

HỆ THỐNG THỰC ẢO VÀ XU HƯỚNG SỐ HOÁ HỆ THỐNG SẢN XUẤT TRONG CÔNG NGHIỆP 4.0

CYBER PHYSICAL SYSTEM AND SYSTEM DIGITIZATION IN INDUSTRY 4.0

Lê Tự Huy, Nguyễn Bá Khải, Trần Quang Khải*

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: tqkhai@dut.udn.vn

(Nhận bài: 21/6/2021; Chấp nhận đăng: 10/9/2021)

Tóm tắt - Thế kỉ XXI đang chứng kiến sự bùng nổ của các công nghệ mới như điện toán đám mây, Internet vạn vật, học máy và trí tuệ nhân tạo. Ngoài ra, sự phát triển của công nghệ vật liệu và công nghệ gia công đã giúp các cảm biến và cơ cấu chấp hành được tinh gọn hơn. Đây là các nền tảng đã và đang tác động giúp cho các hệ thống sản xuất hiện tại thực hiện một bước chuyển mình từ hệ thống sản xuất tự động sang hệ thống sản xuất thông minh. "Hệ thống thực ảo", thuật ngữ chỉ sự tích hợp sâu giữa quá trình vật lý và quá trình điện toán, ra đời trong xu hướng chuyển dịch này. Bài báo này tập trung vào việc giải thích thuật ngữ trên và phân tích ảnh hưởng của nó đến hoạt động sản xuất công nghiệp hiện nay.

Từ khóa - Công nghiệp 4.0; Hệ thống thực ảo; Hệ thống nhúng; Internet vạn vật

1. Đặt vấn đề

Trong những năm cuối của thế kỷ XX, khái niệm hệ thống nhúng (embedded system) ra đời là một hệ thống máy tính thu nhỏ được tích hợp vào các thiết bị dân dụng (như TV, máy giặt, máy sấy) và thiết bị công nghiệp (như cân điện tử, động cơ điện, lò hơi) để điều khiển các thiết bị này [1]. Theo [2], các trang thiết bị hiện đại thường được mô tả bằng công thức: Thiết bị = Hệ thống nhúng + Hệ thống vật lý.

Hệ thống nhúng gồm nhiều thành phần cấu thành như cảm biến, bộ chuyển đổi tín hiệu, khối thu thập và xử lý thông tin (có thể là vi điều khiển, PLC - bộ điều khiển logic khả lập trình) [3]. Hệ thống nhúng hoạt động trên nguyên tắc chung là thu thập dữ liệu (từ cảm biến), sau đó chuyển đổi các tín hiệu từ cảm biến thành tín hiệu mà vi điều khiển hoặc PLC có thể đọc và xử lý thông qua bộ chuyển đổi tín hiệu, vi điều khiển và PLC có nhiệm vụ xử lý các tín hiệu đã chuyển đổi và đưa ra các tín hiệu điều khiển tương ứng cho các cơ cấu chấp hành [3].

Hệ thống nhúng khác với hệ thống máy tính thông thường ở chỗ nó chỉ xử lý cho một hoặc một vài tác vụ chuyên biệt cụ thể, có thể tùy biến, chuyên dụng giúp nâng cao tính dễ sử dụng và tiết kiệm tài nguyên, đây chính là ưu điểm của hệ thống nhúng. Hệ thống nhúng đơn giản hóa phân cứng, nhỏ gọn, giúp giảm chi phí tổng thể và rất hữu ích cho các ứng dụng sản xuất hàng loạt.

Một ví dụ đơn giản về hệ thống nhúng đó là cân điện tử. Trước khi có sự ra đời của hệ thống nhúng, đa phần các hệ thống cân đều sử dụng kết cấu cơ khí nặng và cồng kềnh. Kết quả cân thường được hiển thị trên đồng hồ kim gây khó

Abstract - The twenty-first century is witnessing an explosion of new technologies such as cloud computing, Internet of Things, machine learning and artificial intelligence. In addition, the development of material technology and machining technology has enabled sensors and actuators to be more streamlined. These are the platforms that have enabled existing production systems to make a transition from automated production systems to intelligent production systems. "Cyber Physical System", the term for the deep integration between physical and computational processes, was born in this shifting trend. This article focuses on explaining the above term and analyzing its impact on today's industrial production.

Key words - Industry 4.0; Cyber-Physical System (CPS); Embedded System; Internet of Things (IoT)

khăn cho việc đọc và ghi kết quả. Với cảm biến tải trọng (load cell), bộ chuyển đổi tương tự - số (ADC), vi điều khiển và màn hình hiển thị LCD, cấu tạo của hệ thống cân giờ đây trở nên nhỏ gọn hơn rất nhiều và việc đọc kết quả cũng dễ dàng và trực quan hơn.

Hệ thống vật lý là khái niệm dùng để chỉ các phần tử vật lý ở trong thiết bị và không nằm trong hệ thống nhúng, có nhiệm vụ thực hiện các tương tác vật lý nhằm đảm bảo một đại lượng vật lý nào đó luôn đạt giá trị mong muốn [1]. Các tương tác vật lý trong hệ thống vật lý có thể thấy được bằng mắt thường, hoặc không. Tuy nhiên các tương tác vật lý này phải được mô tả bằng các phương trình toán lý và bản thân các phương trình này phải lập trình được trong hệ thống nhúng.

