

**GIẢI THUẬT TABU CHO BÀI TOÁN
CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT:
Một nghiên cứu so sánh kết hợp thay đổi lời giải ban đầu
và điều kiện cải thiện lời giải**

ThS. Đường Võ Hùng¹

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc so sánh điều kiện cải thiện của thuật toán TABU, đồng thời kết hợp với việc thay đổi lời giải ban đầu cung cấp cho giải thuật. Nghiên cứu nhằm hoàn thiện giải thuật TABU, thuật toán gần đúng để giải bài toán lớn, được ứng dụng để giải bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp cho các nhà quản lý, nhà đầu tư lời giải nhanh chóng và hiệu quả cho việc thiết kế dây chuyền sản xuất theo nhu cầu cho trước. Kết quả nghiên cứu được kiểm chứng với những bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất đã được công bố trên các tạp chí quốc tế và thông qua chương trình của phần mềm LINGO. Ngoài ra, lời giải chi tiết cho một trường hợp ứng dụng thực tế cũng được đề cập trong nghiên cứu này.

Từ khóa: thuật toán Tabu, cân bằng dây chuyền sản xuất.

ABSTRACT

This research focuses on comparing improvement processes (first improvement and best improvement), and changing initial solution provided for Tabu search algorithm, that is a heuristic method for solving combinatorial optimization problems. Moreover, this research attempts to simplify Tabu search algorithm for practical implementation, and provides completed solutions for assembly line balancing problems. The research solutions will offer the excellent alternatives for managers and investors in production lines design. In terms of validity, all results are compared with optimal values proposed by LINGO programs and previous studies. A detailed solution of a case study is also presented in this research.

Keywords: Tabu search algorithm, assembly line balancing problems.

1. GIỚI THIỆU

Chúng ta biết rằng bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất được phân thành 2 dạng (Mastor, 1970, Hùng, 2011). Dạng 1: với thời gian chu kỳ cho trước, thiết kế dây chuyền sản xuất với số trạm làm việc là ít nhất, bài toán này tương ứng với việc thiết kế mới dây chuyền; Dạng 2: dựa trên dây chuyền sản xuất đã có sẵn (biết trước

số trạm làm việc) tái thiết kế dây chuyền sản xuất với sản lượng là cao nhất, hay nói cách khác thời gian chu kỳ là nhỏ nhất, bài toán này tương ứng với việc tận dụng lại dây chuyền cũ sao cho hiệu quả nhất. Trong điều kiện sản xuất của Việt Nam hiện nay, thiết kế mới hay tận dụng lại dây chuyền đã đầu tư chưa lâu vẫn thực sự cần thiết cho các nhà quản lý và đầu tư. Chúng

¹ Khoa Quản lý Công nghiệp, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG TP.HCM.

ta biết rằng, các doanh nghiệp sản xuất của Việt Nam thường phải nhập dây chuyền sản xuất từ nước ngoài, giá thành công nghệ là khá cao trong việc đáp ứng nhu cầu sản xuất. Hơn nữa, khi đã đầu tư công nghệ sản xuất, thì công nghệ bị lỗi thời cũng là một vấn đề lớn, tận dụng lại cũng là một thách thức đối với các nhà thiết kế, quản lý và đầu tư (Hùng, 2011), điều này cần thêm nữa những nghiên cứu cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất. Tuy nhiên, bản chất của bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất là khá phức tạp, tổ hợp lời giải lớn, đòi hỏi mô hình và thuật toán phù hợp (Suresh, et al., 1994, Bautista and Pereira, 2007, 2009, Hùng, 2004, 2011,...).

Để tìm lời giải cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, các nhà nghiên cứu đã bắt đầu thực hiện từ những năm 50 của thế kỷ trước như Mastor (1970), Bowman (1960),... Tuy nhiên, để có thể giải được bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, chúng ta cần nhiều giải thuật có thể giải được bài toán lớn và cho lời giải nhanh chóng, đủ độ tin cậy cần thiết. Ngày nay, có nhiều phương pháp giải đã được công bố trên các tạp chí quốc tế như Patterson và Albracht (1975) đã thành công khi áp dụng bài toán quy hoạch 0-1 trong nghiên cứu của mình; Bowman (1960) đã đề nghị hai mô hình quy hoạch nguyên dùng cho bộ dữ liệu xác định. Bên cạnh đó, quy hoạch động cũng là một trong những phương pháp được công bố và áp dụng thành công như công trình của Held, et al., (1963), và Bautista and Pereira (2009). Tuy nhiên, mô hình quy hoạch động của Held, et al., (1963) thì chỉ áp dụng cho bài toán nhỏ; Trong khi đó, Bautista and Pereira (2009) áp dụng được cho bài toán lớn dựa trên nền tảng lời giải gần đúng để phân bổ công việc. Ngoài ra, những giải thuật hiện đại khác cũng lần lượt được công bố và áp dụng như kỹ thuật SA (Simulated Annealing) được nghiên cứu bởi Suresh và Sahu (1994), và Woodruff

