

# QUY TRÌNH XÂY DỰNG BẢN SAO SỐ CHO MÁY PHAY CNC

## PROCESS OF BUILDING VIRTUAL MODEL FOR CNC MILLING MACHINE

Lê Giang Nam<sup>1,\*</sup>, Lưu Ngọc Khánh<sup>1</sup>, Kiều Đình Trọng<sup>1</sup>,  
Nguyễn Văn Vũ<sup>1</sup>, Nguyễn Hoàng Nam<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2024.011>

### TÓM TẮT

Bộ đôi số của máy CNC giúp nâng cao hiệu quả của quá trình gia công nhờ vào khả năng giám sát, tối ưu và dự đoán hành vi của mô hình vật lý. Trong các thành phần của bộ đôi số, bản sao số của máy CNC thực hiện nhiệm vụ giám sát hành vi và chuẩn bị sản xuất dựa trên công nghệ mô phỏng. Bài báo này đề cập tới việc xây dựng bản sao số của máy phay CNC bằng phần mềm NX 1953. Từ đó làm cơ sở nghiên cứu để phát triển quy trình xây dựng bản sao số đối với các loại máy công cụ CNC sau này.

**Từ khóa:** Bản sao số; bộ đôi số; giám sát hành vi; máy công cụ; máy phay CNC; phục vụ sản xuất.

### ABSTRACT

Digital twin of CNC machines tool helps improve the efficiency of the machining process with the ability to monitor, optimize and predict the behavior of the physical model. In the components of the digital twin, the virtual model of the CNC machine performs the task of behavior monitoring and production preparation based on simulation technology. This paper deals with building a digital twin of a CNC milling machine using NX 1953 software. From there, it serves as a research basis to develop the process of building digital twins for future types of CNC machine tools.

**Keywords:** Behavior monitoring; digital twin; CNC milling; machine tool; smart manufacturing; virtual model.

<sup>1</sup>Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: nam.legiang@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

## 1. GIỚI THIỆU

Gia công CNC là một trong những phương pháp sản xuất quan trọng và được coi là cốt lõi của quá trình sản xuất hiện đại ngày nay. Hoạt động gia công CNC giúp sản xuất các bộ phận khác nhau phục vụ cho các lĩnh vực như y tế, hàng không vũ trụ, khí đốt... [1]. Chương trình CNC phục vụ cho việc gia công có thể được lập trình trực tiếp hoặc sử dụng chương trình có sẵn. Tuy nhiên việc làm này lại tiềm ẩn nhiều rủi ro trong quá trình vận hành dẫn đến kết quả gia công không đảm bảo. Trong bối cảnh các phương pháp gia công luôn được phát triển song hành cùng sự ra đời của các công nghệ mới, hoạt động gia công CNC truyền thống cần thiết phải được xem xét lại [2].

Bộ đôi số được coi là một mô hình ảo có đầy đủ các đặc tính của mô hình vật lý và có thể tương tác được với mô hình vật lý trong suốt vòng đời để đánh giá, tối ưu và dự đoán về các hành vi trên thực tế của mô hình vật lý [3]. Bộ đôi số đã được giới thiệu trong một vài lĩnh vực với tiềm năng nâng cao khả năng đưa ra quyết định [4]. Mặc dù có nhiều cách hiểu khác nhau về bộ đôi số trong các nghiên cứu học thuật cũng như trong công nghiệp, thế nhưng 4 thành phần: mô hình vật lý, bản sao số, kết nối và đóng gói dịch vụ là 4 thành phần cốt lõi nhất của bộ đôi số [5]. Với bộ đôi số, mỗi mô hình vật lý đều cần có một bản sao số để cùng làm việc trong suốt vòng đời. Bản sao số là một mô hình kỹ thuật số của mô hình vật lý, được phát triển từ dữ liệu của mô hình vật lý để có thể giữ được tính thống nhất xuyên suốt theo thời gian [6]. Bản sao số hoàn thiện sẽ có thể dự đoán, giám sát và chuẩn đoán hành vi đối với mô hình vật lý [7].

