

GIẢI PHÁP TỰ ĐỘNG HÓA SƠ ĐỒ PERT TRONG LẬP KẾ HOẠCH DỰ ÁN SẢN XUẤT: TIẾP CẬN BẰNG PYTHON PERT CHART AUTOMATION SOLUTION IN MANUFACTURING PROJECT PLANNING: PYTHON APPROACH

LÊ THỊ MINH PHƯƠNG, BÙI THỊ DIỆU THÚY*

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: thuybtdvck@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong quản lý dự án sản xuất, việc lập kế hoạch và kiểm soát tiến độ là yếu tố then chốt để đạt được mục tiêu về thời gian, chi phí, và chất lượng. Trong bối cảnh đó, sơ đồ PERT (Program Evaluation and Review Technique) đóng vai trò quan trọng giúp nhà quản lý nhận diện trình tự thực hiện các công việc, xác định đường găng và ước lượng thời gian hoàn thành dự án. Tuy nhiên, việc xây dựng thủ công sơ đồ PERT có thể tốn nhiều thời gian và dễ xảy ra sai sót, nhất là khi dự án có quy mô lớn và nhiều mối quan hệ phức tạp giữa các công việc. Bài báo này trình bày quy trình nghiên cứu và phát triển một hệ thống tự động hóa xây dựng sơ đồ PERT bằng ngôn ngữ lập trình Python. Hệ thống được thiết kế để trích xuất thông tin từ cơ sở dữ liệu hoặc các tệp cấu hình, xác định thứ tự công việc, tính toán thời gian thực hiện và phát hiện các công việc quan trọng thông qua phân tích đường găng (Critical Path Analysis). Mục tiêu chính là cung cấp công cụ hỗ trợ các nhà quản lý dự án trong lĩnh vực sản xuất lên kế hoạch và theo dõi tiến độ một cách hiệu quả, trực quan, hạn chế sai sót do thao tác thủ công. Kết quả thực nghiệm trên một số kịch bản dự án sản xuất cho thấy giải pháp đề xuất có thể rút ngắn thời gian xây dựng sơ đồ PERT, tăng tính chính xác trong xác định đường găng và cho phép điều chỉnh lịch trình dự án nhanh chóng khi có thay đổi.

Từ khóa: Sơ đồ PERT, quản lý dự án, thời gian bắt đầu sớm, thời gian bắt đầu muộn, đường găng.

Abstract

In manufacturing project management, planning and progress control are key factors in achieving time, cost, and quality goals. In this context, PERT (Program Evaluation and Review Technique) diagrams play a vital role in helping managers identify the sequence of tasks, determine the

critical path, and estimate the project's completion time. However, manually constructing PERT diagrams can be time-consuming and error-prone, particularly for large-scale projects with many complex interdependencies among tasks. This paper presents the research and development of an automated system for constructing PERT diagrams using the Python programming language. The system is designed to extract information from databases or configuration files, determine task sequences, calculate execution times, and identify critical tasks through Critical Path Analysis. The primary goal is to provide a tool that enables project managers in the manufacturing sector to plan and monitor progress effectively and intuitively, while minimizing errors caused by manual operations. Experimental results on several manufacturing project scenarios demonstrate that the proposed solution can shorten the time required to build PERT diagrams, improve the accuracy of critical path determination, and enable quick adjustments to the project schedule when changes occur. Additionally, this article discusses optimization methods and outlines future development directions for the system, such as integrating with other tools and leveraging big data processing capabilities and cloud computing to enhance performance and scalability.

Keywords: PERT diagram, project management, earliest start time, latest start time, critical path.

1. Mở đầu

Quản lý dự án là một lĩnh vực quan trọng, đặc biệt trong sản xuất công nghiệp, nơi tính phức tạp gia tăng khi khối lượng công việc, nguồn lực và sự cạnh tranh thị trường ngày càng lớn. Để đảm bảo một dự án sản xuất có thể hoàn thành đúng thời hạn, đáp ứng các tiêu chuẩn chất lượng và không vượt quá ngân sách, các nhà quản lý thường sử dụng nhiều công cụ và kỹ thuật

khác nhau. Trong đó, sơ đồ PERT (Program Evaluation and Review Technique) là một công cụ quan trọng được phát triển từ cuối những năm 1950. Kể từ đó, PERT đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như xây dựng, kỹ thuật, công nghệ thông tin, và đặc biệt là trong quản lý sản xuất [1, 2].

