



## การประยุกต์ใช้ระบบมดแบบ แม็ก-มิน ในการจัด

### สมดุลสายการประกอบ

# Application of Max-Min Ant System in Assembly Line Balancing

ธีราพรรณ แซ่แห้ว นีวิท เจริญใจ และ วิชัย ฉัตรทินวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**Teerapun Saeheaw Nivit Charoenchai and Wichai Chattinnawat**

Department of Industrial Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

E-mail : murinee@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการนำเอาระบบมดแบบ แม็ก-มิน มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีเวลานำงานระหว่างผลิต และค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดนอกจากนี้ยังได้ศึกษาและทดสอบหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมดแบบ แม็ก-มิน ซึ่งได้แก่จำนวนรอบการทำงานต่อจำนวนมด ค่าน้ำหนักของฟีโรโมน ค่าน้ำหนักของฮิวริสติก และอัตราการระเหยของฟีโรโมน แล้วนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปแก้ปัญหาดูตัวอย่างของการจัดสมดุลสายการประกอบ จากงานวิจัยนี้พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญคือปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนักของฮิวริสติก ดังนั้นในการนำระบบมดแบบ แม็ก-มิน ไปใช้จริงจึงต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะนำค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นได้ ผลจากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีระบบมดแบบ แม็ก-มิน กับวิธีการฮิวริสติก เฮอร์ซ อัลกอริทึม พบว่าวิธีระบบมดแบบ แม็ก-มิน จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าวิธีระบบมดแบบ แม็ก-มิน เป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีประสิทธิภาพ และสามารถหาคำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดให้ได้

#### ABSTRACT

This research introduces the use of artificial-intelligence based technique, so-called Max-Min Ant System (MMAS), to solve assembly line balancing problems. Three important objectives of assembly line balancing problems are considered minimizing lead time, minimizing work in process and minimizing cost. Experimental designs are set up to test the significance of several parameters of MMAS including number of ant/number of iteration (A/I), weight of pheromone (WOP), weight of heuristic information (WOH) and evaporation rate (ER). The results show the factors that significantly affect the performance of MMAS is WOH. As a result, it is necessary to define appropriate parameters while using MMAS. However, the suitable parameters obtained from the research can be used as a guideline in practice. The performance comparison between the proposed MMAS and the known meta-heuristic technique, Harmony Search Algorithm (HSA) indicates that MMAS performs significantly better than HSA. From the research, it is found that MMAS are powerful and efficient method that can search for a good solution within an acceptable time limit.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันสายการประกอบได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ อุตสาหกรรมการผลิต เช่น อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้า และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น ปัญหาเฉพาะของการออกแบบสายการประกอบที่มีการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง คือ การจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem) ที่สนใจศึกษาการจัดกลุ่มงาน (task) ที่ต้องปฏิบัติในการประกอบผลิตภัณฑ์เพื่อมอบหมายให้แต่ละสถานีงาน (workstation) โดยพยายามให้เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานของแต่ละสถานีงานเท่ากัน รอบเวลาการผลิต (cycle time) สามารถคำนวณได้จากสถานีงานที่มีเวลาในการปฏิบัติงานมากที่สุด [5]

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบดังกล่าว ถูกจัดอยู่ในปัญหาประเภท NP-hard ของปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด (optimization problem) ซึ่งอาจต้องใช้เวลานานและทรัพยากรมากในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีเมตาฮิวริสติก (meta heuristics) จึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาประเภทนี้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความซับซ้อนของวิธีการ และความจำเป็นที่ต้องโปรแกรมวิธีการลงบนคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณ จึงพบว่าอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมของไทยโดยส่วนใหญ่ ที่ใช้สายการประกอบเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิต ยังคงใช้ประสบการณ์ และความชำนาญของหัวหน้างานในการออกแบบสายการประกอบ และไม่มีกระบวนการประเมินประสิทธิภาพของสายการประกอบดังกล่าวในท้ายที่สุดจึงพบว่าสายการประกอบของโรงงานโดยส่วนใหญ่กลายเป็นกระบวนการที่เป็นคอขวดของกระบวนการทั้งหมดภายในโรงงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยการนำเอาวิธีระบบมดแบบ แม็ก-มิน (Max-Min ant system; MMAS) และฮาโมนี เลิร์ซ อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm; HSA) มาประยุกต์ใช้ในการ

