หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเมมเมติกอัลกอริทึม

จากบทที่ 4 วิธีเจนนาติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ที่ถือว่าเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบันในด้านการให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ บทนี้จึงจะกล่าวการถึงอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า NSGA-II หรือ เมมเมติกอัลกอริทึมที่เป็นการพัฒนามาจากวิธีการเจนนาติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานวิธีการค้นหาเฉพาะที่ ที่เป็นวิธีที่นำไปประยุกต์ใช้ภายในวิธีการของเมมเมติกอัลกอริทึม และการพัฒนาไปใช้ในสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม

5.1 การค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่(Local Search) หรือ Hill Climbing เป็นฮิวริสติกพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัด โดยการค้นหาเฉพาะที่ คือวิธีการทำซ้ำอย่างง่าย เพื่อประมาณหาคำตอบที่ดี มีแนวคิดมาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) การเริ่มต้นการค้นหาเฉพาะที่จะทำการสุ่มเลือกสมาชิกคำตอบเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งเดิมไปสู่ตำแหน่งอื่น ๆ จุดประสงค์เพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีกว่าเดิม ซึ่งจะถูกกำหนดจากวิธีการใดวิธีการหนึ่งของรูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ คำตอบที่ได้จากการค้นหานี้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) และทำการค้นหาซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบจำนวนครั้งในการทำการซ้ำ หรือคำตอบนั้นเป็นคำตอบที่ไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดีกว่าเดิมได้ นอกจากนี้ยังสามารถกล่าวได้ว่าการค้นหาเฉพาะที่ เป็นวิธีการหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคนิคการค้นหางานข้างเคียง (Neighborhood Search Technique) ซึ่งเป็นวิธีการทางฮิวริสติก โดยที่การค้นหาเฉพาะที่ นี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมหรือปรับปรุงคำตอบ และยังเป็นวิธีอาจถือได้เป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ที่เหมาะสม ยังอาจจะส่งผลให้เวลาในการคำนวณลดลงได้ด้วย

5.1.1 รูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ในปัญหาการเดินของพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย(Traveling Salesman Problem: TSP) เป็นหนึ่งในปัญหาการหาคำค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัด ที่มีชื่อเสียงอย่างมาก โดยลักษณะปัญหาประเภทนี้ถือได้ว่าเป็นปัญหาแบบ NP-hard กล่าวคือพนักงานขายคนนึ่งต้องเดินทางไปพบลูกค้าแต่ละรายที่อยู่ในแต่ละเมืองที่แตกต่างกัน ซึ่งจำนวนของเมืองทั้งหมดเท่ากับ n พนักงานขายต้องการที่จะเลือกเส้นทางในการเดินทางที่ทำให้เขาสามารถไปยังแต่ละเมืองได้ เพียงเมืองละ 1 ครั้งเท่านั้น และในที่สุดย้อนกลับมายังเมืองเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง ถ้ากำหนดระยะทางระหว่างแต่ละคู่ของเมืองให้ หน้าที่ของพนักงานขายก็คือ การหาเส้นทางที่มีระยะทางในการเดินทางทั้งหมดที่น้อยที่สุด แนวทางในการแก้ปัญหานี้มีได้หลากหลาย เช่น ไดนามิกโปรแกรมมิง (Dynamic Programming) การแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound) หรือ ฮิวริสติก (Heuristic) เป็นต้น (ปารเมศ ชุติมา, 2546)

วิธีในการค้นหาเฉพาะที่ได้มีการมาใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย มีหลายวิธีแตกต่างกันไปขึ้นอยู่แต่ละสถานการณ์ของปัญหาที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีที่เหมาะสมส่งผลต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาอีกด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่ มาใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 4 วิธีจากทั้งหมด 7 วิธี ดังต่อไปนี้ (Gupta, Hennig และ Werner, 2002) และ Kumar and Singh (2007)

5.1.1.1 วิธี Pairwise Interchange (PI)

เป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่ด้วยการจับคู่การแลกเปลี่ยนตำแหน่งสองตำแหน่ง ซึ่งจำนวนคำตอบที่ได้จากค้นหาเท่ากับ $\binom{n}{2}$ และบางครั้งอาจเรียกวิธีการนี้ว่าเป็นการค้นหาข้างเคียงแบบแลกเปลี่ยน (Swap Neighborhood) ตัวอย่างเช่น พนักงานขายต้องการเดินทางจากเมือง A ไปยังเมือง D และสามารถผ่านเมืองแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียว จะได้ลำดับการเดินทางจาก A-B-C-D ด้วยวิธี PI เป็นจำนวนเส้นทาง 6 เส้นทางคือ B-A-C-D, C-B-A-D, D-B-C-A, A-C-B-D, A-D-C-B และ A-B-D-C

5.1.1.2 วิธี Adjacent Pairwise Interchange (API)

เป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่ด้วยการจับคู่สมาชิกคำตอบเพื่อแลกเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ติดกัน ดังนั้นจำนวนคำตอบที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าวิธี PI นั่นคือจำนวนคำตอบเท่ากับ $n-1$ ตัวอย่างเช่น พนักงานขายต้องการเดินทางจากเมือง A ไปยังเมือง D และสามารถผ่านเมืองแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียว จะได้ลำดับการเดินทาง A-B-C-D ด้วยวิธี API เป็นจำนวนเส้นทาง 3 เส้นทาง คือ B-A-C-D, A-C-B-D และ A-B-D-C

5.1.1.3 วิธี Shift Procedure หรือ Insertion Procedure

เป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบหนึ่งที่ใช้การเลื่อนออกไปของสมาชิกคำตอบและแทรกกลับเข้ามาใหม่ กล่าวคือทำการสุ่มตำแหน่งคำตอบที่ต้องย้ายออกไปทำให้สมาชิกคำตอบที่เหลือจะเลื่อนมาติดกัน จากนั้นทำการแทรกคำตอบที่ถูกย้ายออกมานี้ในทุกตำแหน่ง ยกเว้นตำแหน่งเดิม ดังนั้นจำนวนคำตอบที่ได้จากการค้นหานี้จึงมีค่าเท่ากับ $(n-1)^2$ และบางครั้งอาจเรียกวิธีการนี้ว่า วิธีค้นหาข้างเคียงแบบแทรก(Insert Neighborhood) หรือ วิธีการแทรก (Insertion Procedure)

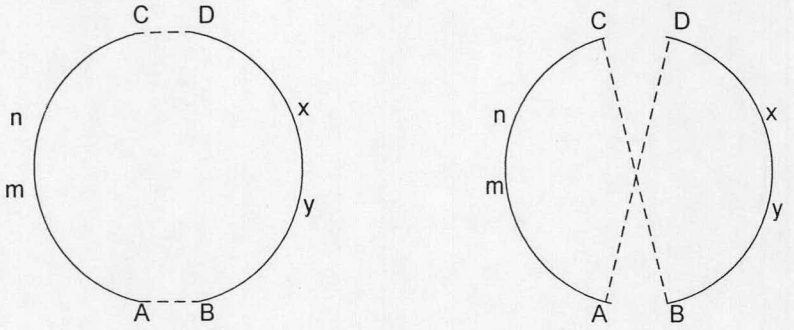
- เมื่อเมือง A คือที่ถูกสุ่มให้ย้ายออกไปจากเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่เหลือ คือ B-C-D จากนั้นแทรกเมือง A กลับเข้าไปในเส้นทางยกเว้นตำแหน่งเมืองเดิมจะได้จำนวน 3 เส้นทาง คือ B-A-C-D, B-C-A-D และ B-C-D-A
- เมื่อเมือง B คือที่ถูกสุ่มให้ย้ายออกไปจากเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่เหลือ คือ A-C-D จากนั้นแทรกเมือง A กลับเข้าไปในเส้นทางยกเว้นตำแหน่งเมืองเดิมจะได้จำนวน 3 เส้นทาง คือ B-A-C-D, A-C-B-D และ A-C-D-B
- เมื่อเมือง C คือที่ถูกสุ่มให้ย้ายออกไปจากเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่เหลือ คือ A-B-D จากนั้นแทรกเมือง A กลับเข้าไปในเส้นทางยกเว้นตำแหน่งเมืองเดิมจะได้จำนวน 3 เส้นทาง คือ C-A-B-D, A-C-B-D และ A-B-D-C
- เมื่อเมือง D คือที่ถูกสุ่มให้ย้ายออกไปจากเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่เหลือ คือ A-B-C จากนั้นแทรกเมือง D กลับเข้าไปในเส้นทางยกเว้นตำแหน่งเมืองเดิมจะได้จำนวน 3 เส้นทาง คือ D-A-B-C, A-D-B-C และ A-B-D-C

ดังนั้นจะได้ลำดับการเดินทางจาก A-B-C-D ด้วยวิธี IP เป็นจำนวนเส้นทาง $(4-1)^2 = 3^2 = 9$ เส้นทางคือ B-A-C-D, B-C-A-D, B-C-D-A, A-C-B-D, A-C-D-B, C-A-B-D, A-B-D-C, D-A-B-C และ A-D-B-C

5.1.1.4 **วิธี** 2-Opt

เป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และคำตอบที่ได้ค่อนข้างเป็นคำตอบที่ดีและใช้เวลาในการคำนวณไม่นาน โดยหลักการวิธี 2-Opt ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Croes(1958) โดยใช้การลบเส้นทางการเดินทางที่เชื่อมต่อกันสองเส้นทางและนำกลับเชื่อมกับเส้นทางอื่นที่เป็นไปได้

ตัวอย่างเช่น พนักงานขายต้องการเดินทางไปพบลูกค้า A ไปหาลูกค้า D และสามารถผ่านลูกค้าได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น โดยไม่มีการเดินซ้ำเส้นทางเดิม ดังรูป 5.1



ก) ก่อนทำ 2-Opt ข) หลังทำ 2-Opt

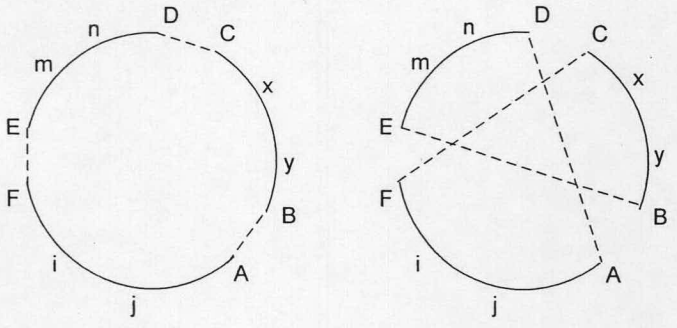
รูปที่ 5.1 หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี 2-Opt

และจากรูปที่ 5.1 แสดงลำดับการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธี 2-Opt ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งลำดับการเดินทางก่อนและหลังทำการแลกเปลี่ยนเมืองด้วยวิธี 2-Opt คือ ก่อนทำ A-B-y-x-D-C-n-m จะได้ A-D-x-y-B-C-n-m

5.1.1.5 **วิธี** 3-Opt

เป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความคล้ายคลึงกับวิธี 2-Opt แต่แตกต่างกันตรงการใช้การลบเส้นทางการเดินทางที่เชื่อมต่อกัน สามเส้นทาง และนำกลับมาเชื่อมกับเส้นทางอื่นที่เป็นไปได้ และจำนวนเมืองที่ให้พนักงานขายเดินทางผ่านต้องมีอย่างน้อย 6 เดือน

ตัวอย่างเช่น พนักงานขายต้องการเดินทางจากเมือง A ไปยังเมือง F และสามารถผ่านเมืองแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียว ดังรูปที่ 5.2



ก) ก่อนทำ 3-Opt ข) หลังทำ 3-Opt

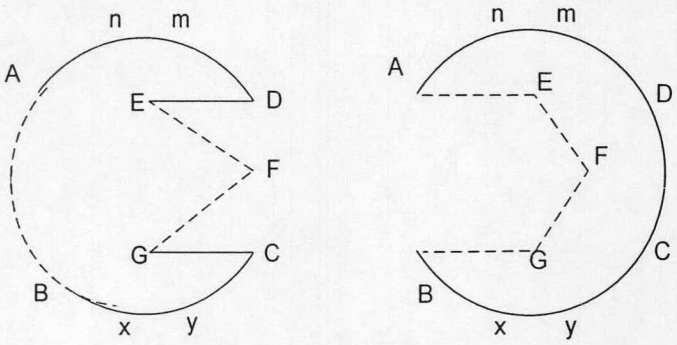
รูปที่ 5.2 หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี 3-Opt

จากรูปที่ 5.2 แสดงลำดับการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธี 3-Opt ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งลำดับการเดินทางก่อนและหลังทำการแลกเปลี่ยนเมืองด้วยวิธี 3-Opt คือ A-B-y-x-C-D-n-m-E-F และ A-D-n-m-E-B-y-x-C-F ตามลำดับ

5.1.1.6 วิธี Or-Opt

เป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่ที่ได้จากการปรับปรุง 3-Opt โดยวิธีนี้จะทำการพิจารณาการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง หนึ่ง สอง หรือ สาม ตำแหน่งติดกันมาแทรกระหว่างสองเมือง จำนวนเมืองที่ให้พนักงานเดินทางผ่านต้องมีอย่างน้อย 7 เมือง

ตัวอย่างเช่น พนักงานขายต้องการเดินทางจากเมือง A ไปยังเมือง D ในระหว่างทางนั้นมีเมือง B C G F และ E ซึ่งสามารถเดินผ่านเมืองแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียว



ก) ก่อนทำ Or-Opt ข) หลังทำ Or-Opt

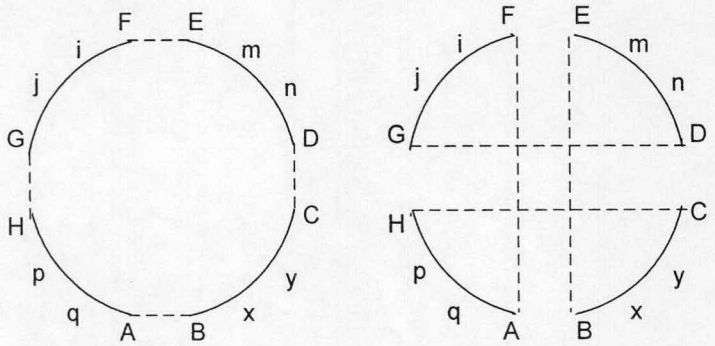
รูปที่ 5.3 หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี Or-Opt

จากรูปที่ 5.3 แสดงลำดับการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธี Or-Opt ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งลำดับการเดินทางก่อนและหลังทำแลกเปลี่ยนเมืองด้วยวิธี Or-Opt คือ A-B-x-y-C-G-F-E-D-m-n และ A-E-F-G-B-x-y-C-D-m-n ตามลำดับ

5.1.1.7 วิธี Double-bridge

แลกเปลี่ยนตำแหน่งของ Double-bridge นี้จะทำการแบ่งเส้นทางออกเป็นสี่ส่วนด้วยการลบเส้นทางอย่างสุ่ม และนำกลับไปเชื่อมต่อให้มีความแตกต่างจากเส้นทางเดินที่เป็นไปได้ และมีข้อจำกัดเพิ่มมากขึ้นคือ และจำนวนเมืองที่ให้พนักงานขายเดินทางผ่านอย่างน้อย 8

ตัวอย่างเช่น พนักงานขายต้องการการเดินทางจากเมือง A ไปยังเมือง H และ ระหว่างทางนั้นมีเมือง B C D E F และ G ซึ่งจะสามารถเดินผ่านเมืองแต่ละเมืองได้เพียงครั้งเดียว



ก) ก่อนทำ Double-bridge ข) หลังทำ Double-bridge

รูปที่ 5.4 หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี Double-bridge

จากรูปที่ 5.4 แสดงลำดับการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธี Double-bridge ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งลำดับการเดินทางก่อนและหลังทำการแลกเปลี่ยนเมืองด้วยวิธี Double-bridge คือ A-B-x-y-C-D-n-m-E-F-i-j-G-H-p-q และลำดับการเดินทางหลังการแลกเปลี่ยนเมืองด้วยวิธี Double-bridge คือ A-F-i-j-G-D-n-m-E-B-x-y-C-H-p-q

5.1.2 กฎการยอมรับคำตอบที่ดี

กฎการยอมรับ (Acceptance Rule) เป็นกฎที่ใช้ในการตัดสินว่าคำตอบที่ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่นั้นเป็นคำตอบที่ดีหรือแย่กว่าคำตอบเดิม และเป็นกฎเดียวกันกับการพิจารณาคำตอบหลังการดำเนินการทางพันธุกรรม โดยในงานวิจัยนี้ใช้ 4 กฎในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเฉพาะที่ เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับ $(accept(S,S'))$ ว่าคำตอบที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนี้ (Lacomme และ Prins และ Sevaux, 2005)

