

SỬ DỤNG THUẬT TOÁN MÔMEN TỐI THIỂU TỔNG QUÁT CÂN BẰNG TÀI NGUYÊN XÂY DỰNG

UTILIZING THE GENERALIZED MINIMUM MOMENT ALGORITHM FOR LEVELING
CONSTRUCTION RESOURCES

➔ Vũ Trọng Quang, Nguyễn Quang Nam - Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn, Hà Nội, Việt Nam
quangnam@lqdtu.edu.vn

Tóm tắt: Bài báo này trình bày nội dung thuật toán mômen tối thiểu tổng quát (Generalized Minimum Moment Algorithm - GMMA) như một phương pháp để cân bằng tài nguyên với điều kiện thời gian thực hiện dự án là cố định và tài nguyên không giới hạn. Quy trình áp dụng thuật toán bao gồm hai bước tính toán chính: chuyển tiếp tiến và chuyển tiếp lùi. Trong mỗi bước, các công việc được lựa chọn để dịch chuyển từ một tập hợp các công việc trên cùng một bước trình tự với mục tiêu tối ưu hóa hệ số cải thiện để làm giảm mô men của biểu đồ tài nguyên. Trên cơ sở đó, một ví dụ số được thực hiện để làm rõ hiệu quả và khả năng ứng dụng của thuật toán. Kết quả cho thấy thuật toán mô men tối thiểu tổng quát là một công cụ hiệu quả về mặt tính toán và có tính thực hành cao để cân bằng tài nguyên xây dựng.

Từ khóa: Tiến độ xây dựng; quản lý dự án; cân bằng tài nguyên; mômen tối thiểu tổng quát.

1. Đặt vấn đề

Vấn đề lập kế hoạch tiến độ và cân bằng tài nguyên là một trong những vấn đề thách thức nhất trong lĩnh vực quản lý dự án. Trong thực tế, người lập kế hoạch dự án thường phải đối mặt với hai vấn đề xung đột: ràng buộc về tài nguyên và ràng buộc về thời gian. Cân bằng lại tài nguyên là một giải pháp để giải quyết vấn đề này với ràng buộc giới hạn về thời gian. Theo định nghĩa, cân bằng tài nguyên là quá trình giảm thiểu sự dao động trong nhu cầu sử dụng tài nguyên hàng ngày bằng cách điều chỉnh và dịch chuyển các công việc trong một lịch trình đã có, nhằm phân bổ nhu cầu vào các thời điểm có tổng mức sử dụng tài nguyên thấp hơn [1]. Quá trình cân bằng tài nguyên có thể được thực hiện trong hai trường hợp: với tài nguyên hạn chế và tài nguyên không hạn chế. Khi tài nguyên bị hạn chế, quá trình cân bằng có thể làm kéo dài thời gian thực hiện dự án, trong khi với tài nguyên không hạn chế, thời gian thực hiện dự án được giữ nguyên [2]. Để giải quyết bài toán cân bằng tài nguyên không hạn chế, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện từ những năm 1960 [3-8]. Phương pháp Burgess được giới thiệu bởi Burgess và Killebrew vào năm 1962 là một trong những phương pháp

Abstract: This paper presents the Generalized Minimum Moment Algorithm (GMMA) as a resource-leveling technique for projects with a fixed duration and unlimited resources. The algorithm consists of two main calculation steps: the forward pass and the backward pass. During each pass, jobs are selected and moved from a set of tasks within the same sequence step to optimize the improvement factor to minimize the moment of the resource histogram. To showcase the effectiveness and practicality of the algorithm, a numerical example is provided. The results clearly show that the GMMA is a highly practical and computationally efficient tool for resource balancing in construction projects.

Keywords: Construction schedule; project management; resource leveling, Generalized Minimum Moment.

