# บทที่ 3

# การออกแบบระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการจับคู่แบบโอนเอียง

ในบทนี้จะได้นำเสนอรายละเอียดของการออกแบบระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมโดยการจับคู่แบบโอนเอียงระบบต่างๆ ปัญหาที่พบ การทดลองและผลการทดลองเบื้องต้น ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรที่ออกแบบทั้งหมดใช้พื้นฐานการทำงานของการจับคู่แบบโอนเอียง ดังจะได้อธิบายถึงเป็นหัวข้อแรก

## 3.1 การจับคู่แบบโอนเอียง

การจับคู่แบบโอนเอียง (preference mating) เป็นวิธีการที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นกลไกหลักในการสร้างระบบระบบควบคุมความหลากหลายของประชากร การจับคู่แบบโอนเอียงถูกตั้งชื่อตามคุณลักษณะซึ่งแตกต่างไปจากกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ กล่าวคือหน่วยชีวิตแต่ละหน่วยมีความชอบในการเลือกคู่เพื่อผสมพันธุ์โดยพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างหน่วยชีวิตทั้งสองหน่วย ระดับของความชอบในการเลือกคู่ที่แตกต่างนี้ถูกควบคุมโดยพารามิเตอร์ *ระดับโอนเอียง* การกำหนดระดับโอนเอียงให้มีค่าสูงจะมีผลให้หน่วยชีวิตมีความชอบในการจับคู่กับหน่วยชีวิตอื่นที่แตกต่างกับตนเองมากๆ ในขณะที่การกำหนดระดับความโอนเอียงต่ำทำให้อิทธิพลของความชอบในการจับคู่ที่แตกต่างมีน้อยลง

กำหนดให้หน่วยชีวิตแรก (first partner) $x_i$ เป็นหน่วยชีวิตที่ถูกคัดเลือกตามวิธีการปกติ โดยในการวิจัยนี้ใช้การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ (tournament selection) ค่าของระดับความโอนเอียงที่กำหนดให้ $x_i$ จะมีผลต่อการคำนวณโอกาสของหน่วยชีวิตอื่นที่จะถูกเลือกเพื่อผสมพันธุ์กับ $x_i$ กำหนดให้ $d$ แทนค่าความแตกต่างระหว่างหน่วยชีวิต $x_i$ และหน่วยชีวิตคู่แข่ง (candidate partner) $\tau$ แทนค่าของระดับความโอนเอียงที่ใช้ $D$ แทนฟังก์ชันของ $d$ และ $\tau$ เรียกว่า *ฟังก์ชันความแตกต่าง* หน่วยชีวิตคู่แข่งที่คำนวณได้ค่า $D$ สูงกว่าจะมีโอกาสมากกว่าที่จะถูกคัดเลือกเป็นหน่วยชีวิตที่สอง (second partner)

นอกจากค่าของฟังก์ชันความแตกต่างแล้ว ปัจจัยอีกประการหนึ่งซึ่งมีผลต่อโอกาสในการถูกคัดเลือกของหน่วยชีวิตคู่แข่งแต่ละหน่วยคือค่าความเหมาะ (fitness value) ของหน่วยชีวิต

คู่แข่งนั้น หน่วยชีวิตคู่แข่งที่มีค่าความเหมาะสูงกว่าจะมีโอกาสมากกว่าในการถูกคัดเลือก ดังแสดงในสมการ

$$x_2 = \underset{i \in s_t}{\arg\max}[f(y_i) \cdot D(\tau, d_i)] \tag{3.1}$$

เมื่อ $x_2$ แทนหน่วยชีวิตที่สองที่จะถูกคัดเลือกเพื่อผสมพันธุ์กับหน่วยชีวิตแรก

$y_i$ แทนหน่วยชีวิตคู่แข่งที่ $i$

$f$ แทนฟังก์ชันความเหมาะ และ

$s_t$ แทนขนาดของทัวร์นาเมนต์

ฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่มีลักษณะง่ายดังแสดงเป็นสมการ

$$D(\tau, d_i) = 0.5 + \frac{\tau}{n-1}(d_i - 0.5) \tag{3.2}$$

โดย $n$ แทนจำนวนระดับโอนเอียงที่ใช้ และ $d_i$ แทนค่าความแตกต่างระหว่างหน่วยชีวิตแรกและหน่วยชีวิตคู่แข่งที่ $i$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d_i = \frac{H(y_i, x_1)}{l} \tag{3.3}$$

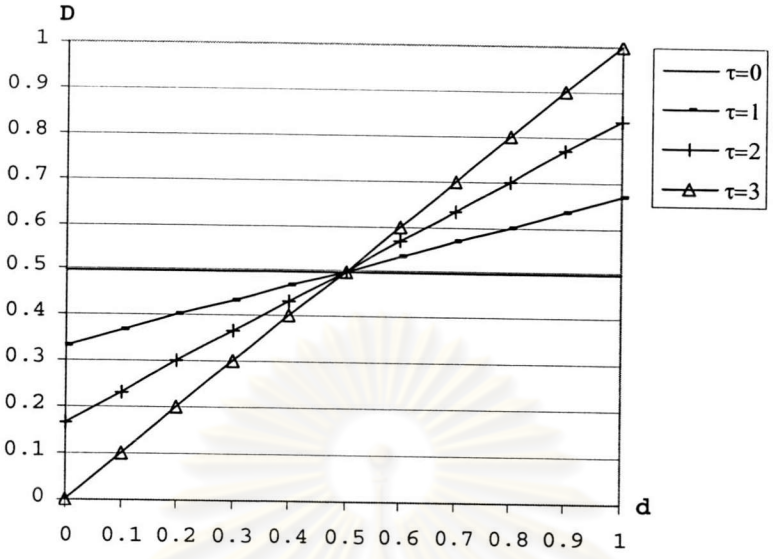
เมื่อ $H(y_i, x_1)$ แทนระยะทางฮัมมิง(hamming distance)ของหน่วยชีวิตคู่แข่งที่ที่ $i$ และหน่วยชีวิตแรก และ

$l$ แทนความยาวโครโมโซมของหน่วยชีวิต

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ แสดงดังรูปที่ 3.1

ฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ ทำหน้าที่ในการปรับค่าความแตกต่าง $d$ ไปสู่ค่าใหม่ โดยการปรับจะขึ้นอยู่กับระดับความโอนเอียง $\tau$ ที่กำหนดไว้แต่ต้น ในกรณีที่ระดับความโอนเอียงถูกกำหนดไว้ที่ระดับ 0 จะพบว่าฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ ปรับทุกค่าความแตกต่าง $d$ ไปยังค่าเดียวกันทั้งหมด (ค่าเท่ากับ 0.5) ด้วยเหตุนี้การคัดเลือกหน่วยชีวิตคู่แข่งเพื่อเป็นหน่วยชีวิตที่สองจึงขึ้นอยู่กับเฉพาะค่าความเหมาะของแต่ละหน่วยชีวิตเท่านั้นโดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าความแตกต่าง $d$ การกำหนดระดับความโอนเอียงไว้ที่ระดับ 0 จึงสมมูลกับการคัดเลือกของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ (traditional genetic algorithms)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ เมื่อกำหนดให้ใช้ระดับโอนเอียงจำนวน 4 ระดับ ( $n = 4$ ) แสดงดังรูปที่ 3.16




*รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$*

ในกรณีที่ระดับโอนเอียงถูกกำหนดไว้ที่ระดับอื่นๆ จะพบว่าค่าความแตกต่าง $d$ มีผลต่อโอกาสในถูกคัดเลือก โดยจะส่งผลมากขึ้นเป็นลำดับเมื่อกำหนดระดับความโอนเอียงสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากการปรับค่าความแตกต่างไปสู่ค่าใหม่ของฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือระดับโอนเอียงทำหน้าที่เสมือนตัวปรับน้ำหนักระหว่างค่าความเหมาะและค่าความแตกต่างโดยการกำหนดระดับความโอนเอียงที่สูงขึ้นมีผลให้น้ำหนักของค่าความแตกต่างระหว่างหน่วยชีวิตมีมากขึ้น หน่วยชีวิตที่มีความแตกต่างสูงจึงมีโอกาสได้รับการคัดเลือกมากขึ้น และส่งผลให้ความหลายหลายของประชากรโดยรวมมีมากขึ้นไปด้วยเป็นลำดับ

การจับคู่แบบโอนเอียงได้ถูกออกแบบตามวัตถุประสงค์คือต้องการระบบที่ไม่ซับซ้อนสามารถที่จะเข้าใจได้ง่าย และต้องเป็นระบบที่สามารถสร้างความหลายหลากของประชากรมากน้อยต่างๆกันได้โดยสะดวก ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้สร้างระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรต่อไป การจับคู่แบบโอนเอียงมีความสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบดังกล่าว กล่าวคือเป็นระบบที่ง่ายและสามารถสร้างความหลากหลายของประชากรที่แตกต่างกันได้โดยการปรับเปลี่ยนเพียงค่าระดับโอนเอียงเพียงค่าเดียว

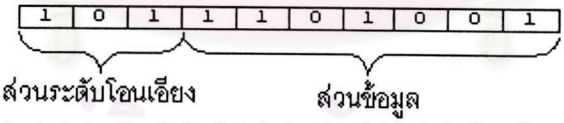
ขั้นตอนการทำงานของการจับคู่แบบโอนเอียงสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.2

1. *กำหนดระดับโอนเอียงที่จะใช้ (ในการทดลองใช้ค่าระดับความโอนเอียง 0 ถึง 3)*
2. *คัดเลือกหน่วยชีวิตแรกโดยวิธีการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ (ในการทดลองใช้ขนาดของทัวร์นาเมนต์เท่ากับ 3)*
3. *สุ่มเลือกหน่วยชีวิตกลุ่มหนึ่งเพื่อเป็นหน่วยชีวิตคู่แข่ง (ในการทดลองกำหนดจำนวนหน่วยชีวิตคู่แข่งเท่ากับ 3 ซึ่งเท่ากับขนาดของทัวร์นาเมนต์)*
4. *คำนวณค่าผลคูณของค่าความเหมาะและค่าจากฟังก์ชันความแตกต่างของแต่ละหน่วยชีวิตคู่แข่ง หน่วยชีวิตคู่แข่งที่คำนวณค่าได้สูงสุดจะถูกคัดเลือกเพื่อเป็นหน่วยชีวิตที่สอง*
5. *ดำเนินการผสมพันธุ์(การไขว้เปลี่ยน) ระหว่างหน่วยชีวิตแรกและหน่วยชีวิตที่สอง*
6. *ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 จนได้จำนวนประชากรครบตามกำหนด*

*รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของการจับคู่แบบโอนเอียง*

## 3.2 ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ

แนวคิดแรกของการสร้างระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรคือการเพิ่มในส่วนของบิตต่อ (tag bit) ในโครโมโซมของแต่ละหน่วยชีวิต (ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการใช้บิตต่อได้แก่ งานวิจัย [44]) บิตต่อทำหน้าที่เก็บระดับโอนเอียงของหน่วยชีวิตซึ่งแตกต่างกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.3




