บทที่ 7

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมวิธีฝูงมดปรับปรุง

จากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมของวิธีฝูงมดในบทที่ 4 ผู้วิจัยได้นำเสนอการปรับปรุงวิธีฝูงมด เนื่องจากข้อด้อยของวิธีฝูงมด คือ เมื่อมดทั้งหมดอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การค้นหาคำตอบได้คำตอบเดียวกันทุกตัว และไม่สามารถหาคำตอบอื่น ๆ ได้อีก เรียกว่าการติดอยู่ในคำตอบเฉพาะถิ่น (Local Search) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงสมรรถนะของวิธีฝูงมด โดยการเพิ่มกระบวนการเข้าไปในขั้นตอนของวิธีฝูงมดเดิม นั่นคือ กระบวนการค้นหาบริเวณรอบ ๆ (Neighborhood Search) และ กระบวนการเริ่มต้นใหม่ (Re-Initialization) ระเบียบขั้นตอนของวิธีพฤติกรรมฝูงมดปรับปรุง แสดงในภาพที่ 3.4 ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

7.1 กระบวนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีฝูงมดปรับปรุง

เนื่องจากข้อด้อยของวิธีฝูงมด คือ มดทั้งหมดอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การค้นหาคำตอบได้คำตอบเดียวกันทุกตัว และไม่สามารถหาคำตอบอื่น ๆ ได้อีก เรียกว่าการติดอยู่ในคำตอบเฉพาะถิ่น (Local Search) สำหรับวิธีฝูงมดปรับปรุง ทางผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงสมรรถนะอัลกอริทึมจากวิธีฝูงมดในบทที่ 4 โดยการเพิ่มกระบวนการเข้าไปในขั้นตอนของวิธีฝูงมดเดิม นั่นคือ กระบวนการค้นหาบริเวณรอบ ๆ (Neighborhood Search) ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการปรับปรุงคำตอบ และกระบวนการค้นหาบริเวณรอบข้าง ดังอธิบายรายละเอียดในขั้นตอนที่ 3 และกระบวนการเริ่มต้นใหม่ (Re-Initialization) ดังแสดงในขั้นตอนที่ 8 โดยสามารถอธิบายรายละเอียดของกระบวณการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ดังแสดงผังการไหลอัลกอริทึมในบทที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย 9 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นกำหนดให้มดฝูงแรกในการค้นหา $NC = 0$ และจำนวนมด (a) ในหนึ่งฝูง พร้อมทั้งกำหนดให้ฟีโรโมนเริ่มต้น $\tau(0) = \tau_0$ และ อัตราการเพิ่มของฟีโรโมน $\Delta\tau = 0$

ขั้นตอนที่ 2 ให้มดทุกตัวของฝูงแรก หาคำตอบที่เป็นได้โดยใช้วิธีการสุ่ม รูปแบบของชุดคำตอบ s_{ij} กำหนดให้เป็นเวกเตอร์ขนาด $1 \times n$ และกำหนดให้ a คือ จำนวนมดใน 1 ฝูง ดังนั้นรูปแบบคำตอบ S เป็นเมตริกซ์ขนาด $a \times n$

$$S = \begin{bmatrix} s_{1ij} \\ s_{2ij} \\ s_{3ij} \\ \vdots \\ s_{(a-2)ij} \\ s_{(a-1)ij} \\ s_{aij} \end{bmatrix} \tag{7.1}$$

หาขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดของคำตอบที่เป็นได้

หาคำตอบที่เป็นไปได้ต่ำสุด เนื่องจากในแต่ละชิ้นส่วนประกอบจะมีจำนวนคู่ค้าที่มีความเป็นไปได้ที่จะถูกเลือกอย่างน้อย 1 คู่ค้า และ ชิ้นส่วนหลักต้องเป็นเกรด A ดังนั้น คำตอบที่เป็นไปได้ต่ำสุดเท่ากับ

$$S_{Lower} = \begin{bmatrix} m_1^{Min} & m_2^{Min} & \dots & m_{n-1}^{Min} & m_n^{Min} \end{bmatrix} \tag{7.2}$$
$$S_{Lower} = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

m_i คือ พารามิเตอร์ของจำนวนคู่ค้าสำหรับชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ที่ i

