

Tối ưu hóa tiến độ và chi phí cho dự án xây dựng sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân

Optimizing schedule and cost of construction project using Differential Evolution

Hoàng Nhật Đức^a, Nguyễn Quốc Lâm^b, Phạm Quang Nhật^b

^a*Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Việt Nam*
Institute of Research and Development, Duy Tan University, Vietnam

^b*Khoa Xây Dựng, Đại học Duy Tân, Việt Nam*
Faculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Vietnam

Tóm tắt

Trong lĩnh vực quản lý xây dựng, tối ưu tiến độ và chi phí của một dự án là một nhu cầu thiết yếu của người làm công tác quản lý. Mục tiêu của việc xây dựng tiến độ của một dự án là tối thiểu hóa thời gian thi công và chi phí xây dựng. Trong thực tế, công tác lập và tối ưu tiến độ cho dự án chủ yếu được thực hiện dựa trên kinh nghiệm của người quản lý. Nghiên cứu của các tác giả đề xuất một mô hình tối ưu hóa tiến độ - chi phí cho dự án sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân. Để bài toán tối ưu được mô hình hóa sát với thực tế, các yếu tố như chi phí trực tiếp/gián tiếp của từng công tác, chi phí gián tiếp của dự án, và các ràng buộc về tiến độ, tài nguyên của dự án được xem xét trong quá trình tính toán. Thêm vào đó, để nâng cao hiệu quả của quá trình tối ưu hóa, một phương pháp đột biến mới được đề xuất cho thuật toán tiến hóa vi phân. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình tính toán mới là một công cụ hiệu quả để giải quyết bài toán tối ưu hóa tiến độ - chi phí của dự án xây dựng.

Từ khóa: Tối ưu hóa tiến độ, Tối ưu hóa chi phí, Thuật toán tiến hóa vi phân, Quản lý xây dựng.

Abstract

In construction management, optimization of project schedule and cost is a critical need of project managers. The objective of the optimization process is to minimize the project duration and cost. In practice, this task is often carried out based on the experiences of the managers. This current research proposes a schedule-cost optimization model based on the Differential Evolution algorithm. To model the problem practically, our research takes into account the direct and indirect costs of each activity, the indirect cost of the project, and the constraints of project schedule/resources. Furthermore, to enhance the capacity of the Differential Evolution, a new mutation operator is proposed. The experimental results show that the new optimization model is an efficient tool to solve the project schedule and cost optimization.

Keywords: Project schedule optimization, Project cost optimization, Differential Evolution, Construction management.

© 2013 Bản quyền thuộc Đại học Duy Tân

1. Giới thiệu

Trong lĩnh vực quản lý xây dựng, một dự án xây dựng thường bao gồm nhiều công tác xây

dựng với những mối liên hệ ràng buộc về thời gian, không gian, và các yếu tố về công nghệ và quản lý. Các đặc điểm của dự án xây dựng có

thể kể đến tính chất phức tạp và bất định do điều kiện thực địa, gây ra áp lực rất lớn trong việc điều hành và kiểm soát dự án cả về chi phí lẫn tiến độ. Ngoài ra, công nghệ xây dựng ngày càng được cải tiến [1]. Do các đặc điểm này, lập và quản lý tiến độ cho dự án luôn là một công tác khó khăn và phức tạp [2]. Vì thế, chậm tiến độ và tăng chi phí là những hiện tượng phổ biến trong ngành công nghiệp xây dựng Việt Nam.

Trên phương diện của cả chủ đầu tư và nhà thầu thi công, việc tối ưu hóa tiến độ của dự án, mà cụ thể là việc rút ngắn tiến độ, có thể đem lại nhiều lợi ích [3]. Lý do là vì khi dự án kéo dài, các chi phí gián tiếp, bao gồm chi phí cơ sở vật chất (điện, nước, nhà tạm, chi phí quản lý), chi phí thiết bị, chi phí máy xây dựng, và chi phí nhân công đều tăng; vì thế, nếu rút ngắn được tiến độ thì các chi phí này sẽ có thể được tiết kiệm. Mặt khác, người chủ đầu tư dự án có thể được hưởng lợi khi dự án được hoàn thành trước tiến độ và cơ sở vật chất được đưa vào khai thác sớm.