Các hệ thống nhúng trong thực tế được lắp đặt trong nhiều thiết bị rất khác nhau (như xe hơi, cân điện tử, lò hơi,...). Tuy nhiên, chúng luôn có những đặc điểm chung: Chương trình bị ràng buộc bởi những quy luật vật lý, tiếp nhận và xử lý các thông tin theo thời gian thực, yêu cầu cao về khả năng sử dụng tiết kiệm năng lượng [1]. Chúng thường chỉ xử lý hoặc điều khiển một hoặc một vài đại lượng vật lý nào đó (như nhiệt độ, tốc độ, độ ẩm, khối lượng) dựa trên các dữ liệu đầu vào thu thập được từ cảm biến tương ứng với đại lượng vật lý đó [4].

Ví dụ, trong cân điện tử, trọng lượng của đối tượng cần cân tác động lên bàn cân làm biến dạng máy đo biến dạng trên cảm biến tải trọng tạo ra sự thay đổi về điện áp trên cầu điện trở phân áp. Đây là một ví dụ điển hình về sự tương tác vật lý (mặc dù các tương tác này đôi lúc không thấy được bằng mắt thường). Sự thay đổi điện áp trên cầu phân áp ở

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Le Tu Huy, Nguyen Ba Khai, Tran Quang Khai)

máy đo biến dạng được khuếch đại và chuyển đổi thành tín hiệu số truyền về khối xử lý thông tin theo thời gian thực. Chúng ta có thể sử dụng các phương trình toán để mô tả độ biến thiên điện áp và khối lượng đo được tương ứng: Khối lượng = $A \times \Delta U + B$ với, B là phần bù (khối lượng không tải của cân, đơn vị kg), A là hệ số chuyển đổi (đơn vị kg/mV) và ΔU là độ lệch điện áp khi có tải và không tải.

Vì giới hạn công nghệ và chủng loại cảm biến, các hệ thống nhúng ở thời kỳ đầu thường chỉ tập trung vào việc điều khiển cho hệ thống vật lý được gắn với nó (theo định nghĩa [2]). Bởi lượng thông tin thu thập được từ môi trường vật lý bên ngoài là tương đối hạn chế, các yếu tố vật lý khác từ môi trường thường được giả thiết là ảnh hưởng nhỏ đến hệ thống và có thể bỏ qua. Điều này dẫn đến thiết bị có thể hoạt động tốt ở môi trường này nhưng khi chuyển qua môi trường khác thì hoạt động không được như mong muốn (ví dụ như một số loại cân điện tử có thể hoạt động không ổn định ở môi trường có độ ẩm và nhiệt độ cao). Hơn nữa, một nhược điểm của hệ thống nhúng là tài nguyên bộ nhớ rất hạn chế, việc lưu trữ dữ liệu từ nhiều cảm biến rất khó khăn. Ngoài ra, trước khi có sự ra đời và bùng nổ của Internet vạn vật (Internet of Things, IoT), các thiết bị đa phần hoạt động độc lập với nhau và kết nối thông qua các giao tiếp có dây tương đối phức tạp. Sự ra đời của các loại cảm biến tinh vi hơn giúp thu thập được nhiều dữ liệu vật lý từ môi trường hơn. Các cảm biến không dây (wireless sensor) và các thiết bị IoT giúp việc kết nối và thu thập dữ liệu giữa các thiết bị dễ dàng hơn. Điều này dẫn đến yêu cầu về một loại hệ thống mới có khả năng thu thập và xử lý thông tin không chỉ cho nội tại hệ thống điều khiển đang xét mà còn cho cả môi trường xung quanh hệ thống này, cần xét phương diện tổng thể hệ thống hoạt động một cách chủ động, thuận tiện và thông minh hơn. Cyber-Physical System (CPS, tạm dịch là hệ thống thực ảo) ra đời nhằm giải quyết vấn đề này.

2. Hệ thống thực ảo (Cyber Physical System)

Lần đầu tiên được giới thiệu vào năm 2006 tại Hoa Kỳ [5], CPS là khái niệm còn tương đối mới và chưa có một định nghĩa chung thống nhất. Sau đây là một số định nghĩa CPS phổ biến.

Theo [2], CPS là "sự tích hợp của quá trình điện toán vào quá trình vật lý và hoạt động của hệ thống này phải được xác định bởi cả phần thực (các chi tiết vật lý) và phần ảo (phần cứng và phần mềm)".

Lee và các đồng nghiệp định nghĩa CPS là "sự tích hợp của điện toán với các quá trình vật lý [6] đồng thời đề xuất mô tả CPS: CPS = Hệ thống nhúng + Môi trường vật lý". Cần lưu ý khái niệm môi trường vật lý trong định nghĩa CPS là rộng hơn so với hệ thống vật lý trong định nghĩa hệ thống nhúng ở phần đặt vấn đề, vốn chỉ đề cập đến các phần tử vật lý của thiết bị đang xét.

Tại hội nghị CPS Summit 2008, các nhà nghiên cứu đã thống nhất CPS là khái niệm dùng để chỉ "các hệ thống kỹ thuật có sự kết nối chặt chẽ, tích hợp sâu và giao tiếp ở mức độ rộng giữa hệ thống điện toán và với các thực thể của thế giới thực, hay còn gọi là thế giới vật lý" [7].

Ủy ban châu Âu (European Commission, EC) đề xuất khái niệm CPS là "thế hệ tiếp theo của hệ thống thông tin

và truyền thông (ICT) nhúng. Các hệ thống này liên kết và phối hợp với nhau thông qua IoT nhằm cung cấp cho người dân và doanh nghiệp các giải pháp và dịch vụ tiên tiến" [8].

