

บทที่ 5

การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

Storn and Price (1995) ได้ทำการศึกษาค้นหาและพัฒนาระเบียบวิธี Differential Evolution (วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง) เพื่อทำการค้นหาค่าของฟังก์ชันเชิงเลขแบบที่ไม่ชัดเจนหรือหลักการทางสถิติ (Stochastic numerical function) สำหรับหาค่าความเหมาะสมที่ครอบคลุมในวงกว้าง (Global optimization) ในหัวข้อ Differential Evolution – A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces ซึ่งพัฒนาในข้อดีต่อเนื่องมาจากวิธี Adaptive simulated annealing โดยใช้วิธีการทดสอบเปรียบเทียบระเบียบวิธี 4 แบบ คือ

1. Annealed version of the Nelder & Mead strategy (ANM) เป็นวิธีของ Press (1992)
2. Adaptive simulated annealing (ASA) เป็นวิธีของ Ingber (1993)
3. Scheme DE1 เป็นวิธีของ Storn and Price (1995)
4. Scheme DE2 เป็นวิธีของ Storn and Price (1995)

พบว่า Scheme DE2 ให้คำตอบถูกต้องเช่นเดียวกันกับทุกวิธีแต่มีจำนวนการตรวจสอบประเมินคำตอบ (Number of Function Evaluations: NFE) น้อยกว่าทุกฟังก์ชันและทุกวิธี ซึ่งหมายถึงค้นหาคำตอบได้น้อยครั้งกว่า และรวดเร็วกว่า

Chakraborty et al. (2006) ได้ศึกษาระเบียบวิธี Differential Evolution ในกรณีหาค่าความเหมาะสมหลายๆ วัตถุประสงค์พร้อมๆ กัน ในฟังก์ชันหรือแบบจำลองเดียวกัน ในหัวข้อ Vector evaluated differential evolution for multi objective optimization โดยการกำหนดทิศทางในการคำนวณค้นหาคำตอบ (Vector) หลายๆ ทิศทางที่ละ Vector หมุนวนผลัดรอบเวรคู่ขนานกันไป (Parallel multi population) เรียกว่าวิธี Vector evaluated differential evolution: VEDE พบว่า สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ทั้งในกรณีที่ขึ้นต่อกัน (Dominate) และไม่ขึ้นต่อกันได้

Vesterstrom and Thomsen (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระเบียบวิธี (Algorithm) ในหัวข้อ A comparative Study of Differential Evolution, Particle Swarm Optimization, and Evolutionary Algorithms on Numerical Benchmark Problems โดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ประเภท Non-Linear จำนวน 23 ฟังก์ชันเพื่อค้นหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุดในช่วงข้อจำกัดที่กำหนดเป็นตัวชี้วัด พบว่าระเบียบวิธี Differential Evolution มีความโดดเด่นทั้งในด้านความเร็วและความถูกต้องที่ให้ค่าความละเอียดในทุกฟังก์ชันมากกว่าระเบียบวิธี Particle Swarm Optimization และ Evolutionary Algorithms

จากการตรวจสอบวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย พบว่าการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันนั้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับชั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์นั้นไม่พบเป็นการแพร่หลาย มีเพียงบางงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีหลายจุดประสงค์ ดังนั้นจึงเป็นความท้าทายและได้รับแรงบันดาลใจเมื่อได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกส์แล้ว ดังตารางที่ 5.1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันเพื่อแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปงานวิจัยที่ทำการทบทวนวรรณกรรมเพื่อสรุปผลการเลือกอัลกอริทึม

| Problem (MOSS-LAP) | Differential evolution (DE) | Genetic algorithm (GA) | Tabu search (TS) | Particle swarm optimization (PSO) | Ant Colony Optimization (ACO) | Simulated Annealing (SA) | Iterated Local Search (ILS) | Total Article Review |
|---------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Multi-objective | | 13 | 6 | 2 | 1 | 1 | 1 | 24 |
| Multi-source | | | | | | | | 0 |
| Multi-stage | | | | | | | 1 | 4 |
| Location-allocation | | 17 | 6 | | 1 | 4 | 2 | 30 |
| Total Score | 0 | 30 | 12 | 2 | 2 | 5 | 4 | 58 |
| Selection Ranking | A | | | B | C | | | |

ที่มา : ปรับปรุงจาก Farahani และคณะ (2010)

5.1 การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมในสองส่วนด้วยกันคือ 1) อัลกอริทึมในส่วนของ การหาคำตอบเริ่มต้น โดยกำหนดเลือกตำแหน่งที่จะเปิดโรงงาน และกำหนดเส้นทางที่จะทำการขนส่ง วัตถุดิบและสินค้าที่เป็นเอทานอล 2) อัลกอริทึมในส่วนของ การปรับปรุงคำตอบที่ได้

กระบวนการในการพัฒนาอัลกอริทึม และวิธีการคำนวณหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ ใช้วัตถุดิบมาจากชานอ้อยและกากมันที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ที่สุด และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยเสนอวิธีการพัฒนาเมตาฮีริสติกส์เพื่อใช้ในการ คำนวณหาที่ตั้งซึ่งแสดงได้ตามขั้นตอนของ Flow Chart ตามรูปที่ 5.2 และแสดงรหัสเทียม (Pseudo-Code) ในการนำไปใช้งานเพื่อใช้เขียนโปรแกรม C++ ซึ่งจะทำให้การหาคำตอบได้รวดเร็วยิ่งขึ้นนั้น แสดงได้ตามรูปที่ 5.1

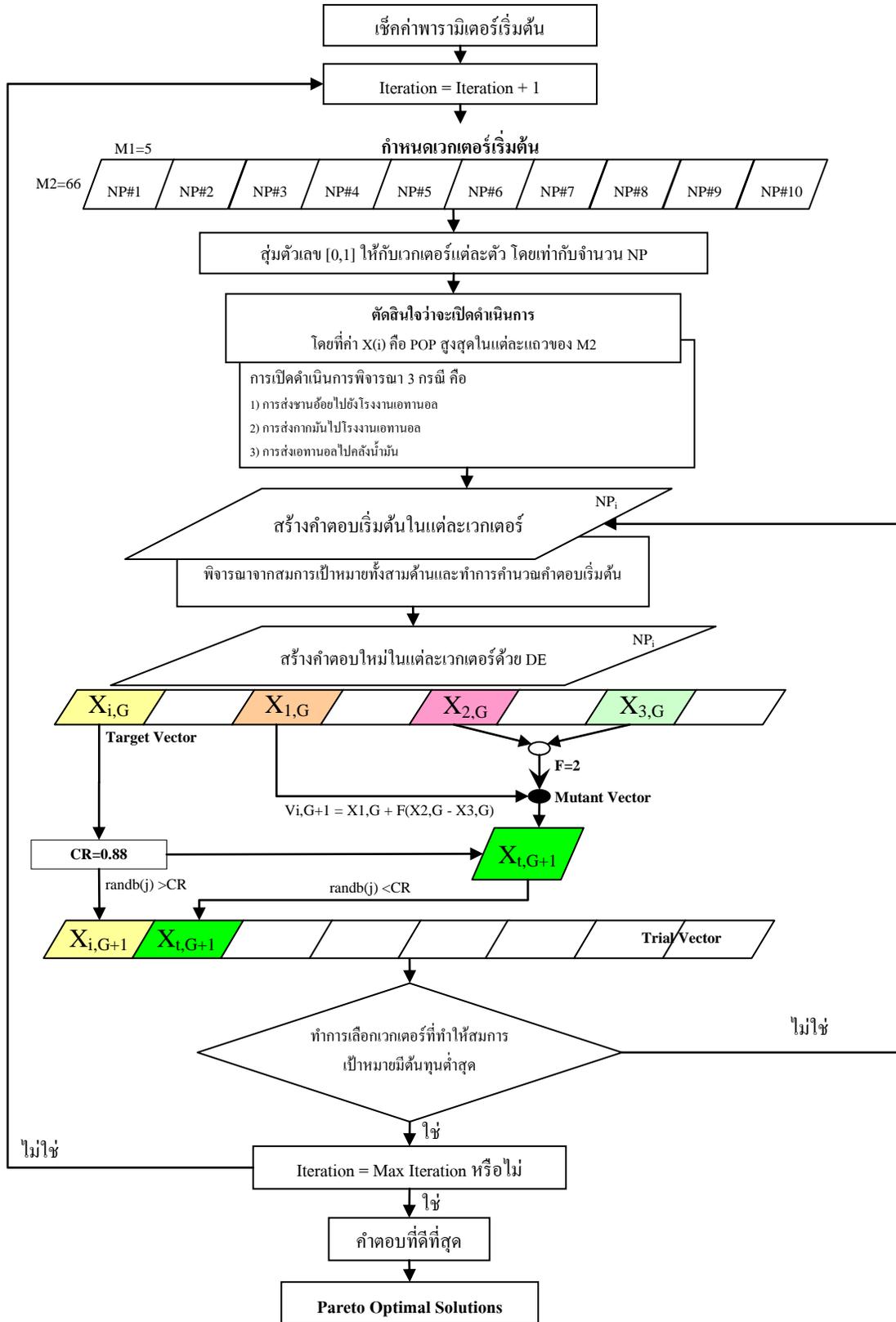
```

Pseudo-code for the DE algorithm

Begin
  Set CR = 0.88, F = 2 and NP = 10
  G = 0
  Generate the initial population  $X_{i,g} \forall i, i=1, \dots, NP$ 
  Evaluate the fitness (function value) for each individual  $f(X_{i,g}) \forall i, i=1, \dots, NP$ 
  While stopping criterion (100 Loop) is not satisfied Do
    For i=1 to NP Do
      Select uniform randomly  $r1 \neq r2 \neq r3 \neq i$ 
       $j_{rand} = \text{randint}[1, M_1, M_2]$ 
      For j=1 to  $[M_1, M_2]$  Do
        If  $(\text{rand}_j [0,1] < CR \text{ or } j=j_{rand})$  Then
           $U_{j,i,g+1} = X_{j,r1,g} + F(X_{j,r2,g} - X_{j,r3,g})$ 
        Else
           $U_{j,i,g+1} = X_{j,i,g}$ 
        End If
      End For
    End For
    For i=1 to NP Do
      Evaluate the fitness (function value) for each individual  $f(U_{i,g+1}) \forall i, i=1, \dots, NP$ 
      If  $(f(U_{i,g+1}) \text{ is better than or equal to } f(X_{i,g}))$  Then
        Replace  $X_{i,g+1}$  with  $U_{i,g+1}$ 
      Else
        Replace  $X_{i,g+1}$  with  $X_{i,g}$ 
      End If
    End For
    G = G+1
  End While
End

