



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดกลุ่มจุดจัดส่งสำหรับการขนส่ง
สินค้าที่มีหลายศูนย์กระจายสินค้าบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์”
โครงการย่อยที่ 1

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทรงศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช และ คณะ
พฤศจิกายน 2557

สัญญาเลขที่ RDG5650029



โครงการ “การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดกลุ่มจุดจัดส่งสำหรับการขนส่ง
สินค้าที่มีหลายศูนย์กระจายสินค้าบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์”

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. ผศ.ดร.ทรงศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดโครงการย่อยที่ 1

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร	VII
บทคัดย่อ	IX
ABSTRACT	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2. วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทบทวนทฤษฎี และ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 แนวทางและวิธีการพัฒนา	10
บทที่ 4 ผลลัพธ์จากการดำเนินงาน.....	11
4.1 ผลการศึกษากระบวนการทำงานการจัดรถขนส่ง และ การจัด CLUSTER ลुकค้าจากภาคอุตสาหกรรม เพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่ใช้ในการจัดกลุ่มจุดขนส่ง	11
4.2 ผลการทดลองดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ CLUSTERING ALGORITHMS กับข้อมูลจริงจาก ภาคอุตสาหกรรม	13
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	34
ภาคผนวก ก. คำศัพท์เทคนิค	35

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบการแบ่งกลุ่มจุดส่ง กรณีที่มีคลังสินค้าแห่งเดียวแต่มีจุดส่งสินค้าจำนวนมาก....	14
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-Means และ Multi-Level KL	18
ตารางที่ 4.3 ผลการจัดกลุ่มจุดส่ง กรณีที่มีหลายคลังสินค้า.....	21
ตารางที่ 4.4 Data Dictionary อธิบายความหมายของตารางในฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง....	28

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการจัดกลุ่มจุดส่งสินค้า(Cluster) ตามโซนพื้นที่	2
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มแบบมีลำดับชั้น.....	4
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มด้วยวิธี K-Means.....	5
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการจัดกลุ่มจุดส่ง	14
รูปที่ 4.2 ผลการจัดกลุ่มจุดส่งกรณีคลังสินค้าเดียว จุดส่งกระจายทั่วประเทศ ด้วยวิธี Multi-level KL.....	16
รูปที่ 4.3 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 400 จุด	18
รูปที่ 4.4 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 672 จุด	19
รูปที่ 4.5 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 1,000 จุด.....	19
รูปที่ 4.6 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 2,567 จุด.....	20
รูปที่ 4.7 ผลการจัดกลุ่มจุดส่ง กรณีที่มีหลายคลังสินค้า	22
รูปที่ 4.8 หน้าจอโปรแกรมสำหรับกำหนดวิธีการแบ่งกลุ่มจุดส่ง.....	23
รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอการเพิ่มใบส่งสินค้าแยกตาม Cluster	23
รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงการแบ่งจุดส่งเป็น Cluster บนแผนที่ QGIS.....	24
รูปที่ 4.11 ฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง และ เก็บข้อมูลทดสอบจากภาคอุตสาหกรรมนำร่อง... 27	

บทสรุปผู้บริหาร

การขนส่งสินค้านับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีต้นทุนสูงและส่งผลกระทบต่อค่าบริการลูกค้าโดยตรง ดังนั้นการบริหารการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการ โดยเฉพาะในสถานะที่มีการแข่งขันทางธุรกิจอย่างรุนแรงทั้งในประเทศและจากการเปิดเสรีด้านโลจิสติกส์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของตามกรอบ AEC ผู้ประกอบการไทย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนากระบวนการขนส่งสินค้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพทั้งในด้านต้นทุนและคุณภาพบริการเพื่อให้สามารถแข่งขันได้ แนวทางหนึ่งที่มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศคือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการบริหารการขนส่งสินค้าซึ่งพบว่าช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้อย่างสูง

ในประเทศไทยนั้น แม้จะมีงานวิจัยด้านการบริหารจัดการรถบรรทุกอยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็พบว่าในทางปฏิบัติผู้ประกอบการยังไม่ได้นำเทคโนโลยีเหล่านี้ไปใช้จริง เนื่องจากข้อจำกัดของงานวิจัยที่ไม่ได้ถูกออกแบบเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและขาดการเชื่อมโยงกับระบบฐานข้อมูลขององค์กร ในขณะเดียวกันซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในต่างประเทศเช่น ArcLogistics ก็ไม่สามารถตอบสนองการใช้งานตามข้อจำกัดของประเทศไทยได้ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า เพื่อให้สามารถตอบสนองการใช้งานของผู้ประกอบการในประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะส่งผลกระทบต่อยกระดับความสามารถของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของไทยในการแข่งขันกับผู้ประกอบการต่างชาติ จากการเปิดเสรีธุรกิจบริการโลจิสติกส์ในอนาคต

ในงานวิจัยต่างประเทศ ได้มีเสนอให้แยกกระบวนการการวางแผนการจัดส่งสินค้าออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ แบ่งกลุ่มจุดจัดส่งก่อนเพื่อแยกให้เป็นปัญหามิติขนาดเล็กลงก่อนนำมาคำนวณจัดเส้นทางขนส่ง (Cluster-First-Route-Second) แม้ว่าจากงานวิจัยพบว่า แนวทางดังกล่าวช่วยให้การวางแผนการขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากสามารถรองรับปริมาณจำนวนใบสั่งสินค้ามากขึ้น แต่จากเงื่อนไขการจัดส่งของธุรกิจไทยที่มีความแตกต่างและเฉพาะตัวของแต่ละธุรกิจ ทำให้โครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการ Cluster แบบต่างๆ : K-Means, Spectral, Multi-Level KL และทดสอบกับข้อมูลการจัดส่งสินค้าของธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์ และ น้ำมันเครื่องของไทย ภายใต้เงื่อนไขจริงของธุรกิจ พบว่าวิธีการ Multi-Level KL มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับภาคธุรกิจไทย สามารถรองรับจำนวนใบสั่งสินค้ามากกว่า 2,000 รายการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนั้น คณะผู้วิจัยยังได้ศึกษาการนำวิธีการ Urgency Assignment มาใช้ในการกำหนดคลังสินค้าที่เหมาะสมให้แก่จุดจัดส่งในกรณีมีหลายคลังสินค้า การกำหนดคลังสินค้าที่เหมาะสมเป็นการลดต้นทุนค่าขนส่งของภาคธุรกิจได้

จากผลการศึกษาสรุปวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแบ่งกลุ่มจุดจัดส่งแล้ว คณะผู้วิจัยและพัฒนาได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยแบ่ง Cluster ของจุดจัดส่ง โดยได้จัดทำในรูปแบบไลบรารีภาษา C++ ที่มีประสิทธิภาพและเปิดให้บริการเป็นเว็บเซอร์วิสเพื่อให้โปรแกรมอื่นสามารถเรียกใช้งานได้ ซึ่งนำไปสู่การรวมโปรแกรมช่วยแบ่งกลุ่มจุดจัดส่ง (Clustering) และ โปรแกรมวางแผนเส้นทางขนส่ง (Routing) รวมเป็นระบบ

วางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีกรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถวางแผนการจัดส่งโดยพิจารณาเงื่อนไขทั้งกรณีแบบมีกรอบเวลา (VRP-TW) และแบบไม่มีกรอบเวลา (VRP และ TSP) และสามารถรองรับการจัดแผนการจัดส่งสินค้าที่มีจำนวนมากได้ ซึ่งจะช่วยให้การจัดแผนการขนส่งซึ่งเป็นปัญหาพื้นฐานในภาคอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งในด้านเวลาและค่าใช้จ่าย เพื่อช่วยลดต้นทุนของภาคเอกชนไทยในการจัดหาซอฟต์แวร์เพื่อเข้ามาช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทาง นั้น คณะผู้วิจัยและพัฒนาได้พัฒนาระบบโดยพัฒนาเป็นโปรแกรมแบบที่เป็น Web-based เพื่อความสะดวกในการใช้งานและติดตั้ง กำหนดภาษาจาวาเป็นภาษาสำหรับพัฒนา Web Application และ ใช้ภาษา C++ ในการพัฒนาส่วนการคำนวณการแบ่งกลุ่มจุดจัดส่ง (Clustering) เพื่อคงประสิทธิภาพการคำนวณที่มาจากการพัฒนาด้วยภาษา C++ ในขณะที่ใช้ฐานข้อมูล Open Source คือ PostgreSQL ซึ่งเพิ่มการติดตั้ง PostGIS เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูล Geo Data และ ใช้ Google Map API สำหรับการแสดงผล ใช้เทคโนโลยีคอมโพเนนต์ COM+ เพื่อทำให้ฟังก์ชันการจัด Cluster ถูกเปิดให้บริการเป็นเว็บเซอร์วิส นอกจากนั้น ผู้วิจัยยังได้กำหนดรูปแบบไฟล์ผลลัพธ์การจัด Cluster ที่สามารถเปิดแสดงบนแผนที่ด้วยโปรแกรม QGIS ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนค่าลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีราคาสูง

นอกจากนั้นผลลัพธ์จากโครงการวิจัยนี้ที่มีประโยชน์อีกอันหนึ่งคือ การรวบรวมข้อมูลทดสอบซึ่งได้เก็บรวบรวมจากภาคอุตสาหกรรมนำร่องมาจำนวนหนึ่ง และได้จัดเก็บลงในฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบแล้ว ผู้วิจัยได้สำรวจกระบวนการและปัญหาการจัดแผนขนส่งจากบริษัทเอกชนที่เข้าร่วมทดสอบทั้งสิ้น 3 บริษัทคือ ธุรกิจจำหน่ายเฟอร์นิเจอร์ที่มีบริการจัดส่งถึงบ้านลูกค้า ผู้ผลิตและจัดจำหน่ายน้ำมันเครื่อง และธุรกิจจำหน่ายกระเบื้องและวัสดุตกแต่งที่มีบริการส่งถึงบ้านลูกค้า พบว่า ความต้องการแบ่งจุดจัดส่งเป็น Cluster ส่วนใหญ่มาจากความต้องการกระจายโหนดการจัดส่งให้แก่ Planner หลายคนเท่าๆกัน หรือ การแบ่งภาระงานให้ผู้รับเหมาขนส่งในปริมาณเท่าๆกัน ซึ่งจากการทดสอบด้วยข้อมูลจริงพบว่า สามารถกระจายงานได้ตามที่ธุรกิจต้องการ ขณะที่ความต้องการกระจายการจัดส่งไปยังคลังสินค้าหลายคลังนั้น ยังไม่พบความต้องการจากภาคธุรกิจที่ได้สำรวจในโครงการนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่าแนวทางการทำ Cluster-First-Route-Second สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับภาคธุรกิจไทยในกรณีดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัญหาและอุปสรรคหลักในการดำเนินโครงการวิจัย เป็นเรื่องของ การเจรจาข้อตกลงด้านการใช้ประโยชน์จากโปรแกรมที่พัฒนาในโครงการวิจัย ทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงบริษัทเอกชนที่ร่วมมือในโครงการวิจัย รวมทั้งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการจัดแผนขนส่งด้วย Planner เทียบกับการจัดด้วยโปรแกรมใช้เวลานานและต้องอาศัย Planner ซึ่งมีความกังวลว่าหากประสิทธิภาพของโปรแกรมจัดแผนอัตโนมัติมีประสิทธิภาพสูงกว่า Planner อาจจะได้รับผลกระทบทำให้ไม่คอยให้ความร่วมมือในการทดสอบ

บทคัดย่อ

ในประเทศไทยนั้น แม้จะมีงานวิจัยด้านการบริหารจัดการรถบรรทุกอยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็พบว่าในทางปฏิบัติผู้ประกอบการยังไม่ได้นำงานวิจัยเหล่านั้นไปใช้จริง เนื่องจากข้อจำกัดของงานวิจัยที่ไม่ได้ถูกออกแบบเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เช่น ไม่ได้พัฒนาให้อยู่ในรูปของซอฟต์แวร์พร้อมใช้งาน นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในต่างประเทศเช่น ArcLogistics ก็ไม่สามารถตอบสนองการใช้งานตามข้อจำกัดของประเทศไทยได้ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า ที่สามารถตอบสนองการใช้งานของผู้ประกอบการในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ สามารถรองรับปริมาณจำนวนใบสั่งสินค้ามากขึ้น และรองรับเงื่อนไขการจัดส่งของธุรกิจไทยที่มีความแตกต่างและเฉพาะตัวของแต่ละธุรกิจ อันจะส่งผลต่อการยกระดับความสามารถของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของไทยในการแข่งขันกับผู้ประกอบการต่างชาติ จากการเปิดเสรีธุรกิจบริการโลจิสติกส์ในอนาคต

ในงานวิจัยต่างประเทศ ได้มีเสนอให้เพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนการจัดส่งสินค้าโดยทำการแบ่งกลุ่มจุดจัดส่งก่อนเพื่อแยกให้เป็นปัญหาขนาดเล็กลงก่อนนำมาคำนวณจัดเส้นทางขนส่ง (Cluster-First-Route-Second) ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการ Cluster แบบต่างๆ : K-Means, Spectral, Multi-Level KL และทดสอบกับข้อมูลการจัดส่งสินค้าของธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์ และน้ำมันเครื่องของไทย ภายใต้เงื่อนไขจริงของธุรกิจ พบว่าวิธีการ Multi-Level KL มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับภาคธุรกิจไทย ทำให้โปรแกรมสามารถรองรับจำนวนใบสั่งสินค้ามากกว่า 2,000 รายการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้ศึกษาการนำวิธีการ Urgency Assignment มาใช้ในการกำหนดคลังสินค้าที่เหมาะสมให้แก่จุดจัดส่งในกรณีมีหลายคลังสินค้า การกำหนดคลังสินค้าที่เหมาะสมเป็นการลดต้นทุนค่าขนส่งของภาคธุรกิจได้

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยแบ่ง Cluster ของจุดจัดส่งตามผลการศึกษาที่ได้สรุปวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแบ่งกลุ่มจุดจัดส่ง โดยได้จัดทำในรูปแบบไลบรารีภาษา C++ และเปิดให้บริการเป็นเว็บไซต์เพื่อให้โปรแกรมอื่นสามารถเรียกใช้งานการแบ่งกลุ่มจุดจัดส่งได้ ผู้วิจัยได้สำรวจกระบวนการและปัญหาการจัดแผนขนส่งจากบริษัทเอกชนที่เข้าร่วมทดสอบทั้งสิ้น 3 บริษัทคือ ธุรกิจจำหน่ายเฟอร์นิเจอร์ที่มีบริการจัดส่งถึงบ้านลูกค้า ผู้ผลิตและจัดจำหน่ายน้ำมันเครื่อง และธุรกิจจำหน่ายกระเบื้องและวัสดุตกแต่งที่มีบริการส่งถึงบ้านลูกค้า พบว่า ความต้องการแบ่งจุดจัดส่งเป็น Cluster ส่วนใหญ่มาจากความต้องการกระจายโหนดการจัดส่งให้แก่ Planner หลายคนเท่าๆกัน หรือ การแบ่งภาระงานให้ผู้รับเหมาขนส่งในปริมาณเท่าๆกัน ซึ่งจากการทดสอบด้วยข้อมูลจริงพบว่า สามารถกระจายงานได้ตามที่ธุรกิจต้องการ ขณะที่ความต้องการกระจายการจัดส่งไปยังคลังสินค้าหลายคลังนั้น ยังไม่พบความต้องการจากภาคธุรกิจที่ได้สำรวจในโครงการนี้

Abstract

In Thailand, despite a number of researches on truck management exist, it was found that in practice, the operators have not adopted them. One of the causes is that the research was not delivered in the form of software ready to use in practice. Moreover, the software from abroad like ArcLogistics cannot meet the constraints used by Thai transportation business. We have recognized the need to develop a software able to respond to the use of the operators in the country that is able to efficiently handle the increasing volume of delivery orders and support the various delivery constraints unique in each business. This software will contribute to enhance the ability of the transportation operator of Thailand to compete with foreign operators.

In this research project, we proposed to enhance efficiency of delivery planning by clustering delivery orders before planning. By this way namely Cluster-First-Route-Second, problem of planning a lot of delivery orders, which normally takes time to solve, will be divided into smaller problems with less delivery orders which make route planning much easier. We conducted a study comparing different clustering algorithms: K-Means, Spectral, Multi-Level KL and tested with real data of the daily delivery orders and route planning conditions from a furniture shipping company and a lubricant carrier. We found that Multi-Level KL method is suitable to be used in Thai business sector. It allows the application to accommodate more than 2,000 delivery orders efficiently. Moreover, we also studied the application of urgency assignment method to determine the appropriate distribution center where each delivery order should be loaded, in case business has several distribution centers. Determining the appropriate distribution center where delivery order should be loaded reduces transportation costs for business.

Finally, we developed a program to help clustering delivery orders according to the results of conducted study. The library was developed with C++ programming language and provided as Web services so that other applications can use for clustering delivery orders. We explored the processes and problems of planning delivery orders from three pilot companies, Index Living Mall Co.,Ltd. which sells furniture and delivers to customers' homes, an anonymous lubricant manufacturer and supplier and Boonthavorn Ceramic Co.,Ltd. which sells tiles and decorative materials that are delivered to customers' homes. In three industries, we found a need of clustering delivery orders for balancing load between planners or sharing equal load between transport subcontractors. As the test results show, it

was found that our clustering methods can distribute load according to the business needs. While load distribution between multiple distribution centers is not identified as needed for three pilot companies in this project.