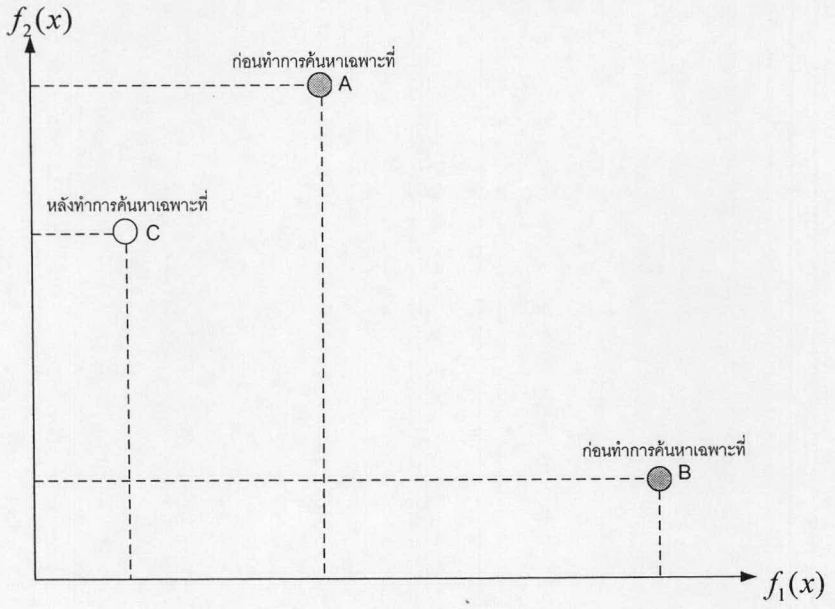
ตารางที่ 5.1 หลักการยอมรับ (Acceptance Rule)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1 \cdot (f_1(S') - f_1(S)) + (1 - w_1) \cdot (f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

จากตารางที่ 5.1 แสดงกฎการยอมรับทั้ง 4 กฎ ที่มีเงื่อนไขในการยอมรับคำตอบที่ดีในปัญหาการหาค่าต่ำที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้จากรูปที่ 5.5 ถึง 5.8 ส่วนในกฎการยอมรับ 4 สามารถกำหนด w_1 ได้จากสมการที่ (5.1) ดังนี้

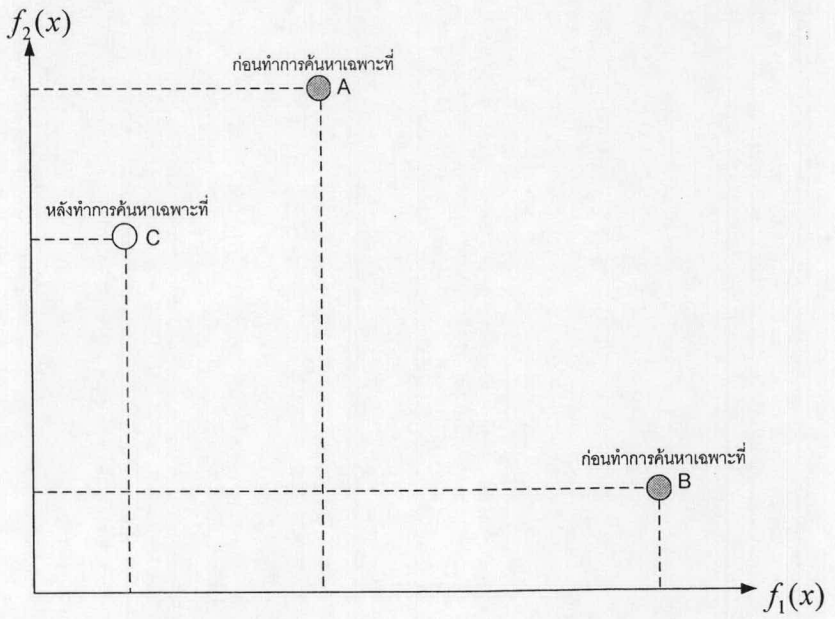
$$w_1 = \left(\frac{f_1(S) - f_1^{\min}}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} \right) \Bigg/ \left(\frac{f_1(S) - f_1^{\min}}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} + \frac{f_2(S) - f_2^{\min}}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \right) \qquad (5.1)$$

โดยที่ $f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ เป็นค่ามากที่สุดและต่ำที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i เมื่อ $i = 1,2$



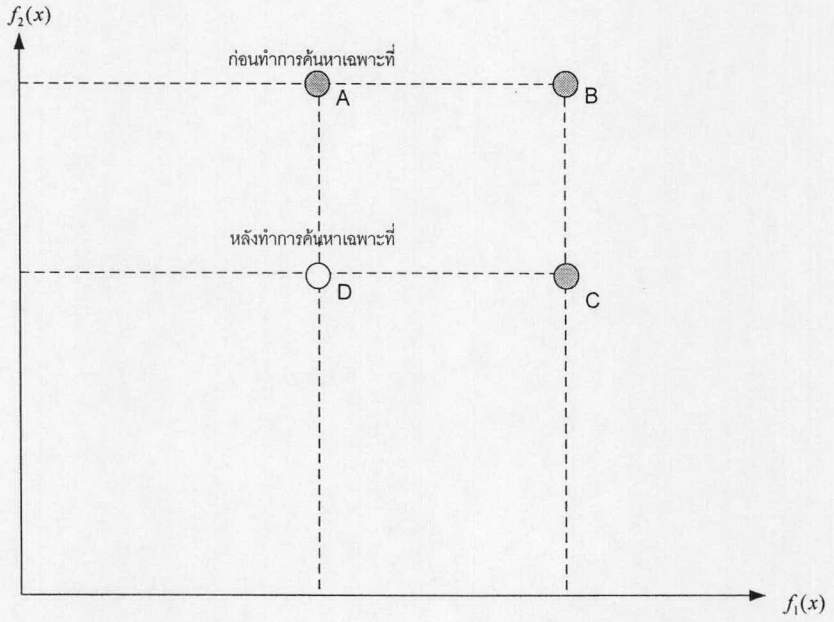
รูปที่ 5.5 การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ดีกว่าใน $f_1(x)$

จากรูปที่ 5.5 แสดงคำตอบที่ได้ยอมรับตามเงื่อนไขกฎยอมรับที่ 1 นั่นคือ คำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่จะยอมรับก็ต่อเมื่อคำตอบที่ได้หลังการค้นหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f_1(x)$ น้อยกว่าคำตอบดั้งเดิม ซึ่งหากพิจารณาในหลักการนี้แล้วจะพบคำตอบทั้งกรณีที่คำตอบนั้นเป็น Dominated Solution และ Non-Dominated Solution หรือสามารถกล่าวได้ว่าคำตอบ C dominate คำตอบ A และ C Non-dominated คำตอบ B



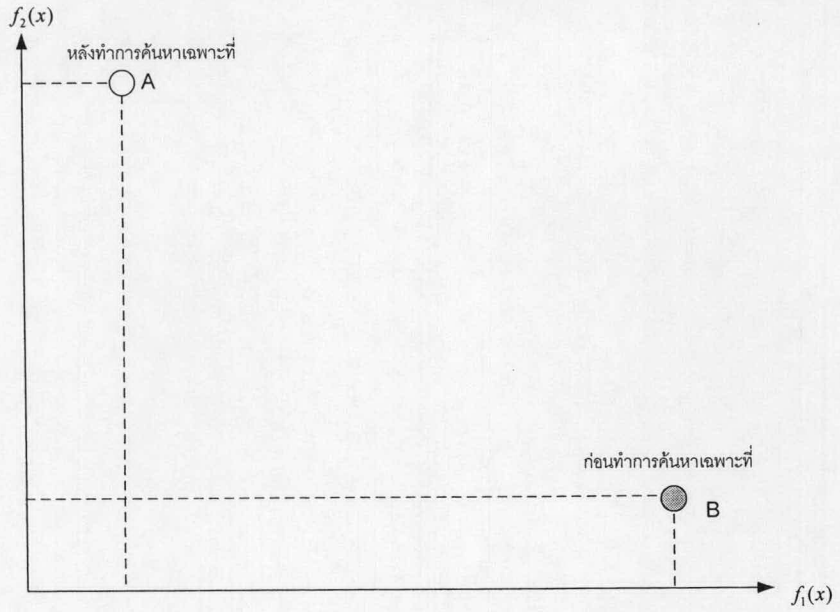
รูปที่ 5.6 การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ดีกว่าใน $f_2(x)$

จากรูปที่ 5.6 แสดงคำตอบที่ได้ยอมรับตามเงื่อนไขกฎยอมรับที่ 2 ซึ่งในกฎนี้จะมีความใกล้เคียงกับกฎแรก นั่นคือการยอมรับคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ก็ต่อเมื่อพิจารณาในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f_2(x)$ เพียงฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว ถ้าคำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f_2(x)$ น้อยกว่าคำตอบแบบดั้งเดิม จะถือว่ายอมรับคำตอบนั้น ซึ่งหากพิจารณาในกฎนี้แล้วจะพบคำตอบทั้งกรณีที่คำตอบนั้นเป็น Dominated Solution และ Non-dominated Solution หรือสามารถกล่าวได้ว่า คำตอบ C dominated คำตอบ A และคำตอบ B Non-dominated คำตอบ A

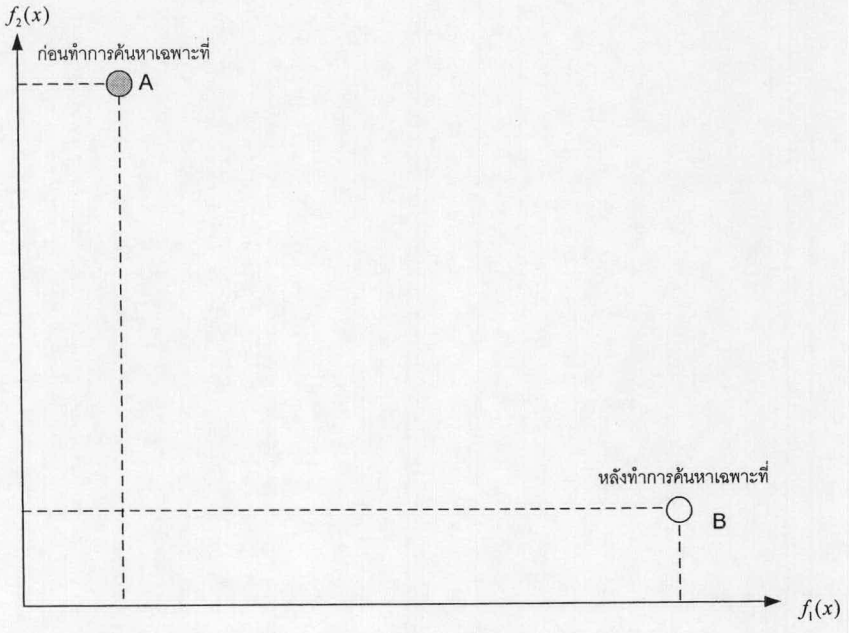


รูปที่ 5.7 การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ดีกว่าใน $f_1(x)$ และ $f_2(x)$

จากรูปที่ 5.7 แสดงคำตอบที่ได้ยอมรับตามเงื่อนไขกฎยอมรับที่ 3 ซึ่งกฎนี้เป็นการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสองพร้อมกัน นั่นคือจะยอมรับคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ก็ต่อคำตอบที่ได้หลังการค้นหามีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยกว่าเดิมทั้งสองฟังก์ชัน $f_1(x)$ และ $f_2(x)$ ซึ่งถ้าหากพิจารณาในกฎนี้แล้วพบคำตอบทั้งกรณีที่คำตอบนั้นเป็น Dominated Solution เพียงอย่างเดียว และจัดได้ว่าเป็นคำตอบที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นอย่างแท้จริง หรือสามารถกล่าวได้ว่า คำตอบ D Dominated คำตอบ A B และ C



ก) คำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าที่ดีกว่าใน $f_1(x)$



ข) คำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าที่ดีกว่าใน $f_2(x)$

รูปที่ 5.8 การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าคำตอบใดดีกว่ากัน

จากรูปที่ 5.8 ก) และ ข) เป็นกรณีที่พบว่าคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่เป็น Non-dominated Solution ในกรณีคือ คำตอบ A Non-dominated คำตอบ B นั่นคือ ไม่สามารถยอมรับได้ว่าคำตอบใดดีกว่า ดังนั้นในกรณีจะใช้กฎยอมรับที่ 4 ในการเลือกคำตอบที่ดีโดยจะยอมรับคำตอบนั้นก็ต่อเมื่อผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f_1(x)$ หลังการค้นหาและก่อนการค้นหาคูณด้วยน้ำหนักที่ถูกทำให้เป็น Normalized เรียบร้อยแล้ว รวมกับผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f_2(x)$ หลังการค้นหาและก่อนการค้นหาคูณด้วยน้ำหนักที่เหลือ แล้วมีค่าน้อยกว่าศูนย์ (ตามสมการที่ 5.1)

5.1.3 สิ่งที่ควรคำนึกในการประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ ถือว่าเป็นวิธีที่สำคัญและส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพของ MAs ทั้งด้านคุณภาพของคำตอบและระยะเวลาในการคำนวณ โดยการค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีที่ช่วยในการปรับปรุงคำตอบ หรือการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ช่วยในการดึงคำตอบที่ติดใน Local Optimal อีกด้วย ซึ่งบ่อยครั้งที่การประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่ใน MAs แล้วทำให้สูญเสียเวลาในการคำนวณอย่ามาก แม้ว่าคุณภาพคำตอบที่ได้จะดีขึ้นก็ตาม ดังนั้นในการออกแบบ MAs จึงต้องคำนึกถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำการค้นหาเฉพาะที่ไปประยุกต์ใช้ (Hart, 1994) ดังนี้

5.1.3.1 ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่

ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ (Ishibuchi, Yoshida และ Murata, 2003) จะส่งผลทำให้เวลาในการคำนวณลดลง โดยจะเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ T โดยกำหนดให้ T เป็นระยะห่างของเจนเนอเรชั่น ตัวอย่างเช่น การประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่ ทุก ๆ $T=1$ นั่นคือจะทำการค้นหาเฉพาะที่ในทุก ๆ เจนเนอเรชั่นที่ 1, 2, 3, ... , N และ N เป็นจำนวนเจนเนอเรชั่นที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ หรือกำหนดให้ $T=10$ แสดงว่าจะทำการค้นเฉพาะที่ในทุก ๆ เจนเนอเรชั่นที่ 10, 20, 30, ..., N เป็นต้น

5.1.3.2 จำนวนคำตอบที่ควรนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาเฉพาะที่

จำนวนคำตอบที่ควรนำไปประยุกต์ใช้ในการค้นหาเฉพาะที่ (Lacomme และ Prins และ Sevaux ,2005) เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณให้ลดลงได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ P_{LS} กำหนดให้ P_{LS} คือความน่าจะเป็นในการทำการค้นหาเฉพาะที่ (Probability of Local Search) โดยสามารถกำหนดจำนวนคำตอบที่จะนำไปทำการค้นหาเฉพาะที่ได้ดังนี้

- เลือกจำนวนคำตอบที่จะนำไปทำการค้นหาเฉพาะที่จากทุกคำตอบ ด้วยความน่าจะเป็น P_{LS}
- เลือกจำนวนคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 เท่านั้น
- เลือกจำนวนคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 ด้วยความน่าจะเป็น P_{LS}

5.1.3.3 จำนวนการทำซ้ำในการค้นหาเฉพาะที่ในประชากรคำตอบปัจจุบัน

จำนวนการทำซ้ำในการค้นหาเฉพาะที่ในประชากรคำตอบปัจจุบัน จะเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ k กำหนดให้ k คือ จำนวนครั้งในการค้นหาเฉพาะที่ที่ไม่สามารถปรับปรุงคำตอบได้ k ครั้งติดต่อกัน หรือกล่าวได้ว่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหยุดการค้นหาเฉพาะที่นั่นเอง

5.1.3.4 ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่

ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในเรื่องคุณภาพคำตอบที่ดีที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ และเกี่ยวข้องโดยตรงกับเวลาในการคำนวณ(Ishibuchi, Yoshida และ Murata, 2003) มี 2 รูปแบบหลักคือ

- การค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก (First improvement)

การค้นหาลักษณะนี้จะมีหลักการค้นหาคำตอบที่ช่วยลดระยะเวลาในการค้นหา แต่คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ปรับปรุงแล้วมีค่าดีที่สุด โดยหลักการค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรกนี้จะทำการสุ่มประชากร ที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ ที่ไม่อิงลำดับตำแหน่งการค้นหาเฉพาะที่ แล้วการค้นหาคำตอบไป k คำตอบ จนกระทั่งพบคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมและไม่มีคำตอบใดใน k ที่ดีกว่าคำตอบนี้ จะหยุดทำการค้นหาเฉพาะที่

- การค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุด (Best improvement)

หลักการค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุด จะทำการค้นหาคำตอบทุกคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบัน และยอมรับค่าที่ดีที่สุดของวัตถุประสงค์ และดำเนินการค้นหาคำตอบจนไม่สามารถปรับปรุงคำตอบนั้นให้ดีกว่านี้ได้ ดังนั้นสมรรถนะของการค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุดนั้นค่อนข้างจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง(Globally Optimal) แต่อาจสูญเสียเวลาในการค้นหามาก

5.1.3.5 ขั้นตอนการหาคำตอบที่ควรประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่

การเลือกประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่ในขั้นตอนใดของอัลกอริทึม เป็นสิ่งที่ส่งผลในด้านประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ และเวลาในการค้นหาอีกด้วย โดยที่การประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่นั้นส่วนใหญ่จะทำเมื่อ (Merz และ Freisleben, 1997)

- หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น
- เกิดประชากรคำตอบใหม่ หรือเกิดประชากรคำตอบรุ่นลูก
- หลังเกิดการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น และหลังจากประยุกต์ใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรมอย่างครอสโอเวอร์ และมิวเทชั่น
- เลือกทำขั้นตอนใดก็ได้ เช่นเลือกประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่ในขั้นตอนหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้น และหลังการใช้มิวเทชั่นเพื่อช่วยดึงคำตอบที่ติดอยู่ใน Local Optimal

5.1.4 การหยุดการค้นหาเฉพาะที่

หลักการหยุดค้นหาเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการค้นหาเฉพาะที่ โดยการค้นหาเฉพาะที่ในคำตอบหนึ่งนั้นจะหยุดกระบวนการค้นหาเมื่อเจอคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม และไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีกว่าคำตอบนี้ได้แล้วจำนวน k ครั้ง

