บทที่ 7
การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึม

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมร่วมกับการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (M-PSONK) ซึ่งใช้ในการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักความน่าจะเป็น ในบทนี้จะเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึม แนวคิด ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมและตัวอย่างอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

7.1 เมมเมติกอัลกอริทึม

เมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ เป็นวิธีการทำให้เกิดการผสมพันธ์หรือลูกผสมเพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลายเพื่อนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด หลักการของเมมเมติกอัลกอริทึมมีพื้นฐานจากการคัดเลือกตามธรรมชาติ โดยใช้คำตอบที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการกำหนดความแข็งแรงของสตริงคำตอบเพื่อค่าที่ดีที่สุด ขั้นตอนการหาเมมเมติกอัลกอริทึม (Merz and Freisleben, 1999) สามารถหาค่าได้ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยผ่านกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

3. คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ

4. การหาค่าที่เหมาะสม ใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. การค้นหาเฉพาะที่ ทำการค้นหาเฉพาะตามจำนวนที่กำหนดค่าไว้ต่อการค้นหาเฉพาะที่หลังจากที่ได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

6. ปรับประชากรให้เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาสตริงคำตอบเริ่มต้นต่อไป

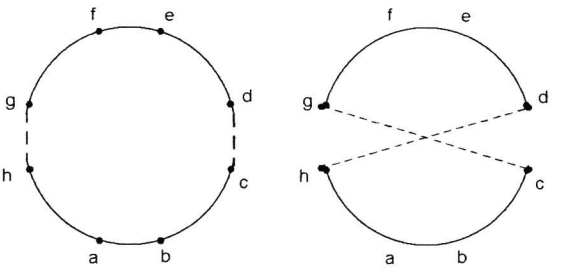
7.2 การค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ เป็นฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ที่มีวิธีการทำซ้ำอย่างง่าย เพื่อการหาคำตอบที่ดี โดยมีแนวคิดมาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ที่มีการเริ่มต้นด้วยการสุ่มเลือกสมาชิกคำตอบเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งเดิมไปสู่ตำแหน่งอื่น ๆ เพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งจะมีรูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ตามที่กำหนด คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) และทำการค้นหาซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนครั้งในการทำการซ้ำ หรือไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดีกว่าเดิม

7.2.1 รูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ในปัญหาการเดินของพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย(Traveling Salesman Problem: TSP) เป็นการหาคำค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัด มีลักษณะปัญหาแบบ NP-hard คือพนักงานขายต้องเดินทางไปพบลูกค้าซึ่งลูกค้าแต่ละรายจะอยู่ในเมืองที่แตกต่างกัน โดยจำนวนเมืองทั้งหมดเท่ากับ n พนักงานขายที่จะต้องเลือกเส้นทางในการเดินทางที่สามารถไปยังแต่ละเมืองได้เพียงเมืองละ 1 ครั้งเท่านั้น และย้อนกลับมายังเมืองเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง โดยกำหนดระยะทางแต่ละคู่ของเมืองให้ พนักงานขายจะมีหน้าที่ในการหาเส้นทางที่มีการเดินทางทั้งหมดที่น้อยที่สุด วิธีในการค้นหาเฉพาะที่ได้มีการมาใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานมีทั้งหมด 7 วิธี (Kumar and Singh, 2007) คือ วิธี Pairwise Interchange (PI), วิธี Adjacent Pairwise Interchange (API), วิธี Shift Procedure หรือ Insertion Procedure, วิธี 2-Opt, วิธี 3-Opt, วิธี Or-Opt และ วิธี Double-bridge ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีการค้นหาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของปัญหา โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่ที่มาใช้ในงานวิจัย คือวิธี 2-Opt

การค้นหาเฉพาะที่ด้วย วิธี 2-Opt เป็นการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้การลบเส้นทางเดิมออก แต่หาทางเชื่อมทางเดินใหม่ที่สามารถเป็นไปได้ โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมกันมาก เพราะสามารถหาคำตอบที่ต้องการได้และเป็นคำตอบที่ดีและยังใช้เวลาในการคำนวณน้อยมาก



ก่อนทำวิธี 2-Opt หลังทำวิธี 2-Opt

รูปที่ 7.1 ก่อนและหลังการแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 2-Opt

จากรูปที่ 7.1 จะเห็นได้ว่าลำดับทางเดินจะเปลี่ยนไป ก่อนทำวิธี 2-Opt จะมีลำดับทางเดิน a – b – c – d – e – f – g – h เมื่อทำวิธี 2-Opt แล้วลำดับทางเดินจะเป็น a – b – c – g – f – e – d – h

7.2.2 ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่

ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่มี 2 รูปแบบคือ

7.2.2.1 การค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก (First improvement)

หลักการค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรกนี้จะทำการสุ่มประชากรที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ ที่ไม่อิงลำดับตำแหน่งการค้นหาเฉพาะที่ แล้วการค้นหาคำตอบไป *k* คำตอบ จนกระทั่งพบคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมจะหยุดทำการค้นหาเฉพาะที่

7.2.2.2 การค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุด (Best improvement)

หลักการค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุดนี้จะทำการค้นหาคำตอบทุกคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบัน และยอมรับค่าที่ดีที่สุดของวัตถุประสงค์ และดำเนินการค้นหาคำตอบจนไม่สามารถให้คำตอบที่ดีกว่านี้ได้ ดังนั้นสมรรถนะของการค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุดนั้นค่อนข้างจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง อาจจะทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหามาก

7.2.3 ความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่

ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ ในที่นี้จะกำหนดให้ใช้การค้นหาเฉพาะที่ในทุกๆ 10 รอบ

7.2.4 คำตอบที่ทำการค้นหาเฉพาะที่

คำตอบที่นำไปใช้ในการค้นหาเฉพาะที่ ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) ที่ทำการกำหนดขึ้นมา โดยคำตอบที่ทำการเลือกมานั้นจะต้องเป็นคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงน้อยที่สุด

7.2.5 การทำซ้ำในแต่ละรอบ

จำนวนการทำซ้ำในแต่ละรอบจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่กำหนด คือค่า k และถ้าการค้นหาเฉพาะที่ไม่สามารถทำการปรับปรุงคำตอบที่ดีได้ใน k ครั้งติดต่อกัน จะทำการหยุดการค้นหาเฉพาะที่

7.3 การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีโครงสร้างการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น โดยทำการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่เข้าไปหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นและหลังการสิ้นสุดกระบวนการ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของประชากรคำตอบเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการ ในการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบเป็นการปรับปรุงคำตอบสุดท้ายให้ดีขึ้นจนไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้อีก วิธีการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้คือ 2-Opt

เมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ เป็นวิธีการทำให้เกิดการผสมพันธ์หรือลูกผสม โดยมีวัตถุประสงค์

7.4 ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล (Data Input)

การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Representation & Initialization)

สร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1 \times n$ โดยมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n$

ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางความเร็วของอนุภาค (Velocity Matrix) มีขนาด $n \times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดย Joint Probability Matrix มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1)$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 ส่วนค่า Velocity Matrix เริ่มต้นจะมีเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) และจึงทำการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก เพื่อหาลำดับงานแรก และใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมในการหาค่าลำดับอื่นๆ โดยทำการสร้างให้ครบทุกอนุภาคที่กำหนดในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ผิดกับความสัมพันธ์งานก่อนและหลัง

3. การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Heuristic)

จำนวนในการค้นหาเฉพาะที่นี้จะใช้จำนวน k ครั้งต่อการค้นหาเฉพาะที่หลังจากที่ได้สตริงคำตอบเริ่มต้นแล้ว

4. การซ่อมแซมสตริงคำตอบ (Repair String)

ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

5. การประเมินค่า (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

6. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

7. การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงที่ได้ในจากการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

8. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น (Update Probability Matrix)

การปรับปรุงค่าตารางการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ทำให้มีการเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดี และลดโอกาสการเลือกคำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \tag{7.1}$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \tag{7.2}$$

เมื่อ $V_{(i,j)}$ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

$X_{(i,j)}$ คือ ค่าความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

r_1 และ r_2 คือ ค่าสุ่มในช่วง (0, 1)

c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor)

w คือ น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight)

D_1 และ D_2 คือ การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นโดยใช้คำตอบในส่วนของ Local และ Global ตามลำดับ

โดยแบ่งออกเป็นการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ดังนี้

8.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

ทำการปรับปรุง First Walk Probability Matrix โดยดูงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$

8.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

ค่าจากการเคลื่อนที่ (Velocity) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่าสุ่ม โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$ จากนั้นทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

8.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบในการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) โดยใช้สมการที่ (7.2) ในการปรับปรุงเพื่อสุ่มหาสตริงคำตอบในรอบต่อไป

9. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population)

นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated

Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

10. สิ้นสุดกระบวนการ (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

11. การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Heuristic)

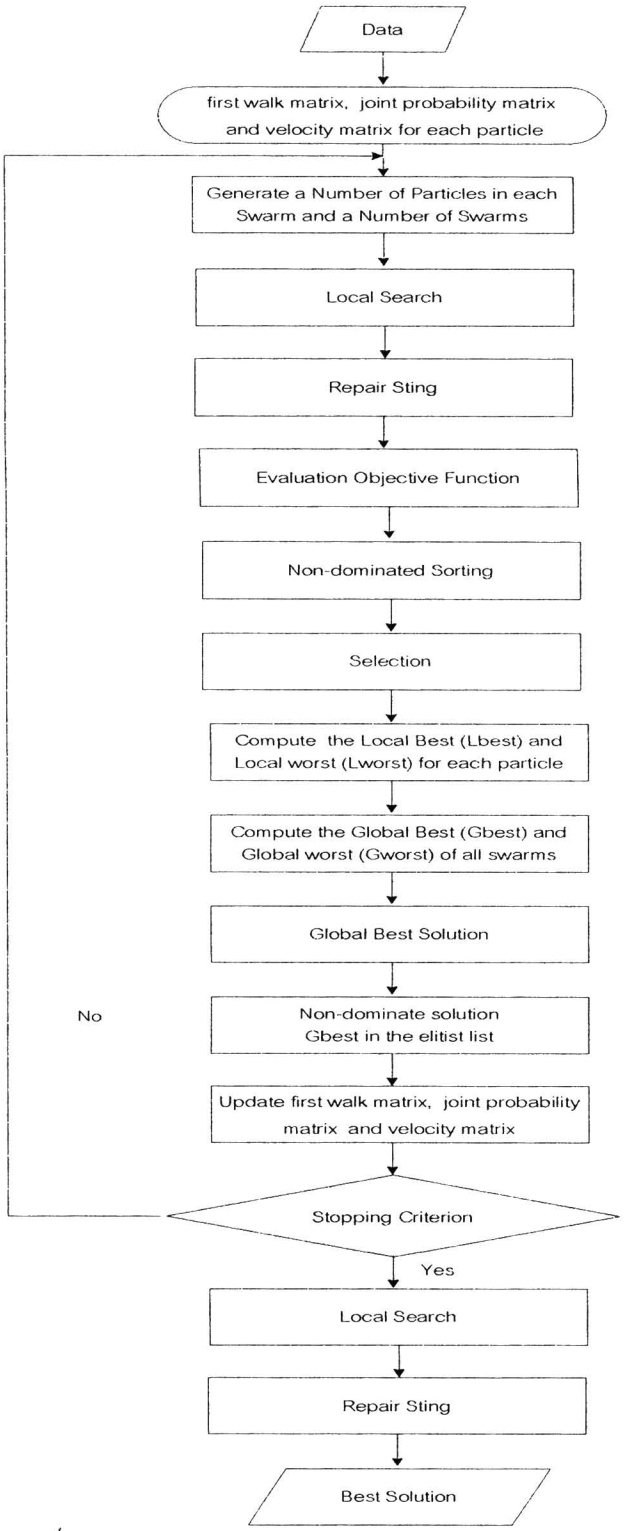
จำนวนในการค้นหาเฉพาะที่นี้จะใช้จำนวน k ครั้งต่อการค้นหาเฉพาะที่หลังจากที่ได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหาคำตอบแล้ว

12. การซ่อมแซมสตริงคำตอบ (Repair String)

ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

13. คำตอบที่ดีที่สุด (Best Solution)

หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในการซ่อมแซมสตริงคำตอบมาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการทำงานของ PSONK ร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