*รูปที่ 3.3 ตัวอย่างโครโมโซมของหน่วยชีวิตซึ่งใช้บิตต่อ*

จากรูปที่ 3.3 โครโมโซมของหน่วยชีวิตได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนระดับโอนเอียงและส่วนของข้อมูลปกติ ส่วนของระดับโอนเอียงถูกกำหนดให้มีขนาด 3 บิต ซึ่งสามารถแทนระดับโอนเอียงที่แตกต่างกันทั้งสิ้น $2^3 = 8$ ค่า โดยตัวอย่างโครโมโซมแสดงการใช้ระดับโอนเอียงระดับ 5 ($101_2$) แนวคิดของการออกแบบระบบโดยการใช้บิตต่อนี้เพื่อให้กระบวนการวิวัฒนาการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำการค้นหาระดับโอนเอียงที่เหมาะสมไปพร้อมๆกับการค้นหาคำตอบของปัญหา

เนื่องจากบิตต่อที่เพิ่มขึ้นในโครโมโซมได้ถูกเข้ารหัสเป็นเลขฐานสองเช่นเดียวกับส่วนของข้อมูลปกติทุกประการ การปฏิบัติการเชิงพันธุกรรม(genetic operator)ปกติของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งได้แก่การไขว้เปลี่ยนและการกลายจึงสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องทำการแก้ไขขั้นตอนการทำงานของระบบการค้นหาความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.4

1. *สร้างประชากรเริ่มต้นของหน่วยชีวิต โดยโครโมโซมของหน่วยชีวิตแต่ละหน่วยประกอบไปด้วยส่วนระดับความโอนเอียงและส่วนของข้อมูลปกติโดยมีขนาดตามกำหนด ทั้งสองส่วนถูกสร้างโดยการสุ่ม*
2. *ตรวจวัดค่าความเหมาะของแต่ละหน่วยชีวิต*
3. *คัดเลือกหน่วยชีวิตแรกโดยวิธีการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์*
4. *ถอดรหัสระดับโอนเอียงของหน่วยชีวิตแรกจากส่วนระดับโอนเอียง*
5. *คัดเลือกหน่วยชีวิตที่สองตามวิธีการคำนวณของการจับคู่แบบโอนเอียง โดยใช้ระดับความโอนเอียงที่ได้จากการถอดรหัสในการคำนวณ (การคัดเลือกหน่วยชีวิตที่สองได้รับอิทธิพลจากหน่วยชีวิตแรกผ่านทางระดับโอนเอียง)*
6. *ดำเนินการปฏิบัติการเชิงพันธุกรรมระหว่างหน่วยชีวิตทั้งสองเพื่อสร้างเป็นหน่วยชีวิตรุ่นใหม่*
7. *ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ ถึง 3-6 จนได้จำนวนประชากรรุ่นใหม่ครบตามกำหนด*
8. *ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ ถึง 2-7 จนพบเงื่อนไขหยุดการทำงาน (เช่นพบคำตอบที่ต้องการ หรือครบจำนวนรุ่นมากที่สุดที่กำหนด)*

*รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ*

## 3.3 การทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ

### 3.3.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ปัญหาที่ใช้ในการทดลองได้แก่ปัญหา one-max ปัญหาฟังก์ชัน multimodal และปัญหาฟังก์ชัน deceptive ซึ่งทั้ง 3 ปัญหาเป็นปัญหาที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยรายละเอียดของแต่ละปัญหาที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

3.3.1.1 ปัญหา one-max

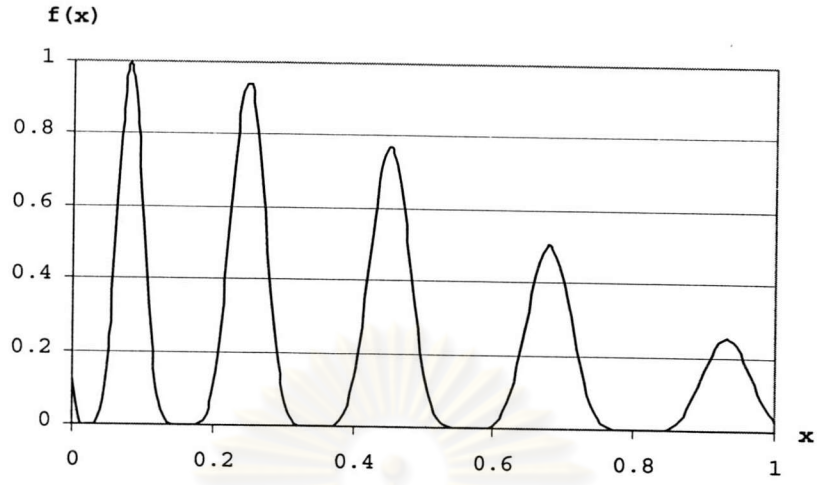
ปัญหา one-max เป็นปัญหาพื้นฐานที่ง่ายและนิยมใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จุดประสงค์ของปัญหาคือการวิวัฒนาการหน่วยชีวิตให้ทุกๆบิตในโครโมโซมมีค่า "1" การประเมินค่าความเหมาะของปัญหานี้มีลักษณะที่ตรงไปตรงมา โดยจำนวนบิต "1" ในโครโมโซมของแต่ละหน่วยชีวิตถูกกำหนดให้เป็นค่าความเหมาะของหน่วยชีวิตนั้น ในการทดลองจะใช้ปัญหา one-max ขนาด 30 บิต ซึ่งมีความยากง่ายเหมาะสมในการเปรียบเทียบกับปัญหาที่เหลือทั้งสอง และในการเก็บสถิติของการทดลอง (หากใช้จำนวนบิตน้อยจนเกินไปจะทำให้ปัญหามีความง่ายเกินไป โดยอาจสามารถหาคำตอบได้ตั้งแต่ในขั้นตอนการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้นโดยยังไม่ได้ผ่านกระบวนการวิวัฒนาการคำตอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ค่าทางสถิติที่เก็บได้จึงไม่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแต่อย่างใด) งานวิจัยที่มีการใช้ปัญหา one-max ได้แก่งานวิจัย [21,22]

3.3.1.2 ปัญหาฟังก์ชัน multimodal

ปัญหา multimodal เป็นปัญหาที่ประกอบไปด้วยบริเวณที่ดีที่สุดหลายบริเวณ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยากที่กระบวนการวิวัฒนาการจะสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้ ฟังก์ชัน multimodal ที่ใช้ในการทดลองได้นำมาจาก [37] ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ประกอบไปด้วยบริเวณที่ดีที่สุด 5 บริเวณโดยสร้างขึ้นจากสมการ

$$f(x) = e^{-2(ln2)\left(\frac{x-0.08}{0.854}\right)^2} sin^6[5\pi(x^{3/4}-0.05)] \quad \text{เมื่อ } 0 \le x \le 1 \tag{3.4}$$

กราฟแสดงลักษณะของฟังก์ชันแสดงดังรูปที่ 3.5 ในการทดลองค่าจริง(real value) $x$ จะถูกเข้ารหัสในโครโมโซมขนาด 30 บิต เป้าหมายของปัญหานี้คือการวิวัฒนาการหน่วยชีวิตซึ่งสามารถให้ค่าของฟังก์ชัน $f$ มากที่สุดโดยจุดที่ดีที่สุดของฟังก์ชันอยู่ที่บริเวณ $x = 0.08$ โดยประมาณ งานวิจัยที่มีการใช้ปัญหาฟังก์ชัน multimodal ได้แก่งานวิจัย [10,16,23-31]




*รูปที่ 3.5 กราฟแสดงลักษณะของฟังก์ชัน multimodal*

3.3.1.3 ปัญหาฟังก์ชัน deceptive

ปัญหาฟังก์ชัน deceptive เป็นปัญหาที่ยากสำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ฟังก์ชันความเหมาะของปัญหานี้ไม่ได้ชักนำ(guide) กระบวนการวิวัฒนาการไปยังทิศทางที่ถูกต้อง ปัญหาฟังก์ชัน deceptive อันดับ 3 (order-3 deceptive function) ได้ถูกใช้ในการทดลอง (เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่นๆซึ่งนิยมใช้ปัญหาฟังก์ชัน deceptive อันดับ 3 ในการทดลองได้) ค่าความเหมาะของแต่ละสตริงของเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิต แสดงดังตารางที่ 3.1

*ตารางที่ 3.1 สตริงของเลขฐาน 2 และค่าความเหมาะของปัญหาฟังก์ชัน deceptive*

| สตริงของเลขฐาน 2 | ค่าความเหมาะ |
|---|---|
| 000 | 28 |
| 001 | 26 |
| 010 | 22 |
| 011 | 0 |
| 100 | 14 |
| 101 | 0 |
| 110 | 0 |
| 111 | 30 |

ปัญหาฟังก์ชัน deceptive ที่ใช้ประกอบไปด้วยสตริงของเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิตจำนวน 10 ท่อนซึ่งทำให้ความยาวของโครโมโซมมีขนาดทั้งสิ้น 30 บิต ค่าความเหมาะของปัญหานี้คือผลรวมของค่าความเหมาะในแต่ละท่อนโดยค่าสูงสุดของค่าความเหมาะเท่ากับ 300 ซึ่งเกิดเมื่อทุกๆบิตในโครโมโซมมีค่าเป็น "1" งานวิจัยที่มีการใช้ปัญหาฟังก์ชัน deceptive ได้แก่งานวิจัย [10,22-23,32-36]

### 3.3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.2 และ 3.3 ในการทดลองมีการใช้กระบวนการ elitism โดนหน่วยชีวิตที่ดีที่สุด 10 หน่วยจะถูกคัดเลือกไปเป็นหน่วยชีวิตรุ่นใหม่

ฟังก์ชันความแตกต่างที่ใช้ในระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นอย่างง่ายตามสมการ

$$D(\tau, d_i) = 0.5 + \frac{\tau}{2^{l_p} - 1}(d_i - 0.5) \tag{3.5}$$

เมื่อ $\tau$ แทนค่าของระดับความโอนเอียงที่ใช้

$d_i$ แทนค่าความแตกต่างระหว่างหน่วยชีวิตแรกและหน่วยชีวิตคู่แข่งที่ $i$ และ

$l_p$ แทนความยาวของโครโมโซมเพิ่มเติม(ส่วนระดับโอนเอียง)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ แสดงดังรูปที่ 3.6

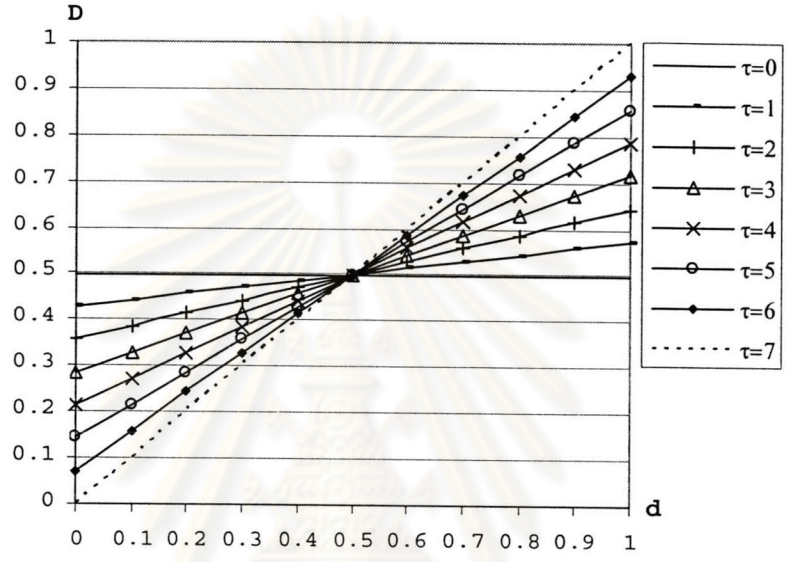
*ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ทั่วไป*

| | |
|---|---|
| จำนวนประชากรของหน่วยชีวิต | 100 |
| จำนวนหน่วยชีวิต elitism | 10 |
| จำนวนหน่วยชีวิตที่ถูกสร้างโดยการไขว้เปลี่ยน | 90 |
| อัตราการกลาย | 0.0333 ต่อบิต |
| ขนาดของทัวร์นาเมนต์ | 3 |
| ความยาวของโครโมโซม | 30 บิต |
| จำนวนรุ่นมากที่สุดของการทดลอง | 200 |
| จำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ | 500 |
| ค่าความเชื่อมั่นในการคำนวณค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ( $z$ ) | 99% |