5.2 เมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithms:MAs)

การจำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ถือว่าเป็นหนึ่งในเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic Optimization Technique) ที่มีชื่อเรียกว่าวิธีการทางวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm: EAs) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีความซับว้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดการจัดตารางและจัดลำดับการผลิต การออกแบบความเชื่อถือได้ การจัดตารางเส้นทางงาน การวางผังโรงงาน และอื่น ๆ โดยที่รูปแบบของ EAs ที่เป็นที่รู้จักและใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ Genetic Algorithms (GAs) Evolutionary Programming (EP) และ Evolutionary Strategy (ESs)

5.2.1 ความหมายของเมมเมติกอัลกอริทึม

Moscato (1989) ได้เสนอเมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithms: MAs) คือ ฮิวริสติกแบบเฟ้นสุ่มที่ใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Stochastic Global Search Heuristics) โดยที่มีพื้นฐานวิธีการจากการรวมกันของเอลโวลูชั่นนารี่อัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่(Local Search Procedure) โดยที่ EAs จะใช้ Evolutionary Search ในการสำรวจพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้อย่างกว้าง ๆ ในขณะที่กระบวนการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่จะทำการขยายคำตอบที่ดี (Zoom-in) ในพื้นที่คำตอบให้ออกมาเป็นคำตอบที่น่าสนใจและคาดว่าคำตอบนั้นจะเป็นคำตอบที่ดี นอกจากนี้ MAs ยังเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมและได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายในด้านเทคนิคการหาคำตอบหลากหลายในด้านเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงจัด การหาค่าเหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันไม่คงที่ (Optimization of Non-stationary Functions) การหาค่าเหมาะสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Optimization) และยังเป็นที่รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า hybrid EA, Genetic Local Search, Baldwinian EAs, Lamarckian EAs เป็นต้น

Moscato และ Norman(1992) ได้ให้ความหมายของ MAs ว่าเป็นการค้นหาแบบอิงฐานประชากรที่มีขั้นตอนการทำงานที่คล้ายคลึงกับ Gas โดยที่คำว่า “Memetic” มีรากศัพท์มาจากคำว่า “meme ”(แนะนำโดย Richard Dawkins, 1990) ซึ่งเป็นรูปแบบการปรับประชากรให้มีความเหมาะสมก่อนที่จะถ่ายทอดคุณลักษณะทางพันธุกรรมหรือส่งผ่านไปยังเจนเนเรชั่นต่อไป ดังนั้น MAs จึงเป็นวิธีการ Cultural Evolution แทนที่จะเป็นการคำนวณค่าในทางชีววิทยา (Biological Evolution) นอกจากนี้ยังกล่าวว่า “Memetic Evolution” เป็นการรวมกันของ Gas กับ

การใช้การค้นหาเฉพาะที่ดังนั้น Genetic Local Search(GLS) จึงเป็นกรณีพิเศษของ MAs ที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นปัญหา TSP (Merz และ Freisleben, 1997) ปัญหาการจัดสรรแบบกำลังสอง(Quadratic Assignment Problem:QAP) เป็นต้น

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความหมายของ MAs คือการรวมกันของวิธีการการทางวิวัฒนาการรวมกับการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ นั่นเอง

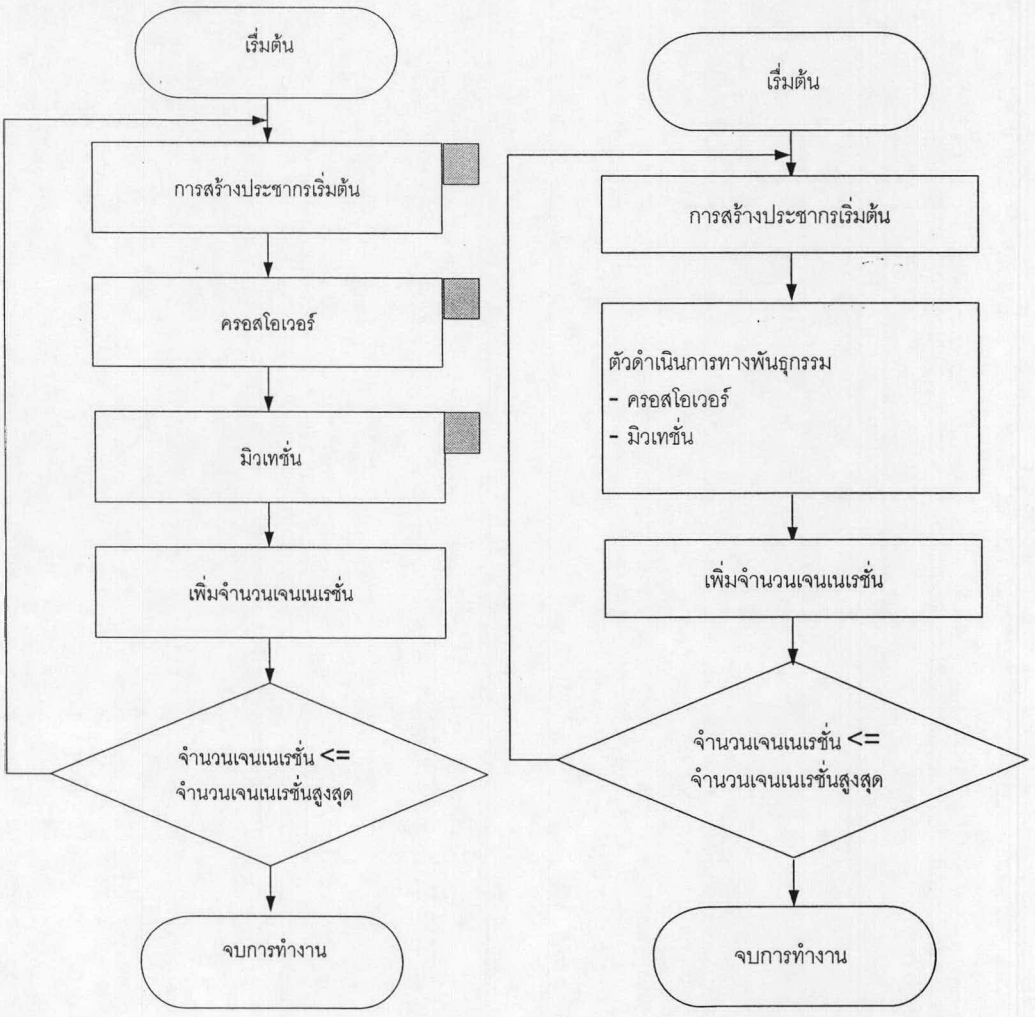
5.2.2 ความแตกต่างของเมมเมติกอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึม

เนื่องจากเมมเมติกอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึม มีหลักการพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Nature Genetic Selection) ดังนั้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของทั้งสองอัลกอริทึมจึงคล้ายคลึงกัน โดยจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงของสตริงคำตอบที่ได้จากค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ เป็นตัวกำหนดทิศทางในการหาคำตอบ ซึ่งแตกต่างกับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดทั่วไปที่อาศัยความชันเป็นทิศทางในการหาคำตอบ (Deterministic Optimization Technique) ส่งผลให้คำตอบที่ได้รับไม่ใช่คำตอบที่แท้จริงของปัญหา หรือเป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal Solution) ในขณะที่คำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมทั้งสองนี้มีโอกาสมากกว่าที่จะเป็นคำตอบแบบวงกว้าง (Global Optimal Solution) เนื่องจากการหาคำตอบของทั้งสองอัลกอริทึมนั้นจะทำการหาคำตอบแบบหลายจุดพร้อมกัน (Parallel Search) ทำให้โอกาศของคำตอบที่หาได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal Value) นั้นลดลง

แม้ว่าคำตอบที่ได้จากเมมเมติกอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึมจะมีโอกาสจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง แต่ในบางกรณีถ้าสมาชิกคำตอบในประชากรมีโครงสร้างของคำตอบที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมากเกินไป หรืออาจก่อให้เกิดสถานการณ์ที่เรียกว่า การลู่เข้าของคำตอบก่อนที่เรียกว่า การลู้เข้าของคำตอบก่อนที่ควรจะเป็น (Premature Convergence) ส่งผลให้คำตอบที่หาได้ลู่เข้าสู่ค่าๆหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่ค่าของคำตอบนั้นจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ ดังนั้นการป้องกันการลู่เข้าของคำตอบก่อนที่ควรจะเป็น คือการรักษาความหลากหลายให้กับสมาชิกคำตอบ หรือการทำให้สมาชิกคำตอบ หรือการทำให้สมาชิกคำตอบนั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งเจนเนติกอัลกอริทึมจะใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมตัวหนึ่งในการดึงหาคำตอบที่ติดอยู่กับคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ คือ ตัวดำเนินการเปลี่ยนรูป (Mutation Operation) ซึ่งในการใช้ตัวดำเนินการนี้อาจไม่เพียงพอในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง ดังนั้นคุณสมบัติพิเศษหนึ่งของเมมเมติกอัลกอริทึมที่แตกต่างจากเจนเนติกอัลกอริทึมก็คือการปรับปรุงคำตอบด้วยการใช้การ

ค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ก่อนหรือหลังการสร้างประชากรเริ่มต้น การใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรม โดยที่ส่วนใหญ่แล้วจะนำมาใช้ 2 กรณี คือ กรณีแรกใช้ในการสร้างประชากรเริ่มต้นเพียงอย่างเดียว และกรณีที่สองใช้ทุกครั้งก่อนหรือหลังการใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมเพื่อให้เกิดประชากรรุ่นใหม่

นอกจากนี้หากในการค้นหาคำตอบเป็นคอนเว็กซ์ (Convex) ซึ่งถือได้ว่าสิ่งที่ยากในการค้นหาคำตอบโดยใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม ดังนั้นการทำให้เกิดพันธุ์ผสมหรือลูกผสม (Hybridization) ของเมมเมติกอัลกอริทึ่ม จะสามารถหาคำตอบได้โดยอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ การคัดเลือกคำตอบด้วยการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ และการระบุคำตอบในบริเวณคำตอบใกล้เคียง ซึ่งถือว่าเป็นคำตอบใหม่ดีที่สุด เมื่อคำตอบเหล่านั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อคำตอบเหล่านั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ที่ไม่มีคำตอบใดดีกว่า จะกลายเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง



ก. ขั้นตอนการทำงานของ MAs ก. ขั้นตอนการทำงานของ GAs

= การค้นหาพาะที่ ซึ่งสามารถมาประยุกต์ใช้ก่อนหรือหลังการดำเนินการใดๆ

รูปที่ 5.9 โครงสร้างพื้นฐานของ MAs และ GAs

จากรูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบการทำงานของ MAs และ GAs จะเห็นได้ว่าโครงสร้างการทำงานคล้ายคลึงกันมาก เนื่องจาก MAs มีพื้นฐานมาจากแนวความคิดเช่นเดียวกับ GAs แต่มีความแตกต่างกันในเรื่องการปรับปรุงคำตอบด้วยการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ก่อนหรือหลังตัวดำเนินการทางพันธุกรรมใดๆ โดยการเลือกใช้การค้นหาเฉพาะที่ในขั้นตอนใดๆ จะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของคำตอบโดยตรงอีกด้วย

5.2.3 ขั้นตอนการทำงานหลักของ MAs

ขั้นตอนการทำงานหลักของ MAs สามารถสรุปได้จาก Merz และFreisleben, 1997 ดังนี้

1. การสร้างประชากรเริ่มต้นของสมาชิกคำตอบที่เป็นไปได้

โดยในขั้นตอนนี้จะมีการทำงานสองขั้นตอน คือ การกำหนดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยการสุ่ม หรือฮิวริสติก ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างประชากรเริ่มต้นคือ คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ ซึ่งข้อดีของ MAs ก็คือการพิจารณาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ที่เป็นคำตอบเริ่มต้นไม่ได้พิจารณาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่เกิดจากการสุ่มเพียงอย่างเดียว

2. การใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรม

การใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรมใน MAs จะมีความแตกต่างกับ GAs โดยในขั้นตอนของ GAs จะใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรมอย่างครอสโอเวอร์และมิวเทชั่นเพียงอย่างเดียวแต่ใน MAs นี้จะมีการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะทีเพื่อการปรับปรุงคำตอบก่อนหรือหลังการดำเนินการ ส่วนใหญ่แล้วคำตอบที่ได้ในขั้นตอนนี้จะเป็นคำตอบใหม่เฉพาะที่ที่ดีที่สุด และกระบวนการสร้างประชากรรุ่นใหม่นี้จะกระทำจนกระทั้งครบจำนวนเจนเนเรชั่นสูงสุดที่กำหนดไว้ก่อนล่วงหน้า

ตัวดำเนินการครอสโอเวอร์และมิวเทชั่นจะเป็นการค้นหาแบบสำรวจด้วยการกระโดดเพื่อค้นหาคำตอบใหม่ในพื้นที่คำตอบได้ ที่ใช้ระยะเวลาในการค้นหาไม่มากนัก และการค้นหานี้จะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นถ้าประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ ดังนั้นการเปรียบเทียบตัวดำเนินการครอสโอเวอร์และการมิวเทชั่นใน GAs และ MAs จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหา เนื่องจากการใช้การค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีการที่ใช้เวลานานกว่าจะได้คำตอบใหม่ และอาจเป็นสิ่งที่

ยุ่งยากมากกว่าการได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ ดังนั้นการเลือกวิธีการค้นหาเฉพาะที่จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ควรคำนึงในการทำงานของ MAs ตัวอย่างตัวดำเนินการทางพันธุกรรมที่ใช้ใน MAs

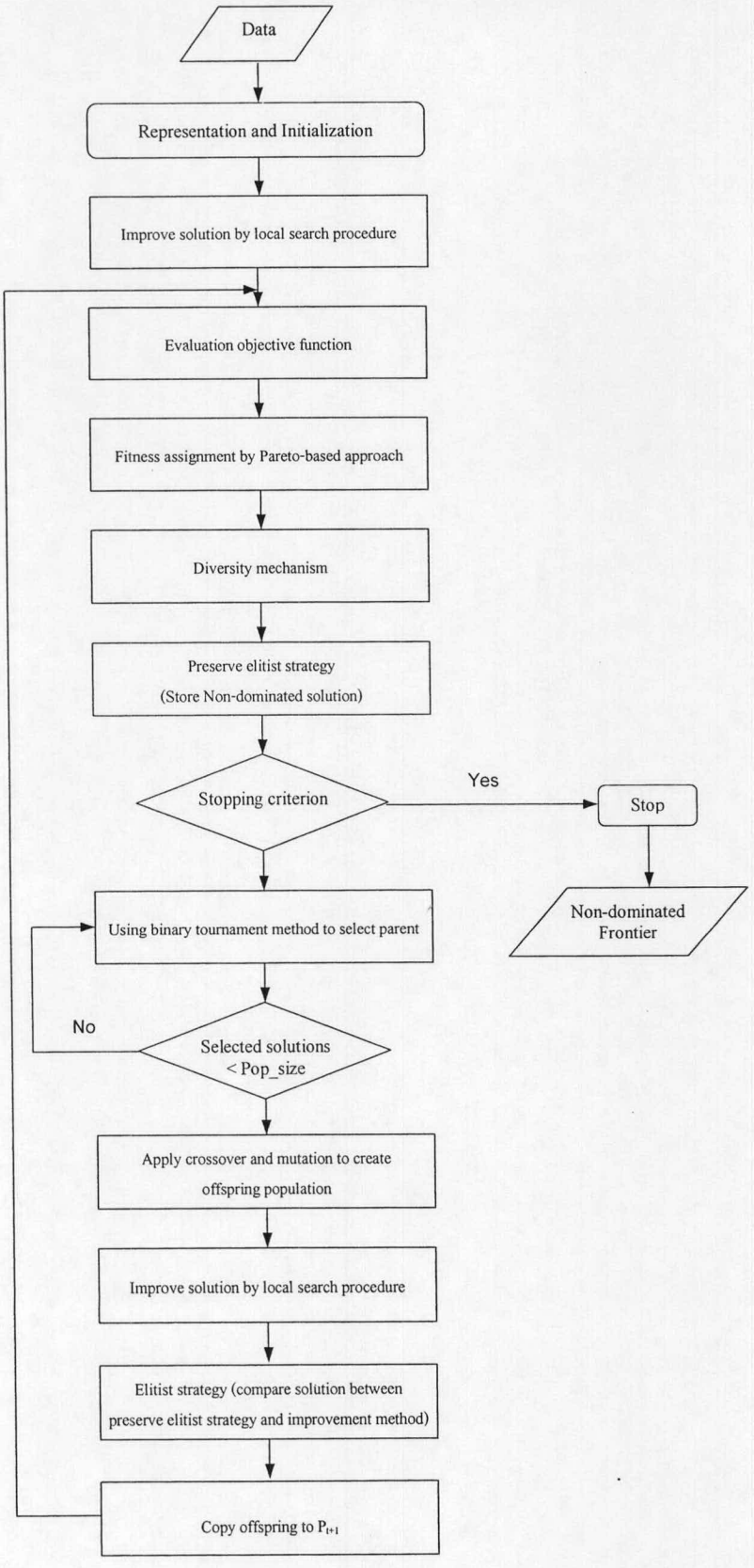
- ครอสโอเวอร์ หรือรีคอมบิเนชั่น เป็นตัวดำเนินการที่ก่อให้เกิดประชากรรุ่นพ่อแม่สองรุ่น (Binary Operator) ดังนั้นการกระโดดเพื่อหาคำตอบจึงสามารถปฏิบัติการเริ่มกำหนดโดยตรง ใน GAs นั้น การรีคอมบิเนชั่น เป็นการปฏิบัติการทางชีววิทยา ซึ่งประชากรรุ่นพ่อรุ่นแม่จะทำการครอสโอเวอร์ โดยเลือกตำแหน่งในการครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม (Uniform Crossover) ซึ่งมาจากรูปแบบทั่วไปของรีบิเนชั่น
- มิวเตชั่น เป็นตัวดำเนินการที่สร้างประชากรรุ่นลูกจากประชากรรุ่นพ่อรุ่นแม่เพียงรุ่นเดียว (Unary Operator) ที่มีการปฏิบัติงานหลังจากการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ และไม่นำกลับมาเป็นคำตอบของประชากรรุ่นพ่อแม่อีก ซึ่งระยะทางในการกระโดดเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ที่มีคำตอบที่เหมาะสม

