

โปรแกรมช่วยจัดเส้นทางโดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม
DESIGNING TRAVELLING ROUTE BY USING GENETIC ALGORITHM

นางสาวมาลิณี หลวงคลัง รหัส 51363661
นางสาวยุพาทิ์ อนิลบล รหัส 51363685

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 15424418
เลขเรียกหนังสือ..... ฟร.
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ๕๔๗

2564


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2554

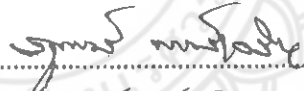



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

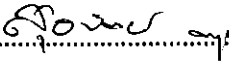
ชื่อหัวข้อโครงการ โปรแกรมช่วยจัดเส้นทางโดยใช้วิธีเงินเนติกอัลกอริทึม
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวมาลิณี หลวงคลัง รหัส 51363661
นางสาวยุพาภัทร อนิลบล รหัส 51363685
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)


.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อุพงษ์ พงษ์เจริญ)


.....กรรมการ
(ดร.ชวัญนิธิ คำเมือง)


.....กรรมการ
(ดร.สุนิทย พุทธพนม)

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อหัวข้อโครงการ | โปรแกรมช่วยจัดเส้นทางโดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม |
| ผู้ดำเนินโครงการ | นางสาวมาลิณี หลวงคลัง รหัส 51363661 |
| | นางสาวยุพาทิร อนิลบล รหัส 51363685 |
| ที่ปรึกษาโครงการ | อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| ปีการศึกษา | 2554 |

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง (Travelling Problem) เป็นปัญหาที่มีรูปแบบการเดินทาง โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นหนึ่งเพื่อไปยังจุดอื่นๆ และสิ้นสุดการเดินทางยังจุดหรือสถานที่ที่ต้องการ ปัญหาชนิดนี้มีลักษณะการแก้ปัญหาที่ต้องการวางแผนเส้นทางในการเดินทางที่ทำให้ค่าใช้จ่าย เวลา ระยะทาง หรือหน่วยวัดอื่นๆ ต่ำที่สุด ซึ่งถ้าเป็นการเดินทางในระยะทางที่ใกล้ๆ หรือไปไม่กี่จังหวัด จะเป็นเรื่องง่ายที่จะทำการคำนวณระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุด แต่ถ้าหากการเดินทางนั้นเป็นการเดินทางที่ต้องไปหลายๆ จังหวัดวิธีการแก้ปัญหาด้วยการคำนวณ มักเป็นวิธีที่มีการคำนวณยุ่งยาก ซับซ้อนเนื่องจากขอบเขตของปัญหาจะมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงใช้ระยะเวลาในการคำนวณเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางค่อนข้างนาน ปัญหาในลักษณะนี้จึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นจำนวนมาก เพื่อคิดค้นและนำเสนอวิธีใหม่ๆ ที่ทำให้การแก้ปัญหาง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ทางคณะผู้ดำเนินโครงการ จึงจัดทำโครงการนี้เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการเดินทาง โดยจะนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางในการเดินทางด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA) เนื่องจาก GA สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยจะหาคำตอบที่มีความเหมาะสมจากหลายล้านคำตอบในเวลาที่ยอมรับได้ จึงเหมาะสมสำหรับการนำมาแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณเพื่อหาคำตอบของปัญหา ดังเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งการนำเสนอคำตอบของปัญหาสำหรับโครงการนี้จะนำเสนอออกมาในรูปแบบของโปรแกรมเพื่อช่วยในการจัดเส้นทางการเดินทางที่เหมาะสม โปรแกรมจะแสดงออกมาในรูปแบบการจัดเรียงลำดับเส้นทางที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเดินทางและระยะทางรวมทั้งหมดในการเดินทาง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณท่าน อาจารย์ศรีสัจจา วิหยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดี ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญาโทฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชา คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่เสียสละเวลา เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำปริญญาโทในครั้งนี้จนลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำปริญญาโทฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวทุกท่านที่ให้โอกาสทางการศึกษาคอยสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาตลอดการศึกษานจนประสบความสำเร็จ และอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี้ ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงการ
มาลิณี หลวงคลัง
ยุพภัทร อนิลบล

มีนาคม 2555

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| ใบรับรองปริญญาโท..... | ก |
| บทคัดย่อ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ช |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 2 |
| 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)..... | 2 |
| 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)..... | 2 |
| 1.5 ขอบเขตของการทำโครงการ..... | 3 |
| 1.6 สถานที่ในการดำเนินงานโครงการ..... | 3 |
| 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงการ..... | 3 |
| 1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)..... | 3 |
| | |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (The Traveling Problem)..... | 4 |
| 2.2 วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง..... | 5 |
| 2.3 วิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม (Resolution Approaches)..... | 5 |
| 2.4 วิธีการเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA)..... | 8 |
| 2.5 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk..... | 17 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 17 |
| | |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 19 |
| 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ..... | 19 |
| 3.2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงการ..... | 19 |
| 3.2.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง..... | 21 |
| 3.2.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการของวิธีการ Genetic Algorithm..... | 21 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.2.3 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมโดยอาศัยหลักการ GA..... | 21 |
| 3.2.4 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม | 25 |
| 3.2.5 การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 25 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์..... | 26 |
| 4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง โดยอาศัยหลักการ GA..... | 26 |
| 4.1.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data) | 26 |
| 4.1.2 การประมวลผล (Processing)..... | 27 |
| 4.1.3 ข้อมูลนำออก (Output Data) | 30 |
| 4.2 ผลการทดสอบโปรแกรม | 31 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 35 |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ | 35 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 36 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 37 |
| ภาคผนวก ก..... | 38 |
| ภาคผนวก ข..... | 41 |
| ภาคผนวก ค..... | 60 |
| ภาคผนวก ง..... | 67 |
| ภาคผนวก จ..... | 72 |
| ภาคผนวก ฉ..... | 78 |
| ประวัติผู้ดำเนินโครงการ | 99 |

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินโครงการ..... 3



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 แสดงวิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimisation Algorithms)..... | 6 |
| 2.2 แสดงโครงสร้างการทำงานของ GA..... | 9 |
| 2.3 (ก) แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA แบบอนุกรม | 10 |
| (ข) แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA แบบขนาน..... | 10 |
| 2.4 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ Cycling..... | 11 |
| 2.5 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ Partial Matching..... | 12 |
| 2.6 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ Oder..... | 12 |
| 2.7 แสดงการกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS) | 13 |
| 2.8 แสดงกลไกการทำงานของ Elitist Strategy..... | 16 |
| 3.1 กระบวนการดำเนินงานของโครงการ..... | 20 |
| 3.2 แสดงการทำงานของโปรแกรมที่อาศัยวิธีการ GA | 24 |
| 4.1 แสดงรูปแบบแฟ้มเก็บข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัด..... | 26 |
| 4.2 แผนผังการทำงานโดยรวมของโปรแกรม | 27 |
| 4.3 หน้าต่าง Select Province all? | 28 |
| 4.4 หน้าต่าง Select Province_Data..... | 28 |
| 4.5 หน้าต่าง Choose the start province..... | 29 |
| 4.6 หน้าต่าง Choose the finish province | 29 |
| 4.7 หน้าต่าง You want choose start province again | 30 |
| 4.8 หน้าต่าง You want choose finish province again..... | 30 |
| 4.9 หน้าต่างรายงานผลลัพธ์ | 30 |
| 5.1 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์..... | 35 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง (Travelling Problem) ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางเพื่อการท่องเที่ยว ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางเพื่อการค้าขายหรือส่งสินค้า และอื่นๆ เป็นปัญหาที่มีรูปแบบการเดินทางโดยเริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นหนึ่งเพื่อไปยังจุดอื่นๆ และสิ้นสุดการเดินทางในสถานที่หรือจังหวัดที่ต้องการ ปัญหาชนิดนี้มีเป้าหมายในการแก้ปัญหาเพื่อต้องการ การวางแผนเส้นทางเดินทางที่ช่วยลดเวลาและระยะทางในการเดินทาง ควบคุมค่าใช้จ่าย และการไปถึงจุดหมายปลายทางโดยสวัสดิภาพ ซึ่งการกำหนดการวางแผนจัดเส้นทางเดินทางที่ดีจะต้องมีลักษณะการเดินทางดังนี้ คือ ในการเดินทางหนึ่งๆ เส้นทางการเดินทางต้องไม่ตัดกัน และต้องไม่มีการใช้เส้นทางซ้ำซ้อนไม่ว่าจะเป็นการเดินทางไปหรือกลับ ซึ่งการวางแผนการเดินทางที่ดีจะช่วยลดการเกิดปัญหาข้างต้นได้ และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินทางอีกด้วย ซึ่งถ้าเป็นการเดินทางในระยะทางที่ใกล้ๆ หรือไปไม่ถึงจังหวัด จะเป็นเรื่องง่ายที่จะทำการคำนวณระยะทางในการเดินทางแต่ถ้าหากการเดินทางเป็นการเดินทางที่ต้องไปหลายๆ จังหวัดวิธีการแก้ปัญหาด้วยการคำนวณ มักเป็นวิธีที่มีการคำนวณยุ่งยากซับซ้อนเนื่องจากขอบเขตของปัญหาจะมีขนาดใหญ่ขึ้น คือ จะมีการเชื่อมโยงหลายๆ จุดเข้าด้วยกัน จึงเป็นเรื่องยุ่งยาก และซับซ้อนที่จะทำการคำนวณเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทาง

แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะสามารถแก้ปัญหาด้วยวิธีการคำนวณได้ แต่วิธีการคำนวณก็จะได้แค่ระยะทางสั้นที่สุดในการเดินทางออกมา ไม่ได้ทำให้ผู้เดินทางมองเห็นภาพรวมของการเดินทางได้ โดยในโครงการนี้จะทำการออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมที่สามารถทำการคำนวณระยะทางที่ผู้ใช้ต้องการเดินทาง และแสดงการจัดลำดับเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเดินทาง ทำให้ผู้เดินทางสามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทาง และได้ระยะทางที่เหมาะสมในการเดินทางอีกด้วย

ปัญหาการเดินทางจัดเป็นปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP - Complete) (Karp, 1972) ซึ่งปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์นี้เป็นคลาสของปัญหาที่ใหญ่มาก ประกอบด้วยปัญหาสำคัญมากมาย ปัญหาบางอย่างในเอ็นพีค่อนข้างเป็นนามธรรมที่ดูเหมือนกับว่าจะไม่มีประโยชน์อะไรเลยในชีวิตจริง แต่ปัญหาส่วนใหญ่ที่ถูกนำมาใช้อย่างมากในงานอุตสาหกรรมและการคำนวณต่างๆ ก็เป็นปัญหาในกลุ่มเอ็นพีเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ปัญหาการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ราคาถูกที่สุด ปัญหาการหาเส้นทางเดินครบรอบที่ประหยัดที่สุด ปัญหาการแบ่ง และจัดลำดับการทำงานสำหรับคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ซึ่งไม่มีวิธีการแก้ปัญหาที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่เหมาะสมได้

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางเป็นปัญหาที่มีรูปแบบการเดินทางเหมือนกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายซึ่งปัญหานี้ได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก โดยรูปแบบของงานวิจัยส่วนใหญ่ เป็นการคิดค้นและนำเสนอวิธีใหม่ๆ ที่ทำให้การแก้ปัญหาง่ายขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เช่น การนำเสนอวิธีการแตกกิ่ง และจำกัดขอบเขต (Branch and Bound) ในงานวิจัยของ Little (1963) และงานวิจัยของ Held and Karp (1970) ได้นำวิธีการของ Little (1963) ร่วมกับวิธีรูปลูกต้นไม้แบบทอดข้ามที่ต่ำที่สุด (Minimum Spanning Tree) และการใช้แนวคิดด้านการหาวิธีที่เหมาะสมที่สุด และระเบียบวิธีผ่อนปรนเชิงลากรองจ์ (Lagrangian Relaxation) มาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางที่มีลักษณะสมมาตรและอีกหนึ่งวิธีที่นักวิจัยสนใจศึกษา และนำเสนอคือการใช้วิธีการสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristic Method) มาแก้ปัญหาการเดินทาง นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอวิธีกำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) มาใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนไขด้านเวลาที่ต้องอยู่ในช่วงที่กำหนด และลำดับเส้นทางในการเดินทางก่อนหลัง ซึ่งปัญหาที่ได้กล่าวมานี้ ถ้ามีจำนวนเมืองหรือระยะทางที่เพิ่มมากขึ้นที่อาจกล่าวได้อีกหนึ่งนัยหนึ่งว่าถ้าขอบเขตของปัญหาใหญ่ขึ้นก็จะทำให้มีวิธีการแก้ปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่มากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในโครงการนี้จึงนำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหา เนื่องจากวิธีการนี้มีคุณสมบัติที่สามารถแก้ปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน และมีขอบเขตของปัญหาที่ใหญ่ได้อย่างเหมาะสม

โครงการนี้มุ่งเน้นที่การจัดลำดับเส้นทางการเดินทางภายในประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินทางและให้ผู้เดินทางสามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทางได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาการเดินทางในโครงการนี้จะใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA) เนื่องจาก GA สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยจะหาคำคำตอบที่มีความเหมาะสมจากหลายล้านคำตอบในเวลาที่ยอมรับได้ จึงเหมาะสมสำหรับการนำเอามาแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณเพื่อหาคำตอบของปัญหา ดังเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งการนำเสนอคำตอบของปัญหาสำหรับโครงการนี้จะนำเสนอออกมาในรูปแบบของโปรแกรมเพื่อช่วยในการจัดเส้นทางที่เหมาะสม โปรแกรมจะแสดงออกมาในรูปแบบของลำดับการเดินทาง และระยะทางรวมทั้งหมดในการเดินทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมช่วยในการจัดเส้นทางการเดินทางภายในประเทศไทย

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมสามารถค้นหาเส้นทาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง (The Travelling Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางเป็นปัญหารูปแบบหนึ่งในวิชาวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) โดยปัญหาการจัดเส้นทางพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย, ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง และปัญหาการจัดเก็บขยะมูลฝอย ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางมีรูปแบบเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่ได้รับความสนใจมากตั้งแต่ปี 1950 โดยปัญหาดังกล่าวมีลักษณะเป็นกราฟ ซึ่งมีระยะการเดินทางผ่านจุด i ไป j สามารถเขียนในรูป $d(i, j)$ มีกราฟที่ประกอบด้วยจุดต่อ (Node) หรือจุดยอด (Vertice) และส่วนโค้ง (Arc) หรือเส้นเชื่อม (Edges) มีรูปแบบการเดินทางที่ต้องผ่านจุดต่อหรือจุดยอดอย่างน้อยหนึ่งครั้ง และวนกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยเรียกการเดินทางรูปแบบนี้ว่า วงล้อมฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Cycle) และเส้นทางเดินที่ได้จะเรียกว่า ทัวร์ย่อย (Subtour) แต่ในบางกรณีที่เดินทางผ่านทุกจุดต่อหรือจุดยอดอย่างน้อยหนึ่งครั้ง โดยไม่กลับมายังจุดเริ่มต้นเดิมอีกจะเรียกรูปแบบนี้ว่า เส้นทางฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Path)

สำหรับการเดินทางโดยทั่วไปที่ต้องการระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยมีรูปแบบการเดินทางเป็นวงล้อมฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Cycle) หรือเส้นทางฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Path) จะมีลักษณะของกราฟเส้นทาง 2 แบบ คือ แบบสมมาตร (Symmetric Traveling Salesman Problem) และแบบอสมมาตร (Asymmetric Traveling Salesman Problem) โดยในแบบสมมาตรนั้นจะมีระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการไปกลับมีค่าเท่ากัน แสดงว่าระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่าง 2 จุดต่อ ไม่ขึ้นกับทิศทางของการเดินทาง ส่วนในแบบอสมมาตรนั้นจะมีลักษณะระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการไปกลับไม่เท่ากัน แสดงว่าเป็นการเดินทางแบบมีทิศทาง โดยในปัญหาหนึ่งๆ จะกำหนดให้จุดใดๆ มี 1 เส้นทางที่พุ่งเข้ามาและ 1 เส้นทางที่พุ่งออกมา จากการสำรวจทฤษฎีที่ได้มีผู้นำเทคนิคต่างๆ ในการแก้ปัญหา มาประยุกต์ใช้ เช่น งานวิจัยของ Bellmore and Nemhauser (1973) ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้ได้พัฒนาไปเป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีลักษณะทั่วไป และยังสามารถพัฒนาต่อโดยได้แปลงปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบทั่วไปเป็นแบบโครงสร้างที่มีประโยชน์ในด้านการตัดสินใจเลือก และการจัดลำดับไปเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานแบบธรรมดาที่มีระยะทางไปกลับไม่เท่ากัน และปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานหลายคนที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยปัญหาเหล่านี้ก็มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

2.2 วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางจัดเป็นปัญหา NP - Problem นั่นคือ ปัญหาที่มีความซับซ้อน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา นั้น มุ่งหาวิธีการที่สามารถให้คำตอบในเรื่องของระยะเวลา, ค่าใช้จ่าย หรือ หน่วยวัดอื่นๆ ออกมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่ต้องการศึกษา และ พัฒนาวิธีการใหม่ๆ ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง

1 วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นการสร้างรูปแบบปัญหาในรูปของโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) วิธีการนี้พบว่ามียุ่งยากความซับซ้อน ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานานและใช้หน่วยความจำมาก (Little, 1963)

2 วิธีการกำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด วิธีการนี้ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก และหน่วยความจำสูง ซึ่งพบว่าวิธีนี้เหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งได้ใช้วิธีการนี้แก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีเมืองอย่างน้อย 10 เมือง ผลที่ได้พบว่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเป็นการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลตามจำนวนเมืองที่เพิ่มขึ้นคือ ปัญหา 5 เมือง ใช้เวลา 10 วินาที ปัญหา 10 เมืองใช้เวลา 8 นาที ในการหาคำตอบ

3 วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound Method) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่เป็นวิธีที่ใช้เวลาและหน่วยความจำในการประมวลผลมาก ซึ่งในทางปฏิบัติจะนิยมใช้กับปัญหาขนาดเล็กเท่านั้น โดยได้มีการนำเสนออัลกอริทึมซึ่งได้ทำการแตกกิ่งเพื่อกำจัดทัวร์ย่อยแล้วใช้พื้นฐานการแก้ปัญหาลำดับของการมอบหมายงานซึ่งใช้วิธีการจำกัดขอบเขตโดยใช้เครื่องมือที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้มากที่สุดคือ 10 เมือง และไม่ทราบเวลาในการคำนวณ

4 วิธีการแก้ปัญหาการสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristic Algorithm) เป็นวิธีที่มีลักษณะการทำงานแตกต่างกันมากมายหลายวิธี สามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน คือ เริ่มจากการสร้างทัวร์ (Tour Construction Procedures), การปรับปรุงทัวร์ (Tour Improvement Procedures) และการผสมกัน (Composite procedures) วิธีการแก้ปัญหานี้จะให้คำตอบใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ใช้เวลาในการแก้ปัญหา และหน่วยความจำน้อย

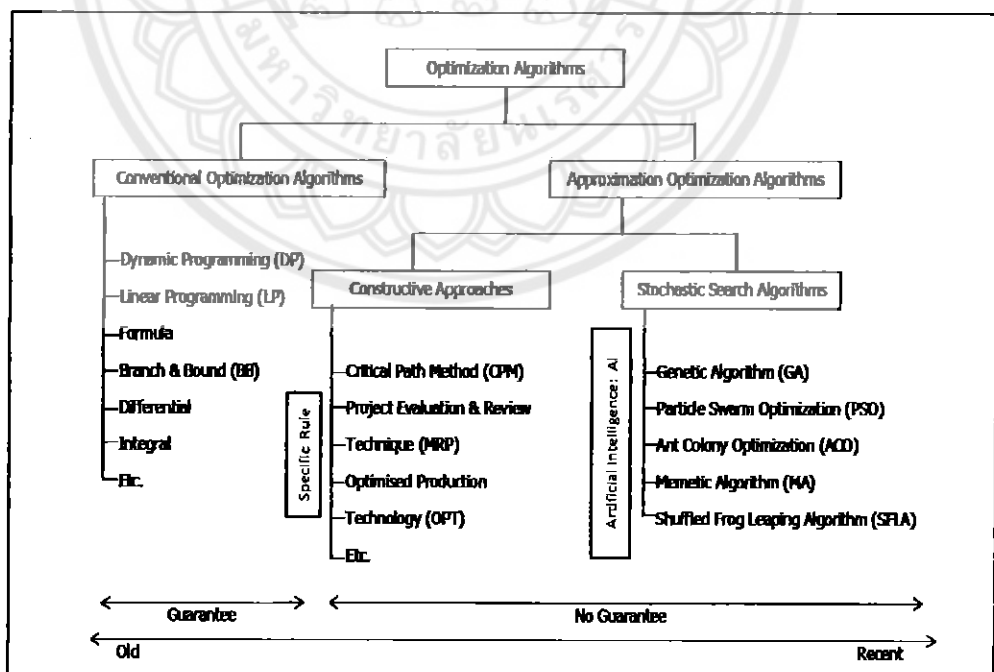
2.3 วิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม (Resolution Approaches)

ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมีวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม (Resolution Approaches) หลากหลายวิธี อาทิเช่น การใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) ซึ่งวิธีการนี้จะให้คำตอบที่ดีที่สุด และมีความแม่นยำสูง การใช้วิธีการช่วยค้นหาคำตอบที่เหมาะสม (Heuristic Method) และการใช้วิธีการเรียนรู้ทางปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการหาคำคำตอบ (Intelligence Approaches) เป็นต้น ซึ่งจะขอกกล่าวโดยสังเขป ดังนี้

ปัญหาที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimisation Problems) โดยทั่วไปแล้วจะเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน จำนวนของคำตอบที่เป็นไปได้มีจำนวนมากพอสมควร ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด และ ลักษณะของปัญหา ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่ต้องการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path

Problems), ปัญหาการจัดตารางเรียนตารางสอน (Timetabling Problem), ปัญหาการมอบหมายงานที่เหมาะสมที่สุด (Assignment Problem) และปัญหาการหาต้นทุนในการส่งสินค้าที่น้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Solution) โดยที่ประสิทธิภาพของคำตอบจะวัดได้จากค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ว่าเป็นปัญหาที่ต้องการหาคำตอบแบบใด เช่น ปัญหาการหาคำตอบที่มากที่สุด (Maximisation Problems) หรือปัญหาการหาคำตอบที่น้อยที่สุด (Minimisation Problems) (Dorigo and Stutzle, 2004) วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือดีที่สุด (Optimisation Algorithms) นั้นได้ถูกนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและเป็นเรื่องที่ยากมากในการที่จะค้นหาคำตอบ เพราะว่าคุณลักษณะของปัญหาที่นำมาหาคำตอบส่วนมากเป็นปัญหาประเภท เอ็นพีแบบยาก (Non-deterministic Polynomial (NP) Hard Problem) ขณะที่ขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่นานมากขึ้นหลายเท่าตัว ดังนั้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจึงเกิดขึ้นเพื่อจัดการกับปัญหาลักษณะเช่นนี้โดยตรง ซึ่งวิธีการในกลุ่มนี้จะมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนสูงๆ ได้ (Pongcharoen, et al., 2004)

วิธีการแก้ปัญหาในการหาคำตอบที่ดีที่สุด สามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธี ดังรูป 2.1 คือ วิธีแรกเป็นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimisation Algorithms : COAs) และวิธีที่สองเป็นการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่า (Approximation Optimisation Algorithms : AOAs) (Pongcharoen, et al., 2004)



รูปที่ 2.1 แสดงวิธีการแก้ปัญหาในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimisation Algorithms)

ที่มา : Pongcharoen, et al., 2004

2.3.1 วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimisation Algorithms : COAs)

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นขณะเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนำไปใช้กับทางการทหารที่มีความซับซ้อน เพื่อปรับปรุงกลยุทธ์ในการทำสงครามให้ฝ่ายของตนเองได้รับชัยชนะ ซึ่งการแก้ปัญหาจะอยู่บนพื้นฐานของคณิตศาสตร์เป็นหลัก โดยมีขั้นตอน ตัวแปร และสมการที่ซับซ้อน เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นใช้เวลานาน ถึงแม้คำตอบที่ได้จะได้ค่าที่ดีที่สุดก็ตาม (Pongcharoen, et al., 2004) ซึ่งภายหลังได้มีการนำเอาวิธีการต่างๆ มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหามากมาย โดยได้รับความนิยมน้อยอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ปัญหาการจัดตาราง (Scheduling Problem) โดยได้นำเอาวิธีการโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming) มาแก้ปัญหาการจัดตารางงานบนเครื่องจักร (Cheng and Sun, 2009) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) โดยได้นำเอาวิธีการแตกกิ่ง และขอบเขต (Branch and Bound Algorithms) มาแก้ปัญหา TPS (Held and Karp, 1970) และปัญหาการมอบหมายงาน (Breslaw, 1976) เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ความซับซ้อนของปัญหาในปัจจุบันที่มีมากกว่าในอดีต ทำให้วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยหลักการทางคณิตศาสตร์ (COAs) นั้นมีความเป็นไปได้ที่ยาก และลำบากมากยิ่งขึ้นในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสม โดยเฉพาะในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลค้นหาค่าคำตอบ ที่ต้องใช้เวลาในการหาค่าคำตอบที่นานยิ่งขึ้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จากการประมาณค่า (Approximation Optimisation Algorithms : AOAs) มาใช้ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3.2 วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณค่า (Approximation Optimisation Algorithms : AOAs)

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณค่า (AOAs) ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จึงเป็นไปได้ยากที่จะใช้วิธีการหาค่าคำตอบโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์เหมือนช่วงอดีตที่ผ่านมา เนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลเป็นเวลานาน ซึ่งปัจจุบันปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้น ต้องอาศัยวิธีการแก้ปัญหาที่รวดเร็ว เพื่อสามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางธุรกิจได้ โดยค่าคำตอบที่ได้นั้นอาจจะไม่ดีที่สุดแต่เป็นค่าคำตอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด (Near Optimum Solution) (Osman and Laporte, 1996) กับการใช้งานได้ดี นอกจากนี้แล้ววิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณ (AOAs) ยังแยกออกเป็นวิธีการแบบคอนสตรัคทีฟ (Constructive Methods) และวิธีการหาค่าคำตอบที่มีรูปแบบไม่แน่นอน (Stochastic Search Algorithms) (Pongcharoen, et al., 2004)

2.3.2.1 วิธีการแบบคอนสตรัคทีฟ (Constructive Methods)

เป็นทฤษฎี หรือหลักการที่ใช้เฉพาะเจาะจง (Specific rule) กับปัญหา เพื่อใช้ในการสร้างผลเฉลย โดยจะค่อยๆ ทำการสร้างผลเฉลยขึ้นมาทีละส่วน จนกระทั่งผลเฉลยนั้นสมบูรณ์ เช่น วิธีการหาเส้นทางวิกฤต (Critical Path Method : CPM) และวิธีการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning : MRP) เป็นต้น (Pongcharoen, et al., 2004)

2.3.2.2 วิธีการหาคำตอบที่มีรูปแบบไม่แน่นอน (Stochastic Search Algorithms)

หรืออาจเรียกว่า อัจฉริยะเทียม (Artificial Intelligent : AI) จัดอยู่ในกลุ่มของวิธีการแบบ Metaheuristic ซึ่งลักษณะการทำงานของวิธีการนี้ จะทำการวนซ้ำของรอบการทำงาน (Iteration) ในการค้นหาคำตอบ และจะหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่น การกำหนดให้มีการวนซ้ำที่รอบ เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ซิมูเลเทดแอนนีลิ่ง (Simulated Annealing : SA), ทาบูเสิร์จ (Tabu Search : TS), นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network : NN), เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA), พาร์ติเคิลสวาร์มออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation : PSO) และแอนท์คอลลอนีออปติไมเซชัน (Ant Colony Optimisation : ACO) ซึ่งในโครงการนี้ได้นำวิธีการ Genetic Algorithm (GA) มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางภายในประเทศไทย ซึ่งหลักการของวิธีการ GA จะขอกล่าวในหัวข้อต่อไป

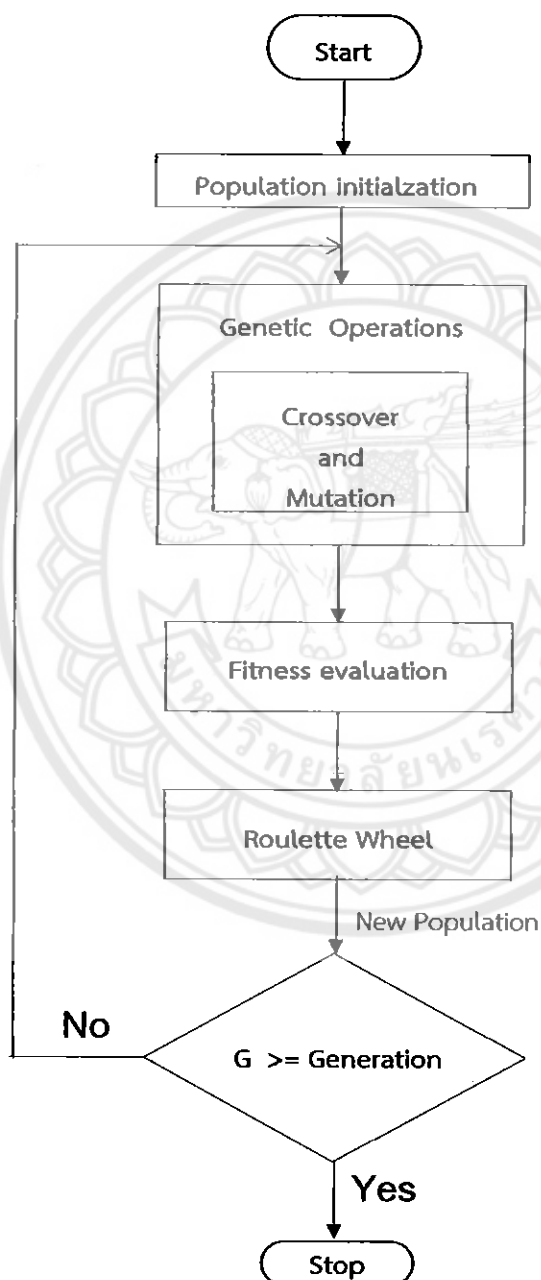
2.4 วิธีการเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

2.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับขั้นตอนพันธุกรรม

พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา เมนเดล (Mendel) บิดาแห่งพันธุศาสตร์ ค้นพบว่า ยีน (Gene) หน่วยเก็บลักษณะทางกรรมพันธุ์เป็นตัวกำหนดลักษณะภายนอก ซึ่งยีนหลายๆ ยีนเรียงตัวกันอยู่บนเส้นโครโมโซมอีกทีหนึ่งในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และอยู่กันเป็นคู่ๆ (กาญจน์ วงศ์วิภาพร, 2541) โดยที่ลักษณะต่างๆ ในแต่ละยีน เรียกว่าแอลลีล (Allele) ซึ่งแบบต่างๆ ของยีนที่มีแอลลีลต่างกันในแต่ละตำแหน่งของยีนเดียวกันเรียกว่าจีโนไทป์ (Genotype) ส่วนลักษณะภายนอกที่ปรากฏออกมาให้เห็น เรียกว่าฟีโนไทป์ (Phenotype)

การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแบ่งตัวของเซลล์สิ่งมีชีวิต โดยการเกิดใหม่ของเซลล์มีอยู่ 2 แบบ คือ การเพิ่มจำนวนเซลล์ ซึ่งโครโมโซมแต่ละตัวจะขยายตัวเพิ่มจำนวนตัวเองเป็นสอง กับแบบที่เป็นการแบ่งตัวของเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งอาศัยวิธีการจับคู่ และจำลองโครโมโซมของทั้งพ่อและแม่เพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ วิธีการทางพันธุศาสตร์ในระหว่างที่เกิดการแบ่งตัวของแบบที่สองนั้น โครโมโซมจะมีโอกาสแลกเปลี่ยนบางส่วนซึ่งกันและกัน อันทำให้เกิดวิธีการที่เรียกว่า ครอสโอเวอร์ (Crossover) ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนต่างๆ ของคู่โครโมโซมพ่อกับแม่ ทำให้สิ่งมีชีวิตรุ่นลูกที่เกิดขึ้นมา มีความหลากหลายมากขึ้น และอยู่รอดอย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ส่วนมิวเตชัน (Mutation) การผ่า

เหล่า หรือการกลายพันธุ์ คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนไปจากเดิมที่ควรเป็นไปตามการถ่ายทอด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะที่แปลกๆ อย่างมากมายของสิ่งมีชีวิต การผ่าเหล่าเหล่านั้นทุกลักษณะในแต่ละยีนย่อมมีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้พอกัน และถ้าเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมก็จะอยู่รอดต่อไป หากถ้าไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมขณะนั้น จะไม่ถูกคัดเลือกและหายไปในที่สุด ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างการทำงานของ GA ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างการทำงานของ GA
ที่มา : ดัดแปลงจาก Pongcharoen, 2004

2.4.2 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม หรือเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms)

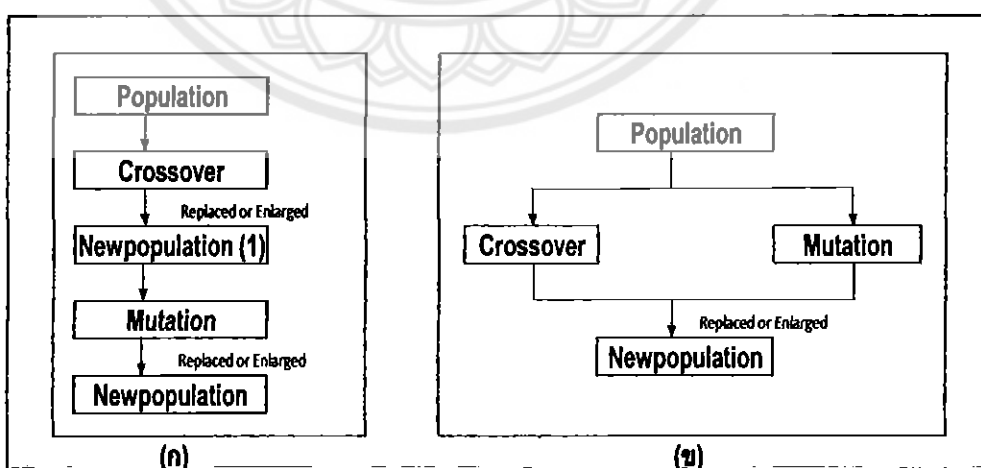
เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetic Selection) ซึ่งคิดค้นโดย John Holland เมื่อปี ค.ศ. 1975 โดยนำมาจากแนวคิดที่ว่าสิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนดีและส่วนที่ไม่ดี ซึ่งลักษณะที่ดีก็ย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า และจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน

2.4.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างโครโมโซม (Encoding Chromosome)

เริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าคำตอบมาจำนวนหนึ่งแล้วแปลง (Encoding) ค่าคำตอบเหล่านั้นให้เป็น “โครโมโซม (Chromosome)” และเรียกกลุ่มของโครโมโซมเหล่านี้ว่า “ประชากร (Population)” ส่วนวิธีการ Encode นั้นเป็นการนำโครโมโซมแต่ละตัวที่ประกอบไปด้วยยีนจำนวนหนึ่งมาเรียงต่อกัน ซึ่งสามารถแทนยีนเหล่านี้ได้ 2 รูปแบบ ดังนี้ แบบที่หนึ่งคือ แบบตัวเลข มี 2 ลักษณะคือ Binary และ Real รูปแบบของโครโมโซมที่เป็น Binary Bit Sting จะแทนแต่ละยีนด้วย 0 และ 1 ส่วนรูปแบบของโครโมโซมที่เป็น Real String จะแทนแต่ละยีนด้วยเลขจำนวนจริง และแบบที่สองคือ แบบตัวอักษรผสมตัวเลข (Alphanumeric)

2.4.2.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operation)

เป็นการนำโครโมโซมทั้งหมดจากขั้นตอนที่ 1 มาเข้าสู่กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operation) ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ การสลับสายพันธุ (Crossover) และการกลายพันธุ (Mutation) โดยการสลับสายพันธุ และการกลายพันธุ จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบอนุกรม (Series) เป็นการทำการสลับสายพันธุก่อนแล้วจึงไปทำการกลายพันธุ และแบบขนาน เป็นการทำการสลับสายพันธุไปพร้อมๆ กับการทำการกลายพันธุ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) และ รูปที่ 2.3 (ข)



รูปที่ 2.3 (ก) แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA แบบอนุกรม

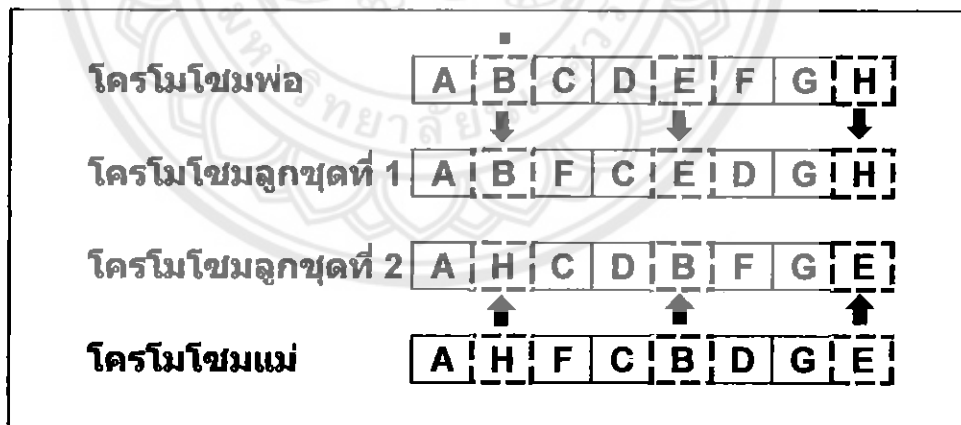
(ข) แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA แบบขนาน

ที่มา : Pongcharoen, 2002

ก. การสลับสายพันธุ (Crossover) เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม แล้วทำการสลับยีนหรือกลุ่มยีนระหว่างโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ ทำให้เกิดโครโมโซมลูก (Offspring) สองโครโมโซม โดยตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ต้องผ่านการสลับสายพันธุคือ ความน่าจะเป็นของโครโมโซมลูกที่เกิดจากการการสลับสายพันธุ (Probabilities of Crossover : P_c) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของประชากร วิธีการสลับสายพันธุ (Crossover) มีหลายวิธี ซึ่งในโครงงานนี้ทำการศึกษาวิธีการ Crossover ทั้งหมด 3 วิธี แต่เลือกใช้แค่หนึ่งวิธีเท่านั้น โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ M.Ficko, M.Brezocnik and J.Balic, (2004) คือ

ก.1 วิธี Cycle Crossover (CX)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ โดยเริ่มจากสุ่มเลือกตำแหน่งของหน่วยพันธุกรรมจากโครโมโซมพ่อ จากนั้นจะสืบทอดหน่วยพันธุกรรมในตำแหน่งดังกล่าวไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 และหน่วยพันธุกรรมในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมแม่จะถูกสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ค่าของหน่วยพันธุกรรมในโครโมโซมแม่ที่สืบทอดไปจะระบุถึงตำแหน่งของหน่วยพันธุกรรมในโครโมโซมพ่อหน่วยถัดไปที่จะถูกสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 การสืบทอดค่าในหน่วยพันธุกรรมจะทำซ้ำไปจนกระทั่งพบหน่วยพันธุกรรมที่มีค่าตรงกับค่าที่สุ่มได้ในครั้งแรก เช่น ในกรณีตัวอย่าง คือ หน่วยพันธุกรรม B จะถูกสืบทอดหน่วยพันธุกรรมไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 ส่วนที่เหลือจะถูกสืบทอดมาจากโครโมโซมแม่ หน่วยพันธุกรรม H จะถูกสืบทอดหน่วยพันธุกรรมไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ส่วนที่เหลือจะถูกสืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

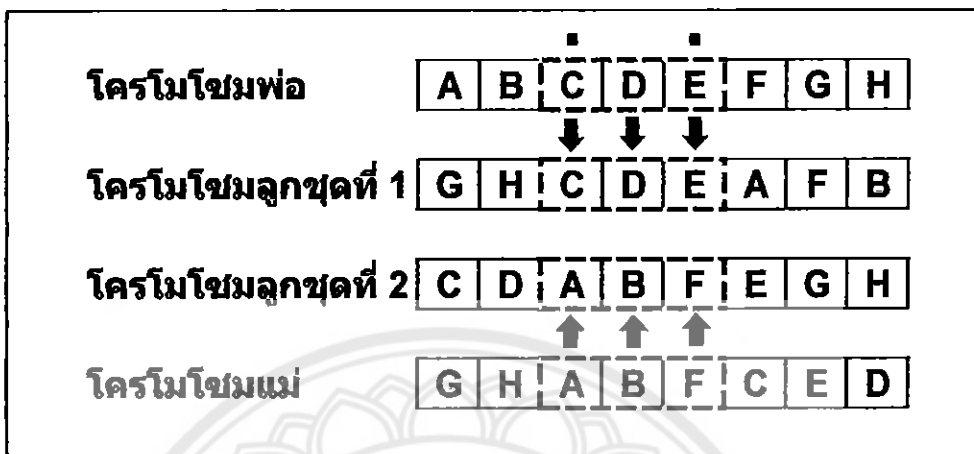


รูปที่ 2.4 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ Cycling

ก.2 วิธี Partial Match Crossover (PMX)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ โดยการทำงานจะเริ่มต้นที่การสุ่มเลือกจุด 2 จุดจากโครโมโซมพ่อ จากนั้นจะสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 และหน่วยพันธุกรรมในส่วนนี้จะเรียกว่า Mapping Section ซึ่งเมื่อนำไปจับคู่กับหน่วยพันธุกรรมในโครโมโซมแม่ตำแหน่งเดียวกันจะได้ดังนี้คือ (C, A) (D, B) และ (E, F) ดังนั้นในโครโมโซมแม่ ณ ตำแหน่งหน่วยพันธุกรรม E จะเป็นตำแหน่งที่จะสืบทอดหน่วยพันธุกรรม F ลงในโครโมโซมลูกชุดที่ 1

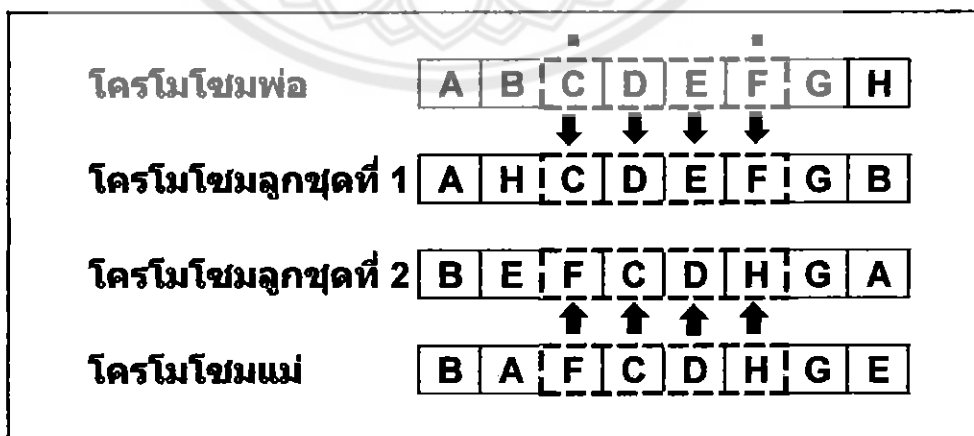
จากนั้นส่วนที่เหลือของโครโมโซมลูกชุดที่ 1 ก็จะสืบทอดจากโครโมโซมแม่โดยละเว้นค่าที่สืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อแล้ว และจะดำเนินการในรูปแบบเดียวกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ Partial Matching

ก.3 วิธี Order Crossover (OX)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อแล้วทำการสุ่มเลือกจุดในการตัดสลัป 2 จุดจากโครโมโซมพ่อ จากนั้นจะสืบทอดหน่วยพันธุกรรมเหล่านั้นไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 และโครโมโซมในส่วนที่เหลือของโครโมโซมชุดที่ 1 จะสืบทอดมาจากโครโมโซมแม่ โดยจะเริ่มต้นหลังจุดตัดสลัปจุดที่ 2 และละเว้นค่าที่สืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อแล้ว จากนั้นจะดำเนินการในรูปแบบเดียวกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.6



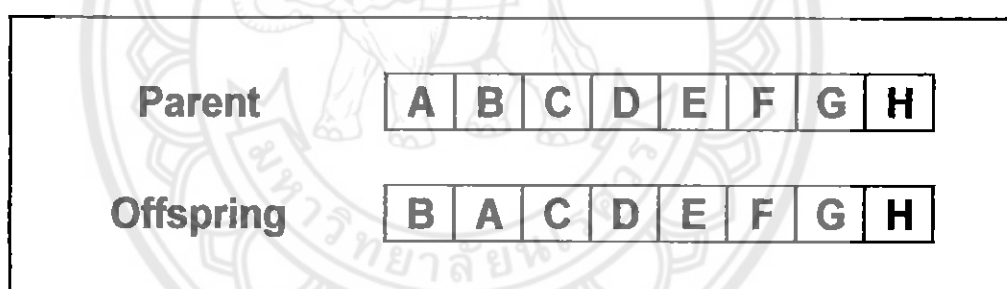
รูปที่ 2.6 แสดงการครอสโอเวอร์แบบ Order

ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกวิธีการครอสโอเวอร์แบบ Order Crossover มาใช้ในการแก้ปัญหา

ข. การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นการทดแทนยีนที่สูญหายไปจากประชากรในระหว่างกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม และเป็นการค้นพบยีนใหม่ที่เคยปรากฏในประชากรเริ่มต้นมาก่อน โดยจะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมต้นแบบมาคราวละ 1 โครโมโซม แล้วทำการสลับหรือเปลี่ยนแปลงยีน “ภายใน” ตัวโครโมโซมนั้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นโครโมโซมลูก 1 โครโมโซม โดยตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ต้องผ่านการกลายพันธุ์ คือ ความน่าจะเป็นของโครโมโซมลูกที่เกิดจากการกลายพันธุ์ (Probabilities of Mutation : P_M) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของประชากร วิธีการกลายพันธุ์มีหลายวิธี ซึ่งในโครงการครั้งนี้จะอ้างอิงข้อมูลจาก Pongcharoen, 2002 คือ

ข.1 การกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมจาก Pop_Size โดยนำโครโมโซมที่สุ่มเลือกได้นั้นมาทำการสุ่มเลือกยีนใดยีนหนึ่ง (เพื่อเป็นยีนตั้งต้น) จากนั้นทำการเลือกยีนที่อยู่ติดกันแล้วทำการสลับตำแหน่งของยีนทั้งสองนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS)

เมื่อทำการสลับสายพันธุ์หรือการกลายพันธุ์เสร็จแล้ว จะเกิดโครโมโซมใหม่ที่เรียกว่า “โครโมโซมลูก (Offspring)” ซึ่งในการนำโครโมโซมลูกไปเก็บในกลุ่มของโครโมโซมหรือประชากรนั้นจะมี 2 แบบคือ เก็บตามขนาดที่กำหนด (Regular) หรือแบบแทนที่ (Replace) เป็นการนำโครโมโซมลูกที่ได้มาจากการสลับสายพันธุ์ไปแทนที่ (Replace) ตำแหน่งของโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกสุ่มเลือกขึ้นมาสลับสายพันธุ์ หรือกลายพันธุ์นั้น ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การให้กำเนิดแบบแทนที่ (Generational Replacement) ดังนั้นขนาดของประชากรรุ่นใหม่จะมีขนาดเท่ากับประชากรเดิม และเก็บแบบขยาย (Enlarge) โครโมโซมลูกที่ได้มาจากการสลับสายพันธุ์หรือการกลายพันธุ์ จะไม่ถูกนำไปแทนที่ตำแหน่งของโครโมโซมพ่อแม่ ดังนั้นขนาดของประชากรรุ่นใหม่จะมีขนาดเท่ากับขนาดของประชากรเดิมบวกด้วยขนาดลูกที่เกิดขึ้นในแต่ละรุ่น ด้วยการจัดเก็บแบบขยายตัวนี้จะทำให้โครโมโซมพ่อแม่ และโครโมโซมลูกมีโอกาสเท่ากันในการที่จะผ่านไปถึงกระบวนการคัดสรรเพื่อเป็นประชากรในรุ่นถัดไป

2.4.2.3 ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Computation)

โครโมโซมทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมมาแล้วจะถูกประเมินค่าความเหมาะสมที่จะกลายเป็นโอกาสในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม โดยกระบวนการคำนวณค่าความเหมาะสมจะอ้างอิงจากการศึกษาของ Gen and Cheng, (1997) ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ขั้นของการถอดรหัสโครงสร้างโครโมโซมให้กลายเป็นโครงสร้างคำตอบ (Decoding Chromosome) การถอดรหัสของโครโมโซมในแต่ละปัญหาจะมีวิธีการถอดรหัสที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ที่กำหนดขึ้น

ขั้นที่ 2 นำแต่ละโครโมโซมไปคำนวณในฟังก์ชันเป้าหมาย $[f(x)]$ เพื่อประเมินหาค่าคำตอบ

ขั้นที่ 3 เปลี่ยนผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย เป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายของปัญหาว่าต้องการหาค่าคำตอบที่มากที่สุด (Maximize Problem) หรือต้องการหาค่าคำตอบที่น้อยที่สุด (Minimize Problem) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่ามากที่สุด (Maximize Problem) ค่าความเหมาะสมจะเท่ากับ ค่าผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{eval}(V_k) = f(f_k), k = 1, 2, \dots, \text{pop_size} \quad (2.1)$$

เมื่อ $\text{eval}(V_k)$ คือ ค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของแต่ละโครโมโซม

$f(f_k)$ คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย

pop_size คือ ขนาดของประชากร หรือจำนวนโครโมโซม

ส่วนปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด (Minimize Problem) ในกรณีนี้จำเป็นต้องมีการปรับค่าจากค่าคำตอบที่น้อยซึ่งเป็นคำตอบที่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมมาก และค่าคำตอบมากซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมน้อย ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีการกลับค่าโดยนำแนวคิดมาจาก วัฒนพล ชัยเนตร (2548) ที่นำค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (Worst Solution : x_w) มาพิจารณาโดยนำ x_w มาเป็นตัวตั้งแล้วลบด้วยค่าคำตอบของโครโมโซมแต่ละโครโมโซม จากนั้นนำมาเพิ่มพจน์ "+1" เข้ามาในสมการเพื่อให้ได้โครโมโซมที่แย่ที่สุดมีโอกาสในการเข้าสู่กระบวนการคัดสรร เพราะในกรณีที่โครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดถูกลบด้วยตัวของมันเองแล้วจะทำให้โอกาสในการอยู่รอดเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ ดังนี้

$$\text{eval}(V_k) = (x_w - x_k) + 1 \quad (2.2)$$

เมื่อ x_w คือ โครโมโซมที่มีค่าคำตอบแย่ที่สุด

x_k คือ ค่าคำตอบของโครโมโซมที่ k โดย $k = 1, 2, \dots, \text{pop_size}$

2.4.2.4 ขั้นตอนที่ 4 การคัดสรร (Selection)

ในโครงงานนี้จะเลือกใช้วิธีการคัดสรรแบบ Stochastic Sampling คือ วิธีการคัดสรรที่มีรูปแบบไม่แน่นอน รูปแบบการคัดสรรประเภทนี้ได้แก่ “รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)” และวิธีการคัดสรรแบบ Deterministic Sampling คือ วิธีการคัดสรรที่มีรูปแบบแน่นอน รูปแบบการคัดสรรประเภทนี้ได้แก่ Elitist Selection

ก. รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)

รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทายมีวิธีการ คือ โครโมโซมทุกตัวจะถูกจัดสรรลงบนวงล้อเสี่ยงทายโดย 1 โครโมโซมจะแทน 1 ช่อง ซึ่งจะมีจำนวนช่องบนวงล้อเท่ากับจำนวนโครโมโซมทั้งหมด และความกว้างของแต่ละช่องก็จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสำหรับแต่ละโครโมโซมตามสัดส่วนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั้นหากการปั่น (Spin) ของวงล้อเสี่ยงทายตกที่ช่องใด โครโมโซมที่ช่องนั้นอ้างถึงก็จะถูกเลือกให้อยู่รอดในรุ่น (Generation) ถัดไป สำหรับโครโมโซม k แทนค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของโครโมโซม k ด้วย f_k และแทนความน่าจะเป็นในการถูกเลือก (Selection Probability) ของโครโมโซม k ด้วย p_k (Gen & Cheng, 1997) สามารถหาความน่าจะเป็นในการถูกเลือก และเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

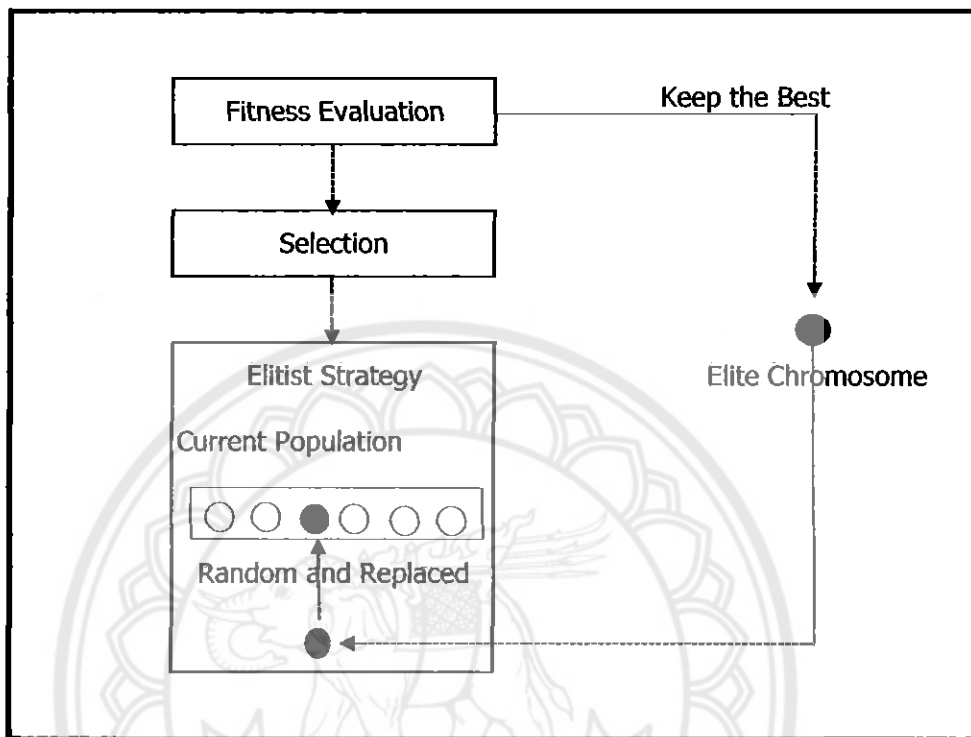
$$p_k = \frac{f_k}{\sum_{j=1}^{\text{Pop_size}} f_j} \quad (2.3)$$

การทำงานของวงล้อเสี่ยงทายเพื่อคัดสรรโครโมโซมที่จะผ่านไปในวันถัดไปนั้น จะเกิดขึ้นจากการหมุนวงล้อเสี่ยงทายเท่ากับจำนวนของโครโมโซมหรือค่า Pop_Size โดยที่แต่ละครั้งของการหมุนนั้น หากมาร์คเกอร์ (Marker : ▼) ชี้ไปที่ช่องของโครโมโซมใดโครโมโซมนั้นจะได้ผ่านไปในวันถัดไป แล้วจึงหมุนในครั้งต่อไปจนได้ครบทุกโครโมโซม

ข. รูปแบบการคัดสรรด้วย Elitist Selection

Elitist Selection คือ การรักษาเผ่าพันธุ์ชั้นดีในแต่ละรอบ ในการทำงานของ GA จะมีโครโมโซมตัวที่ดีที่สุดที่จะได้รับโอกาสในการอยู่รอด แต่ก็อาจจะเกิดกรณีตัวที่ดีที่สุดนั้นไม่สามารถผ่านไปในวันถัดไปได้ ทำให้การวิวัฒนาการของโครโมโซมเกิดการไม่ต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ Murata (1996) จึงได้เสนอกลยุทธ์ในการปกป้องโครโมโซมตัวที่ดีที่สุด (Elite Chromosome) ให้สามารถอยู่รอดต่อไปได้ เรียกว่า กลยุทธ์การรักษาเผ่าพันธุ์ชั้นดี (Elitist Strategy) โดยที่หลังจากโครโมโซมทั้งหมดผ่านขั้นตอนของการประเมินค่าความเหมาะสมแล้ว Elitist Strategy จะเลือกเก็บโครโมโซมตัวที่ดีที่สุดเอาไว้ เพื่อนำไปแทนในโครโมโซมในวันถัดไป โดยกลยุทธ์การรักษา

เผ่าพันธุ์ชั้นดีของ Murata, (1996) นั้นจะสุ่มเลือกโครโมโซมจากประชากรในรุ่นปัจจุบัน (Current Population) ขึ้นมา 1 ตัว แล้วจึงแทนโครโมโซมดังกล่าวนี้ด้วยโครโมโซมที่ดีที่สุดที่ได้จากการเก็บเอาไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงกลไกการทำงานของ Elitist Strategy
ที่มา : Murata, 1996

2.4.2.5 ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Termination)

GA จะหยุดการทำงานเมื่อ GA มีการทำงานครบตามจำนวนรุ่น (Number of Generation) ที่กำหนดเอาไว้ ถ้าหากการทำงานยังไม่ครบตามจำนวนรุ่นที่กำหนด ก็จะวนกลับไปทำกระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operations) ต่อไป

2.4.3 ข้อดีของเจเนติกอัลกอริทึม

เมื่อทำการประยุกต์เจเนติกอัลกอริทึมแล้วจะมีข้อดีอยู่ 3 ประการ ดังนี้

2.4.3.1 เจเนติกเป็นอัลกอริทึมไม่มีข้อจำกัดทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา Optimization มากขึ้นเนื่องจากการใช้วิวัฒนาการทางธรรมชาติเจเนติกอัลกอริทึมสามารถแก้ปัญหาได้ทุกภาพที่แบบของวัตถุประสงค์ข้อจำกัดต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องหรือพื้นที่ค้นหาแบบผสม

2.4.3.2 วิวัฒนาการของตัวการทำให้เจเนติกอัลกอริทึมสามารถค้นหาพื้นที่การค้นหาทั้งหมดได้ซึ่งจะไม่เหมือนแบบการค้นหาทั่วไปที่เป็นการค้นหาแบบจุดต่อจุด อาศัยกระบวนการเบนเข้าหากันแบบขั้น

2.4.3.3 เจนเนติกอัลกอริทึมที่มีความยืดหยุ่นสูงมากสามารถนำไปใช้ประยุกต์กับหลายๆ ปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจง (นายปรเมศวร์ ธนารุณ และคณะ)

2.5 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk

ภาษา Tcl/Tk ถูกพัฒนาโดย John K. Ousterhout ภาษา Tcl-Tool Command Language (อ่านว่า Tickle) เป็นภาษาสคริปต์ที่ต้องใช้ตัวแปรภาษาหรืออินเทอร์พรีเตอร์ในการทำงาน คล้ายกับ ภาษา Perl หรือ Unix Shell ดังนั้นการใช้งานจึงต้องมีการใช้ Tcl Shell (tclsh) และยังมี Tk (อ่านว่า tee-key) เป็น Associated Toolkit สำหรับสร้างกราฟิกยูสเซอร์อินเทอร์เฟซบน x Windows system การเรียกใช้งาน Tk ต้องอาศัย Windowing Shell (Wish) Tcl/Tk นั้นสามารถนำไปใช้งานได้บนหลายๆ แพลตฟอร์ม ตั้งแต่ยูนิกซ์ ลินุกซ์ และวินโดวส์

2.5.1 ข้อดีของภาษา Tcl/Tk

2.5.1.1 ภาษา Tcl เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้งานง่าย สำหรับนักเขียนโปรแกรมที่มีประสบการณ์สามารถเรียนรู้ Tcl และพัฒนาโปรแกรมด้วย Tcl ได้อย่างรวดเร็ว

2.5.1.2 สามารถงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ UNIX, Windows, Macintosh และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่มีใช้กันแพร่หลาย นั่นคือ Tcl Script หนึ่งสามารถนำไปทำงานได้ทั้งบน Unix, Windows และ Macintosh และในการแสดง GUI จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละแพลตฟอร์ม

2.5.1.3 เป็นภาษาที่มีความเสถียรภาพสูง เหมาะสำหรับแอปพลิเคชันขนาดใหญ่ และวัตถุประสงค์อื่นๆ ขององค์กร

2.5.1.4 ด้วยการัน้ใช้ Tcl จะเป็นการง่ายที่จะประสานกับองค์ประกอบ (Component) และโปรแกรมอื่นที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การใช้ Tcl เป็นภาษาสำหรับ ควบคุมอุปกรณ์และโปรโตคอล (Protocols) ที่ทำงานเฉพาะอย่าง การเพิ่ม GUI หรือ ส่วนติดต่อกับเครือข่ายให้กับแอปพลิเคชันเดิม หรือ การรวมแอปพลิเคชันที่สร้างจากภาษา Java กับ Code โปรแกรมเดิมของภาษา C/C++

2.5.1.5 Tcl เป็นฟรีโปรแกรมสามารถหาได้ที่ Tcl Developer Xchange และสามารถทำการแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการของนักพัฒนาได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Held and Karp (1962) ใช้วิธีการกำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย สำหรับปัญหา 13 เมือง ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 17 วินาที และสำหรับปัญหา 20 เมือง ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 10 ชั่วโมง

2.6.2 Little et al. (1963) ได้เสนออัลกอริทึมการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound Method) ในการแก้ปัญหา ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะทำการแตกกิ่งทัวร์ทั้งหมดเพื่อแตกเป็นทัวร์ย่อย แล้วทำการหาขอบเขตล่างในแต่ละทัวร์ย่อยนั้น ขอบเขตที่ได้นี้จะนำไปสู่การแบ่งทัวร์ย่อย และค้นหาจนพบคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยทัวร์ย่อยจะประกอบด้วยทัวร์เดียวที่มีระยะทางหรือหน่วยวัดอื่น ๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับขอบเขตล่างของทัวร์ย่อยอื่นๆ ทั้งหมด ซึ่งทัวร์ที่ได้นี้เป็นทัวร์ที่ให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด และในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธีนี้โดยใช้เครื่อง “IBM 7090” กับปัญหา 2 ลักษณะคือ

2.6.2.1 เมตริกซ์ระยะทางไปกลับไม่เท่ากัน ที่ได้ข้อมูลจากเลข 3 หลักที่มีการแจกแจงแบบเอกนาม

2.6.2.2 ปัญหาที่มีการตีพิมพ์และปัญหาย่อยโดยปัญหาที่ตีพิมพ์มีลักษณะระยะทางไปกลับเท่ากันจากอัลกอริทึมนี้พบว่าปัญหาที่มีเมืองต่ำกว่า 20 เมือง จะใช้เวลาในการคำนวณ 2-3 วินาที ปัญหาที่มี 40 เมือง ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 8 นาที

2.6.3 Martin et al. (1992) ได้นำหลักการการจำลองแอนเนียลิ่ง (Simulated Annealing) มาใช้ ซึ่งใช้พื้นฐานของความน่าจะเป็นที่นำหลักการค้นหาเฉพาะที่มาร่วม และยังอาศัยพื้นฐานของมาร์คอฟเชน (Markov chain) แบบลำดับขั้นที่มีการใช้หลักการสุ่มแบบความน่าจะเป็นมาร่วมในการปรับปรุงเส้นทางให้สั้นที่สุด

2.6.4 Fischetti et al. (1997) นำเอาวิธีการแตกกิ่งและตัดกิ่ง (Branch and Cut) มาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีระยะทางไปกลับเท่ากัน โดยศึกษาในวงล้อมฮามิลโทเนียน (Hamiltonian cycle) ที่จุดต่อถูกแยกออกเป็นกลุ่มๆ และพนักงานขายไปเยี่ยมแต่ละกลุ่มอย่างน้อย 1 จุดต่อ ผลที่ได้จากการคำนวณของวิธีนี้เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งการทดสอบนี้ใช้กับปัญหาขั้นต่ำ 42 จุดต่อ และยังให้คำตอบภายในเวลาที่ยอมรับได้

2.6.5 Jellouli (2001) ได้นำวิธีการกำหนดการเชิงพลวัต (Dynamic Programming) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับอัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) และวิธีการจำลองแอนเนียลิ่ง (Simulated Annealing : SA) ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีลูกค้าเป็นกลุ่ม และมีเงื่อนไขลำดับก่อนหลังมาเกี่ยวข้อง ผลที่ได้พบว่าจำนวนกลุ่มลูกค้ามีผลต่อเวลาการคำนวณ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานโครงการ

ในบทที่ 1 และ 2 ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง และขั้นตอนการทำงานวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) มาแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการ และขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ ส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ สำหรับงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ เครื่องมือที่เป็นฮาร์ดแวร์ ซึ่งคืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และเครื่องมือที่เป็นซอฟต์แวร์จะเป็นโปรแกรม สำหรับพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินทางด้วยวิธีการ GA และส่วนของกระบวนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ผล การทดลอง รวมไปถึงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมโดยนำวิธีการ GA เข้ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง การศึกษาและทดลองประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งจะขออธิบายถึงขั้นตอนในการดำเนินโครงการโดยละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ อุปกรณ์ที่เป็นฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์

3.1.1 อุปกรณ์ที่เป็นฮาร์ดแวร์ ได้แก่

- 3.1.1.1 คอมพิวเตอร์พกพา (Notebook) ยี่ห้อ TOSHIBA รุ่น L745-1134XTR
- 3.1.1.2 หน่วยความจำสำรอง (Ram) 2048 MB
- 3.1.1.3 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Core i3 2.2 GHz
- 3.1.1.4 หน่วยความจำหลัก (Hard disk) 640 GB (5400 rpm)
- 3.1.1.5 ไดรฟ์เล่นและเขียนซีดี

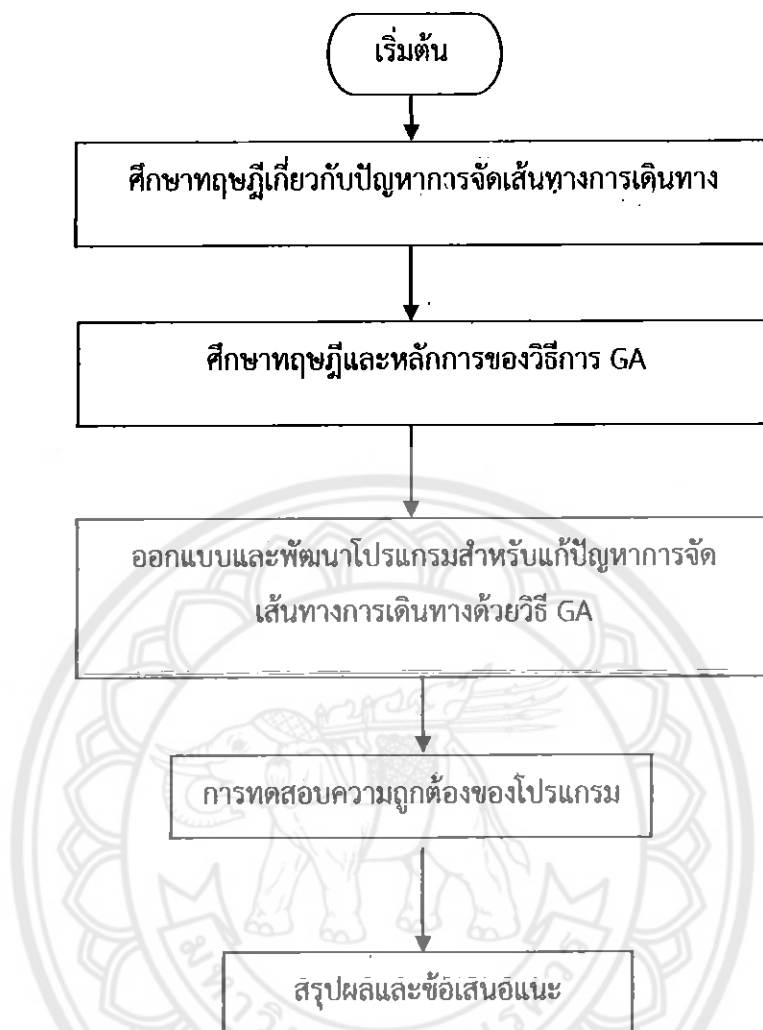
3.1.2 อุปกรณ์ที่เป็นซอฟต์แวร์ ได้แก่

- 3.1.2.1 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk (8.4) สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชัน
- 3.1.2.2 โปรแกรม Notepad สำหรับเขียนและแก้ไข Code ของโปรแกรมแอปพลิเคชัน
- 3.1.2.3 โปรแกรม Microsoft Word 2003 สำหรับสร้างรายงานประกอบการใช้งาน

แอปพลิเคชัน

3.2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานโครงการ

โครงการนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้วิธีการ GA เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางที่มีรูปแบบการเดินทางที่เริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นหนึ่งเพื่อไปยังจุดอื่นๆ หลายจุดและสิ้นสุดที่ตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งขั้นตอนและกระบวนการดำเนินงานโครงการนั้น สามารถแสดงได้ดังแผนภาพกระบวนการดำเนินงานโครงการ ดังรูปที่ 3.1 โดยสรุปกระบวนการดำเนินงานวิจัยพอสังเขป ดังนี้



รูปที่ 3.1 กระบวนการดำเนินงานของโครงการ

เริ่มจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง ศึกษาข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งในที่นี้จะป็นระยะทางภายในประเทศไทยทั้งหมด 77 จังหวัด จากนั้นทำการศึกษาหลักการหรือการทำงานของวิธีการ GA โดยทำการประยุกต์ให้สามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางตามหลักการทำงานของวิธีการ GA

หลังจากนั้นทำการออกแบบแนวคิดโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธี GA โดยเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Tcl/Tk ลงบนโปรแกรม Notepad เพื่อให้ได้หน้าจอแสดงผลในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธีการ GA แล้วทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นจากผลลัพธ์ที่คำนวณได้

3.2.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง

ในโครงการนี้จะศึกษาการจัดเส้นทางในการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ นั่นคือ ปัญหาที่มีการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งหรืออีกหลายๆ จุด ซึ่งในการศึกษาปัญหานี้ก็เพื่อต้องการให้การเดินทางไปยังทุกๆ เมืองที่กำหนดไว้นั้น ได้ระยะทางในการเดินทางสั้นที่สุด เพราะนั่นหมายถึง การเดินทางหนึ่งๆ จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด โดยจะทำการหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางที่อาศัยหลักการทำงานของวิธีการ GA

3.2.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการของวิธีการ Genetic Algorithm

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการ Genetic Algorithm (GA) ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง (Travelling Problem) ในโครงการเล่มนี้ได้นำเสนอโจทย์ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางทั่วประเทศไทย โดยการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถช่วยในการหาเส้นทางในการเดินทางมาประยุกต์ใช้กับวิธีการ GA ซึ่งมุ่งหวังให้ระยะทางในการเดินทางนั้นๆ มีระยะทางที่สั้นที่สุดที่โปรแกรมทำได้

จากการศึกษาหลักการของวิธีการ GA ทำให้ทราบว่า มีขั้นตอนในการทำงานทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ

3.2.2.1. การสร้างโครโมโซม

3.2.2.2. กระบวนการทางพันธุกรรม

3.2.2.3. การคำนวณค่าความเหมาะสม

3.2.2.4. การคัดสรร

3.2.2.5. การตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน

ซึ่งรายละเอียดของเนื้อหาแต่ละขั้นตอนได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3.2.3 การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมโดยอาศัยหลักการ GA

แนวคิดของโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้วิธีการ GA ช่วยในการหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทางของพนักงานขายในประเทศไทยประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนของข้อมูลนำเข้า (Input Phase), ส่วนของการประมวลผล (Processor Phase) และส่วนของการข้อมูลนำออก (Output Phase) โดยในแต่ละส่วนของโปรแกรมจะถูกควบคุมโดยผู้ใช้โปรแกรมผ่านทางหน้าจอควบคุมของโปรแกรม (Graphic User Interface) ดังที่จะได้กล่าวถึงส่วนต่างๆ ดังนี้

3.2.3.1 ส่วนของข้อมูลนำเข้า (Input Phase)

ลักษณะของข้อมูลนำเข้าจะเป็นแฟ้มข้อมูล (Data File) ที่เก็บรายละเอียดของระยะทางระหว่างจังหวัดแต่ละจังหวัด ซึ่งหมายถึงระยะทางจากจังหวัดเริ่มต้น (node i) ไปยังจังหวัดต่อไป (node j) แฟ้มข้อมูลนี้ถูกสร้างให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูล (Database Type) ด้วยโปรแกรมโน้ตแพด (Notepad) โดยแฟ้มข้อมูลมีรายละเอียดของ จำนวนเมืองทั้งหมด, เมืองเริ่มต้นการเดินทาง, เมืองที่ทำการเดินทางต่อไป, ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมือง

3.2.3.2 ส่วนของการประมวลผล (Processor Phase)

ในส่วนของการประมวลผลนี้ จะเป็นการคำนวณหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทางผ่านทุกๆเมือง ของโปรแกรม ตามขั้นตอนการทำงานของวิธีการ Genetic Algorithm ทั้ง 5 ขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดอีกครั้งในหัวข้อการออกแบบโปรแกรม

3.2.3.3 ส่วนของข้อมูลนำออก (Output Phase)

ข้อมูลนำออกจะเป็นแฟ้มข้อมูล (Data File) ที่รายงานผลลัพธ์ในแบบแฟ้มข้อความ (Text File) จากการประมวลผลของโปรแกรม โดยจะแสดงผลลัพธ์ออกทางหน้าจอแสดงผล ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด, รุ่นคำตอบของปัญหา, เส้นทางการเดินทางที่โปรแกรมหาได้, ระยะทางรวมทั้งหมดของการเดินทาง

3.2.3.4 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

ในขั้นนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโปรแกรม โดยอาศัยขั้นตอนการทำงานของ GA มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งโครงงานนี้ได้ทำการออกแบบลักษณะของโปรแกรมที่ผู้ใช้สามารถกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดในการเดินทาง และสามารถกำหนดเมืองที่ต้องการเดินทางได้ โดยในการออกแบบโปรแกรมนี้นี้เราได้นำขั้นตอนของ GA มาประยุกต์ใช้ ในการออกแบบโปรแกรมนี้นี้สร้างขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ได้หลากหลาย นั่นคือ ในการเดินทางหนึ่งๆ ผู้ใช้จะเป็นคนกำหนดเมืองที่ต้องการจะเดินทางไปทั้งหมด ซึ่งอาทำการกำหนดเมืองเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทางด้วย โดยโปรแกรมที่ออกแบบมานี้สามารถคำนวณหาเส้นทางในการเดินทางที่เหมาะสมได้โดยอาศัยขั้นตอนการทำงานของวิธี GA และต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการคิดคำนวณค่าต่างๆ ออกมา ให้ได้ซึ่งคำตอบในสิ่งที่เราต้องการ

ก. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้

ในโครงงานเล่มนี้ได้อ้างอิงค่าพารามิเตอร์ของอัตราการตัดสลับ และอัตราการกลายพันธุ์มาจากงานวิจัยของ K.C. Chan and H. Transri, 1993 ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่เหลือเป็นค่าพารามิเตอร์ที่คณะผู้จัดทำ ทำการสมมติขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก.1 จำนวนประชากร 70

ก.2 จำนวนรุ่นคำตอบ 25

ก.3 จำนวนยีน ตั้งแต่ 2-78

ก.4 อัตราตัดสลับ 0.95

ก.5 อัตราการกลายพันธุ์ 0.001

ก.6 กำหนดชุดเลขสุ่ม 111, 300, 555, 1122, 5115

ซึ่งในการกำหนดค่าของชุดเลขสุ่มนั้น ได้ทำการกำหนดไว้ทั้งหมด 5 ค่า ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการหาค่าที่เหมาะสมให้กับคำตอบมากยิ่งขึ้น

ข. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ)

ข.1 ขั้นแรกของการทำงาน โปรแกรมจะมีการโหลดข้อมูลพื้มนำเข้าแบบอัตโนมัติ และค่าพารามิเตอร์จะเป็นไปตามที่ผู้เขียนโปรแกรมได้เขียนไว้ในโปรแกรม เมื่อโปรแกรมได้รับคำสั่งให้ทำงาน โปรแกรมจะสร้างโครโมโซมขึ้นมาตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งหน่วยความจำจะทำการเก็บค่าโครโมโซมเหล่านี้เป็นรุ่นพ่อแม่

ข.2 ทำการเลือกสุ่มพ่อแม่ที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ ตามอัตราการตัดสลับ และอัตราการกลายพันธุ์ของจำนวนประชากรทั้งหมด และทำการสุ่มเลือกพ่อแม่ที่จะผ่านเข้าไปยังการให้กำเนิดรอบถัดไป

ข.3 ทำการสลับสายพันธุ์ โดยวิธี OX และกลายพันธุ์ตามวิธีการ 2OAS

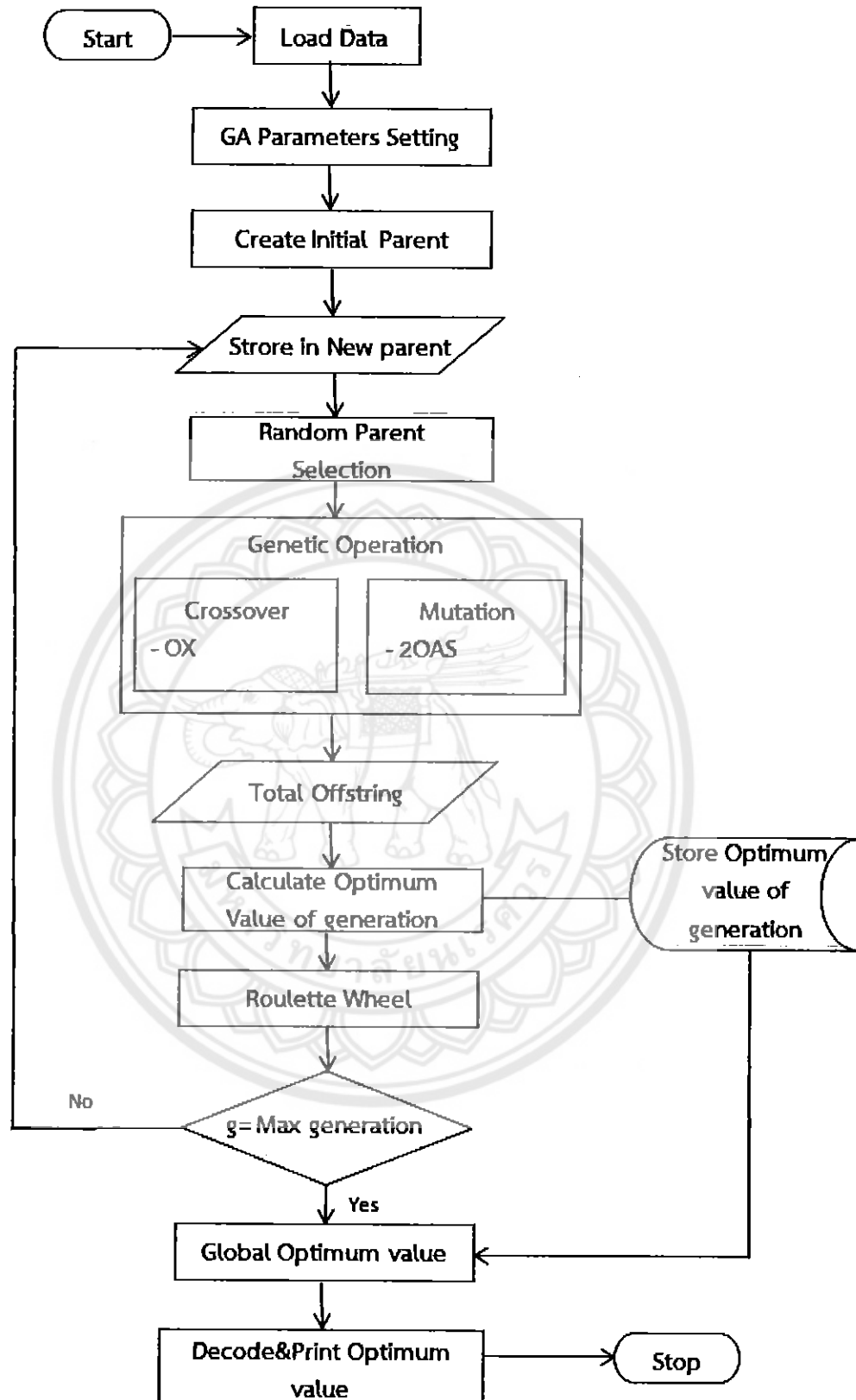
ข.4 รวมรุ่นลูกที่ผ่านขบวนการเชิงพันธุกรรมทั้งหมด และนำค่าที่ส่งมาจากพ่อแม่มาสมทบ ทำการถอดรหัสให้กลายเป็นรูปแบบทั่วไปแล้วคำนวณผลลัพธ์ของรุ่นลูกแต่ละตัว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้จะเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของโครโมโซม

ข.5 นำค่าความแข็งแรงมาหาความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซม ซึ่งโครโมโซมที่แข็งแรงจะมีความน่าจะเป็นมากกว่าโครโมโซมที่อ่อนแอกว่า

ข.6 สุ่มเลือกประชากรใหม่ให้เท่ากับจำนวนของประชากรที่กำหนดไว้ในขั้นแรก เพื่อเก็บค่าไว้เป็นพ่อแม่ชุดใหม่

ข.7 ตรวจสอบจำนวนรอบการวนซ้ำ (g) ว่าเท่ากับจำนวน Generation ที่กำหนดไว้หรือยัง หากยังทำการวนซ้ำรอบไม่ครบ ให้ทำการวนซ้ำจนกว่าจะครบตามค่าที่กำหนดไว้

ข.8 ตรวจสอบค่าที่เหมาะสมที่สุด (Global optimum) จากค่าที่เหมาะสม (Local Optimum) ทั้งหมด และทำการถอดรหัสออกมาเป็นผลลัพธ์จริง แสดงค่าผลลัพธ์ออกมา



รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานของโปรแกรมที่อาศัยวิธีการ GA
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก นายปรเมศวร์ ธารารุณและคณะ, 2545

3.2.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

จากการที่ได้พัฒนาโปรแกรมที่ประยุกต์เอาวิธีการ GA มาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเรียวร้อยแล้ว ต้องทำการทดสอบโปรแกรมเป็นขั้นตอนต่อไป เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการรันโปรแกรมกับปัญหาที่มีการเดินทางในจำนวนเมืองน้อยๆ ก่อน เพื่อทดสอบว่าโปรแกรมสามารถคำนวณค่าระยะทางของเส้นทางการเดินทางออกมาถูกต้องหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากโปรแกรมกับคำตอบที่ทำการคำนวณระยะทางของเส้นทางนั้นด้วยตนเองว่าตรงกันหรือไม่ หากคำตอบที่ออกมาไม่ตรงกัน ทำการตรวจสอบโปรแกรมที่เขียนว่ามีข้อผิดพลาดตรงส่วนใด และทำการแก้ไขตรงส่วนที่มีข้อผิดพลาดให้ถูกต้อง แล้วทำการทดสอบโปรแกรมอีกครั้ง จนกว่าคำตอบที่ได้ออกมาจะถูกต้อง แล้วจึงทำการรันโปรแกรมกับจำนวนเมืองที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ต่อไป

3.2.5 การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการทดลองนี้เป็นการสรุปผลลัพธ์ของการค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดที่โปรแกรมสามารถคำนวณหาได้ และทำการสรุปผลว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาั้นมีความสามารถในการใช้งานตรงตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

16924418

ร.ร.

ร 4979

2564

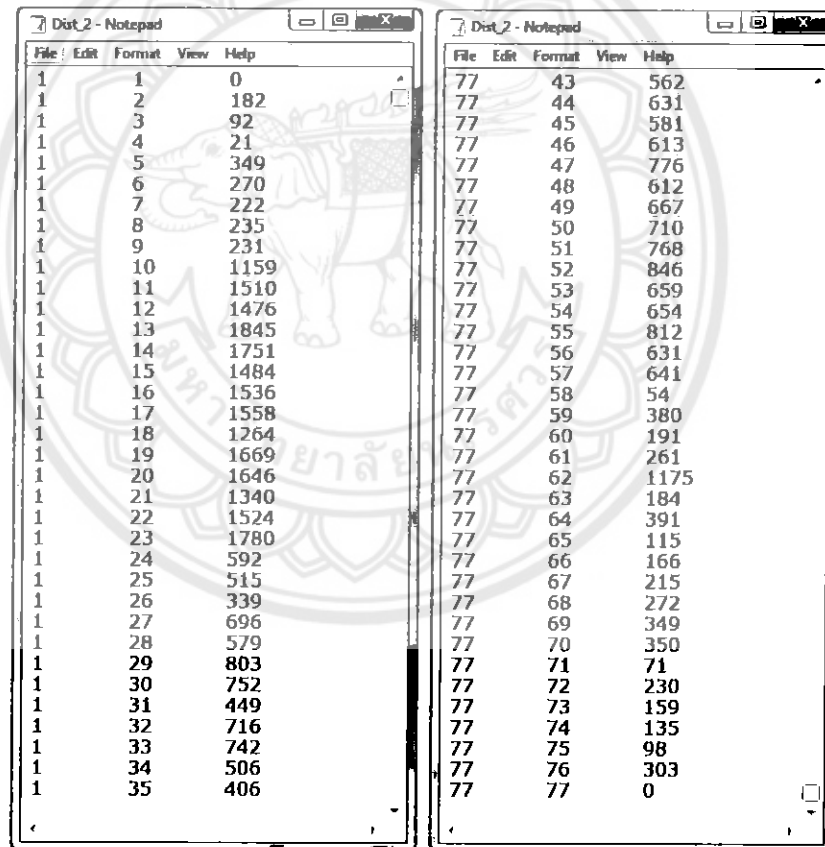
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางโดยอาศัยหลักการ GA

จากการศึกษาทฤษฎีของวิธีการ GA แล้วนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมสำหรับการหาเส้นทางในการเดินทางที่ให้ค่าคำตอบของระยะทางที่เหมาะสมนั้น ตัวโปรแกรมประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักนั้นคือ ส่วนของข้อมูลนำเข้า ส่วนของการประมวลผลและส่วนของข้อมูลนำออก ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยรูปแบบของส่วนต่างๆ มีลักษณะดังนี้

4.1.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data)



| Province | Distance | |
|----------|----------|------|
| 1 | 0 | |
| 1 | 2 | 182 |
| 1 | 3 | 92 |
| 1 | 4 | 21 |
| 1 | 5 | 349 |
| 1 | 6 | 270 |
| 1 | 7 | 222 |
| 1 | 8 | 235 |
| 1 | 9 | 231 |
| 1 | 10 | 1159 |
| 1 | 11 | 1510 |
| 1 | 12 | 1476 |
| 1 | 13 | 1845 |
| 1 | 14 | 1751 |
| 1 | 15 | 1484 |
| 1 | 16 | 1536 |
| 1 | 17 | 1558 |
| 1 | 18 | 1264 |
| 1 | 19 | 1669 |
| 1 | 20 | 1646 |
| 1 | 21 | 1340 |
| 1 | 22 | 1524 |
| 1 | 23 | 1780 |
| 1 | 24 | 592 |
| 1 | 25 | 515 |
| 1 | 26 | 339 |
| 1 | 27 | 696 |
| 1 | 28 | 579 |
| 1 | 29 | 803 |
| 1 | 30 | 752 |
| 1 | 31 | 449 |
| 1 | 32 | 716 |
| 1 | 33 | 742 |
| 1 | 34 | 506 |
| 1 | 35 | 406 |
| 77 | 43 | 562 |
| 77 | 44 | 631 |
| 77 | 45 | 581 |
| 77 | 46 | 613 |
| 77 | 47 | 776 |
| 77 | 48 | 612 |
| 77 | 49 | 667 |
| 77 | 50 | 710 |
| 77 | 51 | 768 |
| 77 | 52 | 846 |
| 77 | 53 | 659 |
| 77 | 54 | 654 |
| 77 | 55 | 812 |
| 77 | 56 | 631 |
| 77 | 57 | 641 |
| 77 | 58 | 54 |
| 77 | 59 | 380 |
| 77 | 60 | 191 |
| 77 | 61 | 261 |
| 77 | 62 | 1175 |
| 77 | 63 | 184 |
| 77 | 64 | 391 |
| 77 | 65 | 115 |
| 77 | 66 | 166 |
| 77 | 67 | 215 |
| 77 | 68 | 272 |
| 77 | 69 | 349 |
| 77 | 70 | 350 |
| 77 | 71 | 71 |
| 77 | 72 | 230 |
| 77 | 73 | 159 |
| 77 | 74 | 135 |
| 77 | 75 | 98 |
| 77 | 76 | 303 |
| 77 | 77 | 0 |

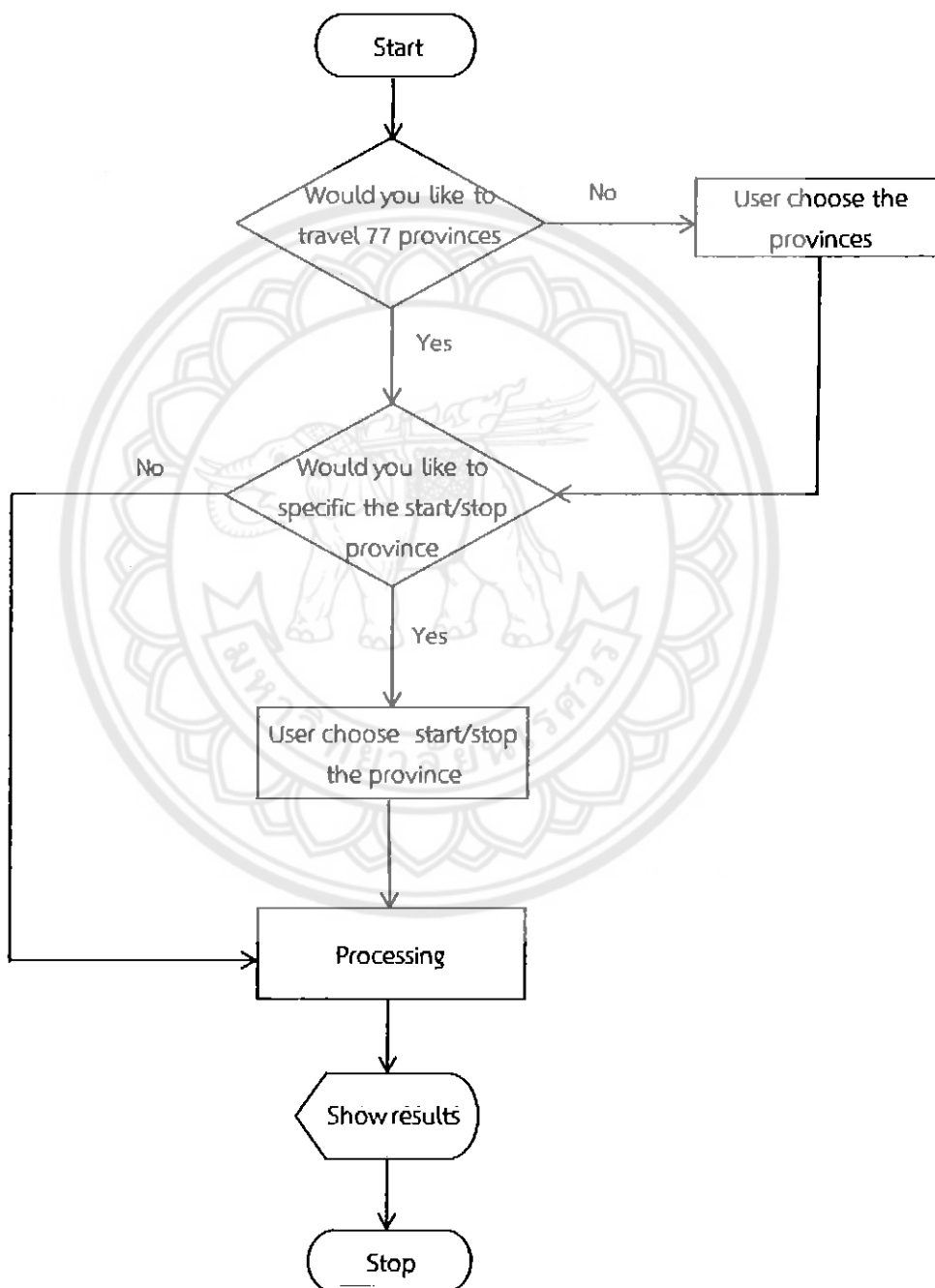
รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบแฟ้มเก็บข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัด

รูปแบบของแฟ้มข้อมูลนำเข้านี้ เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บค่าระยะทางระหว่างจังหวัดต่างๆ ตั้งแต่จังหวัดที่ 1 ถึง 1, 2, 3, 4,...,77 ไปเรื่อยๆ จนสิ้นสุดที่จังหวัดที่ 77 ถึง 77 โดยโปรแกรมจะโหลดแฟ้มข้อมูลนี้เข้าไปเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการบอกระยะทางระหว่างจังหวัดแต่ละจังหวัด

สำหรับให้โปรแกรมเรียกใช้ข้อมูล เพื่อดำเนินการคำนวณหาระยะทางรวมทั้งหมดของเส้นทางที่โปรแกรมสามารถหามาได้

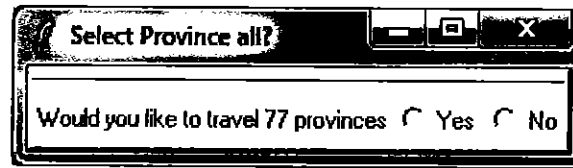
4.1.2 การประมวลผล (Processing)

ในส่วนการประมวลผลนั้น เป็นการนำกระบวนการทาง GA มาประยุกต์เขียนเป็นโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของจังหวัดภายในประเทศไทย ซึ่งโปรแกรมมีลักษณะการทำงานโดยรวมแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนผังการทำงานโดยรวมของโปรแกรม

4.1.2.1 หน้าต่าง Select Province



รูปที่ 4.3 หน้าต่าง Select Province all?

หน้าต่างนี้เป็นหน้าต่างแรกของโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมจะทำการถามว่าผู้ใช้ต้องการเลือกจังหวัดในการเดินทางทุกจังหวัดหรือไม่ โดยผู้ใช้ต้องทำการเลือกคำตอบใด คำตอบหนึ่ง หากผู้ใช้เลือกตอบ Yes โปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อไปยังหน้าต่าง Select Province_Data และจะทำการเลือกจังหวัดทุกจังหวัดที่มีอยู่ (77 จังหวัด) แต่หากผู้ใช้เลือกตอบ No โปรแกรมจะเชื่อมต่อไปยังหน้าต่าง Select Province_Data และให้ผู้ใช้เป็นผู้เลือกจังหวัดที่ต้องการเดินทางด้วยตนเอง

4.1.2.2 หน้าต่าง Select Province_Data

| | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| North | <input type="checkbox"/> Chiangmai | <input type="checkbox"/> Chiangrai | <input type="checkbox"/> Lamphang | <input type="checkbox"/> Lampun | <input type="checkbox"/> MaeHongSon | <input type="checkbox"/> Nan | <input type="checkbox"/> Phayao | <input type="checkbox"/> Phoe | <input type="checkbox"/> Uthairat | |
| South | <input type="checkbox"/> Chumphon | <input type="checkbox"/> Krabi | <input type="checkbox"/> Nakhonsithanasat | <input type="checkbox"/> Narathiwat | <input type="checkbox"/> Pattani | <input type="checkbox"/> Phangnga | <input type="checkbox"/> Phatthalung | <input type="checkbox"/> Phuket | <input type="checkbox"/> Ranong | <input type="checkbox"/> Satun |
| | <input type="checkbox"/> Songkhla | <input type="checkbox"/> Suratthani | <input type="checkbox"/> Trang | <input type="checkbox"/> Yala | | | | | | |
| Central | <input type="checkbox"/> Angkhang | <input type="checkbox"/> Chaiwat | <input type="checkbox"/> Kamphaengphet | <input type="checkbox"/> Kunghephaharekhan | <input type="checkbox"/> Lopburi | <input type="checkbox"/> Mahonlayok | <input type="checkbox"/> Nakhonpathom | <input type="checkbox"/> Nakhonsawan | <input type="checkbox"/> Nonthaburi | |
| | <input type="checkbox"/> Pathumthani | <input type="checkbox"/> Phichabun | <input type="checkbox"/> Phichit | <input type="checkbox"/> Phisanulok | <input type="checkbox"/> Phraekhonrajathaya | <input type="checkbox"/> Samutprakarn | <input type="checkbox"/> Samutsakhan | <input type="checkbox"/> Samutrongkham | <input type="checkbox"/> Sarabui | |
| | <input type="checkbox"/> Singbui | <input type="checkbox"/> Sukhothai | <input type="checkbox"/> Suphanbui | <input type="checkbox"/> Uthairat | | | | | | |
| East | <input type="checkbox"/> Chachoengsao | <input type="checkbox"/> Chantaburi | <input type="checkbox"/> Chonburi | <input type="checkbox"/> Prachinburi | <input type="checkbox"/> Rayong | <input type="checkbox"/> Sakao | <input type="checkbox"/> Trat | | | |
| West | <input type="checkbox"/> Kancharaburi | <input type="checkbox"/> Phatthaburi | <input type="checkbox"/> PrachuapKiriKhan | <input type="checkbox"/> Ratchaburi | <input type="checkbox"/> Tak | | | | | |
| Northeast | <input type="checkbox"/> Amnatcharoen | <input type="checkbox"/> Burangkan | <input type="checkbox"/> Buriram | <input type="checkbox"/> Chaiyaphum | <input type="checkbox"/> Kalasin | <input type="checkbox"/> Khonkaen | <input type="checkbox"/> Loei | <input type="checkbox"/> Mahasarakham | <input type="checkbox"/> Mukdahan | <input type="checkbox"/> Nakhonpanas |
| | <input type="checkbox"/> Nakhonratchasima | <input type="checkbox"/> Nongbualampun | <input type="checkbox"/> Nongkhai | <input type="checkbox"/> Roiet | <input type="checkbox"/> Sakonnakhan | <input type="checkbox"/> Sisaket | <input type="checkbox"/> Surin | <input type="checkbox"/> Ubonratchathani | <input type="checkbox"/> Udonthani | <input type="checkbox"/> Yasothon |
| Would you like to specify the start province <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No | | | | | | | | | | |
| Would you like to specify the finish province <input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No | | | | | | | | | | |
| Display The Results | | | Reset | | | Exit | | | | |

รูปที่ 4.4 หน้าต่าง Select Province_Data

หน้าต่างนี้เป็นหน้าต่างที่ประกอบไปด้วยรายชื่อจังหวัดทั้งหมด 77 จังหวัดที่แบ่งออกเป็น 6 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยผู้ใช้จะเป็นผู้เลือกจังหวัดที่ต้องการเดินทาง ซึ่งสามารถเลือกจังหวัดเริ่มต้น

และสิ้นสุดการเดินทางได้ตามความต้องการของผู้ใช้ นั่นคือเมื่อผู้ใช้ทำการเลือกจังหวัดที่ต้องการเดินทางเสร็จสิ้นแล้ว ในส่วนด้านล่างของหน้าต่างนี้จะมีคำถามสำหรับผู้ใช้ว่าต้องการระบุจังหวัดเริ่มต้น/สิ้นสุดหรือไม่ หากผู้ใช้ต้องการระบุจังหวัดเริ่มต้น จะตอบ Yes ที่คำถามระบุจังหวัดเริ่มต้น โปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อไปยังหน้าต่าง Choose the start province เพื่อทำการเลือกจังหวัดเริ่มต้นที่ผู้ใช้ต้องการ และหากผู้ใช้ต้องการระบุจังหวัดสิ้นสุด ต้องตอบ Yes ที่คำถามระบุจังหวัดสิ้นสุด โปรแกรมจึงเชื่อมต่อไปยังหน้าต่าง Choose the finish province เพื่อให้ผู้ใช้ทำการเลือกจังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง

ปุ่มด้านล่างสุดของหน้าต่างนี้ประกอบไปด้วย ปุ่ม Displays The Results เมื่อผู้ใช้เลือกปุ่มนี้ โปรแกรมจะเริ่มทำการค้นหาคำตอบโดยนำข้อมูลที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ก่อนหน้า ทำการจัดเส้นทางการเดินทางตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้เลือกไว้ จนได้คำตอบของการจัดเส้นทางการเดินทางตามเงื่อนไขต่างๆ ปุ่มที่สอง คือ ปุ่ม Reset เป็นปุ่มที่ทำการล้างข้อมูลเดิมที่ผู้ใช้ได้ทำการเลือกไปแล้ว และ ปุ่ม Exit เป็นปุ่มที่กดออกจากหน้าต่างนี้

4.1.2.3 หน้าต่าง Choose the start/stop province

รูปที่ 4.5 หน้าต่าง Choose the start province

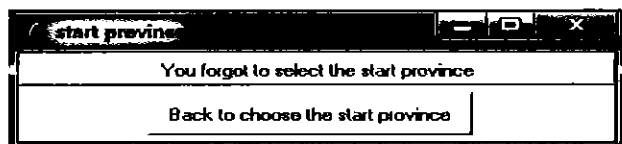
รูปที่ 4.6 หน้าต่าง Choose the finish province

เป็นหน้าต่างที่เก็บข้อมูลของจังหวัดที่ผู้ใช้ได้ทำการเลือกไว้ในการเดินทาง และนำจังหวัดเหล่านั้นมาทำการเลือกจังหวัดเริ่มต้น/สิ้นสุด สำหรับการเดินทางนั้นๆ

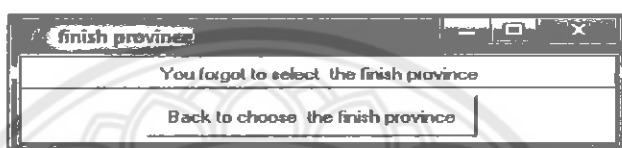
หากผู้ใช้ตอบ OK โดยยังไม่ได้เลือกจังหวัดเริ่มต้น/สิ้นสุด โปรแกรมจะเชื่อมต่อไปยังหน้าต่าง Please choose the start/stop province เพื่อถามผู้ใช้ว่าต้องการเลือกจังหวัดเริ่มต้น/สิ้นสุดหรือไม่

4.1.2.4 หน้าต่าง Please choose the start/stop province

หน้าต่านี้เป็นการถามผู้ใช้ว่าต้องการที่จะเลือกจังหวัดเริ่มต้น/สิ้นสุด อยู่หรือไม่ หากผู้ใช้ตอบ OK โปรแกรมจะเชื่อมต่อกลับไปยังหน้าต่า Choose the start/stop province เพื่อให้ผู้ใช้ทำการเลือกจังหวัดเริ่มต้น/สิ้นสุด อีกครั้ง



รูปที่ 4.7 หน้าต่า start province



รูปที่ 4.8 หน้าต่า finish province

4.1.3 ข้อมูลนำออก (Output Data)

ข้อมูลนำออกจะมีลักษณะเป็นหน้าต่าที่รายงานผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม โดยอาศัยการจัดเส้นทางด้วยหลักการของ GA ในการหาคำตอบ ซึ่งหน้าต่านี้จะแสดงผลลัพธ์ของจำนวนจังหวัดทั้งหมดที่ทำการเดินทาง, จังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง, จังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง, เส้นทางการเดินทางที่ดีที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้ และระยะทางรวมของเส้นทางที่โปรแกรมหาได้ ดังแสดงดังรูปที่ 4.9

| File | Edit |
|----------|----------|
| 23 | 3087 |
| 24 | 3087 |
| 25 | 3087 |
| 3463.971 | 1210.076 |
| 3463.471 | 1224.917 |
| 2298.645 | 836.961 |

Total province: 10

The start province is: Chiangmai

The stop province is: Nakhon

Chromosome sequence of traveling with GA is: 2 15 4 26 27 11 12 23 13

Province sequence of traveling with GA is: Chiang-mai Chiangmai Mae Hongson Lamphun Kamphaengphet Kamphaengphet Kohi NakhonNakhon Yala Nakhon

| From | To | Distance (km) |
|---------------|---------------|---------------|
| Chiangmai | Chiangmai | 832 |
| Chiangmai | Mae Hongson | 349 |
| Mae Hongson | Lamphun | 342 |
| Lamphun | Kamphaengphet | 316 |
| Kamphaengphet | Kamphaengphet | 358 |
| Kamphaengphet | Kohi | 614 |
| Kohi | NakhonNakhon | 223 |
| NakhonNakhon | Yala | 295 |
| Yala | Nakhon | 128 |

Total distance: 3307 kilometers

รูปที่ 4.9 หน้าต่ารายงานผลลัพธ์

4.2 ผลการทดสอบโปรแกรม

ในการทดสอบโปรแกรมจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 3 สำหรับแก้ปัญหาสำหรับทุกๆ ปัญหา ซึ่งค่าพารามิเตอร์มีดังนี้

| | |
|--------------------|---------------------------|
| จำนวนประชากร | 70 |
| จำนวนรุ่นคำตอบ | 25 |
| จำนวนยีน ตั้งแต่ | 2-78 |
| อัตราตัดสลับ | 0.95 |
| อัตราการกลายพันธุ์ | 0.001 |
| กำหนดชุดเลขสุ่ม | 111, 300, 555, 1122, 5115 |

4.2.1 ตัวอย่างที่ 1

การทดลองใช้โปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่ผู้ใช้มีการระบุจังหวัดเริ่มต้นการเดินทางและสิ้นสุดการเดินทาง

จังหวัดที่ทำการเลือก : Chiangmai, Chiangrai, Maehongson, Narathiwat, Pattani, Phangnga, Krungthepmahanakhon, Phichit, Phitsanulok, Suphanburi, Chonburi, Sakaeo, Phetchaburi, Buriram, Chaiyaphum, Loei, Mahasarakham, Nongbualamphu, Surin, Ratchaburi

จังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง : Chaingrai

จังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง : Narathiwat

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหานี้ด้วยกระบวนการของ GA ค่าคำตอบที่ได้คือการเดินทางทั้งหมด 20 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับก่อน-หลัง ดังนี้ Chaingrai Loei Nongbualamphu Maehongson Chaingmai Phichit Phitsanulok Krungthepmahanakhon Chonburi Phetchaburi Ratchaburi Sakaeo Suphanburi Mahasarakham Buriram Surin Chaiyaphum Phangnga Pattani Narathiwat

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 6598 กิโลเมตร เป็นคำตอบของชุดเลขสุ่ม 5115 ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้

4.2.2 ตัวอย่างที่ 2

การทดลองใช้โปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนไขการเดินทางที่ผู้ใช้มีการระบุจังหวัดเริ่มต้นการเดินทาง

จังหวัดที่ทำการเลือก : Chaingmai, Lamphun, Maehongson, Nan, Phayao, Chumphon, Krabi, Pattani, Phuket, Ranong, Songkhla, Trang, Chainat, Kamphaengphet, Krungthepmahanakhon, Nakhonnayok, Nakhonpathom, Nakhonsawan, Chachoengsao,

Phichit, Samutprakan, Samutsakhon, Saraburi, Sukhothai, Chonburi, Prachinburi, Sakaeo, Kanchanaburi, Phetchaburi, Ratchaburi, Buengkan, Kalasin, Khonkaen, Mahasarakham, Nakhonratchasima, Nongkhai, Nongbualamphu, Ubonratchathani, Mukdahan, Nakhonpanom

จังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง : Phayao

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหานี้ด้วยกระบวนการของ GA คำคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้งหมด 40 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับก่อน-หลัง ดังนี้ Phayao Saraburi Buengkan Nongbualamphu Samutprakan Prachinburi Mukdahan Kalasin Nakhonpanom Ubonratchathani Nakhonratchasima Khonkaen Nongkhai Songkhla Trang Pattani Krabi Chumphon Nakhonpathom Chachoengsao Ratchaburi Phuket Ranong Kanchanaburi Krungthepmahanakhon Samutsakhon Chainat Mahasarakham Nakhonsawan Lamphun Maehongson Sukhothai Chaingmai Nan Kamphaengphet Phichit Chonburi Phetchaburi Nakhonnayok Sakaeo

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 14132 กิโลเมตร เป็นคำตอบของชุดเลขสุ่ม 111 ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้

4.2.3 ตัวอย่างที่ 3

การทดลองใช้โปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่ผู้ใช้ไม่ระบุจังหวัดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทาง

จังหวัดที่ทำการเลือก : Lampang, Lamphun, Maehongson, Nan, Phrae, Uttaradit, Krabi, Nakhonsithammarat, Narathiwat, Pattani, Phangnga, Phatthalung, Phuket, Satun, Songkhla, Suratthani, Trang, Angthong, Lopburi, Nakhonnayok, Nakhonsawan, Phichit, Nonthaburi, Pathumthani, Phranakhonsiyutthaya, Samutprakan, Samutsongkhram, Saraburi, Phetchabun, Singburi, Sukhothai, Uthaitani, Chachoengsao, Chanthaburi, Chonburi, Rayong, Trat, Tak, Amnatcharoen, Buengkan, Chaiyaphum, Loei, Yasothon, Mahasarakham, Nakhonpanom, Nongbualamphu, Nongkhai, Sisaket, Udonthani, Nakhonratchasima

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหานี้ด้วยกระบวนการของ GA คำคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้งหมด 50 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับก่อน-หลัง ดังนี้ Singburi, Nonthaburi, Nakhonsawan, Saraburi, Nongkhai, Amnatcharoen, Sisaket, Phranakhonsiyutthaya, Chanthaburi, Songkhla, Nakhonsithammarat, Krabi, Suratthani, Buengkan, Uttaradit, Lopburi, Sukhothai, Lampang, Angthong, Uthaitani, Lamphun, Maehongson, Phrae, Nan, Tak, Phichit, Chaiyaphum, Chachoengsao, Rayong,

Samutsongkhram, Satun, Phangnga, Phuket, Phatthalung, Pattani, Narathiwat, Trang, Yasothon, Nakhonratchasima, Mahasarakham, Nakhonpanom, Udonthani, Nongbualamphu, Trat, Nakhonnayok, Pathumthani, Chonburi, Samutprakan, Phetchabun, Loei

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 17602 กิโลเมตร เป็นคำตอบของชุดเลขสุ่ม 111 ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้

4.2.4 ตัวอย่างที่ 4

การทดลองใช้โปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีการเดินทางทั้งหมด 77 จังหวัด และผู้ใช้ระบุจังหวัดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทาง

จังหวัดที่ทำการเลือก : Chaingmai, Chaingrai, Lampang, Lamphun, Maehongson, Nan, Phayao, Phrae, Uttaradit, Chumphon, Krabi, Nakhonsithammarat, Narathiwat, Pattani, Phangnga, Phatthalung, Phuket, Ranong, Satun, Songkhla, Suratthani, Trang, Yala, Angthong, Chainat, Kamphaengphet, Krungthepmahanakhon, Nakhonpathom, Nakhonnayok, Lopburi, Nakhonsawan, Nonthaburi, Pathumthani, Phetchabun, Phichit, Phitsanulok, Phranakhonsiyutthaya, Samutprakan, Samutsakhon, Samutsongkhram, Saraburi, Singburi, Sukhothai, Suphanburi, Uthaithani, Chachoengsao, Chanthaburi, Chonburi, Prachinburi, Rayong, Sakaeo, Trat, Kanchanaburi, Phetchaburi, Ratchaburi, Prachuapkhirikhan, Tak, Amnatcharoen, Buengkan, Buriram, Chaiyaphum, Kalasin, Khonkaen, Loei, Mahasarakham, Mukdahan, Nakhonpanom, Nakhonratchasima, Roiet, Nongbualamphu, Nongkhai, Sisaket, Surin, Ubonratchathani, Udonthani, Yasothon

จังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง : Krungthepmahanakhon

จังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง : Krungthepmahanakhon

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหาด้วยกระบวนการของ GA คำคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้งหมด 77 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับก่อน-หลัง ดังนี้ Krungthepmahanakhon, Nakhonnayok, Prachinburi, Samutsakhon, Phayao, Chaingrai, Roiet, Kamphaengphet, Lampang, Chainat, Samutsongkhram, Phitsanulok, Phichit, Lopburi, Suphanburi, Krabi, Phatthalung, Chumphon, Nakhonpathom, Lamphun, Angthong, Sukhothai, Maehongson, Yasothon, Tak, Ratchaburi, Nakhonratchasima, Ubonratchathani, Uthaithani, Kalasin, Nongbualamphu, Chonburi, Chanthaburi, Buengkan, Amnatcharoen, Sisaket, Narathiwat, Trang, Phangnga, Suratthani, Trat, Prachuapkhirikhan, Phetchanaburi, Kanchanaburi, Pathumthani, Buriram, Nakhonsawan, Singburi, Uttaradit, Phetchabun, Samutprakan, Phuket, Ranong, Pattani,

Yala, Satun, Songkhla, Nakhonsithammarat, Sakaeo, Khonkaen, Loei, Mukdahan, Sakonnakhon, Surin, Nakhonpanom, Phrae, Chaingmai, Nongkhai, Mahasarakham, Nan, Phranakhonsiyutthaya, Saraburi, Udonthani, Chaiyaphum, Nonthaburi, Rayong, Chachoengsao, Krungthepmahanakhon

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 32051 กิโลเมตร เป็นคำตอบของชุดเลขสุ่ม 555 ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้



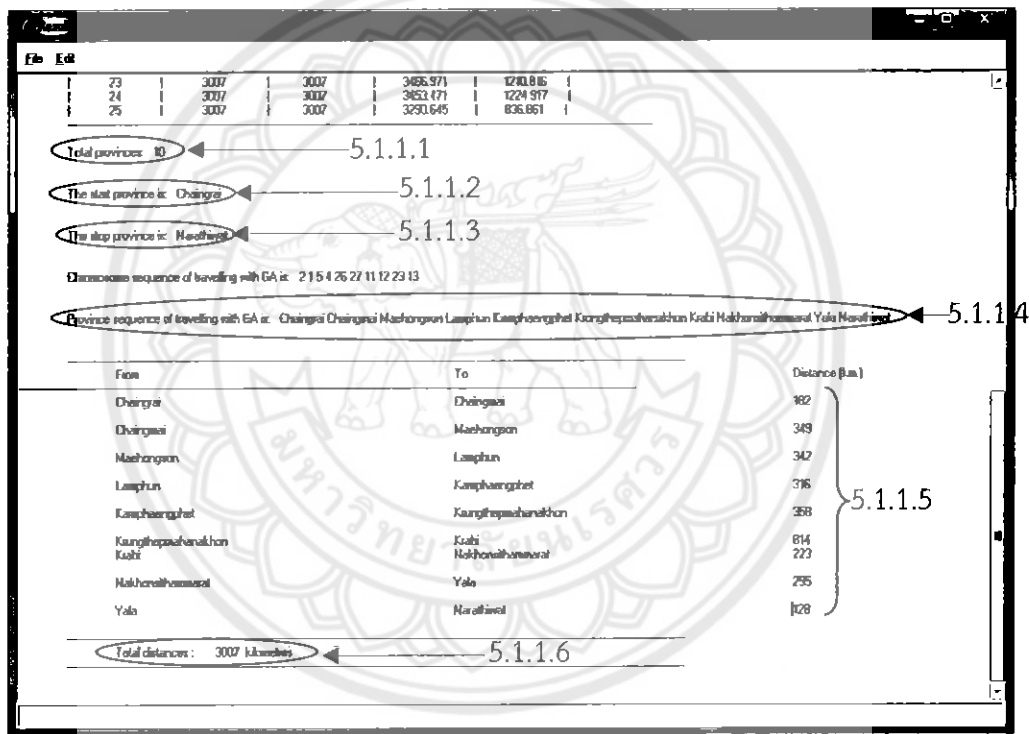
บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและจัดทำโปรแกรมช่วยการจัดเส้นทางการเดินทางด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Designing Travelling Route by Using Genetic Algorithm) สามารถสรุปผลการดำเนินโครงการ และข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

5.1.1 โปรแกรมจะแสดงผลออกมาในรูปของ หน้าต่าง (รูปที่ 5.1 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์)



รูปที่ 5.1 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์

ซึ่งภายในหน้าที่จะแสดงข้อมูลให้ผู้ใช้ทราบ ดังนี้

- 5.1.1.1 จำนวนจังหวัดทั้งหมดที่ต้องการเดินทาง
- 5.1.1.2 จังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง
- 5.1.1.3 จังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง
- 5.1.1.4 ลำดับเส้นทางในการเดินทางที่เหมาะสม
- 5.1.1.5 ระยะทางระหว่างจังหวัด
- 5.1.1.6 ระยะทางรวมทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทาง

5.1.2 โปรแกรมช่วยจัดเส้นทางการเดินทางที่สร้างขึ้นมีศักยภาพในการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้อง

5.1.3 การพัฒนาโปรแกรมช่วยจัดเส้นทางการเดินทาง ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย เพื่อรองรับการใช้งานจากบุคคลทั่วไป และผู้ใช้สามารถเลือกจังหวัดที่ต้องการเดินทางได้ตามความต้องการ

5.1.4 กระบวนการทำงานของ GA สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางได้จริง

5.1.5 การพัฒนาโปรแกรมช่วยจัดเส้นทางการเดินทางที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทาง ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง สามารถพัฒนาโปรแกรมช่วยจัดเส้นทางที่เหมาะสมนี้ได้ ด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชัน 8.4

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะเส้นทางหลวงที่เป็นเส้นทางหลักเท่านั้น ยังมีเส้นทางรองอื่นๆ อีก ที่สามารถนำไปศึกษาต่อได้

5.2.2 ในศึกษาการจัดเส้นทางในการเดินทางในครั้งนี้ ไม่ได้พิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเดินทางก็มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางในการเดินทางด้วย ดังนั้นเวลาในการเดินทางก็สามารถนำไปศึกษาต่อได้

5.2.3 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการสลับสายพันธุเพียง 1 วิธี คือ OX และวิธีการกลายพันธุ์ 2OAS ยังเหลือวิธีการสลับสายพันธุและวิธีการกลายพันธุ์อื่นที่น่าศึกษาอีก เช่น CX, PMX, Sub Tour Chunk Crossover, Alternating Edges Crossover, Two Operations Random Swap Mutation และ Centre Inverse Mutation เป็นต้น

5.2.4 โปรแกรมช่วยจัดเส้นทางการเดินทางที่ถูกพัฒนาขึ้นมา นี้ นอกจากจะสามารถจัดเส้นทางที่ต้องการเดินทางที่เหมาะสมภายในประเทศไทยแล้ว โปรแกรมยังสามารถเปลี่ยนฐานข้อมูลในการคำนวณได้โดยผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่น

5.2.4.1 จัดเส้นทางการเดินทางระหว่าง อำเภอภายในจังหวัดที่ต้องการ

5.2.4.2 จัดเส้นทางการเดินทางระหว่างประเทศที่ต้องการ

5.2.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ คือ ใช้ในการจัดลำดับในการเชื่อม Print Circuit Board เพราะในการเชื่อม Print Circuit Board นั้นจะมีจุดต่างๆ ที่ต้องการเชื่อมมากมายดังนั้นถ้าคำนวณระยะทางรวมที่สั้นที่สุดในการเชื่อมย่อมทำให้ลดเวลาลดค่าใช้จ่ายลงได้

5.2.4.4 ประยุกต์ใช้กับตารางความสัมพันธ์แบบ Form to Chart สำหรับปัญหาการตั้งศูนย์กระจายสินค้า

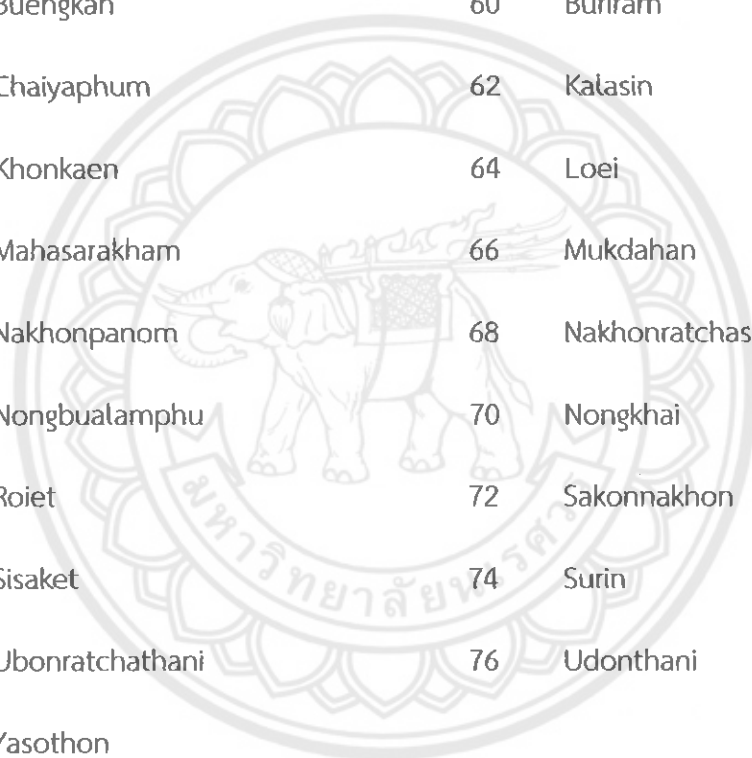
เอกสารอ้างอิง

- ประเมศวร์ ธนารุณ , ปริญา เกสร , เรวัตน์ อีระแนว. (2545). การใช้โปรแกรมกระบวนการเชิง
พันธุกรรมแก้ปัญหาด้านการเดินทางของพนักงานขาย. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.,
มหาวิทยาลัยนเรศวร
- กมลทิพย์ ขานทอง. (2544). การแก้ปัญหาการเดินทางเซลล์แมนแบบคอคขวดโดยวิธีดัดแปลงของ
ฮีสต์แมน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- หทัยทิพย์ ฤชงควาริน. (2547). ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีระยะเวลาไม่แน่นอนแบบ
คงตัว. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ธีรพล อร่ามเกียรติศิริ. (2547). ขั้นตอนวิธีลงตัวสำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบ
เกาะกลุ่ม. วิทยานิพนธ์ ดุษฎีบัณฑิต., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พัชรกรรณ์ อริยะวงษ์. (2550). การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีเจเนติก
อัลกอริทึม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร
- พัทธวัชร อีระชาติธนาวิทย์. (2553). การจัดตารางการผลิตของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีเชิง
พันธุกรรม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- K.C. Chan and H. Transri. (1993). A STUDY OF GENETIC CROSSOVER OPERATION ON
THE FACILITIES LAYOUT PROBLEM. University of New South Wales



| | | | |
|----|----------------------|----|-------------------|
| 1 | Chaingmai | 2 | Chaingrai |
| 3 | Lampang | 4 | Lamphun |
| 5 | Maehongson | 6 | Nan |
| 7 | Phayao | 8 | Phrae |
| 9 | Uttaradit | 10 | Chumphon |
| 11 | Krabi | 12 | Nakhonsithammarat |
| 13 | Narathiwat | 14 | Pattani |
| 15 | Phangnga | 16 | Phatthalung |
| 17 | Phuket | 18 | Ranong |
| 19 | Satun | 20 | Songkhla |
| 21 | Suratthani | 22 | Trang |
| 23 | Yala | 24 | Angthong |
| 25 | Chainat | 26 | Kamphaengphet |
| 27 | Krungthepmahanakhon | 28 | Lopburi |
| 29 | Nakhonnayok | 30 | Nakhonpathom |
| 31 | Nakhonsawan | 32 | Nonthaburi |
| 33 | Pathumthani | 34 | Phetchabun |
| 35 | Phichit | 36 | Phitsanulok |
| 37 | Phranakhonsiyutthaya | 38 | Samutprakan |
| 39 | Samutsakhon | 40 | Samutsongkhram |
| 41 | Saraburi | 42 | Singburi |
| 43 | Sukhothai | 44 | Suphanburi |
| 45 | Uthaithani | 46 | Chachoengsao |

| | | | |
|----|-------------------|----|------------------|
| 47 | Chanthaburi | 48 | Chonburi |
| 49 | Prachinburi | 50 | Rayong |
| 51 | Sakaeo | 52 | Trat |
| 53 | Kanchanaburi | 54 | Phetchaburi |
| 55 | Prachuapkhirikhan | 56 | Ratchaburi |
| 57 | Tak | 58 | Amnatcharoen |
| 59 | Buengkan | 60 | Buriram |
| 61 | Chaiyaphum | 62 | Kalasin |
| 63 | Khonkaen | 64 | Loei |
| 65 | Maharakham | 66 | Mukdahan |
| 67 | Nakhonpanom | 68 | Nakhonratchasima |
| 69 | Nongbualamphu | 70 | Nongkhai |
| 71 | Roiet | 72 | Sakonnakhon |
| 73 | Sisaket | 74 | Surin |
| 75 | Ubonratchathani | 76 | Udonthani |
| 77 | Yasothon | | |





ภาคผนวก ข

เมตริกแสดงข้อมูลระยะทางระหว่างจังหวัดแต่ละจังหวัด

ตารางที่ ข1 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (1)

| Province | Chiangmai | Chiangrai | Lampang | Lamphun | Maehongson | Nan | Phayao | Phrae | Uttaradit | Chumphon | Krabi | Nakhonsithammarat |
|----------------------|-----------|-----------|---------|---------|------------|------|--------|-------|-----------|----------|-------|-------------------|
| Chiangmai | 0 | 182 | 92 | 21 | 349 | 270 | 222 | 235 | 231 | 1159 | 1510 | 1476 |
| Chiangrai | 182 | 0 | 225 | 295 | 634 | 270 | 94 | 235 | 308 | 1248 | 1599 | 1565 |
| Lampang | 92 | 225 | 0 | 71 | 412 | 227 | 131 | 109 | 140 | 1062 | 1413 | 1379 |
| Lamphun | 21 | 295 | 71 | 0 | 342 | 297 | 201 | 180 | 210 | 1133 | 1484 | 1450 |
| Maehongson | 349 | 634 | 412 | 342 | 0 | 639 | 543 | 521 | 552 | 1387 | 1738 | 1704 |
| Nan | 270 | 270 | 227 | 297 | 639 | 0 | 176 | 118 | 191 | 1131 | 1482 | 1448 |
| Phayao | 222 | 94 | 131 | 201 | 543 | 176 | 0 | 141 | 214 | 1154 | 1505 | 1471 |
| Phrae | 235 | 235 | 109 | 180 | 521 | 118 | 141 | 0 | 74 | 1014 | 1365 | 1331 |
| Uttaradit | 231 | 308 | 140 | 210 | 552 | 191 | 214 | 74 | 0 | 954 | 1305 | 1271 |
| Chumphon | 1159 | 1248 | 1062 | 1133 | 1387 | 1131 | 1154 | 1014 | 954 | 0 | 363 | 330 |
| Krabi | 1510 | 1599 | 1413 | 1484 | 1738 | 1482 | 1505 | 1365 | 1305 | 363 | 0 | 223 |
| Nakhonsithammarat | 1476 | 1565 | 1379 | 1450 | 1704 | 1448 | 1471 | 1331 | 1271 | 330 | 223 | 0 |
| Narathiwat | 1845 | 1934 | 1748 | 1819 | 2073 | 1817 | 1840 | 1700 | 1640 | 699 | 491 | 360 |
| Pattani | 1751 | 1840 | 1807 | 1725 | 1979 | 1723 | 1746 | 1606 | 1546 | 604 | 391 | 266 |
| Phangnga | 1484 | 1573 | 1387 | 1458 | 1712 | 1456 | 1479 | 1339 | 1279 | 338 | 86 | 245 |
| Phatthalung | 1536 | 1625 | 1439 | 1510 | 1764 | 1508 | 1531 | 1391 | 1331 | 389 | 193 | 99 |
| Phuket | 1558 | 1647 | 1461 | 1532 | 1786 | 1530 | 1553 | 1413 | 1353 | 412 | 176 | 336 |
| Ranong | 1264 | 1353 | 1167 | 1238 | 1492 | 1236 | 1259 | 1119 | 1059 | 117 | 296 | 356 |
| Satun | 1669 | 1758 | 1572 | 1643 | 1897 | 1641 | 1664 | 1524 | 1465 | 523 | 276 | 233 |
| Songkhla | 1646 | 1735 | 1549 | 1620 | 1874 | 1618 | 1641 | 1501 | 1441 | 500 | 313 | 161 |
| Suratthani | 1340 | 1429 | 1243 | 1314 | 1568 | 1312 | 1335 | 1195 | 1135 | 193 | 211 | 134 |
| Trang | 1524 | 1613 | 1427 | 1498 | 1752 | 1496 | 1519 | 1379 | 1319 | 548 | 131 | 123 |
| Yala | 1780 | 1869 | 1683 | 1754 | 2008 | 1752 | 1775 | 1635 | 1575 | 633 | 425 | 295 |
| Angthong | 592 | 683 | 500 | 571 | 825 | 566 | 589 | 448 | 388 | 568 | 919 | 885 |
| Chainat | 515 | 606 | 423 | 494 | 748 | 489 | 516 | 371 | 311 | 657 | 1008 | 974 |
| Kamphaengphet | 339 | 477 | 241 | 316 | 569 | 359 | 382 | 241 | 177 | 821 | 1172 | 1138 |
| Krungthepmahanakhon | 696 | 785 | 599 | 670 | 924 | 668 | 691 | 551 | 491 | 463 | 814 | 780 |
| Lopburi | 579 | 672 | 489 | 558 | 814 | 554 | 578 | 437 | 377 | 616 | 967 | 933 |
| Nakhonnayok | 803 | 892 | 706 | 777 | 1031 | 775 | 798 | 658 | 598 | 584 | 921 | 887 |
| Nakhonpathom | 752 | 841 | 655 | 726 | 980 | 724 | 747 | 607 | 547 | 393 | 788 | 755 |
| Nakhonsawan | 449 | 542 | 359 | 428 | 683 | 425 | 448 | 307 | 247 | 703 | 1054 | 1020 |
| Nonthaburi | 716 | 805 | 619 | 690 | 944 | 688 | 711 | 571 | 511 | 483 | 834 | 800 |
| Pathumthani | 742 | 831 | 645 | 716 | 970 | 714 | 737 | 597 | 537 | 509 | 860 | 826 |
| Phetchabun | 506 | 523 | 414 | 485 | 807 | 465 | 489 | 348 | 288 | 809 | 1160 | 1126 |
| Phichit | 406 | 474 | 332 | 385 | 656 | 359 | 379 | 239 | 189 | 807 | 1158 | 1124 |
| Phitsanulok | 333 | 413 | 244 | 312 | 637 | 295 | 319 | 178 | 118 | 840 | 1191 | 1157 |
| Phranakhonsiyutthaya | 623 | 714 | 531 | 602 | 856 | 597 | 620 | 479 | 419 | 539 | 890 | 856 |
| Samutprakan | 725 | 814 | 628 | 699 | 953 | 697 | 720 | 580 | 520 | 492 | 843 | 809 |

ตารางที่ ข2 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (2)

| Province | Chaingnai | Chaingrai | Lampang | Lamphun | Maehongson | Nan | Phayao | Phrae | Uttaradit | Chumphon | Krabi | Nakhonsithammarat |
|------------------|-----------|-----------|---------|---------|------------|-----|--------|-------|-----------|----------|-------|-------------------|
| Samulsakhon | 732 | 821 | 635 | 706 | 960 | 704 | 727 | 587 | 527 | 428 | 778 | 746 |
| Samutsongkhram | 768 | 857 | 671 | 742 | 996 | 740 | 763 | 623 | 563 | 393 | 744 | 711 |
| Saraburi | 625 | 718 | 535 | 604 | 860 | 600 | 624 | 483 | 423 | 344 | 921 | 887 |
| Singburi | 552 | 643 | 460 | 531 | 785 | 526 | 549 | 408 | 348 | 605 | 956 | 922 |
| Sukhothai | 298 | 400 | 207 | 277 | 578 | 282 | 337 | 165 | 100 | 890 | 1241 | 1207 |
| Suphanburi | 796 | 885 | 699 | 770 | 1024 | 768 | 791 | 651 | 591 | 544 | 894 | 861 |
| Uthairhani | 500 | 519 | 408 | 479 | 733 | 474 | 497 | 357 | 297 | 682 | 1033 | 999 |
| Chachoengsao | 778 | 867 | 681 | 752 | 1006 | 750 | 773 | 633 | 573 | 545 | 896 | 862 |
| Chanthaburi | 941 | 1030 | 844 | 915 | 1169 | 913 | 936 | 796 | 736 | 708 | 1059 | 1025 |
| Chonburi | 777 | 866 | 680 | 751 | 1005 | 749 | 772 | 632 | 572 | 544 | 896 | 861 |
| Prachinburi | 832 | 921 | 735 | 806 | 1060 | 804 | 827 | 687 | 627 | 599 | 950 | 916 |
| Rayong | 875 | 964 | 778 | 849 | 1103 | 847 | 870 | 730 | 670 | 642 | 993 | 956 |
| Sakaeo | 933 | 1022 | 836 | 907 | 1161 | 905 | 928 | 788 | 728 | 700 | 1051 | 1017 |
| Trat | 1011 | 1100 | 914 | 985 | 1239 | 983 | 1006 | 866 | 806 | 778 | 1129 | 1095 |
| Kanchanaburi | 824 | 913 | 727 | 798 | 1052 | 796 | 819 | 679 | 619 | 478 | 828 | 795 |
| Phetchanaburi | 819 | 523 | 722 | 793 | 1047 | 791 | 814 | 674 | 614 | 340 | 691 | 658 |
| Prachuapkhirkhan | 977 | 1066 | 880 | 951 | 1205 | 949 | 972 | 832 | 772 | 183 | 534 | 500 |
| Ratchaburi | 796 | 885 | 699 | 770 | 1024 | 768 | 791 | 651 | 591 | 393 | 744 | 711 |
| Tak | 265 | 398 | 174 | 244 | 499 | 362 | 304 | 244 | 179 | 889 | 1240 | 1206 |
| Amnatcharoen | 893 | 970 | 801 | 872 | 1194 | 853 | 876 | 735 | 675 | 1048 | 1399 | 1365 |
| Buengkan | 849 | 905 | 771 | 775 | 1061 | 665 | 802 | 646 | 582 | 1201 | 1522 | 1483 |
| Buriram | 822 | 904 | 730 | 801 | 1136 | 782 | 904 | 664 | 595 | 846 | 1224 | 1163 |
| Chaiyaphum | 640 | 722 | 548 | 619 | 961 | 600 | 631 | 482 | 413 | 805 | 1156 | 1122 |
| Kalasin | 729 | 809 | 640 | 708 | 1033 | 691 | 715 | 574 | 514 | 982 | 1333 | 1314 |
| Khonkaen | 652 | 732 | 563 | 631 | 956 | 614 | 638 | 497 | 437 | 912 | 1263 | 1229 |
| Loei | 602 | 682 | 513 | 581 | 906 | 564 | 588 | 447 | 387 | 983 | 1334 | 1300 |
| Maharakham | 725 | 805 | 636 | 704 | 1029 | 682 | 711 | 570 | 510 | 938 | 1289 | 1255 |
| Mukdahan | 898 | 975 | 806 | 877 | 1199 | 858 | 881 | 740 | 680 | 1105 | 1456 | 1422 |
| Nakhonpanom | 950 | 1030 | 861 | 929 | 1254 | 912 | 936 | 795 | 735 | 1203 | 1554 | 1520 |
| Nakhonratchasima | 777 | 870 | 687 | 756 | 1012 | 752 | 776 | 635 | 575 | 722 | 1074 | 1039 |
| Nongbualamphu | 649 | 729 | 566 | 634 | 933 | 611 | 635 | 493 | 434 | 1040 | 1391 | 1357 |
| Nongkhai | 818 | 898 | 728 | 797 | 1122 | 780 | 804 | 663 | 603 | 1078 | 1429 | 1395 |
| Roiet | 765 | 845 | 676 | 744 | 1069 | 727 | 751 | 610 | 550 | 975 | 1326 | 1292 |
| Sakonnakon | 857 | 937 | 768 | 836 | 1161 | 819 | 843 | 702 | 642 | 1110 | 1461 | 1427 |
| Sisaket | 977 | 1059 | 885 | 956 | 1284 | 937 | 978 | 819 | 750 | 994 | 1385 | 1311 |
| Surin | 872 | 954 | 780 | 851 | 1179 | 832 | 873 | 714 | 645 | 889 | 1271 | 1206 |
| Ubonratchathani | 937 | 1014 | 845 | 916 | 1238 | 474 | 920 | 779 | 719 | 1055 | 1406 | 1372 |
| Udonthani | 767 | 847 | 678 | 746 | 1071 | 729 | 753 | 612 | 552 | 1027 | 1378 | 1344 |
| Yasothon | 839 | 913 | 747 | 818 | 1140 | 799 | 822 | 681 | 621 | 994 | 1345 | 1311 |

