

การแก้ปัญหาการเดินทางขนส่งโดยใช้การค้นหาแบบกระแสวิกฤตปรับตัว Solving Traveling Transportation Problems using Adaptive Current Search

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี*

ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อกรุงเทพมหานคร 10800

E-mail:supaporn.s@eng.kmitnb.ac.th*

Supaporn Suwannarongsri*

Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok,

1518 Piboonsongkram Rd. Bangsue District, Wong Sawang Area, Bangkok 10800,

E-mail:supaporn.s@eng.kmitnb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการเดินทางขนส่งอย่างเหมาะสมโดยใช้การค้นหาแบบกระแสวิกฤตปรับตัว ซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกที่ทรงประสิทธิภาพ ปัญหาการเดินทางขนส่งได้รับการพิจารณาเป็นปัญหาแบบ NP-complete ซึ่งสามารถหาคำตอบเหมาะที่สุดได้โดยอาศัยวิธีการที่มีประสิทธิภาพ หรืออาศัยแนวทางอภิศึกษาสำนึก บทความนี้ได้ทำการประยุกต์การค้นหาแบบกระแสวิกฤตปรับตัวเพื่อแก้ปัญหาการเดินทางขนส่งในระดับจังหวัดจำนวน 6 จังหวัดของประเทศไทยเพื่อเป็นกรณีศึกษา โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการค้นหาแบบตามู จากผลการทดสอบพบว่าการค้นหาแบบกระแสวิกฤตปรับตัวสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการค้นหาแบบตามู อย่างมีนัยสำคัญ

คำหลัก ปัญหาการเดินทางขนส่ง, การค้นหาแบบกระแสวิกฤตปรับตัว, การหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึก

Abstract

This paper proposes the application of the adaptive current search (ACS) to solve the traveling transportation problems (TTP) optimally. The TTP problem is considered as a class of NP-complete problems which can be solve by only efficient method or metaheuristic approach. The ACS is one of the most efficient metaheuristic optimization techniques. In this paper, the ACS is applied to solve six provincially TTP problems in Thailand as a case study. Solutions obtained by the ACS will be compared with those obtained by the genetic algorithm (GA) and tabu search (TS). As results, it was found that the ACS can provide better solutions than the GA and TS significantly.

Keywords: Traveling transportation problem, Adaptive current search, Metaheuristic optimization

1. บทนำ

ปัญหาการเดินทางขนส่ง (travelling transportation problems: TTP) เป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งปัญหาหนึ่งในวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ปัญหาดังกล่าวได้รับการพิจารณาเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบ NP-complete ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

(traveling salesman problems: TSP) [1] ที่ มีเป้าหมายในการทำให้ระยะทางในการเดินทางขนส่งระหว่างจุดหมายต่างๆ สั้นที่สุด โดยที่การเดินทางดังกล่าวจะต้องเป็นการเดินทางเข้าและออกแต่ละจุดหมายเพียงครั้งเดียวเท่านั้น [2] จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีกลุ่มนักวิจัยต่างๆ ได้พัฒนาและนำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหา TTP

(TSP) เช่นวิธีศึกษาสำนึก [3] วิธี branch-and-bound [4] กำหนดการเชิงเส้น (linear programming) [5] ต่อมาได้มีการใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกเพื่อแก้ปัญหา TTP (TSP) ได้แก่ การออบอ่อนจำลอง (simu-lated annealing: SA) [6] การค้นหาแบบตามู (tabusearch: TS) [7] ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algo-rithm: GA) [8] เป็นต้น

ในปี ค.ศ.2014 การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว (adaptive current search: ACS) ได้รับการนำเสนอในฐานะเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึก [9] ขั้นตอนวิธีของ ACS ได้รับการพัฒนาขึ้นจากพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรขาย และอาศัยรายการหน่วยความจำสำหรับจดจำผลเฉลยในอดีตประกอบกับกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (adaptive radius mechanism: AR) เพื่อเร่งกระบวนการค้นหาผลเฉลย ทำให้ ACS สามารถค้นหาผลเฉลยวงกว้าง (global solution) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ACS ได้ถูกนำไปแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การแก้ปัญหาการจัดการพลังงานในสายงานการประกอบ[9], [10] และการจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง [11] เป็นต้น

