การพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อรับและส่งสินค้าจากหลายจุดโดยใช้วิธีคำนวณโดยฝูงอนุภาค

ปัณฑาพล สมบุญธรรม และ วรทัศร์ ขจิตวิชยานุกุล*

ภาควิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ตู้ ปณ. 4 คลองหลวง ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

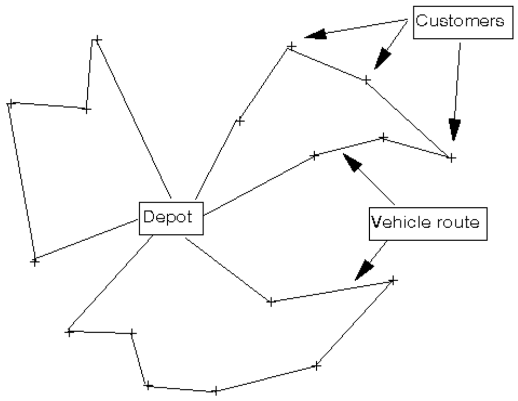
ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อรับและส่งสินค้า(Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจและมีความสำคัญในการบริหารและพัฒนากิจกรรมด้านการบริหารห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ (Supply chain and Logistics) ทว่าในทางปฏิบัติของบางกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่มีการรวมกลุ่มเพื่อแบ่งปันทรัพยากรการขนส่งทำให้ลักษณะของปัญหาการจัดการเส้นทางรถมีความซับซ้อนยิ่งขึ้น กล่าวคือมีการรับส่งสินค้าจากหลายจุดกระจายสินค้า งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีวิธีการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และอัลกอริทึมเพื่อหาค่าดีที่สุดที่ใช้ช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางการจัดส่งเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการจัดเส้นทางการจัดส่งภายใต้เงื่อนไงดังต่อไปนี้ คือรถหลายคันจะกระจายอยู่หลายจุด อาจมีความจุที่แตกต่างจุดรับส่งสินค้าในแต่ละจุดอาจมีทั้งรับและส่งในเที่ยวเดียวกัน สินค้าที่รับขึ้นระหว่างทางอาจมีจุดส่งที่ไม่ใช่จุดเริ่มต้นเส้นทาง รวมถึงเงื่อนไขด้านเวลาต่างๆที่เกี่ยวข้อง เมื่อทำการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนามีศักยภาพในการให้คำตอบที่ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการแก้ปัญหาจัดเส้นทางเดินรถในหลายสถานการณ์รวมถึงสถานการณ์จริง

คำสำคัญ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อรับและส่งสินค้า, วิธีคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาค, พหุศูนย์กระจายสินค้า

1. บทนำ

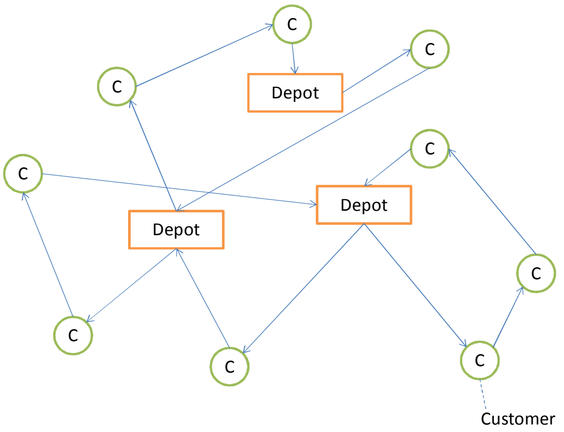
เนื่องจากภาวะที่ตลาดมีการแข่งขันสูง และการมีทรัพยากรที่จำกัด บางกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดย่อมได้มีความพยายามใน การพัฒนากิจกรรมด้านการบริหารห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ (Supply Chain and Logistics) โดยรวมกลุ่มกันเพื่อแบ่งปันทรัพยากรด้านการขนส่ง โดยการใช้รถขนส่งร่วมกันเพื่อลดต้นทุนด้านการขนส่ง ความร่วมมือแบบนี้มีความเป็นไปได้สูงภายในกลุ่มบริษัทที่มีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นผู้ซื้อและผู้ขายในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) รวมถึงพันธมิตรอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกัน กลยุทธ์นี้จะสามารถทำให้ต้นทุนด้านการขนส่งของทั้งระบบลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่มีปริมาณจำกัด