```

รูปที่ 5.1 แสดงรหัสเทียม (Pseudo-Code) การนำไปใช้เขียนโปรแกรม C++



รูปที่ 5.2 Flow Chart แสดงกระบวนการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิวเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

5.1.1 การหาคำตอบเริ่มต้น

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้กระบวนการหาคำตอบเริ่มต้น ซึ่งได้แรงบันดาลใจจากวิธีหาคำตอบของวิธี Genetic Algorithm (GA) โดยการกำหนดให้มีจำนวนของพาร์ติเคิลที่เป็นโครโมโซมเท่ากับจำนวนของโรงงานเอทานอลที่มีศักยภาพที่ทำการเปิดดำเนินการอยู่แล้ว และสามารถที่จะต่อเติมในการรับวัตถุดิบเพิ่มเติมเพื่อผลิตเป็นเอทานอล โดยพาร์ติเคิลที่ข้ามกัน (Cross) ในโครโมโซมนั้นจะมีส่วนของโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน และคลังน้ำมัน ที่เป็นเซลล์ในแนวนอน ส่วนโรงงานเอทานอลเป็นเซลล์ในแนวตั้ง โดยตัวอย่างของโครโมโซมที่ใช้หาคำตอบเริ่มต้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

สำหรับการหาคำตอบเริ่มต้นของอัลกอริทึมนี้ หลังจากที่ได้ทำการกำหนดโครโมโซมเริ่มต้นแล้ว จะเริ่มด้วยการสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 0.0 – 1.0 ให้กับเซลล์ต่างๆ ที่อยู่ในโครโมโซมโดยผ่านกระบวนการทำงานตามหลักของการสุ่มตัวเลข ซึ่งเริ่มจากการสร้างเซลล์ที่มีจำนวนคอลัมน์ $M_1 = 5$ และข้ามกับ $M_2 = 66$ จากนั้นจึงทำการสุ่มค่าตั้งแต่ 0.0 – 1.0 ลงไปในแต่ละเซลล์ เมื่อได้ค่าของแต่ละเซลล์แล้วจึงจะเริ่มทำการเปรียบเทียบค่า โดยที่เซลล์ใดมีค่าสูงสุดในแต่ละแถว (M_2) จะถูกเลือกให้เปิดดำเนินการหรือให้มีการขนส่งระหว่างกันเกิดขึ้น ซึ่งเป็นตัวตัดสินใจว่าจะเปิดหรือไม่เปิดโรงงานเอทานอลนั่นเอง โดยตัวอย่างการหาคำตอบเริ่มต้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 โดยที่รายละเอียดในตารางที่ทำการระบายสีไว้ นั้น หมายความว่าได้มีการเลือกให้เปิดโรงงานเอทานอลและมีการจัดส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเหล่านั้นด้วย และบอกความสัมพันธ์ว่าจะส่งเอทานอลไปยังคลังน้ำมันใดบ้าง และในตอนท้ายของตารางจะบอกถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนวณออกมาได้ว่ามีค่าเท่าไร ยกตัวอย่างเช่นในตารางที่ 5.2 ถ้ามีการเปิดโรงงานเอทานอลตามที่ระบายสี มีการจัดส่งทั้งวัตถุดิบและเอทานอลไปคลังน้ำมันที่ระบุไว้ นั้น จะต้องใช้เงินทั้งสิ้น 120,309.6 ล้านบาทเป็นต้น

ตารางที่ 5.2 แสดงโครโมโซมในการหาคำตอบเริ่มต้น

| | $X_{(i)}$ (POP if Max, then Open) | | | | |
|-----|-------------------------------------|------|------|------|------|
| | Chromosome: G, NP.1 (Target Vector) | | | | |
| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
| i1 | 0.47 | 0.41 | 0.14 | 0.70 | 0.67 |
| i2 | 0.21 | 0.12 | 0.17 | 0.95 | 0.06 |
| i3 | 0.37 | 0.00 | 0.37 | 0.02 | 0.12 |
| i4 | 0.94 | 0.59 | 0.53 | 0.52 | 0.83 |
| i5 | 0.68 | 0.15 | 0.57 | 0.82 | 0.85 |
| i6 | 0.51 | 0.04 | 0.46 | 0.14 | 0.46 |
| i7 | 0.57 | 0.75 | 0.47 | 0.34 | 0.73 |
| i8 | 0.71 | 0.16 | 0.36 | 0.47 | 0.62 |
| i9 | 0.03 | 0.32 | 0.17 | 0.02 | 0.86 |
| i10 | 0.88 | 0.75 | 0.31 | 0.73 | 0.95 |
| i11 | 0.32 | 0.13 | 0.27 | 0.87 | 0.02 |
| i12 | 0.06 | 0.70 | 0.14 | 0.25 | 0.72 |
| i13 | 0.74 | 0.97 | 0.60 | 0.01 | 0.72 |
| i14 | 0.09 | 0.05 | 0.24 | 0.30 | 0.62 |
| i15 | 0.87 | 0.19 | 0.12 | 0.17 | 0.86 |
| i16 | 0.98 | 0.39 | 0.74 | 0.19 | 0.59 |
| t1 | 0.47 | 0.93 | 0.15 | 0.89 | 0.58 |
| t2 | 0.80 | 0.81 | 0.65 | 0.36 | 0.82 |
| t3 | 0.89 | 0.22 | 0.30 | 0.60 | 1.00 |
| t4 | 0.64 | 0.06 | 0.82 | 0.87 | 0.43 |
| t5 | 0.19 | 0.78 | 0.65 | 0.36 | 0.98 |
| t6 | 0.50 | 0.33 | 0.25 | 0.00 | 0.79 |
| t7 | 0.88 | 0.12 | 0.12 | 0.85 | 0.54 |
| t8 | 0.43 | 0.02 | 0.41 | 0.93 | 0.84 |
| t9 | 0.81 | 0.66 | 0.80 | 0.50 | 0.11 |
| t10 | 0.02 | 0.63 | 0.32 | 0.59 | 0.46 |
| t11 | 0.05 | 0.67 | 0.57 | 0.83 | 0.18 |
| t12 | 0.87 | 0.98 | 0.52 | 0.84 | 0.28 |
| t13 | 0.29 | 0.03 | 0.42 | 0.62 | 0.44 |
| t14 | 0.98 | 0.44 | 0.00 | 0.57 | 0.38 |
| t15 | 0.48 | 0.48 | 0.04 | 0.47 | 0.13 |

| | | | | | |
|-----|------|------|------|------|--------------------|
| t16 | 0.38 | 0.88 | 0.45 | 0.59 | 0.36 |
| t17 | 0.76 | 0.47 | 0.34 | 0.82 | 0.18 |
| t18 | 0.63 | 0.06 | 0.01 | 0.45 | 0.96 |
| t19 | 0.19 | 0.12 | 0.72 | 0.76 | 0.45 |
| t20 | 0.26 | 0.08 | 0.44 | 0.82 | 0.80 |
| t21 | 0.38 | 0.32 | 0.32 | 0.13 | 0.72 |
| t22 | 0.37 | 0.98 | 0.22 | 0.92 | 0.90 |
| t23 | 0.81 | 0.74 | 0.29 | 0.53 | 0.03 |
| t24 | 0.39 | 0.03 | 0.13 | 0.23 | 0.47 |
| t25 | 0.77 | 0.04 | 0.71 | 1.00 | 0.10 |
| t26 | 0.23 | 0.05 | 0.58 | 0.95 | 0.13 |
| t27 | 0.36 | 0.50 | 0.37 | 0.03 | 0.11 |
| t28 | 0.20 | 0.25 | 0.72 | 0.56 | 0.92 |
| t29 | 0.89 | 0.80 | 0.66 | 0.23 | 0.58 |
| t30 | 0.13 | 0.52 | 0.89 | 0.99 | 0.71 |
| t31 | 0.28 | 0.38 | 0.04 | 0.76 | 0.01 |
| t32 | 0.25 | 0.82 | 0.33 | 0.16 | 0.66 |
| t33 | 0.41 | 0.59 | 0.07 | 0.19 | 0.92 |
| t34 | 0.90 | 0.69 | 0.12 | 0.25 | 0.44 |
| t35 | 0.61 | 0.56 | 0.89 | 0.88 | 0.39 |
| t36 | 0.47 | 0.25 | 0.47 | 0.50 | 0.10 |
| t37 | 0.74 | 0.97 | 0.34 | 0.04 | 0.96 |
| t38 | 0.59 | 0.84 | 0.06 | 0.76 | 0.89 |
| t39 | 0.52 | 0.64 | 0.32 | 0.78 | 0.90 |
| t40 | 0.53 | 0.02 | 0.48 | 0.55 | 0.44 |
| t41 | 0.59 | 0.77 | 0.84 | 0.56 | 0.34 |
| t42 | 0.43 | 0.06 | 0.35 | 0.65 | 0.68 |
| t43 | 0.40 | 0.41 | 0.59 | 0.97 | 0.47 |
| t44 | 0.48 | 0.69 | 0.05 | 0.19 | 0.98 |
| t45 | 0.12 | 0.38 | 0.08 | 0.76 | 0.80 |
| t46 | 0.78 | 0.53 | 0.26 | 0.42 | 0.58 |
| k1 | 0.54 | 0.57 | 0.02 | 0.70 | 0.40 |
| k2 | 0.61 | 0.35 | 0.28 | 0.92 | 0.08 |
| k3 | 0.37 | 0.25 | 0.30 | 0.59 | 0.79 |
| k4 | 0.97 | 0.93 | 0.30 | 0.16 | 0.49 |
| | | | | | 120,309,632,583.43 |

5.1.2 การปรับปรุงคำตอบที่ได้ด้วยวิธิดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

ผู้วิจัยเลือกวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน (Differential evolution, DE) เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความท้าทายและได้รับแรงบันดาลใจเมื่อได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ ดังตารางที่ 5.1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธิดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันเพื่อแก้ปัญหของงานวิจัยนี้ เนื่องจากลักษณะของปัญหาดังกล่าวยังพบว่ามีผู้วิจัยที่นำไปประยุกต์ใช้ค่อนข้างน้อยมาก รวมทั้งเป็นอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อนและให้ผลเฉลยของคำตอบที่ยอมรับได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ยังพบว่าเป็นอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาคำตอบได้เร็วกว่าอัลกอริทึมวิธีอื่นๆ โดยขั้นตอนของอัลกอริทึมดังกล่าวจะเริ่มต้นจากการสร้างคำตอบเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้จะใช้อัลกอริทึมแบบ RBS ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา จากนั้นจึงเริ่มสู่กระบวนการปรับปรุงคำตอบเริ่มจาก กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) จากนั้นก็เข้าสู่ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ (Crossover) และท้ายที่สุดคือกระบวนการคัดเลือก (Selection)

5.1.2.1 กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation)

เริ่มต้นที่วิวัฒนาการที่ได้กลายพันธุ์ โดยได้รวบรวมเวกเตอร์เป้าหมายเพื่อเริ่มผลิตเวกเตอร์ที่กลายพันธุ์ ในเวกเตอร์เป้าหมายแต่ละตัวคือ $X_{i,g}$ ซึ่งเป็นเวกเตอร์ในรุ่น g สำหรับเวกเตอร์ที่กลายพันธุ์คือ $V_{i,g}$ โดยได้ถูกสร้างขึ้นตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_{i,j} = X_{r1,g} + F(X_{r2,g} - X_{r3,g}) \quad (5.1)$$

มีข้อสังเกตว่า X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ได้ถูกสุ่มเลือกจากเวกเตอร์ของประชากร ซึ่งแตกต่างจากเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) $X_{i,g}$ ส่วน F เป็นระดับปัจจัยที่ควบคุมระดับความแตกต่างของเวกเตอร์ระหว่าง X_{r2}, X_{r3} แล้วเพิ่มไปที่เวกเตอร์พื้นฐานซึ่งก็คือ X_{r1}

สมการ 5.1 เป็นสมการที่จะนำไปใช้ในการกลายพันธุ์ของ Vector ที่ได้จากการกำหนดคำตอบเริ่มต้น ซึ่งเมื่อคำตอบเริ่มต้นนั้นได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะทำให้เราได้ค่าของ Vector ใหม่เกิดขึ้น ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า Mutant Vector โดยที่ Mutant Vector นั้นจะเกิดจากการสุ่มค่าของ Vector X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ที่อยู่ในแต่ละแถวของ M_2 โดยที่ลักษณะการสุ่มในแต่ละแถวนั้นจะแตกต่างกันไปและเป็นอิสระต่อกัน หลังจากนั้นก็จะแทนค่าในสมการซึ่งจะได้คำตอบใหม่ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการกลายพันธุ์

| | F | 2 | $V_{i,G+1} = Xr_{1,G} + F(Xr_{2,G} - Xr_{3,G})$ | | |
|-----|-------------------------------|-------|---|-------|-------|
| | Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) | | | | |
| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
| i1 | 1.01 | -0.71 | 0.19 | 1.10 | 0.01 |
| i2 | 0.12 | -1.42 | 1.95 | 0.64 | -0.02 |
| i3 | -0.36 | 0.70 | 0.15 | -0.47 | 0.13 |
| i4 | 1.06 | 0.60 | -0.09 | 0.30 | 0.00 |
| i5 | -0.16 | -0.35 | 0.50 | 1.17 | 0.63 |
| i6 | -0.34 | 0.69 | -0.17 | 0.02 | 0.36 |
| i7 | 1.13 | 1.02 | -0.30 | 0.64 | 0.52 |
| i8 | 0.30 | -0.05 | 0.04 | 0.29 | -0.08 |
| i9 | 0.34 | 0.61 | -1.51 | 1.68 | 1.13 |
| i10 | 1.75 | -0.09 | -0.12 | 0.87 | -0.19 |
| i11 | 0.03 | -1.07 | 1.98 | 0.27 | -0.07 |
| i12 | 1.18 | 0.47 | -0.81 | 1.58 | 0.88 |
| i13 | 1.49 | 2.15 | -0.82 | -0.04 | 0.43 |
| i14 | -0.28 | -0.08 | -0.40 | 1.37 | 0.92 |
| i15 | 1.02 | 0.08 | -1.26 | 0.13 | -0.66 |
| i16 | 0.27 | 1.49 | -0.06 | -0.58 | 0.12 |
| t1 | 2.03 | -0.56 | 0.76 | 1.11 | -0.07 |
| t2 | 1.13 | 1.38 | -0.28 | 0.39 | 0.51 |
| t3 | 0.71 | -0.38 | -0.49 | 0.83 | -0.17 |
| t4 | -0.89 | -0.03 | 1.69 | 0.45 | 0.80 |
| t5 | 0.45 | 1.38 | -0.60 | 1.93 | 1.90 |
| t6 | 0.66 | 0.83 | -1.32 | 0.58 | 0.29 |
| t7 | 0.87 | -1.34 | 0.73 | 0.18 | -0.97 |
| t8 | -0.35 | -1.02 | 0.59 | 1.75 | 0.80 |
| t9 | 0.54 | 1.26 | 1.57 | -0.90 | 0.08 |
| t10 | 0.63 | 0.09 | 0.58 | 1.48 | 1.07 |
| t11 | 0.25 | 0.15 | 1.88 | 1.10 | 1.23 |
| t12 | 1.80 | 0.34 | 1.66 | -0.34 | -0.42 |
| t13 | -0.50 | -0.36 | 0.78 | 0.93 | 0.71 |
| t14 | 1.86 | -0.69 | 0.38 | -0.63 | -1.57 |
| t15 | 1.37 | -0.38 | 0.73 | -0.24 | -0.76 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| t16 | 1.23 | 0.60 | 0.91 | 0.56 | 0.51 |
| t17 | 1.02 | -0.50 | 1.62 | -0.34 | -0.67 |
| t18 | 0.74 | -0.83 | -1.01 | 1.11 | -0.29 |
| t19 | -1.00 | 0.06 | 1.33 | 1.28 | 1.51 |
| t20 | -0.46 | -0.69 | 0.49 | 1.88 | 1.14 |
| t21 | 0.38 | 0.70 | -0.84 | 0.81 | 0.60 |
| t22 | 1.90 | -0.43 | 0.26 | 1.99 | 0.60 |
| t23 | 1.71 | 0.24 | 1.30 | -1.04 | -1.03 |
| t24 | 0.18 | -0.16 | -0.37 | 0.39 | -0.05 |
| t25 | -0.58 | -0.53 | 2.50 | -0.34 | -0.01 |
| t26 | -0.83 | -0.70 | 2.20 | 0.77 | 0.83 |
| t27 | 0.61 | 1.18 | 0.21 | -0.47 | 0.13 |
| t28 | -0.75 | 0.57 | 0.00 | 1.99 | 1.96 |
| t29 | 1.18 | 1.67 | -0.05 | -0.39 | 0.12 |
| t30 | -0.62 | 0.32 | 1.46 | 2.15 | 2.23 |
| t31 | 0.97 | -1.06 | 1.53 | 0.23 | -0.47 |
| t32 | 1.24 | 1.15 | -0.66 | 0.98 | 0.82 |
| t33 | 1.45 | 0.36 | -1.37 | 1.20 | 0.24 |
| t34 | 2.04 | 0.44 | -0.26 | -0.67 | -1.11 |
| t35 | -0.06 | 0.58 | 1.87 | 0.44 | 0.95 |
| t36 | 0.02 | 0.20 | 1.27 | -0.25 | 0.10 |
| t37 | 2.00 | 1.57 | -1.50 | 0.46 | 0.15 |
| t38 | 2.15 | -0.55 | -0.21 | 1.35 | -0.17 |
| t39 | 1.16 | -0.27 | 0.08 | 1.54 | 0.50 |
| t40 | -0.38 | -0.11 | 0.70 | 0.35 | 0.33 |
| t41 | 0.45 | 1.34 | 1.30 | 0.06 | 0.85 |
| t42 | -0.15 | -0.54 | 0.28 | 1.15 | 0.52 |
| t43 | 0.05 | -0.35 | 1.57 | 1.11 | 0.85 |
| t44 | 1.78 | 0.41 | -1.55 | 1.19 | 0.11 |
| t45 | 0.72 | -0.97 | 0.00 | 2.10 | 0.72 |
| t46 | 1.32 | 0.21 | -0.07 | 0.01 | -0.47 |
| k1 | 1.66 | -0.80 | 0.62 | 0.43 | -0.65 |
| k2 | 0.75 | -0.92 | 1.95 | -0.14 | -0.58 |
| k3 | 0.26 | -0.33 | -0.09 | 1.43 | 0.66 |
| k4 | 2.23 | 1.19 | -0.35 | -0.80 | -0.85 |

