

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับการสร้างแบบจำลองลายกระหนก

Evolutionary Algorithm for Modelling Kranok Pattern

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประเภทเงินรายได้ จาก
คณะวิทยาการสารสนเทศ

ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๗

คณะผู้วิจัย

นายณัฐนนท์	ลีลาตระกูล	หัวหน้าโครงการวิจัย
นางสาวสุนิสา	ริมเจริญ	ผู้ร่วมวิจัย
นายhemรศมี	วชิรหัตพงษ์	ผู้ร่วมวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอผลการสร้างแบบจำลองลายกระหนก ซึ่งเป็นลายพื้นฐานของงานลายไทย โดยใช้หลักการคณิตศาสตร์ช่วยวาดเส้นโค้ง หลักการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเพื่อการศึกษาความคล้ายของรูปร่าง และ ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการเพื่อหาเทคนิคการสร้างแบบจำลองลายกระหนกที่มีหลากหลายรูปแบบ และ ยังคงความอ่อนช้อยสวยงาม

คณะผู้วิจัยเริ่มจากการทดลองใช้สมการคณิตศาสตร์วาดองค์ประกอบย่อยแต่ละส่วนของลายกระหนก เช่น ส่วนกวาง ส่วนยอด ส่วนตัวกระหนก ฯลฯ จากนั้นคณะผู้วิจัยฯจึงศึกษาการหาค่าความเหมาะสมของลวดลายที่สร้างขึ้นโดยเทียบอนุกรมเวลาของลวดลายที่คอมพิวเตอร์สร้างขึ้นกับเส้นที่วาดโดยศิลปิน

ในที่สุดท้าย คณะผู้วิจัยฯใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการเพื่อสุ่มสร้างลายกระหนกรุ่นต่าง ๆ ที่มีหลายรูปแบบ และ ปรับปรุงลวดลายในแต่ละรุ่นให้มีค่าความเหมาะสมที่สูงขึ้น (ใกล้เคียงกับลายที่ศิลปินวาดมากขึ้น)

จากผลการทดลองสร้างลายกระหนกโดยวิธีที่นำเสนอ คณะผู้วิจัยพบว่า เราสามารถใช้คอมพิวเตอร์สร้างลวดลายไทยเบื้องต้นที่มีความหลากหลายได้ โดยงานวิจัยชิ้นนี้มีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อ เพื่อปรับปรุงให้ได้ลวดลายไทยแบบอื่น ที่มีสัดส่วนความอ่อนโค้งสวยงามมากยิ่งขึ้น

Abstract

This paper presents an evolutionary algorithm technique for modelling Kranok pattern. The model draws curve by using a mathematic equation, i.e. Bezier curve. Curve comparison has been done via Time series analysis method. Finally, the model evolve various Kranok patterns while still preserving the delicacy of Thai Kranok pattern.

Our first attempt is to draw a Bezier curve by using a simple polynomial equation. Then, we practice drawing each component of Kranok pattern, e.g. sheath, apex, and body. Then, we use a time series technique, called radial scanning, to find similarity (fitness score) between the generated components and the ones drew by an artists.

In the final phase, we generate various Kranok patterns in each generation, and try to improve the patterns' fitness scores generation by generation.

According to our experimental results, we found that it is possible to draw delicate various Kranok patterns by using a machine. This work could be developed further to enhance the aesthetic of generated Kranok patterns, and also other Thai drawing patterns.

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ขั้นตอนการวาดลายกระหนก [1]	3
2.2 เส้นโค้งเบซิเอร์ (Bezier curve).....	5
2.3 การวาดสัณฐานเชิงมุมเพื่อสร้างอนุกรมเวลา (Time Series by Radial scanning).....	6
2.4 การเลื่อนเวลาเชิงพลวัต (Dynamic Time Warping) [12].....	7
2.5 ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm).....	8
2.6 กฎและการทำงานของ Lindenmayer System (L-System)	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
3.1 การวาดองค์ประกอบย่อยในตัวกระหนก	15
3.2 การสร้างความหลากหลายขององค์ประกอบย่อยในตัวกระหนก	17
3.3 การประกอบลดกลายเป็นลายกระหนก	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	23
4.1 การสร้างลดลายพื้นฐานสำหรับประกอบเป็นลายกระหนก	23
4.2 การสร้างลายกระหนก.....	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	28
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	28

บทที่ 1

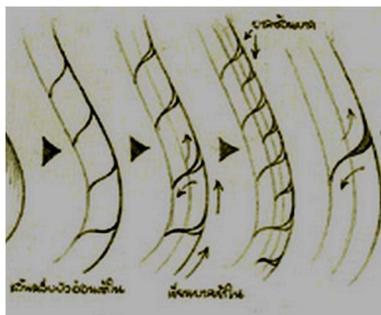
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

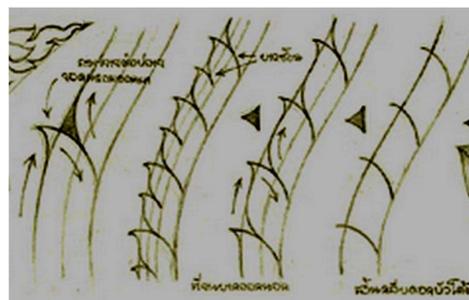
งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างแบบจำลองของลายกระหนก ลายกระหนกเป็นลายพื้นฐานของงานลายไทย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของลวดลายไทยอื่น ๆ เช่น ลายของอาคาร ลายของสิ่งของเครื่องใช้ ลายของตัวละคร (ตัวพระ ตัวนาง ลิง นางฟ้า หรือยักษ์) ในหนังสือวรรณกรรมไทย [1]

ลายกระหนกมีรูปแบบคล้ายสามเหลี่ยมขาตรง หรือคล้ายเปลวไฟ มักมีมุมแหลมหันไปทางเดียวกัน มีขนาดและสัดส่วนแตกต่างกันไป [2] ลายกระหนกเป็นศิลปะที่มีความงาม มีความอ่อนไหว และมีพลัง ลายกระหนกประกอบไปด้วย:

1. เส้นโค้ง
2. ปลายยอด
3. บาก หรือ หยัก ซึ่งบากส่วนใหญ่จะมีระยะห่างเท่า ๆ กัน เพื่อแบ่งเส้นรอบตัวกระหนกออกเป็นช่วงเท่า ๆ กัน การบากมีสองลักษณะ บากเข้า (เส้นบากจะอ่อนโค้งเข้าด้านใน) และ บากออก (เส้นบากจะอ่อนโค้งออกด้านนอก) ดังภาพที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1-1 บาก ก) บากเข้า (เส้นโค้งเข้าด้านใน) ข) บากออก (เส้นโค้งออกด้านนอก)

(อ้างอิงรูปจาก <http://www.gotoknow.org/posts/338616>)

ตามปกติ เราจะต้องใช้จิตรกรที่มีความชำนาญระดับหนึ่งเพื่อเขียนลายกระหนก เพราะลายกระหนกที่สวยงามจะต้องมีขนาดขององค์ประกอบทั้งสามที่ได้สัดส่วนกัน และ มีความอ่อนพริ้ว เนื่องจากโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน การจำลองลายกระหนกต้องเก็บรายละเอียดจากภาพวาดจริงเพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างกฎหรือสมการที่ประกอบด้วย เส้นโค้ง ปลายยอด และบากจำนวนมาก การจำลองลายกระหนกโดยใช้คอมพิวเตอร์ (โดยปราศจากผู้เชี่ยวชาญในการสร้างกฎ) ให้สวยเหมือนจิตรกรวาดจึงเป็นเรื่องที่ทำหาย

แบบจำลองลายกระหนกจะเป็นพื้นฐานและเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีสำหรับการใช้วิทยาการคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยอนุรักษ์จิตรกรรมไทย เนื่องจากภาพต่าง ๆ ในจิตรกรรมไทยส่วนใหญ่จะมีลายกระหนกอยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก

ด้วยเหตุผลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมุ่งหวังที่จะใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการเพื่อค้นหา พัฒนา และ ปรับปรุงกฎสำหรับ Lindenmayer System (L-System) ที่สามารถจำลองรูปแบบแฟร็กทัลของลายกระหนกได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเลือกใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับสร้างกฎหรือแบบจำลองให้คอมพิวเตอร์สร้างลายกระหนกพื้นฐานได้
2. เพื่อศึกษาขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ที่ใช้วัดความคล้ายของลายกระหนกจริงกับลายกระหนกที่สร้างขึ้น
3. เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้จากงานวิจัยด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์กับงานศิลปะไทย ซึ่งนอกจากเป็นการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทยแบบดั้งเดิมแล้ว อาจยังช่วยเพิ่มลวดลายไทยใหม่ ๆ
4. เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวความคิดที่นำเสนอไปทำการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในการสร้างลายไทยที่ซับซ้อนมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสร้างกฎสำหรับการจำลองเฉพาะลายกระหนกที่เป็นลายกระหนกพื้นฐาน
2. กฎที่ได้จะนำมาทดสอบกับข้อมูลภาพลายกระหนกจริง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้พัฒนาองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้สมการคณิตศาสตร์เพื่อวาดรูป การใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเพื่อหาความคล้ายคลึงกันของรูปทรง และ การใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสร้างลวดลายกระหนกที่หลากหลาย และสวยงาม โดยผลสำเร็จที่ได้ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างลวดลายไทยแบบอื่น ๆ ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้นตอนการวาดลายกระหนก [1]

โดยทั่วไป ศิลปินมีขั้นตอนการวาดลายกระหนก ดังนี้ (อ้างอิงรูปจาก <http://www.maechai.ac.th/art/kanok.htm>)

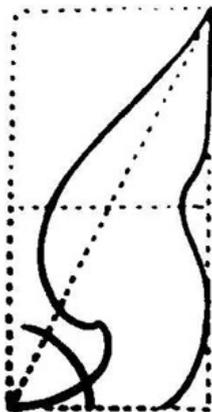
ขั้นที่ 1: เริ่มจากร่างตารางลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแนวดิ่งในอัตราส่วน 4:2 ดังรูป



ภาพที่ 2-1 ตารางสำหรับกำหนดสัดส่วนของโครงลายกระหนก

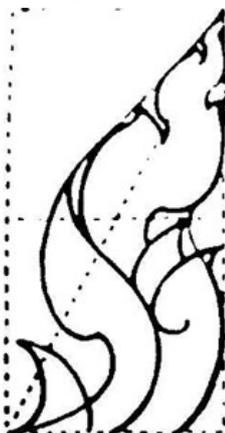
ขั้นที่ 2: วาดร่างกระหนกตัวแรก โดยมีขั้นตอนย่อยดังนี้

- 2.1 ชิดเส้นทแยงมุมจากมุมล่างซ้ายไปมุมขวาบน
- 2.2 ลากกาบใบเล็ก ๆ ที่มุมล่างซ้าย ขนาดประมาณพื้นที่สามเหลี่ยมเล็กๆ มุมซ้ายมือ
- 2.3 ลากเส้นโค้งจากโคนที่มุมล่างซ้าย ตัวเป็นส่วนหัวของตัวกระหนก และลากเส้นลายมาเรื่อยๆ จนถึงยอดที่มุมขวา
- 2.4 ลากเส้นจากมุมขวาให้เลี้ยวกลับ (พยายามให้ทรงเป็นรูปคล้ายเปลวไฟ) ตามภาพ



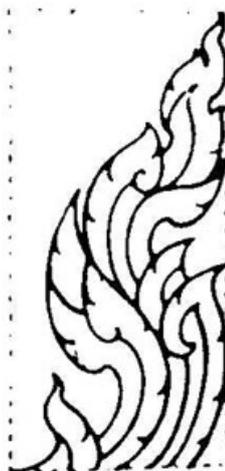
ภาพที่ 2-2 โครงตัวกระหนก (คล้ายเปลวไฟ) และ บากที่มุมล่างซ้าย

ขั้นที่ 3: แยกเป็นกระหนก 3 ตัว และ บากลายตามรูป



ภาพที่ 2-3 ตัวกระหนก 3 ตัวที่บากลายแล้ว

ขั้นที่ 4: สอดไส้ลายที่ตัวกระหนก และกาบ (ใช้ลักษณะเส้นที่เบากว่า)



ภาพที่ 2-4 การสอดไส้ลายที่ตัวกระหนกและกาบ

2.2 เส้นโค้งเบซิเออร์ (Bezier curve)

เส้นโค้งเบซิเออร์ถูกใช้แพร่หลายเพื่อวาดเส้นโค้งในคอมพิวเตอร์กราฟิก ซึ่งความโค้งของเส้นเบซิเออร์จะขึ้นกับจำนวนจุดควบคุม (หรือ Control points) ดังสมการต่อไปนี้

1. เส้นโค้งเบซิเออร์แบบเชิงเส้น (Linear Bezier curve) มีจุดควบคุมสองจุด P_0 และ P_1 ดังสมการ

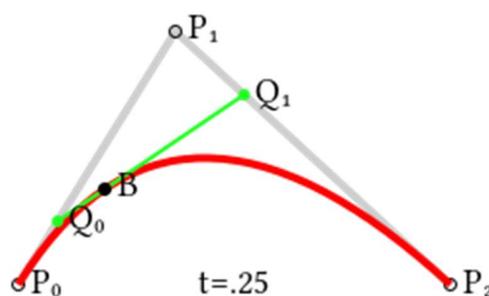
$$B(t) = P_0 + t(P_1 - P_0), 0 \leq t \leq 1$$

เมื่อแปรค่า t ตั้งแต่ 0 ถึง 1 และวาด $B(t)$ จะให้เส้นตรงที่มีจุดปลายที่ P_0 และ P_1

2. เส้นโค้งเบซิเออร์แบบสมการกำลังสอง (Quadratic Bezier curve) มีจุดควบคุมสามจุด P_0 , P_1 และ P_2 ดังสมการ

$$B(t) = (1 - t)^2 P_0 + 2(1 - t)tP_1 + t^2 P_2, 0 \leq t \leq 1$$

เมื่อแปรค่า t ตั้งแต่ 0 ถึง 1 และวาด $B(t)$ จะให้เส้นโค้งที่มีจุดปลายที่ P_0 และ P_2 โดยที่มีส่วนโค้งเข้าหาจุด P_1 ดังรูป (อ้างอิงรูปจาก https://en.wikipedia.org/wiki/Bezier_curve#/media/File:Bezier_2_big.svg)

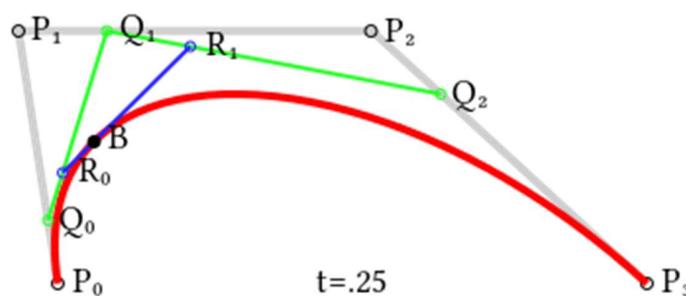


ภาพที่ 2-5 เส้นโค้งเบซิเออร์แบบสมการกำลังสอง

3. เส้นโค้งเบซิเออร์แบบสมการยกกำลังสาม (Cubic Bezier curve) มีจุดควบคุมสี่จุด P_0 , P_1 , P_2 , และ P_3 ดังสมการ

$$B(t) = (1 - t)^3 P_0 + 3(1 - t)^2 t P_1 + 3(1 - t) t^2 P_2 + t^3 P_3, 0 \leq t \leq 1$$

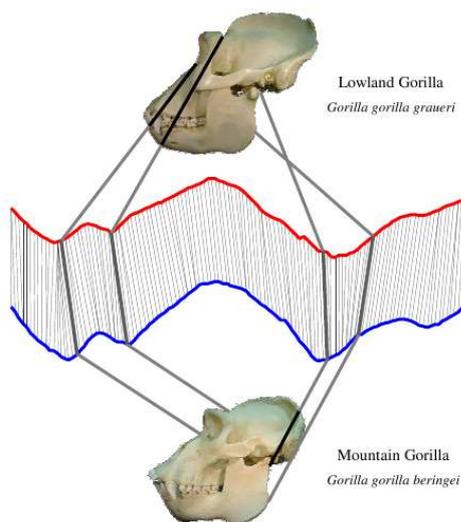
เมื่อแปรค่า t ตั้งแต่ 0 ถึง 1 และวาด $B(t)$ จะให้เส้นโค้งที่มีจุดปลายที่ P_0 และ P_3 โดยที่มีส่วนโค้งเข้าหาจุด P_1 และ P_2 ดังรูป (อ้างอิงรูปจาก https://en.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9zier_curve#/media/File:B%C3%A9zier_3_big.svg)



ภาพที่ 2-6 เส้นโค้งเบซิเอร์แบบสมการกำลังสาม

2.3 การกวาดสัญญาณเชิงมุมเพื่อสร้างอนุกรมเวลา (Time Series by Radial scanning)

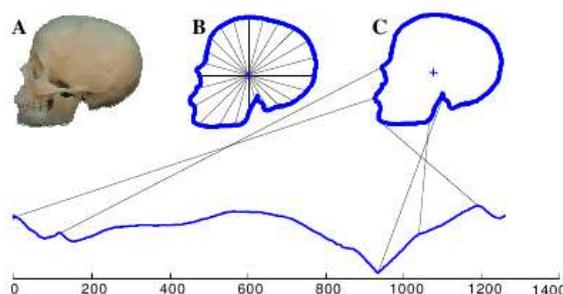
คณะวิจัยนำโดย Eamonn Keogh [11] เสนอการกวาดสัญญาณเชิงมุม (Radial scanning) เพื่อสร้างอนุกรมเวลาของรูปปิด รูปด้านล่าง (อ้างอิงรูปจาก <https://izbicki.me/blog/converting-images-into-time-series-for-data-mining.html>) แสดงอนุกรมเวลา (ที่ได้จากวิธีการกวาดสัญญาณเชิงมุม) ของกะโหลกของลิงสองประเภท: Lowland Gorilla และ Mountain Gorilla ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า อนุกรมเวลาจากภาพกะโหลกของลิงทั้งสองเส้นมีความใกล้เคียงกันมาก



ภาพที่ 2-7 การใช้อนุกรมเวลาเพื่อเปรียบเทียบความคล้ายกันของรูปทรง

การหาอนุกรมเวลาโดยใช้วิธีกวาดสัญญาณเชิงมุม มีขั้นตอนดังนี้:-

1. หาเส้นรอบนอกของรูปทรง (เส้นสีฟ้าในรูป B ด้านล่าง)
2. หาจุดศูนย์กลางของรูปทรงจากนั้น ทหาระยะทางจากจุดศูนย์กลางไปยังแต่ละจุดบนเส้นรอบนอกในข้อที่ 1
3. วาดอนุกรมเวลา (แต่ละค่าในอนุกรมเวลามีค่ามากเมื่อจุดบนเส้นรอบนอกที่เกี่ยวข้อง อยู่ไกลจากจุดศูนย์กลางมาก) ได้ดังรูป C ด้านล่าง



ภาพที่ 2-8 การใช้ขั้นตอนวิธีกวาดสัญญาณเชิงมุมเพื่อสร้างอนุกรมเวลา

(อ้างอิงรูปจาก <https://izbicki.me/blog/converting-images-into-time-series-for-data-mining.html>)

2.4 การเลื่อนเวลาเชิงพลวัต (Dynamic Time Warping) [12]

คณะวิจัยนำโดย Eamonn Keogh [11] ได้นำอนุกรมเวลาของรูปทรงมาเปรียบเทียบ เพื่อหาความคล้ายคลึงกันของรูปทรง โดยอาศัยขั้นตอนวิธีการเลื่อนเวลาเชิงพลวัต (Dynamic Time Warping, DTW) สำหรับการเปรียบเทียบอนุกรมเวลา 2 อนุกรม ขั้นตอนวิธีการเลื่อนเวลาเชิงพลวัตมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนวิธีการเลื่อนเวลาเชิงพลวัตใช้วัดความคล้ายระหว่างสัญญาณสองสัญญาณซึ่งถูกใช้มากในเรื่องการรู้จำเสียง (Speech recognition) ขั้นตอนวิธีนี้ช่วยจับคู่ของสัญญาณเสียง (ไม่เป็นเชิงเส้น) และคล้ายกันได้ โดยขั้นตอนวิธีนี้จะพยายามหาระยะทางที่น้อยที่สุด (หรือความแตกต่าง) ที่เป็นไปได้ระหว่างสองสัญญาณ ดังมีขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1: คำนวณคะแนนระยะทางระหว่างทุก ๆ คู่จุดที่เป็นไปได้แล้วเก็บในตารางดังรูปด้านล่าง เช่น 17 ในภาพของระยะห่างระหว่างจุดที่แรกในสัญญาณ C และ จุดที่ 5 ในสัญญาณ T (อนุกรมเวลา T มี 5 จุด และ อนุกรมเวลา C มี 6 จุด)

ขั้นที่ 2: เริ่มจากมุมซ้ายล่างของตาราง บวกระยะทางระหว่างสองสัญญาณ

ขั้นที่ 3: เลือกกระยะทางที่อยู่ด้านบน ด้านขวา หรือ ด้านขวาบนที่จะทำผลบวกรวมเป็นผลบวกที่น้อยที่สุด

ขั้นที่ 4: ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะสิ้นสุดที่มุมบนขวา (ได้ผลรวมของระยะทางที่ขั้นตอนวิธีเลือกผ่านเป็นความแตกต่างของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) กำหนดการเชิงพันธุกรรม (Genetic Programming) กลยุทธ์เชิงวิวัฒนาการ (Evolution Strategy) ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์ (Grammatical Evolution) ฯลฯ

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวข้างต้น ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาหลากหลายประเภท รวมทั้งได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในงานด้านการออกแบบหรืองานสร้างสรรค์ต่าง ๆ ด้วย เช่น งานออกแบบสิ่งของ ออกแบบเพลง ออกแบบโครงสร้าง ออกแบบงานศิลปะ ฯลฯ ซึ่งรายละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือ Creative Evolutionary Systems [3]

