

อัลกอริทึมอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหการจัดเส้นทางเดินรถ  
ANT COLONY OPTIMIZATION FOR SOLVING VEHICLE  
ROUTING PROBLEMS

โดย  
ธีรวัฒน์ ชู  
อัฒชัยวิน เรืองพร  
TEERAWAT XU  
ATTACHIWIN ROUNGPORN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงธุรกิจ  
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง  
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

อัลกอริทึมอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหการจัดเส้นทางเดินรถ  
ANT COLONY OPTIMIZATION FOR SOLVING VEHICLE  
ROUTING PROBLEMS

โดย  
ธีรวัฒน์ ชู  
อัฒมชีวิน เรืองพร

อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ.ดร. อาริต ธรรมโน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงธุรกิจ  
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง  
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

**ANT COLONY OPTIMIZATION FOR SOLVING VEHICLE  
ROUTING PROBLEMS**

**TEERAWUT XU  
ATTHACHIWIN ROUNGPORN**

**A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
PROGRAM IN DATA SCIENCE AND BUSINESS ANALYTICS  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY KING MONGKUT'S  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2/2022**

**COPY RIGHT 2022**

**FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY**

**KING MONGKUT'S INSITTUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ใบรับรองปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2565  
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อัลกอริทึมอาณานิคมสำหรับแก้ปัญหการจัดเส้นทางเดินรถ  
ANT COLONY OPTIMIZATION FOR SOLVING VEHICLE  
ROUTING PROBLEMS

ผู้จัดทำ

- |                 |         |              |          |
|-----------------|---------|--------------|----------|
| 1. นายธีรวัฒน์  | ชู      | รหัสนักศึกษา | 62070248 |
| 2. นายอัฒชัยวิน | เรืองพร | รหัสนักศึกษา | 62070287 |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน)

## ใบรับรองโครงการ (PROJECT)

เรื่อง

อัลกอริทึมอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ANT COLONY OPTIMIZATION FOR SOLVING VEHICLE  
ROUTING PROBLEMS

นายธีรวัฒน์ ชู รหัสนักศึกษา 62070248

นายอัฒชัยวิน เรืองพร รหัสนักศึกษา 62070287

ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าไม่ได้คัดลอกมาจากที่ใด  
รายงานฉบับนี้ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาวิชาโครงการ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ)  
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

.....  
(นายธีรวัฒน์ ชู)

.....  
(นายอัฒชัยวิน เรืองพร)

หัวข้อโครงงาน	อัลกอริทึมอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ		
นักศึกษา	นายธีรวัฒน์	ชู	รหัสนักศึกษา 62070248
	นายอัฒชัยวิน	เรืองพร	รหัสนักศึกษา 62070287
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2565		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน		

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุง อัลกอริทึมแบบฝูงมด (Ant Colony Optimization) เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการเดินทางในแต่ละครั้งและเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกเส้นทางที่มีความสั้นและรวดเร็วมากที่สุดโดยใช้การเปรียบเทียบของมดในแต่ละรุ่นเพื่อเลือกรุ่นที่มีประสิทธิภาพสูงสุดออกมาแสดงผลปรับใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem)

<b>Project Title</b>	Ant Colony Optimization for Solving Vehicle Routing Problems	
<b>Students</b>	Teerawat Xu	Student ID 62070248
	Atthachiwin Rounporn	Student ID 62070287
<b>Degree</b>	Bachelor of Science	
<b>Program</b>	Information Technology	
<b>Academic Year</b>	2022	
<b>Project Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Arit Thammano	

## **ABSTRACT**

This research modified ant colony optimization in order to optimize and test each parameter to be appropriated in different trips for traveling salesman problems (TSP). The algorithms will choose the shortest and fastest paths by comparing each generation of ant. Then pick the best generation to be displayed.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา  
ปริญญานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำแนวทางในการ  
ดำเนินงาน และคอยช่วยเหลือชี้แนะ ตอบข้อสงสัยต่างๆ ติดตามความก้าวหน้าของปริญญานิพนธ์ ตลอดจน  
คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือดูแลผู้จัดทำในการทำปริญญานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่าน ที่เป็นคณะกรรมการผู้ช่วยตรวจสอบ  
ความสำเร็จของปริญญานิพนธ์ และช่วยอบรมสั่งสอนประสาทวิชาความรู้ให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้  
เกิดประโยชน์ในการนำมาต่อยอดสำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ และต่อยอดการทำงานในอนาคตได้

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อน รุ่นพี่ ผู้ที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้ทั้ง  
คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ  
ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจในการดำเนินปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสมอมา

ธีรวัฒน์ ชู  
อัฒชิวิน เรืองพร

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII

## บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3. ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.4. ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5. ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1. Ant system.....	3
2.2. Elitist ant system.....	3
2.3. Max min ant system.....	4
2.4. Rank base ant system.....	4
2.5. Ant colony system.....	5
2.6. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	5
2.7. ความฉลาดแบบกลุ่ม.....	7
3. Ant Colony Optimization for Solving Vehicle Routing Problems.....	13
3.1. การหาความเป็นไปได้ของมดที่จะเดินในจุดต่อไป.....	14
3.2. การอัปเดตฟีโรโมน.....	14
4. ผลการทดลองเบื้องต้น.....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่	
5. บทสรุป.....	19
5.1. แนวทางการพัฒนา.....	20
บรรณานุกรม.....	21

## สารบัญรูป

หน้า

### รูปที่

1	เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล att48....	16
2	เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล barlin52 .....	16
3	เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล cil76....	17
4	เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล kroA100 .....	17
5	เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล pr76.....	17
6	เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล rd100...	18

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 อัลกอริทึมแบบที่ 1.....	19
2 อัลกอริทึมแบบที่ 2.....	19

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Dorigo ได้นำเสนออัลกอริทึมของ ACO ไว้ในวิทยานิพนธ์ของเขาเอง [Dorigo, 1992] อัลกอริทึมดังกล่าวถือเป็นงานยุคแรกของ ACO ซึ่งต่อมาได้มีผู้พัฒนาอัลกอริทึมแบบต่างๆ ของ ACO ไว้มากมาย (ดูใน [Dorigo et al., 2006]) ในการนำเสนออัลกอริทึมของ ACO นั้น Dorigo เลือกใช้ปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน (Traveling Salesman Problem หรือ TSP) ในการอธิบายการทำงานของอัลกอริทึม TSP เป็นปัญหาการเลือกเส้นทางเดินทางที่เป็นที่นิยมมาก ปัญหาดังกล่าวก็คือการเดินทางไปเมืองต่างๆ ตามที่กำหนดเมืองละหนึ่งครั้งให้ครบทุกเมือง วัตถุประสงค์ของ TSP ก็คือการเลือกเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด ได้มีผู้นำเสนออัลกอริทึมการแก้ TSP ไว้มากมาย โดยเน้นไปที่ประสิทธิภาพในการค้นหาให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเวลาน้อยที่สุด ตัวอย่างการนำไปใช้งานจริง ของ TSP เช่นการวางแผนการเคลื่อนที่ของแขนกลในการเจาะรูบนแผ่นวงจร PCB