I 21940442

*ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์เพิ่มเติมเฉพาะระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ*

| | |
|---|---|
| ความยาวของโครโมโซมเพิ่มเติม(ส่วนระดับโอนเอียง) | 3 บิต |
| จำนวนระดับโอนเอียง | 8 |




*รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$*

### 3.3.3 ผลการทดลอง

3.3.3.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหา

ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาระหว่างระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติซึ่งใช้การคัดเลือกแบบสัดส่วน(proportional selection หรือ roulette wheel selection) และแบบทัวร์นาเมนต์ (tournament selection) แสดงดังตารางที่ 3.4 ถึง 3.6

*ตารางที่ 3.4 เปอร์เซ็นต์ของความสำเร็จ*

| ปัญหา | การคัดเลือกแบบสัดส่วน | การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ | ระบบบิตต่อ |
|---|---|---|---|
| one-max | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| multimodal | 95.80 | 63.60 | 92.80 |
| deceptive | 33.40 | 41.60 | 81.60 |

*ตารางที่ 3.5 จำนวนรุ่นเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบ*

| ปัญหา | การคัดเลือกแบบสัดส่วน | การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ | ระบบบิตต่อ |
|---|---|---|---|
| one-max | 24.97 | 10.92 | 12.52 |
| multimodal | 77.59 | 60.65 | 55.63 |
| deceptive | 133.01 | 108.22 | 93.13 |

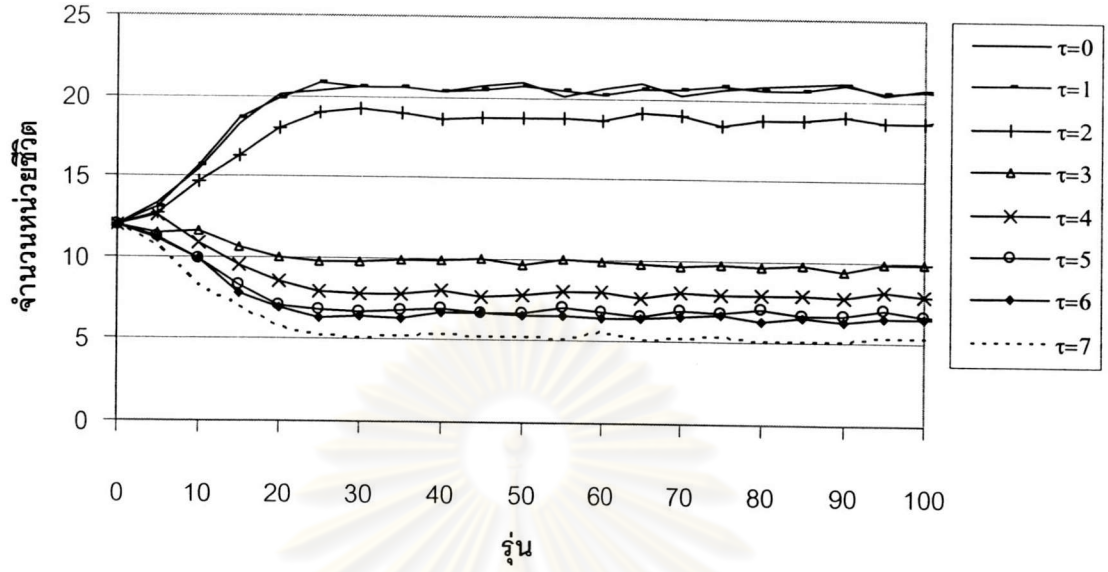
*ตารางที่ 3.6 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ*

| ปัญหา | การคัดเลือกแบบสัดส่วน | การคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ | ระบบบิตต่อ |
|---|---|---|---|
| one-max | 4,000 | 1,500 | 1,800 |
| multimodal | 29,000 | 44,000 | 23,100 |
| deceptive | 235,200 | 177,300 | 55,200 |

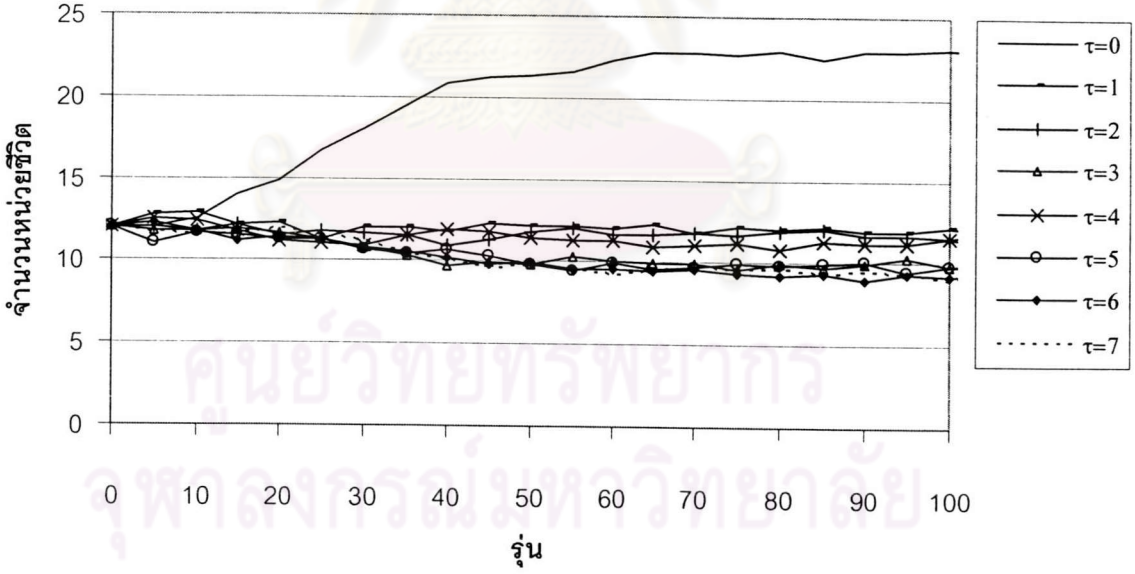
3.3.3.2 <u>การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียง</u>

การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อแสดงดังรูปที่ 3.7 ถึง 3.9

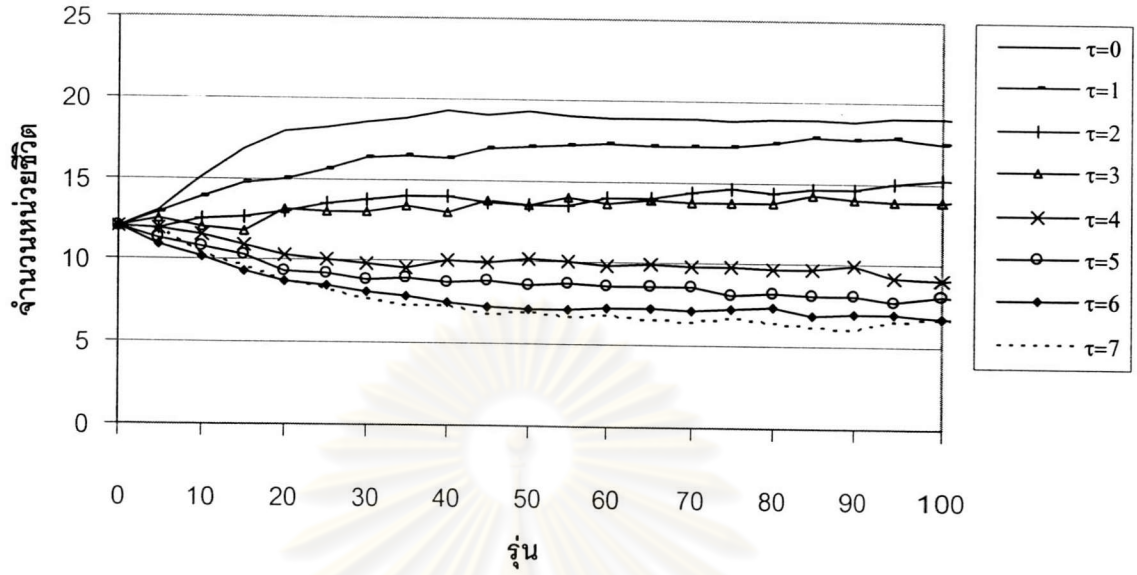
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




*รูปที่ 3.7 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหา one-max*




*รูปที่ 3.8 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน multimodal*




*รูปที่ 3.9 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน deceptive*

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อมีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหา โดยมีค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณที่สูงกว่าการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์เล็กน้อยสำหรับปัญหา one-max สำหรับปัญหาที่เหลือทั้งสองปัญหาระบบที่ออกแบบสามารถคำนวณค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณได้ต่ำกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติซึ่งใช้วิธีการคัดเลือกทั้ง 2 แบบ โดยเห็นผลได้อย่างชัดเจนสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive ซึ่งเป็นปัญหาที่ยากที่สุดในการทดลอง

ถึงแม้ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อที่ออกแบบจะมีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหา หากแต่ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพิ่มเติมพบว่ากลไกการทำงานของระบบไม่เป็นไปตามที่คาดหวังไว้ จากกราฟแสดงการวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงในแต่ละรุ่นของปัญหาทั้ง 3 พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละระดับโอนเอียงของทั้ง 3 ปัญหามีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน โดยระดับโอนเอียงต่ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและระดับโอนเอียงสูงมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว

แนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละระดับโอนเอียงนี้สามารถอธิบายการทำงานของระบบที่ออกแบบได้สำหรับปัญหา one-max ซึ่งเป็นปัญหาที่ง่ายที่สุดและไม่ต้องการความหลากหลายมากในการหาคำตอบ หากแต่ไม่สามารถอธิบายการทำงานของปัญหาทั้ง 2 ที่เหลือได้ เนื่องจากทั้ง 2 ปัญหาเป็นปัญหาที่ยากและต้องการความหลากหลายที่สูงในการค้นหาคำตอบ แต่

ระดับโอนเอียงที่สูงกลับไม่เพิ่มจำนวนขึ้นและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องหรืออาจกล่าวได้ว่าระบบควบคุมความหลากหลายวิวัฒนาการไปผิดทาง