7.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากขั้นตอนของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน จากที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างของสายการผลิตแบบผสมของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

7.5.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

7.5.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ M-PSONK ที่ใช้ในตัวอย่าง

1. จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3

2. จำนวนฝูง (Number of Swarms) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2

3. น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

4. ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1

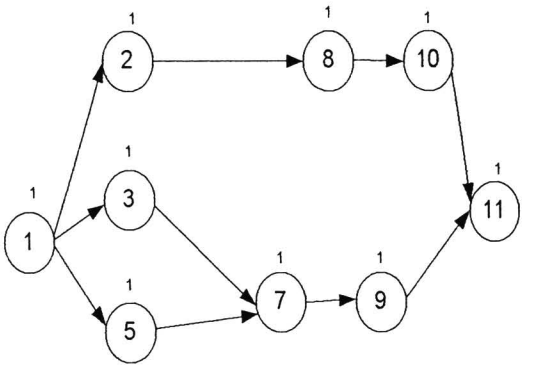
5. การค้นหาเฉพาะที่

5.1 ใช้วิธีแบบ 2-Opt

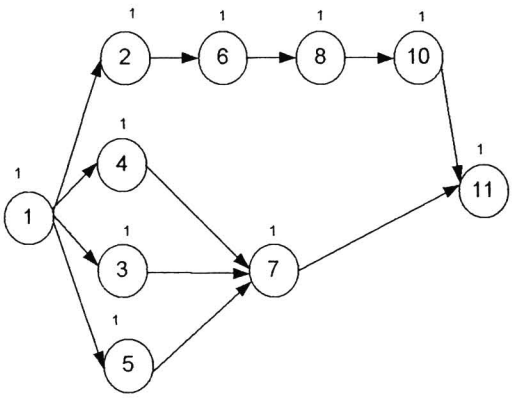
5.2 ความถี่ที่ใช้ใช้ทุกๆ 10% ของจำนวนรอบการทำงาน

5.3 จำนวนซ้ำในการค้นหาเฉพาะที่ ใช้จำนวน 5 ครั้งต่อการค้นหาเฉพาะที่

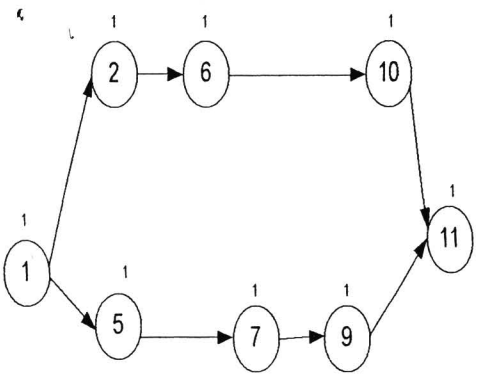
7.5.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 7.3



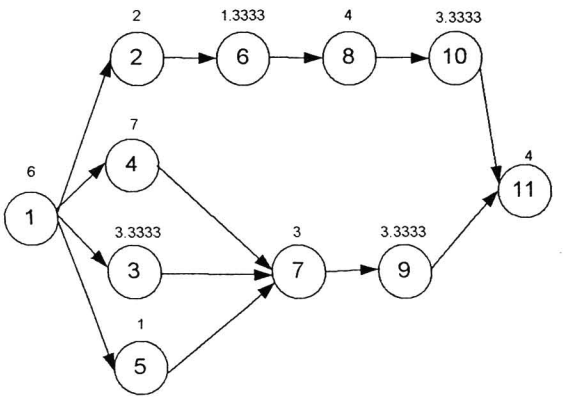
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 7.3 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)

7.5.1.3 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงานขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	***0***	***7***	***0***	***7***	***7***	***7***	***1***	***7***
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

7.5.1.4 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 7.3 จะได้ดังตารางที่ 7.2 – 7.3

ตารางที่ 7.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

7.5.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกขั้นงานมาจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) และตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) เพื่อใช้ในการเลือกงานในอันดับแรก

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์ของประชากรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการเลือกงานแรกในการจัดลำดับการสร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $1 \times n = 1 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด และมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/n = 1/11 = 0.0909$

ตารางที่ 7.4 ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909

การสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะมีขนาดเท่ากับ $n \times n = 11 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ 0

การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $n \times n = 11 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด เส้นทแยงมุมของตารางความน่าจะเป็นร่วมจะมีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1) = 1/10 = 0.1$

ตารางที่ 7.5 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1
8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1
9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1
10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1
11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์แรกตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง โดยมีวิธีการสร้างสตริงคำตอบดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

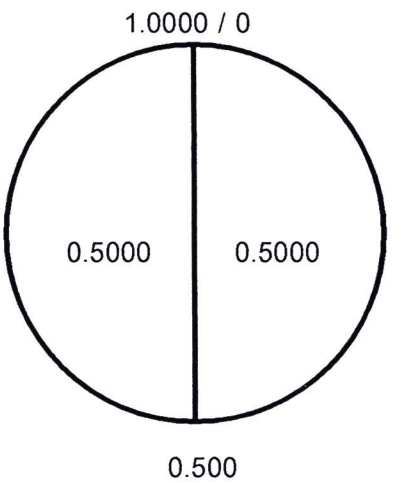
1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 7.2 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 7.3 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 7.2 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 7.3 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 พิจารณาจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกในตารางที่ 7.4 พบว่าขั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.0909 และ 11 มีค่าเท่ากับ 0.0909 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 จึงนำขั้นงานที่ 1 ซึ่งเป็นขั้นงานที่สามารถทำได้แบบย้อนกลับมาจัดลำดับเป็นขั้นงานแรก

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 1 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 7.6 การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน

ขั้นงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	ค่าความน่าจะเป็นสะสม
1	0.0909	0.5000	0.5000
11	0.0909	0.5000	1
รวม	0.1818	1	



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 7.4 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน

ตารางที่ 7.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
2	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	***1***	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	***1***	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
2	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	***1***	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	***1***	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10	***1***	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	***1***	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 1

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 7.7 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 7.8 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 7.7 คือขั้นงานที่ 2, 3, 4, 5 และในตารางที่ 7.8 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1, 9 และ 10 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาในแถวที่ 1 ซึ่งเป็นงานที่จัดลำดับไว้ก่อนหน้า พบว่าขั้นงานที่ 2, 3, 4, 5 มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.1, 0.1, 0.1 ตามลำดับ และขั้นงานที่ 11 มีค่าเท่ากับ 0.1 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 2

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 2 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 2 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 2 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 2 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 7.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	***0***	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
3	1	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	1	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	1	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	1	***1***	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.10 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	***0***	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
3	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	***1***	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	1	***1***	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	1	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10	1	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	1	***1***	0	0	0	0	0	0	1	1	0

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 1, 2

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 7.11 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	1
2	2, 3, 4, 5	11	2
3	3, 4, 5, 6	11	11
4	3, 4, 5, 6	9, 10	10
5	3, 4, 5, 6	8, 9	6
6	3, 4, 5, 8	8, 9	9
7	3, 4, 5, 8	7, 8	7
8	3, 4, 5, 8	8	8
9	3, 4, 5	3, 4, 5	4
10	3, 5	3, 5	5
11	3	3	3

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานทั้งหมด จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

First Swarm:

String 1 = [1 2 11 10 6 9 7 8 4 5 3]

String 2 = [1 11 3 9 10 5 2 6 7 8 4]

String 3 = [1 5 4 11 10 8 2 3 6 7 9]

Second Swarm:

String 1 = [1 4 3 2 6 11 10 5 8 7 9]

String 2 = [11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]

String 3 = [11 1 3 2 5 9 10 6 4 8 7]

7.5.3 การค้นหาเฉพาะที่

ทำการค้นหาเฉพาะที่ในแต่ฝูง โดยจะทำการค้นหาเฉพาะที่ฝูงละ 5 รอบ (ซึ่งจะกำหนดให้ทำการค้าหาเฉพาะที่ในทุก 10% ของจำนวนรอบการทำงาน)

7.5.3.1 วิธี 2-Opt

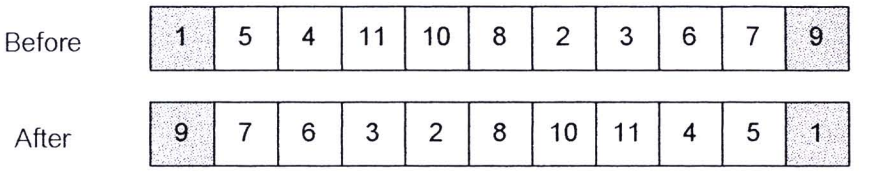
การค้นหาเฉพาะที่ด้วย วิธี 2-Opt เป็นการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้การลบเส้นทางเดิมออก แต่หาทางเชื่อมทางเดินใหม่ที่สามารถเป็นไปได้ โดยทำการสุ่มตำแหน่งขึ้นมา 2 ตำแหน่งและทำการสลับตำแหน่ง และสลับตำแหน่งที่เหลือภายในที่อยู่ระหว่าง 2 ตำแหน่งที่สุ่มมาได้ดังนี้

Before	1	2	11	10	6	9	7	8	4	5	3
After	1	2	11	10	6	9	7	8	5	4	3

รูปที่ 7.5 การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 1 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt

Before	1	11	3	9	10	5	2	6	7	8	4
After	1	11	3	9	10	8	7	6	2	5	4

รูปที่ 7.6 การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 2 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt



รูปที่ 7.7 การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 3 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt

ทำการค้นหาเฉพาะที่เป็นจำนวน 5 ครั้งได้ดังนี้

ตารางที่ 7.12 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
1	0	1	[1 2 11 10 6 9 7 8 4 5 3]
		2	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 8 4]
		3	[1 5 4 11 10 8 2 3 6 7 9]
	1	4	[1 2 11 10 6 9 7 8 5 4 3]
		5	[1 11 3 9 10 8 7 6 2 5 4]
		6	[9 7 6 3 2 8 10 11 4 5 1]
	2	7	[7 9 6 10 11 2 1 8 4 5 3]
		8	[1 11 3 9 10 5 2 6 8 7 4]
		9	[1 6 3 2 8 10 11 4 5 7 9]
	3	10	[10 11 2 1 6 9 7 8 4 5 3]
		11	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 4 8]
		12	[1 4 5 11 10 8 2 3 6 7 9]
	4	13	[1 2 7 9 6 10 11 8 4 5 3]
		14	[1 11 3 9 8 7 6 2 5 10 4]
		15	[1 5 7 6 3 2 8 10 11 4 9]
	5	16	[1 5 4 8 7 9 6 10 11 2 3]
		17	[1 11 9 3 10 5 2 6 7 8 4]
		18	[1 5 8 10 11 4 2 3 6 7 9]
2	0	1	[1 4 3 2 6 11 10 5 8 7 9]
		2	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]
		3	[11 1 3 2 5 9 10 6 4 8 7]

ตารางที่ 7.12 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt (ต่อ)

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
2 (ต่อ)	1	4	[8 5 10 11 6 2 3 4 1 7 9]
		5	[11 9 2 5 1 6 10 3 8 4 7]
		6	[11 1 3 2 5 9 7 8 4 6 10]
	2	7	[1 4 3 2 6 5 10 11 8 7 9]
		8	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 7 4]
		9	[11 1 3 2 5 9 7 8 4 6 10]
	3	10	[1 4 3 2 6 11 10 8 5 7 9]
		11	[11 9 1 5 2 6 10 8 3 4 7]
		12	[11 8 4 6 10 9 5 2 3 1 7]
	4	13	[1 4 8 5 10 11 6 2 3 7 9]
		14	[11 9 5 1 2 6 10 3 8 4 7]
		15	[11 1 3 2 5 9 10 4 6 8 7]
	5	16	[1 4 3 8 5 10 11 6 2 7 9]
		17	[11 9 1 5 2 7 4 8 3 10 6]
		18	[11 1 3 2 4 6 10 9 5 8 7]

7.5.4 การซ่อมแซมคำตอบ

เมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่แล้วต้องมีการซ่อมแซมสตริงคำตอบที่ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นสตริงคำตอบที่มีการจัดเรียงตามความสัมพันธ์ก่อนหลังแล้ว และเมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่อาจจะทำให้ผิดหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังได้ จึงทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบก่อนที่จะนำไปใช้ ดังเช่นตัวอย่างในการซ่อมแซมสตริงคำตอบที่ 5 ของฝูงที่ 1