ใน TSP เซตของเมืองจะถูกกำหนดไว้ รวมไปถึงระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมือง เป้าหมายในการแก้ปัญหา คือการหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่จะเดินทางไปแต่ละเมืองเพียงครั้งเดียวได้ครบทุกเมือง จริงๆ แล้ว TSP ก็คือการหา เส้นทางแบบ Hamiltonian ที่สั้นที่สุดของการเชื่อมต่อเต็มรูปแบบระหว่างโนดทุกโนด สำหรับ TSP ใน ACO แล้ว มดประดิษฐ์ (artificial ant) จำนวนมากจะถูกส่งออกเดินทางไปตามเส้นทางระหว่างโนดของปัญหา โหนดดังกล่าวก็คือเมืองต่างๆ นั่นเอง ระหว่างโนดจะเป็นเส้นทางที่รู้ระยะ ตัวแปรฟีโรโมนจะถูกกำหนดตามเส้นทาง เดินทางทั้งหมด ซึ่งตัวแปรดังกล่าวสามารถถูกอ่านค่าและปรับเปลี่ยนค่าได้ด้วยมดประดิษฐ์ที่เดินผ่าน

#### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อทดลองใช้งานอัลกอริทึมอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหการจัดเส้นทางการเดินทางและพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพหาเส้นทางที่รวดเร็วและใกล้เคียงที่สุดในการสร้างมดแต่ละรุ่นขึ้นมา

#### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

สร้างอัลกอริทึมให้เหมาะสมกับข้อมูล โดยสามารถปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของโครงการนี้

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- ศึกษาและเรียนรู้หลักการทำงานของการทำงานของการเพิ่มประสิทธิภาพอัลกอริทึม
- ทำการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึม
- หากเกิดจุดบกพร่องหรือข้อผิดพลาดให้ทำการแก้ไข ปรับปรุง เพื่อให้อัลกอริทึมใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- นำอัลกอริทึมที่สมบูรณ์ไปใช้ เพื่อสรุปผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของข้อมูล

## 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- อัลกอริทึมมีความยืดหยุ่นกับ เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ เพื่อให้เข้ากับข้อมูลที่นำมาใช้ได้
- สามารถนำอัลกอริทึมนี้ไปพัฒนาและต่อยอดต่อในแอปพลิเคชันหรือเว็บไซต์ต่างๆ
- ได้ฝึกกระบวนการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึม
- อัลกอริทึมสามารถเปรียบเทียบเส้นทางที่เหมาะสมต่อการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. Ant system
2. Elitist ant system
3. Max min ant system
4. Rank base ant system
5. Ant colony system
6. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
7. ความฉลาดแบบกลุ่ม

#### 1 . Ant system

“ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดยได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้น โดย Marco Dorigo และคณะ ซึ่งที่จริงแล้ว ระบบมดเดิมได้มีอยู่ 3 แบบด้วยกันคือ Ant - density, Ant - quantity และ Ant - cycle (Dorigo et al., 1991; Dorigo and Stutzle, 2004) ระบบ Ant - density และระบบ Ant - quantity นั้นจะมีการอัปเดตสารฟีโรโมนทันทีขณะที่เดินทางจากโหนดหรือเมือง (Node or city) ไปยังเมือง ขณะที่ระบบ Ant - cycle นั้นจะอัปเดตสารฟีโรโมนหลังจากที่มดเดินทางครบทุกเมืองแล้ว โดยที่ปริมาณของสารฟีโรโมนที่จะอัปเดตนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ต่อระยะทางหรือคุณภาพของผลเฉลยที่ได้ ทำยที่สุดแล้วระบบ Ant - density และระบบ Ant - quantity ก็ไม่ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาต่อไปอีก เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยหรือเส้นทางที่น้อยมากเมื่อเทียบกับระบบ Ant - cycle ดังนั้นในปัจจุบัน เมื่อกล่าวถึงระบบมด ก็คือระบบ Ant - cycle นั้นเอง (Dorigo and Stutzle, 2004)”

#### 2. Elitist ant system

“Elitist ant system เกิดจากการพัฒนา Ant system ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยเรียกการพัฒนานี้ว่า Elitist strategy โดยนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี 1992 โดย Dorigo โดยที่ส่วนการทำงานเริ่มต้นจะเหมือนกับ Ant system แต่จะเพิ่มในส่วนของการเก็บค่าที่ดีที่สุดของแต่ละรอบการคำนวณ (Best so far tour) เพื่อการเพิ่มร่องรอยฟีโรโมน (Update pheromone trail) โดยจะเก็บค่าที่ดีที่สุดของรอบการคำนวณที่หนึ่งแล้ว Update pheromone ซึ่งเส้นทางที่เป็น Best so far tour จะมีพจน์ที่เพิ่มขึ้นมาเพื่อทำให้เส้นทางที่เป็น Best so far



tour จะมีปริมาณฟีโรโมนมากกว่าเส้นทางที่หมดผ่านปกติทั่วไป (โดยที่เส้นทางที่หมดผ่านตัวอื่นจะใช้สมการ ant system)”

### 3. Max-min ant system

“Max-Min Ant System ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี 1997 โดย Stutzle กับ Hoos โดยที่ทั้งสองคนได้พัฒนา Max-Min Ant System มาจาก Ant System โดยได้พัฒนาจาก Ant System 4 อย่างด้วยกัน ดังนี้

อย่างแรกค่าของพจน์ที่เพิ่มขึ้นมาจะมีค่าเป็น หนึ่งส่วนระยะทางก็ต่อเมื่อเป็นรอบที่ดีที่สุดของรอบการคำนวณนั้น ส่วนที่ไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุดรอบ

อย่างที่สอง คือการกำหนดช่วงของฟีโรโมนให้อยู่ในช่วงที่สมการกำหนด เพื่อที่เราจะได้จำกัดขอบเขตของเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงหนึ่งช่วงเท่านั้น ทำให้หาเส้นทางที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว

อย่างที่สาม คือ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้นจะมีค่าตัวแปรการระเหยของปริมาณฟีโรโมนไว้ในตอนแรกเลย ซึ่งตรงจุดนี้ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ Max-Min Ant System ต่างจาก Ant System

สุดท้าย ถ้าปริมาณฟีโรโมนเริ่มต้น เริ่มมีค่าคงที่หรือไม่มีการเพิ่มขึ้นแล้วก็จะสร้างจำนวนรอบที่แน่นอนสำหรับการคำนวณครั้งต่อไป”

### 4. Rank-based ant system

“เป็นอีกตัวหนึ่งที่พัฒนามาจาก Ant system โดยถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Bullnheimer ในปี 1999 โดยที่ AS-Rank จะวางจำนวนฟีโรโมนลดลงตามลำดับเส้นทางที่หมดเดินผ่าน เช่น เส้นทางที่ดีที่สุดจะมีพจน์ที่เพิ่มขึ้นในสมการมีค่ามากที่สุด เพื่อให้เกิดฟีโรโมนของรอบใหม่มากที่สุดไล่ลำดับกันลงมาซึ่งจะแตกต่างจาก Elitist ant system ที่ จะมีพจน์ที่เพิ่มค่า Best so far tour เพียงค่าเดียว ซึ่งขั้นตอนต่างๆ นอกเหนือจากนี้จะเหมือนกับ Ant system กับ Elitist ant system ส่วนที่เพิ่มขึ้นมา โดยที่ตัวแปร  $w$  จะเป็นค่าที่จัดเก็บลำดับ โดยส่วนใหญ่จะมีค่า  $w = 6$  และค่า  $r$  เป็นค่า Rank ของมด โดยถ้า Rank ของมดมากจะทำให้ปริมาณฟีโรโมนลดลงตามลำดับ”

