



BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

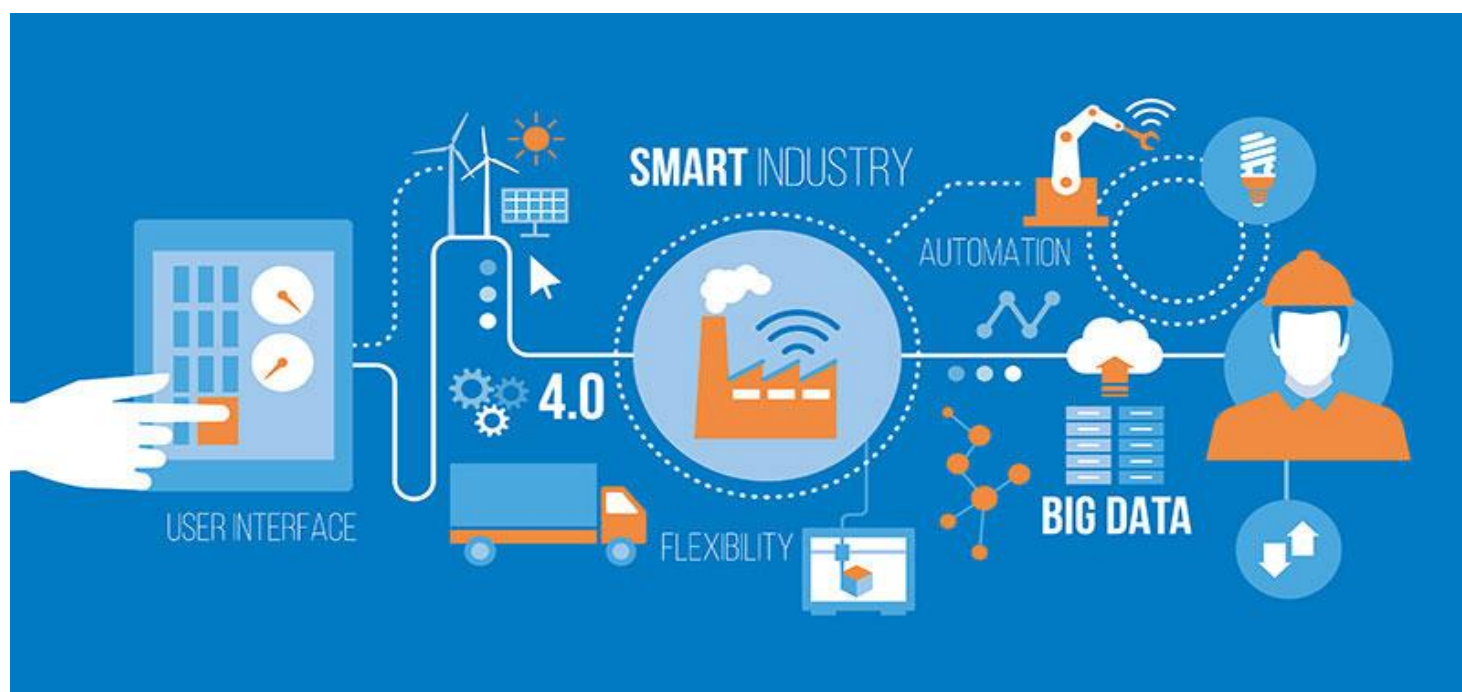
**TỔNG
LUẬN**

**KHOA HỌC
CÔNG NGHỆ
KINH TẾ**

ISSN 0866 - 7721

Số 7 - 2022

HỆ THỐNG SẢN XUẤT THÔNG MINH TRONG THỜI ĐẠI CÔNG NGHIỆP 4.0



Hà Nội, tháng 6-2022

CỤC THÔNG TIN VÀ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội.

Tel: (024) 38262718, Fax: (024) 39349127

BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Đắc Hiến (Trưởng ban); ThS. Trần Thị Thu Hà (Phó Trưởng ban)

KS. Nguyễn Mạnh Quân; ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiên

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT.....	2
TÓM TẮT	3
I. KHUNG KHÁI NIỆM VỀ SẢN XUẤT THÔNG MINH.....	5
1.1 Định nghĩa về sản xuất thông minh và một số thuật ngữ liên quan	5
1.2. Nền tảng cốt lõi của hệ thống sản xuất thông minh trong Công nghiệp 4.0	7
II. XU HƯỚNG TƯƠNG LAI CỦA SẢN XUẤT THÔNG MINH.....	14
2.1 Mục tiêu và yêu cầu.....	14
2.2 Vai trò của con người và robot trong nhà máy sản xuất thông minh	21
2.3 Các kịch bản của Sản xuất thông minh và Nhà máy thông minh.....	28
2.4 Tương lai của Sản xuất thông minh và Nhà máy thông minh.....	36
2.5 Sản xuất thông minh: nhìn từ Đài Loan (Trung Quốc)	41
KẾT LUẬN	44
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	45

LỜI NÓI ĐẦU

Cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư đang tạo ra những cải cách công nghệ tại nhiều quốc gia trên thế giới. Trong đó, sản xuất thông minh trở thành một xu thế tất yếu với việc ứng dụng công nghệ số hóa vào hoạt động sản xuất nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm, dịch vụ và năng suất lao động, tiết kiệm đáng kể chi phí, đặc biệt là chi phí nhân công, bảo vệ môi trường cũng như tăng cường khả năng cạnh tranh và hiệu quả trong kinh doanh.

Mục tiêu của sản xuất thông minh là trang bị cho ngành công nghiệp chế tạo những công nghệ hiện đại, các hệ thống tích hợp định hướng dữ liệu, các hướng dẫn quản lý và phương pháp tiếp cận tiên tiến để tối ưu hóa toàn bộ quy trình sản xuất, nâng cao hiệu quả và tính linh hoạt của các môi trường sản xuất hiện có.

Sản xuất thông minh có vai trò hết sức quan trọng đối với năng lực cạnh tranh của các quốc gia trong nền kinh tế toàn cầu. Khi công nghệ phát triển, số hóa trở thành một yếu tố cốt lõi, cảm biến và thiết bị đo thông minh mang lại nhiều thứ hơn, chẳng hạn như cung cấp thông tin trạng thái thời gian thực về quy trình hoạt động sản xuất, bao gồm trạng thái của thiết bị hoặc sản phẩm, cung cấp thông tin giúp dự đoán trước các vấn đề có thể xảy ra, từ đó nhanh chóng đưa ra các quyết định một cách tự chủ.

Sản xuất thông minh có khả năng đáp ứng linh hoạt với thời gian sản xuất thực tế, không chỉ giới hạn ở một địa điểm, nhà máy hoặc một phân xưởng, một đơn sản xuất mà có thể tối ưu hóa theo mạng lưới nhiều đơn vị sản xuất trong cùng hệ thống. Vì thế, doanh nghiệp có thể tối ưu hóa quá trình sản xuất, tăng năng suất, tạo ra các sản phẩm mới có chất lượng cao hơn, không gian sản xuất được mở rộng,...

Đối với Việt Nam, sản xuất thông minh còn khá mới mẻ và cần có những cơ chế chính sách để có thể hỗ trợ và khuyến khích phát triển. Chúng ta sẽ hưởng lợi từ thành quả của robot, máy móc thông minh, kết nối vạn vật công nghiệp và các phần mềm sẽ sử dụng trong nhà máy thông minh cho dù thực tế hành trình xây dựng thế hệ nhà máy thông minh vẫn còn gặp nhiều thách thức. Tổng luận "Hệ thống sản xuất thông minh trong thời đại công nghiệp 4.0" nhằm cung cấp cho bạn đọc những hiểu biết cơ bản về hệ thống sản xuất thông minh, vai trò của con người và robot công nghiệp trong các nhà máy thông minh, cùng với những thách thức hiện tại và triển vọng tương lai của nó.

Xin trân trọng giới thiệu.

**CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ QUỐC GIA**

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

AGV	- Xe tự hành
AI	- Trí tuệ nhân tạo
AR	- Thực tế ảo tăng cường
CAD	- Thiết kế trên máy tính
CAM	- Chế tạo có sự giúp đỡ của máy tính
CMM	- Máy đo tọa độ
CMT	- Công nghệ hàn kim loại nguội
CNTT	- Công nghệ thông tin
CNTT-TT	- Công nghệ thông tin và truyền thông
CPMT	- Máy công cụ thực - ảo
CPPS	- Hệ thống sản xuất thực - ảo
CPS	- Hệ thống thực - ảo
DNN	- Mạng nơron sâu
EHS	- Môi trường sức khỏe và an toàn
HMI	- Giao diện người - máy
HRC	- Hệ thống cộng tác giữa người và robot
IIoT	- Internet kết nối vạn vật trong công nghiệp
IoP	- Internet kết nối con người
IoT	- Internet vạn vật
LMD	- Lắng đọng kim loại bằng laser
PHM	- Thuật toán tiên lượng và quản lý sức khỏe
RFID	- Công nghệ nhận dạng qua tần số vô tuyến
SMO	- Đối tượng sản xuất thông minh
SMS	- Hệ thống sản xuất thông minh
STEP-NC	- Tiêu chuẩn trao đổi dữ liệu mô hình sản phẩm để kiểm soát số
VR	- Thực tế ảo
WAAM	- Công nghệ sản xuất bồi đắp

TÓM TẮT

Các ngành công nghiệp là động lực chính của nền kinh tế quốc gia và sự thịnh vượng của quốc gia. Hiệu suất làm việc tốt và công nghệ kỹ thuật tiên tiến của chúng sẽ mang lại một nền kinh tế phát triển mạnh mẽ, có khả năng cạnh tranh cao.

Khái niệm Công nghiệp 4.0 đề cập đến cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, công nghiệp thông minh, công nghiệp kết nối hoặc công nghiệp mạng.

Các công nghệ - cụ thể là công nghệ thông tin và truyền thông (CNTT-TT) - đang trải qua sự phát triển theo cấp số nhân và rất nhiều công nghệ đột phá như điện toán đám mây, Internet của Vạn vật (IoT), phân tích dữ liệu lớn, cũng như trí tuệ nhân tạo đang liên tục xuất hiện. Những công nghệ mới này hiện đang thâm nhập sâu vào lĩnh vực sản xuất và đóng vai trò là động lực chính cho ngành sản xuất trong việc giải quyết những thách thức hiện tại khi chuyển đổi hệ thống sản xuất lên cấp độ thông minh bao gồm yêu cầu tùy chỉnh nhanh chóng, chất lượng ngày càng nâng cao hơn, thời gian đưa ra thị trường ngắn hơn.

Sự phát triển nhanh chóng của công nghệ này đã mang đến nhiều đột phá cho ngành công nghiệp sản xuất, làm cho quá trình sản xuất trở nên linh hoạt, năng động, nhanh chóng và khách hàng có thể tham gia vào cùng quá trình kiểm soát sản phẩm, tạo nên một chuỗi giá trị đặc trưng có khả năng thích ứng, hiệu quả, tạo ra được bước nhảy vọt về chất lượng trong việc tổ chức và kiểm soát toàn bộ chuỗi giá trị trong suốt vòng đời sản xuất và phân phối sản phẩm.

Tuy nhiên, hiện tại không có khuôn khổ mang tính hệ thống về các hệ thống sản xuất thông minh cho Công nghiệp 4.0 để có thể dễ dàng xác định được trong cả thực tiễn và nghiên cứu học thuật để từ đó có thể hướng dẫn triển khai trong tương lai.

Việc kết nối thiết bị sản xuất vật lý và các thiết bị qua Internet cùng với các phân tích dữ liệu lớn trong thế giới kỹ thuật số (ví dụ: đám mây) có thể mang đến một mô hình sản xuất mang tính cách mạng đó là Hệ thống sản xuất thực - ảo (Cyber-Physical Production Systems (CPPS)).

Hệ thống thực-ảo (CPS) tích hợp các quy trình sản xuất và quy trình kinh doanh, mở đường cho các nhà máy thông minh phát triển. Trong các nhà máy thông minh, các sản phẩm, tài nguyên và quy trình được quyết định và kiểm soát bởi CPS. Thiết lập này mang lại lợi thế về chất lượng, thời gian, nguồn lực và chi phí so với các hệ thống sản xuất cổ điển. Sự kết hợp giữa công nghệ và sản xuất hiện đại thông qua CPS mang lại gắn kết thế giới thực và ảo. Việc áp dụng rộng rãi CPS trong môi trường sản xuất làm cho các hệ thống sản xuất thông minh hơn và tự chủ hơn. Việc triển khai lắp

đặt các cảm biến (ví dụ: máy công cụ), thiết bị sản xuất sẽ có thể tự cảm nhận hoạt động, tự hành động và cũng có thể tự giao tiếp với nhau. Ngoài ra, nhờ những công nghệ này, có thể nắm bắt và chia sẻ dữ liệu sản xuất theo thời gian thực, từ đó có thể giúp đưa ra các quyết định nhanh chóng và chính xác. Các ứng dụng rộng rãi của CPS (hoặc CPPS) cũng đánh dấu sự ra đời giai đoạn thứ tư của sản xuất công nghiệp 4.0. Trí tuệ nhân tạo và học sâu có thể được sử dụng để giải quyết những thách thức về sự không đảm bảo chắc chắn và sự phức tạp của quá trình sản xuất, bằng cách dự đoán các vấn đề hoặc sự thất bại trong tương lai trước khi chúng xảy ra trong thực tế.

Tổng luận “Hệ thống sản xuất thông minh trong thời đại công nghiệp 4.0” trình bày một khung khái niệm về các hệ thống sản xuất cho Công nghiệp 4.0 và vai trò của con người và robot công nghiệp trong các nhà máy thông minh, giới thiệu một số kịch bản minh họa bao gồm các chủ đề chẳng hạn như thiết kế thông minh, gia công thông minh, giám sát thông minh, điều khiển thông minh, triển khai công nghiệp và lịch trình thông minh. Dựa trên các kịch bản trình diễn, các công nghệ chính như IoT, CPS và phân tích dữ liệu lớn cho ngành, các khía cạnh của hệ thống sản xuất thông minh 4.0 sẽ được xem xét. Những thách thức hiện tại và viễn cảnh tương lai cũng được nhấn mạnh.

I. KHUNG KHÁI NIỆM VỀ SẢN XUẤT THÔNG MINH

Sự phát triển công nghiệp đã trải qua bốn giai đoạn chính, từ những máy móc đơn giản nhất cho đến những máy móc tinh vi, thông minh và phức tạp nhất. Năm 2016, Warren G. Bennis nói ví von: *“Nhà máy của tương lai sẽ có hai nhân viên: một người và một chú chó. Nhiệm vụ của con người sẽ là cho chú chó “ăn” còn nhiệm vụ của chú chó là canh gác con người không chạm vào các hệ thống tự động”*. Trích dẫn này mô tả những kỳ vọng, nhận thức và niềm tin vào việc triển khai Công nghiệp 4.0.

Nỗ lực to lớn đã được thực hiện để có thể hiện thực hóa khái niệm Công nghiệp 4.0 và các mức độ tương đương của nó đã diễn ra trên khắp các châu lục khác nhau (Công nghiệp 4.0 ở Châu Âu, Kế hoạch sản xuất Made in China 2025 ở Trung Quốc, Sản xuất tiên tiến ở Hoa Kỳ, Xã hội siêu thông minh ở Nhật Bản). Thách thức và hạn chế chính trong bất kỳ trường hợp nào đó là sự cân bằng giữa con người và tự động hóa. Thông qua tự động hóa, trí tuệ nhân tạo và cảm biến mới, Công nghiệp 4.0 sẽ tạo ra một quy trình sản xuất và phân phối mới. Bằng cách này, các quy trình xử lý công việc chuyên nghiệp sẽ được số hóa, robot sẽ thực hiện các công việc (hoặc cộng tác làm việc) còn con người sẽ chịu trách nhiệm giám sát quá trình sản xuất và đảm bảo chất lượng liên quan khác. Các khu vực sản xuất, nơi triển khai hoạt động sản xuất, còn được gọi là nhà máy sản xuất thông minh. Chúng thông minh theo cách trong đó các thiết bị máy sản xuất được phối hợp với nhau liên tục và có tính năng tự điều khiển trong khi đó vẫn đảm bảo được tính hiệu quả làm việc cao nhất (sản xuất thông minh). Để đạt được mức độ tự động hóa cao nhất, kết hợp với tính linh hoạt như vậy, các kỹ năng của con người phải mô tả được và chuyển giao cho các máy móc tự động (ví dụ: robot công nghiệp). Nếu điều này không thể hiện thực được thì sẽ cần có sự cộng tác làm việc thích hợp giữa con người và máy móc.

Cho đến nay, các giải pháp chủ yếu tập trung vào các ứng dụng có giới hạn và chưa tạo ra được một hệ thống hoàn chỉnh.

1.1 Định nghĩa về sản xuất thông minh và một số thuật ngữ liên quan

Sản xuất thông minh

Cách mạng công nghiệp lần thứ tư (CMCN 4.0) là một giai đoạn mới cho các hệ thống sản xuất, đặc biệt là các hệ thống sản xuất thông minh (SMS), có thể đáp ứng nhanh chóng các yêu cầu về tối ưu hóa và cạnh tranh toàn cầu. Nhờ vào sự phát triển mạnh mẽ của khoa học và các công nghệ tiên tiến hiện đại như IoT, AI, điện toán đám mây... CMCN 4.0 đã và đang tạo ra những thay đổi mạnh mẽ về các phương thức sản xuất, trong đó nền tảng của hệ thống sản xuất thông minh chính là “hệ thống thực -

ảo” (Cyber-Physical Systems, CPS).

Theo định nghĩa của Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ (NIST), sản xuất thông minh là hệ thống được tích hợp đầy đủ, thích ứng với điều kiện thay đổi trong mạng lưới cung ứng tổng thể của doanh nghiệp và nhu cầu của khách hàng theo thời gian thực. Do đó, sản xuất thông minh tích hợp các thiết bị sản xuất với các cảm biến, nền tảng điện toán, CNTT-TT, mô hình hóa dữ liệu, điều khiển, mô phỏng và kỹ thuật dự đoán. Sản xuất thông minh sử dụng các công nghệ về CPS, IoT, AI, điện toán đám mây và khoa học dữ liệu..., đưa sản xuất chính thức trở thành trụ cột quan trọng của cách mạng công nghiệp lần thứ tư. Liên minh lãnh đạo sản xuất thông minh (SMLC) định nghĩa: “Sản xuất thông minh là khả năng giải quyết các vấn đề hiện tại và tương lai thông qua hạ tầng mở cho phép các giải pháp kinh doanh được thực hiện, tạo ra giá trị lợi thế cho doanh nghiệp trong chuỗi cung ứng toàn cầu”.