5.3 โครงสร้างของเมมเมติกอัลกอริทึม สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู

โครงสร้างหลัก ประกอบด้วย 10 ส่วน คือ

1. Initialization : การสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น
2. Evaluation : คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของประชากรคำตอบเบื้องต้น
3. Local Search Heuristics : ประยุกต์ใช้ฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ ในการปรับปรุงคำตอบเบื้องต้น
4. Pareto Based Approach : กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับคำตอบแต่ละตัว ด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด คำตอบที่แข็งแรงที่สุดจะมีอันดับที่ในการจัดอันดับต่ำที่สุด
5. Diversity Information : คำนวณค่าความหนาแน่นของสมาชิกประชากรคำตอบ
6. Selection : คัดเลือกคำตอบที่มีความแข็งแรงมาก และมีค่าความหนาแน่นมาก (เพื่อป้องกันการเกาะกลุ่มกันของคำตอบบริเวณใดบริเวณหนึ่ง) เข้าสู่การดำเนินการทางพันธุกรรม
7. Crossover : เป็นตัวดำเนินการทางพันธุกรรมที่ใช้สร้างคำตอบใหม่จากการแลกเปลี่ยนสมาชิกระหว่างสตริงคำตอบ 2 ตัว

8. Mutation : เป็นตัวดำเนินการทางพันธุกรรมที่ใช้สร้างคำตอบใหม่จากย้ายตำแหน่งภายในสตริงคำตอบ
9. Local Search Heuristics : ประยุกต์ใช้ฮิวริกติกแบบค้นหาเฉพาะที่ ในการปรับปรุงคำตอบหลังการใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม
10. Strategies to maintain elitist solutions in the population : เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยจะเก็บค่าคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution และในระหว่างกระบวนการค้นหาคำตอบยังดำเนินอยู่จะทำการปรับปรุง(Update) สตริงคำตอบใหม่ในสถานที่เก็บคำตอบที่ดีที่สุด (Archive Population) ด้วยการย้ายสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตัวเดิมออกไป และเพิ่มสตริงคำตอบที่ดีที่สุดใหม่เข้ามา



รูปที่ 5.10 โครงสร้างเมมเมติกอัลกอริทึมที่ใช้งานวิจัย

5.4 ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึม สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู

จากโครงสร้างหลักของเมมเมติกอัลกอริทึม สามารถแบ่งย่อยเป็นวิธีการของเมมเมติกอัลกอริทึม 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. Local Search Heuristics : ใช้ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ในการปรับปรุงประชากรคำตอบหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น ด้วยความน่าจะเป็นในการทำการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ P_{LS}
4. Evaluation : คำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนสถานีงาน ผลต่างสถานีงานกับความสัมพันธ์ในสถานีงาน และการกระจายภาระขั้นงานในสถานีงาน
5. Pareto Based Approach : ใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการกำหนดความแข็งแรงให้กับประชากรคำตอบ ในขั้นตอนการทำงานนี้จะทำให้ประชากรคำตอบถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม กลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับที่ในการจัดต่ำที่สุด
6. Density Information : คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ
7. Strategies to maintain elitist solution in the population : เก็บค่าคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution ที่ได้หลังจากการปรับปรุงคำตอบเบื้องต้น
8. Stopping Criteria : ดูว่าการคำนวณนั้นครบจำนวนสูงสุดของคำตอบที่ต้องหา และคำนวณค่าฟังก์ชันหรือจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้ทำข้อ 9-12 ถ้าไม่ใช่ ให้ทำข้อที่ 13
9. Selection : คัดเลือกคำตอบที่ดีเข้าสู่ Mating Pool โดยคำตอบที่มีความแข็งแรงมากจะมีโอกาสได้รับการเลือกสูงกว่าคำตอบที่มีความแข็งแรงน้อย
10. Crossover : ทำการจับคู่คำตอบที่อยู่ใน Mating Pool และทำการครอสโอเวอร์ด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ P_C
11. Mutation : ทำการมิวเทชั่นสตริงคำตอบด้วยความน่าจะเป็นในการทำมิวเทชั่นเท่ากับ P_m

12. Strategies to maintain elitist solution in the population : เปรียบเทียบประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ และประชากรคำตอบรุ่นลูก เก็บคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution แทนที่คำตอบที่ดีที่สุดตัวเดิม แล้วนำประชากรคำตอบนั้นไปเป็นคำตอบนั้นเป็นคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชั่นถัดไป
13. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำคำตอบใน Strategies to maintain elitist solutions in the population มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

5.5 ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II) สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึมที่พัฒนามาจาก NSGAII ซึ่งจากโครงสร้างหลักของเมมเมติกอัลกอริทึม สามารถแบ่งย่อยเป็นวิธีการของ M-NSGAII 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. Local Search Heuristics : ใช้ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ในการปรับปรุงประชากรคำตอบหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น ด้วยความน่าจะเป็นในการทำการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ P_{LS}
4. Evaluation : คำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนสถานีงาน ผลต่างสถานีงานกับความสัมพันธ์ในสถานีงาน และการกระจายภาระขั้นงานในสถานีงาน
5. Pareto Based Approach : ใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดวิธีการจัดลำดับแบบ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting ในการกำหนดความแข็งแรงให้กับประชากรคำตอบ ในขั้นตอนการทำงานนี้จะทำให้ประชากรคำตอบถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม กลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับที่ในการจัดต่ำที่สุด
6. Density Information : คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ ด้วยวิธี Crowding Distance

7. Selection : คัดเลือกคำตอบที่ดีเข้าสู่ Mating Pool โดยคำตอบที่มีความแข็งแรงมาก (มีอันดับที่น้อยกว่า) และมีค่าความหนาแน่นมาก (ขจัดปัญหาการเกาะกลุ่มของคำตอบ) จะมีโอกาสในการถูกเลือกสูง
8. Crossover : ทำการจับคู่คำตอบที่อยู่ใน Mating Pool และทำการครอสโอเวอร์ด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ P_C
9. Mutation : ทำการมิวเทชั่นสตริงคำตอบด้วยความน่าจะเป็นในการทำมิวเทชั่นเท่ากับ P_m
10. Local Search Heuristics : ใช้ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ในการปรับปรุงประชากรคำตอบหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น ด้วยความน่าจะเป็นในการทำการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ P_{LS}
11. Combination population : รวมประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการปรับปรุงคำตอบด้วยฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ และประชากรคำตอบรุ่นลูกที่ได้รับการปรับปรุงจากการค้นหาเฉพาะที่เช่นเดียวกัน
12. Selection next population : คัดเลือกประชากรคำตอบสำหรับเจนเนอเรชั่นถัดไปจากการรวมประชากรคำตอบในขั้นตอนที่ 11 โดยใช้หลักการ Non-dominated Sorting และ Crowding Distance ประชากรคำตอบที่มีอันดับหนึ่งจะมีโอกาสได้รับเลือกไปเป็นประชากรคำตอบในเจอเนอเรชั่นถัดไปสูงเป็นอันดับแรก และมีโอกาสลดหลั่นลงมาตามอันดับที่ ถ้าจำนวนประชากรคำตอบในอันดับใดมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนประชากรคำตอบที่เหลืออยู่ จะคัดเลือกประชากรคำตอบโดยการพิจารณา Crowding Distance ที่มีค่ามาก และดำเนินการในขั้นตอนนี้จนกระทั่งครบจำนวน *popsize* ตัว
13. Strategies to maintain elitist solution in the population : เก็บกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดหลังจากขั้นตอนที่ 11 และ 12 ซึ่งจะทำการปรับปรุง(Update) ในทุก ๆ เจนเนอเรชั่นเพื่อเปรียบเทียบประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ และประชากรคำตอบรุ่นลูก และเก็บคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution แทนที่คำตอบที่ดีที่สุดตัวเดิม แล้วนำประชากรคำตอบนั้นไปเป็นคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชั่นถัดไป จำนวน *popsize* ตัว
14. Stopping Criteria : ดูว่าการคำนวณนั้นครบจำนวนสูงสุดของคำตอบที่ต้องหา และค่าฟังก์ชันหรือจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้กลับไปทำข้อ 4-13 ใหม่ และถ้าไม่ใช่ให้ทำการในข้อที่ 15

15. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำคำตอบใน Strategies to maintain elitist solution in the population มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

5.6 วิธีการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGAII (M-NSGAII) สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวยู

5.6.1 การใส่รหัสคำตอบ

ในการใส่รหัสคำตอบของ NSGAII และ M-NSGAII จะมีขั้นตอนที่เหมือนกัน ซึ่งการใส่รหัสคำตอบ (Chromosome Representation / Coding) เปลี่ยนคำตอบปัญหาให้อยู่ในรูปสตริงคำตอบ หรือเรียกว่า โครโมโซม ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของ M-NSGAII ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีผลอย่างมากต่อขั้นตอนอื่น ๆ ของ M-NSGAII วิธีการใส่รหัสคำตอบมีทั้งแบบ Binary String และ Non-binary String ในกรณีของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมลักษณะตัวยู คำตอบของปัญหาคือกลุ่มของงานที่ถูกมอบหมายให้กับสถานีทำงานสถานีต่างๆ หรือเป็นการกำหนดสิทธิในการเลือกงาน (Priority) ดังนั้น วิธีการใส่รหัสคำตอบที่ใช้จึงต้องสามารถแสดงลำดับของงานในรูปของสตริงได้ วิธีการใส่รหัสคำตอบที่ใช้จึงควรเป็นแบบ Non-binary String

5.6.2 การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้น (Population Size) คือ จำนวนคำตอบเบื้องต้นที่สร้างขึ้นมาจำนวนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการของ M-NSGAII โดยคำตอบ 1 คำตอบ คือ สตริงคำตอบ 1 ตัว จำนวนประชากรเบื้อนต้นเท่ากับจำนวนประชากรคำตอบในแต่ละเจนเนอเรชั่น ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดจำนวนประชากรคำตอบเบื้องต้นในแต่ละเจนเนอเรชั่นซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ *popsize* ตัว

การสร้างประชากรเบื้องต้น จะสร้างตามขั้นตอนลักษณะเดียวกับ NSGAII ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยการสร้างประชากรเบื้องต้นทั้ง *popsize* ตัว จะต้องไม่ซ้ำกันเพื่อให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และเป็นการป้องกันไม่ให้คำตอบที่ได้จากวิธีการของ M-NSGAII ที่ใช้เป็น Local Optimal นอกจากนี้การสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นให้แตกต่างกัน ยังช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนประชากรให้น้อยลงได้

5.6.3 ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

คุณลักษณะเด่นของเมมเมติกอัลกอริทึม คือการปรับปรุงให้ประชากรคำตอบเบื้องต้นให้มีคุณภาพคำตอบที่ดีก่อนเข้าสู่กระบวนการค้นหาคำตอบ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การค้นหาเฉพาะที่ 4 แบบ เพื่อเปรียบเทียบว่าฮิวริสติกตัวใดที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมลักษณะตัวยู ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการหาจำนวนสถานีงาน งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน และค่าการกระจายภาระงานในสถานีงานน้อยที่สุด ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการเลือกใช้การค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก (First improvement)

การคัดเลือกสตริงคำตอบ จะมีสตริงคำตอบเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกนำมาทำการค้นหาเฉพาะที่ จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาทำการค้นหาเฉพาะที่ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) โดยการเลือกสตริงคำตอบ (Selection) จะทำการใช้วิธีในการเลือกคือ Binary Tournament Selection (Goldberg,1991) พารามิเตอร์ที่จะใช้ในการค้นหาเฉพาะที่มีดังนี้

- ความน่าจะเป็นในการทำการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Probability: P_{LS}) คือ ค่าที่ใช้ในการคัดเลือกสตริงที่จะเข้าทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจำนวนสตริงที่ทำการค้นหาเฉพาะที่ (N_{LS}) เท่ากับ $popsize \times P_{LS}$
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่ มีหลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกวิธีการค้นหาเฉพาะที่ ที่ได้ผลดีในการปรับปรุงคำตอบทั้งหมด 4 วิธี คือ 1.วิธี 2-opt 2.วิธี 3-opt 3.วิธี Pairwise Interchange (PI) และ 4. วิธี Insertion Procedure

5.6.4 การประเมินค่า

นำสตริงคำตอบหลังจากการค้นหาเฉพาะที่มาทำการประเมินค่า โดยทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์คือ 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

$$f_1(X) = Minimum\ m \tag{5.2}$$

2 เพื่อให้งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$f_2(X) = Minimum\ \ relatedness = Minimum\ \ m - m \Big/ \sum_{k=1}^{m} SN_k \tag{5.3}$$

3 เพื่อหาค่าต่ำสุดของค่าการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum\ SI = Minimum \sqrt{\sum_{k=1}^{m} (S_{\max} - S_k)^2 \Big/ m} \tag{5.4}$$

5.6.5 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดเป็นวิธีในการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสมาชิกคำตอบ และมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะเหมาะสมกับอัลกอริทึมใดอัลกอริทึมนึง ในส่วนอัลกอริทึม M-NSGAII ที่มาจากการพัฒนาอัลกอริทึมมาจาก NSGAII จึงเลือกใช้วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดแบบการจัดอันดับของ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting

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

5.6.6 วิธีกำหนดความหนาแน่นของประชากรคำตอบ

เป็นวิธีในการรักษาความหลากหลายให้กับสมาชิกคำตอบ หรือแบ่งปันค่าความแข็งแรง หรือกำหนดความหนาแน่น เพื่อทำให้เกิดกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดและป้องกันการเกิดคำตอบเกาะกลุ่มบริเวณใดบริเวณนึง วิธีที่ใช้จะเป็นวิธีเดียวกับอัลกอริทึม NSGAII คือวิธีการ Crowding Distance

5.6.7 การคัดเลือกคำตอบ

การคัดเลือกคำตอบ(Selection) เป็นการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ในอัลกอริทึม M-NSGAII จะพิจารณาจากค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นร่วมกัน สตริงที่ได้รับอันดับที่ในการกำหนดให้จากวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดเป็นอันดับต่ำและมีความหนาแน่นมากระหว่างคำตอบในอันดับเดียวกัน จะมีโอกาสที่จะได้รับการคัดเลือกสูง จะใช้วิธีในการคัดเลือกสตริงคำตอบ แบบ Binary Tournament Selection (Goldberg, 1991)

5.6.8 การครอสโอเวอร์

การครอสโอเวอร์(Crossover) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการสลับแลกเปลี่ยนโครโมโซมของสตริงคำตอบ เป็นการสร้างประชากรคำตอบใหม่หรือประชากรคำตอบรุ่นลูก วิธีที่ใช้ในการทำครอสโอเวอร์มีหลายวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การเลือกวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาจะช่วยทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมได้ ซึ่งในที่นี้ได้อ้างถึงวิธี Weight mapping crossover (WMX) (Hwang, 2007)

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์(Crossover Probability: P_C) คือค่าที่ใช้ในการคัดเลือกสตริงคำตอบที่จะเข้าไปสู่การครอสโอเวอร์ โดยเปรียบเทียบกับค่าที่สุ่มขึ้นมากับค่า P_C ถ้าสตริงคำตอบใดมีค่าที่สุ่มมาน้อยกว่าค่า P_C จะถูกเลือกนำไปทำการสลับโครโมโซม คู่สตริงคำตอบที่ถูกเลือกจะกลายเป็นสตริงพ่อแม่ (Parent) จำนวนสตริงคำตอบที่ถูกนำมาจับคู่ (N_C) คือจำนวนสตริงที่จะเข้าสู่การครอสโอเวอร์ โดย $N_C = popsize \times P_C$

5.6.9 การมิวเตชั่น

การมิวเตชั่น(Mutation) เป็นวิธีการทำให้เกิดคำตอบที่ผ่าเหล่า หรือคำตอบที่เกิดนอกจากการผสมพันธุ์จากพ่อแม่ โดยการสลับตำแหน่งของค่าภายในสตริงคำตอบตัวเอง ทำให้ได้สตริงคำตอบตัวใหม่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดวิธีการมิวเตชั่นตามงานวิจัยก่อนหน้า คือวิธี Reciprocal Exchange Mutation

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation Probability: P_m) คือ ค่าที่ใช้ในการคัดเลือกสตริงที่จะเข้าสู่การมิวเตชั่น โดยใช้เปรียบเทียบกับค่าที่สุ่มขึ้นมา ถ้าค่าที่สุ่มขึ้นมามีค่าน้อยกว่าค่า P_m จะถูกเลือกให้ทำกระบวนการมิวเตชั่น

