หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ทฤษฎีพื้นฐานอัลกอริทึมการบรรจวบ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะนำเสนออัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่าอัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) ซึ่งเป็นการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ เป็นวิธีการที่ประยุกต์ในการสุ่มเลือกคำตอบโดยใช้หลักความน่าจะเป็น ในบทนี้จะนำเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึมการบรรจวบ แนวคิดวิธีการอัลกอริทึมการบรรจวบ ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมการบรรจวบ อัลกอริทึมการบรรจวบ

6.1 หลักการวิธีอัลกอริทึมการบรรจวบ

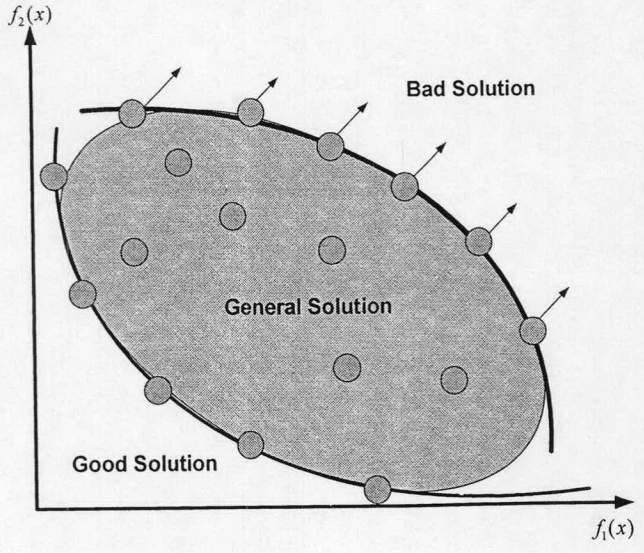
เนื่องจากอัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ เช่น เจนเนติกอัลกอริทึม เมมเมติกอัลกอริทึม เป็นต้น จะเป็นวิธีการที่จะทำการค้นหาสตริงคำตอบที่มีคำตอบดีในการคำนวณแต่ละรอบโดยไม่คำนึงถึงทิศทางของคำตอบที่ได้ ทำให้เสียเวลาในการคำนวณหาคำตอบที่ดีเป็นเวลานาน เนื่องจากการขึ้นอยู่กับการสุ่มคำตอบผ่านวิธีการครอสโอเวอร์ มิวเตชั่น ทำให้ได้คำตอบที่กระจัดกระจายจนเกินไป วิธีการอัลกอริทึมการบรรจวบซึ่งเป็นอัลกอริทึมแบบใหม่ที่คำนึงถึงการเลือกเส้นทางการเดิน โดยจดจำเส้นทางที่อยู่ใกล้เคียงกันที่ทำให้บรรลุภายใต้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หลักการที่เข้ามาใช้ในการจดจำเส้นทางการเดินคือ หลักความน่าจะเป็น โดยการสร้างตารางความน่าจะเป็นเส้นทางการเดินในรูปแบบเมตริกซ์ (Matrix Probability) ซึ่งนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดิน เส้นทางที่จะทำการเดินที่มีความน่าจะเป็นสูงจะมีสิทธิ (Priority) ถูกเลือกให้เดินมากกว่าและจะเป็นเส้นทางที่เหมาะสมที่ควรเลือกเดิน วิธีการบรรจวบเป็นวิธีการที่ตัดทอนเส้นทางที่คิดว่าเป็นเส้นทางที่เดินไปแล้วจะทำให้ได้ผลลัพธ์ย่ำแย่หรือไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งจะใช้วิธีการลงโทษหรือหักค่าความน่าจะเป็นกับคู่เส้นทางที่เดินไปแล้ว ทำให้ได้คำตอบที่ย่ำแย่ และจะทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่ของส้นทางการเดินแล้วทำให้คำตอบที่ดีหรือเหมาะสม ทำให้คำตอบที่ได้มีลักษณะลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด

6.2 แนวคิดวิธีการอัลกอริทึมการบรรจวบ

วิธีการในการหาคำตอบส่วนใหญ่มักจะคำนึกถึงแต่คำตอบที่ดี และจะไม่สนใจหรือตัดทิ้งคำตอบที่ย่ำแย่ เพราะคิดว่าเป็นคำตอบที่ไม่ต้องการ จนไม่คาดคิดไปว่าคำตอบที่ย่ำแย่เราควรที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในแง่การจดจำคำตอบไว้เพื่อไม่ให้เกิดคำตอบลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นอีกครั้ง อันเนื่องจากจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณและทำให้เสียโอกาสที่จะเกิดคำตอบดีที่ให้เราเลือกมีอัตราที่น้อยลงดังนั้นวิธีการบรรจวบจึงมีแนวคิดที่ให้ความสำคัญคำตอบที่ดีและคำตอบที่แย่ โดยคำนึงว่าคำตอบที่แย่จะทำให้เราทราบว่าเป็นคำตอบที่ไม่ควรเลือก ส่งผลให้พื้นที่ของคำตอบมีขนาดลดน้อยลง ลดเวลาสูญเปล่าในแต่ละรอบที่จะสุ่มคำตอบแย่ออกมาในการคำนวณ ทำให้แต่ละรอบของการสุ่มแต่ละรอบเป็นคำตอบที่ลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมมากกว่าเดิม

6.3 อัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence)

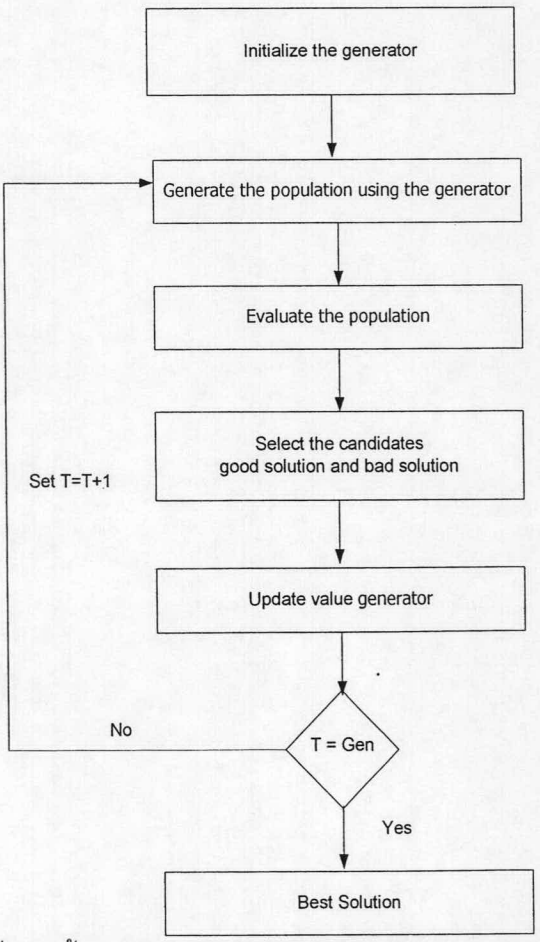
เป็นวิธีการที่นำหลักสถิติเข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ โดยวิธีการในอดีตจะพิจารณาและให้ความสำคัญกับคำตอบที่ดี(Good Solution) เพียงอย่างเดียว จนมองข้ามการนำคำตอบที่แย่ (Bad Solution) มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งแนวคิดนี้ทำให้เกิดอัลกอริทึมที่ให้ความสำคัญของคำตอบที่ดีและคำตอบที่แย่ โดยคำตอบที่ดีจะนำมาทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นให้มีค่าสูงขึ้น และทำการลดค่าความน่าจะเป็นให้กับคำตอบที่แย่ หลักการทำลักษณะนี้ทำให้พื้นที่ของคำตอบที่จะเกิดมีแคบและลดลงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ลักษณะพื้นที่ของคำตอบที่เหมาะสมกรณีหาค่าเหมาะสมที่น้อยที่สุด

จากรูปที่ 6.1 พื้นที่ในการหาคำตอบมีขนาดที่น้อยลง เนื่องมาจากการนำคำตอบที่แย่มาทำการพัฒนาความน่าจะโดยการลดค่าความน่าจะเป็นของคำตอบที่แย่ ทำให้ในแต่ละรอบการคำนวณความน่าจะเป็นที่จะเลือกคำตอบที่แย่นั้นจะมีการเลือกมาพิจารณาที่ลดน้อยลง พื้นที่ของคำตอบที่จะได้ในแต่ละรอบที่มีการกระจัดกระจายอยู่ก็จะมีลักษณะที่แคบและลู่ลงเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมมากขึ้น พื้นที่ของคำตอบในรอบถัดไปจะได้คำตอบที่อยู่ในพื้นที่ทั่วไป (General Solution)

อัลกอริทึมการบรรจวบจะมีขั้นตอนการดำเนินการแบบเดียวกันกับวิวัฒนาการอัลกอริทึม (Evolutionary Algorithm) แบบดังเดิม ซึ่งจะมีการใช้หลักความน่าจะเป็นเข้ามาใช้ในการเลือก ถ้าเทียบกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย(Traveling Salesman Problem: TSP) เส้นทางในแต่ละทางที่เดินจะมีแยกให้เราเลือกตัดสินใจ ถ้าเกิดเราทำการเลือกเส้นทางผิดก็อาจจะทำให้เราใช้เวลาในการเดินทางเป็นเวลานานหรือทำให้การเดินของพนักงานหลงทางได้ หลักการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบจะทำการตัดทอนเส้นทางการเดินที่ไม่เหมาะสมหรือเป็นเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาในการเดินยาวนาน และทำการจดจำเส้นทางที่ทำให้พนักงานเดินได้ทั่วเมืองแล้วได้ค่าเหมาะสมสูงสุดหรือระยะเวลาที่เดินสั้นที่สุด โดยขั้นตอนวิธีการบรรจวบมีดังนี้



รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบ

ขั้นตอนที่ 1 สร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize the generator) โดยการสร้างตารางความน่าจะเป็น (Matrix Probabilistic) สำหรับการตัดสินเลือกเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 2 สร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการ (Generate the population) ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกเส้นทางมาจากตารางความน่าจะเป็น (Matrix Probabilistic)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณและประเมินผลประชากร (Evaluate the population) จะคำนวณค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 4 การคัดเลือกคำตอบ (Select the candidates) จะทำการเลือกคำตอบที่คำนวณจากขั้นตอนที่ 3 โดยจะทำการเลือกคำตอบสองลักษณะคือ คำตอบที่ถือเป็นคำตอบที่ดี (Good Solution) และคำตอบที่ถือเป็นคำตอบที่แย่ (Bad Solution)

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น (Update Matrix Probabilistic)

ขั้นตอนที่ 6 กลับสู่ขั้นตอนที่ 2 เพื่อทำการเลือกประชากรครั้งต่อไป

6.3.1 สร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize the generator)

เป็นขั้นตอนเริ่มแรกในการคำนวณ โดยจะทำการสร้างตารางความน่าจะเป็น (Matrix Probabilistic) เพื่อใช้ในการเลือกเส้นทางการเดิน ซึ่งค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นในตารางจะมีค่าเท่ากันก่อนในรอบแรก

ตัวอย่างเช่นพนักงานต้องการเดินทางไปเมืองทั้ง 5 เมือง ที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งกำหนดให้พนักงานสามารถเดินผ่านแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียวและค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j เท่ากับ

ตารางที่ 6.1 ตารางความใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน

เมือง i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	0	2	3	4	2
y_{2j}	1	0	3	5	4
y_{3j}	3	2	0	1	3
y_{4j}	4	2	3	0	1
y_{5j}	5	2	4	3	0

กำหนดให้ i และ j คือเมืองที่พนักงานเดินซึ่ง $i=1,2,...,n$ และ $j=1,2,...,n$

y_{ij} คือค่าใช้จ่ายในการเดินมาจากเมือง i มาถึง j

x_{ij} คือความน่าจะเป็นที่เมือง i ที่ควรจะเดินต่อไปเมืองยัง j

ซึ่งตารางความน่าจะเป็นเส้นทางการเดินของพนักงานในแต่ละเมือง จะมีวิธีการสร้างตารางดังนี้

- สร้างตารางเมตริกซ์ ที่มีขนาดเท่ากับ $n \times n$ โดย n คือเส้นทางที่พนักงานต้องเดินทั้งหมด
- ค่าที่อยู่บนเส้นทะแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากพนักงานจะไม่มีการเดินกลับมาเมืองเดิม
- ค่าในตารางจะมีค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าเริ่มต้นเท่ากันหมด และมีค่าเท่ากับ $1/n-1$

จากวิธีการสร้างตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินของพนักงาน ทำให้ได้ตารางเพื่อนำมาใช้ในการคัดเลือกเส้นทางการเดิน จากตัวอย่างมีเมืองที่จะต้องเดินผ่านทั้งหมด 5 เมือง จึงทำการสร้างเมตริกซ์ที่มีขนาด 5×5 ค่าบนเส้นทะแยงมุมของเมตริกซ์มีค่าเท่ากับ0 และค่าที่อยู่ในตำแหน่งที่เหลือมีค่าเท่ากับ $1/5-1 = 1/4 = 0.25$ ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ตารางความน่าจะของเส้นทางการเดิน