(1994); giải thuật gen (genetic) cho lời giải gần đúng cũng được công bố bởi Suresh, et al., (1996); trong khi đó, Yasunori, et al., (1994) đã đề nghị một giải pháp mới để giải quyết bài toán lớn bằng cách áp dụng giải thuật mạng Hopfield. Thời gian gần đây, để giải quyết ràng buộc về thời gian và sức chứa kho bãi, ràng buộc cơ bản về năng lực hỗ trợ cho sản xuất, Bautista và Pereira (2007) áp dụng thành công giải thuật Ant (Ant algorithm) trong nghiên cứu của mình.

Mặc dù nhiều thuật toán đã được công bố và ứng dụng để cung cấp lời giải cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, tuy nhiên những giải thuật này khá phức tạp để hiểu, đòi hỏi những kỹ thuật tính toán cao cấp. Do vậy, trong khoảng 2 thập niên trở lại đây, từ khi thuật toán TABU được công bố (Glover, 1990) và ứng dụng rộng rãi cho nhiều lĩnh vực, đặc biệt đối với bài toán mà tập lời giải lớn và phức tạp, mở ra những hướng nghiên cứu mới. Giải thuật này rất phù hợp với bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, nên ngày càng nhiều công trình nghiên cứu ứng dụng liên quan đến giải thuật được công bố trên các tạp chí khoa học như Chiang (1998), Hùng (2004 & 2011), Lapierre et al., (2006) và Ozcan và Toklu (2009),...

Trong khi đó theo điều kiện nghiên cứu của Việt Nam hiện nay, các nghiên cứu về bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, cũng như các ứng dụng thuật toán Tabu rất hiếm. Đây cũng là một cơ hội để tác giả thực hiện nghiên cứu này. Trong nghiên cứu này, một lần nữa giải thuật Tabu được ứng dụng để giải quyết bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất. Nghiên cứu này mở rộng nghiên cứu của Hùng (2004, 2011) áp dụng cho bài toán dạng 1 và dạng 2 bằng cách so sánh sự thay đổi lời giải ban đầu cung cấp cho giải thuật, và chiến lược khảo sát tập lời giải (tương tự như Chiang, 1998), đồng thời nghiên cứu cũng khảo sát điều kiện thoát khỏi vùng lân cận

mới không cải thiện được lời giải để tránh việc giải thuật cho lời giải tối ưu cục bộ. Kết quả của nghiên cứu được kiểm tra với những kết quả được công bố trong các tạp chí, đồng thời giải thuật cũng cung cấp lời giải chi tiết cho một ứng dụng cụ thể.

2. BÀI TOÁN CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT

Theo Mastor (1970), Hùng (2011), bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất được chia thành 2 dạng, và được nghiên cứu rất

hiều trong khoảng 1–2 thập niên trước, chủ yếu tập trung vào bài toán dạng 1.

Bài toán dạng 1 được hiểu là bài toán thiết kế mới dây chuyền sản xuất với yêu cầu về sản lượng cho trước. Hàm mục tiêu của bài toán 1 (theo Mastor 1970, Bowman 1960, Chiang 1998, Hùng 2004,...) là tối thiểu hóa số trạm làm việc hay Min. $Z = n$, với n là số trạm làm việc. Tuy nhiên, phần lớn những nghiên cứu về bài toán 1 đều dùng hàm mục tiêu tương đương khác để tiết giảm số trạm làm việc như sau:

$$\text{Max. } Z = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{k_i} t_{ij} \right)^2 \quad (1)$$

với k_i : số công việc được phân bổ vào trạm thứ i .

Trong khi đó, bài toán dạng 2 được hiểu là bài toán tận dụng dây chuyền sản xuất đã có để sản xuất sản phẩm khác. Trong điều kiện công nghệ thay đổi nhanh như hiện nay, bài toán dạng 2 ít được nghiên cứu hơn. Tuy nhiên, với điều kiện sản xuất của Việt Nam, thì bài toán dạng 2 vẫn có những ứng dụng nhất định (Hùng 2011).

