

การประยุกต์ใช้ระบบอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

Adaptation of Ant Colony System for Solving Vehicle Routing Problem

กัญจน์ฉา โภคอุดม, นิกร โภคอุดม, ชลาธิป ทุมกานนท์ และทัศนีย์ ปล้องแก้ว

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ระยะทางในการขนส่งสินค้าที่สั้น ใช้จำนวนรถในการขนส่งแต่ละครั้งน้อย โดยระบบต้องสามารถรองรับบรรจุภัณฑ์ของสินค้าได้หลากหลายขนาด คำตอบที่ได้ประกอบกันขึ้นเป็นรอบของการเดินทางที่สมบูรณ์มีจุดเริ่มต้นและจุดจบที่ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ในการทดลองใช้จำนวนมดที่ 30, 40, ..., 100 ตัว เพื่อค้นหาจำนวนมดที่ดีที่สุด จำนวนรอบสูงสุดในการทดลองกำหนดไว้ที่ 5,000 รอบ ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถค้นหาเส้นทางขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง, ระบบอาณานิคมมด

Abstract

This paper presents the process of Ant Colony System (ACS) for solving vehicle routing problem. It aims at shortening the distance of transportation, reducing the number of transporting vehicles, and the system must support multiple package sizes. The answer consists of a complete cycle of journey which the beginning and end of the route is the depot. The experiments, we used amount of ants 30, 40, ..., 100 to find out the optimal number of ant. The maximum iteration is set to 5,000. The result of this experiment indicates the effective management of transportable routing.

Keywords: vehicle routing problem, ant colony system

ความนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่มีจำนวนรอบของการเดินทางมากกว่าหนึ่งรอบ (Vehicle Routing Problem--VRP) เป็นปัญหาที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า (depot) ไปยังร้านค้าปลีกย่อย ซึ่งร้านค้าปลีกย่อยสามารถส่งสินค้าในปริมาณที่แตกต่างกันไป โดยเส้นทางในการขนส่งมีให้เลือกหลากหลายเส้นทาง ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดด้านปริมาณสินค้าที่สามารถบรรทุกได้ต่อ 1 คันรถ ซึ่งทำให้ต้องพิจารณาเส้นทางในการขนส่งมากกว่า 1 รอบ หรือต้องใช้รถในการขนส่ง

มากกว่า 1 คัน เป้าหมายของการจัดเส้นทางขนส่งคือ จะต้องจัดส่งสินค้าให้ครบตามปริมาณสินค้าของทุกร้านค้าที่ส่ง โดยพยายามลดต้นทุนที่ต้องใช้ในการเดินทาง ซึ่งทำได้โดยการลดระยะทางในการขนส่งและจำนวนรถที่ใช้ โดยพิจารณาภายใต้ข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้าต่อ 1 คันรถ

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าเป็นปัญหาที่ต้องมีการพิจารณาว่าจะต้องจัดอย่างไรให้ได้เส้นทางที่เหมาะสม จึงจัดเป็นปัญหาด้านความเหมาะสม (optimization problem) ปัญหาหนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยศาสตร์ทาง

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence--AI) อาทิ กระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithm--GA) ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System--ACS) ในงานวิจัยที่ผ่านมา (กัญจน์นิชา, นิกร และพิมลอร, 2557) มีการนำกระบวนการทางพันธุศาสตร์มาปรับใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์เป็นเส้นทางรวมที่สั้น แต่ระบบที่ออกแบบสามารถรองรับขนาดบรรจุภัณฑ์สินค้าได้เพียงขนาดเดียว ในขณะที่งานวิจัย (Dorigo & Gambardella, 1997) ได้ทำการพิสูจน์ให้เห็นว่าระบบอาณานิคมมดสามารถพัฒนาประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของปัญหาได้ดีกว่ากระบวนการทางพันธุศาสตร์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงขอนำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบอาณานิคมมดในการแก้ปัญหการจัดเส้นทางการเดินทางที่สามารถให้ผลลัพธ์เป็นระยะทางรวมที่สั้นและสามารถรองรับขนาดของบรรจุภัณฑ์สินค้าได้หลากหลายขนาด โดยพัฒนาด้วยโปรแกรมภาษา Visual C#.NET

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางการเดินทางโดยใช้ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System--ACS) ให้ได้ผลลัพธ์เป็นระยะทางรวมที่สั้น ใช้จำนวนรอบ (จำนวนรอบ) ในการขนส่งน้อย โดยระบบต้องสามารถรองรับขนาดบรรจุภัณฑ์ของสินค้าได้หลากหลายขนาด

