ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

MODEL AND LARGE SCALE NEIGHBOURHOOD SEARCH ALGORITHMS FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME-WINDOWS

Mr. Kittichot Tantipana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511037

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองและวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่มีกรอบเวลา
โดย	นายกิตติโชติ ตันติภนา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. อำพล การุณสุนทวงษ์)

กิตติโชติ ตันติภนา : แบบจำลองและวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่มีกรอบเวลา. (MODEL AND LARGE SCALE NEIGHBOURHOOD SEARCH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME-WINDOWS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์, 125 หน้า.

ปัญหาการเดินรถเที่ยวเปล่าจัดเป็นปัญหาที่สำคัญในการวางแผนขนส่ง ระยะการเดินรถเที่ยวเปล่านี้สามารถลดลงได้ด้วยการควบรวมการขนส่งเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดการเดินรถขนส่งสินค้าแบบกระจายสินค้าหลายจุด (Multi Drop Distribution) อย่างไรก็ดีการวางแผนการขนส่งสินค้าแบบกระจายสินค้าหลายจุดนั้นจะต้องมีการวางแผนการจัดส่งสินค้าที่ดี กล่าวคือ มีวิธีในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem) ที่มีประสิทธิภาพ

การจัดเส้นทางการเดินรถชนิดมีกรอบเวลา คือการหาเส้นทางการเดินรถในการขนส่งสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าทั้งหมดที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดโดยลูกค้าแต่ละรายมีกรอบเวลาในการรับสินค้าที่ชัดเจน เส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและความจุของยานพาหนะ ยิ่งไปกว่านั้นความยากของการจัดเส้นทางการเดินรถอีกประการหนึ่งคือมีข้อจำกัดจำนวนมากที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพการทำงานจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการขนส่งสินค้าและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยนำเสนอวิธีกำเนิดสดมภ์ที่เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดและวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็นซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติคที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ สามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ในระยะเวลาการประมวลผลที่เหมาะสม

พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองพบว่า สามารถลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าได้ประมาณร้อยละ 68 ถึง 72 ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณร้อยละ 42 เปรียบเทียบกับการขนส่งที่ไม่มีการจัดการการเดินรถเที่ยวเปล่า

ภาควิชา: วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต: .....

สาขาวิชา: วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: .....

ปีการศึกษา: 2551

5070216121 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: VEHICLE ROUTING PROBLEM/ MULTI DROP DISTRIBUTION, TIME WINDOWS, COLUMN GENERATION, LARGE SCALE NEIGHBOURHOOD SEARCH, EXACT, HEURISTICS

KITTICHOT TANTIPANA: MODEL AND LARGE SCALE NEIGHBOURHOOD SEARCH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME-WINDOWS. ADVISOR: ASST.PROF.MANOJ LOHATEPANONT, Ph.D, 125 pp.

The problem of excessive empty haul is a major problem in transportation planning. One of the solutions is to combine trips together to form a multi drop distribution. However, multi drop distribution planning is complicated and has to be efficiently managed.

The objective of the vehicle routing with time windows (VRPTW) is to determine a set of feasible routings for goods delivery to a set of customers within prescribed time windows while minimizing cost. The routes must also satisfy time windows, truck capacity, and other operational constraints. We present a column generation based exact algorithm and an improvement heuristics for the problem based on an extension of Large-scale Neighborhood Search (LNS) and probability theory. The proposed algorithm can find near-optimal solutions within reasonable amount of computation time.

The analysis of the model's results indicate that the model can reduce the percentages of empty haul distance by approximately 68 percent to 72 percent comparing to the truckload operation without empty haul management. Moreover, using the algorithm can reduce transportation cost by approximately 42 percent.

Department: Civil Engineering Student's Signature: .....

Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature: .....