ตารางที่ ข3 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (3)

| Province | Narathiwat | Pattani | Phangnga | Phatthalung | Phuket | Ranong | Satun | Songkhla | Suratthani | Trang |
|----------------------|------------|---------|----------|-------------|--------|--------|-------|----------|------------|-------|
| Chaingmai | 1845 | 1751 | 1484 | 1536 | 1558 | 1264 | 1669 | 1646 | 1340 | 1524 |
| Chaingrai | 1934 | 1840 | 1573 | 1625 | 1647 | 1353 | 1758 | 1735 | 1429 | 1613 |
| Lampang | 1748 | 1807 | 1387 | 1439 | 1461 | 1167 | 1572 | 1549 | 1243 | 1427 |
| Lamphun | 1819 | 1725 | 1458 | 1510 | 1532 | 1238 | 1643 | 1620 | 1314 | 1498 |
| Maehongson | 2073 | 1979 | 1712 | 1764 | 1786 | 1492 | 1897 | 1874 | 1568 | 1752 |
| Nan | 1817 | 1723 | 1456 | 1508 | 1530 | 1236 | 1641 | 1618 | 1312 | 1496 |
| Phayao | 1840 | 1746 | 1479 | 1531 | 1553 | 1259 | 1664 | 1641 | 1335 | 1519 |
| Phrae | 1700 | 1606 | 1339 | 1391 | 1413 | 1119 | 1524 | 1501 | 1195 | 1379 |
| Uttaradit | 1640 | 1546 | 1279 | 1331 | 1353 | 1059 | 1465 | 1441 | 1135 | 1319 |
| Chumphon | 699 | 604 | 338 | 389 | 412 | 117 | 523 | 500 | 193 | 548 |
| Krabi | 491 | 391 | 86 | 193 | 176 | 296 | 276 | 313 | 211 | 131 |
| Nakhonsithammarat | 360 | 266 | 245 | 99 | 336 | 356 | 233 | 161 | 134 | 123 |
| Narathiwat | 0 | 92 | 581 | 299 | 671 | 725 | 303 | 194 | 503 | 355 |
| Pattani | 92 | 0 | 486 | 205 | 577 | 630 | 208 | 99 | 408 | 260 |
| Phangnga | 581 | 486 | 0 | 283 | 87 | 226 | 366 | 403 | 196 | 221 |
| Phatthalung | 299 | 205 | 283 | 0 | 370 | 415 | 134 | 121 | 238 | 56 |
| Phuket | 671 | 577 | 87 | 370 | 0 | 300 | 453 | 494 | 284 | 312 |
| Ranong | 725 | 630 | 226 | 415 | 300 | 0 | 549 | 525 | 219 | 403 |
| Satun | 303 | 208 | 366 | 134 | 453 | 549 | 0 | 125 | 372 | 140 |
| Songkhla | 194 | 99 | 403 | 121 | 494 | 525 | 125 | 0 | 304 | 176 |
| Suratthani | 503 | 408 | 196 | 238 | 284 | 219 | 372 | 304 | 0 | 226 |
| Trang | 355 | 260 | 221 | 56 | 312 | 403 | 140 | 176 | 226 | 0 |
| Yala | 128 | 35 | 515 | 234 | 606 | 659 | 237 | 128 | 437 | 288 |
| Angthong | 1254 | 1160 | 893 | 945 | 967 | 673 | 1078 | 1055 | 749 | 933 |
| Chainat | 1343 | 1249 | 982 | 1034 | 1056 | 762 | 1167 | 1144 | 838 | 1022 |
| Kamphaengphet | 1507 | 1413 | 1146 | 1198 | 1220 | 926 | 1331 | 1308 | 1002 | 1186 |
| Krungthepmahanakhon | 1149 | 1055 | 788 | 840 | 862 | 562 | 973 | 950 | 644 | 828 |
| Lopburi | 1302 | 1208 | 941 | 993 | 1015 | 721 | 1126 | 1103 | 797 | 981 |
| Nakhonnayok | 1256 | 1162 | 895 | 947 | 969 | 675 | 1080 | 1057 | 751 | 935 |
| Nakhonpathom | 1124 | 1029 | 763 | 814 | 837 | 542 | 948 | 925 | 618 | 802 |
| Nakhonsawan | 1389 | 1305 | 1028 | 1080 | 1102 | 808 | 1213 | 1190 | 884 | 1068 |
| Nonthaburi | 1169 | 1075 | 808 | 860 | 882 | 588 | 993 | 970 | 664 | 848 |
| Pathumthani | 1198 | 1101 | 834 | 886 | 908 | 614 | 1019 | 996 | 690 | 874 |
| Phetchabun | 1495 | 1401 | 1134 | 1186 | 1208 | 914 | 1319 | 1296 | 990 | 1174 |
| Phichit | 1493 | 1399 | 1132 | 1184 | 1206 | 912 | 1317 | 1294 | 988 | 1172 |
| Phitsanulok | 1526 | 1432 | 1165 | 1217 | 1237 | 945 | 1350 | 1327 | 1021 | 1205 |
| Phranakhonsiyutthaya | 1225 | 1131 | 864 | 916 | 938 | 644 | 1049 | 1003 | 720 | 904 |
| Samutprakan | 1178 | 1084 | 817 | 869 | 891 | 597 | 1002 | 979 | 673 | 857 |
| Samutsakhon | 1114 | 1020 | 753 | 805 | 827 | 532 | 939 | 915 | 609 | 793 |

ตารางที่ ข4 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (4)

| Province | Narathiwat | Pattani | Phangnga | Phatthalung | Phuket | Ranong | Satun | Songkhla | Suratthani | Trang |
|-------------------|------------|---------|----------|-------------|--------|--------|-------|----------|------------|-------|
| Samutsongkhram | 1079 | 985 | 718 | 770 | 792 | 498 | 904 | 880 | 574 | 758 |
| Saraburi | 1256 | 1162 | 895 | 938 | 969 | 675 | 1080 | 1057 | 751 | 935 |
| Singburi | 1291 | 1197 | 930 | 982 | 1004 | 710 | 1115 | 1092 | 786 | 970 |
| Sukhothai | 1576 | 1482 | 1215 | 1267 | 1289 | 995 | 1400 | 1377 | 1071 | 1255 |
| Suphanburi | 1230 | 1135 | 865 | 940 | 943 | 648 | 1054 | 1030 | 724 | 908 |
| Uthaithani | 1368 | 1274 | 1007 | 1059 | 1081 | 787 | 1192 | 1169 | 863 | 1074 |
| Chachoengsao | 1231 | 1137 | 870 | 922 | 944 | 650 | 1055 | 1032 | 726 | 910 |
| Chanthaburi | 1394 | 1300 | 1033 | 1085 | 1107 | 813 | 1218 | 1195 | 889 | 1073 |
| Chonburi | 1230 | 1136 | 869 | 921 | 943 | 649 | 1054 | 1031 | 725 | 909 |
| Prachinburi | 1285 | 1191 | 924 | 976 | 998 | 704 | 1108 | 1086 | 780 | 964 |
| Rayong | 1328 | 1234 | 967 | 1019 | 1041 | 747 | 1152 | 1129 | 823 | 1007 |
| Sakaeo | 1386 | 1292 | 1025 | 920 | 1099 | 805 | 1210 | 1187 | 881 | 1065 |
| Trat | 1464 | 1370 | 1103 | 1155 | 1177 | 883 | 1288 | 1265 | 959 | 1143 |
| Kanchanaburi | 1164 | 1069 | 803 | 854 | 877 | 582 | 988 | 964 | 658 | 842 |
| Phetchanaburi | 1026 | 932 | 666 | 716 | 740 | 445 | 851 | 827 | 521 | 705 |
| Prachuapkhirikhan | 869 | 775 | 508 | 560 | 582 | 288 | 693 | 670 | 364 | 548 |
| Ratchaburi | 1080 | 958 | 719 | 770 | 798 | 489 | 904 | 880 | 574 | 758 |
| Tak | 1575 | 1481 | 1214 | 1266 | 1288 | 994 | 1399 | 1376 | 1070 | 1254 |
| Amnatcharoen | 1734 | 1640 | 1373 | 1425 | 1447 | 1153 | 1558 | 1535 | 1229 | 1413 |
| Buengkan | 1901 | 1817 | 1513 | 1599 | 1573 | 1331 | 1703 | 1701 | 1411 | 1579 |
| Buriram | 1532 | 1438 | 1171 | 1223 | 1245 | 951 | 1383 | 1333 | 1027 | 1211 |
| Chaiyaphum | 1491 | 1397 | 1130 | 1182 | 1204 | 910 | 1315 | 1292 | 986 | 1170 |
| Kalasin | 1668 | 1574 | 1322 | 1373 | 1381 | 1087 | 1492 | 1469 | 1163 | 1347 |
| Khonkaen | 1598 | 1504 | 1237 | 1289 | 1311 | 1017 | 1422 | 1399 | 1093 | 1277 |
| Loei | 1669 | 1575 | 1308 | 1360 | 1382 | 1088 | 1493 | 1470 | 1164 | 1348 |
| Maharakham | 1624 | 1530 | 1263 | 1315 | 1337 | 1043 | 1448 | 1604 | 1119 | 1303 |
| Mukdahan | 1791 | 1697 | 1430 | 1482 | 1504 | 1210 | 1615 | 1592 | 1286 | 1470 |
| Nakhonpanom | 1889 | 1795 | 1528 | 1580 | 1602 | 1308 | 1713 | 1690 | 1384 | 1568 |
| Nakhonratchasima | 1408 | 1314 | 1047 | 1099 | 1121 | 827 | 1232 | 1209 | 903 | 1087 |
| Nongbualamphu | 1762 | 1632 | 1365 | 1417 | 1439 | 1145 | 1550 | 1527 | 1221 | 1405 |
| Nongkhai | 1764 | 1670 | 1403 | 1455 | 1477 | 1183 | 1588 | 1565 | 1259 | 1443 |
| Roiet | 1661 | 1567 | 1300 | 1352 | 1374 | 1080 | 1485 | 1462 | 1156 | 1340 |
| Sakonnakon | 1796 | 1702 | 1435 | 1487 | 1509 | 1215 | 1620 | 1597 | 1291 | 1475 |
| Sisaket | 1680 | 1586 | 1319 | 1371 | 1393 | 1099 | 1544 | 1481 | 1175 | 1359 |
| Surin | 1575 | 1481 | 1214 | 1266 | 1288 | 994 | 1430 | 1376 | 1070 | 1254 |
| Ubonratchathani | 1741 | 1647 | 1380 | 1432 | 1454 | 1160 | 1602 | 1542 | 1236 | 1420 |
| Udonthani | 1713 | 1619 | 1352 | 1404 | 1426 | 1132 | 1537 | 1514 | 1208 | 1392 |
| Yasothon | 1680 | 1586 | 1319 | 1371 | 1393 | 1099 | 1504 | 1481 | 1175 | 1359 |

ตารางที่ ข5 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (5)

| Province | Yala | Angthong | Chainat | Kamphaengphet | Krungthepmahanakhon | Lopburi | Nakhonnayok | Nakhonpathom |
|----------------------|------|----------|---------|---------------|---------------------|---------|-------------|--------------|
| Chaingmai | 1780 | 592 | 515 | 339 | 696 | 579 | 803 | 752 |
| Chaingrai | 1869 | 683 | 606 | 477 | 785 | 672 | 892 | 841 |
| Lampang | 1683 | 500 | 423 | 241 | 599 | 489 | 706 | 655 |
| Lamphun | 1754 | 571 | 494 | 316 | 670 | 558 | 777 | 726 |
| Maehongson | 2008 | 825 | 748 | 569 | 924 | 814 | 1031 | 980 |
| Nan | 1752 | 566 | 489 | 359 | 668 | 554 | 775 | 724 |
| Phayao | 1775 | 589 | 516 | 382 | 691 | 578 | 798 | 747 |
| Phrae | 1635 | 448 | 371 | 241 | 551 | 437 | 658 | 607 |
| Uttaradit | 1575 | 388 | 311 | 177 | 491 | 377 | 598 | 547 |
| Chumphon | 633 | 568 | 657 | 821 | 463 | 616 | 584 | 393 |
| Krabi | 425 | 919 | 1008 | 1172 | 814 | 967 | 921 | 788 |
| Nakhonsithamarat | 295 | 885 | 974 | 1138 | 780 | 933 | 887 | 755 |
| Narathiwat | 128 | 1254 | 1343 | 1507 | 1149 | 1302 | 1256 | 1124 |
| Pattani | 35 | 1160 | 1249 | 1413 | 1055 | 1208 | 1162 | 1029 |
| Phangnga | 515 | 893 | 982 | 1146 | 788 | 941 | 895 | 763 |
| Phatthalung | 234 | 945 | 1034 | 1198 | 840 | 993 | 947 | 814 |
| Phuket | 606 | 967 | 1056 | 1220 | 862 | 1015 | 969 | 837 |
| Ranong | 659 | 673 | 762 | 926 | 562 | 721 | 675 | 542 |
| Satun | 237 | 1078 | 1167 | 1331 | 973 | 1126 | 1080 | 948 |
| Songkhla | 128 | 1055 | 1144 | 1308 | 950 | 1103 | 1057 | 925 |
| Suratthani | 437 | 749 | 838 | 1002 | 644 | 797 | 751 | 618 |
| Trang | 288 | 933 | 1022 | 1186 | 828 | 981 | 935 | 802 |
| Yala | 0 | 1189 | 1278 | 1442 | 1084 | 1237 | 1191 | 1058 |
| Angthong | 1189 | 0 | 92 | 258 | 105 | 67 | 116 | 161 |
| Chainat | 1278 | 92 | 0 | 181 | 194 | 85 | 301 | 250 |
| Kamphaengphet | 1442 | 258 | 181 | 0 | 358 | 247 | 465 | 414 |
| Krungthepmahanakhon | 1084 | 105 | 194 | 358 | 0 | 153 | 107 | 56 |
| Lopburi | 1237 | 67 | 85 | 247 | 153 | 0 | 260 | 209 |
| Nakhonnayok | 1191 | 116 | 301 | 465 | 107 | 260 | 0 | 163 |
| Nakhonpathom | 1058 | 161 | 250 | 414 | 56 | 209 | 163 | 0 |
| Nakhonsawan | 1324 | 141 | 64 | 117 | 240 | 130 | 347 | 296 |
| Nonthaburi | 1104 | 99 | 214 | 378 | 20 | 173 | 100 | 76 |
| Pathumthani | 1130 | 88 | 240 | 404 | 46 | 199 | 101 | 102 |
| Phetchabun | 1430 | 297 | 217 | 273 | 346 | 251 | 453 | 402 |
| Phichit | 1428 | 254 | 177 | 90 | 344 | 243 | 451 | 400 |
| Phitsanulok | 1461 | 270 | 193 | 103 | 377 | 259 | 484 | 433 |
| Phranakhonsiyutthaya | 1160 | 31 | 121 | 289 | 76 | 98 | 183 | 132 |
| Samutprakan | 1113 | 133 | 223 | 387 | 29 | 182 | 137 | 85 |
| Samutsakhon | 1049 | 141 | 230 | 394 | 36 | 189 | 149 | 48 |

ตารางที่ ข6 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (6)

| Province | Yala | Angthong | Chainat | Kamphaengphet | Krungthepmahanakhon | Lopburi | Nakhonnayok | Nakhonpathom |
|------------------|------|----------|---------|---------------|---------------------|---------|-------------|--------------|
| Samulsongkhram | 1014 | 177 | 266 | 430 | 72 | 225 | 179 | 63 |
| Saraburi | 1191 | 58 | 128 | 293 | 107 | 46 | 58 | 163 |
| Singburi | 1226 | 40 | 53 | 218 | 142 | 33 | 249 | 198 |
| Sukhothai | 1511 | 327 | 250 | 77 | 427 | 316 | 534 | 483 |
| Suphanburi | 1164 | 44 | 294 | 458 | 100 | 253 | 160 | 105 |
| Uthaithani | 1303 | 119 | 42 | 167 | 219 | 111 | 326 | 275 |
| Chachoengsao | 1166 | 148 | 276 | 440 | 82 | 241 | 189 | 138 |
| Chanthaburi | 1329 | 532 | 439 | 603 | 254 | 398 | 352 | 301 |
| Chonburi | 1165 | 169 | 275 | 439 | 81 | 240 | 188 | 137 |
| Prachinburi | 1220 | 144 | 330 | 494 | 136 | 289 | 29 | 192 |
| Rayong | 1263 | 284 | 373 | 537 | 179 | 332 | 214 | 235 |
| Sakaeo | 1321 | 242 | 431 | 595 | 237 | 390 | 127 | 163 |
| Trat | 1399 | 402 | 509 | 673 | 315 | 468 | 255 | 371 |
| Kanchanaburi | 1098 | 233 | 322 | 486 | 128 | 281 | 235 | 65 |
| Phetchaburi | 961 | 228 | 317 | 481 | 123 | 276 | 230 | 98 |
| Prachuapkhirkhan | 804 | 386 | 475 | 638 | 281 | 434 | 388 | 255 |
| Ratchaburi | 1014 | 205 | 294 | 458 | 100 | 253 | 207 | 41 |
| Tak | 1510 | 326 | 249 | 68 | 426 | 315 | 533 | 482 |
| Amnatcharoen | 1669 | 536 | 606 | 660 | 585 | 524 | 692 | 641 |
| Buengkan | 1861 | 716 | 703 | 698 | 738 | 614 | 711 | 770 |
| Buriram | 1467 | 334 | 404 | 550 | 382 | 322 | 490 | 439 |
| Chaiyaphum | 1426 | 293 | 282 | 368 | 342 | 243 | 449 | 398 |
| Kalasin | 1603 | 470 | 540 | 499 | 519 | 458 | 626 | 575 |
| Khonkaen | 1533 | 400 | 432 | 422 | 449 | 388 | 556 | 505 |
| Loei | 1604 | 471 | 462 | 372 | 520 | 441 | 627 | 576 |
| Maharakham | 1559 | 426 | 458 | 495 | 475 | 414 | 582 | 531 |
| Mukdahan | 1726 | 593 | 663 | 849 | 642 | 679 | 749 | 698 |
| Nakhonpanom | 1824 | 712 | 724 | 720 | 740 | 679 | 847 | 796 |
| Nakhonratchasima | 1343 | 210 | 280 | 445 | 259 | 198 | 213 | 315 |
| Nongbualamphu | 1661 | 528 | 448 | 425 | 557 | 319 | 684 | 633 |
| Nongkhai | 1699 | 566 | 599 | 588 | 615 | 554 | 722 | 671 |
| Roiet | 1596 | 445 | 498 | 535 | 512 | 433 | 619 | 568 |
| Sakonkakhon | 1731 | 598 | 631 | 627 | 647 | 586 | 754 | 703 |
| Sisaket | 1615 | 482 | 554 | 705 | 531 | 470 | 638 | 587 |
| Surin | 1510 | 377 | 447 | 600 | 426 | 365 | 533 | 482 |
| Ubonratchathani | 1676 | 543 | 613 | 704 | 592 | 531 | 699 | 648 |
| Udonthani | 1648 | 515 | 548 | 537 | 564 | 503 | 671 | 620 |
| Yasothon | 1615 | 482 | 552 | 605 | 531 | 470 | 638 | 587 |

ตารางที่ ข7 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (7)

| Province | Nakhonsawan | Nonthaburi | Pathumthani | Phetchabun | Phichit | Phitsanulok | Phranakhonsiyutthaya | Samutprakan |
|----------------------|-------------|------------|-------------|------------|---------|-------------|----------------------|-------------|
| Chaingnai | 449 | 716 | 742 | 506 | 406 | 333 | 623 | 725 |
| Chaingrai | 542 | 805 | 831 | 523 | 474 | 413 | 714 | 814 |
| Lampang | 359 | 619 | 645 | 414 | 332 | 244 | 531 | 628 |
| Lamphun | 428 | 690 | 716 | 485 | 385 | 312 | 602 | 699 |
| Maehongson | 683 | 944 | 970 | 807 | 656 | 637 | 856 | 953 |
| Nan | 425 | 688 | 714 | 465 | 359 | 295 | 597 | 697 |
| Phayao | 448 | 711 | 737 | 489 | 379 | 319 | 620 | 720 |
| Phrae | 307 | 571 | 597 | 348 | 239 | 178 | 479 | 580 |
| Uttaradit | 247 | 511 | 537 | 288 | 189 | 118 | 419 | 520 |
| Chumphon | 703 | 483 | 509 | 809 | 807 | 840 | 539 | 492 |
| Krabi | 1054 | 834 | 860 | 1160 | 1158 | 1191 | 890 | 843 |
| Nakhonsithammarat | 1020 | 800 | 826 | 1126 | 1124 | 1157 | 856 | 809 |
| Narathiwat | 1389 | 1169 | 1198 | 1495 | 1493 | 1526 | 1225 | 1178 |
| Pattani | 1305 | 1075 | 1101 | 1401 | 1399 | 1432 | 1131 | 1084 |
| Phangnga | 1028 | 808 | 834 | 1134 | 1132 | 1165 | 864 | 817 |
| Phatthalung | 1080 | 860 | 886 | 1186 | 1184 | 1217 | 916 | 869 |
| Phuket | 1102 | 882 | 908 | 1208 | 1206 | 1237 | 938 | 891 |
| Ranong | 808 | 588 | 614 | 914 | 912 | 945 | 644 | 597 |
| Satun | 1213 | 993 | 1019 | 1319 | 1317 | 1350 | 1049 | 1002 |
| Songkhla | 1190 | 970 | 996 | 1296 | 1294 | 1327 | 1003 | 979 |
| Suratthani | 884 | 664 | 690 | 990 | 988 | 1021 | 720 | 673 |
| Trang | 1068 | 848 | 874 | 1174 | 1172 | 1205 | 904 | 857 |
| Yala | 1324 | 1104 | 1130 | 1430 | 1428 | 1461 | 1160 | 1113 |
| Angthong | 141 | 99 | 88 | 297 | 254 | 270 | 31 | 133 |
| Chainat | 64 | 214 | 240 | 217 | 177 | 193 | 121 | 223 |
| Kamphaengphet | 117 | 378 | 404 | 273 | 90 | 103 | 289 | 387 |
| Krungthepmahanakhon | 240 | 20 | 46 | 346 | 344 | 377 | 76 | 29 |
| Lopburi | 130 | 173 | 199 | 251 | 243 | 259 | 98 | 182 |
| Nakhonnayok | 347 | 100 | 101 | 453 | 451 | 484 | 183 | 137 |
| Nakhonpathom | 296 | 76 | 102 | 402 | 400 | 433 | 132 | 85 |
| Nakhonsawan | 0 | 260 | 286 | 184 | 113 | 129 | 172 | 269 |
| Nonthaburi | 260 | 0 | 26 | 366 | 364 | 397 | 96 | 42 |
| Pathumthani | 286 | 26 | 0 | 392 | 390 | 423 | 122 | 66 |
| Phetchabun | 184 | 366 | 392 | 0 | 129 | 170 | 302 | 375 |
| Phichit | 113 | 364 | 390 | 129 | 0 | 73 | 285 | 373 |
| Phitsanulok | 129 | 397 | 423 | 170 | 73 | 0 | 301 | 406 |
| Phranakhonsiyutthaya | 172 | 96 | 122 | 302 | 285 | 301 | 0 | 105 |
| Samutprakan | 269 | 42 | 66 | 375 | 373 | 406 | 105 | 0 |
| Samutsakhon | 276 | 56 | 82 | 382 | 380 | 413 | 112 | 65 |

ตารางที่ ข8 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (8)

| Province | Nakhonsawan | Nonthaburi | Pathumthani | Phetchabun | Phichit | Phitsanulok | Phranakhonsiyutthaya | Samutprakan |
|------------------|-------------|------------|-------------|------------|---------|-------------|----------------------|-------------|
| Samutsongkhram | 312 | 92 | 118 | 418 | 416 | 449 | 148 | 101 |
| Saraburi | 175 | 101 | 101 | 239 | 289 | 305 | 63 | 137 |
| Singburi | 101 | 162 | 188 | 236 | 214 | 230 | 71 | 171 |
| Sukhothai | 188 | 447 | 473 | 229 | 125 | 59 | 285 | 456 |
| Suphanburi | 340 | 89 | 80 | 446 | 444 | 477 | 176 | 127 |
| Uthaithani | 50 | 239 | 265 | 233 | 163 | 179 | 156 | 248 |
| Chachoengsao | 322 | 76 | 89 | 428 | 426 | 459 | 158 | 71 |
| Chanthaburi | 485 | 259 | 272 | 591 | 589 | 622 | 321 | 228 |
| Chonburi | 321 | 95 | 109 | 427 | 425 | 458 | 157 | 64 |
| Prachinburi | 376 | 151 | 127 | 482 | 480 | 513 | 212 | 147 |
| Rayong | 419 | 192 | 207 | 525 | 523 | 556 | 255 | 162 |
| Sakaeo | 477 | 249 | 225 | 583 | 581 | 614 | 313 | 245 |
| Trat | 555 | 328 | 342 | 661 | 659 | 692 | 391 | 295 |
| Kanchanaburi | 368 | 148 | 174 | 474 | 472 | 505 | 204 | 157 |
| Phetchaburi | 363 | 143 | 169 | 469 | 467 | 500 | 199 | 152 |
| Prachuapkhirkhan | 521 | 301 | 327 | 627 | 625 | 658 | 357 | 310 |
| Ratchaburi | 340 | 120 | 146 | 446 | 444 | 477 | 176 | 129 |
| Tak | 185 | 446 | 472 | 772 | 157 | 138 | 357 | 455 |
| Amnatcharoen | 653 | 605 | 631 | 482 | 590 | 557 | 538 | 614 |
| Buengkan | 634 | 736 | 719 | 468 | 594 | 516 | 714 | 775 |
| Buriram | 441 | 403 | 429 | 397 | 460 | 503 | 339 | 412 |
| Chaiyaphum | 259 | 362 | 388 | 215 | 278 | 321 | 298 | 371 |
| Kalasin | 479 | 539 | 565 | 316 | 429 | 396 | 475 | 548 |
| Khonkaen | 409 | 496 | 495 | 240 | 352 | 319 | 405 | 478 |
| Loei | 374 | 540 | 566 | 190 | 301 | 269 | 476 | 549 |
| Maharakham | 435 | 497 | 521 | 313 | 423 | 392 | 431 | 774 |
| Mukdahan | 631 | 662 | 688 | 481 | 595 | 562 | 598 | 671 |
| Nakhonpanom | 701 | 760 | 786 | 537 | 650 | 617 | 691 | 769 |
| Nakhonratchasima | 327 | 256 | 256 | 310 | 441 | 457 | 215 | 293 |
| Nongbualamphu | 415 | 597 | 623 | 231 | 377 | 322 | 533 | 606 |
| Nongkhai | 576 | 635 | 661 | 393 | 518 | 485 | 571 | 644 |
| Roiet | 475 | 532 | 558 | 353 | 463 | 432 | 450 | 541 |
| Sakonnakhon | 608 | 667 | 693 | 444 | 557 | 524 | 603 | 676 |
| Sisaket | 596 | 551 | 577 | 552 | 615 | 658 | 487 | 560 |
| Surin | 491 | 446 | 472 | 447 | 510 | 553 | 382 | 455 |
| Ubonratchathani | 660 | 612 | 638 | 531 | 634 | 601 | 548 | 621 |
| Udonthani | 525 | 584 | 610 | 342 | 467 | 434 | 520 | 593 |
| Yasothon | 520 | 551 | 577 | 428 | 536 | 503 | 484 | 560 |

ตารางที่ ข9 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (9)

| Province | Samutsakhon | Samutsonkhram | Saraburi | Singburi | Sukhothai | Suphanburi | Uthaithani | Chachoengsao |
|------------------------|-------------|---------------|----------|----------|-----------|------------|------------|--------------|
| Chaingmai | 732 | 768 | 625 | 552 | 298 | 796 | 500 | 778 |
| Chaingrai | 821 | 857 | 718 | 643 | 400 | 885 | 519 | 867 |
| Lampang | 635 | 671 | 535 | 460 | 207 | 699 | 408 | 681 |
| Lamphun | 706 | 742 | 604 | 531 | 277 | 770 | 479 | 752 |
| Maehongson | 960 | 996 | 860 | 785 | 578 | 1024 | 733 | 1006 |
| Nan | 704 | 740 | 600 | 526 | 282 | 768 | 474 | 750 |
| Phayao | 727 | 763 | 624 | 549 | 337 | 791 | 497 | 773 |
| Phrae | 587 | 623 | 483 | 408 | 165 | 651 | 357 | 633 |
| Uttaradit | 527 | 563 | 423 | 348 | 100 | 591 | 297 | 573 |
| Chumphon | 428 | 393 | 344 | 605 | 890 | 544 | 682 | 545 |
| Krabi | 778 | 744 | 921 | 956 | 1241 | 894 | 1033 | 896 |
| Nakhonsithammarat | 746 | 711 | 887 | 922 | 1207 | 861 | 999 | 862 |
| Narathiwat | 1114 | 1079 | 1256 | 1291 | 1576 | 1230 | 1368 | 1231 |
| Pattani | 1020 | 985 | 1162 | 1197 | 1482 | 1135 | 1274 | 1137 |
| Phangnga | 753 | 718 | 895 | 930 | 1215 | 865 | 1007 | 870 |
| Phatthalung | 805 | 770 | 938 | 982 | 1267 | 940 | 1059 | 922 |
| Phuket | 827 | 792 | 969 | 1004 | 1289 | 943 | 1081 | 944 |
| Ranong | 532 | 498 | 675 | 710 | 995 | 648 | 787 | 650 |
| Satun | 939 | 904 | 1080 | 1115 | 1400 | 1054 | 1192 | 1055 |
| Songkhla | 915 | 880 | 1057 | 1092 | 1377 | 1030 | 1169 | 1032 |
| Suratthani | 609 | 574 | 751 | 786 | 1071 | 724 | 863 | 726 |
| Trang | 793 | 758 | 935 | 970 | 1255 | 908 | 1074 | 910 |
| Yala | 1049 | 1014 | 1191 | 1226 | 1511 | 1164 | 1303 | 1166 |
| Angthong | 141 | 177 | 58 | 40 | 327 | 44 | 119 | 148 |
| Chainat | 230 | 266 | 128 | 53 | 250 | 294 | 42 | 276 |
| Kamphaengphet | 394 | 430 | 293 | 218 | 77 | 458 | 167 | 440 |
| Krungthepmahanakhon | 36 | 72 | 107 | 142 | 427 | 100 | 219 | 82 |
| Lopburi | 189 | 225 | 46 | 33 | 316 | 253 | 111 | 241 |
| Nakhonnayok | 149 | 179 | 58 | 249 | 534 | 160 | 326 | 189 |
| Nakhonpathom | 48 | 63 | 163 | 198 | 483 | 105 | 275 | 138 |
| Nakhonsawan | 276 | 312 | 175 | 101 | 188 | 340 | 50 | 322 |
| Nonthaburi | 56 | 92 | 101 | 162 | 447 | 89 | 239 | 76 |
| Pathumthani | 82 | 118 | 101 | 188 | 473 | 80 | 265 | 89 |
| Phetchabun | 382 | 418 | 239 | 236 | 229 | 446 | 233 | 428 |
| Phichit | 380 | 416 | 289 | 214 | 125 | 444 | 163 | 426 |
| Phitsanulok | 413 | 449 | 305 | 230 | 59 | 477 | 179 | 459 |
| Phranakhonsiyayutthaya | 112 | 148 | 63 | 71 | 285 | 176 | 156 | 158 |
| Samutprakan | 65 | 101 | 137 | 171 | 456 | 127 | 248 | 71 |
| Samutsakhon | 0 | 37 | 143 | 178 | 463 | 123 | 255 | 118 |

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (10)

| Province | Samutsakhon | Samutsongkhram | Saraburi | Singburi | Sukhothai | Suphanburi | Uthaihani | Chachoengsao |
|------------------|-------------|----------------|----------|----------|-----------|------------|-----------|--------------|
| Samutsongkhram | 37 | 0 | 179 | 214 | 499 | 160 | 291 | 154 |
| Saraburi | 143 | 179 | 0 | 79 | 362 | 102 | 157 | 293 |
| Singburi | 178 | 214 | 79 | 0 | 287 | 1056 | 83 | 224 |
| Sukhothai | 463 | 499 | 362 | 287 | 0 | 527 | 238 | 509 |
| Suphanburi | 123 | 160 | 102 | 1056 | 527 | 0 | 319 | 167 |
| Uthaihani | 255 | 291 | 157 | 83 | 238 | 319 | 0 | 310 |
| Chachoengsao | 118 | 154 | 293 | 224 | 509 | 167 | 310 | 0 |
| Chanthaburi | 281 | 317 | 272 | 387 | 672 | 343 | 464 | 228 |
| Chonburi | 117 | 153 | 201 | 223 | 508 | 180 | 300 | 43 |
| Prachinburi | 172 | 208 | 86 | 278 | 563 | 188 | 355 | 76 |
| Rayong | 215 | 251 | 272 | 321 | 606 | 277 | 398 | 140 |
| Sakaeo | 273 | 309 | 184 | 379 | 664 | 286 | 456 | 245 |
| Tirat | 351 | 387 | 380 | 457 | 742 | 413 | 534 | 319 |
| Kanchanaburi | 119 | 112 | 235 | 270 | 555 | 91 | 347 | 210 |
| Phetchanaburi | 88 | 53 | 230 | 265 | 550 | 204 | 342 | 205 |
| Prachuapkhirkhan | 245 | 211 | 388 | 423 | 708 | 295 | 500 | 363 |
| Ratchaburi | 78 | 43 | 207 | 242 | 527 | 147 | 319 | 182 |
| Tak | 462 | 179 | 361 | 286 | 79 | 526 | 234 | 508 |
| Amnatcharoen | 621 | 657 | 478 | 557 | 616 | 685 | 635 | 667 |
| Buengkan | 796 | 829 | 646 | 730 | 600 | 770 | 806 | 703 |
| Buriram | 419 | 455 | 276 | 355 | 562 | 483 | 433 | 465 |
| Chaiyaphum | 378 | 414 | 235 | 276 | 380 | 442 | 268 | 424 |
| Kalasin | 555 | 591 | 412 | 491 | 455 | 619 | 569 | 601 |
| Khonkaen | 485 | 521 | 342 | 421 | 378 | 549 | 418 | 531 |
| Loei | 556 | 592 | 413 | 466 | 328 | 620 | 424 | 602 |
| Maharakham | 511 | 547 | 368 | 447 | 451 | 575 | 444 | 557 |
| Mukdahan | 678 | 714 | 535 | 614 | 621 | 742 | 692 | 724 |
| Nakhonpanom | 776 | 812 | 633 | 712 | 676 | 840 | 710 | 822 |
| Nakhonratchasima | 295 | 331 | 152 | 231 | 514 | 257 | 309 | 237 |
| Nongbualamphu | 613 | 649 | 409 | 463 | 381 | 677 | 464 | 659 |
| Nongkhai | 651 | 687 | 508 | 587 | 544 | 715 | 585 | 697 |
| Roiet | 548 | 584 | 387 | 466 | 491 | 612 | 484 | 594 |
| Sakonkakhon | 683 | 719 | 540 | 619 | 583 | 764 | 617 | 729 |
| Sisaket | 567 | 603 | 424 | 503 | 717 | 631 | 581 | 613 |
| Surin | 462 | 498 | 319 | 398 | 612 | 526 | 476 | 508 |
| Ubonratchathani | 628 | 664 | 485 | 564 | 660 | 692 | 642 | 674 |
| Udonthani | 600 | 636 | 457 | 536 | 493 | 664 | 534 | 646 |
| Yasothon | 567 | 603 | 424 | 503 | 562 | 631 | 581 | 613 |

ตารางที่ ข11 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (11)

| Province | Chanthaburi | Chonburi | Prachinburi | Rayong | Sakaeo | Trat | Kanchanaburi | Phetchaburi |
|-----------------------|-------------|----------|-------------|--------|--------|------|--------------|-------------|
| Chaingmai | 941 | 777 | 832 | 875 | 933 | 1011 | 824 | 819 |
| Chaingrai | 1030 | 866 | 921 | 964 | 1022 | 1100 | 913 | 523 |
| Lampang | 844 | 680 | 735 | 778 | 836 | 914 | 727 | 722 |
| Lamphun | 915 | 751 | 806 | 849 | 907 | 985 | 798 | 793 |
| Maehongson | 1169 | 1005 | 1060 | 1103 | 1161 | 1239 | 1052 | 1047 |
| Nan | 913 | 749 | 804 | 847 | 905 | 983 | 796 | 791 |
| Phayao | 936 | 772 | 827 | 870 | 928 | 1006 | 819 | 814 |
| Phrae | 796 | 632 | 687 | 730 | 788 | 866 | 679 | 674 |
| Uttaradit | 736 | 572 | 627 | 670 | 728 | 806 | 619 | 614 |
| Chumphon | 708 | 544 | 599 | 642 | 700 | 778 | 478 | 340 |
| Krabi | 1059 | 896 | 950 | 993 | 1051 | 1129 | 828 | 691 |
| Nakhonsithamarat | 1025 | 861 | 916 | 956 | 1017 | 1095 | 795 | 658 |
| Narathiwat | 1394 | 1230 | 1285 | 1328 | 1386 | 1464 | 1164 | 1026 |
| Pattani | 1300 | 1136 | 1191 | 1234 | 1292 | 1370 | 1069 | 932 |
| Phangnga | 1033 | 869 | 924 | 967 | 1025 | 1103 | 803 | 666 |
| Phatthalung | 1085 | 921 | 976 | 1019 | 920 | 1155 | 854 | 716 |
| Phuket | 1107 | 943 | 998 | 1041 | 1099 | 1177 | 877 | 740 |
| Ranong | 813 | 649 | 704 | 747 | 805 | 883 | 582 | 445 |
| Satun | 1218 | 1054 | 1108 | 1152 | 1210 | 1288 | 988 | 851 |
| Songkhla | 1195 | 1031 | 1086 | 1129 | 1187 | 1265 | 964 | 827 |
| Suratthani | 889 | 725 | 780 | 823 | 881 | 959 | 658 | 521 |
| Trang | 1073 | 909 | 964 | 1007 | 1065 | 1143 | 842 | 705 |
| Yala | 1329 | 1165 | 1220 | 1263 | 1321 | 1399 | 1098 | 961 |
| Angthong | 532 | 169 | 144 | 284 | 242 | 402 | 233 | 228 |
| Chainat | 439 | 275 | 330 | 373 | 431 | 509 | 322 | 317 |
| Kamphaengphet | 603 | 439 | 494 | 537 | 595 | 673 | 486 | 481 |
| Krungthepmahanakhon | 254 | 81 | 136 | 179 | 237 | 315 | 128 | 123 |
| Lopburi | 398 | 240 | 289 | 332 | 390 | 468 | 281 | 276 |
| Nakhonnayok | 352 | 188 | 29 | 214 | 127 | 255 | 235 | 230 |
| Nakhonpathom | 301 | 137 | 192 | 235 | 163 | 371 | 65 | 98 |
| Nakhonsawan | 485 | 321 | 376 | 419 | 477 | 555 | 368 | 363 |
| Nonthaburi | 259 | 95 | 151 | 192 | 249 | 328 | 148 | 143 |
| Pathumthani | 272 | 109 | 127 | 207 | 225 | 342 | 174 | 169 |
| Phetchabun | 591 | 427 | 482 | 525 | 583 | 661 | 474 | 469 |
| Phichit | 589 | 425 | 480 | 523 | 581 | 659 | 472 | 467 |
| Phitsanulok | 622 | 458 | 513 | 556 | 614 | 692 | 505 | 500 |
| Phranakhonsiayutthaya | 321 | 157 | 212 | 255 | 313 | 391 | 204 | 199 |
| Samutprakan | 228 | 64 | 147 | 162 | 245 | 295 | 157 | 152 |
| Samutsakhon | 281 | 117 | 172 | 215 | 273 | 351 | 119 | 88 |

ตารางที่ ข12 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (12)

| Province | Chanthaburi | Chonburi | Prachinburi | Rayong | Sakaeo | Trat | Kanchanaburi | Phetchaburi |
|--------------------|-------------|----------|-------------|--------|--------|------|--------------|-------------|
| Samutsongkhram | 317 | 153 | 208 | 251 | 309 | 387 | 112 | 53 |
| Saraburi | 272 | 201 | 86 | 272 | 184 | 380 | 235 | 230 |
| Singburi | 387 | 223 | 278 | 321 | 379 | 457 | 270 | 265 |
| Sukhothai | 672 | 508 | 563 | 606 | 664 | 742 | 555 | 550 |
| Suphanburi | 343 | 180 | 188 | 277 | 286 | 413 | 91 | 204 |
| Uthaithani | 464 | 300 | 355 | 398 | 456 | 534 | 347 | 342 |
| Chachoengsao | 228 | 43 | 76 | 140 | 245 | 319 | 210 | 205 |
| Chanthaburi | 0 | 164 | 186 | 110 | 258 | 70 | 373 | 368 |
| Chonburi | 164 | 0 | 119 | 98 | 217 | 234 | 209 | 204 |
| Prachinburi | 186 | 119 | 0 | 186 | 98 | 245 | 264 | 259 |
| Rayong | 110 | 98 | 186 | 0 | 258 | 179 | 307 | 302 |
| Sakaeo | 258 | 217 | 98 | 258 | 0 | 218 | 365 | 360 |
| Trat | 70 | 234 | 245 | 179 | 218 | 0 | 443 | 438 |
| Kanchanaburi | 373 | 209 | 264 | 307 | 365 | 443 | 0 | 144 |
| Phetchaburi | 368 | 204 | 259 | 302 | 360 | 438 | 144 | 0 |
| Prachuapkhiri Khan | 526 | 363 | 417 | 460 | 518 | 596 | 295 | 158 |
| Ratchaburi | 345 | 181 | 236 | 279 | 337 | 415 | 87 | 54 |
| Tak | 671 | 507 | 562 | 605 | 663 | 741 | 554 | 549 |
| Amnat Charoen | 830 | 666 | 721 | 764 | 822 | 900 | 713 | 708 |
| Buengkan | 819 | 752 | 658 | 814 | 676 | 87 | 948 | 920 |
| Buriram | 628 | 464 | 519 | 562 | 620 | 698 | 511 | 506 |
| Chaiyaphum | 587 | 423 | 478 | 521 | 579 | 657 | 470 | 465 |
| Kalasin | 764 | 600 | 655 | 698 | 756 | 834 | 647 | 642 |
| Khonkaen | 694 | 530 | 585 | 628 | 686 | 764 | 577 | 572 |
| Loei | 765 | 601 | 656 | 699 | 757 | 835 | 648 | 643 |
| Maharakham | 720 | 556 | 611 | 654 | 712 | 790 | 603 | 598 |
| Mukdahan | 887 | 723 | 778 | 821 | 879 | 957 | 770 | 765 |
| Nakhon Panom | 985 | 821 | 876 | 919 | 977 | 755 | 868 | 863 |
| Nakhon Ratchasima | 345 | 280 | 194 | 345 | 174 | 332 | 387 | 382 |
| Nongbualamphu | 822 | 658 | 713 | 756 | 814 | 892 | 705 | 700 |
| Nongkhai | 860 | 696 | 751 | 794 | 852 | 930 | 743 | 738 |
| Roi Et | 757 | 593 | 648 | 691 | 749 | 827 | 640 | 635 |
| Sakon Nakhon | 892 | 728 | 783 | 826 | 884 | 962 | 775 | 770 |
| Sisaket | 776 | 612 | 667 | 710 | 768 | 846 | 659 | 654 |
| Surin | 671 | 507 | 562 | 605 | 663 | 741 | 554 | 549 |
| Ubon Ratchathani | 837 | 673 | 728 | 771 | 829 | 907 | 720 | 715 |
| Udon Thani | 809 | 645 | 700 | 473 | 801 | 879 | 692 | 687 |
| Yasothon | 776 | 612 | 667 | 710 | 768 | 846 | 659 | 654 |

ตารางที่ ข13 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (13)

| Province | Prachuapkhirkhan | Ratchaburi | Tak | Amnatcharoen | Buengkan | Buriram | Chaiyaphum | Kalasin |
|----------------------|------------------|------------|------|--------------|----------|---------|------------|---------|
| Chaingmai | 977 | 796 | 265 | 893 | 849 | 822 | 640 | 729 |
| Chaingrai | 1066 | 885 | 398 | 970 | 905 | 904 | 722 | 809 |
| Lampang | 880 | 699 | 174 | 801 | 771 | 730 | 548 | 640 |
| Lamphun | 951 | 770 | 244 | 872 | 775 | 801 | 619 | 708 |
| Maehongson | 1205 | 1024 | 499 | 1194 | 1061 | 1136 | 961 | 1033 |
| Nan | 949 | 768 | 362 | 853 | 665 | 782 | 600 | 691 |
| Phayao | 972 | 791 | 304 | 876 | 802 | 904 | 631 | 715 |
| Phrae | 832 | 651 | 244 | 735 | 646 | 664 | 482 | 574 |
| Uttaradit | 772 | 591 | 179 | 675 | 582 | 595 | 413 | 514 |
| Chumphon | 183 | 393 | 889 | 1048 | 1201 | 846 | 805 | 982 |
| Krabi | 534 | 744 | 1240 | 1399 | 1522 | 1224 | 1156 | 1333 |
| Nakhonsithammarat | 500 | 711 | 1206 | 1365 | 1483 | 1163 | 1122 | 1314 |
| Narathiwat | 869 | 1080 | 1575 | 1734 | 1901 | 1532 | 1491 | 1668 |
| Pattani | 775 | 958 | 1481 | 1640 | 1817 | 1438 | 1397 | 1574 |
| Phangnga | 508 | 719 | 1214 | 1373 | 1513 | 1171 | 1130 | 1322 |
| Phatthalung | 560 | 770 | 1266 | 1425 | 1599 | 1223 | 1182 | 1373 |
| Phuket | 582 | 798 | 1288 | 1447 | 1573 | 1245 | 1204 | 1381 |
| Ranong | 288 | 489 | 994 | 1153 | 1331 | 951 | 910 | 1087 |
| Satun | 693 | 904 | 1399 | 1558 | 1703 | 1383 | 1315 | 1492 |
| Songkhla | 670 | 880 | 1376 | 1535 | 1701 | 1333 | 1292 | 1469 |
| Suratthani | 364 | 574 | 1070 | 1229 | 1411 | 1027 | 986 | 1163 |
| Trang | 548 | 758 | 1254 | 1413 | 1579 | 1211 | 1170 | 1347 |
| Yala | 804 | 1014 | 1510 | 1669 | 1861 | 1467 | 1426 | 1603 |
| Angthong | 386 | 205 | 326 | 536 | 716 | 334 | 293 | 470 |
| Chainat | 475 | 294 | 249 | 606 | 703 | 404 | 282 | 540 |
| Kamphaengphet | 638 | 458 | 68 | 660 | 698 | 550 | 368 | 499 |
| Krungthepmahanakhon | 281 | 100 | 426 | 585 | 738 | 382 | 342 | 519 |
| Lopburi | 434 | 253 | 315 | 524 | 614 | 322 | 243 | 458 |
| Nakhonnayok | 388 | 207 | 533 | 692 | 711 | 490 | 449 | 626 |
| Nakhonpathom | 255 | 41 | 482 | 641 | 770 | 439 | 398 | 575 |
| Nakhonsawan | 521 | 340 | 185 | 653 | 634 | 441 | 259 | 479 |
| Nonthaburi | 301 | 120 | 446 | 605 | 736 | 403 | 362 | 539 |
| Pathumthani | 327 | 146 | 472 | 631 | 719 | 429 | 388 | 565 |
| Phetchabun | 627 | 446 | 772 | 482 | 468 | 397 | 215 | 316 |
| Phichit | 625 | 444 | 157 | 590 | 594 | 460 | 278 | 429 |
| Phitsanulok | 658 | 477 | 138 | 557 | 516 | 503 | 321 | 396 |
| Phranakhonsiyutthaya | 357 | 176 | 357 | 538 | 714 | 339 | 298 | 475 |
| Samutprakan | 310 | 129 | 455 | 614 | 775 | 412 | 371 | 548 |
| Samutsakhon | 245 | 78 | 462 | 621 | 796 | 419 | 378 | 555 |

ตารางที่ ข14 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (14)

| Province | Prachuapkhirkhan | Ratchaburi | Tak | Amnatcharoen | Buengkan | Buriram | Chaiyaphum | Kalasin |
|------------------|------------------|------------|-----|--------------|----------|---------|------------|---------|
| Samutsongkhram | 211 | 43 | 179 | 657 | 829 | 455 | 414 | 591 |
| Saraburi | 388 | 207 | 361 | 478 | 646 | 276 | 235 | 412 |
| Singburi | 423 | 242 | 286 | 557 | 730 | 355 | 276 | 491 |
| Sukhothai | 708 | 527 | 79 | 616 | 600 | 562 | 380 | 455 |
| Suphanburi | 295 | 147 | 526 | 685 | 770 | 483 | 442 | 619 |
| Uthaithani | 500 | 319 | 234 | 635 | 806 | 433 | 268 | 569 |
| Chachoengsao | 363 | 182 | 508 | 667 | 703 | 465 | 424 | 601 |
| Chanthaburi | 526 | 345 | 671 | 830 | 819 | 628 | 587 | 764 |
| Chonburi | 363 | 181 | 507 | 666 | 752 | 464 | 423 | 600 |
| Prachinburi | 417 | 236 | 562 | 721 | 658 | 519 | 478 | 655 |
| Rayong | 460 | 279 | 605 | 764 | 814 | 562 | 521 | 698 |
| Sakaeo | 518 | 337 | 663 | 822 | 676 | 620 | 579 | 756 |
| Trat | 596 | 415 | 741 | 900 | 87 | 698 | 657 | 834 |
| Kanchanaburi | 295 | 87 | 554 | 713 | 948 | 511 | 470 | 647 |
| Phetchanaburi | 158 | 54 | 549 | 708 | 920 | 506 | 465 | 642 |
| Prachuapkhirkhan | 0 | 211 | 707 | 866 | 994 | 664 | 623 | 800 |
| Ratchaburi | 211 | 0 | 526 | 685 | 872 | 483 | 668 | 619 |
| Tak | 707 | 526 | 0 | 695 | 693 | 618 | 436 | 523 |
| Amnatcharoen | 866 | 685 | 695 | 0 | 399 | 245 | 315 | 172 |
| Buengkan | 994 | 872 | 693 | 399 | 0 | 532 | 453 | 279 |
| Buriram | 664 | 483 | 618 | 245 | 532 | 0 | 182 | 184 |
| Chaiyaphum | 623 | 668 | 436 | 315 | 453 | 182 | 0 | 220 |
| Kalasin | 800 | 619 | 523 | 172 | 279 | 184 | 220 | 0 |
| Khonkaen | 730 | 549 | 457 | 238 | 365 | 200 | 150 | 77 |
| Loei | 801 | 620 | 407 | 445 | 336 | 407 | 225 | 283 |
| Maharakham | 756 | 575 | 530 | 165 | 378 | 145 | 176 | 44 |
| Mukdahan | 923 | 742 | 700 | 88 | 313 | 302 | 372 | 116 |
| Nakhonpanom | 1021 | 840 | 755 | 192 | 180 | 414 | 442 | 221 |
| Nakhonratchasima | 540 | 359 | 513 | 326 | 495 | 124 | 119 | 260 |
| Nongbualamphu | 858 | 677 | 460 | 324 | 248 | 361 | 174 | 238 |
| Nongkhai | 896 | 715 | 623 | 404 | 868 | 366 | 317 | 243 |
| Roiet | 739 | 612 | 570 | 125 | 366 | 146 | 216 | 47 |
| Sakonnakon | 928 | 747 | 662 | 207 | 131 | 321 | 349 | 128 |
| Sisaket | 812 | 631 | 773 | 136 | 513 | 155 | 337 | 279 |
| Surin | 707 | 526 | 668 | 189 | 470 | 50 | 232 | 184 |
| Ubonratchathani | 873 | 692 | 739 | 75 | 510 | 216 | 359 | 216 |
| Udonthani | 845 | 664 | 572 | 357 | 182 | 315 | 266 | 192 |
| Yasothon | 812 | 631 | 641 | 54 | 380 | 191 | 261 | 1175 |

ตารางที่ ข15 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (15)

| Province | Khonkaen | Loei | Maharakham | Mukdahan | Nakhonpanom | Nakhonratchasima | Nongbualamphu |
|----------------------|----------|------|------------|----------|-------------|------------------|---------------|
| Chaingmai | 652 | 602 | 725 | 898 | 950 | 777 | 649 |
| Chaingrai | 732 | 682 | 805 | 975 | 1030 | 870 | 729 |
| Lampang | 563 | 513 | 636 | 806 | 861 | 687 | 566 |
| Lamphun | 631 | 581 | 704 | 877 | 929 | 756 | 634 |
| Maehongson | 956 | 906 | 1029 | 1199 | 1254 | 1012 | 933 |
| Nan | 614 | 564 | 682 | 858 | 912 | 752 | 611 |
| Phayao | 638 | 588 | 711 | 881 | 936 | 776 | 635 |
| Phrae | 497 | 447 | 570 | 740 | 795 | 635 | 493 |
| Uttaradit | 437 | 387 | 510 | 680 | 735 | 575 | 434 |
| Chumphon | 912 | 983 | 938 | 1105 | 1203 | 722 | 1040 |
| Krabi | 1263 | 1334 | 1289 | 1456 | 1554 | 1074 | 1391 |
| Nakhonsithammarat | 1229 | 1300 | 1255 | 1422 | 1520 | 1039 | 1357 |
| Narathiwat | 1598 | 1669 | 1624 | 1791 | 1889 | 1408 | 1762 |
| Pattani | 1504 | 1575 | 1530 | 1697 | 1795 | 1314 | 1632 |
| Phangnga | 1237 | 1308 | 1263 | 1430 | 1528 | 1047 | 1365 |
| Phatthalung | 1289 | 1360 | 1315 | 1482 | 1580 | 1099 | 1417 |
| Phuket | 1311 | 1382 | 1337 | 1504 | 1602 | 1121 | 1439 |
| Ranong | 1017 | 1088 | 1043 | 1210 | 1308 | 827 | 1145 |
| Satun | 1422 | 1493 | 1448 | 1615 | 1713 | 1232 | 1550 |
| Songkhla | 1399 | 1470 | 1604 | 1592 | 1690 | 1209 | 1527 |
| Suratthani | 1093 | 1164 | 1119 | 1286 | 1384 | 903 | 1221 |
| Trang | 1277 | 1348 | 1303 | 1470 | 1568 | 1087 | 1405 |
| Yala | 1533 | 1604 | 1559 | 1726 | 1824 | 1343 | 1661 |
| Angthong | 400 | 471 | 426 | 593 | 712 | 210 | 528 |
| Chainat | 432 | 462 | 458 | 663 | 724 | 280 | 448 |
| Kamphaengphet | 422 | 372 | 495 | 849 | 720 | 445 | 425 |
| Krungthepmahanakhon | 449 | 520 | 475 | 642 | 740 | 259 | 557 |
| Lopburi | 388 | 441 | 414 | 679 | 679 | 198 | 319 |
| Nakhonnayok | 556 | 627 | 582 | 749 | 847 | 213 | 684 |
| Nakhonpathom | 505 | 576 | 531 | 698 | 796 | 315 | 633 |
| Nakhonsawan | 409 | 374 | 435 | 631 | 701 | 327 | 415 |
| Nonthaburi | 496 | 540 | 497 | 662 | 760 | 256 | 597 |
| Pathumthani | 495 | 566 | 521 | 688 | 786 | 256 | 623 |
| Phetchabun | 240 | 190 | 313 | 481 | 537 | 310 | 231 |
| Phichit | 352 | 301 | 423 | 595 | 650 | 441 | 377 |
| Phitsanulok | 319 | 269 | 392 | 562 | 617 | 457 | 322 |
| Phranakhonsiyutthaya | 405 | 476 | 431 | 598 | 691 | 215 | 533 |
| Samutprakan | 478 | 549 | 774 | 671 | 769 | 293 | 606 |
| Samutsakhon | 485 | 556 | 511 | 678 | 776 | 295 | 613 |

ตารางที่ ข16 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (16)

| Province | Khonkaen | Loei | Maharakham | Mukdahan | Nakhonpanom | Nakhonratchasima | Nongbualamphu |
|-------------------|----------|------|------------|----------|-------------|------------------|---------------|
| Samutsongkhram | 521 | 592 | 547 | 714 | 812 | 331 | 649 |
| Saraburi | 342 | 413 | 368 | 535 | 633 | 152 | 409 |
| Singburi | 421 | 466 | 447 | 614 | 712 | 231 | 463 |
| Sukhothai | 378 | 328 | 451 | 621 | 676 | 514 | 381 |
| Suphanburi | 549 | 620 | 575 | 742 | 840 | 257 | 677 |
| Uthaitani | 418 | 424 | 444 | 692 | 710 | 309 | 464 |
| Chachoengsao | 531 | 602 | 557 | 724 | 822 | 237 | 659 |
| Chanthaburi | 694 | 765 | 720 | 887 | 985 | 345 | 822 |
| Chonburi | 530 | 601 | 556 | 723 | 821 | 280 | 658 |
| Prachinburi | 585 | 656 | 611 | 778 | 876 | 194 | 713 |
| Rayong | 628 | 699 | 654 | 821 | 919 | 345 | 756 |
| Sakaeo | 686 | 757 | 712 | 879 | 977 | 174 | 814 |
| Trat | 764 | 835 | 790 | 957 | 755 | 332 | 892 |
| Kanchanaburi | 577 | 648 | 603 | 770 | 868 | 387 | 705 |
| Phetchaburi | 572 | 643 | 598 | 765 | 863 | 382 | 700 |
| Prachuapkhirikhan | 730 | 801 | 756 | 923 | 1021 | 540 | 858 |
| Ratchaburi | 549 | 620 | 575 | 742 | 840 | 359 | 677 |
| Tak | 457 | 407 | 530 | 700 | 755 | 513 | 460 |
| Amnatcharoen | 238 | 445 | 165 | 88 | 192 | 326 | 324 |
| Buengkan | 365 | 336 | 378 | 313 | 180 | 495 | 248 |
| Buriram | 200 | 407 | 145 | 302 | 414 | 124 | 361 |
| Chaiyaphum | 150 | 225 | 176 | 372 | 442 | 119 | 174 |
| Kalasin | 77 | 283 | 44 | 116 | 221 | 260 | 238 |
| Khonkaen | 0 | 206 | 73 | 243 | 298 | 190 | 181 |
| Loei | 206 | 0 | 278 | 437 | 404 | 344 | 106 |
| Maharakham | 73 | 278 | 0 | 119 | 265 | 216 | 234 |
| Mukdahan | 243 | 437 | 119 | 0 | 104 | 383 | 320 |
| Nakhonpanom | 298 | 404 | 265 | 104 | 0 | 481 | 298 |
| Nakhonratchasima | 190 | 344 | 216 | 383 | 481 | 0 | 351 |
| Nongbualamphu | 181 | 106 | 234 | 320 | 298 | 351 | 0 |
| Nongkhai | 166 | 202 | 239 | 329 | 303 | 356 | 97 |
| Roiet | 113 | 318 | 40 | 162 | 268 | 235 | 274 |
| Sakonkakhon | 205 | 311 | 172 | 119 | 93 | 388 | 205 |
| Sisaket | 347 | 552 | 274 | 246 | 332 | 272 | 508 |
| Surin | 256 | 457 | 177 | 246 | 350 | 167 | 419 |
| Ubonratchathani | 282 | 489 | 213 | 320 | 271 | 333 | 447 |
| Udonthani | 115 | 152 | 188 | 278 | 252 | 305 | 46 |
| Yasothon | 184 | 391 | 115 | 166 | 215 | 272 | 349 |

ตารางที่ ข17 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (17)

| Province | Nongkhai | Roiet | Sakonnakhon | Sisaket | Surin | Ubonratchathani | Udonthani | Yasoton |
|----------------------|----------|-------|-------------|---------|-------|-----------------|-----------|---------|
| Chaingmai | 818 | 765 | 857 | 977 | 872 | 937 | 767 | 839 |
| Chaingrai | 898 | 845 | 937 | 1059 | 954 | 1014 | 847 | 913 |
| Lampang | 728 | 676 | 768 | 885 | 780 | 845 | 678 | 747 |
| Lamphun | 797 | 744 | 836 | 956 | 851 | 916 | 746 | 818 |
| Maehongson | 1122 | 1069 | 1161 | 1284 | 1179 | 1238 | 1071 | 1140 |
| Nan | 780 | 727 | 819 | 937 | 832 | 474 | 729 | 799 |
| Phayao | 804 | 751 | 843 | 978 | 873 | 920 | 753 | 822 |
| Phrae | 663 | 610 | 702 | 819 | 714 | 779 | 612 | 681 |
| Uttaradit | 603 | 550 | 642 | 750 | 645 | 719 | 552 | 621 |
| Chumphon | 1078 | 975 | 1110 | 994 | 889 | 1055 | 1027 | 994 |
| Krabi | 1429 | 1326 | 1461 | 1385 | 1271 | 1406 | 1378 | 1345 |
| Nakhonsithammarat | 1395 | 1292 | 1427 | 1311 | 1206 | 1372 | 1344 | 1311 |
| Narathiwat | 1764 | 1661 | 1796 | 1680 | 1575 | 1741 | 1713 | 1680 |
| Pattani | 1670 | 1567 | 1702 | 1586 | 1481 | 1647 | 1619 | 1586 |
| Phangnga | 1403 | 1300 | 1435 | 1319 | 1214 | 1380 | 1352 | 1319 |
| Phatthalung | 1455 | 1352 | 1487 | 1371 | 1266 | 1432 | 1404 | 1371 |
| Phuket | 1477 | 1374 | 1509 | 1393 | 1288 | 1454 | 1426 | 1393 |
| Ranong | 1183 | 1080 | 1215 | 1099 | 994 | 1160 | 1132 | 1099 |
| Satun | 1588 | 1485 | 1620 | 1544 | 1430 | 1602 | 1537 | 1504 |
| Songkhla | 1565 | 1462 | 1597 | 1481 | 1376 | 1542 | 1514 | 1481 |
| Suratthani | 1259 | 1156 | 1291 | 1175 | 1070 | 1236 | 1208 | 1175 |
| Trang | 1443 | 1340 | 1475 | 1359 | 1254 | 1420 | 1392 | 1359 |
| Yala | 1699 | 1596 | 1731 | 1615 | 1510 | 1676 | 1648 | 1615 |
| Angthong | 566 | 445 | 598 | 482 | 377 | 543 | 515 | 482 |
| Chainat | 599 | 498 | 631 | 554 | 447 | 613 | 548 | 552 |
| Kamphaengphet | 588 | 535 | 627 | 705 | 600 | 704 | 537 | 605 |
| Krungthepmahanakhon | 615 | 512 | 647 | 531 | 426 | 592 | 564 | 531 |
| Lopburi | 554 | 433 | 586 | 470 | 365 | 531 | 503 | 470 |
| Nakhonnayok | 722 | 619 | 754 | 638 | 533 | 699 | 671 | 638 |
| Nakhonpathom | 671 | 568 | 703 | 587 | 482 | 648 | 620 | 587 |
| Nakhonsawan | 576 | 475 | 608 | 596 | 491 | 660 | 525 | 520 |
| Nonthaburi | 635 | 532 | 667 | 551 | 446 | 612 | 584 | 551 |
| Pathumthani | 661 | 558 | 693 | 577 | 472 | 638 | 610 | 577 |
| Phetchabun | 393 | 353 | 444 | 552 | 447 | 531 | 342 | 428 |
| Phichit | 518 | 463 | 557 | 615 | 510 | 634 | 467 | 536 |
| Phitsanulok | 485 | 432 | 524 | 658 | 553 | 601 | 434 | 503 |
| Phranakhonsiyutthaya | 571 | 450 | 603 | 487 | 382 | 548 | 520 | 484 |
| Samutprakan | 644 | 541 | 676 | 560 | 455 | 621 | 593 | 560 |
| Samutsakhon | 651 | 548 | 683 | 567 | 462 | 628 | 600 | 567 |

ตารางที่ ข18 แสดงค่าระยะทางระหว่างจังหวัด (18)

| Province | Nongkhai | Roiet | Sakonnakhon | Sisaket | Surin | Ubonratchathani | Udonthani | Yasoton |
|-------------------|----------|-------|-------------|---------|-------|-----------------|-----------|---------|
| Samutsongkhram | 687 | 584 | 719 | 603 | 498 | 664 | 636 | 603 |
| Saraburi | 508 | 387 | 540 | 424 | 319 | 485 | 457 | 424 |
| Singburi | 587 | 466 | 619 | 503 | 398 | 564 | 536 | 503 |
| Sukhothai | 544 | 491 | 583 | 717 | 612 | 660 | 493 | 562 |
| Suphanburi | 715 | 612 | 764 | 631 | 526 | 692 | 664 | 631 |
| Uthaithani | 585 | 484 | 617 | 581 | 476 | 642 | 534 | 581 |
| Chachoengsao | 697 | 594 | 729 | 613 | 508 | 674 | 646 | 613 |
| Chanthaburi | 860 | 757 | 892 | 776 | 671 | 837 | 809 | 776 |
| Chonburi | 696 | 593 | 728 | 612 | 507 | 673 | 645 | 612 |
| Prachinburi | 751 | 648 | 783 | 667 | 562 | 728 | 700 | 667 |
| Rayong | 794 | 691 | 826 | 710 | 605 | 771 | 473 | 710 |
| Sakao | 852 | 749 | 884 | 768 | 663 | 829 | 801 | 768 |
| Trat | 930 | 827 | 962 | 846 | 741 | 907 | 879 | 846 |
| Kanchanaburi | 743 | 640 | 775 | 659 | 554 | 720 | 692 | 659 |
| Phetchanaburi | 738 | 635 | 770 | 654 | 549 | 715 | 687 | 654 |
| Prachuapkhirikhan | 896 | 739 | 928 | 812 | 707 | 873 | 845 | 812 |
| Ratchaburi | 715 | 612 | 747 | 631 | 526 | 692 | 664 | 631 |
| Tak | 623 | 570 | 662 | 773 | 668 | 739 | 572 | 641 |
| Amnatcharoen | 404 | 125 | 207 | 136 | 189 | 75 | 357 | 54 |
| Buengkan | 868 | 366 | 131 | 513 | 470 | 510 | 182 | 380 |
| Buriram | 366 | 146 | 321 | 155 | 50 | 216 | 315 | 191 |
| Chaiyaphum | 317 | 216 | 349 | 337 | 232 | 359 | 266 | 261 |
| Kalasin | 243 | 47 | 128 | 279 | 184 | 216 | 192 | 1175 |
| Khonkaen | 166 | 113 | 205 | 347 | 256 | 282 | 115 | 184 |
| Loei | 202 | 318 | 311 | 552 | 457 | 489 | 152 | 391 |
| Maharakham | 239 | 40 | 172 | 274 | 177 | 213 | 188 | 115 |
| Mukdahan | 329 | 162 | 119 | 246 | 246 | 320 | 278 | 166 |
| Nakhonpanom | 303 | 268 | 93 | 332 | 350 | 271 | 252 | 215 |
| Nakhonratchasima | 356 | 235 | 388 | 272 | 167 | 333 | 305 | 272 |
| Nongbualamphu | 97 | 274 | 205 | 508 | 419 | 447 | 46 | 349 |
| Nongkhai | 0 | 279 | 210 | 513 | 422 | 448 | 51 | 350 |
| Roiet | 279 | 0 | 175 | 230 | 137 | 169 | 228 | 71 |
| Sakonnakhon | 210 | 175 | 0 | 347 | 312 | 286 | 159 | 230 |
| Sisaket | 513 | 230 | 347 | 0 | 105 | 61 | 462 | 159 |
| Surin | 422 | 137 | 312 | 105 | 0 | 166 | 373 | 135 |
| Ubonratchathani | 448 | 169 | 286 | 61 | 166 | 0 | 401 | 98 |
| Udonthani | 51 | 228 | 159 | 462 | 373 | 401 | 0 | 303 |
| Yasothon | 350 | 71 | 230 | 159 | 135 | 98 | 303 | 0 |



ตัวอย่างการทดสอบโปรแกรม

การทดลองใช้โปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่ผู้ใช้มีการระบุจังหวัดเริ่มต้นการเดินทางและสิ้นสุดการเดินทาง

จังหวัดที่ทำการเลือก : Chiangmai, Chiangrai, Maehongson, Narathiwat, Pattani, Phangnga, Krungthepmahanakhon, Phichit, Phitsanulok, Suphanburi, Chonburi, Sakaeo, Phetchaburi, Buriram, Chaiyaphum, Loei, Mahasarakham, Nongbualamphu, Surin, Ratchaburi

จังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง : Chiangmai

จังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง : Narathiwat

กรณีที่ 1 จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบโปรแกรม ดังนี้

| | |
|--------------------|------|
| จำนวนประชากร | 1000 |
| จำนวนรุ่นคำตอบ | 30 |
| อัตราตัดสลั้บ | 0.95 |
| อัตราการกลายพันธุ์ | 0.1 |
| กำหนดชุดเลขสุ่ม | 555 |

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหา ค่าคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้ง 20 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับ ก่อน-หลัง ดังนี้ Chaiengrai, Chaiengmai, Maehongson, Chaiyaphum, Nongbualamphu, Phitsanulok, Phichit, Loei, Mahasarakham, Buriram, Surin, Krungthepmahanakhon, Sakaeo, Ratchaburi, Chonburi, Phetchaburi, Suphanburi, Phangnga, Pattani, Narathiwat

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 5867 กิโลเมตร ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้

ซึ่งเส้นทางการเดินทางที่ได้นี้จะนำไปจัดเป็นแผนผังแสดงการเดินทางบนแผนที่ประเทศไทยเพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทางมากขึ้น (แสดงในรูปที่ ค.1 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง)

กรณีที่ 2 จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบโปรแกรม ดังนี้

| | |
|--------------------|------|
| จำนวนประชากร | 1000 |
| จำนวนรุ่นคำตอบ | 150 |
| อัตราตัดสลั้บ | 0.95 |
| อัตราการกลายพันธุ์ | 0.1 |

กำหนดชุดเลขสุ่ม 55

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหา ค่าคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้ง 20 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับ ก่อน-หลัง ดังนี้ Chaingrai, Chaingmai, Maehongson, Phitsanulok, Phichit, Loei, Nongbualamphu, Chaiyaphum, Mahasarakham, Buriram, Surin, Krungthepmahanakhon, Ratchaburi, Sakaeo, Suphanburi, Phetchaburi, Chonburi, Phangnga, Pattani, Narathiwat

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 5197 กิโลเมตร ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้ และจะนำเส้นทางการเดินทางที่โปรแกรมสามารถหาได้นี้ไปจัดเป็นแผนผังแสดงการเดินทางบนแผนที่ประเทศไทยเพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทางมากขึ้น (แสดงในรูปที่ ค.2 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง)

กรณีที่ 3 จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบโปรแกรม ดังนี้

| | |
|--------------------|------|
| จำนวนประชากร | 1000 |
| จำนวนรุ่นคำตอบ | 250 |
| อัตราตัดสลับ | 0.95 |
| อัตราการกลายพันธุ์ | 0.1 |
| กำหนดชุดเลขสุ่ม | 555 |

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหา ค่าคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้ง 20 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับ ก่อน-หลัง ดังนี้ Chaingrai, Chaingmai, Maehongson, Phitsanulok, Phichit, Loei, Nongbualamphu, Mahasarakham, Surin, Buriram, Chaiyaphum, Krungthepmahanakhon, Ratchaburi, Phetchaburi, Chonburi, Sakaeo, Suphanburi, Phangnga, Pattani, Narathiwat

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 4937 กิโลเมตร ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้ และจะนำเส้นทางการเดินทางที่โปรแกรมสามารถหาได้นี้ไปจัดเป็นแผนผังแสดงการเดินทางบนแผนที่ประเทศไทยเพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทางมากขึ้น (แสดงในรูปที่ ค.3 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง)

กรณีที่ 4 จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบโปรแกรม ดังนี้

| | |
|--------------------|------|
| จำนวนประชากร | 1000 |
| จำนวนรุ่นคำตอบ | 750 |
| อัตราตัดสลับ | 0.95 |
| อัตราการกลายพันธุ์ | 0.1 |
| กำหนดชุดเลขสุ่ม | 555 |

จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหา ค่าคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้ง 20 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับ ก่อน-หลัง ดังนี้ Chaingrai, Chaingmai, Maehongson, Phitsanulok,

Phichit, Loei, Nongbualamphu, Chaiyaphum, Mahasarakham, Surin, Buriram, Krungthepmahanakhon, Ratchaburi, Phetchaburi, Chonburi, Sakaeo, Suphanburi, Phangnga, Pattani, Narathiwat

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 4911 กิโลเมตร ซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้ และจะนำเส้นทางการเดินทางที่โปรแกรมสามารถหาได้นี้ไปจัดเป็นแผนผังแสดงการเดินทางบนแผนที่ประเทศไทยเพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทางมากขึ้น (แสดงในรูปที่ ค.4 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง)

กรณีที่ 5 จะใช้ค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบโปรแกรม ดังนี้

| | |
|--------------------|-------|
| จำนวนประชากร | 1000 |
| จำนวนรุ่นคำตอบ | 10000 |
| อัตราตัดสลับ | 0.95 |
| อัตราการกลายพันธุ์ | 0.1 |
| กำหนดชุดเลขสุ่ม | 555 |

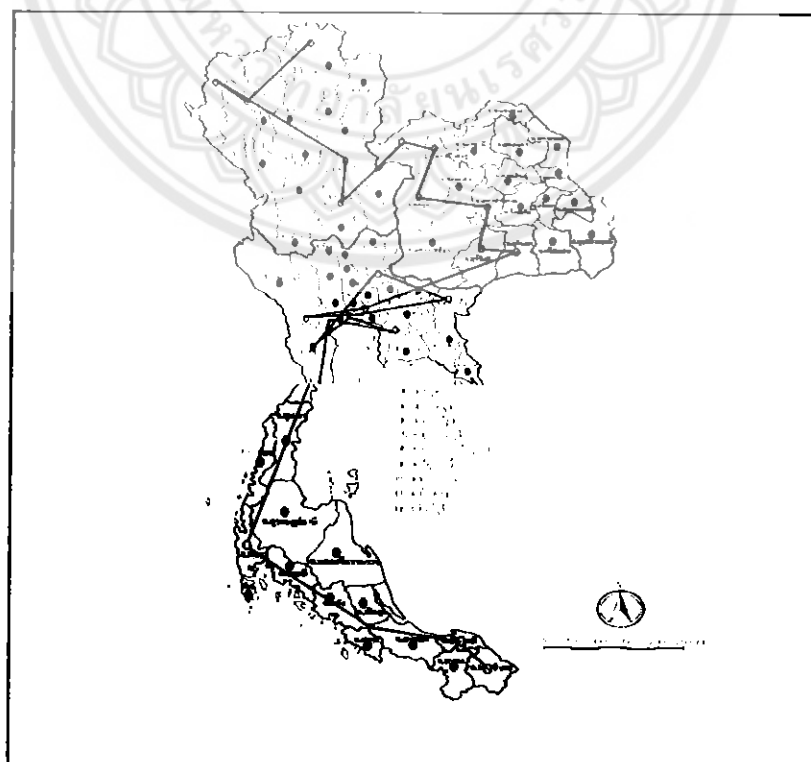
จากการใช้ค่าพารามิเตอร์ข้างต้นแก้ปัญหา ค่าคำตอบที่ได้ คือ การเดินทางทั้ง 20 จังหวัด มีลำดับการเดินทางเรียงตามลำดับ ก่อน-หลัง ดังนี้ Chaingrai, Chaingmai, Maehongson, Phichit, Phitsanulok, Loei, Nongbualamphu, Chaiyaphum, Mahasarakham, Surin, Buriram, Krungthepmahanakhon, Ratchaburi, Phetchaburi, Chonburi, Sakaeo, Suphanburi, Phangnga, Pattani, Narathiwat

ระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 4898 กิโลเมตรซึ่งให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่โปรแกรมสามารถหาได้ และจะนำเส้นทางการเดินทางที่โปรแกรมสามารถหาได้นี้ไปจัดเป็นแผนผังแสดงการเดินทางบนแผนที่ประเทศไทยเพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพรวมของการเดินทางมากขึ้น (แสดงในรูปที่ ค.5 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง)

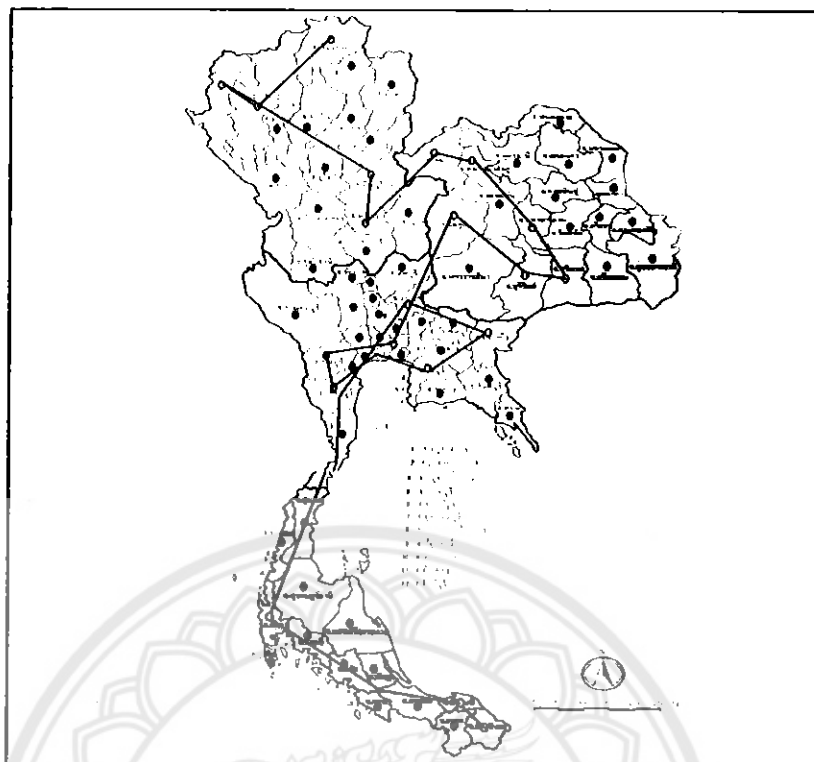
แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง



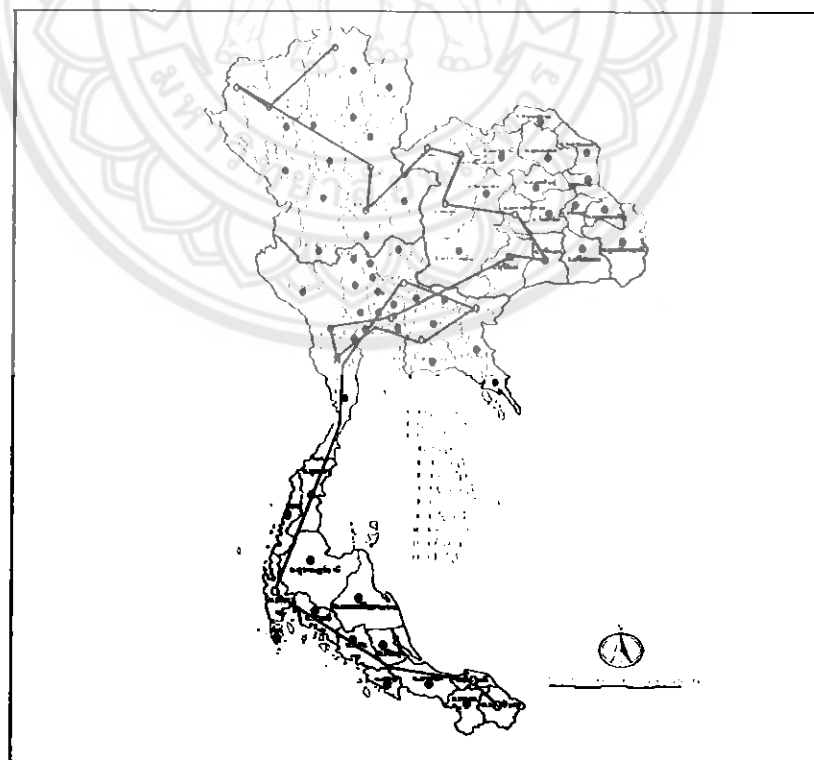
รูปที่ ค.1 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง (จำนวนร่นคำตอบ 30)



รูปที่ ค.2 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง (จำนวนร่นคำตอบ 150)



รูปที่ ค.3 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง (จำนวนร้านค้าตอบ 250)



รูปที่ ค.4 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง (จำนวนร้านค้าตอบ 750)



รูปที่ ค.5 แผนผังแสดงเส้นทางการเดินทาง (จำนวนร้านค้าตอบ 10000)



การจัดเส้นทางการเดินทางโดย Microsoft Excel

จำนวนจังหวัดที่เดินทาง : 77 จังหวัด

จังหวัดเริ่มต้น : Krungthepmahanakhon

จังหวัดสิ้นสุดการเดินทาง : Krungthepmahanakhon

ลำดับเส้นทางในการเดินทาง : Krungthepmahanakhon Chaingmai Chaingrai Lampang
Lamphun Maehongson Nan Phayao Phrae Uttaradit Amnatcharoen Buengkan Buriram
Chaiyaphum Kalasin Khonkaen Loei Mahasarakham Mukdahan Nakhonpanom
Nakhonratchasima Nongbualamphu Nongkhai Roiet Sakonnakhon Sisaket Surin
Ubonratchathani Udonthani Yasothon Angthong Chainat Kamphaengphet Lopburi
Nakhonnayok Nakhonpathom Nakhonsawan Nonthaburi Pathumthani Phetchabun
Phichit Phitsanulok Phranakhonsiyutthaya Samutprakan Samutsakhon
Samutsongkhram Saraburi Singburi Sukhothai Suphanburi Uthaithani Chachoengsao
Chanthaburi Chonburi Prachinburi Rayong Sakaeo Trat Kanchanaburi Phetchaburi
Prachuapkhirikhan Ratchaburi Tak Chumphon Krabi Nakhonsithammarat Narathiwat
Pattani Phangnga Phatthalung Phuket Ranong Satun Songkhla Suratthani Trang Yala
Krungthepmahanakhon



ตาราง ง1 แสดงระยะทางระหว่างจังหวัด (1)

| ลำดับ | จังหวัดต้นทาง | จังหวัดปลายทาง | ระยะทาง (กม.) |
|-------|---------------------|------------------|---------------|
| 1 | Krungthepmahanakhon | Chaingmai | 696 |
| 2 | Chaingmai | Chaingrai | 182 |
| 3 | Chaingrai | Lampang | 225 |
| 4 | Lampang | Lamphun | 71 |
| 5 | Lamphun | Maehongson | 342 |
| 6 | Maehongson | Nan | 639 |
| 7 | Nan | Phayao | 176 |
| 8 | Phayao | Phrae | 141 |
| 9 | Phrae | Uttaradit | 74 |
| 10 | Uttaradit | Amnatcharoen | 675 |
| 11 | Amnatcharoen | Buengkan | 399 |
| 12 | Buengkan | Buriram | 532 |
| 13 | Buriram | Chaiyaphum | 182 |
| 14 | Chaiyaphum | Kalasin | 220 |
| 15 | Kalasin | Khonkaen | 77 |
| 16 | Khonkaen | Loei | 206 |
| 17 | Loei | Maharakham | 278 |
| 18 | Maharakham | Mukdahan | 119 |
| 19 | Mukdahan | Nakhonpanom | 104 |
| 20 | Nakhonpanom | Nakhonratchasima | 481 |
| 21 | Nakhonratchasima | Nongbualamphu | 351 |
| 22 | Nongbualamphu | Nongkhai | 97 |
| 23 | Nongkhai | Roiet | 279 |
| 24 | Roiet | Sakonnakhon | 175 |
| 25 | Sakonnakhon | Sisaket | 347 |
| 26 | Sisaket | Surin | 105 |
| 27 | Surin | Ubonratchathani | 166 |
| 28 | Ubonratchathani | Udonthani | 401 |

ตาราง ง2 แสดงระยะทางระหว่างจังหวัด (2)

| ลำดับ | จังหวัดต้นทาง | จังหวัดปลายทาง | ระยะทาง (กม.) |
|-------|----------------------|----------------------|---------------|
| 29 | Udonthani | Yasothon | 303 |
| 30 | Yasothon | Angthong | 482 |
| 31 | Angthong | Chainat | 92 |
| 32 | Chainat | Kamphaengphet | 181 |
| 33 | Kamphaengphet | Lopburi | 358 |
| 34 | Lopburi | Nakhonnayok | 153 |
| 35 | Nakhonnayok | Nakhonpathom | 260 |
| 36 | Nakhonpathom | Nakhonsawan | 163 |
| 37 | Nakhonsawan | Nonthaburi | 296 |
| 38 | Nonthaburi | Pathumthani | 260 |
| 39 | Pathumthani | Phetchabun | 26 |
| 40 | Phetchabun | Phichit | 392 |
| 41 | Phichit | Phitsanulok | 129 |
| 42 | Phitsanulok | Phranakhonsiyutthaya | 73 |
| 43 | Phranakhonsiyutthaya | Samutprakan | 301 |
| 44 | Samutprakan | Samutsakhon | 105 |
| 45 | Samutsakhon | Samutsongkhram | 65 |
| 46 | Samutsongkhram | Saraburi | 37 |
| 47 | Saraburi | Singburi | 179 |
| 48 | Singburi | Sukhothai | 79 |
| 49 | Sukhothai | Suphanburi | 287 |
| 50 | Suphanburi | Uthaithani | 527 |
| 51 | Uthaithani | Chachoengsao | 310 |
| 52 | Chachoengsao | Chanthaburi | 228 |
| 53 | Chanthaburi | Chonburi | 164 |
| 54 | Chonburi | Prachinburi | 119 |
| 55 | Prachinburi | Rayong | 186 |
| 56 | Rayong | Sakaeo | 258 |

ตาราง ง3 แสดงระยะทางระหว่างจังหวัด (3)

| ลำดับ | จังหวัดต้นทาง | จังหวัดปลายทาง | ระยะทาง (กม.) |
|-------|-------------------|---------------------|---------------|
| 57 | Sakaeo | Trat | 218 |
| 58 | Trat | Kanchanaburi | 443 |
| 59 | Kanchanaburi | Phetchaburi | 144 |
| 60 | Phetchaburi | Prachuapkhirikhan | 158 |
| 61 | Prachuapkhirikhan | Ratchaburi | 211 |
| 62 | Ratchaburi | Tak | 526 |
| 63 | Tak | Chumphon | 889 |
| 64 | Chumphon | Krabi | 363 |
| 65 | Krabi | Nakhonsithammarat | 223 |
| 66 | Nakhonsithammarat | Narathiwat | 360 |
| 67 | Narathiwat | Pattani | 92 |
| 68 | Pattani | Phangnga | 486 |
| 69 | Phangnga | Phatthalung | 283 |
| 70 | Phatthalung | Phuket | 370 |
| 71 | Phuket | Ranong | 300 |
| 72 | Ranong | Satun | 549 |
| 73 | Satun | Songkhla | 125 |
| 74 | Songkhla | Suratthani | 304 |
| 75 | Suratthani | Trang | 226 |
| 76 | Trang | Yala | 288 |
| 77 | Yala | Krungthepmahanakhon | 1,084 |

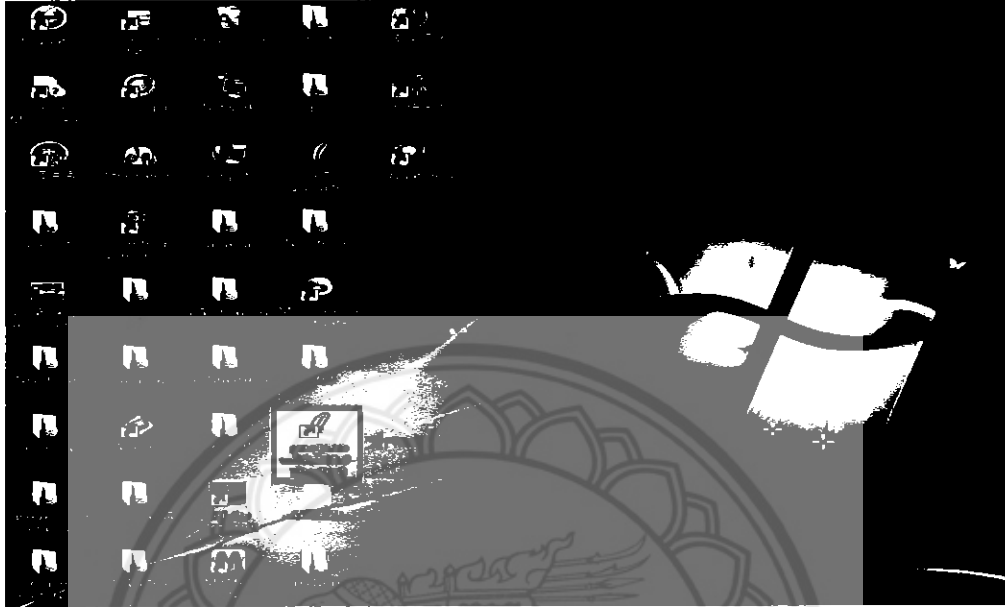
ระยะทางรวม

2,1395 กิโลเมตร

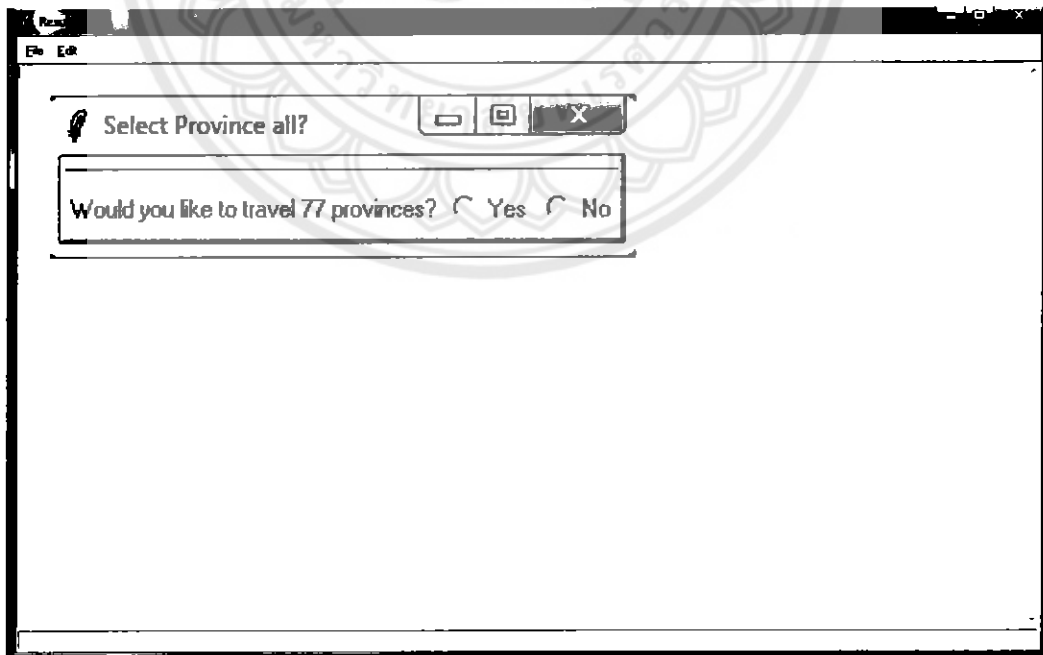


ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

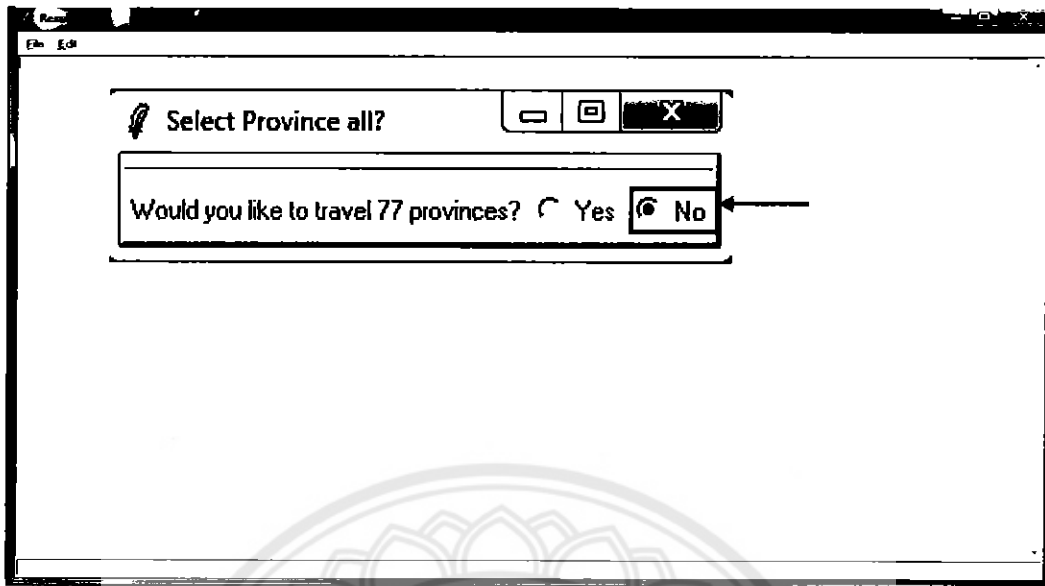
1. ดับเบิลคลิกที่ Program caldist3.tcl-Shrtcut



2. โปรแกรมจะถามผู้ใช้งานว่าการเดินทางทั้งหมด 77 จังหวัดหรือไม่ ถ้าต้องการให้ตอบ Yes ถ้าไม่ให้อตอบ No



ซึ่งในตัวอย่างนี้จะตอบ No



3. ถ้าผู้ใช้ตอบ Yes โปรแกรมจะทำการเลือกจังหวัดทั้ง 77 จังหวัดให้โดยอัตโนมัติ แต่ถ้าตอบ No ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกจังหวัดที่ต้องการเดินทางด้วยตนเอง

North

Chiangmai Chiangrai Lamphong Lamphun MaeHongSon Nan Phayao Phrao Udonrti

South

Chumphon Krabi Nakhonathomawat Narathiwat Pattani Phangnga Phatthaburi Phuket Ranong Sakon

Songkhla Suratthani Trang Yala

Central

Angkorng Chaiyoi Kamphaengphet Krungthepmahakon Lopburi Nakhonayut Nakhonpathom Nakhonpanom Nonthaburi

Pathumthani Phetchabun Phichit Phitsanulok Phraekhonrajavidyalaya Samutprakarn Samutskhon Samutprakarn Saraburi

Singhai Sukhothai Suphanburi Uthathani

East

Chachoengsao Chantaburi Chonburi Pochinburi Rayong Sakao Trat

West

Kanchanaburi Phetchaburi Pichayakhan Ratchaburi Tak

Northeast

Amnatcharoen Burangkun Buha Chaiyaphum Kalasin Khonkaen Loei Mahasarakham Mahaichan Nakhonpanom

Nakhonrachasima Nongbuaampur Nonghai Roiet Sakonrakon Saikot Suin Ubonrachathani Udonthani Yachon

Would you like to specify the start province? Yes No

Would you like to specify the finish province? Yes No

Display The Results Reset Exit

ในกรณีนี้จะทำการเลือกจังหวัดที่ต้องการเดินทางด้วยตนเอง จะทำการเลือกทั้งหมด 10 จังหวัด ดังนี้
 Chaingmai Chaingrai Nan Nakhonsithamarat Narathiwat Trang Kamphaengphet
 Krungthepmahanakhon phichit Chonburi

Select Province

North
 Chiangmai Chiangrai Lampang Lamphun MaeHongSon Nan Phayao Phrae Uttaradi

South
 Chumphon Kabi Nakhonsithamarat Narathiwat Pattani Phangnga Phatthalung Phuket Ranong Satun
 Songkhla Suratthani Trang Yala

Central
 Angthong Chainat Kamphaengphet Krungthepmahanakhon Lopburi Nakhonayok Nakhonpathom Nakhonsawan Nonthaburi
 Pathumthani Phetchabun Phichit Phitsanulok Phraekhasangthapaya Samutprakan Samutthalong Samutprakarn Saraburi
 Singburi Sukhothai Suphanburi Uthathani

East
 Chachoengsao Chantaburi Chonburi Pochinburi Rayong Sakao Trat

West
 Kanchanaburi Phetchaburi PachuapChitKhan Ratchaburi Tak

Northest
 Anurachanon Burangkun Buaiam Chaiyaphum Kalasin Khonkan Loei Mahasarakham Mukdahan Nakhonpanom
 Nakhonratchasima Nongbualaphu Nongkhai Roiet Sakonnakorn Saket Surin Ubonratchathani Udonthani Yasothon

Would you like to specify the start province? Yes No

Would you like to specify the finish province? Yes No

Display The Results Reset Exit

4. ถ้าผู้ใช้ต้องการระบุจังหวัดเริ่มต้นในการเดินทางให้ตอบ Yes แต่ถ้าไม่ต้องการก็ให้ตอบ No ในกรณีนี้ต้องการระบุจังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง จึงตอบ Yes

Select Province

North
 Chiangmai Chiangrai Lampang Lamphun MaeHongSon Nan Phayao Phrae Uttaradi

South
 Chumphon Kabi Nakhonsithamarat Narathiwat Pattani Phangnga Phatthalung Phuket Ranong Satun
 Songkhla Suratthani Trang Yala

Central
 Angthong Chainat Kamphaengphet Krungthepmahanakhon Lopburi Nakhonayok Nakhonpathom Nakhonsawan Nonthaburi
 Pathumthani Phetchabun Phichit Phitsanulok Phraekhasangthapaya Samutprakan Samutthalong Samutprakarn Saraburi
 Singburi Sukhothai Suphanburi Uthathani

East
 Chachoengsao Chantaburi Chonburi Pochinburi Rayong Sakao Trat

West
 Kanchanaburi Phetchaburi PachuapChitKhan Ratchaburi Tak

Northest
 Anurachanon Burangkun Buaiam Chaiyaphum Kalasin Khonkan Loei Mahasarakham Mukdahan Nakhonpanom
 Nakhonratchasima Nongbualaphu Nongkhai Roiet Sakonnakorn Saket Surin Ubonratchathani Udonthani Yasothon

Would you like to specify the start province? Yes No

Would you like to specify the finish province? Yes No

Display The Results Reset Exit

5. ผู้ใช้เลือกจังหวัดที่ต้องการเริ่มต้นในการเดินทางที่ต้องการ ในกรณีนี้เลือกจังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นจังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง เมื่อเลือกจังหวัดที่ต้องการเรียบร้อยแล้วให้คลิก OK

Choose the start province

Chiangmai Chiangrai Nan Nakhonratchasima Nakhon Phanom Nongbua Phangnga Bangkok Phichit Chonburi

OK

6. ถ้าผู้ใช้ต้องการระบุจังหวัดสิ้นสุดในการเดินทางให้ตอบ Yes แต่ถ้าไม่ต้องการก็ให้ตอบ No ในกรณีนี้ต้องการระบุจังหวัดเริ่มต้นในการเดินทาง จึงตอบ Yes

Select Province

North

Chiangmai Chiangrai Lampang Lamphun Maehangsai Nan Phayao Phrae Udon Thani

South

Chumphon Kabi Nakhonratchasima Nakhon Phanom Pathum Thani Phangnga Phatthalung Phuket Ranong Satun

Songkhla Suratthani Trang Yala

Central

Angkor Chantaburi Kamphaengphet Kamphaeng Phet Lopburi Mahasarakham Mahasarakham Mahasarakham Nakhon Phanom

Pathum Thani Phetchabun Phichit Phitsanulok Phrae Phrae Samut Prakan Samut Prakan Samut Prakan Saraburi

Singhai Sukhothai Suphanburi Uthairat

East

Chachoengsao Chanthaburi Chonburi Chonburi Rayong Sakon Nakhon Yut

West

Kanchanaburi Phetchaburi Phetchaburi Ratchaburi Tak

Northeast

Amnat Charoen Buriram Buriram Chaiyaphum Kalasin Khon Kaen Loei Mahasarakham Mukdahan Mahasarakham

Mahasarakham Nakhon Phanom Nong Khai Roi Et Sakon Nakhon Siakot Srin Udon Thani Udon Thani Yasothon

Would you like to specify the start province Yes No

Would you like to specify the finish province Yes No

Display The Results

7. ผู้ใช้เลือกจังหวัดสิ้นสุดในการเดินทางที่ต้องการ ในกรณีนี้เลือกจังหวัดนราธิวาส เป็นจังหวัดสิ้นสุดในการเดินทาง เมื่อเลือกจังหวัดที่ต้องการเรียบร้อยแล้วให้คลิก OK

Choose the start province

Chiangmai Chiangrai Nan Nakhonratchasima Narathiwat Nongbua Phangnga Phatthalung Phichit Chonburi

OK

8. เมื่อเลือกทุกขั้นตอนเรียบร้อยแล้วให้คลิกปุ่มแสดงผล

9. โปรแกรมจะแสดงผลที่ออกมาในรูปของหน้าต่างแสดงผล ดังนี้

| From | To | Distance (km.) |
|--------------------|------------------|----------------|
| Kungthepaphanakhon | Chonburi | 81 |
| Chonburi | Nan | 749 |
| Nan | Chiangrai | 270 |
| Chiangrai | Chiangmai | 182 |
| Chiangmai | Kamphaengphet | 339 |
| Kamphaengphet | Phichit | 93 |
| Phichit | Nakhonratchasima | 1124 |
| Nakhonratchasima | Trang | 123 |
| Trang | Nakhon Phanom | 355 |

Total distances : 3313 kilometres



ตารางที่ ๑1 แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 1 (seed 111)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 11151 | 11151 | 13517.594 | 878.421 |
| 2 | 10692 | 10692 | 12898.87 | 932.056 |
| 3 | 10385 | 10385 | 12590.884 | 1022.629 |
| 4 | 9585 | 9585 | 12366.79 | 1078.517 |
| 5 | 9585 | 9585 | 12048.862 | 1191.491 |
| 6 | 9211 | 9211 | 11553.732 | 1063.263 |
| 7 | 9211 | 9211 | 11574.254 | 1118.495 |
| 8 | 9211 | 9211 | 11502.928 | 1026.902 |
| 9 | 9142 | 9142 | 11623.058 | 1164.539 |
| 10 | 8546 | 8546 | 11531.746 | 1183.303 |
| 11 | 8546 | 8546 | 11407.518 | 1129.15 |
| 12 | 9142 | 8546 | 11628.254 | 1207.848 |
| 13 | 9142 | 8546 | 11630.312 | 1087.588 |
| 14 | 8051 | 8051 | 11564.601 | 1174.65 |
| 15 | 8051 | 8051 | 11208.833 | 1129.565 |
| 16 | 8051 | 8051 | 11285.413 | 1219.109 |
| 17 | 8051 | 8051 | 11032.232 | 1510.519 |
| 18 | 8051 | 8051 | 11045.043 | 1652.374 |
| 19 | 8051 | 8051 | 10584.014 | 1734.284 |
| 20 | 7950 | 7950 | 10168.812 | 1638.916 |
| 21 | 7927 | 7927 | 10042.116 | 1700.57 |
| 22 | 7927 | 7927 | 9913.833 | 1718.418 |
| 23 | 7310 | 7310 | 9552.174 | 1564.979 |
| 24 | 7310 | 7310 | 9475.348 | 1598.75 |
| 25 | 7310 | 7310 | 9493.196 | 1689.248 |

ตารางที่ ๑๒ แสดงรุ่นค่าตอบของตัวอย่างที่ 1 (seed 300)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 9764 | 9764 | 13397.732 | 1111.194 |
| 2 | 9381 | 9381 | 12471.377 | 1130.862 |
| 3 | 9381 | 9381 | 12092.632 | 1283.965 |
| 4 | 8611 | 8611 | 11996.92 | 1315.268 |
| 5 | 8611 | 8611 | 11609.355 | 1487.554 |
| 6 | 8064 | 8064 | 11403.138 | 1378.153 |
| 7 | 8611 | 8064 | 11446.391 | 1419.107 |
| 8 | 7793 | 7793 | 11587.804 | 1521.818 |
| 9 | 7793 | 7793 | 11168.456 | 1674.609 |
| 10 | 7793 | 7793 | 11102.861 | 1501.095 |
| 11 | 7793 | 7793 | 10988.283 | 1517.587 |
| 12 | 7793 | 7793 | 10736.406 | 1681.302 |
| 13 | 7793 | 7793 | 10504.283 | 2001.965 |
| 14 | 7793 | 7793 | 10440.826 | 1931.887 |
| 15 | 7777 | 7777 | 10427.19 | 1948.128 |
| 16 | 7777 | 7777 | 10006.007 | 2131.981 |
| 17 | 7793 | 7777 | 9318.203 | 1991.777 |
| 18 | 7793 | 7777 | 8319.986 | 1251.198 |
| 19 | 7793 | 7777 | 7883.674 | 468.546 |
| 20 | 7793 | 7777 | 7793 | 0 |
| 21 | 7793 | 7777 | 7793 | 0 |
| 22 | 7793 | 7777 | 7793 | 0 |
| 23 | 7793 | 7777 | 7793 | 0 |
| 24 | 7793 | 7777 | 7793 | 0 |
| 25 | 7793 | 7777 | 7793 | 0 |

ตารางที่ ๓ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 1 (seed 555)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 10865 | 10865 | 13591.493 | 1014.368 |
| 2 | 10853 | 10853 | 12729.761 | 1044.908 |
| 3 | 9930 | 9930 | 12498.623 | 1132.637 |
| 4 | 8631 | 8631 | 11931.971 | 1167.868 |
| 5 | 8631 | 8631 | 11644.819 | 1087.704 |
| 6 | 8631 | 8631 | 11546.348 | 1051.25 |
| 7 | 8631 | 8631 | 11575.529 | 1253.692 |
| 8 | 9490 | 8631 | 11342.471 | 1188.158 |
| 9 | 8364 | 8364 | 11113.986 | 1011.19 |
| 10 | 9379 | 8364 | 11259.833 | 1008.173 |
| 11 | 9170 | 8364 | 11175.232 | 1045.153 |
| 12 | 9379 | 8364 | 11328 | 1099.16 |
| 13 | 8856 | 8364 | 11382.942 | 1112.191 |
| 14 | 8840 | 8364 | 10894.906 | 1130.563 |
| 15 | 8753 | 8364 | 11106.029 | 1298.337 |
| 16 | 8753 | 8364 | 10926.942 | 1287.517 |
| 17 | 8753 | 8364 | 10914.565 | 1250.006 |
| 18 | 8299 | 8299 | 10675.783 | 1227.831 |
| 19 | 8147 | 8147 | 10353.391 | 1289.498 |
| 20 | 8147 | 8147 | 10334.61 | 1270.085 |
| 21 | 8231 | 8147 | 10676.225 | 1459.429 |
| 22 | 8231 | 8147 | 10688.526 | 1418.733 |
| 23 | 8231 | 8147 | 10522.768 | 1415.162 |
| 24 | 8231 | 8147 | 10414.471 | 1527.612 |
| 25 | 8231 | 8147 | 10390.616 | 1460.073 |

ตารางที่ ๑๔ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 1 (seed 1122)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 10359 | 10359 | 13569.71 | 1212.382 |
| 2 | 9552 | 9552 | 12654.964 | 1273.583 |
| 3 | 9552 | 9552 | 12210.507 | 1245.297 |
| 4 | 9552 | 9552 | 11784.203 | 1177.063 |
| 5 | 8097 | 8097 | 11347.174 | 1145.898 |
| 6 | 8097 | 8097 | 11592.804 | 1389.407 |
| 7 | 8097 | 8097 | 11661.101 | 1376.304 |
| 8 | 8097 | 8097 | 11556.681 | 1423.635 |
| 9 | 7954 | 7954 | 11419.42 | 1662.361 |
| 10 | 7954 | 7954 | 11344.522 | 1750.03 |
| 11 | 7221 | 7221 | 10692.384 | 1822.288 |
| 12 | 7221 | 7221 | 10315.514 | 1778.673 |
| 13 | 7649 | 7221 | 10288.927 | 1698.786 |
| 14 | 7649 | 7221 | 9970.674 | 1832.709 |
| 15 | 7195 | 7195 | 9970.029 | 1723.391 |
| 16 | 7195 | 7195 | 10123.21 | 1676.922 |
| 17 | 7195 | 7195 | 10069.544 | 1862.215 |
| 18 | 7085 | 7085 | 9700.681 | 1882.549 |
| 19 | 7085 | 7085 | 9744.877 | 2027.272 |
| 20 | 6939 | 6939 | 9418.681 | 1891.54 |
| 21 | 6939 | 6939 | 9369.275 | 1865.099 |
| 22 | 6939 | 6939 | 9229.174 | 1952.853 |
| 23 | 6939 | 6939 | 9394.623 | 2168.4 |
| 24 | 6939 | 6939 | 8861.529 | 1896.235 |
| 25 | 6939 | 6939 | 9158.558 | 1937.659 |

ตารางที่ ๑5 แสดงรุ่นค่าตอบของตัวอย่างที่ 1 (seed 5115)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 10284 | 10284 | 13624.913 | 1098.86 |
| 2 | 9706 | 9706 | 12820.101 | 1180.187 |
| 3 | 9670 | 9670 | 12229.355 | 1240.265 |
| 4 | 9367 | 9367 | 11809.92 | 1313.259 |
| 5 | 8677 | 8677 | 11599.986 | 1419.58 |
| 6 | 7471 | 7471 | 10996.703 | 1323.861 |
| 7 | 7471 | 7471 | 11051.659 | 1596.92 |
| 8 | 7471 | 7471 | 10641.609 | 1517.428 |
| 9 | 7022 | 7022 | 10350.138 | 1628.131 |
| 10 | 7022 | 7022 | 10191.558 | 1929.78 |
| 11 | 7022 | 7022 | 9907.899 | 1958.969 |
| 12 | 7022 | 7022 | 9734.413 | 2044.195 |
| 13 | 6715 | 6715 | 8952.739 | 1807.398 |
| 14 | 6715 | 6715 | 8880.072 | 1852.551 |
| 15 | 6715 | 6715 | 8320.493 | 1660.014 |
| 16 | 6715 | 6715 | 8059.065 | 1494.192 |
| 17 | 6624 | 6624 | 7743.036 | 1433.212 |
| 18 | 6624 | 6624 | 7712.123 | 1464.99 |
| 19 | 6598 | 6598 | 7662.601 | 1571.896 |
| 20 | 6598 | 6598 | 7252.326 | 1070.517 |
| 21 | 6598 | 6598 | 7597.261 | 1652.195 |
| 22 | 6609 | 6598 | 7258.153 | 1132.275 |
| 23 | 6609 | 6598 | 6935.044 | 734.204 |
| 24 | 6609 | 6598 | 6751.478 | 206.912 |
| 25 | 6609 | 6598 | 6879.507 | 799.897 |

ตารางที่ ๘๖ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 2 (seed 111)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 23133 | 23133 | 27003.319 | 1598.565 |
| 2 | 21728 | 21728 | 25629.601 | 1508.606 |
| 3 | 20325 | 20325 | 24711.167 | 1554.158 |
| 4 | 20325 | 20325 | 23724.92 | 1691.154 |
| 5 | 18721 | 18721 | 22794.297 | 1665.223 |
| 6 | 17568 | 17568 | 22467.92 | 1715.439 |
| 7 | 17519 | 17519 | 21596.5 | 1933.366 |
| 8 | 17519 | 17519 | 20891.21 | 1601.844 |
| 9 | 17474 | 17474 | 20561.268 | 1600.824 |
| 10 | 17339 | 17339 | 19743.42 | 1466.452 |
| 11 | 16401 | 16401 | 18925.688 | 1151.956 |
| 12 | 16401 | 16401 | 18780.826 | 1405.876 |
| 13 | 16401 | 16401 | 18809.92 | 1338.112 |
| 14 | 16401 | 16401 | 18656.304 | 1350.065 |
| 15 | 16336 | 16336 | 18653.927 | 1347.794 |
| 16 | 16047 | 16047 | 17977.964 | 1289.036 |
| 17 | 15663 | 15663 | 17712.703 | 1293.391 |
| 18 | 15896 | 15663 | 17399.232 | 1207.614 |
| 19 | 15896 | 15663 | 17602.928 | 1350.781 |
| 20 | 15896 | 15663 | 17550.394 | 1292.083 |
| 21 | 15610 | 15610 | 17418.043 | 1324.997 |
| 22 | 14718 | 14718 | 17037.529 | 1029.524 |
| 23 | 14718 | 14718 | 17036.072 | 1164.574 |
| 24 | 14132 | 14132 | 16687.913 | 1131.33 |
| 25 | 14132 | 14132 | 16558.312 | 1152.533 |

ตารางที่ ๗ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 2 (seed 300)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 22013 | 22013 | 26989.406 | 1918.159 |
| 2 | 20297 | 20297 | 25327.232 | 1723.091 |
| 3 | 20376 | 20297 | 24811.804 | 1877.845 |
| 4 | 20376 | 20297 | 24443.217 | 1894.202 |
| 5 | 19153 | 19153 | 23419.928 | 1678.724 |
| 6 | 19552 | 19153 | 22967.717 | 1412.309 |
| 7 | 18958 | 18958 | 22542.101 | 1631.645 |
| 8 | 18958 | 18958 | 22318.86 | 1772.64 |
| 9 | 18958 | 18958 | 22117.623 | 1813.939 |
| 10 | 18765 | 18765 | 21487.572 | 1624.133 |
| 11 | 18031 | 18031 | 20834.5 | 1548.86 |
| 12 | 18031 | 18031 | 20435.203 | 1385.072 |
| 13 | 17477 | 17477 | 20598.275 | 1538.557 |
| 14 | 17477 | 17477 | 20230.659 | 1582.269 |
| 15 | 17477 | 17477 | 20042.102 | 1469.13 |
| 16 | 17477 | 17477 | 19859.746 | 1537.972 |
| 17 | 17320 | 17320 | 19571.217 | 1388.249 |
| 18 | 17019 | 17019 | 19204.572 | 1313.01 |
| 19 | 17019 | 17019 | 18907.27 | 1280.362 |
| 20 | 17019 | 17019 | 18571.558 | 1163.356 |
| 21 | 16941 | 16941 | 18417.464 | 1230.459 |
| 22 | 16941 | 16941 | 18572.993 | 1157.228 |
| 23 | 16182 | 16182 | 18635.92 | 1651.212 |
| 24 | 16182 | 16182 | 18454.37 | 1353.36 |
| 25 | 16182 | 16182 | 18315.906 | 1296.207 |

ตารางที่ ๘ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 2 (seed 555)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 18677 | 18677 | 26907.123 | 2148.842 |
| 2 | 19677 | 19677 | 25315.254 | 2249.404 |
| 3 | 19278 | 19278 | 23029.703 | 2497.529 |
| 4 | 18172 | 18172 | 21901.891 | 2061.507 |
| 5 | 18172 | 18172 | 21268.109 | 1621.637 |
| 6 | 17999 | 17999 | 21082.029 | 1540.103 |
| 7 | 17999 | 17999 | 20665.79 | 1324.102 |
| 8 | 17999 | 17999 | 20376.92 | 1450.261 |
| 9 | 17719 | 17719 | 19554.123 | 1194.774 |
| 10 | 16927 | 16927 | 19432.616 | 1272.268 |
| 11 | 16927 | 16927 | 19383.696 | 1389.373 |
| 12 | 16927 | 16927 | 18913.35 | 1077.137 |
| 13 | 16903 | 16903 | 19110.254 | 1291.325 |
| 14 | 16838 | 16838 | 18963.507 | 1283.652 |
| 15 | 16838 | 16838 | 19100.146 | 1771.847 |
| 16 | 16750 | 16750 | 18804.717 | 1641.898 |
| 17 | 16750 | 16750 | 18870.043 | 1452.076 |
| 18 | 16750 | 16750 | 19100.572 | 1650.287 |
| 19 | 16542 | 16542 | 18624.435 | 1523.998 |
| 20 | 16542 | 16542 | 18689.435 | 1548.949 |
| 21 | 16209 | 16209 | 18739.254 | 1361.982 |
| 22 | 16209 | 16209 | 18707.21 | 1398.831 |
| 23 | 16173 | 16173 | 18037.428 | 1247.117 |
| 24 | 15660 | 15660 | 18057.13 | 1458.025 |
| 25 | 15386 | 15386 | 17916.71 | 1319.19 |

ตารางที่ ๑๑ แสดงรุ่นค่าตอบของตัวอย่างที่ 2 (seed 1122)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 21184 | 21184 | 26959.812 | 1749.977 |
| 2 | 20156 | 20156 | 25621.514 | 1872.62 |
| 3 | 20156 | 20156 | 24590.123 | 1685.056 |
| 4 | 20156 | 20156 | 23809.065 | 1852.617 |
| 5 | 19888 | 19888 | 23318.58 | 1699.09 |
| 6 | 19859 | 19859 | 23143.326 | 1802.688 |
| 7 | 19168 | 19168 | 22484.746 | 1573.436 |
| 8 | 19168 | 19168 | 21873.601 | 1687.109 |
| 9 | 19139 | 19139 | 21472.601 | 1458.122 |
| 10 | 18766 | 18766 | 21238 | 1681.375 |
| 11 | 17865 | 17865 | 20692.543 | 1311.822 |
| 12 | 17865 | 17865 | 20634.457 | 1452.178 |
| 13 | 17865 | 17865 | 20323.587 | 1472.857 |
| 14 | 17069 | 17069 | 19620.435 | 1283.575 |
| 15 | 16803 | 16803 | 19556.555 | 1635.728 |
| 16 | 16803 | 16803 | 19233.464 | 1442.445 |
| 17 | 16803 | 16803 | 19310.913 | 1580.445 |
| 18 | 16803 | 16803 | 19320.913 | 1533.316 |
| 19 | 16709 | 16709 | 18926.891 | 1384.242 |
| 20 | 16611 | 16611 | 18697.08 | 1486.701 |
| 21 | 16611 | 16611 | 18478.406 | 1263.81 |
| 22 | 16475 | 16475 | 18146.333 | 1089.713 |
| 23 | 16211 | 16211 | 17855.014 | 1033.479 |
| 24 | 15689 | 15689 | 17881.584 | 1289.599 |
| 25 | 15321 | 15321 | 17904.601 | 1164.214 |

ตารางที่ ๑๑ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 2 (seed 5115)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 22422 | 22422 | 27065.225 | 1603.305 |
| 2 | 22422 | 22422 | 26496.759 | 1713.375 |
| 3 | 20482 | 20482 | 25297.572 | 1720.913 |
| 4 | 20446 | 20446 | 24435.413 | 1697.822 |
| 5 | 20446 | 20446 | 24010.261 | 1685.06 |
| 6 | 18910 | 18910 | 23395.203 | 1831.146 |
| 7 | 18910 | 18910 | 22357.543 | 1607.113 |
| 8 | 18481 | 18481 | 21704.268 | 1335.77 |
| 9 | 18481 | 18481 | 21215.529 | 1487.299 |
| 10 | 18481 | 18481 | 21047.333 | 1462.799 |
| 11 | 18275 | 18275 | 20439.529 | 1321.609 |
| 12 | 17791 | 17791 | 20249.739 | 1315.426 |
| 13 | 17730 | 17730 | 20063.667 | 1755.65 |
| 14 | 17602 | 17602 | 19543.346 | 1387.389 |
| 15 | 17496 | 17496 | 19417.681 | 1302.985 |
| 16 | 16952 | 16952 | 19003.37 | 1114.561 |
| 17 | 15735 | 15735 | 18778.949 | 1048.965 |
| 18 | 15735 | 15735 | 18561.688 | 1226.866 |
| 19 | 15662 | 15662 | 18480.63 | 1305.769 |
| 20 | 15038 | 15038 | 18065.587 | 1395.041 |
| 21 | 14816 | 14816 | 17751.275 | 1371.217 |
| 22 | 14816 | 14816 | 17511.754 | 1524.663 |
| 23 | 14816 | 14816 | 17116.906 | 1442.442 |
| 24 | 14487 | 14487 | 16710.942 | 1290.271 |
| 25 | 14449 | 14449 | 16485.007 | 1308.4 |

ตารางที่ ๑11 แสดงรุ่นค่าตอบของตัวอย่างที่ 3 (seed 111)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 30203 | 30203 | 36057.196 | 2522.988 |
| 2 | 29531 | 29531 | 34375.63 | 2226.965 |
| 3 | 28463 | 28463 | 32741.319 | 2215.641 |
| 4 | 26780 | 26780 | 32002.167 | 1946.906 |
| 5 | 26780 | 26780 | 31286.781 | 1968.013 |
| 6 | 26780 | 26780 | 30378.471 | 1715.623 |
| 7 | 25491 | 25491 | 29975.796 | 2108.282 |
| 8 | 25281 | 25281 | 28963.246 | 2050.432 |
| 9 | 24995 | 24995 | 28218.812 | 1992.885 |
| 10 | 23852 | 23852 | 27912.58 | 2170.055 |
| 11 | 22898 | 22898 | 27058.255 | 1925.08 |
| 12 | 23768 | 22898 | 26387.101 | 1860.192 |
| 13 | 21781 | 21781 | 25301.442 | 1604.445 |
| 14 | 19996 | 19996 | 24832.489 | 1510.168 |
| 15 | 19996 | 19996 | 24054.496 | 1849.657 |
| 16 | 18893 | 18893 | 23728.493 | 1897.327 |
| 17 | 18893 | 18893 | 23185.181 | 1712.677 |
| 18 | 18893 | 18893 | 22849.145 | 1901.327 |
| 19 | 18893 | 18893 | 22183.268 | 1845.876 |
| 20 | 17819 | 17819 | 22111.536 | 1713.176 |
| 21 | 17739 | 17739 | 21719.547 | 2164.489 |
| 22 | 17819 | 17739 | 21362.058 | 1735.273 |
| 23 | 17602 | 17602 | 21176.855 | 2123.658 |
| 24 | 17614 | 17602 | 21230.13 | 2249.978 |
| 25 | 17614 | 17602 | 20920.42 | 2247.795 |

ตารางที่ ๑๒ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 3 (seed 300)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 29338 | 29338 | 35935.899 | 2073.576 |
| 2 | 29249 | 29249 | 34570.746 | 2000.876 |
| 3 | 28946 | 28946 | 33427.841 | 2316.493 |
| 4 | 28847 | 28847 | 32527.667 | 2236.827 |
| 5 | 25920 | 25920 | 31484.775 | 2128.342 |
| 6 | 24316 | 24316 | 30825.766 | 2437.543 |
| 7 | 24316 | 24316 | 30107.435 | 2541.456 |
| 8 | 24316 | 24316 | 29486.899 | 2671.12 |
| 9 | 24165 | 24165 | 28350.42 | 2636.747 |
| 10 | 23891 | 23891 | 27668.406 | 2255.289 |
| 11 | 23478 | 23478 | 26545.072 | 2039.666 |
| 12 | 23208 | 23208 | 26134.348 | 1932.623 |
| 13 | 23208 | 23208 | 25759.401 | 1652.776 |
| 14 | 23149 | 23149 | 25615.051 | 1785.288 |
| 15 | 22365 | 22365 | 25143.652 | 1617.097 |
| 16 | 22365 | 22365 | 24456.804 | 1187.133 |
| 17 | 21854 | 21854 | 24202.746 | 1159.003 |
| 18 | 21854 | 21854 | 24224.518 | 1315.816 |
| 19 | 20690 | 20690 | 23447 | 1444.338 |
| 20 | 20690 | 20690 | 23291.543 | 1399.642 |
| 21 | 20106 | 20106 | 23059.681 | 1248.23 |
| 22 | 19678 | 19678 | 22497.152 | 1351.921 |
| 23 | 19678 | 19678 | 22145.297 | 1221.793 |
| 24 | 19678 | 19678 | 22055.442 | 1380.896 |
| 25 | 19678 | 19678 | 22063.572 | 1541.893 |

ตารางที่ ๑13 แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 3 (seed 555)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 29762 | 29762 | 35766.848 | 2549.706 |
| 2 | 27723 | 27723 | 34006.123 | 2336.449 |
| 3 | 26848 | 26848 | 32836.681 | 2405.348 |
| 4 | 25876 | 25876 | 31094.174 | 2226.361 |
| 5 | 25876 | 25876 | 30575.935 | 2183.106 |
| 6 | 25876 | 25876 | 29540.08 | 1841.133 |
| 7 | 25441 | 25441 | 28698.087 | 1912.134 |
| 8 | 24341 | 24341 | 28187.478 | 1673.521 |
| 9 | 22400 | 22400 | 27611.051 | 1603.088 |
| 10 | 21687 | 21687 | 27024.529 | 1882.928 |
| 11 | 21687 | 21687 | 26301.942 | 1949.572 |
| 12 | 21687 | 21687 | 25177.406 | 2077.842 |
| 13 | 21586 | 21586 | 24284.297 | 1933.121 |
| 14 | 21586 | 21586 | 23429.145 | 1519.908 |
| 15 | 20837 | 20837 | 22975.203 | 1039.035 |
| 16 | 20837 | 20837 | 22507.138 | 791.492 |
| 17 | 20837 | 20837 | 22458.964 | 1021.894 |
| 18 | 20837 | 20837 | 22466.087 | 1134.357 |
| 19 | 19728 | 19728 | 22070.667 | 919.568 |
| 20 | 19728 | 19728 | 22141.928 | 1248.351 |
| 21 | 19317 | 19317 | 21833.986 | 1258.693 |
| 22 | 18993 | 18993 | 21428.768 | 1266.358 |
| 23 | 18394 | 18394 | 21131.478 | 1188.747 |
| 24 | 18394 | 18394 | 20972.239 | 1476.437 |
| 25 | 17618 | 17618 | 20623.445 | 1645.776 |

ตารางที่ ๑๑๔ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 3 (seed 1122)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 29630 | 29630 | 35770.87 | 2113.461 |
| 2 | 29630 | 29630 | 34596.21 | 2008.98 |
| 3 | 29083 | 29083 | 34057.674 | 2058.202 |
| 4 | 28423 | 28423 | 33214.587 | 2025.09 |
| 5 | 27572 | 27572 | 32125.123 | 2147.527 |
| 6 | 27511 | 27511 | 31690.29 | 2214.616 |
| 7 | 26035 | 26035 | 31147.377 | 2359.982 |
| 8 | 26035 | 26035 | 30011.384 | 2081.535 |
| 9 | 25691 | 25691 | 29871.275 | 2030.944 |
| 10 | 25381 | 25381 | 29512.471 | 1896.163 |
| 11 | 25381 | 25381 | 29028.645 | 2124.539 |
| 12 | 25254 | 25254 | 28489.283 | 1892.733 |
| 13 | 24387 | 24387 | 27530 | 1807.208 |
| 14 | 24220 | 24220 | 26940.638 | 1651.37 |
| 15 | 23526 | 23526 | 26374.696 | 1495.98 |
| 16 | 23526 | 23526 | 25908.601 | 1406.712 |
| 17 | 23407 | 23407 | 25982.254 | 1398.045 |
| 18 | 21702 | 21702 | 25782.819 | 1690.767 |
| 19 | 21633 | 21633 | 25236.232 | 1553.911 |
| 20 | 21613 | 2161 | 24694.87 | 1655.093 |
| 21 | 21326 | 21326 | 24325.565 | 1686.896 |
| 22 | 20872 | 20872 | 23690.942 | 1679.457 |
| 23 | 20652 | 20652 | 3338.645 | 1698.732 |
| 24 | 20231 | 20231 | 22735.768 | 1542.151 |
| 25 | 19999 | 19999 | 22137.022 | 1155.337 |

ตารางที่ ๑15 แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 3 (seed 5115)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 30770 | 30770 | 36186.203 | 2336.494 |
| 2 | 30770 | 30770 | 34307.442 | 1843.024 |
| 3 | 29400 | 29400 | 33639.993 | 2028.729 |
| 4 | 28935 | 28935 | 32803.42 | 1766.492 |
| 5 | 26992 | 26992 | 32102.116 | 1822.369 |
| 6 | 26992 | 26992 | 31523.007 | 1915.978 |
| 7 | 26992 | 26992 | 31229.949 | 1725.209 |
| 8 | 26357 | 26357 | 30668.993 | 1949.53 |
| 9 | 26068 | 26068 | 29752.486 | 2138.814 |
| 10 | 25939 | 25939 | 28865.007 | 1994.237 |
| 11 | 25321 | 25321 | 28110.368 | 1466.336 |
| 12 | 25116 | 25116 | 27439.404 | 1303.779 |
| 13 | 23289 | 23289 | 26674.797 | 1283.035 |
| 14 | 22623 | 22623 | 26093.855 | 1182.584 |
| 15 | 22227 | 22227 | 25766.906 | 1355.45 |
| 16 | 22227 | 22227 | 25209.159 | 1494.01 |
| 17 | 21873 | 21873 | 24928.507 | 1648.861 |
| 18 | 21873 | 21873 | 24699.066 | 1672.491 |
| 19 | 21873 | 21873 | 24339.623 | 1637.562 |
| 20 | 21529 | 21529 | 23640.102 | 1257.327 |
| 21 | 21389 | 21389 | 23359.362 | 1181.447 |
| 22 | 21157 | 21157 | 23333.667 | 1150.198 |
| 23 | 21000 | 21000 | 23125.623 | 1292.784 |
| 24 | 20990 | 20990 | 22705.681 | 1121.903 |
| 25 | 20990 | 20990 | 22509.457 | 1088.295 |

ตารางที่ ๑๑๖ แสดงรุ่นค่าตอบของตัวอย่างที่ 4 (seed 111)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 46955 | 46955 | 53439.536 | 2593.822 |
| 2 | 45000 | 45000 | 52014.304 | 2529.896 |
| 3 | 43271 | 43271 | 50638.543 | 2760.186 |
| 4 | 43271 | 43271 | 48441.275 | 2784.703 |
| 5 | 41899 | 41899 | 47617.609 | 2527.725 |
| 6 | 41899 | 41899 | 46908.312 | 2388.295 |
| 7 | 40908 | 40908 | 45876.928 | 2260.363 |
| 8 | 40740 | 40740 | 44574.181 | 2342.597 |
| 9 | 37797 | 37797 | 43368.478 | 2092.546 |
| 10 | 37797 | 37797 | 42556.087 | 1919.833 |
| 11 | 37797 | 37797 | 41991.101 | 1926.147 |
| 12 | 37519 | 37519 | 41204.935 | 2116.276 |
| 13 | 36132 | 36132 | 40167.507 | 1889.055 |
| 14 | 36132 | 36132 | 39503.442 | 1833.802 |
| 15 | 33989 | 33989 | 39071.241 | 1826.77 |
| 16 | 33989 | 33989 | 39039.196 | 1825.977 |
| 17 | 33579 | 33579 | 38929.594 | 1899.744 |
| 18 | 33579 | 33579 | 38051.399 | 2017.065 |
| 19 | 32571 | 32571 | 37623.877 | 2004.075 |
| 20 | 32571 | 32571 | 37407.928 | 2004.36 |
| 21 | 32571 | 32571 | 37047.514 | 2041.959 |
| 22 | 32571 | 32571 | 36790.159 | 2086.742 |
| 23 | 32560 | 32560 | 36229.404 | 2231.95 |
| 24 | 32571 | 32560 | 35984.92 | 2081.123 |
| 25 | 32436 | 32436 | 35561.659 | 1838.778 |

ตารางที่ ๑๗ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 4 (seed 300)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 46908 | 46908 | 53375.123 | 2375.963 |
| 2 | 46418 | 46418 | 52004.333 | 2161.73 |
| 3 | 45209 | 45209 | 50260.562 | 2273.666 |
| 4 | 42558 | 42558 | 49003.036 | 2287.218 |
| 5 | 42558 | 42558 | 48412.297 | 2300.976 |
| 6 | 42558 | 42558 | 47862.457 | 2201.531 |
| 7 | 41567 | 41567 | 46844.197 | 2304.238 |
| 8 | 38934 | 38934 | 45100.188 | 2328.567 |
| 9 | 38916 | 38916 | 43055.188 | 1939.544 |
| 10 | 38916 | 38916 | 42254.818 | 1591.991 |
| 11 | 38886 | 38886 | 41451.464 | 1348.947 |
| 12 | 37727 | 37727 | 40646.71 | 1302.418 |
| 13 | 37513 | 37513 | 40372.072 | 1461.304 |
| 14 | 37148 | 37148 | 39922.788 | 1541.412 |
| 15 | 37025 | 37025 | 39719.652 | 1549.555 |
| 16 | 36489 | 36489 | 39603.609 | 1816.069 |
| 17 | 36003 | 36003 | 38940.681 | 1437.809 |
| 18 | 35727 | 35727 | 38694.08 | 1516.261 |
| 19 | 35386 | 35386 | 38275.674 | 1443.38 |
| 20 | 34636 | 34636 | 37948.196 | 1774.99 |
| 21 | 34456 | 34456 | 38082.174 | 2002.01 |
| 22 | 34456 | 34456 | 37847.601 | 1977.593 |
| 23 | 33057 | 33057 | 36856.478 | 1598.7 |
| 24 | 32833 | 32833 | 36091.094 | 1406.493 |
| 25 | 32833 | 32833 | 35872.464 | 1573.808 |

ตารางที่ ๑๑๘ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 4 (seed 555)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 44040 | 44040 | 53030.819 | 2828.787 |
| 2 | 44040 | 44040 | 51591.239 | 2480.239 |
| 3 | 42368 | 42368 | 49930.71 | 2894.659 |
| 4 | 40405 | 40405 | 47562.79 | 2987.016 |
| 5 | 39511 | 39511 | 45958.036 | 2676.086 |
| 6 | 37664 | 37664 | 44365.413 | 2771.424 |
| 7 | 37664 | 37664 | 42443.971 | 2051.514 |
| 8 | 37664 | 37664 | 41427.558 | 1705.742 |
| 9 | 37664 | 37664 | 40724.29 | 1799.764 |
| 10 | 36871 | 36871 | 40079.101 | 1734.627 |
| 11 | 36871 | 36871 | 39376.181 | 1712.299 |
| 12 | 36762 | 36762 | 39221.986 | 1612.861 |
| 13 | 36319 | 36319 | 38659.797 | 1377.984 |
| 14 | 36319 | 36319 | 38279.254 | 1251.377 |
| 15 | 36160 | 36160 | 38255.832 | 1365.913 |
| 16 | 35378 | 35378 | 37766.058 | 1224.656 |
| 17 | 35291 | 35291 | 37812.058 | 1460.661 |
| 18 | 34327 | 34327 | 37300.036 | 1411.335 |
| 19 | 34327 | 34327 | 37143.783 | 1507.961 |
| 20 | 33673 | 33673 | 36500.362 | 1416.509 |
| 21 | 33673 | 33673 | 36536.848 | 1564.946 |
| 22 | 32051 | 32051 | 35939.319 | 1477.056 |
| 23 | 32051 | 32051 | 35805.906 | 1810.249 |
| 24 | 32051 | 32051 | 35829.819 | 2032.668 |
| 25 | 32051 | 32051 | 35468.094 | 1689.59 |

ตารางที่ ๑๑๙ แสดงรุ่นค่าตอบของตัวอย่างที่ 4 (seed 1122)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 45957 | 45957 | 53169.775 | 2465.397 |
| 2 | 44202 | 44202 | 51307.391 | 2388.38 |
| 3 | 42495 | 42495 | 49952.558 | 2341.675 |
| 4 | 42409 | 42409 | 48701.957 | 2462.236 |
| 5 | 42495 | 42409 | 48077.899 | 2371.222 |
| 6 | 41452 | 41452 | 46480.92 | 2471.311 |
| 7 | 41265 | 41265 | 44904.935 | 2081.235 |
| 8 | 41217 | 41217 | 44285.419 | 1845.228 |
| 9 | 40894 | 40894 | 43327.514 | 1566.302 |
| 10 | 40282 | 40282 | 42870.058 | 1274.228 |
| 11 | 40282 | 40282 | 42867.058 | 1598.594 |
| 12 | 39620 | 39620 | 42465.638 | 1593.842 |
| 13 | 39620 | 39620 | 42638.964 | 1648.956 |
| 14 | 38207 | 38207 | 42455.891 | 1696.039 |
| 15 | 37592 | 37592 | 41730.203 | 1655.116 |
| 16 | 37566 | 37566 | 41066.725 | 1755.888 |
| 17 | 37566 | 37566 | 40479.87 | 1576.885 |
| 18 | 37566 | 37566 | 39951.941 | 1441.014 |
| 19 | 36302 | 36302 | 39195.638 | 1388.91 |
| 20 | 36302 | 36302 | 38701.022 | 1130.142 |
| 21 | 36302 | 36302 | 38248.577 | 1004.441 |
| 22 | 35338 | 35338 | 38112.783 | 1017.194 |
| 23 | 35189 | 35189 | 37498.882 | 1185.945 |
| 24 | 34686 | 34686 | 37252.217 | 1583.729 |
| 25 | 34686 | 34686 | 37500.688 | 1678.924 |

ตารางที่ ๑๒๐ แสดงรุ่นคำตอบของตัวอย่างที่ 4 (seed 5115)

| Generation No. | Best value | Best so far | Average | S.D. |
|----------------|------------|-------------|-----------|----------|
| 1 | 48562 | 48562 | 53757.659 | 2454.119 |
| 2 | 46779 | 46779 | 52121.652 | 2078.246 |
| 3 | 46779 | 46779 | 50723.109 | 1847.645 |
| 4 | 44719 | 44719 | 49843.928 | 1775.822 |
| 5 | 44719 | 44719 | 48828.797 | 1852.622 |
| 6 | 44313 | 44313 | 48431.971 | 2100.082 |
| 7 | 44044 | 44044 | 47875.775 | 2000.272 |
| 8 | 41407 | 41407 | 46600.854 | 1836.171 |
| 9 | 40953 | 40953 | 45678.522 | 1934.762 |
| 10 | 40923 | 40923 | 45202.543 | 2285.356 |
| 11 | 39669 | 39669 | 44943.123 | 2399.567 |
| 12 | 39669 | 39669 | 44894.319 | 2780.847 |
| 13 | 39107 | 39107 | 43732.63 | 2468.086 |
| 14 | 37444 | 37444 | 42700.659 | 2097.845 |
| 15 | 37078 | 37078 | 41077.616 | 2172.978 |
| 16 | 34939 | 34939 | 40079.609 | 2150.536 |
| 17 | 34939 | 34939 | 39080.029 | 1686.902 |
| 18 | 34939 | 34939 | 38780.007 | 1842.396 |
| 19 | 34915 | 34915 | 38350.036 | 1991.273 |
| 20 | 33871 | 33871 | 37598.737 | 1842.865 |
| 21 | 33871 | 33871 | 36739.891 | 1772.294 |
| 22 | 33724 | 33724 | 36320.565 | 1611.643 |
| 23 | 33225 | 33225 | 36092.833 | 1452.052 |
| 24 | 33225 | 33225 | 35739.138 | 1390.631 |
| 25 | 33225 | 33225 | 35600.355 | 1509.871 |