หาคำตอบที่เป็นไปได้สูงสุดเป็นจำนวนของเทคโนโลยี (Technology) ที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดที่มีอยู่ของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ (Component) ภายใต้เงื่อนไขราคาต้นทุนรวมที่กำหนด ดังนั้นคำตอบที่เป็นไปได้สูงสุดเท่ากับ

$$S_{Upper} = \begin{bmatrix} m_1^{Max} & m_2^{Max} & \dots & m_{n-1}^{Max} & m_n^{Max} \end{bmatrix} \tag{7.3}$$
$$S_{Upper} = \begin{bmatrix} 6 & 3 & 3 & 4 & 5 & 4 & 4 & 3 & 4 & 3 & 3 & 3 & 3 & 4 & 3 \end{bmatrix}$$

ตารางฟีโรโมน (τ) เป็นเมตริกซ์ขนาด $n \times m_n^{Max}$ นั่นคือ ผลคูณระหว่างจำนวนชิ้นส่วนประกอบกับค่าสูงสุดของจำนวนคู่ค้าสูงสุด

เมื่อ m_n^{Max} คือ จำนวนคู่ค้าสูงสุด

$$\tau(0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

กำหนดอัตราการเพิ่มของฟีโรโมน ($\Delta\tau_{ij}$) เป็นเมตริกซ์ขนาด $n \times m_n^{Max}$

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

ความน่าจะเป็น (Probability) ของแต่ละคู่ค้าที่จะถูกเลือก หาได้จากสมการที่ 2.1

$$p_{ij}^{k}(t) = \frac{\left[\tau_{ij}(t)\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}(t)\right]^{\beta}}{\sum_{k=1}^{a}\left[\tau_{ia}(t)\right]^{\alpha}\left[\eta_{ia}(t)\right]^{\beta}}$$

เมื่อ $\eta_{ij} = \frac{Y_{ij}}{C_{ij}}$

$$\eta_{ij} = \begin{bmatrix}
0.2450 & 0.2192 & 0.2144 & 0.2124 & 0.2096 & 0.2089 & 0 & 0 \\
0.2407 & 0.2261 & 0.2064 & 0.1866 & 0.1852 & 0.1835 & 0.1814 & 0.1806 \\
0.1382 & 0.1375 & 0.1349 & 0.1289 & 0.1271 & 0 & 0 & 0 \\
0.1221 & 0.1146 & 0.1131 & 0.1119 & 0.1047 & 0.1041 & 0.1010 & 0 \\
2.7998 & 2.3011 & 2.2327 & 2.0221 & 1.9491 & 0 & 0 & 0 \\
1.3485 & 1.3274 & 0.1131 & 1.2809 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
6.2786 & 6.0163 & 4.5484 & 3.4057 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
9.9570 & 6.6593 & 6.2494 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
4.0633 & 3.7117 & 3.1451 & 2.8527 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
7.1307 & 5.2625 & 4.9999 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
4.9850 & 4.1621 & 4.0000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
24.7850 & 19.9980 & 18.8660 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
5.3011 & 4.4257 & 3.9227 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
4.1959 & 3.1939 & 2.6436 & 2.5514 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0.9157 & 0.8811 & 0.8837 & 0.7028 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix} \quad (7.6)$$

โดยที่ $\alpha = 1,\ \beta = 0.8$ จะได้ค่าความน่าจะเป็นดังนี้

$$\text{Probability} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 25 & 25 & 25 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 50 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 24 & 20 & 20 & 18 & 18 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 33 & 33 & 34 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 29 & 22 & 19 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 31 & 29 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 29 & 27 & 24 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 30 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 37 & 33 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 38 & 32 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 38 & 32 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 26 & 22 & 22 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 33 & 33 & 34 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