đầu tiên áp dụng cho bài toán này [3]. Tuy nhiên, phương pháp này phụ thuộc nhiều vào biểu diễn các hoạt động của sơ đồ mạng, dẫn đến những hạn chế nhất định. Năm 1978, Harris đã cải tiến phương pháp Burgess và phát triển thuật toán mômen tối thiểu (Minimum Moment Algorithm - MMA) cung cấp một cách tiếp cận hiệu quả hơn bằng việc giảm mômen của biểu đồ tài nguyên quanh trục thời gian và được ứng dụng rộng rãi trong thực tế [8]. Trên cơ sở của MMA, một phương pháp kinh nghiệm được gọi là "phương pháp PACK" được Harris giới thiệu vào năm 1990 sử dụng phương pháp tìm kiếm để chỉ định các công việc cho những ngày cụ thể và xây dựng biểu đồ tài nguyên, sao cho biểu đồ tài nguyên cuối cùng có dạng hình chữ nhật và mô men của nó quanh trục thời gian đạt đến giá trị cực tiểu [9]. Tiếp theo, vào năm 2000, Hiyassat đã mở rộng phương pháp của Harris bằng cách tích hợp các yếu tố như giá trị thời gian dự trữ tự do và tỷ lệ tài nguyên của các công việc trong việc lựa chọn công việc để dịch chuyển sang vị trí mới [10]. Sau đó, ông tiếp tục phát triển phương pháp này cho trường hợp mạng có nhiều loại tài nguyên [11]. Ngoài ra, Hegazy (1999) đã ứng dụng thuật toán di truyền nhằm giải quyết bài toán cấp và phân bổ tài

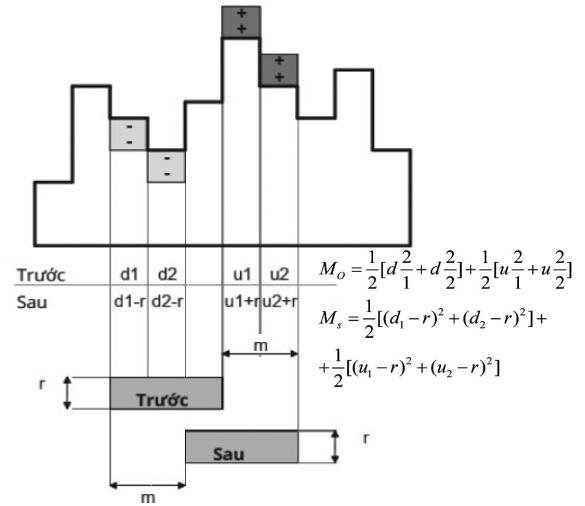
nguyên với mục tiêu giảm mômen của biểu đồ tài nguyên, tuy nhiên chưa xét đến khả năng phân chia các công việc [12]. Mỗi phương pháp kể trên đều có những ưu điểm và hạn chế riêng, do đó việc tiếp tục nghiên cứu, cải tiến và mở rộng các phương pháp cân bằng tài nguyên vẫn luôn là chủ đề nhận được nhiều sự quan tâm.

Nghiên cứu này giới thiệu thuật toán mômen tối thiểu tổng quát (Generalized Minimum Moment Algorithm - GMMA), được Martinez và Ioannou phát triển năm 1992 để cân bằng tài nguyên với điều kiện tài nguyên không hạn chế và thời lượng dự án cố định [2]. Phương pháp này bao gồm hai quá trình tính toán: chuyển tiếp tiến và chuyển tiếp lùi dựa trên việc chọn lọc các công việc để dịch chuyển từ tập hợp các công việc trên cùng một bước trình tự với mục tiêu tối ưu hóa hệ số cải thiện nhằm giảm mômen của biểu đồ tài nguyên. Một ví dụ minh họa đã được thực hiện nhằm chứng minh hiệu quả và khả năng ứng dụng của thuật toán. Với ưu thế trong việc xử lý các mạng có quy mô lớn và mang lại hiệu quả tính toán cao, GMMA là một công cụ hữu ích không chỉ trong nghiên cứu, giảng dạy tại các cơ sở đào tạo mà còn trong thực hành quản lý dự án xây dựng. Tuy nhiên, phương pháp này hiện vẫn chưa được đề cập đến trong các giáo trình, tài liệu cũng như trong ứng dụng thực tế tại Việt Nam.

2. Thuật toán mômen tối thiểu tổng quát cân bằng tài nguyên

Mục tiêu của quá trình cân bằng tài nguyên là giảm thiểu sự biến động trong nhu cầu sử dụng tài nguyên hàng ngày trong suốt thời gian thực hiện dự án, đồng thời hạn chế sự xuất hiện của các đỉnh nhọn cao ngắn hạn hoặc các vùng trũng sâu dài hạn trên biểu đồ tài nguyên. Trong điều kiện lý tưởng, khi nhu cầu tài nguyên mỗi ngày được duy trì ổn định, biểu đồ tài nguyên sẽ có dạng hình chữ nhật và mômen của biểu đồ tài nguyên đối với trục thời gian đạt giá trị cực tiểu. Tuy nhiên, để đạt được trạng thái lý tưởng này là rất khó khăn trong thực tế triển khai dự án [9]. Khi nhu cầu sử dụng tài nguyên biến động, hình dạng biểu đồ tài nguyên sẽ bị biến đổi, làm tăng giá trị mômen tương ứng.