การที่ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการเป็นขั้นตอนวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการช่วยออกแบบงานสร้างสรรค์เหล่านี้ เนื่องจากขั้นตอนวิธีในกลุ่มนี้สามารถสร้างความหลากหลายของรูปแบบผลงาน ไม่ว่าจะมาจากการสุ่มรูปแบบพื้นฐานเริ่มต้น การทำ crossover เพื่อผสมและแลกเปลี่ยนรายละเอียดของผลงานต่าง ๆ หรือการกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อสุ่มเปลี่ยนรายละเอียดบางส่วนของชิ้นงานเป็นรูปแบบใหม่ นอกจากความหลากหลายของรูปแบบชิ้นงานที่สามารถสร้างขึ้นได้แล้ว ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานที่สร้างขึ้นโดยอาศัยค่าความเหมาะสม (Fitness Value) เพื่อเลือกตัวอย่างชิ้นงานที่มีค่าความเหมาะสมสูงเป็นต้นแบบในการสร้างชิ้นงานใหม่ขึ้นมา ส่วนตัวอย่างชิ้นงานใดที่สุ่มสร้างขึ้นมาแล้วมีค่าความเหมาะสมต่ำก็จะถูกคัดทิ้ง ด้วยกระบวนการเลือกตัวอย่างที่ดีเพื่อไปเป็นต้นแบบสำหรับการสร้างผลงานใหม่นี้เอง ที่เป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้ขั้นตอนวิธีในกลุ่มนี้สามารถสร้างผลงานที่ดีขึ้นเมื่อผ่านการปรับปรุงและวิวัฒนาการไปจากรุ่นสู่รุ่น

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ มีกระบวนการทำงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การแทนค่าตอบของปัญหาที่ต้องการแก้ไขอยู่ในรูปแบบของโครโมโซม
2. เลือกฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ที่จะใช้ในการวัดประสิทธิภาพ หรือวัดความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ในโดเมนปัญหานั้น ๆ โดยค่าความเหมาะสมที่คำนวณได้จากฟังก์ชันความเหมาะสมนี้จะถูกใช้ในการเลือกโครโมโซมที่จะนำไปเข้าสู่ในการสืบพันธุ์ (Reproduction) ต่อไป
3. ทำการสุ่มสร้างโครโมโซมให้มีจำนวนเท่ากับขนาดประชากรที่ระบุเป็นพารามิเตอร์
4. นำโครโมโซมทุกตัวมาคำนวณค่าความเหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้
5. เลือกโครโมโซมหนึ่งคู่จากโครโมโซมทั้งหมดที่มีอยู่ เพื่อนำมาเป็นโครโมโซมต้นแบบ (Parents) ซึ่งโครโมโซมต้นแบบนี้จะถูกเลือกโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมที่ได้มาจากฟังก์ชันความเหมาะสม ซึ่งโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากกว่าจะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกมาเข้าคู่มากกว่าโครโมโซมตัวที่มีค่าความเหมาะสมน้อย
6. สร้างโครโมโซมลูก (Offspring) 1 คู่ในอีกรุ่นหนึ่ง (Generation) จากโครโมโซมต้นแบบโดยใช้ตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operator) คือ crossover และการกลายพันธุ์
7. ทำการแทนที่โครโมโซมในรุ่นใหม่นี้ไปใส่ในประชากรเดิม
8. ทำซ้ำจนกระทั่งเงื่อนไขตรงกับเงื่อนไขการหยุด

การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ สามารถเขียนเป็นรหัสเทียม (Pseudo Code) ได้ดังนี้

```
BEGIN
    t := 0;
    Initpopulation P(t); // สร้างประชากรต้นกำเนิดโดยการสุ่ม
    Evaluate P(t); // คำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมประชากรต้นกำเนิด
    While ( not terminate ) // ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด
        Begin
            t := t+1;
            P'(t) := Selectparents P(t) // คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรรุ่นก่อน
            Recombine P'(t); // แลกเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมต้นแบบ
            Mutate P'(T); // การกลายพันธุ์ของต้นแบบ
            Evaluate P'(T); // วิเคราะห์ความเหมาะสมของประชากรรุ่นใหม่
            P(T) := P'(T); // แทนที่ประชากรรุ่นใหม่ให้เป็นประชากรต้นแบบสำหรับรุ่นถัดไป
        End;
    END.
```

จากขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ จะเห็นได้ว่ากระบวนการทำงานจะเป็นการทำซ้ำ (Iteration) โดยแต่ละครั้งที่มีการทำซ้ำจะเรียกว่า รุ่น (Generation) ซึ่งจำนวนครั้งการทำซ้ำของขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ จะหยุดการทำซ้ำเมื่อใด ขึ้นกับเงื่อนไขที่ระบุไว้ เช่น ทำจนครบจำนวนรุ่นที่ได้กำหนดไว้แล้ว หรือ ทำจนกระทั่งได้ค่าความเหมาะสมตามค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ระบุ

2.6 กฎและการทำงานของ Lindenmayer System (L-System)

ในการสร้างลวดลายแบบแฟร็กทัล มีงานวิจัยจำนวนมาก [4 - 8] ที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการในการสร้างและปรับปรุงลวดลายให้มีความหลากหลายและสวยงาม โดยการวาดลวดลายแบบแฟร็กทัลก่อนอื่นจะต้องกำหนดโครงสร้างย่อยพื้นฐานของลวดลาย และเขียนกฎสำหรับการสร้างลวดลาย โดยลวดลายที่ถูกสร้างขึ้นแต่ละขั้นตอนจะเป็นลวดลายที่วิวัฒนาการต่อจากลวดลายที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนก่อนหน้า แม้อลวดลายในแต่ละขั้นตอนจะต่างกัน แต่ทุกลวดลายจะมีองค์ประกอบย่อยคล้ายกัน (หรือมีรูปแบบซ้ำกันแบบ fractal) กฎดังกล่าวมักจะอยู่ในรูปแบบ L-System โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการกำหนดสายอักขระเริ่มต้น (Axiom) แล้วทำการเรียกใช้กฎเพื่อสร้างลวดลาย (Production Rule) ตามจำนวนรอบที่

กำหนด จากนั้นนำสายอักขระที่ได้มาตีความ (Mapping) ตามกฎการตีความ (Interpretation Rule) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น ได้ออกมาเป็นกิ่งก้านของต้นไม้ เป็นรูปภาพ หรือเป็นทำนองเพลง เป็นต้น

ตัวอย่าง 1 การกำหนดสายอักขระเริ่มต้น กฎการทำซ้ำ และการทำงานของ L-System อย่างง่ายแสดงดังนี้

กำหนดจำนวนขั้นตอน $N = 5$

โครงสร้างย่อยพื้นฐาน:

Variables: A B

กฎการสร้าง (Production rules):

A \rightarrow AB

B \rightarrow A

อักขระเริ่มต้น (Axiom):

B

ผลลัพธ์การทำงานที่ละขั้นตอนไป N ครั้ง มีดังนี้:-

N=0 : B

N=1 : A

N=2 : AB

N=3 : ABA

N=4 : ABAAB

N=5 : ABAABABA

ตัวอย่าง 2 การวาดสวดลายแฟร็กทัล แบบ Koch curve สามารถทำได้โดยกำหนดกฎดังต่อไปนี้ (รูปจาก <http://en.wikipedia.org/wiki/L-system>)

กำหนดจำนวนขั้นตอน $N = 3$

โครงสร้างย่อยพื้นฐาน:

Variables: F

Constants: + -

(ในที่นี้ สัญลักษณ์ F หมายถึงการเดินหน้าซึ่งก็คือการวาดเส้นตรงไปด้านหน้า 1 ช่วง

เครื่องหมาย + หมายถึง เลี้ยวซ้าย 90 องศา

เครื่องหมาย - หมายถึง เลี้ยวขวา 90 องศา)

กฎการสร้าง (Production rules):

$F \rightarrow F+F-F-F+F$

อักขระเริ่มต้น (Axiom):

F

ผลลัพธ์การทำงานที่ละขั้นตอนไป N ครั้ง (N=3) มีดังนี้:-

n=0 : F

—

n=1 : F+F-F-F+F



n=2 : F+F-F-F+F + F+F-F-F+F - F+F-F-F+F - F+F-F-F+F + F+F-F-F+F



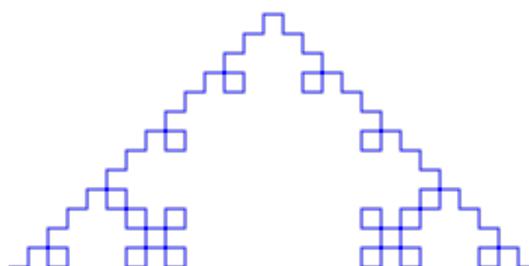
n=3 : F+F-F-F+F+F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F +

F+F-F-F+F+F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F -

F+F-F-F+F+F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F -

F+F-F-F+F+F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F +

F+F-F-F+F+F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F-F-F+F



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นได้ว่าหัวใจสำคัญของการสร้างลวดลายแฟร็กทัลอยู่ที่การกำหนดกฎ ซึ่งการที่จะได้กฎเหล่านี้มาผู้สร้างลวดลายจะต้องคิดหาโครงสร้างย่อยพื้นฐานที่เป็นโครงสร้างแบบแทนที่องค์ประกอบย่อยของตนเอง (แบบแฟร็กทัล) กฎนี้อาจไม่ซับซ้อนสำหรับสร้างลวดลายอย่างง่าย แต่ถ้าเป็นลวดลายที่มีรายละเอียดค่อนข้างมาก การจะหากฎมาสร้างเป็นโมเดลพื้นฐานของรูปร่างไม่ใช่งานที่ง่ายนัก ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่นักวิจัยจำนวนมากใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาและพัฒนาปรับปรุงกฎในรูปแบบ L-System สำหรับการสร้างลวดลายแบบแฟร็กทัล เช่น

Ortega และคณะ [4] ใช้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์ (Grammatical Evolution) ในการสร้างกฎรูปแบบ L-System สำหรับรูปตัวอย่างที่มีการกำหนดมิติแฟร็กทัลมาให้ (มิติแฟร็กทัล คือ ค่าสัดส่วนที่ใช้เป็นตัวบอกความซับซ้อนในรายละเอียดของลวดลาย) วิธีการสร้างกฎของงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนด variables คือ F และ constant คือ + - จากนั้นก็สร้างไวยากรณ์พื้นฐานขึ้นมาหลาย ๆ กฎ แล้วใช้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์ในการเลือกกฎที่จะนำมาสร้างเป็นลวดลาย ผลการทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์สามารถหากฎเพื่อสร้างลวดลายแฟร็กทัล แบบ Von Koch's snowflake รวมทั้งลวดลายอื่น ๆ ที่คล้าย ๆ กันได้

สำหรับ L-System ที่ซับซ้อนขึ้น อย่างเช่น การสร้าง L-System ของกิ่งต้นไม้ Beaumont และ Stepney [5] ได้ใช้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์ในการสร้างกฎที่มีการแตกกิ่ง เช่น $F \rightarrow F[+F]F[-F]F$ โดยเครื่องหมายวงเล็บสี่เหลี่ยม '[']' ที่เพิ่มเข้ามาหมายถึงการจดจำตำแหน่งและมุมก่อนการแตกกิ่งเอาไว้ เพื่อให้สามารถย้อนกลับมาตำแหน่งเดิมได้ขณะวาดลวดลายของกิ่ง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการสามารถวิวัฒนาการกฎแบบ L-System อย่างง่ายได้ โดยผู้วิจัยยังได้แนะนำวิธีการเก็บตัวอย่างกฎที่ดีเอาไว้ (Elitism) เป็นประโยชน์อย่างมากในการค้นคำตอบ