Theo phương pháp truyền thống, để đẩy nhanh tiến độ thi công, nhà thầu tập trung rút ngắn các công việc Găng. Việc này có thể đạt được khi sử dụng hữu hiệu biện pháp kỹ thuật và biện pháp tổ chức. Điều này dẫn đến làm tăng chi phí khi phải đầu tư công nghệ thi công mới hoặc tăng phụ phí do thúc đẩy tăng ca hoặc tuyển dụng nhân công thời vụ, thuê thêm máy móc, thiết bị. Vì vậy, tối ưu hóa tiến độ và chi phí của một dự án thường là hai mục tiêu đối nghịch nhau [4, 5].

Trong thực tế, công tác lập tiến độ ở nước ta vẫn chủ yếu được thực hiện dựa trên kinh nghiệm của các kỹ sư quản lý xây dựng. Do tính chất phức tạp, bao gồm nhiều công tác và các ràng buộc của dự án, phương án lập tiến độ theo phương pháp cũ khó có thể đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của một dự án xây dựng. Thêm vào đó, các nghiên cứu về tối ưu hóa tiến độ - chi phí ở Việt Nam còn rất hạn chế. Vì vậy, nghiên cứu của chúng tôi đề xuất một mô hình tính toán để giải quyết vấn đề tối ưu hóa tiến độ - chi phí của dự án dựa trên thuật toán tiến hóa vi phân (THVP).

THVP [6, 7] là thuật toán tiến hóa rất hữu hiệu cho việc giải các bài toán tối ưu hóa toàn cục phức tạp. Thuật toán này lấy ý tưởng từ sự tiến hóa trong tự nhiên thông qua các quá trình

lai ghép, đột biến, và chọn lọc để tìm ra các giải pháp tối ưu. Các nghiên cứu trước đã minh chứng hiệu quả của thuật toán này trong việc giải các bài toán tối ưu hóa [8, 9]. Đó là động lực để các tác giả lựa chọn và áp dụng thuật toán THVP cho việc tối ưu hóa tiến độ - chi phí của dự án xây dựng. Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: phương pháp nghiên cứu được trình bày ở phần thứ 2, mô hình tính toán được mô tả ở phần 3, phần thứ 4 trình bày kết quả tính toán thông qua một dự án ví dụ, kết luận của nghiên cứu được trình bày trong phần cuối cùng của bài báo.

2. Thuật toán tiến hóa vi phân (THVP)

Thuật toán tiến hóa vi phân (THVP), được phát triển bởi Storn và Price [6], là một thuật toán tiến hóa để giải các bài toán tối ưu hóa. Ý tưởng khái quát của thuật toán là từ một quần thể của các cá thể được khởi tạo một cách ngẫu nhiên, các cá thể mới sẽ được sản sinh và đấu tranh chọn lọc với các cá thể cũ.

Trong quá trình chọn lọc này, các cá thể tốt sẽ được lưu truyền đến các thế hệ sau; ngược lại, các cá thể kém hơn sẽ bị diệt vong. Ở đây, các cá thể sẽ được đánh giá thông qua một hàm mục tiêu $f(x)$ được định nghĩa bởi một vấn đề tối ưu hóa cụ thể.

Quá trình này tương tự như quá trình chọn lọc tự nhiên được mô tả trong học thuyết tiến hóa của Darwin. THVP và thuật toán di truyền có nhiều đặc điểm tương đồng với nhau vì chúng cùng sử dụng các bước như lai ghép và đột biến để tạo ra các cá thể con. Yang [10] cho rằng THVP là một phiên bản phát triển của thuật toán di truyền với các bước lai ghép và đột biến có mô tả rõ ràng bằng các công thức toán.