Academic Year: 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่ง ในการให้คำแนะนำแนวทางการทำวิจัย ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เชื่อแน่ว่าหากขาดความช่วยเหลือจากท่านอาจารย์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. อำพล การุณสุนทวงษ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอต่างที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมไปถึงสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาในด้านเทคนิคการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดและคำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ โครงการเพิ่มศักยภาพเพื่อก้าวสู่ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมศาสตร์สาขาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อส่งเสริมระบบการขนส่งโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสำหรับให้ ความอนุเคราะห์ของงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ นายยศศิริ อลุดยศักดิ์ ที่ให้คำแนะเกี่ยวกับแนวทางการทำวิจัย รวมไปถึงวิธีการเขียนโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสนับสนุนในการหาข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นพี่ภาควิชาวิศวกรรมขนส่งทุกคน ที่ช่วยเหลือตลอดการศึกษาที่ผ่านมา และขอบคุณพี่นก ห้องธุรการภาควิชา ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ เป็นอย่างดีในขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณอา พี่ชาย ญาติสนิททุกคน และเปรมที่ช่วยเหลือ สนับสนุน ให้กำลังใจ รวมถึงคอยดูแลสุขภาพ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....11

1.3 โจทย์ปัญหา (PROBLEM STATEMENT).....11

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....12

1.5 องค์ความรู้ที่ได้รับ.....13

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....13

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต.....14

2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย.....14

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ.....16

2.3 แบบจำลองการแบ่งเซต.....17

2.4 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ.....19

2.5 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ.....35

2.6 ทฤษฎีความน่าจะเป็น.....39

2.7 การหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (SHORTEST PATH ALGORITHM).....41

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....44

3.1 โครงร่างงานวิจัย.....44

3.2 ขั้นตอนการวิจัย.....45

หน้า

บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 48

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา 48

4.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขการขนส่ง 50

บทที่ 5 วิธีการแก้ปัญหา 61

5.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด 61

5.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติค 66

บทที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพและผลการทดสอบ 82

6.1 รายละเอียดของชุดปัญหาตัวอย่าง 82

6.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหา 84

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย 111

7.1 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหา 111

7.2 ข้อจำกัดของวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น 114

7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต 114

รายการอ้างอิง 116

ภาคผนวก 118

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 125

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศแยกตามรูปแบบการขนส่ง 1
ตารางที่ 4.1 จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้เมื่อขนส่งต่อเนื่อง 2 ราย 59
ตารางที่ 4.2 จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้เมื่อขนส่งต่อเนื่อง 3 ราย 59
ตารางที่ 4.3 จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้เมื่อขนส่งต่อเนื่อง 4 ราย 60
ตารางที่ 5.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างจุดของตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์ 64
ตารางที่ 5.2 ราคาเงาของตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์ 64
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าระยะทางสั้นสุดประมาณของการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์65
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการกำหนดความน่าจะเป็นเบื้องต้น 77
ตารางที่ 5.5 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดหลังการสะสมความน่าจะเป็น 79
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดของชุดปัญหาตัวอย่าง 83
ตารางที่ 6.2 พิจารณาจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ 86
ตารางที่ 6.3ผลกระทบของตัวชี้วัดในการหยุดการวนรอบต่อประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติค 88
ตารางที่ 6.4ผลกระทบของตัวชี้วัดในการหยุดการวนรอบต่อประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติค2 89
ตารางที่ 6.5ผลกระทบของตัวชี้วัดในการหยุดการวนรอบต่อประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติค3 89
ตารางที่ 6.6ผลกระทบของความยืดหยุ่นของการยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงต่อประสิทธิภาพการแก้ปัญหา 93
ตารางที่ 6.7 ผลกระทบของความยืดหยุ่นในการยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงต่อประสิทธิภาพการแก้ปัญหา2 93
ตารางที่ 6.8 ผลกระทบของความยืดหยุ่นในการยอมรับผลเฉลยที่แย่ลงต่อประสิทธิภาพการแก้ปัญหา3 94

หน้า

ตารางที่ 6.9 ผลการทดลองตั้งค่าตารางความน่าจะเป็นใหม่ 96

ตารางที่ 6.10 ผลการทดลองการสลับเปลี่ยนลำดับ 99

ตารางที่ 6.11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด 102

ตารางที่ 6.12 ทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนสุดท้ายในการแก้ปัญหาด้วยวิธีกำเนิดสดมภ์.... 103