ทำการเลือกคู่ค้าของแต่ละชิ้นส่วนประกอบตามเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นที่ได้จากสมการที่ (2.1) พร้อมทั้งคำนวณค่าฟังก์ชันราคาต้นทุนและค่าอัตราผลผลิตได้

ตัวอย่าง สมมติให้มด 1 ฝูงมี 10 ตัว ในการคัดเลือกคู่ค้าที่เหมาะสมของชิ้นส่วนประกอบจำนวน 15 ชิ้น โดยมีค่าความอัตราผลผลิตสูงสุด ภายใต้เงื่อนไขราคาต้นทุน 29 $ โดยใช้ความน่าจะเป็นของแต่ละคู่ค้าที่จะถูกเลือก

$$NC_1 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 3 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 4 & 1 & 3 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 2 & 1 \\ 4 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 3 & 2 & 4 & 1 & 3 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 & 2 & 1 & 2 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 4 & 2 & 3 & 2 & 2 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

มด 1 ตัวจะต้องเลือกคู่ค้าที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนประกอบ (15 ชิ้นส่วน) และมดทุกตัวจะต้องทำกระบวนการนี้ จากนั้นหาค่าราคาต้นทุนและค่าความอัตราผลผลิตได้ของชุดคำตอบที่มดแต่ละตัวเลือก โดยพิจารณาจากค่าอัตราผลผลิตถือสูงสุด ภายใต้เงื่อนไขราคาต้นทุนรวมของชิ้นส่วนต้องต่ำกว่าค่างบประมาณที่กำหนด 29 $ ดังนั้นค่าความอัตราผลผลิตรวมที่ได้ของมดแต่ละตัวจะได้

$$F(Y)=\begin{bmatrix}0.8829\\0.8780\\0.8780\\0.9067\\0.8744\\0.8744\\0.9070\\0.9063\\0.8868\\0.8809\end{bmatrix} \tag{7.9}$$

และราคาต้นทุนรวมต้องต่ำกว่าค่าความอัตราผลผลิตได้ที่กำหนด 29 $ นั่นคือ

$$F(C_T)=\begin{bmatrix}28.9951\\28.9438\\28.9120\\28.9627\\28.8966\\28.9757\\28.9840\\28.9615\\28.9948\\28.9963\end{bmatrix} \tag{7.10}$$

ดังนั้นจะได้

$Y_{best}=Y(7)=0.9070$ ซึ่งมีราคาต้นทุนรวม $C(x)=C(7)=28.9840$

และคำตอบที่ได้จากการคัดเลือกคู่ค้าที่เหมาะสมของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ จะได้

$$S_{best} = [3 \quad 3 \quad 2 \quad 3 \quad 1 \quad 3 \quad 1 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 1]$$

ซึ่งหมายถึง ชิ้นส่วนประกอบที่ 1 ได้แก่คู่ค้าที่ 3 ชิ้นส่วนประกอบที่ 2 ได้แก่คู่ค้าที่ 3 ชิ้นส่วนประกอบที่ 3 ได้แก่คู่ค้าที่ 2 เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 3 ประยุกต์ใช้กระบวนการค้นหาบริเวณรอบๆ (Neighborhood search) ของคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

$$S_{best_n} = [3 \quad 3 \quad 2 \quad 3 \quad 1 \quad 3 \quad 1 \quad 1 \quad 2 \quad 2 \quad 3 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \quad 1]$$

$Y_{best_n} = 0.9070$ ซึ่งมีราคาต้นทุนรวม $C(x) = 28.9840$

เนื่องจากงบประมาณที่กำหนด คือ 29 \$ ดังนั้น จะเหลืองบประมาณ $29 - 28.9840 = 0.016$ \$

นั่นหมายความว่า สามารถค้นหาคำตอบบริเวณรอบๆ คำตอบเดิม เพื่อหาค่าความน่าเชื่อถือรวมที่เพิ่มขึ้นทีละชิ้นส่วน ภายใต้งบประมาณที่ยังคงเหลืออีก 0.016 \$ โดย