เมือง i ไป j	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}
x_{1j}	0	0.25	0.25	0.25	0.25
x_{2j}	0.25	0	0.25	0.25	0.25
x_{3j}	0.25	0.25	0	0.25	0.25
x_{4j}	0.25	0.25	0.25	0	0.25
x_{5j}	0.25	0.25	0.25	0.25	0

6.3.2 **สร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการ** (Generate the population)

หลังจากที่ได้ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินแล้ว จัดทำการสร้างประชากรที่มาจากการสุ่มเลือกจากตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดิน ซึ่งจะทำการสุ่มเลือกที่ละตัว เช่น สุ่มครั้งที่ 1 มีเมืองที่จะทำการเดินเริ่มต้นทั้งหมด 5 เมืองซึ่งมีค่าความน่าจะเป็น

เท่ากับ 0.25, 0.25, 0.25, 0.25 และ 0.25 ตามลำดับ สมมติทำการสุ่มเลือกโดยใช้ความน่าจะเป็นได้เมืองที่เริ่มต้นคือเมืองที่ 2 เมืองที่จะทำการเลือกให้พนักงานเดินต่อจากเมืองที่ 2 จะพิจารณาจากตารางที่ 6.2 โดยจะมีเส้นทางที่เหลือให้พิจารณาคือเมือง 1, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็น 0.25, 0.25, 0.25 และ 0.25 ตามลำดับ จะสุ่มเลือกเมืองจากความน่าจะเป็น สมมติสุ่มเลือกได้เมืองที่จะทำการเดินทางต่อจากเมือง 2 คือ เมืองที่ 3 จะทำการสุ่มเลือกเมืองที่จะเดินต่อจากเมือง 3 ต่อไปจนครบเมืองที่พนักงานจะต้องเดิน จะทำการสุ่มเลือกเส้นทางการเดินทั้งหมดจำนวนขนาดประชากร ถ้าต้องการประชากรทั้งหมด 4 สตริงคำตอบจะได้เส้นทางดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 คือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$
สตริงคำตอบที่ 2 คือ $[x_1, x_2, x_3, x_5, x_4]$
สตริงคำตอบที่ 3 คือ $[x_4, x_3, x_1, x_2, x_5]$
สตริงคำตอบที่ 4 คือ $[x_3, x_2, x_4, x_1, x_5]$

6.3.3 **คำนวณและประเมินผลประชากร** (Evaluate the population)

เมื่อได้ประชากรเส้นทางการเดินทั้งหมด จะนำมาคำนวณตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวชี้วัดที่ต้องการ เช่น เพื่อต้องการให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด ระยะทางรวมในการเดินทางของพนักงานมีระยะทางที่สั้นที่สุด เวลาในการเดินทางของพนักงานมีเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด เป็นต้น

จากตัวอย่าง ต้องการหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งประชากรที่ได้จากการสุ่มเลือกมาทั้งหมด 5 ประชากรจะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 คือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$ จากเส้นทางการเดินเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายจากตารางที่ 6.1 จะมีค่าเท่ากับ

การเดินทางจากเมืองที่ 2 ไปถึงเมืองที่ 3 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 3
การเดินทางจากเมืองที่ 3 ไปถึงเมืองที่ 4 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 1
การเดินทางจากเมืองที่ 4 ไปถึงเมืองที่ 1 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 4
การเดินทางจากเมืองที่ 1 ไปถึงเมืองที่ 5 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 2

เพราะฉะนั้นในการเลือกเส้นทางเดินเมือง 2-> 3-> 4-> 5-> 1 จะมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 3+1+4+2 = 10 หน่วย

จากสตริงคำตอบทั้งหมด 4 ตัวจะได้ค่าใช้จ่ายแต่ละสตริงคำตอบ ดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 คือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 10 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 2 คือ $[x_1, x_2, x_3, x_5, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 3 คือ $[x_4, x_3, x_1, x_2, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 12 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 4 คือ $[x_3, x_2, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย

6.3.4 **การคัดเลือกคำตอบ** (Select the candidates)

สตริงคำตอบที่ได้จากการคำนวณตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะผ่านกระบวนการคัดเลือกคำตอบเพื่อนำไปทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดิน การคัดเลือกคำตอบจะทำการเลือกคำตอบที่ดี (Good Solution) และคำตอบที่แย่ (Bad Solution) โดยจะพิจารณาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การเลือกจะเลือกสตริงคำตอบดีและคำตอบแย่เป็นจำนวนอย่างละร้อยละ 10 จะทำการเรียงสตริงคำตอบจากน้อยไปหามาก ในกรณีหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คำตอบที่ดีจะอยู่ข้างบนของสตริงคำตอบทั้งหมด และคำตอบที่แย่จะอยู่บริเวณข้างล่างของสตริงคำตอบ ดังรูปที่ 6.2 จากตัวอย่างมีสตริงคำตอบทั้งหมด 4 สตริง จะเลือกสตริงคำตอบดีและแย่เท่ากับ $0.1 \times 4 = 0.4 \approx 1$ สตริง

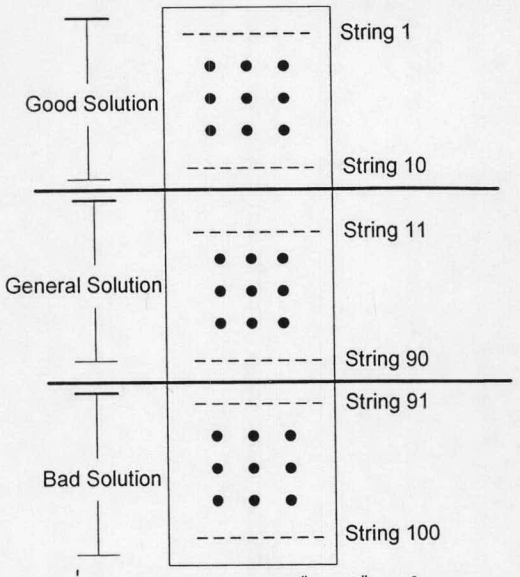
สตริงคำตอบที่ 1 คือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 10 หน่วย ***<u>คำตอบดีที่ถูกเลือก</u>***

สตริงคำตอบที่ 2 คือ $[x_1, x_2, x_3, x_5, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 3 คือ $[x_4, x_3, x_1, x_2, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 12 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 4 คือ $[x_3, x_2, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย ***<u>คำตอบแย่ที่ถูกเลือก</u>***

ซึ่งสตริงที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ดีคือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 10 หน่วย และสตริงคำตอบที่แย่ที่ถูกเลือกคือ $[x_3, x_2, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย



รูปที่ 6.3 ลักษะการคัดเลือกเลือกคำตอบ

6.3.5 ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น (Update Matrix Probabilistic)

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นของตารางความน่าจะเป็น เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในอัลกอริทึมการบรรจวบ การเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็น วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าคำตอบที่ที่คิดว่าเป็นคำตอบแย่ และเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดีให้มีสิทธิในการถูกเลือกมากขึ้น ช่วยทำให้พื้นที่ของคำตอบที่เราสนใจมีขนาดที่แคบไม่กระจัดกระจาย ทำให้คำตอบในการหาแต่ละรอบลู่สู่ค่าเหมาะสมมากกว่าวิธีอัลกอริทึมอื่น การเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นจะมีหลักการพิจารณาดังนี้

6.3.5.1 กรณีการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น จะนำสตริงที่มีคำตอบที่ดีจากการคัดเลือกคำตอบนำมาพิจารณาทีละคู่ลำดับของสตริง เมื่อคู่อันดับของสตริงที่พิจารณาคือ x_c, x_r ซึ่งเป็นคู่อันดับที่ทำให้ได้คำตอบดี โดยจะเพิ่มค่าความน่าจะเป็นร่วม (Join Probability) ตำแหน่ง x_{cr} ในตารางความน่าจะเป็นในการเลือก ค่าที่จะให้รางวัล(Reward)เมื่อคู่อันดับเป็นคำตอบที่ดีมีค่าเท่ากับ $\frac{k}{n-1}$ และทำการลดค่าจากคู่อันดับ x_{cj} เมื่อ j มีค่าเท่ากับ 1,2,...,n ยกเว้น $j=r$ ด้วยค่าเท่ากับ $\frac{k}{(n-1)^2}$ เพื่อมาให้รางวัลกับคู่ลำดับ x_{cr} เมื่อ k คือค่าร้อยละในการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็น และ $r_{c,r}$ คือจำนวนนับรวมทั้งหมดที่จะทำการให้รางวัลเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r ที่เป็นคำตอบดี ดังนั้นค่าที่ใช้ในการเพิ่มค่าคู่ลำดับสตริงที่มีคำตอบที่ดีคือ

$$X_{c,r}(t+1) = X_{c,r}(t) + \frac{k}{(n-1)}(r_{c,r}(t+1)) + \frac{k}{(n-1)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} r_{c,j}(t+1)\right) \qquad (6.1)$$

6.3.5.2 กรณีการลดค่าความน่าจะเป็น จะนำสตริงที่มีคำตอบที่แย่จากการคัดเลือกคำตอบนำมาพิจารณาทีละคู่ลำดับของสตริง เมื่อคู่อันดับของสตริงที่พิจารณาคือ x_c, x_p ซึ่งเป็นคู่อันดับที่ทำให้ได้คำตอบแย่ โดยจะลดค่าความน่าจะเป็นร่วม (Join Probability) ตำแหน่ง $x_{c\,p}$ ในตารางความน่าจะเป็นในการเลือก ค่าที่จะให้ลงโทษ (Punish) เมื่อคู่อันดับเป็นคำตอบที่แย่มีค่าเท่ากับ $\frac{k}{n-1}$ และค่าที่ได้รับเพิ่มเมื่อคู่อันดับเป็นคำตอบที่ดีมีค่าเท่ากับ $\frac{k}{(n-1)^2}$ เมื่อ k คือค่าร้อยละในการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็น j มีค่าเท่ากับ 1,2,...,n และ $p_{c,p}$ คือจำนวนนับรวมทั้งหมดที่จะทำการลงโทษค่าเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p ที่เป็นคำตอบแย่ ดังนั้นค่าที่ใช้ในการเพิ่มค่าคู่ลำดับสตริงที่มีคำตอบที่แย่คือ

$$X_{c,p}(t+1) = X_{c,p}(t) - \frac{k}{(n-1)}(p_{c,p}(t+1)) + \frac{k}{(n-1)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} p_{c,j}(t+1)\right) \qquad (6.2)$$

และเมื่อทำการรวมค่าที่การให้รางวัลและลงโทษ ของค่าความน่าจะเป็นร่วม $x_{c1,c2}$ จะได้ดังสมการ 6.3

$$\begin{aligned} X_{c1,c2}(t+1) = X_{c1,c2}(t) &+ \frac{k}{(n-1)}(r_{c1,c2}(t+1) - p_{c1,c2}(t+1) \\ &+ \frac{k}{(n-1)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} p_{c1,j}(t+1) - \sum_{j=1}^{n} r_{c1,j}(t+1)\right) \end{aligned} \qquad (6.3)$$

จากตัวอย่างเส้นทางการเดินของพนักงาน กำหนดให้ $k = 0.1$ สตริงคำตอบทั้งหมด 4 สตริง ได้แก่

สตริงคำตอบที่ 1 คือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 10 หน่วย ***คำตอบดีที่ถูกเลือก***
สตริงคำตอบที่ 2 คือ $[x_1, x_2, x_3, x_5, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 3 คือ $[x_4, x_3, x_1, x_2, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 12 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 4 คือ $[x_3, x_2, x_4, x_1, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย ***คำตอบแย่ที่ถูกเลือก***

พิจารณาสตริงคำตอบที่ 1 คือ $[x_2, x_3, x_4, x_1, x_5]$ ที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ทำได้คำตอบที่ดี มาทำการปรับปรุงค่าโดยการให้รางวัลดังนี้

คู่อันดับ x_2, x_3 จะมีการให้รางวัล ค่าความน่าจะเป็นร่วมตำแหน่ง x_{23} เท่ากับ $\frac{k}{5-1} = \frac{0.1}{5-1} = \frac{0.1}{4} = 0.025$ และหักค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง x_{21}, x_{23}, x_{24} และ x_{25} จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ x_{23} เท่ากับ $\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{16} = 0.00625$ $r_{2,3}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 จากตารางที่ 6.2

$$X_{2,3}(1+1) = X_{2,3}(1) + 0.025(r_{2,3})$$

$$X_{2,3}(2) = 0.25 + 0.025(1)$$

$$X_{2,3}(2) = 0.275$$

ซึ่งคู่ลำดับ x_{21}, x_{23}, x_{24} และ x_{25} จะมีค่าเท่ากับ $X_{2,1}(2) = 0.25 - 0.00625 = 0.2438$

$$X_{2,3}(2) = 0.275 - 0.00625 = 0.2688$$

$$X_{2,4}(2) = 0.25 - 0.00625 = 0.2438$$

$$X_{2,5}(2) = 0.25 - 0.00625 = 0.2438$$

ตารางที่ 6.3 ความน่าจะของเส้นทางการเดินหลังหลังจากปรับปรุงคำตอบที่ดี

เมือง i ไป j	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}
x_{2j}	0.2438	0	0.2688	0.2438	0.2438