ตารางที่ 7.1 สรุปประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น 111

ตารางที่ 7.2 สรุปวิธีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา 113

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 รูปแบบการเดินรถปกติของการขนส่งแบบเต็มคันรถ 3
รูปที่ 1.2 รูปแบบการเดินรถขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ 4
รูปที่ 1.3 รูปแบบการกระจายสินค้าแบบหลายจุด 5
รูปที่ 1.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 6
รูปที่ 2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 14
รูปที่ 2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 17
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 19
รูปที่ 2.4 ภาพกราฟิคแสดง CONSTRUCTIVE และ IMPROVEMENT 23
รูปที่ 2.5 ภาพกราฟฟิคแสดง POPULATION MECHANISM HEURISTIC 24
รูปที่ 2.6 ภาพกราฟฟิคแสดง LEARNING MECHANISM HEURISTIC 24
รูปที่ 2.7 การลดระยะทางในการเดินทางโดยการรวมเส้นทาง 26
รูปที่ 2.8 จัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีกวาด 27
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง 29
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการสลับเปลี่ยนภายในยานพาหนะ 31
รูปที่ 2.11 ปัญหาดีที่สุดเฉพาะแห่ง 35
รูปที่ 2.12 ยูเนียนของเหตุการณ์ 41
รูปที่ 2.13 อินเตอร์เซ็คชั่นของเหตุการณ์ 41
รูปที่ 2.14 คอมพลีเมนต์ของเหตุการณ์ 41
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วย DIJKSTRA ALGORITHM 42
รูปที่ 4.1 การพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลา 52
รูปที่ 4.2 การพิจารณาเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าลง 53
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปไม่ได้รูปแบบที่ 1 54

หน้า

รูปที่ 4.4 เวลาที่รถบรรทุกออกเดินทางถูกขยับจากจุดเริ่มของกรอบเวลา 54
รูปที่ 4.5 รหัสขั้นตอนของอัลกอริทึมการพิจารณาข้อจำกัดด้านกรอบเวลา 55
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการหาค่าความยืดหยุ่น 56
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปไม่ได้รูปแบบที่ 2 57
รูปที่ 4.8 กรณีรถบรรทุกเดินทางถึงภายในกรอบเวลา 57
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ 62
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการแก้ปัญหารองด้วยวิธีเอสตาร์ 64
รูปที่ 5.3 โครงข่ายของตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS 68
รูปที่ 5.4 เส้นทางการเดินรถเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS 69
รูปที่ 5.5 เหตุการณ์ที่สนใจในการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS 69
รูปที่ 5.6 การพัฒนาเส้นทางการเดินรถของปัญหาตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS 71
รูปที่ 5.7 การเก็บสถิติของตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธี PLNS 72
รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น 73
รูปที่ 5.9 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีประหยัดที่คำนึงถึงกรอบเวลา 74
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการแสดงรูปแบบการสลับเปลี่ยนภายนอกยานพาหนะ 75
รูปที่ 6.1 ชุดปัญหาตัวอย่าง 82
รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 84
รูปที่ 6.3 เปรียบเทียบสัดส่วนเส้นทางที่เป็นไปได้ 87
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและเงื่อนไขในการหยุดการวนรอบ 90
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการหาผลเฉลยและเงื่อนไขในการหยุดการวนรอบ 91
รูปที่ 6.6 ผลรวมของผลเฉลยที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปลี่ยนเงื่อนไขในการหยุดการวนรอบ 91
รูปที่ 6.7 ผลรวมของระยะเวลาการหาผลเฉลยโดยใช้เงื่อนไขการหยุดการวนรอบที่แตกต่างกัน 92
รูปที่ 6.8 ทดลองเปลี่ยนแปลงค่าคงที่การลดลงความยืดหยุ่น 95
รูปที่ 6.9 กราฟเพื่อความเข้าใจการตั้งค่าตารางความน่าจะเป็นใหม่ 97

หน้า

รูปที่ 6.10 ความแตกต่างของประสิทธิภาพการแก้ปัญหาเมื่อมีการตั้งค่าตารางความน่าจะเป็นใหม่98

รูปที่ 6.11 คุณภาพผลเฉลยของวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น..... 100

รูปที่ 6.12 ระยะเวลาการหาผลเฉลยของวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เชิงความน่าจะเป็น..... 101

รูปที่ 6.13 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง C(25)..... 104

รูปที่ 6.14 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง C(50)..... 105

รูปที่ 6.15 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง C(100)..... 105

รูปที่ 6.16 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง R(25)..... 106

รูปที่ 6.17 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง R(50)..... 107

รูปที่ 6.18 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง R(100)..... 107

รูปที่ 6.19 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง RC(25)..... 108

รูปที่ 6.20 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง RC(50)..... 109

รูปที่ 6.21 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยชุดปัญหาตัวอย่าง RC(100)..... 109