ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด

นางสาวขวัญแก้ว มีทรัพย์ทวีกูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

CAPACITATED DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH MULTIPLE DEPOTS

Miss Kwankaew Meesuptaweekoon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัต โดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด
โดย	นางสาวขวัญแก้ว มีทรัพย์ทวีกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

.....กรรมการ

(ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขวัญแก้ว มีทรัพย์ทวีกูล : ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด. (CAPACITATED DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH MULTIPLE DEPOTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์, 87 หน้า.

“ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” เป็นปัญหาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบแบบพลวัตทำให้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถเปลี่ยนไปตลอดเวลา อีกทั้งการมีระยะเวลารับประกันการขนส่งและจุดเริ่มต้นการขนส่งหลายจุดเป็นตัวเลือกในการจัดเส้นทาง ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาที่รวดเร็วในการจัดเส้นทางเดินรถที่ดี งานวิจัยนี้ได้นำเสนอฮิวริสติกที่ประกอบการจัดลูกค้าเข้ากลุ่มเดียวกันและการเลือกจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมพร้อมกับการจัดเส้นทางเดินรถไปในเวลาเดียวกัน โดยนำเสนอวิธีการนับจุดตัด (Square grid map) ในการรวมกลุ่มลูกค้าและจุดเริ่มต้นเข้าด้วยกันและทำการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยวิธีการ Sweep และ วิธีการ Reorder สุดท้ายทำการพัฒนาเส้นทางด้วยวิธีการ Insertion โดยผลที่ได้จากฮิวริสติกคือเส้นทางเดินรถและเวลาออกรถเพื่อเริ่มทำการขนส่ง ซึ่งได้ถูกนำมาวัดประสิทธิภาพด้วยการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมโดยเปรียบเทียบกับคำตอบจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหาขนาดเล็กและทำการเปรียบเทียบคำตอบจากฮิวริสติกที่ปัญหาลักษณะต่างๆที่สร้างขึ้น ซึ่งฮิวริสติกใช้เวลาที่รวดเร็วในการจัดเส้นทางที่ไม่แตกต่างจากเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดเล็ก และให้ผลที่น่าพอใจสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ โดยการเลือกเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด ณ เวลาใดๆ ให้ผลที่ดีกว่าการเลือกเส้นทางที่มีเวลาออกรถช้าที่สุด ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกพบว่า ฮิวริสติกให้คำตอบที่ดีสำหรับปัญหาที่มีความพลวัตสูง รถที่ขนสินค้าไปส่งผู้โดยสารมีความจุจำกัด และตำแหน่งของจุดเริ่มต้นมีจำนวนมากต่อหนึ่งปัญหา ซึ่งฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาพลวัตเมื่อเทียบกับผลการจัดเส้นทางในปัญหาสถิต และวิธีการนับจุดตัดในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางเดินรถทำให้เกิดเส้นทางที่มีระยะสั้นกว่าการพิจารณาเฉพาะระยะทางกระจัดระหว่างลูกค้าที่ใช้ในการสร้างฮิวริสติกทั่วไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5570537021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: VEHICLE ROUTING PROBLEM / MULTIPLE DEPOTS / DYNAMIC PROBLEM / HEURISTIC

KWANKAEW MEESUPTAWEEKOON: CAPACITATED DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH MULTIPLE DEPOTS. ADVISOR: ASST. PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE, Ph.D., 87 pp.

Capacitated Dynamic Vehicle Routing Problem with Multiple Depots is the problem that demands from customer enter dynamically to the system in several of time. The objective is to generate routes for dispatching orders by minimizing distances. The feasible route should transport demands within the guarantee time and the total demand for each route cannot be over the vehicle capacity. Thus, there are two decisions to be considered: a proper depot and a proper group of customer nodes. This research developed the heuristic which counts square grids map under all feasible Manhattan distance to cluster customers to the same group, then applies sweep and reorder method to generate the initial feasible routing. To finish the routing process, insertion procedure has been applied to improve routing and all routes will be processed to determine dispatching time. Efficiency of developed heuristics is determined by testing with standard problems and generated problems. Heuristics performed well on small problems comparing with the optimal solution from CPLEX by consuming short time. For large problems, heuristic provided good routes in a very short of time. Choosing a shortest routing instead of a maximum dispatching time routing always provide a better routes if testing with generated problem. The overall results shown that the developed heuristics appropriate to solve a high dynamic of customers, capacitated vehicles and multiple depots problems and provide better solutions if the problems are dynamic comparing with static problems. Lastly, the results from testing the counting grids heuristic are better than results from heuristic using general Euclidian distance as criteria for clustering customers in every problem.

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ เป็นอย่างยิ่ง สำหรับคำแนะนำ ความรู้ แรงบันดาลใจ ตลอดจนการสนับสนุนและให้แนวคิดในเรื่องต่างๆตลอดมาที่ส่งผลให้ผู้เขียนมีหลักการคิดในการสร้างสรรค์ผลงาน ซึ่งไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดวิทยานิพนธ์เล่มนี้เท่านั้น แต่ยังได้สร้างแนวทางในการสร้างองค์ความรู้ที่ดีในการประยุกต์ใช้ต่อไปในภายภาคหน้า และที่สำคัญได้ให้โอกาสผู้เขียนเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของห้องวิจัย ROM ซึ่งได้สร้างประสบการณ์ที่หลากหลายในด้านวิชาการ และการทำงานท่ามกลางบุคลากรผู้ทรงความรู้และเพื่อนนักวิจัย และผู้ช่วยวิจัยที่มีแนวทางในการสร้างสรรค์ผลงานเช่นเดียวกัน

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และหัวหน้าหน่วยวิจัย ROM อาจารย์.ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมาการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. เหรียญ บุญดี-สกุลโชค กรรมาการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอก ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณอนวัช อริยสัจจากร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการเขียนโปรแกรมและให้ความคิดเห็นด้านแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คุณสิรวิชญ์ สว่างนพ ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยและการนำเสนอเพื่อเผยแพร่ผลงานเป็นอย่างดี รวมไปถึงนักวิจัย และผู้ช่วยวิจัย ซึ่งเป็นสมาชิกของห้องวิจัย ROM ทุกท่านและที่ให้การสนับสนุนและเป็นผู้ร่วมงานและเพื่อนที่ดีในทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ นายเมธา และนางสมใจ มีทรัพย์ทวีกูล บิดา มารดา ผู้เห็นการศึกษาของลูกเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในชีวิต วิทยานิพนธ์เล่มนี้ไม่สามารถสำเร็จได้หากขาดการสนับสนุนในทุกด้านอย่างไม่มีเงื่อนไข และกำลังใจจากท่านทั้งสอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 6
1.5 ผลได้รับ 7
บทที่ 2 9
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 ปัญหางานวิจัย 9
2.2 วิธีการแก้ปัญหา 11
บทที่ 3 18
แบบจำลองคณิตศาสตร์ 18
3.1 แนวคิดในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ 18
3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์ 18
3.3 ผลที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ 22
3.4 บทสรุป 24
บทที่ 4 25
หลักการของฮิวริสติกและระบบจัดเส้นทางเดินรถ 25
4.1 แนวคิดในการสร้างฮิวริสติก 25
4.2 การทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถ 26
4.3 การจัดกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น 28
4.3.1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการนับจุดตัด (Square grid map) 29
4.3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยวิธีการ Sweep และวิธีการ Reorder 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.4 การพัฒนาเส้นทางเดินรถ 36
4.5 การคำนวณเวลาที่รถต้องเริ่มออกเดินทางเพื่อไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนแรก 37
4.6 การทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถ 38
4.7 Programming 40
4.8 บทสรุป 42
บทที่ 5 43
การทดสอบและผลของฮิวริสติก 43
5.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติก 43
5.1.1 ปัญหามาตรฐาน 43
5.1.2 ปัญหาที่สร้างขึ้น 45
5.2 ผลของการทดสอบฮิวริสติก 51
5.2.1 ผลของปัญหามาตรฐาน 51
5.2.2 ผลของปัญหาที่สร้างขึ้น 57
5.3 บทสรุป 78
บทที่ 6 80
สรุปผลงานวิจัย 80
6.1 สรุปผลงานวิจัย 80
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ 82
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 83
รายการอ้างอิง 84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลของการจัดเส้นทางด้วยวิธีการ Sweep 33
ตารางที่ 2 วิธีการ Reorder 35
ตารางที่ 3 วิธีการคำนวณเวลาออกรถ 38
ตารางที่ 4 ผลของการจัดเส้นทางเดินรถ 41
ตารางที่ 5 ปัญหามาตรฐานที่จะใช้ในการทดสอบฮิวริสติก 44
ตารางที่ 6 ความหมายของรหัสที่ประกอบกันเป็นชื่อปัญหามาตรฐาน 45
ตารางที่ 7 ลักษณะของปัญหามาตรฐานที่นำมาทดสอบฮิวริสติก 45
ตารางที่ 8 พารามิเตอร์สำหรับแต่ละระดับของความเป็นพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ 47
ตารางที่ 9 จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาของแต่ละระดับพลวัตของปัญหา 47
ตารางที่ 10 พารามิเตอร์สำหรับแต่ละระดับของจำนวนจุดเริ่มต้นต่อลูกค้า 49
ตารางที่ 11 รหัสและความหมายที่ใช้ในการสร้างปัญหาทดสอบ 50
ตารางที่ 12 ค่าที่นำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติก 51
ตารางที่ 13 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 5, 6, 7 และ 8 คนด้วยฮิวริสติก Min_dist 52
ตารางที่ 14 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 5, 6, 7 และ 8 คนด้วยฮิวริสติก Max_due 53
ตารางที่ 15 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 25, 50 และ 100 คนด้วยฮิวริสติก Min_dist 54
ตารางที่ 16 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 25, 50 และ 100 คนด้วยฮิวริสติก Max_due 55
ตารางที่ 17 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX 58
ตารางที่ 18 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX 59
ตารางที่ 19 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะความพลวัตของปัญหา 60
ตารางที่ 20 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะความความจุของรถ 61
ตารางที่ 21 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจำนวนจุดเริ่มต้น 62
ตารางที่ 22 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบคำตอบเมื่อแยกตามความพลวัตของปัญหา 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 ผลที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาลักษณะต่างๆที่รถมีความจุไม่จำกัด 65
ตารางที่ 24 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามลักษณะของความพลวัตของปัญหา 66
ตารางที่ 25 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา..... 66
ตารางที่ 26 ผลที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาลักษณะต่างๆที่รถมีความจุจำกัด .. 67
ตารางที่ 27 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามลักษณะของความพลวัตของปัญหา 68
ตารางที่ 28 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา..... 69
ตารางที่ 29 ผลการเปรียบเทียบระหว่างปัญหาที่มีความจุไม่จำกัดและปัญหาที่มีความจุจำกัด 70
ตารางที่ 30 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิต 71
ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิต 72
ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิต 73
ตารางที่ 33 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง ฮิวริสติก Min_dist-Distance 76
ตารางที่ 34 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง ฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid แยกตามลักษณะของปัญหา..... 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ผลการทดลองเมื่อรถมีความจุ 200หน่วยความจุ ปริมาณความต้องการงานเฉลี่ย 40-60 หน่วยความจุ จำนวนลูกค้า 8 คน และจำนวนจุดเริ่มต้น 2 จุด..... 22

รูปที่ 2 ผลการทดลองเมื่อมีจำนวนลูกค้า 8 คน จำนวนจุดเริ่มต้น 2 จุด ระยะเวลาประกัน 150 หน่วยเวลา และระยะห่างของเวลาการเข้ามาในระบบของลูกค้า 30-50 หน่วยเวลาต่อลูกค้า.. 23

รูปที่ 3 ผลการทดลองเมื่อรถมีความจุ 200หน่วยความจุ ปริมาณความต้องการงาน 40-60 หน่วยความจุ ระยะเวลาประกัน 150 หน่วยเวลา และระยะห่างของเวลาการเข้ามาในระบบของลูกค้า 24

รูปที่ 4 ระบบจัดเส้นทางเดินรถ 27

รูปที่ 5 เส้นทางแบบ Manhattan 29

รูปที่ 6 จุดตัดใต้เส้นทางแบบ Manhattan ทั้งหมดที่เป็นไปได้ระหว่างจุด A และ B..... 30

รูปที่ 7 วิธีการ Sweep 33

รูปที่ 8 วิธีการ Insertion..... 36

รูปที่ 9 แผนผังการทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถ..... 39

รูปที่ 10 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของปัญหาที่มี 1 จุดเริ่มต้นและลูกค้า 10 คน..... 40

รูปที่ 11 ตัวอย่างคำตอบของข้อมูลนำเข้าของปัญหาในรูปที่ 10 41

รูปที่ 12 พื้นที่ในการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถ 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด เป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน อาทิ การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าของบริษัทขนส่ง การจัดเส้นทางการขนส่งอาหารตามสั่งของร้านอาหาร การจัดเส้นทางเพื่อรับและส่งสินค้าและวัตถุดิบตามโรงงานต่างๆของโรงงาน เป็นต้น ทั้งนี้จุดเริ่มต้นการขนส่งอาจเป็นคลังสินค้า ร้านค้า หรือสถานที่จอดรถ ซึ่งจุดเริ่มต้นในปัญหาอื่นๆอาจเปลี่ยนไปตามลักษณะการดำเนินการขนส่ง ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาที่ควรตระหนักถึง เนื่องจากการขนส่งมีส่วนสำคัญในการบริการลูกค้า แต่ในขณะเดียวกันการบริหารจัดการการขนส่งก็ควรตระหนักถึงต้นทุน และประสิทธิภาพในการดำเนินการจัดเส้นทางด้วย

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาที่ซับซ้อน เนื่องจากมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย อาทิ เส้นทางในการขนส่ง รถที่ใช้และความจุที่จำกัด จุดเริ่มต้นในการขนส่ง เวลาที่สามารถขนส่งได้ ฯลฯ ดังนั้นปัญหาเช่นนี้จึงเป็นปัญหาแบบ NP-hard ซึ่งต้องใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) หรือ แฟคทอเรียล (Factorial) ตามขนาดที่เพิ่มขึ้นของปัญหา ซึ่งหากทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวแปรการตัดสินใจแบบไบนารี (Binary variable) แบบจำลองดังกล่าวจะมีตัวแปรในการตัดสินใจ N^2K ตัวแปร (เมื่อ N คือ จำนวนลูกค้าและจุดเริ่มต้น และ K คือ จำนวนเส้นทางหรือจำนวนรถที่ใช้) จากการที่ปัญหาดังกล่าวมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากและต้องใช้ระยะเวลานานในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีการอื่นๆนอกเหนือจากการหาคำตอบด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีในระยะเวลาที่รวดเร็ว

วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินที่มีจุดเริ่มต้นหลายแห่งซึ่งเป็นปัญหาที่คล้ายกับปัญหางานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี คือการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method)โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ และการหาคำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่รวดเร็วโดยใช้ฮิวริสติก ซึ่งวิธีแรกสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดเล็กได้เท่านั้น เนื่องจากต้องใช้เวลาหาคำตอบที่นาน ซึ่งเป็นผลทำให้นักวิจัยส่วนใหญ่เลือกใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหา ซึ่งฮิวริสติกที่ใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินที่มีจุดเริ่มต้นหลายแห่งมีด้วยกันหลายวิธี และส่วนใหญ่มีการสร้างฮิวริสติกให้มีการจัดกลุ่มลูกค้าสำหรับแต่ละจุดเริ่มต้นแล้วทำการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการที่ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไปที่มีเพียงจุดเริ่มต้นเดียว ซึ่งวิธีการดังกล่าวถือเป็นการแบ่งโดเมนของปัญหาให้เล็กลง หรือการทำให้ปัญหาซับซ้อนน้อยลง ซึ่งมีผลทำให้คำตอบที่ได้อาจแตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดในปัญหาขนาดใหญ่ เนื่องจากเส้นทางที่ดีที่สุดที่หาได้เป็นเส้นทางที่ดีที่สุด

สำหรับการขนส่งจากจุดเริ่มต้นที่ได้กำหนดไว้แต่แรกเท่านั้น ถึงแม้ว่าในขั้นตอนการพัฒนาเส้นทางอาจมีการสับเปลี่ยนเส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นได้ แต่อย่างไรก็ตามตัวเลือกที่สามารถพัฒนาเส้นทางได้มีจำนวนจำกัดกว่าการแบ่งกลุ่มที่ดีในตอนต้น ดังนั้นการพิจารณาแบ่งกลุ่มลูกค้าไปพร้อมๆการจัดเส้นทาง หรือการเริ่มจัดเส้นทางโดยไม่แบ่งโดเมนของปัญหาจัดเส้นทางเดินรถที่มีหลายจุดเริ่มต้นเป็นปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นเดียวจึงอาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาเส้นทางเดินรถให้มีระยะสั้นลงและใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด

จากการที่ปัญหางานวิจัยมีลักษณะเฉพาะ และแตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุดอื่นๆ โดยเฉพาะด้านกรอบเวลาการขนส่งที่เกิดจากการเข้ามาในระบบของลูกค้าแบบพลวัตและการกำหนดระยะเวลารับประกันการขนส่ง ดังนั้นการพัฒนาฮิวริสติกที่สามารถจัดเส้นทางสำหรับกลุ่มลูกค้าที่เหมาะสมที่จากจุดเริ่มต้นที่ทำให้ระยะทางสั้นภายใต้ระยะเวลาที่จำกัดเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะสามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างฮิวริสติกสำหรับปัญหาเฉพาะที่สนใจ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์จริงเพื่อช่วยลดต้นทุนในการขนส่ง และรักษาระดับการบริการลูกค้าได้ภายใต้ทรัพยากรที่มีจำกัด

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบพลวัตเป็นปัญหาที่ข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้าทั้งหมดก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทาง โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางอาทิ ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า ปริมาณสินค้าที่ต้องการ เป็นข้อมูลที่ผู้ทำการจัดเส้นทางทราบหลังจากที่ระบบได้ทำการจัดเส้นทางไปบางส่วนแล้ว ผลจากการไม่ทราบข้อมูลทั้งหมดล่วงหน้าทำให้รูปแบบของปัญหาเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่มีข้อมูลเข้ามาในระบบการพิจารณา ซึ่งทำให้ปัญหามีความซับซ้อนกว่าปัญหาทั่วไปที่ทราบข้อมูลทั้งหมดก่อนทำการแก้ปัญหา ดังนั้นเพื่อให้เกิดวิธีการแก้ปัญหาเฉพาะที่สนใจ งานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถแบบพลวัต ที่รถมีความจุการขนส่งจำกัดสามารถออกจากจุดเริ่มต้นได้หลายจุด และสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงลูกค้าภายในระยะเวลารับประกัน

ปัญหางานวิจัยนี้เป็นปัญหาที่สามารถพบได้ในสถานการณ์จริง ตัวอย่างเช่น ปัญหาการส่งสินค้าด่วน ปัญหาการส่งอาหาร เป็นต้น โดยความต้องการสินค้าของลูกค้าจะเข้ามาในระบบ ณ เวลาต่างกัน การจัดเส้นทางจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อทำให้เกิดระยะทางในการขนส่งที่ต่ำที่สุด ในขณะเดียวกัน ลูกค้าต้องได้รับสินค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด และที่สำคัญเส้นทางต้องถูกจัดก่อนที่รถจะออกจากจุดเริ่มต้น เนื่องจากรถจะรับสินค้าทั้งหมดเพื่อนำไปส่งลูกค้าที่จุดเริ่มต้นเท่านั้น

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาแบบ NP-hard ดังนั้นงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้นำเสนอฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางการเดินรถ จากงานวิจัยของ Larsen, Madsen และ Solomon [9] ฮิวริส-ติกสำหรับการจัดเส้นทางการเดินรถแบบพลวัตส่วนใหญ่เป็นฮิวริสติกสำหรับปัญหาที่มีความเป็นพลวัตต่ำ (Weakly dynamic system) คือมีการจัดเส้นทางการเดินรถไว้ล่วงหน้าก่อนการออกรถ และเมื่อออกรถแล้วสามารถรับความต้องการของลูกค้าได้เพิ่มในระยะเวลา และความต้องการที่กำหนด จากนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถให้สอดคล้องกับความต้องการที่เข้ามา แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สนใจถือเป็นพลวัตระดับกลาง (Moderate dynamic system) ถึงระดับสูง (High dynamic system) คือ เส้นทางการเดินรถต้องตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด หรือเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นฮิวริสติกที่ผ่านมาจึงไม่สามารถใช้แก้ปัญหางานวิจัยนี้ได้อย่างเหมาะสมนัก

ในปัจจุบันการสร้างจุดเริ่มต้นการขนส่ง หรือศูนย์การกระจายสินค้าได้มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการลูกค้า และช่วยลดระยะทางในการขนส่งสินค้า ดังนั้นการเพิ่มความซับซ้อนให้กับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยการเพิ่มจุดเริ่มต้นการขนส่งจึงสามารถทำให้รูปแบบของปัญหามีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายจุดเริ่มต้น (Multiple-depot vehicle routing problem) ได้รับความสนใจจากการทำงานวิจัยเช่นเดียวกัน แต่งานวิจัยเหล่านี้ไม่ได้พิจารณาความเป็นพลวัตของข้อมูล และส่วนใหญ่จะแบ่งพิจารณาการจัดเส้นทางการเดินรถออกเป็นสองส่วนคือการแบ่งลูกค้าให้แต่ละจุดเริ่มต้น และการจัดเส้นทางการเดินรถแบบแยกพิจารณาสำหรับแต่ละจุดเริ่มต้น ทั้งนี้เพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา แต่อย่างไรก็ตามการแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วนอาจให้ผลที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับการพิจารณาในครั้งเดียว

การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาแบบพลวัตส่วนใหญ่จะใช้วิธีการกำหนดกรอบเวลาการพิจารณา (Time slide) โดยจะกำหนดรอบในการปรับปรุงเส้นทาง ซึ่งในแต่ละรอบการพิจารณาอาจถือได้ว่าปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่เป็นปัญหาสถิต เพราะจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัญหาในช่วงเวลาดังกล่าว โดยความต้องการที่เข้ามาในช่วงเวลานั้นจะถูกนำไปพิจารณาในช่วงต่อไป ซึ่งการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้อาจไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีความพลวัตสูง หรือปัญหาที่ต้องการแก้เพื่อสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าสูงสุด เพราะมีระดับการตอบสนองช้า และที่สำคัญการกำหนดกรอบเวลาที่เหมาะสมกับปัญหาสามารถทำได้อย่างเหมาะสมยาก ดังนั้นระบบที่พิจารณาจึงควรตอบสนองต่อความต้องการที่เข้ามาในระบบทันที เพราะจะทำให้เหมาะสมกับสภาพปัญหางานวิจัยที่มีความเป็นพลวัตในระดับกลางถึงระดับสูง และเพื่อลดขั้นตอนในการหากรอบเวลาการพิจารณาที่เหมาะสม

งานวิจัยของ สวาสดิ์ (2006) เป็นงานวิจัยที่มีลักษณะปัญหาคล้ายกับปัญหางานวิจัยนี้ แต่งานวิจัยดังกล่าวพิจารณาจุดเริ่มต้นการขนส่งเพียงแห่งเดียว และทำการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติก Insertion และ GRASP โดยทำการทดสอบฮิวริสติกกับปัญหาของ Solomon ซึ่งฮิวริสติกดังกล่าวให้ผลที่ดีกับปัญหาขนาดเล็ก (จำนวนลูกค้าน้อยกว่า 25 คน) และมีความแตกต่างของคำตอบเพิ่มมากขึ้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ ปัญหาที่มีความเป็นพลวัตมาก และปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าต่อคันมาก ทั้งนี้เพราะฮิวริสติกที่สร้างขึ้นไม่ได้คำนึงถึงปัญหาลักษณะดังกล่าว ทำให้ผลที่ได้ออกมาแตกต่างจากผลที่ดีที่สุดอย่างชัดเจน

จากปัญหาที่สนใจและช่องว่างของงานวิจัยที่ผ่านมา งานวิจัยนี้นำเสนอฮิวริสติกสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นเป็นฮิวริสติกที่สามารถใช้แก้ปัญหาที่มีความเป็นพลวัต โดยพิจารณาการแบ่งลูกค้าให้แต่ละจุดเริ่มต้นควบคู่ไปกับการจัดเส้นทางการเดินรถ และพิจารณาการจัดเส้นทางใหม่ทุกครั้งที่มีลูกค้าเข้ามาในระบบ เพื่อให้ลูกค้าได้รับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน และเกิดเส้นทางเดินรถที่สั้นที่สุดภายใต้ระยะเวลาในการคำนวณที่เหมาะสม

1.2 รูปแบบปัญหางานวิจัย

1.2.1 สมมติฐาน

1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด เป็นปัญหาที่ข้อมูลนำเข้าในระบบที่พิจารณาเป็นข้อมูลนำเข้าแบบพลวัต โดยข้อมูลดังกล่าวคือข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้าซึ่งประกอบไปด้วย
   - ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า (ตำแหน่งที่ต้องนำสินค้าไปส่ง)
   - ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการ (ความจุหรือปริมาตรที่ต้องนำสินค้าไปส่ง)
   - เวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบ
   - เวลาที่สินค้าต้องถึงมือลูกค้า (เวลารับประกันการส่งสินค้า)
2. จุดเริ่มต้นการขนส่ง จะถูกกำหนดขึ้นก่อนที่จะทำการจัดเส้นทางสำหรับแต่ละปัญหา โดยมีตำแหน่งภายในพื้นที่การขนส่ง
3. ระยะทางระหว่างลูกค้าและ หรือระหว่างลูกค้าและจุดเริ่มต้น มีเพียงหนึ่งเส้นทาง และมีค่าระยะทางที่แน่นอนเพียงค่าเดียว โดยระยะทางดังกล่าวหาได้จากการหาระยะกระจัด หรือการหาระยะทางแบบ Euclidean distance
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางมีค่าเท่ากับระยะทางที่ต้องใช้ในการเดินทาง

5. รถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าสำหรับแต่ละชุดปัญหาการทดสอบมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ (Homogeneous vehicles) และมีปริมาณพร้อมใช้ไม่จำกัด
6. จุดเริ่มต้นการขนส่งสำหรับแต่ละชุดปัญหาการทดสอบมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ (Homogeneous depots) และมีปริมาณสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด ซึ่งสินค้าที่ต้องนำส่งไม่ต้องใช้เวลาในการจัดเตรียม โดยสามารถนำส่งได้โดยทันที
7. เวลาที่พิจารณาในระบบการจัดเส้นทาง ไม่คำนึงถึงเวลาในการจัดสินค้าขึ้นหรือลงรถ (Loading/Unloading time) จะพิจารณาเฉพาะเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางเท่านั้น
8. ลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าแบบเร่งด่วนหรือสินค้าที่ไม่สามารถนำส่งได้ภายในระยะเวลารับประกันไม่ว่าจะจัดเส้นทางแบบใด (สินค้าที่ระยะเวลารับประกันน้อยกว่าระยะเวลาเดินทางจากจุดเริ่มต้นการขนส่ง) จะไม่ถูกนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในการจัดเส้นทางการเดินรถ
9. ลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าในครั้งหนึ่งๆ มากกว่าความจุของรถขนส่ง จะไม่ถูกนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในการจัดเส้นทางการเดินรถ

1.2.2 พารามิเตอร์

1. ข้อมูลชุดปัญหาที่ใช้ในการทดลอง
    - ระยะเวลารับประกันการขนส่ง (เริ่มนับจากเวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบ)
2. ข้อมูลรถที่ใช้ในการขนส่ง
    - ความจุสูงสุดของรถที่ใช้ในการขนส่ง
3. ข้อมูลลูกค้าและสินค้า
    - ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า
    - ปริมาณสินค้า (ความจุ) ที่ลูกค้าต้องการ
    - เวลาที่ความต้องการของลูกค้าเข้ามาในระบบ
    - เวลาที่สินค้าต้องถึงมือลูกค้า (เวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบ + เวลารับประกัน)

1.2.3 ตัวแปรในการตัดสินใจ

1. จุดเริ่มต้นการขนส่งสินค้าสำหรับลูกค้าแต่ละราย
2. เส้นทางการขนส่งสินค้า (ลำดับในการจัดส่งสินค้า) สำหรับรถที่ใช้ในการขนส่งแต่ละคัน
3. เวลาที่รถต้องเริ่มออกเดินทางเพื่อไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนแรก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2.4 วัตถุประสงค์ในการตัดสินใจ

การจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุดให้มีระยะทางในการขนส่งที่สั้นที่สุดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

1.2.5 ข้อจำกัด

1. ข้อจำกัดของจุดเริ่มต้น

   รถที่ใช้ในการขนส่งต้องเริ่มออกเดินทางและกลับสู่จุดเริ่มต้นเดิมเสมอ

2. ข้อจำกัดเรื่องการบริการ

   ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับสินค้าจากการขนส่งเพียงครั้งเดียวเท่านั้น หรือลูกค้าจะได้รับการบริการจากจุดเริ่มต้นใดจุดเริ่มต้นหนึ่ง และรถขนสินค้าคันใดคันหนึ่งเท่านั้น

3. ข้อกำจัดด้านความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง

   สินค้าทั้งหมดที่ต้องนำส่งลูกค้าบนรถที่ใช้ในการขนส่งแต่ละคันต้องมีความจุไม่เกินความจุที่รถสามารถขนส่งได้ โดยความจุจะคิดในหน่วยปริมาตรของสินค้า

4. ข้อจำกัดของเวลารับประกันการขนส่ง

   ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

นำเสนอฮิวริสติกสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” ที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งต่ำด้วยการจัดเส้นทางเพื่อให้เกิดระยะทางรวมสั้น โดยสามารถใช้ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นแก้ปัญหาของงานวิจัยได้โดยผลของการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ในระดับที่พึงพอใจ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านปัญหาของงานวิจัย

ปัญหาของงานวิจัยนี้คือ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยลักษณะของปัญหาประกอบไปด้วยข้อมูลลูกค้าซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้ง และความต้องการขนส่งสินค้าที่เข้ามาในระบบที่เวลาแตกต่างกัน ซึ่งฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นจะทำการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าด้วยรถที่มีความจุการขนส่งจำกัดและภายใต้กรอบเวลาได้กำหนดไว้

1.4.2 ขอบเขตด้านคำตอบของปัญหางานวิจัย

คำตอบของปัญหาที่ได้จากฮิวริสติกของงานวิจัยนี้ คือ

1. เส้นทางการเดินรถของรถแต่ละคัน โดยประกอบไปด้วย ลูกค้าที่รถต้องนำสินค้าไปส่งลำดับการจัดส่ง และปริมาตรของสินค้าที่ต้องจัดส่ง
2. จุดเริ่มต้นในการปล่อยรถแต่ละคัน หรือจุดเริ่มต้นที่ต้องส่งผ่านสินค้าไปยังลูกค้า
3. เวลาที่รถแต่ละคันต้องออกเดินทางเพื่อไปส่งสินค้า
4. ระยะทางรวมในการเดินรถแต่ละคัน และระยะทางรวมของรถทุกคันจากทุกจุดเริ่มต้น

1.4.3 ขอบเขตด้านผลลัพธ์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่นำเสนอฮิวริสติกในการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยไม่ได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการทำงานจริง

1.5 ผลได้รับ

ฮิวริสติกที่สามารถจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด ซึ่งฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหาได้ภายในระยะเวลารวดเร็วและให้คำตอบที่ดี

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อแก้จัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด”
2. สามารถนำฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะคล้ายกันที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงได้ อาทิ ปัญหาการขนส่งสินค้าของบริษัททางด้านโลจิสติกส์ ปัญหาการขนส่งเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาล ปัญหาการส่งสินค้าประเภทโทรสั่งเช่น Food delivery เป็นต้น
3. สามารถนำแนวคิดในการพัฒนาฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาระดับยาก (NP-hard) มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาแบบอื่นๆเพื่อหาผลเฉลยที่ดี และใช้เวลาในการแก้ปัญหาในระดับที่ยอมรับได้ (Good enough and Fast enough Solution)

1.7 บทสรุป

งานวิจัยนี้สนใจ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติกในการจัดเส้นทางเดินรถซึ่งเป็นฮิวริสติกที่สามารถใช้แก้ปัญหาที่มีความเป็นพลวัตระดับกลาง (Moderate dynamic system) ถึงระดับสูง (High dynamic system) คือ เส้นทางการเดินรถต้องตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด หรือเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยพิจารณาการแบ่งลูกค้าให้แต่ละจุดเริ่มต้นควบคู่ไปกับการจัดเส้นทางการเดินรถ และพิจารณาการจัดเส้นทางใหม่ทุกครั้งที่มีลูกค้าเข้ามาในระบบ เพื่อให้ลูกค้าได้รับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน และได้เส้นทางเดินรถที่สั้นที่สุด ภายใต้ระยะเวลาในการคำนวณที่รวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหางานวิจัย

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาทางด้านการขนส่งที่สำคัญ โดยเฉพาะปัญหาที่สามารถกระจายสินค้าจากจุดเริ่มต้นได้หลายจุดเริ่มต้น และลูกค้ามีหลายรายในพื้นที่ที่สามารถทำการขนส่งได้ เนื่องจากสามารถจัดการขนส่งได้หลายรูปแบบ โดยการจัดเส้นทางที่ดีสามารถทำได้ยากและใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน หากจัดเส้นทางกระจายสินค้าไม่ดีจะส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูง ในขณะที่การจัดการขนส่งที่ดีสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้อย่างมีนัยสำคัญ (Laporte 2007)

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถสามารถพบในชีวิตประจำวันได้หลายรูปแบบ อาทิ ปัญหาการส่งหนังสือพิมพ์ไปสู่ร้านค้าต่างๆของสำนักพิมพ์ ปัญหาการกระจายอาหารสดไปยังร้านขายของชำจากศูนย์กระจายสินค้า ปัญหาการเก็บนมสดจากผู้ผลิตไปยังโรงงาน ปัญหาการส่งอาหารไปยังลูกค้าจากร้านค้าต่างๆ หรือพบในกรณีศึกษาจากงานวิจัย เช่น การศึกษาการขนส่งอาหาร การขนส่งผลิตภัณฑ์จากสารเคมี การขนส่งเครื่องดื่ม การขนส่งเครื่องจักร การขนส่งผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม การขนส่งอาหารสำเร็จรูป เป็นต้น (Renaud, Laporte et al. 1996)โดยปัญหาการจัดเส้นทางรถนี้มีจุดเริ่มต้นจากงานวิจัยของ Dantzig และ Ramser (Dantzig and Ramser 1959) หลังจากนั้นปัญหานี้จึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง โดยปัญหางานวิจัยเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบ คือ การจัดเส้นทางเดินรถที่มีรถคันเดียว (Traveling Sale Problem)การจัดเส้นทางเดินรถที่มีกรอบเวลาการขนส่ง (Vehicle Routing Problem with Time Window) การจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem) การจัดเส้นทางเดินรถที่มีหลายจุดเริ่มต้น (Multi-Depots Vehicle Routing Problem) เป็นต้น

ปัญหาที่งานวิจัยนี้สนใจคือ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไป (Vehicle Routing Problem) แต่มีการพิจารณาความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเพื่อให้มีรูปแบบคล้ายปัญหาที่เกิดขึ้นจริง โดยความซับซ้อนดังกล่าวคือ การที่สินค้าสามารถถูกจัดส่งได้จากจุดเริ่มเริ่มหรือคลังสินค้าได้หลายแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem) และการที่ทรัพยากรในการขนส่งมีจำนวนจำกัด โดยทรัพยากรอาจหมายถึงจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง พื้นที่หรือความจุในการขนส่งของรถแต่ละคัน สินค้าที่สามารถส่งได้จากแต่ละจุดเริ่มต้นหรือคลังสินค้า เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรที่มีจำกัดสำหรับ

ปัญหางานวิจัยนี้ คือ ความจุของรถที่ใช้ในการขนส่งมีขนาดจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem) อีกทั้งการที่ปัญหาเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือการที่ข้อมูลหรือโจทย์เข้ามาสู่กระบวนการแก้ปัญหาหลังจากได้เริ่มแก้ปัญหาไปบางส่วนแล้ว เช่น การที่ข้อมูลของลูกค้าทยอยเข้ามาในระบบ ในระหว่างที่ระบบต้องเริ่มต้นจัดเส้นทางการขนส่งไปแล้ว (Dynamic Vehicle Routing Problem) เป็นต้น เพื่อให้สามารถเข้าใจปัญหาดังกล่าว อาจสามารถอธิบายได้ด้วยปัญหาที่พบในชีวิตประจำวัน เช่น ปัญหาการส่งอาหารให้ลูกค้าที่โทรเข้ามาสั่ง (Fast food delivery problem) โดยทั่วไปร้านอาหารพร้อมส่งมีสาขาอยู่หลายแห่งในพื้นที่หนึ่งๆ โดยร้านอาหารทุกสาขามีลักษณะคล้ายกัน และสามารถสามารถส่งอาหารให้ลูกค้าได้ทุกคน ร้านอาหารทั้งหมดรับคำสั่งจากศูนย์รับคำสั่งกลาง (Call Center) ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งจากลูกค้าที่โทรเข้ามาสั่งจากพื้นที่ต่างๆ โดยเมื่อคำสั่งจะถูกกระจายไปสู่ร้านอาหารเพื่อให้ทำการจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าให้ทันเวลารับประกันในการส่ง ซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวนี้ การจัดเส้นทางการส่งได้เข้ามามีบทบาท เนื่องจากการจัดเส้นทางการขนส่งที่ดี สามารถทำให้ร้านที่เหมาะสมจัดรถไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าได้ทันเวลาและทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่ง หรือระยะทางรวมในการขนส่งให้แก่ลูกค้าทั้งหมดต่ำที่สุด

Renaud, Larporte และ Boctoc (Renaud, Laporte et al. 1996), Cordeau, Gendreau และ Laporte (Cordeau, Gendreau et al. 1997) ได้อธิบายปัญหาการจัดเส้นทางรถที่มีหลายจุดเริ่มต้นไว้ว่า ปัญหาการจัดเส้นทางรถที่มีหลายจุดเริ่มต้น (Multi-Depot Vehicle Routing Problem , MDVRP) คือ ปัญหาที่ให้กราฟ $G = (V_C \cup V_D, E)$ โดยที่ V_C คือเซตของลูกค้า, V_D เซตของจุดเริ่มต้น และ E คือเซตของระยะทางระหว่างลูกค้าและลูกค้า และระยะทางระหว่างลูกค้าและจุดเริ่มต้น และกำหนดให้มีจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง m คัน รถแต่ละคันมีความจุ Q ในระหว่างการจัดเส้นทาง ลูกค้าแต่ละคนมีความต้องการสินค้าปริมาณ q และมีระยะเวลารับประกันการขนส่ง g เนื่องจากปัญหานี้พิจารณาระบบพลวัต ดังนั้นจึงมีการพิจารณาเวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบ a และเวลาที่สินค้าต้องไปถึงลูกค้า d ซึ่งในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ $d = a + g$ และเวลาที่ใช้ในการเดินทางมีค่าเท่ากับระยะทางที่ใช้ในการเดินทาง ซึ่ง Renaud, Larporte และ Boctoc , Cordeau, Gendreau และ Laporte ได้สรุปข้อจำกัดของปัญหาไว้ดังต่อไปนี้

1. ลูกค้าทุกคนได้รับสินค้าจากการส่งเพียงครั้งเดียว (No split order)
2. รถทุกคันออกและกลับเข้าคืนที่จุดเริ่มต้นเดิม
3. ความจุของสินค้าทั้งหมดที่ขนส่งไปโดยรถคันเดียวกันมีขนาดไม่เกินความจุของรถ
4. ลูกค้าทุกคนได้รับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยจัดเส้นทางเดินรถส่วนใหญ่คือการจัดเส้นทางเดินรถให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำ หรือมีระยะทางโดยรวมต่ำ ภายใต้ข้อจำกัดที่ได้สร้างขึ้น แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวกับ

การจัดเส้นทางเดินรถอาจมีวัตถุประสงค์ที่มากกว่าการจัดเส้นทางให้สั้นที่สุด หรืออาจมีวัตถุประสงค์อื่น อาทิ การจัดเส้นทางเพื่อใช้รถในการขนส่งน้อยที่สุด การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อให้ระยะเวลาที่ลูกค้ารอสินค้าน้อยที่สุดในขณะที่ระยะทางรวมสั้นที่สุด เป็นต้น

2.2 วิธีการแก้ปัญหา

จากการที่ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาที่ถูกจัดเป็นปัญหาประเภท NP-hard ซึ่งการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solutions) ต้องใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบนานแม้กระทั่งในการหาคำตอบของปัญหาขนาดเล็ก โดยเมื่อพิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางเมื่อมีรถ 1 คัน (Traveling Salesman Problem) ที่เป็นปัญหาย่อยของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไปใช้หลักการ Branch-and-cut-and-price algorithm สามารถแก้ปัญหาในระยะเวลาที่เหมาะสมได้ขนาดลูกค้า 1,100 คน (Applegate, Bixby, Chvatal และ Cook, 2007) ในขณะที่ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไป (Vehicle Routing Problem) สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่เหมาะสมได้ขนาดลูกค้าไม่เกิน 100 คนเท่านั้น (Baldacci, Christofides และ Mingozzi, 2008) ดังนั้น “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” ที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดมากกว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไปจึงมีความยากในการหาคำตอบที่ดีที่สุดยาก ใช้ระยะเวลานาน และสามารถแก้ปัญหาได้เฉพาะปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

งานวิจัยที่มุ่งหาคำตอบที่ดีที่สุดมีจำนวนน้อย (Cordeau, Gendreau et al. 1997)โดยจากงานวิจัยของ Renaud, Larporte และ Boctoc การแก้ปัญหาแบบหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Algorithm) ของปัญหาการจัดเส้นทางรถที่มีหลายจุดเริ่มต้น มีเพียงสองวิธีเท่านั้น วิธีแรกนำเสนอโดย Laporte, Nobert และ Desrochers (Laporte, Nobert et al. 1985)โดยวิธีดังกล่าวถูกสร้างขึ้นด้วย Integer linear programs และแก้ปัญหาโดยวิธี Branch-and-bound โดยผ่อนคลายข้อจำกัดของปัญหาบางข้อจำกัด (Relax constraint)ในตอนเริ่มต้น ผลที่ได้คือวิธีการดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาได้ที่ขนาดลูกค้าไม่เกิน 50 คน และจำนวนจุดเริ่มต้นไม่เกิน 8 จุด วิธีการที่สองถูกนำเสนอโดย Laporte และคณะ ในปี1988 โดยวิธี Branch-and-bound ถูกนำมาใช้อีกครั้งในปัญหาย่อยที่สร้างขึ้น (Subproblems)โดยวิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาได้ที่ขนาดลูกค้า 80 คนและจุดเริ่มต้น 3 จุด

เนื่องจากขนาดปัญหาที่สามารถแก้ได้มีขนาดเล็ก ในขณะที่ปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จริงส่วนใหญ่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ และที่สำคัญเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาจริงได้ วิธีการที่เหมาะสมจึงควรแก้ปัญหาได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว ดังนั้นงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถส่วนใหญ่จึงนำเสนอฮิวริสติกเพื่อใช้แก้ปัญหาที่ให้ผลที่ดีในระยะเวลาที่ยอมรับได้ (Good enough, fast enough solutions) โดยฮิวริสติกที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถสามารถแบ่งออกเป็น 2

ประเภท คือ ฮิวริสติก (Heuristic) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ฮิวริสติกเพื่อการสร้างเส้นทาง (Constructing heuristic) เช่น Nearest Neighbor Procedure (Solomon 1987) Insertion Procedure (Salhi and Nagy 1999) (Pisinger and Ropke 2007), Clarke and Wright algorithm (Hu 2012) และฮิวริสติกเพื่อการพัฒนาเส้นทาง (Improving heuristic) เช่น 2-Opt method Jackson, 2010 #14}, 3-Opt method (Alfa, Heragu et al. 1991), k-Opt method (Ibing and Boche 2008) และอีกวิธีคือ เมต้าฮิวริสติก (Metaheuristic) เช่น Simulated Annealing (Wang 2010), Tabu Search (Renaud, Laporte et al. 1996, Bräysy and Gendreau 2002, Tavakkoli-Moghaddam, Gazanfari et al. 2011), Genetic Algorithm (Goldberg and Holland 1988), Neural Nets Algorithm (Yoshiike and Takefuji 1999) and Ant Colony Algorithm (Bullnheimer, Hartl et al. 1999) เป็นต้น ซึ่งเมต้าฮิวริสติกถูกพัฒนาขึ้นหลังฮิวริสติกเพื่อการปรับปรุงคำตอบและเพิ่มวิธีการบางอย่างให้สามารถเข้าใกล้วิธีที่ดีที่สุดได้ เช่นการป้องกันไม่ให้ติดวนอยู่กับคำตอบใดคำตอบหนึ่งนานเกินไป การเพิ่มวิธีการยอมรับคำตอบที่แย่ลงเพื่อการหาคำตอบที่ดีกว่าในภายหลัง เป็นต้น โดย (Laporte 2007) ได้แบ่งขั้นตอนของเมต้าฮิวริสติกที่นิยมใช้โดยทั่วไปออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ Local search, Population search และ Learning Mechanism แต่อย่างไรก็ตาม เมต้าฮิวริสติกอาจเรียกได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของฮิวริสติก ทำให้เมื่อกล่าวถึงฮิวริสติกผู้วิจัยอาจหมายความรวมไปถึงเมต้าฮิวริสติกเช่นเดียวกัน

ฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุดได้ถูกนำเสนอในงานวิจัยมาอย่างต่อเนื่อง อาทิ งานวิจัยของ Tillman ในปี 1969 ได้นำเสนอวิธีการ Clarke and Wright saving criterion โดยวิธีการนี้เริ่มต้นจากการจัดสรรลูกค้าให้จุดเริ่มต้นที่อยู่ใกล้ที่สุดแล้วทำการสร้างเส้นทางเดี่ยวไปกลับระหว่างจุดเริ่มต้นและลูกค้า หลังจากนั้นจึงเริ่มรวมเส้นทางโดยใช้หลักการ Saving criterion หลังจากนั้น Tillman และ Hering ในปี 1971 ได้พัฒนาวิธีการเดิมเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มพิจารณาผลกระทบของการรวมเส้นทางในแต่ละครั้งแบบวน (r iterations) สุดท้ายวิธีการเดิมได้ถูกพัฒนาเพิ่มเติมโดย Tillman และ Cain ในปี 1972 ด้วยการสร้างเส้นทางภายในกรอบที่กำหนดเพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่สร้างขึ้น โดยชุดงานวิจัยทั้งสามที่ได้นำเสนอได้ถูกสรุปว่าเป็นฮิวริสติกในระยะแรกของฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุด (Renaud, Laporte et al. 1996)

ฮิวริสติกที่เป็นที่สนใจในลำดับถัดมาคือฮิวริสติกที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธี Means of a sweep procedure โดย Wren และ Holliday ในปี 1972 ได้นำเสนอวิธีการนี้ โดยเริ่มต้นลูกค้าจะถูกจัดสรรให้จุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุดโดยการใช้แกนอ้างอิง (Reference axis) และแนวมุมที่ห่างจากจุดเริ่มต้น (Polar angle) หลังจากนั้นจึงเริ่มจัดเส้นทางโดยรวมลูกค้าให้อยู่ในเส้นทางเดียวกันหากการรวมลูกค้า

คนใดในแต่ละครั้งทำให้เส้นทางเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งในขั้นตอนนี้ลูกค้าอาจถูกจัดสรรให้เส้นทางที่ถูกส่งออกจากจุดเริ่มต้นที่ต่างไปจากจุดเริ่มต้นเดิมได้ หากเส้นทางที่เกิดขึ้นมีระยะทางที่สั้นกว่า เมื่อได้เส้นทางในขั้นแรกจึงทำการเปลี่ยนแปลงลำดับการส่งโดยใช้วิธีการแกนอ้างอิงและแนวมุมเช่นเดิม สุดท้ายแล้วเส้นทางจะถูกพัฒนาด้วยวิธีการเดิมจนกระทั่งคำตอบที่ได้ไม่พัฒนาขึ้นโดยฮิวริสติกดังกล่าวถูกทดสอบบนปัญหาที่มีลูกค้าไม่เกิน 176 คนและมีจุดเริ่มต้น 2 จุดเริ่มต้น หลังจากนั้น Gillett และ Miller ในปี 1974 ได้ทำการฮิวริสติกในรูปแบบเดียวกัน โดยจัดสรรลูกค้าให้จุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุดแล้วทำการแก้ปัญหาแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบที่มีจุดเริ่มต้นเดียวแบบแยกกัน แต่ได้เพิ่มการพิจารณาในส่วนของลูกค้าที่อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นสองจุดเริ่มต้น เพื่อพัฒนาคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบแยกกัน

Chao และคณะ ในปี 1993 ได้นำเสนอฮิวริสติกแบบหลายขั้นตอน (Multi-phase heuristic) โดยลูกค้าจะถูกจัดสรรให้จุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุด หลังจากนั้นจึงทำการแก้ปัญหาแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบที่มีจุดเริ่มต้นเดียวแบบแยกกันโดยใช้ Saving algorithm ของ Golden ในปี 1977 หลังจากนั้นจึงพัฒนาคำตอบโดยการย้ายลูกค้าระหว่างจุดเริ่มต้นโดยใช้วิธีการ Record-to-record ของ Dueck ในปี 1990 ฮิวริสติกดังกล่าวให้ผลดีโดยสามารถแก้ปัญหาที่มีลูกค้าไม่เกิน 360 คนและมีจุดเริ่มต้น 9 จุดได้

สุดท้ายคือฮิวริสติกของ Renaud, Larporte และ Boctoc ในปี 1996 ฮิวริสติกถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยกลักการของการค้นหาแบบทาบู (Tabu search) ซึ่งเป็นเมต้าฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่นำเสนอโดย Glover ในปี 1977 ซึ่งฮิวริสติกที่สร้างขึ้นแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้น และขั้นตอนของการค้นหาแบบทาบู โดยในขั้นตอนแรกเส้นทางจะถูกสร้างขึ้นโดยการจัดสรรลูกค้าให้จุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุดแล้วใช้การแก้ปัญหาแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบที่มีจุดเริ่มต้นเดียวแบบแยกกัน หลังจากนั้นจึงทำการพัฒนาเส้นทางโดยใช้หลักการ Improved Petal ของ Renaud และคณะ ในปี 1996 ซึ่งในขั้นตอนนี้ กลุ่มของลูกค้าอาจอยู่ในสองเส้นทางได้เพื่อการหาเส้นทางที่ดีที่สุด แต่วิธีการนี้ใช้เวลาในการคำนวณมาก จึงใช้ได้เฉพาะปัญหาที่ จำนวนลูกค้าหารด้วยจำนวนจุดเริ่มต้นไม่เกิน 50 เท่านั้น เมื่อได้เส้นทางจากขั้นตอนแรกแล้ว ขั้นตอนการค้นหาแบบทาบูจะถูกนำมาใช้โดยในขั้นตอนนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยคือ Fast improvement, Intensification และ Diversification โดยในแต่ละขั้นตอนจะเก็บคำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดเพื่อการพัฒนาเส้นทางต่อไว้ด้วย เพื่อเพิ่มโอกาสในการพัฒนาเส้นทางให้ดีที่สุด ข้อแตกต่างระหว่างขั้นตอนย่อยคือจำนวนรอบที่ระบุไว้สำหรับการค้นหาแบบทาบูทั้งจำนวนรอบการวนซ้ำคำตอบเดิมและจำนวนรอบการวนซ้ำในแต่ละขั้นตอน ซึ่งวิธีการในการพัฒนาเส้นทางแบ่งออกเป็น การพัฒนาเส้นทางภายในจุดเริ่มต้นเดียวกัน (inter-depot) การพัฒนาเส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้น และการ

พัฒนาเส้นทางระหว่างสามเส้นทาง (3-route) ผลที่ได้จากทดลองคือฮิวริสติกสามารถสร้างเส้นทางที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามาตรฐานทั้ง 23 ปัญหาที่ผู้วิจัยเลือกมาใช้ทดสอบ

ในด้านของความเป็นพลวัตของข้อมูลนั้น Psaraftis (Psaraftis 1995)ได้นำเสนอแนวคิดในการพัฒนาฮิวริสติกและระบบสำหรับการจัดเส้นทางการเดินรถแบบพลวัตไว้ว่า การแก้ปัญหาแบบพลวัตควรเป็นการแก้ปัญหาแบบทันท่วงที โดยสามารถปรับเปลี่ยนระบบได้ง่าย มีการแก้ปัญหาแบบเป็นลำดับขั้น และที่สำคัญผู้ใช้งานระบบสามารถใช้ได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ดังนั้นวิธีการในการจัดเส้นทางแบบพลวัตจึงควรเป็นวิธีที่สามารถยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของปัญหา และสามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

จากงานวิจัยของ Pillac, Gendreau, Gueret และ Medaglia (2012) ได้กล่าวว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เกิดขึ้นจริงนั้นมีข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นและแตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยทั่วไปในทฤษฎีสองประการคือ ปัญหาจริงมีการพัฒนา (Evolution) และมีคุณภาพของข้อมูล (Quality of information) (Psaraftis 1980) ที่ต้องพิจารณา โดยในด้านการพัฒนานั้นคือการที่ข้อมูลอาจมีการปรับเปลี่ยนในระหว่างการจัดเส้นทางได้ เช่น ข้อมูลของลูกค้าที่ต้องการการขนส่งเข้ามาในระหว่างที่ระบบดำเนินการจัดเส้นทางไปบ้างแล้ว ส่วนคุณภาพของข้อมูลบ่งบอกถึงความแน่นอนของข้อมูลที่ได้รับ เช่นการที่ข้อมูลที่ได้รับมีค่าเป็นช่วง ไม่ได้ระบุปริมาณที่เจาะจง เป็นต้น ในส่วนของปัญหาหาสถิต เส้นทางเดินรถที่จัดขึ้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้หรือเปลี่ยนแปลงได้เพียงเล็กน้อย (Gendreau, Laporte et al. 1996) ส่วนปัญหาพลวัตนั้น เส้นทางสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเพื่อตอบสนองต่อข้อมูลที่เข้ามา หรือข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป (Secomandi 2001, Novoa and Storer 2009) ดังนั้น Pillac, Gendreau, Gueret และ Medaglia ได้แบ่งประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. ปัญหาสถิตและมีข้อมูลที่แน่นอน (Static and deterministic problems)

   ปัญหานี้คือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถทั่วไป โดยข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการดำเนินการจัดเส้นทาง และข้อมูลที่ทราบเป็นข้อมูลที่รู้ปริมาณที่แน่นอน
2. ปัญหาสถิตและมีข้อมูลที่ไม่แน่นอน (Static and stochastic problems)

   ปัญหานี้แตกต่างจากปัญหาแรกในส่วนของข้อมูลที่ทราบในลักษณะช่วงของข้อมูลตัวแปร(Random Variable) หรือการกระจายของข้อมูลเท่านั้น
3. ปัญหาพลวัตและมีข้อมูลที่แน่นอน (Dynamic and deterministic problems)

   ปัญหานี้คือปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล หรือมีการเข้ามาของข้อมูลใหม่ในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง โดยข้อมูลที่ทราบเป็นข้อมูลที่ทราบปริมาณที่แน่นอน
4. ปัญหาพลวัตและมีข้อมูลที่ไม่แน่นอน (Dynamic and stochastic problems)

ปัญหานี้คือปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล หรือมีการเข้ามาของข้อมูลใหม่ในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง แต่ข้อมูลที่ทราบเป็นข้อมูลที่ทราบในลักษณะช่วงของข้อมูล ตัวแปร(Random Variable) หรือการกระจายของข้อมูลเท่านั้น

Wilson และ Colvin ได้เริ่มทำการศึกษาปัญหาพลวัตเป็นครั้งแรก โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางที่ลูกค้ามีการเปลี่ยนจุดหมายระหว่างทาง ต่อจากนั้น Psaraftis ได้นำเสนอแนวคิดการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว โดยลูกค้าดังกล่าวได้แสดงความต้องการในระหว่างที่ได้ทำการจัดเส้นทางแล้ว หรือระหว่างที่รถได้ออกเดินทางไปส่ง/รับสินค้า หรือให้บริการลูกค้าแล้ว การที่ข้อมูลเปลี่ยนแปลในระหว่างทำการจัดเส้นทางรถนี้ ทำให้ปัญหาที่มีลักษณะพลวัตมีความซับซ้อนมากกว่าปัญหาสถิต เพราะต้องมีจำนวนครั้งการตัดสินใจเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ต้องใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่รวดเร็วเพื่อตอบสนองต่อการความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงและมีข้อจำกัดด้านเวลามาเกี่ยวข้อง

การวัดความเป็นพลวัตของข้อมูลสามารถวัดได้จากวิธีของ Lund และคณะ ในปี 1996 โดยทำการหาสัดส่วนระหว่างจำนวนลูกค้าที่ข้อมูลเข้ามาในระหว่างจัดเส้นทางต่อจำนวนข้อมูลของลูกค้าทั้งหมดที่ต้องทำการขนส่ง โดยปัญหาที่มีสัดส่วนดังกล่าวมากกว่าหมายความว่ามีความเป็นพลวัตมากกว่า ต่อจากนั้น Larsen ในปี 2001 ได้นำสัดส่วนดังกล่าวมาพัฒนาโดยเพิ่มเทอมที่พิจารณาความเร่งด่วนของข้อมูลที่เข้ามาที่ต้องรีบนำสินค้าไปส่งหรือรีบให้บริการแก่ลูกค้า โดยนำค่าสัดส่วนที่ได้มาทำการแบ่งประเภทของระดับพลวัตของข้อมูลออกเป็น 3 ประเภทคือ ประเภทพลวัตสูง (สัดส่วนน้อยกว่า 0.3) ประเภทพลวัตกลาง (สัดส่วนอยู่ระหว่าง 0.3 และ 0.8) และประเภทพลวัตสูง (สัดส่วนมากกว่า 0.8) โดยปัจจุบันมีการนำเอาแนวคิดการรับข้อมูลเข้ามาในระบบแบบพลวัตเพื่อทำการจัดเส้นทางเพื่อเพิ่มระดับการบริการลูกค้า โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายส่วน อาทิ การบริการ (การจัดรถเพื่อให้บริการต่างๆ เช่น การซ่อมรถ การรักษาพยาบาล ฯ) การส่งสินค้า การรับส่งคน (Dial-a-ride problem) เป็นต้น

การคิดวิธีการแก้ไขปัญหาพลวัตมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหา (4 รูปแบบ ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น) นอกจากวิธีการที่ยืดหยุ่น ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัญหาและความสามารถในการแก้ปัญหาอันรวดเร็วแล้ว การสร้างขั้นตอนในการพิจารณาปัญหาและการกำหนดกรอบเวลาในการพิจารณาปัญหาต่างมีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาแบบพลวัตเช่นเดียวกัน โดยการกำหนดกรอบเวลาในการแก้ปัญหาแบ่งออกเป็นสองวิธีคือ การกำหนดกรอบเวลาในการพิจารณาปัญหา (Periodic reoptimization หรือ Time slide) คือการทำให้ปัญหาพลวัตกลายเป็นปัญหาสถิตในช่วงเวลาหนึ่งแล้วจึงแก้ปัญหาแบบสถิต และวิธีที่สองคือการแก้ปัญหาใหม่ทุกครั้งที่มีข้อมูลเข้ามาในระบบ (Continuous reoptimization) (สวาสดิ์ 2006) โดยทั้งสองวิธีเหมาะสำหรับรูปแบบปัญหาและ

วิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน โดยปัญหาที่ต้องใช้เวลาแก้ปัญหานานและมีความเป็นพลวัตต่ำมักจะกำหนดกรอบเวลา ส่วนปัญหาที่ใช้เวลาแก้ปัญหาไม่นานและมีความเป็นพลวัตสูงมักจะใช้วิธีแก้ปัญหาใหม่ทุกครั้งที่มีปัญหาใหม่เข้ามาในระบบ ดังนั้นการกำหนดวิธีการแก้ปัญหาจึงควรวิเคราะห์ลักษณะของปัญหาเป็นอันดับแรก

2.3 การทดลองและการเปรียบเทียบผลการทดลอง

การทดลองเพื่อทดสอบฮิวริสติกที่สร้างขึ้นสามารถทำได้หลายวิธี อาทิ การทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ดีที่สุดเท่าที่มีมา (Best known) โดยผลดังกล่าวมักจะได้มาจากการทดสอบฮิวริสติกของแต่ละงานวิจัยที่สร้างขึ้นกับชุดปัญหามาตรฐานเช่น ชุดปัญหามาตรฐานของ Christofides และ Eilon (1969) ชุดปัญหามาตรฐานของ Gilllett และ Johnson (1976) ชุดปัญหามาตรฐานของ Chao และคณะ (1993) ชุดปัญหามาตรฐานของ Solomon (2005) เป็นต้น

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีปัญหามาตรฐานและผลเฉลยเพื่อการเปรียบเทียบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต โดยนักวิจัยที่ศึกษาปัญหานี้ส่วนใหญ่มักจะทำการปรับเปลี่ยนปัญหาจากปัญหามาตรฐานของ Solomon (1987) หรือ ปัญหามาตรฐานของ Van Hentenryck และ Bent (2006) แล้วทำการวิเคราะห์และอธิบายว่านำปัญหามาตรฐานดังกล่าวมาทำการปรับเปลี่ยนด้วยวิธีใดเพื่อให้สามารถนำมาทำการทดลองได้ แต่อย่างไรก็ตามฮิวริสติกที่สร้างขึ้นอาจไม่สามารถนำไปทดสอบกับชุดปัญหามาตรฐานได้ เนื่องจากฮิวริสติกดังกล่าวได้ถูกสร้างเพื่อแก้ปัญหาที่มีความเฉพาะแตกต่างไปจากปัญหามาตรฐาน ทำให้ตัวแปรนำเข้าต่างๆมีรูปแบบที่ไม่เหมือนตัวแปรนำเข้าของปัญหามาตรฐาน ดังนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์และสรุปผลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่สร้างขึ้น จึงได้มีการคิดวิธีการใหม่ๆขึ้นมาเพื่อการทดสอบฮิวริสติก งานวิจัยของ Timmermann และ Schumann (Timmermann and Schumann 2008)ได้นำเสนอวิธีการคิดค่าคงที่ c โดยเรียกค่าคงที่นี้ว่า c-competitive โดยค่า c นี้คือตัวแปรที่บ่งบอกว่าฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหาพลวัตได้ผลออกมาเทียบกับการใช้ฮิวริสติกเดียวกันแก้ปัญหาสถิตอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกันในกรณีที่แย่ที่สุด (Worse case) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลที่ได้จากปัญหาพลวัตมักจะไม่ดีไปกว่าผลที่ได้จากการแก้ปัญหาสถิตเสมอ ดังนั้นหากค่า c มีค่าน้อย อาจทำการสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่คิดขึ้นเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาแบบพลวัต และมีประสิทธิภาพที่ดี หากผลจากปัญหาสถิตที่นำมาเปรียบเทียบได้ผลในระดับที่ดีเมื่อเทียบกับผลที่ดีที่สุดเท่าที่ทราบมา (Best known)

งานวิจัยของ สวาสดิ์ (สวาสดิ์. 2006) เป็นงานวิจัยที่มีลักษณะปัญหาคล้ายกับปัญหางานวิจัยนี้ แต่งานวิจัยดังกล่าวพิจารณาจุดเริ่มต้นการขนส่งเพียงแห่งเดียว และทำการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติก

Insertion และ GRASP โดยทำการทดสอบฮิวริสติกกับปัญหาของ Solomon ซึ่งฮิวริสติกดังกล่าวให้ผลที่ดีกับปัญหาขนาดเล็ก (จำนวนลูกค้าน้อยกว่า 25 คน) และมีความแตกต่างของคำตอบเพิ่มมากขึ้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ ปัญหาที่มีความเป็นพลวัตมาก และปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าต่อคันมาก เนื่องจากปัญหาของงานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายกับปัญหางานวิจัยของสวาสดิ์ แต่มีความแตกต่างตรงที่มีจุดเริ่มต้นในปัญหามากกว่า ดังนั้นการเปรียบเทียบผลฮิวริสติกที่สร้างขึ้นจึงอาจทำได้หากทำการทดสอบกับปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นเดียว และใช้ปัญหามาตรฐานชุดเดียวกัน

2.4 บทสรุป

งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ผ่านมา มีการใช้ฮิวริสติกเพื่อจัดเส้นทางเดินรถเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่สนใจและข้อจำกัดในการจัดเส้นทาง ซึ่งปัญหาที่คล้ายกับงานวิจัยนี้คือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุด โดยฮิวริสติกส่วนใหญ่ทำการจัดกลุ่มลูกค้าโดยการแบ่งลูกค้าเข้ากับจุดเริ่มต้นตามพื้นที่หรือระยะห่างที่น้อยที่สุด แล้วทำการจัดเส้นทางแยกตามกลุ่มของลูกค้าและจุดเริ่มต้น แล้วจึงทำการเปลี่ยนลูกค้าไปยังจุดเริ่มต้นอื่นได้ในภายหลังหากทำให้ระยะทางสั้นลง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวถือเป็นปัญหาสถิตเพราะมีข้อมูลลูกค้าทั้งหมดที่ต้องทำการจัดเส้นทางตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งหากต้องการแก้ปัญหาที่มีลักษณะพลวัต จึงจำเป็นต้องพัฒนาฮิวริสติกที่สามารถใช้ได้ดีกับปัญหาพลวัต โดยสามารถจัดเส้นทางเดินรถได้ดี ในระยะเวลาที่รวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นในการรับมือกับปัญหาที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
แบบจำลองคณิตศาสตร์

3.1 แนวคิดในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือหาเส้นทางเดินรถที่ดีที่สุดสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” ซึ่งสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีลูกค้าน้อยรายได้โดยใช้เวลาที่สามารถรอได้

“ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” เป็นปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะที่ไม่มีปัญหามาตรฐานในการเปรียบเทียบคำตอบ ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและประสิทธิภาพของฮิวริสติกกับคำตอบที่ดีที่สุด แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อหาคำตอบด้วย CPLEX จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อหาคำตอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติก

3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

นำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” ที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดระยะทางรวมสั้นที่สุด

สมมติฐาน

1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง เป็นปัญหาที่ข้อมูลนำเข้าในระบบที่พิจารณาเป็นข้อมูลนำเข้าแบบพลวัต โดยข้อมูลดังกล่าวคือข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้าซึ่งประกอบไปด้วย
    - ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า (ตำแหน่งที่ต้องนำสินค้าไปส่ง)
    - ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการ (ความจุของสินค้าที่ต้องนำไปส่ง)
    - เวลาที่ความต้องการของลูกค้าเข้ามาในระบบ
    - เวลาที่สินค้าต้องถึงมือลูกค้า (เวลารับประกันการส่งสินค้า)
2. มีจุดเริ่มต้นจะถูกกำหนดขึ้นก่อนที่จะทำการจัดเส้นทางสำหรับแต่ละปัญหา

3. ระยะทางระหว่างลูกค้า หรือระหว่างลูกค้าและจุดเริ่มต้น มีเพียงหนึ่งเส้นทาง และมีค่าระยะทางที่แน่นอนเพียงค่าเดียว โดยระยะทางดังกล่าวหาได้จากการหาระยะกระจัด หรือการหาระยะทางแบบ Euclidean distance
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางมีค่าเท่ากับระยะทางที่ต้องใช้ในการเดินทาง
5. รถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าสำหรับแต่ละชุดปัญหามีลักษณะเหมือนกันทุกประการ (Homogeneous vehicles) และมีปริมาณพร้อมใช้ไม่จำกัด
6. จุดเริ่มต้นสำหรับแต่ละชุดปัญหาการทดสอบมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ (Homogeneous depots) และมีปริมาณสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด ซึ่งสินค้าที่ต้องนำส่งไม่ต้องใช้เวลาในการจัดเตรียม สามารถนำส่งได้โดยทันที
7. เวลาที่พิจารณาในระบบการจัดเส้นทางจะพิจารณาเฉพาะเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงเวลาในการจัดสินค้าขึ้นหรือลงรถ (Loading/Unloading time)

พารามิเตอร์

1. ข้อมูลชุดปัญหาที่ใช้ในการทดลอง
    - ระยะเวลารับประกันการขนส่ง
2. ข้อมูลรถที่ใช้ในการขนส่ง
    - ความจุสูงสุดของรถที่ใช้ในการขนส่ง
3. ข้อมูลลูกค้าและสินค้า
    - ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า
    - ปริมาณสินค้า (ความจุ) ที่ลูกค้าต้องการ
    - เวลาที่ความต้องการของลูกค้าเข้ามาในระบบ
    - เวลาที่สินค้าต้องถึงมือลูกค้า (เวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบ + เวลารับประกันการขนส่ง)

วัตถุประสงค์ในการตัดสินใจ

การจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่งให้มีระยะทางในการขนส่งที่สั้นที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อจำกัด

1. ข้อจำกัดของจุดเริ่มต้น

   รถที่ใช้ในการขนส่งต้องเริ่มออกเดินทางและกลับสู่จุดเริ่มต้นเดิมเสมอ

2. ข้อจำกัดเรื่องการบริการ

   ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับสินค้าจากการขนส่งเพียงครั้งเดียวเท่านั้น หรือลูกค้าจะได้รับการบริการจากจุดเริ่มต้นใดจุดเริ่มต้นหนึ่ง และรถขนสินค้าคันใดคันหนึ่งเท่านั้น

3. ข้อกำจัดด้านความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง

   สินค้าทั้งหมดที่ต้องนำส่งลูกค้าบนรถที่ใช้ในการขนส่งแต่ละคันต้องมีความจุไม่เกินความจุที่รถสามารถขนส่งได้ โดยความจุจะคิดในหน่วยปริมาตรของสินค้า

4. ข้อจำกัดของเวลารับประกันการขนส่ง

   ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน

พารามิเตอร์ (Parameters)

D = จำนวนจุดเริ่มต้น (Depot)

K = จำนวนรถทั้งหมด

N = จำนวนลูกค้าและจุดเริ่มต้นทั้งหมดทั้งหมด

N_i = ลูกค้าหรือจุดเริ่มต้นที่ i โดย $i = \{ 0, 1, .., N-1 \}$

c_{ij} = ระยะทางในการขนส่งระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j ($j = \{ D, D+1,.., D+N-1 \}$)

t_{ij} = เวลาในการขนส่งระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j ($t_{ij} = c_{ij}$)

u_i = ตัวแปรในการตัดสินใจเพิ่มเติมของลูกค้า i

m_i = ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า i

q_k = ความจุของรถ k โดย $k = \{ 0, 1, .., K-1 \}$

t_{ik} = เวลาที่รถ k มาถึงลูกค้า i

a_i = เวลาที่ลูกค้า i เข้ามาในระบบ

l_i = เวลาที่รถมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด

D_k = เวลาที่รถออกจากจุดเริ่มต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

x_{ijk} = 1 ถ้ารถ k ขนส่งสินค้าของลูกค้า i และลูกค้า j

= 0 ในกรณีอื่นๆ

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

Min $\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{k=0}^{K-1} c_{ij}x_{ijk}$

เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{i=0}^{D}\sum_{j=D}^{N} x_{ijk} \leq 1 \text{ ; for all k} \quad [1]$$

รถทุกคันต้องวิ่งออกจากจุดเริ่มต้นอย่างน้อย 1 ครั้งเท่านั้น

$$x_{iik} = 1 \text{ ; for all i , all k} \quad [2]$$

รถไม่สามารถวนเข้าออกลูกค้าคนเดิมได้

$$\sum_{k=0}^{K-1}\sum_{j=0,j\neq i}^{N} x_{ijk} = 1 \text{ ; for i = \{D,...,D+N-1\}} \quad [3]$$

มีรถที่ไปส่งสินค้ากับลูกค้า 1 คันเท่านั้น

$$\sum_{i=0,i\neq h}^{N} x_{ihk} - \sum_{j=0,j\neq h}^{N} x_{hjk} = 0 \text{ ; for h = \{D,...,D+N-1\}} \quad [4]$$

รถที่เข้าและออกจากการส่งสินค้ามี 1 คันเท่านั้น

$$U_j \geq U_i - 999 + 1000\times x_{ijk} \text{ ; for j = \{D,...,D+N-1\},all i, all k} \quad [5]$$

ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อยจากยานรถคันเดียวกัน

$$\sum_{i=D}^{N} m_i \sum_{j=0,j\neq i}^{N} x_{ijk} \leq q_k \text{ ; for all k} \quad [6]$$

สินค้าที่อยู่บนรถทั้งหมดที่ต้องนำส่งลูกค้าต้องมีขนาดไม่เกินความจุของรถนั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$t_j \geq 10000 \times \mathbf{x_{ijk}} - 10000 + t_i + c_{ij} \; ; \quad \text{for i, j} = \{D,\ldots,D+N-1\}, \text{ all k} \qquad [7]$$

$$t_j \geq 10000 \times \mathbf{x_{ijk}} - 10000 + D_k + c_{ij} \; ; \text{ for i, j} = \{D,\ldots,D+N-1\}, \text{ all k} \qquad [8]$$

$$a_j \leq t_j \leq l_j \; ; \qquad \text{for all j} \qquad [9]$$

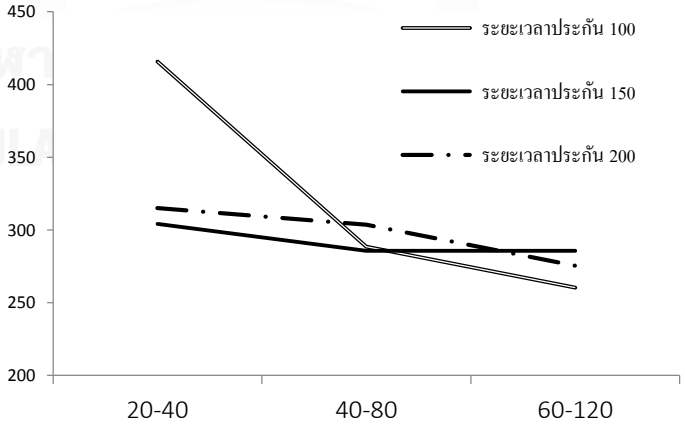
ลูกค้าได้รับสินค้าในระยะเวลาที่กำหนด

$$D_k \geq a_j - 10000 + 10000 \times \mathbf{x_{ijk}} \; ; \text{for i= } \{0,\ldots,D+N-1\}, \; j = \{D,\ldots,D+N-1\}, \text{ all k} \qquad [10]$$

เวลาที่รถออกมากกว่าเวลาที่ข้อมูลเข้ามาในระบบ

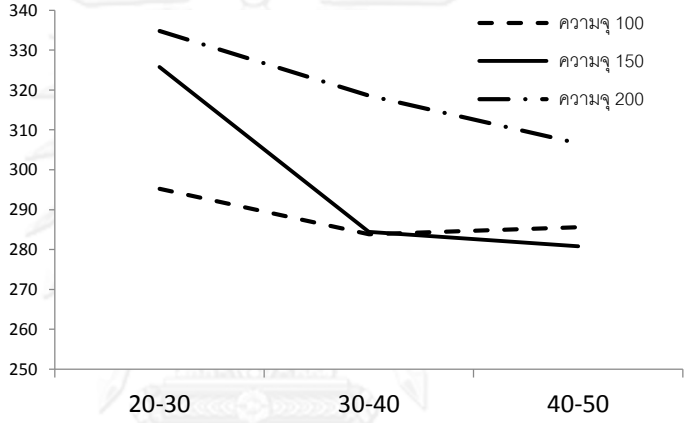
3.3 ผลที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาทดสอบปัญหาด้วย CPLEX โดยชุดปัญหาที่นำมาทดสอบได้ถูกสร้างจากสมมติฐานของข้อมูลนำเข้า คือ ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า ความจุของสินค้าที่ต้องนำไปส่ง เวลาที่ความต้องการของลูกค้าเข้ามาในระบบ และเวลารับประกันการส่งสินค้า ซึ่งข้อมูลนำเข้าดังกล่าวจะถูกนำมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองในการหาคำตอบที่ดีที่สุดในด้านของเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งได้กำหนดให้ตำแหน่งที่ตั้งของคงที่ และทำการปรับเปลี่ยนจำนวนลูกค้าและจำนวนจุดเริ่มต้นในระบบ เพื่อลดความซับซ้อนของปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วในการหาคำตอบ



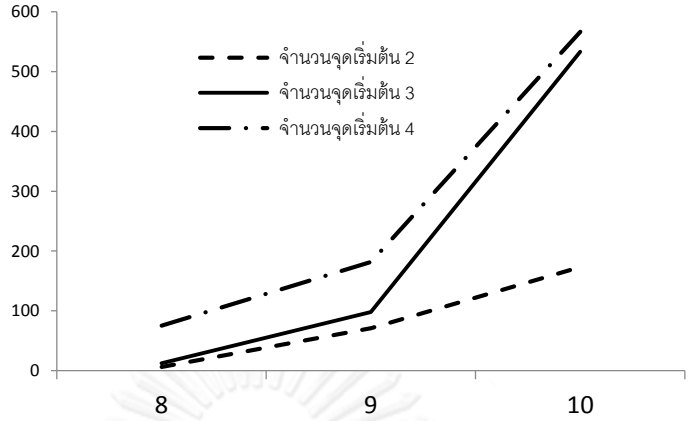
รูปที่ 1 ผลการทดลองเมื่อรถมีความจุ 200หน่วยความจุ ปริมาณความต้องการงานเฉลี่ย 40-60 หน่วยความจุ จำนวนลูกค้า 8 คน และจำนวนจุดเริ่มต้น 2 จุด

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของระยะเวลารับประกันและระยะห่างการเข้ามาของลูกค้าคือ ถ้ามีจำนวนลูกค้าที่อยู่ในกรอบเวลาเดียวกันมาก จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ที่ระยะเวลารับประกัน 100 หน่วยเวลา หากลูกค้าเข้ามาในระบบห่างกัน 20-40 หน่วยเวลา จะใช้เวลาในการหาคำตอบมากกว่าระบบที่ลูกค้าเข้ามาในระบบห่างกัน 60-120 หน่วยเวลา ดังนั้นจำนวนลูกค้าในกรอบเวลาการขนส่งเดียวกันมีผลต่อเวลาในการคำนวณหาคำตอบของแบบจำลอง โดยจำนวนลูกค้าในกรอบเวลาการขนส่งเดียวกันมากจะทำให้ระยะเวลาที่ใช้คำนวณมากขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2 ผลการทดลองเมื่อมีจำนวนลูกค้า 8 คน จำนวนจุดเริ่มต้น 2 จุด ระยะเวลาประกัน 150 หน่วยเวลา และระยะห่างของเวลาการเข้ามาในระบบของลูกค้า 30-50 หน่วยเวลาต่อลูกค้า

จากรูปที่ 2 พบว่า ความจุของรถที่ใช้ในการขนส่งและปริมาณความต้องการเฉลี่ยของลูกค้ามีผลต่อความเร็วในการหาคำตอบ โดยปริมาณงานที่รถสามารถรับได้ หรือความจุของรถต่อปริมาณความต้องการเฉลี่ยของลูกค้าที่มีค่ามากจะส่งผลให้ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้หาคำตอบเพิ่มขึ้น เช่น รถที่มีความจุ 150 หน่วย หากใช้ส่งสินค้าให้ลูกค้าที่มีความต้องการ 20-30 หน่วย จะต้องใช้เวลาในการหาคำตอบมากกว่าการใช้รถที่มีความจุเดียวกันแต่ใช้นำไปส่งสินค้าให้ลูกค้าที่มีความต้องการ 40-50 หน่วย



รูปที่ 3 ผลการทดลองเมื่อรถมีความจุ 200หน่วยความจุ ปริมาณความต้องการงาน 40-60 หน่วยความจุ ระยะเวลาประกัน 150 หน่วยเวลา และระยะห่างของเวลาการเข้ามาในระบบของลูกค้า

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนลูกค้า หรือจำนวนจุดเริ่มต้นเพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้หาคำตอบเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนลูกค้าจะส่งผลต่อระยะเวลามากกว่าการเพิ่มจำนวนจุดเริ่มต้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนลูกค้าจะทำให้ตัวแปร (Variables) ที่เกิดขึ้นในระบบมีจำนวนมากกว่าการเพิ่มจำนวนจุดเริ่มต้น จึงใช้เวลาในการพิจารณามากกว่า ดังนั้นชุดปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุดและจำนวนลูกค้าไม่มาก สามารถใช้แบบจำลองนี้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม

3.4 บทสรุป

แบบจำลองคณิตศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง โดยคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสำหรับปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งผลของการหาคำตอบด้วย CPLEX โดยพิจารณาด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบคือ แบบจำลองต้องใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าที่มีกรอบเวลาการขนส่งทับซ้อนกันมาก และมีจำนวนลูกค้าที่รถสามารถบรรทุกสินค้าไปขนส่งได้พร้อมกันมาก

บทที่ 4
หลักการของฮิวริสติกและระบบจัดเส้นทางเดินรถ

4.1 แนวคิดในการสร้างฮิวริสติก

แม้ว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถหาเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” ได้ แต่แบบจำลองดังกล่าวมีข้อจำกัดของการใช้งานที่ไม่เหมาะสมต่อการจัดเส้นทางเดินรถ โดยสาเหตุหลักมีดังต่อไปนี้

1. การหาคำตอบที่ดีที่สุดใช้ระยะเวลานาน ทำให้ปัญหาที่สามารถจัดเส้นทางเดินรถได้เป็นปัญหาที่มีขนาดเล็ก (จำนวนลูกค้าและจุดเริ่มต้นรวมกันทั้งหมดในปัญหาไม่เกิน 15 คน) ดังนั้นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจึงไม่สามารถใช้ในการจัดเส้นทางที่มีลูกค้าหรือจุดเริ่มต้นเป็นจำนวนมากได้
2. ข้อมูลนำเข้า หรือข้อมูลของลูกค้าที่เข้ามาในระบบเป็นข้อมูลทั้งหมด ซึ่งไม่ถือเป็นการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตอย่างแท้จริง เพราะข้อมูลแบบพลวัตต้องเข้ามาในระบบทีละข้อมูล และระบบจะพิจารณาจัดเส้นทางให้แก่ลูกค้าที่เข้าในระบบแล้วเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพราะระบบได้ทำการพิจารณาข้อมูลทั้งหมดแล้วทำการจัดเส้นทางที่เป็นไปตามข้อจำกัดที่ตั้งไว้ คำตอบหรือเส้นทางที่ได้จึงเป็นเส้นทางที่ดีที่สุดแต่ไม่สามารถเกิดขึ้นในความเป็นจริงได้ แต่อย่างไรก็ตามคำตอบที่ได้สามารถนำมาเป็นขอบเขตล่าง (Lower bound) ของคำตอบที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีขนาดเล็กได้

ดังนั้นเพื่อให้สามารถหาเส้นทางสำหรับปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นการขนส่งและมีลูกค้าในระบบเป็นจำนวนมาก และระบบมีการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตอย่างแท้จริง จึงต้องมีการพัฒนาวิธีในการจัดเส้นทางเดินแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์สำคัญของงานวิจัยนี้ เพื่อจัดเส้นทางสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” ที่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่รวดเร็วและได้คำตอบที่ดี

4.2 การทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถ

ระบบการจัดเส้นทางเดินรถ คือ ระบบที่สร้างขึ้นเพื่อพิจารณารับปัญหาเข้ามาทำการจัดเส้นทางเดินรถและให้ผลออกมาเป็นเส้นทางเดินรถจากจุดเริ่มต้นต่างๆที่ทำให้เกิดระยะทางรวมสั้นโดยขอบเขตของระบบจะเริ่มจากการรับปัญหาเข้ามาและสิ้นสุดที่การให้ผลการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งผลการจัดเส้นทางเดินรถอาจเปลี่ยนแปลงได้หากระบบทำการรับปัญหาเข้ามาเพิ่มในขณะที่ยังไม่ถึงเวลาปล่อยรถเพื่อนำสินค้าไปส่งให้แก่ลูกค้าตามเส้นทางที่ได้จัดไว้ ดังนั้นเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นตามลำดับเวลาในระบบนี้จึงมีทั้งสิ้น 2 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์ที่ลูกค้าเข้ามาในระบบเนื่องจากเป็นระบบพลวัต (Arrival Event) และเหตุการณ์ที่ต้องปล่อยรถออกจากระบบเพื่อนำสินค้าไปส่งให้แก่ลูกค้าเมื่อถึงเวลาออกรถ (Dispatching Event) ซึ่งระบบที่สร้างขึ้นจะพิจารณาเหตุการณ์ทั้งสองประเภทตามลำดับเวลา และจะเริ่มต้นการพิจารณาจัดเส้นทางใหม่ทุกครั้งเมื่อเหตุการณ์ที่ลูกค้าเข้ามาในระบบเกิดขึ้น ซึ่งการเริ่มต้นพิจารณาใหม่ดังกล่าวจะเริ่มจากการลบข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถในครั้งที่ผ่านมาทั้งหมด ซึ่งมีผลทำให้เหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นเดียวกัน

ในการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถหลังจากรับข้อมูลลูกค้าแต่ละรายเข้ามาในระบบนั้นประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ

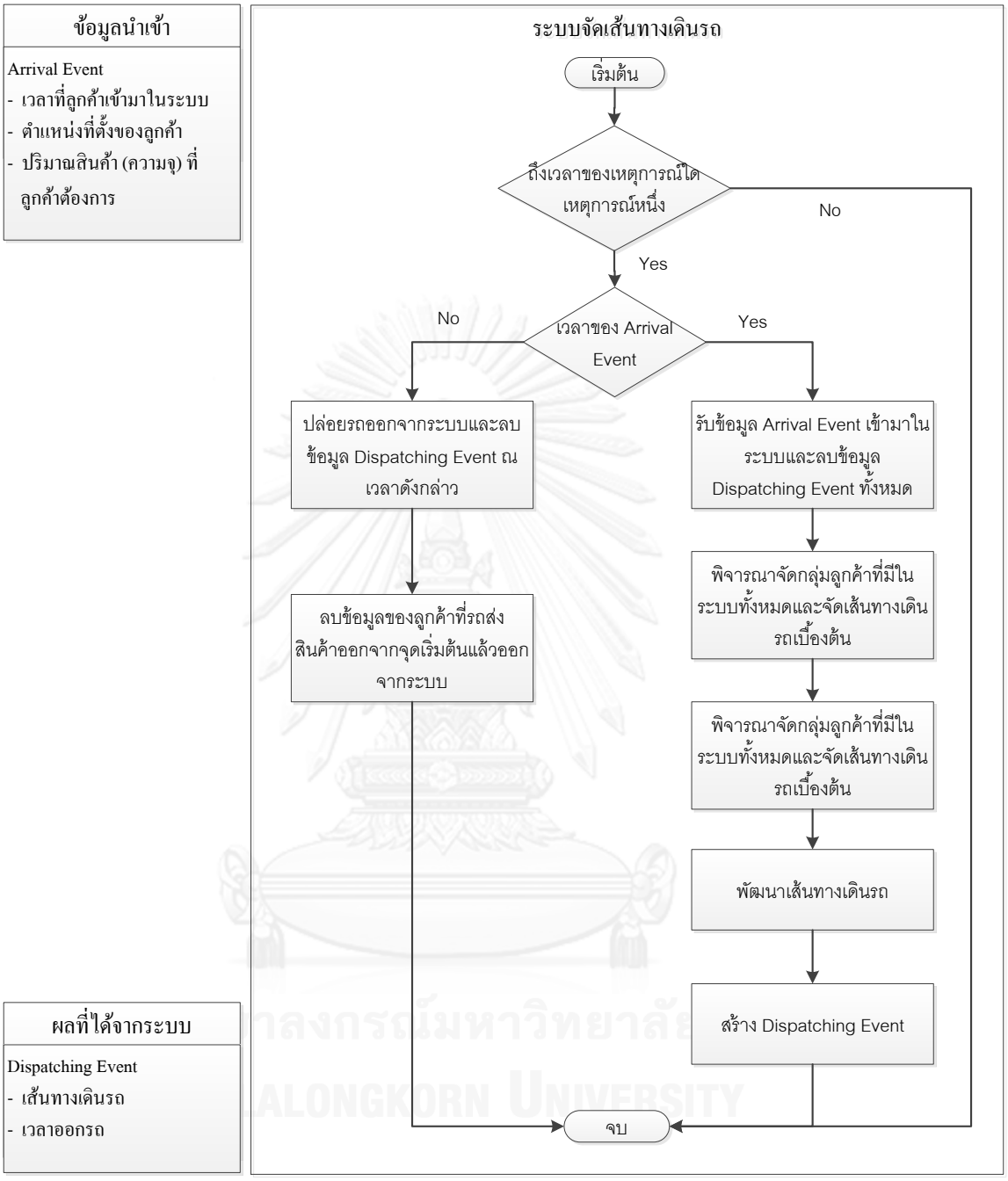
1. ขั้นตอนการกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น

   ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อรวมลูกค้าที่ควรไปส่งด้วยรถคันเดียวกัน หรืออยู่บนเส้นทางเดียวกัน และการจัดลำดับการส่งหรือจัดเส้นทางเบื้องต้นที่เป็นไปตามข้อจำกัดที่กำหนดไว้

2. ขั้นตอนการพัฒนาเส้นทางเดินรถ

   ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเส้นทางหรือลดระยะทางเส้นทางเดินรถที่ได้จัดไว้ใน ขั้นแรก โดยอาจมีการเปลี่ยนแปลงกลุ่มลูกค้าที่นำส่งจากจุดเริ่มเดียวกันหรือต่างจุดเริ่มต้น

สุดท้ายแล้วผลที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถคือเส้นทางการเดินรถแต่ละคันซึ่งบอกลำดับการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย และเวลาที่รถต้องออกจากจุดเริ่มต้นที่ได้ถูกเลือกไว้ ซึ่งผลทั้งสองอย่างจากการจัดเส้นทางรถนี้ จะประกอบกันได้เป็นเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบ ซึ่งขั้นตอนของระบบและเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องสามารถอธิบายด้วยรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบจัดเส้นทางเดินรถ

จากรูปที่ 4 สามารถแยกส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดเส้นทางเดินรถได้ 3 ส่วน คือ ส่วนการรับปัญหาเข้ามาในระบบ ส่วนการพิจารณาปัญหาที่เข้ามาในระบบ และส่วนการปล่อยรถออกจากระบบ โดยระบบทั้ง 3 ทำงานเกี่ยวเนื่องกันและมีผลต่อกันโดยตรง โดยหากมีปัญหาเข้ามาในระบบจะเกิดการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถ และสร้างผลจากระบบซึ่งก็คือเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายจุด สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้ปัญหามีระยะเวลารับประกันเท่ากันสำหรับลูกค้าทุกคนที่อยู่ในปัญหาชุดเดียวกัน ซึ่งทำให้เวลาที่สินค้าต้องถึงมือลูกค้าคือเวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบรวมกับระยะเวลารับประกัน (Arrival time + Guarantee time) ดังนั้นการคำนึงถึงเวลาเข้ามาในระบบของลูกค้าจึงสำคัญต่อการสร้างฮิวริสติกเป็นอย่างยิ่ง ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเวลาที่มีเหตุการณ์ต่างๆเกิดขึ้น อาทิ เวลาที่มีลูกค้าเข้ามาในระบบ หรือเวลาที่ต้องปล่อยรถเพื่อไปส่งสินค้า ในรูปแบบที่พิจารณาปัญหาตามลำดับที่เกิดขึ้นก่อนหลังแล้วทำการบันทึกเวลา โดยไม่ได้พิจารณาเทียบกับเวลาจริง หรือการที่เหตุการณ์ลูกค้าเข้ามาในระบบหรือเหตุการณ์ที่ต้องออกรถมีค่าเวลาประจำตัว โดยระบบจะเริ่มพิจารณาค่าเวลาที่น้อยที่สุด หรือเหตุการณ์ที่เกิดเร็วที่สุดก่อน หากเหตุการณ์นั้นถูกระบบจัดการเรียบร้อยแล้ว เหตุการณ์ที่มีค่าเวลาน้อยสุดตัวถัดไปจะถูกพิจารณาต่อไป

ยกตัวอย่างเพื่อการเข้าใจโดยง่ายคือ หากมีลูกค้าคนที่ 1 (เวลาที่จะเข้ามาในระบบคือ 3) ลูกค้าคนที่ 2 (เวลาที่จะเข้ามาในระบบคือ 9) และ ลูกค้าคนที่ 3 (เวลาที่จะเข้ามาในระบบคือ 15) ขั้นตอนที่จะเกิดขึ้นในระบบคือ

1. ระบบจะเริ่มพิจารณาลูกค้าคนที่ 1 ที่เวลา 3 โดยรับข้อมูลลูกค้าเข้ามาในระบบ
2. ระบบทำการจัดเส้นทางสำหรับลูกค้าคนที่ 1
3. ผลจากการจัดเส้นทางเดินรถคือ รถต้องออกไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 1 ที่เวลา 11 โดยรถต้องออกจากจุดเริ่มต้นที่ 1 เพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุด ดังนั้นเหตุการณ์ที่ต้องเกิดขึ้นในระบบที่เวลา 11 คือการปล่อยรถไปที่ลูกค้า 1
4. ระบบพิจารณาเหตุการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้นในลำดับถัดไป คือลูกค้าคนที่ 2 เข้ามาในระบบ โดยรับข้อมูลลูกค้าเข้ามาในระบบ และทำการลบข้อมูลเส้นทางเดินรถสำหรับลูกค้าคนที่ 1 (เหตุการณ์ที่เวลา 11 ถูกลบออกจากระบบ)
5. ระบบทำการจัดเส้นทางใหม่จะได้ว่า รถต้องไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 1 และคนที่ 2 ตามลำดับ โดยเริ่มออกรถเวลา 13 โดยรถต้องออกจากจุดเริ่มต้นที่ 1 ดังนั้นเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในระบบคือ การปล่อยรถไปที่ลูกค้า 1 และ 2 ที่เวลา 13
6. เหตุการณ์ลำดับถัดไปคือปล่อยรถไปที่ลูกค้า 1 และ 2 ที่เวลา 13 และสุดท้ายเป็นเหตุการณ์ที่รับลูกค้าคนที่ 3 เข้ามาในระบบเพื่อทำการจัดเส้นทางและทำการคำนวณเวลาออกรถต่อไป

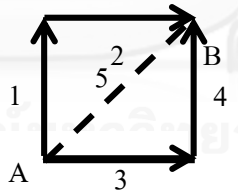
4.3 การจัดกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น

หลังจากที่ระบบรับข้อมูลลูกค้าเข้ามาในระบบจัดเส้นทางเดินรถแล้ว ระบบจะเริ่มพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถสำหรับลูกค้าทั้งหมดที่ยังอยู่ในระบบ โดยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบ่งออกเป็น 2

ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการ Square grid map และ ขั้นตอนการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยวิธีการ Sweep และ Reorder แม้ว่าวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน แต่ขั้นตอนทั้งสองไม่ได้แยกกันดำเนินการอย่างสมบูรณ์ ตามที่ได้กล่าวไปเบื้องต้นในบทที่ 2 การจัดเส้นทางเดินรถโดยทั่วไปจะแบ่งกลุ่มลูกค้าเข้าสู่จุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุดแล้วจึงทำการจัดเส้นทางเดินรถภายในกลุ่มที่ได้แบ่งไว้ แต่ในงานวิจัยนี้การจัดกลุ่มลูกค้าจะเริ่มทำทีละคนเท่านั้น โดยเริ่มจากลูกค้าคู่ที่เหมาะสมที่สุดและถูกส่งโดยจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุด แล้วทำการจัดเส้นทางและตรวจสอบข้อจำกัดหากได้เส้นทางที่เหมาะสมและไม่ละเมิดข้อจำกัดจึงทำการเพิ่มลูกค้าที่เหมาะสมรายต่อไปเข้าสู่เส้นทางที่ได้จัดไว้แล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำทั้งสองขั้นตอนแบบควบคู่กันโดยอ้างอิงจากเส้นทางเดินรถที่มีอยู่แล้วเป็นหลัก ซึ่งหลักการนี้แตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆที่อ้างอิงจุดเริ่มต้นและกลุ่มที่จัดไว้ก่อนเบื้องต้นเป็นหลัก เนื่องจากปัญหาที่งานวิจัยนี้สนใจเป็นปัญหาแบบพลวัตและมีจุดเริ่มต้นที่สามารถส่งสินค้าได้จุดให้เลือก ดังนั้นกลุ่มลูกค้าจึงควรขึ้นอยู่กับเส้นทางเดินรถที่กำลังจัดเส้นทางอยู่เป็นหลัก

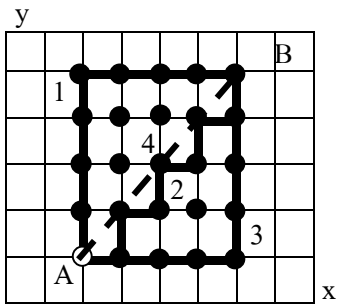
4.3.1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการนับจุดตัด (Square grid map)

ขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าใช้วิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่ (Square grid map) ที่อยู่ใต้เส้นทางแบบ Manhattan ทั้งหมดที่เป็นไปได้ หรือการพิจารณาพื้นที่ครอบคลุมที่ตั้งของลูกค้าและจุดเริ่มต้นที่สนใจ โดยเส้นทางแบบ Manhattan ระหว่างจุดที่สนใจเป็นไปดังรูปที่ 5



รูปที 5 เส้นทางแบบ Manhattan

จากรูปที่ 2 จะได้ว่าเส้นทางแบบ Manhattan จากจุด A ไป B ที่เป็นไปได้คือ A – 1 – 2 – B และ A – 3 – 4 – B โดยหากเส้นทางที่ 1, 2, 3 และ 4 มีระยะทางเท่ากัน จะทำให้ระยะทางของเส้นทางแบบ Manhattan ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ในขณะที่เส้นทาง 5 คือเส้นทางแบบกระจัดหรือเส้นทางแบบ Euclidean หรือเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุด



รูปที่ 6 จุดตัดใต้เส้นทางแบบ Manhattan ทั้งหมดที่เป็นไปได้ระหว่างจุด A และ B

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นจุดตัดทั้งหมดที่อยู่ภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan ทั้งหมดที่เป็นไปได้ โดยไม่นับจุดตัดที่นับไปแล้วซ้ำทั้งหมดจากจุด A ไป B โดยเส้นทางแบบ Manhattan จากจุด A ไป B มีได้หลายเส้นทาง อาทิ เส้นทาง 1, 2 หรือ 3 ซึ่งทุกเส้นทางมีระยะทางจาก A ไป B เท่ากันคือ 8 หน่วย หากกำหนดให้ 1 ช่องการเดินทางมีค่า 1 หน่วย จำนวนจุดตัดทั้งหมดที่พิจารณามีค่าเท่ากับ 24 จุดตัด หรือมีค่าเท่ากับพื้นที่ภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan จากจุด A ไป B ซึ่งมีระยะบนแกน x เท่ากับ 5 หน่วยและมีระยะบนแกน y เท่ากับ 5 หน่วย (พื้นที่ = 5×5 = 25) ลบออกด้วยจำนวนหรือพื้นที่จุดเริ่มต้น

จำนวนจุดตัดระหว่างจุดสองจุดบนตารางแผนที่จะถูกคำนวณทุกครั้งเมื่อมีลูกค้าเข้ามาในระบบ โดยจุดแสดงที่ตั้งของลูกค้าและจุดเริ่มต้นในระบบทั้งหมดจะถูกคำนวณจุดตัดและทำการเก็บค่าไว้ หากไม่มีลูกค้าเข้ามาในระบบจนกระทั่งถึงเวลาที่ต้องไปส่งสินค้าหรือเวลาออกรถ (เวลาที่สินค้าต้องถึงมือลูกค้า – เวลาที่ต้องใช้ในการเดินทาง) เส้นทางเดินรถที่ได้คือ รถจะเดินทางจากจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดจำนวนจุดตัดน้อยที่สุดไปลูกค้ารายนั้นๆและกลับมายังจุดเริ่มต้นเดิม

เมื่อมีลูกค้าในระบบมากกว่า 1 คน ฮิวริสติกจะเริ่มต้นจากการหาจุดตัดระหว่างลูกค้าแต่ละรายกับจุดเริ่มต้นทั้งหมดที่มีในระบบ หลังจากนั้นฮิวริสติกจะเริ่มที่พิจารณาที่ลูกค้ารายหนึ่งแล้วทำการหาจุดตัดภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan ทั้งหมดระหว่างลูกค้าที่พิจารณากับลูกค้ารายอื่นๆโดยพิจารณารวมจุดเริ่มต้นทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบทีละจุดเริ่มต้นแล้วเก็บค่าจำนวนจุดตัดไว้ ฮิวริสติกจะทำการเช่นเดียวกันนี้จนลูกค้าทุกรายได้รับการพิจารณาคำนวณหาจุดตัด เมื่อได้ค่าจุดตัดที่ต้องการจนครบ ระบบจะทำการบันทึกคู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดจุดตัดที่น้อยที่สุดเรียงตามลำดับน้อยไปมาก ซึ่งคู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนจุดตัดน้อยที่สุดจะได้รับการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถตรวจสอบข้อจำกัด และเพิ่มลูกค้าอื่นๆเข้ามาในเส้นทางก่อน

จากบันทึกคู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดจุดตัดที่น้อยที่สุด คู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นลำดับแรกจะถูกนำไปพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถและตรวจสอบข้อจำกัดด้วยวิธีการ Sweep และ Reorder โดย

หากสามารถจัดเส้นทางแล้วและได้เส้นทางที่เป็นไปตามข้อจำกัดของปัญหาที่ได้กำหนดไว้ คู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นดังกล่าวจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อทำการพิจารณาเอาลูกค้ารายอื่นๆมารวมอยู่ในกลุ่มดังกล่าวเพิ่มต่อไป แต่หากไม่สามารถจัดเส้นทางที่เป็นไปตามข้อจำกัดของปัญหาที่ได้กำหนดไว้ได้ คู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นดังกล่าวจะถูกแยกออกจากกันและจะไม่ถูกพิจารณานำมารวมกันอีก

เมื่อลูกค้าและจุดเริ่มต้นได้ถูกพิจารณาให้อยู่กลุ่มเดียวกันแล้ว ฮิวริสติกจะเพิ่มลูกค้าเข้ามาในกลุ่มด้วยวิธีการนับจำนวนจุดตัดเช่นเดิม โดยลูกค้าในกลุ่มที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะถูกพิจารณาร่วมกับลูกค้าอื่นๆที่อยู่ในระบบทีละรายและพิจารณาร่วมกับจุดเริ่มต้นทีละจุดเพื่อหาจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกลุ่มลูกค้าเดิมและลูกค้าใหม่ โดยลูกค้ารายใหม่และจุดเริ่มต้นที่สามารถทำให้เกิดจุดตัดน้อยที่สุดเมื่อรวมกับลูกค้ากลุ่มเดิมจะถูกพิจารณาให้รวมกลุ่มกันหากสามารถจัดเส้นทางแล้วได้เส้นทางที่เป็นไปตามข้อจำกัดของปัญหาที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นการนับจำนวนจุดที่อยู่ใต้เส้นทางแบบ Manhattan หรือเรียกว่าวิธีการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการนับจุดตัด (Square grid map) จึงเป็นวิธีการคัดเลือกลูกค้าให้มากลุ่มกันเพื่อสร้างเส้นทาง โดยมีการทดสอบจัดเส้นทางและตรวจสอบให้เป็นไปตามข้อจำกัดของปัญหาที่ได้กำหนดไว้ทุกครั้งก่อนให้ลูกค้ามารวมกลุ่มกัน

เมื่อกลุ่มของลูกค้าที่จัดไว้ไม่สามารถเพิ่มลูกค้าเข้ากลุ่มได้อีก กลุ่มลูกค้านั้นๆจะถูกตัดออกจากการพิจารณาเพิ่มลูกค้า และตัดการพิจารณาลูกค้าในกลุ่มนั้นๆออก หากยังมีลูกค้าเหลืออยู่ในระบบที่ไม่ถูกจัดกลุ่ม ฮิวริสติกจะเริ่มต้นจัดกลุ่มใหม่อีกครั้งด้วยวิธีการเดิมจนกระทั้งลูกค้าทั้งหมดที่อยู่ในระบบถูกจัดกลุ่ม หรือได้รับการพิจารณาจัดกลุ่มแต่ไม่สามารถรวมกลุ่มได้ ซึ่งผลที่ได้จากการจัดกลุ่มจะถูกนำไปจัดเส้นทางและพัฒนาเส้นทางต่อไป

เมื่อได้เส้นทางเดินรถทั้งหมดจากการเริ่มต้นจัดกลุ่มจากคู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นลำดับแรกของจากบันทึกคู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดจุดตัดที่น้อยที่สุด ระบบจะทำการคำนวณระยะทางทั้งหมดที่ของเส้นทางที่สร้างขึ้นและทำการบันทึกเส้นทางและค่าระยะทางไว้ หลังจากนั้นฮิวริสติกจะเริ่มทำการจัดกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางใหม่อีกครั้งโดยเริ่มจากคู่ลูกค้าและจุดเริ่มต้นลำดับถัดมาด้วยวิธีการแบบเดียวกัน เมื่อสิ้นสุดการจัดเส้นทาง ระบบจะทำการคำนวณระยะทางทั้งหมดที่ของเส้นทางที่สร้างขึ้นและทำการบันทึกเส้นทางและค่าระยะทางไว้เช่นเดียวกับครั้งแรก และจะทำการจัดกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางใหม่จนครบจำนวนลำดับที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ ให้ทำการจัดเส้นทางทุกอันดับเพื่อให้จำนวนเส้นทางมีมากพอให้สามารถเปรียบเทียบและเลือกได้ และใช้เวลาในการหาเส้นทางในระยะเวลาที่เหมาะสม โดยหากมีจำนวนคู่น้อยกว่านั้นจะทำการพิจารณาจัดกลุ่มและจัดเส้นทางจากทุกคู่ แล้วทำการบันทึกเส้นทางและค่าระยะทางเพื่อเลือกชุดเส้นทางจากอันดับที่ให้ระยะทางรวมน้อยที่สุดเพื่อทำการพัฒนาเส้นทางและสร้างเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบต่อไป

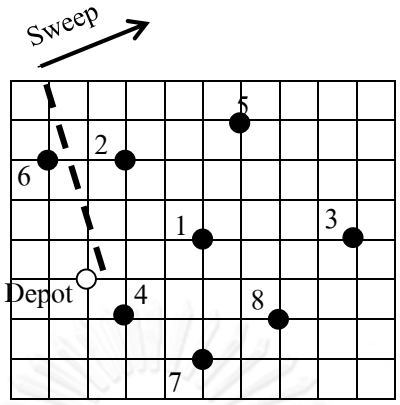
4.3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยวิธีการ Sweep และวิธีการ Reorder

เนื่องจาก “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลาย” เป็นปัญหาที่มีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเงื่อนไขของระยะเวลาที่สามารถขนส่งได้ หรือการที่สินค้าจะต้องไปถึงลูกค้าภายในระยะเวลารับประกันนับจากเวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบและความจุของสินค้าทั้งหมดที่ขนส่งโดยรถคันเดียวกันต้องไม่เกินความจุสูงสุดที่รถสามารถขนส่งได้ดังนั้น หลังจากที่ฮิวริสติกได้จัดกลุ่มลูกค้าและจุดเริ่มต้นเข้าด้วยกันเบื้องต้น จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการจัดเส้นทางเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบหาเส้นทางที่ดีและเป็นไปตามข้อจำกัดของปัญหา โดยวิธีการในการจัดเส้นทางนี้ได้ใช้หลักการ Sweep Algorithm เป็นลำดับแรกเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่เป็นไปได้ และใช้วิธีการ Reorder ลำดับการส่งของลูกค้าจากเส้นทางที่สั้นที่สุดในกรณีที่เส้นทางดังกล่าวไม่เป็นไปตามข้อจำกัดของปัญหา

วิธีการ Sweep

หลังจากได้กลุ่มของลูกค้าจากการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการนับจุดตัด (Square grid map) แล้ว กลุ่มลูกค้าดังกล่าวจะถูกพิจารณาเพื่อจัดลำดับในการขนส่งเพื่อสร้างเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุด โดยลำดับการขนส่งจะถูกจัดด้วยการสร้างเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นที่ถูกเลือก แล้วเส้นตรงดังกล่าวจะกวาดหรือ Sweep ในแนวรัศมีโดยเริ่มต้นจากตำแหน่งของลูกค้าหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มแล้วเส้นดังกล่าวจะกลับมายังจุดเดิม ลูกค้าที่เป็นจุดเริ่มต้นจะเป็นลำดับแรกของการขนส่ง และลูกค้าที่ถูกเส้น Sweep ผ่านในลำดับถัดไปจะเป็นลำดับดับถัดไปของการขนส่งไปเรื่อยๆ โดยจุดเริ่มต้นของการ Sweep จะเริ่มจากตำแหน่งของลูกค้าทุกรายที่อยู่ในระบบ ดังนั้นเมื่อขั้นตอนนี้เสร็จสิ้นเส้นทางที่สามารถจัดได้จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนลูกค้าที่อยู่ในกลุ่มนั้น ซึ่งวิธีการ Sweep สามารถอธิบายด้วยรูปที่ 4

Chulalongkorn University



รูปที่ 7 วิธีการ Sweep

จากรูปที่ 7 หากสร้างเส้น Sweep จากจุดเริ่มต้นแล้วเริ่มทำการ Sweep จากลูกค้าคนที่ 6 ไปเรื่อยๆจนครบ จะได้เส้นทางคือ Depot – 6 – 2 – 5 – 1 – 3 – 8 – 7 – 4 – Depot เป็นเส้นทางที่ 1 ในการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถ และหากเปลี่ยนจุดเริ่มทำการ Sweep เป็นลูกค้าอื่นๆไปเรื่อยๆ จะได้เส้นทางทั้งหมดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการจัดเส้นทางด้วยวิธีการ Sweep

เส้นทางที่	เส้นทางเดินรถ
1	Depot – 6 – 2 – 5 – 1 – 3 – 8 – 7 – 4 – Depot
2	Depot – 2 – 5 – 1 – 3 – 8 – 7 – 4 – 6 – Depot
3	Depot – 5 – 1 – 3 – 8 – 7 – 4 – 6 – 2 – Depot
4	Depot – 1 – 3 – 8 – 7 – 4 – 6 – 2 – 5 – Depot
5	Depot – 3 – 8 – 7 – 4 – 6 – 2 – 5 – 1 – Depot
6	Depot – 8 – 7 – 4 – 6 – 2 – 5 – 1 – 3 – Depot
7	Depot –7 – 4 – 6 – 2 – 5 – 1 – 3 – 8 – Depot
8	Depot – 4 – 6 – 2 – 5 – 1 – 3 – 8 – 7 – Depot

ผลที่ได้จากตารางที่ 1 คือเส้นทางที่ได้จากวิธีการ Sweep โดยจำนวนเส้นทางที่เกิดขึ้นมีจำนวนเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่ม ในขั้นตอนต่อไป เส้นทางทั้งหมดจะถูกนำมาหา

ระยะทางรวมของแต่ละเส้นทางและทำการเรียงลำดับเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุดไปยังเส้นทางที่มีระยะเดินทางที่ยาวที่สุด หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการตรวจสอบข้อจำกัดของปัญหา โดยหากเส้นทางที่สั้นที่สุดผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดของปัญหาทั้งหมด เส้นทางดังกล่าวจะถือเป็นเส้นทางเริ่มต้น และลูกค้าทั้งหมดจะถือเป็นลูกค้ากลุ่มเดียวกัน แต่หากเส้นทางดังกล่าวไม่ผ่านการตรวจสอบ ฮิวริส-ติกจะทำการปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธีการ Reorder เพื่อให้เส้นทางที่สั้นที่สุดนี้มีการเปลี่ยนแปลงลำดับการขนส่งเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดของปัญหาทั้งหมด แต่หากทำการเปลี่ยนแปลงลำดับการขนส่งด้วยวิธีการ Reorder ทุกวิธีแล้วไม่สามารถผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดของปัญหาทั้งหมดได้ เส้นทางที่สั้นที่สุดนี้จะไม่ถูกพิจารณาต่อ และฮิวริสติกจะเริ่มทำการพิจารณาเส้นทางที่สั้นที่สุดในลำดับถัดไปในลักษณะเดิมจนกระทั่งได้เส้นทางที่ต้องการ แต่หากไม่มีเส้นทางที่ผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดของปัญหาทั้งหมด กลุ่มลูกค้านี้จะถูกแยกออก โดยจะไม่รวมลูกค้าคนล่าสุดเข้ามาสู่กลุ่มที่จัดไว้ก่อนหน้า และทำการพิจารณารวมลูกค้าคนใหม่เข้ามาสู่กลุ่มลูกค้าเดิม และทำการจัดเส้นทางต่อไป จนไม่สามารถรวมลูกค้าเข้ามาสู่กลุ่มลูกค้าเดิมได้อีก

วิธีการ Reorder

วิธีการ Reorder มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงเส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางด้วยวิธีการ Sweep แล้วเส้นทางดังกล่าวไม่ผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดที่กำหนดขึ้น โดยฮิวริสติกจะทำการ Reorder หรือทำการสับเปลี่ยนลำดับการขนส่งสินค้าเพื่อให้ผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดของปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อให้รถสามารถไปส่งสินค้าได้ทันเวลา เพราะก่อนที่ลูกค้าจะถูกจัดเข้ามาในกลุ่มเดียวกันจะต้องผ่านการตรวจสอบความจุรวมของสินค้าไปก่อนหน้าแล้ว

ขั้นแรกของวิธีการ Reorder คือการตรวจสอบลูกค้าที่ไม่สามารถไปส่งสินค้าได้ทันภายในระยะเวลารับประกัน จากนั้นจึงทำการเลื่อนลำดับลูกค้ารายนั้นไปไว้ก่อนหน้าลูกค้าที่อยู่ลำดับก่อนหน้า แล้วทำการตรวจสอบข้อจำกัดด้านเวลาหลังจากทำการ Reorder ทุกครั้ง ถ้าหากเส้นทางใหม่ที่ผ่านการ Reorder ไม่ผ่านการตรวจสอบข้อจำกัด ฮิวริสติกจะทำการ Reorder ไปเรื่อยๆด้วยขั้นตอนเดิมจนกระทั่ง ไม่สามารถ Reorder ได้แล้ว ฮิวริสติกจะไม่พิจารณาเส้นทางนี้อีก แล้วจะเลื่อนไปพิจารณาเส้นทางลำดับถัดไปที่ได้จากวิธีการ Sweep โดยวิธีการ Reorder ถูกอธิบายด้วยตารางที่ 2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 วิธีการ Reorder

ขั้นตอน	เส้นทางเดินรถ	ลูกค้าที่ไปส่งสินค้าไม่ทัน
เริ่มต้น	Depot – 6 – 2 – (5) – 1 – 3 – 8 – (7) – 4 – Depot	1, 4
Reorder 1, 4	Depot – 6 – 2 – 1 – (5) – 3 – (8) – 4 – 7 – Depot	3, 4
Reorder 3, 4	Depot – 6 – 2 – 1 – 3 – (5) – 4 – 8 – 7 – Depot	4
Reorder 4	Depot – 6 – 2 – 1 – 3 – 4 – 5 – 8 – 7 – Depot	-

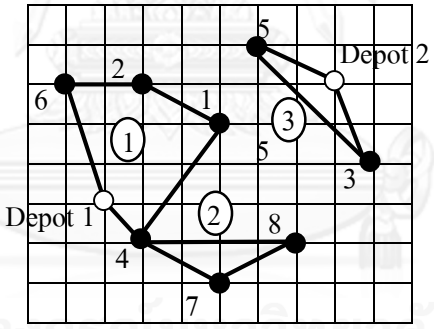
จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อเริ่มแรกเส้นทางที่พิจารณาไม่สามารถไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 1 และ 4 ไม่ทันภายในระยะเวลาที่รับประกันไว้ ดังนั้นฮิวริสติกจึงทำการ Reorder ลูกค้าทั้งสองให้ถูกจัดส่งเร็วขึ้นหนึ่งลำดับ แต่ผลจากการ Reorder ในครั้งแรกทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 3 และ 4 ได้ทันเวลา ดังนั้นจึงทำการ Reorder ในครั้งที่สอง แต่ผลที่ได้ทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้า 4 ได้ทันเวลา จึงทำการ Reorder ในครั้งต่อไป ซึ่งผลที่ได้คือเส้นทางเดินรถที่สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าทุกคนได้ทันเวลาที่ได้รับประกันไว้ หรือคือเส้นทางเดินรถเบื้องต้นที่ได้จากขั้นตอน Sweep และ Reorder และเป็นเส้นทางที่สามารถจัดได้สำหรับกลุ่มลูกค้ากลุ่มนี้และเป็นวิธีการยืนยันให้ลูกค้าเหล่านี้เป็นลูกค้ากลุ่มเดียวกัน