Từ góc độ kỹ thuật, kết nối thông minh (IoT và CPS) và quyết định chính xác (Dữ liệu lớn, AI và Điện toán đám mây), sản xuất thông minh lại được định nghĩa như sau:

Định nghĩa 1: Từ quan điểm kỹ thuật, sản xuất thông minh là một ứng dụng tăng cường của các hệ thống thông minh tiên tiến, cho phép sản xuất nhanh chóng các sản phẩm mới, đáp ứng năng động với yêu cầu sản phẩm và tối ưu hóa thời gian thực các phương thức sản xuất và mạng lưới chuỗi cung ứng. Trong khi đó, SMS là nền tảng mới, tích hợp sản phẩm, hoạt động và hệ thống kinh doanh bao gồm các nhà máy, trung tâm phân phối, công ty và toàn bộ chuỗi cung ứng trong một môi trường giàu tri thức. Trong SMS, tất cả các khía cạnh của sản xuất đều được kết nối, từ thu nhận nguyên liệu cho đến cung cấp thành phẩm thông minh hoàn chỉnh cho khách hàng.

Định nghĩa 2: Từ khía cạnh kết nối và truyền thông (chia sẻ thông tin), sản xuất thông minh sử dụng cảm biến và CNTT-TT để thu thập dữ liệu ở tất cả các giai đoạn sản xuất, SMS ngày càng trở nên thông minh ở chỗ tốc độ sản xuất được tăng lên, trong khi lỗi và phế thải sản xuất được giảm bớt.

Định nghĩa 3: Từ góc độ phân tích dự báo và ra quyết định, dữ liệu mọi lúc mọi nơi và dễ tiếp cận tạo thành môi trường dữ liệu lớn, giúp cho các doanh nghiệp sản xuất đưa ra được các dự báo chính xác hơn, cân bằng sản xuất và cải thiện hiệu quả và năng suất sản xuất của họ hơn. SMS dựa trên dữ liệu lớn sẽ tối ưu hóa việc lập kế hoạch và kiểm soát các hoạt động sản xuất bao gồm hoạt động cung cấp dự đoán, sản xuất dự đoán, chẩn đoán lỗi, hiệu quả sử dụng tài sản của công ty và đánh giá các nguy cơ rủi ro...

Sản xuất thông minh có cơ hội lớn kết nối với tất cả các công nghệ mới hiện đại như điện toán đám mây, IoT, phân tích dữ liệu lớn và AI. Những công nghệ này được sử dụng để thu thập thông tin thời gian thực, trích xuất tri thức và đưa ra các quyết định sáng suốt. AI và học sâu được dùng để giải quyết những thách thức không chắc chắn và phức tạp của quá trình sản xuất, bằng cách dự đoán các vấn đề hoặc các lỗi trong tương lai trước khi chúng xảy ra trong cuộc sống thực. Quá trình kết nối thế giới ảo và vật lý thông qua CPS, tạo ra quá trình tích hợp các quy trình sản xuất và quy trình kinh doanh, mở đường cho các nhà máy thông minh. Bên trong các nhà máy thông minh, các sản phẩm, nguồn tài nguyên và các quy trình do CPS quyết định và kiểm soát. Thiết lập này mang lại lợi thế về chất lượng, thời gian, nguồn lực và chi phí hơn so với các hệ thống sản xuất truyền thống.

Sự khác biệt của sản xuất thông minh so với các phương thức sản xuất truyền thống ở chỗ có sự tham gia “linh hoạt” của con người cùng nhiều công nghệ khác nhau (như CPS, IoT, robot, tự động hóa, phân tích dữ liệu lớn và AI...). Sản xuất thông minh giúp tối ưu hóa toàn bộ hệ thống sản xuất; sản xuất bền vững, phát triển chuỗi cung ứng linh hoạt, đáp ứng yêu cầu của khách hàng trong khoảng thời gian ngắn nhất.

Nhà máy thông minh

“Nhà máy thông minh” là thuật ngữ được sử dụng bên cạnh các khái niệm khác như: Internet kết nối vạn vật trong công nghiệp (IIoT) và CPS để chỉ nhà máy thông minh. Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, phạm vi của nhà máy thông minh là tập trung cải thiện, nâng cao năng suất, hoạt động sản xuất của doanh nghiệp ở cấp độ nhà máy. Trong đó, phạm vi của sản xuất thông minh lại tập trung để cải thiện, nâng cao năng suất, hoạt động sản xuất của doanh nghiệp từ cấp độ nhà máy, mạng lưới cung cấp, mạng lưới phân phối đến chuỗi cung ứng.

Internet công nghiệp

Internet công nghiệp là sự hợp nhất của máy móc công nghiệp và phần mềm công nghệ. Sự khác biệt lớn nhất giữa Internet công nghiệp và sản xuất thông minh là phạm vi của Internet công nghiệp chỉ tập trung chủ yếu vào máy móc công nghiệp ở cấp độ nhà máy, còn sản xuất thông minh là mạng lưới cung cấp tổng thể. Do đó, Internet công nghiệp là nền tảng để tối ưu hóa hệ thống sản xuất thông minh.

1.2. Nền tảng cốt lõi của hệ thống sản xuất thông minh trong Công nghiệp 4.0

Hệ thống thực - ảo

CMCN 4.0 mở ra kỷ nguyên của các thiết bị, máy móc thông minh, dây chuyền sản xuất được kết nối, kích hoạt và điều khiển lẫn nhau mà trong đó giảm thiểu sự tham gia của con người.

Nền tảng cốt lõi của sản xuất thông minh chính là CPS. Nền tảng này bao gồm: “hệ thống sản xuất thực” (hệ thống sản xuất vật lý gồm: máy móc, phương tiện, các quy trình sản xuất...) và “hệ thống sản xuất ảo” (hệ thống sản xuất mạng gồm: công nghệ nhận dạng qua tần số vô tuyến (RFID), công nghệ cảm biến, công nghệ vi xử lý, công nghệ thông tin viễn thông; “hệ thống nhúng”).

CPS cung cấp hình ảnh tổng quan về sản xuất thông minh đối với vòng đời của một sản phẩm, bắt đầu từ giai đoạn thiết kế sản phẩm, sản xuất, kinh doanh, bảo trì, khai thác và tái chế sản phẩm đó. CPS cho phép tối ưu hóa quá trình trao đổi các thông tin cần thiết để sản xuất, đồng thời kiểm soát toàn bộ quy trình sản xuất dựa trên nền tảng IoT. Thông qua hệ thống sản xuất ảo với sự tích hợp của hạ tầng công nghệ thông tin và các phần mềm ứng dụng, CPS sẽ được “kích hoạt” bởi sự tham gia của con người, máy móc, thiết bị. Hay nói cách khác, con người (bao gồm: nhà sản xuất, người tiêu dùng...) không chỉ tham gia trực tiếp vào quản lý và kiểm soát hệ thống sản xuất thông minh, mà còn được “nhúng” vào trong hệ thống sản xuất thông minh thành một thể thống nhất.

Khác với các hệ thống sản xuất thông thường hiện nay, CPS trong hệ thống sản xuất thông minh có thể được coi là hệ thống của các hệ thống với sự tham gia của nhiều lĩnh vực khác nhau như: kỹ thuật cơ khí, kỹ thuật điện, khoa học máy tính... Sự thay đổi từ công nghiệp truyền thống hiện nay sang Công nghiệp 4.0 gắn liền với sự hình thành và phát triển hệ thống sản xuất thông minh. CPS sẽ tạo ra nhiều thách thức mới về công nghệ, mô hình tổ chức sản xuất và với người lao động trong doanh nghiệp. Con người, máy móc và hệ thống sản xuất ảo sẽ tương tác chặt chẽ, hiệu quả và an toàn với nhau thông qua các giao diện phù hợp để hình thành nên một mô hình sản xuất kinh doanh mới, giúp doanh nghiệp nâng cao năng suất, đạt lợi nhuận cao. Các thành tựu của CMCN4.0 và các ý tưởng đổi mới, sáng tạo sẽ là nền tảng vững chắc để giúp các doanh nghiệp vượt qua những thách thức của quá trình chuyển đổi từ sản xuất truyền thống sang sản xuất thông minh.

Khuôn khổ của hệ thống sản xuất thông minh

Khuôn khổ của hệ thống sản xuất thông minh được phân loại thành thiết kế thông minh, gia công thông minh, giám sát thông minh, điều khiển thông minh, lịch trình sản xuất thông minh, và các ứng dụng công nghiệp. Trong đó:

- Thiết kế thông minh: Với sự phát triển nhanh chóng của các công nghệ mới như thực tế ảo (VR) và thực tế ảo tăng cường (AR), các thiết kế truyền thống sẽ được nâng cấp và bước vào kỷ nguyên thông minh. Phần mềm thiết kế như CAD và CAM có thể tương tác với các hệ thống nguyên mẫu thông minh vật lý trong thời gian thực có sự hỗ trợ bởi in 3D tích hợp CPS và AR. Do đó, các thay đổi kỹ thuật và hiện thực hóa vật lý có thể điều chỉnh được để có được một mô hình thiết kế thông minh.

- Gia công thông minh: Công nghiệp 4.0 có thể đạt được mức gia công thông minh với sự trợ giúp của robot thông minh và nhiều loại vật thể thông minh khác có khả năng cảm biến và tương tác với nhau theo thời gian thực. Ví dụ: máy công cụ thông minh hỗ trợ CPS có thể thu thập dữ liệu thời gian thực và gửi dữ liệu đó đến hệ thống trung tâm nền tảng đám mây do đó máy công cụ và các dịch vụ tinh chỉnh của chúng có thể đồng bộ hóa để cung cấp các giải pháp sản xuất thông minh.

- Giám sát thông minh: Giám sát là một khía cạnh quan trọng đối với hoạt động, bảo trì và lịch trình tối ưu của các hệ thống sản xuất trong Công nghiệp 4.0. Việc triển khai rộng rãi các loại cảm biến khác nhau sẽ giúp cho việc giám sát thông minh trở nên khả thi. Ví dụ như, có thể thu thập trong thời gian thực các dữ liệu và thông tin của các đối tượng sản xuất khác nhau như nhiệt độ, mức tiêu thụ điện, độ rung và tốc độ... Giám sát thông minh không chỉ cung cấp hình ảnh đồ họa về các trạng thái này mà còn đưa ra một số cảnh báo khi có bất thường xảy ra đối với máy móc hoặc công cụ. CPS và IoT là những công nghệ quan trọng cho phép có thể giám sát thông minh trong hệ thống sản xuất thông minh trong Công nghiệp 4.0.

- Kiểm soát thông minh: Trong Công nghiệp 4.0, kiểm soát sản xuất thích ứng, có độ phân giải cao (nghĩa là kiểm soát thông minh) có thể đạt được bằng cách phát triển các hệ thống kiểm soát sản xuất thực - ảo. Kiểm soát thông minh chủ yếu được thực hiện để quản lý vật lý các máy móc hoặc công cụ thông minh khác nhau thông qua nền tảng hỗ trợ. Người dùng cuối có thể điều khiển tắt máy hoặc tắt hoạt động của rôbot qua các thiết bị điện thoại thông minh của họ. Các quyết định sau đó được đưa ra kịp thời trong các xưởng sản xuất hàng đầu như xưởng dây chuyền lắp ráp bằng robot hoặc xưởng máy thông minh.

- Lịch trình sản xuất thông minh: Lớp lịch trình sản xuất thông minh (Smart scheduling layer) chủ yếu bao gồm các mô hình và thuật toán tiên tiến dựa trên dữ liệu thu được từ các cảm biến. Kỹ thuật dựa trên dữ liệu và cấu trúc quyết định tiên tiến có thể sử dụng được cho thiết kế lịch trình sản xuất thông minh. Ví dụ, để lịch trình sản xuất và quá trình thực hiện đạt được hiệu quả cao nhất trong thời gian thực, có thể sử dụng các mô hình phân tác thông minh sử dụng cấu trúc tương tác phân cấp. Các hành

vi và quy trình sản xuất sẽ được thực hiện tự động và hiệu quả khi các cấu trúc và dịch vụ được thiết lập tốt. Cùng với sự trợ giúp của các cơ chế dữ liệu đầu vào, các quyết định đầu ra được cung cấp trở lại cho các bên liên quan thông qua các phương thức khác nhau.

- Các ứng dụng công nghiệp: Các ứng dụng công nghiệp nhằm mục tiêu đến nhiều ngành công nghiệp và thực hiện nhiều giải pháp khác nhau là mục đích cuối cùng của Công nghiệp 4.0, có thể tạo ra những cuộc cách mạng có tác động sâu sắc cho các hệ thống sản xuất. Tùy theo tính độc đáo và những yêu cầu cụ thể từ một số ngành chẳng hạn như ngành thực phẩm, với một số lượng lớn các sản phẩm dễ hư hỏng, các giải pháp do Công nghiệp 4.0 cung cấp sẽ linh hoạt hơn nhiều lần để có thể hỗ trợ tùy chỉnh cấu hình và phát triển mở rộng. Do đó, các mạng lưới sản xuất động sẽ mang lại những cơ hội, giúp cho chúng ta có thể quản lý nguồn cung ứng và phương thức kinh doanh tốt hơn. Dưới sự hỗ trợ của các công cụ có thể thiết lập cấu hình từ các lớp thiết kế và sản xuất thông minh cũng như ra quyết định thông minh, các ứng dụng có thể đạt tới một mức độ tổng thể khi xét đến các mối quan tâm thực tế như hiệu quả sản xuất, tính sẵn có của logistic, hạn chế về thời gian và đa tiêu chí (tức là có nhiều tiêu chuẩn đánh giá, nhiều lựa chọn, nhiều người ra quyết định).

Cấp độ nghiên cứu thiết kế và sản xuất thông minh bao trùm cả thiết kế thông minh, tạo mẫu thông minh, bộ điều khiển thông minh và cảm biến thông minh. Kiểm soát và giám sát thời gian thực hỗ trợ việc thực thi kế hoạch sản xuất thông minh. Các công nghệ hỗ trợ bao gồm IoT, STEP-NC, in 3D, robot công nghiệp, truyền thông không dây,...

Ra quyết định thông minh là trung tâm của Công nghiệp 4.0. Mục tiêu cuối cùng của việc triển khai rộng rãi các cảm biến là để có được các quyết định thông minh thông qua quá trình thu thập dữ liệu toàn diện. Việc thực thi các quyết định thông minh đã được đưa ra cần phải có sự hợp tác và chia sẻ thông tin thời gian thực.

Dữ liệu lớn và các phân tích của nó như mô hình hóa dữ liệu, bảo trì dự đoán hỗ trợ dữ liệu, ..., giữ một vai trò quan trọng trong việc đưa ra quyết định thông minh. Nhiều công nghệ như CPS, phân tích dữ liệu lớn, điện toán đám mây, mô hình hóa và mô phỏng có thể góp phần hiện thực hóa ra quyết định thông minh.

Đối với phân tích dữ liệu lớn, CPS và các hệ thống sản xuất dựa trên IoT có ý nghĩa to lớn đối với sự hình thành một lượng lớn dữ liệu trong kỷ nguyên Công nghiệp 4.0, cho nên phân tích dữ liệu lớn do đó rất quan trọng cho công đoạn thiết kế và vận hành hệ thống sản xuất. Bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận phân tích dữ

liệu lớn, khung đánh giá rủi ro định hướng dữ liệu toàn diện cho các hệ thống sản xuất công nghiệp được biểu hiện trên cơ sở dữ liệu thời gian thực để hỗ trợ quá trình tối ưu hóa sản xuất và trực quan hóa sản xuất.

Việc triển khai công nghiệp (ứng dụng công nghiệp) là mục tiêu cuối cùng của Công nghiệp 4.0. Hầu hết tất cả các ngành có thể được hưởng lợi từ cuộc cách mạng công nghiệp mới, bao gồm ngành chế tạo, nông nghiệp, thông tin và truyền thông, dịch vụ, hậu cần, giao thông vận tải... Vô số cơ hội mới luôn sẵn sàng cho các bên công nghiệp liên quan. Các công ty có thể tập trung vào giá trị kinh doanh cốt lõi của họ hoặc những thách thức mà trong đó họ có thể nâng cấp hoặc giải quyết được bằng các giải pháp hỗ trợ Công nghiệp 4.0.

Thành phần của SMS

Các thành phần của SMS không chỉ dựa theo các tài liệu hiện có và các nghiên cứu về khung khái niệm /kiến trúc tham chiếu của SMS mà còn tích hợp các mục tiêu và yêu cầu của SMS. Hậu cần nhập (Inbound logistics) là kiểm soát dòng nguyên liệu thô từ nhà cung cấp đến đơn vị sản xuất và cũng là quá trình vận chuyển, lưu trữ và điều phối hàng hóa đến cửa hàng, cuối cùng là người tiêu dùng. Hơn nữa, tiêu chí của hậu cần nhập là tối ưu hóa trong giai đoạn đầu từ địa điểm, thời gian, doanh thu và chi phí. Hậu cần xuất (Outbound Logistics) là vận chuyển sản phẩm cuối cùng từ công ty đến tay người tiêu dùng. Bên cạnh đó, nó chỉ tập trung vào sản xuất và hoàn thiện sản phẩm hay tập trung chủ yếu vào hoạt động tiêu thụ sản phẩm như bán hàng, marketing. Hệ thống sản xuất thực - ảo bao gồm các máy móc thông minh, hệ thống kho bãi và cơ sở sản xuất phát triển và đặc biệt nhờ tích hợp hậu cần nhập vào sản xuất, tiếp thị, hậu cần xuất và dịch vụ dựa trên quy trình CNTT-TT đầu cuối.

Các thành phần chính của nhà máy thông minh sẽ gồm 8 khía cạnh, như cảm biến, robot, sản phẩm thông minh, máy công cụ,... Phân loại ba cấp độ SMS chủ yếu dựa theo Công nghiệp 4.0, IIoT và Sáng kiến chuỗi giá trị công nghiệp. Trạng thái và mức độ của các thành phần trong SMS được đưa ra trong Bảng 1 như sau:

Bảng 1. Trạng thái và cấp độ của các thành phần trong SMSs

Thành phần	Phân loại	Nội dung liên quan
Cấp vật lý	<i>Máy thông minh, bộ lưu trữ thông minh và thiết bị liên lạc</i>	Sử dụng trong dây chuyền và xưởng lắp ráp các máy thông minh, sản phẩm thông minh, thiết bị lưu trữ và liên lạc, các bộ phận cảm biến: multi-robot, robot thông minh, nền tảng di động linh hoạt, tự chủ và phương tiện dẫn hướng tự động
	<i>Logistic thông minh</i>	AGV thông minh (xe dẫn đường tự động) có thể sử dụng để tối ưu hóa đường đi dựa trên khả năng, chi phí và thời gian.
Mức độ kết	<i>Mạng cục bộ, CPS,</i>	Kết nối không dây tất cả các thiết bị trong sản xuất liên tục thông

Thành phần	Phân loại	Nội dung liên quan
nối và giao tiếp thông minh	<i>RFID</i>	minh; thu thập và truyền dữ liệu thu được bằng mạng cảm biến; Giao tiếp không dây 5G được sử dụng trong các tình huống SMS giao tiếp kiểu máy lớn, giao tiếp siêu đáng tin cậy và độ trễ thấp, và băng thông di động nâng cao (eMBB).
	<i>Internet vạn vật hấp dẫn công nghiệp/ IIoT</i>	Để giải quyết vấn đề cộng tác trong thời gian thực và kết nối các doanh nghiệp với nhà máy giữa các khu vực. Nhiều doanh nghiệp áp dụng IPV6 để hiện thực hóa liên kết cục bộ và toàn cầu.
Cấp ứng dụng	<i>Quản lý vòng đời (tuổi thọ) của sản phẩm</i>	Mô phỏng và tối ưu thiết kế, dịch vụ sản phẩm trên nền tảng SMS đám mây để cung cấp giá trị liên tục.
	<i>Hệ thống sản xuất thông minh</i>	Ảo hóa quy trình, giám sát thời gian thực, tự tổ chức các hoạt động sản xuất và tối ưu hóa năng lượng. Doanh nghiệp ảo có thể đưa ra các quyết định kỹ thuật theo thời gian thực và kiểm tra ảo quá trình sản xuất. Hệ thống lịch trình sản xuất mô phỏng thời gian thực dựa trên đám mây giúp cho người dùng truy cập vào thiết bị di động
	<i>Quản lý kinh doanh thông minh</i>	Mô phỏng theo hướng dữ liệu giống với dự đoán trong SMS để hiện thực hóa quản lý tối ưu hóa. Là người ra quyết định thông minh để có thể nhanh chóng đưa ra được các giải pháp chính xác.