การที่ระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหาทดสอบทั้ง 3 ปัญหานั้นเป็นผลมาจากความหลากหลายของประชากรในช่วงแรกของการทำงานที่มีมากกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการคัดเลือกประชากรของการจับคู่แบบโอนเอียง หากแต่ระบบที่ออกแบบไม่สามารถรักษาระดับความหลากหลายของประชากรที่เหมาะสมไว้ได้ จึงไม่อาจกล่าวว่าระบบที่ออกแบบประสบความสำเร็จในการควบคุมให้เกิดความหลากหลายของประชากรที่เหมาะสมสำหรับปัญหา ในการออกแบบระบบต่อๆไปจะได้ทำการค้นหาต้นเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และเสนอระบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหาพร้อมกับการวิวัฒนาการความหลากหลายของประชากรที่ถูกต้อง

## 3.4 <u>ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อย</u>

แนวคิดเบื้องต้นของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อย (multiple subpopulation) คือการแบ่งประชากรของหน่วยชีวิตออกเป็นหลายกลุ่ม ในแต่ละกลุ่มจะมีลักษณะความชอบที่ใช้ในการเลือกคู่ต่างกันซึ่งทำให้แต่ละกลุ่มมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่แตกต่างกันไปด้วย การจับคู่แบบโอนเอียงได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างความหลากหลายของประชากรที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละกลุ่มประชากรย่อยโดยการกำหนดระดับความโอนเอียงที่แตกต่างกัน กลุ่มประชากรย่อยแต่ละกลุ่มจะทำงานคู่ขนานกันไป กลุ่มประชากรที่มีประสิทธิภาพที่ดี(มีความหลากหลายของประชากรที่เหมาะสม)จะถูกคัดเลือกเพื่อทำงานต่อไป ส่วนกลุ่มประชากรที่มีประสิทธิภาพต่ำจะถูกกำจัดทิ้งไปเพื่อลดภาระในการคำนวณ (ตัวอย่างงานวิจัยอื่นที่มีการใช้การแบ่งกลุ่มประชากรย่อยในการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้แก่ งานวิจัย [45-47])

อนึ่งกลไกของการคัดเลือกกลุ่มประชากรย่อยที่เหมาะสมจะสามารถกระทำได้ก็ต่อเมื่อใช้มาตรวัด (measurement) ที่เหมาะในการตรวจวัดประสิทธิภาพ ภาคผนวก ข แสดงรายละเอียดของการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกลุ่มประชากรย่อยที่กำหนดระดับโอนเอียงที่แตกต่างกันเพื่อทำการศึกษาถึงมาตรวัดที่เหมาะสมนี้ มาตรวัดที่นำมาพิจารณาได้แก่ *ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะ*(average fitness value) และ *ค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะ*(best fitness value)

ของแต่ละกลุ่มประชากรย่อย รายละเอียดการทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อยได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3.5

## 3.5 การทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อย

### 3.5.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ปัญหาที่ใช้ในการทดลองเป็นปัญหาเดียวกันกับปัญหาที่ใช้ในการทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ ดังแสดงในหัวข้อ 3.3.1

### 3.5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.7 ในการทดลองมีการใช้กระบวนการ elitism โดนหน่วยชีวิตที่ดีที่สุด 10 หน่วยจะถูกคัดเลือกไปเป็นหน่วยชีวิตรุ่นใหม่

*ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง*

| | |
|---|---|
| จำนวนกลุ่มประชากรย่อย | 8 ($\tau$ = 0 –7) |
| จำนวนประชากรของหน่วยชีวิต | 100 |
| จำนวนหน่วยชีวิต elitism | 10 |
| จำนวนหน่วยชีวิตที่ถูกสร้างโดยการไขว้เปลี่ยน | 90 |
| อัตราการกลาย | 0.0333 ต่อบิต |
| ขนาดของทัวร์นาเมนต์ | 3 |
| ความยาวของโครโมโซม | 30 บิต |
| จำนวนรุ่นมากที่สุดของการทดลอง | 200 |
| จำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ | 500 |
| ค่าความเชื่อมั่นในการคำนวณค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ( $z$ ) | 99% |

ฟังก์ชันความแตกต่างที่ใช้ในระบบการค้นหาความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรย่อยเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นอย่างง่ายตามสมการ

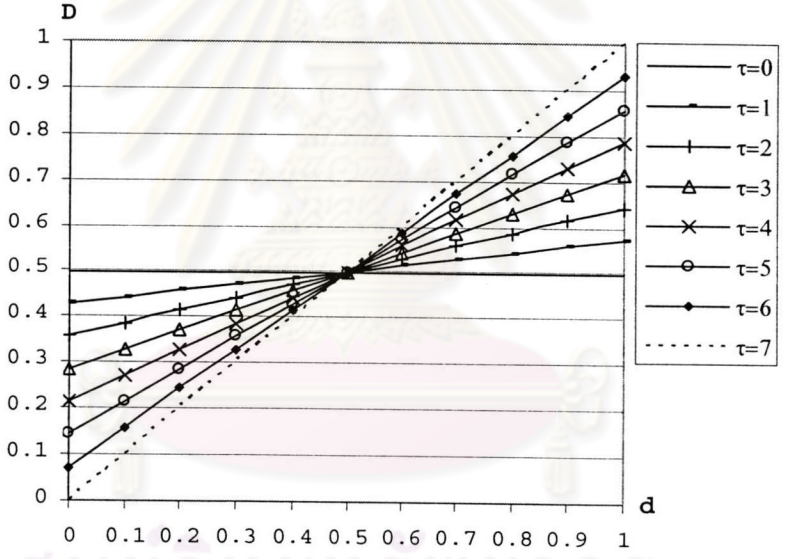
$$D(\tau, d_i) = 0.5 + \frac{\tau}{n-1}(d_i - 0.5) \tag{3.6}$$

เมื่อ $\tau$ แทนค่าของระดับความโอนเอียงที่ใช้

$d_i$ แทนค่าความแตกต่างระหว่างหน่วยชีวิตแรกและหน่วยชีวิตคู่แข่งที่ $i$ และ

$n$ แทนจำนวนกลุ่มประชากรย่อย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$ แสดงดังรูปที่ 3.10




*รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่าง $d$ และค่าจากฟังก์ชันความแตกต่าง $D$*

### 3.5.3 ผลการทดลอง

3.5.3.1 <u>ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหา</u>

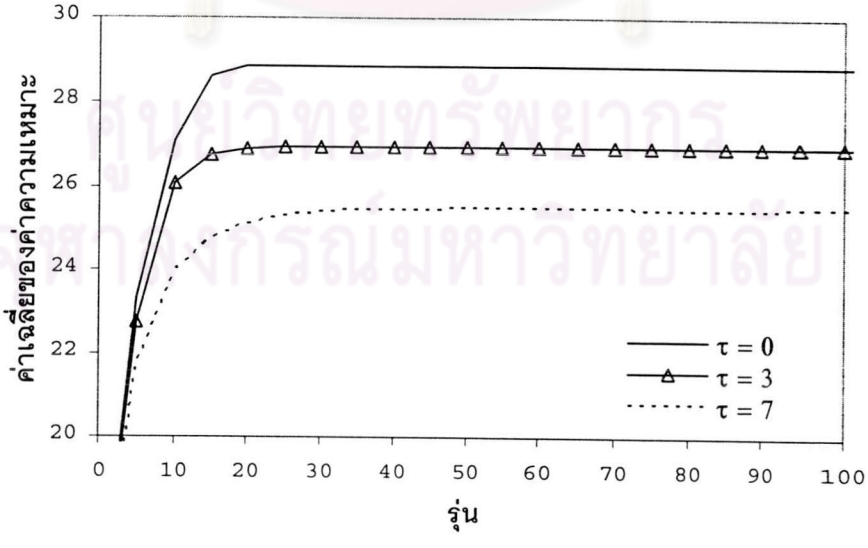
ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของแต่ละกลุ่มประชากรย่อยแสดงดังตารางที่ 3.8

*ตารางที่ 3.8 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณของแต่ละกลุ่มประชากรย่อย*

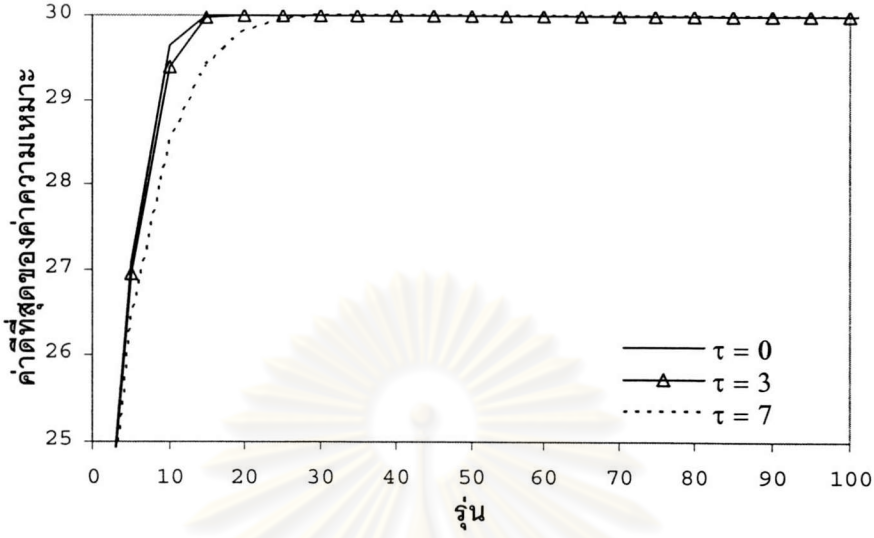
| ระดับโอนเอียง ($\tau$) | one-max | multimodal | deceptive |
|---|---|---|---|
| 0 | 1,500 | 45,000 | 159,200 |
| 1 | 1,400 | 21,600 | 94,000 |
| 2 | 1,400 | 20,400 | 58,200 |
| 3 | 1,700 | 16,000 | 48,600 |
| 4 | 2,100 | 15,600 | 39,000 |
| 5 | 2,700 | 17,000 | 36,200 |
| 6 | 2,600 | 15,800 | 45,300 |
| 7 | 3,100 | 15,800 | 39,800 |

3.5.3.2 <u>การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะและค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะ</u>

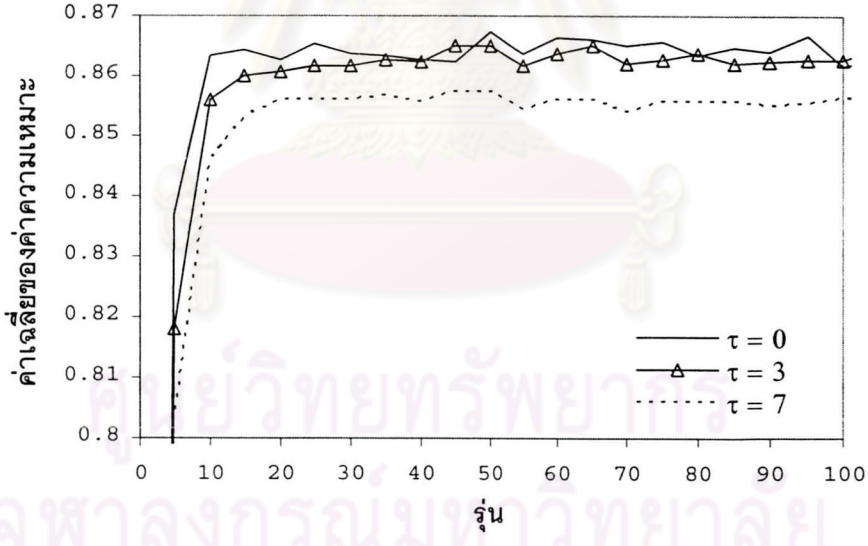
กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะและค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะของแต่ละกลุ่มประชากรย่อยสำหรับแต่ละปัญหาแสดงดังรูปที่ 3.11 ถึง 3.16 เพื่อความชัดเจนในการนำเสนอจึงแสดงเฉพาะผลการทดลองของกลุ่มประชากรที่มีระดับโอนเอียง 0 3 และ 7 ในกราฟ