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System--ACS) ลักษณะทางธรรมชาติของมดที่อาศัยอยู่ร่วมกัน พวกมดสามารถค้นหาเส้นทางเดินทางที่สั้นที่สุดระหว่างแหล่งอาหารกับรังของมัน โดยระหว่างการเดินมดทุกตัวจะทิ้งฟีโรโมนไว้บนพื้น ซึ่งฟีโรโมนนั้นมีกลไกการระเหย (Evaporation) หรือลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ในการเดินมดจะเดินตามฟีโรโมนที่ถูกทิ้งโดยมดตัวก่อนหน้า การหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดโดย

ใช้ฟีโรโมนสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อเริ่มออกเดินทางมดจำเป็นจะต้องตัดสินใจว่าจะเดินไปตามเส้นทางใดระหว่างแต่ละเส้นทางที่เป็นไปได้ในการเดินทางไปหาเป้าหมายและเดินย้อนกลับมา และเนื่องจากยังไม่มีร่องรอยใดที่แสดงให้เห็นว่าเส้นทางไหนดีกว่ากัน พวกมดครั้งหนึ่งจะเลือกไปทางเส้นทางหนึ่ง ส่วนอีกครั้งหนึ่งจะเดินไปในเส้นทางที่เหลือ สมมติว่ามดทุกตัวเดินด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน ฟีโรโมนที่ถูกปล่อยและเกิดการสะสมอย่างรวดเร็ว ในเส้นทางที่ใกล้กว่ามดจะใช้เวลาในการเดินทางไป-กลับสั้นกว่าทำให้ปริมาณฟีโรโมนมีการระเหยออกไปน้อยกว่าเส้นทางที่ไกลกว่า เมื่อมดตัวอื่นๆ ที่เหลือเดินมาถึงจุดที่ต้องทำการตัดสินใจเลือกเส้นทางมันจึงสามารถรับรู้ได้ถึงปริมาณฟีโรโมนที่หนาแน่นกว่าของเส้นทางที่สั้นกว่า

ระบบอาณานิคมมด (ant colony system) ถูกนำเสนอโดย (Dorigo & Gambardella, 1997) และ (Dorigo, Birattari & Stutzle, 2006) โดยจำลองมาจากลักษณะทางธรรมชาติในการค้นหาเส้นทางของระบบมด (Ant System--AS) (Dorigo, Maniezzo & Colomi, 1996) โดยได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากระบบมดให้สามารถแก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งทำโดยการเพิ่มการทำงานจากระบบมดในส่วนของปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update) การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update) และกระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไปของมด

2. ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า ปัญหาการขนส่งสินค้าที่มีจำนวนรอบการขนส่งมากกว่าหนึ่งรอบหรือต้องใช้จำนวนรอบในการขนส่งมากกว่า 1 คัน โดยมีจำนวนสินค้าที่สั่งซื้อในปริมาณที่แตกต่างกันในหลากหลายขนาด คำตอบของปัญหาที่ต้องการคือเส้นทางรวมของการขนส่งสินค้าที่สั้นที่สุด ทั้งนี้รอบการขนส่งจะถูกจำกัดด้วยปริมาณสินค้าที่รถสามารถบรรทุกได้ โดยจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเดินทางคือศูนย์

กระจายสินค้า (depot) ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตของปัญหาดังนี้

2.1 ขอบเขตของปัญหา

จำนวนลูกค้าที่ใช้ในการจัดเส้นทาง 1 ครั้ง มีไม่เกิน 30 ราย

- บรรจุภัณฑ์ของสินค้ามี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยสามารถระบุอัตราส่วนระหว่างขนาดของบรรจุภัณฑ์ได้ เช่น

- บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ 1 กล่อง มีขนาด เทียบเท่ากับบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก 4 กล่อง

- บรรจุภัณฑ์ขนาดกลาง 1 กล่อง มีขนาด เทียบเท่ากับบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก 2 กล่อง

- รถขนส่งทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ใน

ปริมาณจำกัดเท่ากัน โดยความสามารถในการบรรทุกจะระบุเป็นจำนวนกล่องของบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก

- ลูกค้าแต่ละรายสามารถสั่งสินค้าได้ในปริมาณ ไม่จำกัด

2.2 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางรถ

การวางแผนจัดเส้นทางรถส่งสินค้าจำเป็นต้องทราบระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายกับศูนย์กระจายสินค้า (depot) ตัวอย่างของระยะทางระหว่างลูกค้าจำนวน 5 ราย คือ ลูกค้า A, B, C, D และ E และศูนย์กระจายสินค้าแสดงดังตาราง 1

ตาราง 1

ระยะทางระหว่างลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า (กิโลเมตร)

ลูกค้า	A	B	C	D	E	DEPOT
A	0	5.7	7.5	9.62	12	6.71
B	5.7	0	2.5	5	9.62	7.91
C	7.5	2.5	0	2.5	7.5	7.5
D	9.62	5	2.5	0	5.7	7.91
E	12	9.62	7.5	5.7	0	6.71
DEPOT	6.71	7.91	7.5	7.91	6.71	0