แก้ปัญหาและทำการเปรียบเทียบคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีเวลานำ งานระหว่างผลิต และค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จากนั้นทำศึกษาและทดสอบหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

## 2. วรรณกรรมสนับสนุนกรอบแนวคิด

การแก้ปัญหาการสมดุลของสายการผลิต ต้องจัดงานย่อยต่างๆลงในแต่ละสถานีงาน โดยพิจารณาลำดับการทำงานก่อนหน้าและตามหลัง ประกอบกับการใช้วิธีการจัดงานให้กับสถานีการผลิต วิธีการแก้ปัญหานี้จะเป็นแบบฮิวริสติก (Heuristic) คือ อาศัยสามัญสำนึก [1, 2] มากกว่าการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจึงไม่สามารถรับรองได้ว่าคำตอบที่ได้นั้นจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

ดังนั้น แนวทางในการแก้ปัญหาสมดุลสายการผลิตในเชิงปฏิบัติจึงควรเป็นวิธีการประมาณการ (Heuristic Algorithms) เพื่อความรวดเร็วในการคำนวณมากขึ้น ส่วนคุณภาพของคำตอบจะขึ้นอยู่กับลักษณะ ความซับซ้อนของปัญหา และรายละเอียดในการคำนวณแต่ละวิธี

ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization; ACO) ถูกคิดค้นโดย Dorigo et al. [3] ซึ่งเลียนแบบพฤติกรรมกรหาอาหารของมด โดยการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร โดยใช้ฟีโรโมนที่มดวางไว้ระหว่างทางเพื่อใช้ในการสื่อสารทางอ้อมกับมดตัวอื่นในฝูง ในระหว่างการเดินทางหากเจอสิ่งกีดขวางมดแต่ละตัวจะตัดสินใจเลือกเส้นทางเลี้ยวอย่างสุ่มสมมติว่ามีสองเส้นทางที่เลี้ยวได้ ในช่วงแรกปริมาณการระเหยของฟีโรโมนบนสองเส้นทางจะมีปริมาณเท่ากัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปเส้นทางที่สั้นกว่าจะมีปริมาณการระเหยของฟีโรโมนที่มากกว่า เพราะมดจะเลือกเส้นทางที่มีปริมาณฟีโรโมนมากกว่า หรือเส้นทางที่สั้นที่สุดนั่นเอง ขั้นตอน ACO เริ่มจากการสุ่มประชากรขนาด P โดยที่มดแต่ละตัวแทนผลลัพธ์ หลังจากนั้นในแต่ละช่วงเวลามดจะเดินทางไปยังจุดต่อไปด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ได้

กำหนดไว้โดย Dorigo et al. [3] ความน่าจะเป็นนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของฟังก์ชัน เป้าหมายและปริมาณของฟีโรโมน แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณฟีโรโมนจะระเหยออกไปเรื่อยๆ เมื่อหมดทุกตัวเดินทางไปยังจุดต่อไปก็จะมีค่าปรับค่าปริมาณของฟีโรโมน เมื่อเวลาผ่านไปกระบวนการ Positive Feedback จะทำให้หมัดทุกตัวเลือกที่จะเดินทางในเส้นทางที่สั้นที่สุดนั่นเอง

MMAS ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี 1997 โดย Stutzle กับ Hoos [6] โดยที่ทั้งสองคนได้พัฒนา MMAS มาจาก Ant System โดยได้พัฒนาจาก Ant System 4 อย่างด้วยกัน ดังนี้