Có thể thấy ở cả bốn định nghĩa ở trên, CPS đều nhấn mạnh vào phần điện toán và xử lý thông tin trên không gian ảo (cyber space). Điều này đạt được là do:

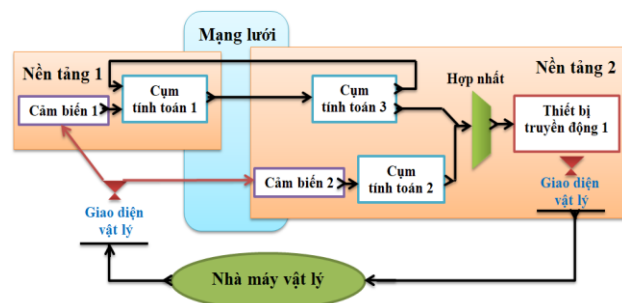
- Phần cứng của hệ thống nhúng được trang bị các CPU có tốc độ xử lý nhanh giúp cho hệ thống xử lý dữ liệu nhanh hơn; Nhiều tác vụ có thể được xử lý trực tiếp trên hệ thống nhúng mà không cần phải gửi dữ liệu về máy chủ trung tâm, điều này giúp giảm tải lưu lượng mạng cho toàn hệ thống và giảm độ trễ điều khiển.

- Bộ nhớ flash có giá ngày càng rẻ giúp lượng thông tin trích xuất được từ dữ liệu được lưu trữ nhiều hơn; Lượng dữ liệu dồi dào chính là nền tảng cho công nghệ dữ liệu lớn (big data) để trích xuất được nhiều đặc trưng của hệ thống hơn.

- Các cảm biến có độ chính xác cao và các vi cảm biến được tích hợp sâu vào các chi tiết vật lý giúp thu thập được nhiều dữ liệu từ môi trường vật lý hơn;

- Giao tiếp không dây và Internet vạn vật giúp cho việc giao tiếp giữa cảm biến và thiết bị, giữa thiết bị với thiết bị và giữa hệ thống với hệ thống dễ dàng hơn.

Việc tự giám sát thông minh và truyền dữ liệu trong thời gian thực sau đó xử lý, ghi chép và phân tích đã giúp tiết kiệm rất nhiều thời gian trong khâu bảo dưỡng, giám sát của con người. CPS còn giúp ích cho việc tự ghi chép và phân tích dữ liệu thu được, giúp khai phá ra những nguy cơ tiềm tàng trong quá trình vận hành. Ngoài ra, việc xử lý các thông tin này không nhất thiết chỉ được thực hiện trên hệ thống nhúng hoặc hệ thống máy chủ cục bộ có vị trí địa lý cố định mà có thể được thực hiện thông qua Internet nhờ ứng dụng điện toán đám mây [9]. Hình 1 mô tả cấu trúc của một hệ thống thực ảo tổng quát.



Hình 1. Cấu trúc của một hệ thống thực ảo [2]

Một ví dụ về hệ thống thực ảo là máy giải bài toán tháp Hà Nội [10], bài toán được mô tả như sau: Có ba cây cột và một số đĩa tròn có đường kính khác nhau; Ban đầu các đĩa này được sắp xếp theo thứ tự đường kính giảm dần từ dưới lên trên ở một cột nào đó, mục tiêu là phải sắp xếp các đĩa theo thứ tự đường kính đĩa giảm dần theo đúng thứ tự từ cột ban đầu sang một cột khác; mỗi lần được di chuyển một đĩa và đĩa này phải là đĩa nằm trên cùng ở một cột nào đó; khi đặt đĩa này lên đĩa kia trong một lượt đi thì chỉ được đặt đĩa có đường kính bé hơn lên đĩa có đường kính lớn hơn. Hệ thống thực ảo cho bài toán này được mô tả như sau: Phần hệ thống vật lý (physical plant) gồm một cánh tay robot di chuyển trên một thanh trượt. Cánh tay robot này có thể thực hiện chuyển động tịnh tiến lên xuống. Cơ

cấu chấp hành là một ống hút chân không có nhiệm vụ hút và nhả các đĩa. Trên cánh tay robot gồm hai camera có nhiệm vụ xác định vị trí của thanh trượt cũng như xác định đĩa cần di chuyển.

Với mô hình (hệ thống nhúng + hệ thống vật lý) truyền thống, chỉ cần xác định lực hút đủ để nâng đĩa nặng nhất là có thể điều khiển cơ cấu hút chân không để nâng được toàn bộ các đĩa. Điều này dẫn đến sự lãng phí năng lượng. Trong một số trường hợp, vì lý do nào đó, mặc dù đã cấp đủ lực hút nhưng đĩa không được nâng lên thì có thể dẫn đến việc thực hiện thuật toán bị sai (vì đĩa chưa được nâng lên để bỏ qua cột khác nhưng hệ thống vẫn xử lý là đã di chuyển).

Với mô hình CPS: Các đĩa được tích hợp cảm biến vị trí và thông tin về mỗi đĩa như khối lượng, đường kính, màu sắc được tích hợp trên chip NFC, điều này cho phép ta điều chỉnh cơ cấu chấp hành với lực hút phù hợp cho từng loại đĩa để tiết kiệm năng lượng hoạt động. Vì mỗi đĩa đã có cảm biến vị trí nên hệ thống máy tính hoàn toàn có đủ dữ liệu vị trí của từng đĩa ở mỗi lượt di chuyển để tiến hành thực hiện thuật toán chính xác. Hai camera có nhiệm vụ truyền dữ liệu hình ảnh về vi xử lý để nhằm điều khiển cánh tay robot trên thanh trượt tới đúng vị trí cần nâng đĩa. Ngoài ra, sử dụng dữ liệu từ camera hoàn toàn có thể xác định được là đã nâng đĩa hay chưa.

Trong ví dụ này, với không gian (vật lý) làm việc của máy, toàn bộ các tương tác vật lý được xét đến nhờ hệ thống cảm biến nói trên. Ngoài ra, các cảm biến không dây giúp cho hệ thống tinh gọn hơn rất nhiều. Phần ảo được tích hợp sâu vào các phần tử vật lý thông qua các phần cứng như chip NFC. Các vi xử lý, vi điều khiển trên hệ thống nhúng ngày càng mạnh giúp việc xử lý một lượng lớn dữ liệu vật lý từ môi trường có thể được làm trực tiếp trên hệ thống nhúng mà không cần phải gửi về máy chủ, giúp giảm tải lưu lượng cho mạng lưới và giảm độ trễ xử lý. Cấu trúc hệ thống ở ví dụ này được thể hiện ở Hình 2.

3. Các đặc trưng cơ bản của CPS

Có nhiều cách tiếp cận để phân tích các đặc trưng của một hệ thống thực ảo. Theo [5], nếu trích xuất các đặc trưng cơ bản nhất của một hệ thống thực ảo về mặt kỹ thuật - kinh tế thì CPS có các đặc trưng cơ bản sau:

Kỹ thuật: Hệ thống nhúng và các cảm biến được tích hợp sâu vào hệ thống vật lý và môi trường vật lý. Vì vậy, hệ thống thực ảo nhấn mạnh vào việc giao tiếp (communication) và xử lý thông tin (information processing) giữa phần thực và phần ảo. Tập trung vào kỹ thuật ở đây được hiểu là việc tập trung vào mảng giao tiếp hay mảng xử lý thông tin. Khi thiết kế hệ thống CPS, cần chú ý vào việc thiết kế đồng thời các chi tiết vật lý và các chi tiết nhúng để đảm bảo sự hoạt động ổn định và giao tiếp hiệu quả của cả hai thành phần này; Ngoài ra, khả năng xử lý dữ liệu cũng phải có hiệu suất cao để giảm tải cho hệ thống nhằm mục đích giảm chi phí và tối ưu nguyên công.

Liên kết: phải có sự liên kết chặt chẽ giữa ba khía cạnh *tính chất của hệ thống + quyền hạn + quản lý hành chính*.

- Tính chất của hệ thống: Khi xây dựng hệ thống thực ảo, phải nêu được các tính chất quan trọng nhất của hệ thống. Đó có thể là sự an toàn trong vận hành, bảo mật thông tin, hoặc thân thiện với môi trường. Vì các hệ thống thực ảo đều có sự giao tiếp với các thiết bị IoT nên vấn đề bảo mật trên không gian mạng (Cyber Security) phải được chú trọng.

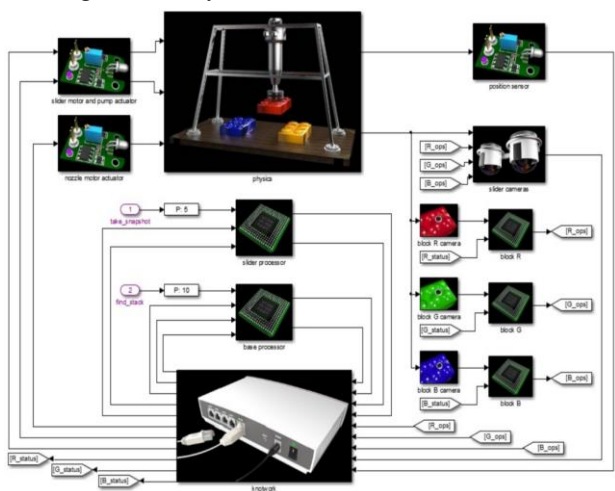
- Quyền hạn: Ở đây chỉ sự thống nhất trong sử dụng các tiêu chuẩn công nghiệp và thượng tôn pháp luật. Ví dụ, hệ thống thực ảo sử dụng rất nhiều các cảm biến không dây để truyền tải dữ liệu và giao tiếp với hệ thống nhúng, thì các giao tiếp không dây này phải sử dụng các băng tần tiêu chuẩn và được sự cho phép của pháp luật. Ngoài ra, các hệ thống thực ảo thu thập rất nhiều dữ liệu từ môi trường vật lý bên ngoài, việc thu thập này phải được sự cho phép của pháp luật.

- Cuối cùng, quản lý hành chính: Chỉ việc thực hiện các quy tắc, quy định, và luật trong quyền hạn được cho phép để đảm bảo các tính chất của hệ thống như an toàn lao động, hiệu suất công việc và bảo mật thông tin của hệ thống.

Mức độ tự động hóa: Khi thiết kế CPS, mục tiêu của chúng ta luôn là giảm tải khối lượng công việc cho con người cũng như tăng khả năng hoạt động độc lập của máy móc. Tuy nhiên, nhiều quá trình thì sự có mặt của con người là bắt buộc để đảm bảo an toàn lao động. Vì vậy không nên lạm dụng tự động hóa cho toàn bộ quy trình sản xuất.