แนวคิดข้างต้นนี้จำเป็นต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของหน่วยงานที่รับผิดชอบงานด้านการขนส่ง ซึ่งรวมถึงการร่วมกันวางแผนเส้นทางรถเพื่อรับ-ส่งสินค้า(Pickup and Delivery Problem, PDP) นอกจากนี้แนวคิดในใช้รถขนส่งร่วมกัน ทำให้การวางแผนจัดสรรรถขนส่งมีข้อแตกต่างจากการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางสำหรับยานพาหนะทั่วไป (Vehicle Routing Problem, VRP) เนื่องจากใน VRP ทั่วไปมีข้อจำกัดมาก เช่น เส้นทางการเดินรถหรือยานพาหนะ จะต้องเริ่มที่ศูนย์กระจายสินค้า (depot) ไปยัง ลูกค้า (customers) และกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าดังเดิม และสินค้าที่ได้รับจากลูกค้าจะต้องนำกลับมายังจุดเริ่มต้นก่อนที่จะกระจายไปสู่ลูกค้าในวันต่อไป



รูปที่ 1: Vehicle Routing Problem (http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/or/ip.html)

แต่ในแนวคิดในการใช้รถขนส่งร่วมกัน รถขนส่งต้องทำการรับ-ส่งสินค้าจากศูนย์กระจายหรือ โรงงาน จากหลายบริษัท (Multiple Depots) ทำให้งานการวางแผนเส้นทางการเดินรถในแต่ละวันมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น และยากต่อการจัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อจำกัดในการจัดการดังกล่าวอาจทำให้ กลุ่มองค์กรต้องเพิ่มจำนวนรถขนส่ง เพื่อตอบสนองความต้องการขนส่งสินค้าหรืออุปสงค์ (Demand) ของลูกค้าได้อย่างเพียงพอ ซึ่งอาจมีผลทำให้องค์กรต้องแบกรับภาระต้นทุนด้านการขนส่งที่มากขึ้น



รูปที่ 2: ปัญหา VRP ที่มีลักษณะเป็น Multiple depots

โครงการนี้มีเป้าประสงค์ที่จะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และอัลกอริทึมเพื่อหาค่าดีที่สุดที่ใช้ช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางการจัดส่งเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการจัดเส้นทางการจัดส่งภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- รถหลายคันจะกระจายอยู่หลายจุด อาจมีความจุที่แตกต่าง
- จุดรับส่งสินค้าในแต่ละจุดอาจมีทั้งรับและส่งในเที่ยวเดียวกัน
- สินค้าที่รับขึ้นระหว่างทางอาจมีจุดส่งที่ไม่ใช่จุดเริ่มต้นเส้นทาง

งานวิจัยนี้กำหนดให้ปัญหาลักษณะดังกล่าวเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อรับและส่งสินค้าจากหลายจุด(Generalized Vehicle Routing Problem for Multi-depot with pickup and delivery requests, GVRP-MDPDR) ในส่วนต่อไปของบทความนี้จะประกอบด้วย หลักการคำนวณโดยการใช้ฝูงอนุภาคแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่สนใจ การหาคำตอบ การทดสอบอัลกอริทึมและผลลัพธ์ สรุปงานวิจัยกิตติกรรมประกาศและเอกสารอ้างอิง

2. หลักการการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO)

ในการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาคคำตอบสำหรับปัญหาใด ๆจะถูกแสดงออกมาในรูปของตำแหน่งของอนุภาค กลไกในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในวิธีคำนวณชนิดนี้คือการทำให้แต่ละอนุภาคเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ด้วย “เวกเตอร์ความเร็ว” (Velocity vector) กลไกนี้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างแต่ละอนุภาค ที่ตำแหน่งต่าง ๆ พร้อมความเร็ว แบบสุ่ม (T. J. Ai และ V. Kachitvichyanukul, 2007)

ในหนึ่งขั้นของการคำนวณอนุภาคแต่ละตัวจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปอีกที่หนึ่งด้วย “ความเร็วแบบมีทิศทาง” จากนั้นอนุภาคทุกตัวจะถูกประเมิน และนำค่าที่ได้ไปปรับเปลี่ยน ข้อมูล 2 ประเภทคือ

1. ตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง(Personal best, *pbest*) : เก็บตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคนั้น ๆ ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณ
2. ตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูงอนุภาค(Global best, *gbest*) :เก็บตำแหน่งที่ดีที่สุดของทั้งฝูงอนุภาคตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณ

ค่าที่ประเมินได้จะนำมาใช้อ้างอิงเพื่อปรับเปลี่ยน “เวกเตอร์ความเร็ว” และนำค่าเวกเตอร์ไปคำนวณหาตำแหน่งต่อไปของอนุภาค ดังนี้

