

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติก สำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงเวลาเป็นสำคัญ

The development of a metaheuristic algorithm for
travel routing problem under the limited time constraint

สุดา ทิพย์ประเสริฐ^{1*} ปิยรัตน์ งามสนธิ¹ และ จินตนา เข้มประสิทธิ์¹

Suda Tipprasert^{1*}, Piyarat Ngamsanit¹ and Jintana Khemprasit¹

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงเวลาเป็นสำคัญ กล่าวคือ คำนึงถึงระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยวของผู้ใช้ที่มีอยู่อย่างจำกัดและการใช้เวลาให้คุ้มค่าในแง่ของการไปเยี่ยมสถานที่ปลายทางที่ผู้ใช้ระบุให้ได้ครบหรือมากที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดนั้น โดยบทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนแบบผสมเพื่อการวางแผนการเดินทางดังกล่าว ซึ่งได้แทรกวิธีการหาคำตอบแบบไดจ์สตรา (Dijkstra's algorithm) ในกระบวนการสร้างแผนการเดินทางเริ่มต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล คือแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่สามารถเดินทางไปเยี่ยมสถานที่ปลายทางได้ครบทุกแห่งภายในกรอบเวลาที่จำกัดโดยใช้เวลาคำนวณที่เหมาะสมจากการทดลองเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนต้นแบบพบว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาคำนวณน้อยกว่าและให้คุณภาพคำตอบดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวางแผนที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางจำนวนมาก

คำสำคัญ: การวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสม ขั้นตอนวิธีในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อน

Abstract

This paper presents the development of a metaheuristic algorithm for travelling the routing problem under the limited time constraint. The objective of this study is to develop the algorithm for travelling the planning in order to balance the limited time and the requested destinations by facilitating travelers to reach destinations as much as possible under the limited time constraint. This paper proposed the hybrid algorithm between simulated annealing algorithm (SA) and Dijkstra's algorithm for the selected initial solution process. The performance of the proposed algorithm was compared with the classical SA algorithm. The experimental results indicated that the CPU time and the quality of solution of our hybrid algorithm is explicit better, especially in the large size of destinations dataset.

Keywords: travel planning, hybrid metaheuristic algorithm, travel routing algorithm, simulated annealing

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี 22210

¹ Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus 22210

* Corresponding author. E-mail: suda.tipprasert@gmail.com

บทนำ

ในสภาวะการณ์ปัจจุบันที่รัฐบาลได้มุ่งเน้นส่งเสริมการท่องเที่ยว ส่งผลให้เกิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวมากมาย ซึ่งต่างพัฒนาเพื่อวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวตามปัจจัยที่ระบบฯ ได้ตั้งไว้แตกต่างกันออกไป (สมจินต์และคณะ, 2552; Maruyama *et al.*, 2004; Su *et al.*, 2008; Niaraki and Kim, 2009) และเป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวมีมากมาย แต่ปัจจัยหนึ่งที่นักท่องเที่ยวมีเหมือนกันนั่นคือ ปัจจัยด้านเวลา (ศศิวิมล, 2556) ดังนั้นเกือบทุกระบบฯ จึงต้องพิจารณาปัจจัยด้านเวลาให้เป็นปัจจัยนำเข้า และหากพิจารณาในประเด็นผลลัพธ์สุดท้ายที่ระบบฯ ต้องนำเสนอต่อผู้ใช้ก็จะพบว่า ผลลัพธ์ดังกล่าวก็คือแผนการเดินทางนั่นเองซึ่งกฎเกณฑ์ที่ทำให้ระบบฯ สร้างแผนการเดินทางสำเร็จนั้นก็คือ ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทาง

นักวิจัยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางอย่างต่อเนื่องโดยมีจุดมุ่งหมาย คือ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายใต้วัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน (กิตติเดช และเกียรติศักดิ์, 2553; อรประไพ และปวีณา, 2556; Karadimas *et al.*, 2005; Wang and Chen, 2012) ในระยะแรกของการพัฒนาขั้นตอนวิธีส่วนใหญ่จึงนำแนวคิดในกลุ่มวิธีแม่นยำ (exact methods) ที่สามารถประกันผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้เนื่องจากคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลยมาเป็นแนวทางในการพัฒนา (Lawler *et al.*,