Hàm mục tiêu của bài toán này là tối thiểu hóa thời gian chu kỳ C (hay tối đa hóa sản lượng sản xuất trong cùng đơn vị thời gian), hàm mục tiêu có thể biểu diễn như sau: Min. $Z = C$

Tương tự như bài toán dạng 1, hàm mục tiêu của bài toán dạng 2 cũng được viết lại dưới dạng khác với yêu cầu đảm bảo giảm thiểu thời gian chu kỳ như sau:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^n \left(C - \sum_{j=1}^{k_i} t_{ij} \right) = n.C - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} t_{ij} \quad (2)$$

Trong đó:

C : thời gian chu kỳ

k_i : số công việc được phân bổ vào trạm thứ i

n : số trạm làm việc

t_{ij} : thời gian gia công của công việc j phân bổ vào trạm thứ i

Tương tự như những nghiên cứu trước, trong nghiên cứu này, hàm mục tiêu sử dụng để giải quyết bài toán chủ yếu là các hàm mục tiêu tương đương (1) và (2).

3. THUẬT TOÁN TABU CHO BÀI TOÁN CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT

Thuật toán Tabu đã được nghiên cứu từ thập niên 80, 90 của thế kỷ trước và được Glover (1990) xây dựng khung hướng dẫn và ứng dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau. Tuy được ứng dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhưng ứng dụng trong việc giải quyết bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, đặc biệt là bài toán dạng 1, thì rất thành công như Chiang (1998), Hùng (2004), Lapierre et al., (2006) và Ozcan và Toklu (2009),... Đối với bài toán dạng 2 thì Hùng (2011) cũng đã nghiên cứu thành công mở ra hướng tận dụng lại những dây chuyền cũ cho điều kiện sản xuất của Việt nam.

Thuật toán Tabu đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu đã được công bố, tuy nhiên, nghiên cứu này cũng tóm lược nội dung chính của thuật toán Tabu và mở rộng nội dung tìm hiểu của nghiên cứu này.

3.1. Lời giải ban đầu: Chúng ta biết rằng Tabu là giải thuật cần lời giải ban đầu, từ đó giải thuật sẽ tìm vùng lân cận tìm lời giải tốt hơn để cải thiện lời giải hiện có. Tuy nhiên, giải thuật Tabu không tự xây dựng lời giải đầu tiên cho mình, do vậy, chúng ta phải cung cấp lời ban đầu. Theo những nghiên cứu trước đây (Chiang 1998, Hùng 2004&2011,...) thường sử dụng nguyên tắc công việc theo sau nhiều nhất, nếu có nhiều công việc thỏa mãn nguyên tắc này thì chọn công việc có thời gian gia công dài nhất, trong nghiên cứu này được gọi là *phương pháp 1*. Ngoài ra để so sánh và đánh giá, nghiên cứu dùng cách xây dựng lời giải đầu đơn giản hơn bằng cách phân bổ mỗi công việc vào một trạm làm việc, cách này được gọi là *phương pháp 2*. Cách này đơn giản hóa việc cấp lời giải đầu cho giải thuật, đơn giản hóa tính toán của giải thuật, tạo ra lời giải khả thi trực tiếp. Kết quả của nghiên cứu được so sánh và trình bày trong phần 5.

3.2. Bộ nhớ: Đối với thuật toán Tabu bộ nhớ dùng để kiểm soát tối ưu cục bộ của lời giải, trong hầu hết các nghiên cứu dùng mảng 2 chiều Tabu để kiểm soát di chuyển qua lại của các công việc giữa các trạm.

3.3. Tiêu chuẩn chấp nhận thay đổi: Đây là một tiêu chuẩn quan trọng để chấp nhận một lời giải mới tốt hơn lời giải tốt nhất đang lưu trong bộ nhớ, tiêu chuẩn này giúp lời giải được cải thiện liên tục cho đến khi đạt điều kiện dừng của giải thuật.

3.4. Đa dạng hóa tập lời giải: Đa dạng hóa là một phần quan trọng của giải thuật trong việc tránh tối ưu cục bộ, bằng cách chấp nhận lời giải tốt nhất của tập lời giải hiện tại (mặc dù lời giải này có thể không tốt hơn lời giải hiện tại trong bộ nhớ). Trong trường hợp này giải thuật sẽ bị lặp vì không có lời giải nào cải thiện lời giải trong bộ nhớ, chúng ta dùng bộ nhớ tạm thời này để chấp nhận di chuyển nhằm tạo tập lời giải mới.