Xét một công việc J với yêu cầu tài nguyên hàng ngày r_j được dịch chuyển theo thời gian, biểu đồ tài nguyên giảm r_j cho mỗi ngày ở vị trí ban đầu và được tăng lên bằng r_j cho mỗi ngày ở vị trí mới. Hình 1 cho thấy một phần của biểu đồ tài nguyên trên đó công việc J sẽ được dịch chuyển từ vị trí ban đầu sang vị trí mới với ngày. Số m ngày mà biểu đồ tài nguyên bị giảm và được tăng lên là bằng nhau, những ngày còn lại của biểu đồ không bị thay đổi.



Hình 1. Biểu đồ tài nguyên khi thay đổi công việc

Gọi d_i là yêu cầu tài nguyên ban đầu của những ngày trước khi biểu đồ tài nguyên bị giảm đi và u_i là yêu cầu tài nguyên ban đầu của những ngày trước khi biểu đồ được tăng lên. Khi đó:

Giá trị mômen ban đầu của những ngày biểu đồ tài nguyên thay đổi:

$$M_o(J) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m d_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m u_i^2 \quad (1)$$

Giá trị mômen sau khi dịch chuyển công việc J đi S_j ($S_j = 1, 2, \dots, FF_j$) ngày là:

$$\begin{aligned} M_s(J, S_j) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (d_i - r_j)^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (u_i + r_j)^2 \\ &= \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^m (d_i^2 - 2r_j d_i + r_j^2) + \sum_{i=1}^m (u_i^2 + 2r_j u_i + r_j^2) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó: S_j số ngày dịch chuyển công việc J; là dự trữ tự do của công việc J.

Sự khác biệt giữa hai giá trị này được định nghĩa là hệ số cải thiện. Do đó, khi dịch chuyển công việc J bằng một dịch chuyển S_j sự thay đổi trong mômen $IF(I, S_j)$ là:

$$\begin{aligned} IF(J, S_j) &= \Delta M = M_o(J) - M_s(J, S_j) \\ &= r_j \left[\sum_{i=1}^m d_i - \sum_{i=1}^m u_i - m r_j \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó: m là số ngày mà yêu cầu tài nguyên hàng ngày giảm xuống hoặc tăng lên là giá trị nhỏ nhất giữa S_j và thời gian T_j của công việc, $m = \min(T_j, S_j)$.

Hệ số cải thiện định lượng mức giảm mômen của biểu đồ tài nguyên khi một công việc được dịch chuyển. Hệ số này sử dụng để xác định công việc được lựa chọn để dịch chuyển từ một tập hợp các công việc nhất định trên một bước trình tự nhằm giảm mômen biểu đồ xuống mức tối đa. Hệ số cải thiện $IF(J, S_j) > 0$ cho thấy sự thay đổi tích cực về

hình dạng của biểu đồ tài nguyên sau mỗi lần dịch chuyển.

Thuật toán mômen tối thiểu tổng quát yêu cầu kiểm tra toàn bộ các công việc không quan trọng tại mỗi bước trình tự. Đối với từng công việc, hệ số cải thiện được tính toán tại mỗi ngày mà công việc đó có thể dịch chuyển. Công việc có giá trị hệ số cải thiện lớn nhất sẽ được ưu tiên lựa chọn để dịch chuyển. Ở mỗi vòng lặp tiếp theo, hệ số cải thiện của các công việc còn lại sẽ được cập nhật và công việc có hệ số cải thiện lớn nhất tiếp tục được chọn cho bước dịch chuyển tiếp theo.

Bên cạnh đó, GMMA vận hành thông qua hai quá trình tính toán: chuyển tiếp tiến và chuyển tiếp lùi. Quá trình chuyển tiếp tiến được bắt đầu từ lịch trình sớm nhất của các công việc, trong đó các công việc được dịch chuyển dần về phía sau của trục thời gian nếu việc dịch chuyển đó làm giảm mômen của biểu đồ. Sau đó, quá trình chuyển tiếp lùi sẽ thực hiện việc dịch chuyển ngược lại, tức là đưa các công việc về gần thời điểm bắt đầu nhằm tiếp tục tối ưu hóa mômen và đồng thời tránh tình trạng dồn ứ tài nguyên vào giai đoạn cuối của dự án.