ในตัวอย่างนี้กำหนดให้รถบรรทุกสินค้าสามารถบรรทุกสินค้าได้ 20 กล่องเล็กต่อ 1 คันรถและกำหนดขนาดสินค้า 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก กลางและใหญ่ ดังนี้

- สินค้าขนาดใหญ่ 1 กล่อง เทียบเท่ากับ สินค้าขนาดเล็ก 4 กล่อง

- สินค้าขนาดกลาง 1 กล่อง เทียบเท่ากับ

สินค้าขนาดเล็ก 2 กล่อง

โดยลูกค้าแต่ละรายมีการสั่งสินค้าในปริมาณที่แตกต่างกันตามขนาดต่างๆ ของสินค้านี้ดังตาราง 2

ตาราง 2

ปริมาณการสั่งสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	สินค้า (กล่อง)			
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	รวมเป็นขนาดเล็ก
A	3	1	1	9
B	1	1	2	11
C	5	2	1	13
D	3	1	0	5
E	5	5	0	15

สมมติฐานการวิจัย

ระบบอาณานิคมมดสำหรับการจัดเส้นทาง การเดินทางส่งสินค้า สามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ให้ระยะทางรวมที่สั้น ใช้จำนวนรถในการขนส่งน้อย และสามารถรองรับขนาดของบรรจุภัณฑ์สินค้าได้หลากหลายขนาด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบระบบอาณานิคมมด

1.1 ค่าเป้าหมายของมด

การวัดค่าเป้าหมายของมดคำนวณจากระยะทางรวมของรถทุกคันที่ใช้ในการขนส่ง การคำนวณเป็นไปดังสมการที่ (1) ทั้งนี้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด (O_{best}) คือค่าเป้าหมายที่มีค่าน้อยที่สุด

$$O = \sum_{m=1}^S \sum_{n=1}^{N_m} d_{mn} \quad (1)$$

เมื่อ m คือลำดับของเส้นทาง, n คือลำดับของลูกค้า, S คือจำนวนเส้นทางหรือจำนวนรถทั้งหมด, N_m คือจำนวนลูกค้าทั้งหมดบนเส้นทางของรถคันที่ m และ d_{mn} คือ

ระยะทางจากจุดก่อนหน้ามายังลูกค้า n บนเส้นทางของรถคันที่ m

1.2 การออกแบบตารางฟีโรโมน

ตารางฟีโรโมนถูกออกแบบโดยลูกค้าแต่ละรายจะแบ่งออกเป็น 2 โหนด ได้แก่

1.2.1 โหนดคัดรถ คือ โหนดที่เมื่อมดเลือกเส้นทางไปแล้วจะได้เส้นทางจบสำหรับรถ 1 คัน กล่าวคือต้องเดินทางกลับ DEPOT เพื่อที่มดจะได้เลือกโหนดใหม่ (ลูกค้าที่จะส่งรายถัดไปสำหรับรถคันใหม่)

1.2.2 โหนดไม่คัดรถ คือ โหนดที่มดเลือกแล้วยังสามารถเลือกเดินทางไปยังโหนดถัดไป (ลูกค้าที่จะส่งรายถัดไป) ได้ต่อ

เมื่อมดเลือกโหนดคัดรถหรือไม่คัดรถของเมือง (ลูกค้า) ใดแล้ว เมืองนั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณาเลือกอีก ตัวอย่างตารางฟีโรโมนสำหรับลูกค้า 5 ราย แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งโหนด i คือโหนดของลูกค้า (ตัด, ไม่ตัด) ปัจจุบันที่มดอยู่ ส่วนโหนด j คือโหนดของลูกค้า (ตัด, ไม่ตัด) ถัดไปที่มดจะเลือกเดิน

ตาราง 3

ตารางฟีโรโมน (τ_{ij})

โหนด i \ โหนด j		A		B		C		D		E	
		ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด
DEPOT		0.1	0.1	0.1	0.12	0.12	0.13	0.06	0.11	0.1	0.1
A	ตัด	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.06	0.1	0.1
	ไม่ตัด	0	0	0.1	0.1	0.1	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1
B	ตัด	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1
	ไม่ตัด	0.1	0.12	0	0	0.1	0.1	0.1	0.06	0.1	0.1
C	ตัด	0.1	0.06	0.1	0.1	0	0	0.11	0.1	0.1	0.1
	ไม่ตัด	0.1	0.1	0.12	0.1	0	0	0.1	0.1	0.11	0.1
D	ตัด	0.1	0.1	0.11	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1
	ไม่ตัด	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12	0.1	0	0	0.1	0.1
E	ตัด	0.1	0.1	0.12	0.1	0.1	0.1	0.12	0.1	0	0
	ไม่ตัด	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0

