บทที่ 5

วิธีการแก้ปัญหา

ในบทนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอในส่วนของรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยของแบบจำลองการแบ่งเซ็ตที่กล่าวถึงในบทที่แล้ว ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนารูปแบบการแก้ปัญหาใน 2 วิธีด้วยกัน คือ วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Solution Method) และวิธีฮิวริสติค (Heuristic Method)

5.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนี้จำเป็นต้องใช้ซอฟแวร์การหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimization Software) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งมีผู้ผลิตซอฟท์แวร์ประเภทนี้ในเชิงพาณิชย์อยู่หลายราย เช่น ILOG CPLEX เป็นต้น โดยการใช้งานซอฟท์แวร์ประเภทนี้สามารถทำได้ผ่าน 2 รูปแบบหลัก ได้แก่

1. แบบการโต้ตอบ (Interactive)

2. แบบการใช้ไลเบอรี่ที่เรียกใช้ได้ (Callable Library)

การใช้งานแบบโต้ตอบคือการใช้งานแบบที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยตรงด้วยมือ ซึ่งเหมาะสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

การใช้งานแบบไลเบอรี่ที่เรียกใช้ได้คือการสร้างโปรแกรมเฉพาะสำหรับปัญหาเฉพาะด้านขึ้นมา วิธีนี้เหมาะสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีสูตรคำนวณซับซ้อนและไม่เหมาะต่อการป้อนข้อมูลด้วยมือ

งานวิจัยนี้ใช้ซอฟแวร์การหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ILOG CPLEX เป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยทำงานในลักษณะการใช้งานไลเบอรี่สร้างโปรแกรมเฉพาะของปัญหาเนื่องจากเป็นปัญหาขนาดใหญ่ยากแก่การป้อนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยตรงด้วยมือ

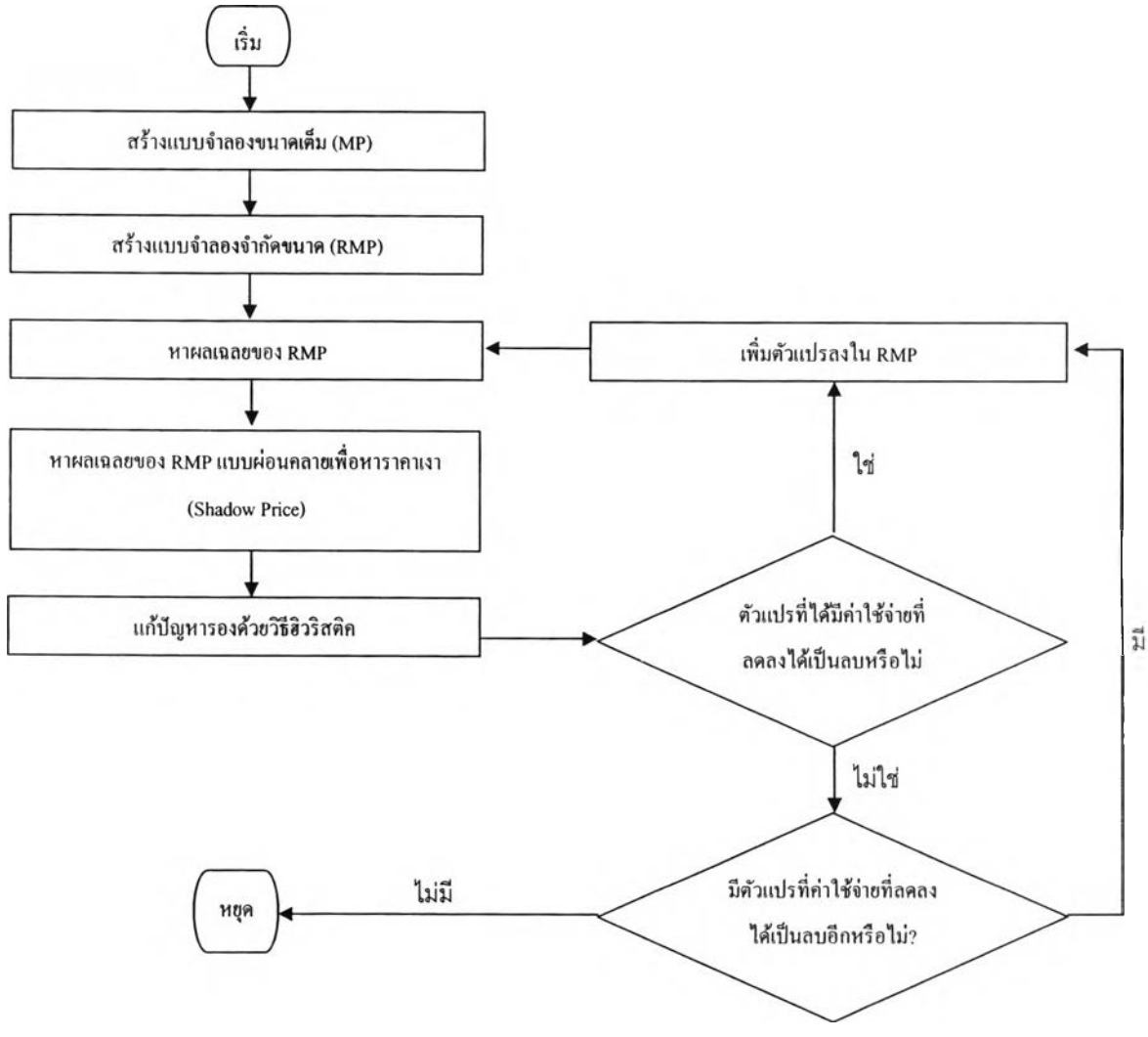
การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในงานงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองการแบ่งเซ็ตที่พัฒนาขึ้นซึ่งกล่าวถึงในบทที่แล้วเป็นแบบจำลองการแก้ปัญหา และเมื่อพิจารณาลักษณะของปัญหา พบว่าเป็นปัญหาแบบปัญหา

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีแตกกิ่ง (Branch & Bound) ซึ่งเป็นวิธีที่หาผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มมาใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ดีการใช้วิธีแตกกิ่งในการแก้ปัญหาแบบจำลองขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่นาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา

5.1.1 ขั้นตอนการพัฒนาประสิทธิภาพวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์

เนื่องจากลักษณะของแบบจำลองแบบแบ่งเซ็ต นั้นมีตัวแปรในแบบจำลองเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้พิจารณานำเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ที่มีปัญหารอง (Column Generation with Sub problem) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์

วิธีการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ที่มีปัญหารองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) สร้างแบบจำลองขนาดเต็ม (Master Problem - MP) เป็นแบบจำลองที่ประกอบไปด้วยตัวแปรในการตัดสินใจคือเส้นทางที่เป็นได้ทั้งหมด ซึ่งแบบจำลอง MP ส่วนนี้จะถูกใช้เป็นแบบจำลองอ้างอิงในการทำงานส่วนถัดไป

2) สร้างแบบจำลองจำกัดขนาด (Restricted Master Problem – RMP) แบบจำลองRMP นี้จะเป็นแบบจำลองที่ถูกจำกัดตัวแปร ซึ่งตัวแปรที่พิจารณาในแบบจำลองRMP นี้จะประกอบไปด้วยกลุ่มตัวแปรซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรพื้นฐาน (Basic Variables) ตัวแปรกลุ่มนี้จะเป็นตัวแปรที่ทำให้แบบจำลองสามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) กำหนดให้เป็นตัวแปรของเส้นทางการเดินรถแบบไป-กลับแบบปรกติ ทั้งหมด