3. Trình tự các bước thực hiện cân bằng tài nguyên sử dụng thuật toán mômen tối thiểu tổng quát

Trình tự các bước thực hiện cân bằng tài nguyên sử dụng thuật toán mômen tối thiểu tổng quát được thể hiện qua các bước sau [2]:

3.1. Các bước sơ bộ

Các bước sơ bộ sau đây là bắt buộc để áp dụng thuật toán:

- Tính toán sơ đồ mạng và chuyển sơ đồ mạng sang sơ đồ ngang.
- Lên lịch cho tất cả các công việc bắt đầu sớm.
- Chỉ định các bước trình tự hoặc định danh nhóm phù hợp cho mỗi công việc.
- Nhóm các công việc cho phù hợp (theo bước trình tự sớm hoặc muộn).
- Tính toán dự trữ tự do khởi sớm của từng công việc.
- Tính toán biểu đồ tài nguyên hàng ngày tương ứng với lịch trình sớm.

3.2. Chuyển tiếp tiến

Khi các bước sơ bộ hoàn tất, phần đầu tiên của thuật toán có thể được áp dụng. Phần đầu tiên được gọi là chuyển tiếp tiến. Bắt đầu với nhóm công việc cuối cùng, các bước sau được thực hiện:

Bước 1: Thay đổi tất cả các công việc J mà yêu cầu tài nguyên hàng ngày $r_j = 0$ bằng số dự trữ tự do FF_j của chúng.

Bước 2: Loại tất cả các công việc không có dự trữ

tự do ra khỏi nhóm. Nếu không còn công việc nào trong nhóm, chuyển sang bước 6.

Bước 3: Đối với các công việc khác công việc J trong nhóm:

- Tính hệ số cải thiện cho tất cả các chuyển tiếp có thể có S_j ($S_j = 1, 2, \dots, FF_j$).
- Chọn sự thay đổi tạo ra hệ số cải thiện lớn nhất.
- Nếu nhiều ngày thay đổi tạo ra hệ số cải thiện tối đa, chọn ngày cho giá trị lớn nhất.
- Gọi sự thay đổi này là S_j^* và hệ số cải thiện tối đa tương ứng $IF_j^* = IF(J, S_j^*)$.

Bước 4: Từ bên trong các công việc ở bước 3:

- Chọn cái có IF_j^* lớn nhất.
- Nếu hoà, chọn cái có r_j lớn nhất.
- Nếu vẫn hoà, chọn cái có S_j^* lớn nhất.
- Nếu vẫn còn ràng buộc, chọn cái có ngày bắt đầu sớm (ESD_j) mới nhất.

Bước 5: Nếu công việc J có $IF_j^* < 0$, chuyển sang bước 6, ngược lại:

- Tiến hành dịch chuyển.
- Cập nhật dự trữ tự do khởi sớm và muộn cho tất cả các công việc.
- Cập nhật biểu đồ tài nguyên.
- Quay lại bước 2.

Bước 6: Xem xét nhóm các công việc trong nhóm trước đó và sau đó quay lại bước 1 cho đến khi tất cả các nhóm đã được xem xét.

3.3. Chuyển tiếp lùi

Phần thứ hai của thuật toán được gọi là chuyển tiếp lùi. Trình tự thực hiện các bước tương tự như quá trình chuyển tiếp tiến ngoại trừ việc xem xét các nhóm theo thứ tự ngược lại. Mặc dù, hầu hết việc cân bằng tài nguyên được thực hiện qua các bước chuyển tiếp tiến, bước chuyển tiếp lùi là cần thiết. Nó khôi phục dự trữ tự do cho các công việc và có thể làm giảm hơn nữa mômen của biểu đồ tài nguyên.

Việc áp dụng GMMA được hoàn thành sau khi kết thúc quá trình chuyển tiếp lùi. Các kết quả thực nghiệm đã chỉ ra rằng, mặc dù sự cải thiện tài nguyên có thể không tối ưu, nhưng sự biến động trong yêu cầu tài nguyên hàng ngày của dự án gần như được cải thiện một cách đáng kể [2].

