

การประยุกต์ใช้โกลด์เดนบอล อัลกอริทึม เพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะร่วมกันระหว่างของบริษัท และการจัดจ้าง

AN APPLICATION OF GOLDEN BALL ALGORITHM TO SOLVE THE CLOSE-OPEN MIXED VEHICLE ROUTING PROBLEM

ตันติกร พิชญ์พิบูล¹ นัชชา เทียมพิทักษ์² และนริศ ธรรมเกื้อกูล³

Tantikorn Pichpibul¹ Natcha Tiempitak² and Naris Thamkuakool³

^{1,2,3}คณะบริหารธุรกิจ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

^{1,2,3}Faculty of Business Administration, Panyapiwat Institute of Management

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะร่วมกันระหว่างของบริษัท และการจัดจ้าง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเส้นทางยานพาหนะที่สามารถลดต้นทุนการขนส่งสินค้าทั้งหมดของระบบโลจิสติกส์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอด้วย 17 ตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอเหนือกว่าวิธีการที่ดีที่สุดที่มีอยู่ และคำตอบที่ดีที่สุดยังถูกค้นพบทุกตัวอย่าง นอกจากนี้ยังพบคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดอีก 12 ตัวอย่างอีกด้วย

คำสำคัญ: ปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะ โกลด์เดนบอล อัลกอริทึม

Abstract

In this paper, we have presented a golden ball (GB) algorithm, which can be applied to solve the close-open mixed vehicle routing problem. The problem objective is to construct a feasible set of vehicle routes that minimizes the total transportation cost of logistics system. We have tested the proposed GB algorithm with 17 problem instances. The computational results indicate that the proposed GB algorithm is superior to the best existing algorithm, and the best solutions are obtained for all instances. Moreover, new best solutions for 12 instances are also found.

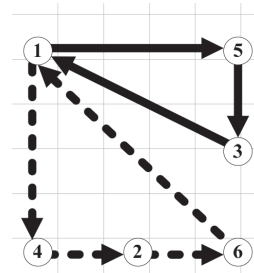
Keywords: Vehicle routing problem, Golden ball algorithm

บทนำ

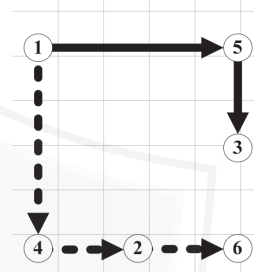
ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะร่วมกันระหว่างของบริษัท และการจัดจ้าง (Close-Open Mixed Vehicle Routing Problem: COMVRP) เป็นหนึ่งในปัญหาที่เป็นที่รู้จักกันดี ซึ่งถูกนำเสนอโดย Liu & Jiang (2012) โดยเป็นการผสมผสานระหว่างปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะของบริษัท (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) นำเสนอโดย Dantzing & Ramser (1959) และปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะของการจัดจ้าง (Open Vehicle Routing Problem: OVRP) นำเสนอโดย Sariklis & Powell (2000)

ลักษณะของปัญหา COMVRP นั้นจะเหมือนกับปัญหา CVRP และ OVRP ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยเป็นปัญหาที่ต้องการกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าของกลุ่มยานพาหนะ ไปยังกลุ่มลูกค้าที่ทราบจำนวนความต้องการสินค้าที่แน่นอน เส้นทางการขนส่งสินค้าของยานพาหนะแต่ละคันจะแสดงด้วยรหัสของลูกค้าเรียงไปตามลำดับ ปัญหา COMVRP ประกอบด้วยคลังสินค้า 1 แห่ง กลุ่มยานพาหนะที่มีชนิดเดียวกัน (มีความจุเท่ากัน) และกลุ่มลูกค้าที่ตำแหน่งกระจายอยู่รอบๆ คลังสินค้า เป้าหมายของการแก้ปัญหาคือการสร้างเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด ต้นทุนในปัญหานี้จะประกอบด้วยต้นทุนที่ใช้ในการเดินทาง (traveling cost) และต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงาน (operating cost) โดยจะต้องขนส่งสินค้าให้ลูกค้าครบตามจำนวนทุกราย

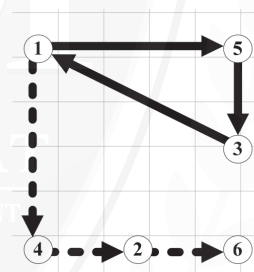
เส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความแตกต่างกันของแต่ละปัญหา ถูกแสดงดังภาพที่ 1