Sơ đồ PERT thường được nhắc đến cùng với sơ đồ Gantt (Gantt chart). Mặc dù sơ đồ Gantt có tính trực quan cao và dễ hiểu, nó thường thích hợp hơn cho việc lên kế hoạch và theo dõi tiến độ, nhưng lại không cung cấp nhiều thông tin về mối quan hệ phụ thuộc lẫn nhau (dependencies) giữa các công việc. PERT, ngược lại, nhấn mạnh vào việc phân tích thứ tự công việc, xác định hoạt động quan trọng (critical activities) và ước lượng thời gian. Trong một dự án sản xuất, điều này rất hữu ích vì chuỗi công việc có thể phức tạp, đan xen và phụ thuộc lẫn nhau theo nhiều cấp độ.

Tuy nhiên, một trong những khó khăn lớn khi áp dụng PERT là việc xây dựng và duy trì sơ đồ trở nên phức tạp theo quy mô của dự án [3]. Khi số lượng công việc gia tăng, người quản lý phải tốn thời gian phân tích, nhập liệu và sắp xếp mối quan hệ. Các cập nhật và thay đổi trong suốt vòng đời dự án cũng khiến việc chỉnh sửa thủ công trở nên tốn kém, dễ gây sai sót. Vấn đề này càng trở nên nghiêm trọng trong các dự án sản xuất quy mô lớn với hàng trăm hoặc hàng nghìn công việc, yêu cầu các thay đổi linh hoạt để thích ứng với điều kiện vận hành thực tế chẳng hạn như hỏng hóc máy móc, thiếu hụt nguyên vật liệu, hoặc nhân lực biến động [4].

Chính vì vậy, nhu cầu về tự động hóa trong xây dựng và quản lý sơ đồ PERT đã xuất hiện, nhằm giảm thiểu gánh nặng quản lý và nâng cao độ tin cậy của thông tin dự án [5]. Sự phát triển của công nghệ thông tin, đặc biệt là ngôn ngữ lập trình Python, đã mở ra cơ hội cho việc phát triển các hệ thống tự động hóa, tích hợp tốt với các cơ sở dữ liệu và công cụ phân tích khác. Python được ưa chuộng nhờ cú pháp gọn nhẹ, thư viện phong phú như NumPy, Pandas, NetworkX, Matplotlib và cộng đồng phát triển rộng rãi. Đồng thời cho phép xây dựng sơ đồ PERT rõ ràng, dễ đọc, dễ hiểu giúp truyền tải thông tin đến các bên liên quan không có chuyên môn kỹ thuật: Có khả năng tùy chỉnh cao mà không tốn thời gian và công sức; Chi phí thực hiện lại rẻ vì công cụ này có thể sử dụng miễn phí. Đây là điều kiện lý tưởng để xây dựng giải pháp linh hoạt, có khả năng mở rộng và tích hợp cao, phục vụ cho nhu cầu đa dạng của các ngành công nghiệp.

Mặc dù có nhiều công cụ thương mại và một số công cụ mã nguồn mở, nhưng vấn đề hiện tại nằm ở việc xây dựng một giải pháp thống nhất, linh hoạt, có

thể tự động trích xuất dữ liệu dự án từ nhiều nguồn, trực quan hóa bằng sơ đồ PERT và tự động phân tích đường găng, kèm theo khả năng cập nhật dễ dàng [5]. Phần lớn các công cụ hiện hành vẫn đòi hỏi người quản lý thiết lập thủ công hoặc chỉ hỗ trợ một phần quá trình. Đối với ngành sản xuất, nhu cầu này càng cấp thiết hơn do số lượng công việc, nguồn lực, hạn chế về mặt nguyên vật liệu, thiết bị sản xuất thường xuyên thay đổi, dẫn đến tần suất cập nhật cao.

Trong bài báo này, chúng tôi khai thác lợi thế của Python để đề xuất một hệ thống tự động hóa xây dựng sơ đồ PERT phục vụ riêng cho quản lý dự án sản xuất, cho phép tùy chỉnh dễ dàng, tích hợp linh hoạt với dữ liệu hiện có của doanh nghiệp.