อย่างไรก็ดี การที่จะหากฎหรือรูปแบบของแฟร็กทัล ที่เหมาะสมออกมาได้นั้น การออกแบบฟังก์ชันสำหรับวัดค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ถือเป็นเรื่องสำคัญ มีงานวิจัยหนึ่ง [6] ได้ทำการศึกษาฟังก์ชันค่าความเหมาะสมสำหรับการสร้างรูป Mandelbrot ผู้วิจัยพบว่าการใช้ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมที่ต่างกัน 3 รูปแบบ (อันได้แก่ mask functions, variance based fitness, และ divergence number binning fitness) ทำให้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการค้นกฎที่จะสามารถถูกใช้สร้างรูป Mandelbrot ในมุมมองที่ต่างกัน

สำหรับการประยุกต์ใช้การวิวัฒนาการกฎแบบ L-System มีงานวิจัยของ O'Neill และ Brabazon [7] ได้นำขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์ไปใช้สร้าง L-System เพื่อออกแบบโลโก้ และต่อมา McDermott และ Hemberg [8] ได้นำเสนอการปรับปรุงรูปแบบของ L-System โดยเพิ่มสี เพิ่มลวดลาย รวมทั้งใช้ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการเชิงไวยากรณ์แบบมีปฏิสัมพันธ์ (Interactive Grammatical Evolution) ในการออกแบบโลโก้

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการมีบทบาทอย่างมากในการช่วยหารูปแบบของกฎสำหรับลวดลายที่มีความซับซ้อน ซึ่งลวดลายกระหนกของไทยที่มีความอ่อนช้อยและมีเอกลักษณ์ของลวดลายไม่เหมือนใครก็เป็นรูปแบบงานศิลปะหนึ่งที่มีความท้าทายในการหากฎหรือโมเดลในการสร้างลวดลาย และถ้าค้นพบโมเดลพื้นฐาน

ของลวดลายดังกล่าวยังเป็นแนวทางที่นำไปสู่การใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์เพื่อออกแบบและสร้างลายไทยในลักษณะอื่น ๆ ได้อีกด้วย

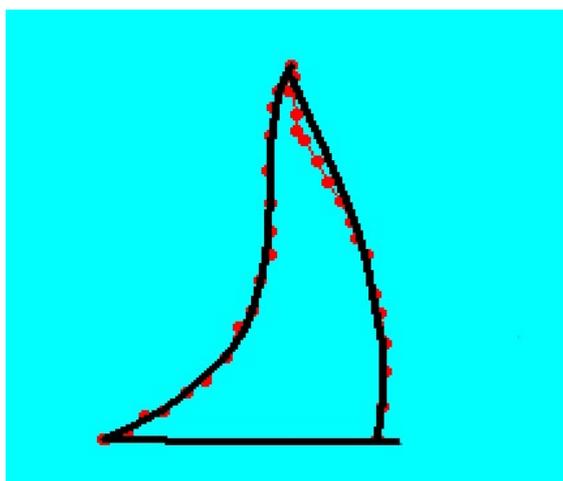
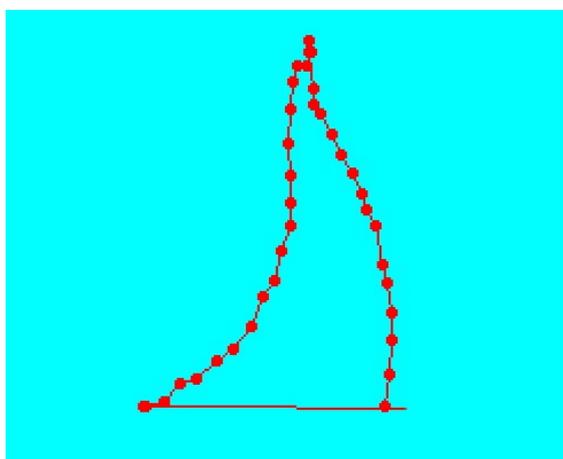
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

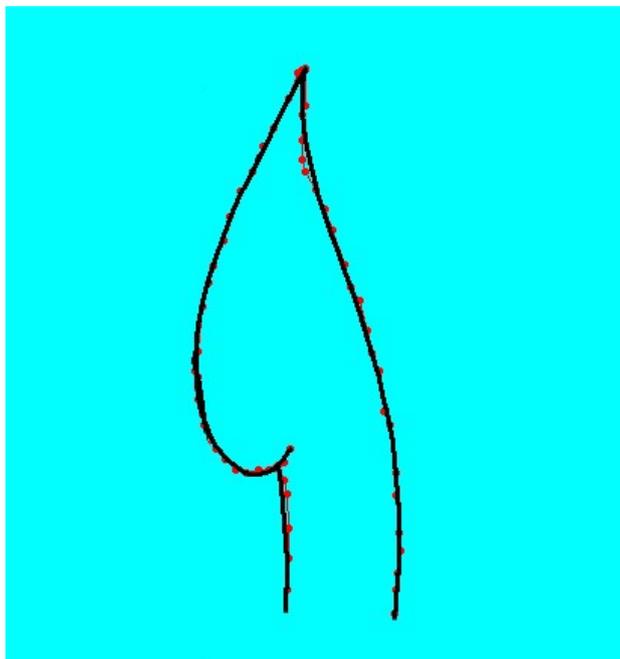
3.1 การวาดองค์ประกอบย่อยในตัวระหนก

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาวิธีการวาดโครงสร้างย่อยแต่ละส่วนของตัวระหนก เช่น กาบ ตัวระหนก ยอดระหนก ซึ่งโครงสร้างย่อยเหล่านี้จะใช้เป็นชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันเป็นรูปลายระหนกที่สมบูรณ์

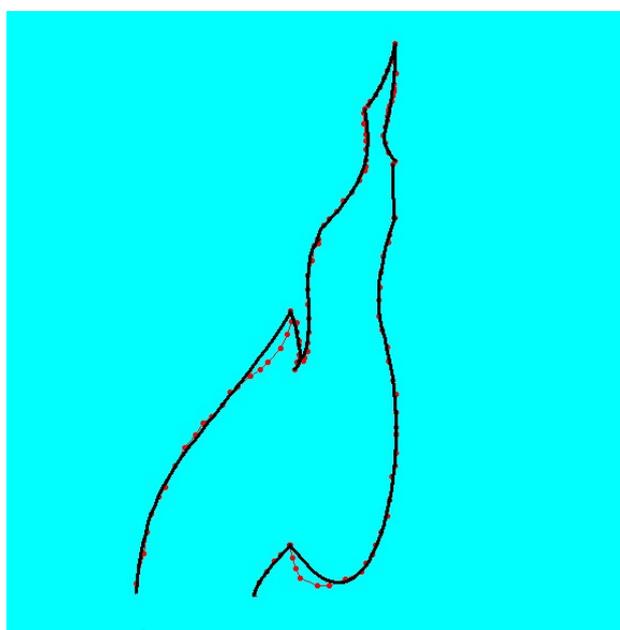
การหาวิธีวาดรูปชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้ทำได้โดยนำรูปต้นแบบลายระหนกมาทำการลงจุด แล้วหาสมการเส้นโค้งเบซิเอร์ (Bezier Curve) ที่พอดีกับจุดภาพต้นแบบ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3-1 – 3-3 รูปภาพด้านบนของภาพที่ 3-1 แสดงการลงจุดที่เป็นโครงร่างของภาพ ส่วนรูปด้านล่างคือเส้นโค้งที่วาดได้ โดยเส้นสีดำที่เพิ่มเข้ามาคือเส้นโค้งเบซิเอร์ที่ใช้ประมาณค่าส่วนของกาบ ส่วนภาพที่ 3-2 และ 3-3 เป็นตัวอย่างภาพในส่วนของตัวระหนก กับ ส่วนยอด ตามลำดับ



ภาพที่ 3-1 เส้นโค้งเบซิเอร์ที่พอดีกับจุดภาพส่วนกาบ



ภาพที่ 3-2 เส้นโค้งเบซิเออร์ที่พ้องเหมาะกับจุดภาพส่วนตัวกระหนก



ภาพที่ 3-3 เส้นโค้งเบซิเออร์ที่พ้องเหมาะกับจุดภาพส่วนยอด

ขั้นตอนวิธีที่งานวิจัยนี้ใช้ในการหาเส้นโค้งเบซิเอร์ที่เหมาะสม จะทำการหาจุดควบคุม (Control Point) อัตโนมัติ โดยในฟังก์ชันนี้ตอนแรกจะลองวาดเส้นตรงก่อน ถ้าเส้นตรงมีค่าความผิดพลาด (Error) มากเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ก็จะวาดเส้นโค้งที่มีจุดควบคุมเพิ่มขึ้น 1 จุด โดยวิธีกำหนดจุดควบคุม คือ สุ่มค่าตรงกลางเส้นก่อน จากนั้นจึงเลื่อนจุดควบคุมไปในทิศทางที่ทำให้ค่าความผิดพลาดน้อยลง (ในการทดลองนี้ กำหนดให้เลื่อนได้ 8 ทิศทาง) ทำซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ ถ้าการเลื่อนจุดทำให้ค่าความผิดพลาดลดลง และทำซ้ำจนกระทั่งค่าความผิดพลาดเริ่มที่จะเพิ่มขึ้น จึงจบการทำงาน

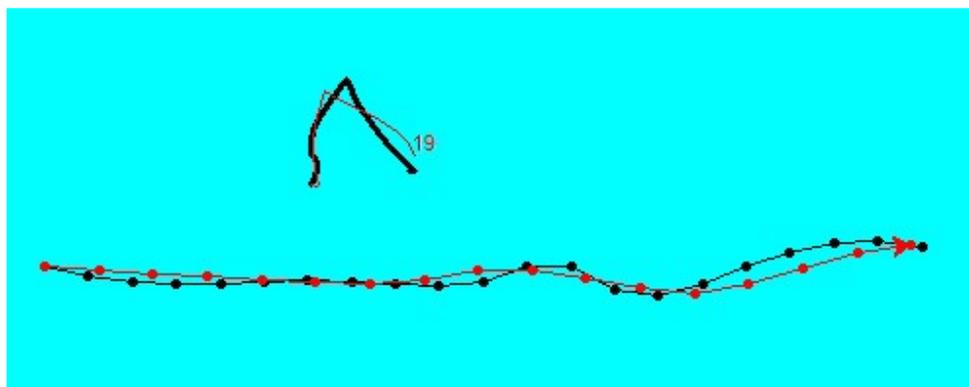
ในขั้นแรกจะเลื่อนจุดควบคุมแบบไกล ๆ แต่เมื่อเลื่อนแล้วค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้นกว่าเดิม ก็จะลดระยะในการเลื่อนลงมาให้ละเอียดขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าเลื่อนจนสิ้นสุดแล้ว ค่าความผิดพลาดยังสูงกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ตั้งไว้ ก็จะเพิ่มจุดควบคุมเป็น 2 จุด และถ้าค่าความผิดพลาดยังสูงอยู่ ก็จะเพิ่มเป็น 3 จุด ซึ่งยิ่งจำนวนจุดควบคุมมากขึ้นก็จะใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นตามไปด้วย