Vòng đời hệ thống: Trước khi hệ thống thực ảo ra đời, vòng đời của một hệ thống, một sản phẩm thường được khuyến cáo sử dụng trong một khoảng thời gian đặt trước. Với CPS, nhờ các cảm biến tinh vi, ta có thể biết tình trạng sức khỏe của từng chi tiết trong hệ thống để có lịch trình làm việc và thay thế cụ thể cho từng phần. Việc này giúp việc bảo trì hệ thống dễ dàng hơn và giúp giảm chi phí đầu tư. Theo [1], nếu tập trung vào khía cạnh kỹ thuật thì trong cả vòng đời hoạt động của một hệ thống thực ảo, nó phải đáp ứng các tính chất sau:

Có tính phụ thuộc: Vì hệ thống thực ảo luôn phải tiếp nhận dữ liệu từ môi trường bên ngoài để phục vụ cho việc điều khiển hệ thống vật lý và hệ thống vật lý cũng có những tác động ngược lại với môi trường bên ngoài nên các phần



Hình 2. Cấu trúc hệ thống máy giải bài toán Tháp Hà Nội [10]

Các lĩnh vực đã và đang được hưởng các lợi ích từ sự phát triển của CPS có thể kể ra gồm: Giao thông vận tải [11], Nhà máy thông minh [12], Y tế [13], Công trình xây dựng thông minh [14], Dự báo tình trạng công trình xây dựng [15], Lưới điện thông minh [16], Thí nghiệm khoa học [17], An ninh xã hội [18], Phục hồi sau khủng hoảng [19], Robot [20], Nông nghiệp [21], Quân sự [22], Thiết bị dân dụng [23].

từ (vật lý và ảo) phải có tính phụ thuộc để đưa ra các tín hiệu điều khiển phù hợp với môi trường vật lý bao quanh nó.

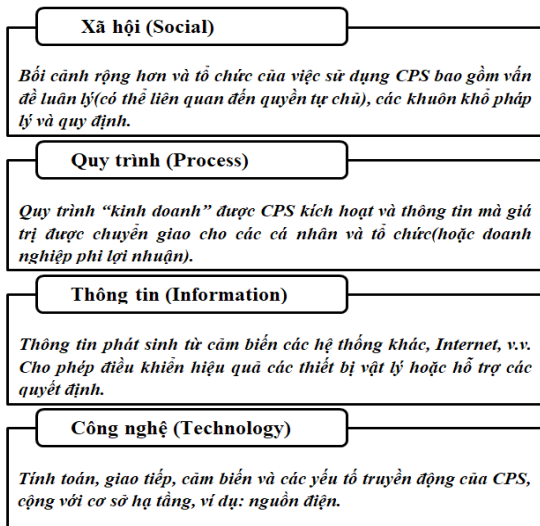
Có khả năng kiểm soát nguồn lực: Các nguồn lực ở đây bao gồm năng lượng sử dụng của hệ thống, thời gian thực thi, độ dài của chương trình, khối lượng (vật lý) của hệ thống và chi phí sản xuất/ hoạt động của hệ thống.

Có khả năng sử dụng và tận dụng dữ liệu lớn (big data): Vì hệ thống thực ảo thu thập một lượng lớn dữ liệu từ môi trường vật lý nên hệ thống phải có khả năng xử lý dữ liệu hiệu quả. Khi kết nối giữa các hệ thống thực ảo với nhau, thì hệ thống được liên kết này phải có khả năng tận dụng dữ liệu lớn do các các hệ thống con cung cấp.

Có tác động tích cực đến các mặt của đời sống: Hệ thống thực ảo ra đời nhằm giúp giảm tải công việc cho con người, tạo ra các hệ thống máy móc thân thiện với con người và môi trường.

CPS cung cấp giải pháp có tính bền vững: Công nghệ CPS cung cấp các giải pháp có thể hỗ trợ trong việc xử lý với tính bền vững, chẳng hạn như thiết kế kiến trúc mô-đun để tạo điều kiện tái sử dụng và tái chế. Việc quản lý hệ thống như vậy, đối phó với các rủi ro an ninh và an toàn, cung cấp khả năng tương tác hiệu quả, đặt ra các rào cản trong cuộc công nghiệp hóa. Thiếu các giải pháp mới cần thiết, có thể ngăn cản thành công sự tiến hóa công nghiệp.

CPS có khả năng gây ảnh hưởng - thay đổi đáng kể bản chất của thị trường: Điều này có thể là thông qua việc tạo ra các thị trường mới hoặc thông qua những thay đổi đáng kể của hệ sinh thái. CyPhERS devel đã chọn một phương pháp phân tích thị trường để cố gắng xác định tiềm năng của CPS để định hình thị trường. Phương pháp, bổ sung cho các đặc điểm được mô tả, bao gồm phân tích các cơ hội và hạn chế ở mỗi "lớp": Xã hội, Quy trình, Thông tin và Công nghệ.



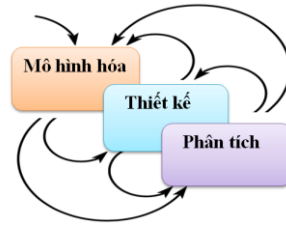
Hình 3. SPIT [5]

4. Thiết kế CPS

Có nhiều cách để thiết kế một hệ thống thực ảo. Một trong những cách tiếp cận phổ biến là sử dụng cách Thiết kế dựa trên mô hình [24]. Quy trình thiết kế dựa trên mô hình được mô tả gồm 10 bước: (1) Xác định vấn đề; (2) Mô hình hoá quá trình vật lý; (3) Tìm các thông số đặc trưng

của mô hình toán-lý; (4) Xác định thuật toán điều khiển; (5) Xác định mô hình tính toán; (6) thiết kế phần cứng; (7) Mô phỏng; (8) chế tạo thiết bị; (9) Viết và tối ưu chương trình phần mềm; (10) Kiểm tra và chạy thử.

Lee và Seshia đề xuất một cách tiếp cận tổng quát hơn để thiết kế một hệ thống thực ảo trong một quy trình ba bước [2] (xem Hình 4):



Hình 4. Quy trình thiết kế một hệ thống CPS [2]

(i) Mô hình hoá: Mô tả hệ thống bằng các phương trình toán lý và tìm ra các thông số đặc trưng của hệ thống. Một hệ thống thực ảo bao gồm phần hệ thống vật lý, hệ thống nhúng và môi trường giao tiếp giữa hai hệ thống này, vì vậy ta cần tìm tất cả các thông số đặc trưng của cả ba yếu tố cấu thành này.

