các công nghệ IoT trong quản lý rác thải cũng rất ấn tượng. Chẳng hạn, theo báo cáo của Enevo, công nghệ IoT đã giúp giảm thiểu tới 50% số lần thu gom rác không cần thiết và giảm chi phí thu gom rác đến 30%. Tại Singapore, hệ thống Smart Waste Management System đã giúp giảm thiểu tình trạng rác thải đầy trên đường phố lên tới 60%.

Tự động hóa trong quản lý rác thải

Trong quản lý rác thải, tự động hóa có thể áp dụng cho nhiều công đoạn khác nhau, từ việc thu gom rác đến xử lý và tái chế.

- Công ty TrashBot, Singapore đã phát triển một loạt các robot tự động để thu gom rác dưới lòng đất, giúp giải quyết vấn đề về không gian và mùi hôi trong thành phố. Các robot này được trang bị cảm biến và hệ thống điều khiển tự động để di chuyển và thu gom rác, đồng thời cũng có thể xử lý rác thải hữu cơ trực tiếp tại chỗ. Theo báo cáo của công ty, mỗi robot có thể thu gom hơn 200 kg rác mỗi ngày và giảm thiểu khoảng 60% thời gian và chi phí so với phương pháp thu gom rác thủ công.

- Hệ thống xử lý rác thải tự động, Hà Lan: Hệ thống này được phát triển bởi công ty Bin-e và được triển khai tại một số khu đô thị ở Hà Lan. Hệ thống này sử dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo để phân loại và xử lý rác thải tự động. Các thùng rác thông minh này được trang bị cảm biến và hệ thống thu thập dữ liệu để giám sát lượng rác được tạo ra và cung cấp dữ liệu cho các hệ thống điều khiển tự động để xử lý rác thải. Theo báo cáo của công ty, hệ thống này có thể giảm thiểu lượng rác thải không cần thiết lên đến 70%, đồng thời giảm chi phí vận hành hệ thống quản lý rác thải.

- Hệ thống tái chế rác thải tự động, Đức: Công ty WTT đã phát triển một hệ thống tái chế rác thải tự động bằng cách sử dụng các robot để tự động phân loại và xử lý rác thải. Hệ thống này có thể xử lý khoảng 20 tấn rác thải mỗi giờ và phân loại rác thành 18 loại khác nhau, đảm bảo hiệu quả và tính toàn vẹn của quá trình tái chế.

- Công ty Ecovacs Robotics, Trung Quốc: Công ty này đã phát triển robot đa năng có thể dọn dẹp rác thải và bụi bẩn trong các khu vực công cộng và trong các tòa nhà. Robot được trang bị các cảm biến để phát hiện các vật thể trên đường đi và tránh chúng. Công ty Ecovacs Robotics đã triển khai robot đa năng này tại các khu vực công cộng ở Trung Quốc và đã thu hút được sự quan tâm của nhiều chính quyền địa phương và doanh nghiệp.

- Các ứng dụng tự động hóa trong quản lý rác thải có thể giúp tiết kiệm chi phí và thời gian, tăng tính hiệu quả và giảm thiểu tác động của rác thải đến môi trường. Theo một nghiên cứu của Frost & Sullivan, thị trường tự động hóa trong quản lý rác thải có thể đạt giá trị lên tới 27 tỷ USD vào năm 2022.

Các lợi ích của tự động hóa trong quản lý rác thải đã đề cập dựa trên những nghiên cứu và kinh nghiệm của các quốc gia và tổ chức quốc tế, bao gồm cả những nước đang phát triển. Tuy nhiên, việc áp dụng các giải pháp này ở từng nước lại phụ thuộc vào nhiều yếu tố như nguồn lực, địa lý, văn hóa, chính trị, kinh tế, xã hội, pháp luật, quy định và những thách thức đặc thù của từng quốc gia.