3.2 การสร้างความหลากหลายขององค์ประกอบย่อยในตัวระหนก

เส้นโค้งเบซิเอร์ที่ได้จากขั้นตอนที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.1 เป็นเส้นโค้งตามรูปแบบของลายระหนกที่นำมาเป็นต้นแบบ แต่วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ไม่ได้ต้องการเพียงแค่เลียนแบบการวาดลายตามต้นแบบเท่านั้น แต่ต้องการสร้างลายระหนกใหม่ ที่มีรูปแบบหลากหลาย การศึกษารูปแบบของเส้นโค้งที่ผ่านมา ทำเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับอ้างอิงรูปแบบของลายระหนกแม่แบบเป็นโครงร่างเท่านั้น แต่ลักษณะของส่วนโค้ง หรือระยะจุดต่าง ๆ จะสุ่มสร้างขึ้นทำให้เกิดความแปลกใหม่ของลวดลาย

การสร้างความหลากหลายขององค์ประกอบย่อยในตัวระหนกในงานวิจัยนี้ทำโดย กำหนดตำแหน่งของจุดเริ่มต้น จุดควบคุม จุดปลายของเส้นโค้ง เป็นจุดที่แตกต่างกัน ซึ่งในขั้นตอนแรก จุดต่าง ๆ จะถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่ม จุดยอดของเปลวต่าง ๆ ในตัวระหนกสามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้ ซึ่งการปรับค่าเหล่านี้ทำให้เกิดเส้นโค้งที่มีลักษณะต่างกันไป

หลังจากที่สุ่มสร้างเส้นโค้งเป็นลวดลายลักษณะต่าง ๆ ได้แล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการปรับเส้นโค้งให้มีความสวยงาม และมีโครงสร้างคล้ายต้นแบบ ซึ่งเป็นการคงลักษณะของลายระหนกเอาไว้ ปัญหาคือจะบ่งบอกได้อย่างไรว่าลวดลายที่สร้างขึ้นมีโครงสร้างคล้ายลายระหนกจริง ๆ ในงานวิจัยนี้ ได้เสนอวิธีการวัดความเหมือนของลวดลายเส้นโค้งที่สร้างขึ้นมา โดยใช้วิธีการแทนโครงสร้างเส้นโค้งที่เป็นลวดลายแบบต่าง ๆ ออกมาเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา (รายละเอียดการแทนข้อมูลเป็นรูปแบบอนุกรมเวลา ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2) และใช้วิธีไดนามิกไทม์วอร์ปิง (Dynamic Time Warping : DTW) เป็นวิธีการวัดความแตกต่างของลายเส้นโค้งที่สร้างขึ้นมากับเส้นโค้งต้นแบบ (รายละเอียดของวิธีไดนามิกไทม์วอร์ปิง กล่าวไว้ในบทที่ 2) ตัวอย่างของการใช้วิธีไดนามิกไทม์วอร์ปิงในการวัดระยะห่างของโครงสร้างย่อยของลายระหนกที่สร้างขึ้นใหม่ เทียบกับภาพต้นแบบ แสดงดังภาพที่ 3-4 โดยเส้นสีดำในรูปด้านบนคือภาพต้นแบบ และเส้นสีแดงคือลวดลายที่สร้างขึ้นใหม่ ตัวเลข 19 ที่แสดงในภาพ คือ ค่าที่ได้จากการวัดระยะห่างของเส้นโค้งต้นแบบกับเส้นโค้งที่สร้างขึ้นมาโดยใช้วิธีไดนามิกไทม์วอร์ปิง (ข้อมูลอนุกรมเวลาแสดงเป็นเส้นจุดด้านล่างของภาพ)

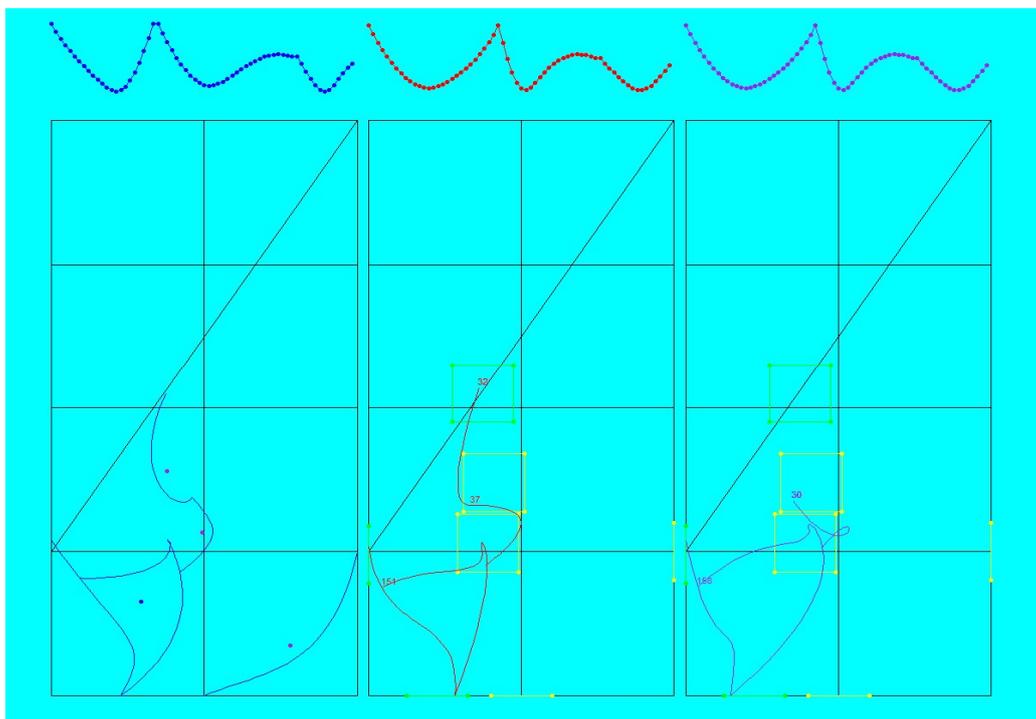


ภาพที่ 3-4 ผลลัพธ์ของการใช้วิธีไดนามิกใหม่เวอร์ปิงในการวัดระยะห่างของลวดลาย

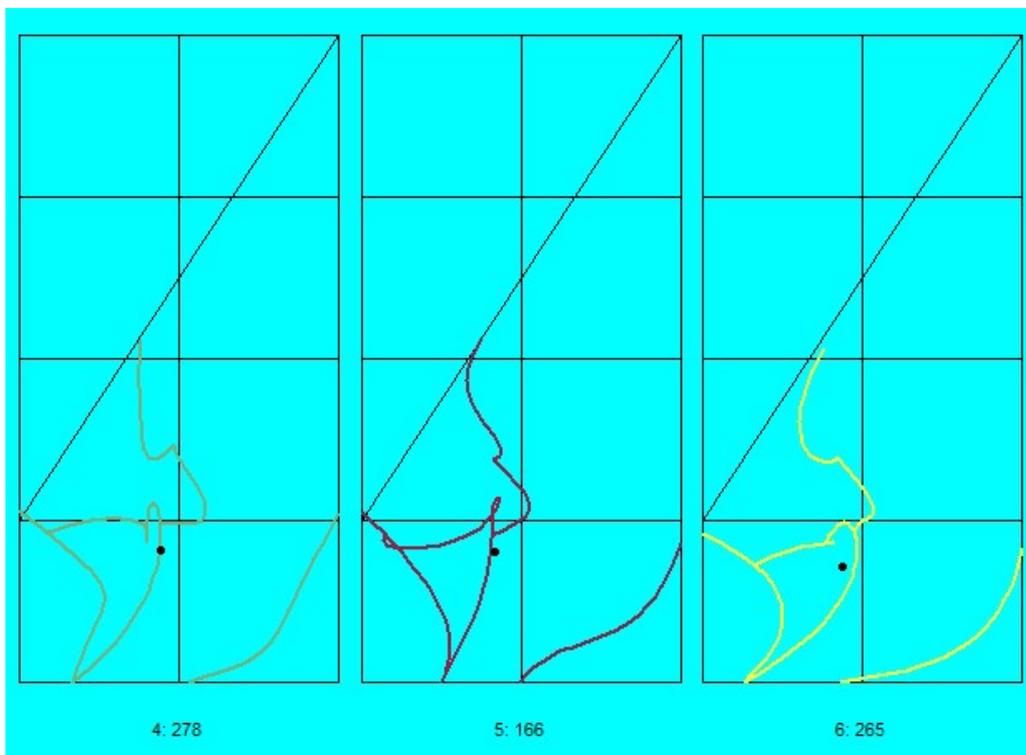
ค่าระยะห่างของภาพต้นแบบและเส้นโค้งเบซิเอร์ที่สร้างขึ้น (ที่คำนวณได้จากวิธีไดนามิกใหม่เวอร์ปิง) จะถูกใช้เป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ในขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ ภาพที่ 3-5 แสดงตัวอย่างของการวัดค่าความเหมาะสมโดยพิจารณาจากระยะห่างของเส้นโค้งเบซิเอร์ที่สร้างขึ้น เทียบกับภาพต้นแบบ รูปลายกระหนกทางซ้ายเป็นภาพต้นแบบ ส่วนรูปตรงกลางและรูปทางขวาเป็นลายที่สุ่มสร้างขึ้นมา การวัดค่าความเหมาะสมจะพิจารณาลักษณะของเส้นโค้งที่สร้างขึ้นว่ามีโครงสร้างคล้ายกับต้นแบบหรือไม่ โดยไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากันทุกจุด เพียงแค่พิจารณาลักษณะของรูปร่างที่คล้ายกัน ซึ่งโครงสร้างรูปร่างที่คล้ายกันนี้สามารถดูได้จากข้อมูลอนุกรมเวลาของแต่ละลวดลาย (แสดงเป็นเส้นจุดด้านบนของลายกระหนกแต่ละรูป ในภาพที่ 3-5)

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการจะใช้ค่าความเหมาะสมที่วัดมาได้นี้ เป็นข้อมูลในการเลือกลวดลายเพื่อนำมาเป็นต้นแบบในการสร้างลายใหม่สำหรับรุ่นถัดไป ภาพเส้นโค้งภาพใดที่มีค่าความเหมาะสมดีกว่า จะมีโอกาสมากกว่าในการถูกเลือก (ในที่นี้คือค่าความเหมาะสมยิ่งน้อยยิ่งดี เนื่องจากมีค่าความแตกต่างทางโครงสร้างน้อยเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ)