5.6.10 ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่หลังการทำมิวเตชั่น

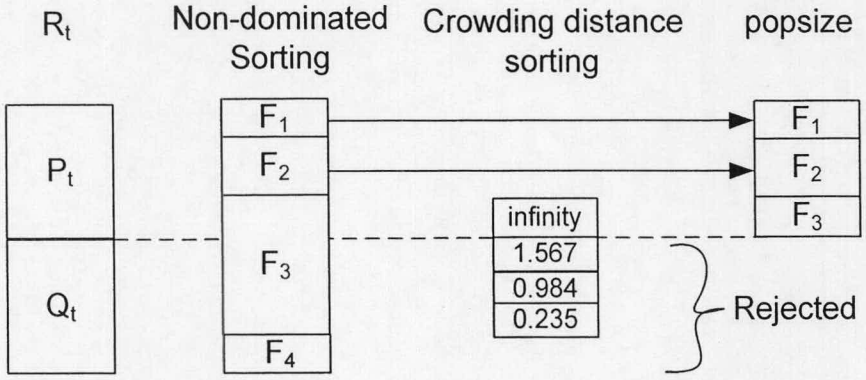
การใช้การค้นหาเฉพาะที่ทำหลังการมิวเตชั่น ก็เพื่อปรับปรุงคำตอบหลังการมิวเตชั่น เนื่องจากคำตอบที่หลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชั่น อาจทำให้สูญเสียคำตอบที่ดีไปหรือยังไม่สามารถดึงคำตอบที่ดีออกมาได้ การทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชั่นจะช่วยดึงคำตอบที่ติดอยู่ใน Local Optimal ได้ เนื่องจากจะมีการทำค้นหาเฉพาะที่ในทุกเจนเนอเรชั่น ทำให้คำตอบมีการปรับปรุงทุกเจนเนอเรชั่น ซึ่งการคัดเลือกสตริงคำตอบ จะมีสตริงคำตอบเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกนำมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการทำมิวเตชั่น จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาทำการค้นหาเฉพาะที่ ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) โดยการเลือกสตริงคำตอบ (Selection) จะทำการใช้วิธีในการเลือกคือ Binary Tournament Selection (Goldberg,1991) พารามิเตอร์ที่จะใช้ในการค้นหาเฉพาะที่มีดังนี้

- ความน่าจะเป็นในการทำการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Probability: P_{LS}) คือ ค่าที่ใช้ในการคัดเลือกสตริงที่จะเข้าทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจำนวนสตริงที่ทำการค้นหาเฉพาะที่ (N_{LS}) เท่ากับ $popsize \times P_{LS}$
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการทำมิวเตชั่น มีหลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกวิธีการค้นหาเฉพาะที่ ที่ได้ผลดีในการปรับปรุงคำตอบทั้งหมด 4 วิธี คือ 1.วิธี 2-opt 2. วิธี 3-opt 3.วิธี Pairwise Interchange (PI) และ 4. วิธี Insertion Procedure

5.6.11 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเก็บค่าดีที่สุดไว้ และป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ดีไปหลังจากผ่านกระบวนการต่าง ๆ เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ การครอสโอเวอร์และมิวเตชั่น อาจทำให้เกิดคำตอบที่แย่กว่าคำตอบที่เคยปรากฏในเจนเนอเรชั่นที่ผ่าน ๆ มา ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บค่าที่ดีที่สุดเอาไว้ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของกลุ่มสตริงคำตอบชุดใหม่ โดยพิจารณาค่าความแข็งแรงที่ดีกว่า(เนื่องจากในปัญหาที่ทำการพิจารณาในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าต่ำสุดดังนั้นสตริงคำตอบที่ให้ค่าต่ำ จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีกว่า) จะได้รับการแทนที่สตริงคำตอบที่ให้ค่าแย่และคัดเลือกคำตอบนั้นออกไป เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่นำมาใช้ในอัลกอริทึม M-NSGA กับ NSGAII มีลักษณะเดียวกันคือ

กลยุทธ์ในการรักษาประชากรคำตอบ(Strategies to maintain elitist solutions in the population) เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดนี้จะทำการเก็บค่าคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution และในระหว่างกระบวนการค้นหาคำตอบตั้งแต่การสร้างประชากรรุ่นพ่อแม่ (P_t) การสร้างประชากรรุ่นลูกด้วยวิธีการทางพันธุกรรม (Q_t) ในแต่ละเจนเนอเรชั่น จากนั้นจะนำประชากรรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูกมารวมกันคือสถานที่รวมคำตอบ ($R_t = P_t + Q_t$) และเก็บคำตอบที่ได้จาก Non-dominated Solution โดยให้ความสำคัญกับสตริงคำตอบที่มีอันดับต่ำและมีค่า Crowding Distance มาก และทำการปรับปรุง(Update) สตริงคำตอบใหม่ในสถานที่เก็บคำตอบด้วยการย้ายสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตัวเดิมออกไป และเพิ่มสตริงคำตอบที่ดีที่สุดใหม่เข้ามา ดังรูปที่ 5.11



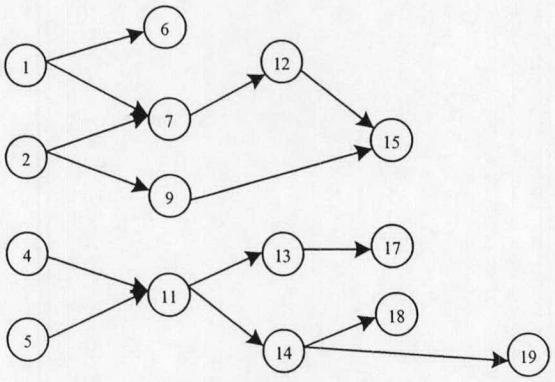
รูปที่ 5.11 วิธีการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอัลกอริทึม NSGAII และ M-NSGAII

5.7 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธี M-NSGA-II อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูผลิตภัณฑ์ผสม ในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี

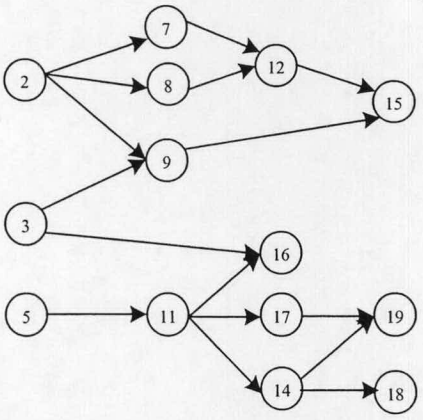
จากขั้นตอนของ M-NSGA-II ที่ได้เสนอมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหา Thomopoulos มีงานทั้งหมด 19 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

5.7.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

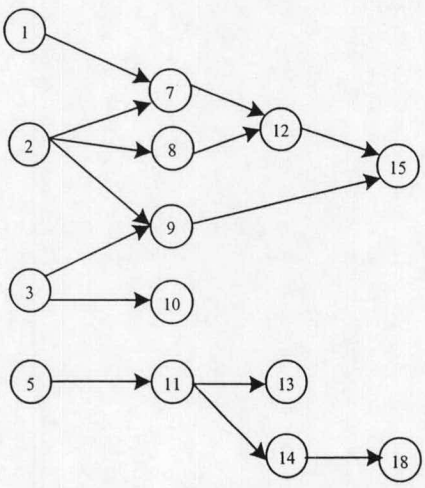
5.7.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 5.12



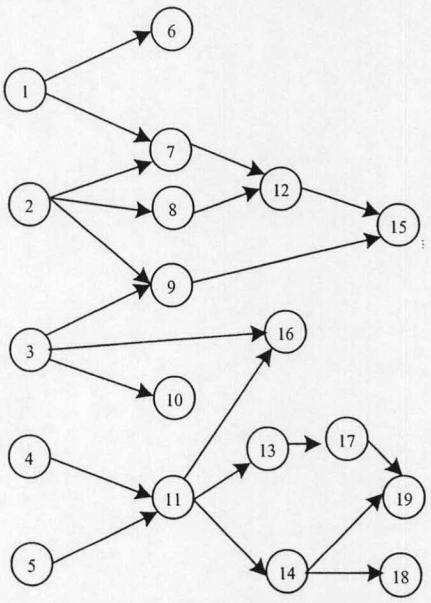
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B และ C

รูปที่ 5.12 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน

5.7.1.2 **การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน** ซึ่งสามารถแสดงได้ดัง ตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 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

5.7.1.3 **สร้างตาราง** Precedence Matrix Font **และ** Precedence Matrix Back **จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม** รูปที่ 5.11 จะได้ดังตารางที่ 5.3-5.4

ตารางที่ 5.3 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 5.4 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

5.7.1.4 พารามิเตอร์ของ M-NSGA-II ที่เลือกใช้คือ

- จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกผสมพันธุ์แบบ 2-opt
- วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Weight mapping crossover (WMX)
- วิธีการมิวเตชั่นแบบ Reciprocal Exchange Mutation
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังทำมิวเตชั่นแบบ 2-opt
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ในการค้นหาเฉพาะที่ 0.4
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ 0.8
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น 0.2

5.7.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

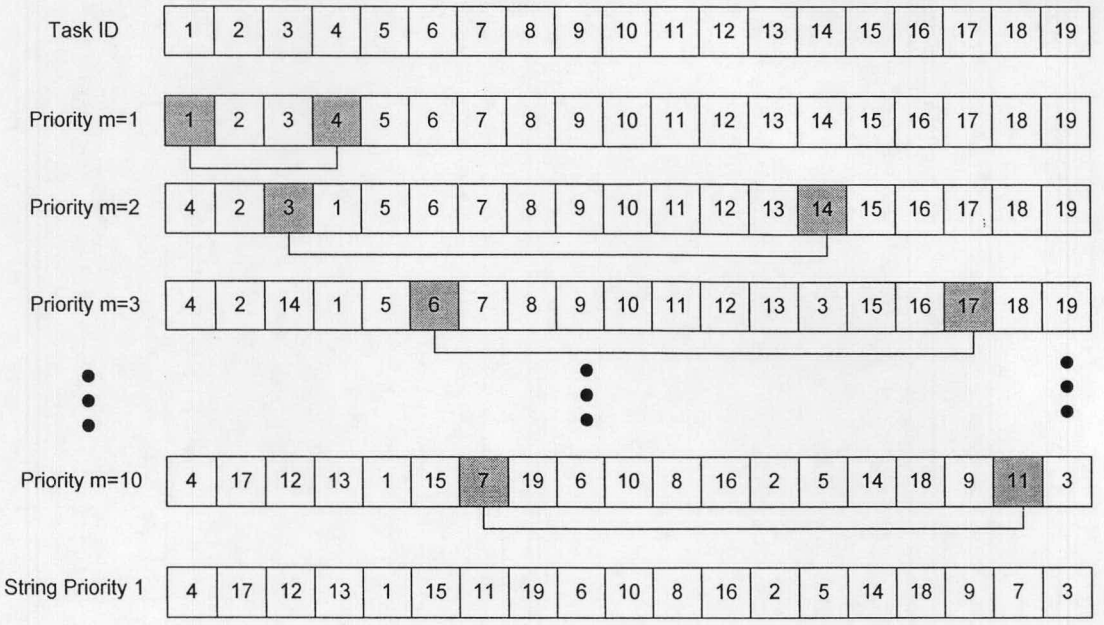
เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้วิธีสุ่มสตริงคำตอบโดยวิธีกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) โดยจะมีขั้นตอนวิธีแบบสุ่มดังนี้

- ใส่ค่าสิทธิในการเลือกงาน (Input the priority number) โดยเริ่มแรกให้มีค่าเท่ากับ-ขั้นงาน

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

รูปที่ 5.13 กำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น

- สุ่มตำแหน่ง 2 จุด เพื่อทำการสลับ จำนวนครั้งในการทำการสลับตำแหน่งเท่ากับจำนวนครึ่งนึงของงานหรือ $m/2 = 19/2 \approx 10$ กำหนดให้ m ขั้นงานทั้งหมด



รูปที่ 5.14 สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) 1 สตริงคำตอบ

จะได้สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงานเท่ากับ 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

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

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

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

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

String Priority 5 = [16 14 718 1 15 5 10 13 11 6 19 9 17 3 4 8 12 2]

5.7.3. ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

จากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 5 ตัว จะทำการเลือกไปทำการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งจำการคัดเลือกสตริงที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือที่มีอันดับน้อยที่สุด แต่เนื่องจากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 5 ตัว ยังไม่สามารถที่นำไปคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ จึงต้องทำการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับงานให้เรียบร้อยเสียก่อน ซึ่งขั้นตอนการแปลงค่าสตริงคำตอบเป็นลำดับงานดังนี้

- พิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถเลือกทำได้ลงในตำแหน่งข้างหน้างาน(Forward Work) จะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า โดยหาผลรวมของคอลัมน์ใดมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงตำแหน่งของลำดับงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดความสัมพันธ์ของขั้นงาน

- พิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถเลือกทำได้ลงในตำแหน่งข้างหลังงาน (Backward Work) จะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง โดยหาผลรวมของคอลัมน์ใดมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงตำแหน่งของลำดับงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดความสัมพันธ์ของขั้นงาน
- พิจารณาค่าสิทธิในการเลือกงานจากสตริงคำตอบตามตำแหน่งของงานที่ถูกเลือกลงในตำแหน่งข้างหน้างาน(Forward Work) และถูกเลือกลงในตำแหน่งข้างหลังงาน(Backward Work) ซึ่งขั้นงานที่สามารถถูกเลือกลงตำแหน่งข้างหน้าและข้างหลังงานใดมีค่ามากสุดจะถูกเลือกลงในลำดับขั้นงานก่อน
- ถ้างานที่ถูกเลือกมาจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ให้ตัดทิ้งโดยการเปลี่ยนตัวเลข ในแถว Precedence Matrix Font เป็น 0 ทั้งหมด และในคอลัมน์ของงานนั้นเท่ากับ 1 ทั้งหมด และทำให้คอลัมน์งานนั้นใน Precedence Matrix Back มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมด
- ถ้างานที่ถูกเลือกมาจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)ให้ตัดทิ้งโดยการเปลี่ยนตัวเลข ในแถว Precedence Matrix Back เป็น 0 ทั้งหมด และในคอลัมน์ของงานนั้นเท่ากับ 1 ทั้งหมด และทำให้คอลัมน์งานนั้นใน Precedence Matrix Font มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมด

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสตริงคำตอบที่ 1 ทำการถอดรหัสหาลำดับขั้นงานในการทำงานเพื่อนำไปจัดลงสถานีงานได้ จะสามารถพิจารณาลำดับงานได้ ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1

No.	TASK(Font)	TASK(back)	Task Sequence
1	1,2,3,4,5	6,10,15,16,18,19	16
2	1,2,3,4,5	6,10,15,18,19	2
3	1,3,4,5,8	6,10,15,18,19	8
4	1,3,4,5	6,10,15,18,19	6
5	1,3,4,5	10,15,18,19	15
6	1,3,4,5	9,10,12,18,19	12
7	1,3,4,5	7,9,10,18,19	4
8	1,3,5	7,9,10,18,19	3

ตารางที่ 5.5 การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)

No.	TASK(Font)	TASK(back)	Task Sequence
9	1,5,9,10	7,9,10,18,19	7
10	1,5,9,10	1,9,10,18,19	10
11	1,5,9	1,9,18,19	18
12	1,5,9	1,9,19	9
13	1,5	1,19	1
14	5	19	19
15	5	14,17	17
16	5	13,14	14
17	5	13	13
18	5	11	11
19	5	5	5

เมื่อทำการแปลงค่าสตริงคำตอบทั้งหมด 5 ตัว จะได้ลำดับงานของสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว จะมีค่าดังนี้

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

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

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

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

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

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดสรรลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลา (Cycle time) ในการทำงานเท่ากับ 2 ซึ่งลำดับงานที่ 1 สามารถจัดสรรลงสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.6 การจัดสรรขั้นงานลงสถานีงาน

งาน	เวลาขั้นงาน	เวลารวมสถานีงานเมื่องานถูกจัดสรร	เวลาที่เหลือในสถานีงาน	สถานีงานที่
16	0.033	0.033	1.967	1
2	1.200	1.233	0.767	1
8	0.333	1.566	0.434	1
6	0.067	1.633	0.367	1
15	1.333	**2.933**	**เกิน**	
15	1.333	1.333	0.667	2
12	0.500	1.833	0.167	2
4	0.133	1.966	0.034	2
3	0.267	**2.233**	**เกิน**	
3	0.267	0.267	1.733	3
7	0.600	0.867	1.133	3
10	0.067	0.934	1.066	3
18	0.500	1.434	0.566	3
9	0.400	1.834	0.166	3
1	0.066	1.900	0.100	3
19	0.267	**2.167**	**เกิน**	
19	0.267	0.267	1.733	4
17	0.333	0.600	1.400	4
14	0.200	0.800	1.200	4
13	0.067	0.867	1.133	4
11	0.300	1.167	0.833	4
5	0.200	1.367	0.633	4

จากสตริงคำตอบที่ 1 จะได้

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

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

มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีได้แก่

สถานีงานที่ 1 มีงาน 16, 2, 8 และ 6 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.633

สถานีงานที่ 2 มีงาน 15, 12 และ 4 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.966

สถานีงานที่ 3 มีงาน 3, 7, 10, 18, 9, และ 1 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.900

สถานีงานที่ 4 มีงาน 19, 17, 14, 13, 11 และ 5 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.367

เมื่อได้งานในแต่ละสถานีงานเรียบร้อย จะทำการคำนวณหาค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุดและความผันแปรของเวลาในสถานีงานทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด ดังนี้

กำหนดให้ m คือ สถานีงาน

SN_k คือ จำนวนการเชื่อมต่อการทำงานในสถานีงาน k

$S_{\max}$ คือ เวลารวมที่สูงที่สุดในสถานีงาน

S_k คือ เวลารวมในสถานีงาน k

1 เพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ m$$

2 เพื่อให้งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

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

3 เพื่อหาค่าต่ำสุดของค่าการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน

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

สตริงคำตอบที่ 1 จะทำให้มีค่าวัตถุประสงค์จำนวนสถานีงานเท่ากับ 4 สถานีงาน

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

ในส่วนการหาค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่ามีวิธีการคำนวณดังนี้

สถานีงานที่ 1 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 2-8, 6, 16 มีค่าเท่ากับ 3

สถานีงานที่ 2 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 12-15, 4 มีค่าเท่ากับ 2

สถานีงานที่ 3 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 3-9-10, 1-7, 18 มีค่าเท่ากับ 3

สถานีงานที่ 4 มีเครือข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีคือ 5-11-13-14-17-19 มีค่าเท่ากับ 1

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

$$f_2(x) = WR = 4 - \frac{4}{3+2+3+1}$$

$$f_2(x) = WR = 3.556$$

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อหาค่าการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน มีวิธีการคำนวณดังนี้

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

$$f_3(x) = SI = \sqrt{\frac{(1.966-1.633)^2 + (1.966-1.966)^2 + (1.966-1.9)^2 + (1.966-1.367)^2}{4}}$$

$$f_3(x) = SI = \sqrt{\frac{0.474046}{4}} = 0.3442$$

จากสตริงคำตอบที่ 1 จะได้

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

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

3.จำนวนสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีได้แก่

- สถานีงานที่ 1 มีงาน 16, 2, 8 และ 6 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.633
- สถานีงานที่ 2 มีงาน 15, 12 และ 4 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.966
- สถานีงานที่ 3 มีงาน 3, 7, 10, 18, 9, และ 1 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.900
- สถานีงานที่ 4 มีงาน 19, 17, 14, 13, 11 และ 5 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 1.367

4.ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่า 3.556

5.ค่าการกระจายภาระงานในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.3442

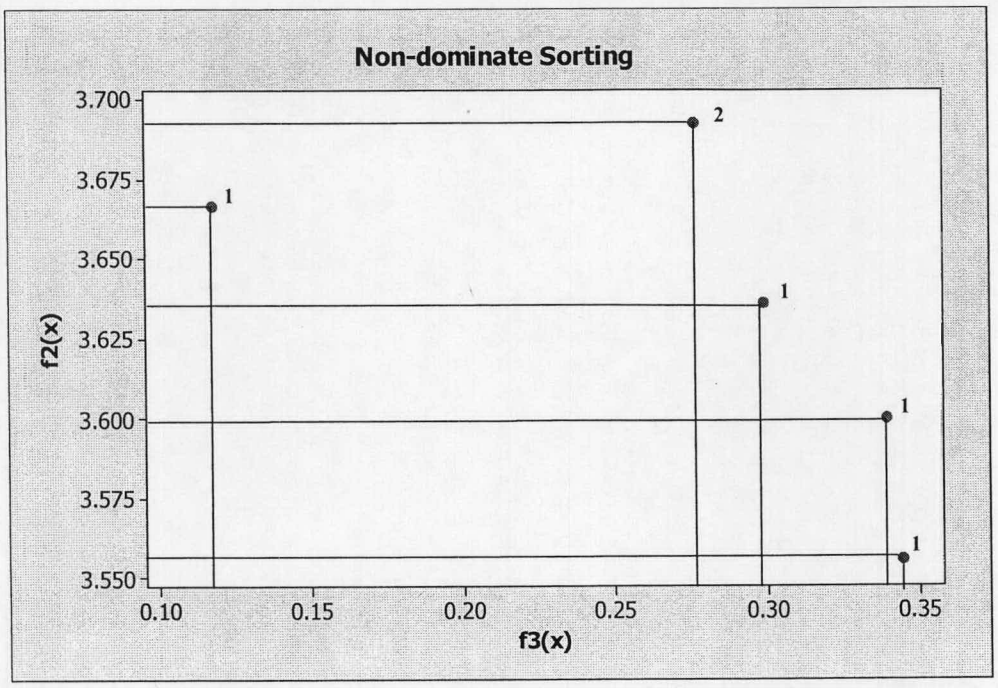
จากสตริงคำตอบทั้งหมด 5 ตัว ได้ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.55556	0.344207
2	4	3.66667	0.117734
3	4	3.69231	0.276406
4	4	3.63636	0.299056
5	4	3.60000	0.339191

หมายเหตุ วัตถุประสงค์ที่ 1 หรือจำนวนสถานีงาน สามารถคำนวณได้จากค่าในวัตถุประสงค์ที่ 2 หรือผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน โดยการปัดเศษขึ้นเป็นจำนวนจริง ตัวอย่างเช่น 3.25 แสดงว่ามีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4 สถานีงาน

ในการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness เนื่องจากค่าจำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันหมดจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ จะได้ค่าดังรูปที่ 5.15 และตารางที่ 5.8



รูปที่ 5.15 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg

ตารางที่ 5.8 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.55556	0.344207	1
2	3.66667	0.117734	1
3	3.69231	0.276406	2
4	3.63636	0.299056	1
5	3.60000	0.339191	1

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นด้วยวิธี Crowding Distance

การคำนวณจะทำหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 2 วัตถุประสงค์ ซึ่งกำหนดให้ $f_2^{\max}, f_2^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ที่มีค่าสูงสุดสุดและต่ำสุด ตามลำดับ $f_3^{\max}, f_3^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 ที่มีค่าสูงสุดสุดและต่ำสุด ตามลำดับ

ในการคำนวณหาค่า Crowding Distance จะทำการพิจารณาที่ละ Front ดังนั้นในที่นี้จะทำการพิจารณาที่ Front ที่ 1 ก่อน

จากตารางที่ 5.8 ทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 และ 3 ที่มีค่าสูงสุดและต่ำที่สุด จะมีค่าดังนี้ $f_2^{\max} = 3{,}69231$, $f_2^{\min} = 3.55556$, $f_3^{\max} = 0.344207$ และ $f_3^{\min} = 0.117734$ จากนั้นจะทำการเรียงค่าที่อยู่ใน Front ที่ 1 โดยเรียงค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จากน้อยไปหามากได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	i
1	3.55556	0.344207	1	1
5	3.60000	0.339191	1	2
4	3.63636	0.299056	1	3
2	3.66667	0.117734	1	4

จากตารางที่ 5.9 สมาชิกคำตอบที่มีลำดับที่ 1 $(i = 1)$ หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และลำดับสุดท้าย $(i = 4)$ หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด คำตอบสองคำตอบนี้จะถือว่ามีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์ (Infinity)

ส่วนลำดับที่เหลือจะทำการคำนวณหา Crowding Distance ซึ่งในที่นี้คือลำดับที่ 2 และ 3โดยคำนวณที่ลำดับที่ 2 ได้ค่าดังนี้

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

$$cd_1\left(x_{[2,2]}\right) = \left|\frac{3.63636 - 3.55556}{3.66667 - 3.55556}\right| = \left|\frac{0.0808}{0.11111}\right| = 0.72721$$

และ

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

$$cd_2\left(x_{[2,3]}\right) = \left|\frac{0.299056 - 0.344207}{0.344207 - 0.114434}\right| = \left|\frac{-0.045151}{0.229773}\right| = 0.19650$$

ลำดับที่ 2 จะมีค่า Crowding Distance เท่ากับ $0.72721 + 0.19650 = 0.9237$

คำนวณค่า Crowding Distance ที่ลำดับที่ 3 ได้ค่าดังนี้

$$cd_1(x_{[3,2]}) = \left| \frac{f_2(x_{[3+1,2]}) - f_2(x_{[3-1,2]})}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \right|$$

$$cd_1(x_{[3,2]}) = \left| \frac{3.66667 - 3.60000}{3.66667 - 3.55556} \right| = \left| \frac{0.06667}{0.11111} \right| = 0.60000$$

และ

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

$$cd_2(x_{[3,3]}) = \left| \frac{0.117734 - 0.339191}{0.344207 - 0.114434} \right| = \left| \frac{-0.22145}{0.229773} \right| = 0.96377$$

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับที่ 3 จะมีค่า Crowding Distance เท่ากับ $0.60000 + 0.96377 = 1.5637$

ในส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 2 มีค่าเดียวจึงกำหนดให้มีค่าเป็น อนันต์ (infinity) ได้เลย ดังนั้นค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว มีค่าดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.55556	0.344207	1	infinity
2	3.66667	0.117734	1	infinity
3	3.69231	0.276406	2	infinity
4	3.63636	0.299056	1	1.5637
5	3.60000	0.339191	1	0.9237

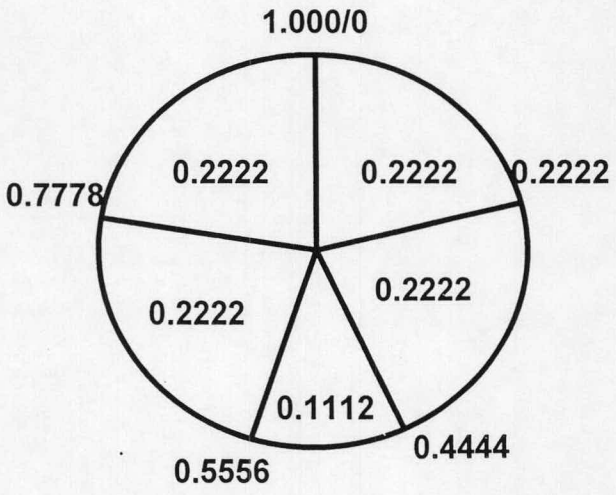
คัดเลือกคำตอบที่จะเข้าไปทำการค้นหาเฉพาะที่จากการใช้ binary tournament selection จากการหารค่า Fitness Value ที่ได้จากการหา Non-dominated Sorting โดยทำการสลับค่าให้ค่าจากค่า Dummy Fitness จาก ค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า pi และ qi ซึ่งค่า qi คือค่า pi สะสม จากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็นค่าเท่ากับ 2 และทำการหาค่า $p_1 = 2/9 = 0.2222$ ดังตารางที่ 5.11-5.12 และรูปที่ 5.16

ตารางที่ 5.11 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

String No	WR	SI	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.55556	0.344207	1	2	infinity
2	3.66667	0.117734	1	2	infinity
3	3.69231	0.276406	2	1	infinity
4	3.63636	0.299056	1	2	1.5637
5	3.60000	0.339191	1	2	0.9237

ตารางที่ 5.12 การสร้างวงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

String No	แปลง Fitness	*pi*	*qi*
1	2	0.2222	0.2222
2	2	0.2222	0.4444
3	1	0.1112	0.5556
4	2	0.2222	0.7778
5	2	0.2222	1
รวม	9	1	



รูปที่ 5.16 วงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่า P_{LS} ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $P_{LS} = 0.4$ ดังนั้นสตริงที่จะถูกทำการค้นหาเฉพาะที่ จึงจะมีประมาณ 40% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.4 \times 5 = 2$ ตัว

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 2 ตัวคือ สตริงหมายเลข 1 2 แสดงได้ดังตารางที่ 5.13 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงหมายเลข 1 และ 2 ตามลำดับเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5.13 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				N0_String
	r_1	$q_i > r_1$	String	Fitness	r_2	$q_i > r_2$	String	Fitness	Selected
1	0.0707	0.2222	1	2	0.0119	0.2222	1	2	1
2	0.2272	0.4444	2	2	0.5163	0.5556	3	1	2

ตารางที่ 5.14 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

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

นำสตริงคำตอบที่จะทำการค้นหาเฉพาะที่ 2 ตัว ทำการเปลี่ยนเป็นค่าลำดับขั้นงานเพื่อทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ ซึ่งจะมีค่าในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.55556	0.344207
2	4	3.66667	0.117734

สตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกจะทำการค้นหาเฉพาะที่วิธี 2-opt โดยพิจารณาจากสตริงตัวหนึ่งก่อน ทำการสุ่มตำแหน่งสองตำแหน่งเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งกัน สมมติสุ่มได้ตำแหน่ง [3,8] ในสตริงที่ 1 จะมีเลขสิทธิในการเลือกงานคือ 12 ,13,1,15,11และ 19 ทำการสลับเปลี่ยนกันกลายเป็น 19,11,15,1,13 และ 12 ดังรูปที่ 5.17

Before Local Search 2-Opt

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

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

After Local Search 2-Opt

รูปที่ 5.17 การทำการค้นหาเฉพาะก่อนทำการคัดเลือกวิธี 2-Opt

หลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่ จะทำการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับขั้นงาน (Task Sequence) เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และทำการเปรียบเทียบค่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ว่าตรงตามกฎการยอมรับ

$$\text{Task Sequence} = [3\ 16\ 2\ 5\ 15\ 12\ 7\ 8\ 4\ 10\ 11\ 18\ 9\ 14\ 1\ 19\ 17\ 13\ 6]$$

ตารางที่ 5.16 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
ก่อนทำ	4	3.55556	0.3442
หลังทำ	4	3.66667	0.2953

ในงานวิจัยนี้ใช้ 4 กฎในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเฉพาะที่ เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับ $(accept(S,S'))$ ว่าคำตอบที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนี้ (Lacomme และ Prins และ Sevaux ,2005)

ตารางที่ 5.17 หลักการยอมรับ (Acceptance Rule)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1 \cdot (f_1(S') - f_1(S)) + (1 - w_1) \cdot (f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

จากตารางที่ 5.17 สตริงคำตอบที่ 1 ที่ทำการเลือกมาหลังการทำค้นหาเฉพาะที่วิธี 2-Opt ก่อนทำการคัดเลือก เมื่อพิจารณาจากกฎการยอมรับที่ 1 พบว่าปฏิเสธ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หลังทำการปรับปรุง คำตอบที่ได้มีค่าที่ไม่ดีกว่าเดิม $(3.66667 - 3.55556 = 0.11111 > 0)$ แต่เมื่อทำการพิจารณาในกฎการยอมรับที่ 2 $(0.2953 - 0.3442 = -0.0489 < 0)$ พบว่ายอมรับสตริงคำตอบหลังทำการปรับปรุงคำตอบเป็นคำตอบที่ดีขึ้นกว่าสตริงคำตอบเดิม สตริงคำตอบที่ได้รับการทำการค้นหาเฉพาะที่ทั้ง 2 ตัว ที่ทำให้คำตอบยอมรับตามกฎการยอมรับทั้งสี่ข้อ ในตารางที่ซึ่งลำดับขั้นงานหลังทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ คือ

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

ตารางที่ 5.18 สตริงคำตอบที่ดีหลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

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

ตารางที่ 5.19 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.55556	0.3442
	หลังทำ	4	3.66667	0.2953
2	ก่อนทำ	4	3.66667	0.1177
	หลังทำ	4	3.5556	0.2954

5.7.4 การประเมิณ

สตริงคำตอบหลังการทำค้นหาเฉพาะที่จะมารวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้นทั้งหมด จำนวน 7 ตัว เพื่อมาทำการเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงเข้าสู่การผสมพันธุ์ (Mating Pool)

String Priority 1 = [4 17 12 13 1 15 11 19 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]
String Priority 2 = [10 7 14 13 2 6 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]
String Priority 3 = [19 11 4 14 13 5 12 10 1 9 6 18 8 7 16 2 3 15 17]
String Priority 4 = [14 11 4 9 18 17 13 10 6 1 5 8 15 2 16 19 7 12 3]
String Priority 5 = [16 14 718 1 15 5 10 13 11 6 19 9 17 3 4 8 12 2]
String Priority 6 = [4 17 19 11 15 1 13 12 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]
String Priority 7 = [10 7 6 2 13 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]

ตารางที่ 5.20 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

สตริงคำตอบที่	สถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.5556	0.3442
2	4	3.6667	0.1177
3	4	3.6923	0.2764
4	4	3.6364	0.2991
5	4	3.6	0.3392
6	4	3.66667	0.2953
7	4	3.5556	0.2954

5.7.5 กำหนดค่าความแข็งแรงของประชากรคำตอบ

จากสตริงคำตอบทั้ง 7 ตัวทำการแปลงเป็นลำดับขั้นงานและทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงสูงเท่ากับจำนวน *popsize* = 5 ตัว

ตารางที่ 5.21 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงหลังการทำค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness
7	3.5556	0.2954	1
6	3.6667	0.2953	1
2	3.6667	0.1177	1
1	3.5556	0.3442	2
5	3.6	0.3392	2
4	3.6364	0.2991	2
3	3.6923	0.2764	2

5.7.6 กำหนดความหนาแน่นของประชากรคำตอบ

หลังจากกำหนดค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบเรียบร้อยแล้ว จะทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่น เพื่อใช้เปรียบเทียบสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงเท่ากัน

ตารางที่ 5.22 ค่า Crowding Distance หลังการทำค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
7	3.5556	0.2954	1	Infinity
6	3.6667	0.2953	1	2
2	3.6667	0.1177	1	Infinity
1	3.5556	0.3442	2	Infinity
5	3.6	0.3392	2	1.2563
4	3.6364	0.2991	2	1.6015
3	3.6923	0.2764	2	Infinity

จากตารางที่ 5.22 พบว่าสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 มี 3 สตริงคำตอบ จึงทำการเลือกสตริงคำตอบที่เหลือสองตัวจากค่าความแข็งแรงเท่ากับ 2 ในตัวอย่างนี้

พบว่าสตริงคำตอบที่ 1และ 3 มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงและค่า Crowding Distance เท่ากันมากสุด ดังนั้นสตริงคำตอบที่จะผ่านเข้าสู่การผสมพันธุ์คือ