- Cấp vật lý: Yêu cầu cơ bản của SMS là cấp vật lý, bao gồm đa tác nhân (multi-agent) và các tế bào thông minh (smart cells). Các tế bào thông minh được trang bị cảm biến, thiết bị truyền động và công nghệ truyền thông, bao gồm robot, máy thông minh, đồng hồ thông minh và các cơ sở hạ tầng khác và chúng có thể kết nối với nhau bằng các mô-đun thông minh. Việc nhúng mô-đun Wi-Fi, Bluetooth hoặc mô-đun cảm biến và mô-đun giao tiếp khác vào các thiết bị và các phương tiện sẽ làm cho các yếu tố sản xuất thông minh hơn (có thể tự điều chỉnh nhiệt độ xử lý, kiểm soát chất lượng trực tuyến, v.v.).

Giám sát thông minh, quyết định thông minh và hoạt động thông minh là ba khía cạnh của thiết bị thông minh, phần mềm thông minh và hệ thống hoạt động thông minh. Công nghệ Edge tích hợp tài sản nhà máy và tự nhận thức (thông qua cảm biến) về trạng thái của chúng. Theo dõi thông minh trong chuỗi cung ứng sử dụng các tùy chọn không dây như RFID và GPS, có thể theo dõi toàn bộ quá trình di chuyển của vật liệu và sản phẩm trong và ngoài nhà máy. Nó mang lại thông tin chính xác và trải nghiệm trực quan cho các bên liên quan. Đặc tính của cấp vật lý là khả năng cấu hình lại, khả năng thích ứng, khả năng sử dụng, khả năng tự chủ và khả năng kết nối với nhau. Với đặc tính thông minh ở cấp độ vật lý, các hệ thống sản xuất thông minh có thể tự kết nối và tự phát triển chính nó.

- Cấp liên lạc và kết nối thông minh: Cấp kết nối và giao tiếp (như Hình 3) gồm

có phương thức kết nối thông minh (cấp phương tiện truyền thông) với ứng dụng (cấp không gian mạng) và lớp vật lý. CNTT-TT kết nối thông minh cho phép sản xuất kết nối vật lý được với nhau nhờ sử dụng năng lượng thấp và mạng truyền thông hiệu suất cao, bao gồm cộng tác, tiêu chuẩn và bảo mật. IoT, con người kết nối Internet (IoP) và các công nghệ truyền thông không dây sẽ giúp máy móc, thiết bị, cảm biến và con người kết nối được với nhau. Lớp thành phần cốt lõi chứa WSN, IPV6, Wi-Fi, WPAN, W-Mesh, WLAN, WWAN, IPV6, 4G/5G, NB-IoT, Bluetooth, Zigbee, RFID, GPS, v.v. Các thuộc tính của cấp kết nối bao gồm mạng tích hợp đồng bộ thời gian thực của RFID và WSN kết hợp IoT vào các hệ thống doanh nghiệp và kinh doanh.

- Cấp ứng dụng: Các hệ thống sản xuất thông minh được tích hợp với phần cứng và phần mềm, kết nối với thế giới vật lý và thế giới mạng để xây dựng một nền tảng ba chiều, minh bạch, tự chủ, phát triển và mở, chẳng hạn như mô phỏng dựa trên đám mây, ra quyết định thông minh, quản lý sức khỏe của thiết bị thông minh, phân tích dự đoán và đưa ra quyết định chính xác dựa trên dữ liệu lớn, v.v. SMS tự chủ được đề xuất sử dụng trí tuệ của con người và công nghệ cảm biến tiên tiến, truyền dữ liệu, kiến trúc lập và công nghệ tái tạo cho các hệ thống sản xuất. Với những xu hướng này, các vấn đề sản xuất có thể giải quyết được bằng các công nghệ mới này. Hoạt động tự chủ mang đến các phương thức hữu hiệu với các giá trị của các thành phần liên quan như sau:

- ✓ Cung cấp hệ thống đặt hàng trực quan, thông tin chất lượng sản phẩm có thể truy xuất nguồn gốc và dịch vụ chính xác cho khách hàng;
- ✓ Cung cấp chia sẻ thông tin sản xuất theo thời gian thực, nền tảng thông tin chuỗi cung ứng đồng nhất, chia sẻ lịch trình sản xuất với nhà cung cấp;
- ✓ Cung cấp hướng dẫn công việc, hệ thống tài nguyên, hệ thống chống sai lỗi tích cực và hiệu suất thời gian thực cho nhân viên;
- ✓ Cung cấp dữ liệu toàn diện về hoạt động chu kỳ dài, dữ liệu chỉ số của từng hoạt động chức năng, dữ liệu hoạt động thực hiện tại chỗ cho người quản lý;
- ✓ Cung cấp thông tin xả thải theo thời gian thực, nền tảng tương tác thông tin thời gian thực cho các bên liên quan khác.

Các thuộc tính thuộc cấp ứng dụng của SMS bao gồm khả năng hình dung, khả năng nhận thức, khả năng tự thích ứng, khả năng tự tổ chức, khả năng tự phục hồi, tự tối ưu hóa, khả năng phục hồi và khả năng tự quyết định.

II. XU HƯỚNG TƯƠNG LAI CỦA SẢN XUẤT THÔNG MINH

2.1 Mục tiêu và yêu cầu

Mục tiêu chính

Mục tiêu sản xuất thông minh là có thể hiện thực hóa SMS một cách hiệu quả thông qua các chức năng, triển khai thực hiện bằng các hoạt động kinh doanh tích hợp các công nghệ tiên tiến có liên quan. Các chỉ số đo lường, theo dõi, đánh giá hiệu suất là những yếu tố quan trọng trong hoạt động của SMS. Các công nghệ mới nổi sẽ thúc đẩy các quá trình phát triển kinh doanh có liên quan và đổi mới các mô hình kinh doanh. Việc nắm bắt chính xác được các yêu cầu của SMS là nhiệm vụ ban đầu của các nhà thiết kế, nhà tư vấn và nhà sản xuất trong giai đoạn thiết kế và phát triển. Nhận diện có tính hệ thống các yêu cầu của SMS cho các nhà máy sản xuất cũng là nhiệm vụ chính cần được giải quyết.

Các yêu cầu của SMS lấy cảm hứng từ kiến trúc tham chiếu của Công nghiệp 4.0, kiến trúc tham chiếu của internet công nghiệp, và khuôn khổ Hệ thống thực - ảo đã được đưa ra. Trong đó, các tiêu chí đối tượng và tình trạng yêu cầu của SMS từ góc độ thiết kế và phát triển dựa trên các nghiên cứu những năm gần đây đã được xác định và tóm lược lại.

Các yếu tố quan trọng cần xem xét bao gồm các mục tiêu chính cơ bản/đề xuất giá trị ở cấp độ chiến lược, chức năng kinh doanh và tự chủ ở cấp chiến thuật, các thành phần ở cấp điều hành và các công nghệ đặt ra ở cấp hỗ trợ. Trên cơ sở các nguồn tài liệu và cụm từ khóa, các nhà nghiên cứu gợi ý các hệ thống sản xuất truyền thống trong quá trình chuyển đổi cần phải xem xét các yêu cầu cơ bản từ bốn khía cạnh, bao gồm khía cạnh mục tiêu, yêu cầu về chức năng, yêu cầu về công nghệ và yêu cầu kinh doanh.

Bititci và cộng sự đã định lượng và tổng hợp các chiến lược hiệu suất về chi phí, chất lượng, phân phối và tính linh hoạt trong SMS. Lập bản đồ mục tiêu chiến lược về hiệu suất được đề xuất trong giai đoạn thiết kế SMS, gồm sự linh hoạt, hiệu quả sử dụng tài sản và tính bền vững trong môi trường phần mềm điều khiển và thiết bị sản xuất hỗ trợ cảm biến. Feeney và cộng sự đề xuất phương pháp tự điều chỉnh, tự nhận thức và tự sửa chữa, chủ yếu tập trung vào thiết kế sản phẩm.

Trong thực tế, các định nghĩa hoặc phân nhóm mục tiêu của SMS vẫn chưa được giải quyết. Phần này sẽ chia các yêu cầu mục tiêu chính của SMS thành ba khía cạnh thông qua phương pháp K-means.

- Vận hành tinh gọn tự chủ: Mục tiêu chính của thiết lập các SMS tinh gọn tự chủ là để tăng cường hiệu quả và tính tự chủ của hệ thống sản xuất. Cần thiết phải phát triển một hệ thống đánh giá để xem xét những thay đổi trong quá trình xử lý đơn hàng và mới xuất hiện do quyền tự chủ. Hệ thống sản xuất thông minh cho phép người dùng đánh giá các quy trình tự chủ so với các quy trình quản lý thông thường. Hơn nữa, cần xác định những giới hạn trong quản lý và quyền tự chủ để tích hợp tốt hơn nữa các yếu tố khác nhau (nguồn lực, KPIs, lắp ráp) vào cấu trúc hệ thống. Bằng cách này, có thể xác định được các mục tiêu động và các đặc điểm mới của quyền tự chủ được xem xét. Các SMS tự chủ sẽ có khả năng phản ứng với các sự kiện đặc biệt và không lường trước được. Liên quan đến việc sắp xếp chương trình làm việc thích hợp, cần có các chiến lược quản lý để tránh hoặc để giảm thiểu rủi ro có thể xảy ra. SMS tự quản khác sẽ xem xét hoạt động của doanh nghiệp theo lối tư duy tinh gọn, tích hợp AI và phương pháp quản lý. Mục tiêu này tập trung chủ yếu vào sự kết hợp của công nghệ mới nổi và điều hành quản lý.

- Giá trị gia tăng bền vững: Oertwig và cộng sự đề xuất hình thành các mạng lưới tạo ra giá trị toàn cầu trong thiết kế và kiểm soát các mối quan hệ đối tác để giải quyết các vấn đề kinh tế, môi trường và xã hội đối với các sản phẩm, dịch vụ và chuỗi giá trị. Adam Brown và cộng sự cho biết, để đạt được tính bền vững trong sản xuất, đòi hỏi có một cái nhìn tổng thể hơn bao gồm thiết kế sản phẩm, quy trình sản xuất, hệ thống sản xuất và toàn bộ chuỗi cung ứng. Mục tiêu này chủ yếu tập trung vào tính bền vững và giá trị gia tăng trong vòng đời của SMS.

- Hợp tác đôi bên cùng có lợi: Trong môi trường hoạt động tự chủ, mục tiêu cuối cùng của SMS là tạo ra sự hợp tác liên tục trong thời gian thực, trong đó toàn bộ vòng đời của SMS có hiệu quả hơn tổng tất cả các thành phần riêng lẻ của nó. Hợp tác đôi bên cùng có lợi dựa trên hoạt động tinh gọn tự chủ, giá trị gia tăng bền vững, thông tin và chia sẻ kiến thức để đạt được mục tiêu cùng phát triển giữa doanh nghiệp sản xuất thông minh với nhiều bên liên quan.

Các yêu cầu

- Yêu cầu về chức năng: Mô hình chức năng của SMS là xác nhận yêu cầu của các hoạt động và thực thi các hoạt động đó một cách tối ưu nhất và hiệu quả nhất dựa trên các hệ thống phần mềm có sẵn. Sử dụng các năng lực phân tích thời gian thực là (1) thu thập dữ liệu và chuyển đổi nó thành kiến thức hữu ích, và (2) phát triển thành các mô hình dự đoán, chẩn đoán và quyết định. Doanh nghiệp thông minh nên gồm có các tính năng như khả năng thích ứng, suy luận, biểu diễn tri thức và xử lý. Các yêu cầu chức năng được phân tích từ quan điểm năng lực tự chủ để phân tích các SMS bao

gồm khả năng thu thập thông tin và dữ liệu từ thiết bị thông minh hoặc thiết bị đầu cuối dữ liệu di động hoặc máy tính kỹ thuật số di động (mobile terminal), khả năng thích ứng với các yêu cầu và hoạt động động và khả năng tự tối ưu hóa.

Như vậy, các chức năng cơ bản của SMS bao gồm tự nhận diện, tự thích ứng, tự tổ chức và tự quyết định để hệ thống sản xuất trở nên thông minh hơn nhờ CPS, dữ liệu lớn, AI và các công nghệ tiên tiến khác. Các chức năng tự chủ gồm:

- ✓ Chức năng tự cảm biến là chức năng cơ bản của SMS. Nó thu thập dữ liệu và thông tin quan trọng từ môi trường, vật lý hoặc quá trình sản xuất liên quan đến sản phẩm, chất lượng, vật liệu, máy móc, công cụ....
- ✓ Chức năng tự thích ứng vận hành chức năng hành vi của các phần tử SMS dựa trên dữ liệu và thông tin cảm biến theo thời gian thực. Thông qua các thuật toán và quy tắc khác nhau, hành vi tự thích ứng của SMS được coi là quá trình học tập liên tục hoặc học tập suốt đời. Là cấp độ thông minh cơ bản, khả năng thích ứng bao hàm khả năng hành động theo các quy tắc thuật ngữ của lập trình “If-Then-Else”.
- ✓ Chức năng tự tổ chức là năng lực giải quyết các yêu cầu đặt ra, dựa trên khả năng tự cảm biến và tự thích ứng. Các yêu cầu tự tổ chức của SMS được thảo luận trong các môi trường động lực, phân phối và phân quyền, tự tổ chức và tự điều chỉnh thông qua công nghệ thuật toán tra ngược (backtracking) đa tác nhân và thiếu đồng bộ.

Các yêu cầu về chức năng tự quyết định trên cơ sở các chức năng nêu trên, là việc đưa ra quyết định theo hướng dữ liệu trong sản xuất, bao gồm xác định, thu thập, giao tiếp, phân tích, chia sẻ, truy xuất và học hỏi. Chức năng này giải quyết các vấn đề chắc chắn xảy ra, các vấn đề có thể xảy ra và các vấn đề không xác định trong SMS để đạt được quyền tự chủ và đưa ra quyết định chính xác, trên cơ sở dữ liệu lớn bao gồm dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực.

Nghiên cứu về chức năng tự chủ liên quan đến quản lý vận hành sản xuất thông minh tập trung chủ yếu ở nhiều lĩnh vực ứng dụng khác nhau, chẳng hạn như nghiên cứu giản đơn từ cải tiến chất lượng đến bảo trì từ xa. Dựa trên các nghiên cứu hiện có và kết hợp với các dự án SMS có liên quan, chức năng tự chủ của SMS được trình bày trong Bảng 2 như sau:

Bảng 2. Chức năng tự chủ của SMS

Chức năng	Đặc điểm	Mô tả, phương pháp, và các ích lợi
Chức năng tự cảm biến	Cảm biến trạng thái	Khả năng cảm biến duy trì khả năng tương tác của hệ thống và tích hợp liền mạch trong hệ thống thông tin doanh nghiệp. Dữ liệu được lấy từ môi trường và phân xưởng sản xuất thông minh bằng mô-đun và thiết bị cảm biến có khả năng nhận thức. Phương pháp này được sử dụng trong hệ thống đối sánh (the matching system) và mạng cảm biến hiện diện để thu thập dữ liệu sản xuất.
	Nhận thức	Giám sát hàng tồn kho tự nhận thức được đề xuất để duy trì lượng hàng tồn kho thích hợp, giúp nhà sản xuất điều chỉnh nhu cầu hoặc chi phí gia tăng
Chức năng tự thích ứng	Phát hiện bất thường	Tối ưu hóa năng lượng tự thích ứng đã được áp dụng trong trung tâm sản xuất dựa trên dự đoán để quản lý theo yêu cầu đối với Hệ thống Vật lý không gian Mạng thông qua CPSO và PSO
	Tự thích ứng	Mô hình tự thích ứng được đề xuất trong CPS của đơn vị sản xuất thông minh để xử lý hiệu quả các xáo trộn bằng phương pháp phân tích quan hệ xám (the gray relational analysis), đa tác nhân và các phương pháp giải quyết xung đột phân cấp.
Chức năng tự tổ chức	Có thể cấu hình lại	Tự tổ chức giúp tăng khả năng cấu hình lại hiệu quả và khả năng đáp ứng cho phân xưởng sản xuất thông minh
	Cân bằng tải	Mô hình và thuật toán tự tổ chức đánh giá được sử dụng trong các nền tảng sản xuất đám mây dựa trên dữ liệu hành vi của người dùng để đánh giá hiệu quả dịch vụ sản xuất đám mây và người dùng bằng phương pháp giá trị entropy.
Chức năng tự quyết định	Dự đoán & tiên lượng	Ra quyết định thông minh được xử lý bằng thuật toán tìm kiếm để thiết kế mạng lưới sản xuất, sử dụng phương pháp tối ưu Pareto trong việc xử lý theo dõi và lập lịch trình sản xuất
	Tối ưu hóa	Căn cứ theo mô hình định hướng chất lượng, hệ thống gia công thông minh đạt được khả năng kiểm soát tự tối ưu hóa.

- Yêu cầu về công nghệ: Việc tích hợp và ứng dụng chéo nhiều công nghệ tiên tiến sẽ nâng cao thành quả của hoạt động tinh gọn tự chủ và giá trị gia tăng bền vững của SMS. Hiện nay, phần mềm nâng cao quy trình kinh doanh theo hướng kỹ thuật số và hệ thống thực thi sản xuất luôn có sẵn, có thể đáp ứng được các yêu cầu tích hợp tự động và hoàn toàn bằng máy tính. Hệ thống phần mềm thiết kế sản phẩm và sản xuất ứng dụng cung cấp tạo mẫu ảo cho hệ thống sản xuất ảo. Nó thực hiện các nhiệm vụ sản xuất và ra quyết định dựa trên các mô hình kỹ thuật số và mô phỏng trong môi trường ảo.