2. Tổng quan và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khái quát về PERT và vai trò trong quản lý dự án

Sơ đồ PERT (Program Evaluation and Review Technique) là một công cụ quản lý dự án được thiết kế để hỗ trợ lập kế hoạch và kiểm soát tiến độ trong các dự án phức tạp. Được giới thiệu lần đầu tiên vào năm 1957 trong chương trình phát triển tên lửa Polaris-Mỹ, PERT tập trung vào việc mô hình hóa các hoạt động và mối quan hệ phụ thuộc giữa chúng dưới dạng một đồ thị có hướng. Không giống như phương pháp CPM (Critical Path Method) chủ yếu dựa trên thời gian cố định, PERT sử dụng 3 ước lượng thời gian cho mỗi hoạt động: Thời gian lạc quan (optimistic time - t_0), thời gian bi quan (pessimistic time - t_p), và thời gian kỳ vọng (most likely time - t_m). Thời gian trung bình (expected time - t_e) được xác định theo công thức:

$$t_e = \frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6}$$

Dựa trên t_e , PERT cho phép tính toán các thông số quan trọng như thời gian sớm nhất (Earliest Start Time - EST), thời gian muộn nhất (Latest Start Time - LST), và thời gian dự phòng (slack), từ đó xác định đường găng (critical path) - chuỗi các hoạt động quyết định thời gian hoàn thành toàn bộ dự án. Trong ngành sản xuất, PERT giúp nhận diện đâu là những công việc không thể trì hoãn mà không ảnh hưởng đến tiến độ chung (đường găng). Việc nắm rõ đường găng cho phép nhà quản lý tập trung nguồn lực và theo dõi sát sao các hoạt động then chốt, đồng thời có chiến lược dự phòng hợp lý trong những tình huống rủi ro.

Việc xây dựng và phân tích sơ đồ PERT theo cách thủ công thường gặp nhiều hạn chế, bao gồm sai sót trong tính toán, khó khăn trong việc cập nhật khi dự án thay đổi, và sự thiếu trực quan khi trình bày kết quả

cho các bên liên quan. Để giải quyết những vấn đề này, nhiều nghiên cứu đã đề xuất các phương pháp tự động hóa. Nghiên cứu của tác giả Suharni đã phát triển một hệ thống dựa trên Excel để tự động tính toán đường găng, nhưng giải pháp này thiếu tính linh hoạt khi xử lý các dự án quy mô lớn [1]. Trong khi đó, tác giả Agyei [2] đã đưa ra phương pháp lập trình tuyến tính để tạo sơ đồ PERT, tuy nhiên quá trình tính toán vẫn còn phức tạp và hạn chế khả năng tùy chỉnh.

Gần đây, các ngôn ngữ lập trình mã nguồn mở như Python đã thu hút sự chú ý nhờ tính linh hoạt và khả năng tích hợp với các thư viện khoa học. Một số đã sử dụng Python kết hợp với thư viện NetworkX để mô phỏng mạng lưới công việc trong quản lý dự án xây dựng, cho thấy hiệu quả vượt trội so với các công cụ truyền thống. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào lĩnh vực xây dựng hoặc phần mềm, trong khi ứng dụng trong sản xuất vẫn còn hạn chế [3].

2.2. Quy trình xây dựng PERT

Trước khi phát triển giải pháp tự động hóa, cần hiểu rõ quy trình xây dựng sơ đồ PERT theo cách thủ công để xác định các bước cần số hóa. Quy trình này bao gồm các giai đoạn chính sau:

1. **Xác định các hoạt động và mối quan hệ phụ thuộc:** Liệt kê tất cả các công việc trong dự án và xác định thứ tự thực hiện. Đối với sản xuất, việc lắp ráp sản phẩm - Task B chỉ có thể bắt đầu sau khi hoàn thành sản xuất linh kiện - Task A.

2. **Ước lượng thời gian:** Gán 3 giá trị thời gian (t_0 , t_m , t_p) cho mỗi hoạt động dựa trên kinh nghiệm hoặc dữ liệu lịch sử.

3. **Xây dựng đồ thị:** Vẽ sơ đồ mạng với các nút đại diện cho sự kiện và các cung đại diện cho hoạt động.