ประการแรกค่าของพจน์ที่เพิ่มขึ้นมาจะมีค่าเป็น หนึ่งส่วนระยะทางก็ต่อเมื่อเป็นรอบที่ดีที่สุดของการคำนวณนั้น ส่วนที่ไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุดรอบ พจน์นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{bs} \quad (1)$$

โดยที่เส้นทางที่ดีที่สุด  $\Delta\tau_{ij}^{bs}$  จะมีพจน์เพิ่มลงไปในการปรับปรุงเส้นทางฟีโรโมน ดังนี้

$$\Delta\tau_{ij}^{bs} = 1/c^{bs} \quad (2)$$

ประการที่สอง คือการกำหนดช่วงของฟีโรโมนให้อยู่ในช่วงที่สมการกำหนด เพื่อที่เราจะได้จำกัดขอบเขตของเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงในช่วงเท่านั้น ทำให้หาเส้นทางที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วดังต่อไปนี้

$$\tau_{max} = 1/\rho c^{bs} \quad (3)$$

เมื่อได้ค่าเส้นทางที่ปริมาณฟีโรโมนมากที่สุดแล้วเราก็สามารถนำค่าปริมาณฟีโรโมนมากที่สุดมาคำนวณหาค่าเส้นทางที่ปริมาณฟีโรโมนน้อยที่สุดในช่วงที่เราสนใจศึกษาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{2n} \quad (4)$$

โดยที่ค่า  $n$  เป็นจำนวนของโหนดทั้งหมด

ประการที่สาม คือ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้นจะมีค่าตัวแปรการระเหยของปริมาณฟีโรโมนไว้ในตอนแรกเลย ซึ่งตรงจุดนี้ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ MMAS ต่างจาก

Ant System ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau_0 = 1/\rho C^{mm} \quad (5)$$

สุดท้าย ถ้าปริมาณฟีโรโมนเริ่มต้น เริ่มมีค่าคงที่หรือไม่มีการเพิ่มขึ้นแล้วก็จะสร้างจำนวนรอบที่แน่นอนสำหรับการคำนวณครั้งต่อไป

HSA เป็นวิธีการหาคำตอบโดยใช้แนวทาง การแก้ปัญหาของนักดนตรีเพื่อค้นหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของการประสานเสียงโดยตัดสินจากมาตรฐานของความสวยงามของเสียงที่เกิดขึ้นการประยุกต์เพื่อหากระบวนการค้นหาที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ภายใต้เป้าหมายของวัตถุประสงค์ การกำหนดระดับของเครื่องดนตรีเพื่อคุณภาพของเสียงที่ออกมา โดยค่าของวัตถุประสงค์ที่ออกมานั้นเป็นผลได้รับจากตัวแปรการตัดสินใจ ลำดับขั้นตอนที่ใช้ในการแก้ปัญหาของ HSA ใช้หลักการบนพื้นฐานธรรมชาติของนักดนตรีที่มีการปรับปรุงและแก้ไขเมื่อนักดนตรีสามารถที่จะหาตัวโน้ตหรือปรับปรุงการประสานเสียงให้ดีขึ้นก็จะกลายเป็นการประสานเสียงแบบใหม่ที่ดีกว่าเดิม ตัวแปรในการตัดสินใจต่าง ๆ ในขั้นต้นจะถูกเลือกจากค่าต่างๆ ที่สามารถเป็นไปได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นทิศทางของคำตอบที่เกิดขึ้น ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นก็就会被เก็บไว้เป็นตัวแปรในระบบความจำ และถ้ามีความเป็นไปได้ที่จะสร้างคำตอบที่ดีขึ้นในครั้งต่อไป

### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์

กำหนดสถานะของปัญหารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้วิจัยใช้ตามแบบมาตรฐาน [4] และอยู่ในลักษณะสมการเชิงเส้น ซึ่งจะมี 4 สมการคือ