3) แก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลองจำกัดขนาด (RMP) ด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม ซึ่งค่าผลเฉลยที่ได้จะเป็นเพียงค่าผลเฉลยของแบบจำลอง RMP เท่านั้น ไม่ใช่ผลเฉลยของแบบจำลองส่วนเต็ม (MP) เนื่องจากแบบจำลอง RMP นี้ถูกจำกัดตัวแปรเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้อื่นๆ ไว้

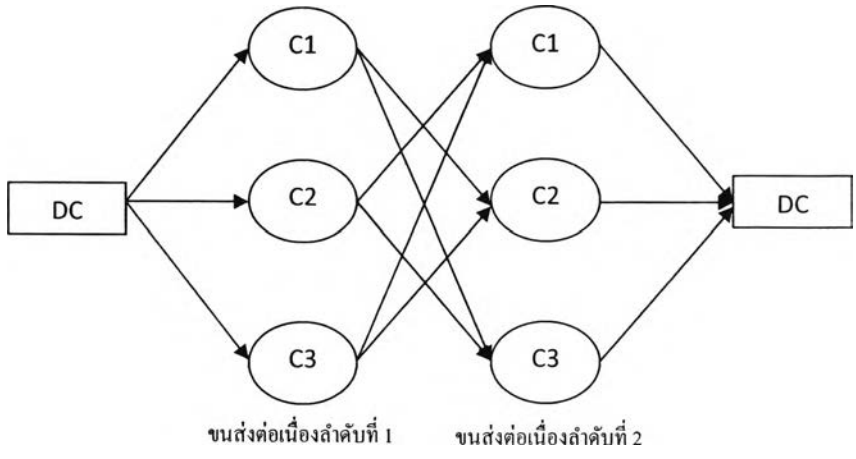
4) การแก้ปัญหาจะเข้าสู่กระบวนการพิจารณาตัวแปรที่จะเพิ่มลงในแบบจำลอง (Column Generation Process) โดยในขั้นตอนนี้ทำการตรึงตัวแปรที่แก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มจากขั้นตอนที่ 3) และแก้ปัญหาแบบจำลอง RMP ด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (LP Relaxation) เพื่อหาค่าราคาเงา (Shadow Price) ของสมการเงื่อนไขแต่ละสมการ ค่าราคาเงาที่ได้นี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Cost) ในขั้นตอนถัดไป

$$f(n)=g(n)+h(n) \qquad (5.1)$$

5) การพิจารณาตัวแปรที่จะเพิ่มลงในแบบจำลองลดขนาด RMP นั้น จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของตัวแปร ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่กล่าวถึงในบทที่ 2 ในกรณีที่ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ของปัญหาหลักเป็นการหาค่าน้อยสุด (Minimize) เส้นทางที่มีแนวโน้มลดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าได้ จะเป็นเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของตัวแปรน้อยกว่าศูนย์ ในการพิจารณาการเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลองจะต้องทำการแก้ปัญหารอง (Sub Problem) ดังที่กล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 2 โดยงานวิจัยนี้ทำการประยุกต์ใช้วิธี เอสตาร์ (A-star Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดแบบฮิวริสติคเพื่อช่วยในการปัญหารอง โดยอัลกอริทึมของเอสตาร์จะทำการเลือกเดินทางไปยังจุดที่มีค่าระยะทางสั้นสุดที่ประมาณขึ้น (f'(n)) โดยใช้สมการที่ 5.1 (รายละเอียด

กล่าวถึงในบทที่ 2) ฝนงานวิจัยนี้ฟังชั่นประมาณค่าระยะทาง ($\hat{h}(n)$) จะประมาณค่าระยะทางสั้นที่สุดจากจุดปัจจุบันไปถึงจุดปลายทางด้วยวิธีตะกละ (Greedy Algorithm) เพื่อความง่ายแก่การเข้าใจ ผู้วิจัยจึงสร้างตัวอย่างเพื่อความเข้าใจดังนี้

<u>ตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์</u>



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์

ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างจุดของตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์

	DC	C1	C2	C3
DC	0	1	1.4	1.2
C1	1	0	2.5	2
C2	1.4	2.5	0	1.8
C3	1.2	2	1.8	0

ตารางที่ 5.2 ราคาเงาของตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์

	C1	C2	C3
ราคาเงา	2.6	2.3	1

รูปที่ 5.2 แสดงตัวอย่างโครงข่ายการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์ ของปัญหาที่มีลูกค้า 3 รายคือ C1, C2 และ C3 เดินทางขนส่งสินค้าออกจากจุดเริ่มต้น (DC) โดยมีจำนวนรอบการขนส่งต่อเนื่องเท่ากับ 2 รอบ มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างจุดของโครงข่ายปัญหารองคิดจากค่าใช้จ่ายการเดินทางระหว่างจุดของโครงข่ายปัญหาจริงลบด้วยราคาเงาของจุดปลายทาง ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ มีขั้นตอนในการแก้ปัญหาดังนี้

5.1) สร้างโครงข่ายตัวอย่างโดยพิจารณาจากเส้นทางที่เป็นไปได้ดังรูปที่ 5.2

5.2) กำหนดค่าประจำบัพและค่าประจำเส้นเชื่อมด้วยราคาเงาของลูกค้าแต่ละรายและค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างจุด ตามลำดับ

5.3) กำหนดให้ค่าประจำบัพเริ่มต้น (DC) มีค่าเท่ากับ 0

5.4) เลือกลูกค้าที่ทำการขนส่งลำดับที่ 1 ที่มีระยะทางสั้นสุดประมาณ (f'(n)) ต่ำสุด (ในกรณีของปัญหาค่าน้อยสุด) โดยค่าระยะทางในแต่ละช่วงหาได้จากค่าประจำบัพแรกบวกกับค่าประจำเส้นเชื่อมหักออกด้วยค่าประจำบัพปลายทาง และระยะทางสั้นสุดประมาณจากจุดปัจจุบัน h'(n) หาค่าได้จากวิธีตะกละ กล่าวคือ ประมาณค่าจากการเลือกเดินทางไปยังจุดใกล้สุดเสมอ เมื่อได้ค่าระยะทางสั้นสุดประมาณ (f'(n)) จะเลือกเดินทางไปยังจุดที่มีค่าระยะทางสั้นสุดประมาณต่ำที่สุด (ค่าติดลบมากที่สุด) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าระยะทางสั้นสุดประมาณของการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์

	g(n)	h'(n)	f'(n)
C1	1.0 - 2.6 = -1.6	Min{1,(2.5 -2.3),(2-1)} = 0.2	-1.4
C2	1.4 - 2.3 = -1.1	Min{1.4,(2.5-2.6), (1.8-1)} = -0.1	-1.2
C3	1.2 - 1.0 = 0.2	Min{1.2,(2.0-2.6),(1.8-2.3)} = -0.6	-0.4

5.5) กระทำซ้ำขั้นตอนที่ 5.4) ไปเรื่อยๆ จนถึงจุดปลายทาง ก็จะได้เส้นทางและค่าของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ของเส้นทางการขนส่งสินค้านั้น