$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1)$ (1)

$v_{id}(t+1) = v_{id}(t) + c_p * rand() * (p_{id} - x_{id}(t)) + c_g * rand() * (p_{gd} - x_{id}(t))$ (2)

If $v_{id}(t+1) \leq -v_{Max}$ then $v_{id}(t+1) = -v_{Max}$ (3)

If $v_{id}(t+1) \geq v_{Max}$ then $v_{id}(t+1) = v_{Max}$ (4)

โดยมีนิยามของตัวแปรดังต่อไปนี้;

$X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{iD})$แสดงตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาคที่ i

$P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \ldots, P_{iD})$ แสดงตำแหน่งที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณของอนุภาคที่ i, pbest

$V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \ldots, V_{iD})$ แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคที่ i

$P_g = (P_{g1}, P_{g2}, \ldots, P_{gD})$ แสดงตำแหน่งที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณทั้งฝูงอนุภาค ,gbest

t = ลำดับขั้นการคำนวณ(เลขที่การทวนซ้ำ); t =1, 2,..., T

i = เลขที่ของอนุภาค; i = 1, 2, 3, ..., K

d = เลขที่ของมิติ; d = 1, 2, 3, ..., D โดย D = n

rand ( ) = เลขสุ่มที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอในช่วง [0, 1]

Cp = ค่าถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

Cg = ค่าถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งที่ดีที่สุดของทั้งฝูงอนุภาค

$v_{id}(t)$ = ความเร็วในมิติที่ d ของอนุภาคที่ i ในการทวนซ้ำครั้งที่ t

$x_{id}(t)$ = ตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค i ในมิติที่ d ในการทวนซ้ำครั้งที่ t

v_{Max}= ขอบเขตของ v_{id}

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในรายงานการวิจัยของ S. Ropke (2005) ได้ระบุแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายปัญหา Pickup and Delivery with Time windows (PDPTW) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยของผู้เขียน ในแบบจำลองนี้ "การร้องขอ" จะประกอบด้วย "จุดรับสินค้า" และ "จุดส่งสินค้า" ซึ่งจะถูกนำมาเรียงอยู่แบบจำลองที่ถูกดัดแปลงมีรายละเอียดดังนี้

<u>*Parameters*</u>

$P = \{1,\ldots, n\}$: กลุ่มของ "จุดรับสินค้า" (Pickup location)

$D = \{n+1,\ldots, 2n\}$: กลุ่มของ "จุดส่งสินค้า" (Delivery location)

$N = P \cup D$: กลุ่มของจุด รับ-ส่งสินค้ารวมกัน

H_i : ค่าปรับหาก Request i ไม่ได้รับการตอบสนอง

K : กลุ่มของ "รถ" โดย $|K| = m$

C_k : ความจุของรถคันที่ $k \in K$.

f_k : ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ $k \in K$ หากมีการใช้งาน

g_k : ค่าใช้จ่ายแปรผันตามระยะทางของรถคันที่ $k \in K$

τ_k: จุดแสดงสถานีต้นทางของรถคันที่ $k \in K$

τ'_k : จุดแสดงสถานีปลายทางของรถคันที่ $k \in K$

$V = N \cup \{\tau_1,\ldots, \tau_m\} \cup \{\tau'_1,\ldots, \tau'_m\}$: กลุ่มของจุดทั้งหมด

A : กลุ่มของ (i, j) ซึ่งเป็นเส้นจาก จุด i ไป j โดย $i, j \in V$.

d_{ij} และ t_{ij} : ระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไป j โดย $i, j \in V$ ซึ่งทั้งสองค่ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และ $t_{ij} \leq t_{il} + t_{lj}$ สำหรับทุก $i, j, l \in V$

s_i : เวลาที่ใช้ในการรับและส่งสินค้า เมื่อรถไปที่จุด i โดยที่ $i \in V$

$[a_i, b_i]$: ช่วงเวลาที่ยอมให้รถมาถึง จุด i ได้

l_i : ปริมาณสินค้าที่จะถูกเก็บขึ้นรถ ที่ จุด i ทั้งนี้ จะมีค่าเป็นบวกสำหรับ $i \in P$ และ มีค่าเป็นลบเมื่อ $i \in D$

$(l_i = -l_{i-n}$ สำหรับ $i \in D)$

<u>*Decision variables*</u>

x_{ijk} : ตัวเลขฐานสองที่มีค่าเป็น 1 เมื่อ เส้นระหว่าง จุด i และ j ถูกใช้โดย รถคันที่ k , $i, j \in V, k \in K$.