Ở các nước đang phát triển, việc quản lý rác thải vẫn còn gặp nhiều thách thức như quá tải rác thải, chất thải không được xử lý đúng cách, thói quen vứt rác bừa bãi, thiếu nguồn lực và hệ thống hạ tầng, chính sách và quy định chưa đầy đủ, tỉ lệ tái chế còn thấp.

Việc áp dụng tự động hóa trong quản lý rác thải ở những quốc gia này vẫn có thể đem lại một số lợi ích nhất định, cụ thể như:

- Tiết kiệm chi phí: Tự động hóa quy trình thu gom và xử lý rác thải giúp giảm thiểu chi phí cho việc thuê nhân công, điều hành xe thu gom, xử lý rác thải. Đồng thời, giảm thiểu các chi phí liên quan đến việc vận hành các trạm xử lý rác thải.

- Giảm thiểu ô nhiễm: Tự động hóa giúp giảm thiểu tình trạng rác thải bị bỏ lãng trên đường phố, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe của người dân.

- Nâng cao hiệu quả quản lý: Tự động hóa quy trình quản lý rác thải giúp tăng khả năng giám sát, đánh giá và quản lý các hoạt động liên quan đến rác thải, đảm bảo tính hiệu quả và minh bạch của quy trình.

- Khả năng xử lý rác thải tăng cao: Tự động hóa quy trình xử lý rác thải giúp tăng khả năng xử lý rác thải, đảm bảo an toàn cho môi trường và sức khỏe của người dân.

- Tạo ra cơ hội kinh doanh mới: Tự động hóa quy trình quản lý rác thải cũng tạo ra cơ hội kinh doanh mới cho các doanh nghiệp liên quan đến lĩnh vực này, đặc biệt là các công ty công nghệ.

Mô hình tổng thể ứng dụng cả AI, IoT và tự động hóa cho hệ thống quản lý rác thải sẽ bao gồm các bước sau:

- Thu thập dữ liệu: Các cảm biến IoT sẽ được sử dụng để thu thập dữ liệu từ các địa điểm/phương tiện tập trung rác thải, bao gồm số lượng rác được tạo ra, mức độ đầy của các địa điểm/thùng rác và thời gian thu gom rác.

- Phân tích dữ liệu: Hệ thống quản lý dựa trên đám mây sử dụng công nghệ AI để phân tích nhằm đưa ra các đánh giá, dự đoán, quyết định.

- Tối ưu hóa lộ trình thu gom rác: Dựa trên dữ liệu thu thập được và kết quả phân tích của hệ thống, AI sẽ giúp tối ưu hóa lộ trình thu gom rác để giảm thiểu thời gian và chi phí thu gom rác.

- Tự động hóa quá trình thu gom rác: Hệ thống sẽ sử dụng các robot và



Hình 3: Mô hình ứng dụng AI, IoT và tự động hóa cho hệ thống quản lý rác thải

thiết bị tự động để thu gom và vận chuyển rác đến các trung tâm xử lý rác. Thiết bị này sẽ được điều khiển bằng các tín hiệu điều khiển được sinh ra bởi hệ thống quản lý.

- Xử lý và tái chế rác thải: Các công nghệ tái chế rác thải sẽ được sử dụng để xử lý và tái chế rác thải thu thập được. Hệ thống sẽ sử dụng các robot để phân loại rác và xử lý theo từng loại.

- Đánh giá và theo dõi hiệu quả: Hệ thống sẽ thu thập các dữ liệu về hiệu quả của quá trình quản lý rác thải, bao gồm lượng rác được thu gom, lượng rác tái chế và giảm thiểu lượng rác đưa đến các khu vực xử lý rác. Dữ liệu này sẽ được phân tích và đánh giá để đưa ra các cải tiến và nâng cao hiệu quả của hệ thống.