3.4. Hệ số cải thiện tài nguyên

Hiệu quả ở từng bước cân bằng tài nguyên có thể được đo lường bằng hệ số cải thiện tài nguyên RIC (Resource Improvement Coefficient), được định nghĩa là [2]:

$$RIC = \frac{n \sum_{i=0}^{i < n} y_i^2}{\sum_{i=0}^{i < n} y_i} \quad (4)$$

Trong đó n thời gian hoàn thành dự án và y_i là giá trị của biểu đồ ở ngày thứ i.

Hệ số cải thiện tài nguyên là thước đo độ mịn của biểu đồ tài nguyên. Giá trị RIC thể hiện hiệu quả của quá trình cân bằng tài nguyên. Lý tưởng nhất là khi yêu cầu tài nguyên hàng ngày không đổi thì biểu đồ tài nguyên là một hình chữ nhật tương ứng với giá trị RIC bằng 1. Trong quá trình cân bằng, cả biểu đồ tiến độ và biểu đồ tài nguyên đều được cập nhật để phản ánh những thay đổi này.

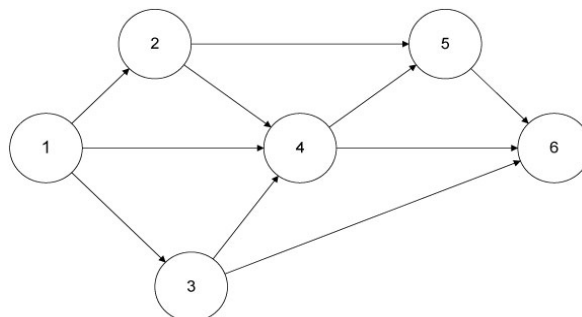
4. Ví dụ số

4.1. Dữ liệu bài toán

Một ví dụ số được thực hiện nhằm minh họa trình tự các bước triển khai và khả năng ứng dụng thuật toán mô men tối thiểu tổng quát. Để phục vụ mục đích này, một sơ đồ mạng gồm 9 công việc đã được áp dụng, yêu cầu một loại tài nguyên duy nhất (theo tài liệu tham khảo [13]). Mặc dù trong thực tế, để hoàn thành các công việc có thể cần đến nhiều loại tài nguyên khác nhau, trong phạm vi nghiên cứu này chỉ xét đến một loại tài nguyên (nhân công) nhằm đơn giản hóa bài toán và tập trung đánh giá hiệu quả của thuật toán. Thông tin chi tiết cho từng công việc bao gồm mối quan hệ ưu tiên, thời gian thực hiện và nhu cầu tài nguyên hàng ngày được trình bày trong Bảng 1 và minh họa bằng sơ đồ mạng trên Hình 2.

Bảng 1. Các thông số chính của công việc

Công việc	Thời gian (ngày)	Công việc trước	Tài nguyên (người)
1-2	2	-	6
1-3	4	-	3
1-4	5	-	5
2-4	4	1-2	4
2-5	3	1-2	7
3-6	7	1-3	4
4-5	6	1-4; 2-4; 3-4	5
4-6	4	1-4; 2-4; 3-4	3
5-6	2	2-5; 4-5	5



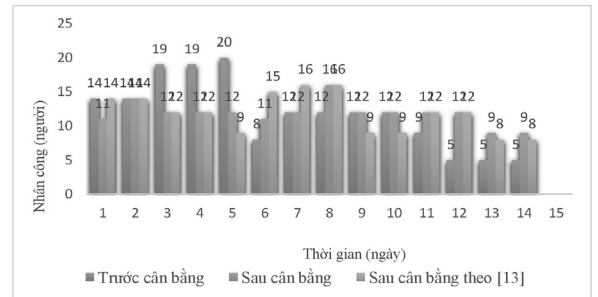
Hình 2. Sơ đồ mạng ví dụ để lập tiến độ và cân bằng tài nguyên

4.2. Kết quả và đánh giá

Trên cơ sở phân tích quá trình công nghệ, ý đồ tổ chức thi công, số liệu thời gian và tài nguyên của các công việc được thể hiện ở Bảng 1, áp dụng thuật toán mô men tối thiểu tổng quát để cân bằng tài nguyên. Kết quả có được một biểu đồ tiến độ và giá trị tài nguyên hàng ngày trước khi cân bằng cùng với những thay đổi trung gian qua các bước cân bằng tài nguyên được thể hiện trên Hình 3.