สมการเวลานำ

$$F_1 = \sum_{i=1}^n Work_i \cdot time \quad (6)$$

สมการงานระหว่างผลิต

$$F_2 = WIP_i \quad (7)$$

สมการค่าใช้จ่าย

$$F_3 = Cost_i \quad (8)$$

Minimize Multi objective

$$F\_sum = (W_1 * F_1) + (W_2 * F_2) + (W_3 * F_3) \quad (9)$$

โดยที่

$$Work1\_time = S_i + P_j + T_k + W_l + O_m \quad (10)$$

$$Work2\_time = S_i + P_j + T_k + W_l + O_m \quad (11)$$

$$Work3\_time = S_i + P_j + T_k + W_l + O_m \quad (12)$$

$$Work4\_time = S_i + P_j + T_k + W_l + O_m \quad (13)$$

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1 \text{ (กำหนดให้ } W_1 = 0.3, W_2 = 0.3, W_3 = 0.4)$$

ตัวแปรต่างๆ มีความหมายดังนี้

$S_i$  = เวลาในการติดตั้งเครื่องจักร

$P_j$  = เวลาในการผลิต

$T_k$  = เวลาในการขนส่ง

$W_l$  = เวลาพักคอย

$O_m$  = เวลาเผื่ออื่นๆ เช่น เวลาในการติดต่อสื่อสาร

$W_1$  = weight of  $F_1$  (The value between 0-1)

$W_2$  = weight of  $F_2$  (The value between 0-1)

$W_3$  = weight of  $F_3$  (The value between 0-1)

### 3.2 การประยุกต์ใช้ MMAS

การเขียนรหัสจำลอง (Pseudo code) สำหรับประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า มีหลักการการทำงาน 3 ขั้นตอนคือ การกำหนดจำนวนมดเริ่มต้น การคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมและการกำหนดเงื่อนไขในการหยุดทำงานจากรูปที่ 1 มดแต่ละตัวจะเดินโดยเลือกจุดที่เดินไปตามกฎการเปลี่ยนสถานะ โดยมีแนวโน้มว่าทางเลือกที่มีฟีโรโมนสูงจะเป็นทางสั้นที่สุดในแต่ละขั้นตอนฟีโรโมนของแต่ละจุดจะถูกปรับเปลี่ยนไปตามกฎปรับฟีโรโมนแบบท้องถิ่นหรือเฉพาะที่ และเมื่อมดทุกตัวเดินครบรอบ แล้วจะมีการใช้กฎปรับฟีโรโมนแบบครอบคลุมทั้งกลุ่ม สำหรับการแสดงขั้นตอนการทำงานของ MMAS

Start

Define original pheromone

For iteration=1 to i = (1,2,3,...n)

For ant=1 to i = (1,2,3,...n)

Random start node

Do while node < i

Select next node

Loop

Next 'End loop ant

Calculate Multi-objective function

For ant=1 to i=(1,2,3,...n)

Do while node < i

Update pheromone

Loop

Checking pheromone upper and pheromone lower

Next 'End loop ant

Next 'End loop iteration

รูปที่ 1 แสดง Pseudo code ของ MMAS

### 3.3 การประยุกต์ใช้ HSA มี 5 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย

Step 1 Objective target

Step 2 Initialize the harmony memory

Step 3 Improvise a new harmony from

the HM

Step 4 Update HM ถ้า new Harmony

vector ดีกว่า ค่าที่แย่ที่สุดของ HM ในรูปของค่าที่ได้จาก objective function new Harmony vector ที่ได้จะถูกจัดเก็บไว้ใน HM และค่าที่แย่ที่สุดจะถูกกำจัดออกจาก HM โดย HM จะตรวจสอบโดยใช้ค่าของ objective function

Step 5 กระทำซ้ำ Step 3 และ Step 4 ภายใต

ขอบเขตที่กำหนดไว้ ผลที่ได้จากการคำนวณจะสิ้นสุดเมื่อเกณฑ์ที่ใช้ในการค้นหาค่าที่ดีที่สุดได้ผลค้ำตอบที่น่าพอใจ