String 5 = [1 11 3 9 10 8 7 6 2 5 4]

ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของขั้นงานในสตริงคำตอบที่ 5 โดยตรวจดูว่าลักษณะความสัมพันธ์ของงานก่อหน้าและความสัมพันธ์งานจากด้านหลัง ในการเรียงคำตอบผิดความสัมพันธ์หรือไม่ จากการตรวจสอบพบว่า

ในลำดับที่ 1 ขั้นงานที่ 1 เมื่อพิจารณาดูจากตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าสามารถทำได้จริงจึงทำการเปลี่ยนเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งในตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าและข้างหลัง

ในลำดับที่ 2 ขั้นงานที่ 11 เมื่อพิจารณาดูจากตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าสามารถทำได้จริงจึงทำการเปลี่ยนเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 11 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งในตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าและข้างหลัง

ทำการตรวจสอบทุกลำดับขั้นงาน ถ้ามีขั้นงานไหนที่ผิดลำดับความสัมพันธ์ของงานให้เลื่อนไปทำงานถัดไปจนกว่าจะทำงานในขั้นงานนั้นได้จากการตรวจสอบพบว่า สตริงคำตอบที่ 5 ไม่ผิดความสัมพันธ์ของงานสามารถใช้งานได้

String 5 = [1 11 3 9 10 8 7 6 2 5 4]

ตารางที่ 7.13 สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
1	0	1	[1 2 11 10 6 9 7 8 4 5 3]
		2	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 8 4]
		3	[1 5 4 11 10 8 2 3 6 7 9]
	1	4	[1 2 11 10 6 9 7 8 5 4 3]
		5	[1 11 3 9 10 8 7 6 2 5 4]
		6	[11 9 7 3 10 8 6 2 4 5 1]
	2	7	[11 9 7 10 1 2 6 8 4 5 3]
		8	[1 11 3 9 10 5 2 6 8 7 4]
		9	[1 3 2 6 8 10 11 4 5 7 9]
	3	10	[11 10 1 2 6 9 7 8 4 5 3]
		11	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 4 8]
		12	[1 4 5 11 10 8 2 3 6 7 9]
	4	13	[1 2 6 11 9 7 10 8 4 5 3]
		14	[1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]
		15	[1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]
	5	16	[1 5 4 11 9 7 10 8 6 2 3]
		17	[1 11 9 3 10 5 2 6 7 8 4]

ตารางที่ 7.13 สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่ (ต่อ)

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
1 (ต่อ)	5	18	[1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]
2	0	1	[1 4 3 2 6 11 10 5 8 7 9]
		2	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]
		3	[11 1 3 2 5 9 10 6 4 8 7]
	1	4	[11 10 8 6 2 1 5 3 4 7 9]
		5	[11 9 1 2 5 6 10 3 8 4 7]
		6	[11 1 3 2 5 9 7 4 6 8 10]
	2	7	[1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]
		8	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 7 4]
		9	[11 1 3 2 5 9 7 4 6 8 10]
	3	10	[1 4 3 2 6 11 10 8 5 7 9]
		11	[11 9 1 5 2 6 10 8 3 4 7]
		12	[11 10 8 6 9 2 1 4 5 3 7]
	4	13	[1 4 5 11 10 8 6 2 3 7 9]
		14	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]
		15	[11 1 3 2 5 9 10 4 6 8 7]
	5	16	[1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]
		17	[11 9 1 5 2 7 4 3 10 8 6]
		18	[11 1 3 2 4 6 10 9 5 8 7]

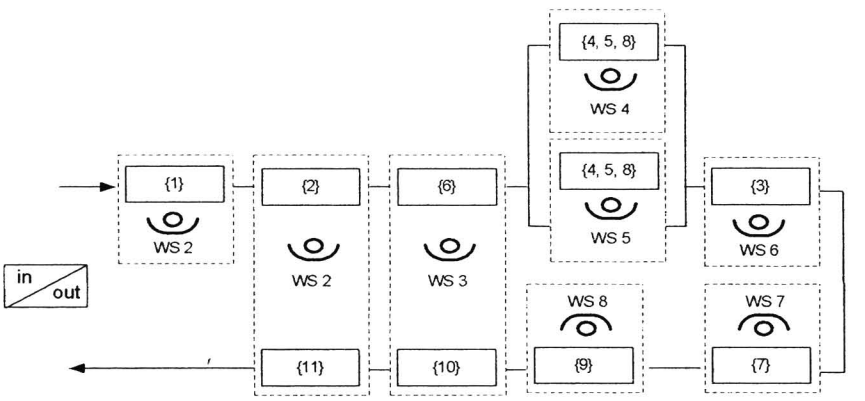
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 7.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 7.14 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
2	2	0	2	2	6
11	4	2	6	2	
10	3.3333	0	3.3333	3	6
6	1.3333	3.3333	4.6666	3	
9	3.3333	4.6666	7.9999	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	4	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	5	6
8	4	3	4	เกินเวลา	
8	4	0	4	6	12
4*	7	4	11	6	
5	1	11	12	6	
3	3.3333	0	3.3333	7	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 7.14 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \;;0 \le q_m \le 1 \;\; and \;\; \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & ortherwise \end{cases}$$

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum \; N_w \tag{7.3}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum \; B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{7.4}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum \; B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{7.5}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 8

$$f_1(X) = Minimum \; N_w = 8$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 8$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\ D_B = 1,\ D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ B $\quad q_B = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $\quad q_C = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 7.15 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	1	6	0	0	0	0	0	0	0
2	2, 11	6	0	0	0	0	0	0	0
3	6, 10	6	1	0	4	0.3333	0	1.3332	1.6665
4	9	6	1	0	1	0.3333	0	0.3333	0.6666
5	7	6	3	3	3	0.9999	0.9999	0.9999	2.9997
6	4, 5, 8	12	0	0	4	0	0	1.3332	1.3332
7	3	6	1	1	0	0.3333	0.3333	0	0.6666

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

$= [0 + 0 + 1.6665 + 0.6666 + 2.9997 + 1.3332 + 0.6666] = 7.3326$

ค่า $\left[\dfrac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \dfrac{1}{LL}\right]^2$ ทุกสถานีงาน

สถานีงานที่ 1 : $\left[\dfrac{0}{7.3326} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\dfrac{0}{7.3326} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

$$\text{สถานีงานที่ 3}: \left[\frac{1.6665}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0105$$

$$\text{สถานีงานที่ 4}: \left[\frac{0.6666}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0012$$

$$\text{สถานีงานที่ 5}: \left[\frac{2.9997}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0807$$

$$\text{สถานีงานที่ 6}: \left[\frac{1.3332}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0032$$

$$\text{สถานีงานที่ 7}: \left[\frac{0.6666}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0012$$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT}-\frac{1}{LL}\right]^2 = 0.1280$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b = \frac{8}{8-1}\times 0.1280 = 0.1463$$

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = 0.1463$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 7.16 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km}-\frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
2	2, 11	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
3	6, 10	0.0178	0.1111	0.2178	0.3467
4	9	0.0278	0.1111	0.0278	0.1667
5	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	4, 5, 8	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667
7	3	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{8(3-1)} \times (0.3333 + 0.3333 + 0.3467 + 0.1667 + 0 + 0.6667 + 0.1667)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = 0.3775$$

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

1. Task Sequence 1 = [1 2 11 10 6 9 7 8 4 5 3]

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 7.17 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	1	6
2	2, 11	6
3	6, 10	4.6666
4	9	3.3333
5	7	3
6 (มีสถานีงานขนาน)	4, 5, 8	12
7	3	3.3333

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.1463

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.3775

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 38 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	2	9	0.0575	0.3403
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	5	9	0.0929	0.2122

ตารางที่ 7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1 (ต่อ)	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	9	8	0.1529	0.4375
	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	12	8	0.1463	0.3775
	13	9	0.0770	0.2569
	14	8	0.0596	0.3750
	15	9	0.1113	0.2847
	16	8	0.1529	0.4375
	17	9	0.0575	0.3403
	18	8	0.0544	0.3950
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	3	8	0.1011	0.5000
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	6	8	0.1084	0.5313
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	9	8	0.1084	0.5313
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375

ตารางที่ 7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2 (ต่อ)	14	9	0.0707	0.2678
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375
	18	8	0.1011	0.5000

7.5.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

7.5.5.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จำ Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.19 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1463	0.3775
2	9	0.0575	0.3403
3	8	0.1463	0.3775
4	8	0.1463	0.3775
5	9	0.0929	0.2122

ตารางที่ 7.19 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1 (ต่อ)

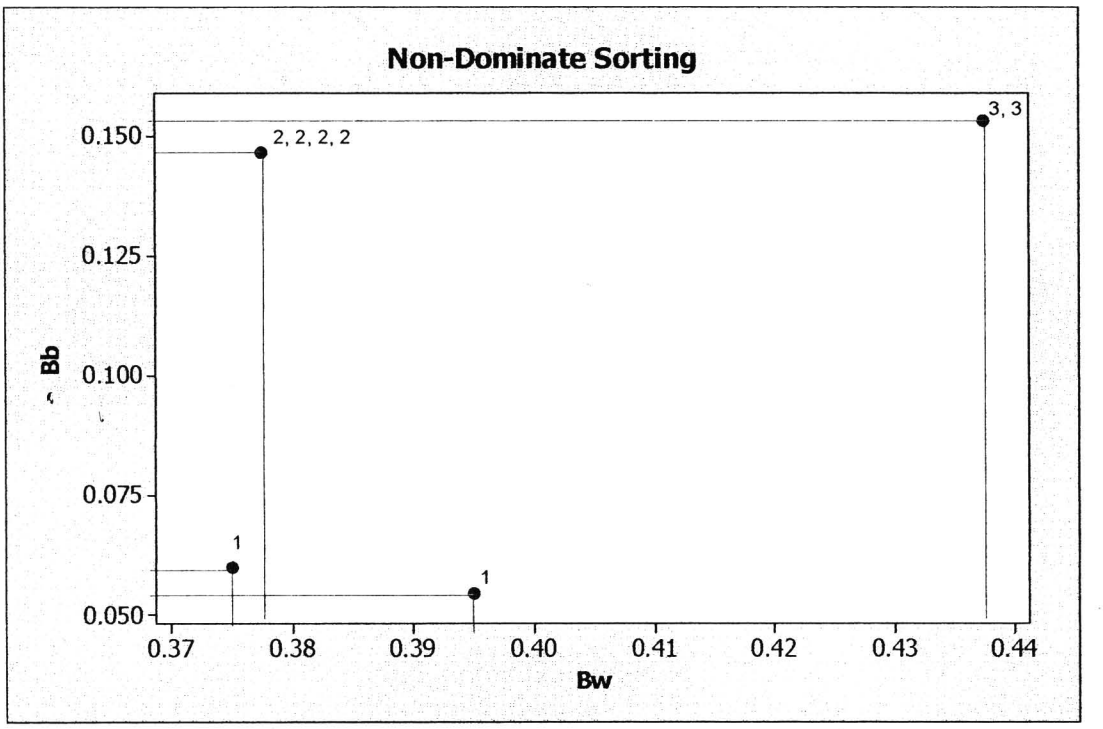
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	9	0.0730	0.2500
7	9	0.0770	0.2569
8	9	0.0872	0.2847
9	8	0.1529	0.4375
10	9	0.0770	0.2569
11	9	0.0872	0.2847
12	8	0.1463	0.3775
13	9	0.0770	0.2569
14	8	0.0596	0.3750
15	9	0.1113	0.2847
16	8	0.1529	0.4375
17	9	0.0575	0.3403
18	8	0.0544	0.3950

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.20 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1463	0.3775
3	8	0.1463	0.3775
4	8	0.1463	0.3775
9	8	0.1529	0.4375
12	8	0.1463	0.3775
14	8	0.0596	0.3750
16	8	0.1529	0.4375
18	8	0.0544	0.3950

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.9 และตารางที่ 7.21



รูปที่ 7.9 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 7.21 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
18	0.0544	0.395	1	Infinity	Lbest
14	0.0596	0.375	1	Infinity	Lbest
1	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
3	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
4	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
12	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
9	0.1529	0.4375	3	Infinity	-
16	0.1529	0.4375	3	Infinity	-

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.22 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

