

# TỐI ƯU CÂN BẰNG THỜI GIAN CHI PHÍ TRONG TIỀN ĐỘ CÁC DỰ ÁN CÓ CÔNG TÁC LẶP LẠI

Trần Đức Học<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh,  
268 Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

*Nhận ngày 14/02/2019, Sửa xong 29/03/2019, Chấp nhận đăng 29/03/2019*

---

## Tóm tắt

Các vấn đề chi phí thời gian trong dự án lặp đi lặp lại đã được xác định là yếu tố quan trọng của quá trình ra quyết định. Các tiến độ của dự án hiện nay đều sử dụng phương pháp sơ đồ mạng nút PDM (Precedence Diagramming Method) có hai điểm giới hạn đó là (1) giả thiết các công tác là tuyến tính; (2) mỗi quan hệ được thể hiện ở thời điểm bắt đầu và kết thúc. Bài báo này đưa ra một phương pháp tính toán tiến độ sử dụng hàm phân phối cho các dự án xây dựng có quan hệ thứ tự giữa các công tác gần liên tục và sản xuất theo dạng không tuyến tính. Nghiên cứu này trình bày một thuật toán sinh học cộng sinh tìm kiếm tự điều chỉnh đa mục tiêu (AMOSOS) để giải quyết bài toán cân bằng chi phí thời gian trong các dự án có công tác lặp lại. Một ví dụ được sử dụng để diễn đạt phương pháp tính toán tiến độ, cũng như để chứng minh khả năng của AMOSOS trong việc tối ưu thời gian chi phí của các dự án có công tác lặp lại.

*Từ khóa:* tiến độ; thuật toán tiến hóa; thời gian – chi phí; đa mục tiêu.

## OPTIMIZING TIME-COST TRADEOFF IN REPETITIVE PROJECT SCHEDULING

### Abstract

The time-cost problems in repetitive project have been identified as crucial factors of decision-making process. Almost currently used repetitive project scheduling are the precedence diagramming method (PDM) which has two fundamental limitations (1) assumed to progress linearly from their start to their finish; (2) connected only via their end points. The paper proposes a scheduling method using singularity function for continuous precedence relations and nonlinear activity-time-production functions. This study further presents an adaptive multiple objective symbiotic organisms search algorithm (AMOSOS) to solve time-cost tradeoff in repetitive projects. An application example is analyzed to validate the scheduling method, as well as to demonstrate the capabilities of AMOSOS in optimizing time-cost tradeoffs in repetitive construction projects.

*Keywords:* scheduling; evolutionary algorithms; time-cost tradeoff; multiple objectives.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(1V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(1V)-06) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

---

## 1. Giới thiệu

Vấn đề tối ưu hóa cân bằng đồng thời chi phí và thời gian trong quá trình lập kế hoạch thi công xây dựng thông qua việc lựa chọn phương án tổ đội thi công là một trong những nhiệm vụ quan trọng của nhà quản lý dự án. Thông thường, thời gian dự án ngắn sẽ phát sinh chi phí xây dựng cao và ngược lại. Một công ty xây dựng có khả năng giảm thiểu đồng thời cả thời gian và chi phí dự án có thể có lợi thế đáng kể so với các đối thủ cạnh tranh. Có nhiều phương pháp đã được đề xuất để giải bài toán cân bằng tiến độ, chi phí từ khi phương pháp đường găng được phát triển. James E. Kelley and Walker

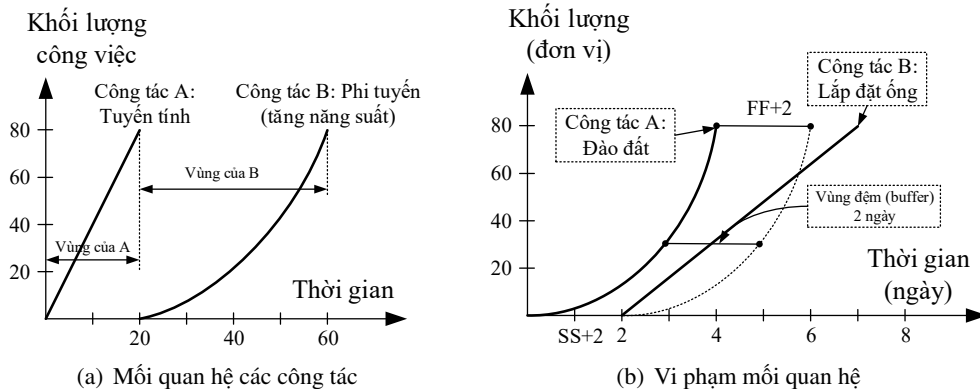
---

\*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: [tdhoc@hcmut.edu.vn](mailto:tdhoc@hcmut.edu.vn) (Học, T. Đ.)

[1] tiên phong trong việc dùng phương pháp toán học để giải bài toán thời gian chi phí. Sau đó các phương pháp khác như heuristic, mô phỏng toán học, thuật toán tiến hóa được áp dụng để giải quyết vấn đề tối ưu thời gian chi phí.

Các dự án có công tác lặp lại (RP) thường gặp trong thi công xây dựng, sự lặp lại có thể là do đặc điểm hình học và vị trí dẫn đến sự phân chia các phân khu (zone). Các dự án có công tác lặp lại có thể được phân thành hai nhóm: (1) các dự án lặp đi lặp lại do sự lặp lại thống nhất của một công việc trong suốt các dự án (nhiều ngôi nhà tương tự, nhà cao tầng); (2) các dự án lặp đi lặp lại do cấu tạo hình học của chúng (đường cao tốc, đường hầm, đường ống). Dự án lặp lại thường yêu cầu tài nguyên (ví dụ: Nhân công) thực hiện cùng một nhiệm vụ ở nhiều phân khu (địa điểm, phân khúc) khác nhau bằng cách chuyển từ phân khu này sang phân khu tiếp theo. Nhiều phương pháp đã được đề xuất để lập tiến độ cho các dự án xây dựng có công tác lặp lại.