Create Harmony size by random

For Iteration = 1 to n

Check condition for Harmony considerate rate

Check condition for pitch adjustment rate

Calculate F (Multi-objective) compare with Harmony size

If better = choose

Else if No better = cancel

End Iteration

รูปที่ 2 แสดง Pseudo code ของ HSA

#### 4. ผลการวิจัย

##### 4.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธี MMAS

ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3 ระดับคือ สูง กลาง ต่ำ มีตัวแปร 4 ตัวคือ จำนวนรอบการทำงานต่อ จำนวนมด (A/I) ค่าน้ำหนักของฟีโรโมน (Weight of Pheromone; WOP) ค่าน้ำหนักของฮิวริสติก (Weight of Heuristic Information; WOH) และอัตราการระเหยของฟีโรโมน (Evaporation Rate; ER) โดย กำหนด 3 รอบการทำซ้ำ

ตารางที่ 1 ระดับปัจจัยและพารามิเตอร์ของ MMAS

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
A/I	5/20	10/10	20/5
WOP	0.5	1.5	2.5
WOH	1	2.5	5
ER	0.2	0.55	0.9

สามารถสรุปได้ว่า ค่าน้ำหนักของฮิวริสติกมีผลกระทบต่อค่าคำตอบ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ A/I = 10/10, WOP = 1.5, WOH = 5 และ ER = 0.2

##### 4.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธี HSA

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3 ระดับคือ สูง กลาง ต่ำ มีตัวแปร 3 ตัวคือ จำนวนการวนซ้ำต่อจำนวนของชุดของตัวโน้ตในการจัดเก็บ (Iteration/Harmony size) ในการสุ่มค่าใด ๆ ตามที่กำหนด ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกตัวโน้ตที่มีในระบบ (Harmony Memory Considering Rate; HMCR) และความน่าจะเป็นในการเลือกปรับระดับตัวโน้ต (Pitch Adjustment Rate; PAR) โดยกำหนด 3 รอบการทำซ้ำ

ตารางที่ 2 ระดับปัจจัยและพารามิเตอร์ของ HSA

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		
	ต่ำ	กลาง	สูง
Iteration/Harmony size	5/20	10/10	20/5
HMCR	70	80	90
PAR	15	30	45

สามารถสรุปได้ว่า Iteration/Harmony size มีผลกระทบต่อค่าคำตอบ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมคือ Iteration/Harmony size = 20/5, HMCR = 70 และ PAR = 15

#### 5. การเปรียบเทียบผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของทั้ง วิธี MMAS และ HSA ก็นำค่าที่ได้ใส่ในโปรแกรมและทำการรันอีกครั้ง อย่างละ 20 ค่า เพื่อเปรียบเทียบหาวิธีที่ให้ ค่าคำตอบที่ดีที่สุด



เอกสารอ้างอิง

- [1] ชุมพล ศฤงคารศิริ, “การวางแผนและควบคุมการผลิต”, พิมพ์ครั้งที่ 7, กรุงเทพฯ, บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด, 2542
- [2] เสรี สมนาแซง, “การวางแผนและควบคุมการผลิต”, พิมพ์ครั้งที่ 5, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2538
- [3] Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colormi (1996). A Positive feedback as a search Strategy, technical report, 91-016
- [4] Nagy G., and Salhi S. (1996), Nested heuristic methods for the location-routing problem. Journal of Operational Research Society, 47, 1184-1174
- [5] Rubinovitz, J. and Levitin, G., (1995). Genetic algorithm for assembly line balancing. International Journal of Production Economics, 41: 343-354.
- [6] Stutzle, T. and Hoos, H.,H, (2000). The Max-Min ant system and local search for the traveling salesman problem, Proceeding of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC), 309-314, Piscataway, NJ, IEEE Press

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright©by  
Faculty of Engineering  
Chiang Mai University  
All Rights Reserved