(ii) Thiết kế và xây dựng: Dựa trên các thông số đặc trưng của hệ thống, lựa chọn và kết hợp các phần tử vật lý và phần tử ảo thích hợp nhằm tạo ra thiết bị thực hiện một công việc cụ thể. Các phần tử vật lý ở đây là các cảm biến, cơ cấu chấp hành, vi xử lý, các phần tử ảo có thể là kiến trúc bộ nhớ, giao tiếp vào/ra và các chương trình thực thi được nạp trên ROM và bộ nhớ của hệ thống nhúng.

(iii) Phân tích: Trên thiết bị đã thiết kế, tiến hành kiểm tra thử nó có hoàn thành đúng công việc đã được yêu cầu chưa và có thoả mãn các thông số đặc trưng của mô hình không thông qua việc đo đạc và phân tích số liệu.

Như Hình 4, ba phần này của quy trình chồng chéo lên nhau, và quy trình thiết kế di chuyển lặp đi lặp lại giữa ba phần. Thông thường, quá trình sẽ bắt đầu với việc lập mô hình, trong đó mục tiêu là hiểu vấn đề và phát triển các chiến lược giải pháp.

5. Ứng dụng của CPS trong công nghiệp và xu hướng số hoá

Như đã đề cập từ trước, rất nhiều lĩnh vực trong đời sống của chúng ta có thể được hưởng các lợi ích từ hệ thống thực ảo. Ví dụ, ở cấp độ vi mô là người dùng thông thường, chúng ta có thể thấy ngay một lợi ích từ CPS đó là nhà thông minh [14, 23]; Chúng ta có các căn nhà và toà nhà mở cửa tự động cho con người vào dựa trên các thông tin sinh trắc học (khuôn mặt, dấu vân tay, mống mắt), các hành lang tự động bật đèn khi có người hoặc thiếu ánh sáng, và tắt đèn khi đủ sáng hoặc không có người qua lại để tiết kiệm năng lượng; Thông tin về người đang ở trong nhà được quản lý và bảo mật, và tất cả các người có trách nhiệm có thể truy cập thông tin này ở bất kỳ đâu. Ở cấp độ vừa, dữ liệu về tình trạng vật lý của một sự vật lớn hơn (ví dụ như tình trạng giao thông của một thành phố) có thể được thu thập và phần ảo của CPS có thể tính toán các tuyến đường phù hợp để chúng ta di chuyển đến đích mà ít gặp tắc đường nhất [11]. Ở cấp độ vĩ mô, CPS có thể là hệ thống điện của cả một quốc gia [16]. Nguồn cung các nhiên liệu hoá thạch

truyền thống là có hạn, điện hạt nhân còn ẩn chứa các nguy hiểm, thì việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo và điều phối năng lượng trên toàn bộ lưới điện là cần thiết.

Có thể thấy, việc ứng dụng CPS đang ngày càng rộng và đây là xu hướng chung [25]. Đại dịch Covid-19 làm cho xu hướng chuyển đổi số ngày càng mạnh mẽ và CPS đang đóng góp không nhỏ cho công cuộc chuyển đổi này. Tại Hoa Kỳ, Mạng lưới sản xuất quốc gia (National Network for Manufacturing) đã thành lập "Hiệp hội sản xuất tiên tiến 2.0" để tăng cường sự hợp tác và đối mới giữa các nhà máy xí nghiệp trên cả nước trong tình hình mới. Tại Đức, ngành công nghiệp của nước này đang đề xuất và biên soạn các tiêu chuẩn mới cho Công nghiệp 4.0. Tại Anh, "Sản xuất giá trị cao", một chương trình được đề xuất bởi chính phủ Anh ra đời nhằm đầu tư và khuyến khích các doanh nghiệp tiến hành chuyển đổi số. Tại Việt Nam, quá trình chuyển đổi số đã được nhà nước khuyến khích và hỗ trợ: Xu hướng Nhà máy thông minh nhờ vào hệ thống CPS đang ngày càng phát triển [26].

Theo [25], các lĩnh vực công nghiệp có thể được cải thiện nhờ CPS bao gồm:

Tự động hoá sản xuất: Dựa trên các nền tảng chính đó là số hoá toàn bộ dây chuyền sản xuất; nâng cao khả năng giao tiếp giữa máy và máy (machine-to-machine communication, M2M); module hoá các hệ thống máy móc nhằm đảm bảo tính chất cắm là sản xuất (plug-to-produce) và sử dụng các thiết bị tự hành (automated guided vehicle, AGV). Đây là các nền tảng chính cho việc xây dựng nhà máy thông minh.

Tự động hoá quá trình: Đây là một khái niệm gần với khái niệm tự động hoá sản xuất nhưng có sự khác biệt. Nếu tự động hoá sản xuất chỉ việc các nguyên công được thực hiện một cách tự động dựa trên các quy tắc và quy định được chỉ định từ trước, thì việc tự động hoá quá trình đề cập đến việc tự động hoá việc quản lý nguồn lực của khâu sản xuất và đưa ra kế hoạch sản xuất (scheduling) tối ưu dựa trên nguồn lực đang có mà không cần sự can thiệp của con người (nhờ các thuật toán học máy và trí tuệ nhân tạo). Trong CPS, các phần tử trong nhà máy được định danh nhờ vào RFID hoặc NFC, các thùng chứa nguyên liệu, các sản phẩm được in thông tin mã hoá trên bao bì (mã vạch, mã QR, hoặc RFID).