บทความนี้แนะนำการประยุกต์ ACS เพื่อแก้ปัญหา TTP สำหรับการขนส่งในระดับจังหวัดจำนวน 6 จังหวัดของประเทศไทยในฐานะกรณีศึกษาผลการทดสอบจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธี GA และ TS ตามลำดับ

2. การก่อรูปปัญหา TTP

ในทางทฤษฎีอาจกล่าวได้ว่าปัญหา TTP มีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหา TSP ซึ่งได้รับการนำเสนอเป็นรูปแบบของปัญหาทางคณิตศาสตร์ครั้งแรกในช่วงทศวรรษที่ 1800s และต่อมาได้พัฒนาจนมีรูปแบบทั่วไป (general form) บนรากฐานของทฤษฎีกราฟ (graph theory) ในช่วงทศวรรษที่ 1930s [1],[2],[12]

กำหนดให้ $G=(V, E)$ เป็นกราฟสมบูรณ์ที่มีจุดยอด (vertices) $V, |V|=n$ ที่ซึ่ง n คือจำนวนจุดหมาย (เมือง)ทั้งหมด และขอบ E ซึ่งมีระยะทางเป็น c_{ij} สำหรับเมืองที่ (i, j) โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจเฉพาะปัญหาTTP แบบสมมาตร นั่นคือ

$c_{ij} = c_{ji}$ ของทุกเมือง (i, j) รูปแบบปัญหา TTP แสดงดังสมการที่ (1) ถึง (5) โดยที่สมการ (1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function)ซึ่งใช้สำหรับการทำให้ระยะทางการขนส่งมีค่าน้อยที่สุดสมการ (2) เป็นเงื่อนไขที่จะรับประกันว่าแต่ละจุดหมายจะมีการเดินทางเข้ามาจากจุดหมายอื่นๆ เพียงจุดหมายเดียวเท่านั้น สมการ (3) เป็นเงื่อนไขที่จะรับประกันว่าแต่ละจุดหมายจะมีการเดินทางออกไปสู่จุดหมายอื่นๆเพียงจุดหมายเดียวเท่านั้น สมการ (4) เป็นเงื่อนไขสำหรับการกำจัดเส้นทางวนย่อย (subtour) ในขณะที่สมการที่ (5) เป็นเงื่อนไขสำหรับการตรวจสอบว่าขอบ อยู่ในกลุ่มของคำตอบหรือไม่ ถ้า $x_{ij} = 1$ นั้นหมายความว่าขอบ E อยู่ในกลุ่มของคำตอบ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้ว $x_{ij} = 0$

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} x_{ij} = 1, \quad i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} x_{ij} = 1, \quad j \in V \quad (3)$$

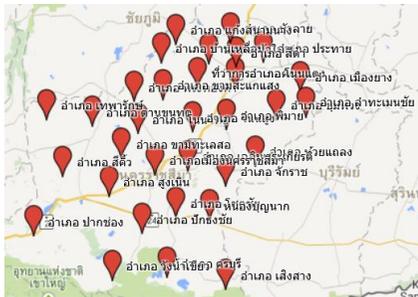
$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset V, S = \emptyset \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, \quad i, j \in V \quad (5)$$

ปัญหา TTP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการเดินทางขนส่งในระดับจังหวัดจำนวน 6 จังหวัดของประเทศไทยในฐานะกรณีศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 ตัวอย่างปัญหาที่ 1 (จังหวัดนครราชสีมา) ซึ่งมีจำนวน 32 จุดหมาย (อำเภอ) แสดงพิกัดด้วย Google Map ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ปัญหา TTP ที่ใช้ในงานวิจัย

ปัญหาที่	จังหวัด	จำนวนจุดหมาย (อำเภอ)
1.	นครราชสีมา	32
2.	ขอนแก่น	25
3.	อุบลราชธานี	25
4.	เชียงใหม่	24
5.	บุรีรัมย์	23
6.	นครศรีธรรมราช	23



รูปที่ 1 พิกัดของปัญหาที่ 1 (นครราชสีมา)