Mô hình này giúp cho quá trình quản lý rác thải trở nên hiệu quả hơn và có thể giúp giảm thiểu được các vấn đề môi trường và sức khỏe con người được bảo vệ hơn. Cụ thể, sử dụng công nghệ AI trong quản lý rác thải giúp tối ưu hóa việc thu gom và xử lý rác thải, giảm thiểu các khoảng thời gian không cần thiết và tăng cường tính chính xác trong quá trình phân loại rác thải. Sử dụng công nghệ IoT giúp giám sát tình trạng đầy và trống của các thùng rác, cung cấp thông tin chi tiết về lượng rác được tạo ra và tình trạng của các thùng rác. Sử dụng tự động hóa giúp tăng tính hiệu quả và giảm thiểu sự can thiệp

của con người trong quá trình xử lý rác thải, từ đó giảm thiểu nguy cơ tai nạn và tăng tính an toàn trong quá trình quản lý rác thải. Tổng hợp các công nghệ này vào một hệ thống duy nhất giúp cho quá trình quản lý rác thải trở nên thông minh hơn và hiệu quả hơn, đồng thời giảm thiểu tác động xấu của rác thải đến môi trường và sức khỏe con người.

Để thu thập dữ liệu từ các cảm biến IoT trong quá trình quản lý rác thải sử dụng AI và tự động hóa, hệ thống cơ bản gồm các thành phần sau:

- Các cảm biến IoT: Các cảm biến này có thể bao gồm cảm biến lượng rác, cảm biến độ ẩm, cảm biến nhiệt độ, cảm biến chất lượng không khí, v.v.

- Thiết bị thu thập dữ liệu: Thiết bị này có thể là một bộ trung tâm điều khiển, một bộ giao tiếp dữ liệu hoặc một trung tâm dữ liệu.

- Hệ thống lưu trữ dữ liệu: Để lưu trữ dữ liệu được thu thập từ các cảm biến, hệ thống sẽ cần một cơ sở dữ liệu có khả năng lưu trữ và xử lý các dữ liệu theo thời gian thực.

- Phần mềm quản lý dữ liệu: Để quản lý các dữ liệu được thu thập từ các cảm biến, hệ thống sẽ cần một phần mềm để lưu trữ và quản lý các dữ liệu này.

- Hệ thống AI và phần mềm tự động hóa: Để xử lý dữ liệu được thu thập và quản lý rác thải một cách tự động, hệ thống sẽ cần các phần mềm AI và tự động hóa.

- Các thiết bị tự động hóa: Để thực hiện các hoạt động như phân loại rác, tách chất thải, vận chuyển và tái chế, hệ thống sẽ cần các thiết bị tự động hóa như robot, máy móc, thiết bị định vị và cảm biến vị trí.

Các thiết bị và phần mềm được kết nối thành một hệ thống quản lý rác thải toàn diện, sử dụng các công nghệ AI, IoT và tự động hóa, đã được triển khai rộng rãi ở nhiều nước và đã được sử dụng để tăng cường hiệu quả trong quản lý rác thải. Tuy nhiên, việc triển khai các giải pháp này ở Việt Nam có thể đối mặt với một số thách thức.

Một số thách thức bao gồm:

- Thách thức về nguồn lực: Việc triển khai các giải pháp phân loại rác sử dụng công nghệ cao cần

nhiều nguồn lực, bao gồm hệ thống và nhân lực. Để triển khai các giải pháp này, cần phải đầu tư một khoản kinh phí lớn để mua các thiết bị phần cứng, phần mềm, và đào tạo nhân lực.

- Thách thức về hạ tầng: Hạ tầng ở Việt Nam hiện đang còn khá lạc hậu, đặc biệt là trong lĩnh vực quản lý rác thải. Nhiều địa phương vẫn đang sử dụng các phương pháp truyền thống để thu gom và xử lý rác thải, do đó cần nâng cấp hạ tầng để đáp ứng được yêu cầu của công nghệ.

- Thách thức về nhận thức và ý thức của cộng đồng: nhiều người dân ở Việt Nam vẫn chưa có ý thức về việc phân loại rác và thường xuyên vứt rác vào chung một thùng. Việc ứng dụng công nghệ hiện đại cần phải đi kèm với việc tăng cường giáo dục và nâng cao nhận thức của cộng đồng.