3.5. Tiêu chuẩn cải thiện lời giải: Tương tự như những công trình nghiên cứu trước, nghiên cứu này cũng dùng 2 hình thức cải thiện đó là: i) chấp nhận di chuyển đến tập lời giải mới khi tìm được lời giải cải thiện đầu tiên (*first improvement* – **nguyên tắc 1**), nguyên tắc này không tìm hết tập lời giải hiện tại; ii) chấp nhận di chuyển khi toàn bộ tập lời giải hiện tại được khảo sát hết, và lời giải cải thiện nhất sẽ được chọn để thay thế lời giải tốt nhất (*best improvement* – **nguyên tắc 2**). Cả hai nguyên tắc đều được khảo sát và so sánh kết quả.

3.6. Tiêu chuẩn chống tối ưu cục bộ: Trong trường hợp tập lời giải hiện tại không cho bất kỳ lời giải nào tốt hơn lời giải hiện tại (*non-improvement*), theo tiêu chuẩn đa dạng hóa, giải thuật vẫn chấp nhận di chuyển và cập nhật lời giải hiện tại. Điều này dẫn đến lời giải hiện tại sẽ bị thay đổi (*có thể giảm*), do đó, nghiên cứu này có dùng thêm một bộ nhớ để lưu giữ lời giải tốt nhất cho đến hiện tại. Lời giải này chỉ được cập nhật khi giá trị lời giải được chấp nhận tốt hơn lời giải tốt nhất này. Tiêu chuẩn này của nghiên cứu đảm bảo khi đạt điều kiện thoát, lời giải tốt nhất sẽ được đảm bảo, đó là lời giải được xuất ra từ bộ nhớ này.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Bảng 4.1. Kết quả nghiên cứu theo nguyên tắc 1

Bài toán	Thời gian chu kỳ (giây)	Giá trị chặn dưới	Giá trị tối ưu (LINGO)	Kết quả	
				P.1	P.2
Bowman 8 công việc	20	4	5	5	5
Hopfield 8 công việc	36	4	4	4	4
Wooden car toy 22 công việc	11	5	5	5	5
Jackson 11 công việc	7	7	8	8	8
	9	6	6	6	6
	10	5	5	5	5
	13	4	4	4	4
	14	4	4	4	4
	21	3	3	3	3
Dar-el 11 công việc	48	4	4	4	4
	62	3	3	3	3
	94	2	2	2	2
Kenneth - Ramsing 16 công việc	27	5	6	5	5
	28	5	5	5	5
	29	5	5	5	5
	30	5	5	5	5
	31	5	5	5	5
	32	5	5	5	5
	33	5	5	5	5
	34	4	4	4	4

Bài toán	Thời gian chu kỳ (giây)	Giá trị chặn dưới	Giá trị tối ưu (LINGO)	Kết quả	
				P.1	P.2
Hoffman 9 công việc	14	3	3	3	3
Kilbridge - Wester 12 công việc	100	4	5	5	5
Author's Case study 41 công việc	552	5	N/A	5	5

Kilbridge - Wester 45 công việc	57	10	10	10	10
	79	7	7	7	7
	92	6	6	6	6
	110	5	6	6	6
	138	4	4	4	4
	184	3	3	3	3
Mitchell 21 công việc	14	8	8	8	8
	15	7	8	8	8
	21	5	5	5	5
	26	5	5	5	5
	35	3	3	3	3
	39	3	3	3	3
Tonge 70 công việc	176	21	21	21	21
	364	11	11	11	11
	410	9	9	10	10
	468	8	8	8	8
	527	7	7	7	7

Với việc áp dụng thuật toán Tabu cùng sự thay đổi điều kiện đầu cũng như tiêu chuẩn tìm và chọn lời giải tiếp theo, nghiên cứu cũng cho những kết quả nhất định. Kết quả của nghiên cứu được so sánh

với giá trị chặn dưới (lower bound) của số trạm làm việc bé nhất, và kết quả có được từ LINGO. Kết quả cụ thể được trình bày trong các bảng 4.1 và 4.2.

Bảng 4.2. Kết quả nghiên cứu theo nguyên tắc 2

Bài toán	Thời gian chu kỳ (giờ)	Giá trị chặn dưới	Giá trị tối ưu (LINGO)	Kết quả	
				P.1	P.2
Bowman 8 công việc	20	4	5	5	5
Hopfield 8 công việc	36	4	4	4	4
Wooden car toy 22 công việc	11	5	5	5	5
Jackson 11 công việc	7	7	8	8	8
	9	6	6	6	6
	10	5	5	5	5
	13	4	4	4	4
	14	4	4	4	4
	21	3	3	3	3

Dar-el 11 công việc	48	4	4	4	4
	62	3	3	3	3
	94	2	2	2	2
Kenneth - Ramsing 16 công việc	27	5	6	5	5
	28	5	5	5	5
	29	5	5	5	5
	30	5	5	5	5
	31	5	5	5	5
	32	5	5	5	5
	33	5	5	5	5
	34	4	4	4	4

Bài toán	Thời gian chu kỳ (giây)	Giá trị chặn dưới	Giá trị tối ưu (LINGO)	Kết quả	
				P.1	P.2
Hoffman 9 công việc	14	3	3	3	3
Kilbridge - Wester 12 công việc	100	4	5	5	5
Author's Case study 41 công việc	552	5	N/A	5	5
Kilbridge - Wester 45 công việc	57	10	10	10	10
	79	7	7	7	7
	92	6	6	6	6
	110	5	6	6	6
	138	4	4	4	5
	184	3	3	3	3
Mitchell 21 công việc	14	8	8	8	8
	15	7	8	8	8
	21	5	5	5	5
	26	5	5	5	5
	35	3	3	3	3
	39	3	3	3	3
Tonge 70 công việc	176	21	21	21	21
	364	11	11	11	11
	410	9	9	10	10
	468	8	8	8	8
	527	7	7	8	8

Ghi chú:

Giá trị tối ưu (LINGO): giá trị tối ưu có được từ chương trình của phần mềm LINGO.

Giá trị chặn dưới: giá trị nguyên nhỏ nhất (lớn hơn hoặc bằng tổng thời gian công việc thành phần chia cho thời gian chu kỳ).

P.1 và P.2: phương pháp 1 và phương pháp 2 tương ứng với sự thay đổi lời giải ban đầu.

Để minh họa thêm cho giải thuật, nghiên cứu trình bày lời giải chi tiết của bài toán ứng dụng tương ứng với nguyên tắc 1 cho cả 2 phương pháp và được thể hiện trong bảng 4.3 và 4.4. Bài toán ứng dụng là quy trình lắp ráp động cơ xe gắn máy của dòng xe Yamaha, trong biểu đồ quan hệ tiên quyết của 41 công đoạn được giới thiệu trong sơ đồ 5.

Bảng 4.3. Kết quả công việc được phân bổ chi tiết theo phương pháp 1

Số trạm	Công việc tương ứng với trạm	Thời gian mỗi trạm
1	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 15, 16, 17, 27, 28	552
2	11, 18, 22, 23, 24, 31, 34, 38	552
3	9, 14, 20, 21, 30, 32, 33, 35, 36	552
4	3, 10, 13, 19, 25, 26, 29, 37, 39, 41	550
5	40	100

Bảng 4.4. Kết quả công việc được phân bổ chi tiết theo phương pháp 2

Số trạm	Công việc tương ứng với trạm	Thời gian mỗi trạm
1	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 27	552
2	3, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 37, 38	535
3	23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35	552
4	10, 13, 26, 36, 39, 40, 41	552
5	22	115

(cả 2 phương pháp cho kết quả tương đương về số trạm làm việc và thời gian chu kỳ)

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả của nghiên cứu có thể được tóm tắt trong bảng 5.1 như sau:

Bảng 5.1. Tóm tắt và đánh giá kết quả nghiên cứu

	Nguyên tắc 1		Nguyên tắc 2	
	Phương pháp 1	Phương pháp 2	Phương pháp 1	Phương pháp 2
Số bài toán kiểm tra	39	39	39	39
Số bài toán đạt tối ưu	38	38	37	36
Tỷ lệ phần trăm đạt tối ưu	97.44 %	97.44 %	94.87 %	92.31 %