5.1.2.2 ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ (Crossover)

เป็นวิวัฒนาการที่เกิดจากการประสมพันธุ์แบบครอสโอเวอร์ระหว่าง $X_{i,g}$ และ $V_{i,g}$ ในการสร้างเวกเตอร์การทดลองซึ่งก็คือ $U_{i,g}$ ที่ได้จากโครโมโซมชุดของคำตอบเริ่มต้นกับ โครโมโซมชุดของคำตอบที่มาจาก การกลายพันธุ์ โดยมีหลักการคือการสุ่มเลือกตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ให้กับชุดของโครโมโซมเริ่มต้นกระบวนการครอสโอเวอร์ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Trial Vector ซึ่งลักษณะการสุ่มเลือกนั้นเป็นลักษณะที่คล้ายกันกับการกำหนดชุดคำตอบเริ่มต้น โดยตัวอย่างที่ทำการสุ่มเลือกได้นั้นแสดงได้ตามตารางที่ 5.4

สำหรับวิวัฒนาการแบบคลาสสิกนี้มีรูปแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและเวกเตอร์การทดลองที่ถูกสร้างตามสมการด้านล่างนี้

$$u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g}, & \text{if } u_j \leq c_r \text{ or } j = j_u \\ x_{j,i,g}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.2)$$

เมื่อ C_r (Crossover Rate) เป็นค่าคงที่มีค่าตั้งแต่ [0,1]

$$i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, D$$

โดยที่สมการ 5.2 นั้นอธิบายได้ว่าเมื่อทำการสุ่มเลือกค่าให้แต่ละ array ในโครโมโซมแล้วซึ่งเป็นตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่สุ่มเลือกได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ C_r (Crossover Rate) ให้เลือกค่าของเวกเตอร์ที่มาจากเวกเตอร์กลายพันธุ์ (Mutant Vector) และถ้าเป็นอย่างอื่นให้เลือกค่าของเวกเตอร์ที่มาจากเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector)

เมื่อดำเนินการสุ่มค่า 0 ถึง 1 ให้กับโครโมโซมแต่ละ array แล้วซึ่งได้ค่าตามตารางที่ 5.4 นั้นจากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการประสมพันธุ์ โดยเงื่อนไขนั้นเป็นไปตามสมการที่ 5.2 โดยที่จะต้องทำการเปรียบเทียบกันในแต่ละตำแหน่ง array ระหว่างโครโมโซมที่เป็นชุดของคำตอบเริ่มต้นกับโครโมโซมของชุดคำตอบที่ได้จากการกลายพันธุ์ โดยเมื่อดำเนินการจนเสร็จสิ้นในทุกๆ array แล้ว จะทำให้ได้ชุดของคำตอบใหม่ซึ่งเป็นโครโมโซมของชุดคำตอบใหม่ที่ต่อไปจะเรียกว่า Trial Vector จากนั้นจะต้องทำการคำนวณหาผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้ตามฟังก์ชันของสมการเป้าหมายเพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ว่าดีกว่าหรือแย่กว่าของโครโมโซมคำตอบเริ่มต้น โดยรายละเอียดทั้งหมดแสดงได้ตามตารางที่ 5.5 ที่แสดงโครโมโซมของ Trial Vector

ตารางที่ 5.4 แสดงโครโมโซมที่สุ่มจำนวนจริง 0 ถึง 1 ก่อนการทำครอสโอเวอร์

| | randb(j) = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1 | | | | |
|-----|---|------|------|------|------|
| | Trial Vector (U _j ,G+1) | | | | |
| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
| i1 | 0.46 | 0.50 | 0.06 | 0.43 | 0.70 |
| i2 | 0.65 | 0.74 | 0.02 | 0.86 | 0.38 |
| i3 | 0.37 | 0.58 | 0.14 | 0.99 | 0.08 |
| i4 | 0.12 | 0.35 | 0.17 | 0.41 | 0.75 |
| i5 | 0.63 | 0.11 | 0.02 | 0.51 | 0.28 |
| i6 | 0.55 | 0.45 | 0.73 | 0.99 | 0.25 |
| i7 | 0.64 | 0.15 | 0.94 | 0.28 | 0.27 |
| i8 | 0.35 | 0.95 | 0.77 | 0.22 | 0.32 |
| i9 | 0.70 | 0.67 | 0.88 | 0.95 | 0.01 |
| i10 | 0.41 | 0.52 | 0.29 | 0.50 | 0.39 |
| i11 | 0.32 | 0.21 | 0.30 | 0.40 | 0.21 |
| i12 | 0.21 | 0.98 | 0.34 | 0.30 | 0.22 |
| i13 | 0.61 | 0.29 | 0.54 | 0.81 | 0.69 |
| i14 | 0.61 | 0.83 | 0.50 | 0.61 | 0.72 |
| i15 | 0.55 | 0.78 | 0.07 | 0.63 | 0.89 |
| i16 | 0.79 | 0.28 | 0.17 | 0.04 | 0.06 |
| t1 | 0.60 | 0.23 | 0.30 | 0.89 | 0.66 |
| t2 | 0.85 | 0.82 | 0.45 | 0.53 | 0.47 |
| t3 | 0.38 | 0.52 | 0.06 | 0.60 | 0.47 |
| t4 | 0.61 | 0.02 | 0.22 | 0.55 | 0.24 |
| t5 | 0.13 | 0.77 | 0.02 | 0.41 | 0.20 |
| t6 | 0.16 | 0.58 | 0.81 | 0.38 | 0.07 |
| t7 | 0.33 | 0.12 | 0.83 | 0.17 | 0.25 |
| t8 | 0.63 | 0.27 | 0.09 | 0.57 | 0.46 |
| t9 | 0.34 | 0.31 | 0.64 | 0.28 | 0.98 |
| t10 | 0.23 | 0.36 | 0.73 | 0.86 | 0.58 |
| t11 | 0.15 | 0.50 | 0.60 | 0.59 | 0.96 |
| t12 | 0.56 | 0.34 | 0.42 | 0.41 | 0.29 |
| t13 | 0.83 | 0.94 | 0.37 | 0.86 | 0.92 |
| t14 | 1.00 | 0.63 | 0.63 | 0.57 | 0.88 |
| t15 | 0.51 | 0.80 | 0.14 | 0.81 | 0.61 |

| | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|
| t16 | 0.56 | 0.72 | 0.56 | 0.42 | 0.47 |
| t17 | 0.48 | 0.77 | 0.50 | 0.84 | 0.88 |
| t18 | 0.65 | 0.70 | 0.29 | 0.62 | 0.00 |
| t19 | 0.28 | 0.54 | 0.96 | 0.47 | 0.33 |
| t20 | 0.51 | 0.90 | 0.18 | 0.98 | 0.82 |
| t21 | 0.71 | 0.88 | 0.49 | 0.94 | 1.00 |
| t22 | 0.20 | 0.57 | 0.93 | 0.10 | 0.14 |
| t23 | 0.57 | 0.75 | 0.17 | 0.55 | 0.79 |
| t24 | 0.67 | 0.55 | 0.71 | 0.01 | 0.18 |
| t25 | 0.73 | 0.27 | 0.57 | 0.61 | 0.68 |
| t26 | 0.74 | 0.95 | 0.23 | 0.71 | 0.43 |
| t27 | 0.58 | 0.74 | 0.28 | 0.21 | 0.72 |
| t28 | 0.65 | 0.12 | 0.54 | 0.48 | 0.44 |
| t29 | 0.40 | 0.82 | 0.31 | 0.46 | 0.40 |
| t30 | 0.53 | 0.11 | 0.77 | 0.74 | 0.56 |
| t31 | 0.28 | 0.32 | 0.99 | 0.36 | 0.90 |
| t32 | 0.37 | 0.87 | 0.63 | 0.84 | 0.52 |
| t33 | 0.58 | 0.87 | 0.45 | 0.26 | 0.63 |
| t34 | 0.37 | 0.41 | 0.84 | 0.30 | 0.98 |
| t35 | 0.02 | 0.53 | 0.36 | 0.39 | 0.16 |
| t36 | 0.20 | 0.34 | 0.58 | 0.97 | 0.68 |
| t37 | 0.15 | 0.21 | 0.04 | 0.90 | 0.11 |
| t38 | 0.26 | 0.85 | 0.02 | 0.44 | 0.85 |
| t39 | 0.01 | 0.37 | 0.37 | 0.30 | 0.10 |
| t40 | 1.00 | 0.36 | 0.92 | 0.51 | 0.77 |
| t41 | 0.49 | 0.62 | 0.88 | 0.65 | 0.81 |
| t42 | 0.43 | 0.90 | 0.99 | 0.30 | 0.06 |
| t43 | 0.16 | 0.67 | 0.06 | 0.47 | 0.21 |
| t44 | 0.38 | 0.52 | 0.63 | 0.42 | 0.71 |
| t45 | 0.27 | 0.88 | 0.75 | 0.22 | 0.37 |
| t46 | 0.93 | 0.30 | 0.39 | 0.71 | 0.67 |
| k1 | 0.43 | 0.40 | 0.93 | 0.03 | 0.89 |
| k2 | 0.99 | 0.09 | 0.89 | 0.61 | 0.83 |
| k3 | 0.29 | 0.53 | 0.36 | 0.47 | 0.23 |
| k4 | 0.34 | 0.44 | 0.89 | 0.48 | 0.41 |

ตารางที่ 5.5 แสดงโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์

| | 0.88 | | CR = Crossover Rate | | |
|-----|-------------------------------------|-------|---------------------|-------|-------|
| | Trial Vector (U _{ji} ,G+1) | | | | |
| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
| i1 | 1.01 | -0.71 | 0.19 | 1.10 | 0.01 |
| i2 | 0.12 | -1.42 | 1.95 | 0.64 | -0.02 |
| i3 | -0.36 | 0.70 | 0.15 | 0.02 | 0.13 |
| i4 | 1.06 | 0.60 | -0.09 | 0.30 | 0.00 |
| i5 | -0.16 | -0.35 | 0.50 | 1.17 | 0.63 |
| i6 | -0.34 | 0.69 | -0.17 | 0.14 | 0.36 |
| i7 | 1.13 | 1.02 | 0.47 | 0.64 | 0.52 |
| i8 | 0.30 | 0.16 | 0.04 | 0.29 | -0.08 |
| i9 | 0.34 | 0.61 | -1.51 | 0.02 | 1.13 |
| i10 | 1.75 | -0.09 | -0.12 | 0.87 | -0.19 |
| i11 | 0.03 | -1.07 | 1.98 | 0.27 | -0.07 |
| i12 | 1.18 | 0.70 | -0.81 | 1.58 | 0.88 |
| i13 | 1.49 | 2.15 | -0.82 | -0.04 | 0.43 |
| i14 | -0.28 | -0.08 | -0.40 | 1.37 | 0.92 |
| i15 | 1.02 | 0.08 | -1.26 | 0.13 | 0.86 |
| i16 | 0.27 | 1.49 | -0.06 | -0.58 | 0.12 |
| t1 | 2.03 | -0.56 | 0.76 | 0.89 | -0.07 |
| t2 | 1.13 | 1.38 | -0.28 | 0.39 | 0.51 |
| t3 | 0.71 | -0.38 | -0.49 | 0.83 | -0.17 |
| t4 | -0.89 | -0.03 | 1.69 | 0.45 | 0.80 |
| t5 | 0.45 | 1.38 | -0.60 | 1.93 | 1.90 |
| t6 | 0.66 | 0.83 | -1.32 | 0.58 | 0.29 |
| t7 | 0.87 | -1.34 | 0.73 | 0.18 | -0.97 |
| t8 | -0.35 | -1.02 | 0.59 | 1.75 | 0.80 |
| t9 | 0.54 | 1.26 | 1.57 | -0.90 | 0.11 |
| t10 | 0.63 | 0.09 | 0.58 | 1.48 | 1.07 |
| t11 | 0.25 | 0.15 | 1.88 | 1.10 | 0.18 |
| t12 | 1.80 | 0.34 | 1.66 | -0.34 | -0.42 |
| t13 | -0.50 | 0.03 | 0.78 | 0.93 | 0.44 |
| t14 | 0.98 | -0.69 | 0.38 | -0.63 | 0.38 |
| t15 | 1.37 | -0.38 | 0.73 | -0.24 | -0.76 |

| | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t16 | 1.23 | 0.60 | 0.91 | 0.56 | 0.51 |
| t17 | 1.02 | -0.50 | 1.62 | -0.34 | 0.18 |
| t18 | 0.74 | -0.83 | -1.01 | 1.11 | -0.29 |
| t19 | -1.00 | 0.06 | 0.72 | 1.28 | 1.51 |
| t20 | -0.46 | 0.08 | 0.49 | 0.82 | 1.14 |
| t21 | 0.38 | 0.70 | -0.84 | 0.13 | 0.72 |
| t22 | 1.90 | -0.43 | 0.22 | 1.99 | 0.60 |
| t23 | 1.71 | 0.24 | 1.30 | -1.04 | -1.03 |
| t24 | 0.18 | -0.16 | -0.37 | 0.39 | -0.05 |
| t25 | -0.58 | -0.53 | 2.50 | -0.34 | -0.01 |
| t26 | -0.83 | 0.05 | 2.20 | 0.77 | 0.83 |
| t27 | 0.61 | 1.18 | 0.21 | -0.47 | 0.13 |
| t28 | -0.75 | 0.57 | 0.00 | 1.99 | 1.96 |
| t29 | 1.18 | 1.67 | -0.05 | -0.39 | 0.12 |
| t30 | -0.62 | 0.32 | 1.46 | 2.15 | 2.23 |
| t31 | 0.97 | -1.06 | 0.04 | 0.23 | 0.01 |
| t32 | 1.24 | 1.15 | -0.66 | 0.98 | 0.82 |
| t33 | 1.45 | 0.36 | -1.37 | 1.20 | 0.24 |
| t34 | 2.04 | 0.44 | -0.26 | -0.67 | 0.44 |
| t35 | -0.06 | 0.58 | 1.87 | 0.44 | 0.95 |
| t36 | 0.02 | 0.20 | 1.27 | 0.50 | 0.10 |
| t37 | 2.00 | 1.57 | -1.50 | 0.04 | 0.15 |
| t38 | 2.15 | -0.55 | -0.21 | 1.35 | -0.17 |
| t39 | 1.16 | -0.27 | 0.08 | 1.54 | 0.50 |
| t40 | 0.53 | -0.11 | 0.48 | 0.35 | 0.33 |
| t41 | 0.45 | 1.34 | 0.84 | 0.06 | 0.85 |
| t42 | -0.15 | 0.06 | 0.35 | 1.15 | 0.52 |
| t43 | 0.05 | -0.35 | 1.57 | 1.11 | 0.85 |
| t44 | 1.78 | 0.41 | -1.55 | 1.19 | 0.11 |
| t45 | 0.72 | -0.97 | 0.00 | 2.10 | 0.72 |
| t46 | 0.78 | 0.21 | -0.07 | 0.01 | -0.47 |
| k1 | 1.66 | -0.80 | 0.02 | 0.43 | 0.40 |
| k2 | 0.61 | -0.92 | 0.28 | -0.14 | -0.58 |
| k3 | 0.26 | -0.33 | -0.09 | 1.43 | 0.66 |
| k4 | 2.23 | 1.19 | 0.30 | -0.80 | -0.85 |
| 120,707,182,719.70 | | | | | |

5.1.2.3 การคัดเลือก (Selection)

เป็นกระบวนการคัดสรรคำตอบ ซึ่ง vector ที่ให้คำตอบที่ดีกว่าจะอยู่รอดต่อไป วิธีการคือเปรียบเทียบ function value ของ trial vector กับ target vector ในกรณีที่ trial vector ให้ค่า function value ที่ดีกว่า มันก็จะแทนที่ target vector ใน generation ต่อไป จากนั้น ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5.1.2.1 ถึง 5.1.2.3 จนครบทุก vector ใน current generation จากนั้นแทนที่ current generation ด้วย next generation ถ้าหาก function value ที่ได้นั้นดีกว่า แล้วทำซ้ำกระบวนการทั้งหมดจนถึง stopping criteria

การดำเนินการคัดเลือกได้กำหนดเป้าหมายเวกเตอร์แต่ละตัวไว้ที่ $X_{i,g}$ และเวกเตอร์การทดลองที่สอดคล้องกันคือ $U_{i,g}$ ซึ่งใช้ทดลองเวกเตอร์เปรียบเทียบผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย กับการมีชีวิตรอดเพื่อเป็นทายาทรุ่นต่อไป และเวกเตอร์ $X_{i,g+1}$ จะถูกเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} U_{i,g}, & \text{if } f(U_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.3)$$

เมื่อดำเนินการตามเงื่อนไขของสมการที่ 5.3 โดยการแทนค่าของ function value ที่เป็นสมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ที่อยู่ในบทที่ 4 โดยเป็นการศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากชานอ้อยและกากมันที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุดแล้ว จะต้องทำการเปรียบเทียบค่าของ function value ที่ได้ โดยชุดของโครโมโซมคำตอบเริ่มต้นที่ได้นั้นเท่ากับ 120,309 ล้านบาท ส่วนชุดของโครโมโซมคำตอบที่ได้จากการทำ Trial Vector นั้นเท่ากับ 120,707 ล้านบาท ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่า ชุดของคำตอบหรือโครโมโซมของ Generation ถัดไป (G+1) นั้นจะเป็นชุดของโครโมโซมที่เป็นคำตอบเริ่มต้นเนื่องจาก function value นั้นต่ำกว่าชุดโครโมโซมของ Trial Vector โดยที่รายละเอียดแสดงการคัดเลือกนั้นเป็นไปตามตารางที่ 5.6

กระบวนการคัดเลือกที่แสดงนั้นเป็นเพียงตัวอย่างที่แสดงเพียงแค่การเปรียบเทียบแค่โครโมโซมเดียวเท่านั้น แต่ถ้าหากมีชุดของโครโมโซมที่มากกว่าหนึ่ง จะต้องทำการเปรียบเทียบทั้งหมดด้วย เช่นตาม Flow Chart ที่แสดงในรูปที่ 5.1 นั้น จะเห็นว่าการกำหนดคำตอบเริ่มต้นนั้นจะกำหนดให้มี 10 โครโมโซม นั้นหมายความว่าในแต่ละรอบของการคำนวณจะต้องนำ Target Vector 10 โครโมโซมเปรียบเทียบกับ Trial Vector 10 โครโมโซม ในแต่ละ NP ก่อน จากนั้นจึงนำชุดของโครโมโซมคำตอบแต่ละ NP (1,2,...,10) มาเปรียบเทียบกับกันจึงจะได้คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการคำนวณ

ตารางที่ 5.6 แสดงโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก

| | Selection Process | | | | |
|-----|-----------------------|------|------|------|------|
| | Chromosome: G+1, NP.1 | | | | |
| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
| i1 | 0.47 | 0.41 | 0.14 | 0.70 | 0.67 |
| i2 | 0.21 | 0.12 | 0.17 | 0.95 | 0.06 |
| i3 | 0.37 | 0.00 | 0.37 | 0.02 | 0.12 |
| i4 | 0.94 | 0.59 | 0.53 | 0.52 | 0.83 |
| i5 | 0.68 | 0.15 | 0.57 | 0.82 | 0.85 |
| i6 | 0.51 | 0.04 | 0.46 | 0.14 | 0.46 |
| i7 | 0.57 | 0.75 | 0.47 | 0.34 | 0.73 |
| i8 | 0.71 | 0.16 | 0.36 | 0.47 | 0.62 |
| i9 | 0.03 | 0.32 | 0.17 | 0.02 | 0.86 |
| i10 | 0.88 | 0.75 | 0.31 | 0.73 | 0.95 |
| i11 | 0.32 | 0.13 | 0.27 | 0.87 | 0.02 |
| i12 | 0.06 | 0.70 | 0.14 | 0.25 | 0.72 |
| i13 | 0.74 | 0.97 | 0.60 | 0.01 | 0.72 |
| i14 | 0.09 | 0.05 | 0.24 | 0.30 | 0.62 |
| i15 | 0.87 | 0.19 | 0.12 | 0.17 | 0.86 |
| i16 | 0.98 | 0.39 | 0.74 | 0.19 | 0.59 |
| t1 | 0.47 | 0.93 | 0.15 | 0.89 | 0.58 |
| t2 | 0.80 | 0.81 | 0.65 | 0.36 | 0.82 |
| t3 | 0.89 | 0.22 | 0.30 | 0.60 | 1.00 |
| t4 | 0.64 | 0.06 | 0.82 | 0.87 | 0.43 |
| t5 | 0.19 | 0.78 | 0.65 | 0.36 | 0.98 |
| t6 | 0.50 | 0.33 | 0.25 | 0.00 | 0.79 |
| t7 | 0.88 | 0.12 | 0.12 | 0.85 | 0.54 |
| t8 | 0.43 | 0.02 | 0.41 | 0.93 | 0.84 |
| t9 | 0.81 | 0.66 | 0.80 | 0.50 | 0.11 |
| t10 | 0.02 | 0.63 | 0.32 | 0.59 | 0.46 |
| t11 | 0.05 | 0.67 | 0.57 | 0.83 | 0.18 |
| t12 | 0.87 | 0.98 | 0.52 | 0.84 | 0.28 |
| t13 | 0.29 | 0.03 | 0.42 | 0.62 | 0.44 |
| t14 | 0.98 | 0.44 | 0.00 | 0.57 | 0.38 |
| t15 | 0.48 | 0.48 | 0.04 | 0.47 | 0.13 |

| | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| t16 | 0.38 | 0.88 | 0.45 | 0.59 | 0.36 |
| t17 | 0.76 | 0.47 | 0.34 | 0.82 | 0.18 |
| t18 | 0.63 | 0.06 | 0.01 | 0.45 | 0.96 |
| t19 | 0.19 | 0.12 | 0.72 | 0.76 | 0.45 |
| t20 | 0.26 | 0.08 | 0.44 | 0.82 | 0.80 |
| t21 | 0.38 | 0.32 | 0.32 | 0.13 | 0.72 |
| t22 | 0.37 | 0.98 | 0.22 | 0.92 | 0.90 |
| t23 | 0.81 | 0.74 | 0.29 | 0.53 | 0.03 |
| t24 | 0.39 | 0.03 | 0.13 | 0.23 | 0.47 |
| t25 | 0.77 | 0.04 | 0.71 | 1.00 | 0.10 |
| t26 | 0.23 | 0.05 | 0.58 | 0.95 | 0.13 |
| t27 | 0.36 | 0.50 | 0.37 | 0.03 | 0.11 |
| t28 | 0.20 | 0.25 | 0.72 | 0.56 | 0.92 |
| t29 | 0.89 | 0.80 | 0.66 | 0.23 | 0.58 |
| t30 | 0.13 | 0.52 | 0.89 | 0.99 | 0.71 |
| t31 | 0.28 | 0.38 | 0.04 | 0.76 | 0.01 |
| t32 | 0.25 | 0.82 | 0.33 | 0.16 | 0.66 |
| t33 | 0.41 | 0.59 | 0.07 | 0.19 | 0.92 |
| t34 | 0.90 | 0.69 | 0.12 | 0.25 | 0.44 |
| t35 | 0.61 | 0.56 | 0.89 | 0.88 | 0.39 |
| t36 | 0.47 | 0.25 | 0.47 | 0.50 | 0.10 |
| t37 | 0.74 | 0.97 | 0.34 | 0.04 | 0.96 |
| t38 | 0.59 | 0.84 | 0.06 | 0.76 | 0.89 |
| t39 | 0.52 | 0.64 | 0.32 | 0.78 | 0.90 |
| t40 | 0.53 | 0.02 | 0.48 | 0.55 | 0.44 |
| t41 | 0.59 | 0.77 | 0.84 | 0.56 | 0.34 |
| t42 | 0.43 | 0.06 | 0.35 | 0.65 | 0.68 |
| t43 | 0.40 | 0.41 | 0.59 | 0.97 | 0.47 |
| t44 | 0.48 | 0.69 | 0.05 | 0.19 | 0.98 |
| t45 | 0.12 | 0.38 | 0.08 | 0.76 | 0.80 |
| t46 | 0.78 | 0.53 | 0.26 | 0.42 | 0.58 |
| k1 | 0.54 | 0.57 | 0.02 | 0.70 | 0.40 |
| k2 | 0.61 | 0.35 | 0.28 | 0.92 | 0.08 |
| k3 | 0.37 | 0.25 | 0.30 | 0.59 | 0.79 |
| k4 | 0.97 | 0.93 | 0.30 | 0.16 | 0.49 |
| 120,309,632,583.43 | | | | | |

การพัฒนาอัลกอริทึมในหัวข้อที่ 5.1 นั้นเป็นเพียงการใช้กระบวนการของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันแบบมาตรฐานเท่านั้น ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงหรือเพิ่มความได้เปรียบใดๆ ทั้งสิ้น ซึ่งผลของวัตถุประสงค์เป้าหมายนั้นยังห่างไกลของคำตอบที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก ดังนั้นเพื่อให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะต้องทำการปรับปรุงและเพิ่มความได้เปรียบตามที่แสดงในหัวข้อที่ 5.2

5.2 การปรับปรุงอัลกอริทึม

5.2.1 ปรับปรุงกระบวนการโมดิฟายดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน (MODDE)

จากสมการที่ 5.2 เป็นเพียงแค่กระบวนการการกลายพันธุ์ (Crossover หรือ Recombination) แบบพื้นฐานของ DE เท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงกระบวนการนี้โดยที่ค่า CR นั้นถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED) เช่นเดียวกับค่า F และได้รับแรงบันดาลใจจากกระบวนการผสมสายพันธุ์ใน GA โดยปกตินั้นจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลของโครโมโซมที่แตกต่างกันแต่ DE ไม่ใช่ ดังนั้นจึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนากระบวนการผสมสายพันธุ์ของ DE ดังสมการที่ 5.4

$$U_{j,i,g} = V_{j,i,g} + A(V_{gbest}) + B(V_{ibest}) + C(V_{friend}) \quad (5.4)$$

เมื่อ u_j (ค่าที่สุ่มได้) $> CR_1 + CR_2$; X_{ij} (จะใช้คำตอบเริ่มต้น)
 u_j (ค่าที่สุ่มได้) $> CR_1$; $GbestX_{ij}$ (จะใช้คำตอบที่ดีที่สุด)
 u_j (ค่าที่สุ่มได้) $< CR_1$; U_{ij} (จะใช้คำตอบล่าสุด)

ตัวอย่างการคำนวณ สมมติว่าถ้าเรากำหนดให้ $CR_1=0.4$, $CR_2=0.5$ และจากนั้นทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.45 ซึ่งมีค่ามากกว่า CR_1 และถ้ายกตัวอย่างที่ตำแหน่งเซลล์ $i:j1$ ดังนั้นเราจะต้องเลือกคำตอบที่ดีที่สุดก็คือตัวเลข 1.01 จากคำตอบทั้งหมดสำหรับ Trial Vector เช่นเดียวกันหากเป็นตำแหน่ง $i:j3$ ถ้าทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.97 ซึ่งมีค่ามากกว่า $CR_1 + CR_2$ ดังนั้นเราจะต้องเลือกตัวเลข 0.14 ซึ่งมาจากคำตอบเริ่มต้นสำหรับเป็นคำตอบของ Trial Vector รายละเอียดดังรูปที่ 5.3

Random Number

| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
|----|------|------|------|------|------|
| il | 0.45 | 0.93 | 0.97 | 0.06 | 0.74 |

↓

Trial Vector by Recombination as MODDE

| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
|----|------|------|------|------|------|
| il | 1.01 | 0.41 | 0.14 | 1.10 | 0.67 |

รูปที่ 5.3 แสดงการทำงานของอัลกอริทึมกระบวนการ Recombination ของ MODDE

5.2.2 ปรับปรุงกระบวนการดิฟเฟอเรนเชียลวิถุชั้นแบบฝูงอนุภาค (DE-PSO)

เมื่อทำการพัฒนาอัลกออริทึมในหัวข้อที่ 5.2.1 แล้วและทำการทดสอบกับกรณีศึกษา พบว่าคำตอบที่ได้นั้นดีขึ้นมากกว่าการใช้อัลกอริทึมดิฟเฟอเรนเชียลวิถุชั้นแบบมาตรฐาน แต่ผลของวัตถุประสงค์เป้าหมายนั้นก็ยังห่างไกลของคำตอบที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก ดังนั้นเพื่อให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะต้องทำการปรับปรุงและเพิ่มความได้เปรียบตามที่แสดงในหัวข้อที่ 5.2.2

เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่า F ซึ่งถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED) โดยการปรับค่าตามประชากรของคำตอบที่ถูกออกแบบไว้สามระดับคือ สูง กลาง ต่ำ จากนั้นค่า F จะมีการปรับระดับค่ากลางตามค่าของกลุ่มประชากรที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด

ทำการปรับปรุงกระบวนการกลายพันธ์ (Crossover หรือ Recombination) เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.2.1 แต่เพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรม ที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ PSO จะมีความเร่งในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้างๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการปรับปรุงกระบวนการนี้โดยที่ค่า CR นั้นถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED) เช่นเดียวกับค่า F ดังนั้นจึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนากระบวนการผสมสายพันธุ์ของ DE ดังสมการที่ 5.5

$$U_{j,i,g} = (X_{j,i} \text{ or } U_{j,i}) + V_{j,i,g} \quad (5.5)$$

โดยคำนวณหาความเร่งทำได้จาก

$$V_{j,i,g} = (W_1 X_{j,i}) + (W_2 P_{best} X_{j,i} - X_{j,i}) + (W_3 G_{best} X_{j,i} - X_{j,i}) \text{ or } U_{j,i}$$

เมื่อ u_j (ค่าที่สุ่มได้) $>$ CR ; $X_{j,i}$ (จะใช้คำตอบเริ่มต้น)

u_j (ค่าที่สุ่มได้) $<$ CR ; $U_{j,i}$ (จะใช้คำตอบล่าสุด)

ตัวอย่างการคำนวณ สมมติว่าถ้าเรากำหนดให้ CR=0.8 และจากนั้นทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.45 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า CR และถ้ายกตัวอย่างที่ตำแหน่งเซลล์ i1:j1 ดังนั้นเราจะต้องเลือกคำตอบล่าสุดก็คือตัวเลข 1.01 มาใช้คำนวณตามสูตรของ PSO และจะกลายเป็นคำตอบของ Trial Vector เช่นเดียวกันหากเป็นตำแหน่ง i1:j3 ถ้าทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.97 ซึ่งมีค่ามากกว่า CR ดังนั้นเราจะต้องเลือกตัวเลข 0.14 ซึ่งมาจากคำตอบเริ่มต้น มาใช้คำนวณตามสูตรของ PSO และจะกลายเป็นคำตอบของ Trial Vector และถ้าเรากำหนดให้ $W_1=2, W_2=3, W_3=4$ ดังนั้นผลที่ได้ก็จะเป็นดังรูปที่ 5.4

Random Number

| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
|----|------|------|------|------|------|
| i1 | 0.45 | 0.93 | 0.97 | 0.06 | 0.74 |



The number to select to PSO calculation

| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
|----|------|------|------|------|------|
| i1 | 1.01 | 0.41 | 0.14 | 1.10 | 0.01 |

Trial Vector by Recombination as DE-PSO

| | j1 | j2 | j3 | j4 | j5 |
|----|------|-------|------|------|-------|
| i1 | 2.01 | -4.17 | 0.66 | 2.21 | -0.02 |

รูปที่ 5.4 แสดงการทำงานของอัลกอริทึมกระบวนการ Recombination ของ DE-PSO

5.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึม

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมโดยการออกแบบการทดสอบด้วยการคำนวณแบบ Manual จากโปรแกรม Excel พบว่าคำตอบที่ได้นั้นมีค่าของ function value ที่ลดลงซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการหาค่าที่ minimize ที่สุด แต่ด้วยเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่เพราะประกอบไปด้วย array ทั้งหมดที่สามารถจะเป็นคำตอบได้ถึง 330 array หรือสามารถอธิบายได้ว่าจะมีชุดโครโมโซมของคำตอบที่เป็นไปได้ถึง 330! ดังนั้นเพื่อให้ง่ายและรวดเร็วในการคำนวณหาคำตอบนั้น จึงจำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมเพื่อมาช่วยในการหาคำตอบ โดยจะต้องใช้พื้นฐานของการสร้างโปรแกรมตามขั้นตอนของ DE ซึ่งเป็นไปตาม Flow Chart ในรูปที่ 5.2 และรหัสเทียมในรูปที่ 5.1

ผลการวิจัยที่ได้ตามตารางที่ 5.7 สรุปได้ว่ากระบวนการเมตาฮิวริสติกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากได้เป็นอย่างดี และการออกแบบอัลกอริทึมด้วยวิธีการโมดิฟายขั้นตอนครอสโอเวอร์ของวิธีดิวเฟอเรนเชียลวิโวลูชันนั้นให้คำตอบต้นทุนสูงกว่าประมาณ 5% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา ทั้งนี้ในงานวิจัยก่อนที่จะทำการปรับปรุงอัลกอริทึมนั้น ก็ได้ทำการทดสอบปัญหากับอัลกอริทึมด้วยวิธีดิวเฟอเรนเชียลวิโวลูชันแบบมาตรฐานเช่นกัน ซึ่งให้คำตอบและใช้เวลาได้ไม่ดีกว่าแบบที่โมดิฟายแล้ว แต่ทั้งนี้ MODDE ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 5% ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรมที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ PSO จะมีความเร่งในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้างๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้น

ส่วนผลการวิจัยที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับปรุงขั้นตอนครอสโอเวอร์ ด้วยระเบียบวิธีของ PSO นั้นให้คำตอบต้นทุนที่แตกต่างประมาณ 2% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา แต่ทั้งนี้ DE-PSO ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 2% ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มกลยุทธ์ความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรมการกลายพันธุ์ (Mutation) มาใช้ ซึ่งงานวิจัยยังคงใช้แบบมาตรฐานอยู่ เพียงแต่มีการปรับปรุงค่า F แบบอัตโนมัติเท่านั้น ซึ่งหากปรับปรุงตามวิธีใหม่นี้จะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายและทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้นด้วย

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน

| แหล่งวัตถุดิบ | | แหล่งผลิตเอทานอล | แหล่งรับเอทานอล | |
|---|-----------|---|-----------------|------------------------|
| โรงงาน | ส่ง (ตัน) | | ปริมาณ (ลิตร) | คลังน้ำมัน |
| โรงงานน้ำตาลขอนแก่น | 89,330 | บริษัท ขอนแก่น แอลกอฮอล์ จำกัด | 2.38E+07 | คลังน้ำมัน ขอนแก่น |
| โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม | 68,129 | | | |
| โรงงานน้ำตาลสุรินทร์ | 61,628 | | | |
| โรงงานน้ำตาลวังขนาย | 34,150 | | | |
| บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด | 11,520 | | | |
| บริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์ จำกัด | 10,080 | | | |
| บริษัท เพชรธारा จำกัด | 8,640 | | | |
| บริษัท แป้งมันเอี่ยมเสงอุตสาหกรรม จำกัด | 7,776 | | | |
| บริษัท เอี่ยมเสง โมดิฟาย สตาร์ช จำกัด | 7,776 | | | |
| บริษัท เซวาน์ดีสตาร์ช (2004) จำกัด | 7,200 | | | |
| บริษัท โชคยืนยงอุตสาหกรรม จำกัด | 7,200 | | | |
| บริษัท อุบลเกษตรพลังงาน จำกัด | 5,760 | | | |
| โรงงานแป้งมันชัยเจริญ | 5,760 | | | |
| บริษัท เอเชีย โมดิไฟด์สตาร์ช จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด | 1,728 | | | |
| โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง | 89,952 | บริษัท ไทย จ๋วน เอทา นอล จำกัด (มหาชน) | 1.08E+07 | คลังน้ำมัน อุดรธานี |
| บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด | 21,600 | | | |
| บริษัท แก่นเจริญ จำกัด | 15,840 | | | |
| บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด | 5,472 | | | |
| บริษัท โรงงานแป้งมันอุดมชัย จำกัด | 4,320 | | | |
| บริษัท พรีเมียร์ ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด | 2,880 | | | |

| แหล่งวัตถุดิบ | | แหล่งผลิต เอทานอล | แหล่งรับเอทานอล | |
|--|-----------|---|------------------|---------------------------|
| โรงงาน | ส่ง (ตัน) | | ปริมาณ (ลิตร) | คลังน้ำมัน |
| บริษัท สวงวนวงษ์สตาร์ช จำกัด | 2,880 | บริษัท เพโทร กรีน จำกัด (กาฬสินธุ์) | 1.28E+07 | คลังน้ำมัน อุบลราชธานี |
| บริษัท ไทยน้ำมันสำปะหลัง จำกัด | 2,880 | | | |
| โรงงานน้ำตาลมิตรภาพสินธุ์ | 61,259 | | | |
| โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี | 52,303 | | | |
| บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด | 4,400 | | | |
| บริษัท ไทยคอนติเนนตัลฟีด จำกัด | 10,080 | | | |
| บริษัท โรงงานแป้งมันตระกูลเล็ก จำกัด | 5,760 | | | |
| บริษัท อี เอช สตาร์ช จำกัด | 5,760 | | | |
| บริษัท แป้งมันแสงเพชร จำกัด | 4,320 | | | |
| แป้งมันเมืองเลย | 4,752 | | | |
| บริษัท แป้งมันสมเด็จ จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท สยาม ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท คาสซาวากรีน จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท เชนเนรัล สตาร์ช จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท เอ็น.ไอ.ซี แป้งมันสำเร็จรูป จำกัด | 1,440 | | | |
| บริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เคมีเคิล | 1,440 | | | |
| บริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด | 1,440 | | | |
| โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม | 104,983 | บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด | 2.49E+07 | คลังน้ำมัน นครราชสีมา |
| โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียง | 90,239 | | | |
| โรงงานน้ำตาลเกษตรผล | 52,631 | | | |
| โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์ | 36,408 | | | |
| โรงงานน้ำตาลสหเรือง | 36,663 | | | |
| บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันราชสีมา จำกัด | 8,640 | | | |