1985; Agarwal *et al.*, 1989; Laporte, 1992) การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อหาระยะทางที่ประหยัดที่สุดจากการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง และจัดลำดับการเดินทางก่อนหลัง โดยใช้หลักการของ Clarke and Wright saving algorithm (ภิกขุญา และธนัญญา, 2560) สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว อาจใช้วิธีแม่นยำตรงเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในการเดินทาง 7 สถานที่ซึ่งมี 13,699 รูปแบบเส้นทาง แต่อาจจะทำได้ล่าช้าหรือใช้เวลาประมวลผลนานจนเกินไปไม่ได้ในทางปฏิบัติหรือกรณีที่แย่ที่สุดอาจไม่สามารถทำได้ในการเดินทาง 15 สถานที่ซึ่งมีรูปแบบการเดินทางมากถึง 3 ล้านล้านรูปแบบ (ศศิวิมล, 2556)

ด้วยข้อจำกัดของวิธีแม่นยำ ในระยะหลังจึงได้มีการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่ใช้แนวคิดตามวิธีฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติก (ปิยรัตน์, 2553; Yoon *et al.*, 2010; Kurata and Hara, 2013) ที่คำนวณหาเพียงบางส่วนของผลเฉลยที่เป็นไปได้ แต่ยังให้ผลเฉลยที่คุณภาพดีเพียงพอในเวลาคำนวณที่ยอมรับได้ จึงเป็นที่มาของการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีในครั้งนี้นี่นำแนวคิดจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นมาประยุกต์ใช้เป็นฐานในการพัฒนาและแทรกวิธีการหาคำตอบแบบไดกัสตราเข้าไปในกระบวนการบางส่วนผลลัพธ์ที่ได้คือ แผนการเดินทางที่สามารถเดินทางไปยังมสถานที่ปลายทางได้ครบหรือมากแห่งที่สุดภายในกรอบเวลาที่จำกัด โดยใช้เวลาคำนวณที่เหมาะสม

วิธีการศึกษา

1) การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธี

เนื่องจากในงานนี้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนแบบผสมในการพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮีริสติกสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงเวลาเป็นสำคัญ ดังนั้นในการออกแบบจึงได้ออกแบบบนพื้นฐานของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนทั้ง 4 กระบวนการ โดยมีบางส่วนที่นำวิธีการหาคำตอบแบบไดกัสตรามาใช้ปรับปรุงขั้นตอนวิธีให้ทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

สำหรับแนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนนั้น ได้เลียนแบบอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการอบอ่อน (annealing) ที่เป็นแนวคิดทางธรรมชาติจากการทำให้เหล็กที่กำลังร้อนเย็นตัวลงซึ่งเป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมโลหะเพื่อให้ได้โลหะที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (เหนียวพอดีและไม่เปราะ) เป็นวิธีการค้นผลเฉลยแบบเฉพาะที่ซึ่งมีกระบวนการทำงานแบบวนซ้ำ (iterative) เพื่อค้นคำตอบในปริภูมิคำตอบหรือผลเฉลยอื่นที่น่าจะดีกว่าไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่พอใจโดยเริ่มจากคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม (ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนที่เป็นต้นแบบ) (Kirkpatrick *et al.*, 1983; Černý, 1985) ในแต่ละรอบการวนซ้ำในวิธีการจำลองการอบอ่อน จะสร้างผลเฉลยที่คาดว่าจะเป็ผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยการใช้ฟังก์ชันการหาคำตอบใกล้เคียง (neighborhood function)

ในการตัดสินใจว่าควรจะใช้ผลเฉลยใหม่ที่ได้จากฟังก์ชันการหาคำตอบใกล้เคียงเป็นคำตอบหรือสถานะใหม่ของระบบหรือไม่เพื่อที่จะกระจายความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบไป จะต้องมี

การเปรียบเทียบคำตอบซึ่งได้จากการคำนวณสถานะหรือค่าที่เปลี่ยนไปจากคำตอบปัจจุบัน ใช้สัญลักษณ์ ΔE การคำนวณ ΔE ได้จากสมการที่ (1)

$$\Delta E = C(S) - C(S') \quad (1)$$

โดยที่ ΔE คือ ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง

$C(S)$ คือ ต้นทุนของคำตอบเริ่มต้น S

$C(S')$ คือ ต้นทุนของคำตอบใหม่ S'