4. **Tính toán thông số PERT:**

- Thời gian sớm nhất (EST): Tính từ điểm bắt đầu, cộng dồn thời gian qua các hoạt động.
- Thời gian muộn nhất (LST): Tính ngược từ điểm kết thúc, trừ dần thời gian để đảm bảo không trễ hạn.
- Thời gian dự phòng (slack): $Slack = LST - EST$.
- Đường găng: Chuỗi hoạt động có $slack = 0$.

5. **Trực quan hóa:** Vẽ biểu đồ và trình bày kết quả cho các bên liên quan.

Quy trình thủ công này tuy hiệu quả với dự án nhỏ, nhưng trở nên bất khả thi khi số lượng hoạt động tăng lên hoặc khi cần cập nhật thường xuyên trong sản xuất động.

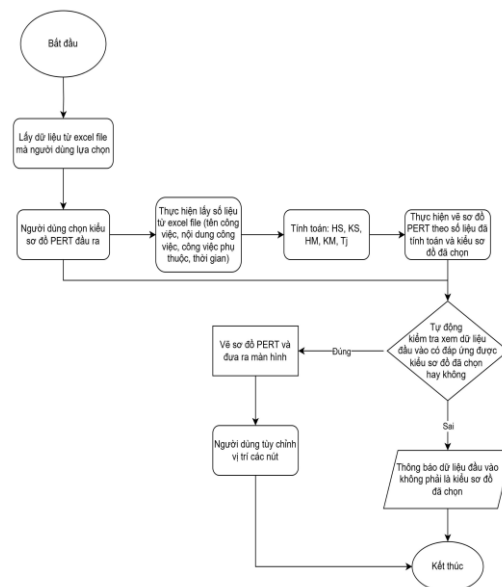
2.3. Thiết kế thuật toán tự động hóa

Để tự động hóa quy trình PERT, nghiên cứu đề

xuất một lưu trình gồm ba bước chính được thể hiện trong Hình 1:

Thu thập và xử lý dữ liệu: Dữ liệu đầu vào bao gồm danh sách hoạt động, mối quan hệ phụ thuộc, và ba giá trị thời gian (t_0 , t_m , t_p). Dữ liệu có thể được nhập từ tệp CSV hoặc trực tiếp trong mã Python.

Xây dựng đồ thị và tính toán: Sử dụng thư viện NetworkX để tạo đồ thị có hướng, sau đó áp dụng thuật toán truyền thống của PERT để tính EST, LST, slack và đường găng.



Hình 1. Lưu trình xây dựng sơ đồ Pert

Trực quan hóa kết quả: Sử dụng Matplotlib để vẽ sơ đồ mạng và hiển thị thông tin quan trọng.

Thuật toán được thiết kế như sau:

• **Bước 1:** Tạo đồ thị có hướng $G(V, E)$ trong đó V là các sự kiện và E là các hoạt động với trọng số là t_e ;

• **Bước 2:** Thực hiện thuật toán lan truyền thuận (forward pass) để tính EST: $EST(v_j) = \max\{EST(v_i) + t_e(e_{ij})\}, \forall v_i \rightarrow v_j$

• **Bước 3:** Thực hiện thuật toán lan truyền ngược (backward pass) để tính LST: $LST(v_i) = \min\{LST(v_j) - t_e(e_{ij})\}, \forall v_i \rightarrow v_j$

• **Bước 4:** Xác định slack và đường găng: $slack(e_{ij}) = LST(v_j) - EST(v_i) - t_e(e_{ij})$

• Các cạnh có $slack = 0$ thuộc đường găng.

Giải pháp sử dụng hai thư viện chính gồm NetworkX sử dụng để xây dựng và phân tích đồ thị có hướng, hỗ trợ thêm thuộc tính như thời gian cho các cạnh và Matplotlib nhằm trực quan hóa đồ thị dưới dạng sơ đồ mạng với nhãn và màu sắc để làm nổi bật đường găng.

3. Kết quả và thảo luận

Giải pháp tự động hóa xây dựng sơ đồ PERT bằng Python đã được thử nghiệm với một dự án sản xuất gồm 10 hoạt động được thể hiện trong Bảng 1.

Kết quả sơ đồ PERT được xây dựng bằng phương pháp lý thuyết thể hiện trong Hình 2.

Kết quả tính toán từ thuật toán lan truyền thuận và ngược khi sử dụng Python được trình bày trong bảng 2 dưới đây.

Những công việc có Slack=0 nằm trên đường găng là những yếu tố quyết định đến tiến độ công việc. Biểu đồ PERT được xây dựng bằng Python được thể hiện trong Hình 3.