(1) ปัญหา CVRP



(2) ปัญหา OVRP



(3) ปัญหา COMVRP

ภาพที่ 1 เส้นทางการขนส่งสินค้าของแต่ละปัญหา

สิ่งที่เหมือนกันของทุกปัญหาคือ ยานพาหนะทุกคันจะต้องออกเดินทางจากคลังสินค้าเสมอ หลังจากเสร็จสิ้นการขนส่งสินค้าแล้ว สำหรับปัญหา CVRP ยานพาหนะทุกคันจะต้องกลับมาจอดที่คลังสินค้า เนื่องจากเป็นยานพาหนะของบริษัท ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ซึ่งยานพาหนะคันแรกจะออกเดินทางจากคลังสินค้า 1 ไปยังลูกค้ารหัส 5 ลูกค้ารหัส 3 และกลับไปยังคลังสินค้า 1 ต่อมายานพาหนะคันที่สองจะออกเดินทางจากคลังสินค้า 1 ไปยังลูกค้ารหัส 4 รหัส 2 รหัส 6 และกลับไปยังคลังสินค้า 1 สำหรับปัญหา OVRP ยานพาหนะ

ทุกคันจะไม่กลับมาจอดที่คลังสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 1.2 เนื่องจากเป็นยานพาหนะของการจัดจ้าง ดังนั้นหลังจากเสร็จสิ้นการขนส่งสินค้าแล้ว ยานพาหนะแต่ละคันก็จะเดินทางกลับไปยังจุดจอดของตัวเอง เช่น ที่พัก หรือลานจอดต่างๆ และสำหรับปัญหา COMVRP ยานพาหนะของบริษัททุกคันจะต้องกลับมาจอดที่คลังสินค้า และยานพาหนะของการจัดจ้างจะไม่กลับมาจอดที่คลังสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 1.3 ดังนั้นในปัญหานี้ สิ่งที่จะต้องทำการวิเคราะห์จึงเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาเส้นทาง การขนส่งสินค้าที่เหมาะสมกับยานพาหนะที่มีอยู่ทั้ง 2 แบบให้มากที่สุด

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะร่วมกันระหว่างของบริษัท และการจัดจ้าง
2. ศึกษาลักษณะ และการทำงานของโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม
3. ออกแบบ และพัฒนาโกลด์เดนบอล อัลกอริทึมที่สามารถลดต้นทุนการขนส่งของปัญหาต้นแบบมาตรฐานของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะร่วมกันระหว่างของบริษัท และการจัดจ้างได้

ทบทวนวรรณกรรม

วิธีการที่นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนั้น ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ วิธี Exact Algorithm, วิธี Heuristic และวิธี Metaheuristic

วิธี Exact algorithm เป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบ โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ยกตัวอย่างเช่น วิธี Branch and cut (Lysgaard, Letchford & Eglese, 2004) และวิธี Branch and cut and price (Fukasawa et al., 2006) วิธีการนี้จำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน เมื่อจำนวนของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น

วิธี Heuristic เป็นอีกวิธีการที่ใช้ในการคำนวณ

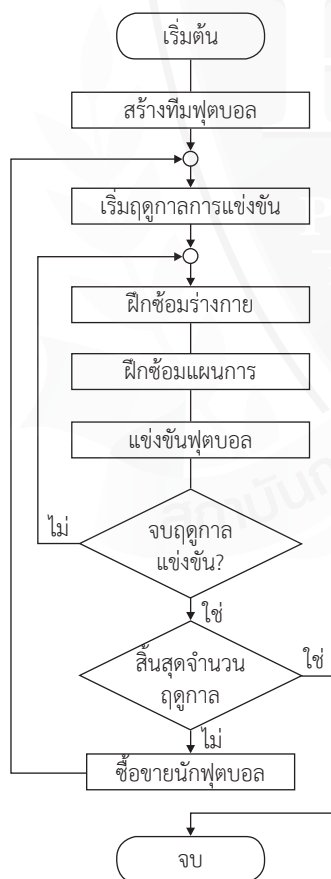
หาคำตอบ ซึ่งจะใช้เวลาในการประมวลผลน้อยมาก ยกตัวอย่างเช่น วิธี Savings (Clarke & Wright, 1964) และวิธี Sweep (Wren & Holliday, 1972) คำตอบที่ได้จากวิธีการนี้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด

วิธี Metaheuristic เป็นวิธีการที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้คำนวณหาคำตอบที่ดีกว่าวิธี Heuristic ภายใต้เวลาที่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น วิธี Simulated annealing (Kirkpatrick, Gelatt & Vecchi, 1983), วิธี Tabu search (Rochat & Taillard, 1995), วิธี Genetic algorithm (Gen & Cheng, 1997), วิธี Particle swarm optimization (Kennedy & Eberhart, 1995) และวิธี Ant colony optimization (Dorigo, Maniezzo & Coloni, 1996) คำตอบที่ได้จากวิธีการนี้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดเช่นกัน

ในปัจจุบันการพัฒนาวิธี Metaheuristic เป็นไปอย่างรวดเร็ว มีวิธีการใหม่ๆ ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยจากทั่วโลกอยู่เสมอ ยกตัวอย่างเช่น วิธี Gravitational search algorithm (Rashedi, Nezamabadi-pour & Saryazdi, 2009), วิธี Coral reefs optimization algorithm (Salcedo-Sanz et al., 2014), วิธี Firefly algorithm (Yang, 2009), วิธี Glowworm swarm optimization algorithm (Krishnanand & Ghose, 2009) และโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม (Golden ball algorithm) โดย Osaba, Diaz & Onieva (2014) เป็นต้น จากวิธีการเหล่านี้พบว่า โกลด์เดนบอล อัลกอริทึมเป็นวิธีการเดียวที่ถูกนำมาใช้แก้ปัญหา CVRP และยังถูกนำมาปรับปรุงให้สามารถแก้ปัญหา CVRP ได้ดียิ่งขึ้น โดย Ruttanateerawichien, Kurutach & Pichpipul (2014) ทั้งยังถูกนำมาใช้แก้ปัญหา OVRP โดย Pichpipul (2015) ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวพบว่า โกลด์เดนบอล อัลกอริทึม สามารถคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา CVRP และ OVRP ได้ ดังนั้นจึงเป็นแรงจูงใจให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการนี้ให้สามารถใช้คำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา COMVRP

วิธีการวิจัย

จากขั้นตอนการทำงานของโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอ แสดงดังภาพที่ 2 วิธีการนี้เป็นการจำลอง การแข่งขันในฟุตบอลลีก โดยในฟุตบอลลีกจะประกอบ ไปด้วยทีมสโมสรต่างๆ และในทีมสโมสรก็จะประกอบ ไปด้วยนักฟุตบอลหลายๆ คน หลังจากทีมฟุตบอลถูก สร้างขึ้นครบตามจำนวนที่กำหนด ฤดูกาลแข่งขันก็จะ เริ่มต้น ทุกทีมฟุตบอลจะถูกจับคู่แข่งขันกันในลักษณะ ของฟุตบอลลีก ทีมที่มีนักฟุตบอลที่ดีก็จะมีโอกาสชนะสูง เพราะความแข็งแกร่งของทีมขึ้นอยู่กับคุณภาพของ นักฟุตบอลในทีม ก่อนการแข่งขันทุกครั้งนักฟุตบอล ทุกคนในแต่ละทีมจะได้รับโอกาสในการฝึกซ้อมเพื่อเพิ่ม ความสามารถของตนเอง และนักฟุตบอลแต่ละคน สามารถย้ายทีมได้โดยผ่านขั้นตอนการซื้อขาย



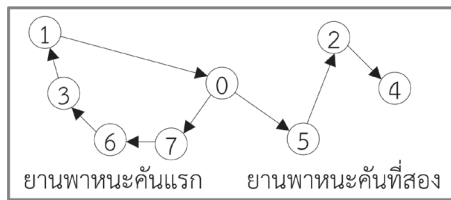
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอ

หากนำแนวความคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับ ปัญหา COMVRP แสดงดังภาพที่ 3 จะพบว่า ทีมฟุตบอล 1 ทีมจะถูกแทนด้วยกลุ่มของยานพาหนะทั้งหมด ได้แก่ ยานพาหนะคันที่ 1 และคันที่ 2 ส่วนยานพาหนะแต่ละคัน จะถูกแทนด้วยนักฟุตบอลแต่ละคน โดยรายละเอียดของ โกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอในแต่ละขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