2. สมการคำนวณของระบบอาณานิคมมด

2.1 ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น

ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น (τ_0) คำนวณจากค่า

เป้าหมายที่ดีที่สุด (O_{best}) ตามสมการที่ (2)

$$\tau_0 = \frac{1}{O_{best}} \quad (2)$$

โดยค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด (O_{best}) ได้มาจากมดตัวที่ดีที่สุดซึ่งก็คือมดที่เดินแล้วให้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด

2.2 กระบวนการตัดสินใจเลือกตำแหน่งถัดไป

การตัดสินใจเลือกตำแหน่ง j (ตำแหน่งถัดไป)

เป็นไปตามสมการที่ (3) ถ้า $q \leq q_0$ จะเลือกเส้นทางที่มีค่าฟีโรโมนที่มากหรือดีที่สุด แต่ถ้า $q > q_0$ มดก็จะทำการเลือกเมือง (ตำแหน่งโหนดของลูกค้า) J โดยเลือกจากค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทางที่เป็นไปได้ด้วยสมการการส่งผ่านหรือค่าความน่าจะเป็น P_{ij}^k ส่วนการเลือกตำแหน่งโหนดของลูกค้า J ถัดไปนั้น จะพิจารณาจากเซต S^p ซึ่งเป็นกลุ่มของโหนดที่มดตัวที่ k ยังไม่ได้

เลือกเดินไป โดยการเลือกเดินนั้นจะอาศัยความน่าจะเป็น

P_{ij}^k (ค่าความน่าจะเป็นที่ลูกค้าแต่ละรายจะถูกเลือก) ของ

แต่ละเมืองมาเป็นข้อมูลในการเลือกและค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละเมืองจะถูกเลือกกำหนดให้มีการคำนวณดัง

สมการที่ (4)

$$j = \begin{cases} \operatorname{argmax}_{C_{il} \in N(s^p)} \{\tau_{ij}^\alpha\} \\ J \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha}{\sum_{C_{il} \in N(s^p)} \tau_{ij}^\alpha} & \text{ถ้า } q \geq q_0 \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ C_{il} คือเส้นทางใดๆ ที่มดตัวที่ k สามารถเลือกเดินได้, N คือเซตของเส้นทางจากโหนดปัจจุบันไปยังโหนดอื่น ซึ่งเป็นลูกค้าที่มดตัวที่ k ยังไม่ได้เลือกเดินไป, S^p คือกลุ่มของโหนด (ตัด, ไม่ตัด) ที่มดตัวที่ k ยังไม่ได้เลือกเดินไป, i คือโหนดของลูกค้า (ตัด, ไม่ตัด) ปัจจุบันที่มดอยู่ และ j คือโหนดของลูกค้า (ตัด, ไม่ตัด) ถัดไปที่จะเลือกเดิน

2.3 การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ (Local Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณจะกระทำโดยมดทุกตัว โดยจะปรับปรุงในทุกเส้นทางที่มดแต่ละตัวได้เลือกตำแหน่งเมือง j ถัดไป ในขณะที่ปัจจุบันมดอยู่ที่ตำแหน่งเมือง i โดยปริมาณฟีโรโมนบนด้านที่เชื่อมต่อระหว่างเมือง (i, j) จะถูกปรับปรุงด้วยสมการที่ (5)

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \varphi \cdot \tau_0 \quad (5)$$

เมื่อ τ_0 คือค่าเริ่มต้นของฟีโรโมน φ คือค่าสัมประสิทธิ์การเสื่อมสลายของฟีโรโมนเฉพาะบริเวณ ซึ่ง $\varphi \in (0, 1]$

การปรับปรุงฟีโรโมนในระดับเฉพาะบริเวณของระบบอาณานิคมมด มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเส้นทางที่มีจำนวนมดผ่านมากมีค่าของฟีโรโมนในเส้นทางนั้นมากเกินไปจนทำให้เส้นทางอื่นมีโอกาสดูถูกเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อมดเดินผ่านมายังด้านใดๆ ก็จะทำให้การปรับปรุงค่าฟีโรโมนเฉพาะบริเวณเพื่อลดระดับฟีโรโมนบนด้านนี้ให้มีความน่าสนใจน้อยลง จึงทำให้มดตัวอื่นในฝูงมีโอกาสที่จะสำรวจเส้นทางใหม่ๆ หรือค้นพบเส้นทางที่แตกต่างกันออกไปได้

2.4 การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบ (Global Pheromone Update)

การปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบเป็นการเพิ่มระดับฟีโรโมนเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานในแต่ละรอบ (เมื่อมดทุกตัวเดินทางครบแล้ว) โดยจะเพิ่มฟีโรโมนเฉพาะเส้นทางเดินของมดตัวที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น สมการการปรับปรุงค่าฟีโรโมนครอบคลุมทั้งระบบแสดงดังสมการที่ (6)

$$\tau_{ij} \leftarrow \begin{cases} (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta \tau_{ij} & \text{ถ้า } (i, j) \text{ เป็นเส้นทางที่ทำให้} \\ \tau_{ij} & \text{ค่า } O_{best} \text{ ที่ดีที่สุด,} \end{cases} \quad (6)$$