Phương pháp đường găng có hai điểm giới hạn đó là (1) giả thiết các công tác là tuyến tính; (2) mỗi quan hệ được thể hiện ở thời điểm bắt đầu và kết thúc. Thực tế, giả định hạn chế này hầu như luôn không chính xác [2]. Ví dụ, trong thi công xây dựng đường ống, tốc độ thi công được đo dọc đường, tốc độ thi công nhanh nếu độ sâu của rãnh giảm và chậm lại nếu độ sâu của rãnh tăng. Do đó, mối quan hệ giữa thời gian và khối lượng công việc là phi tuyến (Hình 1a). Đối với giả thuyết thứ 2 về phương pháp đường Găng, Hình 1b, cho thấy mối quan hệ giữa công tác A (tuyến tính) và công tác B (phi tuyến) là vi phạm mối quan hệ ở thời điểm bắt đầu và kết thúc.



Hình 1. Quan hệ công tác

Thuật toán sinh học cộng sinh tìm kiếm (Symbiotic Organisms Search SOS) là một thuật toán tối ưu hóa mạnh được giới thiệu bởi Cheng and Prayogo [3]. Ưu điểm cơ bản chính của thuật toán này so với hầu hết các thuật toán tiến hóa khác là thuật toán chỉ có hai tham số điều khiển cơ bản đó là kích cỡ quần thể và số vòng lặp. Các nghiên cứu trước về SOS chỉ ra rằng thuật toán SOS vượt trội hơn các thuật toán di truyền (Genetic algorithm-GA), bầy đàn (Particle swarm optimization-PSO), tiến hóa vi phân (Differential evolution-DE) và thuật toán bầy ong nhân tạo (Bees algorithm-BA) trong việc giải quyết vấn đề tối ưu toàn cầu đơn mục tiêu. Trước những điểm mạnh của SOS, một số nhà nghiên cứu đã phát triển và áp dụng thành công SOS để giải quyết các vấn đề đa mục tiêu với hiệu suất vượt trội so với các thuật toán đa mục tiêu khác [4, 5]. Do đó, nghiên cứu này phát triển thuật toán sinh học cộng sinh tìm kiếm tự điều chỉnh đa mục tiêu để tối ưu hóa cân bằng thời gian chi phí trong dự án có công tác lặp lại.

## 2. Bài toán thời gian chi phí trong dự án có công tác lắp lại

Một dự án bao gồm các công việc  $M$ , có thể được lắp lại trong các phân khu (tầng, zone)  $U$ . Tiến độ mỗi phân khu được lắp sử dụng sơ đồ mạng nút, trong đó các công việc  $M$  được thể hiện dưới dạng nút. Các công việc này được lắp lại trong các phân khu  $U$ . Các tài nguyên sử dụng cho từng công việc  $(i)$ , được sử dụng lắp đi lắp lại trong các phân khu (không gian)  $U$  từ phân khu 1 đến  $U$ . Bài toán thời gian chi phí trong dự án có công tác lắp lại yêu cầu các nhà hoạch định dự án lựa chọn biện pháp thi công phù hợp cho tất cả các công tác  $(i)$  trong các phân khu  $U$  để lập tiến độ tối ưu trong khi đáp ứng tất cả các ràng buộc của dự án. Vấn đề lập tiến độ phải cân bằng hai mục tiêu mâu thuẫn, đó là giảm thiểu đồng thời thời gian và chi phí dự án. Các mục tiêu này được tính toán theo công thức đề xuất của Long and Ohsato [6] năm 2009.

**Mục tiêu 1:** Giảm thiểu thời gian dự án  $T_p \Rightarrow T_p^{Min}$ , được tính theo công thức (1).

$$T_p = \min \left( \max_{\substack{i=1, \dots, M \\ j=1, \dots, U}} (FT_{i,j}) \right) = \min \left( \max_{\substack{i=1, \dots, M \\ j=1, \dots, U}} (ST_{i,j} + D_{i,j}) \right) \quad (1)$$

trong đó  $FT_{i,j}$  là thời gian hoàn thành của công việc  $(i)$  ở phân khu  $(j)$ .  $ST_{i,j}$  là thời gian bắt đầu,  $D_{i,j}$  là thời gian thực hiện công việc.

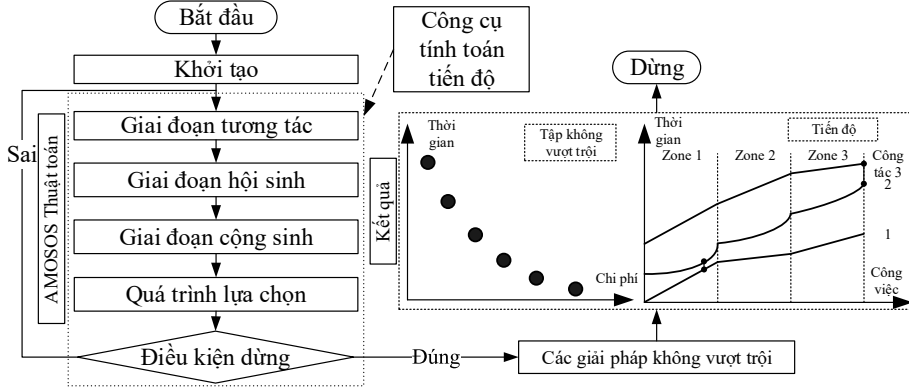
**Mục tiêu 2:** Giảm thiểu chi phí dự án  $TC_p \Rightarrow TC_p^{Min}$ , được tính theo công thức (2).