และเมื่อทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางเดินจากสตริงคำตอบที่ดีทั้งหมดจะได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ตารางความน่าจะของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่ดี

เมือง i ไป j	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}
x_{1j}	0	0.2438	0.2438	0.2438	**0.2688**
x_{2j}	0.2438	0	**0.2688**	0.2438	0.2438
$x_{3j.}$	0.2438	0.2438	0	**0.2688**	0.2438
x_{4j}	**0.2688**	0.2438	0.2438	0	0.2438
x_{5j}	0.25	0.25	0.25	0.25	0

พิจารณาสตริงคำตอบที่ 4 คือ $[x_3, x_2, x_4, x_1, x_5]$ ที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ทำได้คำตอบที่แย่ มาทำการปรับปรุงค่าโดยการให้ลงโทษดังนี้

คู่อันดับ x_3, x_2 จะมีการให้ลงโทษค่าความน่าจะเป็นร่วมตำแหน่ง x_{32} เท่ากับ $\frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{5-1} = \frac{0.1}{4} = 0.025$ และเพิ่มค่าตำแหน่งให้กับคู่ลำดับในตำแหน่ง x_{31}, x_{32}, x_{34} และ x_{35} เท่ากับ $\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(5-1)^2} = \frac{0.1}{16} = 0.00625$ $p_{3,2}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 จากตารางที่ 6.4

$$X_{3,2}(1+1) = X_{3,2}(1) - 0.025(p_{2,3})$$

$$X_{3,2}(2) = 0.2438 - 0.025(1)$$

$$X_{3,2}(2) = 0.2188$$

ซึ่งคู่ลำดับ x_{31}, x_{32}, x_{34} และ x_{35} จะมีค่าเท่ากับ $X_{3,1}(2) = 0.2438 + 0.00625 = 0.2500$

$$X_{3,2}(2) = 0.2188 + 0.00625 = 0.2205$$

$$X_{3,4}(2) = 0.2688 + 0.00625 = 0.2750$$

$$X_{3,5}(2) = 0.2438 + 0.00625 = 0.2500$$

ตารางที่ 6.5 ความน่าจะของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่แย่

เมือง i ไป j	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}
x_{3j}	0.25	0.2205	0	0.2750	0.25

และเมื่อทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางเดินจากสตริงคำตอบที่ดแย่ทั้งหมดจะได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ตารางความน่าจะของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่แย่

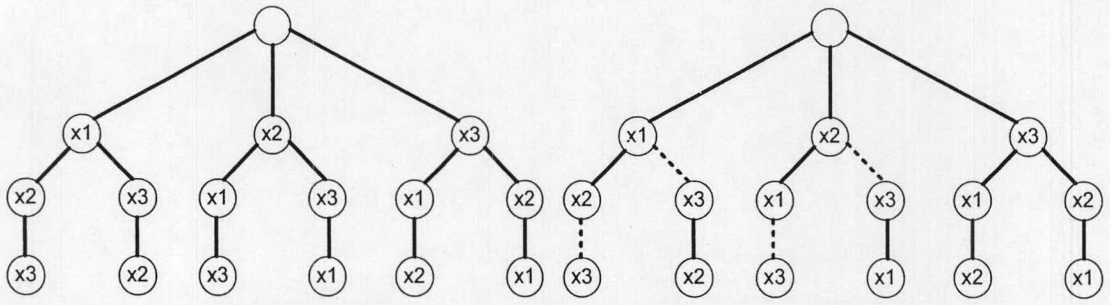
เมือง i ไป j	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}
x_{1j}	0	0.2438	0.2438	0.2438	**0.2688**
x_{2j}	0.25	0	0.2750	**0.2205**	0.25
x_{3j}	0.25	**0.2205**	0	0.2750	0.25
x_{4j}	**0.25**	0.25	0.25	0	0.25
x_{5j}	0.25	0.25	0.25	0.25	0

จากตารางที่ 6.6 สังเกตได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นให้กับเส้นทางที่จะเลือกในการเดิน เส้นทางที่จะทำให้ได้คำตอบดีจะมีความน่าจะเป็นที่มาก ทำให้มีสิทธิในการเลือกในครั้งต่อไปได้สูง และคำตอบที่แย่ก็จะเป็นตัวช่วยลดค่าความน่าจะเป็นของตัวเอง ทำให้ความน่าจะเป็นมีค่าน้อยลง การสุ่มเลือกเส้นทางเดินในครั้งต่อไปก็จะส่งผลให้มีโอกาสเลือกน้อยลง

ตารางที่ 6.6 จะถูกส่งกลับสู่กระบวนการสุ่มเลือกเส้นทางการเดินอีกครั้ง ทำให้สตริงคำตอบที่สุ่มออกมาจากตารางมีคำตอบที่ลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีอย่างรวดเร็ว ถ้าเกิดมีการทำการคำนวณหลายรอบการทดลอง (Generations) คำตอบจะลู่คงสู่สภาพคงที่ (Stable) ทำให้ได้สตริงที่มีค่าที่ดีตามฟังก์วัตถุประสงค์ สตริงคำตอบที่ได้คำตอบแย่จะมีจำนวนที่น้อยลงหลังจากมีการลดความน่าจะเป็นจนมีค่าเข้าใกล้ 0

6.4 ลักษณะการตัดทอนคำตอบ

อัลกอริทึมการบรรจวบเป็นอัลกอริทึมที่ทำการตัดทอนคำตอบที่คิดว่าเป็นคำตอบที่แย่เพื่อมุ่งไปสู่เส้นทางที่คิดว่าเป็นเส้นทางที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการตัดเส้นทางการเดินที่ทำให้คำตอบที่แย่ โดยการลดความน่าจะเป็นและเพิ่มความน่าจะเป็นเมื่อเส้นทางที่เดินไปนั้นเป็นเส้นทางที่เหมาะสม วิธีการทำลักษณะนี้ทำให้มีการตัดทอนเส้นทางการเดินของคำตอบเพื่อให้พื้นที่ในการหาคำตอบแคบลง เส้นทางการเดินที่เหมาะสมจะมีให้เราเลือกตัดสินใจน้อยลง ซึ่งเส้นทางที่เหลือในการเลือกเดิน จะเป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมตามฟังก์วัตถุประสงค์ที่เราสนใจ ดังรูป 6.3 จะเห็นได้ว่าเส้นในการเดินจาก x_1 ไป x_3 และ x_2 ไป x_3 ถูกทำการตัดเส้นทางการเดิน เนื่องจากเป็นเส้นทางที่ทำให้ได้คำตอบที่แย่ ทำให้เหลือเส้นทางแรกที่จะเลือกเดินคือ x_3 ไป x_1 หรือ x_2 เท่านั้น เพราะถ้าเลือกเส้น x_1 ไป x_2 เส้นทางจะถูกตัดทิ้งเมื่อจะเดินต่อจาก x_2 ไป x_3 เช่นเดียวกับ x_2 ไป x_1 เส้นทางจะถูกตัดทิ้งเมื่อจะเดินต่อจาก x_1 ไป x_3



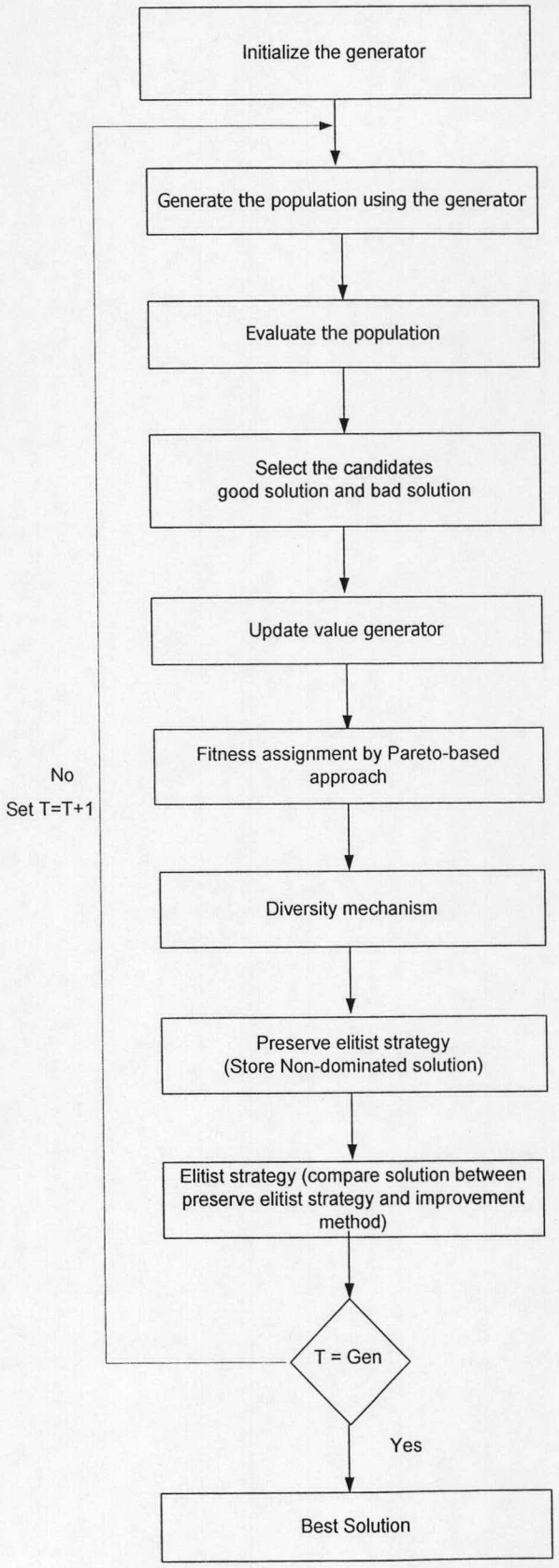
ก) ก่อนทำการตัดทอนเส้นทางการเดิน ข) หลังทำการตัดทอนเส้นทางการเดิน

รูปที่ 6.4 ลักษณะเส้นทางในการเลือกคำตอบก่อนและหลังตัดทอนเส้นทางการเดิน

6.5 โครงสร้างของอัลกอริทึมการบรรจวบ สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู

โครงสร้างหลัก ประกอบด้วย 9 ส่วน คือ

1. Initialize the generator: สร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก โดยการสร้างตารางความน่าจะเป็น (Matrix Probabilistic) สำหรับการตัดสินเลือกขั้นงาน
2. Generate the population: สร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการ ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกขั้นงานมาจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) และตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) เพื่อใช้ในการเลือกงานอันดับแรกที่จัดถูกเลือก
3. Evaluate the population: คำนวณและประเมินผลประชากร จะคำนวณค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เช่น จำนวนสถานีงาน ผลต่างสถานีงานกับความสัมพันธ์ในสถานีงาน และการกระจายภาระขั้นงานในสถานีงาน
4. Select the candidates: การคัดเลือกสตริงคำตอบ ซึ่งจะทำการเลือกสตริงคำตอบที่คำนวณได้ โดยจะทำการเลือกสตริงคำตอบสองลักษณะคือ สตริงคำตอบที่ถือเป็นคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่ถือเป็นคำตอบที่แย่ (Bad Solution) เพื่อทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น
5. Update Matrix Probability: ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น โดยสตริงคำตอบที่ดีจะทำการให้รางวัล(Reward) กับตารางความน่าจะเป็น และสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลงโทษ(Punish) กับตารางความน่าจะเป็น
6. Strategies to maintain elitist solutions in the population: เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยทำการนำสตริงคำตอบที่ดีมาทำการรวมกับสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บไว้ในแต่ละรอบ
7. Pareto Based Approach : กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบแต่ละตัวด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด สตริงคำตอบที่ดีที่สุดจะมีอันดับที่ในการจัดอันดับต่ำที่สุด
8. Selection : คัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงมากที่มีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 6.5 โครงสร้างอัลกอริทึมการบรรจวบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวยูในงานวิจัยครั้งนี้

6.6 ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมการบรรจวบ สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู

จากโครงสร้างหลักของอัลกอริทึมการบรรจงบ สามารถแบ่งย่อยเป็นวิธีการของอัลกอริทึมการบรรจวบ ได้ดังนี้

1. Data Input : รับข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดและจำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ในแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงาน
2. Representation & Initialization : นำข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ มาสร้างคำตอบเบื้องต้นอย่างสุ่ม จำนวน *popsize* ตัว โดยผ่านกระบวนการใส่รหัสคำตอบ(Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น(Initial Population)
3. Evaluation : คำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนสถานีงาน ผลต่างสถานีงานกับความสัมพันธ์ในสถานีงาน และการกระจายภาระขั้นงานในสถานีงาน
4. Pareto Based Approach : ใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการกำหนดความแข็งแรงให้กับประชากรคำจอบ ในขั้นตอนการทำงานนี้จะทำให้ประชากรคำตอบถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม กลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับที่ในการจัดต่ำที่สุด
5. Density Information : คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ
6. Selection : เรียงค่าความแข็งแรงจากน้อยไปมาก และเรียงค่าความหนาแน่นจากมากไปน้อยทำการเลือกสตริงอันดับแรกจำนวนเท่า *Choose* เป็นสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และอันดับสุดท้ายจำนวนเท่ากับ *Choose* เป็นสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) โดย *Choose* คือจำนวนเปอร์เซ็นต์ในการเลือกสตริงคำตอบ
7. Update Matrix Probability: ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นโดยสตริงคำตอบที่ดีจะทำการให้รางวัล(Reward) กับตารางความน่าจะเป็น และสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลงโทษ(Punish) กับตารางความน่าจะเป็น
8. Strategies to maintain elitist solution in the population : เปรียบเทียบประชากรคำตอบที่เก็บไว้ในรอบก่อนหน้ากับสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนี้ เก็บคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution แทนที่คำตอบที่ดีที่สุดตัวเดิม
9. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำคำตอบใน Strategies to maintain elitist solutions in the population มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