ขั้นตอนที่ 3.1 กระบวนการปรับปรุงคำตอบ

การค้นหาจะเริ่มค้นหาจากหาจากตำแหน่งรอบๆ เพิ่มขึ้นทีละ 1 บิต (ตำแหน่งที่ $i+1$) หรือถัดไป 1 ตำแหน่ง โดยเริ่มต้นจากชิ้นส่วนประกอบที่ 1 จนถึง 15 และคำนวณหาค่าราคาต้นทุนรวมที่ได้ต้องยังคงไม่เกิน 29 \$ หากเกิน คำตอบเดิมจะถูกคงไว้ และค้นหาตำแหน่งถัดไปหรือเลือกชิ้นส่วนของคู่ค้าถัดไปแทน อธิบายได้ดังนี้

1) เริ่มค้นหาตั้งแต่ชิ้นส่วนแรก

2) ถ้างบประมาณที่เหลือเพียงพอที่จะเปลี่ยนคู่ค้าที่มีอัตราผลผลิตที่ดีกว่าได้ ให้ทำการเปลี่ยนคู่ค้าได้

3) หางบประมาณที่เหลือใหม่

4) เก็บคำตอบที่ได้จากการดำเนินการ

5) ถ้างบประมาณที่เหลือเพียงพอ ให้เลื่อนไปค้นหาในชิ้นส่วนถัดไป และไปทำ ดังข้อที่ 2 ถ้าไม่ให้หยุดดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 3.2 กระบวนการค้นหาบริเวณรอบข้าง มีขั้นตอนดำเนินการ คือ

For i = 1 to (n-1)

เปลี่ยนคู่ค้าเพิ่มขึ้นหนึ่งอันดับของชิ้นส่วนที่ i

For k = (i+1) to n

เปลี่ยนคู่ค้าลดลงหนึ่งอันดับของชิ้นส่วนที่ k

เก็บคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้ง

End

เปลี่ยนคู่ค้าลดลงหนึ่งอันดับของชิ้นส่วนที่ i

For k = (i+1) to n

เปลี่ยนคู่ค้าเพิ่มขึ้นหนึ่งอันดับของชิ้นส่วนที่ k

เก็บคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้ง

End

End

ประเมินผลของคำตอบที่ได้ ถ้าดีกว่าคำตอบเดิม เก็บคำตอบเป็นคำตอบปัจจุบัน

ดังนั้นจะได้

$$S_{best_new} = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งมีค่าอัตราผลผลิต $Y_{best_new} = 0.9152$ ซึ่งมีราคาต้นทุนรวม $C_{best_new} = 28.9928$

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราการเพิ่มของฟีโรโมน $\Delta\tau_{ij}$ ของแต่ละคู่ค้าในแต่ละเส้นทาง พร้อมทั้งปรับปรุงค่าฟีโรโมน τ ของแต่ละเส้นทาง ได้จากสมการที่ 2.2

$$\tau_{ij}(t) = (1-\rho)\cdot\tau_{ij}(t-1) + \Delta\tau_{ij}$$

กำหนดให้อัตราการระเหยของฟีโรโมนเท่ากับ $(1-\rho)$ และ ρ มีค่าเท่ากับ 0.05 นั่นคือ ใน 1 รอบของการค้นหาฟีโรโมนจะระเหยไป 5% และ $\Delta\tau_{ij}$ คือ ปริมาณฟีโรโมนที่เกิดขึ้นในเส้นทางที่มดเดินในรอบนั้น จากคำตอบที่ได้จากตัวอย่างของขั้นตอนที่ 2 เราสามารถนำมาหาค่า $\Delta\tau_{ij}$ ได้ และปรับปรุงตารางฟีโรโมนได้จากสมการข้างต้น

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.11)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.2 จะได้

$$\tau_{ij}(new) = (1-0.05)\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(7.12)

$$\tau_{ij}(new) = 0.95\begin{bmatrix}0&0&1&1&1&1&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&1&1&0&0&0\\0&1&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&0&0&0&0&0\\1&1&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&0&0&0&0&0\\1&1&1&0&0&0&0&0\\1&1&1&0&0&0&0&0\\1&1&1&0&0&0&0&0\\1&1&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&0&0&0&0&0\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix} \quad (7.13)$$

$$\tau_{ij}(new) = \begin{bmatrix}0&0&1.95&0.95&0.95&0.95&0&0\\0&0&1.95&0&0&0&0&0\\0&1.95&0.95&0&0&0&0&0\\0&0&1.95&0.95&0&0&0&0\\1.95&0.95&0.95&0.95&0.95&0&0&0\\0&0.95&1.95&0.95&0&0&0&0\\1.95&0.95&0.95&0.95&0&0&0&0\\1.95&0.95&0.95&0&0&0&0&0\\0.95&1.95&0.95&0.95&0&0&0&0\\1.95&0.95&0.95&0&0&0&0&0\\0.95&1.95&0.95&0&0&0&0&0\\0.95&1.95&0.95&0&0&0&0&0\\1.95&0.95&0.95&0&0&0&0&0\\0.95&0.95&1.95&0.95&0&0&0&0\\1.95&0.95&0.95&0&0&0&0&0\end{bmatrix} \quad (7.14)$$

จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นในการเลือกคู่ค้าของแต่ละชิ้นส่วนประกอบในรอบถัดไปได้จากสมการที่ 2.1

$$p_{ij}^{k}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 40 & 20 & 20 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 68 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 68 & 32 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 40 & 15 & 15 & 15 & 15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 25 & 50 & 25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 45 & 23 & 18 & 14 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 60 & 20 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 23 & 43 & 17 & 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 58 & 21 & 21 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 26 & 50 & 24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 29 & 49 & 22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 56 & 22 & 22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 26 & 21 & 37 & 16 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 50 & 25 & 25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดให้จำนวนรอบในการค้นหา $NC = NC + 1$ หรือสุ่มคำตอบโดยมดฝูงถัดไป และหาอัตราการเพิ่มของฟีโรโมน $\Delta\tau_{ij} = 0$ เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของค่าเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 6 หาความน่าจะเป็นในการเลือกของแต่ละเส้นทางโดยใช้สมการที่ (2.1)

ขั้นตอนที่ 7 ให้มดทุกตัวของฝูงค้นหาหาคำตอบที่เป็นได้โดยใช้ความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทางที่ได้จากสมการที่ (2.1) พร้อมทั้งคำนวณค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมของแต่ละคำตอบ และเลือกคำตอบที่มีค่าฟังก์ชั่นความเหมาะสมดีที่สุด เป็นคำตอบที่ดีที่สุด $s_{k_best}(NC)$

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบว่า ถ้า $f(s_{k_best}(NC)) < f(s_{k_best}(NC-1))$ กำหนดให้ $s_{best}(NC) = s_{k_best}(NC)$ ถ้าไม่เป็นจริงให้ $NL = NL + 1$ เพื่อตรวจสอบว่า $NL < NL_{\max}$ ถ้าไม่เป็นจริงให้สร้างคำตอบใหม่ (Re-initialization) โดยที่ NL คือ จำนวนครั้งที่ได้คำตอบเดิมที่ไม่ใช่ค่าเหมาะสมซ้ำๆ ถ้าเป็นจริงให้ไปยังขั้นตอนที่ 9

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าไม่ถึงเงื่อนไขการหยุดให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 มีวิธีหลายวิธีที่จะถูกนำมาใช้กำหนดสภาวะในการหยุดดำเนินการค้นหา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ จะกำหนดเงื่อนไขการหยุดการค้นหาจากสภาวะใดสภาวะหนึ่งข้างล่างนี้

- ครบตามเวลาที่กำหนดให้ใช้ในการค้นหา

- ค่าที่ดีที่สุดที่หาได้นั้นเท่ากับค่าเหมาะสม (Optimum) ในกรณีที่ทราบค่าเหมาะสม (Optimum) แล้ว

ดังนั้น คำตอบที่ได้จากการคัดเลือกคู่ค้าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ คือ

$$S_{Optimum} = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 2 & 3 & 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

$Y_{Optimum} = 0.919125$ ซึ่งมีราคาต้นทุนรวม $C(x) = 28.9999$ \$

จากขั้นตอนการทำงานของวิธีการฝูงมดปรับปรุงในข้างต้น สามารถเขียนเป็น Psodo code ได้ ดังนี้

Step 1 Initialization

Set $NC = 0$ /* NC : cycle counter */

Set value of a /* a : number of ant of colony */

For every combination (i,j)

Set $\tau_{ij}(0) = \tau_0$ and $\Delta\tau_{ij} = 0$

End

Step 2 Construct feasible solutions

For k=1 to m /* m: number of ants or solutions */

For i=1 to n /* n: number of components */

Choose a supplier of connection with transition probability given by Eq.(4)

End

Calculate cost C_k /* C_k: total cost for each ant */

Calculate yield Y_k /* Y_k: total yield for each ant */

End

Update the best solution Y*

Step 3 Neighborhood search

Step 3.1 Improving solution

Step 3.2 Neighborhood search

Step 4-7 Global updating rule

For every combination (i,j)

For k=1 to m

Find $\Delta\tau_{ij}^{k}$ according to Eq.(2.1)

End

Update $\Delta\tau_{ij}$ according to Eq.(2.2)

End

Update the trail values according to Eq.(2.2)

Update the transition probability according to Eq.(2.1)

Step 8 Next search

If $f(s_{k_best}(NC)) < f(s_{k_best}(NC-1))$ **Then**

$s_{best}(NC) = s_{k_best}(NC)$

Else

$NL = NL + 1$

If $NL > NL_{\max}$ **Then**

Re-initialization

End

End

Set NC = NC+1

For every combination (i,j)

$\Delta\tau_{ij} = 0$

End

Step 9 Termination

If (NC < NC_{max})

Then

Goto step 2

Else

Print the best feasible solution

Stop

End

End

7.2 กำหนดค่าพารามิเตอร์

การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับวิธีฝูงมดปรับปรุงจะอ้างอิงค่าเดียวกับวิธีฝูงมด นั่นคือ จำนวนครั้งในการทดสอบ (Seed) 30 รอบ เวลาในการหยุดค้นหา (Terminate Time) 45 วินาที α = 0.1 β =0.8 และ ρ = 0.01

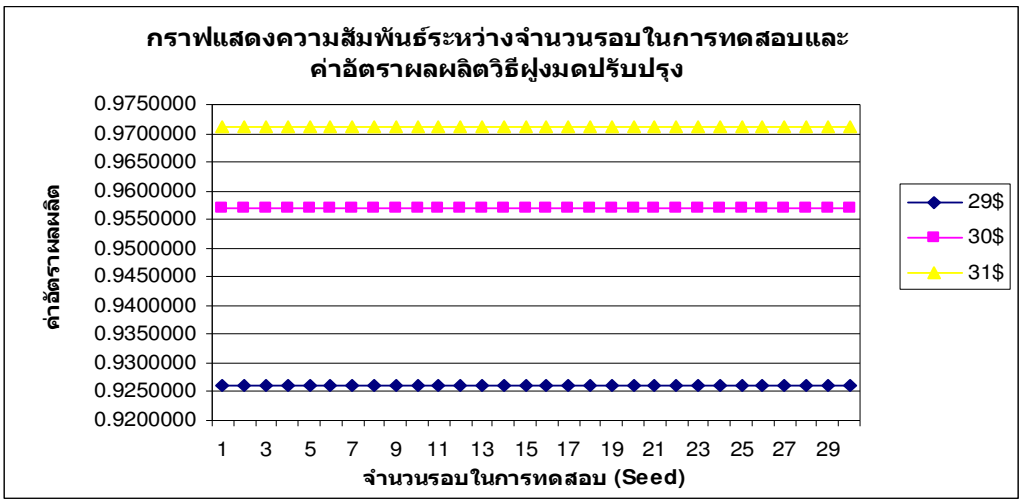
จากการศึกษาพบว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของแต่ละปัญหา มีค่าที่แตกต่างกันไปขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาดของปัญหาหรือ Search Space สมการวัตถุประสงค์ เงื่อนไข ตำแหน่งของค่าเหมาะสม และความซับซ้อนของอัลกอริทึม เป็นต้น ดังนั้น การกำหนดพารามิเตอร์สำหรับแต่ละอัลกอริทึมของแต่ละปัญหาและอัลกอริทึม จึงมีค่าที่แตกต่างกันไป ซึ่งควรจะเลือกใช้ค่าที่สามารถค้นหาค่าเหมาะสมได้อย่างแม่นยำในปัญหานั้นๆ

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว แสดงผลการหาค่าเหมาะสมโดยวิธีการค้นหาแบบฝูงมดปรับปรุงที่ค่างบประมาณ 29$, 30$ 31$ ดังตารางที่ 7.1 และภาพที่ 7.1

ตารางที่ 7.1

แสดงผลการหาค่าเหมาะสมโดยวิธีฝูงมดปรับปรุงที่ค่างบประมาณ 29$ 30$ 31$

Budget($)	Algorithm	Max Yield	Average Yield	Min Yield	Standard Deviation	CPU time(S)	% get optimal
31	IACO	0.9712223	0.9712223	0.9712223	0.0000000	8.68	100.00
30	IACO	0.9570433	0.9570433	0.9570433	0.0000000	10.24	100.00
29	IACO	0.9260068	0.9260068	0.9260068	0.0000000	11.97	100.00



ภาพที่ 7.1

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการทดสอบและค่าอัตราผลผลิตวิธีฝูงมดปรับปรุง

จากตารางที่ 7.1 จะเห็นได้ว่าที่เมื่องบประมาณเปลี่ยน ส่งผลให้คำตอบเหมาะสมของปัญหาเปลี่ยนแปลงด้วย นั่นคือ ค่าอัตราผลผลิตเฉลี่ย 0.9260, 0.9570 และ 0.9712 โดยที่มีค่าความเบี่ยงเบนของการค้นหาคำตอบ คือ 0.000 หรือไม่มีความเบี่ยนเบนของการค้นหาคำตอบค่าเหมาะสม ความแม่นยำในการค้นหา คือ 100% จากการค้นหา 30 รอบ สำหรับทุกๆ ค่างบประมาณ ขณะที่ใช้เวลาในการค้นหา นั่นคือ 11.97, 10.24 และ 8.68 วินาที สำหรับค่างบประมาณ 29$, 30$ และ 31$ ตามลำดับ จากค่าเปอร์เซ็นความแม่นยำและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมของวิธีการค้นหาฝูงมดปรับปรุงนั้น มีความเสถียรมากกว่าวิธีอื่นๆ ที่ได้กล่าวไปแล้ว นั่นคือ วิธีฝูงมด วิธีจีนเนติกอัลกอริทึม และวิธีการค้นหาแบบตาบู

จากภาพที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการทดสอบ 30 รอบและค่าอัตราผลผลิตวิธีฝูงมดปรับปรุงที่งบประมาณ 29$, 30$ และ 31$ จะเห็นได้ว่า ที่ค่างบประมาณสูงจะมีการแกว่งตัวของการค้นหาคำตอบหรือการเบี่ยงเบนเป็นศูนย์ นั่นคือ เงื่อนไขงบประมาณที่เปลี่ยนแปลงไม่มีผลต่อความความเสถียรของคำตอบ