เพื่อเป็นการยืนยันว่าการจัดลูกค้าเข้ากลุ่มเดียวกันและการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับกลุ่มลูกค้านั้นๆจากจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมทำให้เกิดเส้นทางเดินรถที่สั้นกว่าการจัดเส้นทางเดินรถแบบแยกขนส่งสำหรับลูกค้าแต่ละราย (1 เส้นทางมีลูกค้า 1 ราย และเลือกจุดเริ่มต้นที่ใกล้ที่สุด) หรือเส้นทางเดินรถที่จัดขึ้นโดยการเพิ่มลูกค้าเข้ากลุ่มที่จัดไว้แล้ว เทียบกับการที่ไม่ได้ทำการเพิ่มจำนวนลูกค้า ฮิวริสติกจะทำการบันทึกค่าก่อนและหลังการรวมกลุ่มทุกครั้ง โดยค่าก่อนรวมกลุ่มครั้งแรกคือระยะทางแบบแยกขนส่งทั้งหมดแล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการเปรียบเทียบหลังจากการรวมกลุ่มครั้งแรกเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยการรวมกลุ่มที่ทำให้ระยะทางสั้นลงจะถูกพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถต่อ แต่ในทางตรงกันข้าม หากการรวมกลุ่มใหม่ทำให้ระยะทางเดินรถเพิ่มขึ้น กลุ่มลูกค้านั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถต่อ โดยฮิวริสติกจะใช้เส้นทางก่อนหน้าที่จัดได้และมีระยะทางสั้นกว่าเป็นเส้นทางเดินรถที่เลือกพิจารณาพัฒนาเส้นทางต่อ

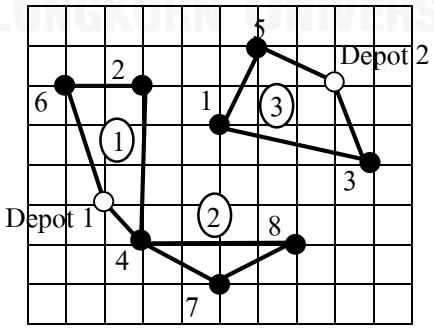
4.4 การพัฒนาเส้นทางเดินรถ

การพัฒนาเส้นทางเดินรถหลังจากได้เส้นทางเดินรถเบื้องต้นที่ได้จากขั้นตอน Sweep และ Reorder มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเส้นทางเพื่อให้ระยะทางรวมลดลง โดยวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาเส้นทางคือการเรียงลำดับแบบแทรก (Insertion sort) หรือวิธีการ Insertion โดยเส้นทางที่พิจารณาคือเส้นทางทั้งหมดที่ได้จากการจัดเส้นทางเบื้องต้น ณ เวลานั้นๆ

ขั้นตอนการ Insertion เริ่มจากการพิจารณาลูกค้าทีละรายแล้วนำลูกค้ารายนั้นไปทำการแทรกลงในตำแหน่งต่างๆทุกตำแหน่งในเส้นทางอื่นๆทั้งเส้นทางที่ออกจากจุดเริ่มต้นเดียวกันและออกจากจุดเริ่มต้นต่างกัน โดยทุกครั้งหลังทำการแทรกฮิวริสติกจะทำการตรวจสอบข้อจำกัดทุกครั้ง ถ้าหากผ่านข้อจำกัดทั้งหมด จะหาระยะทางรวมของเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นแล้วทำการบันทึกค่าไว้ แต่หากไม่ผ่านข้อจำกัด ฮิวริสติกจะไม่พิจารณาแทรก ณ ตำแหน่งดังกล่าวอีกและจะไม่บันทึกระยะทาง เมื่อทำการทดลองแทรกและตรวจสอบข้อจำกัดทั้งหมดแล้ว จึงทำการเปลี่ยนเส้นทางให้เป็นไปตามเส้นทางที่สั้นที่สุดหรือเส้นทางที่ทำการแทรกลูกค้าแล้วทำให้ระยะทางรวมสั้นที่สุด ตัวอย่างการ Insertion สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 8



ก่อนการ Insertion



หลังการ Insertion

รูปที่ 8 วิธีการ Insertion

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเส้นทางเดินรถหลังการพัฒนานาด้วยวิธีการ Insertion มีการเปลี่ยนแปลงจากเส้นทางทางเดินรถก่อนการพัฒนานาด้วยวิธีการ Insertion โดยลูกค้าคนที่ 1 จากเส้นทางที่ 1 ถูกแทรกลงในเส้นทางที่ 3 แล้วเกิดเส้นทางที่ผ่านการตรวจสอบข้อจำกัดแล้วมีระยะทางรวมลดลง ดังนั้นหากทำการทดลองแทรกลูกค้าจนครบทุกตำแหน่งของทุกเส้นทางแล้ว การแทรกลูกค้าคนที่ 1 จากเส้นทางที่ 1 ลงในเส้นทางที่ 3 ระหว่างลูกค้าคนที่ 5 และลูกค้าคนที่ 3 ทำให้ระยะทางรวมสั้นที่สุด เส้นทางเดินรถสุดท้ายจะเปลี่ยนเป็นเส้นทางหลังการ Insertion และเป็นเส้นทางสำหรับสร้างเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบ (Dispatching Event)

4.5 การคำนวณเวลาที่รถต้องเริ่มออกเดินทางเพื่อไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนแรก

เนื่องจากการสร้างเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบ (Dispatching Event) ต้องประกอบไปด้วยเส้นทางเดินรถที่จัดขึ้นและเวลาออกรถหรือเวลาที่รถต้องเริ่มออกเดินทางเพื่อไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนแรก ในขั้นตอนการจัดเส้นทางได้สร้างฮิวริสติกเพื่อการจัดกลุ่มลูกค้า (วิธีการนับจุดตัด (Square grid map) วิธีการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น (วิธีการ Sweep และวิธีการ Reorder) และการพัฒนาเส้นทางเดินรถ (วิธี Insertion) เมื่อได้เส้นทางสุดท้ายเพื่อจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าตามตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าต่างๆแล้ว เส้นทางเดินรถนี้ถูกนำมาคำนวณหาเวลาออกรถ โดยวัตถุประสงค์สำคัญของการคิดเวลาออกรถคือการให้รถรอนานที่สุดหรือการคิดเวลาออกรถที่ช้าที่สุด เนื่องจากปัญหามีลักษณะพลวัต ดังนั้นปัญหาจึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยการที่ลูกค้าเข้ามาในระบบมากขึ้นทำให้ระบบมีตัวเลือกในการจัดเส้นทางมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้การมีตัวเลือกในการจัดเส้นทางมากขึ้นอาจส่งผลให้ระยะทางรวมที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถสั้นที่สุด ดังนั้นเพื่อให้มีจำนวนลูกค้าในระบบมากที่สุดเพื่อสร้างเส้นทางที่สามารถขนส่งลูกค้าโดยรวมสั้นที่สุด ลูกค้าที่เข้ามาในระบบและถูกจัดเส้นทางไปแล้วจึงควรอยู่ในระบบจนกระทั่งถึงเวลาที่ต้องออกไปส่งสินค้าเพราะอาจมีลูกค้ารายใดรายหนึ่งในเส้นทางเดียวกันอาจได้รับสินค้าช้ากว่าระยะเวลาที่รับประกันไว้ ดังนั้นในเส้นทางหนึ่งๆจึงมีลูกค้าอย่างน้อยหนึ่งรายที่ได้รับสินค้าที่ระยะเวลารับประกันพอดี

การคำนวณเวลาที่รถต้องเริ่มออกเดินทางพิจารณาจากเส้นทางเดินรถสุดท้ายที่ได้จากขั้นตอนการพัฒนาเส้นทางเดินรถ โดยระบบจะเริ่มจากการคำนวณระยะเวลาที่สินค้าไปถึงก่อนระยะเวลารับประกัน (Slack Time) สำหรับลูกค้าทุกรายที่อยู่ในเส้นทางเดินรถนั้นหากรถเริ่มออกเดินทาง ณ เวลาปัจจุบัน หรือเวลาที่ฮิวริสติกทำการจัดเส้นทางเสร็จ แล้วทำการคำนวณหาเวลาที่สินค้าไปถึงก่อนระยะเวลารับประกันที่น้อยที่สุด (Critical Time) เวลาดังกล่าวจะถือเป็นเวลาที่นับไปจากเวลาปัจจุบันที่รถต้องออกจากจุดเริ่มต้นเพื่อเริ่มทำการส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าคนแรกหรือเวลาออกรถนั่นเอง ตัวอย่างการคำนวณเวลาออกรถเป็นไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิธีการคำนวณเวลาออกรถ

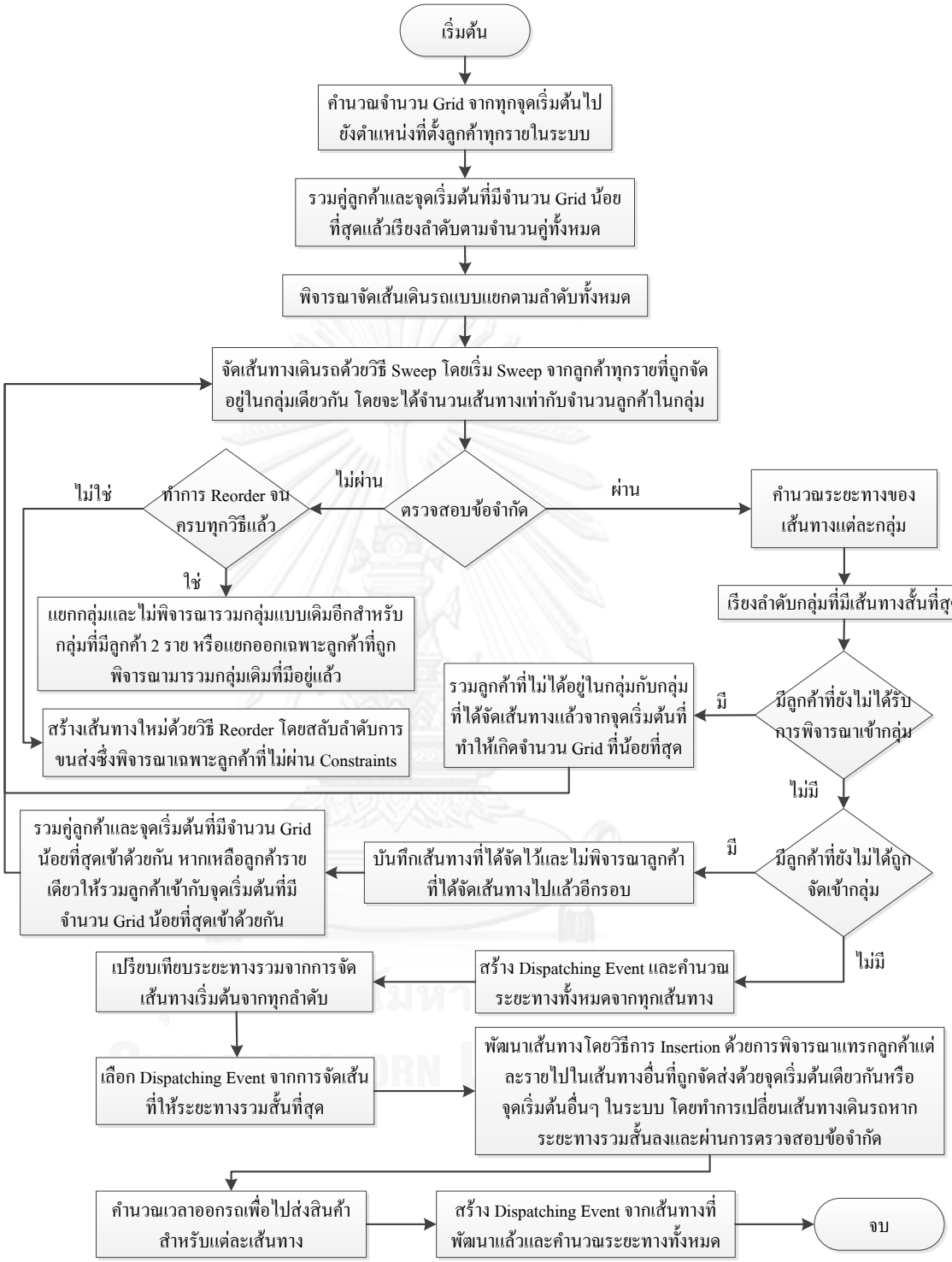
เส้นทางเดินรถ	Depot – 6 – 2 – 1 – 3 – 4 – 5 – 8 – 7 – Depot		เวลาปัจจุบัน : 10
ลูกค้า	เวลารับประกันได้รับสินค้า	เวลาที่จะได้รับสินค้าหากรถออก ณ เวลาปัจจุบัน	Slack Time
6	72	18	54
2	48	26	22
1	35	30	5
3	55	47	8
4	63	52	11
5	67	60	7
8	84	64	20
7	77	71	6

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาที่สินค้าไปถึงก่อนระยะเวลารับประกัน (Slack Time) ที่น้อยที่สุดคือ 5 ของลูกค้าคนที่ 1 ดังนั้นเวลาออกรถสำหรับเส้นทางเดินรถนี้คือ เวลา 15 โดยคำนวณได้จากเวลาปัจจุบันบวกด้วยระยะเวลาที่สินค้าไปถึงก่อนระยะเวลารับประกัน (Slack Time) ที่น้อยที่สุด ซึ่งจากตารางเวลาปัจจุบันคือ 10 เวลาและระยะเวลาที่สินค้าไปถึงก่อนระยะเวลารับประกัน (Slack Time) ที่น้อยที่สุดคือ 5 โดยวิธีการคำนวณเวลาออกรถวิธีนี้ถูกใช้สำหรับสร้างเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบ (Dispatching Event) ในระบบจัดเส้นทางเดินรถของงานวิจัยนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 การทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถ

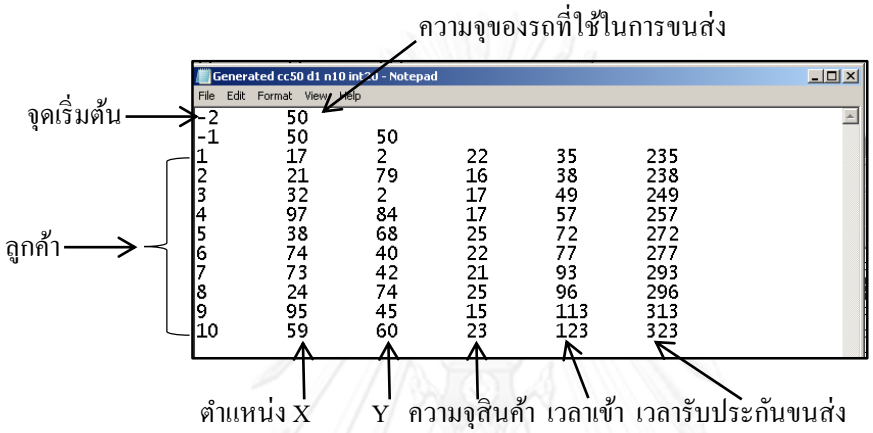
การทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” ประกอบไปด้วยการรับลูกค้าเข้ามาในระบบ การจัดกลุ่มลูกค้า การจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น การพัฒนาเส้นทางเดินรถ และการคำนวณเวลาออกรถ โดยผลลัพธ์สุดท้ายได้เส้นทางเดินรถและเวลาออกรถ สามารถอธิบายด้วยแผนผังโดยสรุปดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนผังการทำงานของระบบจัดเส้นทางเดินรถ

4.7 Programming

ระบบและวิธีการจัดเส้นทางเดินรถทั้งหมดจะถูกนำมาเขียนด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C# 2010 เพื่อการสร้างปัญหาทั้งหมด และทำการแก้ปัญหา โดยข้อมูลนำเข้าหรือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถมีตัวอย่างดังรูปที่ 10 ซึ่งปัญหาและผลจะถูกแสดงด้วยไฟล์ Notepad



รูปที่ 10 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของปัญหาที่มี 1 จุดเริ่มต้นและลูกค้า 10 คน

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า ปัญหาที่สร้างขึ้นเป็นปัญหาที่มีรถที่ใช้ในการขนส่งมีความจุ 50 มีจุดเริ่มต้น 1 จุดอยู่ที่ตำแหน่ง (50,50) และมีลูกค้าที่จะเข้ามาในระบบจัดเส้นทางเดินรถ 10 คน โดยแต่ละคนมีข้อมูล 5 ข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดเส้นทาง เช่น ลูกค้าคนที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง (17,2) มีความต้องการสินค้าความจุ 22 โดยลูกค้าเข้ามาในระบบที่เวลา 35 และเวลาสุดท้ายที่สามารถนำสินค้าไปส่งได้หรือเวลารับประกันขนส่งคือ 235

หลังจากที่ปัญหาถูกนำเข้าเพื่อทำการจัดเส้นทางเดินรถแล้ว คำตอบหรือผลที่ได้จากการแก้ปัญหามีตัวอย่างดังรูป 11 ซึ่งแสดงด้วยไฟล์ Notepad เช่นเดียวกับข้อมูลนำเข้า ซึ่งผลจากรูปที่ 11 สามารถอธิบายได้ด้วยตารางที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วยเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยเหตุการณ์ปล่อยรถแต่ละเหตุการณ์ประกอบไปด้วย

1. เส้นทางเดินรถ
2. เวลาออกรถ

Cumulative Distance is 739.267338400624

Dispatch Events

Dispatch Number	job No	Arrival Time	Due Time	Volume	Distance From Depot	Critical Start Time
0	1	142.439972067043	235	22	58.2494635168428	84.1905085501997
0	4	257	257	17	172.8094914498	84.1905085501997
1	6	172.197264494552	277	22	26	146.197264494552
1	2	238	238	16	91.8027355054484	146.197264494552
2	9	219.305802044744	313	15	45.2769256906871	174.028876354057
2	8	296	296	25	121.971123645943	174.028876354057
3	3	249	249	17	51.2640224719052	197.735977528095
3	10	312.976558206893	323	23	115.240580678798	197.735977528095
4	7	228.399541286817	293	21	24.3515913237718	204.047949963045
4	5	272	272	25	67.9520500369551	204.047949963045

รูปที่ 11 ตัวอย่างคำตอบของข้อมูลนำเข้าของปัญหาในรูปที่ 10

ตารางที่ 4 ผลของการจัดเส้นทางเดินรถ

เหตุการณ์ที่	เส้นทางเดินรถ	เวลาออกรถ
1	Depot – 1 – 4 – Depot	84.19
2	Depot – 6 – 2 – Depot	146.20
3	Depot – 9 – 8 – Depot	174.03
4	Depot – 3 – 10 – Depot	197.73
5	Depot – 7 – 5 – Depot	204.05

4.8 บทสรุป

ระบบจัดเส้นทางเดินรถที่พัฒนาขึ้นเริ่มจากการรับปัญหาเข้ามาและสิ้นสุดที่การให้ผลการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งสนใจเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามลำดับเวลา โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดมี 2 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์ที่ลูกค้าเข้ามาในระบบเนื่องจากเป็นระบบพลวัต (Arrival Event) และเหตุการณ์ที่ต้องปล่อยรถออกจากระบบเพื่อนำสินค้าไปส่งให้แก่ลูกค้าเมื่อถึงเวลาออกรถ (Dispatching Event) ซึ่งระบบจะเริ่มต้นพิจารณาจัดเส้นทางใหม่ทุกครั้งเมื่อเหตุการณ์ที่ลูกค้าเข้ามาในระบบเกิดขึ้น และการเริ่มต้นพิจารณาใหม่ดังกล่าวจะเริ่มจากการลบข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถในครั้งที่ผ่านมาทั้งหมด โดยการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถหลังจากรับข้อมูลลูกค้าแต่ละรายเข้ามาในระบบนั้นประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1. ขั้นตอนการกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการ Square grid map และ ขั้นตอนการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยวิธีการ Sweep และ Reorder
2. ขั้นตอนการพัฒนาเส้นทางเดินรถ ด้วยวิธีการ Insertion

หลังจากได้เส้นทางเดินรถที่ทำการพัฒนาแล้ว ระบบจะคำนวณเวลาออกรถโดยวัตถุ-ประสงค์สำคัญของการคิดเวลาออกรถคือการให้รถรอนานที่สุดหรือการคิดเวลาออกรถที่ช้าที่สุด เพื่อให้ระบบมีโอกาสในการจัดเส้นทางเพิ่มขึ้น หรือสามารถรอลูกค้าที่จะเข้าในระบบเพิ่มมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การทดสอบและผลของฮิวริสติก

5.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติก

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือปัญหามาตรฐาน และปัญหาที่สร้างขึ้น โดยฮิวริสติกจะถูกทดสอบด้วยปัญหามาตรฐานเพื่อวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติก ซึ่งปัญหามาตรฐานที่จะถูกนำมาทดสอบคือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตของงานวิจัยสวาสดิ์ (2006) แต่อย่างไรก็ตามปัญหามาตรฐานนี้จะสามารถทดสอบความสามารถของฮิวริสติกในการแก้ปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นเดียวเท่านั้น เนื่องจากไม่มีปัญหามาตรฐานที่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสำหรับงานวิจัยนี้ จึงทำให้ต้องมีการสร้างปัญหาขึ้นมาเพื่อทดสอบฮิวริสติกที่สร้างขึ้นในลักษณะต่างๆ และเพื่อนำมาซึ่งข้อสรุปความเหมาะสมของฮิวริสติกที่สร้างขึ้นกับปัญหางานวิจัย

5.1.1 ปัญหามาตรฐาน

ปัญหามาตรฐานที่จะถูกนำมาทดสอบคือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตของงานวิจัยสวาสดิ์ (2006) ซึ่งทำการดัดแปลงมาจากชุดปัญหามาตรฐานของ Solomon's 56 ที่พัฒนาขึ้นโดย Prof. Marius M. Solomon ซึ่งเป็นปัญหาที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ โดยปัญหามาตรฐานได้สร้างขึ้นโดยคำนึงถึงลักษณะที่มีผลต่อเส้นทางเดินรถ ซึ่งลักษณะสำคัญที่มีผลต่อเส้นทางที่ Solomon ใช้ในการสร้างชุดปัญหาที่แตกต่างกันคือ

1. ลักษณะการกระจายตัวของตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า
2. จำนวนของลูกค้าที่สามารถนำสินค้าไปส่งด้วยรถคันเดียวกันได้
3. จำนวนของลูกค้าที่อยู่ในกรอบเวลาขนส่งเดียวกัน

ปัญหาที่สวาสดิ์ได้นำมาดัดแปลงเพื่อให้เข้ากับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตคือชุดปัญหา Solomon's 56 จำนวนทั้งสิ้น 8 ชุดปัญหา คือ C107, C109, C201, C205, C208, R205, RC 201 และ RC206 ซึ่งแต่ละชุดปัญหาถูกนำมาใช้เพื่อการทดสอบ 3 ขนาด คือ ปัญหาที่มีลูกค้า 25 คน ปัญหาที่มีลูกค้า 50 คน และปัญหาที่มีลูกค้า 100 คน อีกทั้งได้มีการลดขนาดปัญหาเพื่อนำมาหาคำตอบด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) อีกปัญหาละ 4 ขนาด คือ ปัญหาที่มีลูกค้า 5 คน ปัญหาที่มีลูกค้า 6 คน ปัญหาที่มีลูกค้า 7 คน และปัญหาที่มีลูกค้า 8 คน ซึ่งคำตอบจากการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์จะถือเป็นการวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกสำหรับปัญหา

ขนาดเล็กและถือว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound solutions) สำหรับปัญหาขนาดเล็ก หรือปัญหาที่มีลูกค้า 5-8 คน ในขณะที่คำตอบของฮิวริสติกจากการแก้ปัญหามาตรฐานที่ปรับให้ปัญหาพลวัตเป็นปัญหาสถิต (ฮิวริสติกมีข้อมูลของลูกค้าทั้งหมดตั้งแต่เริ่มทำการจัดเส้นทางเดินรถ) จะถือเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือเรียกว่าคำตอบจากปัญหาสถิต (Static solution) หรือขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound solutions) สำหรับปัญหาขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีลูกค้า 25 คนขึ้นไป โดยสรุปแล้วปัญหาที่สามารถนำมาทดสอบฮิวริสติกและขอบเขตล่างของคำตอบที่ใช้ในการเปรียบเทียบเป็นไปดังตารางที่ 5 โดยชุดปัญหาทั้ง 8 สำหรับแต่ละขนาดปัญหา คือ ชุดปัญหามาตรฐาน C107, C109, C201, C205, C208, R205, RC201, RC206

ตารางที่ 5 ปัญหามาตรฐานที่จะใช้ในการทดสอบฮิวริสติก

ขนาดของปัญหาทดสอบ (จำนวนลูกค้า)	จำนวนชุดปัญหา	ที่มาของขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound)
5	8	Mathematic model (CPLEX)
6	8	
7	8	
8	8	
25	8	Static solution
50	8	
100	8	

ปัญหามาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกมีทั้งสิ้น 56 ปัญหาดังที่แสดงในตารางที่ 5 โดยที่มาของคำตอบทั้งหมดอ้างอิงมาจากงานวิจัยของสวาสดิ์ ดังนั้นนอกจากงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับขอบเขตล่างแล้ว คำตอบหรือระยะทางทั้งหมดที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยใช้ฮิวริสติก GRASP ที่นำเสนอในงานวิจัยของ สวาสดิ์ด้วย

5.1.2 ปัญหาที่สร้างขึ้น

จากการที่ปัญหามาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกเป็นปัญหามาตรฐานที่ถูกดัดแปลงมาและมีหลักการสร้างโดยกำหนดลักษณะที่สำคัญและมีผลต่อการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากชื่อปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งชื่อปัญหาดังกล่าวมีรหัสที่ประกอบกันอยู่ 3 ส่วน คือ X Y Z โดยรหัสแต่ละตัวมีความหมายดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความหมายของรหัสที่ประกอบกันเป็นชื่อปัญหามาตรฐาน

รหัส	ตัวอักษรของรหัส	ความหมาย
X	C	ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้ามีการกระจายตัวเป็นกลุ่ม
	R	ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้ามีการกระจายตัวอย่างสุ่ม
	RC	ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้ามีการกระจายตัวแบบผสมทั้งแบบทั้งแบบเป็นกลุ่มและอย่างสุ่ม
Y	1	กรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าแคบ
	2	กรอบเวลาในการจัดส่งสินค้ากว้าง
Z	01 - 12	หมายเลขของปัญหาตั้งแต่ 01 - 12

จากชื่อปัญหามาตรฐานที่นำมาทดสอบทั้ง 8 ปัญหามาตรฐาน หากอ้างอิงความหมายของชื่อปัญหาจากตารางที่ 6 จะได้ลักษณะของปัญหาทั้งหมดดังตารางที่ 7 ต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ลักษณะของปัญหามาตรฐานที่นำมาทดสอบฮิวริสติก

ปัญหา	ลักษณะการกระจายตัวของที่ตั้ง	กรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า
C107, C109	กระจายตัวเป็นกลุ่ม	แคบ
C201, C205, C208	กระจายตัวเป็นกลุ่ม	กว้าง
R205	กระจายตัวอย่างสุ่ม	กว้าง
RC201, RC206	กระจายตัวแบบผสม	กว้าง

เนื่องจากปัญหามาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกมีเฉพาะปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียว อีกทั้งปัญหาดังกล่าวมีการสร้างขึ้นบน 2 ลักษณะที่ต่างกันเท่านั้นนั้นคือ ลักษณะของการกระจายตัวของที่ตั้งลูกค้า และลักษณะของกรอบเวลา รวมไปถึงการที่มีจำนวนปัญหาที่ใช้ในการทดสอบน้อยและจำนวนปัญหาและลักษณะไม่สอดคล้องกัน ซึ่งไม่อาจนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่สร้างขึ้นได้อย่างเด่นชัด ดังนั้นเพื่อทดสอบและวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” จึงต้องมีการสร้างปัญหาขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบและวิเคราะห์ผล โดยปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นจะใช้หลักการในการสร้างเช่นเดียวกับวิธีการสร้างปัญหาของ Solomon แต่จะมีการปรับปรุงเพื่อให้เข้ากับปัญหางานวิจัยและเพิ่มแง่มุมที่แตกต่างเนื่องจากความแตกต่างของปัญหางานวิจัยและปัญหามาตรฐานทั่วไป โดยลักษณะสำคัญที่จะนำมาสร้างปัญหามีดังต่อไปนี้