Trong trường hợp của Việt Nam, việc triển khai ở quy mô nhỏ hơn có khả năng thành công cao hơn, chẳng hạn như các khu dân cư cao cấp hoặc các khu công nghiệp. Các khu vực này

thường có hạ tầng tốt hơn và có sự quan tâm lớn đến vấn đề môi trường và bền vững. Ngoài ra, các công ty tư nhân trong lĩnh vực tái chế cũng có thể sử dụng các giải pháp công nghệ tiên tiến để tối ưu hóa quy trình sản xuất và quản lý rác thải của mình. Việc triển khai trên quy mô lớn hơn, chẳng hạn như toàn bộ thành phố hoặc tỉnh, phải được tính toán kỹ về chi phí, sự phức tạp hóa quy trình và sự tương tác với các bộ phận chức năng khác.

Ngoài các khu vực và quy mô nêu trên, một trong những địa điểm có thể triển khai hiệu quả công nghệ cao trong quản lý rác thải ở Việt Nam là các trạm thu gom rác thải công cộng. Các trạm thu gom rác thải này thường được đặt tại các khu vực đông dân cư và sản sinh ra lượng rác thải lớn. Sử dụng các giải pháp công nghệ cao để phân loại rác thải tại các trạm thu gom này có thể giúp tăng hiệu quả quản lý rác thải, giảm chi phí vận chuyển và tái chế rác thải, đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.❖

Danh mục tài liệu tham khảo

1. "Waste Management Using IoT-Enabled Intelligent Bins" của N. R. Verma, A. K. Verma và P. Kumar, Advances in Intelligent Systems and Computing năm 2020.
2. "Application of IoT in Waste Management" của S. K. Singh và A. Singh, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering năm 2020.
3. "Waste management in smart cities: Artificial intelligence, IoT and big data as key enablers" của N. Khalifa et al., Waste Management & Research năm 2020.
4. "Waste Bin Detection and Notification System using IoT" của M. S. Hossain et al., International Journal of Advanced Computer Science and Applications năm 2020.
5. "A Systematic Review of Waste Management Using IoT" của S. H. Khan et al., IEEE Access năm 2020.
6. "Smart waste management systems: A review of the literature and directions for future research" của M. Z. Uddin và H. Shi, Journal of Cleaner Production năm 2020.
7. "Smart Waste Management Using IoT and Cloud Computing: A Systematic Review" của A. Javaid et al., IEEE Internet of Things Journal năm 2021.
8. "Smart Waste Management in Smart Cities: A Review" của M. H. Al Mamun et al., Sustainability năm 2021.
9. "A Review of Artificial Intelligence in Waste Management: Techniques, Applications, and Challenges" của M. A. Alshehri et al., Waste Management & Research năm 2021.
10. "IoT-based Smart Waste Management System using Wireless Sensor Networks" của S. S. P. Rani et al., International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering năm 2021.
11. "Development of an IoT-based solid waste monitoring system in a developing country context" - Tác giả: B.S. Mohammed, A. Ahmed, A. Aziz, and A. Ali - Tạp chí: Environmental Science and Pollution Research (2021)
12. "Smart Waste Management using IoT and Machine Learning in Developing Countries" - Tác giả: V. A. Asfaw, B. A. Al Ghaithi, and A. M. Al Hinaï - Tạp chí: IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (2020)
13. Đề xuất mô hình ứng dụng công nghệ IoT cho hệ thống quản lý rác thải đô thị tại TP. HCM, Trần Phúc Thịnh và Đỗ Hữu Chính, Hội thảo khoa học Công nghệ thông tin và truyền thông toàn quốc - NICS-TTC 2020.
14. Tình hình ứng dụng công nghệ IoT và AI trong quản lý rác thải tại Việt Nam và thế giới, Đinh Viết Hưng, Tạp chí Công nghệ thông tin và Truyền thông, Số 6(155), trang 40-43, 2021.
15. Báo cáo của Tổ chức Bảo vệ Môi trường Liên Hợp Quốc (UNEP) về lượng rác thải đô thị toàn cầu.