Bằng thực nghiệm, THVP được cho là có khả năng tìm kiếm giải pháp tối ưu rất tốt thông qua việc khai phá và khai thác không gian tìm kiếm. Thuật toán THVP được mô tả trong Hình 1.

```

1: Xác định các thông số của thuật toán: Số biến thiết kế ( $D$ ),
   số lượng cá thể ( $P$ ), số vòng lặp tối đa ( $G$ )
2: Khởi tạo các cá thể của quần thể đầu tiên theo (1)
3: For  $g = 1 : G$ 
4:   Đánh giá quần thể và nhận diện cá thể tốt nhất  $x_{best}$ 
5:   For  $i = 1 : P$ 
6:     Xác định cá thể mẹ  $x_i$ 
7:     Tạo 3 số nguyên dương ngẫu nhiên  $r_1, r_2, r_3$ 
8:     Xác định hệ số đột biến  $F = N(0.5, 0.2^2)$ 
       và xác suất lai ghép  $C_r = 0.8$ 
9:     Tạo véc-tơ đột biến  $d_i$  theo (2) hoặc (3)
10:    Tạo véc-tơ con  $c_i$  theo (4)
11:    IF  $f(c_i) < f(x_i)$  THEN  $x_i = c_i$ 
12:    IF  $f(c_i) < f(x_{best})$  THEN  $x_{best} = c_i$ 
13:   End For
14: End For
15: Return  $x_{best}$ 

```

Hình 1. Thuật toán tiến hóa vi phân

(1) Xác định các thông số của thuật toán:

Các thông số của thuật toán bao gồm số biến thiết kế (D), số lượng cá thể (P), và số thể hệ tối đa (G). Thông thường, số lượng cá thể $P = 4.D \div 8.D$, số thể hệ tối đa G thường được đặt sao cho đủ để thuật toán hội tụ. Thuật toán kết thúc khi điều kiện về số thể hệ tối đa được thỏa mãn.

(2) Khởi tạo quần thể đầu tiên: Một cá thể được đại diện bằng một véc-tơ mà số thành phần của véc-tơ chính bằng số biến thiết kế D . Do đó, một quần thể sẽ được đại diện bằng một ma trận $P \times D$. Các cá thể của quần thể đầu tiên được khởi tạo một cách ngẫu nhiên như sau:

$$x_{ij} = LB_j + rand(0, 1).(UB_j - LB_j) \quad (1)$$

trong đó, LB_j và UB_j là các giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của biến thiết kế j , $j = 1, 2, \dots, D$. $rand(0, 1)$ là một số thực được khởi tạo ngẫu nhiên trong khoảng $(0, 1)$.

(3) Quá trình đột biến: Mỗi véc-tơ x ở thể hệ hiện tại g được gọi là một ‘véc-tơ mẹ’. Đối với mỗi ‘véc-tơ mẹ’, một ‘véc-tơ đột biến’ $d_{i,g}$ có thể được tạo ra theo một trong hai cách sau:

$$d_{i,g} = x_{r1,g} + F.(x_{r2,g} - x_{r3,g}) \quad (2)$$

$$d_{i,g} = x_{best,g} + F.(x_{r1,g} - x_{r3,g}) \quad (3)$$

trong đó, r_1, r_2 , và r_3 là 3 số nguyên được tạo ngẫu nhiên nằm trong khoảng $[1; N]$; 3 số nguyên này được tạo sao cho chúng không trùng với thứ

tự i của ‘véc-tơ mẹ’. F là biên độ đột biến được sinh ra theo phân phối chuẩn $N(0.5, 0.22)$ [11]. x_{best} là cá thể tốt nhất trong quần thể. g là ký hiệu của thể hệ hiện tại.

Quá trình đột biến theo (2) có xu hướng khai phá không gian tìm kiếm, giúp cho thuật toán khó bị rơi vào vùng tối ưu cục bộ, nhưng quá trình hội tụ sẽ chậm [12]. Quá trình đột biến theo (3) có xu hướng khai thác giá trị x_{best} đã tìm được, phương thức này có ưu điểm là giúp cho thuật toán hội tụ nhanh, nhưng lại dễ rơi vào vùng tối ưu cục bộ khi bài toán tìm kiếm là phức tạp [11].

