

ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT TABU CHO BÀI TOÁN CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT DẠNG 2

Đường Võ Hùng

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 04 tháng 04 năm 2010, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 11 tháng 09 năm 2011)

TÓM TẮT: Trong nghiên cứu này, thuật toán TABU, thuật toán gần đúng để giải bài toán lớn, được ứng dụng để giải bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2. Đối với bài toán này, nghiên cứu đã xây dựng 2 giải thuật, trong đó, giải thuật 1 giải trực tiếp bài toán dạng 2, và giải thuật 2 giải thông qua bài toán dạng 1. Điểm thành công của nghiên cứu này là giúp cho nhà đầu tư có thể tiết giảm số trạm không cần thiết khi tái thiết kế dây chuyền, giúp giảm chi phí đầu tư và chi phí trong vận hành. Đặc biệt, nhà đầu tư có thể lựa chọn nhiều mức sản lượng khác nhau, tương ứng với số trạm làm việc hiệu quả.

Từ khóa: thuật toán TABU, bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2.

1. GIỚI THIỆU

Từ đầu những năm 50, việc nghiên cứu bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất mới bắt đầu được công bố trên các tạp chí khoa học trên thế giới. Trong nghiên cứu của mình, Mastor [1] đã phân loại bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất thành 2 dạng: Dạng 1: với thời gian chu kỳ cho trước, thiết kế dây chuyền sản xuất với số trạm làm việc là ít nhất; Dạng 2: với dây chuyền sản xuất sẵn có (biết trước số trạm làm việc) xây dựng dây chuyền sản xuất với sản lượng là cao nhất, hay nói cách khác thời gian chu kỳ là nhỏ nhất. Về bản chất, bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất là bài toán lớn và phức tạp, đòi hỏi những mô hình và giải thuật phù hợp, đặc biệt đối với bài toán dạng 1 là bài toán thiết kế mới.

Cho đến nay, có nhiều kỹ thuật để giải quyết bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất. Ví dụ như Bowman [2] đã xây dựng hai mô hình quy hoạch nguyên. Patterson và Albracht [3] đã trình bày phương pháp quy hoạch 0-1. Held, et al., [4] đã đề nghị quy hoạch động và đưa ra lời giải cho bài toán nhỏ. Bautista and Pereira [5] cũng dùng quy hoạch động nhưng dựa trên nền tảng lời giải gần đúng để phân bổ công việc, mô hình này đáp ứng được bài toán quy mô lớn. Suresh, et al., [6] đã xây dựng 2 giải thuật genetic -1 (GA1) và genetic -2 (GA2) cho lời giải gần đúng. Yasunori, et al., [7] đã xây dựng giải thuật mạng Hopfield, một phương pháp mới để giải bài toán cân bằng lớn. Suresh và Sahu [8] đã ứng dụng kỹ thuật SA (Simulated Annealing) để giải bài toán. Helgeson và Birnie [9] đã xây dựng phương pháp sắp hạng theo trọng số. Kilbridge và Wester [9] đã xây dựng

giải thuật 3 bước để giải bài toán. Moodie và Young [9] đã đưa ra nguyên tắc thời gian gia công dài nhất. Gần đây, Bautista và Pereira [10] dùng giải thuật Ant (Ant algorithm) để giải quyết ràng buộc về thời gian và sức chứa.

Ngày nay với sự hỗ trợ của máy tính người ta đã ứng dụng để giải những bài toán lớn. Arcus [9] đã xây dựng giải COMSOAL, giải thuật này cần số bước lặp rất lớn nên thích hợp với chương trình máy tính. CALB [9] cũng đã được xây dựng để giải cho cả mô hình đơn và mô hình hỗn hợp của bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất. ALPACA [9] lần đầu tiên được ứng dụng vào năm 1967, ALPACA giải quyết được những bài toán cân bằng phức tạp.