6.7 วิธีการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวยู

6.7.1 การใส่รหัสคำตอบ

ในการใส่รหัสคำตอบของอัลกอริทึมการบรรจวบ เป็นการใส่รหัสคำตอบ (Chromosome Representation / Coding) เปลี่ยนคำตอบปัญหาให้อยู่ในรูปสตริงคำตอบ หรือเรียกว่า โครโมโซม ในกรณีของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมลักษณะตัวยู คำตอบของปัญหาคือกลุ่มของงานที่ถูกมอบหมายให้กับสถานีทำงานสถานีต่างๆ ดังนั้น วิธีการใส่รหัสคำตอบที่ใช้จึงต้องสามารถแสดงลำดับของงานในรูปของสตริงได้ วิธีการใส่รหัสคำตอบที่ใช้จึงเป็นแบบ Non-binary String

6.7.2 การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น

สร้างตารางความน่าจะเป็น ในการเลือกขั้นงานที่จะวางลงบนสตริงคำตอบแต่ละขั้นงาน จะมีวิธีการสร้างตารางดังนี้

- สร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) ที่มีขนาดเท่ากับ $n \times n$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด
- สร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นในการเลือกขั้นงานแรก (First Walk Matrix Probability) ที่มีขนาดเท่ากับ $1 \times n$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด
- ค่าในตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) ที่อยู่บนเส้นทะแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากขั้นงานจะไม่สามารถถูกเลือกซ้ำกันลงในสตริงคำตอบเดียวกัน และตำแหน่งของขั้นงานที่ไม่สามารถทำได้ถ้าขั้นงานก่อนหน้ายังไม่ได้ทำตามข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของขั้นงาน จะมีค่าเท่ากับ 0
- ค่าในตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) จะมีค่าเท่ากับ $1/m$ กำหนดให้ m คือจำนวนตำแหน่งรวมตามแถวที่ยังไม่มีการกำหนดค่า
- ค่าในตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นในการเลือกขั้นงานแรก (First Walk Matrix Probability) ในตารางจะมีค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าเริ่มต้นเท่ากันหมด และมีค่าเท่ากับ $1/n$

จำนวนประชากรเบื้องต้น (Population Size) คือ จำนวนคำตอบเบื้องต้นที่สร้างขึ้นมาจำนวนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการของอัลกอริทึมโดยคำตอบ 1 คำตอบ คือ สตริง คำตอบ 1 ตัว จะมีการกำหนดจำนวนประชากรคำตอบเบื้องต้นในแต่ละเจนเนอเรชั่นซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ *popsize* ตัว

การสุ่มเลือกขั้นงานจากตารางความน่าจะเป็นทั้งสอง จะทำการสุ่มเลือกขั้นงานอันดับแรกจากตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรกเสียก่อน โดยจะพิจารณาจากตารางความสัมพันธ์ในการทำงานข้างหน้าและข้างหลัง โดยดูจากผลรวมของคอลัมน์ที่มีค่าเท่ากับ 0 และเลือกขั้นงานที่จะจัดสรรลงอย่างต่อเนื่องจนครบทุกขั้นงานจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) โดยการสร้างประชากรเบื้องต้นทั้ง *popsize* ตัว

ถ้างานหมายเลขใดที่ถูกกำหนดลงไปแล้วให้ทำการตัดขั้นงานนั้นทิ้ง เพื่อป้องกันการสุ่มเลือกงานซ้ำและยังทำให้ลำดับขั้นงานไม่ผิดข้อกำหนดด้านความสัมพันธ์ของขั้นงาน มีหลักการในการปรับปรุงตาราง 2 กรณี คือ

- ถ้างานที่ถูกเลือกมาจาก Precedence Matrix Font ให้ตัดทิ้งโดยการเปลี่ยนตัวเลข ในแถว Precedence Matrix Font เป็น 0 ทั้งหมด และในคอลัมน์ของงานนั้นเท่ากับ 1 ทั้งหมด และทำให้คอลัมน์งานนั้นใน Precedence Matrix Back มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมด

- ถ้างานที่ถูกเลือกมาจาก Precedence Matrix Backให้ตัดทิ้งโดยการเปลี่ยนตัวเลข ในแถว Precedence Matrix Back เป็น 0 ทั้งหมด และในคอลัมน์ของงานนั้นเท่ากับ 1 ทั้งหมด และทำให้คอลัมน์งานนั้นใน Precedence Matrix Font มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมด

6.7.3 การประเมินค่า

นำสตริงคำตอบหลังจากสุ่มเลือกมาจากตารางความน่าจะเป็นมาทำการจัดงานลงสถานีงานเสียก่อน ซึ่งการจะทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบตัวยู ได้นั้นจะต้องทำการ นำสตริงคำตอบที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงมาทำการงอเป็นลักษณะตัวยู ซึ่งจะมีจัดสรรงานลงสถานีงานในลักษณะตัวยู โดยมีฮิวริกติกในการเลือกงานหลายแบบ ในงานวิจัยนี้จะใช้ทั้งหมด 4 แบบ ดังนี้

1. การเลือกงานที่มีเวลาขั้นงานสูงที่สุด(Longest Processing Time) จะทำการเลือกงานที่มีเวลาขั้นงานสูงลงสถานีงานก่อน
2. การเลือกงานที่มีค่าถ่วงน้ำหนักสูงที่สุด(Greatest Weight Priority) จะทำการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้แก่ขั้นงาน และทำการพิจารณาเลือกงานที่มีค่าถ่วงน้ำหนักสูงสุดลงสถานีงานก่อน
3. เลือกงานโดยวิธีสุ่มเลือก (Random Priority) ทำการสุ่มเลือกขั้นงานลงสถานีงาน
4. เลือกงานที่มีจำนวนภาระในการทำงานข้างหน้ามากที่สุด(Greatest Number of Successors) จะพิจารณาจำนวนขั้นงานที่จะต้องทำต่อจากงานที่พิจารณา ถ้าขั้นงานใดมีจำนวนขั้นงานที่ทำต่อมากที่สุดจะถูกเลือกลงสถานีงานก่อน

การพิจารณาลงสถานีงานในอัลกอริทึมการบรรจวบ จะมีขั้นตอนพิจารณาทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. นำขั้นงานที่อยู่เลือกเป็นลำดับแรกในสตริงคำตอบไปจัดให้กับสถานีทำงานแรก
2. นำขั้นงานที่อยู่ที่ถูกเลือกลำดับถัดไปจัดให้กับสถานีทำงานแรกเช่นกัน แล้วดูว่าเวลาทำงานรวมในสถานีเกินรอบเวลาทำงาน (Cycle Time) ที่กำหนดให้หรือไม่ ถ้าเกินให้ตัดงานล่าสุดที่จัดให้สถานีทิ้งไป แล้วนำงานที่ตัดออกไปจัดให้กับสถานีถัดไป แต่ถ้าเวลารวมในสถานีน้อยกว่าระยะเวลาทำงาน ก็ให้เอางานที่อยู่ในลำดับต่อๆมาไปจัดให้กับสถานีนั้นจนกว่าเวลารวมของสถานีจะมากกว่าระยะเวลาทำงาน
3. เมื่อนำงานที่ตัดออกมาจากสถานีเดิม มาจัดให้กับสถานีถัดไปแล้ว ก็ให้นำงานลำดับต่อๆมาไปจัดให้กับสถานีทำงานนั้น จนกว่าเวลาทำงานรวมของสถานีจะเกินระยะเวลาทำงาน ถ้าเกินก็ให้ตัดงานนั้นออกจากสถานีเดิม และนำไปจัดให้กับสถานีใหม่ต่อไป
4. ทำตามข้อที่ 3 จนกว่างานทุกงานจะถูกจัดให้กับสถานีทำงานจนหมด

นำสตริงคำตอบหลังจากการจัดสรรลงสถสนีงานมาทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์คือ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด งานมีผลต่าง

ความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุดและความผันแปรของเวลาในสถานีงานทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำการกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงของสตริงคำตอบ มีวิธีดังนี้

กำหนดให้ m คือ สถานีงาน

SN_k คือ จำนวนการเชื่อมต่อการทำงานในสถานีงาน k

$S_{\max}$ คือ เวลารวมที่สูงที่สุดในสถานีงาน

S_k คือ เวลารวมในสถานีงาน k

1 เพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ m \tag{6.4}$$

2 เพื่อให้งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$f_2(X) = Minimum\ \ relatedness = Minimum\ \ m - m \Big/ \sum_{k=1}^{m} SN_k \tag{6.5}$$

3 เพื่อหาค่าต่ำสุดของค่าการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum\ SI = Minimum \sqrt{\sum_{k=1}^{m} (S_{\max} - S_k)^2 \Big/ m} \tag{6.6}$$

6.7.4 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดเป็นวิธีในการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสมาชิกคำตอบ และมีหลายวิธี จึงเลือกใช้วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดแบบเดียวกับอัลกอริทึม NSGAII แบบการจัดอันดับของ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting

การกำหนดค่าความแข็งแรงวิธี Non-dominated Sorting เป็นวิธีการจัดลำดับเซตของสตริงคำตอบในประชากรคำตอบทั้งหมด โดยจะพิจารณาคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดดีกว่าเซตคำตอบนี้ (Non-dominated Solution) เป็นอันดับที่หนึ่ง และจัดลำดับ (Rank) เป็นอันดับแรก จากนั้นจะตัดคำตอบที่พิจารณาไปแล้ว คำตอบที่เหลือจะถูกจัดเป็นอันดับถัดไปจนหมด อันดับที่ทำการจัดจะถือว่าเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) หลังจากการนั้นจะทำการกำหนดความหนาแน่นของประชากรคำตอบ

6.7.5 วิธีกำหนดความหนาแน่นของประชากรคำตอบ

เป็นวิธีในการรักษาความหลากหลายให้กับสมาชิกคำตอบ หรือแบ่งปันค่าความแข็งแรง หรือกำหนดความหนาแน่น เพื่อทำให้เกิดกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดและป้องกันการเกิดคำตอบเกาะกลุ่มบริเวณใดบริเวณนึง วิธีที่ใช้จะเป็นวิธีเดียวกับอัลกอริทึม NSGAII คือวิธีการ Crowding Distance เพื่อในการตัดสินใจในการเลือกสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากัน ในกรณีที่มีค่า Dummy Fitness เท่ากันจะเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Crowding Distance สูงก่อน

6.7.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบ(Selection String) เป็นการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดหรือเป็นสตริงคำตอบที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Good Solution) และเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดหรือเป็นสตริงคำตอบที่ให้คำตอบที่แย่ที่สุด (Bad Solution) เป็นจำนวนเท่ากับ *Choose* ตัว เพื่อไปทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตาราง การเลือกคำตอบที่เหมาะสมจะช่วยให้การลู่เข้าของคำตอบเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมเร็วยิ่งขึ้น โดยกำหนดให้ *Choose* เปอร์เซ็นต์ในการเลือกคำตอบไปทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตาราง

6.7.7 ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นของตารางความน่าจะเป็น เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในอัลกอริทึมการบรรจวบ การเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็น วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าคำตอบที่ที่คิดว่าเป็นคำตอบแย่ และเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดีให้มีสิทธิในการถูกเลือกมากขึ้น ช่วยทำให้พื้นที่ของคำตอบที่เราสนใจมีขนาดที่แคบไม่กระจัดกระจาย ทำให้คำตอบในการหาแต่ละรอบลู่สู่ค่าเหมาะสมมากกว่าวิธีอัลกอริทึมอื่น

ตัวอย่างเช่น ถ้าสตริงคำตอบ 2->3->4->1->5 ที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ทำได้คำตอบที่ดี และไม่มีความสัมพันธ์ของขั้นงาน มาทำการปรับปรุงค่าโดยการให้รางวัล อันดับที่จะทำการให้รางวัล (2,3),(3,4),(4,1) และ (1,5) กำหนดให้ k คือค่าร้อยละในการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็น พิจารณาคู่อันดับ (2,3) เริ่มจากปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น(First Walk Matrix Probability) โดยทำการให้รางวัล(Reward) ที่ตำแหน่ง (1,2) เท่ากับ $\frac{k}{n} = \frac{0.1}{5} = 0.02$ และหักค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง (1,1), (1,2),(1,3),(1,4)และ (1,5) จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับ

คู่ลำดับ (1,2) เท่ากับ $\frac{k}{(n)^2} = \frac{0.1}{25} = 0.004$ ในส่วนตารางค่าความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะมีการให้รางวัล ตำแหน่ง (2,3) เท่ากับ $\frac{k}{m} = \frac{0.1}{5} = 0.020$ และหักค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง (2,1),(2,3),(2,4)และ (2,5) จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ (2,3) เท่ากับ $\frac{k}{(m)^2} = \frac{0.1}{(5)^2} = \frac{0.1}{25} = 0.004$

ถ้าสตริงคำตอบ 2->3->4->1->5 ที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ทำได้คำตอบที่แย่ และไม่มีความสัมพันธ์ของขั้นงาน มาทำการปรับปรุงค่าโดยการให้รางวัล อันดับที่จะทำการลงโทษรางวัล (2,3),(3,4),(4,1) และ (1,5) กำหนดให้ k คือค่าร้อยละในการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็น พิจารณาคู่อันดับ (2,3) เริ่มจากปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น(First Walk Matrix Probability) โดยทำการลงโทษ(Punish) ที่ตำแหน่ง (1,2) เท่ากับ $\frac{k}{n} = \frac{0.1}{5} = 0.02$ และเพิ่มค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง (1,1), (1,2),(1,3),(1,4)และ (1,5) จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ (1,2) เท่ากับ $\frac{k}{(n)^2} = \frac{0.1}{25} = 0.004$ ในส่วนตารางค่าความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะมีการลงโทษ(Punish) ตำแหน่ง (2,3) เท่ากับ $\frac{k}{m} = \frac{0.1}{5} = 0.020$ และเพิ่มค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง (2,1), (2,3),(2,4)และ (2,5) จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ (2,3) เท่ากับ $\frac{k}{(m)^2} = \frac{0.1}{(5)^2} = \frac{0.1}{25} = 0.004$

ในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) จะมีการพิจารณาตามหลักความน่าจะเป็นดังนี้

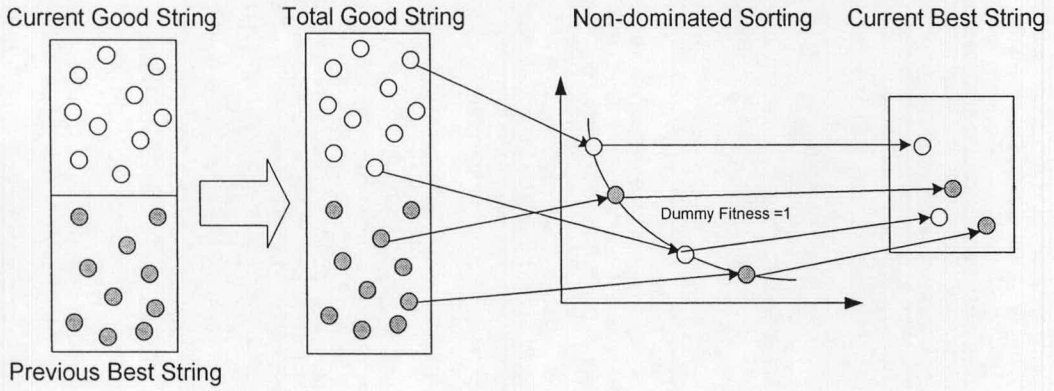
- ถ้าตำแหน่งที่ทำการให้รางวัล(Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็น แล้วทำให้ค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งนั้นมีค่าเกิน 1 จะไม่ทำการเพิ่มค่าในตำแหน่งในการพิจารณาครั้งนั้น

- ถ้าตำแหน่งทำการลงโทษ(Punish) หรือลดค่าความน่าจะเป็น แล้วทำให้ค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งนั้นมีค่าน้อยกว่า 0 จะไม่ทำการลดค่าในตำแหน่งในการพิจารณาครั้งนั้น

6.7.8 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเก็บค่าดีที่สุดไว้ และป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ดีไปหลังจากผ่านกระบวนการต่าง ๆ หลักการในการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอัลกอริทึมการบรรจวบจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับอัลกอริทึม NSGAII ซึ่งจะนำสตริงคำตอบที่เลือกไว้ที่มีคำตอบที่ดีในรอบนั้น (Current Good String) และสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บในรอบก่อนหน้า(Previous Best String) มาทำการรวมกันและหาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อทำการกำหนดค่าเชิงกลุ่ม หาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) โดยใช้วิธีแบบ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting สตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) เท่ากับ 1 จะถือว่าเป็นสตริงคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดในปัจจุบัน(Current Best String) ซึ่งสตริงคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดในปัจจุบันจะกลายไปเป็นสตริงคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดแต่ก่อน(Previous Best String) ในการพิจารณารอบถัดไป

ถ้าจำนวนเจนเนอเรชั่นเท่ากับที่เรากำหนดแล้ว สตริงคำตอบสุดท้ายที่ถือว่าเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจะมีค่าเท่ากับสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Current Best String) ของรอบเจนเนอชั่นรอบนั้น



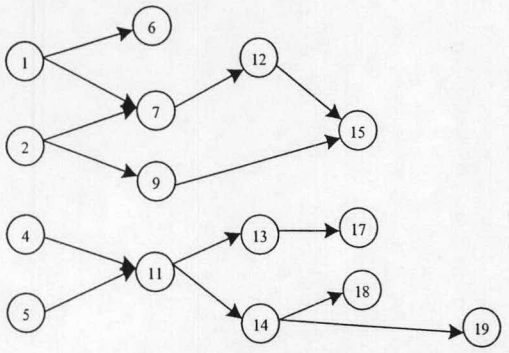
รูปที่ 6.6 การเก็บค่าที่ดีที่สุดของวิธีอัลกอริทึมการบรรจวบ

6.8 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมการบรรจวบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูผลิตภัณฑ์ผสม

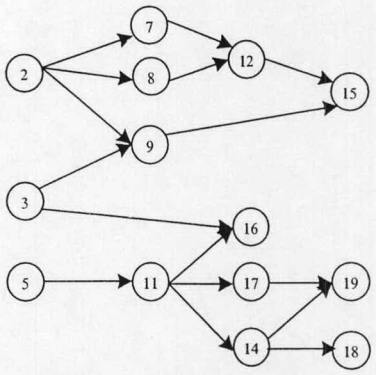
จากขั้นตอนของอัลกอริทึมการบรรจวบ ที่ได้เสนอมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหา Thomopoulos มีงานทั้งหมด 19 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

6.8.1. **การเตรียมข้อมูล** (Data Input)

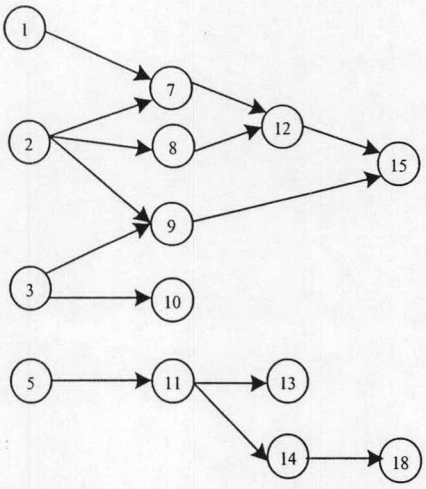
6.8.1.1 **การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม** (Overall Precedence Diagram) **แสดงได้ดังรูปที่**



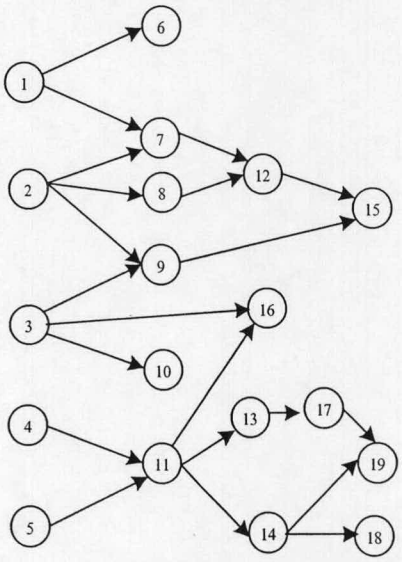
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B และ C

รูปที่ 6.7 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน

6.8.1.2 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงานซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Model			
	A	B	C	Mean
1	0.1	0	0.1	0.0667
2	1.2	1.2	1.2	1.2
3	0	0.4	0.4	0.2667
4	0.4	0	0	0.1333
5	0.2	0.2	0.2	0.2
6	0.2	0	0	0.0667
7	0.6	0.6	0.6	0.6
8	0	0.5	0.5	0.3333
9	0.4	0.4	0.4	0.4
10	0	0	0.2	0.0667
11	0.3	0.3	0.3	0.3
12	0.5	0.5	0.5	0.5
13	0.1	0	0.1	0.0667
14	0.2	0.2	0.2	0.2
15	1.5	1	1.5	1.3333
16	0	0.1	0	0.0333
17	0.5	0.5	0	0.3333
18	0.5	0.5	0.5	0.5
19	0.4	0.4	0	0.2667

6.8.1.3 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 6.7 จะได้ดังตารางที่ 6.8-6.9

ตารางที่ 6.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

6.8.1.4 พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมการบรรจวบ ที่เลือกใช้คือ

- จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
- รอบเวลาในการทำงาน(Cycle Time) เท่ากับ 2
- ฮิวริสติกในการเลือกงานวิธีแบบสุ่ม(Random Priority)
- จำนวนสตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2
- ค่าให้รางวัล(Reward)และค่าลงโทษ(Punish)เท่ากับ 0.1

6.8.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการ ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกขั้นงานมาจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) และตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) เพื่อใช้ในการเลือกงานอันดับแรกที่จัดถูกเลือก ดังนั้นจึงจะต้องทำการสร้างตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตารางก่อน

สร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ $1\times n = 1\times 19$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด และมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $1/n = 1/19 = 0.0526$ ดังตารางที่

สร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ $n\times n = 19\times 19$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดยเส้นทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 หมดและพิจารณาจากความสัมพันธ์ก่อนหลัง ตัวอย่างเช่น ขั้นงานที่ 6 ตำแหน่งที่ 6,6 ในตารางค่าน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) จะมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อพิจารณาจากตารางความสัมพันธ์ในการทำงานข้างหน้า ตารางที่ พบว่าขั้นงานที่ 6 จะทำได้ก็ต่อเมื่องานที่ 1 ต้องทำเสร็จก่อนดังนั้นขั้นงานที่ 6 จะถูกสุ่มเลือกก่อนขั้นงานที่ 1 ไม่ได้ ตำแหน่งที่ (6,1) จึงกำหนดให้มีความน่าจะเป็นเท่ากับ 0 ดังนั้นค่าที่เหลือในแถวที่ 6 จะมีค่าเท่ากับ $1/m = 1/17 = 0.0588$ กำหนดให้ m คือจำนวนตำแหน่งรวมตามแถวที่ยังไม่มีการกำหนดค่า เช่นเดียวกับขั้นงานที่ 7 ที่มีค่าตำแหน่ง (7,7) เท่ากับ 0 และจะทำขั้นงานที่ 7 ได้ ต้องทำงานที่ 1 และ 2 ก่อน จึงกำหนดให้ตำแหน่ง(7,1) และ (7.2) เท่ากับ 0 ค่าที่เหลือในแถวที่ 7 จะเท่ากับ $1/m = 1/16 = 0.0625$

ตารางที่ 6.10 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) ในปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน

0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0.0556	0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0.0625	0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0.0625	0.0625	0.0625	0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588
0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0	0.0625	0

ตารางที่ 6.11 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ในปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน

0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526

การสุ่มเลือกขั้นงานจากตารางความน่าจะเป็นทั้งสอง จะทำการสุ่มเลือกขั้นงานอันดับแรกจากตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรกเสียก่อน โดยจะพิจารณาจากตารางความสัมพันธ์ในการทำงานข้างหน้า โดยดูจากผลรวมของคอลัมน์ที่มีค่าเท่ากับ 0 ในตัวอย่างนี้พบว่าขั้นงานที่สามารถถูกเลือกลงอันดับแรกมีทั้งหมด 5 ขั้นงานได้แก่ งานที่ทำข้างหน้า (Forward work) คือ 1,2,3,4 และ 5 โดยมีความน่าจะเป็นเท่ากันหมดคือ0.05266 สมมติสุ่มได้งานที่ 1 จะทำการปรับปรุงตารางความสัมพันธ์ในการทำงานข้างหน้า โดยให้แถวที่ 1 เท่ากับ 0 ทั้งหมด และให้คอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 1 ทั้งหมด เช่นเดียวกับตารางความสัมพันธ์ในการทำงานข้างหลัง โดยให้คอลัมน์ที่ 3 เท่ากับ 1 ทั้งหมด จะได้สตริงคำตอบที่จะมีลำดับขั้นงาน ในสตริงคำตอบที่ 1 คือ 1,6,3,10,4,5,11,13,2,16,8,7,12,9,15,14,,17,18 และ 19 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.12 การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ

No.	TASK(Font)	Task Sequence
1	1,2,3,4,5	1
2	2,3,4,5,6	6
3	2,3,4,5	3
4	2,4,5,10	10
5	2,4,5	4
6	2,5	5
7	2,11	11
8	2,13,14,16	13
9	2,14,16,17	2
10	7,8,9,14,16,17	16
11	7,8,9,14,17	8
12	9,14,17	7
13	9,12,14,17	12
14	9,14,17	9
15	14,15,17	15
16	14,17	14