Biểu đồ được tạo tự động không chỉ hiển thị cấu trúc mạng mà còn làm nổi bật đường găng, giúp người quản lý dễ dàng nhận diện các hoạt động cần ưu tiên. Kết quả này phù hợp với tính toán thủ công, chứng minh tính chính xác của thuật toán. Để đánh giá hiệu quả của giải pháp tự động hóa, tác giả đã so sánh với phương pháp thủ công dựa trên ba tiêu chí: Thời gian thực hiện, độ chính xác, và khả năng mở rộng.

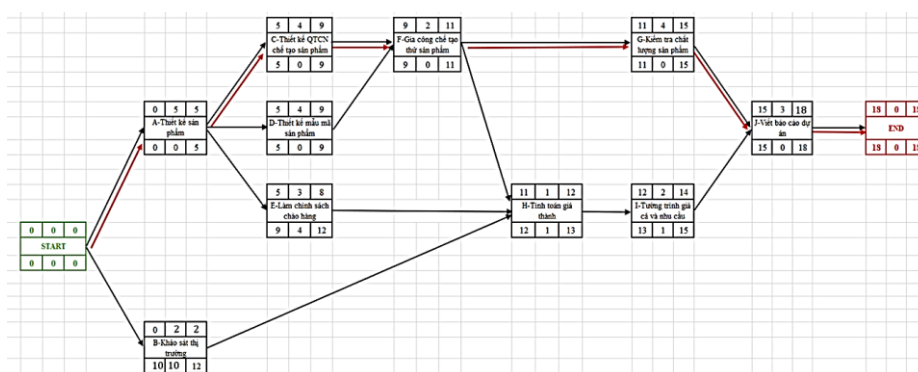
Đối với thời gian thực hiện, việc xây dựng PERT thủ công (bao gồm vẽ sơ đồ, tính toán EST/LST và xác định đường găng) mất khoảng 30-45 phút cho dự án gồm 10 hoạt động như đề xuất, tùy thuộc vào kinh nghiệm của người thực hiện. Trong khi đó, chương trình Python xử lý toàn bộ quy trình trong chưa đầy 1 giây sau khi dữ liệu được nhập. Với dự án lớn với 50 hoạt động trở lên, thời gian thủ công có thể tăng lên vài giờ, trong khi thời gian tự động hóa chỉ tăng nhẹ nhờ hiệu suất tính toán của Python.

Về độ chính xác, phương pháp thủ công dễ xảy ra sai sót, đặc biệt trong tính toán lan truyền ngược hoặc khi cập nhật dữ liệu. Chương trình Python loại bỏ lỗi con người bằng cách sử dụng thuật toán cố định và kiểm tra tính hợp lệ của đồ thị như phát hiện chu trình phụ thuộc.

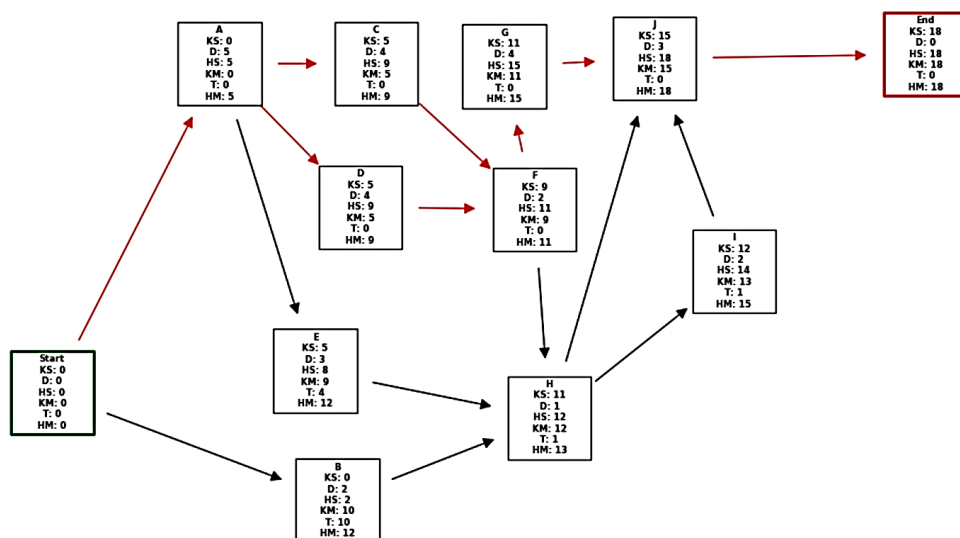
Đối với khả năng mở rộng, xây dựng PERT theo cách thủ công trở nên bất khả thi với các dự án phức tạp có hàng trăm hoạt động và mối quan hệ phụ thuộc đan xen. Ngược lại, giải pháp Python có thể xử lý dữ liệu lớn nhờ khả năng của NetworkX trong quản lý đồ thị quy mô lớn.