หาก $\Delta E < 0$ (คำตอบใหม่ดีกว่าคำตอบเก่า) จะปรับปรุงให้ S' เป็นคำตอบของระบบ แต่ถ้า $\Delta E > 0$ (คำตอบใหม่แย่กว่าคำตอบเก่า) นั้นหมายถึง S' ไม่ดีกว่า S ปัจจุบัน การที่จะยอมรับคำตอบใหม่ให้เป็นคำตอบปัจจุบัน จะคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเคลื่อนย้ายคำตอบ (probability of ΔE : $prob(\Delta E)$) ดังสมการที่ (2)

$$prob(\Delta E) = e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \quad (2)$$

โดยที่ ΔE คือ ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง

k คือ ค่าที่โบลทซ์มันน์ (Boltzmann

constant: k_B or k)

T คือ อุณหภูมิปัจจุบันของการอบอ่อน

ในการกระจายของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบนั้นขึ้นอยู่กับค่า ΔE และค่า T โดยทั่วไปนิยมใช้กฎบนพื้นฐานความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann's probability: β) โดยการสุ่มตัวเลข β ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับ $prob(\Delta E)$ ถ้า $prob(\Delta E) > \beta$ แล้ว จะให้ S' เป็นคำตอบของระบบ แต่หากไม่ใช่ให้คงคำตอบไว้ที่ S

เหมือนเดิมและจะทำซ้ำกระบวนการวนรอบจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าขั้นตอนนี้จะทำให้ระบบมีคำตอบหรือสถานะที่เข้าใกล้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะที่จากนั้นทำการปรับค่าอุณหภูมิ T ตามฟังก์ชันการลดอุณหภูมิ (temperature function) แล้วเริ่มทำซ้ำขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบทั้งหมดใหม่อีกครั้ง กระบวนการยุติ (ระบบถูกแช่แข็ง) เมื่อค่าอุณหภูมิ T มีค่าเป็น 0 หรือเงื่อนไขการหยุดอื่นเป็นจริง ระบบให้ผลลัพธ์ 1 ผลลัพธ์ (คำตอบ S)

สำหรับรายละเอียดกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอที่ได้ดัดแปลงมาจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อน มีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการที่ 1: กำหนดพารามิเตอร์ฟังก์ชันอุณหภูมิที่เกี่ยวข้อง (set temperature function and cooling schedule) ได้แก่การกำหนด αT และ T_0

กระบวนการที่ 2: สร้างคำตอบเริ่มต้น (selected initial solution): สร้างแผนการเดินทางที่เป็นคำตอบแรก/เริ่มต้นโดยใช้วิธีใดก็ได้ในการหาคำตอบแทนวิธีการสุ่ม หลักการทำงานคือจะเลือกจุดที่ใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุด (shortest time route: STTR) จากจุดที่อยู่ปัจจุบันไปยังจุดใดๆ ที่เหลือหยุดเมื่อเลือกครบทุกจุดหรือเมื่อไม่อยู่ในกรอบเวลาแล้ว ซึ่งจะได้แผนการเดินทางที่คาดว่าใช้ระยะเวลาเดินทางน้อยที่สุด (S_1) สำหรับตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้จะได้แผนการเดินทางเริ่มต้น 1 แผนการเดินทาง ในที่นี้ยกตัวอย่างแผนการเดินทาง 0-6-5-3-4-1-2-0 เป็นแผนการเดินทางเริ่มต้น อธิบายแผนการเดินทางได้ดังนี้ เดินทางจากจุดเริ่มต้นสถานที่ 0 ไปยังจุดหมายปลายทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด สมมุติให้ในที่นี้คือสถานที่

6 และจากสถานที่ 6 ไปยังจุดหมายปลายทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด คือสถานที่ 5 และจากสถานที่ 5 ไปยังจุดหมายปลายทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด คือสถานที่ 3, 4, 1 และ 2 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อไปเยือนสถานที่ครบทุกจุดจึงกลับมายังจุดเริ่มต้นคือสถานที่ 0