Trong ví dụ này, 04 công việc (công việc 4-6, 2-5, 3-6 và 1-3) được ưu tiên lựa chọn để dịch chuyển thông qua bốn lượt chuyển tiếp tiến (lần lượt với công việc 4-6 → 04 ngày, công việc 2-5 → 03 ngày, công việc 3-6 → 03 ngày và công việc 1-3 → 02 ngày) và 02 công việc (công việc 1-3 và 4-6) được ưu tiên lựa chọn thông qua hai lượt chuyển tiếp lùi (lần lượt công việc 1-3 ← 01 ngày và công việc 4-6 ← 02 ngày). Kết thúc quá trình chuyển tiếp lùi, các bước cân bằng tài nguyên được hoàn thành. Một lịch trình được sắp xếp lại và yêu cầu tài nguyên hàng ngày được cập nhật. Kết quả được thể hiện trên Hình 4.

Sự thay đổi của biểu đồ nhân lực trước cân bằng, sau khi cân bằng sử dụng GMMA và theo tài liệu [13] cho sơ đồ mạng ví dụ được thể hiện trên Hình 5.



Hình 5. Mức độ biến động tài nguyên trước và sau cân bằng

Từ các kết quả thu được, có thể thấy rằng việc áp dụng thuật toán mô men tối thiểu tổng quát đã làm giảm đáng kể giá trị RIC. Cụ thể, RIC của giải pháp trước khi cân bằng là 1,1736 và sau khi áp dụng GMMA để cân bằng, RIC giảm xuống còn 1,0202. Mức sử dụng tài nguyên cao nhất trước khi cân bằng là 20 và 19 (người), sau khi cân bằng, mức sử dụng tài nguyên giảm xuống còn 12 người. Sự thay đổi lớn ở xảy ra vào ngày thứ 3, ngày thứ 4 và ngày thứ 5. Điều này dẫn đến mức độ biến động trong việc sử dụng tài nguyên hàng ngày được giảm xuống mà không làm thay đổi thời gian hoàn thành dự án cũng như số lượng tài nguyên cần thiết.

Tác giả cũng tiến hành so sánh kết quả tính toán trên với kết quả tính toán trong tài liệu [13] cho thấy các số liệu về biểu đồ tiến độ, đường găng và biểu đồ tài nguyên trước cân bằng (khi cho các công việc

Ngày → Công việc	Thời gian	Nhân công	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1 - 2	2	6	■														
2 - 4	4	4		■													
4 - 5	6	5			■												
5 - 6	2	5												■			
1 - 3	4	3	□														
1 - 4	5	5	□														
2 - 5	3	7		□													
3 - 6	7	4			□												
4 - 6	4	3					□										
Tổng nhân công (Trước cân bằng)			14	14	19	19	20	8	12	12	12	12	9	5	5	5	
(4-6) → 4	4	3							-3	-3	-3	-3	+3	+3	+3	+3	
Tổng			14	14	19	19	20	8	9	9	9	9	12	8	8	8	
(2-5) → 3	3	7			-7	-7	-7	+7	+7	+7							
Tổng			14	14	12	12	13	15	16	16	9	9	12	8	8	8	
(3-6) → 3	7	4					-4	-4	-4					+4	+4	+4	
Tổng			14	14	12	12	9	11	12	16	9	9	12	12	12	12	
(1-3) → 2	4	3	-3	-3			+3	+3									
Tổng			11	11	12	12	12	14	12	16	9	9	12	12	12	12	
(1-3) ← 1	4	3		+3				-3									
Tổng			11	14	12	12	12	11	12	16	9	9	12	12	12	12	
(4-6) ← 2	4	3									+3	+3			-3	-3	
Tổng			11	14	12	12	12	11	12	16	12	12	12	12	9	9	

Ký hiệu: ■ Công việc quan trọng □ Công việc không quan trọng

Hình 3. Biểu đồ tiến độ, tổng tài nguyên (trước cân bằng) và các bước trung gian cân bằng tài nguyên

Ngày → Công việc	Thời gian	Nhân công	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1 - 2	2	6	■														
2 - 4	4	4		■													
4 - 5	6	5			■												
5 - 6	2	5												■			
1 - 3	4	3		□													
1 - 4	5	5	□														
2 - 5	3	7					□										
3 - 6	7	4							□								
4 - 6	4	3								□							
Tổng tài nguyên (Sau cân bằng)			11	14	12	12	12	11	12	16	12	12	12	12	9	9	