6) พิจารณาค่าของค่าใช้จ่ายที่ลดลงของเส้นทางที่ได้จากการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์ ได้ว่าเป็นค่าเป็นลบหรือไม่ หากมีค่าเป็นลบจะทำการเพิ่มตัวแปรเส้นทางนั้นเข้าไปใน RMP แต่หากไม่เป็นลบจะทำการแก้ปัญหารองด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเพื่อตรวจสอบว่ายังมีตัวแปรที่สามารถเพิ่มลงใน RMP ได้อีกหรือไม่ หากมีจะทำการเพิ่มตัวแปรเส้นทางนั้นเพิ่มเข้าไปยัง RMP หากไม่มีอัลกอริทึมจะสิ้นสุดและได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด

7) ในกรณีที่มีตัวแปรที่สามารถเพิ่มลงในแบบจำลอง RMP ได้ กระบวนการหาผลเฉลยเฉลยจะไปสู่ขั้นตอนการเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลอง RMP และกระทำซ้ำขั้นตอนที่ 3, 4, 5 และ 6 ในรอบกระบวนการถัดไป จนกว่าจะได้ผลเฉลยที่ดีที่สุดจึงจะหยุดกระบวนการทำงาน

นอกจากวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยอาศัยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ที่มีปัญหารองเข้าช่วยที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่โดยอาศัยประโยชน์จากความน่าจะเป็นซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติค เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหากับวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด รายละเอียดของวิธีฮิวริสติคดังจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

5.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติค

วิธีฮิวริสติคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้คือวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น มีแนวความคิดมาจากการที่ผู้วิจัยเห็นว่า วิธีการสลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดทุกวิธีทั้งภายในและภายนอก ที่ใช้ในวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ ถูกออกแบบขึ้นเพื่อสลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถไปยังรูปแบบที่น่าจะดีขึ้นเรื่อยๆ จนผลเฉลยที่ได้มีคุณภาพระดับที่ต้องการจึงหยุดการวนรอบเพื่อหาผลเฉลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเชื่อว่าหากประยุกต์ใช้ความน่าจะเป็นเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ได้

การแก้ปัญหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดข้อจำกัดหลัก (Hard Constraint) และ ข้อจำกัดรอง (Soft Constraint) ที่คำนึงถึงในการแก้ปัญหา เพื่อเป็นแนวทางและขอบเขตของผลเฉลยในการแก้ปัญหาดังจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

5.2.1 ข้อจำกัดในการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่

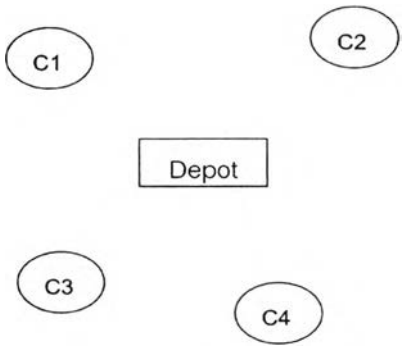
ข้อจำกัดของการปัญหาในงานวิจัยนี้จะถูกกำหนดขึ้น โดยทำการแบ่งข้อจำกัด (Constraint) ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. ข้อจำกัดหลัก (Hard Constraint) คือ ข้อจำกัดที่ห้ามฝ่าฝืนโดนเด็ดขาด
    - ความจุของรถบรรทุก
    - จำนวนรถบรรทุกสูงสุดที่สามารถใช้ได้
    - ระยะทางวิ่งสูงสุดของรถบรรทุก
    - จำนวนรอบการขนส่งต่อเนื่องสูงสุด
    - กรอบเวลาการขนส่งสินค้า
2. ข้อจำกัดรอง (Soft Constraint) คือ ข้อกัดที่สามารถฝ่าฝืนแต่ควรจะฝ่าฝืนน้อยที่สุด กล่าวคือเส้นทางการเดินที่ดีที่สุดคือเส้นทางการเดินรถที่ฝ่าฝืนข้อจำกัดรองน้อยที่สุด

จากข้อจำกัดหลักและข้อจำกัดรองที่กล่าวถึงทั้งหมดข้างต้น เห็นได้ว่าข้อจำกัดบางประการอาจจะเป็นได้ทั้งข้อจำกัดหลักและข้อจำกัดรองเช่น จำนวนรถบรรทุกสูงสุดที่สามารถใช้ได้ และกรอบเวลาการขนส่งสินค้า เป็นต้น ซึ่งการกำหนดว่าเป็นข้อจำกัดหรือข้อจำกัดรองนั้นส่งผลกระทบต่อผลเฉลยและการออกแบบอัลกอริทึมการแก้ปัญหาโดยตรง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดข้อจำกัดทั้งหมดให้แน่นอนในหัวข้อนี้ จากนั้นเริ่มออกแบบอัลกอริทึมการแก้ปัญหา โดยขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่โดยใช้ประโยชน์จากความน่าจะเป็นจะถูกกล่าวถึงอย่างละเอียดในหัวข้อลำดับถัดไป

5.2.2 ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น

เนื่องจากวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็นมีอัลกอริทึมที่ซับซ้อน ผู้วิจัยจึงทำการสร้างตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจขั้นตอนการแก้ปัญหาดังนี้

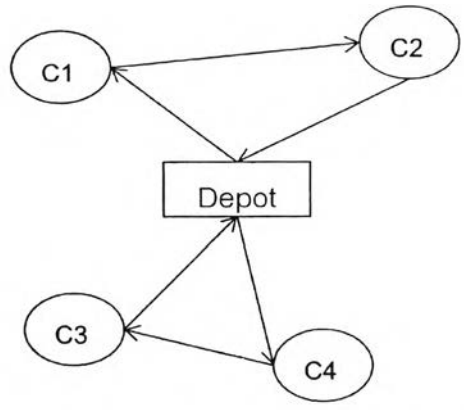


รูปที่ 5.3 โครงข่ายของตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS

รูปที่ 5.3 แสดงโครงข่ายของตัวตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