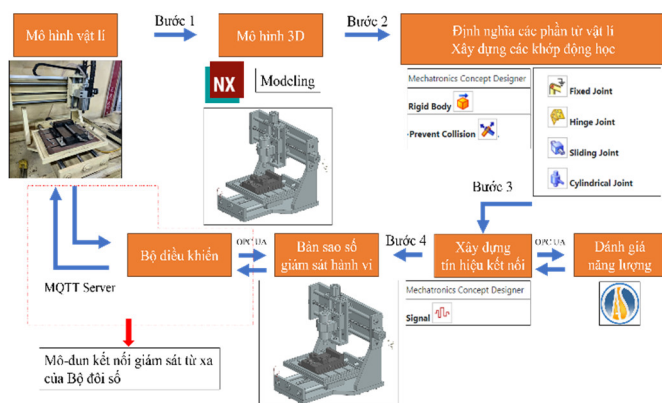
Máy công cụ CNC có nhiệm vụ thực hiện các quá trình công nghệ để gia công sản phẩm. Đối với phương pháp gia công CNC truyền thống, người vận hành cần phải giám sát hoạt động của máy để kịp thời can thiệp khi có sự cố xảy ra. Quá trình sản xuất và chuẩn bị sản xuất nếu chỉ theo lối trình tự nối tiếp sẽ gây lãng phí thời gian dẫn đến giảm hiệu quả của toàn bộ quá trình sản xuất. Việc xây dựng bộ đôi số có thể giải quyết triệt để những tồn tại nêu trên. Với bản sao số của của máy công cụ, có thể thực hiện nhiệm vụ giám sát hành vi và chuẩn bị cho quá trình sản xuất. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề cập đến công nghệ xây dựng bản sao số với 2 nội dung như trên, quy trình vận dụng đối với máy phay CNC 3 trục.

## 2. XÂY DỰNG BẢN SAO SỐ GIÁM SÁT HÀNH VI

Bản sao số giám sát hành vi có nhiệm vụ cập nhật dữ liệu theo thời gian thực để theo dõi, giám sát máy thực. Bản sao số này được xây dựng trên mô-đun MCD (Mechatronics Concept Design) của phần mềm NX 1953 và Automation Studio có thể kết nối để cập nhật dữ liệu thông qua giao thức OPC UA. Quy trình xây dựng bản sao số giám sát hành vi được nhóm tác giả đề xuất như hình 1 với các bước cụ thể như sau:

- Bước 1: Khảo sát mô hình vật lý, xây dựng mô hình 3D trên môi trường NX Modeling.
- Bước 2: Trong mô-đun MCD, định nghĩa các phần tử vật lý, xây dựng các khớp động học.
- Bước 3: Trong mô-đun MCD, xây dựng các tín hiệu kết nối.

- Bước 4: Hoàn thiện bản sao số giám sát hành vi.

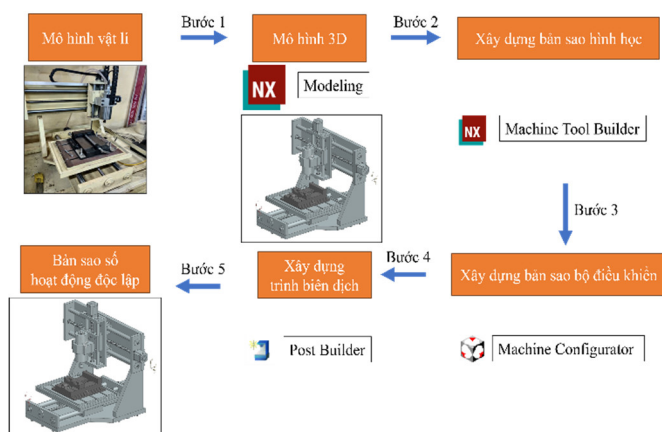


Hình 1. Quy trình xây dựng bản sao số giám sát hành vi

### 3. XÂY DỰNG BẢN SAO SỐ HOẠT ĐỘNG ĐỘC LẬP

Bản sao số hoạt động độc lập được xây dựng dưới hai khía cạnh: bản sao số về mặt hình học và bản sao số của bộ điều khiển. Sau khi hoàn thiện hai vấn đề trên, bản sao số này cần đảm bảo có thể lập trình trực tiếp để vận hành, mô phỏng được chương trình G-Code từ bên ngoài để kiểm tra chương trình. Ngoài ra, bản sao số này cần có thêm khả năng xuất bản được chương trình G-Code sau quá trình CAD/CAM để phục vụ việc gia công trên máy thực. Quy trình xây dựng bản sao số hoạt động độc lập được nhóm tác giả đề xuất như hình 2 với các bước cụ thể như sau:

- Bước 1: Khảo sát mô hình vật lí, xây dựng mô hình 3D trên môi trường NX Modeling.
- Bước 2: Xây dựng bản sao hình học trên môi trường Machine Tool Builder.
- Bước 3: Xây dựng bản sao bộ điều khiển bằng phần mềm Machine Configurator.
- Bước 4: Xây dựng trình biên dịch bằng ứng dụng NX Post Builder.
- Bước 5: Hoàn thiện bản sao số hoạt động độc lập.



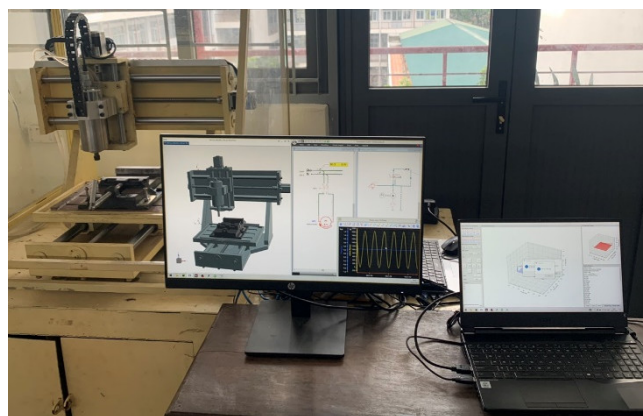
Hình 2. Quy trình xây dựng bản sao số hoạt động độc lập

### 4. KẾT QUẢ XÂY DỰNG BẢN SAO SỐ

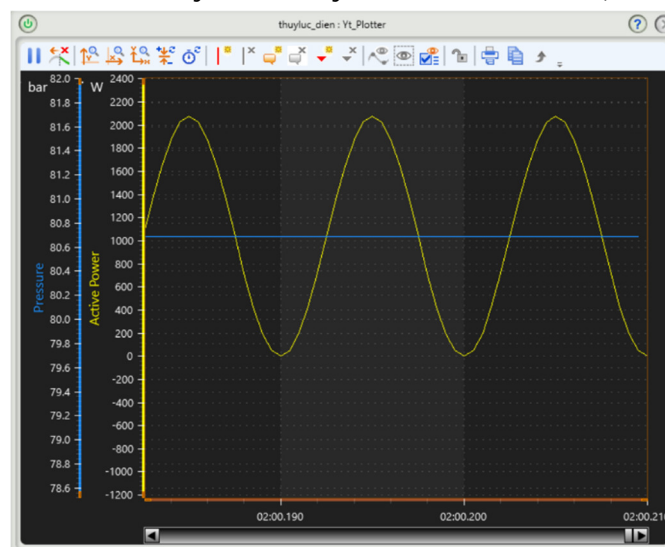
#### 4.1. Bản sao số giám sát hành vi

Đối với bộ đôi số, một thành phần không thể thiếu đó chính là mô-đun kết nối, phục vụ cho việc giám sát từ xa.

Trong quá trình xây dựng bản sao số giám sát hành vi như Hình 1, cần thiết phải để cập tới mô-đun kết nối để tạo cơ sở cho việc xây dựng một bộ đôi số hoàn thiện với đầy đủ yêu cầu. Bản sao số giám sát hành vi sau khi được xây dựng hoàn thiện có thể nhận dữ liệu điều khiển về vị trí theo thời gian thực cũng như đánh giá về các nguồn năng lượng tiêu thụ trong quá trình hoạt động của hệ thống như hình 3. Hình 4 thể hiện kết quả giám sát hành vi, đánh giá về nguồn năng lượng của hệ thống thông qua phần mềm Automation Studio.



Hình 3. Quá trình giám sát hành vi giữa bản sao số đối với mô hình vật lí



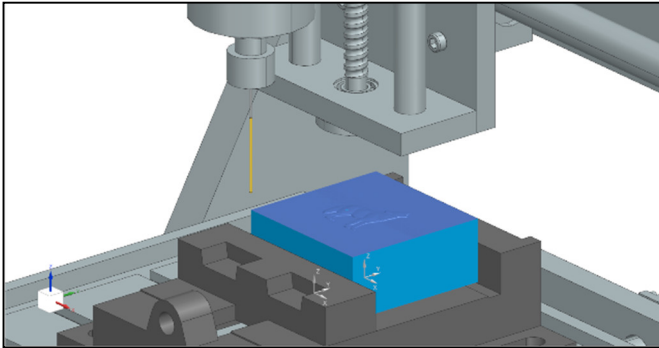
Hình 4. Đánh giá nguồn năng lượng của hệ thống bằng phần mềm Automation Studio