ตารางที่ 6.12 การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ (ต่อ)

No.	TASK(Font)	Task Sequence
17	17,18	17
18	18	18
19	19	19

ซึ่งสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมามีจำนวนเท่ากับ $popsize = 5$ ตัว ได้สตริงคำตอบทั้งหมดดังนี้

String 1 = [1 6 3 10 4 5 11 13 2 16 8 7 12 9 15 14 17 18 19]

String 2 = [2 8 5 4 11 13 14 18 1 6 7 12 3 10 16 17 19 9 15]

String 3 = [4 1 6 5 11 13 14 3 10 16 17 2 18 8 19 7 12 9 15]

String 4 = [3 10 2 9 4 8 1 6 7 12 15 5 11 16 14 18 13 17 19]

String 5 = [3 10 2 5 9 1 6 7 8 12 4 11 16 14 13 17 19 18 15]

6.8.3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่ได้จะทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุดและความผันแปรของเวลาในสถานีงานทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำการกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงของสตริงคำตอบ มีวิธีดังนี้

กำหนดให้ m คือ สถานีงาน

SN_k คือ จำนวนการเชื่อมต่อการทำงานในสถานีงาน k

$S_{\max}$ คือ เวลารวมที่สูงที่สุดในสถานีงาน

S_k คือ เวลารวมในสถานีงาน k

1 เพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ m \tag{6.7}$$

2 เพื่อให้งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$f_2(X) = Minimum\ \ relatedness = Minimum\ \ m - m \Big/ \sum_{k=1}^{m} SN_k \tag{6.8}$$

3 เพื่อหาค่าต่ำสุดของค่าการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum\ SI = Minimum \sqrt{\sum_{k=1}^{m}(S_{\max} - S_k)^2 \Big/ m} \qquad (6.9)$$

ขั้นงานที่จะถูกเลือกมาทำการพิจารณาฮิวริกติกจะใช้วิธีการเลือกงานจากข้างหน้าและข้างหลังในลักษณะหักงอเส้นตรง ของสตริงคำตอบ จากสตริงคำตอบที่ 1 จะใช้ฮิวริกติกในการเลือกงานแบบ วิธีสุ่มเลือกขั้นงาน (Random Priority)

งานที่ถูกเลือกมาในการพิจารณาครั้งที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 1 คืองาน 1 และ 19 ทำการสุ่มเลือกงานที่จะจัดสรรลงสถานีงานที่ 1 สมมติสุ่มได้ ขั้นงานที่ 19 เวลารวมในสถานีงานที่ 1 เท่ากับ 0.2667 งานถัดไปที่จะทำการเลือกลงสถานีงานที่ 1 คือขั้นงาน 1 และ 18 สมมติสุ่มได้ขั้นงานที่ 18 การพิจารณาลงสถานีงานที่ 1 ซึ่งเมื่อจัดสรรลงสถานีงานที่ 1 พบว่าเวลารวมในสถานีงานยังไม่เกินรอบเวลาในการทำงานจึงยอมรับให้ขั้นงานที่ 18 อยู่ในสถานีงานีที่ 1 เวลารวมในสถานีงานที่ 1 เท่ากับ 0.7667 ทำจนกว่างานทุกงานจะถูกจัดให้กับสถานีทำงานจนหมดจะได้สถานีงานทั้งหมด 4 สถานี ดังนี้

$$f_1(x) = Workstation = \ m = 4$$

สถานีงานที่ 1 มีงาน 14, 17, 18 และ 19 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.3

สถานีงานที่ 2 มีงาน 9 และ 15 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.733

สถานีงานที่ 3 มีงาน 1,3,6,7,8,10 และ 12 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.900

สถานีงานที่ 4 มีงาน 2,4,5,11,13 และ 16 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.933

ในส่วนการหาค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่ามีวิธีการคำนวณดังนี้

สถานีงานที่ 1 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 14-17-18-19 มีค่าเท่ากับ 1

สถานีงานที่ 2 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 9-15 มีค่าเท่ากับ 2

สถานีงานที่ 3 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 1-6-7-8-12,3-10 มีค่าเท่ากับ 2

สถานีงานที่ 4 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 2,4-5-11-13-16 มีค่าเท่ากับ 1

ดังนั้น $$f_2(x) = WR = \ m - \frac{m}{\sum_{k=1}^{m} SN_k}$$

$$f_2(x) = WR = \ 4 - \frac{4}{1+2+2+1}$$

$$f_2(x) = WR = \ 3.3333$$

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อหาค่าการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$f_3(x) = SI = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{m}(S_{\max} - S_k)^2}{m}}$$

$$f_3(x) = SI = \sqrt{\frac{(1.933-1.3)^2 + (1.933-1.733)^2 + (1.933-1.9)^2 + (1.933-1.933)^2}{4}}$$

$$f_3(x) = SI = \sqrt{\frac{0.441788}{4}} = 0.3325$$

สรุปได้ว่า String 1 = [1 6 3 10 4 5 11 13 2 16 8 7 12 9 15 14 17 18 19]

Workstation 1 = [3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 3 3 3 2 2 1 1 1 1]

สถานีงานที่ 1 มีงาน 14, 17, 18 และ 19 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.3

สถานีงานที่ 2 มีงาน 9 และ 15 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.733

สถานีงานที่ 3 มีงาน 1,3,6,7,8,10 และ 12 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.900

สถานีงานที่ 4 มีงาน 2,4,5,11,13 และ 16 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.933

จากสตริงคำตอบทั้งหมด 5 ตัว ได้ค่าจากการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในตารางที่ 6.11

String 1 = [1 6 3 10 4 5 11 13 2 16 8 7 12 9 15 14 17 18 19]

String 2 = [2 8 5 4 11 13 14 18 1 6 7 12 3 10 16 17 19 9 15]

String 3 = [4 1 6 5 11 13 14 3 10 16 17 2 18 8 19 7 12 9 15]

String 4 = [3 10 2 9 4 8 1 6 7 12 15 5 11 16 14 18 13 17 19]

String 5 = [3 10 2 5 9 1 6 7 8 12 4 11 16 14 13 17 19 18 15]

Workstation 1 = [3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 3 3 3 2 2 1 1 1 1]

Workstation 2 = [2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 3 3 2 1]

Workstation 3 = [4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 3 3 2 2 2 2 1 1]

Workstation4 = [1 1 1 1 2 4 4 4 4 4 3 3 2 2 2 2 2 2 2]

Workstation 5 = [1 1 1 1 2 4 4 4 4 4 3 3 3 3 3 3 3 3 2]

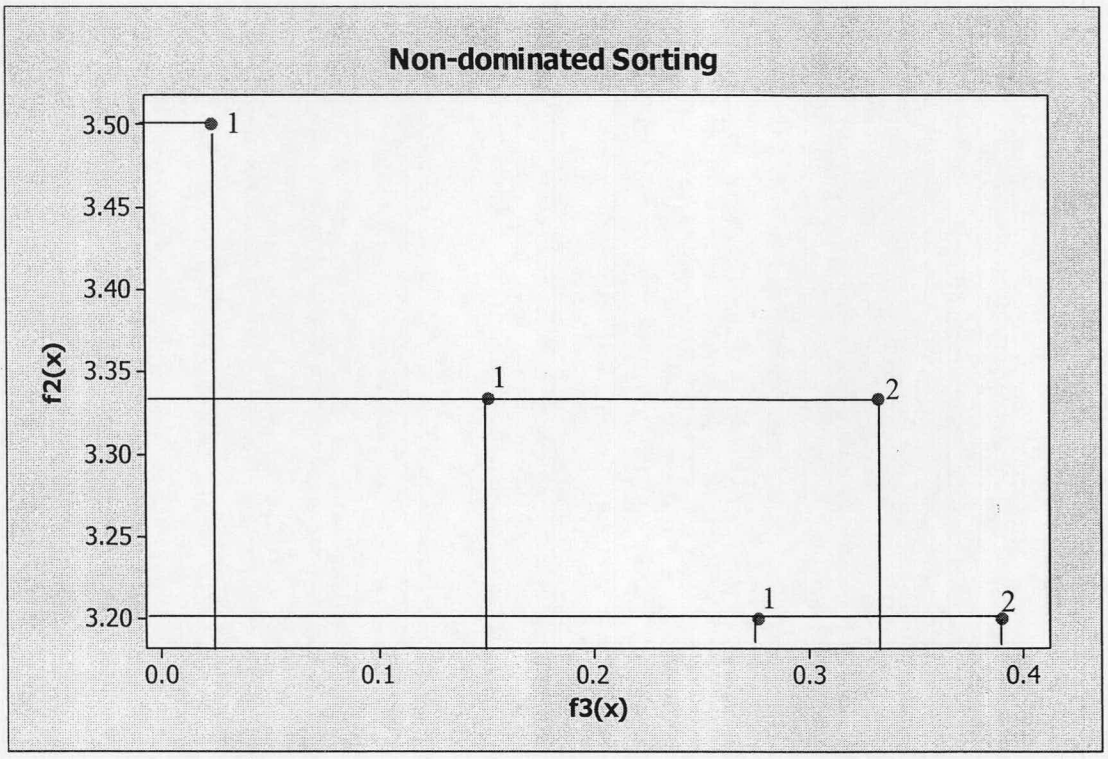
ตารางที่ 6.13 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.3333	0.3325
2	4	3.2000	0.3902
3	4	3.5000	0.0236
4	4	3.2000	0.2759
5	4	3.3333	0.1509

หมายเหตุ วัตถุประสงค์ที่ 1 หรือจำนวนสถานีงาน สามารถคำนวณได้จากค่าในวัตถุประสงค์ที่ 2 หรือผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน โดยการปัดเศษขึ้นเป็นจำนวนจริง ตัวอย่างเช่น 3.20 แสดงว่ามีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4 สถานีงาน

6.8.4 กำหนดค่าความแข็งแรงวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

ในการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness เนื่องจากค่าจำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันหมดจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ จะได้ค่าดังรูปที่ 6.8 และตารางที่ 6.14



รูปที่ 6.8 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg

ตารางที่ 6.14 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.3333	0.3325	2
2	3.2	0.3902	2
3	3.5	0.0236	1
4	3.2	0.2759	1
5	3.3333	0.1509	1

6.8.5 การคำนวณค่าความหนาแน่น

จะเป็นการคำนวณหลังจากการกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเลือกสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และคำตอบที่แย่ (Bad Solution) การคำนวณหาค่าความหนาแน่นด้วยวิธี Crowding Distance

การคำนวณจะทำหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 2 วัตถุประสงค์ ซึ่งกำหนดให้ $f_2^{\max}, f_2^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ที่มีค่าสูงสุดสุดและต่ำสุดตามลำดับ

$f_3^{\max}, f_3^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 ที่มีค่าสูงสุดสุดและต่ำสุดตามลำดับ

ในการคำนวณหาค่า Crowding Distance จะทำการพิจารณาที่ละ Front ดังนั้นในที่นี้จะทำการพิจารณาที่ Front ที่ 1 ก่อน

จากตารางที่ 6.14 ทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 และ 3 ที่มีค่าสูงสุดและต่ำที่สุด จะมีค่าดังนี้ $f_2^{\max}=3.5$, $f_2^{\min}=3.2$, $f_3^{\max}=0.3902$ และ $f_3^{\min}=0.0236$ จากนั้นจะทำการเรียงค่าที่อยู่ใน Front ที่ 1 โดยเรียงค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จากน้อยไปหามากได้ดังตารางที่ 6.15

ตารางที่ 6.15 การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	i
4	3.2	0.2759	1	1
5	3.3333	0.1509	1	2
3	3.5	0.0236	1	3

จากตารางที่ 6.15 สมาชิกคำตอบที่มีลำดับที่ 1 ($i=1$) หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และลำดับสุดท้าย ($i=3$) หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด คำตอบสองคำตอบนี้จะถือว่ามีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์ (Infinity)

ส่วนลำดับที่เหลือจะทำการคำนวณหาCrowding Distanceซึ่งในที่นี้คือลำดับที่ 2 โดยคำนวณที่ลำดับที่ 2 ได้ค่าดังนี้

$$cd_1(x_{[2,2]}) = \left| \frac{f_2(x_{[2+1,2]}) - f_2(x_{[2-1,2]})}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \right|$$

$$cd_1(x_{[2,2]}) = \left| \frac{3.5 - 3.2}{3.5 - 3.2} \right| = \left| \frac{0.3}{0.3} \right| = 1$$

และ

$$cd_2(x_{[2,3]}) = \left| \frac{f_3(x_{[2+1,3]}) - f_3(x_{[2-1,3]})}{f_3^{\max} - f_3^{\min}} \right|$$

$$cd_2(x_{[2,3]}) = \left| \frac{0.0236 - 0.2759}{0.3902 - 0.0236} \right| = \left| \frac{-0.2523}{0.3666} \right| = 0.6882$$

ลำดับที่ 2 จะมีค่า Crowding Distance เท่ากับ $1 + 0.6882 = 1.6882$

ในส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 2 มีสองค่าจึงกำหนดให้มีค่าเป็นอนันต์ (infinity) ได้เลย ดังนั้นค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว มีค่าดังตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.3333	0.3325	2	Infinity
2	3.2	0.3902	2	Infinity
3	3.5	0.0236	1	Infinity
4	3.2	0.2759	1	Infinity
5	3.3333	0.1509	1	1.6882