เมื่อเลือกลวดลายที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีมาแล้ว จะนำมาสร้างเป็นลวดลายใหม่สำหรับรุ่นถัดไป โดยใช้วิธีการไขว้เปลี่ยน (Crossover) และวิธีการกลายพันธุ์ (Mutation) วิธีการไขว้เปลี่ยน จะนำภาพที่คัดเลือกมาได้ 2 ภาพ มาสลับแลกเปลี่ยนโครงสร้างย่อยซึ่งกันและกัน แล้วสร้างเป็นลวดลายใหม่ขึ้นมา ลวดลายใหม่ที่ได้มาจากขั้นตอนการไขว้เปลี่ยนนี้ จะมีเส้นโค้งของภาพต้นแบบทั้งสองภาพผสมกัน โดยอาจจะเลือกบางเส้นโค้งมาจากรูปต้นแบบรูปแรก และเส้นโค้งบางเส้นมาจากภาพต้นแบบภาพที่สอง ส่วนวิธีการกลายพันธุ์ จะสุ่มเลือกเส้นโค้งบางเส้นมาเปลี่ยนแปลงค่า เช่น เปลี่ยนจุดอ้างอิง เปลี่ยนจุดยอดของปลายตัวลายกระหนก เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ แสดงดังภาพที่ 3-6

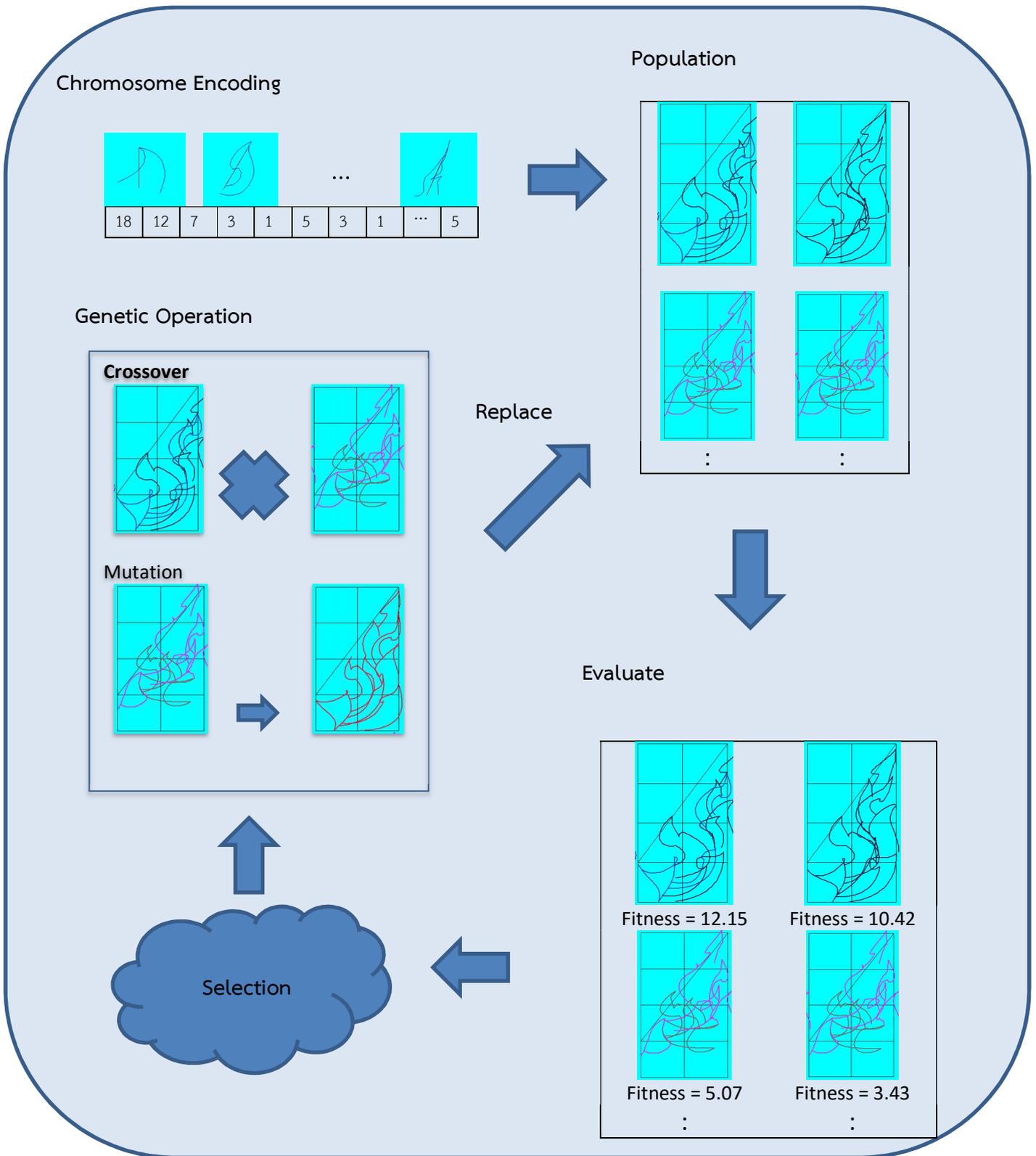


(ก)



(ข)

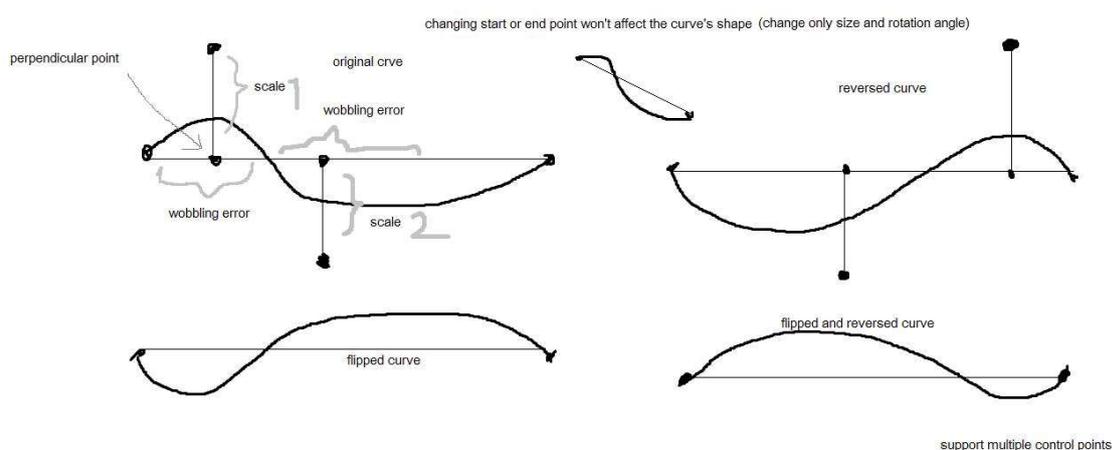
ภาพที่ 3-5 ตัวอย่างการวัดค่าความเหมาะสม



ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับสร้างลายกระหนก

3.3 การประกอบลวดลายเป็นลายกระหนก

ขั้นตอนนี้เป็น การนำเอาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น มาประกอบเป็นลวดลายกระหนกทั้งตัว โดยในการนำองค์ประกอบย่อย ๆ แต่ละส่วนมาประกอบกัน จะมีการสร้างเส้นแกนของลายเส้นโค้งแต่ละส่วนไว้เพื่อเป็นจุดอ้างอิง และสามารถให้เส้นแกนนี้เป็นแนวอ้างอิงสำหรับการหมุน การย้ายตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ตัวอย่างของแกนอ้างอิงที่ใช้ในการกลับรูปเส้นโค้ง แสดงดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 เส้นแกนอ้างอิงสำหรับการปรับเส้นโค้งให้พลิกกลับด้าน

เมื่อนำองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ ของลายกระหนกประกอบเข้าด้วยกันได้แล้ว ก็จะได้ลายกระหนกทั้งตัวออกมา ขั้นตอนวิวัฒนาการจะทำการสร้างรูปแบบของลายกระหนกหลาย ๆ รูปแบบ แล้วใช้วิธีการคัดเลือกภาพตัวอย่างที่มีค่าความเหมาะสมดี ๆ มาเป็นต้นแบบในการสร้างลายในรุ่นถัด ๆ ไป

ภาพลายกระหนกที่สร้างขึ้นมาในแต่ละรุ่นจะถูกวิวัฒนาการไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ภาพที่มีค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (มีการตั้งค่าขีดแบ่งเอาไว้) ซึ่งในกระบวนการวิวัฒนาการในแต่ละรุ่น ลวดลายต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลง และสร้างความหลากหลายได้จากการแลกเปลี่ยนองค์ประกอบของลาย (แลกเปลี่ยนเส้นโค้งที่นำมาประกอบเป็นลวดลาย) และมีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ตำแหน่งของจุดอ้างอิง ซึ่งจะทำให้เกิดลวดลายที่มีความโค้งต่างกัน มีจุดเริ่มต้นของเส้นอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน เป็นต้น ตัวอย่างของการสร้างลวดลายในแต่ละรุ่นโดยอาศัยขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ แสดงดังภาพที่ 3-8



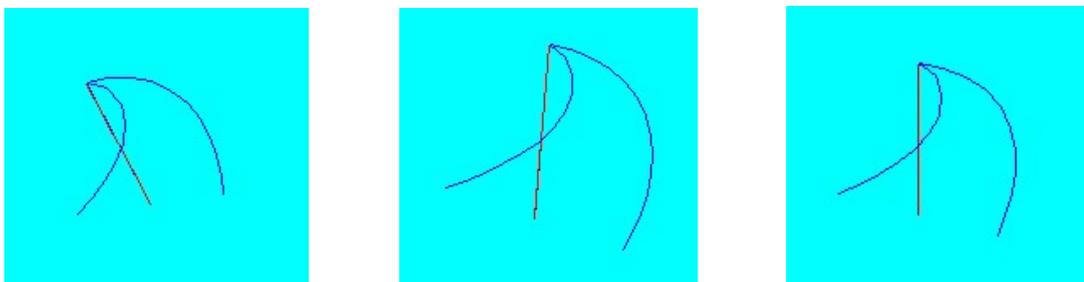
ภาพที่ 3-8 ตัวอย่างประชากรจากขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ

บทที่ 4

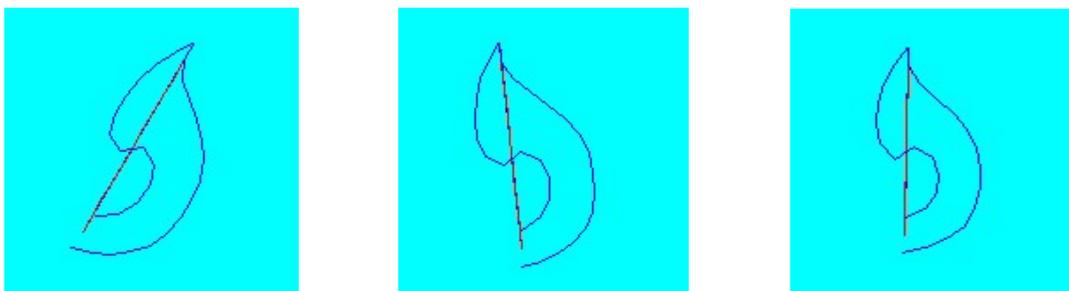
ผลการทดลอง

4.1 การสร้างลวดลายพื้นฐานสำหรับประกอบเป็นลายกระหนก

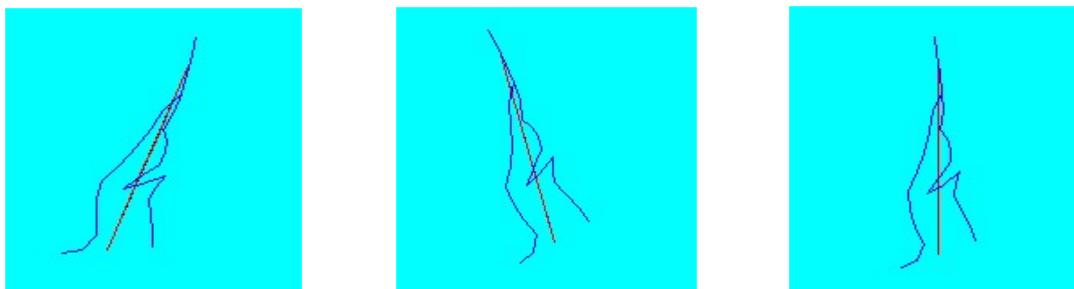
งานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นโค้งเบซิเออร์ในการสร้างลายกระหนก ซึ่งมีวิธีการสร้างดังที่ได้กล่าวรายละเอียดไปแล้วในบทก่อนหน้า ลายกระหนกที่สร้างขึ้นเกิดจากการวาดองค์ประกอบย่อย ๆ แต่ละส่วนมาต่อกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างผลลัพธ์ที่เกิดจากการสุมสร้างองค์ประกอบพื้นฐานแบบต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4-1 – 4-3



ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างองค์ประกอบส่วนกาบ



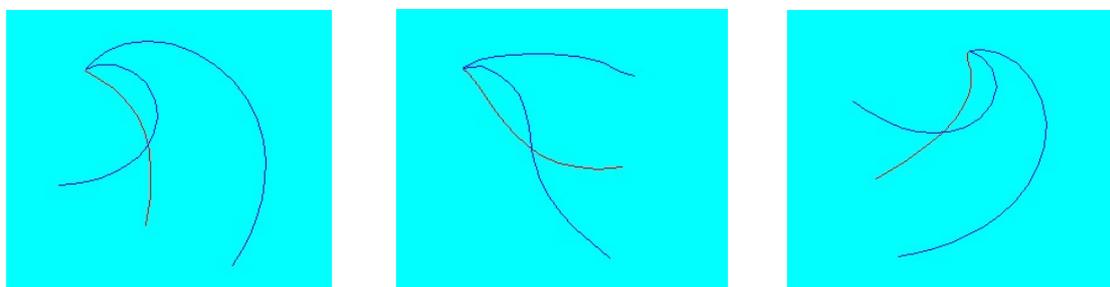
ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างองค์ประกอบส่วนตัวกระหนก



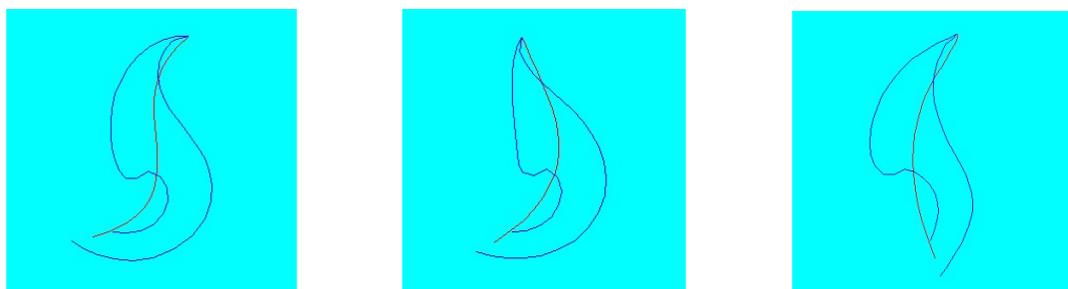
ภาพที่ 4-3 ตัวอย่างองค์ประกอบส่วนยอด

ภาพที่ 4-1 - 4-3 แต่ละภาพจะแสดงตัวอย่างขององค์ประกอบย่อยของลายกระหนกในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ภาพที่ 4.1 แสดงรูปแบบของกาบ เส้นแกนสีแดง ใช้เป็นแกนในการหมุนภาพ ให้มีความเอียงในลักษณะต่าง ๆ ภาพที่ 4-2 แสดงตัวอย่างองค์ประกอบในส่วนของตัวกระหนก ซึ่งเมื่อสุมเส้นแกนให้มีความเอียง ความยาวที่แตกต่างกัน ก็จะได้ลักษณะของตัวกระหนกที่โค้งเอียงแตกต่างกันไป ภาพที่ 4-3 แสดงตัวอย่างส่วนยอดของตัวกระหนก ที่เกิดจากการสุมสร้างเส้นแกนที่แตกต่างกัน

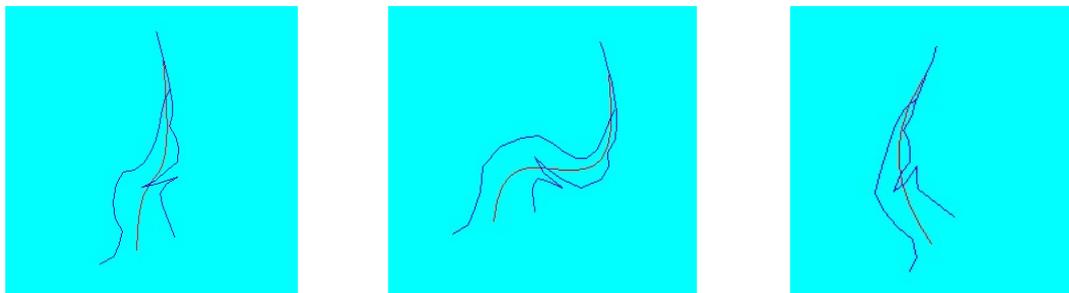
ตัวอย่างข้างต้น เป็นการสุมสร้างเส้นแกนที่เป็นเส้นตรง นอกเหนือจากการสุมเส้นแกนเป็นเส้นตรงแล้ว ยังสามารถสุมสร้างจุดเส้นแกนที่มีความโค้งต่าง ๆ หรือเป็นเส้นอิสระที่ถูกสุมขึ้นมา เพื่อสร้างลวดลายพื้นฐานที่มีลักษณะโค้งหรือมีรูปร่างต่างออกไปได้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 4-4 - 4-6



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างองค์ประกอบส่วนกาบที่มีแกนเป็นเส้นอิสระ

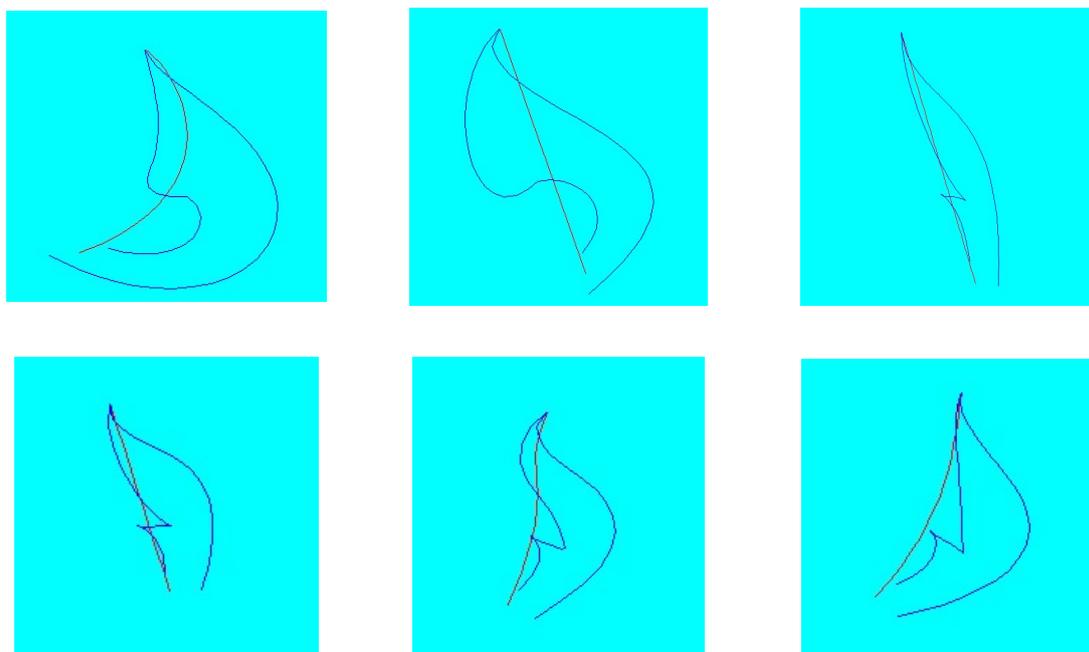


ภาพที่ 4-5 ตัวอย่างองค์ประกอบส่วนตัวกระหนกที่มีแกนเป็นเส้นอิสระ



ภาพที่ 4-6 ตัวอย่างองค์ประกอบส่วนยอดที่มีแกนเป็นเส้นอิสระ

นอกจากนี้ โครงสร้างพื้นฐานเหล่านี้ ยังมีพารามิเตอร์ในการขยายความกว้าง ขยายสัดส่วน การพลิกกลับด้าน ฯลฯ เพื่อสร้างลวดลายที่มีความหลากหลายมากขึ้น ดังตัวอย่างในภาพที่ 4-7