Bảng 1. Thống kê một dự án chế tạo sản phẩm

Công việc	Nội dung công việc	Công việc đứng trước	Thời gian dự kiến (tuần)
A	Thiết kế sản phẩm	-	5
B	Khảo sát thị trường	-	2
C	Thiết kế quy trình công nghệ chế tạo sản phẩm	A	4
D	Thiết kế mẫu mã sản phẩm	A	4
E	Làm chính sách chào hàng	A	3
F	Gia công chế tạo thử sản phẩm	C, D	2
G	Kiểm tra chất lượng sản phẩm	F	4
H	Tính toán giá thành	B, E, F	1
I	Tường trình giá cả và nhu cầu	H	2
J	Viết báo cáo dự án	G, H, I	3



Hình 2. Sơ đồ PERT của dự án chế tạo sản phẩm mới theo phương pháp lý thuyết



Hình 3. Sơ đồ PERT của dự án chế tạo sản phẩm mới theo cách tiếp cận Python

Qua đó có thể thấy giải pháp tự động hóa mang lại nhiều lợi ích đáng kể, đặc biệt trong bối cảnh sản xuất, với thời gian lập kế hoạch giảm đáng kể, cho phép các nhà quản lý tập trung vào việc ra quyết định thay vì xử lý số liệu. Dữ liệu đầu vào có thể được nhập từ nhiều nguồn (CSV, cơ sở dữ liệu ERP), phù hợp với các hệ thống sản xuất hiện đại. Ngoài ra, biểu đồ rõ ràng, dễ hiểu giúp truyền tải thông tin đến các bên liên quan không có chuyên môn kỹ thuật.

Bảng 2. Xác định Slack và đường găng

Công việc	ES	EF	LS	LF	Slack
A	0	5	0	5	0
B	0	2	10	12	10
C	5	9	5	9	0
D	5	9	5	9	0
E	5	8	9	12	4
F	9	11	9	11	0
G	11	15	11	15	0
H	11	12	12	13	1
I	12	14	13	15	1
J	15	18	15	18	0

Với ứng dụng mã Python, chương trình có thể được điều chỉnh để tích hợp các tính năng bổ sung, như phân tích rủi ro thời gian bằng mô phỏng Monte Carlo hoặc tối ưu hóa tài nguyên. Trong sản xuất, nơi thời gian ngừng máy hoặc sự chậm trễ trong chuỗi cung ứng có thể gây thiệt hại lớn, giải pháp này hỗ trợ dự đoán và giảm thiểu rủi ro hiệu quả hơn so với phương pháp truyền thống.

Mặc dù có nhiều ưu điểm, giải pháp tự động hóa

cũng tồn tại một số hạn chế khi được ứng dụng. Có thể kể đến là độ chính xác của kết quả phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu như ước lượng thời gian, mối quan hệ phụ thuộc. Nếu dữ liệu không đầy đủ hoặc sai lệch, kết quả có thể không phản ánh thực tế. Hơn nữa, dù Python có tính đơn giản, nhưng nếu người dùng không quen với lập trình có thể gặp khó khăn trong việc chỉnh sửa mã hoặc tích hợp vào quy trình hiện có. Trong nghiên cứu hiện tại, việc nhập dữ liệu vẫn yêu cầu cách thức trực tiếp trong mã hoặc qua tệp, không phù hợp hoặc hạn chế đối với người dùng không am hiểu về kỹ thuật.