Yêu cầu về công nghệ cho SMS sẽ tập chung chính vào các công nghệ kết nối thông minh, quyết định thông minh và công nghệ dự đoán.

Trong kỷ nguyên Công nghiệp 4.0, một số nghiên cứu tập trung vào sự phát triển

của hệ thống sản xuất, hệ thống sản xuất tinh gọn và dây chuyền sản xuất trình diễn; một số nghiên cứu khác chứng minh các công nghệ quan trọng khác, các ứng dụng và thách thức, nhà điều hành thông minh, và nhà máy thực thi sản xuất thông minh. Các công nghệ của SMS có thể chia ra thành hai loại: công nghệ cơ bản (mô phỏng, công nghệ kỹ thuật sản xuất, công nghệ robot tự động, sản xuất bồi đắp,...); công nghệ mới nổi (IIoT, CPS, AR/VR, Dữ liệu lớn, Điện toán đám mây/đám mây, in 3D, an ninh mạng,...).

Các công nghệ mới nổi chọn lọc có ý nghĩa đặc biệt đối với SMS được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Các công nghệ mới nổi sử dụng trong SMS

Công nghệ	Đặc điểm	Lợi ích ứng dụng để giải quyết vấn đề và các giới hạn
CPS	Giao tiếp thời gian thực	Dịch vụ sản xuất không gian mạng thực - ảo là các dịch vụ và mô hình kinh doanh mới dựa trên dữ liệu.
	Tương tác và giao tiếp	Xây dựng quy trình sản xuất CPS của năm cấp độ để tối ưu hóa việc lập kế hoạch sản xuất và kế hoạch quản lý hàng tồn kho cho quản lý nhà máy.
	Điện toán	Cảm biến thời gian thực từ xa, giám sát chu trình, chẩn đoán và tiên lượng bằng máy tính hiệu suất cao.
IoT	Kết nối liên thông	Nhờ vào quá trình thu thập và chia sẻ thông tin sản xuất thời gian thực nên giảm lượng hàng tồn kho và thời gian thực hiện.
	Đồng bộ hóa & tối ưu hóa thời gian thực	Có thể hiện thực hóa việc đồng bộ hóa thời gian thực trong hậu cần sản xuất giúp đạt được khả năng thích ứng động đa cấp. Hiện thực kết nối thông minh trong việc xử lý thiết bị không đồng nhất, tạo dịch vụ trực tuyến, cấu hình và triển khai nhanh chóng. Nhận biết thông minh và phân bổ tối ưu, để nguồn lực sản xuất phù hợp với các vấn đề cung - cầu. Tăng cường tối ưu hóa hiệu quả năng lượng theo thời gian thực trong quản lý sản xuất. Điều này đã được chứng minh trong các doanh nghiệp sản xuất sử dụng nhiều năng lượng.
Dữ liệu lớn	Khám phá tri thức và tạo ra giá trị	Thường sử dụng trong quá trình sản xuất và bảo trì nhằm khám phá tri thức để có thể tối ưu hóa quy trình sản xuất và chiến lược dịch vụ. Các luồng giá trị hữu hình, mô hình RFID-Cuboid được Zhong và cộng sự đề xuất áp dụng hiển thị dữ liệu lớn vấn đề hậu cần của phân xưởng sản xuất có sự hỗ trợ RFID để trực quan hóa các hoạt động và hành vi. Tăng cường các khả năng hiện có (phát hiện lỗi) và hỗ trợ các khả năng mới (bảo trì dự đoán), thể hiện trong nghiên cứu điển hình như phân tích trực tuyến về sản xuất chất bán dẫn.
	Dự đoán	Khả năng dự đoán mang lại các lợi ích cho ngành công nghiệp sản

Công nghệ	Đặc điểm	Lợi ích ứng dụng để giải quyết vấn đề và các giới hạn
		xuất bao gồm dự báo nhu cầu sản phẩm, dịch vụ và hoạt động hỗ trợ cho khách hàng nhanh chóng, và tối ưu hóa hiệu suất của nhà máy. Dự đoán được sử dụng trong quản lý chuỗi cung ứng giúp giảm thiểu rủi ro xã hội của chuỗi cung ứng. Kiến trúc của nền tảng phân tích dữ liệu lớn được đề xuất bởi Lee và cộng sự có thể giúp nhiều doanh nghiệp sản xuất vừa và nhỏ giải quyết được các vấn đề về chất lượng trong nhà máy. Hệ thống giám sát quá trình thống kê và giám sát thông minh bao gồm việc thiết lập trạng thái ban đầu, học tập và dự đoán trong thời gian thực. Dự đoán và phát hiện bất thường để cải thiện chẩn đoán và tiên lượng trong theo dõi tình trạng thiết bị, bảo trì dự đoán, tiến độ dự đoán, đo lường ảo và dự đoán năng suất.
	Tối ưu hóa & ra quyết định chính xác và kịp thời	Lập lịch trình tối ưu hóa để đảm bảo cân bằng tải và rút ngắn tổng thời gian hoàn thành. Thông qua phản hồi dữ liệu lớn, có thể giảm mất cân bằng tải trong phân xưởng sản xuất thông minh và hệ thống sản xuất tự tổ chức, yêu cầu tự phát hiện các lỗi và sự bất thường cần thiết để được tối ưu hóa. Tối ưu hóa thiết kế sản phẩm để đạt được yêu cầu tùy chỉnh thông qua phản hồi theo thời gian thực từ khách hàng. Dữ liệu thời gian thực và trí tuệ sản xuất sẽ giúp đưa ra quyết định chính xác và kịp thời.
Đám mây & điện toán đám mây	Chiều sẽ nguồn tài nguyên	Điện toán đám mây và nền tảng đám mây (IaaS, PaaS, SaaS) được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực sản xuất và lĩnh vực dịch vụ và giúp cho nhiều doanh nghiệp có thể chia sẻ tài nguyên của họ (như phần mềm sản xuất, cơ sở vật chất và khả năng) cho nhân viên, nhà cung cấp và khách hàng của họ.
	Máy tính hiệu suất cao	Phù hợp với CAD / CAE / CAM sử dụng điện toán hiệu suất cao dựa trên đám mây và quản lý tắc nghẽn hệ thống thông tin xanh [105]. Có thể hiện thực hóa được nhờ loại bỏ các nhiễu động, điều khiển thông minh và cân bằng tải, cải thiện hiệu suất, dự báo mức tiêu thụ năng lượng, phân tích dữ liệu thời gian thực và tối ưu hóa hệ thống bố cục.
AI	Dự đoán các hư hỏng cơ học và tuổi thọ sử dụng còn lại	Nhận dạng trực quan các thuật toán máy học và phát hiện chất lượng, phương pháp dựa trên dữ liệu, tiên lượng dựa trên mô hình, dự đoán hao mòn công cụ, tiên lượng và quản lý sức khỏe. Lý luận đa phương tiện, trí thông minh bầy đàn, học sâu chuyên sâu và trí thông minh tăng cường kết hợp giữa máy của con người được sử dụng trong quyền tự chủ cho sản xuất thông minh.
AR		Chia sẻ kiến thức, hỗ trợ thiết kế sản phẩm và quy trình nhanh hơn; áp dụng trong các hoạt động kiểm soát và bảo trì.
VR	Cải thiện sự hài lòng của người dùng	Hình ảnh 3D, trải nghiệm nhập vai và công thái học ảo (virtual ergonomics) được sử dụng rộng rãi trong thiết kế hệ thống, sản phẩm trong sản xuất.

Công nghệ	Đặc điểm	Lợi ích ứng dụng để giải quyết vấn đề và các giới hạn
In 3D	In theo yêu cầu, dễ bảo trì và triển khai	In 3D là một đổi mới sáng tạo về mặt kinh doanh cho các nhà sản xuất công nghiệp; tuy nhiên, có một số hạn chế về vật liệu, thiết kế đối tượng 3D tốn thời gian, năng suất thấp và độ chính xác thấp
Blockchain	Tính bất biến, chống hàng giả	Công nghệ Blockchain được sử dụng trong chuỗi cung ứng để tăng cường tính minh bạch và khả năng truy xuất nguồn gốc sản phẩm. Sản xuất bồi đắp để tăng cường các biện pháp chống hàng giả.

- Yêu cầu về kinh doanh: Dựa trên các yêu cầu về chức năng và công nghệ của SMS, các yêu cầu kinh doanh của SMS được đưa ra để có thể minh họa rõ hơn các SMS hiện có. Công nghiệp 4.0 bao gồm ba khía cạnh để thúc đẩy máy tính hóa các ngành sản xuất, cung cấp tính linh hoạt hơn, giảm thời gian thực hiện, đáp ứng yêu cầu sản xuất lô nhỏ cho khách hàng và cung cấp các dịch vụ hạ nguồn theo đề xuất mới. Các nguyên tắc thiết kế cho Công nghiệp 4.0 bao gồm kết nối liên thông, minh bạch thông tin, quyết định phi tập trung, hỗ trợ kỹ thuật, khả năng tương tác, ảo hóa, khả năng đáp ứng thời gian thực, định hướng dịch vụ và mô-đun.

Các hệ thống sản xuất thông minh trên nền tảng các công nghệ mới nổi như IIoTs/IoTs, CPS, dữ liệu lớn, đám mây/điện toán đám mây và AI, thường có lợi thế về tổ chức, thông tin và công nghệ từ nhận thức về kiến thức kinh doanh đến tối ưu hóa KPIs thời gian thực. Các sản phẩm và dịch vụ bền vững giúp cho các SMS tái cấu trúc mô hình kinh doanh của chúng để trở nên thông minh hơn và có giá trị đồng sáng tạo cho các bên liên quan. Bảng 4 đưa ra trạng thái và cấp độ yêu cầu nghiệp vụ trong SMS dựa trên ISA95.

Bảng 4. Trạng thái và cấp độ yêu cầu nghiệp vụ trong SMS dựa trên ISA95

Nghiệp vụ	Cấp độ	Tình trạng hiện tại và các giới hạn
Kế hoạch kinh doanh và hậu cần (cấp 4)	Lập kế hoạch sản xuất cho nhà máy	Đã đưa ra được các khái niệm, phương pháp và công nghệ về việc lập kế hoạch nhận thức, kiểm soát nhận thức và vận hành nhận thức cho hệ thống sản xuất. Phương pháp ra quyết định đã được đề xuất dựa trên lập kế hoạch sản xuất tích hợp năng lượng để tối ưu hóa hiệu suất như thông lượng sản xuất, chi phí, và tiêu thụ năng lượng.
	Quản lý cung ứng	Tối ưu hóa chuỗi cung ứng và lập kế hoạch sản xuất trong ngành công nghiệp hóa chất
	Lưu trữ thông minh	Đánh giá liên kết nhân quả được sử dụng trong chẩn đoán nhà máy hóa chất công nghiệp với ít hoặc không có dữ liệu về các điều kiện sự cố, tình trạng sai lệch.
Quản lý vận hành	Theo dõi quá trình	Tăng cường kiểm soát quy trình: Dữ liệu lớn được áp dụng trong SMS có thể phát hiện sự bất thường và sử dụng phương pháp như

Nghịệp vụ	Cấp độ	Tình trạng hiện tại và các giới hạn
(cấp 3)	sản xuất	bình phương tối thiểu từng phần Partial Least Squares (PLS) máy vector hỗ trợ để duy trì dự đoán. (Máy vector hỗ trợ là một khái niệm trong thống kê và khoa học máy tính cho một tập hợp các phương pháp học có giám sát liên quan đến nhau để phân loại và phân tích hồi quy)
	Hệ thống thực thi sản xuất thông minh (Smart MES)	Thiết kế hệ thống thực thi sản xuất thông minh - Smart MES để giải quyết các vấn đề liên quan đến đồng bộ hóa dữ liệu và ứng dụng cộng tác sử dụng môi trường giao tiếp thời gian thực. Dưới sự thay đổi động, các tham số quy trình được tinh chỉnh và được xác định thông qua DMAIC, MAPEK và kỹ thuật dựa trên mô hình.
	Chẩn đoán thời gian thực	Chẩn đoán lỗi nguồn thường xuyên xảy ra trong hệ thống thông tin SM. Chẩn đoán thời gian thực quá trình hóa học dựa trên đánh giá liên kết nhân quả.
Kiểm soát (cấp 0, 1, 2)		Cơ sở hạ tầng CNTT-TT thông minh và cơ sở hạ tầng (RFID, cảm biến) phát triển các hệ thống gia công thông minh dựa trên đám mây.
	Ubiquitous robotic	Hệ thống Ubiquitous robotic và cloud robotics đã được ứng dụng trong SMS để chia sẻ tài nguyên và thực hiện nhiệm vụ mới
	Cảm biến và kết nối thông minh	Cảm biến quang phản xạ được sử dụng trong đo thời gian thực trực tuyến. Ứng dụng RFID và các phương tiện không dây để xây dựng hậu cần thông minh.

2.2 Vai trò của con người và robot trong nhà máy sản xuất thông minh

Trong các nghiên cứu trong vòng 5 năm qua, người ta thừa nhận rộng rãi rằng SMS cung cấp hiệu quả sản xuất, linh hoạt, bền vững, toàn cầu hóa và khả năng tùy chỉnh hơn nhiều. Một số thách thức chính cần giải quyết hiện tại bao gồm:

- Hệ thống sản xuất thông minh có liên quan đến việc thu thập thời gian thực nhiều nguồn lực và thông tin giữa các khu vực. Do vậy, làm thế nào để hiện thực hóa được nhận thức thông tin theo thời gian thực một cách tự chủ giữa các khu vực là vấn đề chính của các nghiên cứu.

- Vấn đề tối ưu hóa cộng tác theo thời gian thực của đa hệ thống phụ có liên quan đến chu kỳ hoạt động của SMS. Do vậy, làm thế nào để đạt được tối ưu khả năng cộng tác trong thời gian thực giữa các hệ thống phụ trở thành một vấn đề lớn.

- Với sự thay đổi liên tục của nhu cầu nên việc làm thế nào để nhanh chóng đáp ứng nhu cầu, thích ứng với nhu cầu và tổ chức các nhiệm vụ của SMS đã trở thành một thách thức chính.

- Trước áp lực giảm chi phí, các SMS đang phải đối mặt với hiệu quả cao, chất lượng cao và đa dạng hóa. Vậy làm thế nào để hiện thực hóa tổ chức hệ thống tổ chức chính xác và thực hiện các hoạt động sản xuất tự chủ sẽ cần phải được nghiên cứu sâu hơn nữa.

- Cần thiết có một cơ chế phát triển tự trị cho SMS để giải quyết các vấn đề về yêu cầu, chức năng và yêu cầu kinh doanh trong tương lai.

Với những thách thức được đề cập bên trên, các yêu cầu của SMS tới viễn cảnh tương lai được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5: Mô phỏng các yêu cầu của SMS tới viễn cảnh tương lai

Nghiên cứu hiện tại	Viễn cảnh tương lai
Mục tiêu	Mục tiêu được mô phỏng để thích ứng với các yêu cầu động & KPI của SMS
Yêu cầu chức năng	Cơ chế phát triển tự chủ tích hợp chức năng tự cảm nhận, tự thích ứng, tự tổ chức và tự quyết định, đạt được bằng thuật toán nhân tạo và các quy tắc để hiện thực hóa khả năng tự tối ưu hóa các hoạt động SMS dựa trên KPI và các yêu cầu động
Yêu cầu kinh doanh	Các yêu cầu kinh doanh được mô phỏng tới sơ đồ tự quản, bao gồm lớp lập kế hoạch thông minh, lớp thực thi thông minh và lớp điều khiển thông minh
Yêu cầu kỹ thuật	SMS tự trị được hiện thực hóa thông qua quá trình tích hợp tất cả các công nghệ mới nổi vào cơ chế phát triển tự trị và các kế hoạch tự trị
Các thành phần	Các thành phần mô phỏng cơ chế tiến hóa tự trị và sơ đồ tự quản, đồng thời được thúc đẩy bởi các yêu cầu động và KPI trong tương lai.

Con người và robot trong nhà máy thông minh

- Con người trong các nhà máy thông minh

Phạm vi hợp tác giữa con người và robot (HRC) gần đây đã nhận được rất nhiều sự quan tâm. Nhiều nghiên cứu và phòng thí nghiệm công nghiệp trên khắp thế giới đang triển khai các thử nghiệm hợp tác giữa con người và robot. Một trong những động lực chính đối với công việc này là việc sử dụng rộng rãi robot vào sản xuất nhiều hơn (robot công nghiệp, dịch vụ, di động). Có thể nói, robot được xem là giải pháp tối ưu cho nhiều thách thức xã hội mà xã hội ngày nay đang phải đối mặt như: chăm sóc người già, thay thế con người thực hiện những nhiệm vụ nguy hiểm hay những công việc đơn điệu.

Mô hình liên quan đến sự hợp tác giữa con người và robot đang thay đổi từ con

người-robot riêng biệt (trong quá khứ) sang tăng cường con người tiếp cận với robot (ở hiện tại) tương tác chặt chẽ giữa con người và robot (trong tương lai). Đặc biệt là trong các môi trường không có cấu trúc (các khu vực tách biệt, ngăn cách bên ngoài), vấn đề lớn đối với sự ra đời của robot là sự thiếu hụt khả năng dựa vào các cảm biến đáng tin cậy. Robot cần dữ liệu cảm biến để có thể thực hiện các nhiệm vụ như lập kế hoạch phản ứng, điều khiển chuyển động, kiểm soát lực, điều khiển robot dựa trên thị giác, chẩn đoán lỗi và giám sát mức độ an toàn. Nếu hệ thống HRC được lên kế hoạch dành cho môi trường phi cấu trúc với những chuyển động con người không thể đoán trước, HRC nên được trang bị hệ thống cảm biến đa năng, bao gồm cảm biến phạm vi, khoảng cách, cảm ứng, tầm nhìn, âm thanh, nhiệt độ,... Việc lựa chọn, sắp xếp, bố trí số lượng cảm biến và độ tin cậy của chúng sẽ góp phần đo lường chính xác mức độ tin cậy của người thao tác các nhiệm vụ có tương tác.

Tăng cường hơn nữa tính linh hoạt của các quy trình sản xuất tự động bằng cách đưa hoạt động tương tác giữa con người và rô-bốt vào quá trình này. Các quy trình sẽ được cải thiện khi bổ sung các kỹ năng nhận thức, cảm giác của con người với mức độ làm việc chính xác và hoạt động không mệt mỏi của robot. Các giải pháp này không yêu cầu vùng xung quanh robot phải an toàn, hoặc các vùng an toàn sẽ thu hẹp và nhỏ hơn so với robot truyền thống. Yếu tố quan trọng để phạm vi hợp tác giữa con người và robot thành công được thể hiện ở thiết kế trực quan về hành động và khả năng phối hợp điều khiển lẫn nhau của robot cũng như phân bổ nhiệm vụ giữa người vận hành và robot.