(4) Quá trình lai ghép: Mục đích của quá trình lai ghép là làm đa dạng hóa quần thể hiện tại bằng cách trao đổi các thành phần của ‘véc-tơ mẹ’ và ‘véc-tơ đột biến’. Quá trình lai ghép sản sinh ra ‘véc-tơ con’ c_i, g mà thành phần thứ j của nó, ký hiệu là $c_{j,i,g}$, được tạo ra theo cách sau:

$$c_{j,i,g} = \begin{cases} d_{j,i,g}, if & rand_j \leq C_r \text{ or } j = rnb(i) \\ x_{j,i,g}, if & rand_j > C_r, \text{ or } j \neq rnb(i) \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó, $rand_j$ là một số thực được tạo ngẫu nhiên thuộc $[0; 1]$. C_r là xác suất lai ghép thường được chọn = 0.8. $rnb(i)$ là một số nguyên dương được chọn ngẫu nhiên trong đoạn $[1, P]$.

(5) Quá trình chọn lọc: Các cá thể ‘véc-tơ con’ $c_{i,g}$ và ‘véc-tơ mẹ’ x_i, g được so sánh với nhau. Cá thể nào có giá trị hàm mục tiêu tương ứng kém hơn sẽ bị loại bỏ:

(4) Chọn lọc: Tại bước này, véc-tơ con $U_{i,g}$ và véc-tơ mẹ $X_{i,g}$ được so sánh với nhau. Cá thể nào có giá trị hàm mục tiêu tương ứng kém hơn sẽ bị loại bỏ:

$$X_{i,g+1} = \begin{cases} c_{i,g}, if & f(c_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g}, if & f(c_{i,g}) > f(x_{i,g}) \end{cases} \quad (5)$$

3. Mô hình tính toán được đề xuất

3.1. Vấn đề tối ưu hóa chi phí – tiến độ

Bài toán tối ưu hóa chi phí và tiến độ có mục tiêu là lập ra một tiến độ thi công tổng thể sao cho dự án có thời gian hoàn thành sớm nhất và tổng chi phí của dự án là nhỏ nhất. Trong thực tế,

dự án được xem như là tập hợp của nhiều công tác và mỗi công tác có những phương án thi công ứng với các thời gian thi công và chi phí khác nhau. Vì vậy, nhiệm vụ đặt ra là phải tìm được phương án thi công phù hợp nhất cho từng công tác, để có được tiến độ và chi phí tối ưu cho cả dự án tổng thể, đồng thời phải thỏa mãn các điều kiện ràng buộc về tiến độ và tài nguyên.

Để thấy mỗi công tác có nhiều lựa chọn về phương án thi công, vấn đề tối ưu hóa chi phí – tiến độ có thể được xem như là một bài toán tối ưu hóa tổ hợp và được mô hình hóa như sau:

Tối thiểu hóa hàm mục tiêu:

$$f = \alpha.CP + \beta.TD \tag{6}$$

Chịu các ràng buộc sau:

$$KS_i + t_i - KS_j \leq 0, \text{ với } \forall j \in A_i \tag{7}$$

$$TD = \max_{\forall i} \{KS_i + t_i\} \leq TD_{RB} \tag{8}$$

$$R_d \leq R_{max}, \forall d, d = 1, 2, \dots, TD \tag{9}$$

$$[C_i, t_j] = F_{i(x_i)} \tag{10}$$

Trong đó, CP= tổng chi phí của dự án, được tính toán như sau:

$$CP = \sum_i^{CT} C_i^{TT} + \sum_i^{CT} C_i^{GT} + C_{DA}^{GT} - BN + PN \tag{11}$$

Với, CT = số lượng công tác trong dự án; C_i^{TT} = chi phí trực tiếp của công tác i; C_i^{GT} = chi phí trực tiếp của công tác i; C_{DA}^{GT} = chi phí gián tiếp của dự án; BN và PN là tiền thưởng và phạt của chủ đầu tư khi dự án được hoàn thành sớm hoặc chậm so với hợp đồng.

TD= tổng tiến độ của dự án được tính toán bằng phương pháp đường Găng.