6.8.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่มีการกำหนดค่าความแข็งแรงและ Crowding Distance เรียบร้อยแล้ว จะนำมาทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีคำตอบดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่คำตอบแย่ดี (Bad Solution) จะทำการคัดเลือกจำนวนสตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น เท่ากับ 20% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.2 \times 5 = 1$ ตัว การเลือกสตริงคำตอบจะเลือกสตริงคำตอบที่มีคำตอบดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่คำตอบแย่ดี

(Bad Solution) เท่ากับ 1 ตัว เพื่อทำปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตาราง ดังนั้นสตริงคำตอบที่ทำการเลือกในตัวอย่างนี้คือ

ตารางที่ 6.17 สตริงที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดีและแย่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance	Selection
4	3.2	0.2759	1	Infinity	Good Solution*
3	3.5	0.0236	1	Infinity	
5	3.3333	0.1509	1	1.6882	
2	3.2	0.3902	2	Infinity	Bad Solution*
1	3.3333	0.3325	2	Infinity	

*หมายเหตุ กรณีการเลือกสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ (Bad Solution) มีค่าความแข็งแรงและ Crowding Distance เท่ากัน จะใช้วิธีการสุ่มเลือก สมมติสุ่มได้สตริงคำตอบที่ 4 เป็นสตริงคำตอบที่ได้คำตอบที่ดีและ 2 เป็นสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่

6.8.7 ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

การปรับปรุงความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น เพื่อเพิ่มหรือให้รางวัล(Reward) โอกาสความน่าจะเป็นในการเลือกงานที่ลงสตริงคำตอบ แล้วทำให้ได้คำตอบที่ดี และลดหรือลงโทษ (Punish) ค่าความน่าจะเป็นเพื่อไม่ให้ในรอบถัดไปถูกเลือกงานที่ทำให้สตริงคำตอบมีคำตอบที่แย่

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือก สตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี(Good Solution) เป็นสตริงคำตอบที่ 4 และสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ (Bad Solution) เป็นสตริงคำตอบที่ 2 คือ

String 4 = [3 10 2 9 4 8 1 6 7 12 15 5 11 16 14 18 13 17 19] เป็น Good Solution

String 2 = [2 8 5 4 11 13 14 18 1 6 7 12 3 10 16 17 19 9 15] เป็น Bad Solution

6.8.7.1 **กรณีสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี** (Good Solution)

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ซึ่งขั้นงานอันดับแรกที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบคือ ขั้นงานที่ 3 ในสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี จะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าที่ตำแหน่ง (1,3) เท่ากับ $\frac{k}{n} = \frac{0.1}{19} = 0.0053$ และหักค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง (1,1),(1,2),..., (1,19) จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ (1,3) เท่ากับ $\frac{k}{(n)^2} = \frac{0.1}{361} = 0.00028$ จะมีค่าดังนี้

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (1, 3) มีการให้รางวัลเท่ากับ $0.0526 + 0.0053 = 0.0579$

คู่ลำดับที่มีการเสียค่า

ตำแหน่งที่ (1, 1) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 2) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 3) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0579 - 0.00028 = 0.05762$
ตำแหน่งที่ (1, 4) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 5) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 6) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 7) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 8) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 9) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 10) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 11) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 12) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 13) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 14) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 15) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$
ตำแหน่งที่ (1, 16) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$

ตำแหน่งที่ (1, 17) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$

ตำแหน่งที่ (1, 18) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$

ตำแหน่งที่ (1, 19) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0526 - 0.00028 = 0.05232$

ต่อจากนั้นจะทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะ ซึ่งขั้นงานที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบคือ (3, 10), (10, 2), (2, 9), ..., (17, 19) ในสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี จะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่า พิจารณาคู่อันดับแรกคือตำแหน่ง (3, 10) เท่ากับ $\frac{k}{m} = \frac{0.1}{18} = 0.0056$ และหักค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในแถวที่ 3 ทั้งหมด ยกเว้นที่คอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0 จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ (3,10) เท่ากับ $\frac{k}{(m)^2} = \frac{0.1}{(18)^2} = \frac{0.1}{324} = 0.00031$

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (3,10) มีการให้รางวัลเท่ากับ $0.0556 + 0.0056 = 0.0612$

คู่ลำดับที่มีการเสียค่า

ตำแหน่งที่ (3, 1) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 2) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 3) ไม่มีการให้ลดค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (3, 4) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 5) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 6) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 7) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 8) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 9) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 10) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0612 - 0.00031 = 0.06089$

ตำแหน่งที่ (3, 11) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 12) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 13) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 14) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 15) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 16) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 17) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 18) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

ตำแหน่งที่ (3, 19) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0556 - 0.00031 = 0.05529$

คู่อันดับสองคือตำแหน่ง (10, 2) เท่ากับ $\frac{k}{m} = \frac{0.1}{17} = 0.0059$ และหักค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในแถวที่ 10 ทั้งหมด ยกเว้นที่คอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0 จะต้องเสียค่ามาให้รางวัลกับคู่ลำดับ (10,2) เท่ากับ $\frac{k}{(m)^2} = \frac{0.1}{(17)^2} = \frac{0.1}{289} = 0.00035$

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (10, 2) มีการให้รางวัลเท่ากับ $0.0588 + 0.0059 = 0.0647$

คู่ลำดับที่มีการเสียค่า

ตำแหน่งที่ (10, 1) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 2) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0647 - 0.00035 = 0.0644$

ตำแหน่งที่ (10, 3) ไม่มีการให้ลดค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (10, 4) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 5) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 6) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 7) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 8) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 9) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 10) ไม่มีการให้ลดค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (10, 11) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 12) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 13) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 14) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 15) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 16) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 17) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 18) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ตำแหน่งที่ (10, 19) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0588 - 0.00035 = 0.0585$

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) จนครบคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี ดังตารางที่ 6.18-6.19

ตารางที่ 6.18 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี

0	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0608	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552
0.0552	0	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0608	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552
0.0552	0.0552	0	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0608	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552
0.0552	0.0552	0.0552	0	0.0552	0.0552	0.0552	0.0608	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552
0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0608	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552	0.0552
0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0644	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585
0	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0684	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621
0.0644	0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585
0.0621	0	0	0.0684	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621
0.0585	0.0644	0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585
0.0621	0.0621	0.0621	0	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0684	0.0621	0.0621	0.0621
0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0	0	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0684	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621
0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585	0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0644	0.0585	0.0585
0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585	0.0585	0	0.0585	0.0585	0.0585	0.0644	0.0585
0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0684	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621
0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0684	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621
0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585	0.0644
0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0644	0	0.0585	0.0585	0.0585	0	0.0585
0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0	0.0625	0

ตารางที่ 6.19 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี

0.0523	0.0523	0.0576	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523

6.8.7.2 กรณีสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ (Bad Solution)

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability)หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี ซึ่งขั้นงานอันดับแรกที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบคือ ขั้นงานที่ 2ในสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ จะทำการลงโทษ (Punish) หรือลดค่าที่ตำแหน่ง (1,2) เท่ากับ $\frac{k}{n}=\frac{0.1}{19}=0.0053$ และเพิ่มค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในตำแหน่ง (1,1),(1,2),..., (1,19) ที่ได้จากการหักค่าลงโทษคู่ลำดับ (1,2) เท่ากับ $\frac{k}{(n)^2}=\frac{0.1}{361}=0.00028$ จะมีค่าดังนี้

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ

ตำแหน่งที่ (1, 2) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0523-0.0053=0.047$

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (1, 1) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 2) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.047+0.00028=0.04728$
ตำแหน่งที่ (1, 3) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0576+0.00028=0.05788$
ตำแหน่งที่ (1, 4) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 5) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 6) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 7) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 8) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 9) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 10) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 11) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 12) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 13) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 14) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$
ตำแหน่งที่ (1, 15) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523+0.00028=0.05258$

ตำแหน่งที่ (1, 16) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523 + 0.00028 = 0.05258$

ตำแหน่งที่ (1, 17) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523 + 0.00028 = 0.05258$

ตำแหน่งที่ (1, 18) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523 + 0.00028 = 0.05258$

ตำแหน่งที่ (1, 19) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0523 + 0.00028 = 0.05258$

ต่อจากนั้นจะทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี ในตารางที่ ซึ่งขั้นงานที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบคือ (2, 8), (8, 5), (5, 4), ..., (9, 15) ในสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ จะทำการลงโทษ (Punish) หรือลดค่า พิจารณาคู่อันดับแรกคือตำแหน่ง (2, 8) เท่ากับ $\frac{k}{m} = \frac{0.1}{18} = 0.0056$ และเพิ่มค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในแถวที่ 2 ทั้งหมด ยกเว้นที่คอลัมน์เป็นที่เป็น 0 ซึ่งจะต้องลดค่าจากการลงโทษคู่ลำดับ (2,8) เท่ากับ $\frac{k}{(m)^2} = \frac{0.1}{(18)^2} = \frac{0.1}{324} = 0.00031$

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ

ตำแหน่งที่ (2, 8) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0552 - 0.0056 = 0.0496$

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (2, 1) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 2) ไม่มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2, 3) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 4) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 5) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 6) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 7) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 8) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0496 + 0.00031 = 0.04991$

ตำแหน่งที่ (2, 9) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0608 + 0.00031 = 0.06111$

ตำแหน่งที่ (2, 10) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 11) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 12) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 13) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 14) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 15) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 16) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 17) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 18) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

ตำแหน่งที่ (2, 19) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0552 + 0.00031 = 0.05551$

คู่อันดับสองคือตำแหน่ง (8, 5) เท่ากับ $\frac{k}{m} = \frac{0.1}{17} = 0.0059$ และเพิ่มค่าตำแหน่งของคู่ลำดับในแถวที่ 8 ทั้งหมด ยกเว้นที่คอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0 ซึ่งจะต้องลดค่าจากการลงโทษคู่ลำดับ (10, 2) เท่ากับ $\frac{k}{(m)^2} = \frac{0.1}{(17)^2} = \frac{0.1}{289} = 0.00035$

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ

ตำแหน่งที่ (8, 5) มีการให้ลดค่าเท่ากับ $0.0585 - 0.0059 = 0.0526$

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (8, 1) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0644 + 0.00035 = 0.06475$

ตำแหน่งที่ (8, 2) ไม่มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (8, 3) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 4) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 5) ไม่มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (8, 6) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 7) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 8) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 9) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 10) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 11) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 12) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 13) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 14) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 15) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 16) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 17) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 18) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ตำแหน่งที่ (8, 19) มีการให้เพิ่มค่าเท่ากับ $0.0585 + 0.00035 = 0.05885$

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) จนครบคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ ดังตารางที่ 6.20 และ 6.21

สังเกตได้ว่าตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตารางหลังการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตาราง จะเห็นว่าคู่อันดับของขั้นงานที่อยู่ติดกันแล้วจะส่งผลทำให้สตริงคำตอบมีคำตอบที่ดีจะมีความน่าจะเป็นเข้าใกล้หรือลู่เข้าสู่ค่า 1 และจะมีโอกาสในการเลือกคู่อันดับขั้นงาน คู่นี้สูงในทุกๆ รอบการสุ่มเลือกขั้นงานที่ติดกัน คู่อันดับของขั้นงานที่อยู่ติดกันแล้วที่ทำให้ได้สตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่จะมีค่าน้อยจนลู่เข้าสู่ค่า 0 หรือ จะมีโอกาสน้อยมากในการสุ่มเลือกคู่อันดับของขั้นงานคู่นี้

ตารางความน่าจะเป็นร่วม(Matrix Join Probability) และ ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่ในรอบปัจจุบัน จะถูกเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในรอบจำนวนเจนเนอเรชั่นถัดไป เพื่อใช้การพิจารณาเลือกอันดับขั้นงานในการสร้างสตริงคำตอบ

ตารางที่ 6.20 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่

0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.05	0.0611	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0.0556	0.0556	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0611	0.0556	0.0556	0.05	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0.0556	0.0556	0.0556	0.05	0	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0611	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556	0.0556
0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0647	0	0.0588	0.0588	0.0529	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0.0625	0	0	0.0688	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0563	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0588	0.0647	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0529	0.0588	0.0588	0.0588
0.0625	0.0625	0.0625	0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0563	0.0625	0.0625	0.0688	0.0625	0.0625	0.0625
0.0625	0.0625	0.0563	0.0625	0.0625	0.0625	0	0	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0688	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0	0.0529	0.0588	0.0588	0.0647	0.0588	0.0588
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588
0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0684	0.0621	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621
0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0	0.0625	0.0625	0.0688	0.0625	0	0.0563	0.0625	0.0625
0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588	0.0588
0.0529	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0588	0.0647	0	0.0588	0.0588	0.0588	0	0.0588
0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0.0566	0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0	0.0629	0.0629	0	0.0629	0

ตารางที่ 6.21 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่

0.0526	0.0474	0.0579	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526	0.0526