1. ความเป็นพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ

   ความเป็นพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบแสดงถึงความถี่ในการเข้ามาของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลาและกรอบเวลาที่สามารถจัดส่งสินค้าได้ โดยสิ่งที่แสดงถึงความถี่ในการเข้ามาของลูกค้าคือระยะห่างของเวลาที่ลูกค้าแต่ละคนเข้ามาในระบบ (Inter arrival time) และกรอบเวลาที่สามารถจัดส่งสินค้าได้คือระยะเวลารับประกันส่งสินค้า (Guarantee time) เนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณาความเป็นพลวัตระดับกลางหรือในระดับที่สามารถจัดเส้นทางเดินรถได้แต่ในขณะเดียวกันระยะเวลาที่จำกัดทำให้ต้องรีบนำสินค้าไปส่งภายในเวลาที่กำหนด ดังนั้นความเป็นพลวัตที่พิจารณานำมาสร้างปัญหาจึงเป็นพลวัตระดับกลาง แต่เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น จึงแบ่งระดับความเป็นพลวัตระดับกลางออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับสูง (High) ระดับกลาง (Medium) และระดับต่ำ (Low) ซึ่งแต่ละระดับมีข้อมูลนำเข้าหรือพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน 2 ประการคือ

   1. ระยะห่างของเวลาที่ลูกค้าแต่ละคนเข้ามาในระบบ (Inter arrival time)
   2. ระยะเวลารับประกันส่งสินค้า (Guarantee time)

   โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวมีการตั้งค่าให้แตกต่างกันสำหรับแต่ละระดับของความเป็นพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวถูกกำหนดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์สำหรับแต่ละระดับของความเป็นพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ

ระดับความเป็นพลวัต	พารามิเตอร์	
	Inter arrival time	Guarantee time
สูง	40	200
กลาง	20	200
ต่ำ	10	200

ข้อมูลพารามิเตอร์จากตารางที่ 8 จะถูกนำมาสร้างปัญหาเพื่อการทดสอบฮิวริสติกในส่วนของสร้างข้อมูลเวลาเข้ามาในระบบจัดเส้นทางเดินของลูกค้าและการกำหนดระยะเวลารับประกันสำหรับแต่ละปัญหา โดยปัญหาที่กำหนดให้มีระดับพลวัตสูงจะมีจำนวนลูกค้าที่สามารถจัดเส้นทางเดินรถพร้อมกัน หรืออยู่ในช่วงกรอบเวลาขนส่งเดียวกันน้อยกว่าปัญหาที่กำหนดให้มีระดับพลวัตต่ำกว่า ดังนั้นระดับความพลวัตของปัญหาจึงสามารถใช้ในการกำหนดขนาดของปัญหา ณ ขณะใดขณะหนึ่งระหว่างการจัดเส้นทางได้ โดยขนาดของปัญหา หรือจำนวนลูกค้าในแต่ละช่วงที่สามารถทำการจัดเส้นทางร่วมกันได้สามารถหาได้จากช่วงเวลาที่สามารถรอก่อนทำการขนส่งและระยะห่างของเวลาที่เข้ามาของลูกค้า ดังนั้นในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละระดับความพลวัตของปัญหามีจำนวนลูกค้าโดยประมาณดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 จำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาของแต่ละระดับพลวัตของปัญหา

ระดับความเป็นพลวัต	จำนวนลูกค้าต่อช่วงเวลาโดยเฉลี่ย
สูง	5
กลาง	10
ต่ำ	20

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าจำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างตามระดับของความพลวัตของปัญหา และแตกต่างจากปัญหาสถิต โดยปัญหาสถิตจะมีลูกค้าให้พิจารณาเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด ดังนั้นปัญหาขนาดใหญ่ของปัญหาสถิตคือปัญหาที่มีจำนวนลูกค้ามาก แต่สำหรับในปัญหาพลวัตนั้น ปัญหาที่มีขนาดใหญ่คือปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าในแต่ละช่วงเวลาให้พิจารณาจัดเส้นทางเป็นจำนวนมาก

จากการที่ระยะเวลารับประกันการขนส่งได้รวมระยะเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางไปด้วย ดังนั้นจำนวนลูกค้าโดยเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาของแต่ละระดับพลวัตของปัญหาในความเป็นจริงจึงมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนที่แสดงในตารางที่ 8 โดยมีสัดส่วนที่ลดลงในจำนวนที่เท่ากันเนื่องจากพื้นที่ๆใช้ในการขนส่งเท่ากัน และตำแหน่งที่ตั้งของจุดเริ่มต้นเป็นตำแหน่งเดียวกัน อีกทั้งตำแหน่งของลูกค้าจะถูกกำหนดให้เป็นลูกค้าที่ตำแหน่งเดียวกันแต่เข้ามาในช่วงเวลาที่ต่างกันสำหรับแต่ละระดับความพลวัตของปัญหา และตำแหน่งของลูกค้าจะถูกสุ่มให้อยู่ภายในพื้นที่ที่กำหนด ดังนั้นระยะทางในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าจึงมีค่าเท่ากันสำหรับทุกปัญหาพลวัต

2. จำนวนเฉลี่ยของลูกค้าที่รถสามารถไปส่งสินค้าได้ต่อคัน

จำนวนเฉลี่ยของลูกค้าที่รถสามารถไปส่งสินค้าได้ต่อคันมีผลต่อการจัดเส้นทางเดินรถโดยตรงสำหรับปัญหาเส้นทางเดินรถที่รถมีความจุจำกัด โดยความจุของรถและความจุของสินค้าที่ลูกค้าต้องการให้ขนส่งมีผลโดยตรงต่อจำนวนเฉลี่ยของลูกค้าที่รถสามารถไปส่งสินค้าได้ต่อคัน ดังนั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น จึงแบ่งจำนวนเฉลี่ยของลูกค้าที่รถสามารถไปส่งสินค้าได้ต่อคันออกเป็น 2 ประเภท คือ จำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่อคันไม่จำกัด และจำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่อคันจำกัด โดยพารามิเตอร์ที่ทำการพิจารณาคือ

1. ความจุของรถ
2. ความจุของสินค้าที่ลูกค้าต้องการเฉลี่ย

โดยพารามิเตอร์ความจุของสินค้าที่ลูกค้าต้องการโดยเฉลี่ยจะกำหนดให้มีขนาดเท่ากันสำหรับทุกปัญหา คือ 15-25 หน่วยความจุต่อคน แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับความจุรถที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งในประเภทจำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่อคันไม่จำกัดจะกำหนดให้ความจุของรถมีค่ามาก เช่น 10,000 ความจุ แต่ในประเภทจำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่อคันจำกัดจะถูกกำหนดด้วยจำนวนที่มีนัยสำคัญต่อการจัดเส้นทางเดินรถ โดยจำนวนดังกล่าวจะทราบได้หลังจากทำการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับปัญหาในประเภทจำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่อคันไม่จำกัดแล้ว

3. ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า

ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าสำหรับแต่ละปัญหาจะถูกสร้างขึ้นแบบสุ่มโดยที่ตั้งของลูกค้าจะกระจายแบบสุ่มในพื้นที่ที่ได้กำหนดไว้โดยไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ตัวอื่นๆที่ใช้ในการสร้างปัญหา ซึ่งชุดปัญหาที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ต่างกันจะใช้ข้อมูลที่ตั้งของลูกค้าเดียวกันเพื่อลดความลำเอียง (Bias) หรือลดตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอิวริสติกที่มีผลมาจากความเป็นพลวัตของข้อมูล จะใช้ข้อมูลที่ตั้งของลูกค้าในข้อมูลเดียวกัน เป็นต้น

4. ตำแหน่งที่ตั้งของจุดเริ่มต้นและจำนวนจุดเริ่มต้นต่อจำนวนลูกค้า

ตำแหน่งที่ตั้งของจุดเริ่มต้น (Depot) แต่ละจุดที่อยู่ในปัญหาเป็นลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีหลายจุดเริ่มต้น โดยการเลือกจุดเริ่มในการขนส่งมีผลต่อการจัดกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทาง ซึ่งในการทดสอบฮิวริสติกนี้จะกำหนดให้จุดเริ่มต้นมีตำแหน่งดังตารางที่ 9 ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวอยู่บนพื้นที่การจัดเส้นทาง 100 ตารางหน่วย ซึ่งลูกค้าทั้งหมดที่ต้องทำการขนส่งจะอยู่ในพื้นที่นี้เช่นเดียวกัน

จำนวนจุดเริ่มต้นต่อลูกค้าเป็นลักษณะที่ทำให้เส้นทางเดินรถของแต่ละปัญหาแตกต่างกัน โดยหากมีจุดเริ่มต้นต่อจำนวนลูกค้ามาก จะทำให้ฮิวริสติกมีตัวเลือกในการจัดเส้นทางมากกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อจำนวนลูกค้าน้อย ดังนั้นจำนวนจุดเริ่มต้นต่อจำนวนลูกค้าของปัญหางานวิจัยนี้จึงถูกกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างปัญหาเพื่อทดสอบฮิวริสติก โดยจุดเริ่มต้นมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งที่กำหนดไว้ดังตาราง

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์สำหรับแต่ละระดับของจำนวนจุดเริ่มต้นต่อลูกค้า

จำนวน	ตำแหน่งของแต่ละจุดเริ่มต้น			
จุดเริ่มต้น	จุดเริ่มต้น 1	จุดเริ่มต้น 2	จุดเริ่มต้น 3	จุดเริ่มต้น 4
1	(50,50)			
2	(25,25)	(75,75)		
3	(25,25)	(75,25)	(50,75)	
4	(25,25)	(75,75)	(75,25)	(25,75)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากลักษณะสำคัญของปัญหาทั้ง 4 ลักษณะ จะทำให้เกิดปัญหาที่จะใช้ในการทดสอบฮิวริส ติกทั้งสิ้น 24 ปัญหา เพื่อการทดลองและการสรุปผลจึงกำหนดรหัสและความหมายที่ใช้ในการสร้างปัญหาทดสอบ ABC ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 11 รหัสและความหมายที่ใช้ในการสร้างปัญหาทดสอบ

รหัส	ลักษณะ	ตัวอักษรของรหัส	ความหมาย
A	ความพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ	H	พลวัตระดับสูง
		M	พลวัตระดับกลาง
		L	พลวัตระดับต่ำ
B	จำนวนเฉลี่ยของลูกค้าที่รถสามารถไปส่งสินค้าได้ต่อคัน	C	จำกัด
		U	ไม่จำกัด
C	จำนวนจุดเริ่มต้น	1	จุดเริ่มต้น 1 จุด
		2	จุดเริ่มต้น 2 จุด
		3	จุดเริ่มต้น 3 จุด
		4	จุดเริ่มต้น 4 จุด

จากตารางที่ 11 สามารถอธิบายได้ว่า หากปัญหามีชื่อ HC3 จะหมายความว่า ปัญหาดังกล่าวมีความพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบระดับสูง มีจำนวนจำนวนเฉลี่ยของลูกค้าที่รถสามารถไปส่งสินค้าได้ต่อคันจำกัด และมีจำนวนจุดเริ่มต้น 3 จุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ผลของการทดสอบฮิวริสติก

5.2.1 ผลของปัญหามาตรฐาน

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีจุดเริ่มต้น 1 จุด จากงานวิจัยของสวาสดิ์ ได้ถูกนำมาทดสอบด้วยฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น โดยกำหนดให้ฮิวริสติกเลือกเส้นทางเพื่อนำมาสร้างเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบด้วยวัตถุประสงค์การจัดเส้นทางต่อไปนี้

1. เลือกเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุดในแต่ละรอบที่ทำการจัดเส้นทางเดินรถใหม่ โดยมีสมมติฐานว่าเส้นทางเดินรถที่สั้นที่สุดในแต่ละรอบจะทำให้เกิดระยะทางรวมสั้นที่สุด และกำหนดให้ฮิวริสติกที่เลือกเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุดในแต่ละรอบว่า Min_dist
2. เลือกเส้นทางที่ทำให้เกิดเวลาออกรถช้าที่สุดในแต่ละรอบที่ทำการจัดเส้นทางเดินรถใหม่ โดยมีสมมติฐานว่าเส้นทางเดินรถที่มีระยะเวลารอมากที่สุดจะทำให้มีตัวเลือกในการจัดเส้นทางมากกว่า เพราะปัญหาที่ทำการทดสอบเป็นปัญหาแบบพลวัต และกำหนดให้ฮิวริสติกที่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลารอหรือเวลาออกรถช้าที่สุดว่า Max_due

ผลของปัญหาที่ทำการจัดเส้นทางด้วยฮิวริสติกทั้งสองจะถูกนำมาเปรียบเทียบด้วยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเพื่อทำการวัดประสิทธิภาพ โดยจะทำการเปรียบกับค่าดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าที่นำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติก

ขนาดปัญหา	ค่าที่นำมาเปรียบเทียบ	ที่มา
ลูกค้า 5, 6, 7, 8 คน	Lower bound (Optimum solution)	Mathematic model (CPLEX)
ลูกค้า 25, 50, 100 คน	GRASP Heuristic	งานวิจัยของสวาสดิ์

ค่าที่นำมาเปรียบเทียบกับฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นจะเป็นค่าที่น้อยที่สุด หรือคำตอบที่ดีที่สุดจาก CPLEX สำหรับปัญหาขนาดเล็ก (ลูกค้า 5, 6, 7, 8 คน) และค่าที่จะนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจัดเส้นทางด้วยฮิวริสติก GRASP เนื่องจากค่าค่าที่น้อยที่สุด หรือคำตอบที่ดีที่สุดไม่สามารถหาได้เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานมาก

ตารางที่ 13 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 5, 6, 7 และ 8 คนด้วยฮิวริสติก Min_dist

ชุดปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเปรียบเทียบกับ Lower Bound			
	ลูกค้า 5 คน	ลูกค้า 6 คน	ลูกค้า 7 คน	ลูกค้า 8 คน
C107	0.00	0.00	0.00	0.00
C109	6.30	0.00	7.26	0.00
C201	0.00	0.00	0.00	0.00
C205	0.00	0.00	0.00	0.00
C208	0.00	0.00	0.00	0.00
R205	0.18	0.00	0.00	0.00
RC201	0.00	0.00	0.00	0.00
RC206	0.00	1.30	0.00	1.29
เฉลี่ย	**0.81**	**0.16**	**0.91**	**0.16**
เฉลี่ยรวม	**0.51**			

ผลจากตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าฮิวริสติก Min_dist ให้คำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก CPLEX โดยมีเพียง 5 จาก 32 ปัญหาที่ให้คำตอบแตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุด และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างรวมประมาณ 0.51 % ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ฮิวริสติก Min_dist มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาขนาดเล็กได้ดี โดยให้คำตอบเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลาไม่เกิน 0.1 วินาทีในการหาคำตอบทั้ง 32 ปัญหา ในขณะที่ CPLEX ใช้เวลาในการแก้ปัญหา 40-300 วินาทีในการแก้ปัญหาทีละปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 5, 6, 7 และ 8 คนด้วยฮิวริสติก Max_due

ชุดปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเปรียบเทียบกับ Lower Bound			
	ลูกค้า 5 คน	ลูกค้า 6 คน	ลูกค้า 7 คน	ลูกค้า 8 คน
C107	0.00	0.00	0.00	4.85
C109	6.30	0.00	9.09	11.51
C201	0.00	0.00	0.00	0.00
C205	0.00	0.00	0.00	0.00
C208	0.00	2.95	3.21	6.20
R205	0.53	0.00	0.00	0.00
RC201	0.00	0.00	0.00	0.00
RC206	0.00	1.30	1.51	1.29
เฉลี่ย	**0.85**	**0.53**	**1.73**	**2.98**
เฉลี่ยรวม	**1.02**			

ผลจากตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่าฮิวริสติก Max_due ให้คำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก CPLEX โดยมี 11 จาก 32 ปัญหาที่ให้คำตอบแตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุด และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างรวมประมาณ 1.02 % ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ฮิวริสติก Max_due มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาขนาดเล็กได้ดี โดยให้คำตอบเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลาไม่เกิน 0.1 วินาทีในการหาคำตอบทั้ง 32 ปัญหา ในขณะที่ CPLEX ใช้เวลาในการแก้ปัญหา 40-300 วินาที ในการแก้ปัญหาทีละปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 15 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 25, 50 และ 100 คนด้วยฮิวริสติก Min_dist

ชุดปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมด เปรียบเทียบกับฮิวริสติก GRASP		
	ลูกค้า 25 คน	ลูกค้า50 คน	ลูกค้า 100 คน
C107	0.00	0.05	1.55
C109	2.96	16.69	25.31
C201	0.00	3.01	-1.44
C205	2.09	-0.31	6.45
C208	0.00	-1.94	6.53
R205	-1.46	6.68	9.31
RC201	2.94	10.21	8.54
RC206	14.24	4.67	15.34
เฉลี่ย	**2.59**	**4.88**	**8.95**
เฉลี่ยรวม	**5.47**		

ผลจากตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าฮิวริสติก Min_dist ให้คำตอบที่ดีกว่าคำตอบจากฮิวริสติก GRASP 4 จาก 24 ปัญหา ให้คำตอบที่เท่ากับคำตอบจาก ฮิวริสติก GRASP 3 จาก 24 ปัญหา และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างรวมประมาณ 5.47% โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปัญหามีจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากฮิวริสติกได้ลดขนาดของโดเมนในการหาคำตอบลงมากกว่าโดเมนในการหาคำตอบของฮิวริสติก GRASP โดยฮิวริสติก Min_dist ใช้เวลาในการหาคำตอบทั้ง 24 ปัญหา ด้วยระยะเวลาประมาณ 1 วินาที ในขณะที่ฮิวริสติก GRASP ใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่มีลูกค้า 25 คน เฉลี่ยปัญหาละ 0.04 วินาที ปัญหาที่มีลูกค้า 50 คน เฉลี่ยปัญหาละ 0.19 วินาที แก้ปัญหาที่มีลูกค้า 25 คน เฉลี่ยปัญหาละ 1.54 วินาที

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ฮิวริสติก Min_dist มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ดี โดยให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว

ตารางที่ 16 ผลการจัดเส้นทางเดินรถของปัญหาที่มีลูกค้า 25, 50 และ 100 คนด้วยฮิวริสติก Max_due

ชุดปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมด เปรียบเทียบกับฮิวริสติก GRASP		
	ลูกค้า 25 คน	ลูกค้า50 คน	ลูกค้า 100 คน
C107	2.64	0.05	1.88
C109	12.12	8.39	21.04
C201	0.00	1.83	-2.77
C205	6.16	1.02	-1.99
C208	2.93	3.01	2.80
R205	2.34	4.81	4.09
RC201	-3.65	8.46	13.69
RC206	0.00	-10.62	12.81
เฉลี่ย	**2.82**	**2.12**	**6.44**
เฉลี่ยรวม	**3.79**		

ผลจากตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่าฮิวริสติก Max_due ให้คำตอบที่ดีกว่าคำตอบจากฮิวริสติก GRASP 4 จาก 24 ปัญหา ให้คำตอบที่เท่ากับคำตอบจาก ฮิวริสติก GRASP 2 จาก 24 ปัญหา และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างรวมประมาณ 3.79% โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปัญหามีจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากฮิวริสติกได้ลดขนาดของโดเมนในการหาคำตอบลงมากกว่าโดเมนในการหาคำตอบของฮิวริสติก GRASP โดยฮิวริสติก Max_due ใช้เวลาในการหาคำตอบทั้ง 24 ปัญหา ด้วยระยะเวลาประมาณ 1 วินาที ในขณะที่ฮิวริสติก GRASP ใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่มีลูกค้า 25 คน เฉลี่ยปัญหาละ 0.04 วินาที ปัญหาที่มีลูกค้า 50 คน เฉลี่ยปัญหาละ 0.19 วินาที แก้ปัญหาที่มีลูกค้า 25 คน เฉลี่ยปัญหาละ 1.54 วินาที ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ฮิวริสติก Max_due มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ดี โดยให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว

จากการทดสอบฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นทั้งฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due พบว่าฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดในปัญหาขนาดเล็ก แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งการหาคำตอบโดยฮิวริสติกเป็นการหาคำตอบแบบพลวัตอย่าง

แท้จริงเพราะระบบได้ทำการจัดเส้นทางเมื่อมีลูกค้าเข้ามาในระบบแล้วเท่านั้น ในขณะที่การหาคำตอบที่ดีที่สุดโดย CPLEX ถือเป็นการหาคำตอบแบบสถิต เพราะต้องให้ระบบทราบข้อมูลลูกค้าทั้งหมดเพื่อทำการจัดเส้นทางเดินรถ ดังนั้นปัญหาที่ CPLEX ทำการหาคำตอบจึงไม่ใช่ปัญหาพลวัตแต่เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีกรอบเวลาการจัดส่งเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าฮิวริสติกทั้งสองมีประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต เพราะให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดจากปัญหาสถิตภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว

ผลที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถในปัญหาขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับฮิวริสติก GRASP ของงานวิจัยสวาสดิ์ถือว่าน่าพึงพอใจเพราะใช้เวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าและได้คำตอบที่ดีกว่าในบางปัญหาโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างประมาณ 5.47% เมื่อเปรียบเทียบกับฮิวริสติก Min_dist และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างประมาณ 3.79% เมื่อเปรียบเทียบฮิวริสติก Max_due ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตของปัญหา Solomon ที่งานวิจัยสวาสดิ์ นำมาประยุกต์เพื่อทดสอบฮิวริสติก ต้องพิจารณาถึงเวลาของการรอ และเวลาของการออกรถในการจัดเส้นทางด้วย ดังจะเห็นได้จากการที่ฮิวริสติก Max_due ให้ผลที่ดีกว่าฮิวริสติก Min_dist เพราะได้พิจารณาถึงการรอลูกค้าเพื่อเพิ่มเข้าไปในเส้นทางที่ได้จัดไว้แล้ว และเลือกเส้นทางที่มีเวลาออกรถช้าที่สุดเป็นเป็นทางในการขนส่งสินค้า ในขณะที่ฮิวริสติก Min_dist ได้พิจารณาถึงเฉพาะระยะทางรวมเท่านั้น ไม่ได้ทำการพิจารณาเรื่องเวลาแต่อย่างใด ดังนั้นฮิวริสติกของสวาสดีจึงให้เส้นทางเดินรถที่มีระยะทางสั้นกว่าฮิวริสติกที่งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นมาเพราะฮิวริสติก GRASP ได้พิจารณาเรื่องเวลาในการจัดเส้นทางเดินรถโดยให้ความสำคัญของการเลือกลูกค้าที่มีระยะเวลารับประกันเหลือน้อยที่สุดมาพิจารณาจัดเส้นทางก่อน และทำการเลือกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นและมีเวลาออกรถที่นานควบคู่กันไปด้วย อีกทั้งการที่ฮิวริสติกดังกล่าวออกแบบมาเพื่อจัดเส้นทางเดินรถที่มีจุดเริ่มต้น 1 จุดเท่านั้นจึงทำให้วิธีการจัดกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางเดินรถมีจำนวนมากกว่าฮิวริสติกที่งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาขึ้น เพราะฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due มีจุดประสงค์ในการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุด จึงทำให้วิธีที่ต้องใช้จัดกลุ่มและจัดเส้นทางมีจำนวนน้อยกว่าหากพิจารณาจัดเส้นทางให้สำหรับจุดเริ่มต้นเดียว ดังนั้นฮิวริสติก GRASP จึงสามารถจัดเส้นทางเดินรถสำหรับปัญหาของ Solomon ได้ดีกว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

5.2.2 ผลของปัญหาที่สร้างขึ้น

ปัญหาที่สร้างขึ้นจะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกดังวัตถุประสงค์ของการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้าน้อยกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX
2. เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX เมื่อทำการแก้ปัญหาแบบแยกพื้นที่การหาคำตอบ
3. เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาแต่ละลักษณะ
4. เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาเมื่อข้อมูลนำเข้าเป็นแบบพลวัตและแบบสถิต
5. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่ใช้วิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่ (Square grid map) ที่อยู่ใต้เส้นทางแบบ Manhattan กับวิธีการคิดเส้นทางแบบเส้นตรงแบบ Euclidian distance ในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางเดินรถ

ดังนั้นการทดสอบฮิวริสติกแบ่งเป็น 5 ส่วน เพื่อที่จะได้คำตอบตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และในการทดสอบจะกำหนดให้ฮิวริสติกเลือกเส้นทางเพื่อนำมาสร้างเหตุการณ์ปล่อยรถออกจากระบบด้วยวัตถุประสงค์การจัดเส้นทางต่อไปนี้

1. เลือกเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุดในแต่ละรอบที่ทำการจัดเส้นทางเดินรถใหม่ โดยมีสมมติฐานว่าเส้นทางเดินรถที่สั้นที่สุดในแต่ละรอบจะทำให้เกิดระยะทางรวมสั้นที่สุด และกำหนดให้ฮิวริสติกที่เลือกเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุดในแต่ละรอบว่า Min_dist
2. เลือกเส้นทางที่ทำให้เกิดเวลาออกรถช้าที่สุดในแต่ละรอบที่ทำการจัดเส้นทางเดินรถใหม่ โดยมีสมมติฐานว่าเส้นทางเดินรถที่มีระยะเวลารอมากที่สุดจะทำให้มีตัวเลือกในการจัดเส้นทางมากกว่า เพราะปัญหาที่ทำการทดสอบเป็นปัญหาแบบพลวัต และกำหนดให้ฮิวริสติกที่เลือกเส้นทางที่มีระยะเวลารอหรือเวลาออกรถช้าที่สุดว่า Max_due

ฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due จะถูกนำมาทดสอบด้วยปัญหาเดียวกันเพื่อหาข้อสรุปของประสิทธิภาพของฮิวริสติกทั้งสองในแก้ปัญหาที่สร้างขึ้น

การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้าน้อยกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX

เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้าน้อยกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่สามารถรอได้และมีการนำเข้าข้อมูลลูกค้าแบบสถิตเพื่อการจัดเส้นทางเดินรถ จึงออกแบบการทดสอบให้เป็นไปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 17 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX

ลักษณะปัญหาที่	ปัญหา	จำนวนลูกค้า (คน)	จำนวนปัญหาทดสอบ
1	HC2	12	10
2	MC2	12	10
3	LC2	12	10
4	HC3	12	10
5	MC3	12	10
6	LC3	12	10
7	HC4	12	10
8	MC4	12	10
9	LC4	12	10
10	HU2	12	10
11	MU2	12	10
12	LU2	12	10
13	HU3	12	10
14	MU3	12	10
15	LU3	12	10
16	HU4	12	10
17	MU4	12	10
18	LU4	12	10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 17 สามารถสรุปได้ว่า ฮิวริสติกจะถูกนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX ทั้งสิ้น 10 ปัญหาทดสอบ โดยในแต่ละปัญหาทดสอบจะปรับเปลี่ยนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างตามลักษณะของปัญหาทั้งหมด 18 ลักษณะ ซึ่งแต่ละลักษณะจะมีจำนวนลูกค้าทดสอบ 12 คน ที่มีตำแหน่งเดียวกันในแต่ละชุดปัญหา ผลการทดสอบทั้ง 10 ปัญหาถูกนำมาเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดโดยแยกตามลักษณะปัญหาได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX

ลักษณะปัญหาที่	ปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเฉลี่ย 10 ปัญหา		
		Min_dist	Max_due	เฉลี่ย
1	HC2	4.20	9.88	7.04
2	MC2	0.00	14.14	7.07
3	LC2	5.56	22.49	14.02
4	HC3	2.34	3.91	3.13
5	MC3	0.87	11.60	6.23
6	LC3	0.00	13.11	6.55
7	HC4	0.81	2.66	1.73
8	MC4	0.00	0.63	0.32
9	LC4	0.54	6.26	3.40
10	HU2	8.03	9.48	8.75
11	MU2	15.02	17.84	16.43
12	LU2	13.76	20.57	17.16
13	HU3	6.69	6.77	6.73
14	MU3	6.61	10.50	8.55
15	LU3	11.14	12.41	11.78
16	HU4	1.92	1.96	1.94
17	MU4	4.24	8.76	6.50
18	LU4	7.79	12.00	9.90
เฉลี่ย		**4.97**	**10.28**	**7.51**

ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่าฮิวริสติกทั้งสองชนิดสามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งนอกจากจะเป็นการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดแบบครบทั้งโดเมนแล้ว ข้อมูลนำเข้าในการหาคำตอบถือว่าเป็นข้อมูลสถิต หรือ CPLEX ได้รับข้อมูลทั้งหมดเมื่อเริ่มทำการจัดเส้นทาง ดังนั้นฮิวริสติกทั้งสองจึงถือได้ว่าให้คำตอบที่ดี โดยฮิวริสติก Min_dist ให้ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของระยะทางอยู่ที่ประมาณ 5% และฮิวริสติก Max_due ให้ค่าเฉลี่ยให้ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของระยะทางอยู่ที่ประมาณ 10% โดยใช้เวลาในการแก้ปัญหาไม่เกิน 1 วินาที ในขณะที่การหาคำตอบที่ดีที่สุดใช้ระยะเวลาเฉลี่ยประมาณ 30 นาที