#### 4.2. Bản sao số hoạt động độc lập

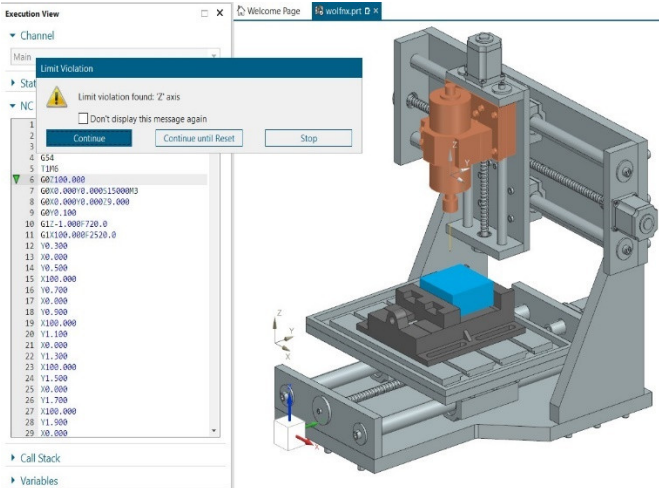
##### 4.2.1. Mô phỏng chương trình G-Code

Trước khi gia công trên máy thực, chương trình G-Code cần được kiểm nghiệm trên bản sao số để đánh giá tính đúng đắn của chương trình. Hình 5 thể hiện kết quả sau khi đã mô phỏng chương trình G-Code trên bản sao số. Chính sửa 1 câu lệnh vượt quá giới hạn hành trình trong chương trình để đánh giá về hành vi của bản sao số, kết quả trục Z phản ánh đúng ý đồ được thể hiện như hình 6. Điều này khẳng định bản sao số thể hiện được những hành vi tương ứng với máy thực trong việc mô phỏng chương trình G-Code, đảm bảo cho việc kiểm tra chương trình trước khi

đưa vào vận hành trên máy thực. Bên cạnh đó, bản sao số còn cho phép truy cập tới những thông số khác như: tốc độ quay trục chính, tốc độ chạy dao, tọa độ hiện tại của các trục... Hình 7 so sánh kết quả của chương trình gia công bằng bản sao số so với máy thực.