$$TC_p = C_D + C_I = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^U c_{i,j} + C_0 + bT_p \quad (2)$$

Chi phí gián tiếp  $C_I = C_0 + bT_p$ . Trong đó  $T_p$  là tổng thời gian hoàn thành dự án được xác định theo phương trình (1). Hệ số  $b$  là chi phí gián tiếp của dự án được lựa chọn dựa vào bởi nhà quản lý dự án.  $C_0$  là tổng chi phí ban đầu (có thể bao gồm chi phí huy động, chi phí cho các cơ sở tạm thời và các chi phí ban đầu khác). Chi phí trực tiếp  $C_D = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^U c_{i,j}$ , trong đó  $c_{i,j}$  chi phí trực tiếp để hoàn thành công tác  $(i)$  ở phân khu  $(j)$ .

## 3. Đề xuất thuật toán tối ưu thời gian chi phí

Phần này mô tả thuật toán sinh học cộng sinh tìm kiếm tự điều chỉnh đa mục tiêu (Adaptive multiple objective symbiotic organisms search algorithm - AMOSOS) để giải quyết bài toán chi phí thời gian trong dự án có công tác lắp bằng cách tối ưu hóa đồng thời thời gian và chi phí dự án. Trong mô hình đề xuất, thuật toán tìm kiếm đa mục tiêu AMOSOS được phát triển dựa trên phiên bản gốc của thuật toán SOS. Sơ đồ nguyên lý của thuật toán AMOSOS được mô tả trong Hình 2. Hình này biểu thị các giai đoạn khác nhau của thuật toán được đề xuất như khởi tạo, giai đoạn tương tác thích nghi, giai đoạn hội sinh, giai đoạn ký sinh và điều kiện dừng. Các bước chi tiết của thuật toán thích ứng được giải thích trong các bước sau. Đầu tiên thuật toán khởi tạo quần thể ban đầu dựa vào đặc điểm của dự án, tiếp theo sẽ đi vào quá trình tối ưu hóa thông qua các cơ chế hoạt động chính. Ở mỗi giai đoạn bao gồm (tương tác, hội sinh, cộng sinh) mỗi cá thể trong quần thể sẽ tạo ra một cá thể (giải pháp) mới, cá thể mới sẽ so sánh với cá thể cũ thông qua các giá trị hàm mục tiêu. Sau đó quá trình lựa chọn sẽ chọn ra các cá thể đi vòng lặp tiếp theo. Quá trình tối ưu kết thúc khi điều kiện dừng thỏa mãn. Một tập hợp các giải pháp không vượt trội (Pareto) sẽ được tạo ra. Nhiệm vụ của nhà quản lý dự án là chọn lựa những phương án thi công thích hợp dựa vào tiêu chí của dự án.



Hình 2. Mô hình tối ưu thời gian chi phí

### 3.1. Khởi tạo

Mô hình yêu cầu đầu vào thông tin dự án bao gồm mối quan hệ các công tác, hàm phân phối (singularity functions) của các công tác tại mỗi phân khu, tổng chi phí hoạt động của mỗi công tác được tính theo công thức (2). Ngoài ra, người dùng cũng phải đặt tham số cho công cụ tìm kiếm (AMOSOS), chẳng hạn như giá trị của kích thước hệ sinh thái, số lượng biến  $D$ , số hàm mục tiêu  $O$ , số lượng thể hệ  $G_{\max}$  tối đa, cận dưới ( $LB$ ) và cận trên ( $UB$ ) của các biến quyết định. Các giá trị đầu vào phụ thuộc vào dự án cần tối ưu. Với các đầu vào này, quy trình tối ưu hóa tiến hành tính toán tự động để có được một bộ tùy chọn tối ưu các tổ đội thi công cho tất cả các công tác của dự án.

Quá trình khởi tạo quần thể ban đầu tạo ra một điểm trong không gian  $D$  chiều  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_D\}$  trong đó  $x_1, x_2, \dots, x_D \in \mathbb{R}$  và  $x_i \in [0, 1]$ . Quần thể đầu tiên sẽ được tạo ra như sau:

$$X_{i,j}^{G=0} = LB_i + x_{i,j} * (UB_i - LB_i); \quad i = 1, 2, \dots, D; \quad j = 1, 2, \dots, NP \quad (3)$$

Giải pháp tiềm năng được biểu diễn dưới dạng vectơ  $D$  phần tử như sau:  $X = [X_{1,j}, X_{2,j}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{D,j}]$ . Trong đó,  $D$  là số lượng biến quyết định trong bài toán. Rõ ràng là  $D$  cũng là số lượng công việc trong dự án. Chỉ số  $j$  biểu thị cá nhân thứ  $j$  trong hệ sinh thái. Phần tử  $X_{i,j}$  đại diện cho một biện pháp thi công công việc  $i$ , mỗi tổ đội sẽ thực hiện theo cách khác nhau. Phần tử  $X_{i,j}$  là một số nguyên trong phạm vi  $[1, M_i]$  ( $i = 1$  đến  $D$ ), nghĩa là một vị trí trong tất cả các biện pháp thi công công việc  $M_i$ .