3. ขั้นตอนวิธีของ ACS

การค้นหาแบบกระแสวิ่งปรับตัว (ACS) เป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกถึงผลเฉลยเดี่ยว[9], [10] ที่มีขั้นตอนวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมกรรมกรไทลของกระแสไฟฟ้า ACS จะใช้รายการหน่วยความจำเพื่อจดจำผลเฉลยในอดีต และใช้ประโยชน์จากผลเฉลยดังกล่าวเพื่อกำหนดทิศทางการค้นหา ประกอบกับกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (AR) เพื่อเร่งกระบวนการค้นหาผลเฉลย ขั้นตอนวิธีของ ACS สามารถแสดงดังรหัสเทียม (pseudocode) ในรูปที่ 2 และตัวอย่างการค้นหาของ ACS บนปริภูมิ 2 มิติเมื่อกำหนดให้จำนวนเส้นทางการค้นหาเท่ากับ 4 เส้นทางแสดงดังรูปที่ 3

4. ผลการทดสอบและอภิปราย

ขั้นตอนวิธีของ ACS ที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3 ได้รับการพัฒนาขึ้นด้วย MATLAB เพื่อประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ Intel Core2 Duo 2.0 GHz สำหรับแก้ปัญหาTTP โดยเริ่มต้นจากการทดสอบเพื่อหาค่า

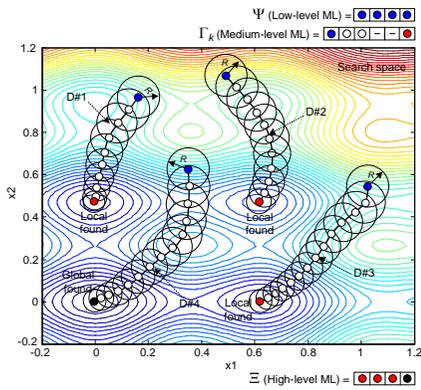
Pseudo-code of ACS

```

procedure
Initialize the search space = Ω,
the memory lists (ML) Ψ = Γ = Ξ = ∅,
the iteration counter i = j = k = l = 1,
the maximum search iteration in each direction Imax,
the maximum allowance of solution
cycling Jmax, the number of initial solutions
(feasible directions of currents in network) N,
number of neighborhood members n,
the maximum objective function value ε for AR,
and the search radius R.
while (i < N) do // generate search directions
Generate initial solutions Xi randomly
within Ω; Evaluate f(Xi) via the objective
function; Rank Xi giving f(Xi) from min
to max values (Xi gives the min, while
XN gives the max objective function values);
Store ranked Xi into Ψ;
end_while
while (k ≤ N) or the TC are not satisfied do
Set x0 = Xi;
while (j ≤ Imax) do
Generate neighborhood xk,l (l = 1, 2, ..., n)
randomly around x0 within R;
for l ← 1 to n do
Evaluate f(xk,l) via the objective
function; Set x* as a solution giving
the minimum objective value;
end_for
if f(x*) < f(x0) do
Keep x0 into Γi;
Set x0 = x*;
Set j = 1;
else do
Keep x* into Γi;
Update j = j + 1;
end_if
if f(x0) < ε do // activate the AR
Adapt R = ρR, ρ ∈ [0, 1];
end_if
if j = Jmax do // activate other directions
Keep x0 into Ξ;
Update k = k + 1;
Go out-loop while;
end_if
Update i = i + 1;
end_while
Keep x0 into Ξ;
Update k = k + 1;
end_while
end_procedure
    
```

รูปที่ 2 รหัสเทียมของ ACS

พารามิเตอร์ของ ACS ที่เหมาะสมสำหรับทุกปัญหา TTP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นทางการค้นหา N = 3, 5, 10, 20, จำนวนค่าข้างเคียง n = 10, 20, 30, 40, รัศมีการค้นหา R = 10%, 20%, 30%, 40% ของ



รูปที่ 3 การค้นหาของ ACS บนปริภูมิ 2 มิติ

ปริภูมิการค้นหา จำนวนการทำซ้ำของแต่ละเส้นทาง Iter = 100, 500, 1000, 2000, 3000 กลไก AR = 2, 3, 4, 5 states จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ค่าพารามิเตอร์ของ ACS ที่เหมาะสมสำหรับทุกปัญหา TTP คือ N = 5 (กำหนดให้เป็น TC), n = 30, R = 20% ของปริภูมิการค้นหา, Iter = 2000 และกลไก AR = 2 states ซึ่งในการทดสอบกับทุกปัญหา TTP ต่อไปนี้จะใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดดังกล่าวเพียงชุดเดียวเท่านั้น