S_{ik} : เวลาที่รถคันที่ k เริ่มต้นการรับส่งสินค้าที่ จุด i, $i \in V$, $k \in K$

L_{ik} : ปริมาณสินค้าในรถคันที่ k หลังจากเสร็จสิ้นการรับส่งสินค้าที่จุด i , $i \in V$, $k \in K$

z_i :ตัวเลขฐานสองที่มีค่าเป็น 1 เมื่อ "คำร้องขอ" i ไม่ได้รับการตอบสนอง และมีค่าเป็น 0 เมื่อได้รับการตอบสนอง

โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไขดังต่อไปนี้

Min

$$\alpha \sum_{k\in K} g_k \sum_{(i,j)\in A} d_{ij} x_{ijk} + \beta \sum_{k\in K}\sum_{j\in P} f_k\, x_{\tau_k,j,k} + \gamma \sum_{i\in P} H_i\, z_i \qquad (5)$$

Subject to;

$$\sum_{k\in K}\sum_{j\in N_k} x_{ijk} + z_i = 1 \qquad \forall i \in P \qquad (6)$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk} - \sum_{j\in V} x_{j,n+i,k} = 0 \qquad \forall k \in K, \forall i \in P \qquad (7)$$

$$\sum_{j\in P\cup\{\tau_k'\}} x_{\tau_k,j,k} = 1 \qquad \forall k \in K \qquad (8)$$

$$\sum_{i\in D\cup\{\tau_k\}} x_{i,\tau_k',k} = 1 \qquad \forall k \in K \qquad (9)$$

$$\sum_{i\in V} x_{ijk} - \sum_{i\in V} x_{j,i,k} = 0 \qquad \forall k \in K, \forall j \in N \qquad (10)$$

$$x_{ijk} = 1 \Rightarrow S_{ik} + s_i + e_i l_i + t_{ij} \leq \qquad \forall k \in K, \forall (i,j) \qquad (11)$$

$$a_i \leq S_{ik} \leq b_i \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (12)$$

$$S_{ik} \leq S_{n+i,k} \qquad \forall k \in K, \forall i \in P \qquad (13)$$

$$x_{ijk} = 1 \Rightarrow L_{ik} + l_i \leq L_{jk} \qquad \forall k \in K, \forall (i,j) \qquad (14)$$

$$L_{ik} \leq C_k \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (15)$$

$$L_{\tau_k k} = L_{\tau_k' k} = 0 \qquad \forall k \in K \qquad (16)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall k \in K, \forall (i,j) \qquad (17)$$

$$z_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in P \qquad (18)$$

$$S_{ik} \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (19)$$

$$L_{ik} \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (20)$$

$$S_{\tau_k' k} \leq T_k \qquad \forall k \in K \qquad (21)$$

คำอธิบาย

ฟังก์ชันเป้าหมาย(5): ประกอบด้วยค่าถ่วงน้ำหนักของระยะทางโดยรวม ค่าใช้จ่ายคงที่ในการใช้รถ และค่าปรับเมื่อ "คำร้องขอ" (Request) ไม่ได้รับการตอบสนอง

เงื่อนไข (6) : บันทึก"คำร้องขอ" ที่ไม่ถูกตอบสนอง

เงื่อนไข (7): สำหรับรถคันใดๆ หากมี "จุดรับสินค้า" ใดๆอยู่ในเส้นทางแล้ว จะต้องนำ "จุดส่งสินค้า" ที่เกี่ยวข้องเข้ามาอยู่ในเส้นทางของรถคันเดียวกันด้วย

เงื่อนไข (8) และ (9): รถทุกคันเริ่มและจบเส้นทางที่สถานีต้นทางและปลายทาง

เงื่อนไข (10): จำนวนรถที่เข้าเท่ากับจำนวนรถที่ออกสำหรับทุกจุดรับส่งสินค้าที่ไม่ใช่สถานีรถ

เงื่อนไข (11) และ (12) : สำหรับรถทุกคัน เวลาเริ่มต้นการทำงาน(รับ-ส่งสินค้า) ที่จุดใดๆต้อง อยู่ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดของแต่ละจุด (Time window constraint)

เงื่อนไข (13) : สำหรับ "คำร้องขอ" ใดๆ รถต้องรับสินค้าขึ้นรถก่อนที่ "จุดรับของ" ก่อนที่จะไปส่งของที่ "จุดส่งของ"