กระบวนการที่ 3: ฟังก์ชันการสับเปลี่ยนคำตอบ (neighbor swap functions) กระบวนการนี้จะพยายามค้นหาคำตอบอื่นที่อาจเปลี่ยนทิศทาง (vector) ในการค้นหาให้เข้าไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ S_i โดยใช้ neighbor functions เพื่อสับเปลี่ยนบางส่วนของคำตอบ S_i โดยสุ่มเลือกโหนดที่จะสับตำแหน่ง (random swap: RSw) ทำซ้ำกระบวนการสับเปลี่ยนนี้จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

กระบวนการที่ 4: ตรวจสอบการยุติการทำงาน (stopping criteria) กระบวนการจะยุติ (ระบบถูกแช่แข็ง) เมื่อขั้นตอนวิธีไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ใน 50 วนการทำงานหรือเมื่อ T ลดลงจนน้อยกว่า 0.01

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธี คือแผนการเดินทางที่คำนึงถึงเวลาเป็นสำคัญ นั่นคือแผนการเดินทางที่ใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุดหรือใกล้เคียงที่น้อยที่สุดและมีลำดับในการเดินทางเยี่ยมสถานที่ 1 แผนการเดินทาง

2) การทดสอบการใช้งาน

ในการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้ทดสอบใน 2 ประเด็น ได้แก่ ประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล และประเด็นด้านคุณภาพของคำตอบ (quality of solution) โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองได้จากการสร้างสถานการณ์จำลองด้วย

การสุ่มตัวอย่างข้อมูลที่แตกต่างกันจำนวน 23 ชุด โดยแต่ละชุดจะเลือกจำนวนสถานที่ที่แตกต่างกัน 3-25 แห่ง และประมวลผลข้อมูลชุดละ 10 ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ทดลองโดยเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่พัฒนากับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบรายละเอียดดังนี้

ประเด็นที่ 1: ด้านความเร็วในการประมวลผล โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากเวลาในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูล ระหว่างขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่นำเสนอ (STTR SA) กับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ (classical SA) เพื่อพิจารณาว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่นำเสนอ เร็วกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบหรือไม่หรือเรียกว่าค่าประสิทธิภาพด้านความเร็ว หาได้ดังสมการที่ (3)

ประเด็นที่ 2: ด้านคุณภาพของคำตอบ โดยพิจารณาเปรียบเทียบคำตอบในการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูลระหว่างขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่นำเสนอ กับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ เพื่อพิจารณาว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่นำเสนอ มีคุณภาพของคำตอบดีกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบหรือไม่หรือเรียกว่าค่าประสิทธิภาพด้านคุณภาพของคำตอบ หาได้ดังสมการที่ (3)

สำหรับคุณภาพของคำตอบในที่นี้หมายถึง เวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว (travelling time) ของแผนการเดินทางใดๆ ซึ่งหากมีแผนการเดินทางหลายแผนที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากันแล้ว แผนการเดินทางที่ใช้เวลาในการท่องเที่ยว น้อยกว่า จะถือว่ามีความคุณภาพของคำตอบดีกว่า

$$\%GAP = \frac{(V_e - V_p)}{V_e} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ %GAP คือค่าประสิทธิภาพ

V_e คือ ค่าเฉลี่ยความเร็ว/คำตอบของขั้นตอน

วิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่เสนอ

V_p คือ ค่าเฉลี่ยความเร็ว/คำตอบของขั้นตอน

วิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการทดลองในประเด็นที่ 1 ด้านความเร็วในการประมวลผลระหว่างขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่นำเสนอ กับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบในชุดข้อมูล 23 ชุด พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ เฉลี่ยของทุกชุดในการคำนวณชุดละ 10 ครั้งนั้น ใช้เวลาน้อยกว่าร้อยละ 11.06 ปรากฏผลการทดสอบดัง (Table 1) และ (Figure 1) โดย %GAP_Sec แทนค่าประสิทธิภาพด้านความเร็ว %GAP_S แทนค่าประสิทธิภาพด้านคุณภาพของคำตอบ แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอซึ่งดัดแปลงมาจากขั้นตอนการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ โดยการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีใดก็ได้สัคนั้น ลดเวลาในการประมวลผลลงน้อยกว่า ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ ซึ่งสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่ม โดยขั้นตอนการสุ่มคำตอบเริ่มต้นนั้น อาจจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่า การสร้างคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีใดก็ได้สัคนั้น