ผลการทดสอบ ACS เพื่อแก้ปัญหา TTP จะได้รับการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธี GA และ TS ที่กำหนด

ค่าพารามิเตอร์เป็นค่ามาตรฐาน ทำการทดสอบปัญหาละ 20 ครั้ง เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าโดยเฉลี่ย ACS สามารถให้คำตอบซึ่งเป็นระยะทางรวมที่สั้นที่กว่าวิธี GA ในขณะที่ TS จะให้ระยะทางรวมที่เท่ากับ ACS อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการค้นหาทั้ง 3 วิธีพบว่า ACS ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่น้อยที่สุด คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธี ACS แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4

5. สรุป

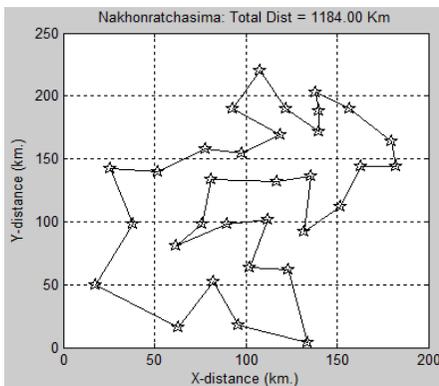
บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการเดินทางขนส่ง(TTP) อย่างเหมาะสมโดยใช้การค้นหาแบบกระแสวิ่งปรับตัว (ACS) ซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศาสตร์ที่ทรงประสิทธิภาพ ปัญหา TTP ที่ใช้เป็นปัญหาจริงในระดับจังหวัดซึ่งมีจำนวนอำเภอมากที่สุดในประเทศไทยจำนวน 6 จังหวัดเพื่อเป็นกรณีศึกษา ได้แก่จังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น อุบลราชธานี เชียงใหม่ บุรีรัมย์ และ นครศรีธรรมราช โดยผลการทดสอบจะนำไปเปรียบเทียบกับวิธี GA และ TS จากผลการทดสอบพบว่าโดยเฉลี่ย ACS สามารถให้คำตอบซึ่งเป็นระยะทางรวมของแต่ละปัญหาที่สั้นที่กว่าวิธี GA ในขณะที่ TS จะให้ระยะทางรวมโดยเฉลี่ยที่เท่ากับ ACS เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการค้นหาคำตอบทั้ง 3 วิธีพบว่า ACS ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการแก้ปัญหา TTP ด้วยวิธี GA, TS และ ACS

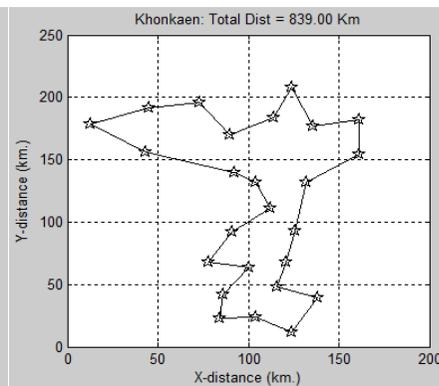
ปัญหาที่	ระยะทาง (km.)			เวลาที่ใช้ (sec.)		
	GA	TS	ACS	GA	TS	ACS
1.	1,189	1,184	1,184	45.86	25.24	14.96
2.	839	839	839	42.18	24.57	14.15
3.	873	873	873	43.54	24.68	14.28
4.	1,288	1,243	1,243	48.62	26.83	14.35
5.	722	719	719	44.27	25.33	14.27
6.	777	769	769	43.26	25.15	14.63