Thuật toán TABU, một phương pháp giải gần đúng, được ứng dụng để tìm lời giải gần tối ưu đối với bài toán lớn. Ngày nay, thuật toán TABU đã được ứng dụng thành công ở nhiều lĩnh vực khác nhau trong công nghiệp. Giải thuật này ngăn chặn lời giải tối ưu cục bộ bằng cách sử dụng bộ nhớ phức. Đối với bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 1, hiện nay có rất nhiều nghiên cứu đã ứng dụng thành công như Chiang [11], Hùng [12], Lapierre et al., [13] và Ozkan và Toklu [14]. Tuy nhiên, hầu hết những nghiên cứu được đề cập đều tập trung vào giải quyết bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 1. Đối với bài toán dạng 2, thường được hiểu là tận dụng lại dây chuyền cũ, nên ít được quan tâm của những nhà nghiên cứu và nhà đầu tư. Với xu hướng công nghệ thay đổi nhanh như hiện nay, đối với các nước tiên tiến, người ta không quan tâm đến việc tận dụng lại dây chuyền sản xuất cũ. Tuy nhiên

trong điều kiện sản xuất của Việt nam, chúng ta hoàn toàn có thể tận dụng lại những công nghệ mà thời gian đầu tư chưa lâu, hoặc thiết bị còn có thể sử dụng lại được. Vấn đề đặt ra là hiệu quả của việc tái xây dựng dây chuyền sản xuất này phải được xem xét, đây cũng là vấn đề giải quyết của nghiên cứu này. Nghiên cứu này ứng dụng thuật toán Tabu để giải quyết bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất, thành công của nghiên cứu này là bài toán sẽ được giải quyết trực tiếp và giải quyết thông qua bài toán dạng 1. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng có thể tiết giảm số trạm làm việc không cần thiết mà vẫn đáp ứng đúng sản lượng yêu cầu, hoặc kết quả nghiên cứu có thể cung cấp nhiều mức sản lượng hiệu quả khác nhau cho nhà đầu tư có thể lựa chọn theo yêu cầu của sản xuất.

2. BÀI TOÁN CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT DẠNG 2

Hàm mục tiêu: tối thiểu hóa thời gian chu kỳ C hay tối đa hóa sản lượng sản xuất, có thể diễn tả như sau: $\text{Min. } Z = C$ (1)

Trong thực tế, người ta quan tâm đến hiệu quả của việc thiết kế, tiết giảm chi phí sản xuất hay cực tiểu hóa tổng thời gian lãng phí của chuyền. Do đó, hàm mục tiêu có thể viết lại theo dạng 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 ,

Nghiên cứu này được thực hiện dựa trên giả thiết tất cả các thông số là xác định, hay nói cách khác thời gian công việc thành phần (t_{ij}) biết trước và không đổi. Như vậy chúng ta thấy rằng hai hàm mục tiêu (1) và (2) là tương đương với nhau. Trong giải thuật Tabu sẽ được đề cập trong phần (4), hàm mục tiêu của bài toán là cực tiểu hóa thời gian lãng phí (hàm mục tiêu 2).

Trước khi sử dụng giải thuật Tabu cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2, nghiên cứu sẽ chứng minh một bổ đề để hỗ trợ cho giải thuật

Bổ đề: đối với bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2, thời gian chu kỳ C có được từ lời giải tối ưu sẽ giảm khi số trạm làm việc gia tăng.

Chứng minh: giả sử chúng ta xem xét 2 trường hợp như sau:

1. thời gian chu kỳ tối ưu C_n với n trạm làm việc,
2. thời gian chu kỳ tối ưu C_{n+k} với $(n+k)$ trạm làm việc,

Nếu chúng ta xem xét trường hợp 2 với thời gian chu kỳ C_n ứng với n trạm làm việc, trong trường hợp này, chúng ta sẽ có thêm k trạm làm việc trống. Chúng ta biết rằng C_n là thời gian ứng với trạm làm việc được phân bổ dài nhất. Do đó, chúng ta có thể di chuyển bớt một số công việc được phân bổ vào trạm này đi đến 1 trong k trạm trống, như vậy sẽ đảm bảo thời gian chu kỳ tối ưu khi đó sẽ giảm. Điều này dẫn đến thời gian chu kỳ tối ưu trong trường hợp 2 sẽ nhỏ hơn hoặc bằng thời gian chu kỳ tối ưu trong trường hợp 1, hay nói một cách khác là $C_{n+k} \leq C_n$, và bổ đề đã được chứng minh.