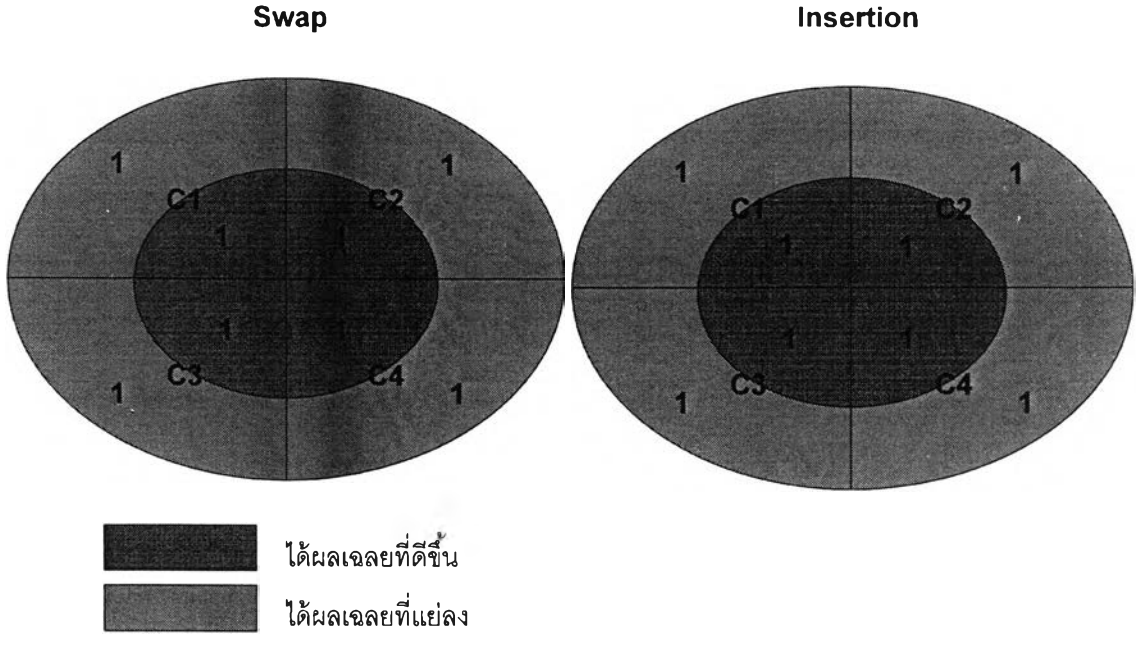
- มีจุดกระจายสินค้า 1 แห่ง
- มีลูกค้า 4 ราย
- จำนวนยานพาหนะที่สามารถใช้ได้ 2 คัน
- ขนส่งต่อเนื่องได้สูงสุด 3 ราย
- คำนึงถึงความจุยานพาหนะและกรอบเวลาการขนส่ง
- ค่าใช้จ่ายในการเดินทางคิดจากระยะทางการขนส่งโดยตรง

อัลกอริทึมการแก้ปัญหาเริ่มต้นด้วยการสร้างเส้นทางการเดินรถเบื้องต้น (Initial Solution) รายละเอียดของขั้นตอนการสร้างเส้นทางการเดินรถเบื้องต้นจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ผู้วิจัยขอแสดงผลเพียงผลการสร้างเส้นทางการเดินรถเบื้องต้นดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 เส้นทางการเดินรถเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS

เมื่อได้เส้นทางการเดินรถเบื้องต้นแล้ว อัลกอริทึมจะทำการวนรอบพัฒนาผลเฉลยโดยเลือกวิธีในการพัฒนาผลเฉลย (Improvement Solution Algorithm) โดยใช้ความน่าจะเป็น ซึ่งปัญหาตัวอย่างกำหนดให้เลือกใช้วิธีการพัฒนาผลเฉลยได้เพียง 2 วิธีคือ วิธีสลับ (Swap) และ วิธีแทรก (Insertion) อย่างไรก็ตามการวนรอบพัฒนาผลเฉลยในรอบแรกยังไม่มีความน่าจะเป็นแต่อย่างใด เนื่องจากยังไม่มีสถิติจากการวนรอบจากรอบก่อนหน้า ดังนั้นอัลกอริทึมจึงทำการกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้น (Initial Probability) โดยกำหนดให้เหตุการณ์ทุกๆ เหตุการณ์เคยเกิดขึ้นแล้ว 1 ครั้ง ซึ่งเหตุการณ์ทั้งหมดที่สนใจแบ่งออกเป็นหลายส่วนดังนี้



รูปที่ 5.5 เหตุการณ์ที่สนใจในการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS

รูปที่ 5.5 แสดงเหตุการณ์ที่สนใจและการกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้นด้วยวิธี PLNS โดยเหตุการณ์การเลือกใช้วิธีการพัฒนาผลเฉลยที่แตกต่างกัน 2 วิธีแบ่งเป็นวงกลม 2 วง ซึ่งสังเกตได้ว่าจะไม่มีการซ้อนทับกันเนื่องจากวิธีการพัฒนาที่เลือกใช้ได้ในแต่ละรอบเลือกใช้ได้เพียง 1 วิธีเท่านั้น และภายในวงกลมแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามลูกค้า 4 ราย กล่าวคือ เมื่อเลือกใช้วิธีการพัฒนาผลเฉลยใดๆ แล้วจะต้องทำการเลือกลูกค้าเพื่อทำการพัฒนาผลเฉลยด้วยวิธีดังกล่าวอีกด้วย จากนั้นเมื่อนำลูกค้าใดๆ มาพัฒนาผลเฉลยตามวิธีการพัฒนาที่เลือกไว้จะมีเหตุการณ์อีก 2 ส่วนที่อาจจะเกิดขึ้นคือ ผลเฉลยที่ได้ดีขึ้น และ ผลเฉลยที่ได้แย่ลง ดังนั้นในวงกลมแต่ละวงจึงมีเหตุการณ์ที่สนใจทั้งหมด 8 เหตุการณ์และเหตุการณ์ทั้งหมดที่สนใจของปัญหาตัวอย่างมี 16 เหตุการณ์ ซึ่งการกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้นนั้นจะกำหนดจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดเคยเกิดขึ้นแล้ว 1 ครั้ง

เมื่อกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้นแล้ว อัลกอริทึมจะทำการเริ่มพัฒนาผลเฉลยในรอบแรก โดยขั้นตอนการพัฒนาในแต่ละรอบการพัฒนามีดังนี้

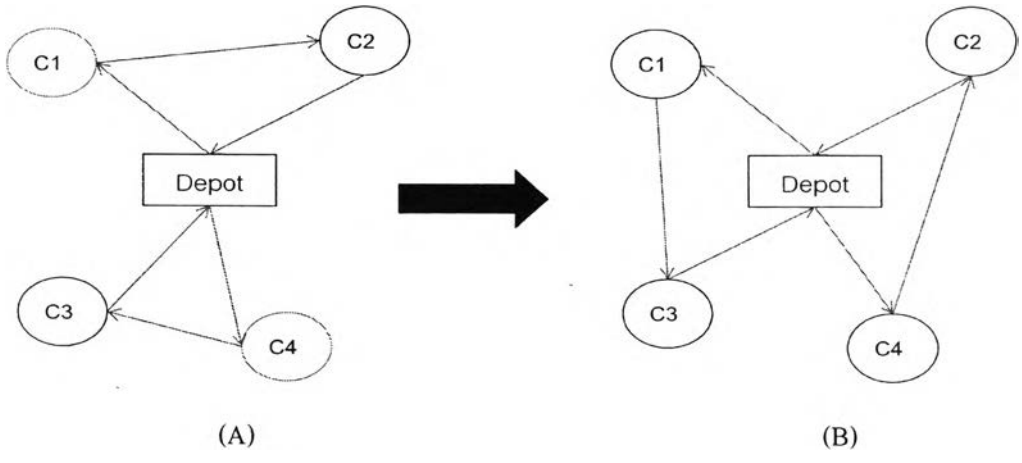
1. เลือกวิธีการพัฒนาผลเฉลย
2. เลือกลูกค้ามาพัฒนาผลเฉลยตามวิธีการที่เลือกในขั้นตอนที่ 1
3. พัฒนาผลเฉลยตามวิธีการและลูกค้าตามที่เลือกจากขั้นตอนที่ 1 และ 2
4. เก็บสถิติของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
5. วนรอบพัฒนาผลเฉลยในรอบการพัฒนาต่อไป โดยเลือกวิธีการและลูกค้าด้วยสถิติของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากรอบการพัฒนาก่อนหน้า

จากปัญหาตัวอย่าง การเลือกวิธีการพัฒนาผลเฉลยจะทำการเลือกโดยกำหนดโอกาสที่จะเลือกวิธี Swap เท่ากับความน่าจะเป็นที่จะเลือกวิธี Swap และให้ผลเฉลยที่ดีขึ้น จึงมีค่าเท่ากับ 4/16 และโอกาสที่จะเลือกวิธี Insertion จะเท่ากับ 4/16 เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามเห็นได้ว่าโอกาสรวมในการเลือกทั้ง 2 วิธีมีค่าเพียง 8/16 ซึ่งผิดหลักการความน่าจะเป็นซึ่งกำหนดไว้ว่าความน่าจะเป็นรวมต้องมีค่าเท่ากับ 1 อัลกอริทึมจึงทำการ Normalized ส่งผลให้โอกาสในการเลือกวิธีการทั้ง 2 จะมีค่าเท่ากับ 4/8 หรือ 50% ผู้วิจัยขอสมมุติว่าปัญหาตัวอย่างเลือกวิธีการ Swap เพื่ออธิบายการทำงานของอัลกอริทึมในขั้นตอนถัดไป

หลังจากการเลือกวิธีการพัฒนา อัลกอริทึมจะทำการเลือกลูกค้ามาพิจารณาโดยโอกาสที่จะเลือกลูกค้าแต่ละรายมีค่าเท่ากับโอกาสที่เลือกลูกค้านั้นๆ และให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นเมื่อกำหนดให้ใช้วิธี Swap กล่าวคือ สนใจพิจารณาเพียงวงกลมด้านซ้ายจากรูปที่ 5.5 เท่านั้น จากนั้นทำการ Normalized

เช่นเดียวกับการเลือกวิธีการพัฒนา ส่งผลให้โอกาสที่จะเลือกลูกค้าแต่ละรายเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 1/4 หรือ 25% ผู้วิจัยขอสมมุติว่าปัญหาตัวอย่างเลือกลูกค้า C1 เพื่ออธิบายการทำงานของอัลกอริทึมในขั้นตอนถัดไป

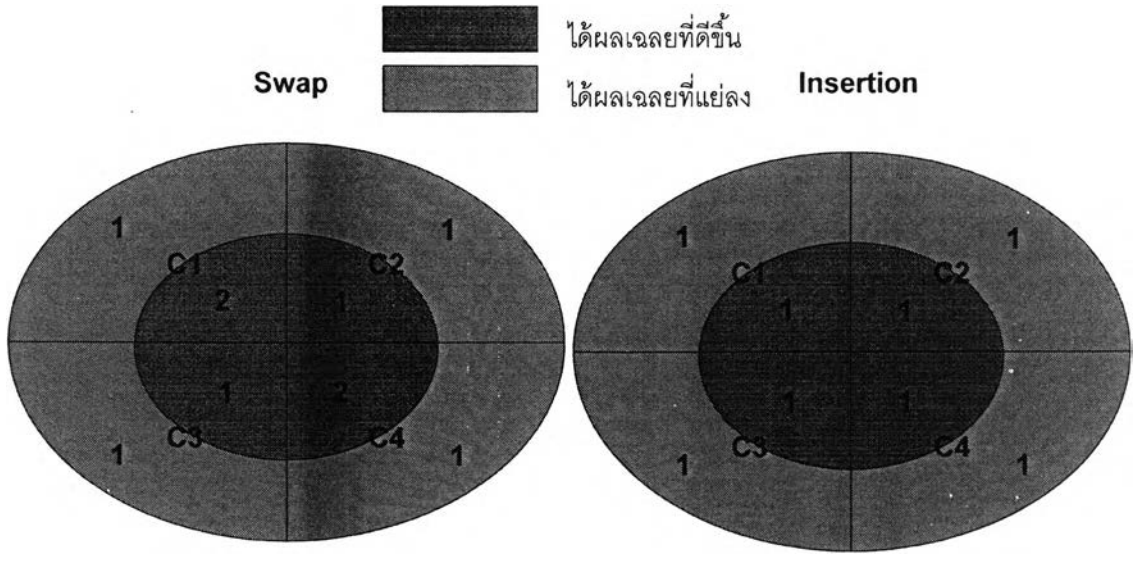
อย่างไรก็ตามวิธี Swap เป็นวิธีที่นำลูกค้า 2 รายมาสลับเส้นทางการเดินรถกันดังนั้นจึงต้องทำการเลือกลูกค้าอีก 1 ราย เพื่อสลับเส้นทางการเดินรถกับลูกค้า C1 เมื่อสังเกตจากเส้นทางการเดินรถเบื้องต้นพบว่าลูกค้า C1 ไม่สามารถสลับกับตัวเอง และ ไม่สามารถสลับกับ C2 เนื่องจากอยู่ในเส้นทางการเดินรถเดียวกัน ดังนั้นเหตุการณ์ที่สนใจพิจารณาในขั้นตอนนี้คือส่วนของวงกลมซ้าย (วิธี Swap) และเลือกสนใจเพียงแค่ครึ่งวงกลมล่าง (C3 และ C4) เท่านั้น จากนั้นทำการเลือกด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนก่อนหน้า ส่งผลให้โอกาสที่จะเลือก C3 และ C4 เท่ากับ 50% ผู้วิจัยขอสมมุติว่าปัญหาตัวอย่างเลือกลูกค้า C4 เพื่ออธิบายการทำงานของอัลกอริทึมในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 5.6 การพัฒนาเส้นทางการเดินรถของปัญหาตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS

รูปที่ 5.6 แสดงการพัฒนาเส้นทางการเดินรถของปัญหาตัวอย่างด้วยวิธีการ Swap ลูกค้า C1 และ C4 จากนั้น จากนั้นนำผลเฉลยหลังการพัฒนามาหาค่าใช้จ่าย เพื่อเปรียบเทียบว่ามีค่าใช้จ่ายลดลงหรือไม่ จากนั้นเก็บสถิติของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยขอสมมุติว่าผลเฉลยหลังการพัฒนามีค่าใช้จ่ายที่ลดลง กล่าวคือ ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น เพื่อแสดงการเก็บสถิติในขั้นตอนต่อไป

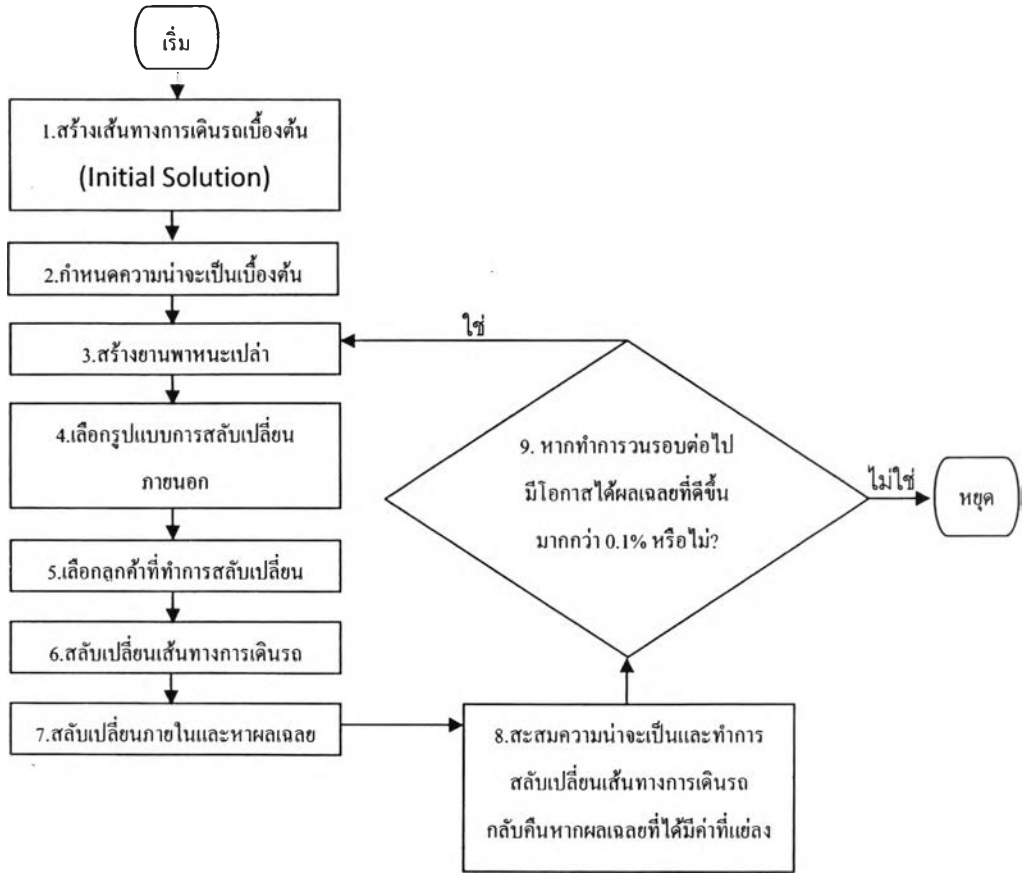
จากรูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างการเก็บสถิติ โดยจำนวนของเหตุการณ์ที่พัฒนาด้วยวิธี Swap ของ C1 และ C4 แล้วให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นเปลี่ยนแปลงจากเดิมมีค่าเป็น 1 เป็น 2



รูปที่ 5.7 การเก็บสถิติของตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS

ภายหลังการเก็บสถิติ อัลกอริทึมจะเริ่มขั้นตอนการพัฒนาในรอบถัดไป โดยผลเฉลยเบื้องต้นในรอบถัดไปคือเส้นทางการเดินรถภายหลังการ Swap ดังแสดงในรูปที่ 5.6(A) เนื่องจากอัลกอริทึมจะทำการเลือกเส้นทางการเดินรถที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าเป็นผลเฉลยเบื้องต้นในรอบถัดไป กล่าวคือ ถ้าผลเฉลยภายหลังการ Swap มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น อัลกอริทึมจะทำการเลือกเส้นทางการเดินรถก่อนการ Swap มาเป็นผลเฉลยเบื้องต้นในรอบถัดไป อย่างไรก็ดีอัลกอริทึมถูกออกแบบมาให้มีโอกาสที่จะยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงมาเป็นผลเฉลยเบื้องต้นในรอบการทำงานถัดไป ซึ่งรายละเอียดจะขอกล่าวถึงในหัวข้อลำดับถัดไป

อัลกอริทึม PLNS จะทำการวนรอบพัฒนาผลเฉลยไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งรายละเอียดของตัวชี้วัดในการหยุดการวนรอบจะขอกล่าวถึงในหัวข้อรายละเอียดของขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS โดยรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็นที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นมีขั้นตอนดังนี้

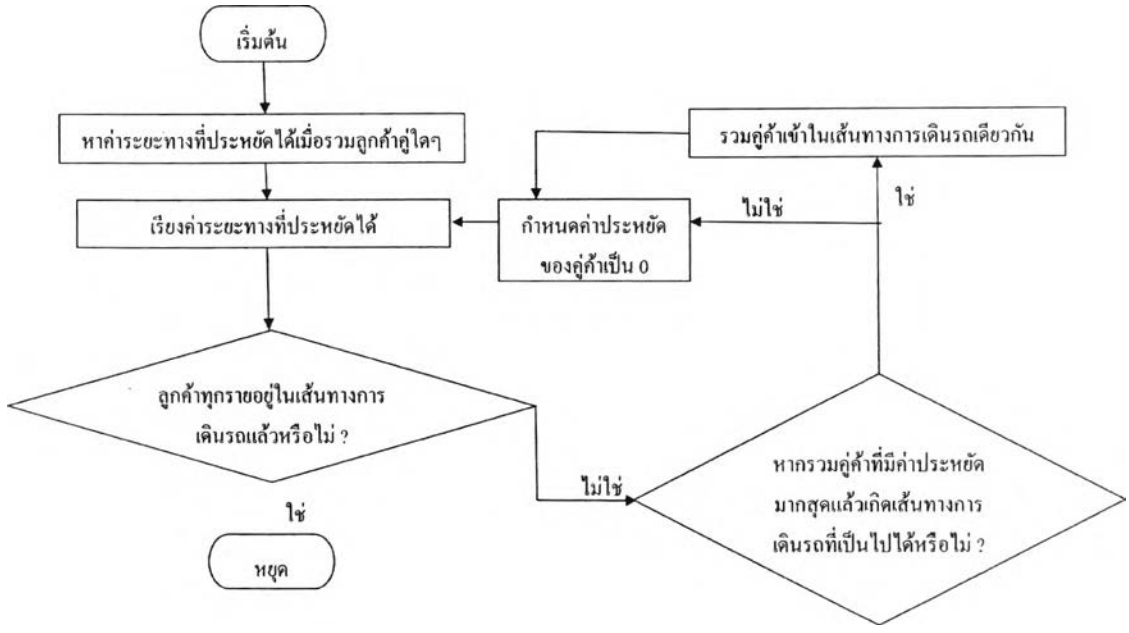


Objective Function: Minimize Cost

รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น

จากรูปที่ 5.8 แสดงขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น โดยมีรายละเอียดของวิธีการแก้ปัญหาแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) สร้างเส้นทางการเดินรถเบื้องต้น (Initial Solution) โดยงานวิจัยนี้จะเน้นใช้วิธีที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เพื่อที่จะสามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ในเวลาที่น้อย โดยสร้างผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีประหยัดที่คำนึงถึงกรอบเวลา (Saving with Time-Window Algorithm)



รูปที่ 5.9 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีประหยัดที่คำนึงถึงกรอบเวลา

จากรูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีประหยัดที่คำนึงถึงกรอบเวลา มีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

1.1) หาค่าระยะทางที่ประหยัดได้ หรือ ค่าประหยัด (saving) ของลูกค้าทุกคู่จากสมการ 2.8) ในบทที่ 2

1.2) เรียงค่าระยะทางที่ประหยัดได้ที่หามาในขั้นตอน 1.1) จากมากไปหาน้อย

1.3) ตรวจสอบว่าค่าประหยัดมากสุดมีค่ามากกว่า 0 หรือไม่ หากมีค่ามากกว่า 0 จะทำการตรวจสอบความเป็นไปได้ของเส้นทางในขั้นตอนต่อไป หากค่าประหยัดมากสุดมีค่าไม่มากกว่า 0 จะทำการตรวจสอบว่าลูกค้าทุกรายอยู่ในเส้นทางการเดินรถแล้วหรือไม่ หากลูกค้าทั้งหมดอยู่ในเส้นทางการเดินแล้วจะหยุดกระบวนการ หากลูกค้ารายใดยังไม่ได้อยู่ในเส้นทางการเดินรถ จะทำการกำหนดให้อยู่ในเส้นทางการเดินรถโดยให้มีรูปแบบการเดินทางเป็นแบบการเดินรถขนส่งเต็มคันรถปกติ

1.4) ตรวจสอบความเป็นไปได้ของการรวมลูกค้าที่มีค่าประหยัดมากที่สุดและมากกว่า 0 จากขั้นตอนที่ 1.3) โดยคำนึงถึงข้อจำกัดทั้งหมด เช่น ความจุรถบรรทุก ระยะวิ่งสูงสุด และ กรอบเวลา เป็นต้น หากเป็นเส้นทางการเดินรถ

ที่เป็นไปได้จะทำการรวมคู่ค้าที่มีค่าประหยัดสูงสุดไว้ในเส้นทางการเดินรถเดียวกัน

1.5) กำหนดค่าประหยัดของคู่ค้าที่ผ่านการตรวจแล้วเป็น 0 เพื่อจะได้ไม่นำคู่ค้าที่ตรวจสอบแล้วหรืออยู่ในเส้นทางการเดินรถแล้วมาตรวจสอบซ้ำอีก

1.6) กระทำซ้ำขั้นตอนที่ 1.2) ถึง 1.5) ไปเรื่อยๆ จนกว่าลูกค้าทุกรายอยู่ในเส้นทางการเดินรถ จึงจะหยุดกระบวนการทำงาน

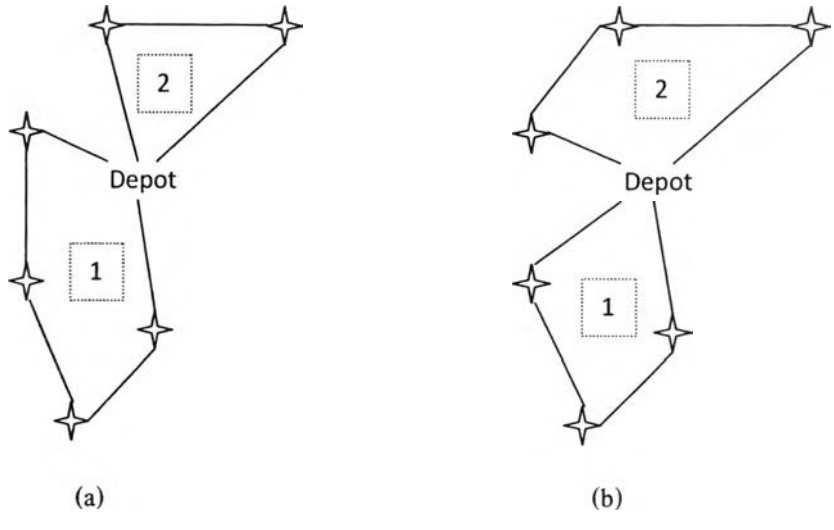
เมื่อสร้างเส้นทางการเดินรถเบื้องต้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการสลับเปลี่ยนภายในยานพาหนะด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และทำการหาค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองของผลเฉลยเบื้องต้นโดยเพื่อใช้ในการวนรอบพัฒนาผลเฉลยต่อไป

2) กำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้น โดยกำหนดให้เหตุการณ์ทุกๆ เหตุการณ์เคยเกิดขึ้นมาแล้วเหตุการณ์ละหนึ่งครั้ง และรูปแบบในการสลับเปลี่ยนภายนอกยานพาหนะที่สนใจแสดงดังนี้

$$S_x B_y \qquad (5.2)$$

โดยที่ S_x แสดงถึงการสลับเปลี่ยนลูกค้า x ราย ออกจากเส้นทางการเดินรถต้นทาง

B_y แสดงถึงการสลับเปลี่ยนลูกค้า y ราย ออกจากเส้นทางการเดินรถปลายทางไปยังเส้นทางการเดินรถต้นทาง



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างการแสดงรูปแบบการสลับเปลี่ยนภายนอกยานพาหนะ

รูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างการแสดงรูปแบบการสลับเปลี่ยนภายนอกยานพาหนะ โดยรูปที่ 5.10 (a) เส้นทางการเดินรถที่ 1 และ 2 ทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้า 3 และ 2 ราย ตามลำดับ จากนั้นทำการสลับเปลี่ยนภายนอกยานพหนะโดยทำการสลับเปลี่ยนลูกค้า 1 ราย จากเส้นทางการเดินรถที่ 1 ไปยังเส้นทางการเดินรถที่ 2 และ ไม่มีการสลับลูกค้าจากเส้นทางการเดินรถที่ 2 มายังเส้นทางการเดินรถที่ 1 แต่อย่างใด ดังแสดงในรูปที่ 5.10 (b) ดังนั้นสรุปได้ว่ารูปแบบการสลับเปลี่ยนในรูปที่ 5.10 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 5.2 คือ รูปแบบ S_1B_0 เนื่องจากมีการสลับเปลี่ยนลูกค้า 1 รายจากเส้นทางการเดินรถที่ 1 ซึ่งเป็นเส้นทางการเดินรถต้นทาง และ ไม่มีการสลับเปลี่ยนลูกค้าจากเส้นทางการเดินรถที่ 2 ซึ่งเป็นเส้นทางการเดินรถปลายทางมายังเส้นทางการเดินรถต้นทาง

ตารางที่ 5.4 แสดงตัวอย่างการกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้นโดยให้เหตุการณ์ทุกๆ เหตุการณ์ที่เป็นไปได้เคยเกิดขึ้นแล้วเหตุการณ์ละหนึ่งครั้ง โดยมีลูกค้าทั้งหมด 6 ราย และ รูปแบบการสลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถภายนอกที่สนใจมีทั้งหมด 5 รูปแบบ รูปแบบการสลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถที่สนใจจะขึ้นอยู่กับจำนวนลูกค้าสูงสุดที่ยานพาหนะหนึ่งคันสามารถรองรับได้ หากเลือกสนใจรูปแบบน้อยรูปแบบเกินไป เช่น เลือกสนใจแต่รูปแบบ S_1B_0 และ S_1B_1 จะส่งผลให้การนำค่าความน่าจะเป็นของการสลับเปลี่ยนไม่เป็นอิสระต่อกัน ในทางกลับกันหากเลือกสนใจรูปแบบจำนวนมากจนเกินไป เช่น สนใจทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ จะส่งผลให้ความรวดเร็วในการแก้ปัญหาลดลง จึงกำหนดให้สนใจรูปแบบที่สลับลูกค้าไม่เกินครึ่งหนึ่งของจำนวนลูกค้าสูงสุดที่รองรับได้ต่อยานพาหนะหนึ่งคัน เช่น จำนวนลูกค้าสูงสุดที่รองรับได้คือ 4 รายต่อยานพาหนะหนึ่งคัน รูปแบบการสลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถที่สนใจจะทำการสลับเปลี่ยนมากที่สุดเพียงแค่ 2 ราย ซึ่งมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 5 รูปแบบดังตาราง

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้น

Customer		Number of event				
		S_1B_0	S_1B_1	S_2B_0	S_2B_1	S_2B_2
1	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
2	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
3	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
4	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
5	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
6	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1

3) สร้างยานพาหนะเปล่า คือขั้นตอนที่จะทำการสร้างยานพาหนะที่ไม่ได้รองรับลูกค้าในเบื้องต้นแต่สร้างขึ้นเพื่อที่จะรองรับเหตุการณ์ที่มีการสลับเปลี่ยนเพิ่มจำนวนยาพาหนะที่ต้องใช้ในการขนส่ง กล่าวคือ ยานพาหนะเปล่านี้จะทำการรองรับลูกค้าต่อเมื่อต้องการใช้ยาพาหนะในการขนส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น

4) เลือกรูปแบบการสลับเปลี่ยนภายนอก คือขั้นตอนที่ทำการเลือกว่าจะใช้รูปแบบการสลับเปลี่ยนลูกค้าระหว่างยานพาหนะอย่างไร โดยเลือกจากรูปแบบการสลับเปลี่ยนที่สนใจซึ่งกำหนดไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า และใช้ความน่าจะเป็นที่จะได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเมื่อเลือกใช้รูปแบบการสลับเปลี่ยนแต่ละรูปแบบเป็นความน่าจะเป็นที่จะเลือกใช้รูปแบบนั้นๆ ในการสลับเปลี่ยน กล่าวคือ หาก A คือเหตุการณ์ที่เลือกรูปแบบการสลับเปลี่ยน

ใดๆ และ C คือเหตุการณ์ที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกใช้รูปแบบการสลับเปลี่ยนใดๆ คือ A อินเตอร์เซ็ค C (A ∩ C)

5) เลือกลูกค้าที่ทำการสลับเปลี่ยนด้วยรูปแบบการสลับเปลี่ยนที่ถูกเลือกในขั้นตอนก่อนหน้า โดยความน่าจะเป็นที่เป็นที่จะเลือกลูกค้ารายใดๆ คือความน่าจะเป็นที่จะเลือกลูกค้านั้นแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเมื่อใช้รูปแบบการสลับเปลี่ยนที่ถูกเลือก กล่าวคือ หาก A คือเหตุการณ์ที่เลือกรูปแบบการสลับเปลี่ยนใดๆ B คือเหตุการณ์ที่เลือกลูกค้ารายใดๆ และ C คือเหตุการณ์ที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกลูกค้าใดๆมาทำการสลับเปลี่ยน คือ B อินเตอร์เซ็ค C คอนดิชั่น A ((B ∩ C) /A)

6) สลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถ คือขั้นตอนการสลับเปลี่ยนลูกค้าที่ถูกเลือกจากขั้นตอนที่ 5 ด้วยรูปแบบที่ถูกเลือกจากขั้นตอนที่ 4 โดยมีข้อห้ามไม่ให้ค้นหาซ้ำกับเซตของคำตอบที่มีอยู่แล้ว หรือที่เรียกว่ารายการต้องห้าม (Neighbourhood Search List) วิธีการห้ามดังกล่าวจะเป็นการห้ามเพื่อที่จะช่วยให้ไม่ต้องไปหาผลเฉลยเดิม หรือหลงในวัฏจักร (cyclic) ซึ่งจะส่งผลให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้นได้

7) สลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถภายในด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดและหาค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรอง

8) ขั้นตอนการสะสมความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ คือ ขั้นตอนการสะสมความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นว่าผลเฉลยใหม่หลังการสลับเปลี่ยนที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 ดีกว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดก่อนหน้าหรือไม่ ดังตารางที่ 5.5 แสดงตัวอย่างการสะสมหลังการสลับเปลี่ยนลูกค้ารายที่ 1 ด้วยวิธี S_1B_0 และได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดก่อนหน้า

ตารางที่ 5.5 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดหลังการสะสมความน่าจะเป็น

Customer		Number of event				
		S_1B_0	S_1B_1	S_2B_0	S_2B_1	S_2B_2
1	better	2	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
2	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
3	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
4	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
5	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1
6	better	1	1	1	1	1
	not better	1	1	1	1	1

จากนั้นทำการสลับเปลี่ยนเส้นทาการเดินรถกลับคืนหากผลเฉลยที่ได้มีค่าที่แย่กว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดที่เคยพบในรอบก่อนๆ อย่างไรก็ดีอัลกอริทึมถูกออกแบบให้มีโอกาสที่จะยอมรับผลเฉลยในรอบนี้ไปใช้ในการประมวลผลในรอบกระบวนการถัดไปแม้ว่าจะไม่ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้นกว่าเดิม โดยกำหนดให้โอกาสที่จะยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงจะคำนวณดังแสดงในสมการ 5.3

$$P_{Accept} = \frac{1}{e^{\frac{\Delta f(s)}{Tc^k}}} \qquad (5.3)$$

โดยที่ P_{Accept} คือความน่าจะเป็นที่จะยอมรับผลเฉลยที่แย่กว่าเดิม

$\Delta f(s)$ คือค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองที่แย่ลง

k คือจำนวนรอบการประมวลผล (Iteration)

T คือค่าคงที่ซึ่งแสดงถึงค่าความยืดหยุ่นตั้งต้น

c คือค่าคงที่ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความยืดหยุ่นต่อรอบการประมวลผล

จากสมการที่ 5.3 เห็นได้ว่าอัลกอริทึมถูกออกแบบให้มีโอกาสยอมรับ อันเนื่องมาจากต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local Optima) นั่นเอง อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนรอบการประมวลผลมากขึ้นผลเฉลยที่ได้ก็จะยิ่งมีค่าที่ดีขึ้นอยู่แล้ว ผู้วิจัยจึงออกแบบให้โอกาสที่จะยอมรับผลเฉลยที่แย่กว่าเดิมมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนรอบการประมวลผล (k) มากขึ้น อีกทั้งโอกาสที่จะยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงยังขึ้นอยู่กับค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองที่แย่ลง กล่าวคือ เมื่อค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองที่แย่ลงมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้โอกาสในการยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงมีค่าน้อยลงไปด้วย

9) ขั้นตอนการวนรอบเพื่อหาผลเฉลย คือการกระทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 8 จนกว่าจะถึงเกณฑ์ในการหยุดการวนรอบ โดยงานงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเกณฑ์ในการหยุดการวนรอบที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบดังนี้

- ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในรอบที่ผ่านมาที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นมีค่าน้อยกว่า 0.1กล่าวคือ หาก C คือเหตุการณ์ที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น การวนรอบจะหยุดก็ต่อเมื่อ $P(C) \leq 0.1$ เพื่อความง่ายต่อการอธิบายในงานวิจัยนี้จะใช้สัญลักษณ์ ProbMin แทนความน่าจะเป็นในการหยุดการวนรอบ กล่าวคือ ProbMin เท่ากับ 0.1
- ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในรอบที่ผ่านมาที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นมีค่าน้อยกว่า 0.01 กล่าวคือ ProbMin เท่ากับ 0.01
- ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในรอบที่ผ่านมาที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นมีค่าน้อยกว่า 0.001 กล่าวคือ ProbMin เท่ากับ 0.001

- ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในรอบที่ผ่านมาที่สลับเปลี่ยนแล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นมีค่าน้อยกว่า 0.0001 กล่าวคือ ProbMin เท่ากับ 0.0001

ในบทนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการหาค่าผลเฉลยของแบบจำลองการแบ่งเซ็ตที่สร้างขึ้นด้วยวิธีกำหนดสดมภ์ที่มีปัญหารอง และ วิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น ในบทถัดไปจะแสดงขั้นตอนและผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