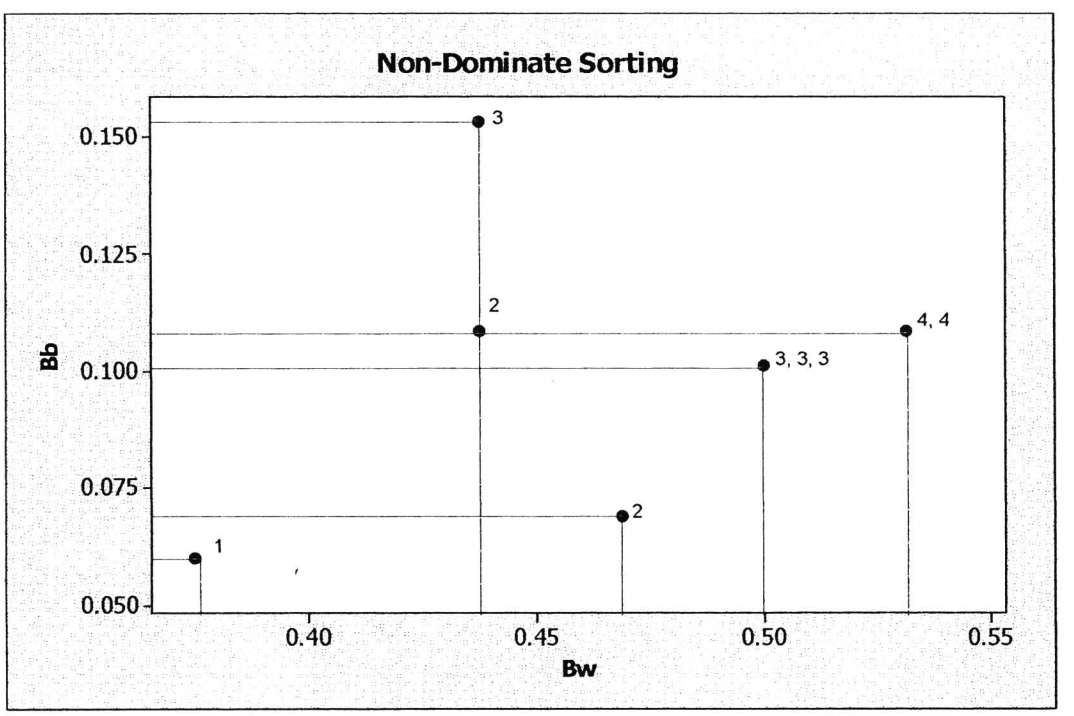
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0769	0.3681
2	9	0.0707	0.2678
3	8	0.1011	0.5000
4	9	0.0837	0.3333
5	9	0.0707	0.2678
6	8	0.1084	0.5313
7	9	0.0952	0.2956
8	9	0.0929	0.2122
9	8	0.1084	0.5313
10	9	0.0575	0.3403
11	9	0.0952	0.2956
12	8	0.0689	0.4688
13	8	0.1529	0.4375
14	9	0.0707	0.2678
15	8	0.1011	0.5000
16	8	0.0596	0.3750
17	8	0.1084	0.4375
18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.23 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3	8	0.1011	0.5000
6	8	0.1084	0.5313
9	8	0.1084	0.5313
12	8	0.0689	0.4688
13	8	0.1529	0.4375
15	8	0.1011	0.5000
16	8	0.0596	0.3750
17	8	0.1084	0.4375
18	8	0.1011	0.5000

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.10 และตารางที่ 7.24



รูปที่ 7.10 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.24 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
16	0.0596	0.3750	1	Infinity	Lbest
12	0.0689	0.4688	2	Infinity	-
17	0.1084	0.4375	2	Infinity	-
3	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
15	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
13	0.1529	0.4375	3	Infinity	-
18	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
6	0.1084	0.5313	4	Infinity	-
9	0.1084	0.5313	4	Infinity	-

7.5.5.2 การคัดเลือก Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.25 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1463	0.3775
2	9	0.0575	0.3403
3	8	0.1463	0.3775
4	8	0.1463	0.3775
5	9	0.0929	0.2122
6	9	0.0730	0.2500
7	9	0.0770	0.2569

ตารางที่ 7.25 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1 (ต่อ)

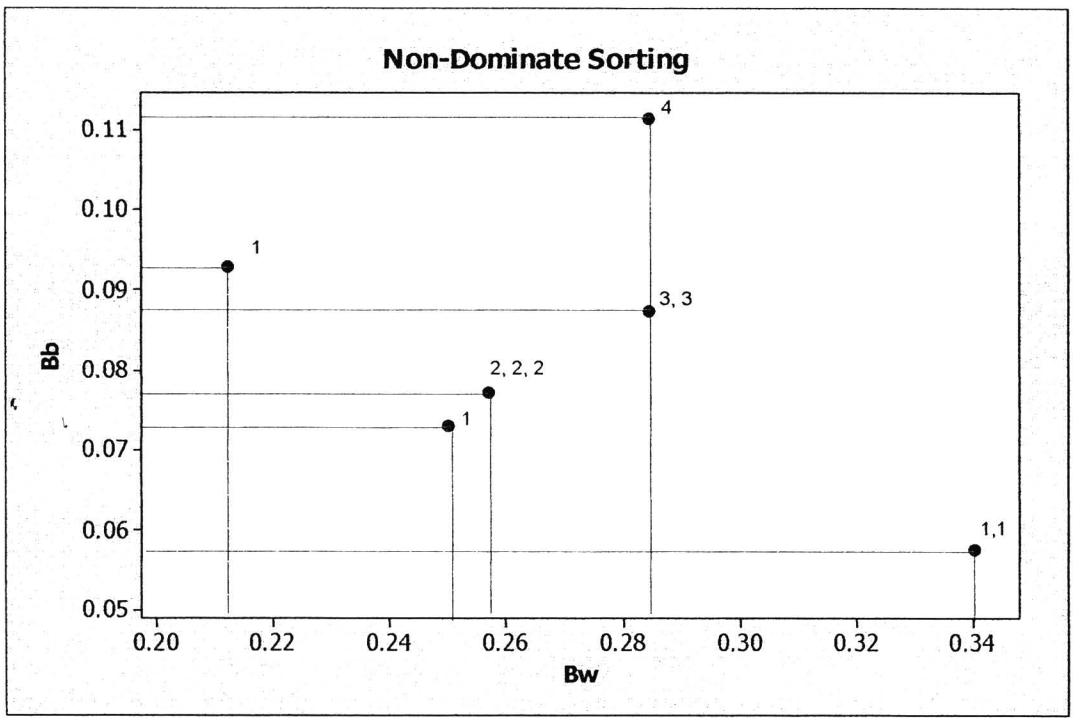
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
8	9	0.0872	0.2847
9	8	0.1529	0.4375
10	9	0.0770	0.2569
11	9	0.0872	0.2847
12	8	0.1463	0.3775
13	9	0.0770	0.2569
14	8	0.0596	0.3750
15	9	0.1113	0.2847
16	8	0.1529	0.4375
17	9	0.0575	0.3403
18	8	0.0544	0.3950

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.26 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	9	0.0575	0.3403
5	9	0.0929	0.2122
6	9	0.0730	0.2500
7	9	0.0770	0.2569
8	9	0.0872	0.2847
10	9	0.0770	0.2569
11	9	0.0872	0.2847
13	9	0.0770	0.2569
15	9	0.1113	0.2847
17	9	0.0575	0.3403

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.11 และตารางที่ 7.27



รูปที่ 7.11 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 7.27 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
17	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
6	0.0730	0.2500	1	2.0000	-
5	0.0929	0.2122	1	Infinity	-
7	0.0770	0.2569	2	Infinity	-
10	0.0770	0.2569	2	Infinity	-
13	0.0770	0.2569	2	Infinity	-
8	0.0872	0.2847	3	Infinity	-
11	0.0872	0.2847	3	Infinity	-
15	0.1113	0.2847	4	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่ 2** ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.28 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

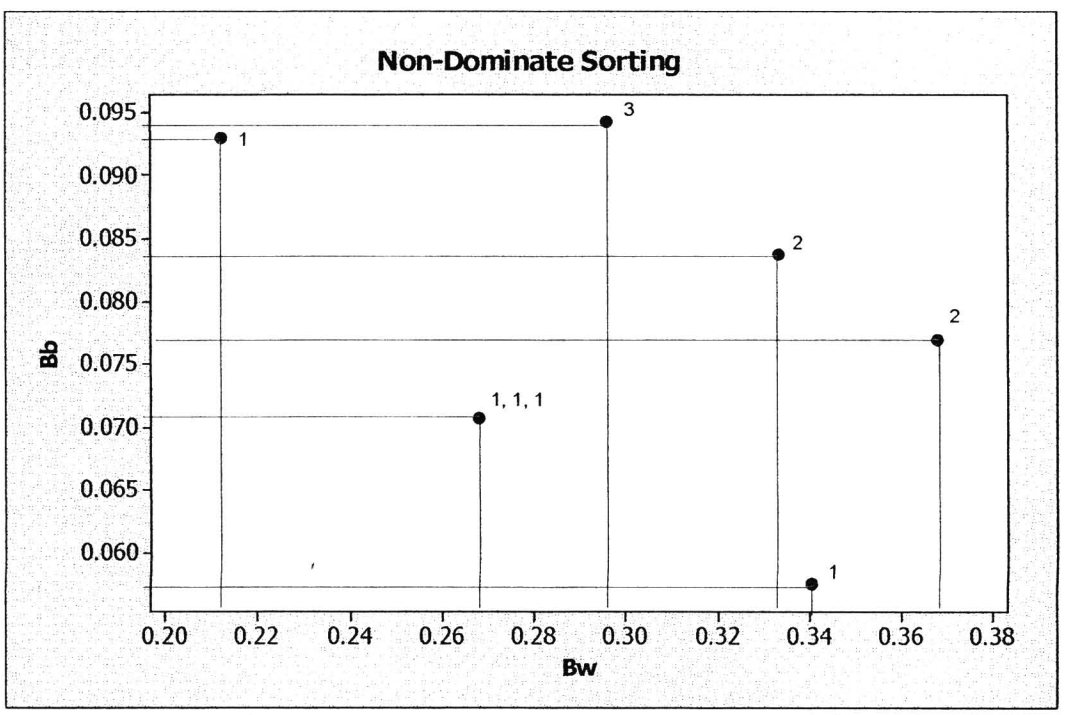
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0769	0.3681
2	9	0.0707	0.2678
3	8	0.1011	0.5000
4	9	0.0837	0.3333
5	9	0.0707	0.2678
6	8	0.1084	0.5313
7	9	0.0952	0.2956
8	9	0.0929	0.2122
9	8	0.1084	0.5313
10	9	0.0575	0.3403
11	9	0.0952	0.2956
12	8	0.0689	0.4688
13	8	0.1529	0.4375
14	9	0.0707	0.2678
15	8	0.1011	0.5000
16	8	0.0596	0.3750
17	8	0.1084	0.4375
18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.29 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0769	0.3681
2	9	0.0707	0.2678
4	9	0.0837	0.3333
5	9	0.0707	0.2678
7	9	0.0952	0.2956
8	9	0.0929	0.2122
10	9	0.0575	0.3403
11	9	0.0952	0.2956
14	9	0.0707	0.2678

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.12 และตารางที่ 7.30



รูปที่ 7.12 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.30 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
10	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
2	0.0707	0.2678	1	0.9388	-
14	0.0707	0.2678	1	0.9388	-
8	0.0929	0.2122	1	Infinity	-
5	0.0707	0.2678	1	0.9388	-
1	0.0769	0.3681	2	Infinity	-
4	0.0837	0.3333	2	2.0000	-
7	0.0942	0.2956	3	Infinity	Lworst

7.5.5.3 การคัดเลือก Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.31 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวน สถานีงาน	ความสมดุลระหว่าง สถานีงาน	ความสมดุลภายใน สถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	2	9	0.0575	0.3403
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	5	9	0.0929	0.2122
	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	9	8	0.1529	0.4375

ตารางที่ 7.31 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1 (ต่อ)	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	12	8	0.1463	0.3775
	13	9	0.0770	0.2569
	14	8	0.0596	0.3750
	15	9	0.1113	0.2847
	16	8	0.1529	0.4375
	17	9	0.0575	0.3403
	18	8	0.0544	0.3950
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	3	8	0.1011	0.5000
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	6	8	0.1084	0.5313
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	9	8	0.1084	0.5313
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375
	14	9	0.0707	0.2678
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375

ตารางที่ 7.31 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ)