3. GIẢI THUẬT CHO BÀI TOÁN CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT DẠNG 2

3.1. Giải thuật 1

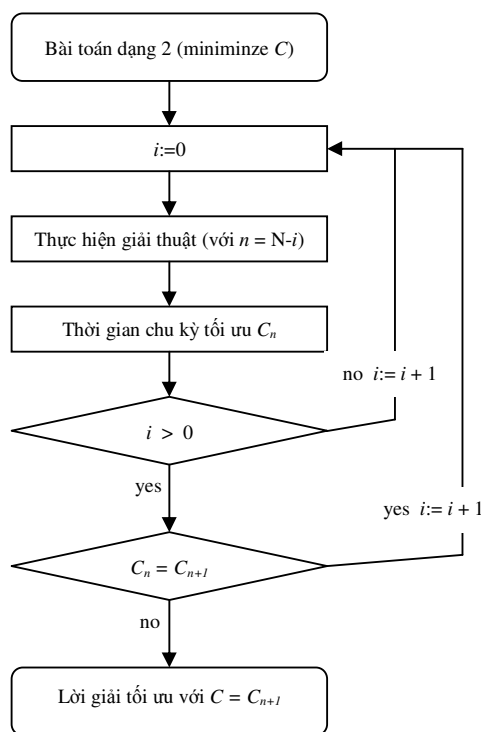
Từ bổ đề trên chúng ta có $C_{n+k} \leq C_n$, như vậy chúng ta hoàn toàn có thể giảm số trạm làm việc không cần thiết nếu xảy ra trường hợp $C_{n+k} = C_n$, khi đó chúng ta có k trạm trống. Bài toán sẽ trở nên dễ dàng hơn nếu $k = 1$. Thuật toán 1 được đề nghị như sau:

Giải trực tiếp bài toán 2 với số trạm $n = N$ (N số trạm làm việc cho trước), chúng ta xác định giá trị thời gian chu kỳ tối ưu C_n . Sau đó, chúng ta sẽ giải tiếp tục với $n = (N - 1)$ xác định giá trị C_{n-1} tương ứng. Nếu $C_n = C_{n-1}$, thì chúng ta tiếp tục với $n = (N - 2)$ xác định giá trị C_{n-2} tương ứng, và so sánh C_{n-1} với C_{n-2} . Trong trường hợp tổng quát tại một bước giải nào đó có $C_n \neq C_{n-1}$, chúng ta dừng giải thuật và thời gian chu kỳ tối ưu là C_n , tương ứng với số trạm làm việc là n (giải thuật được tóm tắt trong sơ đồ 3.1).

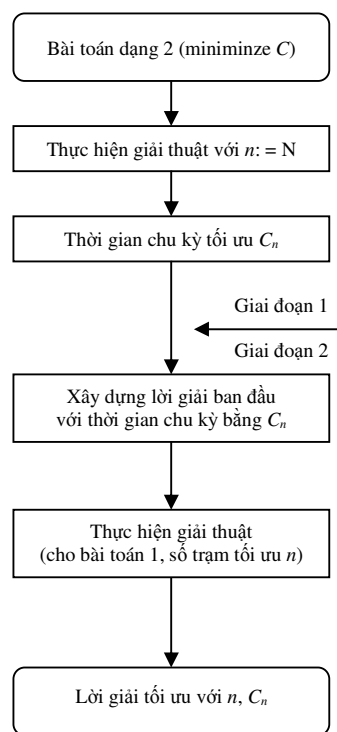
Điểm thành công của giải thuật này là cho phép giảm mỗi lần 1 trạm làm việc trống ở mỗi bước lặp, như vậy chúng ta vẫn đảm bảo sản lượng theo yêu cầu thiết kế mà vẫn có thể tiết giảm số trạm làm việc không cần thiết, giảm

chi phí trong vận hành. Đặc biệt, với bộ giá trị (C_n, n) chúng ta có thể lựa chọn tương ứng với

từng mức sản lượng theo yêu cầu.



Sơ đồ 3.1: Giải thuật 1



Sơ đồ 3.2: Giải thuật 2

3.2. Giải thuật 2

Thông qua bố đề trên, chúng ta hoàn toàn có thể giải bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2 qua hai giai đoạn như sau (sơ đồ 3.2):

1. Giai đoạn 1: giải trực tiếp bài toán dạng 2 với thông số yêu cầu (cực tiểu hóa thời gian lãng phí, n là số trạm làm việc cho trước, áp dụng thuật toán Tabu), kết thúc giai đoạn này, chúng ta sẽ có giá trị C_n tương ứng.

2. Giai đoạn 2: giải lại theo thuật toán Tabu cho bài toán dạng 1 (với thời gian chu kỳ cho trước là C_n từ giai đoạn 1), kết quả của giai đoạn này cho chúng ta giá trị của số trạm làm việc n' . Nếu trong trường hợp $n' < n$ thì chúng ta sẽ có $(n - n')$ trạm trống cần được tiết giảm. Đặc biệt của giải thuật là chúng ta hoàn toàn có thể giải bài toán dạng 2 thông qua việc giải bài toán dạng 1. Tương tự như giải thuật 1, trong giải thuật 2 chúng ta cũng tiết giảm được số trạm không cần thiết, tiết kiệm chi phí đầu tư và chi phí vận hành.

4. THUẬT TOÁN TABU CHO BÀI TOÁN CÂN BẰNG DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT DẠNG 2

Thuật toán Tabu đã được nghiên cứu khá lâu và được nhiều tác giả trình bày khá chi tiết trong những công trình nghiên cứu trước mà nghiên cứu này đã đề cập trong phần giới thiệu. Đối với nghiên cứu này, tác giả xin giới thiệu trực tiếp giải thuật Tabu mà tác giả đã ứng dụng để giải quyết bài toán.

Giải thuật Tabu cho bài toán cân bằng dây chuyền sản xuất dạng 2 như sau:

Bước 1: Nhập dữ liệu

(Tổng công việc thành phần; Tabu size; số bước lặp lớn nhất maxiter; thời gian gia công của từng công việc thành phần; số trạm làm việc cho trước n ; ma trận quan hệ tiên quyết M).

Bước 2: Lời giải ban đầu

(Biến nhớ Tabu; xác định ma trận MT bằng thuật toán Warshall; xây dựng lời giải khả thi

ban đầu bằng cách phân bổ tất cả các công việc thành phần vào 1 trạm; xác định giá trị hàm mục tiêu ban đầu và phân bổ vào biến CurObj và BestObj).

Bước 3: Cho i từ 1 đến maxiter, thực hiện bước 4, chuyển sang bước 5 khi thực hiện xong.