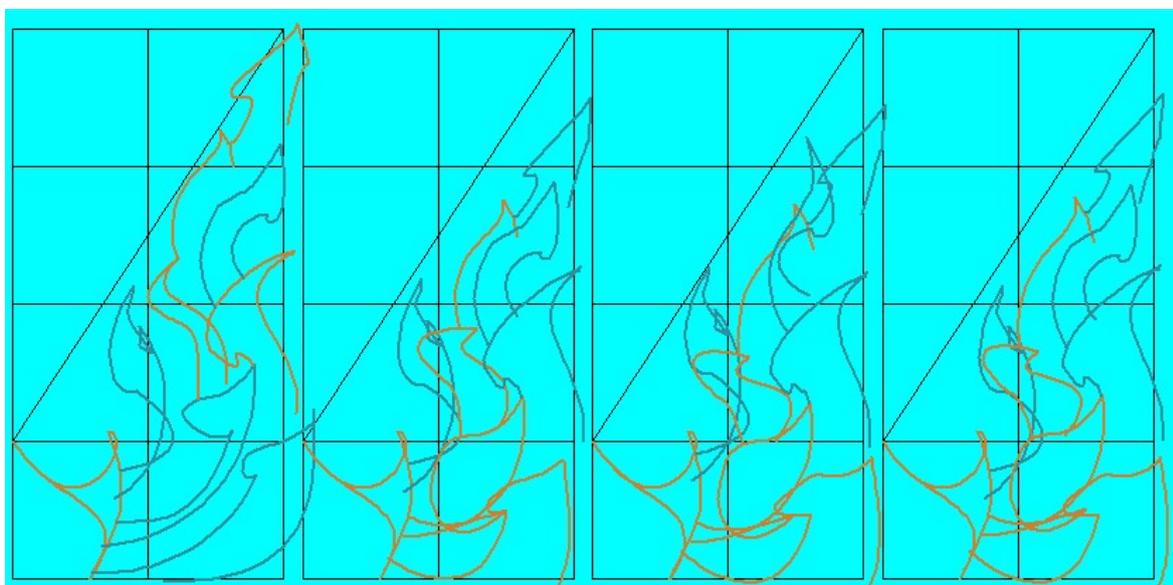


ภาพที่ 4-7 ตัวอย่างลายที่เกิดจากการสุ่มปรับพารามิเตอร์

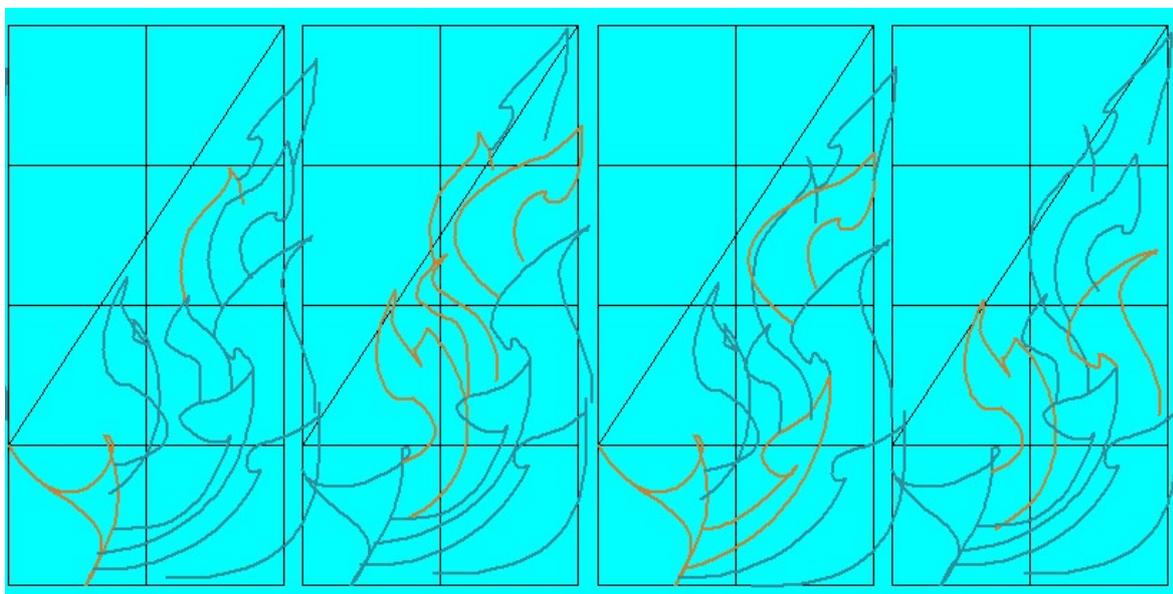
4.2 การสร้างลายกระหนก

ลายกระหนกที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้ สุ่มสร้างขึ้นจากองค์ประกอบย่อยแต่ละส่วนดังที่กล่าวไปข้างต้น และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการในการปรับปรุงลวดลายให้มีโครงสร้างใกล้เคียงกับต้นแบบลายกระหนก ภาพลายกระหนกที่สร้างขึ้นได้ในรุ่นแรก ๆ ของกระบวนการวิวัฒนาการอาจจะยังไม่ค่อยสวย แต่เมื่อผ่านการปรับปรุงคำตอบโดยใช้การไขว้เปลี่ยน

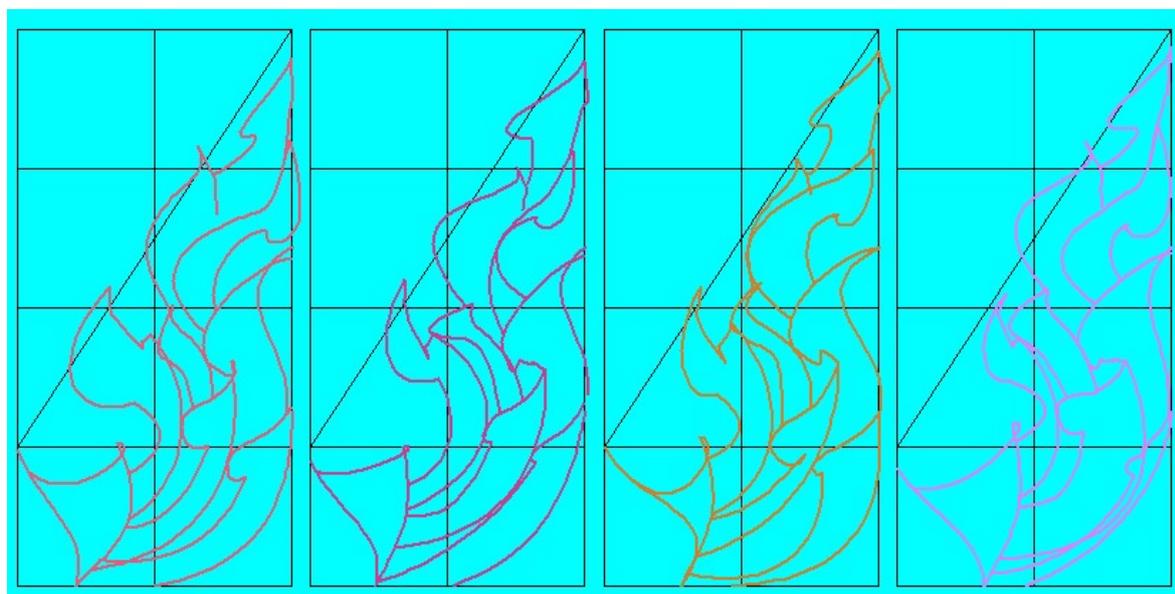
การกลายพันธุ์ ไปหลาย ๆ รุ่น ผลลัพธ์ที่ได้ก็มีลักษณะใกล้เคียงกับลายกระหนก รูปที่ 4-8 – 4-10 แสดงตัวอย่างประชากร (ภาพลายกระหนกที่สร้างขึ้น) เมื่อผ่านกระบวนการวิวัฒนาการไปในระยะต่าง ๆ



ภาพที่ 4-8 ตัวอย่างลายกระหนกที่ถูกสุ่มสร้างขึ้นในช่วงต้นของกระบวนการวิวัฒนาการ



ภาพที่ 4-9 ตัวอย่างลายกระหนกเมื่อผ่านกระบวนการวิวัฒนาการไประยะหนึ่ง



ภาพที่ 4-10 ตัวอย่างลายกระหนกในช่วงท้ายของกระบวนการวิวัฒนาการ (ประชากรรุ่นที่ 20)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการสร้างลายกระหนก โดยใช้รูปแบบเส้นโค้งเบซิเอร์ในการวาดลายเส้น และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการในการปรับปรุงลดลายให้มีโครงสร้างคล้ายรูปลายกระหนกต้นแบบ ขั้นตอนวิธีการสร้างลายกระหนก เริ่มต้นจากการสร้างลดลายพื้นฐานที่เป็นส่วนประกอบย่อยต่าง ๆ ของลายกระหนก เช่น ส่วนกาบ ส่วนตัวกระหนก ส่วนยอด เป็นต้น เมื่อได้รูปแบบขององค์ประกอบย่อยมาแล้ว จึงนำมาวาดประกอบกันเป็นลายกระหนกทั้งตัว

การปรับปรุงลดลายของตัวกระหนกที่สร้างขึ้นมา ให้มีรูปแบบที่สวยงาม ใกล้เคียงลายกระหนกที่เป็นแม่แบบ และมีความหลายหลายได้นั้น งานวิจัยนี้ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการในการสุ่มสร้างและปรับปรุงลดลาย โดยในรุ่นแรก ขั้นตอนวิธีจะสุ่มสร้างลดลายขึ้นมาจำนวนหนึ่ง (เรียกว่าประชากร) แล้วทำการประเมินค่าความเหมาะสมของลดลายเหล่านั้น ค่าความเหมาะสมที่ประเมินมาได้นี้ เป็นค่าคะแนนสำหรับใช้คัดเลือกลดลายที่เหมาะสมไปเป็นต้นแบบในการสร้างลายในรุ่นถัดไป

งานวิจัยนี้ใช้ความคล้ายเป็นตัววัดค่าความเหมาะสมของลายกระหนกที่สร้างขึ้นมาได้ ค่าความคล้ายนี้พิจารณาจากลักษณะทางโครงสร้างของลายที่ขั้นตอนวิธีสร้างขึ้นมา เทียบกับแม่แบบลายกระหนกที่เป็นลายที่ศิลปินวาด การพิจารณาความคล้ายคลึงทางโครงสร้างนี้ เทียบจากข้อมูลอนุกรมเวลาของลดลายทั้งสอง ซึ่งวิธีการแทนลายกระหนกเป็นข้อมูลอนุกรมเวลาได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

ผู้วิจัยได้ทดลองสร้างลายกระหนกขึ้นจากการนำองค์ประกอบย่อยต่าง ๆ มารวมกัน ดังผลลัพธ์ที่นำเสนอในบทที่ 4 แต่ภาพลายกระหนกที่สร้างขึ้นนี้ยังเป็นเพียงรูปแบบเบื้องต้น งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อ และปรับปรุงการสร้างภาพด้วยการเพิ่มรูปแบบองค์ประกอบย่อยในลักษณะอื่น หรือสามารถใส่ลดลายเพิ่มเติมเข้าไปได้ เช่น การใส่ปาก การเขียนลดลายภายในตัวกระหนก เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] สิทธิโชค หน้อย ไทรนีนมว. (19 ธันวาคม 2556). *สายกระหนก หรือ สายกนก* [ออนไลน์]. <http://www.gotoknow.org/posts/338616>
- [2] โพธิ์ ใจอ่อนนุ่ม. *คู่มือสายไทย*. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [3] D. W. Corne and P. J. Bentley, *Creative Evolutionary Systems* (The Morgan Kaufmann Series in Artificial Intelligence), Morgan Kaufmann, 2001.
- [4] A. Ortega, A. A. Dalhoum and M. Alfonseca, Grammatical evolution to design fractal curves with a given dimension, *IBM Journal of Research and Development*, vol. 47, no. 4, 2003.
- [5] D. Beaumont and S. Stepney, Grammatical evolution of L-systems, In *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2009.
- [6] D. Ashlock and J. A. Brown, Fitness functions for searching the Mandelbrot set, In *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2011.
- [7] M. O'Neill and A. Brabazon, Evolving a logo design using Lindenmayer systems, postscript & grammatical evolution, In *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2008.
- [8] J. McDermott and E. Hemberg, Logo design by grammatical evolution of L-systems, the Genetic and Evolutionary Computation Conference - Evolutionary Art, 2011
- [9] H. Abelson and A.A. diSessa, *Turtle geometry*, M.I.T. Press, Cambridge, 1982.
- [10] L. Ye and E. Keogh, Time Series Shapelets: A New Primitive for Data Mining. *SIGKDD*, 2009, 947-956.
- [11] E. Keogh, L. Wei, X. Xi, S.-H. Lee and M. Vlachos: LB_Keogh Supports Exact Indexing of Shapes under Rotation Invariance with Arbitrary Representations and Distance Measures. *VLDB*, 2006.
- [12] J. Kruskall, and M. Liberman: The Symmetric Time Warping Problem: From Continuous to Discrete Time Warps, String Edits and Macromolecules: The Theory and Practice of Sequence Comparison. pp. 125-161, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Massachusetts, 1983.