เงื่อนไข (14), (15) และ (16) : คำนวณปริมาณสินค้าตลอดเส้นทาง และจำกัดให้ไม่เกิน "ความจุ" ของรถแต่ละคัน นอกจากนี้ในกรณีที่สามารถต่อรองข้อจำกัดด้านเวลา (Semi-Soft time windows) ระหว่างผู้ส่งและผู้รับได้ เงื่อน (12) จะถูกเปลี่ยนเป็น

$$a_i + \Delta_{ia} \leq S_{ik} \leq b_i + \Delta_{ib} \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (22)$$

$$S_{ik} < a_i \Rightarrow a_i - S_{ik} = \pi_{ik} \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (23)$$

$$S_{ik} > b_i \Rightarrow b_i - S_{ik} = \pi'_{ik} \qquad \forall k \in K, \forall i \in V \qquad (24)$$

Δ_{ia} และ Δ_{ib} คือส่วนต่างเวลาที่ยอมรับได้ที่จะให้รถเริ่มต้นการทำงาน (ขนสินค้าเข้า-ออกจากรถ) เร็วและช้ากว่า ระยะเวลาที่กำหนดของแต่ละจุด นอกจากนี้ฟังก์ชันเป้าหมายจะเปลี่ยนเป็น

$$\alpha \sum_{k\in K} g_k \sum_{(i,j)\in A} d_{ij} x_{ijk} + \beta \sum_{k\in K}\sum_{j\in P} f_k\, x_{\tau_k,j,k} + \gamma \qquad (25)$$

โดย Y_a และ Y_b คือค่าปรับหากรถเริ่มต้นการทำงาน (ขนสินค้าเข้า-ออกจากรถ) เร็ว และ ช้ากว่าระยะเวลาที่กำหนดตามลำดับ

4. การหาคำตอบ และรูปแบบของผลลัพธ์

การหาคำตอบโดยใช้วิธีคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาค มีส่วนประกอบคือ กลไกการหาค่าโดยใช้ฝูงอนุภาคซึ่งมีหลักการโดยทั่วไปดังแสดงในหัวข้อที่ 2 หลังจากนั้นค่าจากฝูงอนุภาคจะถูกนำไปทำ "การเข้ารหัส" (Decoding) เพื่อนำไปจัดเส้นทางรถ ตรวจสอบเงื่อนไขและคำนวณค่าฟังก์ชั่นเป้าหมายต่อไป

แนวคิดที่นำการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาคมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางเดินรถ โดยใช้ตำแหน่งของอนุภาคมาแสดงเป็นเส้นทางเดินรถสำเร็จรูปจะมี

ความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้นี้จึงมีแนวคิดในการนำชุดตำแหน่งจากฝูงอนุภาคมาผ่านกระบวนการ "เข้ารหัส" (Decoding) และนำข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสมาจัดเส้นทางการเดินรถและประเมินค่าเป้าหมาย การเข้ารหัสและจัดเส้นทางรถในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดจากการเข้ารหัสและจัดเส้นทางรถ ของ T. J. Ai และ V. Kachitvichyanukul (2009a, 2009b,2009c). งานวิจัยนี้เสนอวิธีการเข้ารหัส และจัดเส้นทางรถ 3 วิธี (SD1, SD2 และ SD3) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละอัลกอริทึมสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ในรูปเล่มวิทยานิพนธ์ของงานวิจัย P. Somboonthum (2010).

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมคือเส้นทางรถที่ใช้ในการรับ-ส่งสินค้า โดยแต่ละเส้นทางจะประกอบไปด้วย เลขที่ของรถ จำนวนสินค้าที่รับ-ส่ง จำนวนจุดรับ-ส่งสินค้าในเส้นทาง ระยะเวลาที่ใช้ นอกจากนี้ยังแสดงข้อมูลลำดับการวิ่งของรถ เวลาคอยแต่ละจุดรับส่งสินค้า และ สินค้าที่ต้องรับ-ส่งในแต่ละจุดรับส่ง ดังแสดงในรูปที่ 3

เลขที่รถ	27
จำนวนสินค้า	18
จำนวนจุดหยุด	12
ระยะเวลาที่ใช้	534

ลำดับการจอด	จุดรับส่งสินค้า	เวลาคอย	สินค้าที่รับ	สินค้าที่ส่ง
1	65	0		
2	62	77	62,63	
3	55	78	55,57,58	
4	54	36		55
5	59	0	61	62
6	61	0		57,61,63
7	53	0	52,53	
8	46	0	46	53
9	50	2		46
10	45	3		52
11	62	0		58
12	65	0		