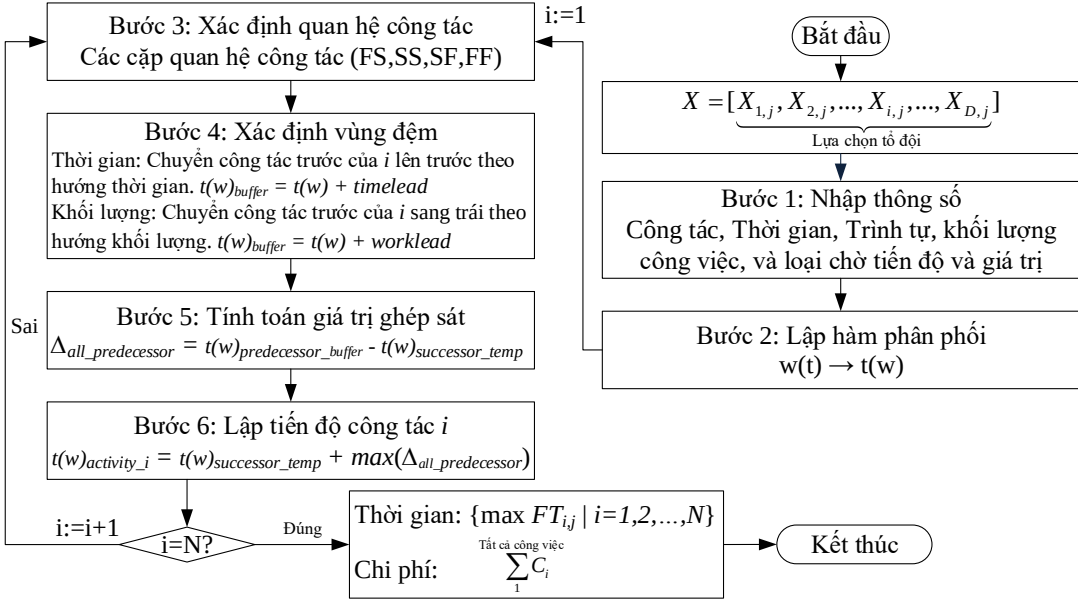
### 3.2. Tính toán tiến độ

Đầu tiên, từ thông tin của dự án, đầu vào tiến độ bao gồm số công tác, thời gian thi công của các công tác, mối quan hệ công tác, khối lượng và các loại gián đoạn về mặt thời gian và khối lượng và các giá trị  $(m, k)$  để tạo hàm phân phối cho các công tác. Bước 2, tương tự phương pháp tính toán tiến độ của Hajdu và cs. [2], cần chuyển đổi tất cả hàm phân phối từ công việc theo thời gian  $w(t)$  sang thời gian theo công việc  $t(w)$  để đáp ứng mục tiêu là tối ưu hóa tiến độ. Nghiên cứu này định nghĩa hàm phân phối cho tất cả các công việc trong dự án như công thức (4).

$$t_{act}(w) = k_1 \langle w - a_1 \rangle^m + \sum_{i=2}^U k_i \langle w - a_i \rangle^m - k_{i-1} \langle w - a_{i-1} \rangle^m; \quad i = \overline{1, U}; \quad w = 0 : \Delta w : L \quad (4)$$

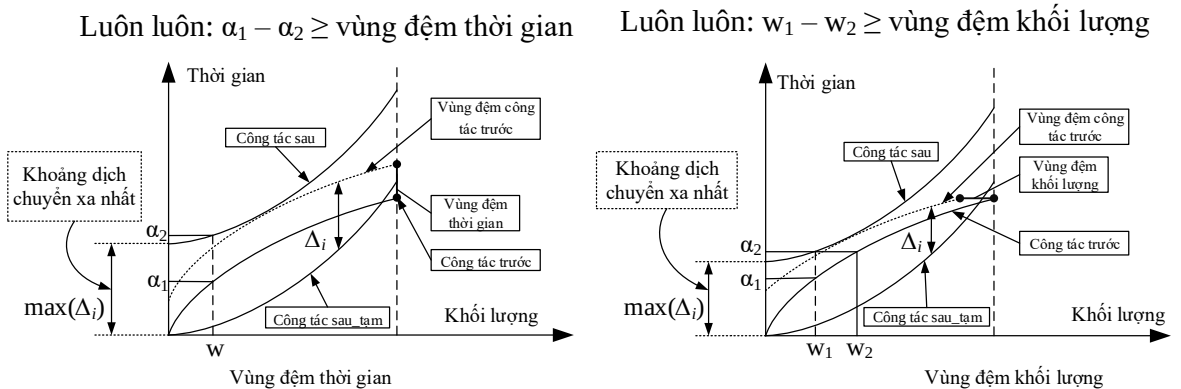
trong đó  $w$  là biến trên trục khối lượng;  $a_i$  là giá trị ngưỡng trên khối lượng  $w$  mà tại đó hàm đặt biệt trở nên có giá trị;  $U$  là số phân khu của dự án. Các giá trị của  $w$  nằm trong phạm vi  $[0; L]$ .  $L$  là tổng

khối lượng. Số lượng phần tử trong mảng  $w$  phụ thuộc vào giá trị của bước làm việc ( $\Delta w$ ). Sau khi xác định được các hàm phân phối cho các công tác. Ở bước 3, dựa vào tính chất của dự án xác định các mối quan hệ công tác trong dự án, các mối quan hệ ràng buộc sẽ được phân ra các cặp (ví dụ A và B sẽ là FS: Finish-Start, kết thúc bắt đầu). Tiếp theo dựa vào các loại gián đoạn về mặt thời gian và khối lượng để xác định giá trị gián đoạn ở bước 4 và 5, sau đó ghép sát các công tác sau để có tiến độ thi công hợp lý ở bước 6 (Hình 3).

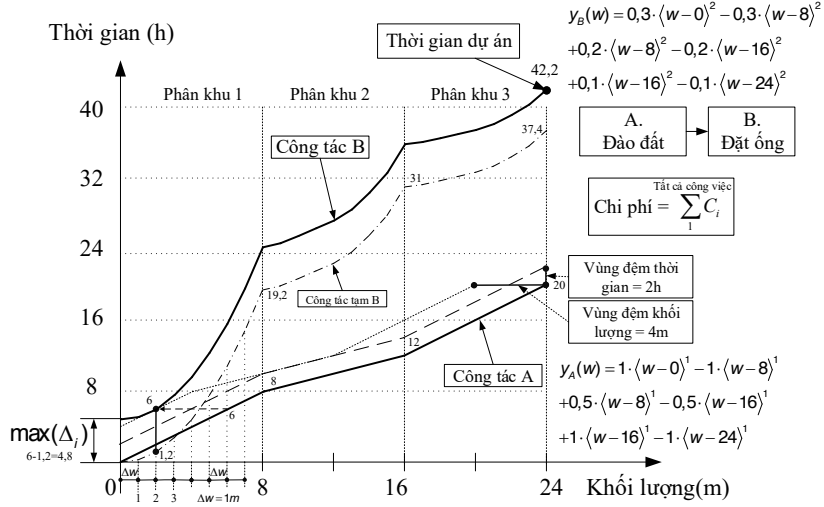


Hình 3. Các bước tính toán tiến độ

Lấy dự án đào rãnh làm ví dụ,  $\Delta w$  được đặt là 1 mét. Tại bước 3 chỉ ra các cặp quan hệ công việc. Trong nghiên cứu này xem xét hai loại vùng đệm (gián đoạn). Vùng đệm thời gian yêu cầu công việc sau phải duy trì so với công việc trước một khoảng thời gian trên trục thời gian. Vùng đệm khối lượng có nghĩa là công tác sau phải luôn đi trước một khoảng cách tối thiểu về bên phải so với công tác trước dọc theo trục khối lượng. Hình 4 minh họa bước 4 đến 6 trong quá trình tính toán tiến độ.



Hình 4. Tính toán tiến độ giữa 2 công tác



Hình 5. Minh họa về dự án đào rãnh

Hình 5 minh họa một dự án đào rãnh với hai công tác A (tuyến tính) và B (phi tuyến tính). Trong ví dụ này, chiều dài rãnh là 24 mét, được chia thành 3 phân khu. Công tác B bắt đầu sau công tác A và có gián đoạn thời gian là 2h, do đó trên cả 3 phân khu điểm ghép sát tiến độ của A và B là tại  $w = 2$ . Do đó, công tác B sẽ được dịch chuyển lên 4,8 giờ và thời gian bắt đầu công tác B tại phân khu đầu tiên là tại mốc 4,8 giờ. Tổng thời gian dự án được tính toán với giá trị 42,2 giờ.

### 3.3. Giai đoạn tương tác

Trong giai đoạn này, cá thể  $X_i$  hàng thứ  $i$  của hệ sinh thái tương tác ngẫu nhiên với một cá thể khác  $X_j$  (nơi  $i \neq j$ ).

$$X_{i\_new} = X_i + rand(0, 1) * (X_{best} - Mutual\_Vector * MBF_1) \quad (5)$$

$$X_{j\_new} = X_j + rand(0, 1) * (X_{best} - Mutual\_Vector * MBF_2) \quad (6)$$

$$Mutual\_Vector = \frac{X_i + X_j}{2} \quad (7)$$

$X_{best}$  được lựa chọn từ tập hợp không vượt trội thứ nhất. Để cân bằng giữa việc tìm kiếm theo chiều rộng và chiều sâu, bài báo này đề xuất sửa đổi hệ số  $BF$  như sau:

$$MBF_1 = \frac{\sum F(X_i)}{\sum F(X_{best})}; \quad MBF_2 = \frac{\sum F(X_j)}{\sum F(X_{best})} \quad (8)$$

### 3.4. Giai đoạn hội sinh

Trong giai đoạn này, sự hội sinh giữa hai cá thể trong quần thể được tạo ra như sau

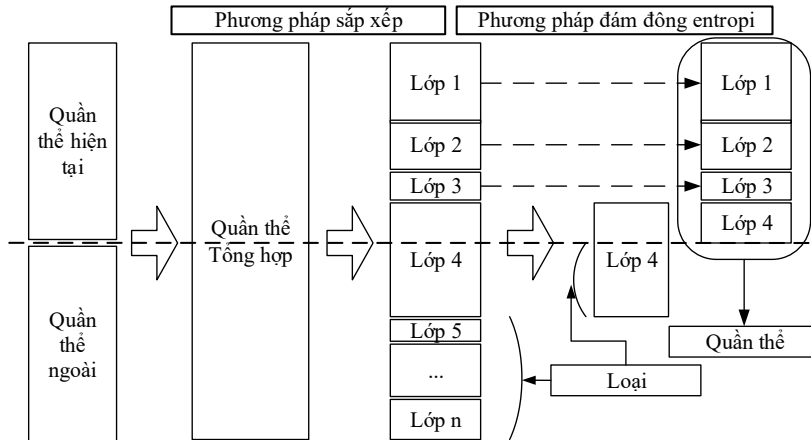
$$X_{i\_new} = X_i + rand(-1, 1) * (X_{best} - X_j) \quad (9)$$

### 3.5. Giai đoạn cộng sinh

Đầu tiên cá thể  $X_i$  sẽ lựa chọn một cá thể  $X_j$  để so sánh. Giai đoạn cộng sinh,  $X_i$  sẽ tự biến đổi mình bằng cách thay đổi một số phần tử trong  $D$  phần tử. Sau đó, dùng quá trình so sánh để lựa chọn giữa  $X_{i\_new}$  và  $X_j$ .

### 3.6. Quá trình lựa chọn

Ở mỗi vòng lặp, cơ chế hoạt động của thuật toán sẽ tạo ra thêm một quần thể khác. Sau mỗi vòng lặp thì 2 quần thể gộp chung thành 1 quần thể tổng hợp. Phương pháp sắp xếp giải pháp không vượt trội [7] sẽ phân loại quần thể tổng hợp thành các lớp theo các tiêu chí đánh giá trong bài toán đa mục tiêu. Do trong quá trình tối ưu hóa thì thuật toán luôn giữ nguyên số lượng quần thể là NP, nên phương pháp đám đông entropy [8] sẽ được áp dụng để chọn chính xác NP. Hình 6 mô tả quá trình chọn lọc.



Hình 6. Quá trình chọn lọc

### 3.7. Điều kiện dừng

Quá trình tối ưu hóa dừng khi mà điều kiện dừng được thỏa mãn. Trong mô hình đề xuất, chúng tôi sử dụng số vòng lặp tối đa.

## 4. Trường hợp nghiên cứu

Mô hình đề xuất được áp dụng để giải quyết bài toán thời gian chi phí trong dự án cầu có công tác lắp lại. Cầu có chiều dài 250 mét, dự án có bảy công tác và được chia thành năm phân khu (mỗi phân khu dài 50 mét). Bảng 1 liệt kê thông tin dự án bao gồm các mối quan hệ ưu tiên giữa các công tác, thời gian thực hiện mỗi công tác, cũng như tổng chi phí cho từng công tác trong dự án. Lựa chọn tổ đội (năng suất, số người) thi công là các biến và được quyết định bởi trình tối ưu hóa. Các giá trị  $m, k$  được xác định theo năng suất lao động của các tổ đội và phương pháp thi công, các giá trị này sẽ định nghĩa hàm phân phối theo công thức (4).

Bảng 1. Dữ liệu dự án

| Số TT | Tên công tác        | Công tác trước | Lựa chọn 1          |                         |     | Lựa chọn 2          |                          |     |
|-------|---------------------|----------------|---------------------|-------------------------|-----|---------------------|--------------------------|-----|
|       |                     |                | $m$                 | $k$                     | $c$ | $m$                 | $k$                      | $c$ |
| 1     | Chuẩn bị mặt bằng   | -              | 1;1;1;1;1           | 0,5;1;1;2;0,5           | 90  | 1;1;1;1;1           | 1;1;2;2;1                | 80  |
| 2     | Ván khuôn và sắt    | 1;             | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 10;14;20;20;20          | 130 | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 12;16;22;22;22           | 130 |
| 3     | Đào đất             | 1;             | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 8;12;15;15;15           | 85  | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 8;12;15;15;15            | 75  |
| 4     | Dầm bê tông đúc sẵn | 1;             | 1;1;1;1;1           | 1;1;2;2;3               | 100 | 1;1;1;1;1           | 2;2;3;3;4                | 90  |
| 5     | Đổ móng và trụ      | 2;3            | 2;2;2;2;2           | 0,1;0,05;0,09;0,08      | 170 | 2;2;2;2;2           | 0,15;0,07;0,0,1;0,09     | 150 |
| 6     | Vận chuyển dầm      | 4;             | 2;2;2;2;2           | 0,1;0,05;0,06;0,04;0,06 | 140 | 2;2;2;2;2           | 0,11;0,06;0,07;0,05;0,07 | 120 |
| 7     | Lắp dầm             | 5;6            | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 10;12;15;15;15          | 150 | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 12;14;16;16;16           | 140 |