## 5. Ant colony system

“ACS ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ Ant System โดยการปรับปรุงครั้งนี้ต่างจากทุกครั้งที่ผ่านมาคือการปรับปรุงครั้งนี้ไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของ Ant System อีกต่อไป โดยสร้างกลไกการทำงานใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ACS ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1997 โดย Dorigo และ Gambardella โดยที่มีความต่างจาก Ant System สามหลักการใหญ่ๆ คือ

1. ACS จะพัฒนาในส่วนของการจำเส้นทางในการเดินของมด โดยจะทำให้มดมีประสบการณ์ในการจำเส้นทางมากขึ้นและจะมีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางมากขึ้นด้วย
2. การระเหยฟีโรโมนและการวางฟีโรโมนจะทำในส่วนที่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้น
3. ในแต่ละเส้นทางที่มดเดินผ่านไปนั้น มดจะเอาฟีโรโมนออก เพื่อที่จะทำให้เกิดการเพิ่มเส้นทางหรือโอกาสในการเลือกเส้นทางอื่น”

## 6. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

**ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม** (อังกฤษ: genetic algorithm) เป็นเทคนิคสำหรับค้นหาผลเฉลย (solutions) หรือคำตอบโดยประมาณของปัญหา โดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการจากชีววิทยา และการคัดเลือกตามธรรมชาติ (natural selection) นั่นคือ สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุดจึงจะอยู่รอด กระบวนการคัดเลือกได้เปลี่ยนแปลงสิ่งมีชีวิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม (genetic operator) เช่น การสืบพันธุ์ (inheritance หรือ reproduction) , การกลายพันธุ์ (mutation) , การแลกเปลี่ยนยีน (recombination)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุด (optimal solution) โดยการแทนคำตอบที่มีอยู่ให้อยู่ในลักษณะ โครโมโซม (chromosomes) แล้วปรับปรุงคำตอบแต่ละชุด (เรียกว่า individual) ด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิวัฒนาการ (evolutionary operation) การเปลี่ยนแปลงยีนแบบสุ่ม ด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม (evolutionary operator) เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยทั่วไปจะแทนคำตอบด้วยเลขฐานสอง (สายอักขระของเลข 0 และ 1) การวิวัฒนาการ (evolution) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (the fitness solution) จะเริ่มจากประชากรที่ได้จากการสุ่มทั้งหมดและจะทำเป็นรุ่น ๆ ในแต่ละรุ่นคำตอบหลายชุดจะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือ สับเปลี่ยนยีนระหว่างกัน จนได้ประชากรรุ่นใหม่ ที่มีค่าความเหมาะสม (fitness) มากขึ้น การวิวัฒนาการนี้จะทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมตามต้องการ

### หลักการออกแบบขั้นตอนวิธี

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะเป็นการปรับเปลี่ยนยีนของโครโมโซมนั้นไปสู่ยีนของโครโมโซมที่ดีกว่าเดิม โดยหลักการทำงานนั้นเริ่มต้นมักจะเป็นการสุ่มยีนแต่ละตัวออกมาเป็นโครโมโซมเริ่มต้นในแต่ละ

รุ่นและจะทำการตรวจสอบค่าคุณภาพของโครโมโซมแต่ละตัวและทำการคัดเลือกตัวที่เหมาะสมออกมาโดยใช้ค่าความเหมาะสม (fitness) และทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) และการไขว้เปลี่ยน (cross over) ของโครโมโซมในโครโมโซมที่ได้เลือกออกมาโดยจะเป็นการสุ่มหลังจากที่เสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะนำพันธุกรรมที่ได้ไปวนเข้ากระบวนการเดิมต่อไปเพื่อให้ได้โครโมโซมที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดออกมา โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจำเป็นต้องมี

1. วิธีการแทนค่ายีนของผลลัพธ์ (genetic representation)
2. วิธีการหาความเหมาะสม (fitness function)

โดยทั่วไปแล้วการแทนค่ายีนนั้นจะใช้เป็นอาร์เรย์ของบิต (array of bits) แต่ก็สามารถใช้แบบอื่นๆตามรูปแบบของปัญหาที่ต้องการแก้ไขก็ได้เช่นกัน วิธีการหาความเหมาะสมนั้นจะใช้การแทนค่ายีนมาในการคำนวณเพื่อหาคุณภาพของยีนนั้นๆ และนำคุณภาพของยีนไปหาความเหมาะสมในรุ่นนั้นๆต่อไป

### การกำหนดค่าเริ่มต้น

โดยส่วนใหญ่จะทำการสุ่มค่าผลลัพธ์ของคำตอบ (ยีน) โดยจำนวนของยีนเริ่มต้นนั้นจะขึ้นกับปัญหาที่ต้องการแก้ไขว่าควรจะใช้จำนวนมากขนาดไหนแต่ตามปกติจำนวนจะประมาณหนึ่งร้อยไปจนถึงหนึ่งพันยีน และอาจจะทำการสุ่มโดยมีนัยสำคัญในการสุ่มเพื่อให้ค่าเข้าใกล้กับคำตอบได้แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหานั้นๆ

### การคัดเลือก

ระหว่างรุ่นของยีนแต่ละรุ่นนั้นจะมีการคัดเลือกยีนที่มีความเหมาะสมมากกว่าไปยังยีนรุ่นต่อไปโดยทำอย่างนี้เพื่อให้สามารถเข้าใกล้คำตอบของปัญหาได้มากยิ่งขึ้น โดยการคัดเลือคนั้นจะใช้การคัดเลือกโดยใช้ [ความเหมาะสม] (fitness-base) โดยการใช้ค่าของคุณภาพของยีนแต่ละตัวนำไปหาค่าความเหมาะสมได้จากกระบวนการหาความเหมาะสม (fitness-function) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามแต่ละปัญหา หรืออาจจะใช้การสุ่มเพื่อให้เข้าถึงคำตอบได้แต่อาจจะใช้เวลานานมากเกินไป

### การผลิตรุ่นถัดไป

หลังจากการคัดเลือกยีนที่มีความเหมาะสมแล้วเราจะใช้ยีนเหล่านั้นในการสร้างยีนรุ่นถัดไป โดยจะใช้วิธีการทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) หรือการไขว้เปลี่ยน (cross over) โดยจะทำการคัดเลือกยีนออกมาเป็นคู่ๆแล้วทำวิธีดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะต้องได้ค่าเฉลี่ยของคุณภาพของยีนที่ดีขึ้นเนื่องจากได้ทำการคัดเลือกยีนที่มีคุณภาพดีจากรุ่นที่แล้วมาใช้นั่นเองจากการผลิตรุ่นถัดไปด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ยีนที่แตกต่างจากยีนเดิมและยังมีความหลากหลายที่ดีขึ้นอีกด้วย วิธีการนำยีนสองตัวนั้นมาผลิตรุ่นถัดไปนั้นเป็นวิธีการเลียนแบบทางชีววิทยาแต่จากการวิจัยพบว่าถ้าใช้หลายๆยีนมาผลิตรุ่นถัดไปพบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบคู่อีกด้วย

## การจบการทำงาน

กระบวนการข้างต้นนี้จะวนซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเงื่อนไขการจบการทำงานดังนี้