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

การจัดเส้นทางรถเพื่อขนส่งสินค้า ถือเป็นเรื่องสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนการขนส่งสินค้าของประเทศไทยมีต้นทุนที่สูงและพึ่งพาการขนส่งทางถนนเป็นหลัก การจัดการแผนการขนส่งสินค้าทางรถได้มีประสิทธิภาพนำไปสู่การลดต้นทุนและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการด้วย ดังที่ทราบกันดีว่าปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า หรือ ปัญหา Vehicle Routing Problem เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนแบบ NP-Hard¹⁾ (Non Deterministic Polynomial-Time Hard) ซึ่งหมายถึง การหาแนวทางในการแก้ปัญหาแบบ Solution ที่ดีที่สุดต้องหาด้วยวิธีการ Non Deterministic คือใช้ Heuristics ในการหา หากจะทำการหา Exact Solution วิธีการแก้ไขเวลาในสเกลเวลา ระดับ Polynomial คือความซับซ้อนไม่สามารถนำไปใช้กับขนาดของปัญหาที่ใหญ่ได้ เนื่องจากเวลาที่จะใช้ในการแก้ปัญหาเมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น²⁾ เช่น จำนวนรถที่จะ Plan มีมากขึ้น หรือ จำนวนโกดังสินค้าที่ขนถ่ายสินค้ามีจำนวนมากขึ้น หรือมีเงื่อนไขในการจัดเส้นทางรถขนส่งมีมากขึ้น ก็จะไม่สามารถแก้ได้ในเวลาที่ยอมรับได้ เนื่องจากเวลาที่ใช้จะเพิ่มแบบยกกำลัง Polynomial ดังนั้นในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนเช่นนี้ จำเป็นต้องใช้การแยกปัญหาออกเป็นขนาดที่เล็กลง แล้วหา Solution ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็กลง เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพในระดับ Local คือ ยังไม่เป็นวิธีการที่ดีที่สุด (Local Optimal Solution) แล้วจึงนำแนวทางการสลับมาพิจารณาสลับบางส่วนของ Local Optimal Solutions ที่หาได้ เพื่อหา Solutions ที่ดียิ่งขึ้น

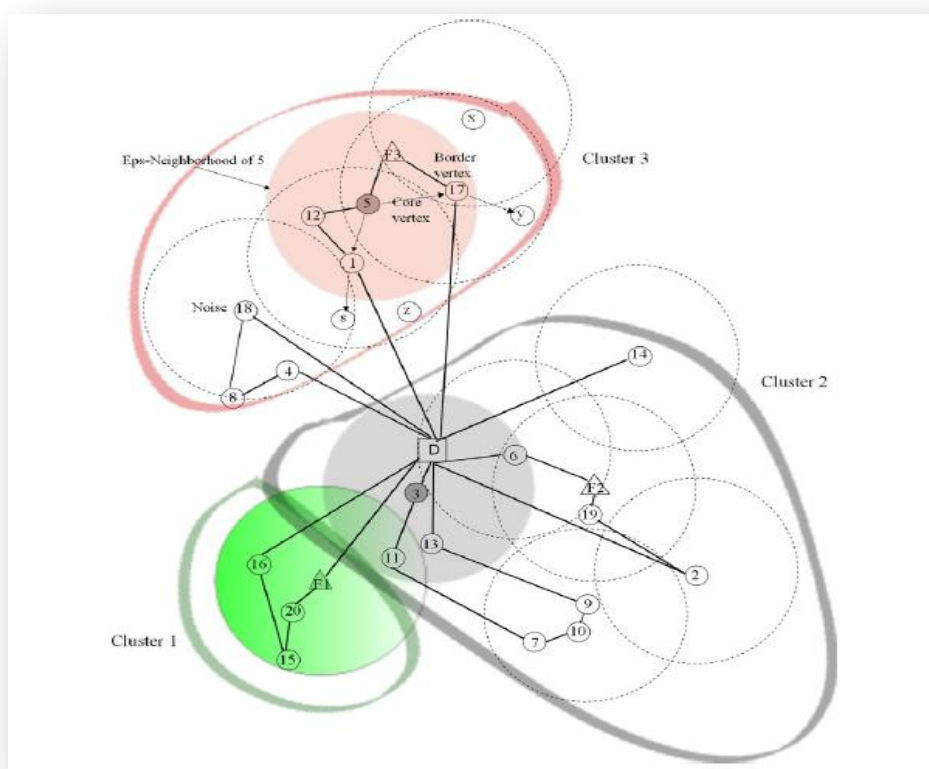
แนวทางในการแบ่งปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ Distribution Center หรือ ศูนย์กระจายสินค้าเป็นตัวแบ่งจุดส่งสินค้าออกเป็นกลุ่ม โดยกำหนดให้ศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดเริ่มต้นของการวิ่งรถขนส่งเพื่อกระจายสินค้า หรือ อาจจะใช้ปัจจัยเรื่องระยะทาง หรือ กรอบเวลานัดหมายจัดส่งสินค้า (Time Window) เป็นตัวช่วยในการจัดกลุ่มของจุดส่งสินค้าให้เป็นโซนของการวิ่งรถขนส่ง โดยจุดส่งสินค้าที่อยู่ในโซนเดียวกันเป็นจุดที่สามารถวิ่งรถคันเดียวกันเพื่อขนส่งสินค้าด้วยกันได้ในเส้นทางเดียวกันได้ แนวทางการแบ่งปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งออกเป็นกลุ่มนั้นจะมีลักษณะของปัญหาที่เหมือนกับปัญหาที่เรียกว่า การทำ Clustering ดังนั้นในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีจุดจัดส่งสินค้าจำนวนมากนั้น การทำ Clustering จึงถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการจัดเส้นทางขนส่ง เนื่องจากจะเป็นขั้นตอนที่ช่วยแยกปัญหาออกเป็นขนาดที่เล็กลง ซึ่งจะช่วยให้การจัดเส้นทางขนส่งมีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังนั้นควรให้ความสำคัญและทำอย่างมีประสิทธิภาพ

แม้ว่าจะได้มีนักวิจัยได้ทำการศึกษา วิจัย และ นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา Clustering ไว้ โดยวิธีการที่เป็นที่รู้จัก เช่น วิธี K-Means, Fuzzy C-Means, Hierarchical Clustering และ Mixture of Gaussians³⁾ แต่การนำวิธีการแก้ปัญหา Clustering ที่มีการนำเสนอไว้มาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางรถขนส่งจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการจัดการกับจำนวนข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น เมื่อจำนวนจุดส่งสินค้ามีจำนวนมากขึ้น จำเป็นต้องมีการแบ่งจุดส่งสินค้าออกเป็นโซน วิธีการแก้ปัญหาใดเหมาะสม ใช้เวลา

คำนวณที่เร็ว และ วิธีการแก้ปัญหาใดใช้หน่วยความจำในการคำนวณน้อย หรือ ง่ายในการ Implement เป็นซอฟต์แวร์ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหา Clustering

1.2. วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหา Clustering อย่างน้อย 2 วิธีการ โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมในการนำมาใช้กับการจัด Cluster ของ Delivery Orders การจัดส่งสินค้าสำหรับการขนส่งด้วยรถ และ วิเคราะห์ขนาดของปัญหาที่วิธีการแก้ปัญหาสามารถแก้ได้ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลต้องอยู่ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม ง่ายในการ Implement เป็นซอฟต์แวร์
- 2) พัฒนาวิธีการจัด Cluster ของ Delivery Orders การจัดส่งสินค้าสำหรับการขนส่งด้วยรถ เป็นไลบรารีในภาษา C++ ที่เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุที่สามารถนำไปใช้พัฒนาซอฟต์แวร์การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มจัดส่งและการจัดเส้นทางรถสำหรับการขนส่งที่มีหลายศูนย์กระจายสินค้า



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการจัดกลุ่มจุดส่งสินค้า(Cluster) ตามโซนพื้นที่

บทที่ 2 ทบทวนทฤษฎี และ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

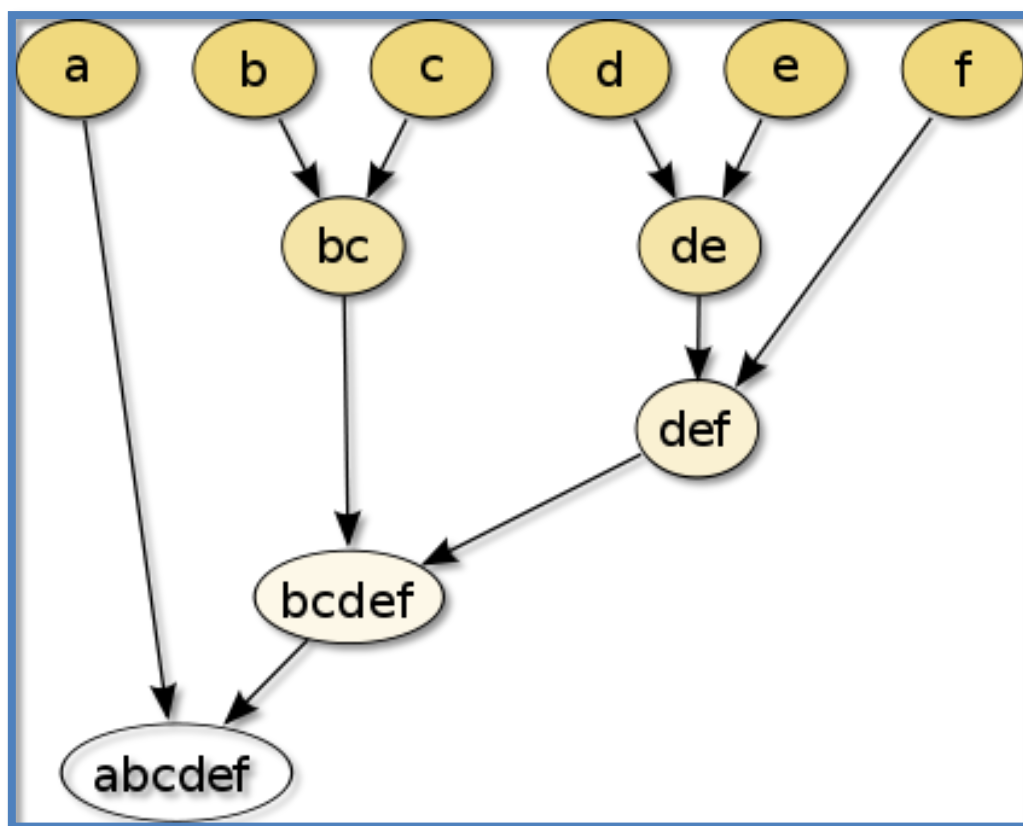
นิยามของปัญหา Clustering คือ การจัดกลุ่มของวัตถุที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันไว้เป็นกลุ่ม โดยวัตถุหรือ สมาชิกที่อยู่ต่าง Cluster กัน ก็มีความแตกต่างกันไป โดยการวัดค่าความแตกต่างกันเพื่อใช้ในการแยกสมาชิก หรือ จัดกลุ่มสมาชิกของ Cluster นั้นจะใช้การวัดค่า Distance หรือ วัดด้วยความเหมือนกันในเชิง Concept การแบ่งแยก Cluster จึงมี 2 วิธีการคือ Distance-based Clustering และ Descriptive Conceptual Clustering ซึ่งวิธีทั้งสองสามารถนำมาใช้ในการจัดกลุ่ม Cluster ในงานหลายประเภท เช่น ในงานด้าน Marketing สามารถนำพฤติกรรมหรือการซื้อของลูกค้ามาใช้ในการจัดกลุ่มลูกค้า หรือ การจัดกลุ่มสิ่งมีชีวิตจากคุณลักษณะของสิ่งมีชีวิต หรือ การจัดกลุ่มหมวดหมู่เอกสารประเภทหน้าเว็บ เป็นต้น ในการกำหนดฟังก์ชันที่ใช้ในการวัดค่า Distance หรือ ฟังก์ชันการวัดค่าความเหมือนเชิง Concept ระหว่างข้อมูล 2 ชุด จึงแตกต่างกันไปตามปัญหา เช่น ในกรณีของการจัด Cluster ของสถานที่ การวัดค่า Distance อาจใช้การคำนวณค่า Euclidean Distance ได้ แต่หากการจัดกลุ่มสถานที่ไม่ได้ใช้เฉพาะเงื่อนไขระยะทางว่าจุดที่อยู่ใน Cluster เดียวกันต้องมีระยะทางใกล้กันเท่านั้น แต่ต้องอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันที่รถสามารถวิ่งไปได้ อย่างนี้เป็นต้น การกำหนดฟังก์ชันคำนวณ Distance ก็จะมีค่าซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ยิ่งจำนวนเงื่อนไขที่ใช้ในการกำหนดค่าความแตกต่างระหว่างสมาชิกของ Cluster มีมากขึ้นแล้ว การกำหนดสมการในการคำนวณค่า Distance หรือ Conceptual Similarity ก็ยิ่งยากขึ้นเท่านั้น จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในปัญหาที่ต้องการ Cluster ยกตัวอย่าง เช่น ในการจัดกลุ่ม Cluster ของจุดส่งสินค้าเพื่อจัดโซนออกเป็นโซนย่อยให้สามารถจัดเส้นทางขนส่งรถสินค้าได้ง่ายขึ้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งด้วยรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem) จึงจะสามารถกำหนดฟังก์ชันการคำนวณ Distance หรือ Conceptual Similarity เพื่อจัด Cluster ได้อย่างเหมาะสม ตัวอย่างการจัด Cluster จุดส่งสินค้าดัง รูปที่ 2.1

ปัญหา Clustering ในปัจจุบันแยกเป็นประเภทได้ดังนี้คือ 1) Exclusive Clustering 2) Overlapping Clustering (การจัดกลุ่มจุดส่งที่มีจุดส่งซ้ำซ้อนในหลายกลุ่ม) 3) Hierarchical Clustering และ 4) Probabilistic Clustering ซึ่งการจัด Clustering ในงานการจัดเส้นทางขนส่งรถสินค้า จะตกอยู่ในกลุ่มการจัด Cluster ประเภท Exclusive Clustering คือแยกเป็น Cluster ที่ไม่มีสมาชิกที่อยู่ใน Cluster มากกว่า 1 Cluster

เทคนิคที่ใช้ในการจัดกลุ่มมีอยู่สองเทคนิคหลักคือ

- **การจัดกลุ่มแบบมีลำดับขั้น (Hierarchical Clustering)**

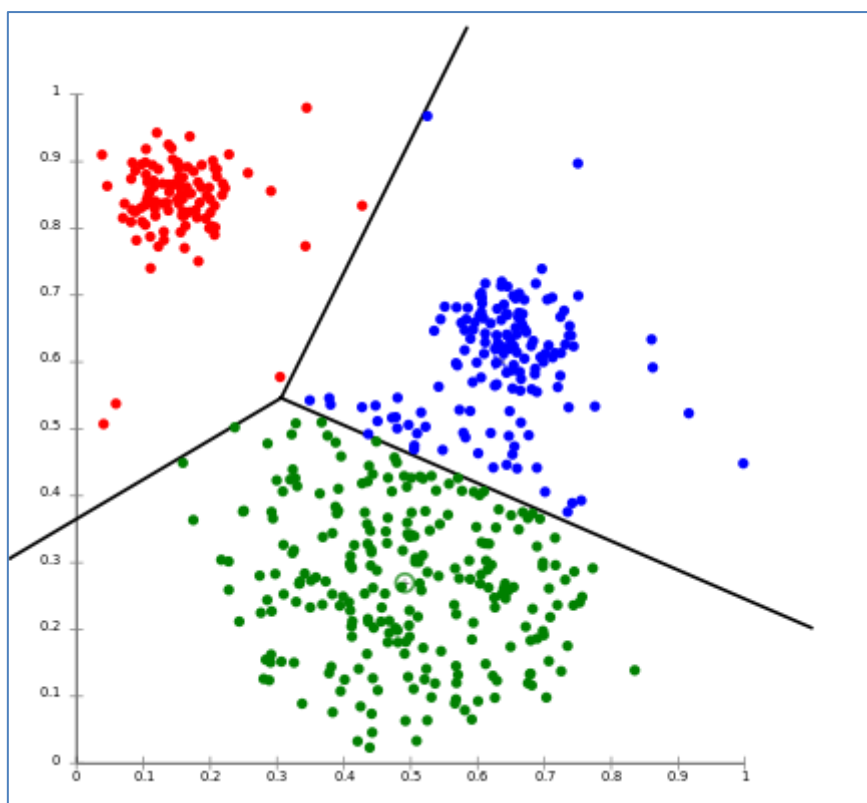
พิจารณาระยะห่าง (Distance) ระหว่าง Object เป็นหลักในการจำแนกกลุ่ม ซึ่งจะใช้แสดงถึงความคล้ายคลึง หรือ แตกต่างระหว่าง Object วิธีการวัดระยะห่างที่ง่ายที่สุดก็คือการใช้ Euclidean Distance ซึ่งคำนวณจากรากที่สองของผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างแต่ละตัวแปร การจัดกลุ่มแบบมีลำดับขั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทย่อยคือ การจัดกลุ่มโดยการทยอยรวมกลุ่มย่อยจนครบทั้งหมด (Agglomerative) หรือการตัดแบ่งกลุ่มใหญ่เป็นกลุ่มย่อย (Divisive) ดังแสดงใน รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มแบบมีลำดับชั้น

- **การจัดกลุ่มแบบเน้นจุดศูนย์กลาง (Centroid-based Clustering)**

เป็นการจัดกลุ่มจุดส่งแบบที่ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการก่อน เช่น ต้องการแบ่งกลุ่มเป็นจำนวน k กลุ่ม วิธีการหาคำตอบที่เป็นที่นิยมที่สุดคือวิธี K-Means Clustering ซึ่งจะเริ่มต้นจากการสุ่มกำหนดจุด Centroid ของแต่ละกลุ่มเพื่อจัดสรร Object ให้กับกลุ่มที่อยู่ใกล้ที่สุด เมื่อจัดสรรจนครบทุก Object แล้ว จึงทำการคำนวณจุด Centroid ของกลุ่มใหม่ วนซ้ำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่มี การโยก Object ข้ามระหว่างกลุ่ม ข้อดีของวิธีนี้คือความเร็วในการแก้ปัญหา แต่มีข้อด้อยหลักคือ ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการก่อน และมักจะได้คำตอบที่มีขนาดของพื้นที่กลุ่มใกล้เคียงกัน แต่ อาจจะมีการตัดแบ่งกลุ่มที่ไม่เหมาะสมกับการจัดสรรภาระงานระหว่างกลุ่มดังแสดงตัวอย่างใน รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มด้วยวิธี K-Means

- **วิธีการแบ่งกราฟ (Graph Partitioning)**

วิธีการแบ่งกราฟ หรือ Graph Partitioning ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดกลุ่ม โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า Object แต่ละตัวคือ Vertex หรือ Node ในกราฟ และระยะห่างระหว่างจุดแสดงด้วยลูกศร (Edge) ดังนั้นการแบ่งกลุ่มก็คือการตัดกราฟออกเป็นส่วนย่อย (Partition) ที่มีจำนวนจุดในแต่ละกลุ่มใกล้เคียงกัน โดยทำให้ Edge ระหว่างกลุ่มมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด เทคนิคดังกล่าวได้ถูกประยุกต์ใช้ในการทำ Parallel Computing อย่างแพร่หลาย แต่ในงานวิจัยครั้งนี้เราจะนำมาประยุกต์ใช้กับการแบ่งกลุ่มจุดส่งของการขนส่งสินค้า อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหา Graph Partitioning เป็นปัญหาแบบ NP-Hard จึงจำเป็นต้องอาศัยการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์ ร่วมด้วย ซึ่งประกอบไปด้วยการแก้ปัญหาแบบ Global (คือการหาวิธีการแก้ปัญหาแบบที่ดีที่สุด) และแบบ Local (คือการหาวิธีการแก้ปัญหาแบบที่มีประสิทธิภาพระดับ local ยังไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุด)

- **Spectral Clustering**

เป็นหนึ่งในเทคนิคฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา Graph Partitioning แบบ Global ซึ่งเป็นที่นิยมมาก⁷⁾ จุดเด่นของ Spectral Clustering คือความง่ายในการประยุกต์ใช้งาน แต่ให้คำตอบที่มีคุณภาพสูงกว่าวิธี K-Means

สมการเป้าหมายในการแบ่งกลุ่มเป็น Cluster

เป้าหมายในการแบ่งกลุ่มอาจกำหนดได้ 2 ลักษณะคือ

- 1) Ratio Cut คือการตั้งเป้าให้ทุกกลุ่มมีจำนวนหรือน้ำหนักรวมของจุดส่งใกล้เคียงกัน

$$\min \text{Ratiocut}(A_i, \dots, A_k) = \frac{\text{cut}(A_i, \overline{A_i})}{|A_i|} \quad (1)$$

- 2) Min-Max Cut คือการแบ่งกลุ่มที่ทำให้ค่า Similarity ในแต่ละกลุ่มสูงสุด โดยค่า Similarity ระหว่างกลุ่มมีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการ (2) และ (3)

$$\min S(A, B) = \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} w_{ij} \quad (2)$$

$$\max S(A, A) = \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} w_{ij} \quad (3)$$

โดยที่

S = ค่าความคล้ายคลึง (Similarity) ของการจัดกลุ่มจุดส่ง

w_{ij} = น้ำหนักระหว่างจุดส่ง i กับ j ซึ่งอาจวัดจากระยะทาง หรือ ระยะเวลาในการเดินทาง

A, B = กลุ่มจุดส่งที่ถูกแยกออกจากกัน

วิธีการแก้ปัญหา Graph Partitioning

- **Spectral Method**

การแก้ปัญหาด้วยวิธี Spectral จำเป็นต้องอาศัยการคำนวณค่า Spectrum หรือ Eigenvalue ของค่าความเหมือนของจุด เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่ม ในการคำนวณค่า Eigenvalue นั้นหากเราจำกัดจำนวน Edge ในกราฟโดยการใช้ K-Nearest Neighbor ก็จะทำให้ Matrix ที่จะแบ่งกลุ่มถูกคำนวณเป็น Sparse Matrix เทคนิคที่นิยมใช้ในการหา Eigenvalues ของเมทริกซ์ลักษณะนี้คือ Lanczos Algorithm⁸⁾ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ถูกดัดแปลงมาจากวิธี Power Method ค่า Cut size (J) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$J = \frac{1}{4} \sum_{i,j} w_{ij} [q_i - q_j]^2 \quad (4)$$

โดยที่

$q_i = 1$ ถ้า i อยู่ในกลุ่ม Cluster A หรือ -1 หากถูกจัดอยู่ใน Cluster B และ w_{ij} เป็นค่าน้ำหนักที่แทนระยะทาง หรือ เวลาที่ใช้ระหว่างจุดส่ง i, j

เมื่อแสดงสมการข้างต้นในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i,j} q^T (D - W) q \quad (5)$$

Min Cut, $J(q)$ สามารถหาได้จาก Eigen Vector ต่อไปนี้ โดย λ เป็นค่า Eigenvalue

$$(D - W)q = \lambda q \quad (6)$$

- Kernighan-Lin Algorithm⁹⁾

เป็น Heuristic Algorithm ที่ใช้ในการทำ Local Search สำหรับการจัดกลุ่ม โดยมีสมการเป้าหมายคือการทำให้ Edges ภายในกลุ่มมีน้ำหนักมากที่สุดและ Edges ระหว่างกลุ่มมีน้ำหนักน้อยที่สุด เนื่องจากอัลกอริทึมนี้ทำงานแบบ Greedy ทำให้มักประสบปัญหาการติดอยู่ใน Local Optimum จึงไม่เหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และจะใช้งานร่วมกับอัลกอริทึมอื่นที่ช่วยหาคำตอบเริ่มต้นที่ดี

- Multi-Level KL Algorithm

เป็นอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนาโดยผนวกเอาวิธีการแก้ปัญหาทั้งแบบ Global และ Local เข้าด้วยกัน ซึ่งจะเหมาะกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ แนวคิดในการทำงานของวิธีนี้คือการทำให้กราฟที่เป็นปัญหาเริ่มต้นมีขนาดเล็กลงโดยการประมาณ (Coarsening) จนกระทั่งถึงระดับที่เล็กที่สุด (Smallest Graph) ซึ่งจะถูกแบ่งกลุ่มด้วยวิธี Spectral แล้วจึงขยายผลกลับไปยังกราฟในระดับที่ละเอียดกว่า (Un-coarsening) ในระหว่างการขยายผลจะมีการแก้ปัญหาด้วยวิธี Kernighan-Lin เพื่อปรับปรุงให้คำตอบมีคุณภาพสูงขึ้น (Refining) กระบวนการสร้างกราฟที่มีขนาดเล็กกว่าปัญหาเริ่มต้นนั้น จะอาศัยการจับคู่เพื่อลดจำนวน Edge และ Vertex ของปัญหาลง ซึ่งโดยทั่วไปจะลดลงได้ประมาณครึ่งหนึ่งของปัญหาเริ่มต้น ผลลัพธ์ที่ได้จาก Multi-level KL จะได้คำตอบที่มีคุณภาพสูงกว่าวิธี Spectral และแก้ปัญหาได้รวดเร็วกว่า¹¹⁾

การจัดกลุ่มจุดส่งสำหรับกรณีมีหลายคลังสินค้า (Multi-Depot) โดยใช้วิธี Urgency Assignment¹²⁾

การจัดกลุ่มจุดส่งโดยวิธีนี้ จะเหมาะกับกรณีที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง โดยจะพิจารณาจัดกลุ่มจากระยะทางระหว่างจุดส่งไปยังคลังสินค้าแต่ละแห่ง แล้วจึงคำนวณผลต่างระหว่างระยะห่างจากจุดส่งไปยังคลังที่ใกล้ที่สุดกับคลังอื่นๆ เพื่อแสดง Urgency Index (U_i) ของจุดส่งนั้น ดังแสดงในสมการ (7)

$$U_i = \sum_{j=1}^n (D_{ij} - D_{ij}^*) \quad (7)$$

โดยที่

n = จำนวนคลังสินค้า

j^* = คลังที่ใกล้ที่สุดของจุดส่งที่ i

เมื่อทำการคำนวณค่า U_i ของทุกจุดส่งแล้ว จึงทำการจัดสรรจุดส่งให้กับแต่ละคลัง ทั้งนี้จุดส่งจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มดังนี้

- โหนดที่สามารถจัดกลุ่มให้อยู่กับ DC หรือ คลังสินค้าได้อย่างชัดเจน (Core DC Node) โดยพิจารณาจาก DC ที่ใกล้กับ Node นั้นๆ โดยพิจารณาจากค่า U_i ที่มาก่อน
- โหนดที่สามารถจัดอยู่กับ DC ได้หลายแห่ง เรียกว่า Border-line Node เป็น Node ที่มีระยะห่างจาก DC หลายแห่งใกล้เคียงกันจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มนี้ โดยผู้วิเคราะห์อาจกำหนดค่า Threshold ของค่า U_i ที่จะใช้ในการแบ่งกลุ่ม เช่นระยะที่แตกต่างกันไม่เกิน 5 กิโลเมตร เป็นต้น

ในปัจจุบันเทคนิคที่เป็นที่นิยมสำหรับการทำ Exclusive Clustering คือ K-Means⁴⁾ อย่างไรก็ตามการ Implement วิธีการ K-Means Clustering ด้วยวิธีการตามที่ Lloyd⁴⁾ ได้เสนอไว้จะมีปัญหา 2 ประเด็นคือ วิธีการเดิมใช้ได้กับข้อมูลประเภท Scalar และ ความสามารถในการคำนวณจะจำกัด ไม่สามารถทำได้สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนั้นวิธีการ K-Means Clustering เหมาะสำหรับกรณีที่ทราบจำนวน Clusters ที่ต้องการแบ่ง แต่หากไม่ทราบจำนวน Cluster ที่ต้องการแบ่ง แต่เน้นการหา Objects ที่มีความคล้ายคลึงกันเพื่อรวมเป็น Cluster แล้วค่อยรวม Clusters เป็นลำดับชั้นจากระดับล่างขึ้นบน หรือเป็นแบบ Bottom-Up นั้น วิธีการทำ Clustering แบบที่เรียกว่า Agglomerative Hierarchical Clustering มีความเหมาะสมมากกว่า

จากงานวิจัย⁶⁾ ได้ระบุว่าการแก้ปัญหา Vehicle Routing Planning หรือ ปัญหาการจัดส่งสินค้าโดยทั่วไป หากแยกการแก้ปัญหาเป็น 2 เฟสคือการแบ่งจุดส่งออกเป็นกลุ่ม แล้ว ค่อยจัดเส้นทางจัดส่งของจุดส่งในแต่ละคลัสเตอร์ หรือ ที่เรียกว่าวิธีการ Cluster-First/Route-Second (CFRS) จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากผลการทดลองในงานวิจัย¹³⁾ ได้ยืนยันว่า การแยกการแก้ปัญหาเป็น 2 เฟสคือ Cluster-First/Route-Second (CFRS) ทำให้สามารถแก้ปัญหา VRP ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการสำรวจเทคนิคการทำ Clustering ในงานวิจัย³⁾ สามารถแยกเทคนิคการทำ Clustering ออกเป็นเทคนิคหลักได้ดังนี้

- a) Distance and Similarity Measures
- b) Hierarchical แบบ Agglomerative หรือ Divisive
- c) Squared Error-Based (Vector Quantization) ได้แก่ K-Means
- d) Estimation via Mixture Densities ได้แก่ Gaussian Mixture Density Decomposition (GMDD)
- e) Graph Theory-Based
- f) Combinatorial Search Techniques-Based
- g) Fuzzy ได้แก่วิธี Fuzzy C-Means

หากพิจารณาจากเวลาในการประมวลผล และ การใช้ Memory ดีที่สุด เทคนิคที่ดีที่สุดคือ K-Means ในขณะที่วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดในกลุ่ม C คือ Squared Error-Based (Vector Quantization) อย่างไรก็ตามวิธีการ Cluster แบบ Hierarchical เป็นวิธีการที่เข้าใจง่ายจากการกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการ Merge จุดต่างๆเป็น Cluster ตามวิธีการที่งานวิจัย⁵⁾ ได้นำเสนอ ในกรณีที่ขนาดปัญหาใหญ่มาก วิธีการ Clustering ในกลุ่ม G วิธีที่ดีที่สุดคือ การใช้ Fuzzy ซึ่งให้ผลที่ดีเทียบกับเวลาการประมวลผลที่ใช้น้อย ดังนั้น

ในโครงการวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับปัญหาการจัด Cluster ของจุดส่งสินค้าสำหรับประเทศไทย

บทที่ 3 แนวทางและวิธีการพัฒนา

แนวทางและขั้นตอนการวิจัยและพัฒนาโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำความเข้าใจปัจจัยที่ใช้ในการจัดกลุ่มจุดขนส่ง แล้วนำปัจจัยที่สำรวจ มาใช้เป็น Stop Criteria ในการจัด Cluster ซึ่ง อาศัยการทำความเข้าใจกับผู้เชี่ยวชาญและผู้ประกอบการการจัดรถขนส่งสินค้า ผู้เชี่ยวชาญคือ รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช ปัจจัยที่สำคัญในการจัด Cluster จุดส่งสินค้า คือ ระยะทางระหว่างจุดส่ง Time Windows ของจุดส่ง เงื่อนไขขนาดรถขนส่ง Capacity ของรถ เป็นต้น ด้วยวิธีการ Agglomerative Hierarchical Clustering ซึ่งเริ่มจากการพิจารณาทุกจุดส่งเป็น Cluster ย่อย แล้วพยายาม Merge Clusters ย่อยเป็น Cluster ใหญ่ขึ้นตามลำดับชั้น โดยใช้ปัจจัยต่างๆ (ใช้Weightในการ Merge) เป็นเงื่อนไขในการ Merge เช่น ระยะทางไม่ไกลกว่าระยะที่กำหนด ขั้นตอนที่ 2 นี้จะศึกษาจากวิธีการที่ดำเนินการในงานวิจัย⁵⁾

ขั้นตอนที่ 2 ทดลองดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ Clustering Algorithms: K-Means, Multi-level, Spectral ในมุมของการใช้ Memory และ CPU โดยการทดสอบการจัดกลุ่มจุดส่งจำนวนมาก แตกต่างกันไป ตั้งแต่ 100 200 1,000 2,000 จุดส่งและ ใช้ข้อมูลจริงจากอุตสาหกรรมที่ได้จาก บริษัทผู้ผลิตน้ำมันเครื่องที่สำคัญแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี เพื่อสรุปหาวิธีการจัด Cluster ที่จะนำไปพัฒนาเป็นไลบรารี และ โปรแกรมในลำดับถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบไลบรารีการจัด Cluster และ พัฒนาด้วยภาษา C++ ออกแบบโปรแกรม ส่วน GUI สำหรับนำเข้า และแสดงผลลัพธ์ โปรแกรมส่วนการจัด Cluster จุดส่งสินค้า และ ส่วนการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 4 พัฒนาโปรแกรมส่วนต่างๆพร้อมเปิดเป็นเว็บเซอร์วิสเพื่อนำไปใช้สร้างเป็น โปรแกรม VaRP ในการสร้างโปรแกรม VaRP ใน โครงการ “การพัฒนาระบบวางแผนเส้นทางการขนส่ง สำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีกรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์” ส่วนโครงการแผน จะทำการ เรียกใช้เว็บเซอร์วิสจากโปรแกรมทั้งส่วนการจัดกลุ่มจุดส่ง (Clustering) ในโครงการย่อยที่ 1 นี้ และ เรียกใช้ เว็บเซอร์วิสจากโปรแกรมส่วนการคำนวณเส้นทางการจัดส่ง (Routing) ในโครงการย่อยที่ 2 ซึ่งในกรณีที่ จำนวน Delivery Orders ที่ต้องวางแผนการจัดส่งมีจำนวนมาก ระบบวางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลาย ศูนย์กระจายสินค้าและมีกรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะเรียกใช้การจัดกลุ่มจุดส่งเพื่อแยก ออกเป็น Cluster เพื่อแยกปัญหาให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดแผน

นอกจากนั้น ทีมนักพัฒนาโปรแกรมได้พัฒนาโปรแกรมให้ Planner สามารถกำหนดเลือกวิธีการ หรือ อัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่ม Cluster โดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขโปรแกรม สามารถกำหนดเลือกได้ผ่านหน้าจอ โปรแกรม

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยทำการทดสอบกับกรณีการจัดกลุ่มจุดส่งเพื่อ กระจายภาระงานของ Planner จำนวน 6 คนของบริษัท อินเด็กซ์ ลิฟวิ่งมอลล์ จำกัด ซึ่งประกอบธุรกิจจัดส่ง เฟอร์นิเจอร์ถึงบ้าน และ ทดสอบการกระจายจุดส่งให้กับคลังสินค้าของบริษัทที่ประกอบธุรกิจจัดจำหน่าย น้ำมันเครื่อง ซึ่งต้องการคำนวณว่าลูกค้าเจ้าไหนควรโหลดสินค้าจากคลังสินค้าใดของบริษัท

บทที่ 4 ผลลัพธ์จากการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษากระบวนการทำงานการจัดรถขนส่ง และการจัด Cluster ลูกค้าจากภาคอุตสาหกรรม เพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่ใช้ในการจัดกลุ่มจุดขนส่ง

ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความจำเป็นในการจัด Cluster จุดส่ง (Drop / Customer) จากภาคอุตสาหกรรม โดยได้ทำการศึกษากระบวนการจัดรถขนส่งในธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์ ธุรกิจขนส่งประเภท Home Delivery ธุรกิจขนส่งแบบ Business to Business และธุรกิจขนส่งแบบ Multi Drops (ส่งสินค้าหลายจุดส่งในเที่ยวการส่ง 1 เที่ยว) โดยได้รับความร่วมมือจากบริษัท 2 แห่ง

ในโครงการวิจัยนี้ จะกำหนดขอบเขตการวิจัยเฉพาะการจัด Cluster สำหรับธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์ เป็นธุรกิจนำร่องเท่านั้น เนื่องจากได้รับการสนับสนุนข้อมูลทดสอบจากภาคอุตสาหกรรมดังกล่าว จากผลการสำรวจการจัด Cluster ในภาคอุตสาหกรรมธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์พบว่าเหตุผลความจำเป็นในการจัด Cluster ลูกค้า คือ

- จากการสำรวจบริษัทเฟอร์นิเจอร์แห่งหนึ่ง ซึ่งจะทำการส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าในเขตกรุงเทพ-ปริมณฑล พบว่าจุดส่งของลูกค้าจะมีลักษณะกระจายไปทั่ว (Dispersive) และ จุดส่งแต่ละวันไม่ซ้ำ ไม่แน่นอน (No Pattern) เปลี่ยนแปลงทุกวัน (Dynamic Orders) ในการจัดแผนของรถขนส่งสินค้า Multi Drops รถหนึ่งคันไปส่งได้หลายจุดส่ง นอกจากนั้นบริษัทจะมีการแยกโซนขนส่งสินค้าออกเป็น 2 โซนคือ โซนที่ใช้รถขนส่งออกผู้รับเหมา (Subcontractor Zone) และ โซนที่ใช้รถของบริษัท (In-house Zone) Delivery Orders ที่ได้รับรายวันก่อนถูกนำไปจัดแผน จะต้องถูกแบ่งออกตามโซนที่ระบุข้างต้น
- นอกจากนั้นในกรณีจำนวนจุดส่งในหนึ่งโซนมีจำนวนมากเกินกว่าที่จะดูแลด้วยพนักงาน Planner เพียงคนเดียว ทำให้มีความจำเป็นต้องแบ่งจุดส่งออกเป็นพื้นที่ย่อย (Zone) เพื่อให้ Planner หนึ่งคนสามารถควบคุม ดูแลงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น Delivery Orders ภายในโซนผู้รับเหมา หรือ ภายในโซนรถบริษัทจะถูกแบ่งให้เป็นโซนย่อยอีกครั้ง
- เงื่อนไขในการแบ่งโซนงานสำหรับผู้รับเหมาภายนอกที่ Planner ต้องนำมาพิจารณา คือ ภาระงานที่ให้แก่ผู้รับเหมาภายนอกแต่ละเจ้า หรือ แต่ละโซนต้องเท่าเทียมกัน เงื่อนไขดังกล่าวจะทำให้การแบ่งโซนหรือจัดกลุ่มจุดส่งให้แก่ผู้รับเหมารถขนส่งมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

ผลการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับการจัดกลุ่มจุดส่ง (Clustering)

ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจสภาพปัญหาของภาคอุตสาหกรรมเพื่อนำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมที่ตอบสนองความต้องการใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม ผลการสำรวจพบว่าสถานการณ์ที่จำเป็นต้องมีการจัดกลุ่มจุดส่งแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีดังนี้ (1a, 1b, 2)

- 1) กรณีที่มีคลังสินค้าแห่งเดียวแต่มีจุดส่งสินค้าจำนวนมาก (Large Single DC Problem)
 - a. การจัดกลุ่มส่งโดยพิจารณาจากการกระจายภาระงานอย่างเท่าเทียมและระยะห่างระหว่างจุดส่ง
 - b. การจัดกลุ่มส่งโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของจุดส่ง (K-Means Algorithm)

2) การจัดกลุ่มจุดส่งกรณีที่มีหลายคลังสินค้าโดยพิจารณาจากระยะทางจากคลังสินค้า ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์โปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาในแต่ละกรณี โดยอาศัยเทคนิคที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

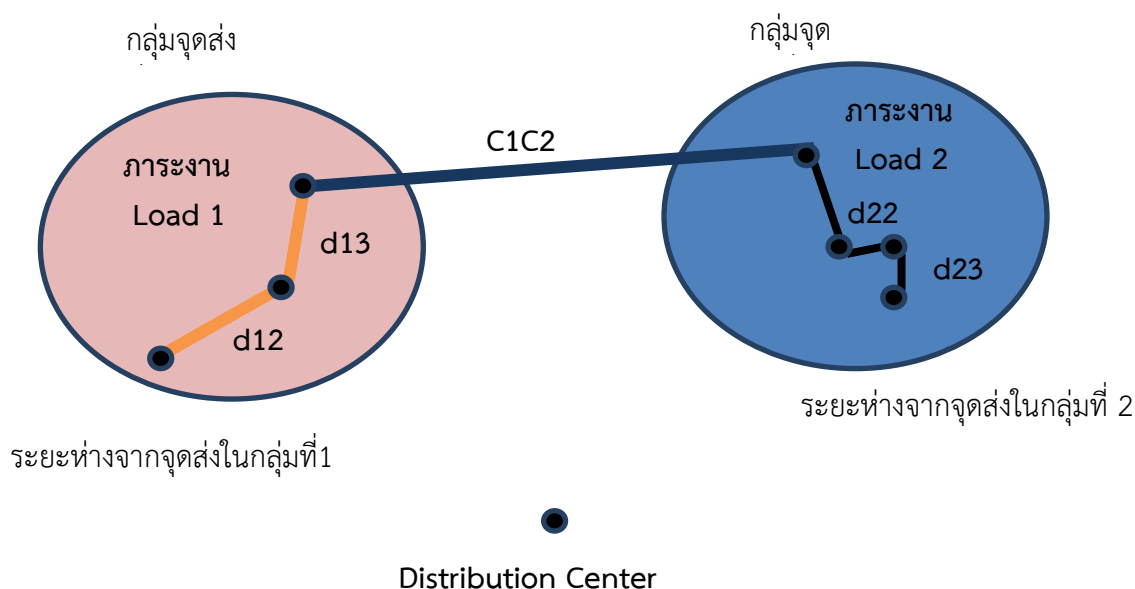
กรณีที่มีคลังสินค้าแห่งเดียวแต่มีจุดส่งสินค้าจำนวนมาก (Large Single DC Problem)

ในกรณีของการขนส่งที่มีคลังสินค้าแห่งเดียว ความจำเป็นของการจัดกลุ่มจุดส่งอาจเกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- จำนวนจุดส่งมีจำนวนมากเกินกว่าที่จะดูแลด้วยพนักงานเพียงคนเดียว ทำให้เกิดความจำเป็นต้องแบ่งงานออกเป็นพื้นที่ย่อย (Zone) เพื่อให้เหมาะสมกับการควบคุมโดยผู้ปฏิบัติการหนึ่งคน
- การแบ่งงานออกเป็นพื้นที่เพื่อทำการจัดสรรให้แก่ผู้รับเหมาภายนอก ซึ่งต้องพิจารณาทั้งในเชิงปริมาณและระยะทางในการขนส่ง

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมช่วยจัดกลุ่มจุดส่งด้วย Algorithm สองแบบคือ

- 1) การจัดกลุ่มส่งโดยพิจารณาจากการกระจายภาระงานและระยะห่างระหว่างจุดส่งอย่างเท่าเทียม โดยใช้ Multi-level KL Algorithm¹⁾ ซึ่งเป็นวิธีการในการทำ Graph Partitioning โดยอาศัยการจัดกลุ่มจุดส่งที่มีจำนวนน้อยกว่าปัญหาเริ่มต้น (Smaller Graph) แล้วจึงรวมกลุ่มเหล่านี้ทีละขั้นเพื่อให้กลับไปสู่ปัญหาดั้งเดิมโดยใช้วิธีของ Kernighan-Lin การจัดกลุ่มจุดส่งด้วยวิธีนี้จะได้กลุ่มที่มีภาระงานใกล้เคียงกัน และคำนึงถึงระยะห่างระหว่างจุดส่งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มด้วย จึงทำให้ได้กลุ่มจุดส่งที่เหมาะสมกับการทำงานจริงมาก



ในการคำนวณเพื่อจัดกลุ่มจุดส่งที่มีความคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่ม หรือ Cluster เดียวกันนั้น ด้วยวิธีประเภท Hierarchical Clustering เราจำเป็นต้องคำนวณค่า Similarity Index ของจุดส่ง โดยจุดส่งที่อยู่ใน Cluster เดียวกันคือ จุดส่งที่ค่า Similarity Index ใกล้เคียงกัน ในโครงการวิจัยนี้ เราได้กำหนดให้ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่า Similarity Index คำนวณจากค่าน้ำหนักสองส่วนคือ

น้ำหนักที่ผูกกับจุดส่ง (Node) ซึ่งจะช่วยให้การจัดกลุ่มจุดส่งมีการกระจายประมาณงานระหว่างกลุ่มอย่างสมดุล คำนวณจาก

- a) ปริมาณสินค้า เช่น น้ำหนักหรือปริมาตรของสินค้า
- b) เวลาที่ใช้ในการทำงาน (Service Time)
- c) ความยากง่ายของงาน เช่น งานที่ต้องใช้ทีมช่างเกรด A

น้ำหนักที่ผูกกับเส้นเชื่อม (Link) ระหว่างจุดส่ง 2 จุด ซึ่งคำนวณจาก

- a) ระยะทางระหว่างจุดส่ง (Distance)
- b) ระยะเวลาระหว่างจุดส่ง (Travel Time)
- c) Blacklist/Preference คือ จุดส่งที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ควรจะ Blacklist และ Preference บริษัทผู้รับเหมาขนส่งเดียวกัน หมายความว่า จุดส่งที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันควรสามารถใช้รถผู้รับเหมาเจ้าเดียวกัน หรือ ไม่ใช่ผู้รับเหมาเดียวกัน หากจุดส่งในกลุ่มเดียวกันมีบางจุดที่สามารถใช้รถของผู้รับเหมาเจ้าหนึ่ง แต่ผู้รับเหมาเจ้าเดียวกันกลับไม่สามารถขนส่งให้จุดส่งบางจุดใน Cluster เดียวกัน จะทำให้ขั้นตอนการจัดแผนขนส่ง ในช่วงการสมทพะเบียนรถขนส่งให้กับเที่ยวขนส่งทำได้ยาก

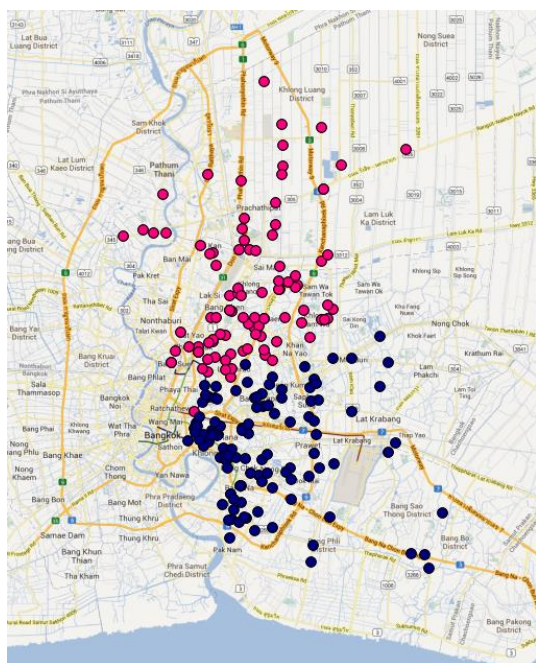
- 2) การจัดกลุ่มส่งโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของจุดส่ง ด้วยวิธี K-Means Algorithm²⁾ การจัดกลุ่มจุดส่งด้วยวิธีนี้จะพิจารณาจากพิกัดของจุดส่ง เพื่อให้ได้กลุ่มที่มีระยะห่างระหว่างแต่ละจุดส่งกับจุด Centroid ของกลุ่มน้อยที่สุด

4.2 ผลการทดลองดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ Clustering Algorithms กับข้อมูลจริงจากภาคอุตสาหกรรม

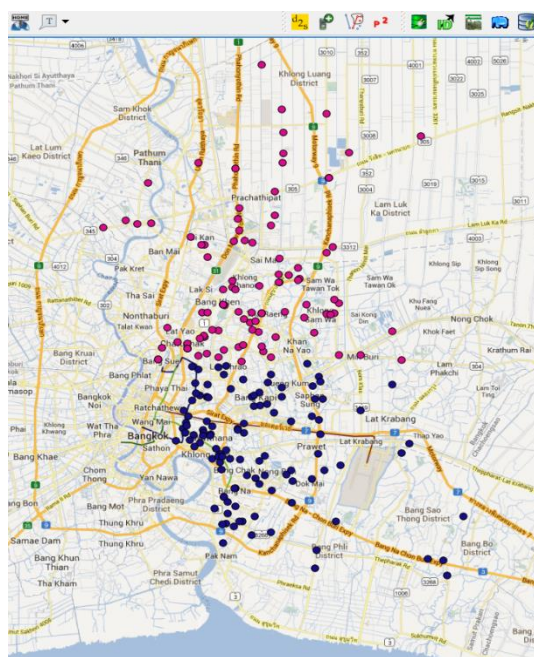
ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C และทดสอบการใช้งานกับกรณีศึกษาการขนส่งสินค้าของบริษัทเฟอร์นิเจอร์แห่งหนึ่ง ซึ่งมีจุดส่งจำนวนทั้งสิ้น 207 จุด ผลการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มด้วยวิธี Multi-level KL Algorithm ให้ผลการจัดกลุ่มที่สมดุลกว่าวิธี K-means ทั้งในแง่จำนวนจุด ปริมาตรสินค้าและระยะทางระหว่างจุดส่งกับคลัง ดังแสดงสรุปใน ตารางที่ 4.1และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบการแบ่งกลุ่มจุดส่ง กรณีที่มีคลังสินค้าแห่งเดียวแต่มีจุดส่งสินค้าจำนวนมาก

ค่าชี้วัด	วิธี Multi-level KL		วิธี K-means	
	Zone 1	Zone 2	Zone 1	Zone 2
จำนวนจุดส่ง	98	109	97	110
ปริมาณสินค้ารวม (ลิตร)	108,279	112,863	108,025	113,117
ระยะทางระหว่างจุดส่งกับคลังรวม (กิโลเมตร)	3962.5	3398.5	4007.3	3353.7



ก. วิธี Multi-level KL Algorithm



ข. วิธี K-means Algorithm

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการจัดกลุ่มจุดส่ง

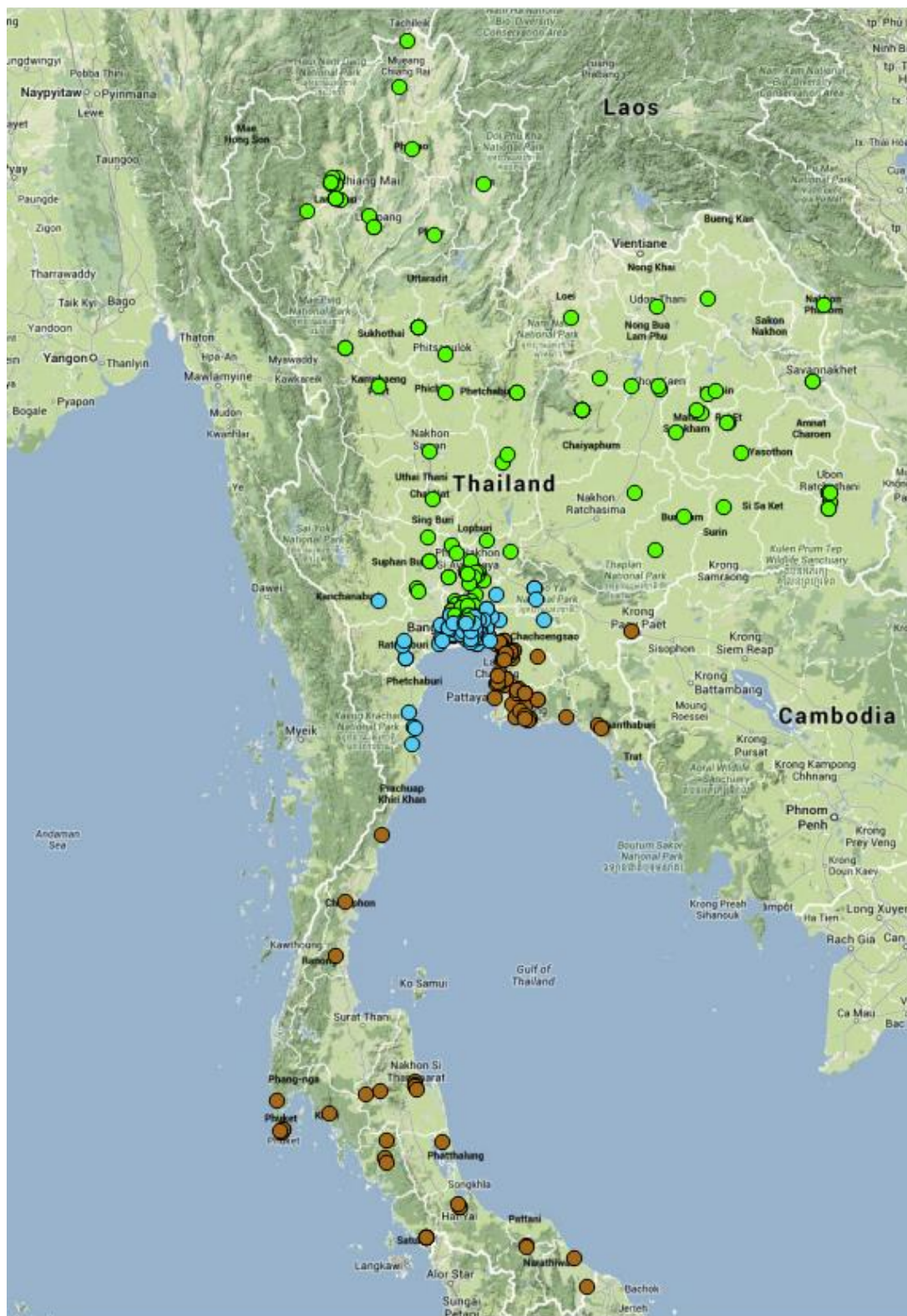
4.2.1 การจัดกลุ่มจุดส่งกรณีที่มีคลังสินค้าเดียว แต่มีพื้นที่จุดส่งครอบคลุมหลายจังหวัด

กรณีศึกษานี้เป็นการกระจายสินค้าจากคลังสินค้าที่อยู่ในจังหวัดชลบุรี โดยมีลูกค้าครอบคลุมทั่วประเทศ มีจำนวนรถขนส่งทั้งสิ้น 69 คัน พื้นที่จัดส่งที่กว้างทำให้เป็นอุปสรรคต่อการแบ่งภาระในการทำงานของผู้วางแผนและผู้รับผิดชอบติดตามการดำเนินการ

ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ข้อมูลของการขนส่งจริงของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา ในวันที่ 3 มีนาคม 2557 โดยมีการขนส่งจำนวนทั้งสิ้น 464 รายการ จุดส่งกระจายตัวดังแสดงใน รูปที่ 4.2

จากการสอบถามผู้ปฏิบัติงานพบว่าการวางแผน จะมีการแบ่งโซนย่อยเพื่อช่วยให้ทำงานได้ง่าย ผู้วิจัยจึงได้ทดลองจัดกลุ่มจุดส่งทั้งหมดออกเป็น 3 โซน เพื่อให้สามารถทำงานได้โดยผู้วางแผน 1 คน ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และสามารถติดตามการดำเนินการของรถจำนวน 20-30 คันได้อย่างเหมาะสม

ผลการจัดกลุ่มจุดส่งด้วยโปรแกรมแสดงดัง รูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าพื้นที่การจัดส่งจะถูกแบ่งออกเป็น 3 โซน ตามภูมิศาสตร์ร่วมกับการพิจารณาปริมาณงานในแต่ละโซน ทำให้ได้พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนืออยู่โซนเดียวกัน กรุงเทพมหานครและปริมณฑลรวมถึงจังหวัดใกล้เคียงอยู่โซนเดียวกัน และภาคตะวันออกและภาคใต้ถูกจัดอยู่รวมกัน



รูปที่ 4.2 ผลการจัดกลุ่มจุดส่งกรณีคลังสินค้าเดียว จุดส่งกระจายทั่วประเทศ ด้วยวิธี Multi-level KL

ผลการจัดกลุ่มจุดส่งโดยใช้วิธี Multi-level KL ได้ผลดังสรุปใน ตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าจำนวนจุดส่งของแต่ละโซนมีความแตกต่างกันมาก แต่ผลการจัดกลุ่มทำให้ปริมาณงานในแต่ละโซนใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 ผลการจัดกลุ่มจุดส่งโดยใช้วิธี Multi-level KL

	Total	Max/Set	Min/Set
	-----	-----	-----
Set Size:	199549	69087	65227
Edge Cuts:	101	100	31
Mesh Hops:	102	100	32
Boundary Vertices:	90	40	18
Boundary Vertex Hops:	92	40	19
Adjacent Sets:	6	2	2
Internal Vertices:	153226	54136	47398
Total time: 0.015 sec.			

โซน	ปริมาตร สินค้า	น้ำหนัก สินค้า	จำนวนจุด ส่ง
0	65,227	42,532	113
1	69,087	42,292	200
2	65,235	39,579	151
รวม	199,549	124,403	464

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มโดยวิธี K-Means และ Multi-Level KL

ผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมทั้งสอง ซึ่งมีจุดเด่นที่แตกต่างกันคือ K-Means จะเป็นวิธีการจัดกลุ่มที่มุ่งเน้นให้จุดส่งอยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางของ Cluster ที่สุด โดยจะไม่พิจารณาปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณการขนส่งของแต่ละ Cluster ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงอาจไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากการะงานที่แตกต่างกันมากของแต่ละกลุ่มงาน แต่ K-Means ก็มีจุดเด่นในด้านของความเร็วในการประมวลผล และ ผลการจัดกลุ่มที่ไม่มีการตัดจุดส่งข้ามกลุ่ม

ในขณะที่วิธี Multi-Level KL จะมีจุดเด่นอยู่ที่การพิจารณาการกระจายภาระงานของทุกกลุ่มจุดส่งได้อย่างเท่าเทียม แต่มีจุดด้อยด้านเวลาในการประมวลผล ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในปัญหาขนาดใหญ่ และอาจมีการตัดจุดส่งข้ามกลุ่มบ้าง

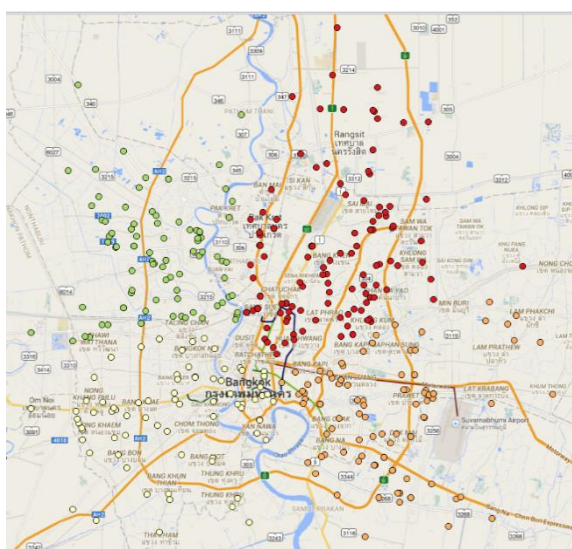
ผลการเปรียบเทียบการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึมทั้งสองแสดงได้ดัง ตารางที่ 4.2 โดยในที่นี้จะใช้ตัวชี้วัดสองค่าคือ เวลาในการประมวลผล และอัตราส่วนของภาระงานโดยเทียบระหว่างกลุ่มจุดส่งที่มีปริมาณสูงสุดกับกลุ่มที่มีปริมาณน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-Means และ Multi-Level KL

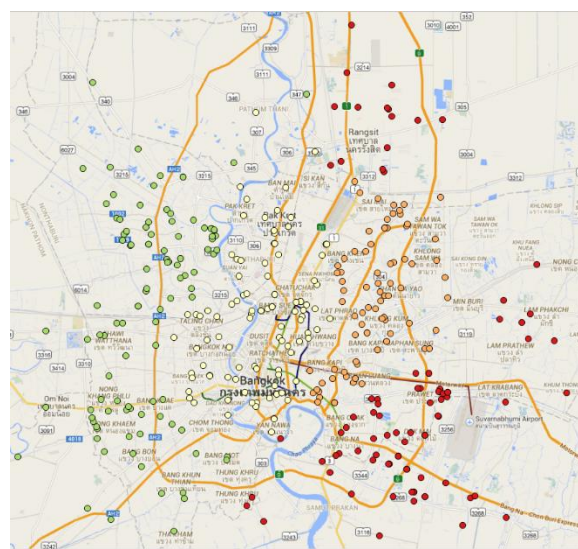
จำนวนจุดส่ง	K-Means		Multi-Level KL	
	อัตราส่วนของภาระงาน	เวลาประมวลผล	อัตราส่วนของภาระงาน	เวลาประมวลผล
400	1.80	< 1sec	1.064	6.2
672	1.71	< 1sec	1.0	26.7
1000	1.324	< 1sec	1.012	10.6
2567	36.35	< 1sec	1.002	65.0

* เวลาในการประมวลผลจึงอาจไม่สัมพันธ์แบบเส้นตรงกับจำนวนจุดส่ง เนื่องจากความซับซ้อนของแต่ละปัญหาอาจมีความแตกต่างกัน เพราะใช้ปัญหาจริงจากภาคอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน

ผลการจัดกลุ่มของแต่ละกรณี โดยวิธี K-Means และ Multi-Level KL แสดงดัง รูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 รูปที่ 4.6

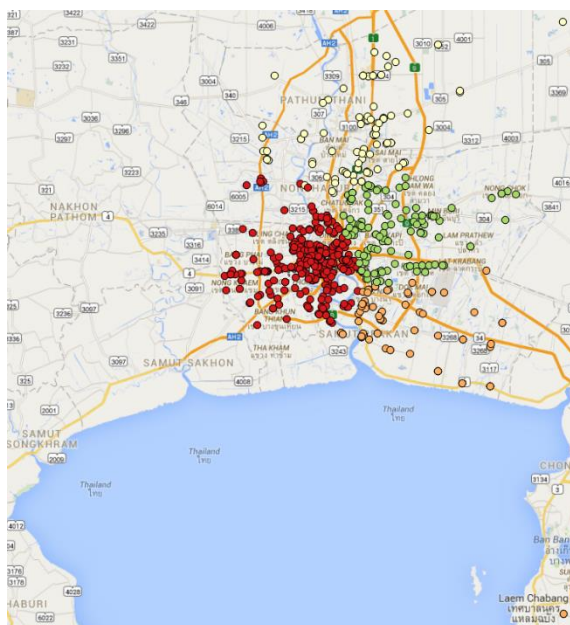


a) การจัดด้วยวิธี K-Means

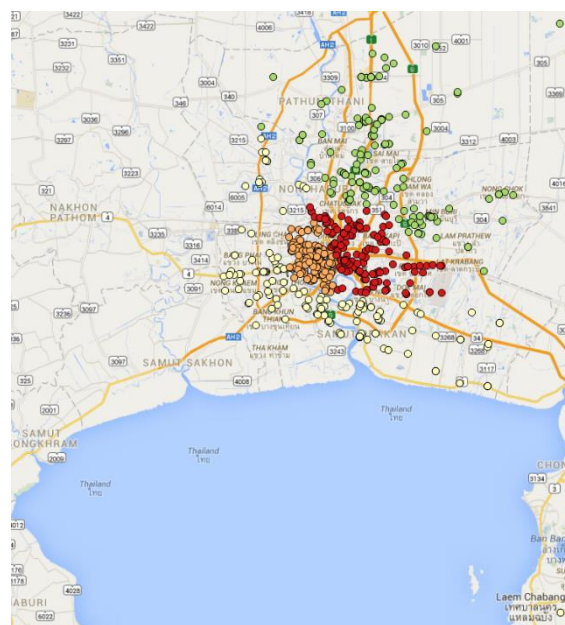


b) การจัดด้วยวิธี Multi-Level KL

รูปที่ 4.3 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 400 จุด

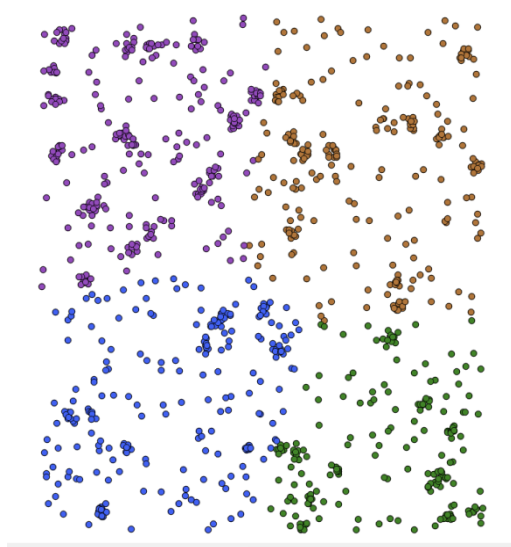


a) การจัดด้วยวิธี K-Means

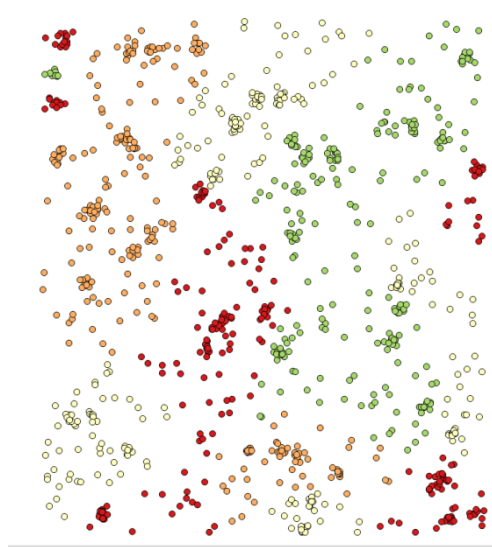


b) การจัดด้วยวิธี Multi-Level KL

รูปที่ 4.4 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 672 จุด

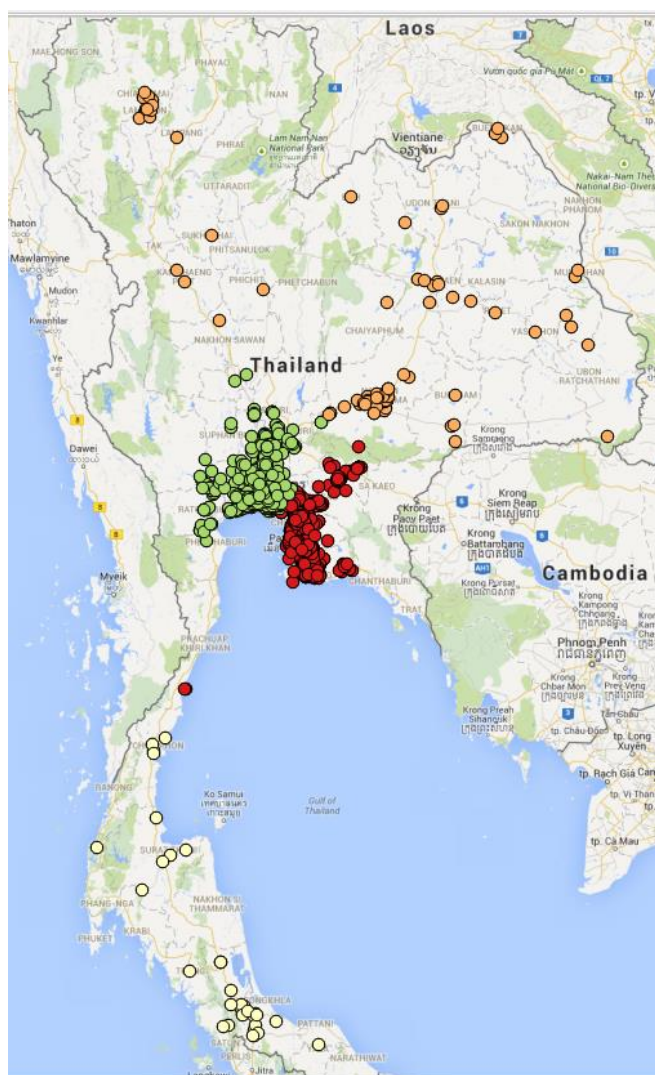


a) วิธี K-Means

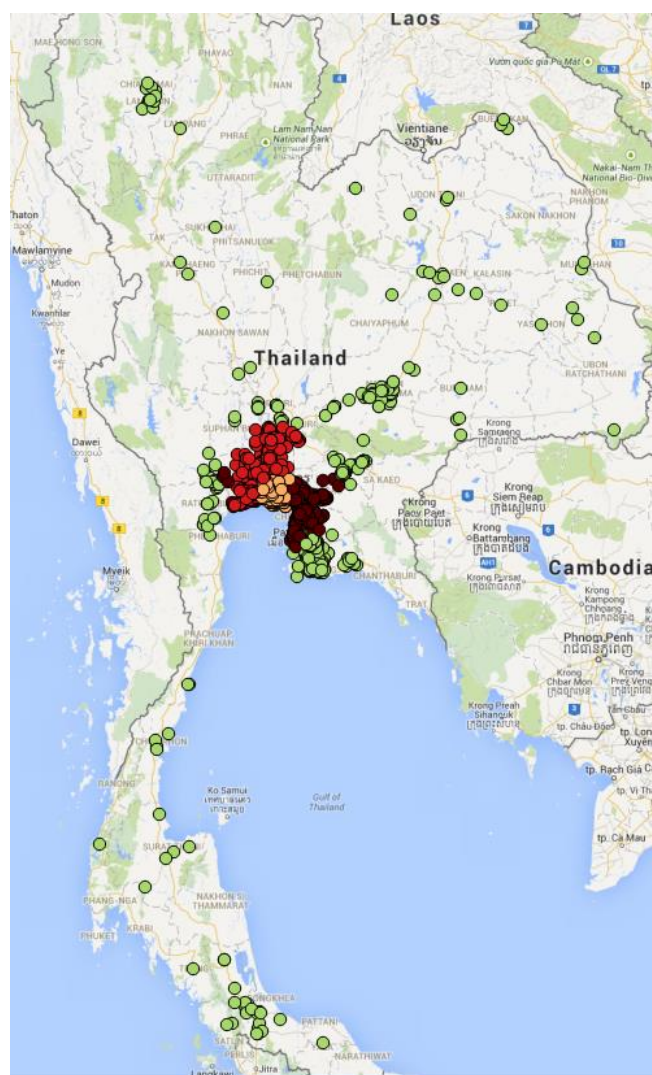


b) วิธี Multi-Level KL

รูปที่ 4.5 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 1,000 จุด



b) วิธี K-Means



b) วิธี Multi-Level KL

รูปที่ 4.6 ผลการจัดกลุ่มกรณีมีจุดส่ง 2,567 จุด

กรณีที่มีหลายคลังสินค้า โดยสินค้าในคลังสินค้า (Distribution Center) แต่ละแห่งมีสินค้าเหมือนหรือคล้ายกัน ซึ่งภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการคำนวณว่าจุดส่งแต่ละจุดควรโหลดสินค้าจากคลังสินค้าใดเพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านขนส่งสูงสุด แล้วจึงค่อยนำจุดส่งที่โหลดจากคลังสินค้าเดียวกันมาจัดกลุ่มจุดส่งที่เหมาะสมอีกครั้ง แนวทางการคำนวณหาคลังสินค้าที่เหมาะสมสำหรับจุดส่งแต่ละจุดนั้นจะใช้วิธีการ Urgency Assignment¹²⁾ ตามวิธีการที่ระบุในหน้า 7 แล้วจึงจัดกลุ่มจุดส่งสำหรับคลังสินค้าแต่ละแห่งด้วยวิธี K-Means หรือ Multi-Level เพื่อแยก Cluster ย่อยอีกครั้ง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการจัดกลุ่มจุดส่งกรณีหลายคลังสินค้า

การจัดกลุ่มจุดส่งกรณีที่มีหลายคลังสินค้าโดยพิจารณาจากระยะทางจากคลังสินค้า ในกรณีของการขนส่งที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง ผู้วิจัยได้ใช้วิธี Urgency Assignment ในการจัดกลุ่มจุดส่ง

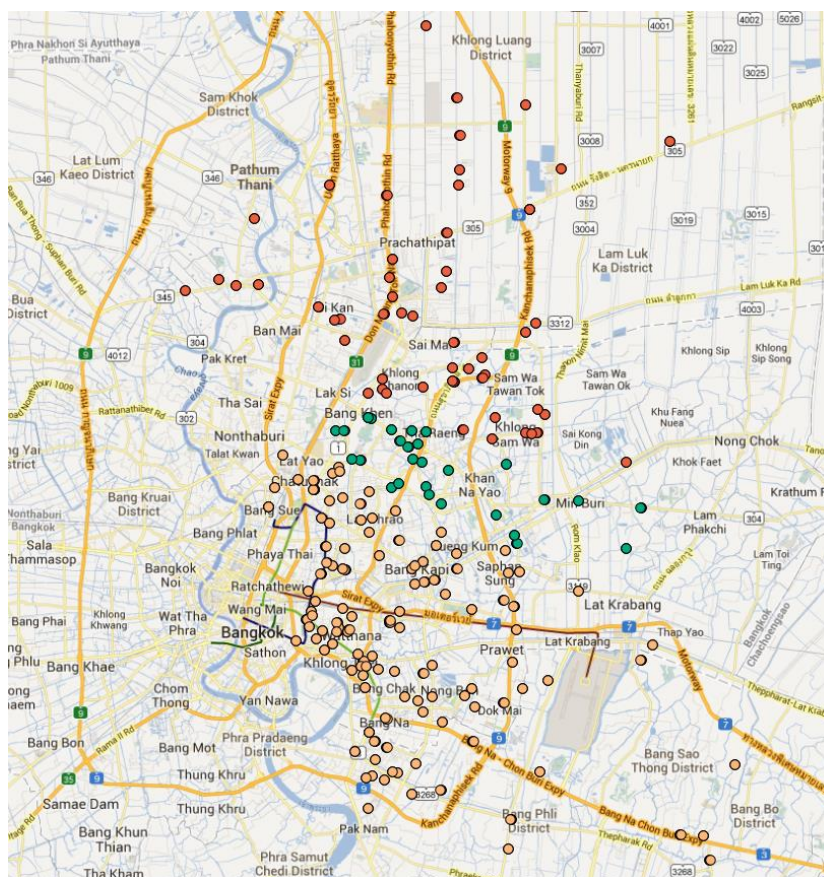
เมื่อทำการคำนวณค่า U_i ของทุกจุดส่งแล้ว จึงทำการจัดสรรจุดส่งให้กับแต่ละคลัง ทั้งนี้จุดส่งจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มดังนี้

- Core DC Node โดยพิจารณาจาก DC ที่ใกล้กับ Node นั้นๆ โดยพิจารณาจากค่า U_i ที่มาก่อน
- Border-line Node สำหรับ Node ที่มีระยะห่างจาก DC หลายแห่งใกล้เคียงกันจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มนี้ โดยผู้วิเคราะห์อาจกำหนดค่า Threshold ของค่า U_i ที่จะใช้ในการแบ่งกลุ่ม เช่นระยะที่แตกต่างไม่เกิน 5 กิโลเมตร เป็นต้น

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองประยุกต์ใช้แนวคิดนี้กับกรณีศึกษาในหัวข้อที่แล้ว(จุดส่ง 207 จุด) โดยสมมติให้มีคลังสินค้าเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งแห่งบริเวณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต นอกเหนือจากคลังสินค้าบริเวณบางบอน เมื่อทดลองกำหนดค่า Threshold ของการแบ่งกลุ่มที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร พบว่าจุดส่งที่ถูกจัดให้อยู่กับคลังบางบอน (DC 1) มีทั้งสิ้น 123 จุด และ อยู่กับคลังมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (DC 2) รวม 54 จุด ในขณะที่จุดส่งที่อยู่ใน Borderline มีจำนวน 30 จุด ดังสรุปใน ตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.7 ซึ่งผลมีความน่าพึงพอใจระดับหนึ่ง

ตารางที่ 4.3 ผลการจัดกลุ่มจุดส่ง กรณีที่มีหลายคลังสินค้า

ค่าชี้วัด	DC 1	DC 2	Border-line
จำนวนจุดส่ง	123	54	30
ปริมาณสินค้ารวม (ลิตร)	129,626	56,719	35,337
ระยะทางระหว่างจุดส่งกับคลังรวม (กิโลเมตร)	3,702.7	1,432.2	1,116.7



รูปที่ 4.7 ผลการจัดกลุ่มจุดส่ง กรณีที่มีหลายคลังสินค้า

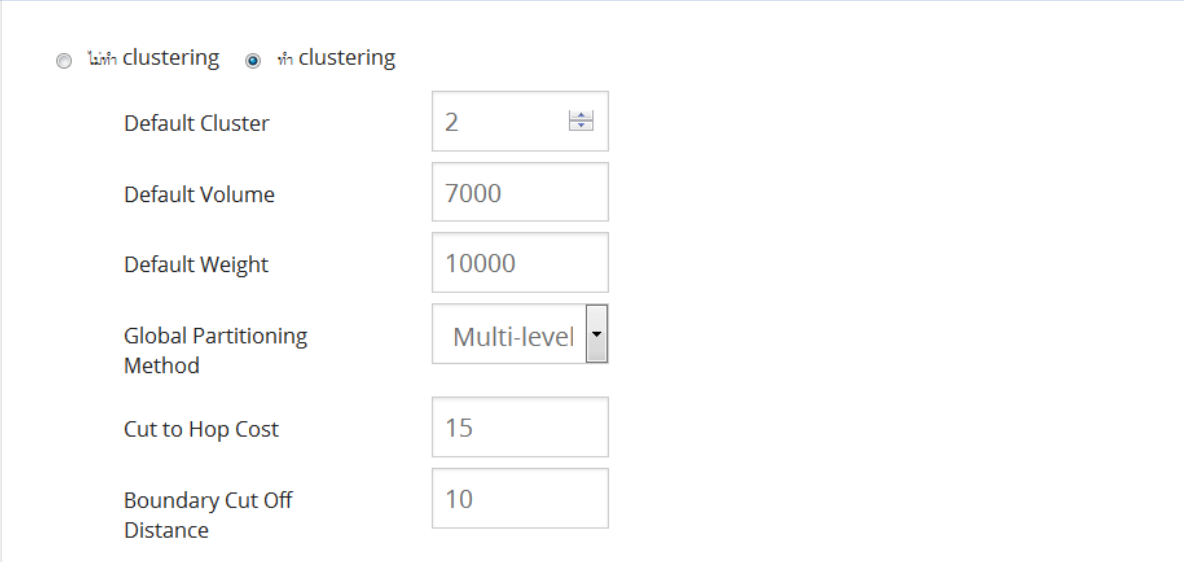
รายละเอียดการออกแบบฟังก์ชันการจัดกลุ่มจุดส่ง และ การกำหนดค่าพารามิเตอร์การจัดกลุ่มจุดส่ง

ไลบรารีของการจัดกลุ่มจุดส่ง หรือ Clustering นั้นมีฟังก์ชันหลักที่สำคัญชื่อ `clusterDeliveryOrders` ที่ช่วยคำนวณแบ่งกลุ่มจุดส่งออกตามจำนวนกลุ่มที่ต้องการ โดยสามารถกำหนดเลือก Algorithm สำหรับใช้แบ่งกลุ่มจุดส่งได้ว่าจะใช้ K-Means, Multi-Level KL หรือ Spectral และสามารถระบุเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องที่สำคัญได้แก่

- `ClusterNumber` ระบุจำนวนกลุ่มจุดส่งที่ต้องการแบ่ง เช่น แบ่งเป็น 3 กลุ่ม, 4 กลุ่ม
- `CutToHopCost` น้ำหนักความสำคัญระหว่างจำนวน Link ที่ถูกตัดแบ่งระหว่างกลุ่ม กับความยาวของ Link ที่ถูกตัด ค่าที่ระบุคือจำนวน Link ที่ยอมให้ตัด
- `BoundaryCutOffDistance` ระยะทางที่ยอมให้เหลื่อมกันได้ระหว่างกลุ่มงาน

ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชัน “clusterDeliveryOrders” ประกอบด้วย รหัสผลการจัดแผน (Code), ข้อความกรณีเกิดข้อผิดพลาดจากการรัน (Message) และ รายการของคำสั่งการส่งสินค้าที่ถูกจัดเป็น Cluster ให้เรียบร้อยแล้ว (ArrayOfDeliveryOrder) ซึ่ง Delivery Order แต่ละรายการในออเบรย์จะมีค่าหมายเลข Cluster ของ Delivery Order นั้นๆ

นอกจากนั้น ทีมพัฒนาได้สร้างหน้าจอสำหรับให้ Planner สามารถเลือกวิธีการแบ่งกลุ่ม Cluster และ พารามิเตอร์การแบ่งกลุ่ม ดังรูปที่ 4.8 ทำให้ไม่จำเป็นต้องปรับแก้โปรแกรม เพื่อให้การใช้งาน Clustering ตอบสนองกับการใช้งาน หลังจากการทำ Cluster แบ่งแยกจุดจัดส่งแล้ว Planner สามารถเลือกกลุ่มจัดส่งมา ทำการวางแผนเส้นทางการจัดส่ง และ จัดเที่ยวรถขนส่ง ดัง รูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นไปตามหลักการ Cluster-First-Route-Second



☐ ไม่ทำ clustering ☒ ทำ clustering

Default Cluster: 2

Default Volume: 7000

Default Weight: 10000

Global Partitioning Method: Multi-level

Cut to Hop Cost: 15

Boundary Cut Off Distance: 10

รูปที่ 4.8 หน้าจอโปรแกรมสำหรับกำหนดวิธีการแบ่งกลุ่มจุดส่ง

เพิ่มใบสั่งสินค้า

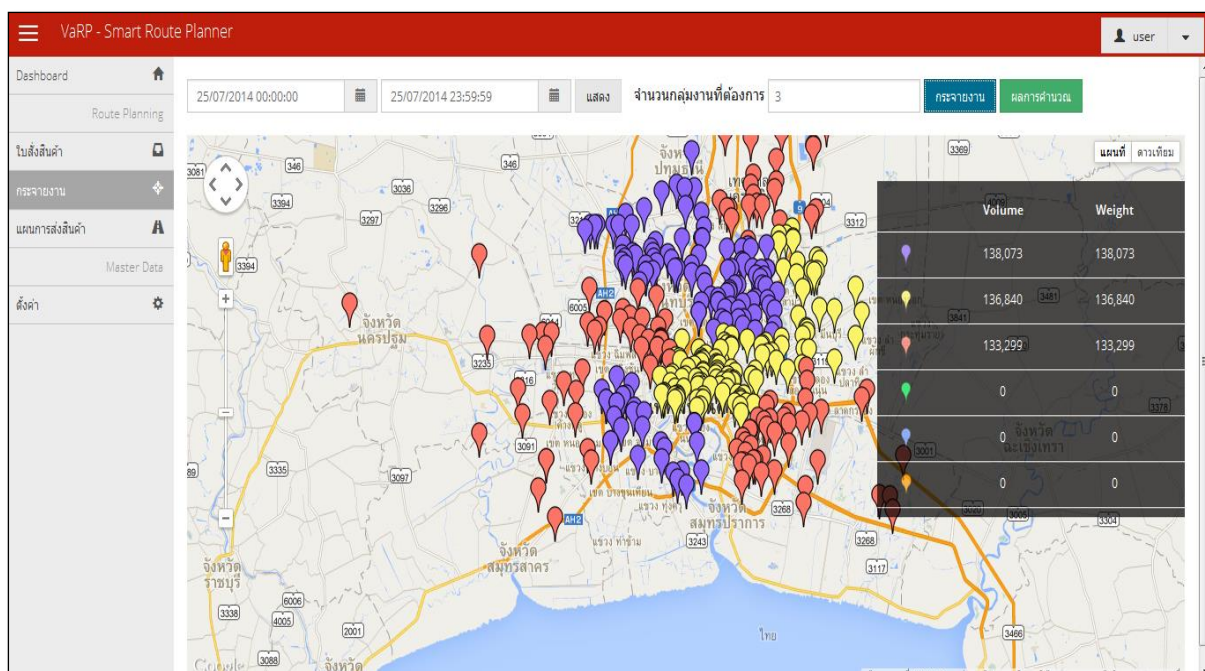
25/07/2014 10:00 ถึง 25/07/2014 23:00 กลุ่มงาน 2 ค้นหา

☐ เพิ่มรายการที่ไม่แสดง [เพิ่ม](#) [ยกเลิก](#)

« first 1/6 last »

☐	ใบสั่งสินค้า	ชื่อ	ปริมาตร	น้ำหนัก	ลิตร	เวลาเริ่มต้น	เวลาสิ้นสุด	ที่อยู่	cluster
☐	x100078	Customer 78	335	335	335	25/07/2014 17:00	25/07/2014 18:00	635ข.รุ่งอรุณ ถ.ลาดพร้าว71แขวงสะพานสอง เขตวังทองหลาง ตำบล ...	2
☐	x100115	Customer 115	638	638	638	25/07/2014 12:00	25/07/2014 13:00	599/273 โครงการศุภาสัย ปาร์ค อโศก-รัชดาชั้น ...	2
☐	x100116	Customer 116	67	67	67	25/07/2014 12:00	25/07/2014 13:00	606 LPN ตลาดปลาเค้า ชั้น 6 อาคารB2แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน ...	2
☐	x100118	Customer 118	4881	4881	4881	25/07/2014 13:00	25/07/2014 14:00	ศุภาสัยรัชโยธิน ชั้น 30ถ.รัชดาแขวงลาดยาว เขตจตุจักร ตำบล ...	2
☐	x100120	Customer 120	3397	3397	3397	25/07/2014 17:00	25/07/2014 18:00	706 ถ.โชคชัย4แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว ตำบล อำเภ...	2

รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอการเพิ่มใบสั่งสินค้าแยกตาม Cluster



รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงการแบ่งจุดส่งเป็น Cluster บนแผนที่ QGIS

เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความจำเป็นต้องใช้โปรแกรม GIS จากต่างประเทศมาใช้แสดงเส้นทางขนส่งที่ระบบจัด Cluster จัดให้ ทีมวิจัยได้กำหนดรูปแบบการนำเข้าข้อมูลอินพุตสำหรับโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง เป็นการนำเข้าด้วยไฟล์ Text และ รูปแบบของการแสดงผลการการจัดกลุ่มจุดส่ง โดยวิธีการที่ 1 คือ การแสดงผลลัพท์บนแผนที่ที่เชื่อมต่อกับระบบวางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้า และมีกรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ Open Source Map ได้แก่ QGIS ดังแสดงใน รูปที่ 4.10 และ วิธีที่ 2 คือ ให้นำเพิ่มข้อมูลเอาต์พุตจากโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่งออกมาในรูปแบบไฟล์ Text และ นำไปแสดงผลบน Map ในโปรแกรม Open Source “QGIS” แบบ Standalone ดังนั้นทีมวิจัยและพัฒนาจึงได้ออกแบบรูปแบบของผลลัพธ์จากโปรแกรม Cluster สำหรับกรณีการจัด Cluster แบบ Single Depot และ Multi Depot โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Mode Single Depot

Input file format

แต่ละบรรทัดคือ 1 order แต่ละ Order ประกอบด้วยลำดับที่ของรายการ, Latitude, Longitude, Volume และ Time Window โดยแต่ละ Field คั่นด้วย ช่องว่าง ดังตัวอย่าง

```
1 13.9069 100.631
2 13.781 100.706
```

จากตัวอย่างแสดงว่ามี Order ทั้งหมด 2 รายการ ลำดับที่ 1 มีพิกัด Latitude เป็น 13.9069 และ Longitude เป็น 100.631 มี Volume เป็น 4000 (หน่วยแล้วแต่จะกำหนด สามารถใส่เป็นทศนิยมได้ แต่ต้องตรงกับค่า Capacity ของรถที่ระบุผ่านหน้าจอโปรแกรมจัด Cluster) มี Time Window ตั้งแต่ 8 นาฬิกา จนถึง 10 นาฬิกา 30 นาที

Output file format ประกอบด้วย 2 ไฟล์ คือ

- 1) solution.txt แสดงลำดับการจัดส่งโดยใช้ลำดับของรายการ โดยเริ่มต้นด้วย 0 และตามด้วยลำดับของจุดส่งในเส้นทาง แต่ละเส้นทางจะคั่นด้วยเครื่องหมายลบ และจบด้วย 0 เช่น

```
LINESTRING(100.6066963 13.6942045,100.6077451
13.69207,100.6004297 13.7066958)

LINESTRING(100.6722641 14.374115,100.6744884
14.3689415,100.6829559 14.380221,100.6850208
14.3803096,100.6937608 14.3782071)
```

จากตัวอย่างมีด้วยกัน 3 เส้นทาง คือ 1 ไป 2, 4 และ 8 เส้นทางที่ 2 ได้แก่ 3, 9 และ 5 และเส้นทางสุดท้าย คือ 7 จุดเดียว

- 2) shape.txt เป็นคำสั่งที่สามารถนำเข้าโปรแกรม QGIS เพื่อวาดเส้นทาง ในตัวอย่างแสดงเส้นทาง 2 เส้นทาง โดยเส้นทางแรกแสดงการวาดเส้นจากจุด Lat = 13.6942045, Lng = 100.6066963 ไปจุด Lat = 13.69207, Lng = 100.6077451 และไปจุด Lat = 13.7066958, Lng = 100.6004297

```
0 1 2 4 8 -3 9 5 -7 0
```

Multi Depot Mode

Input file format ประกอบด้วย 2 ไฟล์ ได้แก่

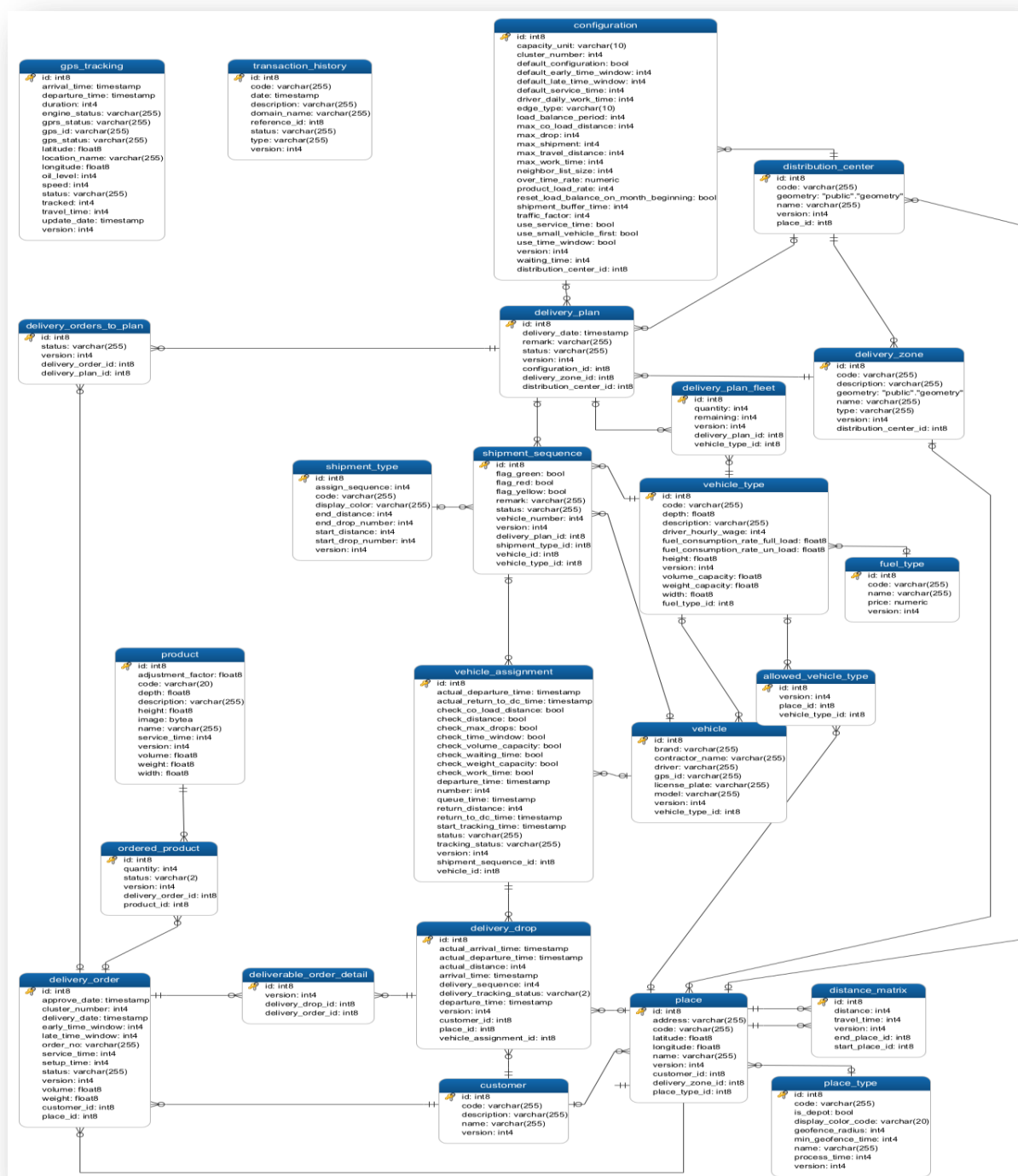
- 1) ไฟล์แสดงข้อมูล Order มี Format เหมือนกับ Single Depot
- 2) ไฟล์แสดงพิกัดของ Depot แต่ละบรรทัดแสดงพิกัดของ Depot โดย แต่ละ Depot ประกอบด้วยลำดับที่ของรายการ, Latitude, Longitude

Output file format

จะมี Format เหมือน Single Depot แต่จะแยกเป็นหลาย Solution ตามจำนวนของ Depot ที่กำหนด เช่น มี 2 Depot จะได้ไฟล์ solution1.txt และ shape1.txt แสดงเส้นทางที่ออกจาก Depot ลำดับที่ 1 และ solution2.txt และ shape2.txt แสดงเส้นทางที่ออกจาก Depot ลำดับที่ 2

การออกแบบและจัดเตรียมฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมจัด Cluster

ฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง เป็นฐานข้อมูลเดียวกับที่ใช้สำหรับโปรแกรมจัด Route โดยได้ทำการ เพิ่มฟิลด์ Transportation Zone ใน ตารางCustomer เพื่อใช้ในการบันทึก Cluster ของจุดส่งของลูกค้า รายละเอียดของฐานข้อมูลแสดงดัง รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.11 ฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง และ เก็บข้อมูลทดสอบจากภาคอุตสาหกรรมนาร่อง

ทีมผู้วิจัยได้นำเข้าข้อมูลจุดส่ง 207 จุดส่งที่เป็นชุดข้อมูลทดสอบที่ได้รับจากบริษัทธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์แห่งหนึ่งใส่ลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบกับโปรแกรมจัด Cluster

ตารางที่ 4.4 Data Dictionary อธิบายความหมายของตารางในฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมจัดกลุ่มจุดส่ง

ชื่อตาราง	คำอธิบายตาราง
allowed_vehicle_type	Tell that which vehicle types can delivery for each place.
Configuration	Constrain configuration for planning
Customer	Customer information
deliverable_order_detail	Reference to delivery order in delivery drop
delivery_drop	Delivery drop in vehicle assignment ordered by delivery sequence.
delivery_order	Delivery order information
delivery_orders_to_plan	Specific delivery orders in delivery plan
delivery_plan	Initial input for calculate shipment. Can create more than one record per day
delivery_plan_fleet	Specific number of vehicle type that available in delivery plan
delivery_zone	Delivery zone. used to assign to user and separate places by geo-fencing
distance_matrix	Distance and travel time between dc to customer, customer to customer, customer to dc. Require in real distance module
distribution_center	DC information
fuel_type	Fuel type information
gps_tracking	GPS tracking data sent from GPS box. Used in module delivery monitoring

ordered_product	Ordered product in delivery order
Place	Place information of customer and dc
place_type	Specific condition separated by customer place type.
Product	Product information
shipment_sequence	Sequence of shipment for 1 vehicle
shipment_type	Defined shipment type for used in module vehicle assignment.
transaction_history	System transaction log
Vehicle	Vehicle information
vehicle_assignment	Shipment information in shipment sequence

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ในโครงการย่อยที่ 1 ประกอบด้วย 2 ข้อ คือ

- 1) ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหา Clustering อย่างน้อย 2 วิธีการ โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมในการนำมาใช้กับการจัด Cluster ของ Delivery Orders การจัดส่งสินค้าสำหรับการขนส่งด้วยรถ และวิเคราะห์ขนาดของปัญหาที่วิธีการแก้ปัญหาสามารถแก้ได้ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลต้องอยู่ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม ความง่ายในการ Implement เป็นซอฟต์แวร์
- 2) พัฒนวิธีการจัด Cluster ของ Delivery Orders การจัดส่งสินค้าสำหรับการขนส่งด้วยรถ เป็นไลบรารีในภาษา C++ ที่เป็นภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุที่สามารถนำไปใช้พัฒนาซอฟต์แวร์การแก้ปัญหาการวางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ซึ่งเมื่อสิ้นสุดโครงการ ทีมวิจัยได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ดังนี้

ในส่วนการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหการจัดกลุ่มจุดส่ง

- 1) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหการจัดกลุ่มจุดส่งทั้ง 3 วิธี คือวิธี K-Means วิธี Multi-Level KL และวิธี Spectral ซึ่งจากทดสอบประสิทธิภาพระหว่าง 2 วิธี คือ K-Means และ วิธี Multi-Level KL ด้วยข้อมูล Delivery Orders ของธุรกิจไทย จำนวนตั้งแต่ 100 ถึง 2,000 พบว่าวิธี Multi-Level KL มีความเหมาะสมกับความต้องการของธุรกิจไทยมากกว่า เนื่องจากสามารถกระจายโหนดและภาระงานให้แก่ Cluster ได้อย่างค่อนข้างเท่ากัน และ เหมาะกับการนำเงื่อนไขที่หลากหลายในภาคธุรกิจไทยมาพิจารณาในการแบ่ง Cluster เช่น ความชำนาญของทีมช่าง การ Blacklist/Preference ของบริษัทผู้รับเหมาขนส่ง แม้ว่าวิธีการ K-Means จะเป็นวิธีการที่ใช้เวลา หน่วยความจำในการประมวลผลน้อยที่สุด และ มีความง่ายในการ Implement เป็นซอฟต์แวร์ แต่เมื่อเทียบกับระยะเวลาที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม พบว่าวิธีการทั้งสามวิธีสามารถนำมาใช้กับภาคอุตสาหกรรมไทยได้เนื่องจากจำนวน Delivery Orders ของภาคอุตสาหกรรมไทยต่อวันจะมีจำนวนไม่เกิน 2,000 จุดส่ง
- 2) ได้ทำการกำหนดอัลกอริทึมการจัด Cluster ทั้งแบบ Single Depot และ Multi Depot โดยในการแบ่งกลุ่มจุดส่งสำหรับหลายคลังสินค้า ได้ใช้วิธีการ Urgency Assignment ที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในเบื้องต้นกับข้อมูลจุดส่งในธุรกิจจัดส่งน้ำมันเครื่อง พบว่าสามารถช่วยกำหนดว่าจุดส่งใดควรขึ้นกับคลังสินค้าใดได้อย่างน่าพอใจในระดับหนึ่ง

ในส่วนการพัฒนาวิธีการจัด Cluster ของ Delivery Orders การจัดส่งสินค้าสำหรับการขนส่งด้วยรถ เป็น ไบรารี

- 1) ได้พัฒนาฟังก์ชัน clusterDeliveryOrders สำหรับจัด Cluster กลุ่มจุดส่ง เป็น ไบรารีโค้ดภาษา C++ ที่พร้อมสำหรับการนำไปใช้สร้างระบบวางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีกรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- 2) ได้พัฒนาให้ผลการจัด Cluster อยู่ในรูปแบบข้อมูลเข้าที่พุดสำหรับแสดงผลบนโปรแกรม QGIS ที่เป็นโปรแกรม Open Source ซึ่งเป็นการช่วยลดการพึ่งพาโปรแกรม GIS ลิขสิทธิ์จากต่างประเทศ

แยก Cluster ตามจำนวน Planner

แนวปฏิบัติในปัจจุบันของธุรกิจ กรณีมีจำนวนจุดส่งรายวันจำนวนมาก ภาคธุรกิจจะทำการจัดกลุ่มจุดส่งด้วยโซน และ นำไปแบ่งงานการวางแผนการจัดส่งให้แก่ Planner โดยกำหนดโซนรับผิดชอบให้แก่ Planner แต่ละคน

นอกจากนั้น ยังมีการกำหนดโซนวิ่งขนส่งของรถผู้รับเหมาอีกด้วย ซึ่งมีผลทำให้กรณีบางวัน โซนบางโซนมีจำนวนจุดส่งน้อย บางโซนมีจำนวนจุดส่งมาก จะทำให้ประสิทธิภาพการจัดแผนลดลงเนื่องจาก Planner ที่ต้องจัดแผนสำหรับโซนที่มีจุดส่งมากจะพบปัญหาการจัดใช้เวลาเวลานานมากขึ้น เนื่องจากพยายามใช้รถตามจำนวนที่กำหนดสำหรับโซน หรือ หากใช้เวลาการจัดนานไป เพื่อจัดส่งให้ทันกำหนด จะใช้การจ่ายงานให้รถโดยไม่พยายาม Coload จุดส่งที่ไปด้วยกัน มีผลทำให้ใช้จำนวนรถมากขึ้น

ดังนั้น การนำวิธีการจัดกลุ่มจุดส่งหรือ Clustering แบบอัตโนมัติ มาใช้ในการแบ่งกลุ่มจุดจัดเพื่อกระจายงานให้ Planner จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม โดยโปรแกรม VaRP จะใช้ปัจจัยเรื่องใดเรื่องหนึ่งในการแบ่งจุดส่งออกเป็นกลุ่ม ปัจจัยที่ใช้ในปัจจุบันคือ น้ำหนัก หรือ ปริมาตรรวมของสินค้ามาเฉลี่ยให้เท่ากันสำหรับทุก Cluster ซึ่งทำให้ฝ่ายขนส่งไม่จำเป็นต้องใช้การแบ่งโซนเพื่อแบ่งงานให้แก่ Planner ซึ่งบางวันอาจจะมี Order น้อยในบางโซนและบางโซนอาจจะมี Order มาก นอกจากนั้นภาคธุรกิจยังไม่จำเป็นต้องกำหนดโซนรถขนส่งของผู้รับเหมา เพียงกำหนดข้อตกลงการวิ่งรถของผู้รับเหมาแต่ละเจ้าให้ชัดเจน เช่น จำนวนจุดส่งต่อเที่ยว ระยะทางสูงสุดระหว่างจุดส่ง จำนวนชั่วโมงทำงาน ระยะทางสูงสุดต่อเที่ยว ในโครงการนี้ พบว่าวิธีการ Multi-Level KL เป็นวิธีการที่เหมาะสมในกรณีนี้

แยก Cluster ตามจำนวนคลังสินค้า ซึ่งทุกคลังสินค้ามีสินค้าเหมือนกัน คำนวณด้วย วิธี Urgencies คำนวณ Distance ระหว่างจุดส่ง (Customer) กับ Distribution Center เลือกจุดที่มีค่า Urgencies มากที่สุดมารวมเป็น Cluster

แยก Cluster โดยกำหนด Criteria ต่างๆ เช่น Cluster เดียวกันต้องใช้ช่างทีมเดียวกัน ระดับฝีมือเดียวกัน ใช้วิธีการคำนวณด้วย Multi-Level KL โดยแปลง Criteria ต่างๆให้เป็น Weight และ Distance

จากการสำรวจธุรกิจไทย พบว่ามีความต้องการโปรแกรมที่จะช่วยในการวางแผนเส้นทางการจัดส่งสินค้า(Routing) มากกว่า การใช้ประโยชน์จากการจัดกลุ่มจัดส่ง (Clustering) การนำวิธีการแบ่งกลุ่มจัดส่งเหมาะกับธุรกิจไทยที่มีลูกค้าจัดส่งรายใหม่เป็นประจำรายวัน หรือ บ่อยครั้ง หรือ กรณีที่ต้องมีการแบ่งภาระงานการวางแผนให้แก่ Planner หลายคน ซึ่งการใช้ Planner เป็นผู้แบ่ง หรือ แบ่งกันเองเป็นเรื่องยุ่งยากและใช้เวลานาน อีกกรณีที่เหมาะสมกับการจัดกลุ่มจัดส่งอัตโนมัติ คือ กรณีมี Planner จำนวนหลายคนและปริมาณ Order มีจำนวนมากต้องเกลี้ยงานให้ Planner เท่าๆกัน เพื่อไม่ให้โหลดคนใดคนหนึ่งเป็นพิเศษ และความล่าช้าของ Planner 1 คนจะกระทบประสิทธิภาพการจัดส่งของบริษัท

ปัญหาอุปสรรคที่สำคัญที่พบ คือ มีการเปลี่ยนธุรกิจนาร่องที่ใช้ในการสำรวจข้อมูล ปัญหา และการทดสอบ จาก บริษัท ดี.ที.ซี.เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด เป็น บริษัท อินเด็กซ์ ลิฟวิ่งมอลล์ จำกัด และ เปลี่ยนจากกรณีศึกษาบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ไปเป็นกรณีศึกษาธุรกิจขนส่งเฟอร์นิเจอร์ บริษัท อินเด็กซ์ ลิฟวิ่งมอลล์ จำกัด แทน นอกจากนั้น ยังพบอุปสรรคในการรวบรวมข้อมูล Orders การเปิดเผยวิธีการจัดส่งสินค้า การเปิดเผยข้อมูลจัดส่งสินค้าของบริษัทเอกชนนาร่อง พบว่า บริษัทต่างๆมีความกังวลในการให้ข้อมูล Customer ทั้งส่วนที่อยู่ จุดพิกัดส่งสินค้าของลูกค้า และ รายละเอียดและปริมาณของสินค้าที่สั่งซื้อ เนื่องจากเกรงว่า ข้อมูลจะรั่วไหลออกไปจากการเผยแพร่งานวิจัยซึ่งเป็นผลเสียกับบริษัท ไม่ว่าจะเป็นเรื่องข้อมูลหลุดไปถึงคู่แข่ง หรือ เรื่องความกังวลด้านภาษี ดังนั้นทีมวิจัยจำเป็นต้องใช้ความพยายามอย่างมากในการหาบริษัท ที่มีปฏิเสธจำนวนไม่น้อย และ จำเป็นต้องเกลี้ยกล่อมให้บริษัทให้ข้อมูลโดยสัญญาว่าจะปกปิดเป็นความลับ หรือ จำเป็นต้องยอมตัดรายละเอียดบางอย่างออกไป เช่น รายละเอียดรายการสินค้าที่สั่งซื้อแต่ละรายการ และได้ใช้การพัฒนาฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มจัดส่งให้เป็นเว็บเซอร์วิสที่ไม่ต้องใช้รายละเอียดข้อมูลที่ภาคธุรกิจต้องการปกปิดเป็นความลับ เช่น ข้อมูลลูกค้า ข้อมูลปริมาณการขาย เพื่อใช้เป็นแนวทางการแก้ปัญหาเรื่องการปกปิดข้อมูล Confidential ของบริษัท เพื่อให้เต็มใจที่จะใช้โปรแกรม VaRP ซึ่งได้รับการยอมรับจากภาคธุรกิจ ดังนั้นหากสกว.ช่วยหาแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวให้ผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมมีความมั่นใจยิ่งขึ้นก็จะเป็นการดี

ในการติดต่อประสานงานเพื่อขอความร่วมมือจากบริษัทที่มีธุรกิจเกี่ยวข้องกับการพัฒนาซอฟต์แวร์โลจิสติกส์ในการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมจากโครงการวิจัย ผู้วิจัยจำเป็นต้องอาศัย Planner เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของผลการจัด Cluster ที่โปรแกรมคำนวณให้ ซึ่งการให้ผลประโยชน์ตอบแทนแก่บริษัท จำเป็นต้องอาศัยการพูดคุยตกลงให้ได้ผลประโยชน์ที่ลงตัว เช่น การทดลองให้ใช้ฟรี การทดลองรันเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวางแผนการจัดส่งโดยใช้โปรแกรม เทียบกับการจัดแผนโดย Planner ซึ่งจำเป็นต้องใช้ทีมวิจัยและทีมงานเข้าทำงานฟรีเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 4 เดือน ซึ่งจำเป็นต้องใช้งบประมาณมากพอสมควร หากทางสกว.สามารถช่วยในการประสานความร่วมมือดังกล่าวแก่คณะผู้วิจัย จะทำให้การทำวิจัยมีความสะดวก ราบรื่นขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- 1) Gulay Barbarosoglu, Demet Ozgur, A tabu search algorithm for the vehicle routing problem, Computers & Operations Research 26, 1999.
- 2) <http://en.wikipedia.org/wiki/NP-hard>.
- 3) Rui Xu and Donald Wunsch, Survey of Clustering Algorithms, IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, VOL. 16, NO. 3, MAY 2005.
- 4) Tapas Kanungo, David M. Mount, Nathan S. Netanyahu, Christine D. Piatko, Ruth Silverman, and Angela Y. Wu, An Efficient k-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 24, NO. 7, JULY 2002.
- 5) Lam, Marco; Mittenthal, John; Gray, Brian, The impact of stopping rules on hierarchical capacitated clustering in location routing problems, Academy of Information and Management Sciences Journal, Jan 1, 2009.
- 6) L. Lian and E. Castelain, A Decomposition Approach to Solve a General Delivery Problem, Engineering Letters, 18:1, EL_18_1_10.
- 7) Ulrike von Luxburg (2006). Technical Report No. TR-149: A Tutorial on Spectral Clustering, Max Planck Institute for Biological Cybernetics, August 2006.
- 8) Koren, Y. (2005). Drawing graphs by eigenvectors: theory and practice. Computers and Mathematics with Applications, 49, 1867–1888.
- 9) Kernighan, B. W.; Lin, Shen (1970). "An efficient heuristic procedure for partitioning graphs". *Bell System Technical Journal* 49: 291–307.
- 10) Bruce Hendrickson and Robert Leland. (1993) A multilevel algorithm for partitioning graphs, Technical Report SAND93-1301, Sandia National Laboratories.
- 11) Hartigan, J. A.; Wong, M. A. (1979) Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm, Journal of the Royal Statistical Society, Series C 28 (1): pp.100–108.
- 12) Giosa, D.; Tansini, L. and Viera, O. (2002) New assignment algorithms for the multidepot vehicle routing problem. Journal of the Operations Research Society, Vol. 53, pp.997-984.
- 13) Tansini, L., Urquhart, M. and Viera, O. (1999), Comparing assignment algorithms for the Multi-Depot VRP, Jornadas de Informáicae Investigación Operativa, Technical Report, University of Montevideo, Uruguay.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. คำศัพท์เทคนิค

การจัดกลุ่มจัดส่งและการจัดเส้นทางรถ (Clustering and route planning) เป็นแนวทางการแก้ปัญหากรณีมีจุดจัดส่งสินค้าจำนวนมากซึ่งไม่สามารถวางแผนได้ด้วยคนทำงานคนเดียว หรือ วางแผนได้ในคราวเดียว ดังนั้น จำเป็นต้องแบ่งจุดจัดส่งออกเป็นกลุ่ม(แยกจุดจัดส่งด้วยโซนพื้นที่) เพื่อนำไปวางแผนการจัดส่ง วิธีการแบ่งแยกจัดส่งให้เป็นกลุ่มจะทำให้สามารถจัดแผนการจัดส่งสินค้าจำนวนมากได้

ข้อมูลค่า Configuration ของการจัดแผนสำหรับธุรกิจ หมายถึงค่าที่ใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับคำนวณแผนการจัดส่งสินค้า ซึ่งค่ามักแตกต่างกันในแต่ละธุรกิจตามเงื่อนไขที่แตกต่างในธุรกิจแต่ละประเภท เช่น จำนวนจุดส่งสูงสุดต่อหนึ่งเที่ยวรถ ระยะทางสูงสุดกิโลเมตรต่อหนึ่งเที่ยว ระยะทางกิโลเมตรสูงสุดระหว่างจุดส่ง(Coload Distance) ค่าที่ถูกกำหนดไว้แตกต่างกัน จะให้แผนการจัดส่งที่แตกต่างกันด้วย เช่น ระยะทางกิโลเมตรสูงสุดระหว่างจุดส่ง(Coload Distance) กำหนดค่าน้อยขึ้น จะทำให้ใช้จำนวนรถมากขึ้น จำนวนจุดส่งสูงสุดต่อเที่ยวรถ ยิ่งกำหนดค่ามากขึ้น ยิ่งใช้รถจำนวนน้อยลง

ข้อมูลจุดส่งสินค้าของลูกค้า (Customer & Shipment Location) ตามปกติลูกค้าหนึ่งราย(Customer) สามารถมีที่อยู่ที่เป็นจุดจัดส่งสินค้า (Shipment Address)มากกว่าหนึ่งที่ เช่น ลูกค้าที่เป็นบริษัท โตโยต้า มีจุดจัดส่งหลายที่ ตามสาขา หรือ ศูนย์บริการ เป็นต้น ในการวางแผนการจัดส่งสินค้า ระบบวางแผนเส้นทางรถขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีการอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะใช้ข้อมูลที่อยู่จุดส่งสินค้าของลูกค้าแทนที่จะใช้ที่อยู่ของลูกค้าในการวางแผนเส้นทางจัดส่งสินค้า

ข้อมูลประเภท Spatial data เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลจุดพิกัด GPS ละติจูดและลองจิจูดของจุดส่ง - ข้อมูลพื้นที่รูปปิด Polygon แสดงขอบเขตของคลังสินค้า เป็นต้น

ข้อมูลพื้นฐาน (Master Data) หมายถึงข้อมูลหลักในฐานะข้อมูลของระบบวางแผนเส้นทางรถขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีการอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลลูกค้า ข้อมูลสินค้า ข้อมูลรถขนส่ง เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลอีกประเภทหนึ่งที่จัดเก็บในฐานะข้อมูล นั่นคือข้อมูลรายการธุรกรรม (Transaction Data) ที่เป็นรายการที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของระบบวางแผนเส้นทางรถขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีการอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ข้อมูลเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งจริงในแต่ละวัน (Shipment) ข้อมูลแผนการจัดส่งที่เกิดขึ้นแต่ละวัน (Delivery Plan)

คอมโพเนนต์ COM+ เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อจากเทคโนโลยี COM (Component Object Model) ของบริษัทไมโครซอฟท์ ซึ่งทำให้สามารถนำอ็อบเจกต์ที่ถูกสร้างในภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาหนึ่ง สามารถถูกอ็อบเจกต์ที่ถูกสร้างด้วยภาษาโปรแกรมอีกภาษาหนึ่งที่รันอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งเรียกใช้งานได้ ในการเรียกใช้งานอ็อบเจกต์ข้ามเครื่อง สามารถเรียกใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ต โดยไม่จำเป็นต้องทราบรายละเอียดวิธีการสร้างอ็อบเจกต์ที่จะเรียก

โปรแกรม C++ based VRP Solver Engine ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยในโครงการนี้ คือ VRP Solver Engine โดย Solver Engine เป็นโปรแกรมที่คอยรับคำสั่งจากโปรแกรมอื่นที่ต้องการคำนวณหาวิธีการแก้ปัญหา VRP หรือ ปัญหาการวางแผนการจัดส่งสินค้า VRP Solver Engine จะรับคำร้องขอจากโปรแกรมอื่น ซึ่งคำร้องขอประกอบด้วยรายละเอียด Orders ที่ต้องการจัดส่ง รายละเอียดของรถขนส่งที่สามารถวิ่งส่ง Orders และ เงื่อนไขในการรับ Orders ของรถขนส่ง เงื่อนไขการจัดส่งของแต่ละจุดส่ง เป็นต้น VRP Solver Engine จะคำนวณแผนการจัดส่งสินค้าและคืนผลลัพธ์ให้แก่โปรแกรมที่เรียกใช้ VRP Solver Engine C++ based VRP Solver Engine เป็นคำเพื่ออธิบายว่า โปรแกรม VRP Solver Engine ถูกพัฒนาด้วยภาษา C++

ภาษาในตระกูล .NET หมายถึงภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ไม่โครซอฟท์สร้างขึ้นซึ่งประกอบด้วยภาษา Visual Basic .NET ภาษา C# .NET เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษาเหล่านี้จะเป็นโปรแกรมที่ทำงานโดยใช้ไลบรารีเดียวกันคือ .NET Framework และโปรแกรมจะถูกแปลงเป็นรหัสไคต์ภาษากลาง ที่เรียกว่า Microsoft Intermediate Language (MSIL) ซึ่งทำให้โปรแกรมแม้ว่าจะพัฒนาจากภาษาที่แตกต่างกันแต่จะสามารถเรียกใช้งาน ทำงานร่วมกันได้

มีกรอบเวลา (Time Window) คือ เงื่อนไขของการวางแผนการจัดส่งสินค้าที่กำหนดช่วงเวลาที่ยานต้องถึงจุดส่ง ซึ่งประกอบด้วย เวลาที่กำหนดเวลานัดหมายจัดส่ง (Early Time) และ เวลาหลังกำหนดเวลานัดหมายจัดส่ง (Late Time) โดยช่วงเวลาที่กำหนดเป็นกรอบเวลาการจัดส่ง เรียกว่า Time Window และการวางแผนการจัดส่งที่เวลาการจัดส่งสินค้าต้องอยู่ในช่วงเวลานัดหมาย เรียกว่า การวางแผนการจัดส่งสินค้าแบบมีกรอบเวลา (VRP with Time Window)

ระบบ ERP ย่อมาจาก Enterprise Resource Planning เป็นระบบสารสนเทศที่ช่วยองค์กรบริษัทในการดำเนินงานหลัก ได้แก่ การจัดซื้อจัดจ้าง การผลิต การขาย การบัญชี และการบริหารบุคคล ซึ่งการใช้ระบบ ERP จะช่วยในการบริหารทรัพยากรขององค์กรให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนั้นยังทำให้ข้อมูลของงานที่สัมพันธ์กันมีการเชื่อมโยงบูรณาการกันอย่างครบถ้วน และ เป็นข้อมูลปัจจุบัน (อ้างอิง http://erp.rmuti.ac.th/about_information.html)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System : GIS เป็นระบบสารสนเทศที่ช่วยในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ มักมีการแสดงข้อมูลสารสนเทศที่สัมพันธ์กับตำแหน่งเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลที่อยู่ของลูกค้าพร้อมรายละเอียดสินค้าที่สั่งซื้อ พร้อมโซ่การจัดส่ง แสดงบนแผนที่ ข้อมูลสารสนเทศในระบบ GIS มักจะถูกแยกเป็นชั้นข้อมูล ซึ่งผู้ใช้งานสามารถระบุชั้นข้อมูลที่ต้องการให้แสดงผลได้ (อ้างอิง <http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html>)

Application Instance เป็นแนวทางในการแยกติดตั้งโปรแกรมระบบวางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีกรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้กับธุรกิจแต่ละแห่งใช้งาน แต่ละ 1 ชุด ซึ่งจะประกอบด้วยเว็บแอปพลิเคชัน และ ฐานข้อมูลแยกกันสำหรับบริษัทแต่ละแห่ง ทั้งนี้ Application Instance สามารถถูกติดตั้งไว้บนเครื่องแม่ข่ายให้บริการ หรือ Server เครื่องเดียวกัน แต่แยกทำงานอิสระต่อ

กันและถูกควบคุมสิทธิ์ในการเรียกใช้ เพื่อไม่ให้ผู้ใช้งานจากบริษัทแห่งหนึ่งสามารถเข้าถึงหรือเรียกใช้งานจากบริษัทอื่น

Backhaul คือรถเที่ยวกลับ ซึ่งการบริหารจัดการรถเที่ยวเปล่าขากลับ หรือ Backhaul Management โดยพยายามให้รถเที่ยวเปล่าขากลับหลังส่งสินค้าไปยังลูกค้าปลายทาง ให้ขากลับขนวัตถุดิบจากซัพพลายเออร์กลับคลัง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนได้

Clarke and Wright เป็นวิธีแบบฮิวริสติกส์ที่ถูกคิดค้นเป็นลำดับแรกสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า หรือ VRP (Vehicle Route Planning) โดยเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ให้คำตอบที่มีคุณภาพพอใช้ในเวลาจำกัด และเหมาะสำหรับการจัดแผนสำหรับรถขนส่งที่จำนวนไม่แน่นอนในแต่ละครั้งของการวางแผน แต่ข้อจำกัดคือสามารถใช้ได้กับการแก้ปัญหาที่มีศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว (อ้างอิง <http://neo.lcc.uma.es/vrp/solution-methods/heuristics/savings-algorithms/>)

Cluster-First Route-Second Method เป็นวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า (VRP) ซึ่งจะเริ่มต้นจากการจัดกลุ่มจุดส่งสินค้าก่อน (Cluster First) จากนั้นนำจุดจัดส่งที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมาคำนวณหาเส้นทางสำหรับรถแต่ละเที่ยว (Route Second) (อ้างอิง <http://neo.lcc.uma.es/vrp/solution-methods/heuristics/cluster-first-route-second-method/>)

CRM ย่อมาจาก Customer Relationship Management หมายถึง การบริหารลูกค้าสัมพันธ์ ซึ่งอาจจะเป็นกลยุทธ์หรือซอฟต์แวร์ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการให้บริการลูกค้า รวมถึงการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้จ่ายและความต้องการของลูกค้าเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือบริการ รวมไปถึงนโยบายในด้านการจัดการ โดยมีเป้าหมายคือ การรักษาลูกค้าให้ประทับใจและใช้บริการจากบริษัทตลอดไป (อ้างอิง <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%98%E0%B9%8C%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B8%81%E0%B8%84%E0%B9%89%E0%B8%B2>)

Cross Docking เป็นคลังสินค้าใช้สำหรับรับสินค้าและส่งสินค้าในสถานที่เดียวกัน สถานที่ซึ่งมีลักษณะเป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าโดยจะทำหน้าที่เป็นสถานที่สำหรับเปลี่ยนถ่ายสินค้า มักขนจากรถบรรทุกคันหนึ่งไปยังรถอีกคันหนึ่ง สินค้าจะมาจากแหล่งผลิต (Supplier) หลายราย แล้วนำมาคัดแยก รวบรวม บรรทุก เพื่อจัดส่งให้ร้านค้าปลีกหรือลูกค้าแต่ละรายโดยจะใช้เวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง (อ้างอิง <http://www.scribd.com/doc/168320720/Cross-Docking#scribd>)

DC-to-DC (Distribution Center to Distribution Center) เป็นสถานการณ์การจัดแผนการจัดส่งสินค้ารูปแบบหนึ่ง ซึ่งในบางธุรกิจจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อการกระจายหรือเคลื่อนย้ายสินค้าจากคลังสินค้าหนึ่งไปยังคลังสินค้าอีกแห่งหนึ่ง

Dispatcher คือ เจ้าหน้าที่ที่ทำหน้าที่จ่ายงานการจัดส่งให้แก่รถขนส่งเพื่อจัดส่งสินค้าตาม Order เป็นความหมายเดียวกับคำว่า planner

Distance Matrix เป็นเมทริกซ์ที่แสดงระยะทางระหว่างจุดส่ง 2 จุดเพื่อใช้ในการวางแผนเส้นทางการจัดส่งสินค้า (Shipment) ในการคำนวณระยะทางรวมของแต่ละเส้นทาง (Shipment) จะใช้ค่าระยะทางระหว่างจุดส่งจาก Distance Matrix มาใช้คำนวณผลรวม และ โปรแกรมระบบวางแผนเส้นทางการขนส่งสำหรับหลายศูนย์กระจายสินค้าและมีรอบเวลาบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะคำนวณหาเที่ยวรถให้โดยระยะทางรวมของเที่ยวรถจะต้องไม่มากกว่าระยะทางกิโลเมตรสูงสุดต่อเที่ยวรถที่กำหนดโดยผู้จัดแผน (Planner)

Door-to-Door หรือ การส่งแบบถึงมือผู้รับ เป็นประเภทการบริการส่งสินค้าประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นแบบที่จัดส่งโดยรับของจากประตูที่อยู่ของผู้ต้องการส่งสินค้าไปส่งให้ถึงประตูของผู้รับสินค้า มักใช้กับการส่งสินค้าขนาดเล็กจำนวนน้อย ซึ่งแตกต่างจากประเภทการจัดส่งสินค้าอีกแบบที่เรียกว่า Door-To-Port คือรับจากประตูของผู้ต้องการส่งแต่ส่งถึงท่าเรือหรือท่าอากาศยานของผู้รับอยู่ มักใช้กับการส่งสินค้าจำนวนมาก หรือ ที่มีขนาดใหญ่

Full Truck Load การส่งสินค้าแบบโหลดสินค้าให้เต็มคัน โดยส่งจากคลังสินค้าตรงไปยังลูกค้าแต่ละรายโดยสินค้าไม่มีการผ่านคลังสินค้า หรือ เปลี่ยนถ่ายยานพาหนะระหว่างทาง (อ้างอิง <http://www.logisticafe.com/2011/11/full-truck-load-ftl/>)

Genetic Algorithms เป็นวิธีการ Meta heuristic ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากวิธีหนึ่ง โดยวิธีการเลียนแบบกลไกการคัดสรรยีนตามธรรมชาติและการกลายพันธุ์เพื่อวิวัฒนาการจากคำตอบหนึ่งไปเป็นคำตอบใหม่(อ้างอิง <http://neo.lcc.uma.es/vrp/solution-methods/metaheuristics/genetic-algorithm/>)

Geofence คือขอบเขตพื้นที่ภูมิศาสตร์ที่มักกำหนดด้วยรัศมีรอบจุดพิกัด หรือ กำหนดขอบเขตของพื้นที่ด้วยชุดของจุดพิกัด การกำหนด Geo-fence ในงานการจัดส่งสินค้า ใช้เพื่อคำนวณสถานะการจัดส่งว่ารถขนส่งถึงจุดส่งหรือไม่ โดยหารถขนส่งเข้าอยู่ใน Geo-fence ของจุดส่ง จะถือว่าสถานะการจัดส่งเป็นถึงที่หมาย

GPS Tracking คือ การติดตามตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันด้วยสัญญาณดาวเทียม มักใช้ในการติดตามตำแหน่งปัจจุบันของรถขนส่ง ซึ่งต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ GPS Tracking ที่ตัวรถเพื่อใช้ส่งสัญญาณ ผ่านดาวเทียมหรือช่องทางอื่นเช่นคลื่น 3 G ไปยังเครื่องแม่ข่าย(Server) ที่รับสัญญาณปลายทาง ทำให้ผู้ใช้สามารถติดตามตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์ GPS Tracking ได้ อุปกรณ์ GPS Tracking ต้องใช้ร่วมกับระบบซอฟต์แวร์ติดตั้งบนเครื่องแม่ข่าย(Server)ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณปลายทาง จัดเก็บข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันที่

ได้รับจากอุปกรณ์ GPS Tracking เพื่อนำมาแสดงผลบนหน้าจอให้สามารถติดตามได้ และ ยังสามารถให้ผู้ผู้ตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้

(อ้างอิง

http://www.datavis.co.th/web/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=40&Itemid=92)

GUI ย่อมาจาก Graphical User Interface หมายถึงส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ เป็นรูปแบบที่ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมได้ง่ายขึ้น เช่น การกดเลือกคำสั่งจากเมนู หรือ การใช้เมาส์เลือกรายงานที่ต้องการ เป็นต้น

Java คือ ภาษาสำหรับพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในตระกูลภาษาโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming Language) ซึ่งเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมอย่างมากเหมาะสมสำหรับพัฒนาโปรแกรมประเภทเว็บแอปพลิเคชัน โปรแกรมทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะไม่ผ่านระบบเครือข่าย (Standalone and Desktop Application) รวมถึงการพัฒนาเป็นเว็บเซอร์วิส (Web Service)

LTL (Less-Than-Truckload) Consignment หมายถึง การขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถ ผู้ประกอบการขนส่งที่รับจ้างขนส่งสินค้าในลักษณะ LTL จะทำการรวมสินค้าจากหลายๆ เจ้ารวมกันไปในรถคันเดียวกันเพื่อประหยัดต้นทุนขนส่ง ให้ได้กำไรมากขึ้น

(อ้างอิง https://www.pantavanij.com/portal/e_news/200803/procurement.asp)

Meta Heuristics เป็นวิธีการที่แตกต่างจาก heuristics ซึ่งจะเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกออกแบบสำหรับแก้ปัญหาเฉพาะเรื่อง ทำให้บางครั้งวิธีการแก้ปัญหาด้วย heuristics อาจจะได้คำตอบที่ดีที่สุดแบบ Local Optimum แต่ไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดแบบ Global Optimum เนื่องจาก heuristics จะใช้การคำนวณหาคำตอบใน space ที่จำกัด และ ไม่กระโดดออกจาก space ที่จำกัดไปยัง space อื่นจึงทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดแบบ Local ปัญหาดังกล่าวเรียกว่า การติดกับใน Local Space (Local Trap) ขณะที่วิธีการ Meta Heuristics เป็นเทคนิคที่แก้ปัญหาค้นหาคำตอบที่ติดกับดักใน Local Space ทำให้สามารถกระโดดไปยัง Space อื่นเพื่อหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ Meta-Heuristics เป็นวิธีการที่ใช้ได้กับปัญหาต่างๆ ไม่ได้ถูกออกแบบสำหรับปัญหาเฉพาะเรื่อง ตัวอย่างของ Meta-Heuristics ได้แก่ Simulated-Annealing Technique, Tabu Search, Ant Colony

(อ้างอิง

http://www.researchgate.net/post/What_are_the_differences_between_heuristics_and_meta_heuristics)

Milk Run หมายถึง เทคนิคที่นำมาใช้เพื่อสนับสนุนระบบการผลิต แบบ Just In Time (JIT) เพื่อช่วยลดต้นทุนรวมของการขนส่งและ ลดปริมาณสินค้าคงคลัง โดยทางโรงงานจะจัดรถบรรทุกในการวิ่งออกไปรับวัสดุ

จาก Supplier แต่ละรายตามเส้นทางที่จัดไว้ และทำการนัดหมายช่วงเวลาในการรับวัสดุ เมื่อรถบรรทุกรับของจาก Supplier ครบทุกรายในเส้นทางที่จัดไว้แล้ว ก็จะเดินทางกลับเข้ามาในโรงงาน ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสำหรับผู้ผลิต แทนที่จะต้องมียอดต้นทุนจาก Supplier แต่ละเจ้าที่แฝงต้นทุนค่าขนส่งไว้ในราคาวัสดุที่ส่งให้แก่ผู้ผลิต ผู้ผลิตจะลดต้นทุนด้วยการวิ่งรถออกไปรับวัสดุจาก Supplier ตามเวลานัดหมายเองซึ่งใช้รถเที่ยวเดียวแทนที่จะเป็นรถหลายเที่ยว นอกจากนั้นยังลดเวลาตรวจรับสินค้า ลดปริมาณการจราจรหน้าโรงงาน

Multi-drop คือ การกำหนดเงื่อนไขการวางแผนการจัดส่งสินค้า ว่า หนึ่งเที่ยวให้ส่งได้มากกว่า 1 จุดส่ง หรือหลายจุดส่ง (Multi-drop) ซึ่งเงื่อนไขการจัดส่งดังกล่าวทำให้ปัญหาการวางแผนการจัดส่งมีความซับซ้อนมากขึ้น

.NET Web Service คือเว็บเซอร์วิสที่ถูกพัฒนาด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ตระกูล .NET ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ไมโครซอฟท์ เว็บเซอร์วิส หรือ บริการบนเว็บ คือระบบซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมา เพื่อสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่าย โปรแกรมประยุกต์ที่เขียนโดยภาษาต่างๆ และทำงานบนแพลตฟอร์มต่างๆกันสามารถใช้เว็บเซอร์วิสเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เช่น อินเทอร์เน็ต ซึ่งทำให้โปรแกรมที่เขียนโดยภาษาจาวา และโปรแกรมที่เขียนโดยภาษาไพทอน สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันแม้จะทำงานบนระบบปฏิบัติการที่ต่างกัน เช่น โปรแกรมหนึ่งทำงานบนไมโครซอฟท์วินโดวส์และอีกโปรแกรมหนึ่งทำงานบนลินุกซ์

(อ้างอิง

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%A7%E0%B9%87%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%8B>)

Object-Oriented Development เป็นหลักการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ออกแบบองค์ประกอบของโปรแกรมเป็นวัตถุต่างๆที่เรียกใช้งานซึ่งกันและกัน หลักการนี้จะแตกโปรแกรมออกเป็นคลาสต่างๆที่เสมือนเป็นแม่พิมพ์ที่กำหนดคุณสมบัติของวัตถุ หรือ อ็อบเจกต์ ที่ทำงานร่วมกัน เพื่อให้ประกอบเป็นโปรแกรมที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เป็นหลักการการออกแบบซอฟต์แวร์ที่แตกต่างจากแนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์ก่อนหน้านี้ที่พิจารณาว่าซอฟต์แวร์ประกอบด้วยข้อมูล (Data) และ ฟังก์ชันที่ใช้ข้อมูลมาประมวลผลให้ทำงานได้ตามความต้องการ

Open Source หรือ โอเพ่นซอร์ส ในที่นี้จะหมายถึงการออกแบบ การพัฒนาซอฟต์แวร์ ที่เปิดเผยรหัสต้นฉบับ และ เปิดโอกาสให้บุคคลอื่นนำเอารหัสต้นฉบับไปพัฒนาต่อ รวมทั้งนำซอฟต์แวร์ไปใช้งานต่อโดยไม่มีค่าใช้จ่าย

Planner คือเจ้าหน้าที่ในฝ่ายจัดส่งที่ทำหน้าที่วางแผนการจัดส่งสินค้า และ กระจายเที่ยวรถให้แก่ผู้รับเหมาขนส่งไปดำเนินการจัดส่งตามแผนที่ได้วางไว้

PostGIS เป็นโปรแกรมโอเพ่นซอร์สที่เพิ่มฟังก์ชันความสามารถให้แก่ฐานข้อมูล PostgreSQL ที่เดิมเป็นฐานข้อมูลประเภท object-relational ให้สามารถจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ เชิงภูมิศาสตร์ และ ความสามารถในการสืบค้นข้อมูลจากฐานด้วยเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเชิงพื้นที่ได้ เช่น สืบค้นโรงเรียนที่อยู่ในรัศมี 10 กิโลเมตรจากโรงพยาบาล เป็นต้น

PostgreSQL Database เป็นระบบบริหารจัดการฐานข้อมูลประเภท Object-Relational ที่เป็นซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส และได้รับความนิยมอย่างมาก สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการหลักทุกยี่ห้อ ได้แก่ วินโดวส์ ลินุกซ์ ระบบปฏิบัติการค่ายแอปเปิ้ล : Mac OS X

Simulated Annealing เป็นวิธีการหาคำตอบแบบ Meta heuristics ที่เลียนแบบแนวคิดจากการหลอมโลหะโดยให้ความร้อนระดับสูงเพื่อเพิ่มขนาดของผลึกและลดข้อบกพร่องของโครงสร้างของโลหะนั้น ความร้อนจะทำให้อะตอมหลุดออกมาจากตำแหน่งเดิมที่มันอยู่และเคลื่อนที่แบบสุ่มและค่อยๆลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆจะทำให้อะตอมมีโอกาสมากขึ้นในการหาตำแหน่งซึ่งมีพลังงานภายในที่ต่ำกว่าเดิม ทำให้โครงสร้างของโลหะจะจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ผลก็คือจะได้โลหะที่เหนียวและไม่เปราะ เมื่อนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการหาวิธีการแก้ปัญหา จะได้ขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบแบบวนซ้ำ โดยในแต่ละรอบจะประกอบด้วยการเล่นแบบสุ่มจากวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันเพื่อสร้างวิธีการแก้ปัญหาใหม่ที่ใกล้เคียงกับวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบัน เมื่อวิธีการแก้ปัญหาใหม่ถูกสร้างขึ้นจะคำนวณค่าของฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันต้นทุน เพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับให้เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันหรือไม่ หากวิธีการแก้ปัญหาใหม่ดีกว่าวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันก็จะถูกยอมรับให้เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันแทน แต่ถ้าวิธีการแก้ปัญหาใหม่ไม่ดีกว่าวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันก็จะถูกยอมรับต่อไป

(อ้างอิง

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%88%E0%B8%B3%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B9%80%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A7>)

Single-drop คือ การกำหนดเงื่อนไขการวางแผนการจัดส่งสินค้าว่า หนึ่งเที่ยวให้ส่งได้แค่ 1 จุดส่งเท่านั้น ซึ่งเงื่อนไขการจัดส่งดังกล่าวทำให้ปัญหาการวางแผนการจัดส่งมีความซับซ้อนน้อยกว่า การจัดส่งแบบ Multi-drop ที่ให้ในหนึ่งเที่ยวการจัดส่งสินค้า สามารถจัดส่งได้มากกว่า 1 ที่หรือ 1 drop

Tabu Search การค้นหาเป็นวิธีการ Meta Heuristic ที่ใช้ร่วมกับวิธีการ Heuristic อื่น กระบวนการทำงานของการค้นหาคือ ในแต่ละรอบการทำงานปัจจุบันเมื่อสิ้นสุดการทำงานและพร้อมที่จะไปทำงานในรอบการทำงานถัดไป จะเลือกวิธีแก้ปัญหาบริเวณใกล้เคียง(Best Neighborhood) ที่มีคะแนนสูงที่สุดจากฟังก์ชันประเมินผลที่กำหนดขึ้น แล้วเคลื่อนย้ายจากวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันไปเป็นวิธีแก้ปัญหาบริเวณใกล้เคียงจนกระทั่งพบเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือเข้าเงื่อนไขจบการทำงานจึงหยุดการค้นหา วิธีแก้ปัญหาที่ถูกยอมรับแล้วในรอบการทำงานปัจจุบันจะถูกบันทึกไว้ในรายการต้องห้าม (Tabu List) โดยในการแก้ปัญหาในรอบ

ถัดไปจะรวมการพิจารณาวิธีแก้ปัญหาที่พบเทียบกับวิธีแก้ปัญหาที่เก็บในรายการต้องห้าม ซึ่งจะพิจารณาว่าวิธีแก้ปัญหาที่เก็บใน Tabu List เป็นผลลัพธ์จากเส้นทางที่ได้เคลื่อนผ่านมาแล้วและหลีกเลี่ยงไม่พิจารณาปัญหาซ้ำอีกครั้งเพราะจะทำให้เกิดวังวนและไม่สามารถหาวิธีที่ดีขึ้นได้จะเกิดปัญหาติดกับดักใน Local Space การใช้การค้นหาทาบูจึงเป็นการบังคับให้แผ่ขยายขอบเขตการค้นหาไปยังพื้นที่ในส่วนที่ยังไม่ได้รับการค้นหา (อ้างอิง <https://www.gotoknow.org/posts/301487>)

TMS (Transportation Management System) เป็นโปรแกรมที่ช่วยแก้ไขปัญหางานบริการขนส่งที่ซับซ้อน ได้แก่ การคำนวณและจัดสรรรถ คนขับ การจัดเส้นทาง การวิ่งรถรับส่งสินค้า การคำนวณตารางเวลา รถเข้า-ออกที่สอดคล้องกับ order ที่ได้รับอย่างเหมาะสม รวมทั้งช่วยคำนวณต้นทุนและระยะเวลาทำงานของเส้นทาง การวิ่งรถให้ได้ทราบอย่างรวดเร็ว ซึ่งโปรแกรม TMS มีทั้งที่จัด Order ให้เต็มคันรถ(Full Truck) แบบที่จำนวนจุดรับ-ส่งน้อยจุด หรือ แบบจัดเส้นทางให้รถค่อยๆ วิ่งรับสินค้าหลายจุดเพื่อนำไปส่งปลายทางหลายจุด ได้ตามความต้องการของลูกค้าด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยผู้ประกอบการขนส่งสามารถใช้ทรัพยากรให้เกิดสมประโยชน์สูงสุด รวมทั้งสามารถใช้ประโยชน์ในรถวิ่งเที่ยวกลับได้มากขึ้นด้วย โดยสรุป โปรแกรม TMS อาจประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายตัว เช่น โปรแกรมการจัดสรรรถขนส่งตาม order หรือ Fleet Optimization โปรแกรมการจัดสรรเส้นทางที่สั้นที่สุด (shortest path) หรือที่เร็วที่สุด (shortest time) หรือ Route Optimization โปรแกรมการรับงานจากลูกค้า และโปรแกรมการจ่ายงานให้กับผู้ทำการขนส่ง(อ้างอิง <http://www.logisticsdigest.com/component/content/article/51-march-2007/362-tms-software-%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%82%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B9%89%E0%B8%B2.html>)

URL เป็นตัวชี้แหล่งในอินเทอร์เน็ต หรือ โปรแกรมชี้แหล่งทรัพยากรสากล ย่อมาจาก Uniform Resource Locator, Universal Resource Locator) เรียกโดยย่อว่า ยูอาร์แอล เป็นตัวระบุแหล่งทรัพยากรสากล (URI) ประเภทหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับระบุแหล่งที่อยู่ของทรัพยากรที่ต้องการ และมีกลไกบางอย่างสำหรับดึงข้อมูลทรัพยากรนั้นมาใช้งานได้ โดยทั่วไปมักจะใช้ URL เพื่อระบุที่อยู่ของทรัพยากรที่ต้องการดาวน์โหลด เช่น ไฟล์บนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ต้องการดาวน์โหลดด้วยบราวเซอร์ (อ้างอิง <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A2%E0%B8%B9%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%81%E0%B8%AD%E0%B8%A5>)

User Interface คือ ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ซึ่งทำหน้าที่ให้ผู้ใช้สามารถปฏิสัมพันธ์กับโปรแกรมเพื่อสั่งงานโปรแกรม หรือ ดูผลลัพธ์การทำงานของโปรแกรม ในปัจจุบันส่วนต่อประสานกับผู้ใช้มักถูกทำในรูปแบบกราฟิก(Graphical User Interface) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและใช้งานโปรแกรมได้ง่าย เช่น การใช้เมาส์ในการใช้งานโปรแกรม หรือ การใช้เมนูเพื่อเลือกรายการที่ต้องการทำ

Warehouse Management หมายถึง การบริหารจัดการคลังสินค้าซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับจัดเก็บสินค้าให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้สอยและการเคลื่อนย้ายสินค้า (Finished Goods) และวัตถุดิบ (Raw Material) การจัดการคลังสินค้า(Warehouse Management) เป็นการจัดการตั้งแต่ขั้นตอนการรับ การจัดเก็บ การจัดส่งสินค้าให้ผู้รับเพื่อกิจกรรมการขาย เป้าหมายหลักในการบริหารคลังสินค้าเพื่อให้เกิดการดำเนินการเป็นระบบให้คุ้มกับการลงทุน และให้มีการควบคุมคุณภาพการจัดเก็บ การหยิบสินค้า ป้องกัน ลดการสูญเสียจากการดำเนินงานเพื่อให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด และใช้ประโยชน์เต็มที่จากพื้นที่คลังสินค้าที่มี (อ้างอิง <http://riverplusblog.com/2011/08/18/warehouse-management-basic-knowledge/>)

Web Application (เว็บแอปพลิเคชัน) เป็นโปรแกรมที่มีการทำงานในรูปแบบที่เรียกว่า Client-Server คือ โปรแกรมประกอบด้วยโปรแกรม 2 ส่วนที่ส่วนหนึ่งจะถูกติดตั้งไว้บนเครื่องแม่ข่ายให้บริการ (Server) ซึ่งคอยให้บริการกับผู้ใช้งานที่เรียกใช้งานผ่านโปรแกรมประเภท Brower ที่ติดมากับระบบปฏิบัติการ เช่น โปรแกรม Internet Explorer หรือโปรแกรมฟรี ได้แก่ FireFox, Google Chrome โดยข้อดีของโปรแกรมประเภทเว็บแอปพลิเคชัน คือ สามารถเรียกใช้งานได้โดยผู้ใช้ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมใดเป็นพิเศษสามารถเรียกใช้ผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ และสามารถใช้โปรแกรมประเภทเว็บแอปพลิเคชันจากที่ใดก็ได้ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

WSDL ย่อมาจาก Web Service Description Language เป็นภาษาที่นิยามด้วยภาษา XML ใช้สำหรับอธิบายรายละเอียดวิธีการเรียกใช้เว็บเซอร์วิส เช่น ที่อยู่ของจุดให้บริการเว็บเซอร์วิส โอเปอเรชันหรือเมธอดที่สามารถเรียกใช้งานได้จากจุดบริการเว็บหรือเว็บเซอร์วิส พารามิเตอร์ที่ต้องส่งไปยังเว็บเซอร์วิสเพื่อเรียกใช้งาน และ โครงสร้างของข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้คืนจากการเรียกเว็บเซอร์วิส

XML ย่อมาจาก Extensible Markup Language เป็นภาษาที่ใช้กำหนดภาษาในรูปแบบ Markup Tag เพื่อใช้กำหนดโครงสร้างไวยากรณ์ของข้อมูลที่ใช้ในแลกเปลี่ยนระหว่างโปรแกรม ข้อเด่นของภาษา XML คือ โครงสร้างของข้อมูลเอกสารที่นิยามด้วย XML ที่อยู่ในรูปแบบ Markup Tag เป็นรูปแบบที่ทั้งมนุษย์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถอ่านเข้าใจได้ง่าย