รูปที่ 3: ตัวอย่างข้อมูลเส้นทางรถที่ได้จากอัลกอริทึม

5. การทดสอบอัลกอริทึมและผลลัพธ์

5.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมประกอบด้วย ตัวอย่าง 3 ประเภทดังนี้

1. Pickup and delivery Problem with Time windows (PDPTW)
2. ตัวอย่างใหม่ (Generated Instances)
3. ข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริง (Real case)

เนื่องจากGVRP-MDPDRเป็นปัญหาใหม่และไม่มีตัวอย่างมาตรฐาน ผู้วิจัยจึงเลือกตัวอย่าง PDPTW พัฒนาโดย Li และ Lim(2001) มาใช้ทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของอัลกอริทึม เนื่องจาก PDPTW สามารถพิจารณาเป็นกรณีเฉพาะ(Special case) ของ GVRP-MDPDR จากนั้นตัวอย่างใหม่ (Generate Instance) ครอบคลุมลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่สนใจ ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ตัวอย่างปัญหา PDPTW เป็นต้นแบบ ตัวอย่างใหม่จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาเพิ่มเติม นอกจากนี้ข้อมูลที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริงยังถูกนำมาใช้ทดสอบอัลกอริทึม ข้อมูลดังกล่าวได้รับการเอื้อเฟื้อโดย M-focus Co, Ltd. ซึ่งเป็นข้อมูลจริงจาก สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องด้วยข้อมูลบางอย่างมีความจำเป็นต้องปกปิดไว้เป็นความลับเช่น ข้อมูลด้านค่าใช้จ่าย ข้อมูลที่ถูกนำมาใช้จึงเป็นข้อมูลที่ผ่านการดัดแปลงแล้วในบางส่วน

5.2 การทดสอบด้านประสิทธิภาพเบื้องต้น

เนื่องจากปัญหา GVRP-MDPDR เป็นปัญหาใหม่ จึงไม่มีมีปัญหามาตรฐานที่จะสามารถนำมาทดสอบอัลกอริทึมได้โดยตรง ปัญหามาตรฐานของ PDPTW จึงถูกนำมาใช้ทดแทนในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ทำการทดสอบ 5 ครั้งสำหรับแต่ละตัวอย่างและ ได้ผลโดยสรุปดังนี้

ตารางที่ 1: ผลการทดสอบกับ PDPTW

Algorithm	Number cases BKS Found	Average % Dev	
		NV	Distance
SD1	15 of 56	11.19%	8.26%
SD2	13 of 56	15.16%	15.22%
SD3	19 of 56	8.56%	6.86%

(BKS=Best known solution, NV= จำนวนรถที่ใช้, % Dev = ค่า % ความเบี่ยงเบนจาก BKS)

จากทดสอบพบว่า อัลกอริทึมที่เสนอสามารถให้คำตอบที่ถูกต้องตามเงื่อนไข (Feasible solution) ในทุกตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบ คำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมที่เสนอ กับ คำตอบที่ดีที่สุด (Best Known Solution, BKS) ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาเพื่อแก้ปัญหา PDPTWโดยเฉพาะ พบว่าอัลกอริทึมที่เสนอให้คำตอบเทียบเท่ากับ BKS ได้ในบางตัวอย่าง นอกจากนี้ในตารางจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมที่ 3 (SD3) สามารถให้คำตอบได้ใกล้เคียงกับ BKS มากที่สุด

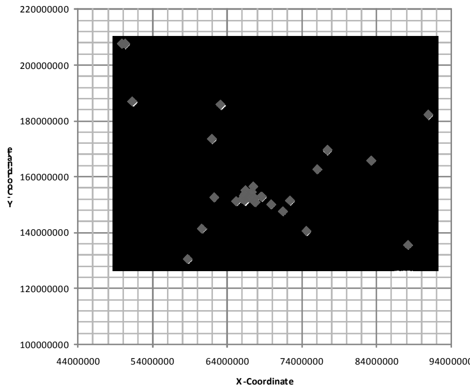
5.3 การทดสอบกับข้อมูลในการปฏิบัติงานจริง