- พบผลลัพธ์ที่อยู่ในเกณฑ์พอใจแล้ว
- ถึงรุ่นสุดท้ายที่ได้กำหนดไว้แล้ว
- ทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณหมดแล้ว
- พบคำตอบที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับสูงสุดแล้ว
- ตรวจสอบด้วยผู้ควบคุมเอง
- การนำเงื่อนไขต่างๆด้านบนต่างๆมาประยุกต์รวมกัน

## 7. ความฉลาดแบบกลุ่ม

ความฉลาดแบบกลุ่ม (อังกฤษ: swarm intelligence) คือกลุ่มพฤติกรรมของระบบแบบกระจายศูนย์ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านปัญญาประดิษฐ์ ระบบความฉลาดแบบกลุ่มโดยปกติแล้วจะประกอบขึ้นมาด้วย เอเจนต์ ซึ่งสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับเอเจนต์ตัวอื่นหรือสถานะแวดล้อมได้ เอเจนต์ในระบบทุกตัวจะปฏิบัติตามกฎชุดหนึ่ง แม้ว่าจะไม่มีศูนย์สั่งการที่ควบคุมว่าเอเจนต์แต่ละตัวต้องปฏิบัติอย่างไร แต่การที่เอเจนต์แต่ละตัวมีปฏิสัมพันธ์กันก็ก่อให้เกิดรูปแบบความฉลาดในภาพรวมขึ้นมาซึ่งเอเจนต์แต่ละตัวไม่รู้ แรงบันดาลใจที่ช่วยผลักดันความฉลาดแบบกลุ่มนั้นมักจะมีมาจากธรรมชาติ โดยเฉพาะจากระบบนิเวศวิทยา ตัวอย่างของความฉลาดแบบกลุ่มที่มาจากธรรมชาติได้แก่ ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณานิคม (Ant colony optimization), ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization), ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบนกคุเหว่า (Cuckoo search)

### ตัวอย่างความฉลาดแบบกลุ่มขั้นตอนวิธีระบบที่มีการเสียสละ

นักวิจัยจากประเทศสวิตเซอร์แลนด์ได้พัฒนาขั้นตอนวิธีขึ้นมาบนพื้นฐานของกฎของฮามิลตันว่าด้วยการเลือกเพื่อดำรงเผ่าพันธุ์ (Hamilton's rule of kin selection) ขั้นตอนวิธีนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการเสียสละในกลุ่มนั้นจะช่วยให้อาณานิคมเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นในภาพรวม<sup>[1][2]</sup>

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณานิคม

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณานิคม (Ant colony optimization) นั้นเป็นขั้นตอนวิธีสำหรับหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization algorithm) ที่มีพื้นฐานมาจากระบบอาณานิคม ขั้นตอนวิธีนี้เหมาะที่จะนำไปใช้แก้ปัญหาในการหาเส้นทางไปยังจุดหมายที่ต้องการ มดจำลอง (เทียบได้กับเอเจนต์) จะหาเส้นทางโดยการเคลื่อนที่ผ่านปริภูมิพารามิเตอร์ (Parameter space) ซึ่งเป็นเซตที่เก็บวิธีการทุกแบบที่

เป็นไปได้ไว้ นอกจากการเคลื่อนที่ปกติแล้ว มดจำลองจะบันทึกเส้นทางที่ตัวเองเดินผ่านเอาไว้เหมือนมดในธรรมชาติที่จะปล่อยฟีโรโมนออกมาในระหว่างเดินทางเพื่อนำทางมดตัวอื่นด้วย การบันทึกเส้นทางนี้ช่วยให้มดจำลองสามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้เมื่อเวลาผ่านไป

### ระบบภูมิคุ้มกันทางประดิษฐ์

ระบบภูมิคุ้มกันทางประดิษฐ์ (Artificial immune system) ศึกษาเกี่ยวกับการนำโครงสร้างและหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันมาปรับใช้ในด้านคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และเทคโนโลยีสารสนเทศ

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบที่มีประจุ

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบที่มีประจุ (Charged system search) คือขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดที่สร้างขึ้นมาจากการนำกฎพื้นฐานของฟิสิกส์และกลศาสตร์บางข้อมาปรับใช้งาน<sup>[4]</sup> ระบบนี้จะจำลองสภาพแวดล้อมที่เอเจนต์เป็นอนุภาคที่มีประจุ ซึ่งจะมีปฏิสัมพันธ์กันในรูปแบบของการดูดและการผลัก ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบที่มีประจุนี้เหมาะกับการนำไปใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยเฉพาะเมื่อข้อมูลนำเข้าไม่ถู้ออก

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบนกคูเหว่า

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบนกคูเหว่า (Cuckoo search) เลียนแบบพฤติกรรมการฝากลูกให้คนอื่นเลี้ยงของนกคูเหว่าในแต่ละรุ่น มาปรับใช้ในการค้นหาคำตอบที่ต้องการ การศึกษาเร็ว ๆ นี้พบว่า CS ทำงานได้เร็วกว่าขั้นตอนวิธีอื่นอย่างเช่น PSO

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหิ่งห้อย

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหิ่งห้อย (Firefly algorithm) เป็นอีกหนึ่งขั้นตอนวิธีความฉลาดแบบกลุ่มที่ได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมการเปล่งแสงของหิ่งห้อย ความเข้มของแสงจะผูกกับความน่าดึงดูดของตัวหิ่งห้อย ซึ่งทำให้หิ่งห้อยตัวรอบ ๆ บินเข้าไปหา ก่อเกิดเป็นกลุ่มย่อย ๆ ดังนั้นขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหิ่งห้อยนี้จึงค่อนข้างเหมาะกับ โจทย์ปัญหาหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีผลเฉลยหลายแบบ แต่ก็สามารถนำไปประยุกต์กับปัญหาหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ข้อมูลนำเข้าเป็นค่าต่อเนื่องเช่นปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem)

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วง (Gravitational search algorithm) นั้นมีลักษณะคล้าย ๆ กับขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบที่มีประจุ โดยแตกต่างกันที่ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบที่มีประจุจะใช้กฎด้านไฟฟ้า ส่วนขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบโน้มถ่วงจะใช้กฎด้านแรงโน้มถ่วง เอเจนต์แต่ละตัวจะมีมวลต่างกัน ซึ่งเมื่อเลี้ยวเวลาผ่านไป เอเจนต์แต่ละตัวก็จะดึงดูดซึ่งกันและกัน ทำให้ระบบเคลื่อนที่ไป

### ขั้นตอนวิธีหาเส้นทางน้ำไหลที่เหมาะสม

ขั้นตอนวิธีหาเส้นทางน้ำไหลที่เหมาะสม (Intelligent Water Drops) คือขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ใช้ความฉลาดแบบกลุ่มซึ่งได้รับแรงบันดาลใจมาจากการไหลของน้ำในแม่น้ำที่จะเลือกเส้นทางการไหลที่ดีที่สุดเสมอ เอเจนต์แต่ละตัวจะมีปฏิสัมพันธ์กันเหมือนหยดน้ำในแม่น้ำ ซึ่งจะทำให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป ขั้นตอนวิธีหาเส้นทางน้ำไหลที่เหมาะสมนี้เป็นขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบเพิ่มพูนและอิงประชากร

### พลศาสตร์การก่อตัวของลำน้ำ

พลศาสตร์การก่อตัวของลำน้ำ (River formation dynamics)<sup>[8]</sup> คือวิธีการแบบฮิวริสติกที่คล้ายคลึงกับขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบบอณาจักรมด หรืออาจกล่าวได้ว่าพลศาสตร์การก่อตัวของลำน้ำคือขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบบอณาจักรมดที่ค่าต่าง ๆ ไล่ระดับได้ แนวคิดของวิธีการนี้ได้มาจากการกัดเซาะผืนดินของแม่น้ำในระหว่างการก่อตัว วิธีการนี้ยังได้ถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์หลาย ๆ อย่าง เช่น ปัญหาการค้นหาด้านไม้แป๋กวางน้อยที่สุดบนกราฟที่มีน้ำหนักแปรผันได้

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) เป็นขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ใช้ได้กับทุกปัญหาที่ผลเฉลยสามารถแทนด้วยจุดหรือระนาบบนปริภูมิขนาด  $n$  มิติ เอเจนต์จะถูกวางไว้ในปริภูมิพร้อมกับความเร็วต้นค่าหนึ่งและช่องทางในการติดต่อกับเอเจนต์อื่น<sup>[9][10]</sup> เอเจนต์จะเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ บนปริภูมิผลเฉลย โดยถ้าเอเจนต์ตัวใดเข้าใกล้ผลเฉลยก็จะยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น จึงควรให้เอเจนต์ตัวอื่น ๆ ค่อย ๆ เบนเส้นทางมาทางเดียวกัน ข้อดีหลักของขั้นตอนวิธีนี้ต่อขั้นตอนวิธีอื่นที่ใช้ได้กับทุกปัญหาคือขั้นตอนวิธีนี้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดสัมพัทธ์ (Local minima) ได้จากการที่สามารถมีจำนวนเอเจนต์มาก

### ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการแพร่เชิงสุ่ม

ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการแพร่เชิงสุ่ม (Stochastic diffusion search) คือขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดที่อาศัยความน่าจะเป็นในการแก้โจทย์ปัญหาประเภทที่ฟังก์ชันค่านำเข้าสามารถแยกย่อยเป็นฟังก์ชันย่อย ๆ ได้ เอเจนต์แต่ละตัวจะมีสมมติฐานของตัวเองว่าผลลัพธ์ใดถูกต้อง ซึ่งสมมติฐานนี้จะถูกทดสอบเรื่อย ๆ โดยนำเป้าหมายย่อยมาพิจารณา ในขั้นตอนวิธีแบบมาตรฐาน ฟังก์ชันย่อยแต่ละตัวสามารถให้ผลการทดสอบที่เป็นจริงหรือเท็จเท่านั้น ทำให้เอเจนต์แต่ละตัวมี 2 สถานะคือสถานะทำงานและสถานะไม่ทำงาน ข้อมูลของสมมติฐานจะถูกส่งผ่านไปยังเอเจนต์ตัวอื่นในแบบเดียวกับการแพร่ ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการแพร่เชิงสุ่มถือเป็นขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านการหาค่าเหมาะสมที่สุดตัวหนึ่ง

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย Ant Colony Optimization ที่ใช้ในปัญหา Vehicle Routing Problem แล้วจึงสรุปออกมดังนี้

**งานวิจัย Comparing the Multi Colony Ant System and Ant System methods for solving the Capacitated Vehicle Routing Problem** ได้กล่าวไว้ว่า ปริมาณการขนส่งสินค้าทางถนนเป็นหนึ่งในรูปแบบที่นิยมมากที่สุดนับเป็นสัดส่วน 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการขนส่งทั้งหมดภายในประเทศไทยซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ประกอบการประเทศไทยใช้ทางถนนเป็นเส้นทางหลักเพราะการขนส่งรูปแบบดังกล่าวสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วรวมถึงมีความสะดวกสบายกว่ารูปแบบการขนส่งอื่นๆ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบการขนส่งทางถนนกับรูปแบบอื่นสามารถเห็นได้ว่ามีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ามาก เช่นเมื่อเทียบกับการขนส่งทางทะเลโดยเรือหรือขนส่งด้วยรถไฟ ดังนั้นวิธีการลดต้นทุนจึงเป็นเรื่องจำเป็นสำหรับผู้ประกอบการ โดยวิธีการจัดวางแผนในการขนส่งที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนในจุดนี้ได้ อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆในการจัดเส้นทางขนส่ง เช่น จำนวนรถบรรทุกที่จำกัด ความติดขัดทางการจราจร ทำให้ส่งผลกระทบต่อการลดต้นทุนและสร้างความลำบากในการจัดการการขนส่ง ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นวิธีการแก้ปัญหาด้วยการใช้วิธีระบบหลายอาณานิคมมดซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีอาณานิคมมดทั่วไปเนื่องจากใช้มดหลายกลุ่มในการช่วยหาคำตอบโดยเก็บค่าฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Pheromone) แยกตามกลุ่มมดและใช้ฟีโรโมนส่วนกลาง (Global Pheromone) เพื่อแบ่งปันข้อมูลระหว่างกลุ่ม ระบบอาณานิคมมดใช้วิธีค้นหาเพื่อนบ้าน (Nearest neighbor search) ในการหาคำตอบเริ่มต้นเพื่อช่วยให้มดสามารถหาคำตอบที่ดีได้เร็วขึ้น ซึ่งในแต่ละครั้งของการหาคำตอบจะนำคำตอบของมดที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มไปแก้ไขด้วยวิธีสลับสองตำแหน่ง (2-Opt) หลังจากนั้นจึงนำคำตอบที่ได้ไปปรับค่าฟีโรโมนเฉพาะที่ ทำซ้ำจนกระทั่งทำการทำซ้ำตามที่กำหนดไว้และนำคำตอบที่ดีที่สุดไปใช้ในการจัดเส้นทางรถ

**งานวิจัย Ant Colony System (ACS) Algorithm for Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMVRPTW)** ได้กล่าวไว้ว่า การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะหลากหลายขนาดและมีกรอบเวลาจำกัดในการเดินทางเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความล่าช้าทางธุรกิจเพราะการขนส่งมีช่วงเวลาที่เฉพาะตัวเมื่อพาหนะขนส่งไม่สามารถเข้าถึงลูกค้าได้ก็ทำให้ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้อีกเลยภายในวันดังกล่าวและเนื่องจากปัญหาราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งสร้างภาระให้ผู้ประกอบการต้องใช้เงินลงทุนที่สูงขึ้นด้วยเหตุดังกล่าวผู้วิจัยจึงศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งที่ใช้สำหรับหาคำตอบในการวางแผนการเดินทางพาหนะที่เหมาะสมให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมุ่งเน้นไปในการลดเวลาในการเดินทางให้ได้มากที่สุดรวมเพื่อสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าโดยผู้วิจัยใช้ 1) วิธีหาคำตอบด้วยโปรแกรมลินโก (Lingo programming) ด้วยการใช้เครื่องมือสำคัญในการแก้ปัญหาเชิงเส้นตรง (Linear) รวมถึงไม่เชิงเส้นตรง (Non-linear) สามารถรับรองข้อจำกัด (Constraints) ในจุดนี้ได้สูงสุดถึง 32,000 ข้อจำกัดและรองรับตัวแปร (Variables) ได้ถึง