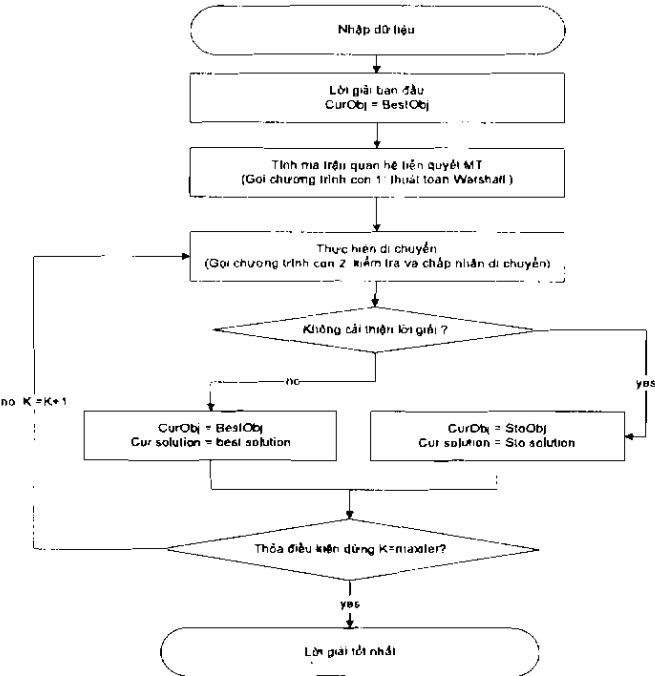
Từ bảng tóm tắt, chúng ta thấy rằng cả 04 nhóm kết quả đều cho tỷ lệ đạt tối ưu khá cao, trong đó nhóm nguyên tắc 2 có nhiều hơn hai trường hợp không đạt tối ưu (Kilbridge – Wester với thời gian chu kỳ là 138, và Tonge với thời gian chu kỳ là 527; trong khi nguyên tắc 1 chỉ có một trường hợp duy nhất là Tonge với thời gian chu kỳ là 410). Tuy nhiên, tỷ lệ tối ưu trên 90% là khá cao, và chúng ta có thể thấy rằng độ tin cậy của nguyên tắc 1 của nghiên cứu cao hơn. Nghiên cứu cũng dùng nguyên tắc này để cung cấp lời giải chi tiết cho bài toán ứng dụng trong bảng 4.3 và 4.4.

Với tỷ lệ đạt tối ưu của giải thuật khá cao, nghiên cứu có thể cung cấp thuật toán Tabu hoàn chỉnh, hoàn toàn có thể ứng dụng để thiết kế các dây chuyền sản xuất. Nghiên cứu này có thể cung cấp lời giải đủ độ tin cậy, và hiệu quả cần thiết cho các nhà thiết kế và các nhà đầu tư để giải

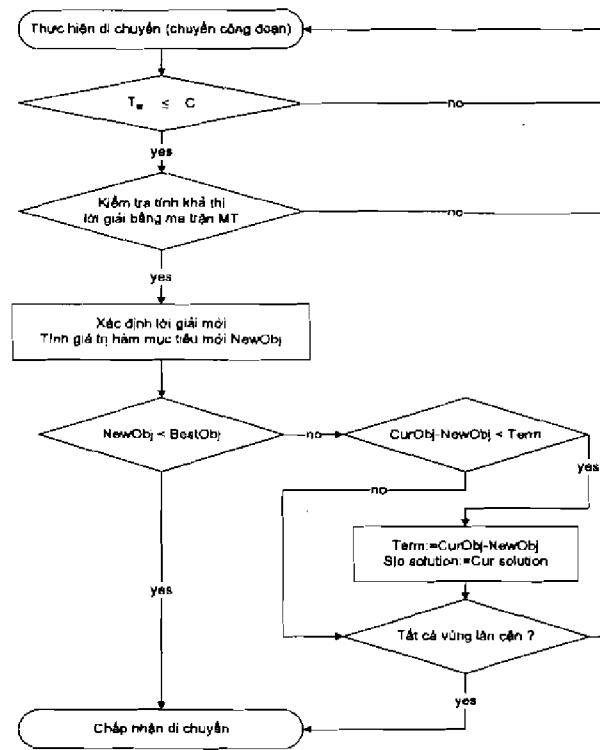
quyết bài toán thiết kế dây chuyền sản xuất, giảm chi phí thiết kế, giảm giá thành các dây chuyền mới. Đặc biệt trong điều kiện sản xuất của Việt Nam, các nhà đầu tư phải nhập nhiều dây chuyền sản xuất do điều kiện thiết kế của chúng ta không đủ độ tin cậy và hiệu quả.

Hiện giải thuật được thực hiện với giả thiết tất cả các thông số thời gian gia công là xác định, điều này thường phù hợp với các thiết bị lắp đặt cho dây chuyền là tự động, thời gian gia công là chính xác, phù hợp với xu hướng gia tăng tự động hóa trong sản xuất của chúng ta. Kết quả có thể sai lệch với các dây chuyền thủ công, bán tự động, do vậy, nghiên cứu này nên được mở rộng theo hướng sử dụng mô hình mà các thông số thời gian có thể thay đổi.