Tương tác giữa người và máy: Có một thực tế đang diễn ra là máy móc đã thay thế con người trong một số công việc [27]. Tuy nhiên, con người vẫn là yếu tố không thể thay thế trong nhiều lĩnh vực. Một xu hướng đang nổi lên là tăng tính tương tác giữa người và máy với mục đích giúp con người thực hiện các tác vụ khó với sự trợ giúp của máy móc mà không làm mất đi công việc của con người. Trong công nghiệp, vì lý do an toàn lao động, con người không được hoạt động trong vùng không gian làm việc của máy móc. Với sự ra đời của CPS, hệ thống sản xuất công nghiệp an toàn hơn vì các cảm biến có thể nhận diện được va chạm giữa người và máy chỉ trong mili giây và dừng toàn bộ hệ thống. Các khung xương robot trợ lực giúp công nhân có thể nâng hạ các tải trọng nặng gấp nhiều lần giới hạn của con người mà vẫn đảm bảo sức khoẻ và an toàn lao động.

Điện toán phi tập trung: Ở phần trước, ta đã biết sức

mạnh của các vi xử lý và vi điều khiển trên hệ thống nhưng ngày càng được gia tăng. Điều này dẫn đến dữ liệu có thể được xử lý và trích xuất ra thông tin hữu ích ngay trên thiết bị, giúp cho giảm tải lưu lượng dữ liệu truyền trên hệ thống mạng và giảm tải xử lý cho hệ thống trung tâm.

Dữ liệu lớn: Hệ thống thực ảo thu thập một lượng lớn dữ liệu từ môi trường vật lý và hệ thống vật lý. Các dữ liệu này bao gồm: Dữ liệu hoạt động của máy móc (thời gian hoạt động, cường độ hoạt động...), danh sách các lỗi phát sinh trên toàn bộ hệ thống, lịch sử bảo trì máy móc. Với lượng dữ liệu đồ sộ thu thập từ nhiều nhà máy, ta có thể ứng dụng các thuật toán học máy (ví dụ như Nhận dạng mẫu) để dự báo các lỗi phát sinh trên máy móc và đưa ra lịch trình bảo trì, sửa chữa phù hợp.

An ninh mạng: Hệ thống thực ảo được xây dựng dựa trên nền tảng của các cảm biến không dây và các thiết bị IoT có kết nối với nhau thông qua mạng cục bộ và mạng Internet. Vì vậy, các thiết bị này hoàn toàn có thể bị xâm nhập và chiếm quyền điều khiển nếu không được bảo mật tốt. Khi hệ thống thực ảo phát triển mạnh về số lượng thì đây là mục tiêu cho tin tặc tấn công. Vấn đề bảo mật và an ninh mạng trở nên cấp thiết và nhận được nhiều sự quan tâm khi thiết kế CPS trong bối cảnh hiện nay.

Quản lý kiến thức: Các hệ thống thực ảo hoạt động dựa trên việc xử lý một lượng lớn dữ liệu và trích xuất ra các thông tin cần thiết cho việc điều khiển hoạt động của hệ thống. Các dữ liệu này đa số là các dữ liệu kỹ thuật có tính định tính và định lượng cao. Tuy nhiên, để hệ thống hoạt động hiệu quả thì ngoài các dữ liệu kỹ thuật như trên, còn cần các dữ liệu phi kỹ thuật. Các dữ liệu phi kỹ thuật này thường là các hiểu biết của nhân viên làm việc trong nhà máy. Đó có thể là sự thông thạo của một nhân viên khi vận hành một loại máy cụ thể, có thể là sự ghi chép về tính tình, cảm xúc về nhân viên của quản lý phân xưởng, có thể là ghi chép về các hỏng hóc không mang tính hệ thống. Đây là các kiến thức rất khó để mô hình hoá và thực thi trên máy tính nhưng lại ảnh hưởng đến hiệu suất hoạt động. Vì vậy, cần phải có quy trình ghi chép, phân loại và sắp xếp kiến thức phi kỹ thuật một cách có hệ thống cho mục đích quản lý và điều hành hoạt động.

Nâng cao trình độ chuyên môn: CPS làm thay đổi rất nhiều cách thức vận hành và bảo trì một nhà máy. Một nhân viên bây giờ cần kiến thức đa ngành để có thể làm việc trong một hệ thống như vậy. Các quản lý và nhân viên có kinh nghiệm cần có hình thức đào tạo và hướng dẫn phù hợp cho các nhân viên mới. Học tập và đào tạo trực tuyến (E-learning) là một hình thức đào tạo trong bối cảnh mới giúp cho các học viên có thể quen với tương tác giữa người và máy ngay từ sớm.

6. Kết luận

Hệ thống CPS có sự tích hợp mạnh mẽ giữa IoT và thế giới vật lý, cụ thể là tích hợp các thiết bị khác nhau được trang bị nhiều cảm biến, có khả năng nhận dạng, xử lý, giao tiếp không chỉ ở nội tại hệ thống đang xét mà cả môi trường xung quanh nó, giúp có một hệ thống thông minh và hữu dụng hơn. Bài báo nghiên cứu về nền tảng, vai trò cũng như tầm quan trọng của CPS trong nền công nghiệp 4.0. Từ sự ra đời của CPS, việc thực hiện các nhu cầu thực tế trở nên