ฮิวริสติก Min_dist ให้คำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าฮิวริสติก Max_due ในทุกลักษณะปัญหา เนื่องจากปัญหาที่นำมาทดสอบมีความพลวัตในระดับที่สามารถจัดเส้นทางได้ โดยในช่วงขณะเวลาหนึ่งๆมีลูกค้าจำนวนเท่าๆกัน และลูกค้าเข้ามาในระบบด้วยระยะห่างของเวลาที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการเลือกเส้นทางเดินรถที่มีระยะทางในการจัดแต่ละรอบสั้นที่สุดจึงให้เส้นทางโดยรวมที่สั้นกว่าการเลือกเส้นทางที่มีเวลาออกรถช้าที่สุด เพราะการที่จำนวนลูกค้ามีเท่าๆกันในแต่ละช่วงเวลาทำให้ปัญหาเป็นปัญหาสถิตเป็นช่วงๆ การเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับแต่ละช่วงจึงให้ผลดีกว่าการเลือกเส้นทางที่เวลาออกรถช้าที่สุด เพราะการรอจนกว่าจะมีลูกค้าคนถัดไปเข้ามาเพื่อเพิ่มจำนวนลูกค้าในเส้นทางที่จัดไว้แล้ว ลูกค้าที่เข้ามาคนแรกสุดเมื่อเทียบกับลูกค้าที่อยู่ในระบบนั้นทั้งหมดก็ไม่สามารถรอต่อไปได้แล้ว ดังนั้นเส้นทางเดินรถจึงไม่สามารถเปลี่ยนไปได้จากเดิมมาก ซึ่งเส้นทางดังกล่าวไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุด ผลสุดท้ายจึงทำให้ระยะทางรวมมีระยะยาวกว่าการจัดเส้นทางแบบฮิวริสติก Min_dist

หากพิจารณาเฉพาะด้านความพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ จะพบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวม เมื่อแยกตามระดับความพลวัตของปัญหามีดังตารางต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะความพลวัตของปัญหา

ลักษณะปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเฉลี่ย 10 ปัญหา		
	Min_dist	Max_due	เฉลี่ย
พลวัตสูง	4.00	5.78	4.89
พลวัตกลาง	4.46	10.58	7.52
พลวัตต่ำ	6.46	14.47	10.465

จากตารางที่ 19 จะเห็นได้ว่าฮิวริสติกทั้งสองให้คำตอบที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมน้อยเมื่อปัญหามีความพลวัตสูง และให้ค่าความแตกต่างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามระดับพลวัตที่ลดลง เนื่องจากปัญหาที่ระดับพลวัตสูงมีจำนวนลูกค้า ณ เวลาใดๆ น้อย ดังนั้นฮิวริสติกจึงสามารถจัดเส้นทางเดินรถได้ภายในโดเมนการเลือกคำตอบที่มีขนาดไม่ต่างจากขนาดโดเมนของการหาคำตอบที่ดีที่สุดมาก หรือสามารถอธิบายได้ว่าหากในปัญหาที่มีจุดเริ่มต้น 1 จุดในขณะนั้นมีลูกค้าจำนวน 4 คน ในระบบ ฮิวริสติกจะมีตัวเลือกเฉพาะในการรวมกลุ่มลูกค้าที่จะถูกขนส่งด้วยเส้นทางเดียวกัน 12 วิธี ในขณะที่ CPLEX จะพิจารณาการจัดกลุ่มลูกค้าทั้งหมด 24 โดยฮิวริสติกจะมีวิธีการจัดกลุ่มลูกค้า (n-1)! เมื่อ n คือจำนวนลูกค้าในขณะที่พิจารณา ในขณะที่ CPLEX มีวิธีการจัดกลุ่มลูกค้า n! วิธี ดังนั้นฮิวริสติกจึงมีวิธีในการจัดเส้นทางเดินรถที่น้อยกว่า CPLEX n วิธีโดยไม่พิจารณาการจัดเส้นทางให้กับลูกค้าภายในกลุ่ม ซึ่งจะทำให้ขนาดของโดเมนการจัดเส้นทางเดินรถมีความแตกต่างมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีลูกค้าที่อยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกทั้งสองแยกตามลักษณะปัญหาจะพบว่าฮิวริสติก Min_dist ให้คำตอบที่ดีกว่าฮิวริสติก Max_due ทุกกรณี

นอกจากระดับความพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบแล้ว ปัญหาที่สร้างขึ้นได้พิจารณาในด้านของความจุของรถที่ใช้ในการขนส่งสำหรับแต่ละปัญหา ซึ่งหากแยกผลที่ได้จากการทดสอบตามลักษณะปัญหาที่มีรถที่ใช้ในการขนส่งที่ความจุแตกต่างกัน โดยที่ไม่พิจารณาถึงระดับความพลวัตของปัญหา และจำนวนจุดเริ่มต้นที่ใช้ในการขนส่ง จะได้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างเส้นทางเดินรถจากฮิวริสติกทั้งสองและ CPLEX ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 20 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบลักษณะความความจุของรถ

ลักษณะปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเฉลี่ย 10 ปัญหา		
	Min_dist	Max_due	เฉลี่ย
ความจุจำกัด	1.59	9.41	5.50
ความจุไม่จำกัด	8.36	11.14	9.75

จากตารางที่ 20 จะเห็นได้ว่าฮิวริสติกทั้งสองให้คำตอบที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมน้อยเมื่อรถที่ใช้ในการขนส่งมีความจุจำกัด และให้ค่าความแตกต่างเพิ่มขึ้นหากรถมีความจุไม่จำกัด ทั้งนี้การจำกัดความจุของรถทำให้ตัวเลือกในการจัดกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทาง

ลดลงตามข้อจำกัดดังกล่าว โดยหากรถมีความจุน้อยมากจนไม่สามารถจัดส่งลูกค้าได้หลายรายด้วยรถคันเดียวกัน คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกจะมีความแตกต่างจากคำตอบของ CPLEX น้อยมาก

การจำกัดความจุของรถในการสร้างปัญหาทดสอบนี้ กำหนดให้รถทุกคันมีความจุ 50 หน่วยความจุ โดยสินค้าที่ลูกค้าต้องการมีความจุโดยเฉลี่ยประมาณ 15 – 25 หน่วยความจุ ดังนั้นรถคันหนึ่งๆ สามารถบรรจุสินค้าไปส่งลูกค้าได้ประมาณ 2-3 คน ดังนั้นวิธีการจัดกลุ่มและจัดเส้นทางเดินรถของลูกค้าด้วยจำนวนดังกล่าว ณ เวลาใด จึงไม่แตกต่างจากการหาคำตอบที่ดีที่สุดมากนัก

ตารางที่ 21 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจำนวนจุดเริ่มต้น

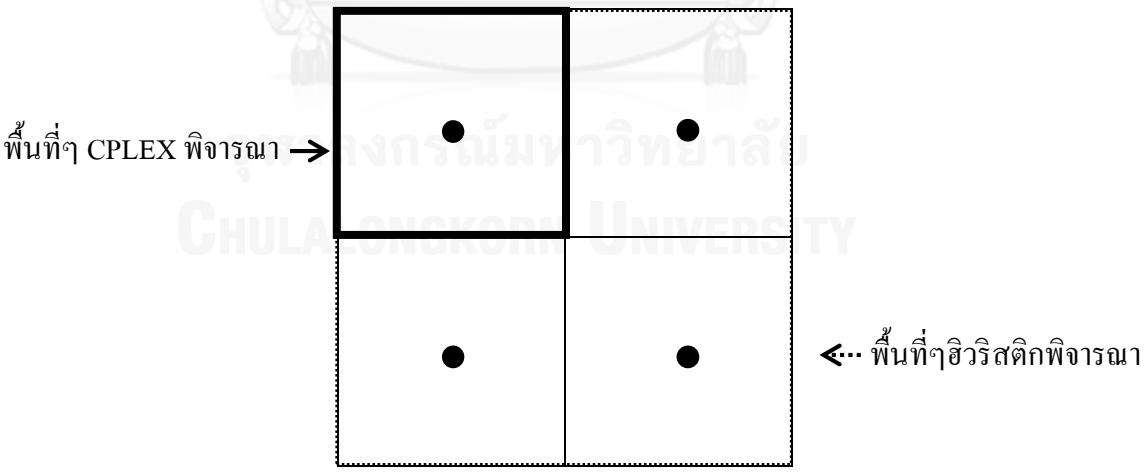
ลักษณะปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเฉลี่ย 10 ปัญหา		
	Min_dist	Max_due	เฉลี่ย
2 จุดเริ่มต้น	7.76	15.73	11.75
3 จุดเริ่มต้น	4.61	9.72	7.16
4 จุดเริ่มต้น	2.55	5.38	3.96

ลักษณะปัญหาแบบสุดท้ายที่ทำการพิจารณาคือจำนวนจุดเริ่มต้นในการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งจากตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมเมื่อเปรียบเทียบกับ CPLEX จะน้อยลงหากปัญหามีจุดเริ่มต้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการมีจุดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้มีตัวเลือกในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางที่ดีขึ้น โดยจุดเริ่มต้นจะเป็นส่วนแบ่งกลุ่มลูกค้าที่สำคัญที่ทำให้จำนวนลูกค้าที่ต้องทำการพิจารณาจัดกลุ่มมีจำนวนน้อยลง ส่งผลให้คำตอบเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX เมื่อทำการแก้ปัญหาแบบแยกพื้นที่การหาคำตอบ

เนื่องจากการใช้คำตอบสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้หาวิธีการเปรียบเทียบคำตอบที่มีขนาดใหญ่ โดยจากที่มาของปัญหาที่งานวิจัยนี้สนใจ งานวิจัยส่วนใหญ่หรือวิธีการสำหรับจัดเส้นทางเดินรถที่มีหลายจุดเริ่มต้นที่ใช้ในสถานการณ์จริงมักทำการแบ่งพื้นที่ในการให้บริการลูกค้าแบบแยกกันจึงทำให้เกิดการจัดเส้นทางเดินรถแบบพิจารณาแยกตามพื้นที่และไม่พิจารณาจุดเริ่มต้นทั้งหมดในการจัดเส้นทาง ดังนั้นเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิ- ภาพของฮิวริสติกที่ทำการจัดเส้นทางเดินรถโดยพิจารณาพื้นที่และจุดเริ่มต้นทั้งหมดในการขนส่งและการหาคำตอบของ CPLEX ภายในพื้นที่ที่กำหนดไว้ งานวิจัยนี้จึงได้สร้างชุดปัญหาการทดสอบขึ้นมาทั้งสิ้น 3 ชุดการทดสอบ โดยแต่ละชุดการทดสอบมี 3 ลักษณะปัญหาที่สำคัญคือระดับความพลวัตของลูกค้าที่เข้ามาในระบบ นั่นคือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ โดยจะกำหนดให้รถมีความจุไม่จำกัด และมีจำนวนจุดเริ่มต้นทั้งหมด 4 จุดเริ่มต้น ซึ่งแต่ละชุดทดสอบมีจำนวนลูกค้าทั้งสิ้น 40 คน พื้นที่ในการขนส่งทั้งหมด 400 ตารางหน่วย ดังนั้นเพื่อทำการหาคำตอบด้วย CPLEX จึงทำการแบ่งพื้นที่ปัญหาดังกล่าวออกเป็น 4 พื้นที่ๆละ 1 จุดเริ่มต้นขนาดพื้นที่ในการขนส่งทั้งหมด 100 ตารางหน่วย ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 พื้นที่ในการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถ

จากการออกแบบการทดลองดังกล่าวจะทำให้มีปัญหาทั้งหมดที่หาคำตอบด้วย CPLEX จำนวน 4 ปัญหาต่อลักษณะพลวัตในแต่ละชุดปัญหา หรือมีทั้งสิ้น 36 ปัญหาในการทำการทดลองทั้งหมด โดยแต่ละปัญหามีจำนวนลูกค้า 10 คน และมีจุดเริ่มต้นการขนส่ง 1 จุดเริ่มต้น ซึ่งผลที่จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพของฮิวริสติกคือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดระหว่างระยะทางที่ดีที่สุดของ CPLEX ทั้ง 4 พื้นที่และระยะทางที่จัดได้ทั้งหมดของฮิวริสติกของพื้นที่รวมซึ่งได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 22 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบคำตอบเมื่อแยกตามความพลวัตของปัญหา

ลักษณะปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเฉลี่ย 10 ปัญหา		
	Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
พลวัตสูง	6.24	10.50	**8.37**
พลวัตกลาง	14.42	17.64	**16.03**
พลวัตต่ำ	14.87	18.17	**16.52**
เฉลี่ย	**11.84**	**15.44**	**13.64**

ผลการทดสอบฮิวริสติกโดยให้ฮิวริสติกทำการจัดเส้นทางบนพื้นที่เท่ากับ 4 เท่าของพื้นที่การหาเส้นทางที่ดีที่สุดของ CPLEX ที่มีข้อมูลลูกค้าแบบสถิตพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX มีค่าอยู่ระหว่าง 1.88 – 24.01% โดยจากตารางที่ 22 คำตอบจากฮิวริสติกแบบ Min_dist ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.84% และคำตอบจากฮิวริสติกแบบ Max_due ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.44% โดยฮิวริสติกแบบ Min_dist ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าฮิวริสติกแบบ Max_due ทุกกรณี และฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 13.64%

หากพิจารณาแยกตามลักษณะความพลวัตของปัญหาจะพบว่าฮิวริสติกทั้งสองให้คำตอบที่ดีหากปัญหามีระดับพลวัตสูง และให้คำตอบที่ไม่แตกต่างกันระหว่างปัญหาที่มีระดับพลวัตกลางและระดับพลวัตต่ำ โดยฮิวริสติกที่ให้คำตอบที่ดีคือฮิวริสติกแบบ Min_dist ที่ใช้แก้ปัญหาที่มีความพลวัตสูง โดยให้ค่าความแตกต่างประมาณ 6.24%

การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาแต่ละลักษณะ

เนื่องจากปัญหาที่สร้างขึ้นมีหลายลักษณะ ซึ่งแต่ละลักษณะมีผลต่อการจัดเส้นทางเดินรถอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเพื่อทำการวิเคราะห์ว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในการการจัดเส้นทางของปัญหาที่มีลักษณะแบบใด ในขั้นตอนนี้จึงได้ทำการทดสอบแต่ละลักษณะปัญหาด้วยจำนวนลูกค้าเป็นจำนวนมาก (1000 คนต่อชุดปัญหา) เพื่อทำการหาระยะทางรวมต่อลูกค้าเฉลี่ย โดยจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 5 ชุดปัญหาที่รถมีความจุไม่จำกัดเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าที่สนใจพิจารณา ซึ่งผลที่ได้มีดังตาราง

ตารางที่ 23 ผลที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาลักษณะต่างๆที่รถมีความจุไม่จำกัด

ลักษณะปัญหาที่	ปัญหา	ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ย		
		Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
1	HU2	48.15	48.43	**48.29**
2	MU2	43.15	43.73	**43.44**
3	LU2	39.30	39.84	**39.57**
4	HU3	38.57	38.85	**38.71**
5	MU3	34.63	35.36	**34.99**
6	LU3	31.71	32.75	**32.23**
7	HU4	32.02	32.37	**32.20**
8	MU4	29.16	29.60	**29.38**
9	LU4	26.62	27.64	**27.13**
เฉลี่ย		**35.92**	**36.51**	
ค่าที่น้อยที่สุด		**26.62**	**27.64**	
ค่าที่มากที่สุด		**48.15**	**48.43**	

จากตารางพบว่าค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยจะลดลงหากปัญหามีระดับความพลวัตลดลงและจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหาเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัญหาที่มีความพลวัตต่ำมีจำนวนลูกค้าให้พิจารณาจัดเส้นทาง ณ เวลาใดๆจำนวนมากกว่าจำนวนลูกค้า ณ เวลาใดๆในปัญหาที่มีระดับความ

พลวัตสูง ดังนั้นในการจัดเส้นทางต่อรอบจึงมีลูกค้าหลายรายอยู่ในเส้นทางมากกว่าและการที่มีจำนวนจุดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้ฮิวริสติกมีตัวเลือกในการจัดเส้นทางที่ดีกว่า ส่งผลให้ระยะทางรวมสั้นกว่า โดยฮิวริสติกทั้งสองให้คำตอบในการจัดเส้นทางที่ไม่ต่างกันมาก (น้อยกว่า 1%) ซึ่งหากแยกลักษณะปัญหาเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยจะได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 24 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามลักษณะของความพลวัตของปัญหา เมื่อรถมีความจุไม่จำกัด

ลักษณะปัญหา	ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ย		
	Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
พลวัตสูง	39.58	39.88	**39.73**
พลวัตกลาง	35.65	36.23	**35.94**
พลวัตต่ำ	32.55	33.41	**32.98**
เฉลี่ย	**35.92**	**36.51**	**36.22**

จากตารางที่ 24 จะเห็นได้ว่าที่ระดับความพลวัตสูงฮิวริสติกจะให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยมากกว่าที่ระดับความพลวัตต่ำ แต่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยไม่แตกต่างมาก

ตารางที่ 25 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา เมื่อรถมีความจุไม่จำกัด

ลักษณะปัญหา	ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ย		
	Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
2 จุดเริ่มต้น	43.53	44.00	**43.77**
3 จุดเริ่มต้น	34.97	35.65	**35.31**
4 จุดเริ่มต้น	29.27	29.87	**29.57**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 25 จะเห็นได้ว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้น 4 จุดให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยน้อยกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้น 2 จุดและ 3 จุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผลที่แยกตามลักษณะของความพลวัตของปัญหา โดยฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนัก โดยฮิวริสติก Min_dist จะให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่ำกว่าฮิวริสติก Max_due เล็กน้อย ปัญหาที่มีระดับความพลวัตสูงและจุดเริ่มต้นต่อปัญหาน้อยจะให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยมากกว่าปัญหาที่มีระดับความพลวัตต่ำและจุดเริ่มต้นต่อปัญหามาก โดยจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหามีผลต่อค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยมากกว่าระดับความพลวัตของปัญหา

หลังจากที่ทำการทดสอบปัญหาในลักษณะต่างๆโดยที่รถมีความจุไม่จำกัดแล้ว พบว่ารถขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าเฉลี่ย 5 คนต่อคันรถ ซึ่งความจุเฉลี่ยในการขนส่งประมาณ 100 หน่วย ดังนั้นเพื่อทำการทดสอบที่ปัญหาในลักษณะต่างๆโดยที่รถมีความจุจำกัด จะกำหนดให้รถมีความจุ 100 หน่วย เพื่อทำการหาระยะทางรวมต่อลูกค้าเฉลี่ย ซึ่งผลที่ได้มีดังตาราง

ตารางที่ 26 ผลที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาลักษณะต่างๆที่รถมีความจุจำกัด

ลักษณะปัญหาที่	ปัญหา	ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ย		
		Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
1	HL2	48.15	48.43	**48.29**
2	ML2	43.17	44.49	**43.83**
3	LL2	39.22	42.05	**40.64**
4	HL3	38.57	38.85	**38.71**
5	ML3	34.60	35.75	**35.18**
6	LL3	31.83	33.90	**32.87**
7	HL4	32.02	32.37	**32.20**
8	ML4	29.14	29.74	**29.44**
9	LL4	26.73	27.92	**27.32**
เฉลี่ย		**35.94**	**37.06**	
ค่าที่น้อยที่สุด		**26.73**	**27.92**	
ค่าที่มากที่สุด		**48.15**	**48.43**	

จากตารางพบว่า หากใช้ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นทั้งสองแก้ปัญหาที่มีความจุจำกัด ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยจะลดลงหากปัญหามีระดับความพลวัตลดลงและจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหาเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัญหาที่มีความพลวัตต่ำมีจำนวนลูกค้าให้พิจารณาจัดเส้นทาง ณ เวลาใดๆจำนวนมากกว่าจำนวนลูกค้า ณ เวลาใดๆในปัญหาที่มีระดับความพลวัตสูง ดังนั้นในการจัดเส้นทางต่อรอบจึงมีลูกค้าหลายรายอยู่ในเส้นทางมากกว่าและการที่มีจำนวนจุดเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้ฮิวริสติกมีตัวเลือกในการจัดเส้นทางที่ดีกว่า ส่งผลให้ระยะทางรวมสั้นกว่า โดยฮิวริสติกทั้งสองให้คำตอบในการจัดเส้นทางที่ไม่ต่างกันมาก แต่มีค่าความแตกต่างมากกว่าหากเปรียบเทียบผลกับการแก้ปัญหาที่มีความจุจำกัด ซึ่งหากแยกลักษณะปัญหาเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยจะได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 27 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามลักษณะของความพลวัตของปัญหาเมื่อรถมีความจุจำกัด

ลักษณะปัญหา	ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ย		
	Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
พลวัตสูง	39.58	39.89	**39.73**
พลวัตกลาง	35.64	36.66	**36.15**
พลวัตต่ำ	32.59	34.62	**33.61**
เฉลี่ย	**35.94**	**37.06**	**36.50**

จากตารางที่ 27 จะเห็นได้ว่าที่ระดับความพลวัตสูงฮิวริสติกจะให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยมากกว่าที่ระดับความพลวัตต่ำ โดยฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 28 ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเมื่อแยกตามจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา เมื่อรถมีความจุจำกัด

ลักษณะปัญหา	ระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ย		
	Min_dist	Max_due	**เฉลี่ย**
2 จุดเริ่มต้น	43.51	44.99	**44.25**
3 จุดเริ่มต้น	35.00	36.17	**35.58**
4 จุดเริ่มต้น	29.30	30.01	**29.65**

จากตารางที่ 28 จะเห็นได้ว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้น 4 จุดให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยน้อยกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้น 2 จุดและ 3 จุดอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผลที่แยกตามลักษณะของความพลวัตของปัญหา โดยฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนัก โดยฮิวริสติก Min_dist จะให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยต่ำกว่าฮิวริสติก Max_due เล็กน้อย ปัญหาที่มีระดับความพลวัตสูงและจุดเริ่มต้นต่อปัญหาน้อยจะให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยมากกว่าปัญหาที่มีระดับความพลวัตต่ำและจุดเริ่มต้นต่อปัญหามาก โดยจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหามีผลต่อค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยมากกว่าระดับความพลวัตของปัญหา

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบฮิวริสติกเพื่อหาค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยโดยกำหนดให้ปัญหามีรถความจุไม่จำกัด และมีรถที่ความจุจำกัด ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของผลที่ได้จากความจุรถทั้งสองกรณี จะได้ค่าความแตกต่างดังตารางต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 29 ผลการเปรียบเทียบระหว่างปัญหาที่มีความจุไม่จำกัดและปัญหาที่มีความจุจำกัด

ลักษณะปัญหาที่	ปัญหา	ผลจากปัญหาจำกัด - ผลจากปัญหาไม่จำกัด	
		Min_dist	Max_due
1	HL2	0.00	0.01
2	ML2	0.02	0.76
3	LL2	-0.09	2.20
4	HL3	0.00	0.00
5	ML3	-0.03	0.39
6	LL3	0.12	1.15
7	HL4	0.00	0.00
8	ML4	-0.02	0.14
9	LL4	0.10	0.29

จากตารางที่ 29 พบว่า หากจำกัดความจุของรถให้เท่ากับจำนวนเฉลี่ยที่ใช้ในการขนส่งจะทำให้ค่าระยะทางต่อจำนวนลูกค้าเฉลี่ยระหว่างปัญหาที่รถมีความจุไม่จำกัดและปัญหาที่รถมีความจุจำกัดไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาจำนวนลูกค้าและความต้องการสินค้าต่อช่วงเวลาใดๆ จะสามารถนำมากำหนดความจุที่เหมาะสมของการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาเมื่อข้อมูลนำเข้าเป็นแบบพลวัตและแบบสถิต

จากงานวิจัยของ Timmermann และ Schumann (Timmermann และ Schumann, 2008) ที่ได้นำเสนอวิธีการคิดค่าคงที่ c โดยเรียกค่าคงที่นี้ว่า c-competitive โดยค่า c นี้คือตัวแปรที่บ่งบอกว่าฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหาพลวัตได้ผลออกมาเทียบกับการใช้ฮิวริสติกเดียวกันแก้ปัญหาสถิตอย่างไร โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์วิธีการดังกล่าวเพื่อมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกเมื่อทำการแก้ปัญหาแบบสถิต (ทราบข้อมูลลูกค้าทั้งหมดก่อนทำการจัดเส้นทาง) และปัญหาแบบพลวัต (ทยอยทราบข้อมูลลูกค้าตามเวลาที่ลูกค้าเข้ามาในระบบ) ซึ่งฮิวริสติกที่ใช้ในการทดสอบปัญหาทั้งสองแบบคือฮิวริสติกชนิดเดียวกัน นั่นคือฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due โดยจะทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างปัญหาทั้งสองแบบ ซึ่งการทดสอบได้กำหนดให้มีลูกค้าทั้งหมด 200 ต่อปัญหาทดสอบ ซึ่งแต่ละปัญหากำหนดให้มีจุดเริ่มต้นในการส่งสินค้า 2, 3 และ 4 จุดเริ่มต้น และความพลวัตที่ทำการสอบมี 3 ระดับ ความพลวัตระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ โดยทำการทดสอบทั้งสิ้น 10 ชุดปัญหาทดสอบ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 30 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิตและการแก้ปัญหาแบบพลวัต

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง	
Min_dist และ Static Min_dist	Max_due และ Static Max_due
-3.52	-1.29

จากตารางจะเห็นได้ว่าฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due สามารถแก้ปัญหาพลวัตได้ดีกว่าปัญหาสถิต เนื่องจากฮิวริสติกทั้งสองถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาพลวัต ดังนั้นเมื่อนำฮิวริสติกมาแก้ปัญหาสถิตที่มีจำนวนลูกค้าทั้งหมดให้พิจารณาจัดเส้นทางจึงให้คำตอบหรือเส้นทางที่ไม่ดี เพราะลูกค้าทุกช่วงเวลาได้ถูกพิจารณาในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนั้นตัวเลือกในการจัดเส้นทางสำหรับฮิวริสติกจะแตกต่างจากการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดมาก (วิธีในการแบ่งกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางแตกต่างกันมากขึ้นตามจำนวนลูกค้าที่พิจารณามากขึ้น) อีกทั้งการพิจารณาลูกค้าทั้งหมดที่มีช่วงเวลาที่เข้ามาในระบบ

และช่วงเวลารับประกันต่างกัน ณ เวลาเดียวกัน จะส่งผลให้ฮิวริสติกจับคู่ลูกค้าที่ทำให้เกิดเส้นทางระยะสั้นแต่เวลาที่เข้ามาในระบบต่างกัน ทำให้เส้นทางดังกล่าวไม่สามารถเพิ่มลูกค้ารายอื่นๆเข้ามาเพื่อจัดเส้นทางเพิ่มเติมได้มาก เพราะเวลารับประกันการขนส่งที่จำกัดไว้ ทำให้ผลที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการแก้ปัญหาสถิตเป็นเส้นทางเดินรถที่มีจำนวนลูกค้าต่อเส้นทางน้อยกว่าผลที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการแก้ปัญหาพลวัต ซึ่งทำการจัดเส้นทางสำหรับลูกค้าที่เข้ามาในระบบที่ช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้มีจำนวนลูกค้าต่อเส้นทางมากกว่า ซึ่งการที่มีจำนวนลูกค้าต่อเส้นทางมากกว่าส่งผลให้ระยะทางรวมในการส่งสินค้าสั้นกว่า ดังนั้นการพิจารณาลูกค้าที่เข้ามาในช่วงเวลาใกล้ๆกันเพื่อจัดเส้นทางร่วมกัน จะทำให้ระยะทางรวมสั้นกว่าสำหรับการแก้ปัญหาพลวัต โดยหากจำแนกผลการทดสอบตามระดับความพลวัตของปัญหาจะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิต และการแก้ปัญหาแบบพลวัตเมื่อแยกตามระดับความพลวัตของปัญหา

ลักษณะปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง		
	Min_dist และ Static Min_dist	Max_due และ Static Max_due	**เฉลี่ย**
พลวัตสูง	-2.44	-1.26	**-1.85**
พลวัตกลาง	-3.36	-1.52	**-2.44**
พลวัตต่ำ	-4.76	-1.10	**-2.93**
เฉลี่ย	**-3.52**	**-1.29**	**-2.41**

จากตารางจะเห็นได้ว่าปัญหาที่มีระดับความพลวัตสูงจะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิตและแบบพลวัตต่ำกว่าปัญหาที่มีระดับพลวัตที่ต่ำกว่า เพราะที่ระดับพลวัตสูง กรอบเวลาการขนส่งจะจำกัดคำตอบและลูกค้าที่ควรพิจารณาจัดเส้นทางร่วมกันได้มากกว่ากรอบเวลาการขนส่งที่ระดับพลวัตต่ำ โดยฮิวริสติก Min_dist ให้ค่าความแตกต่างที่สูงกว่า ฮิวริสติก Max_due เนื่องจากฮิวริสติก Max_due ให้ความสำคัญกับเรื่องเวลามากกว่าระยะทางที่จัดเส้นทางได้ จึงทำให้จำนวนลูกค้าที่พิจารณาจัดเส้นทาง ณ เวลาหนึ่งๆของ ฮิวริสติก Max_due มีจำนวนมากกว่า ฮิวริสติก Min_dist ในขณะที่ปัญหาแบบสถิตพิจารณาจำนวนลูกค้าที่จำนวนมากที่สุด ดังนั้น ฮิวริสติก Max_due จึงจัดเส้นทางได้ใกล้เคียงกับผลการจัดเส้นทางของปัญหาแบบสถิตมากกว่าฮิวริสติก Min_dist