Bước 4: Thực hiện chương trình con “moving” để xác định di chuyển tiếp theo;

5. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Bảng 5.1. Kết quả nghiên cứu theo giải thuật 1

Bài toán	Số trạm	Giá trị chặn dưới	Giá trị tối ưu (LINGO)	Kết quả		
				n	C	
Bowman 8 công việc	2	38	38	2	38	
	3	25	28	3	28	
	4	19	22	4	22	
	5	15	17	5	17	
	6	13	17	5	17	
Hoffman 9 công việc	2	19	19	2	19	
	3	13	13	3	13	
	4	10	10	4	10	
	5	8	9	5	9	
Jackson 11 công việc	2	23	23	2	23	
	3	16	16	3	16	
	4	12	12	4	12	
	5	10	10	5	10	
	6	8	9	6	9	
Kenneth - Ramsing 16 công việc	2	67	67	2	67	
	3	45	45	3	45	
	4	34	34	4	34	
	5	27	27	5	27	
	6	23	23	6	23	
	7	20	20	7	20	
	Mitchell 21 công việc	2	53	53	2	53
3		35	35	3	35	
4		27	27	4	27	
5		21	21	5	21	
6		18	18	6	18	
7		15	16	7	16	
8		14	N/A	8	14	
9		12	N/A	8	14	
Author's Case study 41 công việc		3	769	N/A	3	769
	4	577	577	4	577	
	5	462	462	5	462	
	6	385	N/A	6	420	
	7	330	N/A	7	332	
	8	289	N/A	8	300	
	Hopfield 8 công việc	2	69	69	2	69
		3	46	47	3	47
4		35	36	4	36	
5		28	34	5	34	
6		23	34	5	34	
Dar-el 11 công việc		2	93	93	2	93
	3	62	62	3	62	
	4	47	48	4	48	
	5	37	45	5	45	
	6	31	45	5	45	
	Kilbridge - Wester 12 công việc	2	200	200	2	200
3		134	137	3	137	
4		100	102	4	102	
5		80	90	5	90	
6		67	70	6	70	
7		58	70	6	70	
Wooden car toy 22 công việc		2	27	27	2	27
	3	18	18	3	18	
	4	14	14	4	14	
	5	11	11	5	11	
	6	9	9	6	9	
	7	8	8	7	8	
	Kilbridge - Wester 45 công việc	2	275	275	2	275
3		184	184	3	184	
4		138	138	4	139	
5		110	110	5	111	
6		92	N/A	6	92	
7		79	N/A	7	80	
Tonge 70 công việc		2	1843	N/A	2	1844
	3	1229	N/A	3	1236	
	4	922	N/A	4	924	
	5	738	N/A	5	742	

Với việc áp dụng thuật toán Tabu cho 2 giải thuật được xây dựng trong nghiên cứu này, kết quả của nghiên cứu được so sánh với giá trị

(Thực hiện di chuyển; cập nhật biến nhớ Tabu; cập nhật biến CurObj; nếu CurObj tốt hơn BestObj thì cập nhật lời giải tốt nhất bằng cách copy lời giải hiện tại vào lời giải tốt nhất, hay gán BestObj := CurObj).

Bước 5: Thoát khỏi giải thuật và đưa ra lời giải tốt nhất khi thực hiện hết maxiter bước lặp.

chặn dưới (lower bound) của thời gian chu kỳ, và kết quả có được từ LINGO. Kết quả cụ thể được trình bày trong các bảng 5.1 và 5.2:

Bảng 5.2. Kết quả nghiên cứu theo giải thuật 2

Bài toán	Số trạm	Giá trị chặn dưới	Giá trị tối ưu (LINGO)	Kết quả	
				<i>n</i>	<i>C</i>
Bowman 8 công việc	2	38	38	2	38
	3	25	28	3	28
	4	19	22	4	22
	5	15	17	5	17
	6	13	17	5	17
Hoffman 9 công việc	2	19	19	2	19
	3	13	13	3	13
	4	10	10	4	10
	5	8	9	5	9
	6	7	8	6	8
Jackson 11 công việc	2	23	23	2	23
	3	16	16	3	16
	4	12	12	4	12
	5	10	10	5	10
	6	8	9	6	9
	7	7	8	7	8
	8	7	8	7	8
Kenneth - Ramsing 16 công việc	2	67	67	2	67
	3	45	45	3	45
	4	34	34	4	34
	5	27	27	5	27
	6	23	23	6	23
	7	20	20	7	20
	8	20	20	7	20
Mitchell 21 công việc	2	53	53	2	53
	3	35	35	3	35
	4	27	27	4	27
	5	21	21	5	21
	6	18	18	6	18
	7	15	16	7	16
	8	14	N/A	8	14
	9	12	N/A	8	14
	10	12	N/A	8	14
Author's Case study 41 công việc	3	769	N/A	3	769
	4	577	577	4	577
	5	462	462	5	462
	6	385	N/A	6	416
	7	330	N/A	7	332
	8	289	N/A	8	300
	9	289	N/A	8	300
	10	289	N/A	8	300
Hopfield 8 công việc	2	69	69	2	69
	3	46	47	3	47
	4	35	36	4	36
	5	28	34	5	34
	6	23	34	5	34
	7	23	34	5	34
Dar-el 11 công việc	2	93	93	2	93
	3	62	62	3	62
	4	47	48	4	48
	5	37	45	5	45
	6	31	45	5	45
	7	31	45	5	45
Kilbridge - Wester 12 công việc	2	200	200	2	200
	3	134	137	3	137
	4	100	102	4	102
	5	80	90	5	90
	6	67	70	6	70
	7	58	70	6	70
	8	58	70	6	70
Wooden car toy 22 công việc	2	27	27	2	27
	3	18	18	3	18
	4	14	14	4	14
	5	11	11	5	11
	6	9	9	6	9
	7	8	8	7	8
	8	8	8	7	8
Kilbridge - Wester 45 công việc	2	275	275	2	275
	3	184	184	3	184
	4	138	138	4	139
	5	110	110	5	110
	6	92	N/A	6	92
	7	79	N/A	7	80
	8	79	N/A	7	80
Tonge 70 công việc	2	1843	N/A	2	1844
	3	1229	N/A	3	1236
	4	922	N/A	4	924
	5	738	N/A	5	742
	6	738	N/A	5	742

Ghi chú:

Giá trị tối ưu (LINGO): giá trị tối ưu có được từ chương trình LINGO,

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

6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Về cơ bản thì kết quả của cả 2 giải thuật là giống nhau, nghiên cứu chỉ phát hiện 2 trường hợp cho kết quả khác biệt đó là Kilbridge – Wester 45 công việc với 5 trạm, và bài toán thực tế của nghiên cứu 41 công việc với 6 trạm. Tuy nhiên, sự khác biệt là không đáng kể, nên cả hai giải thuật hoàn toàn có thể áp dụng được trong thực tế. Điểm đặc biệt của nghiên cứu là rất nhiều trường hợp đối với bài toán lớn thì chương trình LINGO mất rất nhiều thời gian hoặc không cho kết quả cụ thể, trong khi giải thuật của nghiên cứu này cho kết quả một cách nhanh chóng.

Từ bảng kết quả của nghiên cứu hầu hết (gần 100%) trường hợp kết quả của giải thuật bằng với kết quả tối ưu toàn cục từ chương trình LINGO. Từ kết quả này có thể khẳng định rằng, việc áp dụng thuật toán Tabu cho các giải thuật của nghiên cứu là hoàn toàn tin tưởng được, và có thể ứng dụng vào thực tế trong việc tái thiết kế các dây chuyền sản xuất cho các công ty sản xuất công nghiệp của Việt nam. Giá trị số trạm làm việc *n* và giá trị thời gian chu kỳ *C* tương ứng, cho phép nhà đầu tư có thể lựa chọn tùy theo mức sản lượng yêu cầu, trong khi yêu cầu về mặt hiệu quả vẫn đảm bảo do các trạm trống đã bị loại.

Hạn chế của giải thuật là giả thiết tất cả các thông số thời gian gia công là xác định, điều này có thể không phù hợp đối với thực tế, đặc biệt đối với sản xuất mà ít được xử lý bằng

thiết bị tự động (thủ công, bán tự động...). Do đó, nghiên cứu này nên được mở rộng theo hướng sử dụng mô hình mà các thông số có thể thay đổi (stochastic models).