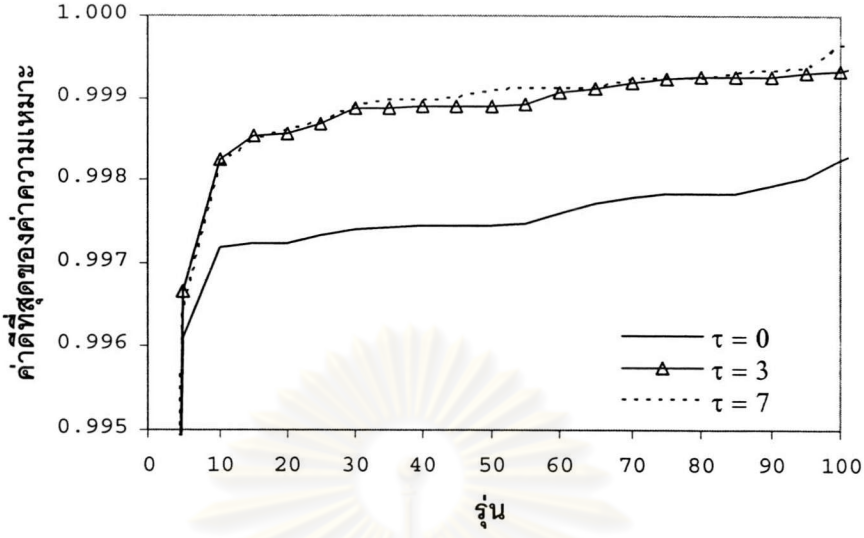

*รูปที่ 3.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสำหรับปัญหา one-max*



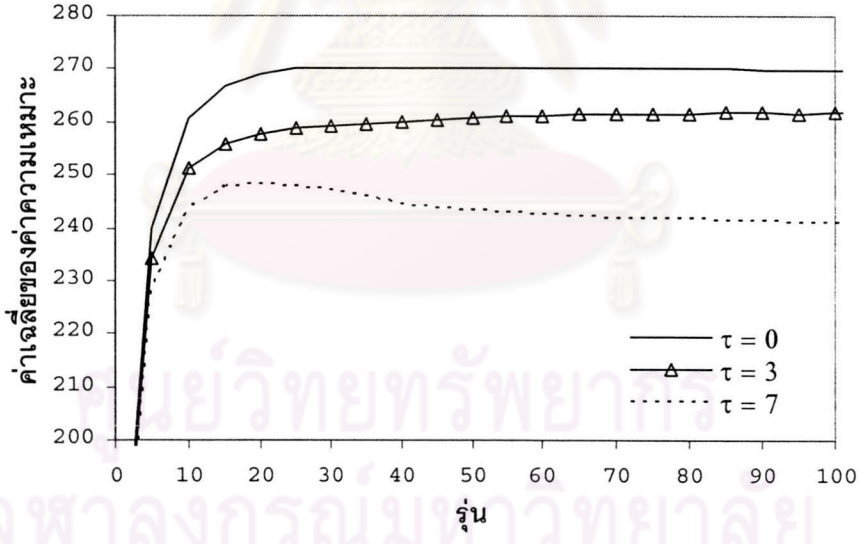

*รูปที่ 3.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะสำหรับปัญหา one-max*




*รูปที่ 3.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal*

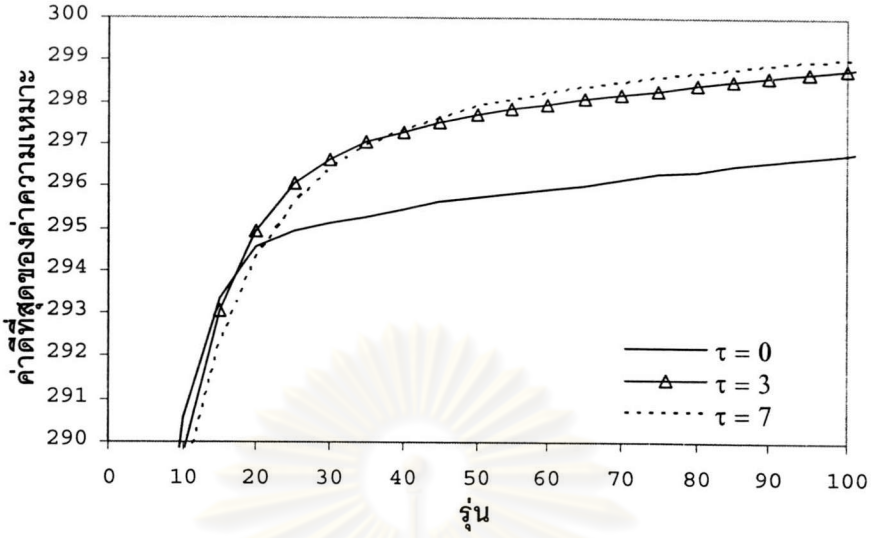



*รูปที่ 3.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal*




*รูปที่ 3.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




*รูปที่ 3.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive*

ผลการทดลองพบว่าสำหรับปัญหา one-max ซึ่งเป็นปัญหาที่ง่ายที่สุด ระดับโอนเอียงที่ 0 เป็นระดับความโอนเอียงที่ดีที่สุดในขณะที่ระดับโอนเอียงที่ 7 เป็นระดับโอนเอียงที่แย่ที่สุด ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะและค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะได้บ่งชี้ไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal และปัญหาฟังก์ชัน deceptive ซึ่งเป็นปัญหาที่ยากและต้องการความหลายของประชากรสูง ผลการทดลองมีลักษณะที่แตกต่างออกไป มาตรวัดทั้ง 2 มีลักษณะที่สวนทางกัน กล่าวคือค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะบ่งชี้ว่าระดับโอนเอียงที่ 7 เป็นระดับโอนเอียงที่ดีที่สุด ในขณะที่ระดับโอนเอียงที่ 0 เป็นระดับโอนเอียงที่แย่ที่สุด สำหรับค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะกลับให้ผลเช่นเดียวกันกับปัญหา one-max ทุกประการโดยบ่งชี้ในทิศทางตรงข้ามกับค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะไม่สามารถใช้เป็นมาตรวัดประสิทธิภาพของกลุ่มประชากรย่อยได้เนื่องจากบ่งชี้ในทิศทางเดียวโดยไม่ขึ้นกับปัญหาที่นำมาทดสอบ ค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะเป็นมาตรวัดที่มีความแม่นยำมากกว่าจึงเป็นมาตรวัดที่มีความเหมาะสมมากกว่าในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกลุ่มประชากร อย่างไรก็ดีข้อสังเกตที่ได้จากผลการทดลองพบว่าค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะจะบ่งชี้ประสิทธิภาพของกลุ่มประชากรได้อย่างแม่นยำเมื่อผ่านการทำงานไปแล้วระยะหนึ่ง ช่วงระยะเวลาดังกล่าวมีแนวโน้มจะยาวนานขึ้นเมื่อปัญหามีความยากมากขึ้น

ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นพฤติกรรมการลู่เข้าสู่เข้าตอบของกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายต่ำและกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายสูง กล่าวคือกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายต่ำจะมีอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบสูงในช่วงต้น อย่างไรก็ดีความสามารถในการลู่เข้ามักถึงขีดจำกัดอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน สำหรับกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายสูงจะมีอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบที่ช้ากว่าหากแต่ถึงขีดจำกัดช้ากว่าด้วยเช่นกัน โดยอาจจะสามารถสร้างคำตอบที่ดีกว่าได้เมื่อเวลาผ่านไป ด้วยเหตุนี้ในการทำงานจริงจะพบว่าการใช้ค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะเป็นมาตรวัดประสิทธิภาพยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากในการทำงานแบบคู่ขนานของแต่ละกลุ่มประชากรย่อย การตัดสินใจคัดเลือกและยกเลิกการทำงานของกลุ่มประชากรย่อยไม่สามารถทำได้ในช่วงต้นของการทำงานเนื่องจากเป็นการเสี่ยงต่อการตัดสินใจที่ผิด จำเป็นต้องชะลอการตัดสินใจเป็นระยะเวลาหนึ่งซึ่งไม่สามารถระบุเวลาได้แน่ชัด ในทางตรงข้ามการชะลอการตัดสินใจยาวนานเกินไปโดยไม่ยกเลิกการทำงานของกลุ่มประชากรย่อยใดเลย มีผลให้ประสิทธิภาพของการหาคำตอบลดลงเนื่องจากเป็นการเพิ่มภาระในการคำนวณ

พฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบของของกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายต่ำและกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายสูงยังสามารถนำมาอธิบายถึงการวิวัฒนาการระดับโอนเอียงของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อซึ่งไม่เป็นไปตามที่คาดหวังได้ กล่าวคือในช่วงต้นของการทำงานหน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียงต่ำจะสามารถสร้างหน่วยชีวิตรุ่นใหม่ที่มีคุณภาพสูงกว่า เป็นผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะของหน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียงต่ำสูงกว่าหน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียงสูง ซึ่งโดยกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ส่งผลให้อัตราส่วนการอยู่รอดของหน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียงต่ำมีมากกว่า ทั้งที่หน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียงสูงอาจสามารถสร้างคำตอบที่ดีกว่าได้ในอนาคต

สาเหตุที่ทำให้กลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายต่ำมีอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบสูงในช่วงต้นเนื่องมากจากการผสมพันธุ์ระหว่างหน่วยชีวิตที่มีความใกล้เคียงกันมีโอกาสน้อยที่จะได้หน่วยชีวิตรุ่นใหม่ที่มีคุณภาพด้อยลงกว่าเดิม หน่วยชีวิตใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่จะมีลักษณะแตกต่างจากหน่วยชีวิตตั้งต้นทีละเล็กทีละน้อยซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดการค้นหาเชิงท้องถิ่น (local search) จึงมีผลให้คุณภาพคำตอบดีขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายสูงจะมีอัตราการลู่เข้าที่ต่ำทั้งนี้เป็นผลมาจากการผสมพันธุ์ระหว่างหน่วยชีวิตที่มีความแตกต่างกันมากมีโอกาสสูงที่จะได้หน่วยชีวิตรุ่นใหม่ที่มีคุณภาพด้อยลงกว่าเดิม อย่างไรก็ดีก็เป็นการเปิดโอกาสให้เกิดหน่วยชีวิตที่มีคุณภาพดีมากซึ่งอาจไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายต่ำ

## 3.6 ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน

จากการทดลองของระบบที่ออกแบบทั้งสองระบบสามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ 2 ประการได้แก่ 1) ระบบไม่สามารถวิวัฒนาความหลากหลายของประชากรในทิศทางที่ถูกต้องหากปล่อยให้กระบวนการวิวัฒนาการของระบบเป็นเป็นอย่างปกติโดยปราศจากการควบคุมอื่น สัดส่วนของหน่วยชีวิตที่มีความหลากหลายสูงจะลดลงอย่างรวดเร็วจนสูญพันธุ์ในระยะเวลาอันสั้น และ 2) การขาดมาตรวัดที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบเพื่อเป็นตัวตัดสินทิศทางในการวิวัฒนาการความหลากหลายของประชากรที่เหมาะสม ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอระบบที่ออกแบบใหม่โดยเรียกชื่อว่า *ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน*

ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันเป็นระบบอย่างง่ายที่ใช้ควบคุมความหลากหลายของประชากรในระหว่างกระบวนการวิวัฒนาการ มีกำหนดสัดส่วนที่เท่ากันในการคัดเลือกหน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียงเพื่อเป็นกระบวนการป้องกันการสูญหายของระดับโอนเอียงใดๆไปจากกระบวนการวิวัฒนาการอันเป็นผลมาจากการขยายสัดส่วนที่มากเกินไปของหน่วยชีวิตในระดับความโอนเอียงใดๆ(โดยปกติมักเป็นหน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียงต่ำ)

การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันเริ่มจากการสร้างประชากรของหน่วยชีวิต หน่วยชีวิตแต่ละหน่วยประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือส่วนของข้อมูลปกติที่ถูกเข้ารหัสเป็นเลขฐาน 2 ในโครโมโซม และส่วนของระดับโอนเอียงซึ่งเก็บลักษณะความชอบในการเลือกคู่ที่แตกต่างของหน่วยชีวิตนั้น ส่วนของระดับโอนเอียงของระบบนี้เป็นคุณสมบัติซ่อนซึ่งไม่ได้ถูกเข้ารหัสในโครโมโซมเหมือนระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อ หน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียงถูกกำหนดให้มีจำนวนที่เท่ากัน

ประชากรของหน่วยชีวิตจะถูกตรวจวัดประสิทธิภาพตามกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ หากแต่ขั้นตอนในการคัดเลือกหน่วยชีวิตเพื่อทำการผสมพันธุ์และสร้างเป็นหน่วยชีวิตรุ่นใหม่นั้น จะมีการกำหนดสัดส่วนที่หน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียงจะถูกเลือกเป็นหน่วยชีวิตแรกให้เท่ากัน สำหรับหน่วยชีวิตที่สองที่จะถูกคัดเลือกเพื่อผสมพันธุ์กับหน่วยชีวิตแรกจะเป็นไปตามกระบวนการของการจับคู่แบบโอนเอียง(โดยใช้ระดับโอนเอียงของหน่วยชีวิตแรกในการคำนวณ)โดยไม่มีการกำหนดสัดส่วนบังคับ คุณสมบัติระดับความโอนเอียงของหน่วยชีวิตแรกและหน่วยชีวิตที่สองจะถูกส่งถ่ายไปยังหน่วยชีวิตใหม่ที่ถูกสร้างขึ้น โดยหน่วยชีวิตใหม่หน่วยหนึ่งจะมีระดับความโอนเอียงเหมือนหน่วยชีวิตแรก และหน่วยชีวิตหน่วยที่เหลือจะมีระดับความโอนเอียงเหมือนหน่วยชีวิตที่สอง

หากกำหนดให้จำนวนประชากรในแต่ละรุ่นมีทั้งสิ้น 400 หน่วยและมีการใช้ระดับโอนเอียง 4 ระดับ โดยกระบวนการของระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน หน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียงจะมีจำนวนเริ่มแรกเท่ากันคือ 400/4 = 100 หน่วย การคัดเลือกหน่วยชีวิตเพื่อสร้างเป็นประชากรรุ่นใหม่ต้องทำการคัดเลือกทั้งสิ้น 200 ครั้ง (การคัดเลือก 1 ครั้งสร้างประชากรใหม่ 2 หน่วยชีวิต) โดยถูกกำหนดสัดส่วนที่หน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียงจะถูกเลือกเป็นหน่วยชีวิตแรกเท่ากันเท่ากับ 200/4 = 50 หน่วย โดยกระบวนการนี้สามารถรับประกันได้ว่าจำนวนหน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียงจะมีไม่น้อยกว่า 50 หน่วยในทุกๆรุ่น (กรณีที่หน่วยชีวิตในระดับโอนเอียงใดๆมีน้อยที่สุดเพียง 50 หน่วยเมื่อหน่วยชีวิตในระดับโอนเอียงนั้นถูกคัดเลือกเป็นหน่วยชีวิตแรกตามสัดส่วนเท่านั้น โดยไม่ถูกคัดเลือกเป็นหน่วยชีวิตที่สองเลย)

การทดลองของระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันได้แสดงในหัวข้อที่ 3.7

## 3.7 การทดลองระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน

### 3.7.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ปัญหาที่ใช้ในการทดลองเป็นปัญหาเดียวกันกับปัญหาที่ใช้ในการทดลองระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้บิตต่อและระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรแบบหลายกลุ่มประชากรดังแสดงในหัวข้อ 3.3.1 แต่เพิ่มความยาวของโครโมโซมเป็น 45 บิต สำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive ถูกเพิ่มจำนวนท่อนเป็น 15 ท่อน

### 3.7.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.9 ในการทดลองไม่มีการใช้กระบวนการ elitism ประชากรของหน่วยชีวิตทั้งหมดจึงถูกสร้างจากตัวปฏิบัติการไขว้เปลี่ยน และไม่มีการใช้ตัวปฏิบัติการกลายในการทดลอง

*ตารางที่ 3.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง*

| | |
|---|---|
| จำนวนประชากรของหน่วยชีวิต | 400 |
| จำนวนระดับโอนเอียง | 4 ($\tau$ = 0 -3) |
| ขนาดของทัวร์นาเมนต์ | 3 |
| ความยาวของโครโมโซม | 45 บิต |
| จำนวนรุ่นมากที่สุดของการทดลอง | 200 |
| จำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ | 500 |
| ค่าความเชื่อมั่นในการคำนวณค่าความเพียรพยายามเชิงคำนวณ ($z$) | 99% |

ฟังก์ชันความแตกต่างที่ใช้ในระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นอย่างง่ายตามสมการที่ 3.2 ในหัวข้อ 3.1

### 3.7.3 ผลการทดลอง

#### 3.7.3.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหา

ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาระหว่างระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ แสดงดังตารางที่ 3.10 ถึง 3.12 โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive และฟังก์ชัน multimodal ที่เป็นปัญหายากและต้องการความหลากหลายของประชากรสูง ระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ

*ตารางที่ 3.10 เปอร์เซ็นต์ของความสำเร็จ*

| ปัญหา | ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ | ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน |
|---|---|---|
| one-max | 500 | 500 |
| multimodal | 37 | 339 |
| deceptive | 265 | 474 |

*ตารางที่ 3.11 จำนวนรุ่นเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบ*

| ปัญหา | ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ | ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน |
|---|---|---|
| one-max | 11.44 | 16.99 |
| multimodal | 27.68 | 43.74 |
| deceptive | 18.69 | 27.82 |

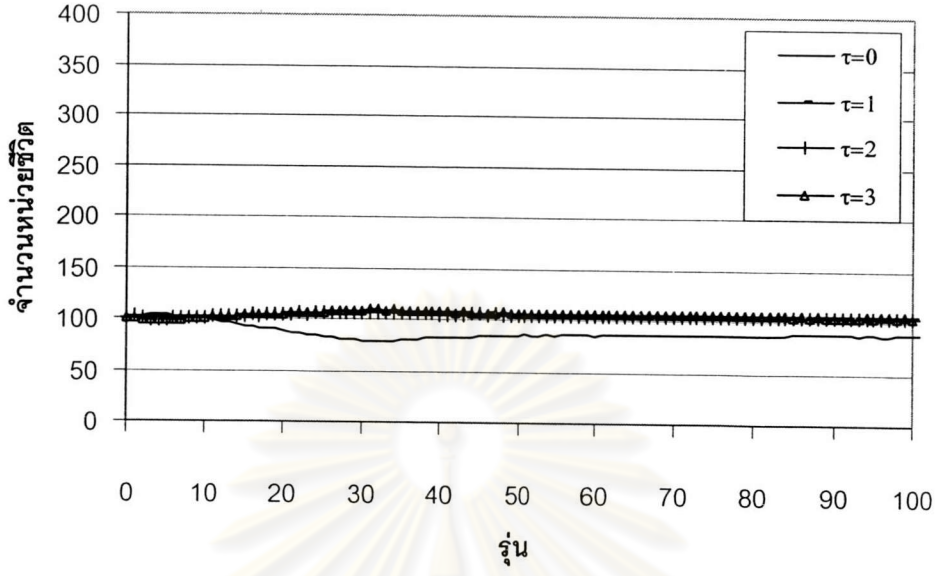
*ตารางที่ 3.12 ความเพียรพยายามเชิงคำนวณ*

| ปัญหา | ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมปกติ | ระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน |
|---|---|---|
| one-max | 6,000 | 8,800 |
| multimodal | 870,400 | 94,000 |
| deceptive | 64,400 | 28,000 |

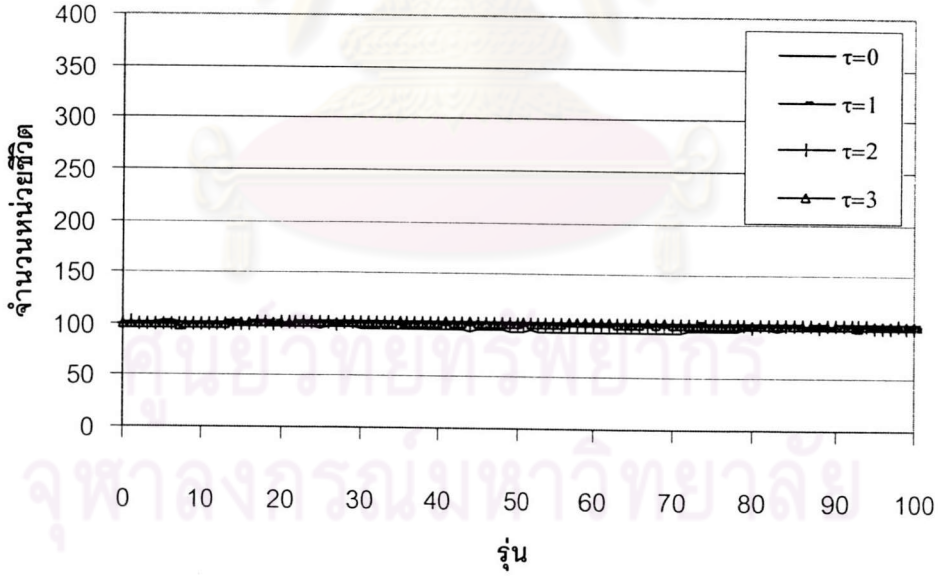
3.7.3.2 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียง

การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันแสดงดังรูปที่ 3.17 ถึง 3.19 ซึ่งพบว่าหน่วยชีวิตของแต่ละระดับโอนเอียงมีจำนวนเท่าๆกันตลอดการทดลองอันเป็นผลมาจากการกลไกการควบคุมของระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากัน

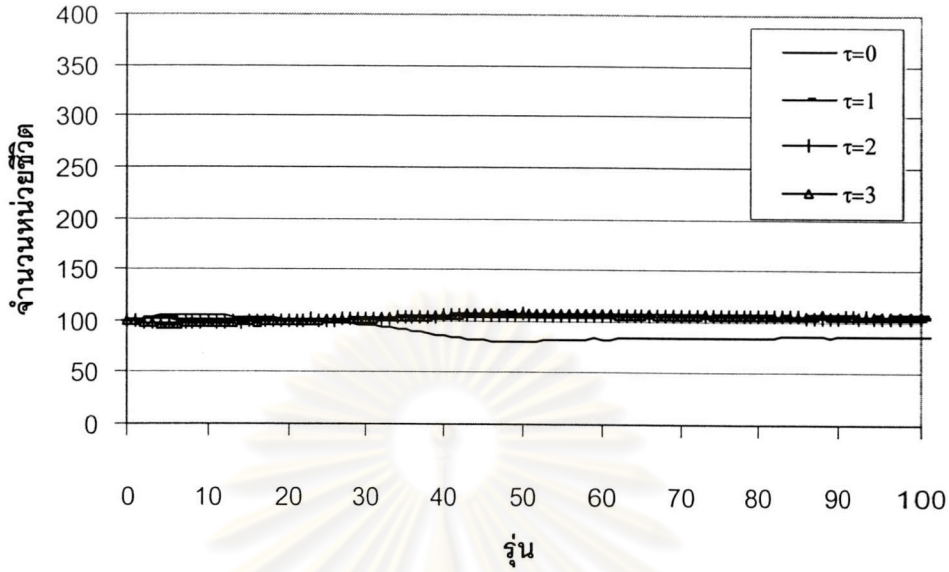
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




*รูปที่ 3.17 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหา one-max*




*รูปที่ 3.18 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน multimodal*

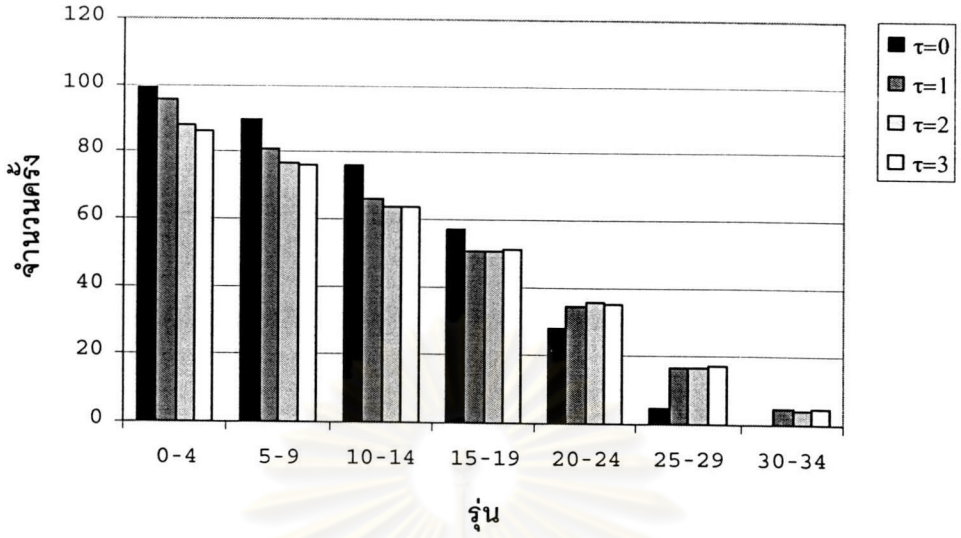



*รูปที่ 3.19 การวิวัฒนาการของระดับโอนเอียงของปัญหาฟังก์ชัน deceptive*

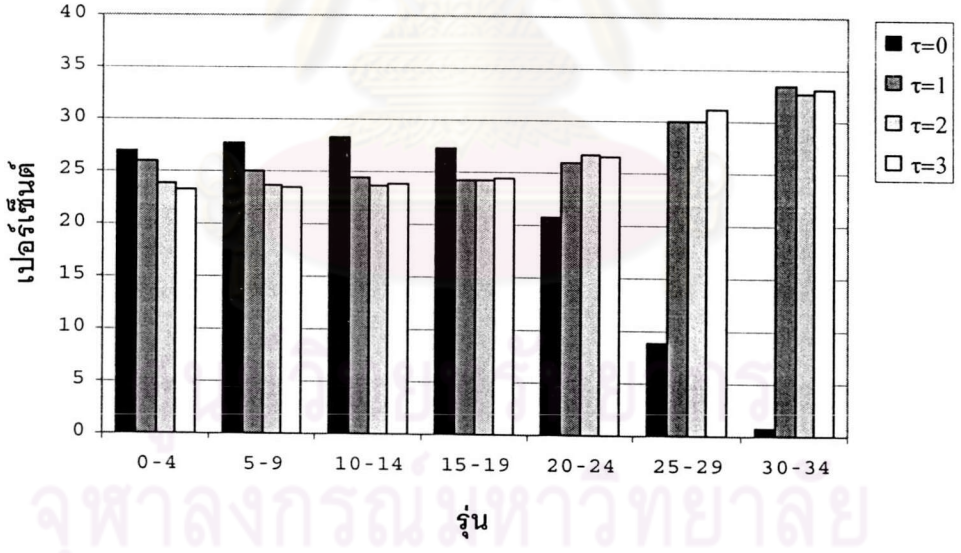
3.7.3.3 <u>การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ</u>

ในการทดลองได้ทำการตรวจนับ *จำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของแต่ละระดับโอนเอียง* ซึ่งเป็นจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่สามารถสร้างหน่วยชีวิตที่ดีขึ้นกว่าหน่วยชีวิตเดิมอย่างน้อย 1หน่วย(รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.8) ในกระบวนการวิวัฒนาการแนวโน้มของการเกิดการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จจะมีแนวโน้มลดลงเป็นลำดับ เนื่องจากการสร้างประชากรที่ดียิ่งขึ้นเมื่อกระบวนการวิวัฒนาการเข้าใกล้ขีดจำกัดเป็นไปได้ยากขึ้นเรื่อยๆ ผลการทดลองในส่วนนี้จะได้ตรวจนับการเกิดการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของแต่ละระดับโอนเอียงใน 2 รูปแบบ ได้แก่จำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ และอัตราการเกิดการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งเป็นการคำนวณอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งของการเกิดการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของระดับโอนเอียงใดๆต่อจำนวนครั้งของการเกิดการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จทั้งหมดในช่วงรุ่นนั้นๆ

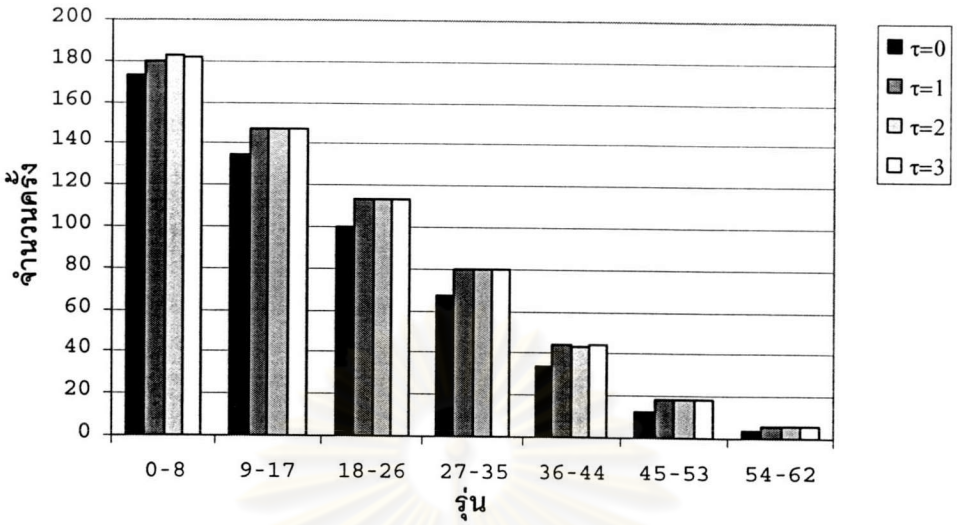
เนื่องจากแต่ละปัญหาที่ใช้ในการทดลองมีความยากง่ายไม่เท่ากัน กระบวนการวิวัฒนาคำตอบจนถึงขีดจำกัด(ไม่สามารถสร้างคำตอบที่ดีขึ้นได้อีก)จึงใช้จำนวนรุ่นที่ต้องประมวลผลต่างกัน จำนวนรุ่นที่ต้องประมวลผลจนถึงขีดจำกัดจะถูกแบ่งออก 7 ช่วงรุ่นเท่าๆกัน และแสดงผลดังรูปที่ 3.20 ถึง 3.25



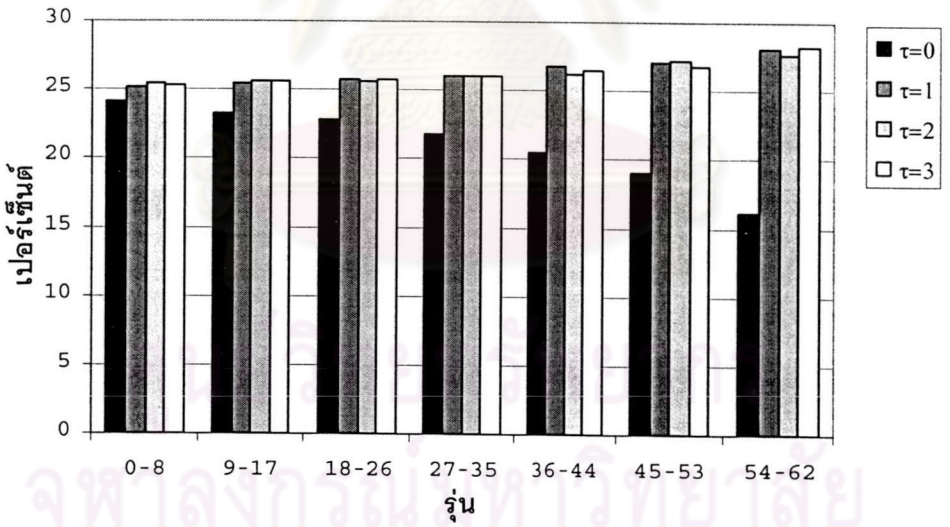

*รูปที่ 3.20 การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหา one-max*



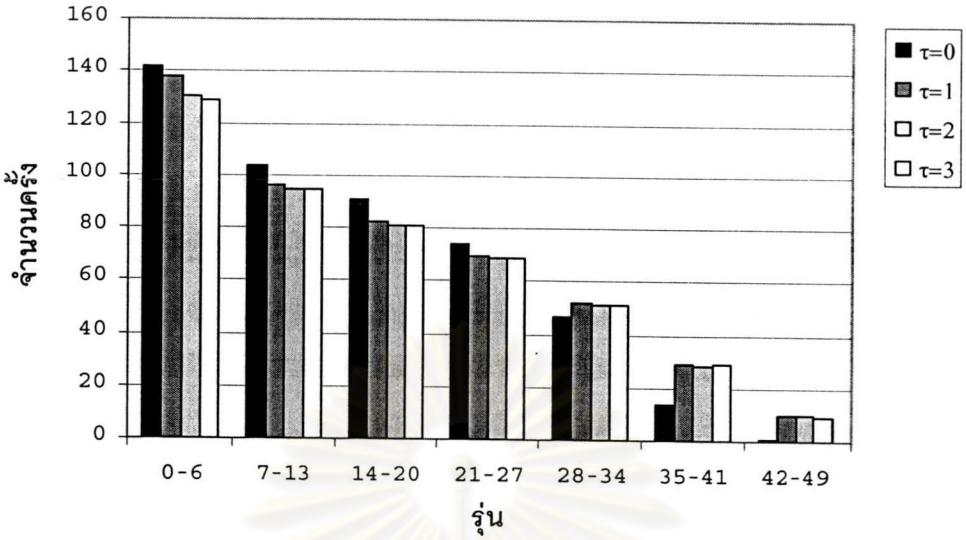

*รูปที่ 3.21 การวิวัฒนาการของอัตราของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหา one-max*