đễ dàng hơn. Dựa trên sự tổng hợp, nghiên cứu từ nhiều nguồn tài liệu khác nhau, bài báo mang lại cái nhìn tổng quan và toàn diện các vấn đề liên quan đến CPS đồng thời cũng thảo luận về xu hướng, tiềm năng của nền công nghiệp 4.0 dựa trên CPS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Marwedel, Peter, "Embedded system design", *Vol. 1. New York: Springer*, 2006, p1-2.
- [2] Lee, Edward Ashford, and Sanjit A. Seshia, *Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach*, Mit Press, 2017.
- [3] Peckol, James K, "Embedded systems: a contemporary design tool", *John Wiley & Sons*, 2019, p3-8.
- [4] Malinowski, Aleksander, and Hao Yu, "Comparison of embedded system design for industrial applications", *IEEE transactions on industrial informatics* 7.2, 2011, 244-254.
- [5] Song, Houbing, et al., eds, *Cyber-physical systems: foundations, principles and applications*, Morgan Kaufmann, 2016.
- [6] Lee, Edward A., *Computing foundations and practice for cyber-physical systems: A preliminary report*, University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/EECS-2007-72 21, 2007.
- [7] CPS-Summit, *Holistic approaches to cyber-physical integration.*, CPSWeek report, 2008, Available from: iccps2012.cse.wustl.edu/_doc/CPS_Summit_Report.pdf (accessed September 2015).
- [8] European Commission, Topic: *Smart cyber-physical systems.*, <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/ict-01-2014.html>, 2013.
- [9] Shu, Z., Wan, J., Zhang, D., & Li, D. "Cloud-integrated cyber-physical systems for complex industrial applications", *Mobile Networks and Applications*, 21(5), 2016, 865-878.
- [10] Mosterman, P. J., Zander, J., & Han, Z, *The towers of hanoi as a cyber-physical system education case study.*, In Proc. of the First Workshop on Cyber-Physical Systems Education at CPSWeek, 2013, April.
- [11] Xiong, Gang, et al., "Cyber-physical-social system in intelligent transportation", *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 2.3, 2015, 320-333.
- [12] Jiang, Jehn-Ruey, "An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories", *Advances in Mechanical Engineering*, 10.6, 2018, 1687814018784192.
- [13] Zhang, Yin, et al. "Health-CPS: Healthcare cyber-physical system assisted by cloud and big data", *IEEE Systems Journal*, 11.1, 2015, 88-95.
- [14] Gurgun, Levent, et al., "Self-aware cyber-physical systems and applications in smart buildings and cities". *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, IEEE, 2013.
- [15] Hackmann, Gregory, et al. "Cyber-physical codesign of distributed structural health monitoring with wireless sensor networks". *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 25.1, IEEE, 2013, (pp. 63-72).
- [16] Kamouskos, S., "Cyber-physical systems in the smartgrid". *In 2011 9th IEEE international conference on industrial informatics*, IEEE, (2011, July), (pp. 20-23).
- [17] Talcott, Carolyn. "Cyber-physical systems and events". *Software-Intensive Systems and New Computing Paradigms*, 49, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, (pp. 101-115).
- [18] Drăgoicea, M., Leonard, M., Ciolofan, S. N., & Militaru, G. (2019). "Managing Data, information, and technology in cyber physical systems", *public safety as a service and its systems*, 7, IEEE Access, 92672-92692, (May 2019), (pp. 1-21).
- [19] Mariappan, R., Reddy, P. N., & Wu, C. (2015, December)". Cyber physical system using intelligent wireless sensor actuator networks for disaster recovery". *In 2015 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, 16248181, IEEE, 18 August 2016, (pp. 95-99).
- [20] Luo, Ren C., and Chia-Wen Kuo. "Intelligent seven-DoF robot with dynamic obstacle avoidance and 3-D object recognition for industrial cyber-physical systems in manufacturing automation", *Proceedings of the IEEE*, 104, IEEE, (May 2016), (pp. 1102-1113).
- [21] Rad, C. R., Hancu, O., Takacs, I. A., & Olteanu G., "Smart monitoring of potato crop: a cyber-physical system architecture model in the field of precision agriculture" *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 6, 2015, (pp. 73-79).
- [22] Rashid, N., Wan, J., Quiros, G., Canedo, A., & Al Faruque, M, "Modeling and simulation of cyberattacks for resilient cyber-physical systems", *In 2017 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 2161-8089, IEEE, (2017, August), (pp. 988-993).
- [23] Awais Ahmad, Anand Paul, M. Mazhar Rathore, Hangbae Chang , "Smart cyber society: Integration of capillary devices with high usability based on Cyber-Physical System", *Future Generation Computer Systems*, 56, March 2016, (pp. 493-503).
- [24] Jensen, J. C., Chang, D. H., & Lee, E. A, "A model-based design methodology for cyber-physical systems", *In 2011 7th international wireless communications and mobile computing conference*, 12179330, IEEE, 12 August 2011, (pp. 1666-1671).
- [25] Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslein, K. M. "An application map for industrial cyber-physical systems", *Industrial Internet of Things–Cyber Manufacturing Systems*, 978-3-319-42558-0, Springer International Publishing, 2017, (pp. 21-46).
- [26] Thanh, B. T., & Thao, N. N., "Nhà máy thông minh và hiệu quả sản xuất của doanh nghiệp trong cuộc cách mạng công nghiệp 4.0—nghiên cứu tại Công ty Bosch Việt Nam", *Kỷ yếu hội thảo*, 978-604-80-3565-5, nhà xuất bản thông tin và truyền thông, 2018, trang 219-241.
- [27] Hoeschl, M. B., Bueno, T. C., & Hoeschl, H. C. (2017, November). "Fourth industrial revolution and the future of engineering: could robots replace human jobs? How ethical recommendations can help engineers rule on artificial intelligence", *In 2017 7th World Engineering Education Forum (WEEF)*, 18098577, IEEE, 3-16 Nov. 2017, (pp. 21-26).