α và β = các hệ số hiệu chỉnh tương ứng với các giá trị về tổng chi phí và tiến độ của dự án. Các hệ số này giúp hiệu chỉnh sự đóng góp của hai tiêu chí (chi phí và tiến độ) đến hàm mục tiêu f.

KS_i = thời điểm khởi sớm của công tác i. A_i là tập hợp các công tác liền sau của công tác i. t_i là thời gian thi công của công tác i.

TD_{RB} = tổng tiến độ của dự án được quy định bởi chủ đầu tư.

R_d = tổng tích lũy của chi phí tính đến ngày thứ d.

R_{max} = khả năng đáp ứng tối đa về tài nguyên (quy đổi về chi phí).

x_i là phương án thi công của công tác i. $x_i = 1, 2, \dots, S_i$, với S_i = tổng số phương án thi công của công tác i.

$F_i(x_i)$ biểu thị mối tương quan giữa chi phí và tiến độ của công tác i đối với từng phương án thi công.

3.2. Mô hình tối ưu hóa chi phí – tiến độ dựa trên THVP

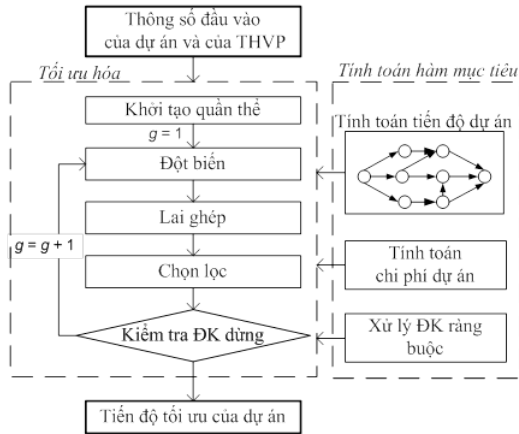
Mô hình tối ưu hóa chi phí – tiến độ của dự án được trình bày trong Hình 2. Thông số đầu vào của dự án bao gồm: số lượng các công tác, các phương án thi công của từng công tác, mối quan hệ về mặt thời gian giữa các công tác, các thông tin về chi phí gián tiếp của dự án, mức thưởng/phạt của việc hoàn thành sớm/chậm tiến độ, và ràng buộc về khả năng cung ứng tài nguyên.

Trong khi đó, thông số đầu vào của thuật toán THVP bao gồm số biến thiết kế, số lượng cá thể trong quần thể, và số thế hệ tối đa. Khi các thông số đầu vào được cung cấp, mô đun tối ưu hóa sẽ được bắt đầu thông qua các bước của thuật toán THVP (khởi tạo quần thể, đột biến, lai ghép, và chọn lọc). Thêm vào đó, để nâng cao khả năng tối ưu hóa của thuật toán, nghiên cứu của chúng tôi đề xuất một phương trình đột biến mới. Phương trình mới này là sự kết hợp của hai P.T. (2) và (3). Phương pháp mới giúp đẩy nhanh quá trình hội tụ của thuật toán, đồng thời tránh cho quá trình tìm kiếm bị rơi vào một giải pháp tối ưu cục bộ. Phương trình đột biến mới được mô tả như sau:

$$d_{i,g} = \gamma.x_{best,g} + (1 - \gamma).x_{r1,g} + F.(x_{r2,g} - x_{r3,g}) \tag{12}$$

Trong đó, $\gamma = 1 - \exp\left(\frac{-g}{100}\right)$ là hệ số quyết định sự ảnh hưởng của véc-tơ x_{best} vào quá trình đột

biến. Để thấy khi $g : 1 \rightarrow 300$ thì $\gamma : 0 \rightarrow 1$. Khi quá trình tiến hóa gần kết thúc, sự tham gia của véc-tơ x_{best} càng nhiều, điều này giúp đẩy nhanh quá trình hội tụ của thuật toán.