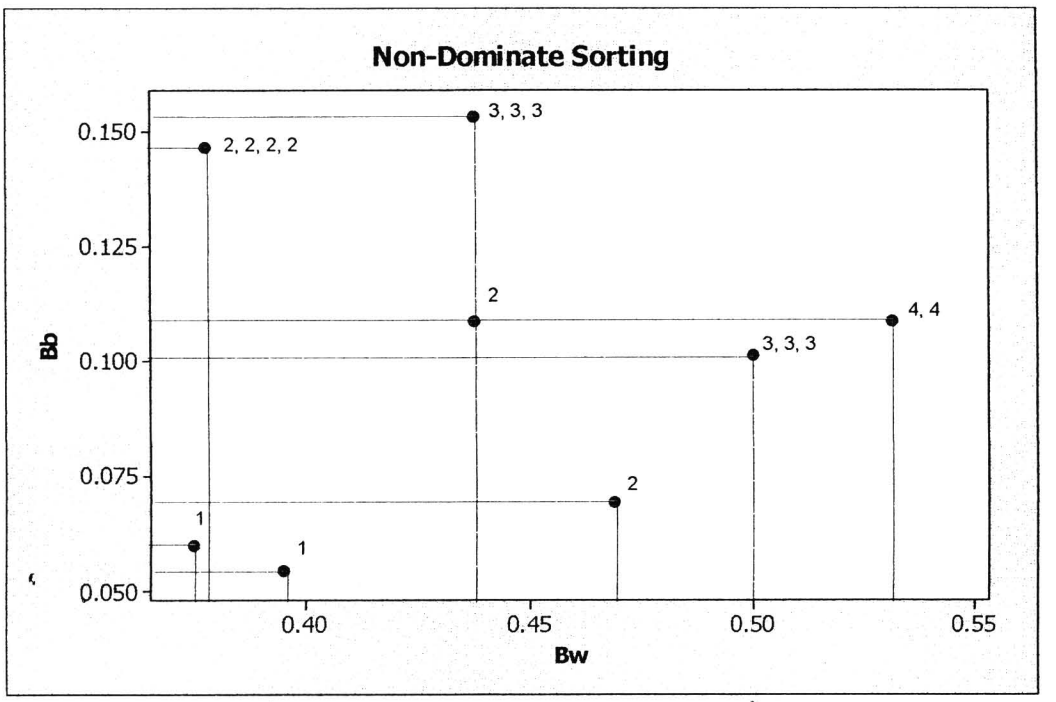
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2 (ต่อ)	18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.32 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	9	8	0.1529	0.4375
	12	8	0.1463	0.3775
	14	8	0.0596	0.3750
	16	8	0.1529	0.4375
	18	8	0.0544	0.3950
2	3	8	0.1011	0.5000
	6	8	0.1084	0.5313
	9	8	0.1084	0.5313
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375
	18	8	0.1011	0.5000

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.13 และตารางที่ 7.32



รูปที่ 7.13 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.33 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	18	0.0544	0.3950	1	Infinity	Gbest
2	16	0.0596	0.3750	1	Infinity	Gbest
2	12	0.0689	0.4688	2	Infinity	-
2	17	0.1084	0.4375	2	2.0000	-
1	1	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
1	3	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
1	4	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
1	12	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
2	3	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
2	15	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
1	9	0.1529	0.4375	3	2.0000	-
2	13	0.1529	0.4375	3	2.0000	-
1	16	0.1529	0.4375	3	2.0000	-

ตารางที่ 7.33 Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	18	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
2	6	0.1084	0.5313	4	Infinity	-
2	9	0.1084	0.5313	4	Infinity	-

7.5.5.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.34 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	2	9	0.0575	0.3403
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	5	9	0.0929	0.2122
	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	9	8	0.1529	0.4375
	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	12	8	0.1463	0.3775
	13	9	0.0770	0.2569
	14	8	0.0596	0.3750

ตารางที่ 7.34 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ)

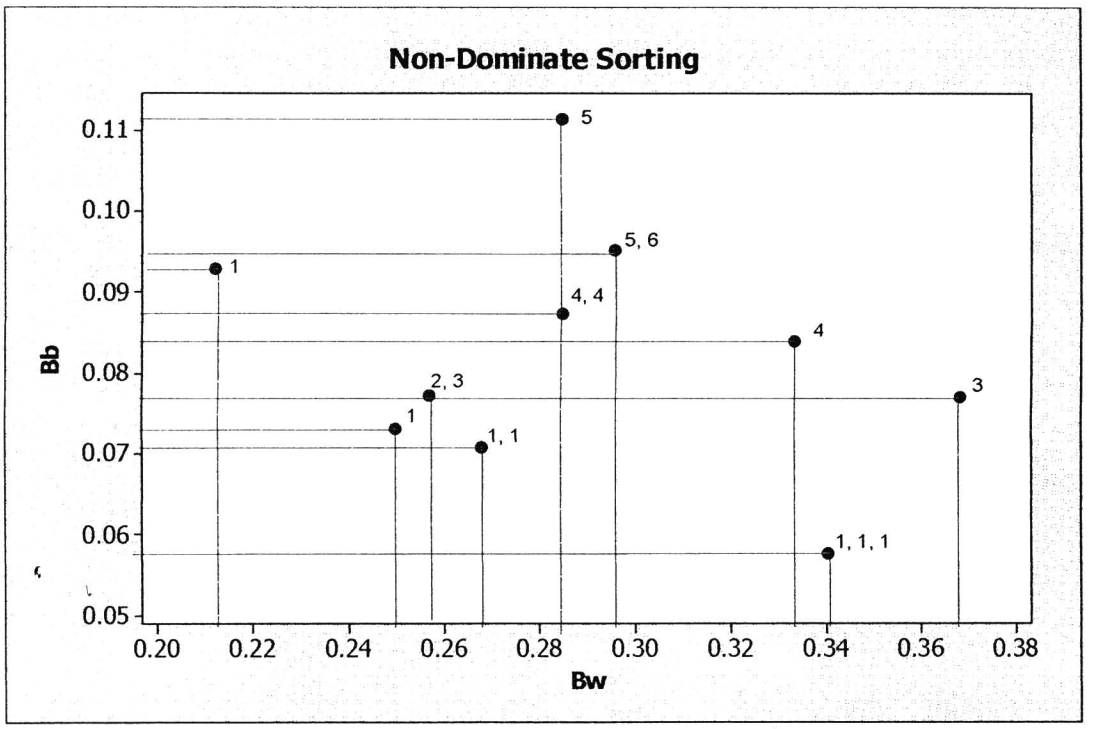
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1 (ต่อ)	15	9	0.1113	0.2847
	16	8	0.1529	0.4375
	17	9	0.0575	0.3403
	18	8	0.0544	0.3950
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	3	8	0.1011	0.5000
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	6	8	0.1084	0.5313
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	9	8	0.1084	0.5313
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375
	14	9	0.0707	0.2678
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375
	18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.35 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	2	9	0.0575	0.3403
	5	9	0.0929	0.2122
	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	13	9	0.0770	0.2569
	15	9	0.1113	0.2847
	17	9	0.0575	0.3403
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	14	9	0.0707	0.2678

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.14 และตารางที่ 7.36



รูปที่ 7.14 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.36 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	2	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
1	17	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
2	2	0.0707	0.2678	1	0.9375	-
2	14	0.0707	0.2678	1	0.9375	-
1	6	0.0730	0.2500	1	1.0625	-
2	8	0.0929	0.2122	1	Infinity	-
2	5	0.0707	0.2678	1	0.9375	-
2	10	0.0575	0.3403	2	Infinity	-
1	7	0.0770	0.2569	2	2.0000	-
1	5	0.0929	0.2122	2	Infinity	-
1	10	0.0770	0.2569	2	2.0000	-
2	1	0.0769	0.3681	3	Infinity	-
1	13	0.0771	0.2569	3	Infinity	-

ตารางที่ 7.36 Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	4	0.0837	0.3333	4	Infinity	-
1	8	0.0872	0.2847	4	Infinity	-
1	11	0.0872	0.2847	4	Infinity	-
2	11	0.0952	0.2956	5	Infinity	-
1	15	0.1113	0.2847	5	Infinity	-
2	7	0.0953	0.2956	6	Infinity	Gworst

7.5.5.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

String 14 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

String 15 = [1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

7.5.6 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

7.5.6.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

7.5.6.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

String 14 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงที่ 18 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0909 + 0.01 = 0.1009

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 7.37 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงที่ 14 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 14

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1009 + 0.01 = 0.1109

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 14

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0989 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0989 - 0.001 = 0.0889

ตารางที่ 7.38 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

String 15 = [1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]

ทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคือ 1 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะเพิ่มงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1109 - 0.01 = 0.1009

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 7.39 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 18 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1009 + 0.01 = 0.1109

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตารางที่ 7.40 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 16 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1109 + 0.01 = 0.1209

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตารางที่ 7.41 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1209	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 7 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1209 - 0.01 = 0.1109

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตารางที่ 7.42 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

ดังนั้นตารางที่ 6.119 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.6.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

String 14 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (1, 5), (5, 11), (11, 10), ..., (7, 9) ของสตริงที่ 18 เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 + 0.0111 = 1.0111 (สำหรับคู่อันดับ (11, 1)) และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 – 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าค่วามน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1, 5) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,11) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.43 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***
6	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012
11	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (1, 11), (11, 3), (3, 9), ..., (10, 4) ของสตริงที่ 16 เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 จะได้เป็น 0 + 0.0111 = 1.0111 (สำหรับคู่อันดับ (11, 1)) และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1, 11) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012 = -0.0099

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,3) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (11,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (11,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012 = -0.0099

ตำแหน่งที่ (11,11) มีค่าเท่ากับ 0

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.44 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***
2	-0.0024	-	0.0099	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	0.0099
6	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	0.0099	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-	-0.0024
11	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

String 15 = [1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1, 5), (5, 3), (3, 2), ..., (7, 9) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังตาราง

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,5) จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0111 = -0.0012

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0099 + 0.0012 = 0.0111

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,3) จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0111 = -0.0135

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ 0.0099 + 0.0012 = 0.0111

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ 0.0099 + 0.0012 = 0.0111

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.45 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111
2	-0.0012	-	0.0111	-0.0012	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	***-0.0135***	-	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012
4	0	0.0123	0	-	0	0	***-0.0123***	0	0	0	0
5	-0.0012	-0.0012	***-0.0135***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0.0111
6	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	0.0111	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0.0111	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	***-0.0135***	-0.0012
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	***-0.0135***
11	-0.0012	-0.0012	0.0111	***-0.0135***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ ((1, 5), (5,11), (11,10), ..., (7,9) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,10) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ --0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012=0.0099

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (10,1) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0111 = 0.0222

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0012 = -0.0147

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012 = 0.0099

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.46 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099
2	-0.0024	-	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	-0.0147	-	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	***0.0234***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0222***
6	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0147	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-	-0.0147
11	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (1, 4), (4,3), (3,5), ..., (7,9) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0111 = 0.0087

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0012 = 0.0087

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0012 = 0.0087

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,3) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0.0234 - 0.0012 = 0.0222

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0012 = -0.0147

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.47 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0036	-0.0036	***0.0087***	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087
2	-0.0036	-	0.021	-0.0036	-0.0036	-0.0036	***0.0087***	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
3	-0.0036	-0.0159	-	-0.0036	***0.0087***	0.021	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036
4	-0.0024	0.0222	***0.0099***	-	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
5	-0.0036	-0.0036	-0.0159	-0.0036	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	***0.0333***
6	-0.0036	***0.0087***	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-	0.021	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
7	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-	-0.0036	***0.021***	-0.0036	-0.0036
8	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.021	0.0087	***0.0087***	-0.0036	-	-0.0036	-0.0159	-0.0036
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	***0.0333***	-0.0036	-	-0.0159
11	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0159	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	***0.0333***	-

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1,4), (4,3), (3,2), ..., (7,9) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0087 - 0.0111 = -0.0024

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0087 + 0.0012 = 0.0099

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0087 + 0.0012 = 0.0099

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,3) จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0111 = -0.0012

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0.0222 + 0.0012 = 0.0234

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ -0.0147 + 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.48 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	***-0.0024***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099
2	-0.0024	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	***-0.027***	-	-0.0024	0.0099	0.0222	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0234	***-0.0012***	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0222***
6	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	0.0099	0.0099	***-0.0147***	-	-0.0024	-0.0147	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-	-0.0147
11	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-