สร้างทีมฟุตบอลจากปัญหาด้านแบบมาตรฐาน ใน ขั้นตอนนี้จะสุ่มสร้างทีมฟุตบอลขึ้นมาจำนวน $\frac{n}{2}$ ทีม โดยตัวแปร n จะแทนจำนวนลูกค้า ในแต่ละทีมจะ ทำการสร้างจำนวนนักฟุตบอลขึ้นมาจำนวน $k-1$ คน โดยตัวแปร k จะแทนจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการ ขนส่งสินค้า และนักฟุตบอลแต่ละคนจะถูกแทนด้วย รหัสของลูกค้าเรียงไปตามลำดับในการขนส่งสินค้า นอกเหนือจากการสร้างนักฟุตบอลแบบสุ่มตามจำนวน ดังกล่าวแล้ว ในงานวิจัยนี้ยังได้สร้างนักฟุตบอลที่มีความ สามารถสูงคนที่ k ขึ้นมา โดยใช้วิธีการของ Pichpibul & Kawtummachai (2012, 2013) อีกด้วย

ฝึกซ้อมร่างกาย จากทีมฟุตบอลและนักฟุตบอล ที่ถูกสร้างขึ้น นักฟุตบอลซึ่งเป็นตัวแทนของยานพาหนะ จะทำการฝึกซ้อมร่างกายของตนเอง เพื่อเพิ่มศักยภาพ ของแต่ละบุคคล ซึ่งในปัญหานี้จะใช้วิธีการเปลี่ยนลำดับ การขนส่งสินค้าภายในยานพาหนะแต่ละคันด้วยวิธีการ ของ Groër, Golden & Wasil (2010) อันประกอบด้วยวิธี Swap และวิธี Insert แสดงดังภาพที่ 4 วิธี Swap เป็นการเปลี่ยนแปลงลำดับในการขนส่งสินค้า ของยานพาหนะแต่ละคัน โดยการสุ่มเลือกรหัสของ ลูกค้ามา 2 ราย และทำการสลับตำแหน่ง ส่วนวิธี Insert เป็นการเปลี่ยนแปลงลำดับในการขนส่งสินค้า โดยการสุ่มเลือกรหัสของลูกค้ามา 1 ราย และสุ่มเลือกตำแหน่ง เพื่อทำการย้ายรหัสของลูกค้ารายดังกล่าวไป ขั้นตอนนี้ จะทำให้เกิดยานพาหนะคันใหม่ขึ้นอีก 1 คัน ซึ่งจะต้อง นำมาเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังฝึกซ้อม ถ้ายานพาหนะคันใหม่มีค่าตอบที่ดีขึ้นก็จะถูกนำไปแทนที่ ยานพาหนะคันเก่าโดยทันที