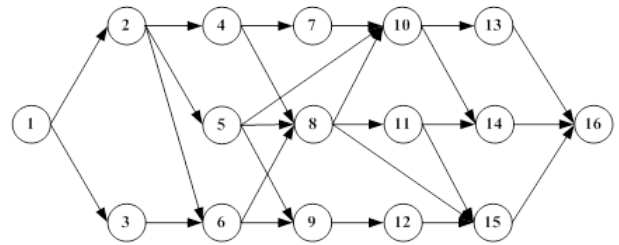


Hình 2. Mô hình tối ưu hóa tiến độ - chi phí của dự án

Trong khi tính toán hàm mục tiêu đối với từng cá thể, các mô đun tính toán tiến độ (dựa theo phương pháp đường Găng), tính toán chi phí (tổng của các chi phí trực tiếp/gián tiếp của từng công tác, chi phí gián tiếp của dự án, và tiền thưởng/phạt của chủ đầu tư), và xử lý các điều kiện ràng buộc (bằng các hàm phạt [13, 14]) sẽ được tiến hành. Nếu điều kiện dừng được thỏa mãn, giải pháp tiến độ tốt nhất của dự án (bao gồm giải pháp thi công phù hợp nhất của từng công tác) đã được tìm ra.

4. Ví dụ tính toán

Mô hình tính toán trình bày ở phần 3 được áp dụng để tối ưu hóa tiến độ - chi phí cho một dự án gồm 16 công tác. Sơ đồ mạng của dự án được cho trong Hình 3. Chi phí gián tiếp của dự án là \$200/ngày. Tiến độ tối đa của dự án là 32 ngày. Khả năng đáp ứng tối đa về tài nguyên (quy đổi về chi phí) của nhà thầu thi công là \$80.000. Các phương án thi công, cùng với các giá trị về thời gian thi công và tiến độ, và chi phí gián tiếp của từng công tác được trình bày trong Bảng 1. Đơn vị của tiến độ, chi phí trực tiếp (C.P. trực tiếp), chi phí gián tiếp (C.P. gián tiếp) của từng công tác (C.T.) lần lượt được cho theo ngày, \$ và \$/ngày.



Hình 3. Sơ đồ mạng của dự án

Ví dụ, công tác 1 có 4 phương án thi công. Nếu nhà thầu xây dựng chọn phương án số 1, công tác này sẽ tiêu tốn \$580, cần 2 ngày để hoàn thành. Do chi phí gián tiếp của công tác này là \$30/ngày, tổng chi phí của công tác 1 sẽ được tính toán là: $CCT1 = 580 + 30 \times 2 = \640 . Để giảm thiểu chi phí, phương án số 2 có thể được lựa chọn. Phương án này có chi phí là \$540, tuy nhiên nhà thầu sẽ cần 3 ngày để hoàn thành công tác này.

Các thuật toán được sử dụng để tối ưu hóa tiến độ - chi phí cho dự án này bao gồm: THVP sử dụng phương trình đột biến cho trong P.T. (2) (THVP1), THVP sử dụng phương trình đột biến cho trong P.T. (3) (THVP2), THVP sử dụng phương trình đột biến hỗn hợp cho trong P.T. (12) (THVP3), và thuật toán di truyền (TTDT) [15]. Số lượng cá thể và số thế hệ tối đa của các thuật toán lần lượt là 100 và 300.

Bảng 1. Chi phí và thời gian của từng công tác

C.T.	Phương án	Tiến độ	C.P. trực tiếp	C.P. gián tiếp	C.T.	Phương án	Tiến độ	C.P. trực tiếp	C.P. gián tiếp		
1	1	2	580	30	8	1	2	2030	85		
	2	3	450			2	3	1830			
	3	4	320			3	4	1630			
	4	5	290			1	2	1100			
2	1	4	1700	80	9	2	3	1000	100		
	2	5	1250			3	4	900			
	3	6	800			1	5	1500			
3	1	2	2800	200	10	2	6	1300	70		
	2	3	2650			3	7	1100			
	3	4	2500			4	8	900			
	4	5	2350			1	1	620			
	5	6	2200			11	2	2		450	45
	6	7	2050				1	5		3200	
4	1	3	3780	100	12	2	6	3000	30		
	2	4	3460			3	7	2600			
	3	5	3140			1	2	7730			
5	1	4	6030	400	13	2	3	7320	70		
	2	5	5395			3	4	6910			
	3	6	4670			4	5	6500			
	4	7	4125			1	2	7730			
6	1	4	6730	500	14	2	3	7320	75		
	2	5	6320			3	4	6910			
	3	6	5910			1	4	8530			
	4	7	5500			2	5	8120			
7	1	2	3020	300	15	3	6	7810	150		
	2	3	2870			4	7	7300			
	3	4	2720			5	8	7000			
	6	9	6800			1	3	350			
	16	1	3			350	35				