Table 1 The comparison of CPU time (Sec) and the result (S) of classical SA and STTR SA for the average case.

place	Sec		S		%GAP_Sec	%GAP_S
	classical SA	STTR SA	classical SA	STTR SA		
3	0.0125	0.0140	150.8	150.8	-11.69	0
4	0.0144	0.0158	343.3	343.3	-9.24	0
5	0.0171	0.0172	728.58	728.58	-0.27	0
6	0.0252	0.0238	394.41	394.34	5.47	0.02
7	0.0115	0.0118	640.48	639.03	-2.41	0.23
8	0.0228	0.0191	969.45	969.23	16.2	0.02
9	0.0126	0.0090	920.33	927.18	28.32	-0.74
10	0.0261	0.0240	2,159.19	2,112.25	7.82	2.17
11	0.0115	0.0108	2,256.80	2,216.74	6.37	1.78
12	0.0297	0.0282	2,316.27	2,317.63	5.17	-0.06
13	0.0178	0.0159	2,406.12	2,365.02	10.92	1.71
14	0.0304	0.0287	1,406.94	1,292.99	5.33	8.1
15	0.0338	0.0299	1,551.21	1,213.14	11.41	21.79
16	0.0413	0.0355	2,152.92	1,935.04	14.25	10.12
17	0.0240	0.0183	2,065.54	1,750.38	23.69	15.26
18	0.0418	0.0390	2,296.76	1,937.17	6.83	15.66
19	0.0227	0.0218	3,415.37	2,781.03	3.96	18.57
20	0.0301	0.0243	4,302.75	4,054.99	19.13	5.76
21	0.0403	0.0332	5,276.13	3,924.16	7.84	25.62
22	0.0527	0.0451	6,484.90	5,117.81	14.35	21.08
23	0.0309	0.0296	7,270.31	5,195.68	4.25	28.54
24	0.0404	0.0319	8,295.06	5,162.05	21.15	37.77
25	0.0425	0.0353	9,435.17	5,834.40	17.03	38.16
Avg.					11.06	20.64

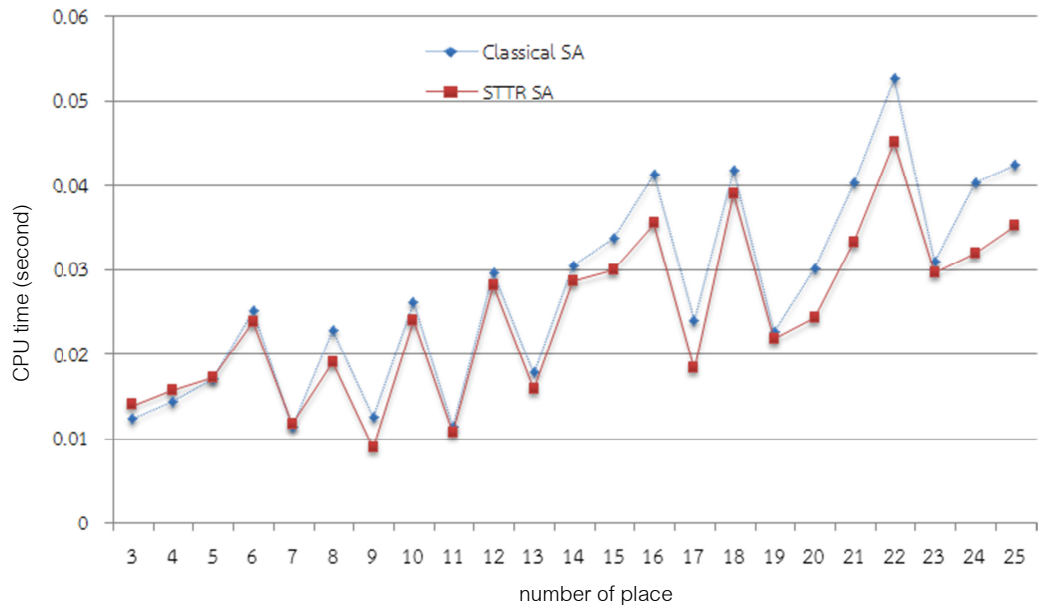


Figure 1 The comparison CPU time of classical SA and STTR SA.

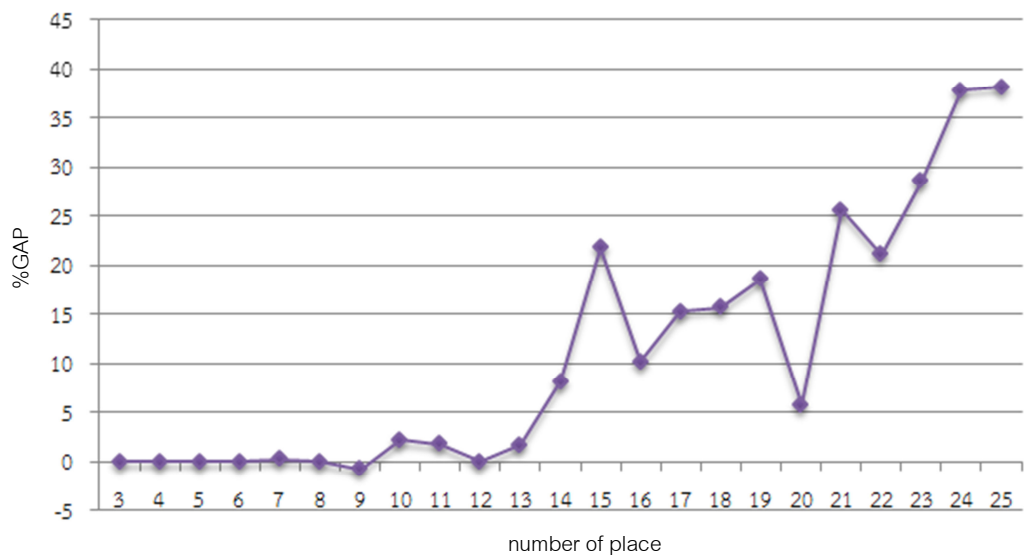


Figure 2 The improvement percentage of the STTR SA over the classical SA.

ผลการทดลองในประเด็นที่ 2 ด้านคุณภาพของคำตอบระหว่างขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นแบบผสมที่นำเสนอกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบในชุดข้อมูล 23 ชุด พบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมีคุณภาพของคำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบ (ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ซึ่งคือแผนการเดินทางที่ใช้เวลาในการเดินทางเฉลี่ยน้อยกว่า) เฉลี่ยของทุกชุดข้อมูลในการคำนวณชุดละ 10 ครั้งนั้น มีค่าประสิทธิภาพด้านคุณภาพของคำตอบดีกว่าร้อยละ 20.64 ปรากฏผลการทดสอบดัง (Figure 2) ซึ่งจากผลการทดลองขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่า (เวลาในการเดินทางเฉลี่ยน้อยกว่า) จะส่งผลให้นักท่องเที่ยวได้ใช้เวลาในการท่องเที่ยวมากกว่า และประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวได้

สรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่คำนึงถึงระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการท่องเที่ยวของผู้ใช้ที่มีอยู่อย่างจำกัด และการไปเยี่ยมสถานที่ปลายทางที่ผู้ใช้ระบุให้ได้ครบทุกแห่งภายในเวลาที่จำกัด จากการประยุกต์แนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นที่อยู่ในกลุ่มของวิธีแบบเมตาฮิวริสติกมาใช้ ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการคำนวณได้ในขณะที่ยังให้คุณภาพของคำตอบที่ดีขึ้นจากการที่ประยุกต์