- Robot trong các nhà máy thông minh

Trong các nhà máy thông minh, robot được nhúng các bộ cảm biến để cho phép nó cộng tác với con người trong một không gian làm việc chung an toàn. Robot này được gọi là robot cộng tác (cobots), có một số lợi thế hơn hẳn so với robot công nghiệp truyền thống. Những robot này an toàn cho con người và có thể tạo ra không gian làm việc theo yêu cầu của robot truyền thống – vốn cần có hàng rào bảo vệ. Các cơ chế kết cấu đảm bảo an toàn được trang bị một số công nghệ: sử dụng các bộ cảm biến tiệm cận để làm chậm robot lại khi con người tiến lại gần nó; giới hạn tác dụng lực để có thể giảm tối đa các nguy cơ rủi ro cho con người và môi trường; và thiết lập cho robot các chế độ theo ý định và mục đích điều động phù hợp của con người. Ngoài các cơ chế đảm bảo an toàn này ra, cấp độ hợp tác khác nhau giữa con người và robot có thể thực hiện được. Con người sẽ thực hiện các nhiệm vụ yêu cầu mức độ khéo léo cao nhất, trong khi đó robot thực hiện các nhiệm vụ lặp đi lặp lại, nặng nhọc và đơn điệu tẻ nhạt hơn.

Trong tiêu chuẩn ISO 10218-2, robot cộng tác được định nghĩa như sau: Robot được thiết kế có khả năng tương tác trực tiếp với con người trong phạm vi không gian làm việc hợp tác xác định, tức là không gian làm việc trong phạm vi không gian được bảo vệ nơi mà robot và con người có thể thực hiện các nhiệm vụ đồng thời trong quá trình sản xuất. Về cơ bản, ý tưởng đưa ra là robot sẽ không làm tổn thương con người và các phương tiện bảo vệ con người có thể tự động kiểm soát lực và tốc độ, giám sát tách biệt, điều khiển bằng tay và có thể tạm dừng hoạt động, có giám sát và an toàn.

Thị giác máy và CAD (thiết kế được sự hỗ trợ của máy tính) sẽ hỗ trợ robot lên kế hoạch và kiểm soát hoạt động, tránh lãng phí thời gian lập trình thủ công cho robot. Khả năng học dựa trên trình diễn của robot cũng có thể giải phóng sự cần thiết phải lập trình bằng tay nhờ vào các nguyên thủy chuyển động động được dùng làm tham số hóa các chuyển động của robot. Nó giúp mang lại hiệu quả trong điều chỉnh sản xuất trong trường hợp cần sản xuất các lô sản phẩm quy mô ít có những thay đổi về hình dạng và kích thước sản phẩm.

+ Xe tự hành (Autonomous Ground Vehicles - AGVs)

AGV là một phần của quá trình phát triển nhà máy thông minh cũng như tự động hóa trong công nghiệp. Hiện nay AGV được sử dụng trong hoạt động vận chuyển nguyên vật liệu của nhiều ngành nghề khác nhau như công nghiệp sản xuất ô tô, xe máy; điện điện tử; logistic; dược phẩm; y tế; hàng tiêu dùng; và ở các ngành công nghiệp cần vận chuyển tự động lặp đi lặp lại, liên tục...

AGV đóng một vai trò khá quan trọng đối với các vấn đề logistics trong nhà máy thông minh. Nó cho phép vận chuyển hàng hóa hiệu quả bên trong các phân xưởng, nhà máy, đến hoặc đi từ các nhà máy, do đó nó thay thế và giải phóng cho con người, hoạt động tối ưu trong các môi trường mà con người không thể tiếp cận được như môi trường hóa chất, môi trường nóng hoặc môi trường quá lạnh hoặc giải phóng không gian làm việc, giảm thiểu tối đa thời gian chết giữa các công đoạn sản xuất.

+ Cảm biến tích hợp

Việc hợp nhất thông tin cảm biến từ đa nguồn có thể hỗ trợ cung cấp những mô tả đáng tin cậy và rõ ràng về thế giới, không gian xung quanh robot. Nhìn chung, yêu cầu tích hợp thông tin cảm biến chỉ dựa trên cơ sở các mô hình gần đúng của môi trường. Hợp nhất dữ liệu đặc biệt quan trọng khi cần giám sát các điểm tiếp xúc để điều khiển tránh va người vận hành với mức độ ưu tiên cao. Tuy có rất nhiều cảm biến có sẵn cho các hệ thống HRC, nhưng rất ít hoạt động đạt được sự hợp nhất giữa thông tin liên hệ và trực quan.

Sự cộng tác chặt chẽ giữa người – robot được trang bị các bộ cảm biến an toàn, tiên tiến hiện đại và cảm biến thị giác. Với loại thứ nhất, robot sẽ tạm dừng hoạt động khi người vận hành đi vào khu vực bị hạn chế và chỉ hoạt động trở lại khi con người cho phép. Còn với loại thứ hai, vì chế độ an toàn đã được phân loại theo từng mức độ nên robot này sẽ có những phản hồi khác nhau tùy theo khoảng cách trong môi trường làm việc với con người, và sẽ dừng hoạt động khi hệ thống phát hiện ra con người đang tiếp cận quá gần.

Chúng có thể bao gồm các cảm biến tiệm cận, chẳng hạn như camera quét xoay tròn, quay nghiêng lên xuống, hoặc thu phóng hình ảnh camera một cách sắc nét (pan/tilt/zoom cameras – camera PTZ), camera âm thanh nổi, máy ảnh độ sâu, hệ thống trình chiếu và hệ thống phản hồi âm thanh/video. Các bộ cảm biến tương tác với khoảng cách bao gồm PTZ camera, camera âm thanh nổi, hệ thống trình chiếu, 3D Lidar, hệ thống phản hồi âm thanh/video và cảm biến an toàn được chứng nhận. Cảm biến HRC cũng có thể bao gồm cảm biến lực/mô-men xoắn hoặc cảm biến khoảng cách được tích hợp vào thiết bị kẹp.

- Sản xuất bồi đắp bởi robot

Một trong những tiềm năng trong lĩnh vực sản xuất bồi đắp (*phương thức chế tạo sản phẩm bằng cách “đắp” từng lớp vật liệu lên nhau, mô phỏng theo thiết kế đã được vẽ sẵn trên phần mềm CAD hay chính là quá trình chế tạo sản phẩm dựa trên một bản thiết kế kỹ thuật số ba chiều*) là nhiều sản phẩm có thể được sản xuất tại cơ sở sản xuất của khách hàng và có thể chế tạo theo yêu cầu mà không mất thời gian vận chuyển hoặc chi phí hậu cần khác. Điều này giúp giảm chi phí cho các sản phẩm do thời gian tùy chỉnh và chi phí của chúng ở mức tối thiểu so với thời gian sản xuất của chúng.

Thuật ngữ sản xuất bồi đắp (AM) bao gồm nhiều công nghệ kỹ thuật để hình thành nên cấu trúc ba chiều, thường được chế tạo theo yêu cầu. Các phương pháp sản xuất bồi đắp khác nhau, chẳng hạn như in 3D và tạo mẫu nhanh, đã được phát triển từ việc chế tạo các mô hình đơn giản để hỗ trợ hình dung sản phẩm cuối cùng cho đến việc tạo ra các cấu trúc hoạt động như sản phẩm hoàn chỉnh.

Công nghệ sản xuất bồi đắp đang trên đà phát triển và đặc biệt quan trọng đối với các nhà phát triển và các công ty quy mô nhỏ bởi họ có thể dễ dàng tạo ra các nguyên mẫu chi phí thấp và các bộ phận tùy chỉnh, theo yêu cầu. Phần lớn các bộ phận và sản phẩm cỡ nhỏ hơn được sản xuất theo công nghệ sản xuất bồi đắp. Hiện tại, sản xuất bồi đắp đang được đưa vào sử dụng trong một số dự án nhà ở. Dự án MX3D của Hà

Lan đã tiến hành xây dựng một cây cầu độc đáo duy nhất bằng công nghệ AM do robot thực hiện.

Nghiên cứu về sản xuất bồi đắp quy mô lớn tập trung chính vào các cấu trúc kim loại, kết hợp sử dụng dây và hồ quang trong công nghệ sản xuất bồi đắp (WAAM) với bộ điều khiển robot 6 bậc tự do (DOF). Nhờ có sự kết hợp linh hoạt và không gian làm việc rộng lớn của robot công nghiệp, cùng với sự lắng đọng vật liệu, nó có thể xây dựng được các cấu trúc lớn hơn nữa.

Ở khía cạnh tài chính, WAAM có tiềm năng và triển vọng to lớn do công nghệ này có tốc độ lắng vật liệu tương đối nhanh, chỉ cần vài kilogram nguyên liệu mỗi giờ và thời gian xử lý nhanh hơn đáng kể so với các phương pháp khác. Tuy nhiên, nó vẫn tồn tại một số thách thức trong quá trình chế tạo do hồ quang và bốc cháy dẫn đến sản phẩm bị biến dạng. Mặc dù vậy, vấn đề này có thể giải quyết được trong quá trình thực hiện xây dựng các công trình có tính liên tục dù có thể gặp những thách thức về đặc tính vật liệu liên quan đến ứng suất dư hoặc những thách thức bên ngoài như sự thay đổi kích cỡ hạt vật liệu do sự tích tụ nhiệt. Tất nhiên nó cũng sẽ ảnh hưởng đến cấu trúc cuối cùng nhưng phần lớn phụ thuộc vào vật liệu. Việc thực hiện khảo sát quá trình xây dựng để điều chỉnh nhiệt đầu vào (dựa trên phản hồi) sẽ cải thiện đáng kể tiềm năng của WAAM khi xây dựng các công trình ở bất kỳ quy mô lớn nhỏ nào.

Phương pháp điều khiển dựa theo lô cho phép có sự tự do theo định hướng của công cụ được sử dụng trong các thử nghiệm, hướng của súng hàn có thể lệch trong một khoảng cho phép đã được chọn. Phương pháp này có thể giúp giảm bớt các yêu cầu phức tạp đối với quỹ đạo cho bộ tạo hiệu ứng cuối của robot. Trước đây nó cũng đã được thử nghiệm cho sơn phun.

Ngoài ra, sự tự do trong định hướng này nghĩa là vật liệu phần lớn được lắng đọng trong khi hướng của súng hàn không thẳng đứng hoàn toàn, điều này khác hẳn với các phương pháp truyền thống từ dưới lên hoặc từ trên xuống. Dụng cụ cũng có thể xây dựng được các cấu trúc hình trụ, thành mỏng với chiều cao gia tăng liên tục, trái ngược với cách tiếp cận từng lớp truyền thống.

Một trong những phát triển quy mô lớn, thú vị nhất gần đây của WAAM có lẽ là dự án MX3D. Họ đã in được một cánh tay robot công nghiệp hoàn chỉnh bằng thép không gỉ, từng phần một, sử dụng WAAM kết hợp với gia công chỉnh sửa. Với quá trình hàn liên tục không ngừng, quá trình xây dựng này có thể thực hiện xong chỉ trong bốn ngày. Mặc dù cánh tay robot chưa được lắp ráp, nhưng nếu thử nghiệm hoàn chỉnh thành công, WAAM và sản xuất bồi đắp nói chung hứa hẹn sẽ có thể tạo

ra các bộ phận tùy chỉnh hiệu quả và hợp lý cho cả việc tạo mẫu và thay thế.

Khi sản xuất bồi đắp phát triển vượt xa các phương pháp truyền thống, nó sẽ có khả năng tạo ra các sản phẩm có kích thước lớn hơn và phức tạp hơn. Việc bỏ qua phương pháp tiếp cận từng lớp nghiêm ngặt sẽ loại bỏ yêu cầu xây dựng các cấu trúc hỗ trợ cần phải loại bỏ trong quá trình xử lý hậu kỳ và giúp nó có thể xây dựng các cấu trúc có phần nhô ra.

Hầu hết các thử nghiệm với sản xuất bồi đắp quy mô lớn hiện nay đang được thực hiện trong nhà xưởng, bước tiếp theo tất nhiên sẽ là xem xét các phương pháp này có thể sử dụng xây dựng tại chỗ và bổ sung thêm vật liệu vào các cấu trúc hiện có như thế nào. Điều này có thể mở ra những khả năng mới cho công việc sửa chữa và sửa đổi đối với các cấu trúc khó di chuyển vị trí. Hơn nữa, sản xuất bồi đắp không chỉ có tự do về cấu trúc mà còn có thể sử dụng với các vật liệu mới, chất liệu khác nhau (như hợp kim titan và niken). Trong đó, WAAM phù hợp dùng để tạo ra các bộ phận sản phẩm có kích thước lớn với các thành phần có độ phức tạp trung bình, chế tạo được bằng vật liệu có giá trị cao do nó có thể tạo ra sản phẩm cuối cùng có hình dạng rất gần với hình dạng ban đầu, vì thế chỉ cần gia công hoàn thiện những bề mặt có dung sai cao.

Hiện tại, ngành công nghiệp hàng không vũ trụ đang ứng dụng WAAM cho hợp kim titan và niken. Norsk Titanium, công ty sản xuất kim loại Na Uy, đã cung cấp thành phần titan đầu tiên được tạo ra bởi WAAM. Thành phần này đã được dùng cho máy bay Boeing 787 Dreamliner. Việc sử dụng các vật liệu mới hoặc kết hợp các vật liệu khác nhau có thể tạo ra các khả năng hình học phức tạp với các đặc tính vật liệu cần thiết phù hợp với từng vị trí và bộ phận.

Sự kết hợp của WAAM cùng quá trình lắng đọng kim loại bằng laser (LMD) tạo ra các tiềm năng phát triển cho công nghệ phủ (coating) và lớp áo phủ (cladding) hoặc phát triển các loại sản phẩm có thiết kế hình học phức tạp và kích thước lớn. Việc sử dụng các vật liệu khác nhau cho LMD đã có trong môi trường công nghiệp trong nhiều năm. Vật liệu mới và sự kết hợp mới có thể mang lại những cơ hội và khả năng tuyệt vời cho việc sửa chữa và xây dựng các bộ phận phức tạp.

Không chỉ cho thấy khả năng loại bỏ vật liệu đồng trên inox AISI 304L mà sự kết hợp vật liệu như TiC-Ni cũng cho thấy tiềm năng phát triển cấu trúc đa vật liệu. Một lựa chọn khác được áp dụng là công nghệ Hàn kim loại nguội (CMT) để hàn vật liệu khác chủng loại, trong đó AlSi5 được sử dụng làm chất hàn phụ để hàn một tấm hợp kim magiê và một tấm hợp kim nhôm với nhau. Kết quả cho thấy khả năng sử dụng

các vật liệu mới và khác nhau của công nghệ CMT-AM. Quy trình CMT được dùng để hàn hợp kim nhôm với thép cacbon thấp mạ kẽm. Khả năng hàn các vật liệu khác loại cho thấy tiềm năng lớn của CMT khi kết hợp với WAAM bởi sự kết hợp vật liệu và sự phát triển lớp phủ và sửa chữa các thành phần có thể thực hiện được với các vật liệu có sử dụng phương pháp sản xuất truyền thống khó gia công nhưng có đặc tính vật liệu tốt.

2.3 Các kịch bản của Sản xuất thông minh và Nhà máy thông minh

Trong tương lai, sức mạnh tổng hợp các kỹ năng của robot và con người sẽ càng quan trọng hơn để có thể tăng năng suất và chất lượng sản phẩm, trong khi đó các điều kiện và môi trường làm việc, sức khỏe và an toàn cho con người không thay đổi. Điều này rõ ràng sẽ thúc đẩy các kịch bản sản xuất, trong đó con người và các thiết bị tự động hóa công nghiệp hoạt động trong cùng một không gian làm việc, có thể sử dụng tương tác lẫn nhau theo từng khả năng của mỗi thiết bị.

Trong những thập kỷ qua, robot công nghiệp đã thể hiện rõ khả năng trở thành một thành phần cốt lõi trong tự động hóa công nghiệp/nhà máy thông minh bởi nó cung cấp khả năng làm việc tối ưu và linh hoạt. Do sự kết nối robot gần gũi hơn với con người, có thể cộng tác trực tiếp hoặc chia sẻ nhiệm vụ trong cùng một khu làm việc nên có thể tạo ra sức mạnh tổng hợp giữa khả năng của robot và con người. Các nhà máy thông minh sẽ cần các giải pháp mới để tạo ra một hệ thống robot mở có khả năng chuyển đổi tự động nhiều chế độ đảm bảo an toàn, cho phép một môi trường làm việc mà hệ thống robot có thể thích ứng liền mạch, tức thì chuyển từ tự động hóa hoàn toàn sang chia sẻ nhiệm vụ an toàn và cộng tác trực tiếp trong khu vực làm việc của robot.

- Thiết kế thông minh: Thiết bị đeo thông minh được cá nhân hóa dựa trên trải nghiệm người dùng

Trong môi trường Công nghiệp 4.0, hai xu hướng nổi bật và điển hình trong giai đoạn phát triển sản phẩm là: 1) khách hàng có thể tham gia tích cực hơn vào quá trình thiết kế sản phẩm để cùng tạo ra các sản phẩm cá nhân hóa với trải nghiệm người dùng tốt hơn và hài lòng hơn. Xu hướng này được gọi là mô hình sản xuất cá nhân hóa hàng loạt; 2) bản thân sản phẩm trở nên thông minh và tự có khả năng giao tiếp với những thứ khác trong vòng đời của chúng. Tuy nhiên, có rất ít nghiên cứu liên quan đến việc theo dõi vòng đời cuối của các sản phẩm thông minh. Với mục tiêu có thể thu hẹp hai khoảng cách này, kịch bản này cung cấp một cách có hệ thống cho việc phát triển một loạt các sản phẩm có thể mang, được cá nhân hóa và có tính đến các yếu tố trên.

Khung khái niệm của mô hình đồng sáng tạo bao gồm ba lớp đó là: lớp vật lý, lớp không gian mạng và lớp trải nghiệm người dùng. Lớp vật lý là viết tắt của các sản phẩm vật lý (ví dụ: vòng đeo tay) và dịch vụ (ví dụ: đăng ký ứng dụng), lớp không gian mạng là viết tắt của các tài nguyên đồng thiết kế ảo dựa trên web (ví dụ: mô hình CAD và hệ thống cấu hình sản phẩm) và lớp trải nghiệm người dùng (UX) là viết tắt của các hành vi nhận thức và tình cảm của người dùng (ví dụ: phản hồi, cảm xúc) trong quá trình phát triển sản phẩm.