Kết quả thử nghiệm cho thấy giải pháp tự động hóa không chỉ khả thi mà còn mang lại giá trị thực tiễn cao trong quản lý dự án sản xuất. So với các phần mềm thương mại như Microsoft Project, giải pháp này có chi phí thấp do Python là mã nguồn mở và khả năng tùy chỉnh cao hơn. Trong bối cảnh sản xuất, nơi các dự án thường xuyên thay đổi như điều chỉnh lịch trình do sự cố máy móc, tính linh hoạt của Python là một lợi thế lớn.

Tuy nhiên, để áp dụng rộng rãi, giải pháp cần có những nghiên cứu phát triển cao hơn nhằm khắc phục các hạn chế đã nêu như phát triển một giao diện đồ họa đơn giản hoặc tích hợp với hệ thống ERP sẽ tăng khả năng tiếp cận cho các doanh nghiệp vừa và nhỏ. Ngoài ra, trong các dự án sản xuất thực tế, cần xem xét thêm các yếu tố như chi phí, nguồn lực nhân sự, và rủi ro ngẫu nhiên - những khía cạnh có thể được mở rộng trong nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã thành công trong việc phát triển một giải pháp tự động hóa xây dựng sơ đồ PERT

trong quản lý dự án sản xuất bằng ngôn ngữ lập trình Python. Thông qua việc sử dụng các thư viện NetworkX và Matplotlib, chúng tôi đã thiết kế và triển khai một thuật toán hiệu quả để: (1) xây dựng đồ thị có hướng từ dữ liệu hoạt động, (2) tính toán các thông số PERT như thời gian sớm nhất (EST), thời gian muộn nhất (LST), và thời gian dự phòng (slack), (3) xác định đường găng, và (4) trực quan hóa kết quả dưới dạng biểu đồ mạng dễ hiểu. Kết quả thử nghiệm trên một dự án sản xuất giả định với 10 hoạt động đã chứng minh tính chính xác và hiệu quả của giải pháp, với thời gian xử lý giảm từ vài chục phút (phương pháp thủ công) xuống dưới 1 giây, đồng thời loại bỏ sai sót do con người gây ra.

Giải pháp này mang lại giá trị thực tiễn cao trong bối cảnh sản xuất, nơi việc lập kế hoạch nhanh chóng và chính xác là yếu tố then chốt để tối ưu hóa tiến độ và giảm thiểu rủi ro. So với các công cụ truyền thống hoặc phần mềm thương mại, phương pháp dựa trên Python không chỉ tiết kiệm chi phí mà còn cung cấp tính linh hoạt để tùy chỉnh theo nhu cầu cụ thể của từng dự án. Kết quả nghiên cứu khẳng định tiềm năng của tự động hóa trong việc nâng cao hiệu quả quản lý dự án, đặc biệt trong các ngành công nghiệp sản xuất đòi hỏi sự phối hợp phức tạp giữa nhiều công đoạn. Đồng thời giải pháp này có thể mở rộng phạm vi tính toán về chi phí và xác định nhân lực của dự án.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.53**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Văn Kiêm, Ngô Quang Tường (2011), *Quản lý dự án bằng sơ đồ mạng*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [2] TS. Nguyễn Văn Nghiễn (2001), *Quản lý sản xuất*, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [3] PGS,TS. Trịnh Quốc Thắng (2012), *Các phương pháp sơ đồ mạng trong xây dựng*, NXB Xây dựng.
- [4] TS. Nguyễn Đình Thám, ThS. Nguyễn Ngọc Thanh (2004), *Lập kế hoạch, tổ chức và chỉ đạo thi công*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [5] Trần Hành, Nguyễn Khánh Hùng, Nguyễn Duy Phích (2008), *Ứng dụng MS Project 2003 trong quản lý dự án xây dựng*, NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- [6] M. A. Suharni and E. Lily (2023), *Project scheduling analysis using the CPM and PERT: A case study*, Journal of Mathematical Sciences and Optimization, Vol.1, No.1, pp.25-36.
- [7] W. Agyei (2015), *Project Planning And Scheduling Using PERT And CPM Techniques With Linear Programming: Case Study*, International Journal Of Scientific & Technology Research, Vol.4(8), pp.222-227.
- [8] C. Orumie Ukamaka (2020), *Implementation of Project Evaluation and Review Technique (PERT) and Critical Path Method (CPM): A Comparative Study*, International Journal of Industrial and Operations Research, Vol.3, No.1, pp.1-9.

Ngày nhận bài:	12/03/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	07/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	10/04/2025
Ngày duyệt đăng:	11/04/2025