ดังนั้นตารางที่ 6.125 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.6.1.4 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.49 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099
2	0.0976	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0853	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
3	0.0976	0.0730	-	0.0976	0.1099	0.1222	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
4	0.0988	0.1234	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0865	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0976	0.0976	0.0853	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.1222
6	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0853	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
7	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
8	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.1099	0.1099	0.0853	-	0.0976	0.0853	0.0976
9	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988
10	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	-	0.0853
11	0.0976	0.0976	0.1099	0.0853	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	-

7.5.6.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

7.5.6.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ตารางที่ 7.50 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

7.5.5.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ตารางที่ 7.51 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	-0.0136	0	-0.0012	0.0111	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111
6	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0.0111	-0.0136	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012
11	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0

7.5.6.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.52 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
2	0.0988	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
3	0.0988	0.0864	-	0.0988	0.1111	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111
6	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
7	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.1111	0.0864	-	0.0988	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000
10	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988
11	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	-

7.5.7 การสร้างสตริงเบื้องต้นในรอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 1 จากรอบที่ 1 จะได้ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) และ การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) สำหรับการสร้างสตริงในแต่ละฝูง

ตารางที่ 7.53 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

ตารางที่ 7.54 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

ตารางที่ 7.55 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	***-0.0024***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099
2	-0.0024	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	***-0.027***	-	-0.0024	0.0099	0.0222	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0234	***-0.0012***	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0222***
6	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	0.0099	0.0099	***-0.0147***	-	-0.0024	-0.0147	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-	-0.0147
11	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-

ตารางที่ 7.56 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	-0.0136	0	-0.0012	0.0111	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111
6	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0.0111	-0.0136	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012
11	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0

ตารางที่ 7.57 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099
2	0.0976	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0853	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
3	0.0976	0.0730	-	0.0976	0.1099	0.1222	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
4	0.0988	0.1234	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0865	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0976	0.0976	0.0853	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.1222
6	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0853	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
7	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
8	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.1099	0.1099	0.0853	-	0.0976	0.0853	0.0976
9	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988
10	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	-	0.0853
11	0.0976	0.0976	0.1099	0.0853	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	-

ตารางที่ 7.58 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
2	0.0988	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
3	0.0988	0.0864	-	0.0988	0.1111	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111
6	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
7	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.1111	0.0864	-	0.0988	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000
10	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988
11	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์ตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงโดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน ในแต่ละฝูงจะได้สตริงคำตอบ ดังนี้

First Swarm:

String 11 = [1 5 11 9 2 3 6 4 8 10 7]

String 12 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

String 13 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

Second Swarm:

String 21 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 22 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 23 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 7.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 ในผลิตภัณฑ์ชนิด B มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time)

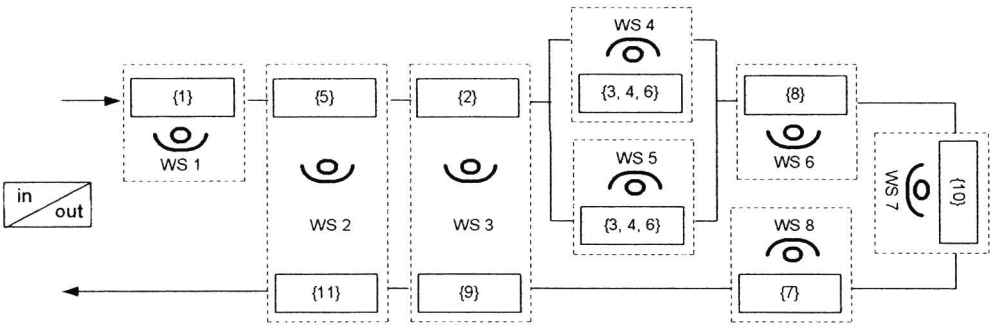
จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 7.59 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
5	1	0	1	2	6
11	4	1	5	2	
9	3.3333	5	8.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	3	6
2	2	3.3333	5.3333	3	
3	3.3333	5.3333	8.6666	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	4	12
6	1.3333	3.3333	4.6666	4	
4	7	4.6666	11.6666	4	
8	4	11.6666	15.6666	เกินเวลา	
8	4	0	4	5	6
10	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	6	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	7	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 7.59 จะได้สถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 7.15



รูปที่ 7.15 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

ตารางที่ 7.60 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
	3	9	0.0952	0.2956
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

7.5.8 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

7.5.8.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.61 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

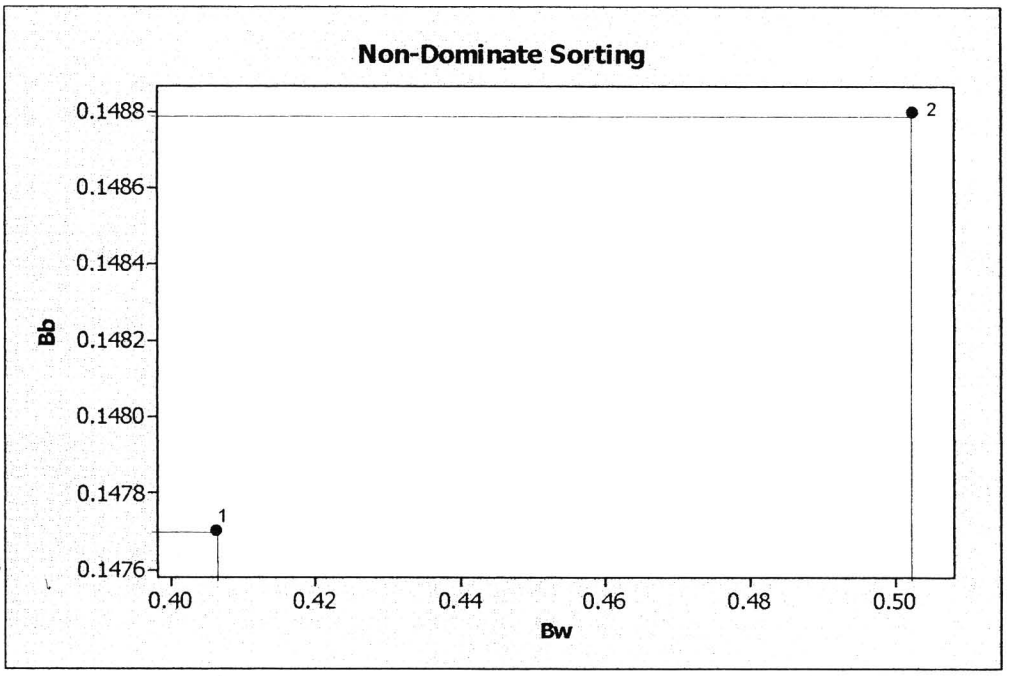
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1477	0.4063
2	8	0.1488	0.5025
3	9	0.0952	0.2956

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.62 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1477	0.4063
2	8	0.1488	0.5025

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.16 และตารางที่ 7.63



รูปที่ 7.16 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

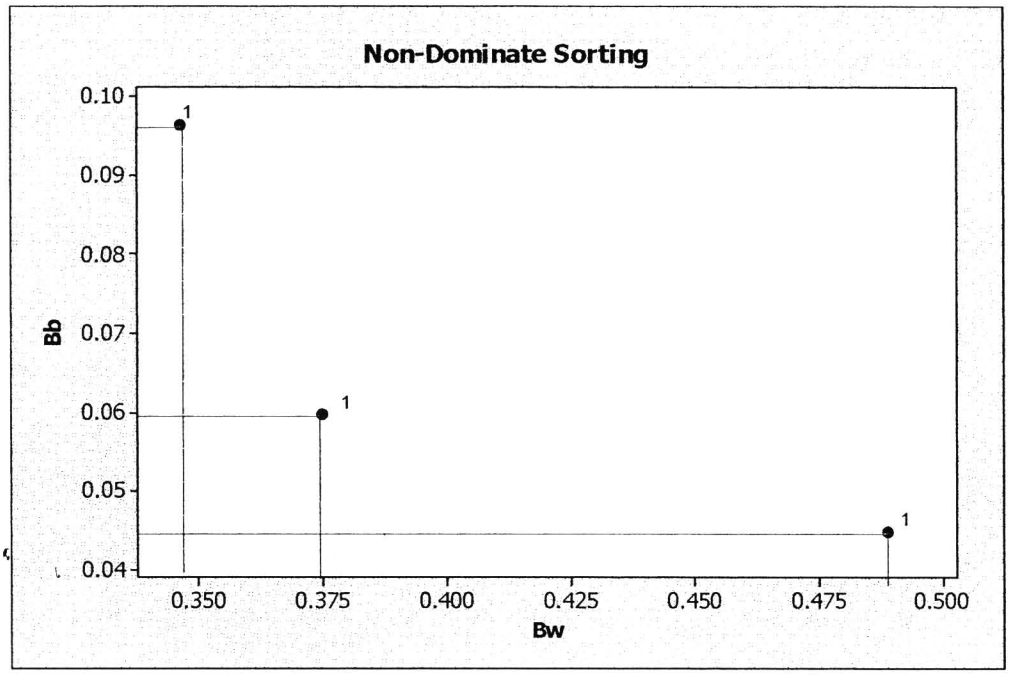
ตารางที่ 7.63 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.1477	0.4063	1	Infinity	Lbest
2	0.1488	0.5025	1	Infinity	Lbest

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เท่ากันจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.17 และตารางที่ 7.64



รูปที่ 7.17 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.64 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0447	0.4888	1	Infinity	Lbest
3	0.0596	0.3750	1	2	Lbest
2	0.0964	0.3463	1	Infinity	Lbest

7.5.8.2 การคัดเลือก Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ตารางที่ 7.65 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

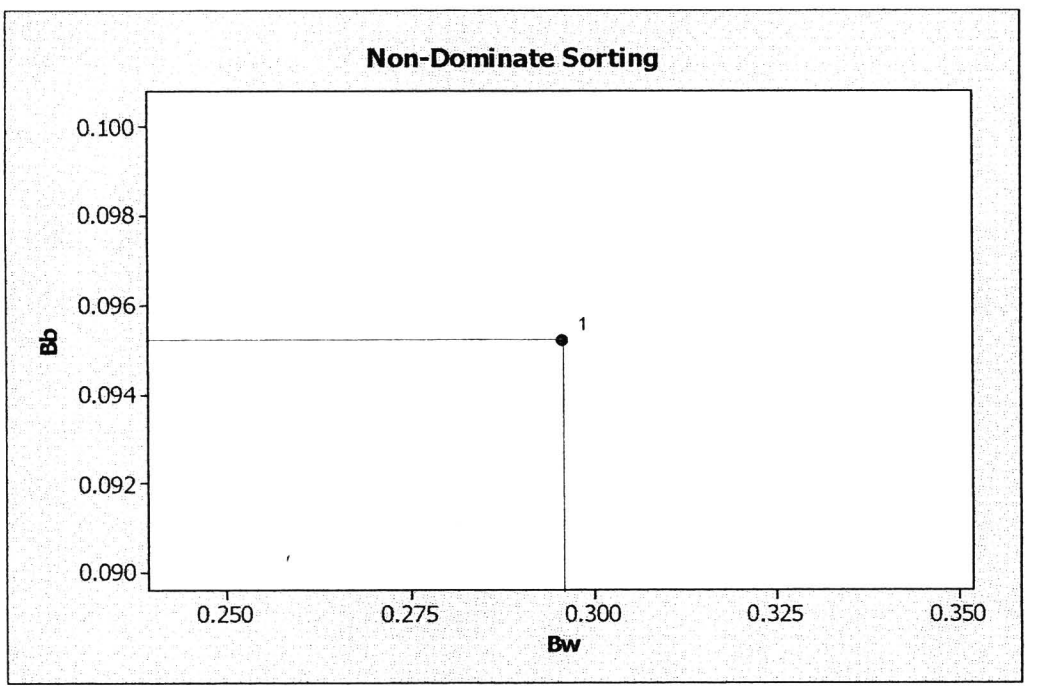
สตริงคำตอบที่	จำนวน สถานีงาน	ความสมดุลระหว่าง สถานีงาน	ความสมดุลภายใน สถานีงาน
1	8	0.1477	0.4063
2	8	0.1488	0.5025
3	9	0.0952	0.2956

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.66 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวน สถานีงาน	ความสมดุลระหว่าง สถานีงาน	ความสมดุลภายใน สถานีงาน
3	9	0.0952	0.2956