ตารางที่ 3 คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก ACS

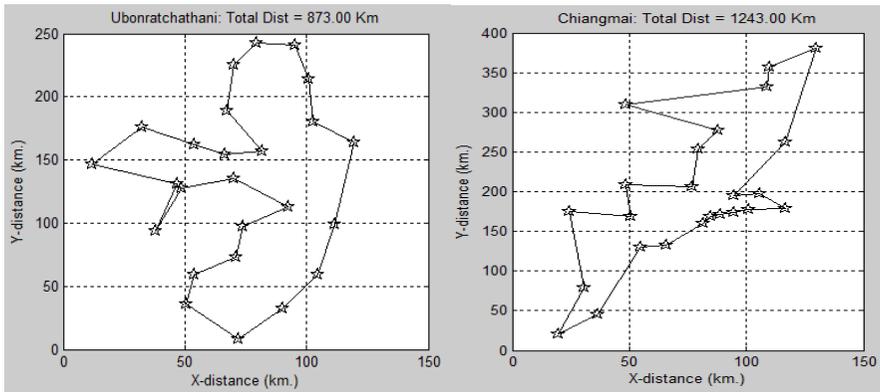
ปัญหาที่	คำตอบที่ดีที่สุด (ลำดับของอำเภอ)	ระยะทาง (km.)
1. นครราชสีมา	เมือง→เฉลิมพระเกียรติ→โชคชัย→หนองบุญมาก→เสิงสาง→ครบุรี→ปักธงชัย→วังน้ำเขียว→ปากช่อง→สีคิ้ว→เทพารักษ์→ด่านขุนทด→พระทองคำ →ขามสะแกแสง→คง→บ้านเหลื่อม→แก่งสนามนาง→บัวใหญ่→โนนแดง→สีดา→บัวลาย→ประทาย→เมืองยาง→ลำทะเมนชัย→ชุมพวง→ห้วยแถลง→จักราช→พิมาย →โนนสูง→โนนไทย→ขามทะเลสอ→สูงเนิน→เมือง	1,184
2. ขอนแก่น	เมือง→ท่าสูง→กระนวน→น้ำพอง→เขาสวนกวาง→อุบลรัตน์→ภูเวียง →หนองนาคำ→สีชมพู→ภูผาม่าน→ชุมแพ→หนองเรือ→บ้านฝาง→พระยืน→มัญจาคีรี →โคกโพธิ์ไชย→ชนบท→เวียงใหญ่→เวียงน้อย→พล→หนองสองห้อง→เปือยน้อย→โนนศิลา→บ้านไผ่→บ้านแฮด→เมือง	839
3. อุบลราชธานี	เมือง→สำโรง→วารินชำราบ→สว่างวีระวงศ์→พิบูลมังสาหาร→นาเยียบ→เดชอุดม→ทุ่งศรีอุดม →น้ำขุ่น→น้ำยืน→นาจะหลวย→บุณฑริก→สิรินธร→โขงเจียม →ศรีเมืองใหม่→โพธิ์ไทร→นาตาล→เขมราฐ→กุดข้าวปุ้น→ตะการพิศผล→ตาลชุม →ดอนมดแดง→เหล่าเสือโก้ก→ม่วงสามสิบ→เขื่องใน→เมือง	873
4. เชียงใหม่	เมือง→สารภี→สันกำแพง→แม่ออน→ดอยสะเก็ด→สันทราย→พร้าว→แม่อาย→ฝาง →ไชยปราการ→เวียงแหง→เชียงดาว→แม่แตง→แมริ่ม→สะเมิง→แม่วาง →แม่แจ่ม→ฮอด→อมก๋อย→ดอยเต่า→จอมทอง→ดอยหล่อ→สันป่าตอง→หางดง →เมือง	1,243
5. บุรีรัมย์	เมือง→นางรอง→ขำนิ→ลำปลายมาศ→หนองหงส์→หนองกี่→โนนสุวรรณ →ปะคำ→โนนดินแดง→ละหานทราย→เฉลิมพระเกียรติ→บ้านกรวด→ประโคนชัย →พลับพลาชัย→กระสัง→ห้วยราช→บ้านด่าน→สตึก→แคนดง→บ้านใหม่ไชยพจน์ →นาโพธิ์→พุทไธสง→คูเมือง→เมือง	719
6. นครศรีธรรมราช	เมือง→ท่าศาลา→สิชล→ขนอม→นบพิตำ→พรหมคีรี→ลานสกา→ช้างกลาง →พิปูน→ฉวาง→ถ้าพรณรา→ทุ่งใหญ่→นาบอน→บางขัน→ทุ่งสง→ร่อนพิบูลย์ →จุฬาภรณ์→ชะอวด→หัวไทร→เชียรใหญ่→เฉลิมพระเกียรติ→ปากพนัง →พระพรหม→เมือง	769