100,000 ตัวแปร และ 2) ระบบอานานิคมมดใช้หลักทฤษฎีตามธรรมชาติจากลักษณะพฤติกรรมของมดที่พยายามหาเส้นทางเพื่อขนส่งอาหารจากรังไปยังแหล่งอาหาร โดยมดแต่ละตัวจะทิ้งฟีโรโมน (Pheromone) ลงบนเส้นทางซึ่งเป็นสารเคมีที่บ่งบอกสถานะของการเคยผ่านทางของมดก่อนหน้านี้เอาไว้ซึ่งนอกจากสารดังกล่าวยังมีอัตราการระเหยที่เป็นหนึ่งข้อมูลสำคัญที่มดใช้เพื่อตัดสินใจการเลือกเดินในเส้นทางถัดไปโดยทั้งสองวิธีจะร่วมใช้การทำซ้ำเพื่อเทียบผลลัพธ์และนำมาค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการแก้ไขปัญหาคำถาม Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem and Time Windows นั่นเอง

**งานวิจัย Solving the Messenger problem using Large Neighborhood Search** ได้กล่าวไว้ว่าปัญหาต่างๆ ที่คล้ายคลึงกับปัญหาการรับส่งสินค้า (Pick up Delivery Problem; PDP) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาที่การจัดการเส้นทางเดินพาหนะ (Vehicle Routing Problem ;VRP) ที่ได้รับความสนใจและถูกศึกษาอย่างแพร่หลายในภายหลังซึ่งปัญหาดังกล่าวนั้นไปที่การจัดการเส้นทางเพื่อให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้รู้สึกพึงพอใจและยังเป็นการลดต้นทุนรวมถึงทรัพยากรที่ผู้ประกอบการทางธุรกิจต้องลงทุนในการส่งสินค้าเพียงอย่างเดียวด้วยวิธีที่มีประสิทธิภาพอีกด้วยดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีต่างๆ เช่น Exact Method Metaheuristics Large Neighborhood Search Metaheuristics ในการแก้ปัญหาโดยทุกครั้งที่ได้คำตอบจะมีกระบวนการทำซ้ำเพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบและนำคำตอบที่ดีที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหาต่อไป

### บทที่ 3

## Ant Colony Optimization for Solving Vehicle Routing Problems

ขั้นตอนอาณานิคมมดคือการเลียนแบบพฤติกรรมกรหาอาหารของมดซึ่งทุกครั้งที่มีมดออกมาหาอาหารไป-กลับเข้ารังจะทิ้งสารเคมีชนิดหนึ่งที่ชื่อ ฟีโรโมน (Pheromone) ไว้บนทางที่เดินผ่านเพื่อให้มดตัวอื่นสามารถเดินตามเส้นทางมาได้ และยังมีการระเหยของ ฟีโรโมน (Pheromone) ซึ่งทำให้เกิดความหลากหลายของเส้นทางเดินของมดมากขึ้น โดยมดมีแนวโน้มที่เลือกเส้นทางฟีโรโมนหนาแน่น ซึ่งวิธีดังกล่าวทำให้มดสามารถขนอาหารไปกลับรังอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดจากการเลือกเส้นทางที่สั้นและรวดเร็ว

### มดประดิษฐ์

มดประดิษฐ์จะถูกสร้างขึ้นมาให้เท่ากับจำนวนของเมืองที่มีอยู่ในการทำการทดลอง และมดแต่ละตัวจะสุ่มหาเมืองที่จะเดินต่อไปและทิ้ง ฟีโรโมนประดิษฐ์ ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นในแต่ละทางเดินที่แตกต่างกันและส่งผลให้มดในรุ่นต่อไปมีแนวโน้มในทิศทางการเดินทางที่แตกต่างกันไปทำให้มีโอกาสในการเพิ่มความหลากหลายและเกิดการเลือกเส้นทางที่รวดเร็วมากที่สุดเช่นกันจากสมมุติฐานที่ว่าถ้าเส้นทางที่มีฟีโรโมนสูงที่สุดในขณะนั้นจะทำให้มดในรุ่นถัดไปเลือกเดินทางดังกล่าวมากกว่าเส้นทางอื่นๆ

### ฟีโรโมนประดิษฐ์

เมื่อมดประดิษฐ์เดินทางจากเมืองหนึ่งสู่อีกเมือง จะทำการทิ้งฟีโรโมนประดิษฐ์เอาไว้สำหรับมดในรุ่นถัดไปและมดตัวอื่น ซึ่งค่าฟีโรโมนประดิษฐ์เริ่มต้นถูกตั้งค่าเอาไว้ที่ 1 ในทุกๆเส้นทาง สำหรับมดประดิษฐ์ในรุ่นที่ 1 และในรุ่นถัดๆไปจะมีการอัปเดตฟีโรโมนเพื่อให้เกิดความหลากหลายของเส้นทางและหาเส้นทางที่รวดเร็วมากที่สุด

### การคำนวณระยะทางต่อเมือง

ในการหาระยะทางต่อเมืองจึงต้องนำระยะทางของแต่ละเมืองมาลบออกเพื่อให้ได้ค่าของระยะทางต่อเมืองออกมา ค่าดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เพื่อหาความน่าจะเป็นที่มดประดิษฐ์จะเลือกเดินต่อไปโดยจะใช้ร่วมกับค่าฟีโรโมนประดิษฐ์ในการคำนวณด้วย

## การหาความเป็นไปได้ของมดที่จะเดินในจุดต่อไป

### ด้วยวิธี Edge Selection

$$p_{xy}^k = \frac{(\tau_{xy}^\alpha)(\eta_{xy}^\beta)}{\sum_{z \in \text{allowed}_x} (\tau_{xz}^\alpha)(\eta_{xz}^\beta)}$$

- $P$  (Probability) คือ ความเป็นไปได้ที่มดตัวที่  $k$  จะเดินจากจุด  $x$  ไปจุด  $y$
- $T$  (Pheromone) คือ เมื่อมดแต่ละตัวเดินผ่านจะทิ้งฟีโรโมน ส่งผลให้มดตัวต่อไปมีแนวโน้มที่จะเดินตามตัวก่อนหน้า
- $n(1/d)$  คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความสำคัญของระยะทาง ยิ่งระยะทางมากทำให้  $n$  มีค่าน้อย และ ยิ่งระยะทางน้อยทำให้  $n$  มีค่ามาก
- $a$  คือ ค่าที่กำหนดความสำคัญของ  $T$  (Pheromone);  $a \geq 0$
- $B$  คือ ค่าที่กำหนดความสำคัญของ  $n(1/d)$ ;  $B \geq 0$  และ  $B$  ควรจะมากกว่าหรือเท่ากับ  $a$

## การอัปเดตฟีโรโมน

### ด้วยวิธี Pheromone update

$$\tau_{xy} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{xy} + \sum_k^m \Delta\tau_{xy}^k$$

- $T_{xy}$  คือ ปริมาณของฟีโรโมนประดิษฐ์ (Pheromone) ที่สะสมไว้ของมดแต่ละตัวที่เดินผ่าน
- $p$  ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยของฟีโรโมนประดิษฐ์ (Pheromone)
- $m$  คือ จำนวนมดประดิษฐ์
- $T_{xy}^k$  คือ ฟีโรโมนประดิษฐ์ (Pheromone) ที่มดประดิษฐ์แต่ละตัวทิ้งไว้

$$\Delta\tau_{xy}^k = \begin{cases} Q/L_k & \text{if ant } k \text{ uses curve } xy \text{ in its tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- $Q/L_k$  คือ  $Q$  : ค่าคงที่ และ  $L_k$  : ระยะทางที่สั้นที่สุดของมดตัวที่เดินในแต่ละรุ่น
- $0$  คือ เส้นทางที่ไม่ได้ถูกเลือกจะไม่ได้รับการอัปเดตฟีโรโมนประดิษฐ์
- $\Delta T_{xy}^k$  คือ เงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณ

## การเพิ่มรุ่นของมด

เป็นวิธีการทำขั้นตอนทั้งหมดซ้ำใหม่อีกครั้งซึ่งในแต่ละรุ่นของมดอาจมีความต่างกันในส่วนที่เดิน เพราะว่าค่าฟีโรโมนตั้งแต่รุ่นที่ 2 เป็นต้นไปจะถูกแทนที่จากรุ่นก่อนทุกครั้งโดยทำให้มดรุ่นถัดมาสามารถเลือกเดินทางที่สร้างระยะทางที่สั้นได้มากขึ้นเพราะว่าการที่ค่าฟีโรโมนสูงในเส้นทางนั้นๆมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นทางที่มดนิยมเลือกเดินและหมายถึงระยะทางที่สั้นมากที่สุด

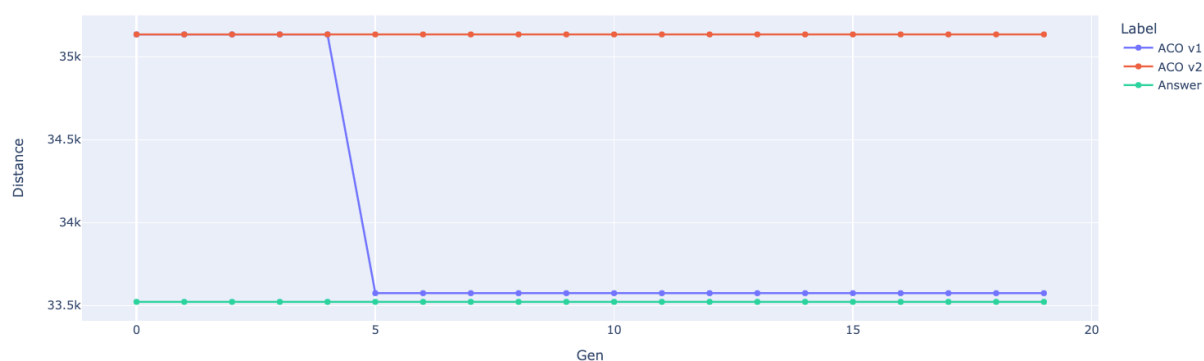
## ขั้นตอนการทำ

1. ทำการสุ่มมดแต่ละตัวไว้ในจุดต่างๆของแต่ละเมืองซึ่งจะใช้วิธีดังกล่าวในทุกรุ่น
2. กำหนดจำนวนรุ่นและให้มดเริ่มเดินไปในแต่ละเมืองจนครบเมืองที่กำหนด
3. เมื่อจบการทำงานในแต่ละรุ่นจะมีการอัปเดตฟีโรโมน 2 วิธีคือ
  - 3.1) ในแต่ละรุ่นจะอัปเดตฟีโรโมนด้วยมดที่เดินระยะทางสั้นที่สุด
  - 3.2) ในแต่ละรุ่นจะอัปเดตทุกเส้นทางที่มดทุกตัวเดินผ่าน

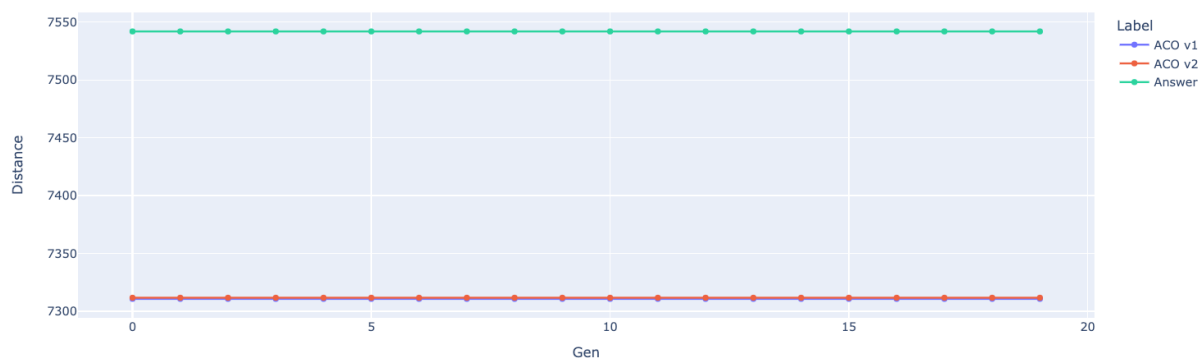
## บทที่ 4

### ผลการทดลองเบื้องต้น

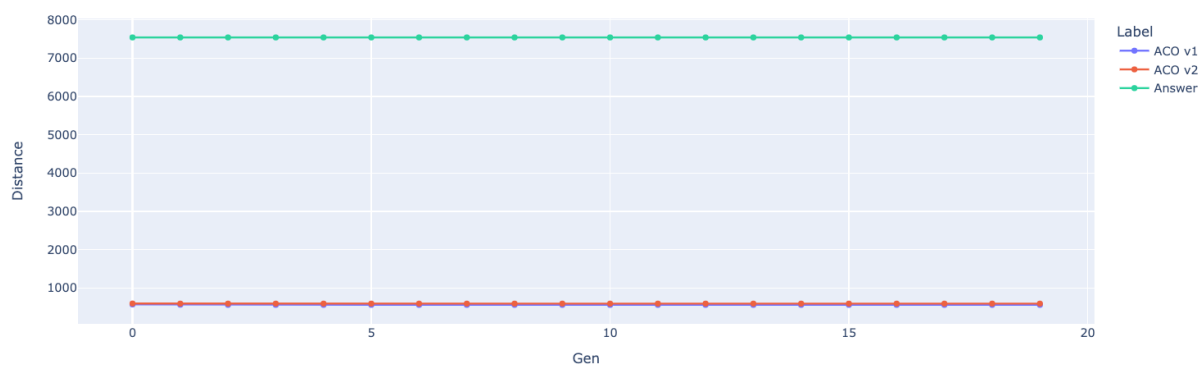
เนื้อหาในส่วนนี้เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึม 2 แบบ และใช้ข้อมูล 6 แบบในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม เพื่อวัดผลว่าอัลกอริทึมแบบไหนมีประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมกว่าระหว่าง อัลกอริทึมแบบที่ 1 (การอัปเดตฟีโรโมนด้วยระยะทางที่ดีที่สุดของแต่ละรุ่น) และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 (การอัปเดตอัปเดตฟีโรโมนด้วยระยะทางที่มดทุกตัวเดินผ่านในแต่ละรุ่น)