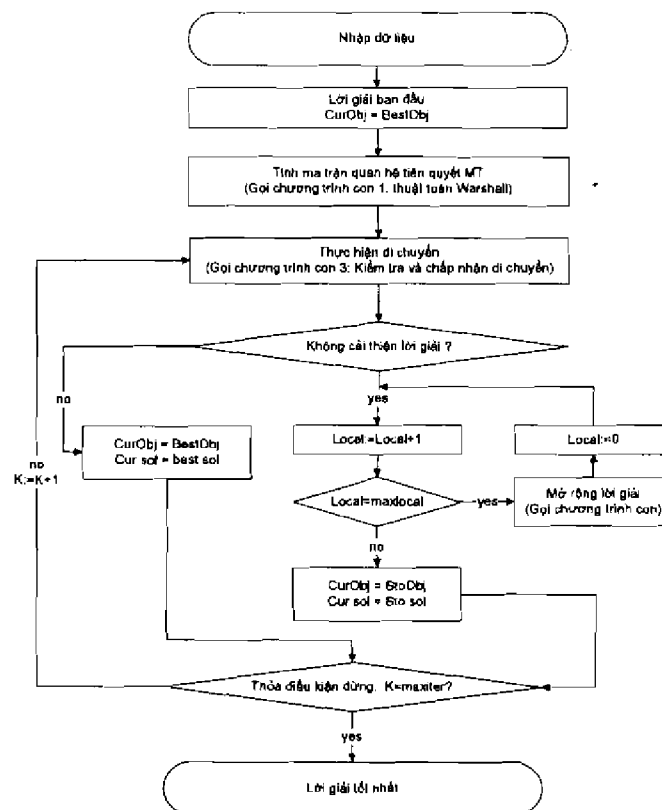
6. MỘT SỐ SƠ ĐỒ KHỞI THAM KHẢO CỦA GIẢI THUẬT



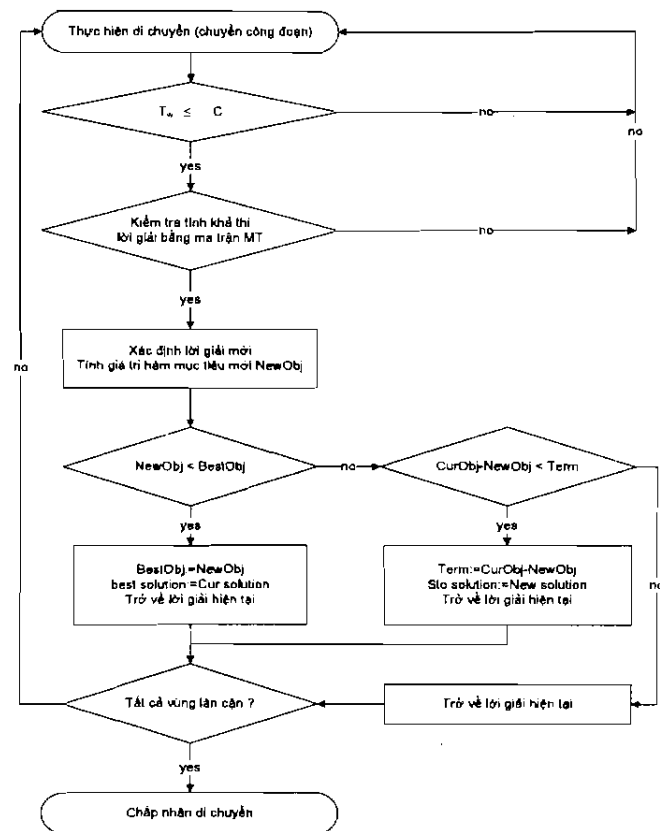
Sơ đồ 1. Thuật toán Tabu theo nguyên tắc 1



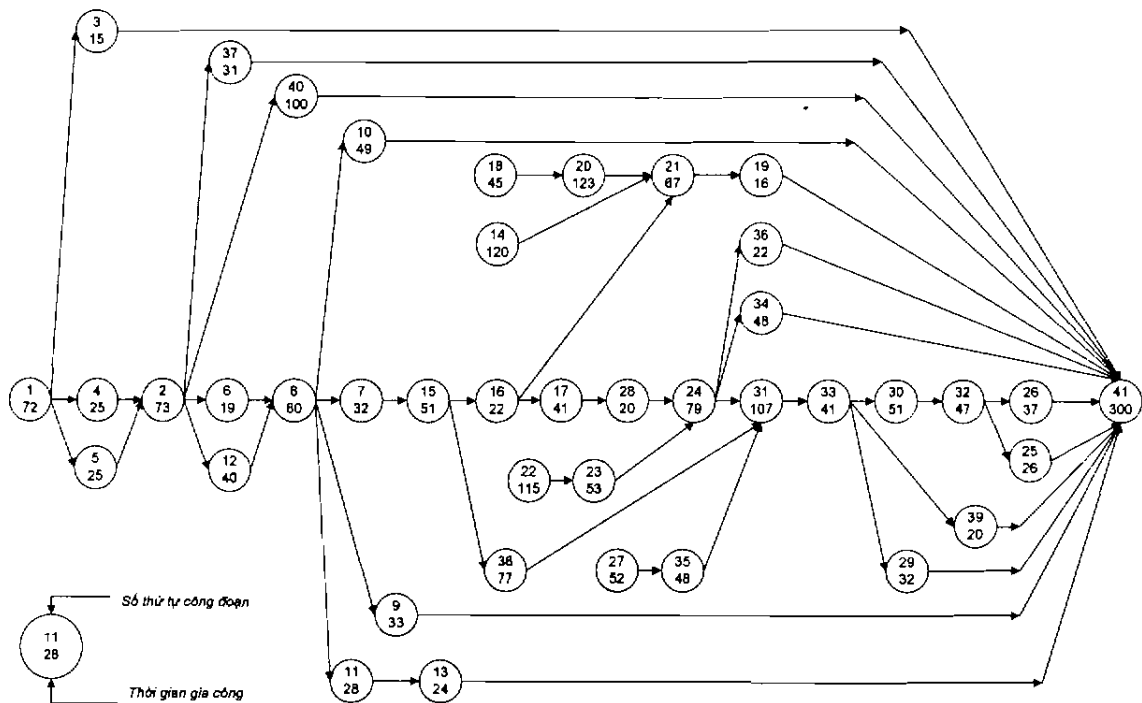
Sơ đồ 2. Kiểm tra và chấp nhận di chuyển theo nguyên tắc 1



Sơ đồ 3. Thuật toán Tabu theo nguyên tắc 2



Sơ đồ 4. Kiểm tra và chấp nhận di chuyển theo nguyên tắc 2



Sơ đồ 5: Biểu đồ quan hệ liên quyết của tất cả các công đoạn

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bautista J and Pereira J (2007). Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 177, 2016-2032.
2. Bautista J and Pereira J (2009). A dynamic programming based heuristic for the assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 194, 787-794.
3. Bowman, E. H (1960). Assembly line balancing by Linear Programming. *Operation Research*, 8(3), 385-389.
4. Chiang, W. C (1998). The Application of a Tabu Search Metaheuristic to The Assembly Line Balancing Problem. *Annals of Operation Research*, 77, 209-227.
5. Đường Võ Hùng (2004). Tabu search approach for type I problem of assembly line balancing. *Tạp chí phát triển Khoa học & Công nghệ*, 7(3), 99-109.
6. Đường Võ Hùng (2011). Ứng dụng giải thuật Tabu cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2. *Tạp chí phát triển Khoa học & Công nghệ*, 14(Q2), 22 – 28.
7. Glover, F (1990). Tabu Search: A Tutorial. *Interfaces*, 20(4), 74 – 94.
8. Held, M., Karp R. M., Shreshian, R (1963), Assembly line balancing - Dynamic Programming with precedence constraints. *Operation Research*, 11(3), 442-459.
9. Lapierre S. D., Angel Ruiz, Patrick Soriano (2006). Balacing assembly lines with tabu search. *European Journal of Operational Research*, 168, 826-837.
10. Mastor, A. A (1970). An Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Production Line Balancing Techniques. *Management Science*, 16(11), 728-746.
11. Ozcan U. and Toklu B (2009). A tabu search algorithm for two-sided assembly line balacing. *Intenational Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43, 822-829.
12. Patterson, J. H., and Albracht, J. J (1975). Assembly line balancing: Zero-One Programming with Fibonacci Search. *Operation Research*, 23(1), 166-172.
13. Suresh, G. and Sahu, S (1994). Stochastic assembly line balancing using Simulated Annealing. *International Journal of Operation Research*, 32(8), 1801-1810.
14. Suresh, G., Vinod V. V., and Sahu, S (1996). *A Genetic Algorithm for assembly line balancing*. *Production Planning and Control*, 7(1), 38-46.
15. Warshall, S (1962). A theorem of a Boolean Matrix. *Journal of ACM*, 9, 11-12.
16. Woodruff, D. L (1994). Simulated Annealing and Tabu search lessons from a line serach. *Computer operations reaserch*, 21(8), 823 – 839.
17. Yasunori, H., Ikuko, N., Tohru, W. and Hidekatu, T (1994). Line Balancing Problems Using a Hopfield Network. *Japan - USA Symposium on Flexibility Automation - A Pacific Rim Conference - Kobe Japan*, 1369 – 1375.

(Ngày nhận bài: 27/11/2012; Ngày chấp nhận đăng: 25/01/2013).