5.7.7 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

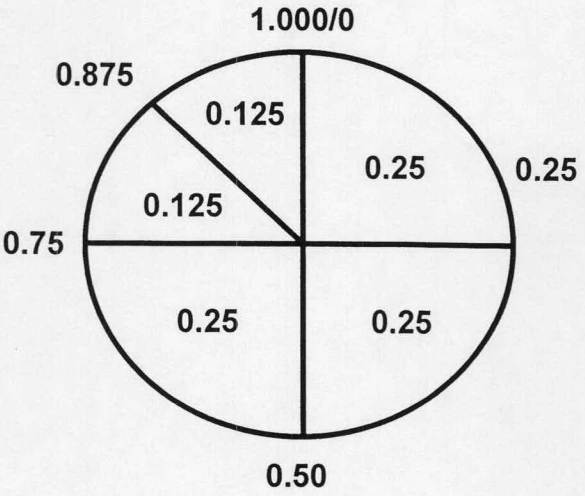
การคัดเลือกคำตอบรุ่นพ่อแม่จากการใช้ Binary tournament selection จากการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการหา Non-dominated Sorting โดยทำการสลับค่าให้ค่าจากค่า Dummy Fitness จาก ค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า pi และ qi ซึ่งค่า qi คือค่า pi สะสม จากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็นค่าเท่ากับ 2 และทำการหาค่า $p_1 = 2/9 = 0.2222$ ดังตารางที่ 5.23-5.24 และรูปที่ 5.18

ตารางที่ 5.23 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ก่อนทำการผสมพันธุ์

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Fitness	แปลงค่า Fitness	Crowding Distance
1	3.5556	0.2954	1	2	Infinity
2	3.6667	0.2953	1	2	2
3	3.6667	0.1177	1	2	Infinity
4	3.5556	0.3442	2	1	Infinity
5	3.6923	0.2764	2	1	Infinity

ตารางที่ 5.24 การสร้างวงล้อรูเล็ตก่อนทำการผสมพันธุ์

String No	แปลง Fitness	pi	qi
1	2	0.25	0.25
2	2	0.25	0.50
3	2	0.25	0.75
4	1	0.125	0.875
5	1	0.125	1
รวม	8	1	



รูปที่ 5.18 วงล้อรูเล็ตก่อนทำการผสมพันธุ์

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัวคือ สตริงหมายเลข 3 1 4 3 1 แสดงได้ดังตารางที่ 5.25 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงหมายเลข 1-5 ตามลำดับเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5.25 วิธี Binary Tournament Selection ก่อนทำการผสมพันธุ์

No.	Population 1				Population 2				N0_String
	r_1	$q_i > r_1$	String	Fitness	r_2	$q_i > r_2$	String	Fitness	Selected
1	0.9834	1	5	1	0.7453	0.75	3	2	3
2	0.0912	0.25	1	2	0.2398	0.25	1	2	1
3	0.7563	0.875	4	1	0.9245	1	5	1	4*
4	0.6432	0.75	3	2	0.7951	0.875	4	1	3
5	0.0743	0.25	1	2	0.4378	0.50	2	2	1**

*หมายเหตุ สตริงคำตอบที่ 4 และ 5 มีค่า Fitness ที่มีการแปลงค่าและ Crowding Distance ที่เท่ากัน จะเลือกสตริงคำตอบโดยวิธีสุ่มเลือก

**หมายเหตุ สตริงคำตอบที่ 1 และ 2 มีค่า Fitness ที่มีการแปลงค่าเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นจะพิจารณาเลือกสตริงที่มีค่า Crowding Distance ในที่นี้คือสตริงคำตอบที่ 1 มีค่ามากกว่าสตริงคำตอบที่ 2

5.7.8 การครอสโอเวอร์

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่าค่า Pc ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $Pc = 0.8$ ดังนั้นสตริงที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 80% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.8 \times 5 = 4$ ตัว การสุ่มเลือกสตริงคำตอบแสดงได้ดังตารางที่ 5.26

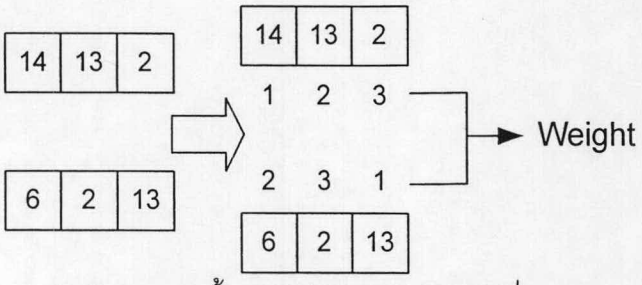
ตารางที่ 5.26 สตริงคำตอบที่จะทำการเลือกทำการครอสโอเวอร์

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.8$
1	[10 7 14 13 2 6 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]	0.235	Selected
2	[10 7 6 2 13 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]	0.012	Selected
3	[4 17 12 13 1 15 11 19 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]	0.756	Selected
4	[10 7 14 13 2 6 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]	0.702	Selected
5	[10 7 6 2 13 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]	0.957	-

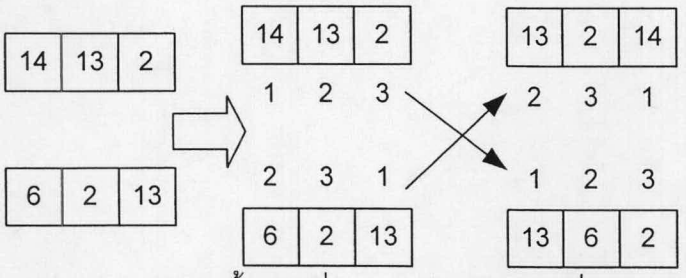
จะได้สตริงตอบที่จะนำไปครอสโอเวอร์ คือสตริงหมายเลข 1 2 3 4 ซึ่งสามารถจับคู่ได้เป็น 1-2 หรือ 3-4 นำสตริงคู่แรกไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ 3 ถึง 5

$$\text{parent}\,1 = [10\ 7 | 14\ 13\ 2 | 6\ 3\ 1\ 8\ 9\ 18\ 4\ 11\ 15\ 5\ 12\ 16\ 19\ 17]$$
$$\text{parent}\,2 = [10\ 7 | 6\ 2\ 13 | 14\ 3\ 1\ 8\ 9\ 18\ 4\ 11\ 15\ 5\ 12\ 16\ 19\ 17]$$

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง[3,5]ให้แก่สตริงพ่อแม่(Parent) ได้ดังรูปที่ 5.19



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงพ่อแม่คู่ที่ 1 และ 2



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมในสตริงคำตอบที่ 1,2

รูปที่ 5.19 การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 1,2

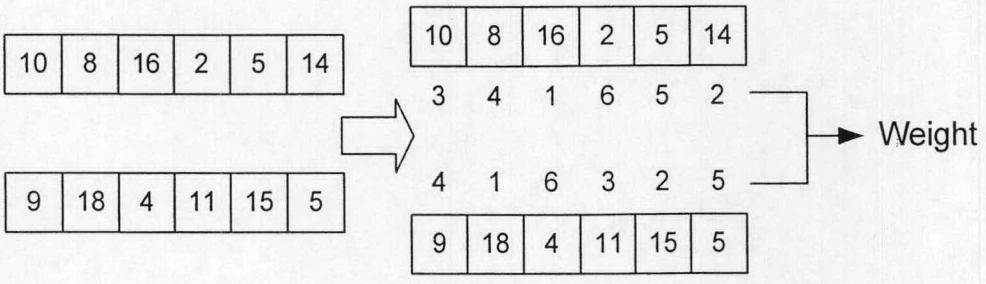
จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก(Offspring) หลังจากการทำครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover (WMX) คือ

$$\text{offspring}\,1 = [10\ 7 | 13\ 2\ 14 | 6\ 3\ 1\ 8\ 9\ 18\ 4\ 11\ 15\ 5\ 12\ 16\ 19\ 17]$$
$$\text{offspring}2 = [10\ 7 | 13\ 6\ 2 | 14\ 3\ 1\ 8\ 9\ 18\ 4\ 11\ 15\ 5\ 12\ 16\ 19\ 17]$$

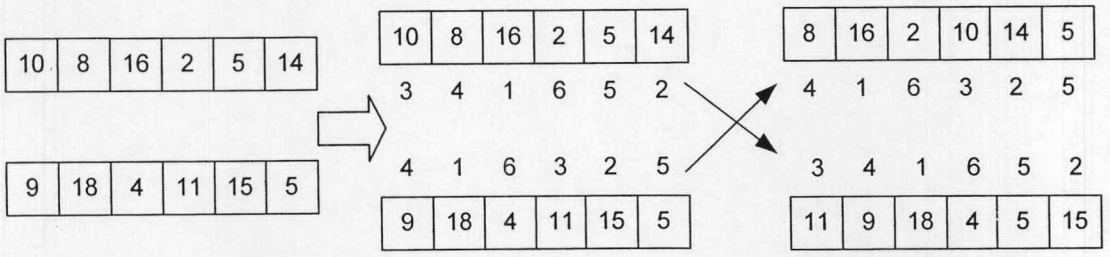
สตริงคำตอบที่ 3 และ 4 ไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ที่ตำแหน่ง 10 และ 15

$$\text{parent}\,3 = [4\ 17\ 12\ 13\ 1\ 15\ 11\ 19\ 6 | 10\ 8\ 16\ 2\ 5\ 14 | 18\ 9\ 7\ 3]$$
$$\text{parent}\,4 = [10\ 7\ 14\ 13\ 2\ 6\ 3\ 1\ 8 | 9\ 18\ 4\ 11\ 15\ 5 | 12\ 16\ 19\ 17]$$

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง[10,15]ให้แก่สตริงพ่อแม่(Parent) ได้ดังรูปที่ 5.20



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงพ่อแม่ที่ 3และ 4



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมในสตริงคำตอบที่ 3,4

รูปที่ 5.20 การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 3,4

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก(Offspring) หลังจากการทำครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover (WMX) คือ

$$\text{offspring } 3 = [4\ 17\ 12\ 13\ 1\ 15\ 11\ 19\ 6 | 8\ 16\ 2\ 10\ 14\ 5 | 18\ 9\ 7\ 3]$$
$$\text{offspring } 4 = [10\ 7\ 14\ 13\ 2\ 6\ 3\ 1\ 8 | 11\ 9\ 18\ 4\ 5\ 15 | 12\ 16\ 19\ 17]$$

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากหลังการทำครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงานทำให้ไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ สตริงที่ได้จากการทำครอสโอเวอร์จะถูกนำไปทำการมิวเตชั่น

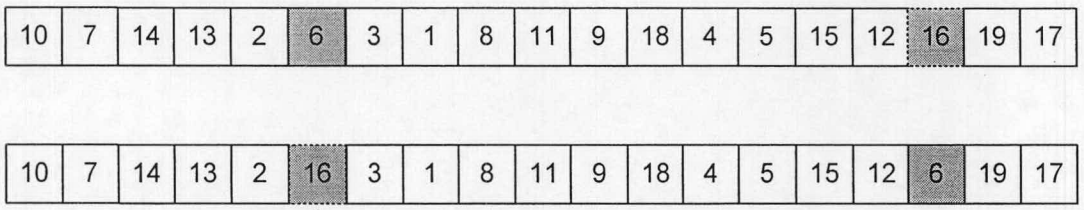
5.7.9 การมิวเตชั่น

ในที่นี้กำหนดให้ $Pm = 0.2$ ซึ่งทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าน่าจะมีสตริงคำตอบ 20% หรือ $0.2 \times 5 = 1$ ตัว ที่จะถูกมิวเตชั่น สตริงตัวนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ให้กับสตริงแต่ละตัว แล้วถ้าตัวใดที่ r น้อยกว่า Pm ก็จะถูกนำไปมิวเตชั่น ดังตารางที่ 5.27

ตารางที่ 5.27 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการมิวเตชั่น

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.2$
1	[10 7 13 2 14 6 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]	0.489	-
2	[10 7 13 6 2 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]	0.557	-
3	[4 17 12 13 1 15 11 19 6 8 16 2 10 14 5 18 9 7 3]	0.821	-
4	[10 7 14 13 2 6 3 1 8 11 9 18 4 5 15 12 16 19 17]	0.052	Selected
5	[4 17 12 13 1 15 11 19 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]	0.957	-

สตริงคำตอบตัวที่ 4 เป็นสตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้ทำการมิวเตชั่น โดยใช้วิธี Reciprocal Exchange Mutation เป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการทำการสุ่มตัว 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน สมมติสุ่มได้เลข 6 และ 17 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง



รูปที่ 5.21 วิธี Reciprocal Exchange Mutation

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว หลังการทำมิวเตชั่นเพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น เพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 5.28 สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชั่น

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

ตารางที่ 5.33 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชั่น

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.7143	0.3447
2	4	3.75	0.1779

สตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกจะทำการค้นหาเฉพาะที่วิธี 2-opt โดยพิจารณาจากสตริงตัวหนึ่งก่อน ทำการสุ่มตำแหน่งสองตำแหน่งเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งกัน สมมติสุ่มได้ตำแหน่ง [10, 13] ในสตริงที่ 1 จะมีเลขสิทธิในการเลือกงานคือ 10 กับ 2 ทำการสลับแลกเปลี่ยนกันเป็น 10 กับ2 และสลับเลขในตำแหน่งที่เหลือ ดังรูปที่ 5.23

Before Local Search 2-Opt

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

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

After Local Search 2-Opt

รูปที่ 5.23 การทำการค้นหาเฉพาะก่อนทำการคัดเลือกวิธี 2-Opt หลังมิวเตชั่น

หลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่ จะทำการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับขั้นงาน (Task Sequence) เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และทำการเปรียบเทียบค่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ว่าตรงตามกฎการยอมรับ

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

ตารางที่ 5.34 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชั่น

ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
ก่อนทำ	4	3.7143	0.3447
หลังทำ	4	3.6667	0.3375

5.7.10 การค้นหาเฉพาะที่หลังการทำมิวเตชั่น

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่า P_{LS} ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $P_{LS} = 0.4$ ดังนั้นสตริงที่จะถูกทำการค้นหาเฉพาะที่ จึงจะมีประมาณ 40% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.4 \times 5 = 2$ ตัว

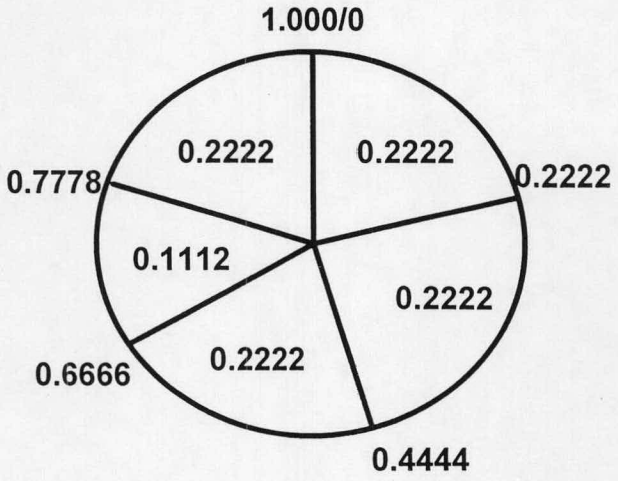
จากสตริงคำตอบที่ได้หลังการทำมิวเตชั่นจะนำมาเปลี่ยนสตริงคำตอบเป็นลำดับขั้นงานเพื่อคำนวณหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และทำการหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) กับความหนาแน่นของสตริงคำตอบแบบ Crowding Distance

ตารางที่ 5.29 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชั่น

String No	WR	SI	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.7333	0.193	1	2	1.1592
2	3.75	0.1779	1	2	infinity
3	3.6667	0.4062	1	2	infinity
4	4.6667	0.6184	2	1	infinity
5	3.7143	0.3447	1	2	1.7334

ตารางที่ 5.30 การสร้างวงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชั่น

String No	แปลง Fitness	*pi*	*qi*
1	2	0.2222	0.2222
2	2	0.2222	0.4444
3	2	0.2222	0.6666
4	1	0.1112	0.7778
5	2	0.2222	1
รวม	9	1	



รูปที่ 5.22 วงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชั่น

การสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้วิธี Binary Tournament Selection เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่า ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 2 ตัวคือ สตริงหมายเลข 5 และ 2 แสดงได้ดังตารางที่ 5.31 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 และ 2 ตามลำดับเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5.31 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				N0_String
	r_1	$q_i > r_1$	String	Fitness	r_2	$q_i > r_2$	String	Fitness	Selected
1	0.8567	1	5	3	0.4187	0.6666	3	3	5
2	0.0371	0.2222	1	1	0.2344	0.4444	2	3	2

ตารางที่ 5.32 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชั่น

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

นำสตริงคำตอบที่จะทำการค้นหาเฉพาะที่ 2 ตัว ทำการเปลี่ยนเป็นค่าลำดับขั้นงานเพื่อทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ ซึ่งจะมีค่าในตารางที่ 5.33

ในงานวิจัยนี้ใช้ 4 กฎในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเฉพาะที่ เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับ $(accept(S,S'))$ ว่าคำตอบที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนี้ (Lacomme และ Prins และ Sevaux ,2005)

ตารางที่ 5.35 หลักการยอมรับ (Acceptance Rule) หลังมิวเตชั่น

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1 \cdot (f_1(S') - f_1(S)) + (1-w_1) \cdot (f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

จากตารางที่ 5.35 สตริงคำตอบที่ 1 ที่ทำการเลือกมาหลังการทำค้นหาเฉพาะที่วิธี 2-Opt ก่อนทำการคัดเลือก เมื่อพิจารณาจากกฎการยอมรับที่ 1 พบว่ายอมรับ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หลังทำการปรับปรุง คำตอบที่ได้มีค่าที่ดีกว่าเดิม $(3.66667 - 3.7143 = -0.0476 > 0)$ สตริงคำตอบที่ได้รับการทำการค้นหาเฉพาะที่ทั้ง 2 ตัว ที่ทำให้คำตอบยอมรับตามกฎการยอมรับทั้งสี่ข้อ ในตารางที่ ซึ่งลำดับขั้นงานหลังทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ คือ