เมื่อ $\Delta \tau_{ij} = 1 / O_{best}$

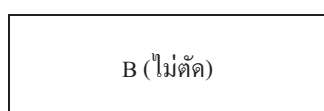
3. การพิจารณาเลือกทางเดินของระบบอาณานิคมมด

การเดินทางของมดจะเริ่มต้นจากโหนด DEPOT ไปยังโหนดของลูกค้า (ตัด, ไม่ตัด) แต่ละราย โดยมดจะนำค่าฟีโรโมนของโหนด DEPOT ที่เดินทางไปยังลูกค้าแต่ละราย มาพิจารณาในการตัดสินใจเลือกเดิน (เป็นไปตามสมการที่ (3) และ (4) และเมื่อเดินทางไปยังลูกค้า (ตัด, ไม่ตัด) แล้วก็จะทำการลบโหนดของลูกค้าที่เดินทางไปแล้วออกจากการเลือกเดินทางในครั้งถัดไป

การเลือกข้อต่อที่ 1 เริ่มต้นมดจะเดินทางจากตำแหน่งของโหนด DEPOT (i) และต้องพิจารณาเลือกโหนดของลูกค้า (j) รายถัดไป โดยมดเลือกเดินทางไปยังโหนดของลูกค้า (B, ไม่ตัด)

โหนด j \ โหนด i	A		B		C		D		E	
	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด
DEPOT	0.1	0.1	0.1	0.12	0.12	0.13	0.06	0.11	0.1	0.1

ภาพ 1 การเลือกข้อต่อที่ 1



ภาพ 2 แสดงข้อต่อที่ 1

การเลือกข้อต่อที่ 2 โหนดปัจจุบันที่มียูคือ
โหนดของลูกค้า (B, ไม่ตัด) และต้องพิจารณาเลือกโหนด

ของลูกค้า (j) รายถัดไปที่เหลือ โดยมดเลือกเดินทางไปยัง
โหนดของลูกค้า (C, ตัด)

โหนด j โหนด i		A		C		D		E	
		ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด
B	ไม่ตัด	0.1	0.12	0.1	0.1	0.1	0.06	0.1	0.1

ภาพ 3 การเลือกข้อต่อที่ 2

B (ไม่ตัด)	C (ตัด)
------------	---------

ภาพ 4 แสดงข้อต่อที่ 2

กรณีที่มีมดเลือกเดินทางไปแล้วทำให้การบรรทุกสินค้า
เกินขนาดของปริมาณการบรรทุกของรถหนึ่งคัน ระบบ
จะเปลี่ยนสถานะของลูกค้าที่ทำการเลือกจากไม่ตัดรถ
เป็นตัดรถของลูกค้าในโหนดก่อนหน้าที่ยังบรรทุกจะ
บรรทุกเกิน ซึ่งในที่นี้คือโหนด B ดังนั้นโหนด B จะ

เปลี่ยนจากสถานะไม่ตัดเป็นตัดและต้องเดินทางกลับ
DEPOT ซึ่งจะได้เป็นเส้นทางของรถคันที่ 1 ส่วนใน
ตำแหน่งโหนดของลูกค้า (C, ตัด) ที่มีมดได้เลือกเดินไป
แล้วก็ยังคงสถานะของโหนดนั้นอยู่และต้องเดินทาง
กลับ DEPOT ซึ่งจะได้เส้นทางของรถคันที่ 2

B (ตัด)	C (ตัด)
---------	---------

ภาพ 5 แสดงข้อต่อที่ 2 เมื่อ B เปลี่ยนสถานะจากไม่ตัดเป็นตัด

การเลือกข้อต่อที่ 3 ตำแหน่งปัจจุบันที่มดอยู่คือโหนด
ของลูกค้า (C, ตัด) และต้องพิจารณาเลือกโหนดของ
ลูกค้า (j) รายถัดไปที่เหลือ โดยมดเลือกเดินทางไปยัง

โหนดของลูกค้า (A, ตัด) และต้องเดินทางกลับ DEPOT
ซึ่งจะได้เส้นทางของรถคันที่ 3

โหนด j โหนด i		A		D		E	
		ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด	ตัด	ไม่ตัด
A	ตัด	0.1	0.12	0.1	0.06	0.1	0.1