6.8.8 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

นำสตริงคำตอบที่เลือกไว้ที่มีคำตอบที่ดีในรอบปัจจุบัน (Current Good String) และสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บในรอบก่อนหน้า(Previous Best String) มาทำการรวมกันและหาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อทำการกำหนดค่าเชิงกลุ่ม หาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) โดยใช้วิธีแบบ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting สตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) เท่ากับ 1 จะถือว่าเป็นสตริงคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดในปัจจุบัน(Current Best String) ซึ่งสตริงคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุดในปัจจุบันจะกลายไปเป็นสตริงคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุด แต่ก่อน(Previous Best String) ในการพิจารณารอบถัดไป

ในตัวอย่างนี้สมมติให้สตริงคำตอบในรอบก่อนหน้าที่ถูกจัดเก็บไว้ มีจำนวนสตริงคำตอบทั้งหมด 4 สตริงคำตอบ คือ

String 1 = [3 10 2 1 6 7 5 8 4 12 11 16 13 14 17 18 19 9 15]

String 2 = [3 10 2 9 5 8 1 6 7 12 15 4 11 16 13 14 18 17 19]

String 3 = [3 10 2 4 9 8 1 6 7 5 12 15 11 16 13 14 17 18 19]

String 4 = [4 2 1 6 3 7 8 10 12 5 9 15 11 13 14 17 18 19 16]

Workstation 1 = [1 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 2 2 2 2 1 1]

Workstation 2 = [1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 1 1 1 1]

Workstation 3 = [1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 1 1 1 1]

Workstation 4 = [1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 4 4 4 4 4 4 4]

ตารางที่ 6.22 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงคจากสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.3333	0.3851
2	4	3.4286	0.1929
3	4	3.5000	0.0707
4	4	3.5556	0.0236

นำสตริงคำตอบที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีในรอบปัจจุบัน(Current Good String) 1 สตริงคำตอบมารวมกับสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า (Previous Best String) จำนวน 4 สตริงคำตอบ ดังตารางที่ 6.23

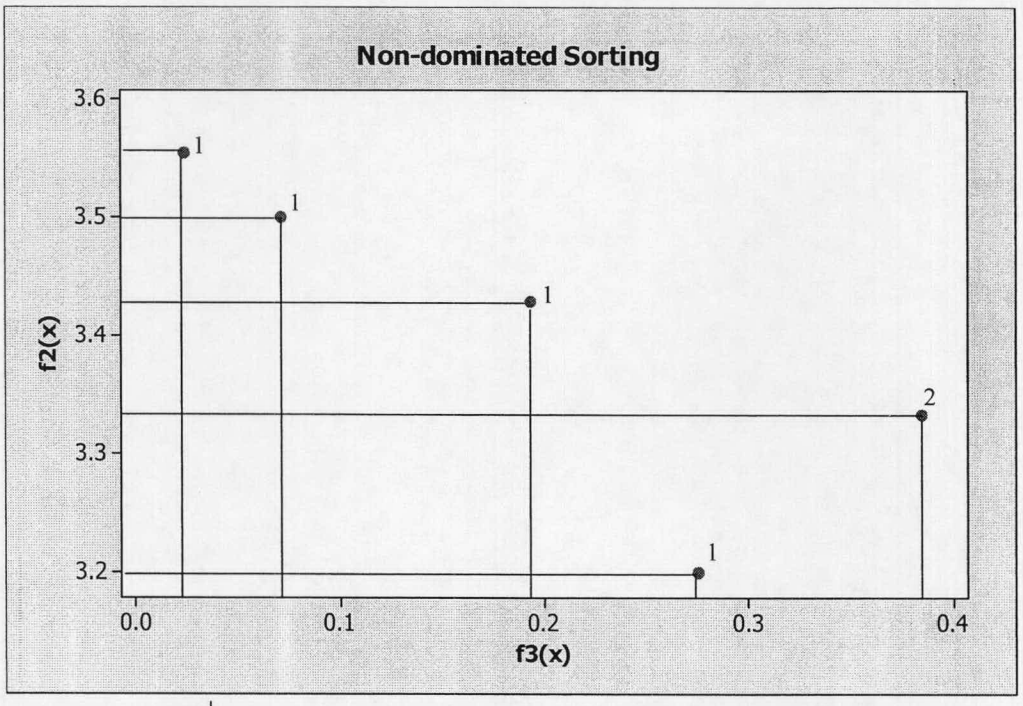
ตารางที่ 6.23 การรวมสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันกับรอบก่อนหน้า

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String
Previous Best String	1	[3 10 2 1 6 7 5 8 4 12 11 16 13 14 17 18 19 9 15]
	2	[3 10 2 9 5 8 1 6 7 12 15 4 11 16 13 14 18 17 19]
	3	[3 10 2 4 9 8 1 6 7 5 12 15 11 16 13 14 17 18 19]
	4	[4 2 1 6 3 7 8 10 12 5 9 15 11 13 14 17 18 19 16]
Current Good String	5	[3 10 2 9 4 8 1 6 7 12 15 5 11 16 14 18 13 17 19]

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 8 สตริงคำตอบ เพื่อนำไปกำหนดอันดับเชิงกลุ่มวิธี Noo-dominated Sorting ดังตารางที่ 6.24-6.25 รูปที่ 6.9

ตารางที่ 6.24 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

ลักษณะสตริงคำตอบ	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
Previous Best String	1	4	3.3333	0.3851
	2	4	3.4286	0.1929
	3	4	3.5000	0.0707
	4	4	3.5556	0.0236
Current Good String	5	4	3.2	0.2759



รูปที่ 6.9 การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือก
สตริงคำตอบเพื่อเก็บไว้ในรอบปัจจุบัน

ตารางที่ 6.25 สตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกจัดเก็บในรอบปัจจุบัน

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Selection
5	3.2	0.2759	1	Select
2	3.4286	0.1929	1	Select
3	3.5	0.0707	1	Select
4	3.5556	0.0236	1	Select
1	3.3333	0.3851	2	No Select

สตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบปัจจุบัน จะกลายไปเป็นสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบก่อนหน้าในเจนเนอเรชั่นต่อไป ถ้าเจนเนอเรชั่นในรอบนี้มีจำนวนเท่ากับเจนเนอเรชั่นสูงสุด สตริงคำตอบที่ทำให้ค่าดีที่สุดเป็นไปตามฟังก์วัตถุประสงค์ จะเป็นสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ ในที่นี้สตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บไว้ จะเป็นสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) เท่ากับ 1 มีทั้งหมด 4 สตริงคำตอบ คือสตริงคำตอบที่ 2,3,4,5

String 1 = [3 10 2 9 5 8 1 6 7 12 15 4 11 16 13 14 18 17 19]

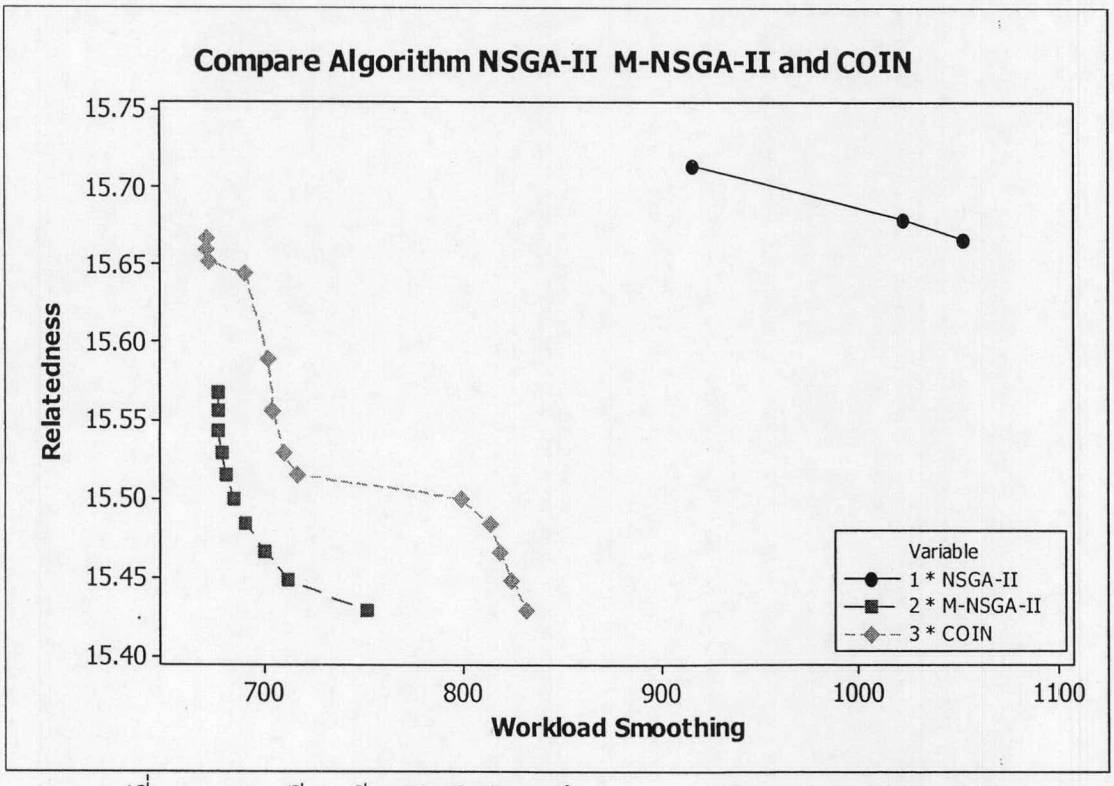
String 2 = [3 10 2 4 9 8 1 6 7 5 12 15 11 16 13 14 17 18 19]

String 3 = [4 2 1 6 3 7 8 10 12 5 9 15 11 13 14 17 18 19 16]

String 4 = [3 10 2 9 4 8 1 6 7 12 15 5 11 16 14 18 13 17 19]

6.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของอัลกอริทึม

จากบทที่ 5 พบว่าคำตอบของวิธีการเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II) จะมีการลู่เข้าและมีคำตอบที่หลากหลายที่ดีกว่าวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (NSGA-II) และเมื่อนำอัลกอริทึมการบรรจวบ(COIN)ที่เป็นวิธีการที่คิดค้นมาใหม่มาประยุกต์ใช้การปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม ในปัญหาและพารามิเตอร์เดียวกัน ดังรูปที่ 6.10 พบว่าคำตอบของอัลกอริทึมการบรรจวบให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แต่ยังเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีการเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II) ไม่ได้



รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของ NSGA-II M-NSGA-II และ COIN

6.10 สรุปท้ายบท

เนื้อหาที่กล่าวในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการในการหาคำตอบที่เหมาะสมแบบใหม่ ซึ่งวิธีการในการหาคำตอบส่วนใหญ่มักจะคำนึกถึงแต่คำตอบที่ดี และจะไม่สนใจหรือตัดทิ้งคำตอบที่ย่ำแย่ เพราะคิดว่าเป็นคำตอบที่ไม่ต้องการ จนไม่คาดคิดไปว่าคำตอบที่ย่ำแย่เราควรที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในแง่การจดจำคำตอบไว้เพื่อไม่ให้เกิดคำตอบลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นอีกครั้ง ดังนั้นวิธีการใหม่ที่เรียกว่าอัลกอริทึมบรรจวบ ซึ่งจะมีแนวคิดที่ให้ความสำคัญคำตอบที่ดีและคำตอบที่แย่ โดยคำนึงว่าคำตอบที่แย่จะทำให้เราทราบว่าเป็นคำตอบที่ไม่ควรเลือก

อัลกอริทึมการบรรจวบจะมีขั้นตอนการดำเนินการแบบเดียวกันกับวิวัฒนาการอัลกอริทึม (Evolutionary Algorithm) แบบดังเดิม ซึ่งจะมีการใช้หลักความน่าจะเป็นเข้ามาใช้ในการเลือก ถ้าเทียบกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย(Traveling Salesman Problem: TSP) เส้นทางในแต่ละทางที่เดินจะมีแยกให้เราเลือกตัดสินใจ ถ้าเกิดเราทำการเลือกเส้นทางผิดก็อาจจะทำให้เราใช้เวลาในการเดินทางเป็นเวลานานหรือทำให้การเดินของพนักงานหลงทางได้ หลักการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบจะทำการตัดทอนเส้นทางการเดินที่ไม่เหมาะสมหรือเป็นเส้นทางที่ใช้ระยะเวลาในการเดินยาวนาน และทำการจดจำเส้นทางที่ทำให้พนักงานเดินได้ทั่วเมืองแล้วได้ค่าเหมาะสมสูงสุดหรือระยะเวลาที่เดินสั้นที่สุด และเมื่อมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู จะทำให้ได้คำตอบที่ลู่เข้าสู่สภาพคงที่อย่างรวดเร็ว คำตอบที่ได้บางครั้งยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากการจดจำตำแหน่งขั้นงานที่ผิดตั้งแต่เริ่มต้นหรือจำเส้นทางการเดินผิดทำให้เกิดการหลงทาง

เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (NSGA-II) เมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II(M-NSGA-II) และอัลกอริทึมการบรรจวบ(COIN) พบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ COIN จะได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี NSGA-II แต่ยังมีประสิทธิภาพไม่เท่าวิธี M-NSGA-II ซึ่งจะมีคำตอบที่เหมาะสมมากกว่า