Thiết kế thông minh áp dụng các phương pháp thiết kế hiện đại, tiên tiến bậc nhất như thiết kế tùy ứng, tư duy thiết kế sáng tạo để dẫn dắt quy trình thiết kế ý niệm tương tác người dùng. Ngoài ra, phát triển một hệ thống cấu hình sản phẩm với giao diện người dùng đồ họa sẽ cho phép diễn ra quá trình đồng sáng tạo. Để nguyên mẫu bộ phận được cá nhân hóa, máy quét 3D sẽ được dùng để sao chép các tính năng cụ thể của người dùng và các thông số hình học tối ưu hóa trong phần mềm CAD cho in 3D sau này. Nền tảng cảm biến thông minh (ví dụ: Raspberry Pi) được triển khai trong sản phẩm tạo mẫu nhằm có thể kiểm tra các chức năng thông minh của nó (ví dụ: nhịp tim, tần số thở) cùng với các ứng dụng (các Apps trong các thiết bị di động thông minh). Dữ liệu cảm biến sau đó được tích hợp vào nền tảng IoT ThingWorx để có thể phân tích dữ liệu sâu hơn và theo dõi trạng thái của sản phẩm như vị trí, thời gian sử dụng,... Khi đó trải nghiệm người dùng được ghi lại cả trong giai đoạn phát triển sản phẩm và giai đoạn thử nghiệm sản phẩm nguyên mẫu.

Các chiến lược trước đây, chiến lược tiếp thị (ví dụ: bảng câu hỏi, nhóm tập trung) và cả thiết bị kỹ thuật số (ví dụ: máy theo dõi mắt và máy quay video) đều được sử dụng để phản ánh nhận thức của người dùng đối với quá trình đồng thiết kế. Trong chiến lược mới, trải nghiệm của người dùng sẽ được ghi lại bằng thiết bị kỹ thuật số (ví dụ: tai nghe thực tế ảo, thiết bị theo dõi mắt) và các chiến lược tiếp thị.

Các quy trình thiết kế thông minh được thiết kế sơ bộ trong một chuỗi thử nghiệm có sự tham gia của con người, sau đó được tiến hành nghiên cứu để: 1) tìm ra mối quan hệ giữa trải nghiệm người dùng và sở thích của người dùng trong phạm vi sản phẩm thông thường (do nhà thiết kế thiết kế), sản phẩm được mô-đun hóa (đồng thiết kế) và sản phẩm được cá nhân hóa (do người dùng thiết kế); 2) khám phá ra phương pháp nào đạt được trải nghiệm người dùng tốt hơn trong một bối cảnh nhất định, tức là trực quan hóa thiết kế sản phẩm (ví dụ: thực tế ảo, thực tế tăng cường) hoặc tạo mẫu nhanh thiết kế sản phẩm (ví dụ: in 3D); 3) tìm ra mối quan hệ liên quan giữa các thuộc tính thông minh của sản phẩm thông minh có thể đeo được và trải nghiệm người dùng; 4) khám phá hành vi của người dùng đồng thiết kế trong quá trình tương tác người-

máy; và 5) cung cấp các hướng dẫn hữu ích cho các công ty thiết kế theo đơn đặt hàng để tối ưu hóa phát triển sản phẩm lấy khách hàng làm trung tâm.

- Gia công thông minh: Máy công cụ thông minh dựa trên CPS

Sau thiết kế thông minh, công cụ máy thông minh CPS hỗ trợ sẽ được sử dụng để sản xuất các sản phẩm thực. CPS có khả năng kết hợp thế giới thực – ảo để tạo ra một thế giới không gian mạng thực sự trong đó các đối tượng thông minh có thể giao tiếp và tương tác với nhau. Trong bối cảnh của Công nghiệp 4.0, các hệ thống sản xuất được phát triển thành CPPS, bao gồm máy móc thông minh, hệ thống kho bãi và các cơ sở sản xuất triển khai số và có tính năng tích hợp trên CNTT-TT từ đầu đến cuối. Công cụ máy thông minh có thể được coi là sự kết hợp của các CPS khác nhau. Thẻ RFID được gắn vào những thành phần quan trọng như trục xoay, ổ trục và dụng cụ cắt do vậy có thể xác định được đối tượng vật lý duy nhất. Nhiều thiết bị cảm biến khác nhau (gia tốc kế, động lực kế, cảm biến AE, v.v.), máy ảnh và thiết bị thu thập dữ liệu được lắp ráp triển khai trong các máy công cụ để có thể thu thập dữ liệu gia công theo thời gian thực của từng thành phần quan trọng cũng như quá trình gia công.

Dịch vụ liên lạc đề cập đến việc tích hợp, giao tiếp và quản lý dữ liệu gia công thời gian thực được thu thập từ các máy công cụ thông minh. Mặc dù các công nghệ truyền thông dữ liệu khác nhau (Ethernet, RS 232, mạng 4G, Bluetooth...) được dùng để truyền dữ liệu thời gian thực phụ thuộc vào thiết bị thu thập dữ liệu khác nhau, nhưng các định dạng dữ liệu khác nhau từ các bộ điều khiển máy và bộ cảm biến khác nhau lại đặt ra những thách thức lớn đối với việc tích hợp và quản lý dữ liệu. Thêm vào đó, việc thu thập tất cả các dữ liệu, bản sao số (digital twin) cho từng thành phần quan trọng cần phải được mô hình hóa để thể hiện toàn diện các thuộc tính vật lý và trạng thái thời gian thực của nó vào cùng một thời điểm.

Để có thể giải quyết những thách thức này, giao thức truyền thông dữ liệu và phương pháp mô hình hóa thông tin được chuẩn hóa đưa vào sử dụng. MTConnect là một tiêu chuẩn giao tiếp mở, miễn phí bản quyền nhằm tăng cường khả năng thu thập dữ liệu cho các thiết bị và các ứng dụng, hướng tới môi trường công nghệ plug-and-play, giảm chi phí tích hợp dữ liệu. Nó có khả năng chuyển dịch dữ liệu thu thập từ các thiết bị khác nhau sang định dạng dữ liệu XML mà hầu hết các ứng dụng phần mềm sử dụng. ISO 10303, còn được gọi là STEP, là tiêu chuẩn ISO mô tả dữ liệu sản phẩm trong suốt vòng đời của nó ở bất kỳ hệ thống cụ thể nào đó.

Dựa trên các tiêu chuẩn này, dịch vụ liên lạc tạo ra các bản sao số cho các thành phần quan trọng và cung cấp dữ liệu thời gian thực được định dạng chuẩn hóa cho các

ứng dụng khác nhau thông qua mạng internet. Dịch vụ hiển thị thông minh là một trong những ứng dụng tận dụng dữ liệu thời gian thực do dịch vụ truyền thông cung cấp. Việc có được các dữ liệu thời gian thực từ internet, trạng thái thời gian thực của mỗi thành phần quan trọng của công cụ máy thông minh sẽ được trực quan hóa từ xa trên các thiết bị di động như máy tính bảng và điện thoại thông minh.

Báo cáo thống kê về tình trạng máy công cụ sẽ được truy cập trực tiếp trên các hệ thống quản lý kinh doanh như ERP, cho phép giao tiếp liền mạch giữa các thiết bị sản xuất cấp trường và hệ thống ra quyết định cấp cao. Dữ liệu lịch sử sẽ mô tả lại toàn bộ các dữ liệu thời gian thực do dịch vụ truyền thông cung cấp và được lưu trữ đám mây và lưu trữ cục bộ. Các thuật toán tiên lượng và quản lý sức khỏe (Prognostics and Health Management algorithms - PHM) sau đó được dùng để đánh giá trạng thái sức khỏe của một số thành phần nhất định để tiên lượng và bảo trì tiên phong (bảo trì tiên phong là khắc phục sự cố, duy trì ổn định độ tin cậy của máy móc hoặc thiết bị) và tránh tình trạng máy móc bị hỏng hóc. Thực tế ảo tăng cường (AR) có thể trực quan hóa các quy trình gia công. Việc kết hợp công nghệ AR với dữ liệu sản xuất được thu thập trong quá trình gia công thời gian thực sẽ cho phép tương tác trực quan và hiệu quả giữa người dùng và các máy công cụ thông minh.

- Giám sát thông minh: Giám sát mức tiêu thụ năng lượng

Trong bối cảnh phát triển hệ thống sản xuất Công nghiệp 4.0, sản xuất hiệu quả nguồn năng lượng đang là mối quan tâm của nhiều doanh nghiệp công nghiệp. Thực tế, bên trong một phân xưởng sản xuất có rất nhiều các loại thiết bị gia. Giá năng lượng hiện nay ngày càng tăng cao và vấn đề bảo vệ môi trường đang là mối quan tâm lớn của nhiều quốc gia.

Mỗi một thiết bị gia công thường có một đặc tính tiêu hao năng lượng cố định. Một số quy trình sản xuất yêu cầu năng lượng cao trong quá trình vận hành gia công thường cố định như công suất khởi động máy công cụ, công suất không tải, công suất khởi động trực chính, công suất cắt và công suất hoạt động máy (thay dao, xử lý chi tiết gia công). Một số phần không thể thể hiện được bằng công thức. Đối với công suất khởi động trực chính có thể có các biểu thức tính toán phức tạp, gây khó khăn cho việc tính toán nhu cầu năng lượng và tối ưu hóa sau đó. Hơn nữa, có sự dao động công suất trong từng phân xưởng dẫn đến khó khăn trong việc thiết lập mô hình tiêu thụ năng lượng. Để đạt được hiệu quả sử dụng năng lượng cho sản xuất, cần phải theo dõi mức tiêu hao năng lượng gia công thời gian thực. Trong bối cảnh của nền công nghiệp 4.0, nhờ triển khai rộng rãi các thiết bị cảm biến khác nhau, dữ liệu về mức tiêu thụ năng lượng có thể thu thập được.

Các phương pháp học máy (Machine learning methods) có thể áp dụng để dữ liệu thu thập được có chứa các đặc điểm về nhu cầu năng lượng. Mạng nơ-ron sâu (Deep neural network - DNN) là một phương pháp học máy tập trung vào phân tích tập dữ liệu lớn. Nó có thể trích xuất các đặc điểm hoặc xu hướng tiêu thụ năng lượng của thiết bị sản xuất dựa trên dữ liệu thu được từ việc giám sát tiêu thụ năng lượng.

Xác định lớp đầu vào và lớp đầu ra là quy trình xử lý đầu tiên của DNN. Đầu vào bao gồm máy công cụ, dụng cụ cắt, vật liệu của bộ phận được gia công, các thông số, chiến lược gia công, bộ vận chuyển và thiết bị phụ trợ. Đầu ra là năng lượng tiêu thụ của từng công đoạn trong quá trình gia công. Các dụng cụ cắt khác nhau có phạm vi tham số khác nhau (ví dụ: vận tốc cắt, tốc độ tiến dao). Máy công cụ, dụng cụ cắt và vật liệu xác định đồng thời mức tiêu thụ năng lượng cắt, cho nên nhu cầu năng lượng sẽ biến đổi. Do đó, mối quan hệ giữa hệ thống máy móc và cắt giảm tiêu thụ năng lượng có thể được thiết lập thông qua DNN.

- Điều khiển thông minh: Điều khiển số dựa trên đám mây

Điều khiển thông minh trong hệ thống sản xuất Công nghiệp 4.0 có ý nghĩa lớn vì máy công cụ và hệ thống điều khiển của nó ngày càng trở nên tinh vi hơn. Ví dụ, người vận hành có thể sử dụng hệ thống CNC hiện tại, trong đó họ có thể sử dụng giao diện người - máy (HMI), các công tắc và nút bấm để thao tác máy thực hiện công việc gia công. Mỗi hệ thống điều khiển của máy công cụ hoạt động độc lập nhau sẽ hình thành “đảo thông tin tách biệt” (information isolated island). Trong môi trường sản xuất dựa trên đám mây, một hình thức mới và sáng tạo có tên là Hệ thống kiểm soát như một dịch vụ (CSaaS) sẽ được đề nghị đưa vào áp dụng. Người sử dụng CSaaS không chỉ giới hạn ở người vận hành máy mà còn là nhà cung cấp giám sát máy và thậm chí là người dùng cuối của sản phẩm để phù hợp với nhu cầu mới nổi trong các mô hình kinh doanh mới.

Trong hệ thống điều khiển thông minh, tất cả các nhiệm vụ không theo thời gian thực sẽ được thực thi trên đám mây. Các công việc gia công được lịch trình hoạt động và phân bổ làm việc cho các máy công cụ đã được kết nối, có tính đến chức năng và tính sẵn có của chúng và được coi như nguồn lực sản xuất tại chỗ. Người vận hành cục bộ cũng có thể khởi động quá trình gia công bằng ghi chép chương trình bộ phận. Điện toán đám mây có thể diễn giải chương trình một phần bất kể nó ở dạng mã G/M hay STEP-NC. Nếu đó là chương trình phần STEP-NC, đám mây sẽ tạo đường chạy dao từ chương trình phần STEP-NC. Trong suốt quá trình tạo đường chạy dao, việc tối ưu hóa ngoại tuyến gồm tối ưu hóa lựa chọn dao cắt, trình tự lại các bước làm việc và tham số cắt có thể được thực hiện với sự trợ giúp của công nghệ cơ sở nền tảng tri

thức hoặc các dịch vụ tối ưu hóa khác.

Phép nội suy cũng được thực hiện trên đám mây, do đó có thể khai thác đầy đủ sức mạnh tính toán của đám mây. Nếu không có hệ thống điều khiển thích nghi trực tiếp tham gia vào cùng thì cần tạo ra các điểm đặt bộ nội suy độc lập với hệ thống điều khiển phản hồi của máy công cụ. Hệ thống kiểm soát cục bộ chịu trách nhiệm đảm bảo các trục tuân thủ, chính xác theo các điểm đặt. Trong hệ thống điều khiển cục bộ, quản lý kết nối đảm nhiệm quản lý kết nối Internet đám mây và cục bộ. Giám sát dữ liệu chịu trách nhiệm quan sát dữ liệu nhận được và đối phó với bất kỳ lỗi truyền tải nào.

Mô-đun giám sát máy sẽ sử dụng hệ thống phản hồi từ bộ mã hóa. Khi kết hợp thông tin từ các cảm biến khác, mô-đun giám sát máy sẽ cung cấp trạng thái hoạt động, chu trình gia công và máy công cụ. Mặc dù HMI do đám mây cung cấp, nhưng trong hệ thống điều khiển cục bộ vẫn có một HMI đơn hiển thị thông tin cơ bản để người vận hành điều khiển máy công cụ trong trường hợp dịch vụ đám mây không khả dụng. Thông tin từ máy công cụ được truyền tới đám mây bao gồm các vị trí trục hiện tại, các biểu tượng thiết lập và máy cắt, sẽ được sử dụng khi các đường chạy dao được tạo. Tiến trình xử lý nhiệm vụ gia công và trạng thái của máy công cụ (ví dụ: trạng thái hoạt động, thông tin cảnh báo) sẽ được hệ thống điều khiển cục bộ truyền lên đám mây.

- Lịch trình sản xuất thông minh: Lịch trình máy trong nhà máy thông minh

Lịch trình máy thông minh có thể thiết lập được trên nền tảng máy móc thông minh, giám sát thông minh (ví dụ: giám sát mức tiêu thụ năng lượng) và hệ thống điều khiển thông minh từ đám mây. Lịch trình máy là một vấn đề cổ điển đã được nghiên cứu trong nhiều thập kỷ, và trong bối cảnh của Công nghiệp 4.0, nó có một số đặc điểm và yêu cầu mới.

Trong Công nghiệp 4.0, máy móc được “ban tặng” một cấp độ thông minh nhất định và có thể giao tiếp với nhau nhờ triển khai nhiều thiết bị cảm biến và thiết bị giao tiếp không dây khác nhau (ví dụ: RFID). Trong trường hợp này, máy móc, ở một mức độ lớn, rõ ràng là dữ liệu từng bộ phận máy móc có thể được thu thập một cách thuận lợi trong thời gian thực. Khi trích xuất thông tin có lợi (chẳng hạn như trạng thái hoạt động, mức tiêu thụ năng lượng) từ các dữ liệu thu thập được, người ta có thể thiết lập một lịch trình máy tối ưu. Điều này sẽ mang lại nhiều lợi thế và loại bỏ một số rào cản của việc lập lịch trình máy như sự cố máy móc và không có sẵn và khi máy móc có nguy cơ hỏng hóc hay không khả dụng, có thể phát hiện ngay trong môi trường sản

xuất Công nghiệp 4.0. Một điểm khác biệt chính giữa lịch trình máy trong Công nghiệp 4.0 và lập lịch trình máy truyền thống là các sản phẩm hoặc các bộ phận rất thông minh, có thể giao tiếp với máy móc, mang lại nhiều lợi thế cũng như những thách thức mới.

Trong môi trường sản xuất Công nghiệp 4.0, mỗi máy là một thực thể CPS, có thể giao tiếp với nhau trong cả thế giới thực và ảo. Bản chất của lập lịch trình máy trong Công nghiệp 4.0 là lập lịch trình hợp tác CPS. Sự phức tạp của lịch trình máy trong Công nghiệp 4.0 xuất phát từ các đặc điểm điển hình của CPS chẳng hạn như khả năng tự hành (tự nhận biết, tự dự đoán, tự so sánh), tính phi tập trung và thời gian thực. Do đó, lập lịch trình máy trong Công nghiệp 4.0 đòi hỏi các phương pháp có khả năng lập lịch trình hiệu quả, năng động và phi tập trung. Trên thực tế, khi nâng cấp máy móc sang CPS có khả năng nhận thức toàn diện, lịch trình sản xuất cho máy móc trong Công nghiệp 4.0 sẽ được hỗ trợ tốt hơn. Trí tuệ nhân tạo như hệ thống đa tác nhân cũng cung cấp công cụ hiệu quả cho lập lịch trình máy móc cho các nhà máy Công nghiệp 4.0 thông minh. Trong các hệ thống sản xuất Công nghiệp 4.0, các mô hình và thuật toán lập lịch được triển khai trong không gian mạng CPS (ví dụ: đám mây), trong đó có sự tương tác với các thiết bị máy móc thực và hợp tác thúc đẩy sản xuất.

- Triển khai công nghiệp: Quét 3D thông minh để kiểm tra chất lượng tự động

Kiểm soát nguyên liệu và kiểm tra chất lượng trong môi trường sản xuất thông minh là một trong những thách thức lớn đối với Công nghiệp 4.0. Nhà máy thông minh trong Công nghiệp 4.0 được thiết lập bằng cách hợp nhất thế giới vật lý các thiết bị khu vực sản xuất với thế giới ảo của CNTT. Trong trường hợp này, các nhà sản xuất nên hiểu rằng việc sản xuất một sản phẩm đơn lẻ sẽ vẫn có lợi nhuận. Do đó, những thay đổi mang tính cách mạng đối với máy móc thông minh và các thiết bị thông minh khác đối với khu vực sản xuất cần phải chuyển sang hệ thống kiểm soát chất lượng thông minh để đảm bảo cung cấp sản phẩm chất lượng tốt nhất cho khách hàng.