Hàm mục tiêu của vấn đề tối ưu hóa được

định nghĩa như sau:

$$f = \alpha.CP + \beta.TD + P_S + P_R \quad (13)$$

Trong đó, CP và TD lần lượt là tổng chi phí và tiến độ của dự án. $\alpha = 1$ và $\beta = 100$ là các hệ số hiệu chỉnh. P_S và P_R là các hàm phạt để xử lý ràng buộc về tiến độ và tài nguyên được định nghĩa như sau:

$$P_S = 1000Xmax(0, TD - 32) \quad (14)$$

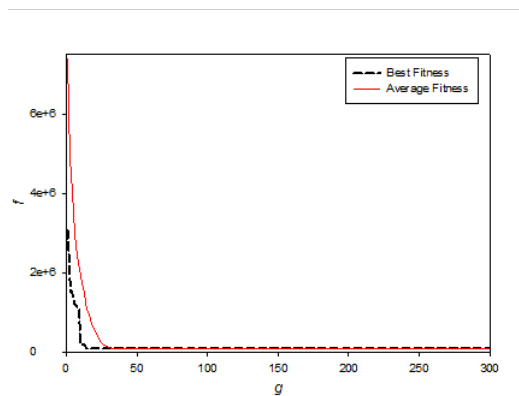
$$P_R = 1000Xmax(0, max(R_d) - 80.000) \quad (15)$$

Bảng 2. Kết quả tính toán

Phương pháp tối ưu	TTDT	THVP1	THVP2	THVP3
Hàm mục tiêu	1517175.5	82691.5	82894.6	82691.5
Tổng chi phí	81433	79592	79695	79592
Tiến độ dự án	31	31	32	31
Tìm ra K.Q. tốt nhất	140	45	17	29
Bắt đầu hội tụ	147	104	30	50

Kết quả tính toán của bốn phương pháp (TTDT, THVP1, THVP2, và THVP3) được trình bày trong Bảng 2. Từ kết quả thí nghiệm, có thể thấy được các mô hình tính toán sử dụng THVP1 và THVP3 đều tìm ra được kết quả tốt nhất với biến thiết kế $x = [1243323312214341]$, tương ứng với giá trị của hàm mục tiêu $f = 82691.5$, tổng chi phí dự án = \$79592, tiến độ dự án = 32 ngày. THVP2 tìm ra được kết quả kém hơn so với THVP1 và THVP2 ở cả 2 tiêu chí chi phí và tiến độ. Trong khi đó, giải pháp tìm được bởi TTDT vi phạm ràng buộc về tài nguyên của dự án khi tổng chi phí của dự án (\$81433) lớn hơn mức \$80000.

Có thể thấy, THVP2 hội tụ rất nhanh, chỉ sau 30 thế hệ; tuy vậy, thuật toán này lại chỉ tìm được một giải pháp tối ưu cục bộ. THVP1 hội tụ chậm hơn, thuật toán tìm được giải pháp tốt nhất ở thế hệ 140 và hội tụ ở thế hệ 147. THVP3 cho kết quả tốt nhất, thuật toán tìm ra kết quả tốt nhất ở thế hệ 29 và hội tụ ở thế hệ 50. Từ đó, ưu điểm của phương pháp đột biến mới nếu ở P.T. (12) đã được minh chứng rõ nét. Biểu đồ về quá trình hội tụ của THVP3 được cho trong Hình 4.