ภาพ 6 การเลือกข้อต่อที่ 3

B (ตัด)	C (ตัด)	A (ตัด)
---------	---------	---------

ภาพ 7 แสดงข้อต่อที่ 3

ทั้งนี้ระบบอานานิคมจะดำเนินการเลือกซื้อต่อเช่นนี้ ไปจนกว่าจะครบตามจำนวนลูกค้า โดยในข้อต่อสุดท้าย ที่เลือกจะต้องเปลี่ยนเป็นโหนดตัดเสมอเนื่องจากจะต้อง

เดินทางกลับ DEPOT รูปที่ 8 แสดงข้อต่อทั้ง 5 และผลของการจัดเส้นทางของรถแต่ละคัน

B (ตัด)	C (ตัด)	A (ตัด)	E (ไม่ตัด)	D (ตัด)
รถคันที่ 1	รถคันที่ 2	รถคันที่ 3	รถคันที่ 4	

ภาพ 8 แสดงข้อต่อทั้ง 5 และผลของการจัดเส้นทางของรถแต่ละคัน

4. การออกแบบการทดลอง ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัย ได้ออกแบบการทดลองออกเป็น 6 การทดลอง โดยใช้ชุดข้อมูลในการทดลองจำนวน 5 ชุด ที่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของจำนวนลูกค้า ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อ ปริมาณจำกัดของสินค้าที่บรรทุกได้ต่อ 1 คันรถ และ ระยะทางของเส้นทางต่างๆ ระหว่างลูกค้าและจุดกระจายสินค้า ตัวอย่างของชุดข้อมูลที่ 5 ซึ่งมีจำนวนลูกค้า 10 ราย มีการกำหนดให้รถขนส่งสินค้าสามารถบรรทุกสินค้า

ได้เทียบเท่ากับบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก 25 กล่อง/คัน โดยบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ 1 กล่อง เทียบเท่ากับบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก 6 กล่อง และบรรจุภัณฑ์ขนาดกลาง 1 กล่อง เทียบเท่ากับบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก 3 กล่อง โดยมีรายละเอียดของการสั่งสินค้า แสดงดังตารางที่ 4 ส่วนรูปที่ 9 แสดงระยะทางของเส้นทางต่างๆ ระหว่างลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า

ตาราง 4

รายละเอียดการสั่งสินค้าของชุดข้อมูลที่ 5

ลำดับ	รหัสลูกค้า	จำนวนสินค้าที่สั่ง (กล่อง)			รวมเป็นสินค้าขนาดเล็ก (กล่อง)
		ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	
1	1000	3	3	2	24
2	1001	1	1	0	4
3	1002	3	1	1	12
4	1003	2	0	1	8
5	1004	1	1	2	16
6	1005	1	1	0	4
7	1006	2	6	2	32
8	1007	2	2	0	8
9	1008	4	0	0	4
10	1009	2	4	1	20
รวม		21	19	9	132

ลูกค้า	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	DEPOT
1000	0	81.7	53	26.4	48.8	150	103	126	32.7	101	53.3
1001	81.7	0	81.2	125	58.5	43.8	104	59.6	74.7	56.1	34
1002	53	81.2	0	139	77.5	65.2	18.4	121	81.7	53	144
1003	26.4	125	139	0	19.9	41.8	103	84.1	33.3	43.2	72.1
1004	48.8	58.5	77.5	19.9	0	101	112	102	77.4	138	22.6
1005	150	43.8	65.2	41.8	101	0	33	71.4	106	7.07	74.7
1006	103	104	18.4	103	112	33	0	56.1	79.6	74.1	77.5
1007	126	59.6	121	84.1	102	71.4	56.1	0	65.2	18.4	11.1
1008	32.7	74.7	81.7	33.3	77.4	106	79.6	65.2	0	27.3	52.9
1009	101	56.1	53	43.2	138	7.07	74.1	18.4	27.3	0	18.4
DEPOT	53.3	34	144	72.1	22.6	74.7	77.5	11.1	52.9	18.4	0

ภาพ 9 ระยะทางของเส้นทางต่างๆ ระหว่างลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้าของชุดข้อมูลที่ 5 (กิโลเมตร)

โดยในการทดลองที่ 1 และ 2 จะเป็นการทดลอง เพื่อค้นหาจำนวนมดที่ดีที่สุด (จำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายหรือเส้นทางเดินรถที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด) ส่วนการทดลองที่เหลือจะเป็นการนำจำนวนมดที่ดีที่สุดที่ได้จาก 2 การทดลองแรกไปทำการทดลองกับชุด

ข้อมูลอื่นๆ เพื่อหาเส้นทางเดินรถของแต่ละชุดข้อมูล ทั้งนี้ตั้งแต่การทดลองที่ 2 มีการทำซ้ำ 5 ครั้ง และมีการปรับเปลี่ยนรอบการทำงานที่ 1000, 2000, 3000, 4000 และ 5000 รอบ