Ngoài ra, khách hàng cũng mong muốn có quyền truy cập vào cơ sở dữ liệu chất lượng theo thời gian thực để đảm bảo rằng các sản phẩm cuối cùng đáp ứng yêu cầu của họ. Đối với nhiệm vụ này, rất cần cần có một công nghệ mới để có thể tăng tốc quá trình kiểm tra chất lượng với độ chính xác cao và tăng cường khả năng truy xuất nguồn gốc. Máy đo tọa độ (CMM) là một công nghệ phổ biến dùng để thực hiện kiểm tra chất lượng nguyên liệu chế biến cũng như để đo lường chất lượng của sản phẩm cuối cùng. Tuy nhiên, các công nghệ CMM hiện tại không có khả năng cung cấp đánh

giá chất lượng nhanh chóng cho các sản phẩm riêng lẻ cũng như không thể đo được các bộ phận hình học phức tạp của các sản phẩm được sản xuất. Theo đó, các công nghệ trong lĩnh vực đo lường đã có những thay đổi lớn trong vài thập kỷ qua từ thiết bị CMM độc lập và cố định sang thiết bị đo nhỏ gọn cầm tay. Hơn nữa, công nghệ thị giác máy quang học tiên tiến cũng được áp dụng để thực hiện các nhiệm vụ kiểm tra đòi hỏi yêu cầu cao hơn. Nó không chỉ kiểm tra ngay trong dây chuyền sản xuất, gần các khu vực hơn, mà còn tự động hóa kiểm tra với độ chính xác cao hơn.

Hoạt động kiểm tra chất lượng tự động của thiết bị quét 3D bắt đầu bằng việc quét một đối tượng nào đó, sau đó tạo ra các tập điểm 3D, được gọi là đám mây điểm (Point Cloud), làm đầu vào (raw input). Bằng quy trình lọc, các phép đo phạm vi không đáng tin cậy (các điểm dị biệt) sẽ bị loại bỏ. Khi đó, các đám mây điểm được phân tích và so sánh với thiết kế ban đầu. Cuối cùng, các kết quả mức độ chất lượng từng phân đoạn của từng bộ phận được hiển thị bằng các màu sắc khác nhau. Dữ liệu thu thập từ mỗi quá trình này sẽ được lưu trữ trong bộ lưu trữ dữ liệu lớn. Sử dụng các dữ liệu có được từ công cụ phân tích dữ liệu lớn, biểu đồ kiểm soát, kiến thức thống kê toán học và thuật toán thông minh sẽ được xử lý để cung cấp thông tin có giá trị cho nhà sản xuất và khách hàng. Hệ thống này cũng được kết nối internet để cung cấp dữ liệu cho các bộ phận gia công hoặc nguyên liệu thành phẩm trực tuyến thời gian thực, có chất lượng cho khách hàng truy cập.

Nhà sản xuất công cụ điện Black & Decker

Black & Decker là tập đoàn sản xuất công cụ máy hàng đầu thế giới, đã áp dụng mô hình nhà máy thông minh tại Reynosa (Mexico). Với mục tiêu tăng cường khả năng kiểm soát chất lượng sản phẩm, Black & Decker đã kết hợp các giải pháp về định vị thời gian thực cùng các cảm biến IoT để theo dõi hành trình của các nguyên vật liệu trong nhà máy cũng như các công đoạn cho tới thành phẩm.

Nhờ đó, các quản đốc vừa tiết giảm được công sức phải bỏ ra để quản lý nguyên vật liệu, chất lượng thành phẩm vừa giảm tới 16% lượng hàng lỗi. Đồng thời, nhà máy dễ dàng quản lý các dây chuyền để đưa ra các quyết định thời gian thực về tốc độ sản xuất, theo dõi được năng suất lao động của công nhân và dự báo trước lịch bảo dưỡng của dây chuyền. Nhà máy Reynosa đã ghi nhận mức tăng tới 10% về hiệu suất sử dụng lao động và nguyên vật liệu.

Black & Decker đã phối hợp với Cisco để triển khai kết nối không dây; kết hợp với Aeroscout Industrial để cung cấp các giải pháp hỗ trợ doanh nghiệp.

Black & Decker đã triển khai một hệ thống định vị theo thời gian thực dưới dạng Thẻ nhận dạng tần số vô tuyến Wi-Fi (Wifi RFID) được gắn với tất cả các vật liệu để dễ dàng theo dõi. Các thẻ Wi-Fi của Aeroscout được tích hợp với Bộ điều khiển logic lập trình (PLC) của doanh nghiệp, giúp theo dõi, kiểm soát chất lượng sản phẩm, cung cấp kết quả ngay sau khi sản phẩm ra đến thị trường. Với những tích hợp này, doanh nghiệp có thể quản lý được toàn bộ quy trình sản xuất, qua đó có thể kiểm soát tốc độ các quy trình và việc hoàn thành nhiệm vụ tương ứng của nhân viên. Doanh nghiệp đạt được hiệu quả lao động ước tính lớn hơn 10% và sử dụng tốt hơn các nguồn lực quan trọng của lao động, giúp cải thiện tỷ lệ sử dụng từ 80% đến 90%.

Nhà máy GE Hải Phòng - một trong 7 “nhà máy thông minh” của Tập đoàn General Electric trên toàn cầu.

Thay vì phải xuống kiểm tra trực tiếp từng dây chuyền sản xuất và ghi chép thông số trên giấy, một ngày làm việc bình thường của các kỹ sư tại Nhà máy GE Hải Phòng thuộc Tập đoàn General Electric bắt đầu bằng việc đọc các báo cáo được tổng hợp từ hệ thống phòng điều khiển trung tâm với dữ liệu chi tiết đến từng cánh tay robot hàn. Hệ thống phân tích này nhanh chóng cho biết máy nào đang hoạt động tốt, máy nào ở tình trạng sản phẩm bị chậm, cũng như nguyên nhân là do đâu (đang chờ vật tư, đang bảo trì....) cũng như gợi ý giải pháp phù hợp nhất.

Toàn bộ hệ thống máy móc trong Nhà máy GE Hải Phòng đều được kết nối với hệ thống dữ liệu chung, cho phép kỹ sư vận hành dễ dàng “nhìn thấy” trạng thái, hiệu suất máy móc, phát hiện được các nút thắt của sản xuất từ đó có những cải tiến phù hợp để nâng cao không chỉ năng suất cục bộ của một máy móc mà cả hiệu suất toàn bộ hệ thống.

Hệ thống phần mềm phân tích dữ liệu tại Nhà máy GE Hải Phòng cho phép tính toán chính xác lượng vật tư cần thiết cho từng vị trí sản xuất tại từng thời điểm, đảm bảo quá trình sản xuất diễn ra liên tục.

Việc kiểm soát chất lượng sản phẩm diễn ra một cách chủ động và chính xác cao. Hệ thống cảm biến nhiệt độ, áp suất, tốc độ, độ ẩm... được đồng bộ theo thời gian thực giúp xác định ngay lập tức các thông số có xu hướng vượt quá hiệu chuẩn quy định và đưa ra cảnh báo sớm để loại bỏ các sản phẩm có rủi ro không đạt tiêu chuẩn.

Dữ liệu được thu thập theo thời gian thực giúp người điều hành nhanh chóng xác định chính xác nguồn phát sinh sự cố cũng như giải pháp khắc phục phù hợp nhằm đảm bảo hoạt động sản xuất diễn ra thông suốt. Không chỉ vậy, những tiến bộ trong Trí tuệ nhân tạo cho phép hệ thống máy móc “học dần” cách kiểm soát qua các sự cố phát sinh, từ đó có năng lực dự báo và tự có biện pháp phòng ngừa trong tương lai.

Với dữ liệu lớn xuyên suốt chuỗi cung ứng, Nhà máy GE Hải Phòng có thể dự đoán được các nhu cầu về đơn hàng, chủ động điều phối sản xuất các đơn hàng theo thứ tự ưu tiên hoặc theo mức độ tồn kho... đảm bảo giao hàng đúng hạn, đầy đủ, đạt tiêu chuẩn cho mọi đơn hàng, nâng cao uy tín của đơn vị.

Toàn bộ dữ liệu kho tại Nhà máy GE Hải Phòng đều được cập nhật theo thời gian thực lên hệ thống toàn cầu của Tập đoàn General Electric, các nhân viên từ bất kỳ nơi nào trên thế giới có thể truy cập, phân tích dữ liệu để ra quyết định phù hợp, đảm bảo hoạt động của chuỗi cung ứng toàn cầu của tập đoàn.

(Theo Tạp chí Công Thương, <https://tapchicongthuong.vn/>, 03/03/2022)

2.4 Tương lai của Sản xuất thông minh và Nhà máy thông minh

Theo nghiên cứu của Hãng Tư vấn Deloitte (Hoa Kỳ), việc ứng dụng nhà máy thông minh đã giúp tăng trung bình 12% năng suất lao động của công nhân, 11% hiệu suất nhà máy và 10% tổng sản phẩm đầu ra. Hãng Nghiên cứu tư vấn kinh tế Frontier Economics (Anh) cũng cho biết các ứng dụng AI có thể giúp tăng lợi nhuận tới 38% cho ngành sản xuất vào năm 2035. Lương thực, thực phẩm, hàng tiêu dùng, may mặc là những lĩnh vực có tính đa dạng về sản phẩm, có điều kiện thuận lợi để những nhà

máy thông minh được ứng dụng và phát huy những đặc tính ưu việt của chúng.

Hầu hết các hệ thống sản xuất đang sử dụng máy móc điển hình để thực hiện các quy trình khác nhau theo logic sản xuất đã được lên kế hoạch sẵn. Cơ chế làm việc bằng tay và trên giấy thường được sử dụng để hỗ trợ các quá trình này. Tuy nhiên, có một vài thách thức tồn tại theo cơ chế này đó là:

Thứ nhất, hiệu quả làm việc thấp do tất cả các hoạt động, tương tác và thực hiện ở các phân xưởng sản xuất tốn quá nhiều thời gian trong khi mà sử dụng quá nhiều nhân lực. Ví dụ, những người vận hành máy, kỹ sư, kỹ sư trưởng và giám sát viên khu phân xưởng thường phải họp thảo luận đưa ra giải pháp khi có bất kỳ thiết kế nào được cải tiến, cần thay đổi. Thông thường, các cuộc họp như vậy sẽ kéo dài hơn một nửa ngày. Các thông tin hoặc dữ liệu được đưa ra bàn trước rồi sau đó mới xem xét các tình huống hiện tại để tìm ra giải pháp phù hợp.

Thứ hai, việc thu thập dữ liệu chủ yếu dựa trên các giấy tờ hoặc hồ sơ báo cáo. Những người lao động sẽ phải viết báo cáo về các dữ liệu nào đó như dữ liệu của các bộ phận làm việc, dữ liệu chất lượng và mức đang tiến hành (WIP: work-in-progress). Người lao động thường khá bận với việc vận hành máy móc và rất miễn cưỡng phải dành thời gian đưa những dữ liệu không tạo giá trị tăng thêm này.

Thứ ba, các quản lý phân xưởng phải sử dụng một số dữ liệu liên quan để ra quyết định sản xuất chẳng hạn như dữ liệu lập kế hoạch và lịch trình sản xuất. Tuy nhiên, những quyết định này có xu hướng không hợp lý và không thực tế do chỉ dựa trên lượng lớn dữ liệu các giấy tờ văn bản hoặc báo cáo. Khá tốn thời gian và công sức khi phải xử lý số lượng lớn các giấy tờ và báo cáo này mà thông tin thu được luôn bị trễ.

Để bắt kịp thời đại Công nghiệp 4.0, hầu hết các công ty sản xuất đều cần phải thu thập dữ liệu theo thời gian thực. IoT và CPS có thể cung cấp các giải pháp khả thi cho vấn đề này.

Thực hiện thu thập dữ liệu thời gian thực trong tương lai

Tương lai, việc thu thập dữ liệu thời gian thực trong các hệ thống sản xuất có thể được thực hiện như sau:

- Thu thập dữ liệu được hỗ trợ bởi IoT: Các công nghệ IoT điển hình như RFID và Mã vạch có thể nhúng được vào các nguồn tài nguyên sản xuất khác nhau. Bằng cách này, chúng sẽ được chuyển đổi thành các đối tượng sản xuất thông minh (SMO) có thể tương tác và giao tiếp với nhau một cách thông minh để dữ liệu sản xuất theo

thời gian thực có thể được ghi lại và thu thập trong thời gian thực.

- Cảm biến thông minh: Với sự phát triển nhanh chóng của các công nghệ hiện đại tiên tiến, các thiết bị cảm biến thông minh có thể tích hợp đa chức năng để thu thập dữ liệu về nhiệt độ, lực, áp suất và con người trong thời gian thực. Chúng được gắn vào các SMO khác nhau để có thể đồng bộ hóa được các hoạt động sản xuất cùng với dây chuyền sản xuất hoặc trạm làm việc với các luồng vận hành vật lý và luồng thông tin.

- Máy móc thông minh dựa trên CPS: Trong tương lai, tận dụng công nghệ CPS, máy móc sẽ được chuyển đổi thành các vật thể thông minh. Các máy móc thông minh có thể gửi trạng thái làm việc của chúng trong thời gian thực tới ‘người quản lý’ dữ liệu qua trung tâm lưu trữ đám mây, từ đó có thể giám sát trạng thái của chúng thông qua phương pháp trực quan hóa.

Hiện nay, các công ty sản xuất đang phải đối mặt với những thách thức để có thể hình dung và hiển thị các dịch vụ sản xuất khác nhau. Khả năng hiển thị thông tin đóng một vai trò quan trọng trong việc ra quyết định chính xác trong Công nghiệp 4.0. Có một số thách thức hiện tại khi thực hiện ảo hóa và trực quan hóa sản xuất. Trước hết, các đối tượng sản xuất phải được hình dung trong thời gian thực để đảm bảo chất lượng và an toàn sản xuất. Tuy nhiên, hệ thống camera quan sát CCTV chỉ là các tùy chọn không có khả năng phản ánh tình trạng của máy móc làm việc. Hơn nữa, các tài nguyên sản xuất cần được ảo hóa thành các dịch vụ khác nhau để chúng có thể được chia sẻ như một dịch vụ. Ngoài ra, các mô hình chia sẻ và tiếp cận ảo hóa rất hiếm khi được báo cáo và điều tra nghiên cứu. Cuối cùng, khả năng hiển thị của các đối tượng sản xuất khác nhau đòi hỏi cách tiếp cận mô hình hóa dữ liệu mới có khả năng kết hợp dữ liệu không đồng nhất thành một định dạng chuẩn hóa. Sau đó, dữ liệu này có thể hiển thị được cho những người dùng cuối khác nhau, những người thường quan tâm về khả năng hiển thị khác nhau của các thiết bị khác nhau. Tuy nhiên, những khoảng trống nghiên cứu này hiếm khi được nghiên cứu trong các tài liệu hiện có.

Để khắc phục những thiếu sót, nghiên cứu trong tương lai nên chú trọng nhiều hơn vào các khía cạnh sau:

- Về tính năng hiển thị trong thời gian thực được hỗ trợ AR: Áp dụng công nghệ AR vào sản xuất có thể tăng khả năng hiển thị hoạt động của máy móc theo thời gian thực. Với dữ liệu thu được từ các máy móc thông minh, giao diện AR có thể phản ánh trạng thái của máy cũng như các hành vi xử lý thông qua mô hình trực quan trong thời gian thực. Khả năng hiển thị trong thời gian thực được hỗ trợ bởi AR sẽ cho phép

người dùng cuối trực quan hóa dữ liệu máy móc ghi chép quang cảnh hiện trường thực tế.

- Mô hình hóa ảo hóa không gian mạng: Mô hình hóa các nguồn lực sản xuất vật lý khác nhau bằng phương pháp ảo hóa không gian mạng để có thể phản chiếu khả năng và trạng thái của chúng trên nền tảng đám mây. Cách tiếp cận mô hình hóa này sử dụng dữ liệu thu thập từ các máy móc và cảm biến thông minh để xây dựng một dịch vụ tiêu chuẩn hóa có thể hiển thị và trực quan hóa bởi những người dùng hưởng lợi từ dịch vụ.

Ra quyết định trong tương lai

Trong các hệ thống sản xuất thông minh trong thời kỳ Công nghiệp 4.0, việc ra quyết định sẽ dựa trên thông tin và kiến thức được khai thác từ lượng lớn dữ liệu sản xuất. Tuy nhiên, các dữ liệu lớn thu thập từ các địa điểm sản xuất đang đối mặt với một số thách thức cần vượt qua. *Thứ nhất*, các mô hình quyết định cần một thời gian dài để có thể tìm ra giải pháp khi xem xét một số lượng lớn dữ liệu. Nhiều mục tiêu khác nhau được sử dụng cho các mục đích khác nhau giống như tối ưu hóa việc lập kế hoạch và lịch trình sản xuất. Tuy nhiên, nó thiếu dữ liệu đầu vào chính xác để thực hiện các quyết định. *Thứ hai*, việc ra quyết định trong Công nghiệp 4.0 luôn hướng tới việc chia sẻ nguồn lực sản xuất để có thể sử dụng toàn bộ các thiết bị và dịch vụ sản xuất. Khi đó, mô hình sản xuất mới là cần thiết.

Việc ra quyết định trong tương lai sẽ tập trung vào hai hướng:

- Các mô hình ra quyết định dựa trên phân tích dữ liệu lớn. Các mô hình này có khả năng khai thác thông tin và kiến thức hữu ích từ lượng lớn dữ liệu sản xuất nhằm hỗ trợ việc ra quyết định cụ thể. Các công nghệ hoặc thuật toán tiên tiến như học máy sâu (DML) sẽ được tích hợp vào các mô hình này, ở đó phân tích dữ liệu lớn được đóng gói dưới dạng dịch vụ. Các dịch vụ như vậy có thể được triển khai trên nền tảng đám mây để người dùng cuối có thể dễ dàng tải chúng xuống và đưa ra quyết định hàng ngày.

- Sản xuất dựa vào đám mây. Với sự hỗ trợ của công nghệ đám mây và IoT, sản xuất đám mây có thể chuyển đổi các nguồn lực sản xuất khác nhau thành các dịch vụ để người dùng cuối có thể yêu cầu các dịch vụ theo yêu cầu với hình thức thanh toán dùng đến đâu trả tiền tới đó một cách thuận tiện. Do đó, có thể triển khai máy móc vật lý và các dịch vụ ảo hóa để hỗ trợ các hoạt động sản xuất và ra quyết định. Các dịch vụ sản xuất được nối mạng sẽ cho phép đưa ra được các quyết định thông minh.

Như vậy, trong tương lai, sức mạnh tổng hợp kỹ năng của robot và con người rất

quan trọng để có thể tăng năng suất và chất lượng sản phẩm khi mà các điều kiện và môi trường làm việc, sức khỏe và an toàn cho con người không thay đổi. Điều này rõ ràng sẽ thúc đẩy tạo ra các kịch bản sản xuất, trong đó con người và các thiết bị tự động hóa công nghiệp hoạt động trong cùng một không gian làm việc, có thể sử dụng lẫn nhau theo khả năng của mỗi thiết bị.