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิต และการแก้ปัญหาแบบพลวัตเมื่อแยกตามจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา

ลักษณะปัญหา	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง		
	Min_dist และ Static Min_dist	Max_due และ Static Max_due	**เฉลี่ย**
2 จุดเริ่มต้น	-5.44	-3.22	**-4.33**
3 จุดเริ่มต้น	-2.67	-0.43	**-1.55**
4 จุดเริ่มต้น	-2.44	-0.23	**-1.34**
เฉลี่ย	**-3.52**	**-1.29**	**-2.40**

จากตารางที่ 32 พบว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อปัญหามากจะมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างการแก้ปัญหาแบบสถิตและแบบพลวัตน้อยกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อปัญหาน้อย เนื่องจากปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุดจะมีตัวเลือกในการแบ่งกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางที่ดีกว่า และจะจำกัดโดเมนในการแบ่งกลุ่มทำให้โดเมนมีขนาดเล็กกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นน้อยจึงทำให้วิธีการแบ่งกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางเดินรถของฮิวริสติกแต่ละชนิดมีจำนวนวิธีที่ต่างกันไม่มาก จึงส่งผลให้ระยะทางรวมที่ได้ต่างกันน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่ใช้วิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่ (Square grid map) ที่อยู่ใต้เส้นทางแบบ Manhattan กับวิธีการคิดเส้นทางแบบเส้นตรงแบบ Euclidian distance ในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางเดินรถ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาฮิวริสติกเพื่อการจัดเส้นทางเดินรถโดยใช้วิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่ (Square grid map) โดยการพิจารณาจุดตัดที่อยู่ภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan เนื่องจากวิธีการนับจุดตัดจะพิจารณาทั้งขนาดหรือระยะห่างระหว่างจุดและทิศทางของการเดินรถไปพร้อมกัน โดยจุดที่เหมาะสมในการจัดให้อยู่รวมกันจะต้องอยู่ใกล้กันและอยู่ในทิศทางเดียวกันจึงจะทำให้จำนวนจุดตัดที่อยู่ภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan ทั้งหมดระหว่างตำแหน่งของลูกค้าที่พิจาณามีจำนวนน้อยที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีการนี้ถูกนำมาใช้แทนการพิจารณาระยะทางกระจัดระหว่างตำแหน่งที่พิจารณาที่นิยมใช้ทั่วไปในฮิวริสติกเพื่อการจัดเส้นทางเดินรถ โดยระยะกระจัดหรือระยะทางแบบ Euclidian distance จะถูกนำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทาง ซึ่งหากระยะดังกล่าวมีขนาดที่สั้นที่สุด ลูกค้าที่กำลังพิจารณาอาจถูกจัดสรรให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันหรือถูกขนส่งโดยรถคันเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการนับจุดตัดแทนที่การพิจารณาเฉพาะขนาดของระยะทาง เนื่องจากการพิจารณาเฉพาะขนาดของระยะทางไม่ได้คำนึงถึงทิศทางในการเดินรถ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการจัดเส้นทางเดินรถที่ดี

นอกจากวิธีการนับจุดตัดจะพิจารณาขนาดและทิศทางระหว่างสองตำแหน่งแล้ว วิธีการนี้สามารถใช้ในการพิจารณาขนาดและทิศทางในกรณีที่ตำแหน่งที่พิจารณามีมากกว่าสองตำแหน่งได้ ซึ่งวิธีการพิจารณาเฉพาะระยะกระจัดสามารถพิจารณาระยะทางได้ระหว่างลูกค้าสองตำแหน่งใดๆ เท่านั้น หรืออาจทำการพิจารณากลุ่มลูกค้าที่มากกว่าสองตำแหน่งโดยกำหนดจุดศูนย์ถ่วง (Center of gravity) โดยการคำนวณจากตำแหน่งที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของกลุ่มลูกค้าที่พิจารณา แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวเป็นการคิดจากระยะเฉลี่ยกึ่งกลางจากลูกค้าทั้งหมด ซึ่งอาจไม่ให้ผลดีในหลายกรณี อาทิ หากลูกค้าอยู่ห่างกันมาก และมีค่าเฉลี่ยอยู่บริเวณกึ่งกลางที่มีตำแหน่งใกล้กับลูกค้ารายหนึ่ง ลูกค้ารายนั้นจะถูกจัดเข้ากลุ่มนี้ แม้ว่าตำแหน่งของลูกค้าในกลุ่มนี้จะไม่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยวิธีการนับจุดตัดจะสามารถนับจำนวนจุดตัดได้แม้ลูกค้ามีจำนวนมากกว่าสองราย โดยจุดตัดดังกล่าวอาจเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่อยู่ใต้ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าทั้งหมด ซึ่งวิธีการนี้ไม่ต้องทำการสร้างจุดอ้างอิงใดๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาลูกค้าเข้ากลุ่มหากลูกค้าในกลุ่มมีจำนวนมากกว่าสองคน อีกทั้งพื้นที่หรือจำนวนจุดตัดที่น้อยที่สุดที่เกิดจากการเพิ่มลูกค้ารายใดเข้ามาในกลุ่ม บ่งชี้ให้เห็นว่าลูกค้ารายนั้นๆอยู่ใกล้พื้นที่ที่พิจารณาให้ลูกค้าอยู่กลุ่มเดียวกัน ดังนั้นหากพิจารณาถึงสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ผู้จัดเส้นทางเดินรถมักจะจัดให้รถไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่เดียวกัน หรือในบริเวณเดียวกันเพื่อทำให้เกิด

เส้นทางที่สั้นที่สุด หรือสามารถคาดการณ์ได้ว่าลูกค้าที่จัดกลุ่มเดียวกันภายใต้พื้นที่ตั้งที่น้อยที่สุด ส่งผลทำให้เกิดเส้นทางเดินรถที่สั้นและเหมาะสมในการจัดสงสินค้ามากที่สุด

ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่ (Square grid map) โดยการพิจารณาจุดตัดที่อยู่ภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan มีความเหมาะสมในการนำมาพิจารณาจัดกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางได้ดีกว่าการพิจารณาเฉพาะระยะกระจัดระหว่างตำแหน่งที่ตั้ง จึงทำการทดสอบฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นด้วยการพิจารณาจำนวนจุดตัดบนตารางแผนที่หรือฮิวริสติกที่ใช้ในการทดสอบในหัวข้อก่อนหน้า และการนำฮิวริสติกดังกล่าวมาดัดแปลงโดยให้ทำการพิจารณาระยะกระจัดแทนการนับจุดตัด โดยขั้นตอนที่ไม่ได้กล่าวถึงถูกกำหนดให้เหมือนกันทุกประการ ทั้งนี้เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มด้วยวิธีการนับจุดตัดที่งานวิจัยนี้พิจารณาขึ้นมา

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกในหัวข้อนี้เป็นปัญหาที่มีลูกค้า 1000 คน ที่ระดับความพลวัตสูง กลางและต่ำ และจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา 2, 3 และ 4 จุดเริ่มต้น โดยใน 1 ชุดปัญหาจะประกอบไปด้วย 9 ลักษณะปัญหาตามระดับความพลวัตและจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหา ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งลูกค้าของทั้ง 9 ลักษณะปัญหาเป็นตำแหน่งเดียวกัน โดยจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 10 ชุดปัญหา หรือ 90 ปัญหา โดยทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกแบบ Min_dist แบบนับจำนวนจุดตัด (Min_dist-Grid) และฮิวริสติกแบบ Min_dist แบบพิจารณาระยะทางกระจัด (Min_dist-Distance) โดยค่าที่นำมาเปรียบเทียบคือเปอร์เซนต์ความแตกต่างของระยะทางรวมเมื่อเปรียบเทียบ ฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid ซึ่งผลที่ได้เป็นไปดังตารางต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 33 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง ฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid

จำนวนจุดเริ่มต้น	ระดับความพลวัต	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid
2 จุดเริ่มต้น	สูง	0.24
	กลาง	0.89
	ต่ำ	0.64
3 จุดเริ่มต้น	สูง	0.19
	กลาง	0.26
	ต่ำ	0.17
4 จุดเริ่มต้น	สูง	0.24
	กลาง	0.02
	ต่ำ	0.02
เฉลี่ย		**0.30**

จากตารางจะเห็นได้ว่าฮิวริสติก Min_dist-Distance จัดเส้นทางเดินรถได้ระยะทางรวมยาวกว่าฮิวริสติก Min_dist-Grid โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมมีค่าเป็นบวกในทุกลักษณะปัญหา และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมประมาณ 0.30% โดยค่าที่แตกต่างมากที่สุดคือ 0.89% ของปัญหาที่มี 2 จุดเริ่มต้นและมีความพลวัตระดับกลาง และ 0.02% ของปัญหาที่มี 4 จุดเริ่มต้นและมีความพลวัตระดับกลางและระดับต่ำ ดังนั้นจากผลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าการสร้างฮิวริสติกโดยพิจารณานับจุดตัดในการจัดลูกค้าเข้ากลุ่มเพื่อจัดเส้นทางมีความเหมาะสมสำหรับใช้แก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถมากกว่าการจัดกลุ่มและจัดเส้นทางโดยพิจารณาระยะกระจัด ซึ่งหากแยกพิจารณาผลที่ได้ตามลักษณะของปัญหาจะได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 34 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง ฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid แยกตามลักษณะของปัญหา

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่าง ฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid			
จำนวนจุดเริ่มต้น		ระดับความพลวัต	
2 จุดเริ่มต้น	0.59	สูง	0.22
3 จุดเริ่มต้น	0.20	กลาง	0.39
4 จุดเริ่มต้น	0.09	ต่ำ	0.27

จากตารางจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมระหว่างฮิวริสติก Min_dist-Distance กับฮิวริสติก Min_dist-Grid มีค่ามากหากจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหาน้อย โดยฮิวริสติกที่พิจารณานับจำนวนจุดตัดจะสามารถจัดกลุ่มลูกค้าได้ดีหากจำนวนลูกค้าที่สามารถพิจารณาจัดกลุ่มร่วมกันมีจำนวนมาก ในทางกลับกัน หากจำนวนจุดเริ่มต้นต่อปัญหามากจะทำให้ลูกค้าถูกแบ่งไปตามจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมได้หลายจุดเริ่มต้น ทำให้จำนวนลูกค้าที่สามารถจัดกลุ่มร่วมกันได้มีจำนวนน้อยกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นน้อย ทำให้ค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างของระยะทางเมื่อใช้ ฮิวริสติก Min_dist-Distance ไม่มีความแตกต่างจากฮิวริสติก Min_dist-Grid มากนักทั้งนี้ค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างที่น้อยเกิดจากระยะทางรวมที่มีค่ามากเพราะมีจำนวนลูกค้าที่ต้องส่งสินค้า 1000 คน

ระดับความพลวัตของปัญหาให้ค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างของระยะทางที่ต่างกัน โดยปัญหาที่มีความพลวัตระดับกลางให้ค่าความแตกต่างที่มากที่สุด ปัญหาที่มีความพลวัตระดับต่ำและระดับสูงให้ค่าความแตกต่างรองลงมาตามลำดับ ซึ่งที่ระดับความพลวัตสูงมีจำนวนลูกค้าให้พิจารณาจำนวนน้อยกว่าระดับความพลวัตอื่นๆ ทำให้เกิดค่าระยะทางที่แตกต่างระหว่างฮิวริสติกทั้งสองที่ไม่ต่างกันมาก ในขณะที่ปัญหาที่ระดับพลวัตระดับกลางมีความเหมาะสมในการใช้ฮิวริสติก Min_dist-Grid มากที่สุด เนื่องจากการนับจำนวนจุดตัดที่ในปัญหาที่มีลูกค้า ณ จำนวนมากของปัญหาที่มีความพลวัตระดับต่ำได้ผลที่ไม่ต่างมากนักจากการแบ่งกลุ่มและจัดเส้นทางโดยการพิจารณาระยะทางกระจัดเพราะมีจำนวนลูกค้าจำนวนมากต่อพื้นที่ๆพิจารณา ทำให้แต่ละวิธีในการแบ่งกลุ่มมีประประสิทธิภาพไม่ต่างกันมากเมื่อเทียบกับปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าไม่มากไปหรือน้อยไปที่ทำให้การแบ่งกลุ่มที่ดีมีผลอย่างชัดเจน ดังเช่นค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบด้วยการทดสอบปัญหาที่มีความพลวัตระดับกลาง

ดังนั้นการพัฒนาฮิวริสติกเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” โดยพิจารณาแบ่งกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางด้วยวิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่ ซึ่งเป็นจุดตัดที่อยู่ภายใต้เส้นทางแบบ Manhattan มีความเหมาะสมมากกว่าการพิจารณาจัดกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบด้วยระยะทางแบบกระจัดระหว่างจุดที่ทำการพิจารณาแต่เพียงอย่างเดียว โดยฮิวริสติกสามารถจัดเส้นทางได้ดีในทุกลักษณะปัญหาทดสอบ

5.3 บทสรุป

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือปัญหามาตรฐาน และปัญหาที่สร้างขึ้น โดยปัญหามาตรฐานถูกใช้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดและคำตอบจากฮิวริสติกที่ใช้ทดสอบปัญหาเดียวกัน ในขณะที่ปัญหาที่สร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในกรณีที่มีจำนวนลูกค้าน้อยและกรณีที่มีจำนวนลูกค้ามาก และเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างลักษณะปัญหาโดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

1. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้าน้อยใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมเฉลี่ยประมาณ 5% จากฮิวริสติก Min_dist และ 10 % จากฮิวริสติก Max_due โดยใช้เวลาในการแก้ปัญหา 18 ปัญหาไม่เกิน 0.1 วินาที ในขณะที่ CPLEX ใช้เวลาในการหาคำตอบต่อปัญหาเฉลี่ย 30 นาที
2. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX เมื่อทำการแก้ปัญหาแบบแยกพื้นที่การหาคำตอบพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX มีค่าอยู่ระหว่าง 1.88 – 24.01% โดยฮิวริสติกแบบ Min_dist ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.84% และคำตอบจากฮิวริสติกแบบ Max_due ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.44% โดยฮิวริสติกแบบ Min_dist ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าฮิวริสติกแบบ Max_due ทุกกรณี และฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 13.64%
3. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาแต่ละลักษณะพบว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาที่มีระดับความพลวัตสูงได้ดีกว่าปัญหาที่มีระดับความพลวัตต่ำกว่า และ

สามารถแก้ปัญหาที่รถมีความจุจำกัดได้ดีกว่าปัญหาที่รถมีความจุไม่จำกัด สุดท้ายฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อปัญหามากได้ดีกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อปัญหาน้อย

4. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาเมื่อข้อมูลนำเข้าเป็นแบบพลวัตและแบบสถิตพบว่าฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due สามารถแก้ปัญหาพลวัตได้ดีกว่าปัญหาสถิต เนื่องจากฮิวริสติกทั้งสองถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาพลวัตซึ่งทำการจัดเส้นทางสำหรับลูกค้าที่เข้ามาในระบบที่ช่วงเวลาเดียวกันทำให้ระยะทางรวมในการส่งสินค้าสั้นกว่าการพิจารณาลูกค้าทั้งหมดในช่วงเวลาเดียวกันของการแก้ปัญหาแบบสถิต
5. ฮิวริสติกที่งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” โดยพิจารณาแบ่งกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางด้วยวิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่มีความเหมาะสมมากกว่าการพิจารณาจัดกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบระยะทางแบบกระจัดระหว่างจุดที่ทำการพิจารณาแต่เพียงอย่างเดียวที่ใช้ในการสร้างฮิวริสติกเพื่อการจัดเส้นทางเดินรถแบบทั่วไป โดยฮิวริสติกสามารถจัดเส้นทางได้ดีในทุกลักษณะปัญหาทดสอบที่สร้างขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลงานวิจัย

6.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติกในการจัดเส้นทางเดินรถซึ่งเป็นฮิวริสติกที่สามารถใช้แก้ปัญหาที่มีความเป็นพลวัตระดับกลาง (Moderate dynamic system) ถึงระดับสูง (High dynamic system) คือ เส้นทางการเดินรถต้องตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายในระยะเวลาที่กำหนด หรือเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยพิจารณาการแบ่งลูกค้าให้แต่ละจุดเริ่มต้นควบคู่ไปกับการจัดเส้นทางการเดินรถ และพิจารณาการจัดเส้นทางใหม่ทุกครั้งที่มีลูกค้าเข้ามาในระบบ เพื่อให้ลูกค้าได้รับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน และได้เส้นทางเดินรถที่สั้นที่สุด ภายใต้ระยะเวลาในการคำนวณที่รวดเร็ว

งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ผ่านมา มีการใช้ฮิวริสติกเพื่อจัดเส้นทางเดินรถเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่สนใจและข้อจำกัดในการจัดเส้นทาง ซึ่งปัญหาที่คล้ายกับงานวิจัยนี้คือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุด โดยฮิวริสติกส่วนใหญ่ทำการจัดกลุ่มลูกค้าโดยการแบ่งลูกค้าเข้ากับจุดเริ่มต้นตามพื้นที่หรือระยะห่างที่น้อยที่สุด แล้วทำการจัดเส้นทางแยกตามกลุ่มของลูกค้าและจุดเริ่มต้น แล้วจึงทำการเปลี่ยนลูกค้าไปยังจุดเริ่มต้นอื่นได้ในภายหลังหากทำให้ระยะทางสั้นลง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวถือเป็นปัญหาสถิตเพราะมีข้อมูลลูกค้าทั้งหมดที่ต้องทำการจัดเส้นทางตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งหากต้องการแก้ปัญหาที่มีลักษณะพลวัต จึงจำเป็นต้องพัฒนาฮิวริสติกที่สามารถใช้ได้ดีกับปัญหาพลวัต โดยสามารถจัดเส้นทางเดินรถได้ดี ในระยะเวลาที่รวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นในการรับมือกับปัญหาที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้

แบบจำลองคณิตศาสตร์สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง โดยคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสำหรับปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งผลของการหาคำตอบด้วย CPLEX โดยพิจารณาด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบคือ แบบจำลองต้องใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าที่มีกรอบเวลาการขนส่งทับซ้อนกันมาก และมีจำนวนลูกค้าที่รถสามารถบรรทุกสินค้าไปขนส่งได้พร้อมกันมาก

ระบบจัดเส้นทางเดินรถที่พัฒนาขึ้นเริ่มจากการรับปัญหาเข้ามาและสิ้นสุดที่การให้ผลการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งสนใจเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามลำดับเวลา โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดมี 2 เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ที่ลูกค้าเข้ามาในระบบเนื่องจากเป็นระบบพลวัต (Arrival Event) และเหตุการณ์ที่ต้องปล่อยรถออกจากระบบเพื่อนำสินค้าไปส่งให้แก่ลูกค้าเมื่อถึงเวลาออกรถ (Dispatching Event) ซึ่งระบบจะเริ่มต้นพิจารณาจัดเส้นทางใหม่ทุกครั้งเมื่อเหตุการณ์ที่ลูกค้าเข้ามาในระบบเกิดขึ้น และการเริ่มต้นพิจารณาใหม่ดังกล่าวจะเริ่มจากการลบข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถในครั้งที่ผ่านมาทั้งหมด โดยการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถหลังจากรับข้อมูลลูกค้าแต่ละรายเข้ามาในระบบนั้นประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1. ขั้นตอนการกลุ่มลูกค้าและการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีการ Square grid map และ ขั้นตอนการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยวิธีการ Sweep และ Reorder
2. ขั้นตอนการพัฒนาเส้นทางเดินรถ ด้วยวิธีการ Insertion

หลังจากได้เส้นทางเดินรถที่ทำการพัฒนาแล้ว ระบบจะคำนวณเวลาออกรถโดยวัตถุ-ประสงค์สำคัญของการคิดเวลาออกรถคือการให้รถรอนานที่สุดหรือการคิดเวลาออกรถที่ช้าที่สุด เพื่อให้ระบบมีโอกาสในการจัดเส้นทางเพิ่มขึ้น หรือสามารถรอลูกค้าที่จะเข้าในระบบเพิ่มมากขึ้น

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือปัญหามาตรฐาน และปัญหาที่สร้างขึ้น โดยปัญหามาตรฐานถูกใช้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดและคำตอบจากฮิวริสติกที่ใช้ทดสอบปัญหาเดียวกัน ในขณะที่ปัญหาที่สร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในกรณีที่มีจำนวนลูกค้าน้อยและกรณีที่มีจำนวนลูกค้ามาก และเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างลักษณะปัญหาโดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด” โดยผลที่ได้มีดังต่อไปนี้

1. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้าน้อยใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมเฉลี่ยประมาณ 5% จากฮิวริสติก Min_dist และ 10 % จากฮิวริสติก Max_due โดยใช้เวลาในการแก้ปัญหา 18 ปัญหาไม่เกิน 0.1 วินาที ในขณะที่ CPLEX ใช้เวลาในการหาคำตอบต่อปัญหาเฉลี่ย 30 นาที
2. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากกับคำตอบที่ได้จาก CPLEX เมื่อทำการแก้ปัญหาแบบแยกพื้นที่การหาคำตอบพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของระยะทางรวมทั้งหมดเมื่อ

เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก CPLEX มีค่าอยู่ระหว่าง 1.88 – 24.01% โดยฮิวริสติกแบบ Min_dist ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.84% และคำตอบจากฮิวริสติกแบบ Max_due ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15.44% โดยฮิวริสติกแบบ Min_dist ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าฮิวริสติกแบบ Max_due ทุกกรณี และฮิวริสติกทั้งสองให้ค่าความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 13.64%

3. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาแต่ละลักษณะพบว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาที่มีระดับความพลวัตสูงได้ดีกว่าปัญหาที่มีระดับความพลวัตต่ำกว่า และสามารถแก้ปัญหาที่รถมีความจุจำกัดได้ดีกว่าปัญหาที่รถมีความจุไม่จำกัด สุดท้ายฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อปัญหามากได้ดีกว่าปัญหาที่มีจุดเริ่มต้นต่อปัญหาน้อย
4. คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกเมื่อทำการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยมีหลายจุดเริ่มต้นที่มีจำนวนลูกค้ามากสำหรับปัญหาเมื่อข้อมูลนำเข้าเป็นแบบพลวัตและแบบสถิตพบว่าฮิวริสติก Min_dist และฮิวริสติก Max_due สามารถแก้ปัญหาพลวัตได้ดีกว่าปัญหาสถิต เนื่องจากฮิวริสติกทั้งสองถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาพลวัตซึ่งทำการจัดเส้นทางสำหรับลูกค้าที่เข้ามาในระบบที่ช่วงเวลาเดียวกันทำให้ระยะทางรวมในการส่งสินค้าสั้นกว่าการพิจารณาลูกค้าทั้งหมดในช่วงเวลาเดียวกันของการแก้ปัญหาแบบสถิต
5. ฮิวริสติกที่งานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีความจุรถจำกัดและมีจุดเริ่มต้นหลายแห่ง” โดยพิจารณาแบ่งกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางด้วยวิธีการนับจุดตัดบนตารางแผนที่มีความเหมาะสมมากกว่าการพิจารณาจัดกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบระยะทางแบบกระจัดระหว่างจุดที่ทำการพิจารณาแต่เพียงอย่างเดียวที่ใช้ในการสร้างฮิวริสติกเพื่อการจัดเส้นทางเดินรถแบบทั่วไป โดยฮิวริสติกสามารถจัดเส้นทางได้ดีในทุกลักษณะปัญหาทดสอบที่สร้างขึ้น

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับ “ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดแบบพลวัตโดยมีจุดเริ่มต้นหลายจุด”
2. สามารถนำฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการพิจารณาแก้ปัญหาที่มีลักษณะคล้ายกันที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงได้ อาทิ ปัญหาการขนส่งสินค้าของบริษัททางด้านโลจิสติกส์ ปัญหาการขนส่งเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาล ปัญหาการส่งสินค้าประเภทโทรสั่งเช่น Food delivery เป็นต้น โดยสามารถนำแนวคิดที่ได้จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิวริสติกเมื่อทำการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทดสอบด้วยปัญหาลักษณะต่างๆ มาพัฒนาฮิวริสติกให้สามารถจัดเส้นทางเดินรถได้ดีและเหมาะสมกับลักษณะปัญหาที่สนใจ

3. สามารถนำแนวคิดในการพัฒนาฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาระดับยาก (NP-hard) มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาแบบอื่นๆเพื่อหาผลเฉลยที่ดี และใช้เวลาในการแก้ปัญหาในระดับที่ยอมรับได้ (Good enough and Fast enough Solution)

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยที่นำเสนอฮิวริสติกสำหรับจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตควรพิจารณาถึงลักษณะปัญหาที่ต้องการนำฮิวริสติกไปใช้ในการจัดเส้นทาง โดยเฉพาะเรื่องความพลวัตของปัญหา ลักษณะการเข้ามาในระบบของลูกค้า เพราะเป็นส่วนสำคัญในการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่จะทำให้เกิดเส้นทางที่ดีหรือได้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุดสำหรับการส่งสินค้า แต่อย่างไรก็ตามความพลวัตที่ใช้ในการสร้างโจทย์ในปัญหางานวิจัยนี้ทำให้เกิดระบบสถิตเป็นช่วงๆ จึงทำให้การจัดเส้นทางโดยเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดในแต่ละช่วงเวลาให้ผลที่ดีกว่า แต่ในสถานการณ์จริงระบบที่เกิดขึ้นอาจไม่สถิตเป็นช่วงๆ ดังเช่นปัญหาที่งานวิจัยนี้สร้างขึ้น ดังนั้นการจัดเส้นทางเดินรถที่เลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดอาจไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในสถานการณ์ดังกล่าว งานวิจัยในอนาคตจึงควรทำการปรับปรุงฮิวริสติกในส่วนนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Alfa, A. S., S. S. Heragu and M. Chen (1991). "A 3-OPT based simulated annealing algorithm for vehicle routing problems." Computers & Industrial Engineering **21**(1–4): 635-639.

Bräysy, O. and M. Gendreau (2002). "Tabu Search heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows." Top **10**(2): 211-237.

Bullnheimer, B., R. F. Hartl and C. Strauss (1999). "An improved Ant System algorithm for theVehicle Routing Problem." Annals of Operations Research **89**(0): 319-328.

Cordeau, J.-F., M. Gendreau and G. Laporte (1997). "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems." Networks **30**(2): 105-119.

Dantzig, G. B. and J. H. Ramser (1959). "The Truck Dispatching Problem." Management Science **6**(1): 80-91.

Gendreau, M., G. Laporte and R. Séguin (1996). "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands and Customers." Operations Research **44**(3): 469-477.

Goldberg, D. E. and J. H. Holland (1988). "Genetic algorithms and machine learning." Machine learning **3**(2): 95-99.

Ibing, A. and H. Boche (2008). Fair OFDMA Scheduling Algorithm Using Iterative Local Search with k-opt-Switches. Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE.

Laporte, G. (2007). "What you should know about the vehicle routing problem." Naval Research Logistics (NRL) **54**(8): 811-819.

Laporte, G., Y. Nobert and M. Desrochers (1985). "Optimal Routing under Capacity and Distance Restrictions." Operations Research **33**(5): 1050-1073.

Novoa, C. and R. Storer (2009). "An approximate dynamic programming approach for the vehicle routing problem with stochastic demands." European Journal of Operational Research **196**(2): 509-515.

Pisinger, D. and S. Ropke (2007). "A general heuristic for vehicle routing problems." Computers & Operations Research **34**(8): 2403-2435.

Psaraftis, H. (1995). "Dynamic vehicle routing: Status and prospects." Annals of Operations Research **61**(1): 143-164.

Renaud, J., G. Laporte and F. F. Boctor (1996). "A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem." Computers & Operations Research **23**(3): 229-235.

Salhi, S. and G. Nagy (1999). "A Cluster Insertion Heuristic for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Backhauling." The Journal of the Operational Research Society **50**(10): 1034-1042.

Secomandi, N. (2001). "A Rollout Policy for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands." Operations Research **49**(5): 796-802.

Solomon, M. M. (1987). "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints." Operations Research **35**(2): 254-265.

Tavakkoli-Moghaddam, R., M. Gazanfari, M. Alinaghian, A. Salamatbakhsh and N. Norouzi (2011). "A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing." Journal of Manufacturing Systems **30**(2): 83-92.

Timmermann, T. and R. Schumann (2008). An approach to solve the Multi Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDVRPTW) in static and dynamic scenarios Proceedings of the 22. Workshop "Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen (PuK 2008).

Wang, Y. (2010). Research on Logistics Distribution Enterprise Vehicle Routing Problem Based on the Simulated Annealing. ICLEM 2010**:** 3521-3527.

Yoshiike, N. and Y. Takefuji (1999). Vehicle routing problem using clustering algorithm by maximum neural networks. Intelligent Processing and Manufacturing of Materials, 1999. IPMM '99. Proceedings of the Second International Conference on.

สวาสดิ์., ก) .2006). "การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ".วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวขวัญแก้ว มีทรัพย์ทวีกูล สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2554 และได้เข้าศึกษาในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในปีการศึกษา 2555 ในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ในระหว่างการศึกษา ได้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัยประจำศูนย์วิจัย ROM ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University