(ก) ปัญหาที่ 1 (นครราชสีมา)

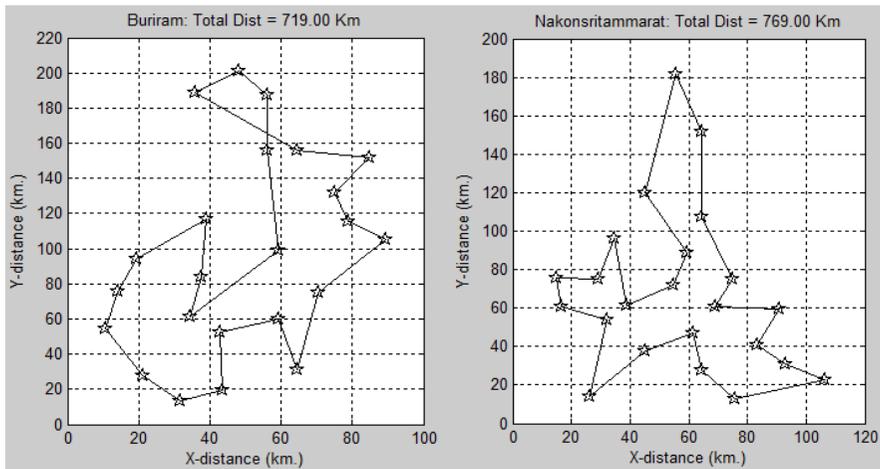


(ข) ปัญหาที่ 2 (ขอนแก่น)



(ค) ปัญหาที่ 3 (อุบลราชธานี)

(ง) ปัญหาที่ 4 (เชียงใหม่)



(จ) ปัญหาที่ 5 (บุรีรัมย์)

(ฉ) ปัญหาที่ 6 (นครศรีธรรมราช)

รูปที่ 4 คำตอบของปัญหา TTP จาก ACS

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Kikuchi and P. Chakroborty, "Place of possibility theory in transportation analysis," Transportation Research, Part B, vol.40, pp.595 – 615, 2006.
 [2] G. Reinelt, The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications. Springer-Verlag, 1994.
 [3] M. Held and R. Karp, "A dynamic programming approach to sequencing problems," SIAM J, vol.1, pp.196 – 210, 1962.

[4] J. Little, K. Murty, D. Sweeney and C. Karel, "An algorithm for the traveling salesman problem," Operation Research, vol.12, pp.972 – 989, 1963.
 [5] G. B. Dantzig, D. R. Fulkerson, and S. M. Johnson, "Solution of a large scale traveling salesman problem," Operation Research, vol.2, pp.393 – 410, 1954.
 [6] E. H. L. Aarts, J. H. M. Korst and P. J. M. Laarhoven, "A quantitative analysis of the simulated annealing algorithm: a case study for the traveling salesman problem," J. of Stats Phys, vol.

50, pp.189 – 206, 1988.

[7] C. N. Fiechter, "A parallel tabu search algorithm for large scale traveling salesman problems," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 51(3), pp. 243 – 267, 1994.

[8] J. V. Potvin, "Genetic algorithms for the traveling salesman problem," *Annals of Operation Research*, vol.63, pp.339 – 370, 1996.

[9] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, "Energy resource management of assembly line balancing problem using modified current search method," *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol.6, no.3, pp. 1 – 11, 2014.

[10] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, "Optimization of energy resource management for assembly line balancing using adaptive current search," *American Journal of Operations Research*, vol.4, no.1, pp. 8 – 21, 2014.

[11] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, "Traveling transportation problem optimization by adaptive current search method," *International Journal of Modern Education and Computer Science*, vol.6, no.5, pp. 33 – 45, 2014.

[12] M. Bellmore and G. L. Nemhauser, "The traveling salesman problem: a survey," *Operation Research*, vol.16, pp.538 – 558, 1986.