TABU SEARCH APPROACH FOR TYPE 2 PROBLEMS OF ASSEMBLY LINE BALACING

Duong Vo Hung

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

ABSTRACT: *In this research, Tabu search algorithm, a heuristic method for solving combinatorial optimization problems, has been applied for type 2 problems of assembly line balancing. For type 2 problems, two methodologies are developed for problem solving. Method 1 is direct solving for type 2 problems, and method 2 gives solving through type 1 problems. As such, Tabu search algorithm for type 1 problem is employed for problem solving at second stage. The success of this research points out empty workstations (unnecessary) to reduce investment cost and operational costs. Moreover, the range of cycle time and number of workstations are provided for selection.*

Key words: *Tabu search algorithm, type 2 problems of assembly line balancing.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Mastor, A. A. *An Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Production Line Balancing Techniques*. Management Science, Vol. 16, No. 11, 728-746, 1970.
- [2]. Bowman, E. H. *Assembly line balancing by Linear Programming*. Operation Research, Vol. 8, No. 3, 385-389, 1960.
- [3]. Patterson, J. H., and Albracht, J. J. *Assembly line balancing: Zero-One Programming with Fibonacci Search*. Operation Research, Vol. 23, No. 1, 166-172, 1975.
- [4]. Held, M., Karp R. M., Shreshian, R., *Assembly line balancing - Dynamic Programming with precedence constraints*. Operation Research, Vol. 11, No. 3, 442-459, 1963.
- [5]. Joaquin Bautista and Jordi Pereira. *A dynamic programming based heuristic for the assembly line balancing problem*. European Journal of Operational Research, Vol 194, 787-794, 2009.
- [6]. Suresh, G., Vinod V. V., and Sahu, S. A *Genetic Algorithm for assembly line balancing*. Production Planning and Control, Vol. 7, No. 1, 38-46, 1996.
- [7]. Yasunori, H., Ikuko, N., Tohr, W. and Hidekato, T. *Line Balancing Problems Using a Hopfield Network*. Japan - USA Symposium on Flexibility Automation - A Pacific Rim Conference - Kobe Japan, 1369 - 1375, 1994.
- [8]. Suresh, G. and Sahu, S. *Stochastic assembly line balancing using Simulated Annealing*. International Journal of Operation Research, Vol. 32, No. 8, 1801-1810, 1994.
- [9]. Groover, M. P. *Automation, Production System and Computer Integrated Manufacturing*. Prentice Hall, Inc., 1992.
- [10]. Joaquin Bautista and Jordi Pereira. *Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem*. European Journal of Operational Research, Vol 177, 2016-2032, 2007.
- [11]. Chiang, W. C. *The Application of a Tabu Search Metaheuristic to The Assembly Line Balancing Problem*. Annals of Operation Research, Vol. 77, 209-227, 1998.
- [12]. Đường Võ Hùng. *Tabu search approach for type 1 problem of assembly line balancing*. Tạp chí phát triển Khoa học & Công nghệ, tập 7, số 3, 99-109, 2004.

- [13]. Sophie D. Lapiere, Angel Ruiz, Patrick Soriano. *Balancing assembly lines with tabu search*. European Journal of Operational Research, Vol 168, 826-837, 2006.
- [14]. Ugur Ozcan and Bilal Toklu. *A tabu search algorithm for two-sided assembly line balancing*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 43, 822-829, 2009.
- [15]. Buffa, E. S. and Sarin R. K. *Modern Production / Operation Management*, Eighth Edition, John Willey & Sons, Inc., 1987.
- [16]. Glover, F. *Tabu Search: A Tutorial*. Interfaces, Vol 20, No. 4, 74 – 94, 1990.
- [17]. Warshall, S. A. *Theorem of a Boolean Matrix*. Journal of ACM, Vol. 9, 11-12, 1962.