วิธีการหาคำตอบแบบไดกีสตรามาใช้ในกระบวนการสร้างคำตอบเริ่มต้น จากผลการทดสอบพบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาคำนวณน้อยกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบร้อยละ 11.06 และคำตอบที่ได้ยังมีความพืดขึ้นเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีต้นแบบถึงร้อยละ 20.64 สำหรับประเด็นด้านความเร็วในการประมวลผล ถึงแม้เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นต้นแบบจะใช้เวลาเร็วกว่าเล็กน้อยแต่หากพิจารณาในด้านคุณภาพของคำตอบแล้วจะพบว่าเมื่อใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะได้คำตอบที่เหมาะสมกว่ามากในการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นขั้นตอนวิธีของระบบวางแผนแผนการเดินทางท่องเที่ยวใดๆ ในการค้นหาแผนการเดินทางภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา ยิ่งไปกว่านั้น ยังสามารถนำไปปรับใช้กับรูปแบบปัญหาอื่นที่ต้องการวางแผนการเดินทางภายใต้เงื่อนไขด้านเวลาดังกล่าวได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- กิตติเดช วงศ์ศักดิ์ และเกียรติศักดิ์ โยชนะนัง. 2553. ระบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองโดยใช้ขั้นตอนวิธีระบบมด. น.161-166. ใน: การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศครั้งที่ 6 (NCCIT2010), 3-5 มิถุนายน 2553. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- ปิยรัตน์ งามสนธิ. 2553. การพัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับวางแผนการท่องเที่ยวส่วนบุคคล. วิทยานิพนธ์วิทยาการสารสนเทศมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- ภิกขุญา คงแก้ว และธัญญา วสุศรี. 2560. การพัฒนาอีวีรติคเพื่อการจัดสรรเส้นทางมารับและส่งสินค้าที่มีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* 27(1): 111-123.
- ศศิวิมล กอบัว. 2556. การพัฒนาระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา. วิทยานิพนธ์วิทยาการสารสนเทศมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- สมจินต์ เปียโคสูง, ปิยรัตน์ งามสนธิ, พิชญ์สินี กิจวัฒนากร, จิตมินต์ อังสกุล และธรา อังสกุล. 2552. ระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวอัจฉริยะเพื่อประหยัดพลังงาน. น. 67-72. ใน: งานประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ (ECTI-CARD) ครั้งที่ 1, 4-6 พฤษภาคม 2552. โรงแรมมารีดิออนเมืองแอร์พอร์ต, กรุงเทพฯ.
- อรประไพ จำรูพัฒน์ และปวีณา เชาวลิทวงศ์. 2556. อีวีรติคส์สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* 4(3): 57-72.
- Agarwal, Y., K. Mathur and H.M. Salkin. 1989. A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem. *Networks* 19(7): 731-749.
- Černý, V. 1985. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications* 45(1): 41-51.
- Karadimas, N.V., G. Kouzas, I. Anagnostopoulos and V. Loumos. 2005. Urban solid waste collection and routing: The ant colony strategic approach. *I.J. of Simulation*. 6(12): 45-53.
- Kirkpatrick, S., C.D. Gelatt and M.P. Vecchi. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science* 22(4598): 671-680.
- Kurata, Y. and T. Hara. 2013. CT-planner4: Toward a more user-friendly interactive day-tour planner. pp. 73-86. In: Information and communication technologies in tourism 2014, 21-24 January 2014. Dublin, Ireland.
- Laporte, G. 1992. The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research* 59: 231-247.
- Lawler, E.L., J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan and D.B. Shmoys. 1985. the traveling salesman problem: A guided tour of combinatorial optimization. John Wiley & Sons, US.
- Maruyama, A., N. Shibata, Y. Murata, K. Yasumoto and M. Ito. 2004. P-tour: A personal navigation system for tourism. pp. 18-21. In: Proceedings of 11th World Congress on ITS. Sydney, Australia.

- Niaraki, A.S. and K. Kim. 2009. Ontology based personalized route planning system using a multi - criteria decision making approach. *Expert Systems with Applications* 36(2): 2250-2259.
- Su, J.M., C.H. Chang and W.C. Ho. 2008. Development of trip planning systems on public transit in Taiwan. pp. 791-795. *In: IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control* 2008, 6-8 April 2008. Taiwan.
- Wang, H.F. and Y.Y. Chen. 2012. A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pickup problems with time window. *Computers and Industrial Engineering* 62(1): 84-95.
- Yoon, H., Y. Zheng, X. Xie and W. Woo. 2010. Smart Itinerary recommendation based on user-generated GPS trajectories. pp. 19-34. *In: 7th International conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC 2010)*, 26-29 October 2010. Northwestern Polytechnical University Xi'an, Shaanxi, China.