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

ตารางที่ 5.36 สตริงคำตอบที่ดีหลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชั่น

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

ตารางที่ 5.37 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.7143	0.3447
	หลังทำ	4	3.6667	0.3375
2	ก่อนทำ	4	3.75	0.1779
	หลังทำ	4	3.6364	0.3064

สตริงคำตอบหลังการทำค้นหาเฉพาะที่จะมารวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้นทั้งหมด จำนวน 7 ตัว เพื่อมาทำการเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรง

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

ตารางที่ 5.38 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

สตริงคำตอบที่	สถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.7333	0.193
2	4	3.75	0.1779
3	4	3.6667	0.4062
4	5	4.6667	0.6184
5	4	3.7143	0.3447
6	4	3.6667	0.3375
7	4	3.6364	0.3064

จากสตริงคำตอบทั้ง 7 ตัวทำการแปลงเป็นลำดับขั้นงานและทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงสูงเท่ากับจำนวน $popsize = 5$ ตัว

ตารางที่ 5.39 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงหลังการทำค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชั่น

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness
7	3.6364	0.3064	1
1	3.7333	0.193	1
2	3.75	0.1779	1
6	3.6667	0.3375	2
3	3.6667	0.4062	3
5	3.7143	0.3447	3
4	4.6667	0.6184	4

หลังจากกำหนดค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบเรียบร้อยแล้ว จะทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่น เพื่อใช้เปรียบเทียบสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงเท่ากัน

ตารางที่ 5.40 ค่า Crowding Distance หลังการทำค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
7	3.6364	0.3064	1	Infinity
1	3.7333	0.193	1	2
2	3.75	0.1779	1	Infinity
6	3.6667	0.3375	2	Infinity
3	3.6667	0.4062	3	Infinity
5	3.7143	0.3447	3	Infinity
4	4.6667	0.6184	4	Infinity

จากตารางที่ 5.40 พบว่าสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1และ 2 มี 4 สตริงคำตอบ จึงทำการเลือกสตริงคำตอบที่เหลือสองตัวจากค่าความแข็งแรงเท่ากับ 3 ในตัวอย่างนี้พบว่าสตริงคำตอบที่ 3 และ 5 มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงและค่า Crowding Distance เท่ากัน จึงทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ สมมติสุ่มเลือกได้ สตริงคำตอบที่ 3 ดังนั้นสตริงคำตอบที่จะผ่านเข้าสู่การผสมพันธุ์คือ

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

5.7.11 รวมสตริงคำตอบ

จากสตริงคำตอบเริ่มต้น (P) และสตริงคำตอบรุ่นลูก (Q) จะนำมาทำการรวมกันและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดเท่ากับจำนวนสตริงคำตอบเริ่มต้น ในที่นี้จะทำการเก็บสตริงคำตอบไว้จำนวนเท่ากับ 5 ตัว

ตารางที่ 5.41 การรวมสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดวิธี M-NSGAII

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[10 7 6 2 13 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]
	2	[4 17 19 11 15 1 13 12 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]
	3	[10 7 14 13 2 6 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]
	4	[4 17 12 13 1 15 11 19 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]
	5	[19 11 4 14 13 5 12 10 1 9 6 18 8 7 16 2 3 15 17]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[10 7 2 6 13 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]
	7	[10 7 13 2 14 6 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]
	8	[10 7 13 6 2 14 3 1 8 9 18 4 11 15 5 12 16 19 17]
	9	[4 17 12 13 1 15 11 19 6 2 16 8 10 5 14 18 9 7 3]
	10	[4 17 12 13 1 15 11 19 6 8 16 2 10 14 5 18 9 7 3]

5.7.12 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่ได้จะทำการรวมกันแล้ว จะนำไปคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์จึงต้องการแปลงค่าสตริงคำตอบทั้ง 10 คำตอบ ให้เป็นลำดับของขั้นงานให้เรียบร้อยก่อน ได้ค่าดังตารางที่ 5.42

ตารางที่ 5.42 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดวิธี M-NSGAII

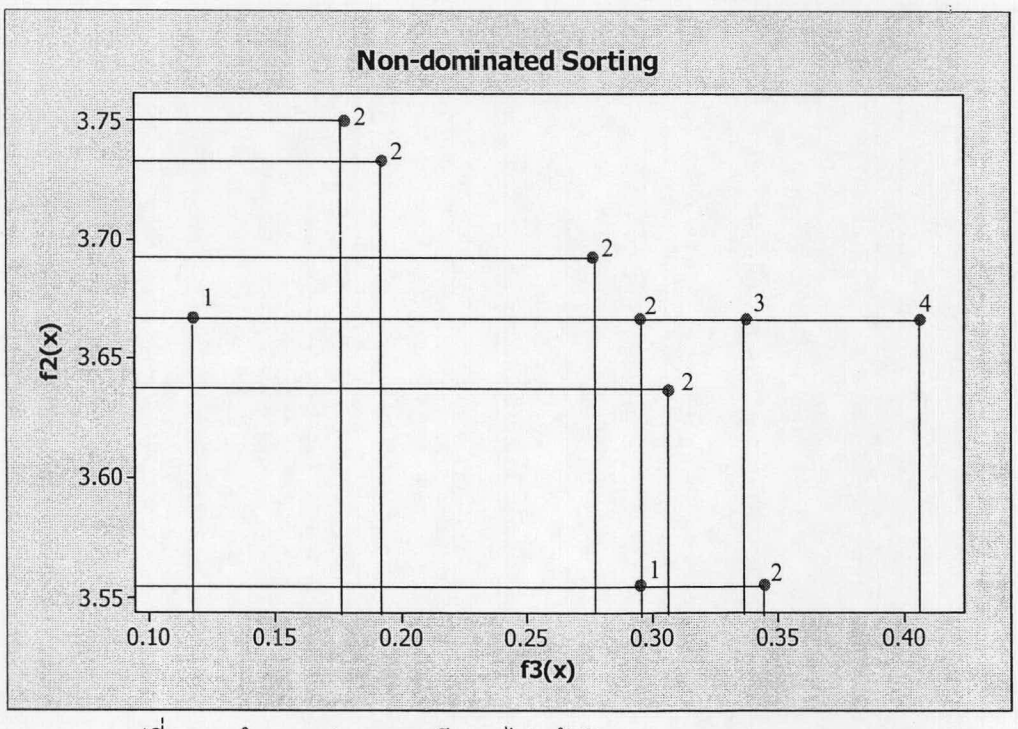
ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	Task Sequence
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[18 19 17 14 6 5 16 13 11 1 10 2 3 9 15 12 7 4 8]
	2	[16 2 8 6 15 12 4 3 7 10 18 9 1 19 17 14 13 11 5]
	3	[18 19 17 14 3 4 16 13 11 1 10 2 9 6 15 12 7 5 8]
	4	[3 16 2 5 15 12 7 8 4 10 11 18 9 14 1 19 17 13 6]
	5	[1 19 15 12 18 4 5 7 2 8 10 14 11 13 6 3 17 16 9]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[18 19 17 14 6 5 16 13 11 1 10 2 4 15 9 12 7 3 8]
	7	[18 19 17 14 5 3 16 13 11 1 10 2 9 6 15 12 7 4 8]
	8	[18 19 17 14 6 3 16 13 11 1 10 2 9 4 15 12 7 5 8]
	9	[16 2 8 6 15 4 3 12 7 18 9 1 19 17 13 14 11 10 5]
	10	[16 2 8 6 4 3 10 18 9 15 1 7 19 14 17 13 11 12 5]

จากลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน จะนำมาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 5.43

ตารางที่ 5.43 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน
1	4	3.5556	0.2954
2	4	3.5556	0.3442
3	4	3.6667	0.1177
4	4	3.6667	0.2953
5	4	3.6923	0.2764
6	4	3.6364	0.3064
7	4	3.7333	0.1930
8	4	3.7500	0.1779
9	4	3.6667	0.3375
10	4	3.6667	0.4062

ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง และทำการคำนวณ Crowding Distance ได้ดังรูป 5.24 และตารางที่ 5.44



รูปที่ 5.24 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value)
ของสตริงคำตอบรวมกันวิธี M-NSGAII

ตารางที่ 5.44 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และค่า Crowding Distance วิธี M-NSGAII

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.5556	0.2954	1	Infinity
2	3.5556	0.3442	2	Infinity
3	3.6667	0.1177	1	Infinity
4	3.6667	0.2953	2	0.4679
5	3.6923	0.2764	2	0.9577
6	3.6364	0.3064	2	0.8655
7	3.7333	0.193	2	0.8891
8	3.75	0.1779	2	Infinity
9	3.6667	0.3375	3	Infinity
10	3.6667	0.4062	4	Infinity

ทำการเรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และภายใน Front ทำการเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance ได้ดังตารางที่ 5.45

ตารางที่ 5.45 เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงาน	กระจายภาระงานในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.5556	0.2954	1	Infinity
3	3.6667	0.1177	1	Infinity
2	3.5556	0.3442	2	Infinity
8	3.75	0.1779	2	Infinity
5	3.6923	0.2764	2	0.9577
7	3.7333	0.193	2	0.8891
6	3.6364	0.3064	2	0.8655
4	3.6667	0.2953	2	0.4679
9	3.6667	0.3375	3	Infinity
10	3.6667	0.4062	4	Infinity

เมื่อคำการจัดเรียงเสร็จแล้ว จะทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบ จะทำการพิจารณาทีละ Front จากน้อยไปมาก ในที่นี้สตริงคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 มีทั้งหมด 2 สตริงคำตอบจึงทำการเก็บทั้งหมดทำให้เหลือ 3 สตริงคำตอบที่จะทำการเก็บ และเมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 2 จำนวนสตริงคำตอบเกินสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บ ดังนั้น จึงต้องทำการเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Crowding Distance มากที่สุดใน Front นั้น ซึ่งในที่นี้พบว่ามีสตริงที่มีค่า Crowding Distance ใน Front ที่ 2 จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกทั้งหมด คือ สตริงคำตอบที่ 1,3,2,8 และ5ที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป

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

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

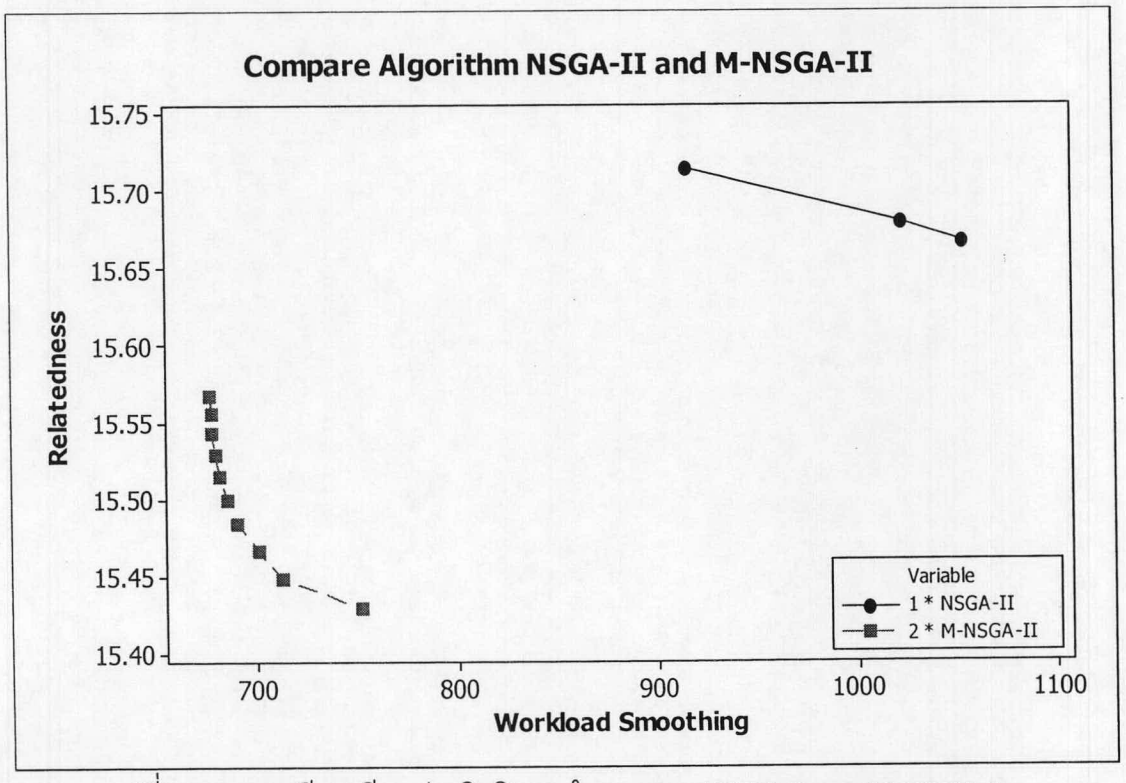
String Priority 3 = [4 17 19 11 15 1 13 12 6 10 8 16 2 5 14 18 9 7 3]

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

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

5.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของอัลกอริทึม

วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่ถือว่ามีประสิทธิภาพในด้านคำตอบ เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมที่มีลักษณะประชากรเริ่มต้นที่เหมือนกันและมีพารามิเตอร์ลักษณะเดียวกันทุกประการเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบทั้งสองอัลกอริทึมดังรูปที่ 5.25 พบว่าวิธีการเมมเมติกอัลกอริทึมมีคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดและคำตอบมีความหลากหลายมากกว่าวิธีเจนนาติกอัลกอริทึม



รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของ NSGA-II และ M-NSGA-II

5.9 สรุปท้ายบท

เนื้อหาที่ได้กล่าวในบทนี้ จะเป็นการอธิบายถึงฮิวริสติกการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งการค้นหาเฉพาะที่(Local Search) หรือ Hill Climbing เป็นฮิวริสติกพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัด โดยการค้นหาเฉพาะที่ คือวิธีการทำซ้ำอย่างง่าย เพื่อประมาณหาคำตอบที่ดี มีแนวคิดมาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) การเริ่มต้นการค้นหาเฉพาะที่จะทำการสุ่มเลือกสมาชิกคำตอบเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งเดิมไปสู่ตำแหน่งอื่น ๆ จุดประสงค์เพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีกว่าเดิม

วิธีในการค้นหาเฉพาะที่ได้มีการมาใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย มีหลายวิธีแตกต่างกันไปขึ้นอยู่แต่ละสถานการณ์ของปัญหาที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีที่เหมาะสมส่งผลต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาอีกด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่ มาใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 4 วิธีจากทั้งหมด 7 วิธี (Gupta, Hennig และ Werner, 2002) และ Kumar and Singh (2007) คือวิธี 2-Opt 3-Opt Pairwise Interchange (PI) และ Insertion Procedure (IP)

กฎการยอมรับ (Acceptance Rule) เป็นกฎที่ใช้ในการตัดสินว่าคำตอบที่ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่นั้นเป็นคำตอบที่ดีหรือแย่กว่าคำตอบเดิม และเป็นกฎเดียวกันกับการพิจารณาคำตอบหลังการดำเนินการทางพันธุกรรม โดยในงานวิจัยนี้ใช้ 4 กฎในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเฉพาะที่ เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับ $(accept(S,S'))$ ว่าคำตอบที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนี้ (Lacomme และ Prins และ Sevaux, 2005)

ตารางที่ 5.46 หลักการยอมรับ (Acceptance Rule) ในการตัดสินว่าคำตอบที่ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1 \cdot (f_1(S') - f_1(S)) + (1 - w_1) \cdot (f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในเรื่องคุณภาพคำตอบที่ดีที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ และเกี่ยวข้องโดยตรงกับเวลาในการคำนวณ(Ishibuchi, Yoshida และ Murata, 2003) วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือวิธีการค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก (First improvement)

เมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithms: MAs) คือฮิวริสติกแบบเฟ้นสุ่มที่ใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Stochastic Global Search Heuristics) โดยที่มีพื้นฐานวิธีการจากการรวมกันของเอลโวลูชั่นนารี่อัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่ (Local Search Procedure) เข้าร่วมกัน

การใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรมใน MAs จะมีความแตกต่างกับ GAs โดยในขั้นตอนของ GAs จะใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรมอย่างครอสโอเวอร์และมิวเทชั่นเพียงอย่างเดียวแต่ใน MAs นี้จะ

มีการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่เพื่อการปรับปรุงคำตอบก่อนหรือหลังการดำเนินการ ส่วนใหญ่แล้วคำตอบที่ได้ในขั้นตอนนี้จะเป็นคำตอบใหม่เฉพาะที่ที่ดีที่สุด และกระบวนการสร้างประชากรรุ่นใหม่นี้จะกระทำจนกระทั้งครบจำนวนเจนเนเรชั่นสูงสุดที่กำหนดไว้ก่อนล่วงหน้า

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ซึ่งถือเป็นวิธีการที่เป็นที่ยอมรับในประสิทธิภาพของคำตอบที่หา มาประยุกต์ใช้รวมกับกระบวนการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่บริเวณหลังการสร้างประชากรและหลังกระบวนการมิวเตชั่น โดยจะเรียกวิธีการนี้ว่าเมมมาติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II) และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบของ NSGA-II และ M-NSGA-II ที่พารามิเตอร์และปัญหาการทดลองเดียวกัน พบว่าวิธีการ M-NSGA-II เป็นวิธีการที่ทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าอัลกอริทึม NSGA-II