ตาราง 5

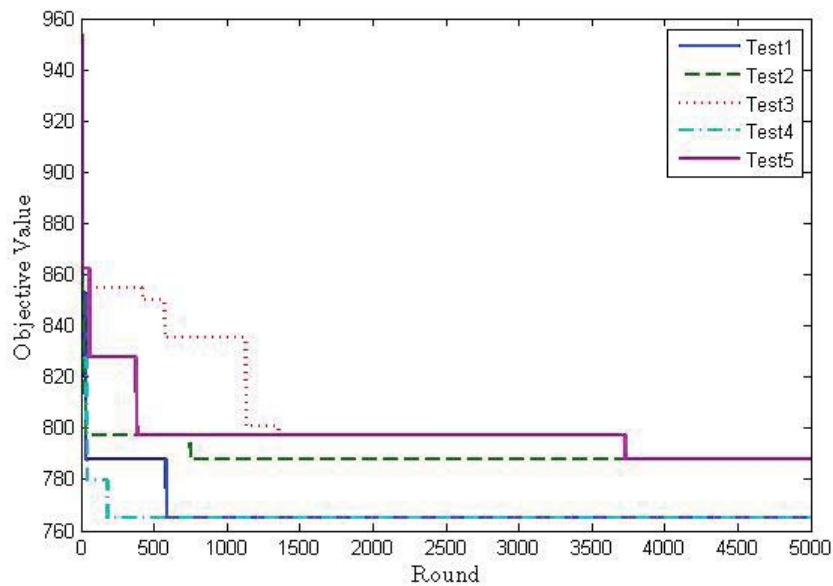
รายละเอียดของการทดลองที่ 1-6

การทดลองที่	ชุดข้อมูลที่ใช้	รายละเอียดการทดลอง
1	1	ทดลองใช้จำนวนมด 30, 40, ..., 100 ตัว เพื่อค้นหาจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด 3 ลำดับแรก
2	1	นำจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด 3 ลำดับแรกจากชุดข้อมูลที่ 1 มาทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อค้นหาจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุดเพียงลำดับเดียว
3	2	นำจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 มาทำการทดลองกับชุดข้อมูลที่ 2 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อหาผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 2
4	3	นำจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 มาทำการทดลองกับชุดข้อมูลที่ 3 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อหาผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 3
5	4	นำจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 มาทำการทดลองกับชุดข้อมูลที่ 4 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อหาผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 4
6	5	นำจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 มาทำการทดลองกับชุดข้อมูลที่ 5 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อหาผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถของชุดข้อมูลที่ 5

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการทดลองที่ 1 มีการปรับเปลี่ยนจำนวนมดที่ 30, 40, ..., 100 ตัว เพื่อค้นหาจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด 3 ลำดับแรก ผลการทดลองพบว่าจำนวนมดที่ให้ค่าเป้าหมายดีที่สุด 3 ลำดับแรก คือจำนวนมดที่ 50, 60 และ 80 ตัว ในการทดลองที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้นำ

จำนวนมด 50, 60 และ 80 ตัว มาทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ผลการทดลองพบว่าการใช้จำนวนมด 60 ตัว ให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ดีที่สุด (สั้นที่สุด) จึงได้นำมดจำนวนมด 60 ตัวมาใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถของการทดลองที่ 3-6 ต่อไป ตัวอย่างของผลการทดลองที่ 6 ซึ่งใช้ชุดข้อมูลที่ 5 แสดงดังตารางที่ 6 ตารางที่ 7 และรูปที่ 9



ภาพ 9 ค่าเป้าหมายในแต่ละรอบการทำงานของรถทดลองที่ 6

ตาราง 6

จำนวนรถ ระยะทางรวมและเวลาที่ใช้ในการทำงานของรถทดลองที่ 6

ครั้งที่	จำนวนรอบ (รอบ)	จำนวนรถ (คัน)	ระยะทางรวม (กม.)	เวลา (วินาที)
1	1000	6	765.20	3.16
	2000	6	765.20	6.16
	3000	6	765.20	9.18
	4000	6	765.20	12.20
	5000	6	765.20	15.25
2	1000	7	788.00	3.27
	2000	7	788.00	6.33
	3000	7	788.00	9.36
	4000	7	788.00	12.36
	5000	7	788.00	15.39

ครั้งที่	จำนวนรอบ (รอบ)	จำนวนรถ (คัน)	ระยะทางรวม (กม.)	เวลา (วินาที)
3	1000	7	835.10	3.18
	2000	7	797.07	6.18
	3000	7	797.07	9.14
	4000	7	788.00	12.13
	5000	7	788.00	15.08
4	1000	6	765.20	3.28
	2000	6	765.20	6.34
	3000	6	765.20	9.37
	4000	6	765.20	12.38
	5000	6	765.20	15.38
5	1000	7	797.07	3.21
	2000	7	797.07	6.29
	3000	7	797.07	9.37
	4000	7	788.00	12.40
	5000	7	788.00	15.44
ระยะทางรวมเฉลี่ยของการทำงานในรอบสุดท้าย = 778.88 กิโลเมตร				