Hình 5. Mô phỏng chương trình G-Code với bản sao số hoạt động độc lập



Hình 6. Phát hiện lỗi trong quá trình mô phỏng chương trình G-Code

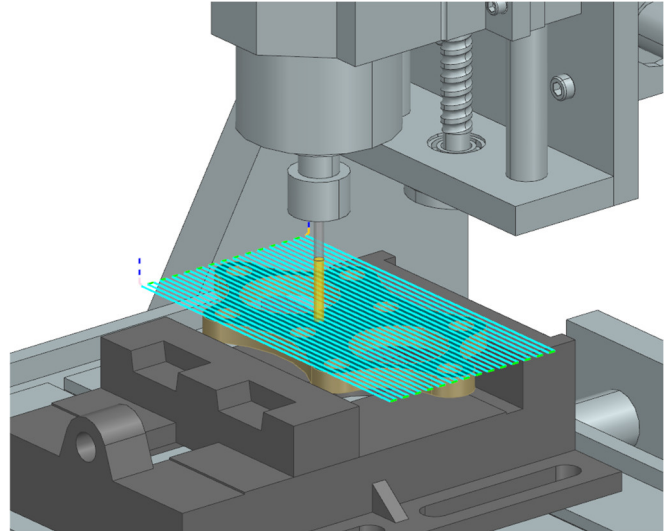


Hình 7. So sánh kết quả gia công trên máy thực với bản sao số

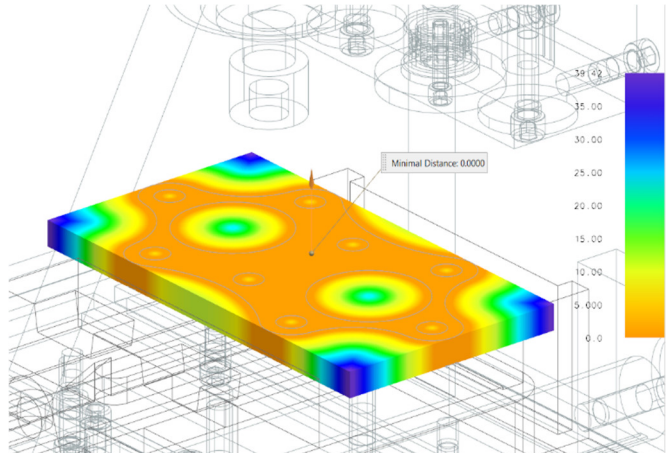
### 4.2.2. Xuất bản chương trình G-Code

Ngoài việc mô phỏng chương trình G-Code, bản sao số đảm nhận nhiệm vụ xuất bản chương trình G-Code để máy thực gia công sản phẩm. Hình 8 là đường chạy dao mà phần mềm xử lý để gia công phay mặt phẳng theo chi tiết sẵn có. Sau khi xác nhận đường chạy dao với chi tiết trên bản sao số, phần mềm cho phép đánh giá lượng dư gia công như hình 9. Những phần mềm CAD/CAM thông thường chỉ mô phỏng đường chạy dao đối với biên dạng chi tiết, còn đối với bản sao số được xây dựng, có thể theo dõi cụ thể hành vi của

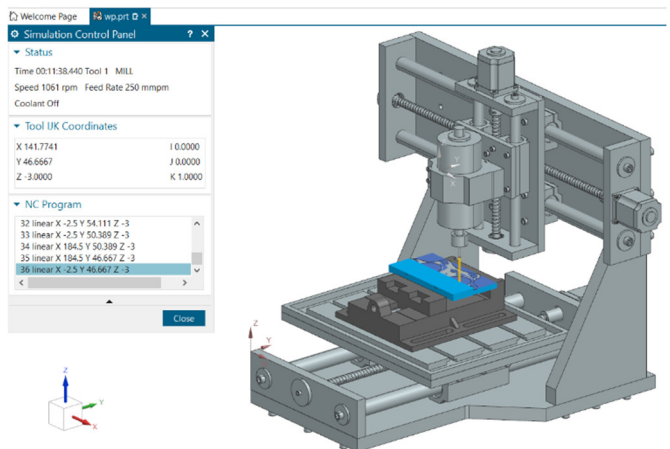
từng trục tương ứng trong quá trình gia công như hình 10. Từ đó có thể có được một góc nhìn tổng quan về ứng xử của bản sao số đối với chương trình gia công. Để xuất bản chương trình G-Code, sử dụng bộ post processor đã xây dựng để thực hiện. Chương trình G-Code gia công mặt phẳng trên hình 8 được xuất bản với thông tin như hình 11.



Hình 8. Đường chạy dao được phần mềm mô phỏng

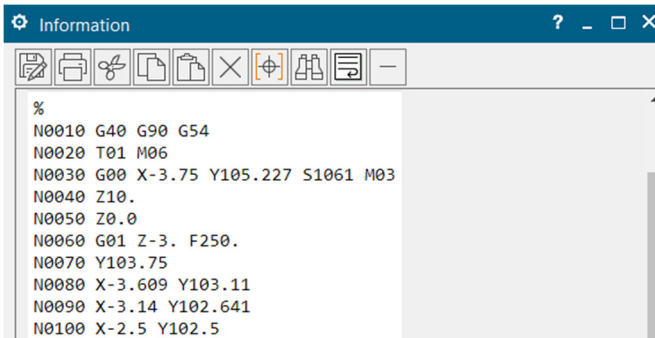


Hình 9. Đánh giá lượng dư gia công trên bản sao số hoạt động độc lập



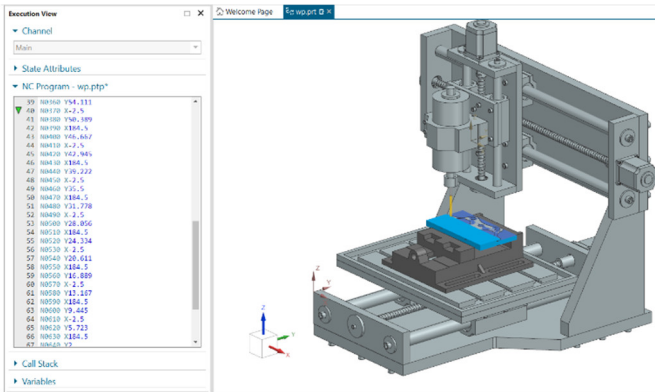
Hình 10. Mô phỏng ứng xử của bản sao số với đường chạy dao được xử lý bởi phần mềm





Hình 11. Thông tin chương trình G-Code được xuất bản

Tiến hành mô phỏng đối với chương trình G-Code vừa được xuất bản, kết quả thu được như hình 12, thể hiện tính đúng đắn của bộ post processor đã xây dựng.