| แหล่งวัตถุดิบ | | แหล่งผลิต เอทานอล | แหล่งรับเอทานอล | |
|---|-----------|---|------------------|---------------------------|
| โรงงาน | ส่ง (ตัน) | | ปริมาณ (ลิตร) | คลังน้ำมัน |
| บริษัท ชัยภูมิพืชผล จำกัด | 4,320 | | | |
| บริษัท ที.เอช.แพนดเลีย จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท แป้งตะวันออกเฉียงเหนือ (1987) | 2,880 | | | |
| บริษัท ยูนิเวอร์แซล สตาร์ช จำกัด(มหาชน) | 2,880 | | | |
| บริษัท ออส-ไทย สตาร์ชเซส จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท เอเชียโมดิไฟด์สตาร์ช จำกัด | 1,728 | | | |
| บริษัท ปทุมไรชมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด | 2,304 | | | |
| บริษัท เอ็น. อี. อินด์สทรี จำกัด | 1,440 | | | |
| โรงงานแป้งมันสำปะหลัง | 1,008 | | | |
| โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช | 87,092 | บริษัท เพโท รกรีน จำกัด (ชัยภูมิ) | 5.22E+06 | คลังน้ำมัน อุบลราชธานี |
| โรงงานน้ำตาลเอ็นวาย (ครบุรี) | 61,628 | | | |
| โรงงานน้ำตาลเอราวัณ | 61,259 | | | |
| โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน | 36,663 | | | |
| บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด | 14,400 | | | |
| บริษัท เอี่ยมศิริแป้งมัน จำกัด | 7,200 | | | |
| บริษัท สยามโปรดักส์ (1994) จำกัด | 2,880 | | | |
| บริษัท แป้งมันอีสาน จำกัด | 1,440 | | | |
| บริษัท อุดรเพิ่มผล จำกัด | 1,440 | | 1.42E+07 | คลังน้ำมัน อุดรธานี |

5.4 การทดสอบสมรรถนะอัลกอริทึม

จากตารางที่ 5.8 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมโดยออกแบบการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ การจำลองปัญหาขนาดเล็ก (I5-T5-J5-K4) ปัญหาขนาดกลาง (I10-T26-J5-K4) และปัญหาขนาดใหญ่ (I16-T46-J5-K4) โดยสรุปผลได้ดังนี้

สำหรับการกำหนดว่าเป็นปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่นั้นได้จากการเรียงลำดับจากการให้คะแนนของโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน จากตารางที่ 3.1 และ 3.3 ตามลำดับ โดยปัญหาขนาดเล็ก เลือกรองงานน้ำตาลมา 5 โรงงาน โรงงานแป้งมันมา 5 โรงงาน ซึ่งกฎเกณฑ์ในการกำหนดก็จะมาจากการใช้ตัวเลขของโรงงานทั้งหมดหารด้วยจำนวนของปัญหาที่ต้องการระบุ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ เล็ก กลาง ใหญ่ ดังนั้นจึงใช้ตัวเลขสามมาหาร เช่นปัญหาขนาดเล็ก โรงงานน้ำตาลมีทั้งหมด 16 โรง หากหารด้วย 3 จะได้ประมาณ 5 กว่าๆ แต่เพื่อให้เป็นจำนวนเต็มเพราะจำนวนโรงงานหลักเป็นทศนิยมไม่ได้ จึงได้กำหนดเป็น 5 โรงงานเป็นต้น สำหรับปัญหาขนาดกลางและใหญ่ก็ใช้กฎเกณฑ์เช่นเดียวกันในการระบุ ว่านี่คือปัญหาขนาดกลางและใหญ่

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบและผลการทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึม

| Case Study (Problem) | LINGO 11.0 | | | DE | | Comparison | |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|---------|
| | Value (MB) | Time (sec) | Value (MB) ³ | Value (MB) | Time (sec) | Value | Time |
| I5-T5-J5-K4 | 42,197 ^{1a} | 50,400 ^{1a} | 43,883 | 43,685 ^{2a} | 80.831 ^{2a} | 1.8% | -99.84% |
| | | | 43,883 | 43,339 ^{2b} | 65.520 ^{2b} | 1.0% | -99.87% |
| | | | 43,883 | 43,086 ^{2c} | 55.440 ^{2c} | 0.4% | -99.89% |
| I10-J26-K5-T4 | 4.968e+006 ^{1b} | 9,700 ^{1b} | Unknown | 5.288e+006 ^{2a} | 110.949 ^{2a} | 6.5% | -98.86% |
| | | | Unknown | 5.129e+006 ^{2b} | 107.659 ^{2b} | 3.3% | -98.89% |
| | | | Unknown | 5.032e+006 ^{2c} | 105.064 ^{2c} | 1.3% | -98.92% |
| I16-T46-J5-K4 | 5.850e+006 ^{1c} | 16,988 ^{1c} | Unknown | 6.381e+006 ^{2a} | 133.066 ^{2a} | 9.1% | -99.22% |
| | | | Unknown | 6.142e+006 ^{2b} | 129.797 ^{2b} | 5.0% | -99.24% |
| | | | Unknown | 5.967e+006 ^{2c} | 114.688 ^{2c} | 2.0% | -99.32% |

- หมายเหตุ: ^{1a}Lingo test by State : *Local Opt* (runtime 27:29:40, hh:mm:ss)
^{1b}Lingo test by State : *Feasible* (runtime 2:41:40, hh:mm:ss)
^{1c}Lingo test by State : *Feasible* (runtime 4:43:08, hh:mm:ss)
²DE test by Dev-C++ Program (^{2a}DE STD, ^{2b}MODDE, ^{2c}DE-PSO)
³Lingo test by State : *Feasible* (Lingo runtime = DE runtime)

สำหรับคำตอบที่นำมาแสดงในตารางที่ 5.8 เป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น จากการทดสอบ อัลกอริทึมทั้งหมด 10 ครั้ง เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 และหากต้องการผลการทดลองทั้งหมด รวมทั้งรหัสของโปรแกรม C++ ทั้งหมดสามารถอ้างอิงได้จากข้อมูลที่แสดงในภาคผนวก

1) ปัญหาขนาดเล็ก (I5-T5-J5-K4)

เป็นการทดสอบโดยการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและแป้งมันมาอย่างละ 5 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 5 อันดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.4 จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมสามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) แต่ที่ใช้เวลานานในการทดลอง ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 27 ชั่วโมง 29 นาที โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

จากนั้นผู้วิจัยก็ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลของค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งอัลกอริทึมที่พัฒนาในช่วงแรกนั้นเป็นแบบวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันแบบมาตรฐาน โดยที่ผลการทดลองนั้นได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก โดยค่าฟังก์ชันนั้นแตกต่างจากโปรแกรมที่ 1.8% แต่เวลาที่ใช้ในการทดลองก็เร็วกว่าถึง 99.87%

2) ปัญหาขนาดกลาง (I10-T26-J5-K4)

เป็นการทดสอบโดยการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลมา 10 โรงงาน และแป้งมันมา 26 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 10 และ 26 ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.4 จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมไม่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากจน

โปรแกรมไม่สามารถที่จะทดสอบได้ แต่ก็ได้ทำการทดสอบด้วยการจำกัดเวลาในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 41 นาที โดยที่คำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ไม่ดีที่สุด (Objective Bound) และขั้นตอนของการทดสอบนั้นยังอยู่ใน State : Feasible (คำตอบที่เหมาะสม) โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 5.8

3) ปัญหาขนาดใหญ่ (I16-T46-J5-K4)

เป็นการทดสอบโดยการนำโรงงานทั้งหมดที่เปิดดำเนินการอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในตอนนี้มาทำการทดสอบ โดยโรงงานน้ำตาล 16 โรง และโรงงานแป้งมัน 46 โรง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.3 จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมไม่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนมากจนโปรแกรมไม่สามารถที่จะทดสอบได้ แต่ก็ได้ทำการทดสอบด้วยการจำกัดเวลาในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง 43 นาที โดยที่คำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ไม่ดีที่สุด (Objective Bound) และขั้นตอนของการทดสอบนั้นยังอยู่ใน State : Feasible (คำตอบที่เหมาะสม) โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 5.8

จากนั้นผู้วิจัยก็ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมา เพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลของโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งอัลกอริทึมที่พัฒนาในช่วงแรกนั้นเป็นแบบวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันแบบมาตรฐานเช่นเดียวกันกับปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งผลของคำตอบที่ได้นั้นก็ไม่น่าดี ดังนั้นจึงทำการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการโมดิฟายขั้นตอนครอสโอเวอร์ของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันนั้น ซึ่งให้คำตอบต้นทุนสูงกว่าประมาณ 5% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา แต่ทั้งนี้ MODDE ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 5% ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรมที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ PSO จะมีความแรงในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้างๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้น

ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับปรุงขั้นตอนครอสโอเวอร์ ด้วยระเบียบวิธีของ PSO นั้นให้คำตอบต้นทุนที่แตกต่างประมาณ 2% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 5.8