ตัวอย่างข้อมูลจริงที่นำมาใช้ทดสอบเป็นข้อมูลใน 1 วันทำงานซึ่ง ประกอบไปด้วย รายการสินค้าที่เกี่ยวข้อง 128 รายการ รถขนส่งสินค้า 44 คัน ซึ่งความแตกต่างกันในด้านความจุ และค่าใช้จ่าย ทำการรับส่งสินค้าระหว่าง 32 จุดรับส่งสินค้า โดยเป็นศูนย์กระจายสินค้า 3 แห่ง มีตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 2 แสดงผลจากการใช้อัลกอริทึมที่ 3 (SD3) จากการทดสอบ 5 ครั้ง พบว่าคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งมีคุณภาพค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย (ประมาน 0.5 %) ใช้เวลาในการคำนวณประมาน 30 นาที อย่างไรก็ตาม สำหรับปัญหานี้ที่รูปแบบการส่งสินค้าแต่ล่ะวันแตกต่างกันการจัดเส้นทางรถโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเพียงอย่างเดียวจะต้องใช้เวลาที่มากกว่า และได้คำตอบที่ไม่คงที่ อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจวางแผนจัดเส้นทางรถเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2: ผลทดสอบอัลกอริทึมกับข้อมูลจริง

Replication	Objective Function	NV	Total Distance	Time (mm:ss:ms)
1	446294.83	38	33383.42	29:58.4
2	445579.12	36	33371.82	30:39.8
3	446796.25	37	33117.66	29:33.1
4	442721.61	36	32974.58	28:57.1
5	441385.18	37	33017.37	30:50.1
Average	444555.40	36.80	33172.97	29:59.7
SD	2372.14	0.84	193.95	00:46.8



รูปที่ 4: ตำแหน่งจุดรับส่งสินค้าในตัวอย่างทดสอบ

5.4 การทดสอบด้านอื่น ๆ

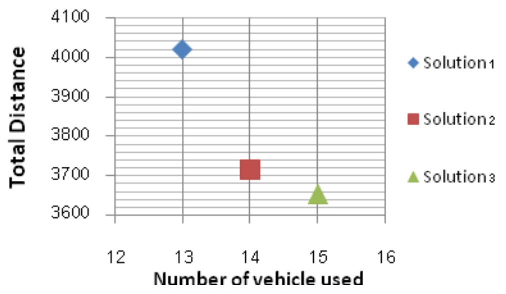
นอกจากการทดสอบในด้านประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและการนำประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง งานวิจัยนี้ยังนำเสนอการทดสอบเพื่อศึกษาลักษณะของปัญหาและอัลกอริทึมเพิ่มเติม โดยได้ข้อสรุปในบางประเด็นสำคัญดังนี้

- จำนวนรายการสินค้ามีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่จำนวนจุดรับส่งสินค้าส่งผลเพียงเล็กน้อย
- จำนวนอนุภาคที่ใช้คำนวณไม่จำเป็นต้องมีมาก เพียง 50 อนุภาคก็เพียงพอสำหรับปัญหาที่มีรายการสินค้าประมาณ 100 รายการ
- อัลกอริทึมที่ 3 (SD3) มีประสิทธิภาพมากกว่า SD1 และ SD2 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้
- อัลกอริทึมสามารถรองรับกรณีของ Semi-soft time windows
- อัลกอริทึมสามารถประยุกต์ใช้กับระบบขนส่งแบบ milk run และ การรวมสินค้า(Item consolidate) ผ่านกระบวนการปรับข้อมูล (Pre-process input data) ก่อนนำเข้าไปใช้กับ อัลกอริทึม

5.5 การทดสอบการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมกับวิธีการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาคแบบหลายฟังก์ชันเป้าหมาย (Multi-objective PSO)

จากฟังก์ชันเป้าหมาย (5) จะเห็นได้ว่าเป้าหมายที่พิจารณาค่าใช้จ่ายที่มาจากผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักจากค่าใช้จ่ายเนื่องจากระยะทาง และรถขนส่งที่ถูกใช้ ส่วนคำตอบที่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการที่รายการสินค้าหรือการร้องขอ ไม่ถูกตอบสนองสามารถพิจารณาเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ หรือ ผิดเงื่อนไข (Infeasible Solution) อย่างไรก็ตามการพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์ ที่คูณจำนวนรถที่ใช้และระยะทางอาจทำได้ยากเนื่องจากผู้ปฏิบัติงานอาจไม่มีความรู้เพียงพอเกี่ยวกับระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย หรือไม่สามารถประเมินค่าใช้จ่ายได้อย่างแม่นยำ หลายงานวิจัยในปัจจุบันทำการศึกษาปัญหาที่มีหลายฟังก์ชันเป้าหมาย (Multi-objective) พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาที่สามารถให้หลายคำตอบทางเลือก(Non-dominate Solution) เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของแต่ละทางเลือก