Hình 12. Kiểm nghiệm chương trình G-Code

## 5. THẢO LUẬN

Một bản sao số phải phản ánh đúng được mô hình vật lý để có thể phục vụ cho việc giám sát và đánh giá được các hành vi khác nhau trong quá trình mô phỏng trên môi trường số. Tuy nhiên bản sao số không nhất thiết phải giống đến từng chi tiết của mô hình vật lý [8]. Sự phức tạp của bản sao số dẫn đến chi phí gia tăng và gây bất lợi trong quá trình mô phỏng, phân tích [6]. Bản sao số được xây dựng liên quan chặt chẽ với các yêu cầu và tương quan đối với mô hình vật lý trên một hoặc nhiều khía cạnh. Dữ liệu từ bản sao số được cập nhật, trao đổi với các phần mềm khác để đánh giá về nguồn năng lượng trong quá trình hoạt động của hệ thống, tạo thành một chu trình khép kín bằng phương pháp SIL (Software in the Loop) giúp xây dựng một bản sao số đầy đủ để thực hiện giải pháp: giám sát hành vi và chuẩn bị sản xuất. Với sự trợ giúp của bản sao số, quyết định tốt nhất sẽ được đưa ra để tối ưu hóa hiệu năng của hệ thống thực. Bên cạnh những ưu điểm đã được trình bày, bản sao số vẫn còn tồn tại nhược điểm là chưa lưu trữ được dữ liệu gia công. Dữ liệu gia công nếu được lưu trữ sẽ trở thành cơ sở để có thể sử dụng những thuật toán thông minh nhằm cải thiện khả năng làm việc của máy thực [9].

## 6. KẾT LUẬN

Việc xây dựng bộ đôi số nói chung và bản sao số nói riêng sẽ góp phần cải thiện hiệu quả của quá trình sản xuất. Thay thế cho các quy trình gia công CNC truyền thống, với bản

sao số, việc phục vụ giám sát và chuẩn bị sản xuất sẽ có thể diễn ra đồng thời. Chính bởi vậy, các máy công cụ CNC nên phát triển bộ đôi số để phục vụ cho hai quá trình trên. Trên cơ sở của nghiên cứu, quy trình xây dựng bản sao số vận dụng cho máy phay CNC đã được thực hiện. Từ đó làm cơ sở để phát triển quy trình xây dựng cho các máy công cụ nói chung sau này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A.Z. Keller, A.R.R. Kamath, U.D. Perera, "Reliability analysis of CNC machine tools," *Reliab. Eng.*, 3(6): 449-473, 1982.
- [2]. A.M. Mamadjanov, S.M. Yusupov, S. Sadirov, "Advantages and the future of CNC machines," *Scientific progress*, 2(1), 2021.
- [3]. C.K. Lo, C.H. Chen, Ray Y. Zhong, "A review of digital twin in product design and development," *Advanced Engineering Informatics*, 48, 101297, 2021.
- [4]. V.S. Vishnu, Kiran George Varghese, B. Gurumoorthy, "A Data-driven Digital Twin of CNC Machining Process for Surface Roughness," *Procedia CIRP*, 104, 1065-1070, 2021.
- [5]. Fei Tao, Meng Zhang, A.Y.C Nee, *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*. Elsevier Inc. 2019.
- [6]. Lin Zhang, Longfei Zhou, Berthold K.P. Horn, "Building a right digital twin with a model engineering," *Journal of Manufacturing Systems*, 59 (2021), 151-164.
- [7]. Moritz Glatt, Chantal Sinnwell, Li Yi, Sean Donohoe, Bahram Ravani, Jan C. Aurich, "Modeling and implementation of a digital twin of material flows based on physics simulation," *Journal of Manufacturing Systems*, 58(B), 231-245, 2021.
- [8]. Benjamin Schleich, Nabil Anwer, Luc Mathieu, Sandro Wartzack, "Shaping the digital twin for design and production engineering," *CIRP Annals*, 66(1), 141-144, 2017.
- [9]. Mohsen Soori, Behrooz Arezoo, Roza Dastres, "Machine learning and artificial intelligence in CNC machine tools, A review," *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 100009, 2023.

## AUTHORS INFORMATION

**Le Giang Nam, Luu Ngoc Khanh, Kieu Dinh Trong, Nguyen Van Vu, Nguyen Hoang Nam**

Hanoi University of Science and Technology, Vietnam