1 คำตอบของปัญหา COMVRP

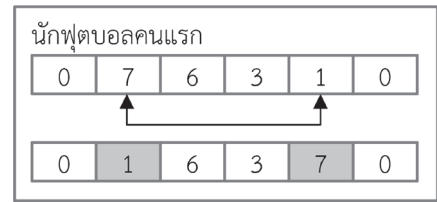


1 ทีมฟุตบอล

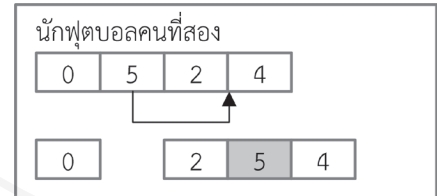


ภาพที่ 3 ตัวอย่างทีมฟุตบอล

ฝึกซ้อมแผนการจากทีมฟุตบอลและนักฟุตบอลที่ถูกสร้างขึ้น นักฟุตบอลซึ่งเป็นตัวแทนของยานพาหนะ จะทำการฝึกซ้อมแผนการระหว่างนักฟุตบอลภายในทีมด้วยกัน เพื่อเพิ่มศักยภาพโดยรวมของทีม ซึ่งในปัญหานี้ จะใช้วิธีการเปลี่ยนลำดับการขนส่งสินค้าระหว่างยานพาหนะด้วยวิธีการของ Groër, Golden & Wasil (2010) อันประกอบด้วยวิธี Swap และวิธี Insert แสดงดังภาพที่ 5 วิธี Swap เป็นการเปลี่ยนแปลงลำดับในการขนส่งสินค้าระหว่างยานพาหนะ 2 คัน โดยหลังจากการสลับจับคู่ยานพาหนะ ก็จะทำให้การสลับเลือกรหัสของลูกค้าระหว่างยานพาหนะแต่ละคันมาคันละ 1 ราย และทำการสลับตำแหน่ง ส่วนวิธี Insert เป็นการเปลี่ยนแปลงลำดับในการขนส่งสินค้า โดยการสลับเลือกรหัสของลูกค้ามา 1 ราย ในยานพาหนะคันที่ 1 และสลับเลือกตำแหน่งในยานพาหนะคันที่ 2 เพื่อทำการย้ายรหัสของลูกค้ารายดังกล่าวไป ขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดยานพาหนะคันใหม่ขึ้นอีก 2 คัน ซึ่งจะต้องนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังฝึกซ้อม ถ้ายานพาหนะคันใหม่ทั้ง 2 คัน มีคำตอบโดยรวมที่ดีขึ้น ก็จะถูกนำไปแทนที่ยานพาหนะคันเก่าทั้ง 2 คันโดยทันที



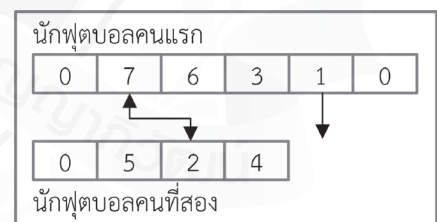
(1) วิธี Swap และแสดงผลลัพธ์



(2) วิธี Insert และแสดงผลลัพธ์

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการฝึกซ้อมร่างกาย

แข่งขันฟุตบอล ทีมฟุตบอลแต่ละทีมจะทำการแข่งขันกัน โดยการจับคู่ทีมฟุตบอล 2 ทีมมาแข่งขันกัน ในฟุตบอลลีก และห้ามไม่ให้การแข่งขันซ้ำกัน หลังจากเสร็จสิ้นการแข่งขันในแต่ละนัด ทีมที่มีคำตอบดีกว่าจะถือเป็นฝ่ายชนะได้คะแนน 3 คะแนน และทีมแพ้จะได้ 0 คะแนน ส่วนกรณีที่มีคำตอบเท่ากัน ทั้งสองทีมจะได้ทีมละ 1 คะแนน การแข่งขันในแต่ละฤดูกาลจะเสร็จสิ้นลงก็ต่อเมื่อทุกทีมได้ถูกจับคู่แข่งขันกันจนหมดแล้ว



(1) วิธี Swap และ Insert



(2) แสดงผลลัพธ์

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการฝึกซ้อมแผนการ

ซื้อขายนักฟุตบอล เมื่อสิ้นสุดฤดูกาลแข่งขัน ทีมฟุตบอลที่มีคะแนนสูงกว่าจะมีโอกาสในการแลกเปลี่ยน นักฟุตบอลที่มีความสามารถสูงจากทีมที่มีคะแนนน้อยกว่า เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับทีมของตัวเองมากยิ่งขึ้น

แข่งขันซ้ำกัน หลังจากเสร็จสิ้นการแข่งขันในแต่ละนัด ทีมที่มีคำตอบดีกว่าจะถือเป็นฝ่ายชนะได้คะแนน 3 คะแนน และทีมแพ้จะได้ 0 คะแนน ส่วนกรณีที่ทีมมีคำตอบเท่ากัน ทั้งสองทีมจะได้ทีมละ 1 คะแนน การแข่งขันในแต่ละ ฤดูกาลจะเสร็จสิ้นลงก็ต่อเมื่อทุกทีมได้ถูกจับคู่แข่งขันกัน จนหมดแล้ว

ซื้อขายนักฟุตบอล เมื่อสิ้นสุดฤดูกาลแข่งขัน ทีมฟุตบอลที่มีคะแนนสูงกว่าจะมีโอกาสในการแลกเปลี่ยน นักฟุตบอลที่มีความสามารถสูงจากทีมที่มีคะแนนน้อยกว่า เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับทีมของตัวเองมากยิ่งขึ้น

ผลการวิจัย

วิธีการที่ผู้วิจัยได้นำเสนอถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้

โปรแกรม Visual Basic รุ่น 6.0 และถูกนำไปประมวลผล บนคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™ i7 CPU 860 ที่ สัญญาณนาฬิกา 2.80 GHz ด้วยหน่วยความจำ 1.99 GB ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows XP โดยผู้วิจัย ได้ใช้ 17 ตัวอย่าง จากปัญหาด้านแบบมาตรฐานของ Augerat et al. (1995) ซึ่งประกอบด้วย 3 กลุ่มปัญหา คือ กลุ่ม A, B, P และ Christofides & Eilon (1969) ซึ่งประกอบด้วย 1 กลุ่มปัญหา คือ กลุ่ม E โดยแต่ละ ปัญหาจะมีคุณลักษณะแสดงดังตารางที่ 1 และจะถูก เขียนแทนด้วยอักษรย่อ ยกตัวอย่างเช่น ปัญหา A-32-k5 ตัวอักษร A แทนกลุ่มของปัญหา, n แทนจำนวนลูกค้า และ k แทนจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า อีกทั้งยังมีเงื่อนไขเพิ่มเติม ได้แก่ ระยะทางไกลสุดที่ ยานพาหนะสามารถเดินทางได้ (D) จำนวนยานพาหนะ ที่สามารถใช้ได้ของบริษัท (k_1) และจำนวนยานพาหนะ ที่สามารถใช้ได้ของการจัดจ้าง (k_2)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของปัญหา CVRP, OVRP และ COMVRP

ปัญหา	n	CVRP		OVRP		COMVRP		
		k_1	k_2	k_1	k_2	D	k_1	k_2
A-n32-k5	32	5	0	0	5	246.89	3	2
A-n33-k5	33	5	0	0	5	176.68	3	2
A-n33-k6	33	6	0	0	6	175.83	3	3
A-n34-k5	34	5	0	0	5	201.73	3	2
A-n36-k5	36	5	0	0	5	236.53	3	2
B-n50-k8	50	8	0	0	8	232.11	4	4
B-n51-k7	51	7	0	0	7	186.69	4	3
B-n52-k7	52	7	0	0	7	158.17	4	3
B-n56-k7	56	7	0	0	7	186.22	4	3
B-n57-k7	57	7	0	0	7	197.65	4	3
P-n21-k2	21	2	0	0	2	132.10	1	1
P-n22-k8	22	8	0	0	8	109.71	5	3
E-n22-k4	22	4	0	0	4	110.47	2	2
E-n30-k3	30	3	0	0	3	215.12	2	1
E-n33-k4	33	4	0	0	4	262.48	2	2
E-n51-k5	51	5	0	0	5	135.77	3	2
E-n76-k10	76	10	0	0	10	129.29	5	5

ตัวแปรของโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ได้ถูกกำหนดขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้ จำนวนทีมฟุตบอลเท่ากับจำนวน $\frac{n}{2}$ ทีม โดยตัวแปร n จะแทนจำนวนลูกค้า, จำนวนนักฟุตบอลเท่ากับจำนวน k คน โดยตัวแปร k จะแทนจำนวนยานพาหนะ, จำนวนนักฟุตบอลที่มีความสามารถสูงเท่ากับ 1 คน, จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณหานักฟุตบอลที่มีความสามารถสูงเท่ากับ 1,000 รอบ, จำนวนรอบที่ใช้ในการฝึกซ้อมร่างกาย และแผนการเท่ากับ 10 รอบ, จำนวนฤดูกาลแข่งขันเท่ากับ 10 ฤดูกาล และจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม

เท่ากับ 1,000 รอบ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโกลด์เดนบอล อัลกอริทึมที่นำเสนอ ผู้วิจัยจึงได้นำคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละปัญหาจากวิธีการของ Letchford, Lysgaard & Eglese (2007) และวิธีการของ Liu & Jiang (2012) มาทำการเปรียบเทียบคำตอบ แสดงดังตารางที่ 2 โดยในการอธิบายผลจะใช้การคำนวณหาค่าร้อยละผลต่าง (Percentage deviation: %Dev) เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างวิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (BKS) และวิธีการที่นำเสนอ (GB) แสดงดังสมการที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของปัญหา CVRP, OVRP และ COMVRP

ปัญหา	CVRP			OVRP			COMVRP		
	BKS ¹	GB ³	%Dev	BKS ¹	GB ³	%Dev	BKS ²	GB ³	%Dev
A-n32-k5	787.08	787.08	0.000	487.31	487.31	0.000	1063.53	1063.53	0.000
A-n33-k5	662.11	662.11	0.000	424.54	424.54	0.000	1004.49	994.91	-0.954
A-n33-k6	742.69	742.69	0.000	462.43	462.43	0.000	1170.88	1169.29	-0.136
A-n34-k5	780.94	780.94	0.000	508.17	508.17	0.000	1102.98	1102.17	-0.073
A-n36-k5	802.13	802.13	0.000	519.46	519.46	0.000	1096.35	1096.35	0.000
B-n50-k8	1315.38	1315.38	0.000	720.43	720.43	0.000	1739.95	1721.05	-1.086
B-n51-k7	1035.04	1035.04	0.000	625.14	625.14	0.000	1494.54	1494.54	0.000
B-n52-k7	749.97	749.97	0.000	441.19	441.19	0.000	1208.93	1202.70	-0.515
B-n56-k7	712.92	712.92	0.000	420.49	420.49	0.000	1169.84	1168.22	-0.138
B-n57-k7	1157.73	1157.73	0.000	646.36	646.36	0.000	1620.51	1549.48	-4.383
P-n21-k2	212.71	212.71	0.000	163.88	163.88	0.000	383.46	383.46	0.000
P-n22-k8	600.83	600.83	0.000	345.87	345.87	0.000	1183.87	1183.87	0.000
E-n22-k4	375.28	375.28	0.000	252.61	252.61	0.000	700.94	700.93	-0.001
E-n30-k3	535.80	535.80	0.000	393.51	393.51	0.000	733.24	730.83	-0.329
E-n33-k4	837.67	837.67	0.000	511.26	511.26	0.000	1065.46	1057.05	-0.789
E-n51-k5	524.61	524.61	0.000	416.06	416.06	0.000	929.70	921.28	-0.906
E-n76-k10	835.26	835.26	0.000	567.14	567.14	0.000	1750.26	1693.47	-3.245

¹ BKS: วิธี Branch-and-cut algorithm ของ Letchford, Lysgaard & Eglese (2007)

² BKS: วิธี Memetic algorithm ของ Liu & Jiang (2012)

³ GB: วิธี Golden ball algorithm ที่นำเสนอ

$$\%Dev = \left(\frac{GB - BKS}{BKS} \right) \times 100 \quad (1)$$

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 ในกรณีของปัญหา CVRP และ OVRP เนื่องจากคำตอบของ Letchford, Lysgaard & Eglese (2007) เป็นหนึ่งในวิธี Exact algorithm จึงแสดงให้เห็นว่า คำตอบที่ได้จากโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอสามารถค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดหรือต้นทุนการขนส่งที่ถูกที่สุด โดยสามารถคำนวณหาคำตอบได้เท่ากับวิธีการของ Letchford, Lysgaard & Eglese (2007) ทั้งหมด นอกจากนี้ในกรณีของปัญหา COMVRP โกลด์เดนบอล อัลกอริทึม ที่นำเสนอยังสามารถคำนวณหาคำตอบได้เท่ากับวิธีการของ Liu & Jiang (2012) เป็นจำนวน 5 ตัวอย่าง และยังค้นพบคำตอบใหม่ที่ดีกว่าเดิมได้ถึง 12 ตัวอย่างอีกด้วย

สรุปและอภิปรายผล

บทความวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอการศึกษา และพัฒนาโกลด์เดนบอล อัลกอริทึม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะในรูปแบบที่มีการใช้ยานพาหนะร่วมกันระหว่างของบริษัท และการจัดจ้าง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้ปัญหาด้านแบบมาตรฐานของ Augerat et al. (1995) และ Christofides & Eilon (1969) จำนวน 17 ตัวอย่าง และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดของ Letchford, Lysgaard & Eglese (2007) และของ Liu & Jiang (2012) จากผลการทดลองพบว่า วิธีการที่นำเสนอของผู้วิจัยมีประสิทธิภาพสูง และเป็นที่น่าพอใจในเรื่องของการลดต้นทุนการขนส่ง ในส่วนของคำตอบที่ได้นั้นก็ยังสามารถคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ทุกตัวอย่าง และนอกจากนี้ยังค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดใหม่ใน 12 ตัวอย่างอีกด้วย