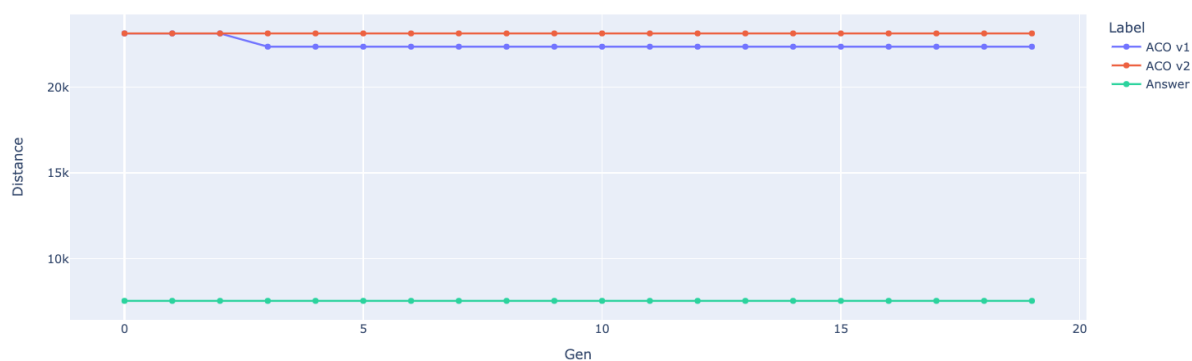
รูปที่ 1 เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล att48



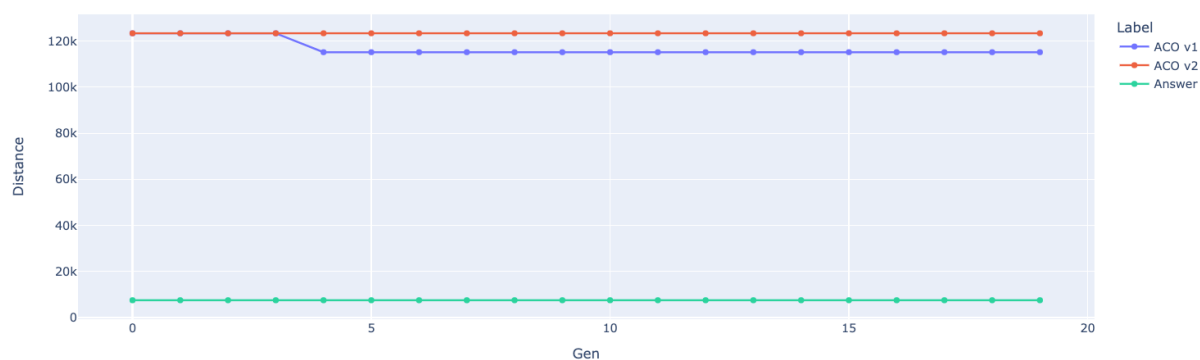
รูปที่ 2 เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล berlin 52



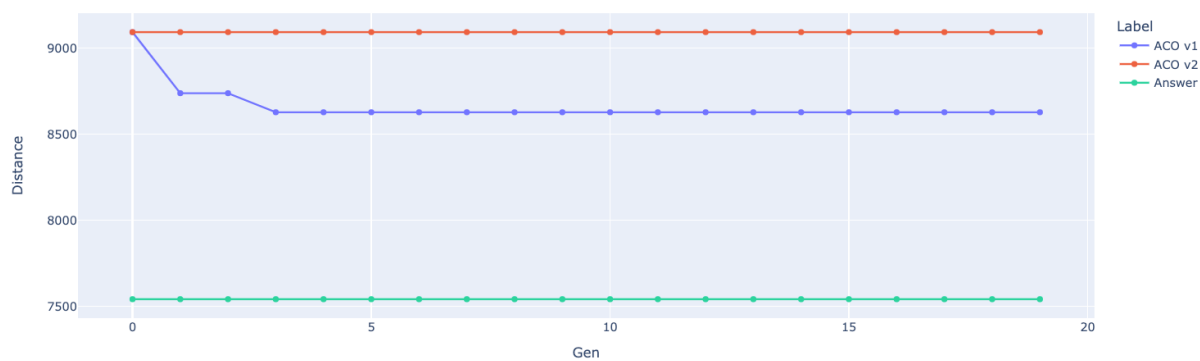
รูปที่ 3 เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล cil76



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล kroA100



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล pr76



รูปที่ 6 เปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบที่ 1 และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 โดยใช้ข้อมูล rd100

## บทที่ 5

### บทสรุป

จากผลการทดลองนี้พบว่าอัลกอริทึมทั้ง 2 แบบ ได้แก่ อัลกอริทึมแบบที่ 1 (การอัปเดตฟีโรโมนด้วยระยะทางที่ดีที่สุดของมดแต่ละรุ่น) และ อัลกอริทึมแบบที่ 2 (การอัปเดตอัปเดตฟีโรโมนด้วยระยะทางที่มดทุกตัวเดินผ่านในแต่ละรุ่น) ในแต่ละรุ่นของมดจะจดเฉพาะจุด Local Optimum แต่ไม่เจอจุด Global Optimum และไม่เกิดการเดินที่หลากหลายของมด

ตารางที่ 1 อัลกอริทึมแบบที่ 1

Instance	Generations	Ants	$\alpha$	$\beta$	$\rho$	Q	Distance	BKS
att48	20	48	3	3	0.02	100	33,574.410328	33,522
berlin52	20	52	3	3	0.02	100	7,310.669645	7,52
eil76	20	76	3	3	0.02	100	560.572669	538
kroA100	20	100	3	3	0.02	100	22,364.284175	21,282
pr76	20	76	3	3	0.02	100	115,185.735514	108,159
rd100	20	100	3	3	0.02	100	8,628.264068	7,910

ตารางที่ 2 อัลกอริทึมแบบที่ 2

Instance	Generations	Ants	$\alpha$	$\beta$	$\rho$	Q	Distance	BKS
att48	20	48	3	3	0.02	100	35135.455097	33,522
berlin52	20	52	3	3	0.02	100	7310.669645	7,52
eil76	20	76	3	3	0.02	100	568.827745	538
kroA100	20	100	3	3	0.02	100	23137.514597	21,282
pr76	20	76	3	3	0.02	100	123389.070456	108,159
rd100	20	100	3	3	0.02	100	9093.716611	7,910



## แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาอัลกอริทึมเพื่อให้สามารถหาจุด Global Optimum ได้
2. พัฒนาอัลกอริทึมเพื่อให้สามารถเกิดความหลากหลายของการเดินของมดในแต่ละรุ่น

## บรรณานุกรม

[1]ดร. คณน สุจาวี. “Ant Colony optimization.”

Available : <https://www.gotoknow.org/posts/99496.2007>.

[2]จากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.”

Available : [Wikipedia website](#)

[3]จากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “ความฉลาดแบบกลุ่ม.”

Available : [Wikipedia website](#)

[4]จากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “Ant colony optimization algorithms.”

Available : [Wikipedia website](#)

[5]James Le . “Using Ant Colony and Genetic Evolution to Optimize Ride-Sharing Trip Duration.”

Available : [Medium website](#)

[6]Muhammad L. Shahab, Titin J. Ambarwati, Soetrisno and Mohammad I. Irawan . “A Genetic Algorithm with Best Combination Operator for the Traveling Salesman Problem.”

Available : Article file

[7]อุดม จันทร์จรัสสุข และ กิตติโรจน์ สันติฐายี. “Comparing the Multi Colony Ant System and Ant System methods for solving the Capacitated Vehicle Routing Problem.”

[8]สุพรรณ สดสนธิ อติศักดิ์ สิงห์สังข์ถำ ชราวุฒิ น้อยทะรงค์ และ ขงยุทธ จันรอง. “Ant Colony System (ACS) Algorithm for Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMVRPTW).”

[9]ธนาวัดน์สิทธิสันติกุล. “Solving the Messenger problem using Large Neighborhood Search.”