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.18 และตารางที่ 7.67



รูปที่ 7.18 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

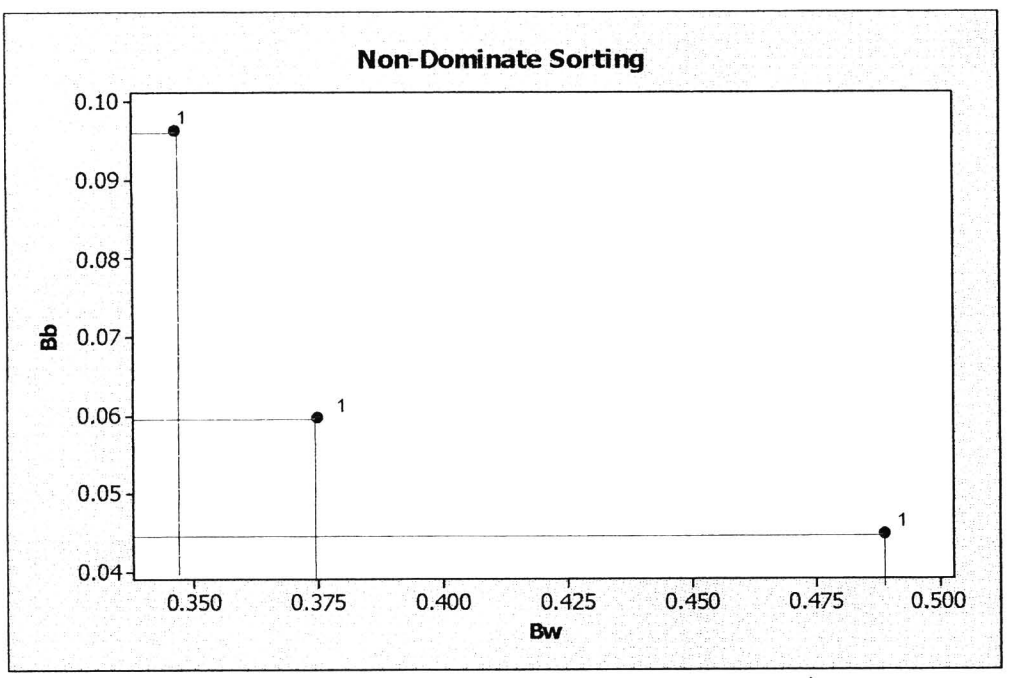
ตารางที่ 7.67 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
3	0.0952	0.2956	1	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เท่ากันจึงไม่ต้องมีการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.19 และตารางที่ 7.68



รูปที่ 7.19 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.68 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0447	0.4888	1	Infinity	Lworst
3	0.0596	0.3750	1	2	Lworst
2	0.0964	0.3463	1	Infinity	Lworst

7.5.8.3 การคัดเลือก Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.69 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

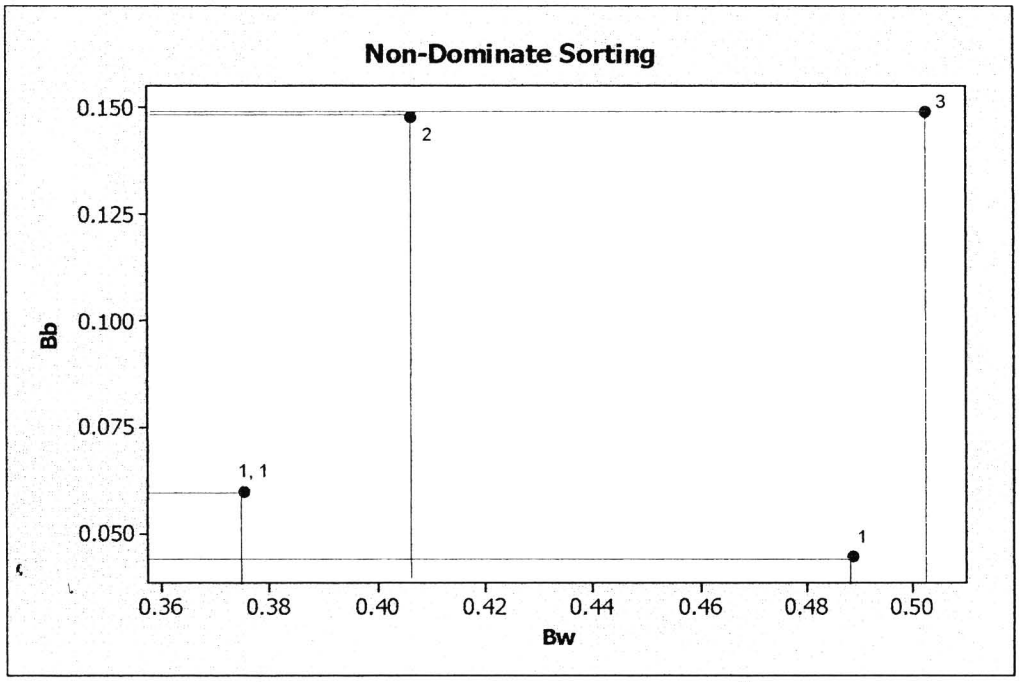
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
	3	9	0.0952	0.2956
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.70 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.20 และตารางที่ 7.71



รูปที่ 7.20 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.71 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	1	0.0447	0.4888	1	Infinity	Gbest
2	3	0.0596	0.3750	1	2.000	Gbest
2	2	0.0596	0.3750	1	Infinity	-
1	1	0.1477	0.4063	2	Infinity	-
1	2	0.1488	0.5025	3	Infinity	-

7.5.8.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.72 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

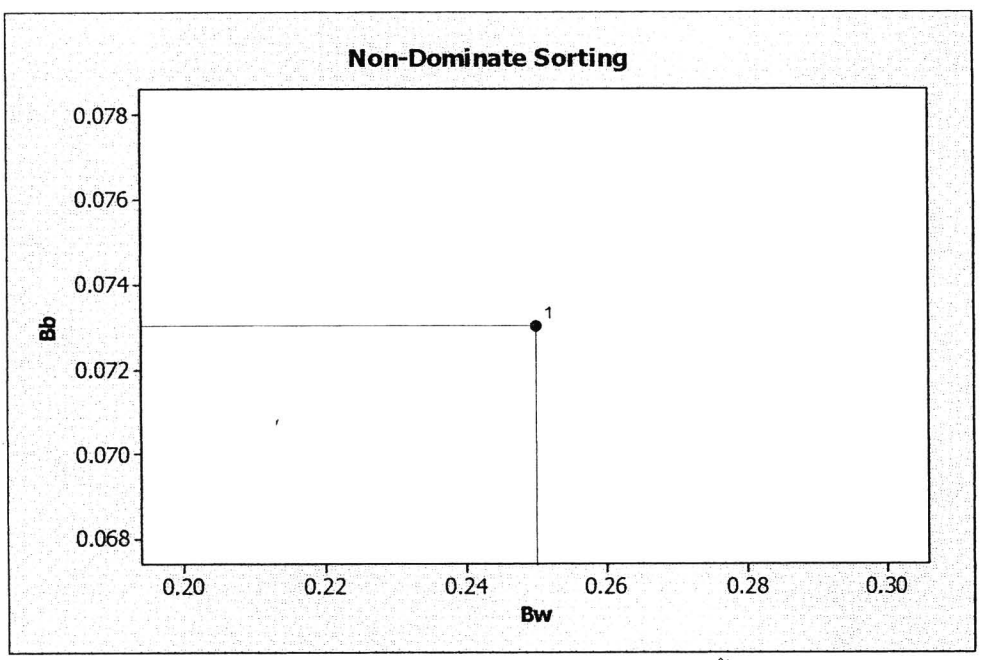
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
	3	9	0.0952	0.2956
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.73 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	3	9	0.0952	0.2956

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.21 และตารางที่ 7.74



รูปที่ 7.21 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.74 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	3	0.0730	0.2500	1	Infinity	Gworst

7.5.8.5 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

String 1 = [1 5 11 9 2 3 6 4 8 10 7]

String 2 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

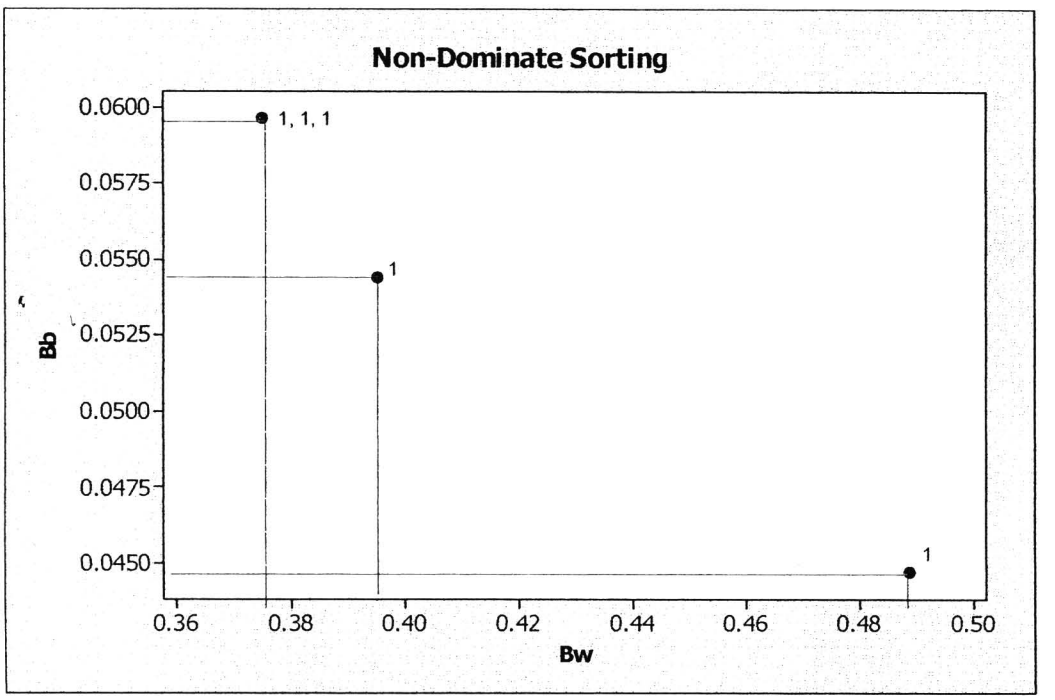
(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุด ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ากับรอบนี้ ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting



รูปที่ 7.22 การกำหนดค่าความแข็งแรงในการเลือกสตริงคำตอบ

ตารางที่ 7.75 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด

รอบที่	ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance
2	2	1	0.0447	0.4888	1	Infinity
1	1	8	0.0544	0.3950	1	2.0000
1	1	6	0.0596	0.3750	1	Infinity
2	2	3	0.0596	0.3750	1	Infinity
2	2	2	0.0596	0.3750	1	Infinity

สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้ในรอบต่อคือ

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

7.5.9 การปรับปรุงตาราง

7.5.9.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

7.5.9.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

String 1 = [1 5 11 9 2 3 6 4 8 10 7]

String 2 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

ตารางที่ 7.76 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1309	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.77 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1209	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

ตารางที่ 7.78 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1399	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0959

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.79 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1299	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0969

ดังนั้นตารางที่ 7.79 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.9.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

String 1 = [1 5 11 9 2 3 6 4 8 10 7]

String 2 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

ตารางที่ 7.80 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198
2	-0.0049	-	0.0321	-0.0049	-0.0049	-0.0048	0.0074	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049
3	-0.0049	-0.0295	-	-0.0049	0.0074	0.0321	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049
4	-0.0024	0.0222	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0147	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024
5	-0.0049	-0.0049	-0.0172	-0.0049	-	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	0.0321
6	-0.0049	0.0074	-0.0049	0.0075	-0.0172	-	0.0197	0.0075	-0.0049	-0.0049	-0.0049
7	-0.0036	0.0210	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036
8	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0197	0.0198	0.0074	-0.0172	-	-0.0049	-0.0048	-0.0049
9	-0.0037	0.0087	-0.0037	-0.0037	-0.0037	-0.0037	0.0210	-0.0037	-	-0.0037	-0.0037
10	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	0.0075	0.0197	-0.0049	-	-0.0172
11	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0172	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0075	0.0197	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.81 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0036	-0.0036	-0.0160	0.0210	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0210
2	-0.0036	-	0.0333	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0160
3	-0.0036	-0.0282	-	-0.0036	-0.0037	0.0333	-0.0036	-0.0036	0.0210	-0.0036	-0.0036
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0036	-0.0036	-0.0159	-0.0036	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	0.0333
6	-0.0036	0.0087	-0.0036	0.0087	-0.0159	-	0.0210	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
7	-0.0024	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
8	-0.0036	-0.0036	-0.0160	0.0210	0.0210	0.0087	-0.0159	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036
9	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024
10	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	0.0075	0.0197	-0.0049	-	-0.0172
11	-0.0036	-0.0036	0.0210	-0.0159	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0210	-