Ký hiệu: ■ Công việc quan trọng □ Công việc không quan trọng

Hình 4. Biểu đồ tiến độ và tổng tài nguyên (sau cân bằng)

khởi sớm) là hoàn toàn giống nhau. Tuy nhiên, sau khi áp dụng GMMA, biểu đồ tài nguyên có sự cải thiện đáng kể. Cụ thể, RIC sau cân bằng là 1,0202, trong khi ở tài liệu [13] RIC đạt 1,0720. Kết quả này thể hiện rõ hiệu quả của việc áp dụng thuật toán mômen tối thiểu tổng quát để cân bằng tài nguyên. Trong ví dụ cụ thể này, GMMA mang lại giá trị RIC thấp hơn, đồng nghĩa với việc giải pháp tối ưu hơn.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, thuật toán mômen tối thiểu tổng quát được áp dụng để cân bằng tài nguyên. Điểm nổi bật của thuật toán này là tiêu chí lựa chọn công việc cần dịch chuyển và được thực hiện thông qua hai quá trình tính toán chính: chuyển tiếp tiến và chuyển tiếp lùi với mục tiêu giảm mô men của biểu đồ tài nguyên. Kết quả nghiên cứu từ bài toán cân bằng tài nguyên được trình bày ở trên, cùng với kết quả từ nghiên cứu trong tài liệu [13] cho thấy rằng thuật toán mômen tối thiểu tổng quát mang lại hiệu quả về mặt tính toán và có tính thực hành cao trong giải quyết bài toán cân bằng tài nguyên.

Tuy nhiên, vấn đề nghiên cứu vẫn còn một số hạn chế. Cụ thể, giả định rằng chỉ có một nguồn tài nguyên duy nhất và cố định, đồng thời bài toán khảo sát hiện tại còn khá đơn giản, chỉ được minh họa qua một ví dụ. Mặc dù vậy, với sự phát triển mạnh mẽ của máy tính hiện nay thì sự đơn giản trong lập chương trình tính là một ưu tiên lựa chọn của người sử dụng, đồng thời giúp GMMA dễ dàng được áp dụng rộng rãi. Đây là một cách tiếp cận hữu ích không chỉ trong nghiên cứu và học tập mà còn trong thực tế để quản lý tiến độ và cân bằng tài nguyên trong các dự án xây dựng. □

Tài liệu tham khảo

- Gordon, J., and Tulip, A. (1997). "Resource scheduling." *Int. J. Proj. Mgmt.*, Guilford, U.K., 15(6), 359–370.
- Martinez, Julio C. and Ioannou, Photios G. (1992). "CPMLevel, Resource Leveling Using the Generalized Minimum Moment Algorithm, Reference Manual." Technical Report UMCEE 92-14, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Burgess A R, Killebrew J B (1962). Variation in activity level on a cyclical arrow diagram. *Journal of Industrial Engineering*, 13(2): 76– 83.
- Wagner H M, Giglio R J, Glaser R G (1964). Preventive maintenance scheduling by mathematical programming. *Management Science*, 10 (2): 316–334.
- Ahuja H N (1976). *Construction Performance Control by Networks*. New York: John Wiley and Sons.
- Popescu C M (1976). *How to use CPM in practice, Part II - Resources*. Austin: University of Texas at Austin.
- Wiest J D, Levy F K (1977). *A Management Guide to PERT/CPM: With GERT/PDM/DCPM and Other Networks*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Harris R B (1978). *Precedence and Arrow Networking*

Techniques for Construction. New York: John Wiley and Sons.

- Harris R B (1990). Packing method for resource leveling (PACK). *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(2): 331– 350.
- Hiyassat, M. A. S. (2000). Modification of minimum moment approach in resource leveling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(4), 278-284.
- Hiyassat, M. A. S. (2001). Applying modified minimum moment method to multiple resource leveling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(3), 192-198.
- Hegazy, T. (1999). Optimization of resource allocation and leveling using genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(3), 167-175.
- Lê Văn Kiểm, Ngô Quang Tường (2008). *Quản lý dự án bằng sơ đồ mạng*. Nhà xuất bản xây dựng, tr 115-120.