โดยตารางที่ 6 แสดงจำนวนรถ ระยะทางรวมและเวลาที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งจะเห็นว่าในครั้งที่ 1 และ 4 ให้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด คือได้เป็นระยะทางรวมที่ 765.20 กิโลเมตร โดยใช้รถในการขนส่ง 6 คัน โดยมีกราฟแสดงค่าเป้าหมายในแต่ละรอบการทำงาน 5000 รอบดังรูปที่ 9 เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นค่าเป้าหมายจะลดลงเรื่อยๆ โดยในครั้งที่ 4 ค่าเป้าหมายจะลดลงจนถึงจุดที่นิ่งเร็วกว่าครั้งที่ 1 ส่วนผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้ของการทดลองที่ 6 แสดงดังตารางที่ 7

จากผลการทดลองพบว่าระบบอาณานิคมมดที่นำเสนอสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า โดยให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางเดินรถ

ที่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือเมื่อจำนวนรอบในการทำงานเพิ่มมากขึ้นระบบสามารถพัฒนาคำตอบไปสู่ค่าเป้าหมาย (ระยะทางรวม) ที่ลดลง นอกจากนี้ระบบที่นำเสนอสามารถรองรับหน่วยงานที่มีรถขนส่งหลากหลายรูปแบบที่มีปริมาณการบรรทุกสินค้าต่อ 1 คันรถได้ตามความจำกัดของรถแต่ละรูปแบบ และที่สำคัญระบบที่นำเสนอนี้สามารถรองรับการขนส่งสินค้าที่มีขนาดของบรรจุภัณฑ์หลากหลายขนาดโดยผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานได้ตามความเหมาะสม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย (กัญจน์นิษา, ยุทธพงษ์ และสุปราณี, 2014) รองรับขนาดของบรรจุภัณฑ์เพียงขนาดเดียว

ตาราง 7

ผลของการจัดเส้นทางการเดินทางของการทดลองที่ 6

รถคันที่	ปริมาณสินค้าที่บรรทุกทั้งหมด (กล่อง)			เส้นทาง		การปล่อยสินค้าที่จุดปลายทาง (กล่อง)			ระยะทาง(กม.)
	เล็ก	กลาง	ใหญ่	รหัสลูกค้าต้นทาง	รหัสลูกค้าปลายทาง	เล็ก	กลาง	ใหญ่	
1	2	2	2	DEPOT	1006	2	2	2	77.5
	0	0	0	1006	DEPOT	0	0	0	77.5
2	4	6	1	DEPOT	1001	1	1	0	34
	3	5	1	1001	1002	3	1	1	81.2
	0	4	0	1002	1006	0	4	0	18.4
	0	0	0	1006	DEPOT	0	0	0	77.5
3	2	4	1	DEPOT	1009	2	4	1	18.4
	0	0	0	1009	DEPOT	0	0	0	18.4
4	3	3	2	DEPOT	1000	3	3	2	53.3
	0	0	0	1000	DEPOT	0	0	0	53.3
5	9	3	1	DEPOT	1008	4	0	0	52.9
	5	3	1	1008	1003	2	0	1	33.3
	3	3	0	1003	1005	1	1	0	41.8
	2	2	0	1005	1007	2	2	0	71.4
	0	0	0	1007	DEPOT	0	0	0	11.1
6	1	1	2	DEPOT	1004	1	1	2	22.6
	0	0	0	1004	DEPOT	0	0	0	22.6
ระยะทางรวมของทุกเส้นทาง									765.20



เอกสารอ้างอิง

- กัญจน์ฉนิชา โภคอุดม, นิกร โภคอุดม และพิมลอร ตันหัน. (2557). การประยุกต์ใช้เจเน็ติกอัลกอริธึมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง. การประชุมวิชาการวิจัยสถาบัน หัวข้อการวิจัยสถาบันเพื่อการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 1, 4-5 สิงหาคม, ขอนแก่น, ประเทศไทย. หน้า 47-54.
- Bonabeau. E., Dorigo. M., & Theraulaz. G. (1999). *Swarm intelligent: From natural to artificial systems*. New York: Oxford University.
- Dorigo, M., Birattari M., & Stutzle, T. (2006), Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Mag.*, 8(1), 28-39.
- Dorigo, M., & Gambardella L. M. (1997). Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66.
- Dorigo. M., Maniezzo. V., & Colorni. A. (1996), The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics – Part B*, 26(2), 29-41.
- Ridge. E., Kudenko. D., & Kazakov. D. (2006), *A Study of concurrency in the Ant colony system algorithm*. IEEE Congress on Evolutionary Computation, July 16–21, Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada.