Hình 4. Quá trình tiến hóa của THVP3

5. Kết luận

Tối ưu hóa tiến độ và chi phí của một dự án là một vấn đề rất quan trọng và có ý nghĩa thiết thực đối với người làm quản lý xây dựng. Nghiên cứu này đã trình bày một phương pháp để giải quyết vấn đề tối ưu hóa tiến độ và chi phí cho dự án dựa trên thuật toán THVP. Để mô hình hóa bài toán sát với thực tế, các yếu tố như chi phí trực tiếp/gián tiếp của từng công tác, chi phí gián tiếp của dự án, và các ràng buộc về tiến độ, tài nguyên của dự án đã được đưa vào quá trình tối ưu. Để đẩy nhanh quá trình hội tụ của thuật toán, một phương pháp đột biến mới đã được đề xuất cho thuật toán THVP. Dựa vào kết quả tính toán, nghiên cứu của các tác giả đưa ra các kết luận sau:

- Mô hình tính toán dựa trên thuật toán THVP là một công cụ hiệu quả để tối ưu hóa tiến độ - chi phí của dự án.
- Đối với thuật toán THVP được sử dụng cho vấn đề tối ưu hóa tiến độ - chi phí, quá trình đột biến theo P.T. (2) tìm ra được kết quả tốt, nhưng hội tụ chậm. Mặt khác, quá trình đột biến theo P.T. (3) hội tụ rất nhanh nhưng đạt kết quả kém hơn do thuật toán bị rơi vào giải pháp tối ưu cục bộ.
- Phương pháp đột biến mới cho trong P.T. (12) tìm được kết quả tốt nhất và cũng hội tụ nhanh nhất.
- Đối với vấn đề tối ưu hóa tiến độ - chi phí, thuật toán THVP cho kết quả tốt hơn nhiều so với TTDT.

Tài liệu tham khảo

- [1] K. Sears, G. Sears, and R. Clough, "Construction Project Management: A Practical Guide to Field Construction Management (5th Edition)," John Wiley and Son, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
- [2] S. Mubarak, "Construction Project Scheduling and Control," John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2010.
- [3] I. T. Yang, "Utility-based decision support system for schedule optimization," Decision Support Systems, vol. 44, pp. 595-605, 2008.
- [4] K. El-Rayes and A. Kandil, "Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction," Journal of Construction Engineering and Management, vol. 131, pp. 477-486, 2005.
- [5] N.-D. Hoang, "NIDE: A Novel Improved Differential Evolution for Construction Project Crashing Optimization," Journal of Construction Engineering, vol. 2014, p. 7, 2014.
- [6] R. Storn and K. Price, "Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces," J. Global Optim., vol. 11, pp. 341–359, 1997.
- [7] M.-Y. Cheng, N.-D. Hoang, and Y.-W. Wu, "Hybrid intelligence approach based on LS-SVM and Differential Evolution for construction cost index estimation: A Taiwan case study," Autom. Constr., vol. 35, pp. 306-313, 2013.
- [8] A. Ponsich and C. A. C. Coello, "Differential Evolution performances for the solution of mixed-integer constrained process engineering problems," Applied Soft Computing, vol. 11, pp. 399-409, 2011.
- [9] S. Das and P. N. Suganthan, "Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art," IEEE T Evolut Comput, vol. 15, pp. 4 - 31 2011.
- [10] X.-S. Yang, "Nature-Inspired Optimization Algorithms," ed Oxford: Elsevier, 2014.
- [11] V. Feoktistov, "Differential Evolution - In Search of Solutions," Springer Science+Business Media, LLC, 2006.
- [12] M. Cheng and N. Hoang, "Risk Score Inference for Bridge Maintenance Project Using Evolutionary Fuzzy Least Squares Support Vector Machine," J. Comput. Civ. Eng., ASCE, vol. 28, p. 04014003, 2014.
- [13] C. A. Coello Coello, "Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art," Comput. Methods in Appl. Mech. Eng., vol. 191, pp. 1245-1287, 1/4/ 2002.
- [14] A. Homaifar, S. H.-V. Lai, and X. Qi, "Constrained optimization via genetic algorithms," Simulation vol. 62 pp. 242-254, 1994.
- [15] R. L. Haupt and S. E. Haupt, "Practical Genetic Algorithm," John Wiley & Sons, Inc., 2004