บรรณานุกรม

- Augerat, P., Belenguer, J., Benavent, E., Corbern, A., Naddef, D. & Rinaldi, G. (1995). *Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem*. Grenoble, France: Universite Joseph Fourier.
- Christofides, N. & Eilon, S. (1969). An algorithm for the vehicle dispatching problem. *Operational Research Quarterly*, 20(3), 309-318.
- Clarke, G. & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.
- Dantzig, G. B. & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. & Coloni, A. (1996). Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Mans, and Cybernetics*, 26(1), 29-41.
- Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., Poggi de Aragão, M., Reis, M., Uchoa, E. & Werneck, R. F. (2006). Robust Branch-and-Cut-and-Price for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Mathematical Programming*, 106, 491-511.
- Gen, M. & Cheng, R. (1997). *Genetic algorithms and engineering design*. New York: John Wiley & Sons.
- Groër, C., Golden, B. & Wasi, E. (2010). A library of local search heuristics for the vehicle routing problem. *Mathematical Programming Computation*, 2(2), 79-101.

- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In: Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, J. & Vecchi, M. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- Krishnanand, K. N. & Ghose, D. (2009). Glowworm swarm optimization for simultaneous capture of multiple local optima of multimodal functions. *Swarm Intelligence*, 3(2), 87-124.
- Letchford, A. N., Lysgaard, J. & Eglese, R. W. (2007). A branch-and-cut algorithm for the capacitated open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 58, 1642-1651.
- Liu, R. & Jiang, Z. (2012). The close-open mixed vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 220(2), 349-360.
- Lysgaard, J., Letchford, A. N. & Eglese, R. W. (2004). A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming Series A*, 100(2), 423-445.
- Osaba, E., Diaz, F. & Onieva, E. (2014). Golden ball: a novel meta-heuristic to solve combinatorial optimization problems based on soccer concepts. *Applied Intelligence*, 41(1), 145-166.
- Pichpibul, T. & Kawtummachai, R. (2012). An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia*, 38, 307-318.
- Pichpibul, T. & Kawtummachai, R. (2013). A Heuristic Approach Based on Clarke-Wright Algorithm for Open Vehicle Routing Problem. *The Scientific World Journal*, 2013, 1-11.
- Pichpibul, T. (2015). Improving Vehicle Routing Decision for Travel Agency in Chonburi, Thailand. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 349, 251-258.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H. & Saryazdi, S. (2009). GSA: A Gravitational Search Algorithm. *Information Sciences*, 179(13), 2232-2248.
- Ruttanateerawichien, K., Kurutach, W. & Pichpibul, T. (2014). An Improved Golden Ball Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem. Bio-Inspired Computing - Theories and Applications. *Communications in Computer and Information Science*, 472, 341-356.
- Rochat, Y. & Taillard, É.D. (1995). Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. *Journal of Heuristics*, 1, 147-167.
- Salcedo-Sanz, S., Gallo-Marazuela, D., Pastor-Sánchez, A., Carro-Calvo, L., Portilla-Figueras, A. & Prieto, L. (2014). Offshore wind farm design with the Coral Reefs Optimization algorithm. *Renewable Energy*, 63, 109-115.
- Sariklis, D. & Powell, S. (2000). A Heuristic Method for the Open Vehicle Routing Problem. *The Journal of the Operational Research Society*, 51(5), 564-573.
- Wren, A. & Holliday, A. (1972). Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points. *Operational Research Quarterly*, 23(3), 333-344.
- Yang, X. S. (2009). Firefly algorithms for multi-modal optimization. In: Proceedings of the 5th International Symposium on Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, pp. 169-178.



Name and Surname: Tantikorn Pichpibul

Highest Education: Ph.D. in Engineering, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University

University or Agency: Panyapiwat Institute of Management

Field of Expertise: Supply Chain and Logistics Management, Decision Support System, Heuristic and Metaheuristic Algorithms

Address: 85/1 Moo 2, Chaengwattana Rd., Bang Talad, Pakkred, Nonthaburi 11120



Name and Surname: Natcha Tiempitak

Highest Education: Ph.D in Technopreneurship and Innovation Management, Chulalongkorn University

University or Agency: Panyapiwat Institute of Management

Field of Expertise: Innovation in Technology, Innovation Management, Strategic Management, Productivity and Quality Management

Address: 85/1 Moo 2, Chaengwattana Rd., Bang Talad, Pakkred, Nonthaburi 11120



Name and Surname: Naris Thamkuakool

Highest Education: Ph.D. in Business Administration, Kasetsart University

University or Agency: Panyapiwat Institute of Management

Field of Expertise: Innovation, Strategic Management

Address: 85/1 Moo 2, Chaengwattana Rd., Bang Talad, Pakkred, Nonthaburi 11120