นอกจากการใช้ PSO ที่พิจารณาฟังก์ชันเป้าหมายเดียว งานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมกับวิธีการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาคแบบหลายฟังก์ชันเป้าหมาย (MO PSO) (S. Nguyen และคณะ, 2010) ซึ่งมีกลไกในการหาคำตอบทางเลือก (Non-dominate Solution) โดยใช้แนวคิด Pareto front Optimality (ดู S. Nguyen และคณะ, 2010)
ตัวอย่างการผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5: ผลลัพธ์การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมกับ MOPSO

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้มีความแตกต่างในจำนวนของรถที่ใช้ (Number of vehicle used) และระยะทางรวม (Total distance) การลดจำนวนรถที่ใช้อาจเพิ่มระยะทางรวม ของการวิ่งของรถ ซึ่งการแสดงผลคำตอบลักษณะนี้จะช่วยให้ผู้ประกอบการ หรือผู้ปฏิบัติงาน สามารถเปรียบเทียบทางเลือก เพื่อตัดสินใจวางแผนจัดเส้นทางรถในการปฏิบัติงานจริง

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางรถมีลักษณะการรับส่งสินค้าจากหลายจุดกระจายสินค้า งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีวิธีการคำนวณโดยใช้ฝูงอนุภาค พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และอัลกอริทึมเพื่อหาค่าดีที่สุดที่ใช้ช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางการจัดส่งเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ จากการทดสอบอัลกอริทึมกับตัวอย่างมาตรฐานและปัญหาจัดเส้นทางรถในสถานการณ์ต่างๆ พบว่าอัลกอริทึมมีศักยภาพในการให้คำตอบที่ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการปฏิบัติงานจริงของผู้ปฏิบัติงาน

ทิศทางการทำงานวิจัยต่อยอดสามารถมุ่งเน้นในด้านการพิจารณา เงื่อนไขด้านอื่นๆเพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากขึ้น เช่นการพิจารณา การจัดเรียงสินค้า เป็นต้น ซึ่งการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถให้คำตอบประกอบการตัดสินใจ จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพในการบริหารและพัฒนากิจกรรมด้านการบริหารห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ ขององค์กร

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. ด้านโลจิสติกส์และโซ่อุปทานประจำปี 2552 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยฉบับนี้เป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

8. เอกสารอ้างอิง

G. Nagy and S. Salhi (2005). Heuristics algorithm for single and multiple depot vehicle routing problem with pickups and deliveries. *European*

Journal of Operational Research, 162(1): 126-141.

J.-F Cordeau, G. Laporte, M.W.P. Savelsbergh and D. Vigo. (2007a). Chapter 6 Vehicle Routing, *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Volume 14, (pp. 367-428).

J.-F Cordeau, G. Laporte, J.-Y. Potvin, and M.W.P. Savelsbergh (2007b). Chapter 7 Transportation of Demand. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Volume 14, (pp. 429-466).

J. Kennedy and R. Eberhart (1995). Particle Swarm Optimization, *Proceedings of IEEE international Conference on Neural Networks*, Volume 4, 1942-1948.

P. Sombuntham (2010). PSO Algorithms for Generalized Multi-depot Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery Requests. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand.

S. Nguyen, T. J. Ai and V. Kachitvichyanukul (2010). Object Library for Evolutionary Technique (ET-Lib): User's Manual, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand.

S. Ropke (2005).*Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems.(*Doctoral Thesis, Computer science department at the University of Copenhagen, 2005.(Available online : http://www.diku.dk/hjemmesider/ansatte/sropke/)

T. Du, F.K. Wang, and P.-Y. Lu (2007). A real-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs (2007) *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (5), pp. 565-577.

T. J. Ai and V. Kachitvichyanukul (2007). Dispersion and velocity indices for observing dynamic behavior of particle swarm optimization. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, CEC 2007. 3264-3271.

T. J. Ai and V. Kachitvichyanukul (2009a). A Particle Swarm Optimization for Vehicle Routing Problem with Time Windows, *International Journal of Operational Research*, Volume 6, No. 4, 519-537).

T. J. Ai and V. Kachitvichyanukul (2009b). Particle swarm optimization and two solution representations for solving the capacitated vehicle routing problem, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 56, No. 1, 380-387.

T. J. Ai and V. Kachitvichyanukul (2009c). A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Computers & Operations Research*, Volume 36, 1693-1702.