Có thể thấy trong thập kỷ qua, robot công nghiệp đã thể hiện rõ khả năng trở thành thành phần cốt lõi trong tự động hóa công nghiệp/nhà máy thông minh bởi nó cung cấp khả năng làm việc tối ưu và linh hoạt. Bằng cách kết nối robot gần hơn nữa với con người, cộng tác trực tiếp hoặc chia sẻ nhiệm vụ trong cùng một khu vực làm việc, sức mạnh tổng hợp giữa khả năng của robot và con người sẽ mang lại tiềm năng lớn. Hệ thống sẽ hoạt động hiệu quả, thân thiện với người dùng và có sự thay đổi nhanh chóng. Các nhà máy thông minh sẽ cần có các giải pháp mới để tạo ra một hệ thống robot mở có khả năng chuyển đổi tự động nhiều chế độ một cách an toàn. Điều này cho phép hệ thống robot có thể thích ứng liền mạch, tức là chuyển từ tự động hóa hoàn toàn sang chia sẻ nhiệm vụ an toàn và cộng tác trực tiếp trong khu vực làm việc của robot.

Các thành tựu chính đã được xác định cho nhà máy thông minh tương lai đó là:

- Một không gian làm việc mở, nơi con người và robot có khả năng tự chủ, cộng tác trong các quyết định và hành động cần thiết để tối ưu hóa các kỹ năng của họ để hoàn thành nhiệm vụ.

- Quyền tự chủ được chia sẻ bao gồm không gian làm việc hợp tác, nơi các nhiệm vụ được lên lịch giữa con người và robot; một robot hợp tác chia sẻ tối ưu khả năng điều khiển của nó ở nhiều mức độ tự do khác nhau với con người.

- Cải thiện tính linh hoạt, năng suất và các điều kiện môi trường, sức khỏe và an toàn cho nhân công.

- Khả năng học hỏi của robot, bằng cách giao tiếp dễ dàng, tự nhiên với con người.

- Một không gian làm việc không ngăn cách, cho phép chuyển đổi liền mạch và tự động các chế độ an toàn, rủi ro của con người đối với các xung đột vật lý giữa con người và robot. Các vấn đề liên quan đến các khía cạnh tâm lý xã hội của sự hợp tác giữa con người và robot và nâng cao nhận thức chấp nhận công nghệ mới. Thông qua phân tích các tình huống tương tác với người dùng, các khía cạnh cụ thể của người lao

động như công thái học¹, trình độ kỹ năng /chuyên môn, sự an toàn và thoải mái cần phải được tính đến.

2.5 Sản xuất thông minh: nhìn từ Đài Loan (Trung Quốc)

Đài Loan - Trung Quốc (viết tắt là ROC) trong năm 2021 với nhiều thành tựu và thách thức. Họ vừa bắt đầu Kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội 5 năm lần thứ 14 (2021-2025), với những điều chỉnh đáng kể đối với quỹ đạo phát triển của họ. ROC cũng đang tăng gấp đôi cam kết đối với nghiên cứu khoa học và đổi mới công nghệ như một phương tiện để đương đầu với những thách thức. Họ cũng đã đưa ra một kế hoạch trung và dài hạn mới về phát triển KH&CN nhằm đảm bảo vị thế của ROC trong các ngành công nghiệp của tương lai và mang đến các giải pháp công nghệ mới cho các vấn đề xã hội lớn. ROC đang đứng thứ 14 về Chỉ số đổi mới sáng tạo toàn cầu (GII) sau nhiều năm liên liên tục tăng hạng và đạt mức đầu tư 2,4% GDP cho nghiên cứu và phát triển trong năm 2020. Tuy nhiên, để có những kết quả như vậy, ROC đã có những nỗ lực từ lâu trong quá khứ và cho tới ngày nay họ đang phát triển theo hướng dựa trên ĐMST.

Ngành sản xuất của ROC đóng góp 35% vào GDP chung của ROC. Công nghiệp hóa ở đây bắt đầu từ các ngành công nghiệp nhẹ (dệt may và các thiết bị nhỏ) sau đó bắt đầu lan rộng nhanh chóng vào những năm 1960, các ngành công nghiệp phát triển tập trung chính vào công nghệ thông tin và truyền thông có sự thâm dụng lao động và vốn nhiều hơn. Sự trỗi dậy của ngành công nghiệp sản xuất đã biến ROC thành một khu vực phát triển. Tuy nhiên, tỷ lệ sinh giảm và dân số già đã tạo ra một cuộc khủng hoảng lực lượng lao động cho khu vực này. Do đó, ROC đã và ngày càng nỗ lực để nuôi dưỡng một lực lượng lao động có kiến thức, sáng tạo và được trang bị các kỹ năng cần thiết để duy trì cho ngành công nghiệp và đóng góp hơn nữa vào những đổi mới đột phá trong ngành.

Hiện nay, ROC đang nỗ lực thúc đẩy hoạt động sản xuất tiên tiến, đồng thời hướng tới mục tiêu biến nó thành một trung tâm sản xuất cao cấp cho châu Á. Cùng với sự phát triển của các nền tảng công nghệ tiên tiến và chất lượng sản xuất, ROC đang cố gắng đẩy nhanh sự phát triển của kho bãi thông minh thông qua hệ thống giá trị gia tăng-dịch vụ.

¹ Ergonomics – là một nhánh của khoa học nhằm mục đích tìm hiểu về khả năng và giới hạn của con người, sau đó áp dụng phương pháp học này để cải thiện sự tương tác của con người với các sản phẩm, hệ thống và môi trường, nhằm mục đích tăng hiệu quả năng suất và giảm bớt sự khó chịu. Được xem là một nhân tố quyết định đến sự thành công của một sản phẩm

Các chính sách cho sản xuất thông minh ở ROC

Khi cách mạng Công nghiệp 4.0 bắt đầu nổi lên trên toàn cầu, vào năm 2016, ROC đã khởi xướng "Chương trình Phát triển Máy móc Thông minh" để đẩy nhanh áp dụng các công nghệ thông minh vào các hệ thống sản xuất trong toàn ngành sản xuất. Điều này nhằm tuân thủ theo các xu hướng toàn cầu về sản xuất thông minh hỗ trợ sản xuất quy mô nhỏ và đa dạng cũng như phân tích dữ liệu lớn theo thời gian thực. Kế hoạch này cũng nhằm thúc đẩy sự phát triển của máy móc thông minh, tạo ra cơ hội việc làm và mở rộng nhà máy sản xuất để các ngành máy móc thiết bị của họ có khả năng cung cấp các giải pháp tổng thể và thiết lập lợi thế cạnh tranh khác biệt. Hình 8 cho thấy kế hoạch chung để thực hiện sản xuất thông minh trong ngành của ROC.

"Quy chế đổi mới công nghiệp" của ROC đã được sửa đổi vào năm 2019, để các doanh nghiệp đã đầu tư máy móc thông minh cho sản xuất với giá trị hơn 1 triệu TWD từ năm 2019 đến năm 2020 được hưởng (1) tới 5% chi tiêu hàng năm được ghi có vào thuế thu nhập của doanh nghiệp tìm kiếm lợi nhuận mà doanh nghiệp phải nộp trong năm hiện tại, hoặc (2) tối đa 3% chi tiêu hàng năm được khấu trừ vào thuế thu nhập của doanh nghiệp tìm kiếm lợi nhuận mà nó phải nộp trong mỗi ba năm/lần kể từ năm đó đến năm hiện tại. Quy định pháp lý này nhằm thúc đẩy đổi mới công nghiệp và tối ưu hóa cơ cấu công nghiệp để đạt được nhiều hơn nữa sự chuyển đổi thông minh. Bằng cách tăng cường mức độ sẵn sàng đầu tư vào lĩnh vực sản xuất thông minh, ngành công nghiệp sản xuất ở ROC đã đẩy nhanh được tốc độ sản xuất thông minh.

Chiến lược Công nghiệp 3.5 cho Cách mạng Công nghiệp 4.0 của ROC

Ngày nay, Công nghiệp 4.0 đã trở thành tiêu chuẩn lý tưởng cho sản xuất toàn cầu. Nhiều nhà cung cấp giải pháp đang mang đến nhiều giải pháp khác nhau và thậm chí một số đang cung cấp các dịch vụ tùy chỉnh để hỗ trợ các công ty trong hành trình chuyển đổi kỹ thuật số của họ. Tuy nhiên, các dịch vụ này thường đắt tiền và hầu như các doanh nghiệp nhỏ và vừa không có khả năng chi trả cho các giải pháp như vậy do ngân sách hạn chế. Cho rằng hầu hết các doanh nghiệp tại ROC thuộc loại nhỏ và vừa, Giáo sư, Chủ tịch Đại học Quốc gia Tsing Hua, Giáo sư Chen-Fu Chien đã khởi xướng tư tưởng Công nghiệp 3.5.

GS Chien nhận định rằng khi nói đến sản xuất thông minh, Công nghiệp 4.0 sẽ là điều đầu tiên được nghĩ đến. Tuy nhiên, Công nghiệp 4.0 sẽ phá vỡ mô hình kinh doanh hiện tại của ngành sản xuất của ROC. Hơn nữa, ngành công nghiệp sản xuất sẽ cần một thời kỳ dài để đạt được chuyển đổi kỹ thuật số hoàn toàn. Do đó, ông đã đưa

ra chiến lược Công nghiệp 3.5 lai, là sự kết hợp giữa Công nghiệp 3.0 và 4.0 với sử dụng các công nghệ đổi mới đột phá như AI, dữ liệu lớn,...

Chiến lược dựa trên nền tảng của các phương pháp quản lý đã được sử dụng trong ngành sản xuất của ROC. Nó tăng cường khả năng ra quyết định linh hoạt và lập lịch trình nguồn lực trong một hệ thống, nhằm duy trì vị trí thích hợp của ROC giữa các quốc gia tiên tiến và mới nổi do chi phí sản xuất thấp hơn. Do đó, các doanh nghiệp có thể được hưởng lợi từ việc chuyển đổi thông minh và nâng cấp thiết bị. Khi tích lũy đủ kinh nghiệm với công nghệ trở nên hoàn thiện hơn, họ có thể đạt được giai đoạn Công nghiệp 4.0 một cách dễ dàng.

Với việc áp dụng Công nghiệp 3.5, cùng với chiến lược cốt lõi là đổi mới đột phá, các công ty yêu cầu bước đầu tiên thực hiện là phải thiết lập năng lực cốt lõi trong hoạt động, chẳng hạn như quản lý tài nguyên toàn diện, sản xuất thông minh, chiến lược số hóa, chuỗi cung ứng thông minh và nhà máy thông minh.

Có 4 yếu tố chính thúc đẩy sự phát triển của hệ sinh thái công nghiệp. Đó là: (1) hệ thống hóa và số hóa sức mạnh sản xuất và quản lý tri thức; (2) vòng đời sản phẩm và quản lý doanh thu; (3) tích hợp phần cứng và phần mềm theo chiều dọc với khả năng phân tích; và (4) phát triển bền vững và quản lý chuỗi cung ứng xanh. Môi trường cơ bản, tính đến các công nghệ tiên tiến, bao gồm IoT, dữ liệu lớn, hệ thống vật lý mạng và những thứ khác, nâng cao tính linh hoạt của các quy trình sản xuất hiện tại và quản lý tổng thể của doanh nghiệp, để thiết lập một mô hình kinh doanh thời đại mới.

KẾT LUẬN

Sản xuất thông minh, phương pháp tiếp cận dựa trên công nghệ tiên tiến tích hợp chuyên sâu ứng dụng CNTT-TT và máy móc kết nối internet trong quá trình sản xuất, là chìa khóa yếu tố của cuộc CMCN 4.0. Các hệ thống sản xuất thông minh đã và đang đóng một vai trò quan trọng trong việc triển khai công nghệ sản xuất tốt hơn trong thời đại công nghiệp hiện nay.

Công nghệ sản xuất thông minh cải thiện kỹ thuật hoạt động, năng suất và có tác động lớn đến nền kinh tế toàn cầu. Người ta thấy rằng sự xuất hiện của IoT và IIoT đã và đang đóng một vai trò quan trọng trong việc nâng cao hệ thống sản xuất được trang bị các hệ thống sản xuất thông minh. Yếu tố thách thức đối với một hệ thống sản xuất thông minh là các vấn đề về khả năng tương thích của các máy móc và hệ thống hiện có của chúng với công nghệ mới. Các thiết bị thông minh như IoT và CPS hiện đã nổi lên như một mô hình chung có thể chuyển đổi mạnh mẽ bất kỳ ngành nào có trang bị hệ thống cảm biến, nhận dạng, điều khiển từ xa và điều khiển tự động. Công nghiệp 4.0, Xã hội 5.0, Sản xuất tại Trung Quốc 2025 và Internet Công nghiệp đều có nền tảng công nghệ là Internet và các thiết bị được kết nối với nhau. Nhờ đó quá trình kiểm soát quy trình sẽ chịu ít sự can thiệp của con người, các quyết định thông minh được đưa ra nhanh chóng và chính xác.

Qua các hệ thống tích hợp Internet khác nhau, liên kết giữa các đối tượng vật lý thông qua internet hoặc IoT thực sự đóng một vai trò quan trọng trong việc nâng cấp hoặc cải tiến các hệ thống và quy trình hiện có. Việc sử dụng IoT trong các lĩnh vực giúp tăng năng suất và giảm thiểu số người làm việc trong môi trường nguy hiểm độc hại nhờ các phần mềm ứng dụng của các hệ thống tự động.

Để triển khai thành công công nghệ sản xuất thông minh, các công nghệ liên quan như trí tuệ nhân tạo, hệ thống CPS, xử lý dữ liệu lớn, thực tế ảo tăng cường, IoT, công nghệ người máy, v.v. cần được phát triển phù hợp trong khu vực công nghiệp. Ngoài ra, để liên lạc nhanh chóng, chính xác và phù hợp giữa các máy móc trong các ngành công nghiệp, triển khai công nghệ IPv6 mới nhất có thể hỗ trợ được nhiều thiết bị kết nối với nhau hơn.

Hiện nay, các nhà sản xuất đang phải đối mặt với những thay đổi trên nhiều khía cạnh. Sản xuất tiên tiến - dưới dạng sản xuất phụ gia, vật liệu tiên tiến, máy móc thông minh, tự động và các công nghệ khác - đang mở ra kỷ nguyên sản xuất vật chất mới. Tăng cường kết nối, khả năng thu thập và phân tích dữ liệu phức tạp được kích hoạt bởi IoT đã dẫn đến sự chuyển dịch sang nền kinh tế dựa trên thông tin. Với IoT,

dữ liệu, ngoài các đối tượng vật lý, là nguồn giá trị và khả năng kết nối giúp chúng ta có thể xây dựng chuỗi cung ứng, quy trình sản xuất và thậm chí cả hệ sinh thái khép kín từ đầu đến cuối trở nên thông minh hơn.

Khi những làn sóng thay đổi này tiếp tục định hình sự cạnh tranh, các nhà sản xuất phải quyết định cách thức và khu vực đầu tư vào các công nghệ mới, đồng thời xác định những công nghệ nào sẽ mang lại nhiều lợi ích nhất cho tổ chức của họ. Ngoài việc đánh giá chính xác các vị trí chiến lược hiện tại của họ, các nhà sản xuất muốn thành công cần trình bày rõ ràng các mục tiêu kinh doanh của họ, xác định vị trí trọng yếu trong hệ sinh thái công nghệ mới nổi và (quan trọng là) những công nghệ nào, cả vật lý và kỹ thuật số, mà họ triển khai sẽ có thể giúp họ đưa ra các quyết định chính xác và có thể giành được chiến thắng. Luồng thông tin, công nghệ tiên tiến và vật liệu sẽ giúp các doanh nghiệp có thể sản xuất những thứ hoàn toàn mới theo những cách hoàn toàn mới và mang tính cách mạng hóa chuỗi cung ứng, các mô hình sản xuất và kinh doanh.

Các nhà lãnh đạo doanh nghiệp nên xem xét các khía cạnh của ứng dụng để nhận thấy được đầy đủ lợi ích của Công nghiệp 4.0. Chúng phải thực sự được tích hợp, làm việc cùng nhau để cung cấp thông tin cho nhau. Khi sự tích hợp của công nghệ thông tin và công nghệ cùng hoạt động phát triển, việc ứng dụng công nghệ tiên tiến và sử dụng thông tin hiệu quả có thể tác động đến các mục tiêu kinh doanh, tăng trưởng kinh doanh và hoạt động kinh doanh, đồng thời có thể có sự chuyển đổi trong chuỗi giá trị và các bên liên quan khác nhau của chuỗi giá trị.

Trung tâm Thông tin và Thống kê khoa học và công nghệ

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Smart manufacturing systems: state of the art and future trends Y. J. Qu¹ & X. G. Ming¹ & Z. W. Liu¹ & X. Y. Zhang¹ & Z. T. Hou² Received: 11 October 2018 /Accepted: 14 April 2019 /Published online: 8 May 2019 # Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature 2019
2. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives Article in Frontiers of Mechanical Engineering · January 2018 DOI: 10.1007/s11465-018-0499-5
3. Trends in Smart Manufacturing: Role of Humans and Industrial Robots in Smart Factories Linn D. Evjemo¹ & Tone Gjerstad² & Esten I. Grøtli³ & Gabor

Sziebig2 Published online: 18 April 2020

4. Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B.: Additive manufacturing technologies. Springer, Berlin (2010). DOI <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9>
5. Ribeiro, F.M., Pires, J.N., Azar, A.S.: Implementation of a robot control architecture for additive manufacturing applications. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application* (2019)
6. Babiceanu RF, Seker R (2016) Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: a survey of the current status and future outlook. *Comput Ind* 81:128–137
7. Nagadi K (2016) A framework to generate a smart manufacturing system configurations using agents and optimization. University of Central Florida, University of Central Florida
8. Bititci US, Suwignjo P, Carrie AS (2001) Strategy management through quantitative modelling of performance measurement systems. *Int J Prod Econ* 69(1):15–22
9. Feeney AB, Frechette SP, Srinivasan V (2015) A portrait of an ISO STEP tolerancing standard as an enabler of smart manufacturing systems. *J Comput Inf Sci Eng* 15(2):021001
10. Oertwig N, Jochem R, Knothe T (2017) Sustainability in model based planning and control of global value creation networks. *Procedia Manuf* 8:183–190
11. Brown Adam, Amundson J, Badurdeen F (2014) Sustainable value stream mapping (Sus-VSM) in different manufacturing system configurations: application case studies. *J Clean Prod* 85:164–179
12. Zhong RY, Lan S, Xu C, Dai Q, Huang GQ (2016) Visualization of RFID-enabled shopfloor logistics Big Data in Cloud Manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 84(1–4):5–16
13. Lee JY, Yoon JS, Kim BH (2017) A big data analytics platform for smart factories in small and medium-sized manufacturing enterprises: an empirical case study of a die casting factory. *Int J Precis Eng Manuf* 18(10):1353–1361. <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0161-x>