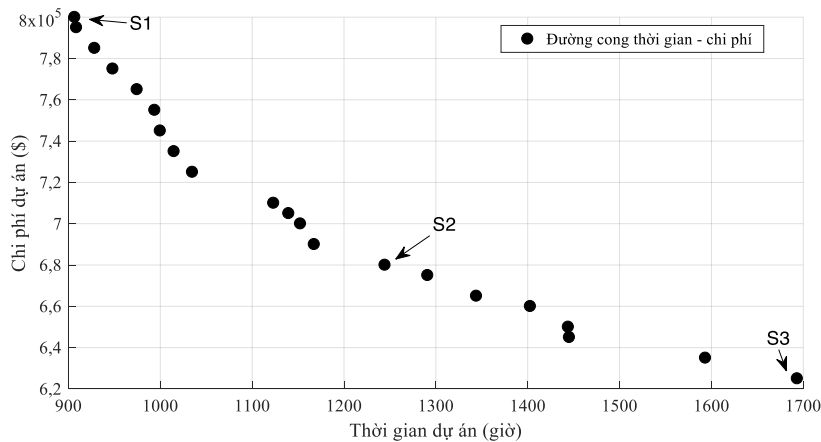


| Lựa chọn 3          |                          |          | Lựa chọn 4          |                          |          | Lựa chọn 4          |                        |          |
|---------------------|--------------------------|----------|---------------------|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| <i>m</i>            | <i>k</i>                 | <i>c</i> | <i>m</i>            | <i>k</i>                 | <i>c</i> | <i>m</i>            | <i>k</i>               | <i>c</i> |
| 1;1;1;1;1           | 2;2;2;2;2                | 70       | 1;1;1;1;1           | 2;2;3;3;2                | 60       | 1;1;1;1;1           | 2;2;4;4;2              | 50       |
| 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 13;17;24;24;24           | 110      | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 14;18;25;25;25           | 100      | -                   | -                      | -        |
| 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 9;13;16;16;16            | 70       | -                   | -                        | -        | -                   | -                      | -        |
| 1;1;1;1;1           | 3;3;4;4;5                | 85       | 1;1;1;1;1           | 4;4;5;5;6                | 80       | -                   | -                      | -        |
| 2;2;2;2;2           | 0,16;0,08;0,0;11;0,1     | 140      | 2;2;2;2;2           | 0,17;0,1;0,0;12;0,12     | 130      | 2;2;2;2;2           | 0,18;0,11;0,0;13;0,13  | 120      |
| 2;2;2;2;2           | 0,12;0,07;0,08;0,06;0,08 | 100      | 2;2;2;2;2           | 0,13;0,08;0,09;0,07;0,09 | 95       | 2;2;2;2;2           | 0,14;0,09;0,1;0,08;0,1 | 90       |
| 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 13;15;17;17;17           | 130      | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 14;16;18;18;18           | 120      | 0,5;0,5;0,5;0,5;0,5 | 15;17;20;20;20         | 115      |

Chú ý: Giá trị chi phí (ngàn USD)

### Kết quả tối ưu

Mô hình đề xuất áp dụng để tối ưu đồng thời thời gian, chi phí và thỏa mãn các ràng buộc về mối quan hệ và vùng đệm khối lượng, thời gian. Cài đặt thông số đầu vào cho thuật toán với số lượng giải pháp trong quần thể là 100, số vòng lặp tối đa là 100. Để có được độ mịn của hàm phân phối, độ lớn của bước trên trục khối lượng được chọn là  $\Delta w = 0,01$  m. Các thuật toán đều được lập trình ở phần mềm Matlab. Thuật toán chạy 10 lần để tránh kết quả ngẫu nhiên. Hình 7 biểu diễn một tập tối ưu. Hình này thể hiện rõ mối quan hệ thời gian và chi phí và sẽ giúp người ra quyết định đánh giá được một cách hiệu quả từng giải pháp tối ưu. Giải pháp tiến độ 1 (S1) tạo ra giá trị thời gian dự án nhỏ nhất cho dự án, S3 tạo ra các giá trị nhỏ nhất cho chi phí và các giải pháp khác đạt được sự cân bằng giữa hai mục tiêu.

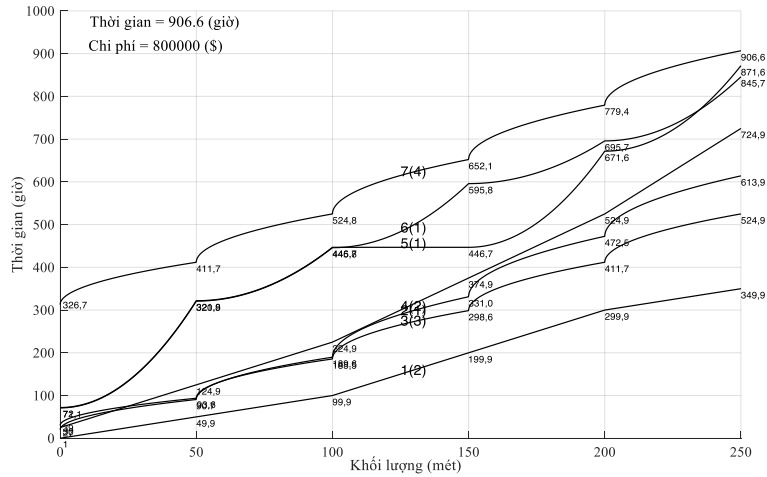


Hình 7. Tập tối ưu của thuật toán đề xuất AMOSOS

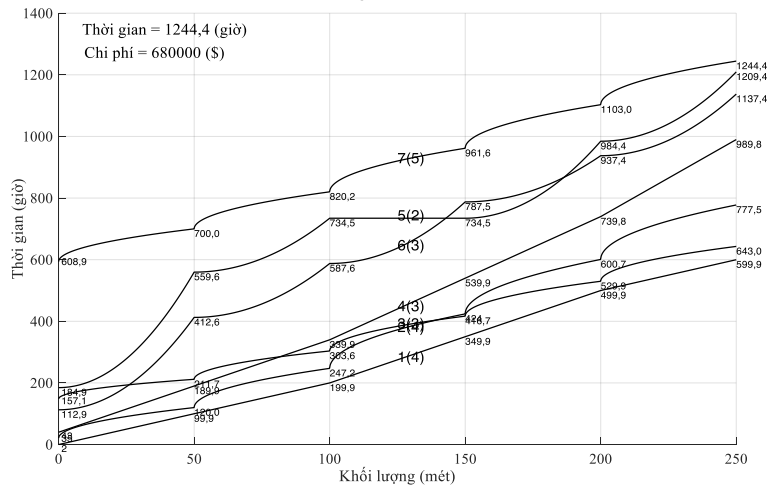
Tiến độ bao gồm thời gian bắt đầu, phân công tổ đội trong các phân khu của 3 giải pháp không vượt trội được trình bày ở Hình 8. Ví dụ, Hình 8(c), mô hình đề xuất cho ra kết quả với tổng thời gian dự án là 1693,3 giờ và tổng chi phí là \$625000. Thêm vào đó thứ tự thi công, thời gian bắt đầu, kết thúc của các công việc trong dự án và phân công tổ đội được trình bày.