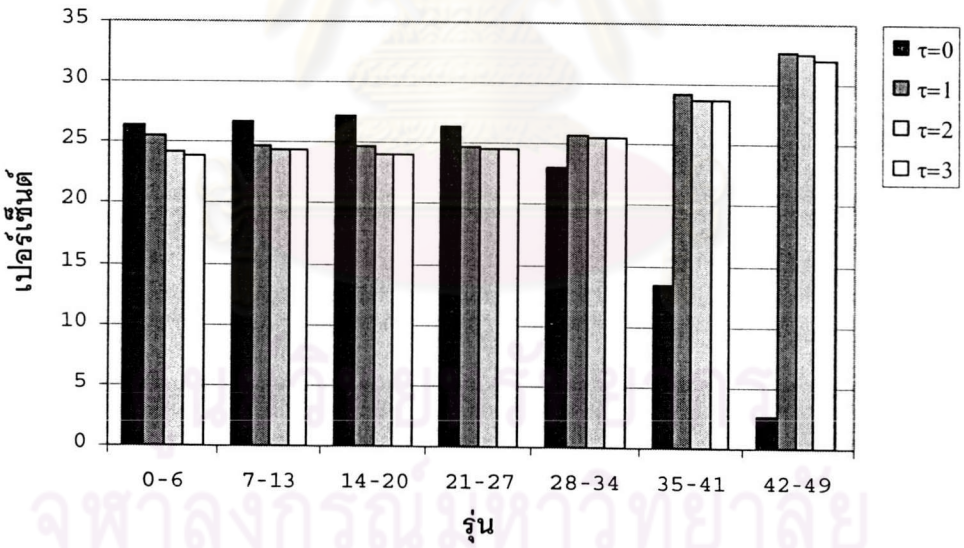

*รูปที่ 3.22 การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหาฟังก์ชัน multimodal*




*รูปที่ 3.23 การวิวัฒนาการของอัตราของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหาฟังก์ชัน multimodal*




*รูปที่ 3.24 การวิวัฒนาการของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหาฟังก์ชัน deceptive*




*รูปที่ 3.25 การวิวัฒนาการของอัตราของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหาฟังก์ชัน deceptive*

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของแต่ละระดับโอนเอียงสามารถบ่งบอกถึงระดับโอนเอียงที่เหมาะสมสำหรับปัญหาได้ สำหรับปัญหา one-max อัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของระดับโอน

เอียง 0 มีมากที่สุดตั้งแต่รุ่นแรกๆของการทดลองแสดงให้เห็นว่าปัญหา one-max เป็นปัญหาที่ต้องความหลากหลายของประชากรต่ำ ในทางกลับกันสำหรับปัญหาฟังก์ชัน multimodal อัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของระดับโอนเอียง 3 มีมากที่สุดแสดงให้เห็นว่าปัญหาฟังก์ชัน multimodal เป็นปัญหาที่ต้องความหลากหลายของประชากรสูง สำหรับปัญหาฟังก์ชัน deceptive เป็นปัญหาเดียวที่อัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จไม่สามารถบ่งบอกระดับโอนเอียงที่เหมาะสมสำหรับปัญหาได้ โดยอัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของปัญหาฟังก์ชัน deceptive มีลักษณะที่เหมือนกันกับปัญหา one-max ทั้งที่ปัญหาฟังก์ชัน deceptive เป็นปัญหาที่ต้องการความหลากหลายสูง

ข้อสังเกตประการหนึ่งจากกราฟแสดงอัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของแต่ละระดับโอนเอียงคือ เมื่อกระบวนการวิวัฒนาการดำเนินไประยะหนึ่ง อัตราส่วนของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จของระดับโอนเอียง 0 จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดแม้แต่กับปัญหา one-max ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องการความหลากหลายของประชากรต่ำก็ตาม ทั้งนี้เป็นเพราะหน่วยชีวิตที่มีระดับโอนเอียง 0 วิวัฒนาการถึงขีดจำกัดอย่างรวดเร็ว อีกทั้งในการทดลองได้ยกเลิกการใช้ตัวปฏิบัติการกลาย(mutation) จึงเป็นผลให้ไม่สามารถสร้างหน่วยชีวิตที่ดียิ่งขึ้นได้อีกต่อไป

## 3.8 <u>การสร้างประโยชน์</u>

จากผลการทดลองระบบแบ่งส่วนความหลากหลายของประชากรแบบเท่ากันในหัวข้อ 3.7 พบว่าจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จสามารถบ่งบอกถึงระดับโอนเอียงที่เหมาะสมสำหรับปัญหาได้เป็นอย่างดี (ยกเว้นปัญหาฟังก์ชัน deceptive) จึงมีแนวคิดในการสร้างมาตรวัดประสิทธิภาพใหม่โดยใช้พื้นฐานของจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ โดยจะเรียกมาตรวัดใหม่ที่สร้างขึ้นว่า *การสร้างประโยชน์* (contribution) ซึ่งนิยามตามสมการ

$$\text{การสร้างประโยชน์}(\tau) = \frac{\text{จำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ}(\tau)}{\text{จำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยน}(\tau)} \qquad (3.7)$$

เมื่อ $\tau$ แทนระดับความโอนเอียง

การสร้างประโยชน์$(\tau)$ แทนการสร้างประโยชน์ของระดับความโอนเอียง $\tau$

| | |
|---|---|
| จำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยน($\tau$) | แทนจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนซึ่งใช้ระดับโอนเอียง $\tau$ ในการคำนวณตามกระบวนการของการจับคู่แบบโอนเอียง และ |
| จำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนที่ประสบความสำเร็จ($\tau$) | แทนจำนวนครั้งของการไขว้เปลี่ยนซึ่งใช้ระดับโอนเอียง $\tau$ ในการคำนวณตามกระบวนการของการจับคู่แบบโอนเอียง ที่สามารถสร้างหน่วยชีวิตรุ่นใหม่ที่ดีขึ้นอย่างน้อย 1 จาก 2 หน่วยชีวิต โดยประเมินจากค่าความเหมาะ |

โดยสรุปการสร้างประโยชน์คือการวัดอัตราการสร้างหน่วยชีวิตที่ดียิ่งขึ้นสำหรับหน่วยชีวิตในแต่ละระดับโอนเอียง ระดับโอนเอียงที่มีการสร้างประโยชน์สูงแสดงถึงความเหมาะสมที่จะใช้การแก้ปัญหา การสร้างประโยชน์จะถูกนำมาใช้เป็นมาตรวัดประสิทธิภาพของแต่ละระดับโอนเอียงแทนมาตรวัดเดิม(ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะ และค่าดีที่สุดของค่าความเหมาะ)ที่มีปัญหาและข้อจำกัดในการใช้งาน การสร้างประโยชน์จะตรวจวัดเฉพาะ*จำนวนครั้ง*ในการสร้างหน่วยชีวิตที่ดีขึ้นแทนการตรวจวัด*ปริมาณ*ค่าความเหมาะที่สูงขึ้น ซึ่งจำนวนครั้งในการสร้างหน่วยชีวิตที่ดีขึ้นของแต่ละระดับโอนเอียงจะมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากในช่วงแรก แต่จะค่อยๆแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ด้วยกลไกนี้ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการที่ระดับโอนเอียงใดระดับหนึ่งเพิ่มสัดส่วนขึ้นอย่างรวดเร็วเกินไปจนทำระดับโอนเอียงอื่นสูญหายไปจากกระบวนการวิวัฒนาการอย่างรวดเร็ว อีกทั้งความแตกต่างของการสร้างประโยชน์ที่เกิดขึ้นทีละเล็กทีละน้อยอีกทั้งยังเป็นกระบวนการที่ช่วยชะลอการตัดสินใจในการคัดเลือกระดับโอนเอียงที่เหมาะสมกับปัญหาเป็นผลให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างถูกต้อง

## 3.9 ระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้การสร้างประโยชน์

ระบบการควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้การสร้างประโยชน์เป็นระบบที่ออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาการวิวัฒนาการของความหลากหลายของประชากรไปยังทิศทางที่ผิดพลาด กลไกที่นำมาใช้คือการตรวจวัดความเหมาะสมของแต่ละระดับโอนเอียงโดยใช้การสร้างประโยชน์ ระดับโอนเอียงที่มีการสร้างประโยชน์สูงจะถูกใช้งานเพิ่มขึ้นในขณะที่ระดับโอนเอียงที่มีการสร้างประโยชน์ต่ำจะถูกใช้งานลดลง อนึ่งในระบบที่ออกแบบใหม่นี้ระดับโอนเอียงไม่ได้เป็น

คุณลักษณะซึ่งฝังติดอยู่กับหน่วยชีวิต หากแต่ในการไขว้เปลี่ยนแต่ละครั้งระดับโอนเอียงแต่ละระดับจะถูกนำมาใช้ ความถี่ของการถูกใช้งานของแต่ละระดับโอนเอียงจะเป็นสัดส่วนตรงกับการสร้างประโยชน์ของระดับโอนเอียงนั้น

ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้การสร้างประโยชน์แสดงดังรูปที่ 3.26 โดยการทดลองของระบบนี้จะได้นำเสนอในบทต่อไป

1. *สร้างประชากรของหน่วยชีวิตโดยการสุ่ม*
2. *ตรวจวัดค่าความเหมาะของแต่ละหน่วยชีวิต*
3. *กำหนดการสร้างประโยชน์ของแต่ละระดับโอนเอียงให้เท่ากันในรุ่นแรก*
4. *คัดเลือกหน่วยชีวิตหน่วยแรกและหน่วยที่สองตามกระบวนการของการจับคู่แบบโอนเอียง โอกาสที่ระดับโอนเอียงแต่ละระดับจะถูกนำมาใช้เป็นสัดส่วนตรงกับการสร้างประโยชน์ของระดับโอนเอียงนั้น*
5. *สร้างหน่วยชีวิตรุ่นใหม่จากการไขว้เปลี่ยน*
6. *ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 และ 5 จนได้ประชากรของหน่วยชีวิตรุ่นใหม่ครบถ้วน*
7. *ตรวจวัดค่าความเหมาะของหน่วยชีวิตรุ่นใหม่แต่ละหน่วย*
8. *เปรียบเทียบค่าความเหมาะของหน่วยชีวิตรุ่นใหม่แต่ละหน่วยกับหน่วยชีวิตรุ่นเดิมที่เป็นพ่อแม่ (parental individual) และทำการคำนวณการสร้างประโยชน์ของแต่ละระดับโอนเอียง*
9. *ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4 ถึง 8 จนครบจำนวนรุ่นสูงสุดที่กำหนด*

*รูปที่ 3.26 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมความหลากหลายของประชากรโดยใช้การสร้างประโยชน์*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย