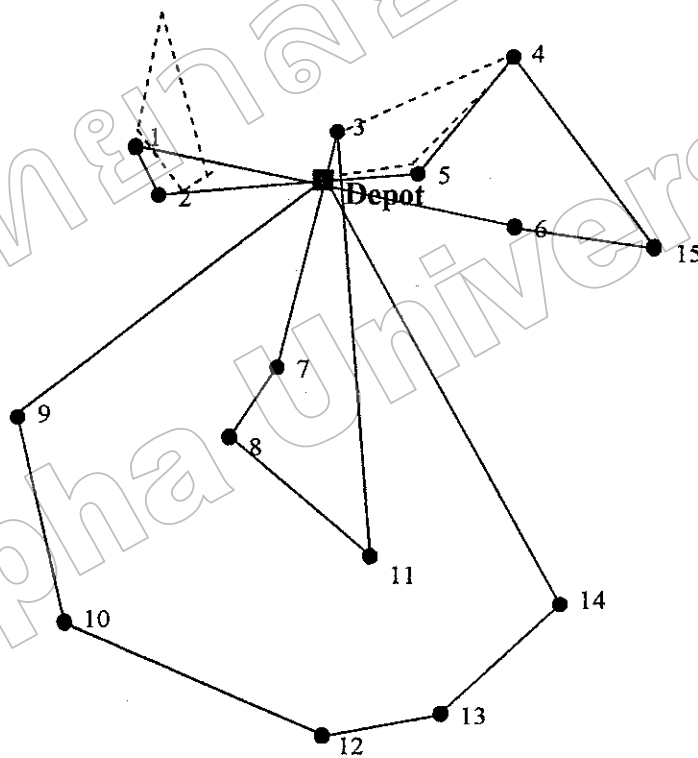


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

บททวนทฤษฎีการจัดเส้นทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว

ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะ (Vehicle Routing Problem) โดยส่วนมากที่ผ่านมามักพิจารณาในเรื่องการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาของการจัดการเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินรถที่มีความเหมาะสมไปยังลูกค้าต่าง ๆ ในแต่ละเส้นทางและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางธุรกิจดังภาพที่ 2 ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการจัดเส้นทางเดินรถ ได้แก่



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางพาหนะ (เดินรถ) จากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังลูกค้าต่าง ๆ

- ข้อจำกัดในเส้นทาง (Route Capacities) ซึ่งสะท้อนถึงขนาดของรถหรือเงื่อนไขของเวลาในการจับจีรรถบรรทุกที่กฎหมายอนุญาต

- กรอบของเวลา (Time Window) เป็นการกำหนดช่วงเวลาของวันที่จะลงขนถ่ายสินค้าในแต่ละร้านค้าโดยข้อกำหนดนี้อาจเป็นได้ทั้งข้อกำหนดที่เข้มงวด คือ หลีกเลียงไม่ได้ (Hard Time Window) และข้อกำหนดที่ไม่เข้มงวด (Soft Time Window) คือผ่อนปรนได้บ้าง แต่อาจจะมีการปรับหรือลงโทษ

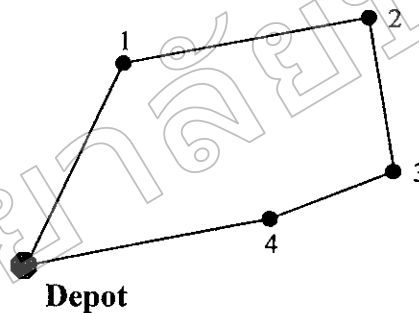
แนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อนและแปรเปลี่ยนไปตามรายละเอียดขององค์ประกอบของปัญหาดังตารางที่ 4 ซึ่งงานวิจัยนี้จะเน้นการวางแผนเส้นทางของรถบรรทุกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว (Single Depot) ซึ่งมีวิธีการจำลองปัญหานี้อยู่ 3 ภาพแบบเรียงลำดับจากปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยไปมาก

ตารางที่ 4 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางรถ

Characteristics	Options
- Size of the Fleet	- One - Multiple
- Housing of the Fleet	- Single Depot - Multiple Depot
- Type of Demand	- At the Nodes - On the Arcs - On the Nodes and the Arcs
- Network Type	- Undirected - Directed - Mixed
- Vehicle Capacity	- All the Same - Different - Unlimited
- Maximum Route Time	- Same for all Vehicles - Different for all Vehicles - Not Present
- Types of Operations	- Pickups only - Deliveries only - Mixed
- Objectives	- Minimum Total Routing Costs - Minimum Fixed and Variable Costs - Minimum Number of Vehicles - Minimum Response Time - Minimum Customer Inconvenience

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem: TSP หรือ Single Routes)

เป็นปัญหาในระดับง่ายสุด เนื่องจากการจัดลำดับการส่งสินค้าที่ใช้เส้นทางเดียวให้กับลูกค้าต่าง ๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว และไม่มีข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ โดยผลลัพธ์ของเส้นทางที่จัดได้จะเริ่มและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้าและผ่านลูกค้าแต่ละรายเพียงครั้งเดียว ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP)

สมมติให้โครงข่ายการขนส่ง (Network) $G = [N, A, C]$ โดยที่ N แทนเซตของจุดส่ง (Nodes) ต่าง ๆ A แทนเซตของเส้นทางต่าง ๆ (Arcs) และ $C = [c_{ij}]$ แทนเมตริกซ์ของ c_{ij} ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j โดยสมมติให้ค่าใช้จ่ายมีลักษณะแบบสมมาตรคือ $c_{ij} = c_{ji}$ ยกเว้น $c_{ii} = \infty$ สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$ และให้เส้นทางต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า (แทนด้วยจุดส่งที่ 1 (Node 1)) ซึ่งสามารถจำลองปัญหา (Model Formulation) ได้ดังนี้

กำหนดให้

1 ถ้า $\text{Arc}(i,j)$ อยู่ในเส้นทาง

$x_{ij} =$

0 ถ้า $\text{Arc}(i,j)$ ไม่อยู่ในเส้นทาง

และ $X =$ เมทริกซ์ของ x_{ij} ดังนั้นจะเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2-1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (2-2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2-3)$$

$$X = (x_{ij}) \in S \quad (2-4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2-5)$$

โดย S เป็นเซตที่ใช้ในการจัดการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) ซึ่งไม่ใช่ผลลัพธ์ของเส้นทางเดินรถที่ต้องการ เนื่องจากเส้นทางย่อยที่ได้เป็นเส้นทางที่ไม่ได้เริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้น แต่อาจสอดคล้องกับเงื่อนไข (2-2) (2-3) และ (2-5) ซึ่งการจัดการเกิดเส้นทางย่อยดังกล่าวเรียกว่า Subtour-Breaking Constraint โดย S ที่เป็นไปได้ได้แก่

$$1. S = \{ (x_{ij}) : \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} x_{ij} \geq 1 \} \text{ ทุกสับเซตของ } Q \in N \text{ แทน}$$

การขจัดกาการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) อยู่ภายในเส้นทางเดินรถ

$$2. S = \{ (x_{ij}) : \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} x_{ij} \leq |R| - 1 \} \text{ สำหรับ } R \in \{2, 3, \dots, n\}$$

แทนเส้นทางที่เลือกจะต้องไม่มีเส้นทางที่เป็นวงซ้อนอยู่

$$3. S = \{ (x_{ij}) : y_i - y_j + nx_{ij} \leq n - 1 \} \text{ สำหรับ}$$

$$2 \leq i \neq j \leq n \text{ โดย สมมติให้}$$

i ถ้าลูกค้า i อยู่ในลำดับที่ i ในเส้นทาง

$$y_i =$$

0 ถ้าเป็นกรณีอื่น

นอกจากนี้แล้วยังมีวิธีในการจำลองปัญหาแบบอื่น ๆ อีก เช่น การสมมติค่าตัวแปรที่เรียกว่า Flow Variables (y_{ij}) ซึ่งเป็นตัวแปรแทนปริมาณสินค้าที่จะต้องถูกส่งจากจุด i ไป j และสมมติว่ามีลูกค้าจำนวน $(n-1)$ ราย โดยการขนส่งจะเริ่มต้นจากจุดส่งที่ 1 (Node 1) และลูกค้าแต่ละรายต้องการลงสินค้าเพียง 1 หน่วยเท่านั้น ดังนั้นเมื่อมีการส่งไปยังจุดส่งถัดไปค่า y_{ij} ก็จะมีค่าลดลง แบบจำลองปัญหา

ดังกล่าวจะสามารถเขียนได้เป็น

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2-6)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (2-7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2-8)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ji} = -1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (2-9)$$

$$y_{ij} \leq Ux_{ij} \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2-10)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, y_{ij} \geq 0 \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2-11)$$

โดยที่ $U \geq n - 1$ และเงื่อนไขที่ (2-7) และ (2-8) หมายความว่าแต่ละจุดส่ง (Node) จะมีเส้นทางเดินรถผ่านได้เพียงเส้นทางเดียว ในขณะที่ข้อจำกัด (2-10) จะแทนข้อจำกัดบังคับ (Forcing Constraint) เพื่อให้ค่า Flow ของ y_{ij} ที่อยู่บน arc (i,j) มีค่าเป็นศูนย์ถ้าเส้นทาง (Arc) ดังกล่าวไม่ได้อยู่ตามเส้นทางที่ต้องการ ซึ่งสะท้อนว่า ถ้า x_{ij} มีค่าเท่ากับศูนย์ก็จะทำให้ y_{ij} เท่ากับศูนย์

เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทางจากศูนย์กระจายสินค้าสามารถจำแนกได้ 2 แนวทาง ดังนี้

1. เทคนิคในการหาคำตอบด้วยการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

การแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นวิธีในการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ทั้งนี้ปัญหาของการจัดเส้นทางเป็นปัญหา Integer Programming เนื่องจากคำตอบที่เป็นไปได้จะประกอบด้วยค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้มีหลายวิธี เช่น เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound) เป็นต้น แต่วิธีในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมักประสบปัญหาเนื่องจากต้องใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ที่สูงและใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมาก จึงไม่สามารถแก้ปัญหาซึ่งมีความสลับซับซ้อนในเวลาที่ยอมรับได้

2. เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics)

วิธีการฮิวริสติกเป็นวิธีการที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา เพื่อหาคำตอบที่ดีและเหมาะสมในระดับหนึ่งถึงแม้ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด โดยสามารถแบ่งวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบได้ 3 วิธี คือ

2.1 วิธีการสร้างเส้นทาง (Tour Construction Procedure) เป็นวิธีการในการค้นหาเส้นทางในการเดินรถที่เป็นไปได้ โดยแต่ละเทคนิคจะกำหนดวิธีการและกฎเกณฑ์การสำรวจเพื่อหาเส้นทางที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกัน

2.1.1 Nearest Neighbor Procedure วิธีการนี้จะมักถูกเกณฑ์ในการค้นหาจุดส่ง โดยการหาจุดส่งที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งไปยังจุดถัดไป (c_{ij}) น้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดจุดส่ง (Node) ที่เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง

ขั้นที่ 2 หาจุดส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากจุดส่งที่ถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางแล้วไปยังจุดส่งข้างเคียงที่น้อยที่สุด และนำจุดส่งที่เลือกเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง

ขั้นที่ 3 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนสามารถผ่านจุดส่งทุกจุด แล้วจึงบรรจบจุดส่งสุดท้าย เข้ากับจุดส่งที่เริ่มต้นข้อสังเกตการคำนวณแต่ละครั้งจะมีจำนวนครั้งในการคำนวณเท่ากับ n^2 ครั้ง โดย n แทนจำนวนจุดส่ง (Node) แต่การคำนวณอาจต้องกระทำซ้ำเป็นจำนวน n ครั้ง เนื่องจากจะต้องเลือกจุดส่งเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นใหม่เป็นจำนวน n ครั้ง เพื่อหาเส้นทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำสุด

2.1.2 Clarke and Wright Saving วิธีการนี้มักถูกเกณฑ์ในการค้นหาจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดด้วยการผนวก 2 จุดส่งเข้าสู่เส้นทางเดียวกันแทนการแยกกันส่งคนละเส้นทาง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกจุดส่ง (Node) ที่เป็นศูนย์กลางกระจายสินค้า (Central Depot) แล้วกำหนดเป็นจุดส่งที่ 1

ขั้นที่ 2 คำนวณหาค่าการประหยัดที่จะผนวกเป็นเส้นทางเดียวกันของคู่จุดส่ง i ใด ๆ ไปยังจุดส่ง j ใด ๆ (s_{ij}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $c_{ii} + c_{jj} - c_{ij}$

ขั้นที่ 3 เรียงลำดับค่าการประหยัด (s_{ij}) จากมากไปน้อย

ขั้นที่ 4 เริ่มสร้างเส้นทางย่อยโดยเชื่อมจุดส่ง i และ j ที่มีค่าการประหยัดมากที่สุดและทำซ้ำจนครบทุกจุดส่ง

2.1.3 Insertion Procedure วิธีการนี้จะเป็นการสร้างเส้นทาง (Tour) ที่เป็นคำตอบที่เหมาะสม โดยเลือกจุดส่ง (Node) ที่ควรจะถูกเชื่อมต่อกับเส้นทางย่อย (Subtour) ที่มีอยู่แล้วจนได้เส้นทางที่ผ่านจุดส่งทั้งหมด โดยมีแนวทางในการหาคำตอบอยู่ 2 ลักษณะ คือ

2.1.3.1 Nearest Insertion Procedure เป็นวิธีการนำจุดส่งข้างเคียงที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางย่อย โดยมีวิธีการดังนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มต้นสร้างเส้นทางที่เรียกว่า กราฟส่วนย่อย (Subgraph) ที่ประกอบด้วยจุดส่ง i เพียงจุดเดียวก่อน

ขั้นที่ 2 หาจุดส่ง p ที่ทำให้ c_{ip} มีค่าน้อยที่สุดและสร้างเส้นทางย่อย (Subtour) ในการเดินทางจาก i ไปยัง p และกลับไปที่ i อีกครั้ง ($i-p-i$)

ขั้นที่ 3 (เรียกว่า Insertion Step) หาเส้นเชื่อม arc (i,j) ในเส้นทางย่อย (Subtour) ที่ทำให้ค่า $c_{ip} + c_{pj} - c_{ij}$ ต่ำสุด และนำจุดส่ง p ดังกล่าวไปอยู่ระหว่างจุดส่ง i และ j

ขั้นที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งจุดส่งทุกจุดส่งอยู่ในเส้นทางย่อย

2.1.3.2 Farthest Insertion Procedure จะมีวิธีการแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงกับวิธี Nearest Insertion Procedure แต่เปลี่ยนจากการเลือกจุดส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดมาเป็นจุดส่งที่มีค่าใช้จ่ายสูงสุด และเปลี่ยนการเลือกค่า $c_{ip} + c_{pj} - c_{ij}$ ที่ต่ำที่สุดเป็นค่าสูงที่สุด และดำเนินการเดียวกับวิธี Nearest Insertion Procedure ต่อไป

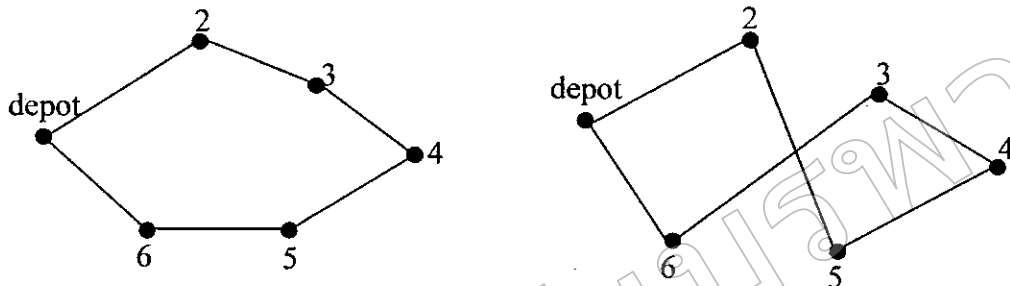
2.2 วิธีการปรับปรุงเส้นทาง (Tour Improvement Procedure) เป็นการนำเส้นทางเดินรถที่มีอยู่แล้วซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีสุดมาปรับปรุงเส้นทาง โดยการสลับหรือแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้เส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นเป็นคำตอบที่ดีกว่าเดิม

วิธีการนี้นิยมใช้ในการแก้ปัญหา TSP ที่มีความซับซ้อนเพื่อลดระยะเวลาการวิเคราะห์ปัญหา โดยแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดจากเส้นทางเดินรถที่มีอยู่แล้ว ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในการปรับปรุงเส้นทาง คือ การเปลี่ยนเส้นทางขนส่งครั้งละ 2 เส้นทาง (2-Routes) หรือ การแลกเปลี่ยนเส้นทางขนส่งครั้งละ 3 เส้นทาง (3-Routes) หรือ k เส้นทาง (k -Routes) ในกรณีที่ $k \geq 3$ โดยขั้นตอนในการแก้ปัญหาคือดำเนินการดังนี้

ขั้นที่ 1 หาเส้นทางเดินรถเบื้องต้น โดยอาจสมมติเส้นทางตามประสบการณ์ของผู้จัดเส้นทางเดินรถเพื่อหาเส้นทางที่เป็นไปได้

ขั้นที่ 2 ปรับปรุงเส้นทางด้วยการสลับลำดับการส่งใหม่ โดยสามารถดำเนินการได้โดยสลับเส้นทางเดิมที่มีอยู่ k เส้นทาง หลังจากนั้นจึงแทนที่เส้นทางใหม่ k เส้นทางที่ทำให้เส้นทางผ่านทุกจุดส่ง ดังภาพที่ 4 หลังจากนั้นจึงตรวจสอบเส้นทางใหม่ที่ปรับปรุงว่ามีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำกว่าเส้นทางเดิมหรือไม่ ถ้าเส้นทางที่ได้มีค่าต่ำกว่าเดิม แสดงว่า เส้นทางใหม่ที่ได้เป็นคำตอบที่ดีกว่า

ขั้นที่ 3 ปรับปรุงเส้นทางใหม่อีกครั้งด้วยวิธีการในขั้นที่ 2 จนไม่สามารถปรับปรุงเส้นทางได้ ซึ่งโดยปกติมักพบว่าวิธีการแบบ 3- Routes จะมีประสิทธิภาพดีกว่า 2- Routes



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการปรับปรุงเส้นทางแบบ 2- Routes

2.3 วิธีผสมผสาน (Composite Procedure) เป็นวิธีการที่รวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันเพื่อลดระยะเวลาในการแก้ปัญหา โดยเริ่มต้นกำหนดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการสร้างเส้นทาง และปรับปรุงเส้นทางที่ได้จากขั้นต้นด้วยวิธีการปรับปรุงเส้นทาง

เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่นำเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาของการสร้างเส้นทางและปรับปรุงเส้นทางมาผสมผสานกัน ซึ่งแนวทางที่นิยมในการแก้ปัญหาคือดำเนินการดังนี้

ขั้นที่ 1 หาเส้นทางเริ่มต้นโดยใช้วิธีการสร้างเส้นทาง

ขั้นที่ 2 ปรับปรุงเส้นทางเดินทางในเบื้องต้นด้วยวิธีการแลกเปลี่ยน 2 เส้นทาง

(2-Routes)

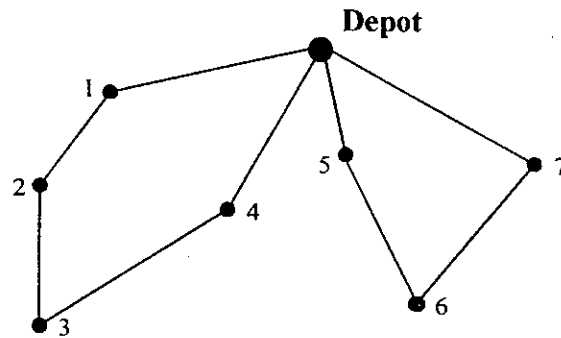
ขั้นที่ 3 ปรับปรุงเส้นทางเดินทางในขั้นต่อไปด้วยวิธีการแลกเปลี่ยน 3 เส้นทาง

(3-Routes)

วิธีการนี้จะสามารถย่นระยะเวลาคำนวณให้น้อยลงและรวดเร็ว ซึ่งให้เส้นทางที่เป็นผลลัพธ์ดีและมีความถูกต้องกว่าการหาผลลัพธ์ จากวิธีการปรับปรุงเส้นทาง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem: MTSP หรือ Multiple Routes)

การจัดเส้นทางเดินรถแบบหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem, MTSP) เป็นปัญหาในการจัดลำดับการส่งสินค้าโดยใช้เส้นทางหลายเส้นทางให้กับลูกค้าต่าง ๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวโดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของรถ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (MTSP)

สมมติให้ M เป็นจำนวนรถหรือเส้นทางซึ่งจะส่งสินค้าไปยังร้านค้าต่าง ๆ จำนวน $n-1$ แห่ง โดยทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเส้นทางจำนวน M เส้นทางมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสามารถจำลองแบบปัญหาด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2-12)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = b_j = \begin{cases} M & \text{if } j = 1 \\ 1 & \text{if } i = 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (2-13)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_i = \begin{cases} M & \text{if } i = 1 \\ 1 & \text{if } i = 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (2-14)$$

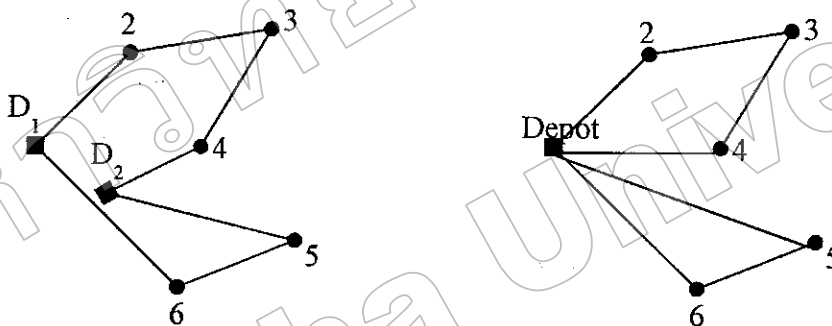
$$X = (x_{ij}) \in S \quad (2-15)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2-16)$$

โดย S เป็นเซตที่ใช้ในการจัดการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) เช่นเดียวกับที่ใช้ในปัญหาประเภท TSP โดยเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหา MTSP มีหลายแนวทางเช่นเดียวกับปัญหาประเภท

TSP นอกจากนี้ยังมีเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาอีกแบบหนึ่ง คือ การเปลี่ยนปัญหาให้เสมือนเป็น ปัญหาประเภท TSP โดยการเพิ่มจุดส่ง (Nodes) ใหม่จำนวน M จุดส่ง คือ $D_1 D_2 \dots D_m$ และให้ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากจุดส่งใหม่ไปจุดส่งต่าง ๆ มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากศูนย์ไปยัง ตำแหน่งต่าง ๆ และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นมาใหม่มีค่าสูงมาก เพื่อให้ไม่มีการเชื่อมกันระหว่างศูนย์ เช่น D_1-D_2 เป็นต้น แล้วจึงวิเคราะห์ปัญหาแบบ TSP แทน โดย ภายหลังจากการวิเคราะห์จะต้องแปลงเส้นทางที่ได้ดังกล่าวกลับเป็นปัญหาแบบ MTSP ตามเดิมแทน ดังภาพที่ 6 แต่วิธีการดังกล่าวอาจพบข้อบกพร่อง ได้แก่

- วิธีการนี้มักไม่ให้คำตอบที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด
- เส้นทางในการเดินทางของแต่ละเส้นทางอาจมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่แตกต่างกันมากทำให้เกิดการจัดสรรงานที่ไม่เท่ากัน



ภาพที่ 6 เทคนิคการจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทางด้วยการเสมือนปัญหา TSP

ปัญหาแบบ Vehicle Routing Problem (VRP)

ปัญหาแบบ VRP เป็นการหาจำนวนเส้นทางเดินรถและลำดับของการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว โดยทราบปริมาณสินค้าของแต่ละลูกค้าไปยังจุดต่าง ๆ เพื่อให้ทำให้ผลรวมของ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของรถทุกคันมีค่าน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของการจัดส่ง เช่น ความจุหรือ ระยะเวลาในการเดินทาง ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการแก้ปัญหาได้ดังนี้

1. การจำลองปัญหา

การจำลองแบบปัญหา VRP สามารถทำได้ด้วยการสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์ตามลักษณะ ของปัญหา เช่น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เงื่อนไขของเวลา และความจุของรถได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} c_{ij} x_{ij}^v \quad (2-17)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad (2-18)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (2-19)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ip}^v - \sum_{j=1}^n x_{pj}^v = 0 \quad \begin{matrix} (v = 1, \dots, NV) \\ (p = 1, \dots, n) \end{matrix} \quad (2-20)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^v \right) \leq K_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2-21)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i^v \sum_{j=1}^n x_{ij}^v + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_j^v x_{ij} \leq T_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2-22)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2-23)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2-24)$$

$$X \in S \quad (2-25)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } i, j, v \quad (2-26)$$

โดยที่

n = จำนวนจุดส่ง

NV = จำนวนรถ

K_v = ความจุของรถคันที่ v

T_v = ข้อกำหนดเวลาในการเดินทางของรถคันที่ v

D_i = ความต้องการสินค้าของจุดส่งที่ i

t_i = เวลาที่รถคันที่ v ใช้ในการส่งหรือบรรทุกสินค้าที่จุดส่ง i

t_{ij} = เวลาที่ใช้ในการเดินทางของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j

c_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j

$x_{ij}^v = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } \text{arc}(i, j) \text{ อยู่บนเส้นทางของรถ } v \\ 0 & \text{ถ้าเป็นกรณีอื่น} \end{cases}$

$X = \text{เมตริกซ์ของ } x_{ij}^v \equiv \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$

2. เทคนิคในการหาคำตอบ

เทคนิคในการหาคำตอบของการจัดเส้นทางเดินรถมีหลายวิธีดังได้กล่าวมาแล้ว แต่วิธีการในการหาคำตอบด้วยวิธีวิวิธวิธีได้ข้อจำกัดของความจุและเวลาเป็นวิธีที่นิยมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว จะมีวิธีการเช่นเดียวปัญหา TSP แต่ต้องตรวจสอบว่าความจุของรถและเวลาในการเดินทางและเวลาในการเดินทางต้องไม่เกินข้อกำหนดทุกครั้งของการวิเคราะห์ โดยเมื่อการจัดเส้นทางถึงขีดจำกัดก็จะต้องเปลี่ยนรถหรือจัดเส้นทางใหม่เข้ามาเพิ่ม ซึ่งเทคนิคที่นิยมสำหรับการจัดเส้นทางแบบนี้ได้แก่

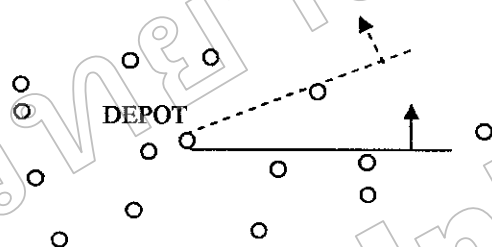
2.1 Saving หรือ Insertion Procedure โดยการหาค่าประหยัดค่าใช้จ่าย $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$ แล้วจึงเรียงค่าการประหยัดได้จากมากไปน้อยเพื่อสร้างเส้นทางที่ทำให้เกิดการประหยัดสูงสุด โดยยังไม่เกินเงื่อนไขเกี่ยวกับความจุของรถ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจมีข้อบกพร่องเพราะเส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีพื้นที่รับผิดชอบในการขนส่งแตกต่างกันมาก และทำให้ระยะเวลาในการเดินทางไม่เท่ากัน นอกจากนี้ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางอาจทำให้ใช้รถมากกว่าวิธีอื่น ๆ

2.2 Sweep Approach เป็นวิธีการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าโดยการแบ่งเส้นทางเป็นพื้นที่รับผิดชอบด้วยการหมุนเส้นสมมติ ในทิศทางเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาดังภาพที่ 7 และรวมปริมาณสินค้าที่เส้นดังกล่าวผ่านร้านต่าง ๆ จนกระทั่งผลรวมของปริมาณสินค้าใกล้ถึงความจุของรถบรรทุกจึงเปลี่ยนรถใหม่เข้ามาเพิ่มจนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบ หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการ

แก้ปัญหา TSP สำหรับรถแต่ละคัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ อาจมีข้อบกพร่อง คือ ถ้าศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้อยู่ ณ ศูนย์กลางของพื้นที่ให้บริการ จะทำให้รูปร่างของเส้นทางการเดินรถมีขนาดที่ไม่สมคุลย์ และทำให้ระยะเวลาในเดินทางของรถแต่ละคันมากกว่าวิธีการอื่น ๆ นอกจากนี้แล้ววิธีการแบบนี้ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะการวางแผนของถนน ทำให้ร้านค้าที่อยู่ในถนนเดียวกัน อาจอยู่คนละเส้นทางก็ได้ซึ่งไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง

2.3 Cluster First-Route Second เป็นการหาเส้นทางในการเดินรถโดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบในการส่งสินค้าก่อน หลังจากนั้นจึงหาลำดับในการส่งสินค้าในลำดับต่อไป

2.4 Route First-Cluster Second วิธีการนี้จะเริ่มจากการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่ผ่านลูกค้าทุกราย ซึ่งเรียกเส้นทางนี้ว่า Giant Tour หลังจากนั้นจึงแบ่งออกเป็นเส้นทางย่อย ๆ เนื่องจากรถเพียงคันเดียวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุด ดังนั้น จึงต้องแบ่งเป็นเส้นทางย่อยโดยคำนึงถึงความจุของรถ และข้อจำกัดระยะเวลาการขนส่ง



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาคับด้วยวิธี Sweep Approach

2.5 Improvement หรือ Exchange Procedure เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นทางที่มีอยู่ด้วยการหาเส้นทางที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากการแลกเปลี่ยนเส้นทางที่มีอยู่แล้ว จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงเส้นทางได้

การทบทวนผลงานที่ผ่านมา

จากผลการทบทวนทฤษฎีพบว่า การจัดเส้นทางเดินเรือภายใต้ข้อจำกัดของความสามารถในการบรรทุกของเรือ หรือ การผ่านความลึกของร่องน้ำ หรือ เวลาที่ใช้ในการขนส่งทางชายฝั่งนั้น ผลงานในอดีตไม่ค่อยมี ส่วนมากจะเป็นงานวิจัยจากต่างประเทศ หรือ หากมีก็จะเป็นการจัดเส้นทางเดินรถมากกว่า การทบทวนจึงได้จำกัดเฉพาะตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าดังสรุปในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
สุธี ศรีเพชรดานนท์ (2536)	วิทยานิพนธ์ที่ศึกษาการสร้างแบบจำลองของการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้าประเภทผงซักฟอกและสินค้าที่ใช้ในห้องน้ำ โดยมีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียวที่จะกระจายสินค้าไปสู่ร้านค้าต่าง ๆ โดยต้องการใช้ระยะเวลาเดินรถน้อยที่สุด	เทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการวิเคราะห์คือวิธี Clarke-Wright โดยแบ่งกลุ่มลูกค้าตามพื้นที่ต่าง ๆ แล้วเก็บเวลาในการเดินทางจริง ภายใต้สมมติฐานที่สำคัญ คือสภาพการจราจรที่เป็นปกติ และประมาณเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าโดยพิจารณาตามขนาดเป็นสำคัญ
Clarke and Wright (1964)	เป็นการจัดเส้นทางเดินรถที่มีหลายขนาด โดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว	ใช้วิธีการวิวัฒนาการเพื่อการจัดเรียงลำดับของค่าประหยัดได้ (Saving) และเชื่อมเส้นทางต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องใช้และปริมาณสินค้าแต่ละวัน
Bell et al. (1983)	กล่าวถึงการจัดเส้นทางสินค้าประเภทพืชและเคมีภัณฑ์ให้กับลูกค้าต่าง ๆ ซึ่งต้องมีการคาดคะเนระดับของสินค้าของลูกค้าต่าง ๆ และกำหนดเวลาในการส่ง	แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วนคือ - การวิเคราะห์ปริมาณสินค้าที่จะต้องเติมให้กับลูกค้าแต่ละราย - การวิเคราะห์เส้นทางเพื่อให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด รวมทั้งมีจำนวนการใช้รถบรรทุกให้น้อยที่สุด Bell และคณะเลือกใช้วิธีการ Set Covering

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
		ในการวิเคราะห์ปัญหาเนื่องจากลูกค้าสามารถใช้บริการมากกว่าหนึ่งคันมาส่งสินค้าและระยะเวลาในการปฏิบัติงานยาวนานกว่าประมาณ 5 วัน ดังนั้นลูกค้าสามารถเปลี่ยนสินค้าได้โดยแบ่งลำดับขั้นตอนในการทำงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ 1. Route Generator เป็นขั้นตอนการเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้ในแต่ละเส้นทางก่อน โดยมีการระบุลูกค้าต่าง ๆ พร้อมแสดงต้นทุนและค่าใช้จ่าย 2. Route Optimizer เป็นขั้นตอนการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนต่ำสุด โดยเส้นทางที่เลือกต้องสอดคล้องกับความต้องการและเงื่อนไข การวิเคราะห์ปัญหานี้มีความซับซ้อนมากเพราะมีจำนวนลูกค้ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการกำหนดเวลาในการส่งสินค้า

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
Jongkol (1990)	เสนอการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน โดยใช้เทคนิค Matching ของค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นเวลาระยะทาง	เสนอการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าประหยัดจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังสถานีบริการที่กระจายอยู่ในกรุงเทพฯ โดยมีขนาดรถแตกต่างกัน โดยแบ่งขั้นตอนเป็น 2 ส่วนคือ 1. การประมาณเส้นทางที่สั้นที่สุด 2. การจัดกลุ่มลูกค้าที่สามารถส่งสินค้าได้
Klibbua (1990)	กล่าวถึงการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางในการจัดส่งของโรงงานผลิตอาหารประเภทนมและไอศกรีมในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญคือ อายุสินค้าสั้น โดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบเป็น 4 พื้นที่เพื่อรองรับกับรถส่งนมและไอศกรีม 4 คัน	งานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบการทำงานของคลัง (Warehouse) และขนาดพื้นที่คลัง ส่วนที่สองเป็นการวางแผนการขนส่งสินค้าซึ่งกำหนดให้เส้นทางเป็นเส้นทางคงที่ตามความรับผิดชอบ ซึ่งเทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการจัดเส้นทางคือ 2-Routes โดยใช้ระยะทางเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยการสร้างเมตริกซ์ระยะทางไปยังลูกค้าต่าง ๆ จากการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ที่เรียกว่า Dijkstra's Algorithm

บทสรุป

ผลการทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า

1. การศึกษานี้ควรเลือกใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกเนื่องจากวิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่ซับซ้อนและยากต่อการพัฒนา โดยวิธีฮิวริสติกเมื่อ

- ข้อมูลที่เป็นปัจจัยนำเข้า (Input) มีความคลาดเคลื่อน หรือ มีข้อมูลจำกัด
- ลักษณะของปัญหาในทางปฏิบัติมีความซับซ้อนเช่น มีเงื่อนไขในการปฏิบัติจำนวน มาก

ซึ่งส่งผลให้วิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ให้ผลลัพธ์ที่ไม่สามารถนำไปใช้งานจริง

- ยังไม่สามารถหาวิธีในการแก้ปัญหาที่เชื่อถือได้และถูกต้อง
 - การคำนวณหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ใช้ระยะเวลานานเกินไป
 - มีความเป็นไปได้ในอนาคตที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา
 - เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและไม่มีเวลาในการแก้ปัญหามากนัก
 - กระบวนการแก้ปัญหาสามารถเขียนเป็นกฎเกณฑ์ได้และง่ายต่อการพัฒนา
- แต่อย่างไรก็ตามวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก อาจไม่สามารถแก้ปัญหาในบาง

สถานการณ์ได้ซึ่งมีข้อสังเกตที่

- ในทางปฏิบัติวิธีฮิวริสติกซึ่งพิจารณากฎเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นอาจไม่สามารถแก้ปัญหาให้ใกล้เคียงกับคำตอบจริงได้ เนื่องจากมีข้อด้อยเช่น วิธี Sweep Approach จะไม่สามารถจัดสรรเส้นทางได้ดีหากศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ตั้งอยู่ใจกลางกลุ่มลูกค้า

- ทางเลือกในการตัดสินใจอย่างเป็นลำดับขั้นอาจไม่สามารถแก้ปัญหาได้ถูกต้องในคราวเดียวเช่น วิธีการฮิวริสติกหลายแบบที่ต้องเลือก และเปลี่ยนจุดเริ่มต้นหลายครั้ง เพื่อให้ได้คำตอบที่มีค่าน้อยที่สุด เป็นต้น

- วิธีการแบบฮิวริสติกเป็นวิธีที่ขาดมุมมองที่กว้างไกล เนื่องจากมุ่งหวังที่จะแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเป็นหลักเช่น การจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Nearest Neighbor เมื่อจัดเส้นทางจนถึงจุดส่งสุดท้ายแล้วก็ต้องเชื่อมเส้นทางกลับมายังที่ศูนย์ฯ ซึ่งในบางครั้งระยะทางดังกล่าวเป็นระยะทางที่ไกลจนทำให้คำตอบที่ได้ไม่มีคุณภาพ

2. ระบบที่พัฒนาควรมีกลไกในการปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเส้นทางในการเดินรถ