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

ตารางที่ 7.82 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0073	0.0050	-0.0073	0.0173	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	0.0297
2	-0.0073	-	0.0296	-0.0073	0.0050	0.0051	0.0050	-0.0073	0.0050	-0.0073	-0.0197
3	-0.0073	-0.0072	-	-0.0073	-0.0074	0.0296	-0.0073	-0.0073	0.0173	0.0050	-0.0073
4	-0.0049	0.0197	-0.0049	-	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0074	0.0074	-0.0049	-0.0049
5	-0.0061	-0.0061	-0.0184	0.0062	-	-0.0061	-0.0061	0.0062	-0.0061	0.0062	0.0308
6	-0.0061	0.0062	-0.0061	0.0062	-0.0184	-	0.0308	0.0062	-0.0061	-0.0061	-0.0061
7	-0.0061	0.0185	-0.0061	-0.0061	0.0062	-0.0184	-	0.0062	0.0185	-0.0061	-0.0061
8	-0.0061	-0.0061	-0.0184	0.0185	0.0309	0.0185	-0.0184	-	-0.0061	-0.0061	-0.0061
9	-0.0061	0.0062	0.0186	-0.0061	-0.0061	-0.0061	0.0062	-0.0061	-	-0.0061	0.0062
10	0.0038	-0.0086	-0.0086	0.0161	-0.0086	0.0038	0.0161	0.0160	-0.0086	-	-0.0209
11	-0.0073	-0.0073	0.0173	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	0.0420	-

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.83 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0061	0.0062	-0.0184	0.0185	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	0.0309
2	-0.0061	0	0.0308	-0.0061	0.0062	0.0063	0.0062	-0.0061	0.0062	-0.0061	-0.0308
3	-0.0061	-0.006	0	-0.0061	-0.0185	0.0308	-0.0061	-0.0061	0.0185	0.0062	-0.0061
4	-0.0037	0.0086	-0.0037	0	-0.0037	-0.0037	-0.0036	0.0087	0.0087	-0.0037	-0.0037
5	-0.0049	-0.0049	-0.0172	0.0075	0	-0.0049	-0.0049	0.0075	-0.0049	-0.0049	0.0321
6	-0.0049	0.0074	-0.0049,	0.0075	-0.0172	0	0.0321	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049
7	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	0.0075	-0.0296	0	0.0075	0.0198	-0.0049	-0.0049
8	-0.0049	-0.0049	-0.0296	0.0197	0.0321	0.0198	-0.0172	0	-0.0049	-0.0048	-0.0049
9	-0.0049	0.0074	0.0198	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0	-0.0049	0.0074
10	0.0038	-0.0086	-0.0086	0.0161	-0.0086	0.0038	0.0161	0.016	-0.0086	0	-0.0209
11	-0.0061	-0.0061	0.0185	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0184	0.0432	0

ดังนั้นตารางที่ 7.83 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.9.1.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.84 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0.0915	0.1038	0.0792	0.1284	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.1408
2	0.0915	0	0.153	0.0915	0.1038	0.0916	0.1161	0.0915	0.1038	0.0915	0.0668
3	0.0915	0.067	0	0.0915	0.0914	0.153	0.0915	0.0915	0.1284	0.1038	0.0915
4	0.0951	0.132	0.0951	0	0.0951	0.0951	0.0829	0.1075	0.1075	0.0951	0.0951
5	0.0927	0.0927	0.0681	0.1051	0	0.0927	0.0927	0.1051	0.0927	0.105	0.1543
6	0.0927	0.1173	0.0927	0.1051	0.0681	0	0.1543	0.0927	0.0927	0.0927	0.0927
7	0.0927	0.1297	0.0927	0.0927	0.1051	0.068	0	0.1051	0.1297	0.0927	0.0927
8	0.0927	0.0927	0.068	0.1419	0.142	0.1297	0.0681	0	0.0927	0.0805	0.0927
9	0.0939	0.1062	0.1186	0.0939	0.0939	0.0939	0.1062	0.0939	0	0.0939	0.1062
10	0.1014	0.089	0.089	0.126	0.089	0.1014	0.1137	0.1382	0.089	0	0.0644
11	0.0915	0.0915	0.1284	0.0792	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0792	0.1654	0

7.5.9.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

7.5.9.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.85 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1199	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0979

7.5.9.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.86 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.004	0.0087	0.0087	0.0086	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
2	-0.0037	-	0.0086	-0.004	0.0087	-0.016	0.0086	-0.004	0.0087	-0.004	-0.004
3	-0.0037	0.0086	-	-0.004	0.0086	0.0086	-0.004	-0.004	-0.016	0.0087	-0.004
4	-0.0049	0.0197	-0.005	-	-0.005	-0.005	0.0074	-0.005	0.0074	-0.005	-0.005
5	-0.0024	-0.002	-0.002	0.0099	-	-0.002	-0.002	0.0099	-0.002	-0.015	0.0099
6	-0.0024	0.0099	-0.002	-0.002	-0.015	-	0.0222	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.0037	-0.016	-0.004	-0.004	0.0087	-0.004	-	0.0087	0.021	-0.004	-0.004
8	-0.0024	-0.002	-0.002	0.0099	-0.002	0.0222	-0.015	-	-0.002	-0.002	-0.002
9	-0.0025	-0.003	0.0222	-0.003	-0.003	-0.003	-0.015	-0.003	-	-0.003	0.0099
10	0.0087	-0.004	-0.004	-0.016	-0.004	0.0087	0.0087	0.0086	-0.004	-	-0.004
11	-0.0037	-0.004	-0.016	0.0087	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	0.0333	-

7.5.9.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.87 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0951	0.1075	0.1075	0.1197	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951
2	0.0951	-	0.1197	0.0951	0.1075	0.0703	0.1197	0.0951	0.1075	0.0951	0.0951
3	0.0951	0.095	-	0.0951	0.1197	0.1197	0.0951	0.0951	0.0828	0.1075	0.0951
4	0.0939	0.1308	0.0939	-	0.0939	0.0939	0.1062	0.0939	0.1062	0.0939	0.0939
5	0.0964	0.0964	0.0964	0.1087	-	0.0964	0.0964	0.1087	0.0964	0.084	0.121
6	0.0964	0.121	0.0964	0.0964	0.0716	-	0.1333	0.0964	0.0964	0.0964	0.0964
7	0.0951	0.0828	0.0951	0.0951	0.1075	0.0951	-	0.1075	0.1321	0.0951	0.0951
8	0.0964	0.0964	0.0964	0.121	0.0964	0.1333	0.0716	-	0.0964	0.0964	0.0964
9	0.0975	0.0975	0.1222	0.0975	0.0975	0.0975	0.0852	0.0975	-	0.0975	0.1099
10	0.1075	0.0951	0.0951	0.0828	0.0951	0.1075	0.1075	0.1197	0.0951	-	0.0951
11	0.0951	0.0951	0.0828	0.1075	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.1444	-

7.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

7.6.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลอง

7.6.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธี Non-dominated Sorting เป็นวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักของ Goldberg (1989) วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จากการจัดอันดับคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

7.6.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง

จำนวนอนุภาคเป็นจำนวนกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

7.6.4 จำนวนฝูง

จำนวนฝูงเป็นจำนวนอนุภาคหรือสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

7.6.5 น้ำหนักการหน่วง

น้ำหนักการหน่วงที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 1 น้ำหนักการหน่วงจะเป็นการกำหนดค่าของแต่ละฝูงด้วยน้ำหนักที่ได้จากการเคลื่อนที่โดยจะทำการเก็บค่าการเคลื่อนที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสำรวจค่าที่ดีที่สุด

7.6.6 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้

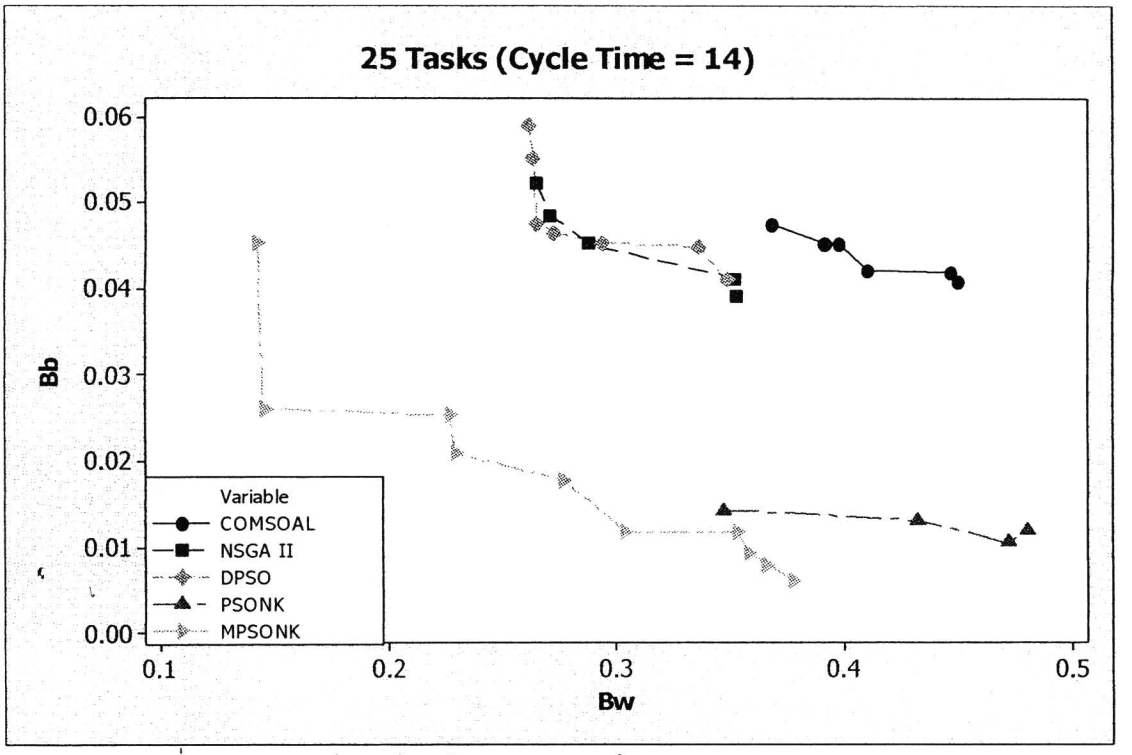
ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้เป็นปัจจัยที่กำหนดที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเองและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดความสำคัญของในแต่ละฝูง

7.6.7 วิธีการค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาจะทำการค้นหาเฉพาะจะทำเพื่อตรวจสอบค่าที่ดีที่สุดโดยใช้วิธี 2-Opt ในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีการค้นหาเฉพาะที่ทุกๆ 10% ของจำนวนรอบการทำงาน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. ทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนการคัดเลือก และ 2. ทำการค้นหาเฉพาะที่หลักจากการสิ้นสุดการค้นหาคำตอบ ในการค้นหาเฉพาะที่ในแต่ละครั้งจะทำการค้นหาเฉพาะที่จำนวน 5 ครั้งในการสร้างสตริงคำตอบ

7.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

การเปรียบเทียบคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ผ่านมาคือ อัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II และการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ดังรูปที่ 7.23



รูปที่ 7.23 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO, PSONK และ M-PSONK

7.8 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอวิธีการในการหาคำตอบอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ซึ่งวิธีการนี้พัฒนามาจากวิธี PSO โดยการพัฒนาการหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด และเมื่อนำอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม โดยทำการใช้การค้นหาเฉพาะที่ทุกๆ 10% ของจำนวนเจนเนอเรชัน ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดและการค้าหาเฉพาะที่ในรอบสุดท้ายเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ทำให้ได้คำตอบที่ลู่เข้าสู่สภาพคงที่อย่างรวดเร็วและได้คำตอบที่ดีที่สุดและเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการอัลกอริทึมที่ผ่านมาจากบทก่อนหน้านี้ วิธีการอัลกอริทึม M-PSONK จะให้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าวิธีอื่น