Các đường (tuyến tính hoặc phi tuyến) trong Hình 8 thể hiện tiến độ, từ khi bắt đầu đến khi kết thúc dự án. Các số ở giữa mỗi dòng mô tả tên hoạt động và tùy chọn tổ đội tương ứng trong ngoặc đơn. Ví dụ, chữ ký hiệu ở giữa dòng thấp nhất trong Hình 8(c) là 1 (5) có nghĩa là người quản lý dự án sẽ chọn biện pháp thi công 5 cho công việc 1. Từ các kết quả này cho thấy mô hình đề xuất đã đáp ứng các mục tiêu nghiên cứu. Mô hình đề xuất có khả năng lập tiến độ cho dự án và đáp ứng tất cả các ràng buộc. Ngoài ra, mô hình đề xuất có thể tối ưu thời gian và chi phí dự án bằng cách lựa chọn các phương án tổ đội. Do đó, mô hình đề xuất là hiệu quả để lập tiến độ cho dự án có công tác lặp lại.

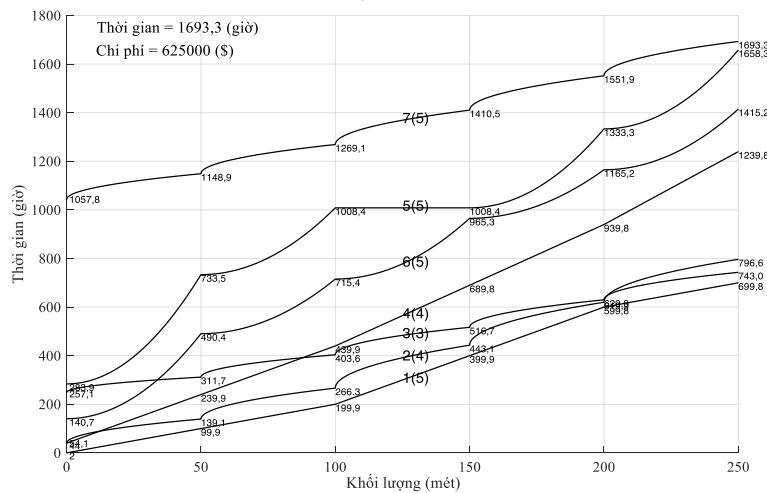




(a) Phương án tiến độ (S1)



(b) Phương án tiến độ (S2)



(c) Phương án tiến độ (S3)

Hình 8. Các phương án tiến độ thi công

## 5. Kết luận

Bài viết này trình bày một phương pháp lập tiến độ dựa trên tối ưu hóa nhiều mục tiêu giải quyết bài toán chi phí thời gian của các dự án có công tác lặp lại. Nghiên cứu sử dụng phương pháp số trên nền tảng hàm phân phối để xác định mối quan hệ giữa công tác. Phương pháp được đề xuất là dễ hiểu, thuận tiện để thực hiện và tạo ra kết quả chính xác một cách nhanh chóng. Thêm vào đó, nghiên cứu này còn đề xuất một thuật toán sinh học cộng sinh tìm kiếm tự điều chỉnh đa mục tiêu nhằm tối ưu hóa bài toán thời gian chi phí. AMOSOS có khả năng tìm kiếm toàn cục và cục bộ tốt.

Mô hình đã được áp dụng vào một dự án xây dựng cầu. Mô hình đề xuất đã giải quyết thành công bài toán tối ưu tiến độ và chi phí. Các giải pháp không vượt trội (Pareto) do AMOSOS tạo ra cung cấp thông tin giúp người quản lý dự án ra quyết định lựa chọn phương án thi công cho các công việc trong dự án dựa trên cân bằng các yếu tố về thời gian và tiến độ. Mô hình đa mục tiêu là đơn giản, mạnh và không bị giới hạn về hàm mục tiêu, số biến và sơ đồ mạng. Do đó trong các nghiên cứu tiếp theo có thể sử dụng mô hình đề xuất để giải quyết các bài toán tương tự như tối ưu cân bằng đồng thời thời gian, chi phí, chất lượng, môi trường, rủi ro.

Các mục tiêu của nghiên cứu đã đạt được, tuy nhiên để có thể áp dụng rộng rãi các dự án thực tế. Các nghiên cứu tiếp theo cần đề xuất một giao diện cho người dùng, đồng thời chuyển đổi tiến độ hiện tại sang các tiến độ thông thường (sơ đồ ngang, ...) để dễ dàng với người sử dụng.

## Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) cho đề tài mã số 102.05-2018.07.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Kelley Jr, J. E., Walker, M. R. (1959). [Critical-path planning and scheduling](#). In *Papers presented at the December 1-3, 1959, eastern joint IRE-AIEE-ACM computer conference*, Boston, Massachusetts, ACM, 160–173.
- [2] Hajdu, M., Lucko, G., Su, Y. (2017). [Singularity functions for continuous precedence relations and non-linear activity-time-production functions](#). *Automation in Construction*, 79:31–38.
- [3] Cheng, M.-Y., Prayogo, D. (2014). [Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm](#). *Computers & Structures*, 139:98–112.
- [4] Tran, D.-H., Cheng, M.-Y., Prayogo, D. (2016). [A novel Multiple Objective Symbiotic Organisms Search \(MOSOS\) for time–cost–labor utilization tradeoff problem](#). *Knowledge-Based Systems*, 94:132–145.
- [5] Panda, A., Pani, S. (2016). [A Symbiotic Organisms Search algorithm with adaptive penalty function to solve multi-objective constrained optimization problems](#). *Applied Soft Computing*, 46:344–360.
- [6] Long, L. D., Ohsato, A. (2009). [A genetic algorithm-based method for scheduling repetitive construction projects](#). *Automation in Construction*, 18(4):499–511.
- [7] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. A. M. T. (2002). [A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II](#). *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2):182–197.
- [8] Wang, Y.-N., Wu, L.-H., Yuan, X.-F. (2010). [Multi-objective self-adaptive differential evolution with elitist archive and crowding entropy-based diversity measure](#). *Soft Computing*, 14(3):193–209.