

การรู้จำรูปร่างของวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยใช้คาดีนัลสไปไลน์

INVARIANT SHAPE OBJECT RECOGNITION USING
CARDINAL SPLINES



สมบัติ ฝอยทอง

SOMBUT FOITONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

จพ.
๕ 2567
2647

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **50953** /

วัน,เดือน,ปี **2.6 พ.ค. 2547**

พ.ศ. 2547

b.....
i.....

ISBN 974-9680-24-3

bพค 50953

**INVARIANT SHAPE OBJECT RECOGNITION USING
CARDINAL SPLINES**

SOMBUT FOITONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2004

ISBN 974-9680-24-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPY RIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การรู้จำรูปร่างของวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยใช้คาดีนัล
สไปไลน์
นักศึกษา นาย สมบัติ ฝอยทอง
รหัสนักศึกษา 44061630
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ. 2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ. ดร. เอื้อน ปิ่นเงิน

บทคัดย่อ

การรู้จำวัตถุเป็นส่วนที่สำคัญต่อระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้การค้นหาแบบสมบูรณ์(Complete Search) ค้นหาข้อมูลลักษณะเด่น(Features) ของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ (Model shapes) เพื่อนำมาวัดความเหมือนกับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ (Input shape) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปพิกัดจุดขอบภาพ โดยใช้เส้นทออยเดิ้ลโปรไฟล์ (Centroidal Profile) ทำจุดอ้างอิงสำหรับเลือกพิกัดจุดขอบภาพซึ่งจะนำไปทำโค้งกระชับด้วยคาดีนัลสไปล์ (Cardinal Splines) โดยการทดลองได้ทำการทดสอบกับภาพที่ได้จากการหมุน การย้ายตำแหน่ง และการเปลี่ยนขนาด ผลการทดลองอัตราการรู้จำ 97.1% สำหรับภาพที่มีการเปลี่ยนขนาด 97% สำหรับภาพที่มีการหมุน และ 96.2% สำหรับภาพที่มีการเปลี่ยนขนาดและมีการหมุนควบคู่ไปด้วย

Thesis Title	Invariant Shape Object Recognition Using Cardinal Splines
Student	Mr. Sombut Foitong
Student ID.	44061630
Degree	Master of Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assc. Prof. Dr. Ouen Pinngern

ABSTRACT

An object recognition method is a main part of computer vision system. This research proposes a complete search to search the features of model shapes of the object from known-base, to identify input shapes of the object. The features are obtained the edges of the object, by using Centroidal Profile to find reference points and selected boundary points for curve fitting by Cardinal Splines. Training data consists of original object, its translation, its rotation and its scaling. The results of implementation are 97.1% for scaled object, 97% for rotated object, 96.2% for rotated and scaling object.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยพระคุณของพ่อ-แม่และพระคุณจากครู-อาจารย์ที่อบรมสั่งสอน ให้ข้าพเจ้าเป็นคนดี มีความรู้ ขอบคุณสำหรับคำแนะนำของเพื่อนร่วมชั้นเรียน กำลังใจที่ดีเสมอจาก คนรัก และวิทยานิพนธ์นี้ได้รับแนวคิดและคำแนะนำจากท่าน รศ.ดร. เอื้อน ปิ่นเงิน และรศ.ดร. ชม กัมปาน ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่คุมสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน จึงกราบ ขอบคุณ ณ. โอกาสนี้ด้วย

สมบัติ ฝอยทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพ.....	4
2.1 เซ็นทรอยแคว็ทโพรไฟล์.....	4
2.2 คณิตศาสตร์ของตัวกรองเกาส์เซียน.....	5
2.2.1 วิธีการกำหนดหน้าตาต่างของตัวกรองเกาส์เซียนสำหรับการประสาน.....	5
2.2.2 วิธีการประสานตัวกรองเกาส์เซียน.....	6
2.3 วิธีการหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุ.....	7
บทที่ 3 การทำโค้งกระชับด้วยคณิตศาสตร์คิวบิกสไปล์.....	12
3.1 คณิตศาสตร์คิวบิกสไปล์.....	12
3.2 คิวบิกสไปล์อินเตอโพลชัน.....	13
3.2.1 เฮอไมท์ อินเตอโพลชัน.....	13
3.2.2 คาคินัลสไปล์.....	16
3.2.3 โคชานค-บาร์เทิลด์ สไปล์.....	19
3.3 การทำโค้งกระชับด้วยคาคินอล สไปล์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 เรขาคณิตของการแปลงพิกัดจุดแบบ 2 มิติ.....	22
4.1 พื้นฐานของการแปลงพิกัดจุด	22
4.1.1 การเปลี่ยนตำแหน่ง.....	22
4.1.2 การหมุน.....	23
4.1.3 เสกกลิ่ง	26
4.2 การแสดงการแปลงพิกัดจุดในรูปของเมตริกซ์	28
4.3 การรวมการแปลงพิกัดแปลงพิกัดจุด	31
บทที่ 5 การรู้จำรูปทรงของวัตถุ.....	34
5.1 ขั้นตอนของการรู้จำภาพวัตถุ.....	34
5.2 การหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุและการทำไค้่งกระชับด้วยคาคินัลสไปลน์.....	35
5.3 โครงสร้างข้อมูลภาพ	38
5.4 ฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างระหว่างคั่นแบบรูปร่างของวัตถุ กับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบเพื่อใช้กับการค้นหาแบบสมบูรณ์.....	39
บทที่ 6 ผลการทดลอง	42
6.1 ผลการทดลองสำหรับงานวิจัยที่เสนอ	43
6.2 ผลการทดลองสำหรับงานวิจัยจากเอกสารอ้างอิง[5].....	47
6.3 ปัจจัยที่มีผลในการรู้จำรูปทรงของวัตถุของงานวิจัยที่เสนอและงานวิจัย [5]	52
6.4 ข้อดีของงานวิจัยที่เสนอเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย [5].....	54
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
7.1 สรุปผลการวิจัย	57
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
บรรณานุกรม.....	58
ประวัติผู้เขียน	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผลการทดลอง โดยงานวิจัยที่เกนอ	47
6.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผลการทดลอง โดยงานวิจัย [5]	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงภาพต้นแบบกรรไกร	4
2.2 แสดงจุดศูนย์กลางภาพของกรรไกร	5
2.3 แสดงเส้นทอয়เคิ้ลโพรไฟล์ของภาพกรรไกร	5
2.4 แสดงหน้าต่างสำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์ของ ตัวกรองเกาส์เซียนที่ค่า สเกล-สเปซต่างๆ	6
2.5 ภาพแสดงวิธีการประสานกราฟเส้นทอয়เคิ้ลโพรไฟล์ ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน	7
2.6 แสดงถึงขั้นตอนวิธีการหาจุดอ้างอิงของภาพกรรไกร	8
2.6 แสดงถึงขั้นตอนวิธีการหาจุดอ้างอิงของภาพกรรไกร (ต่อ).....	8
2.7 แสดงจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของเส้นทอয়เคิ้ลโพรไฟล์ ของภาพกรรไกรเมื่อเกิดการหมุน.....	9
2.8 แสดงจุดอ้างอิงของภาพกรรไกรเมื่อเกิดการหมุนเป็นมุมต่างๆ	10
2.9 แสดงจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของเส้นทอয়เคิ้ลโพรไฟล์ ของกรรไกรเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด	11
2.10 แสดงจุดอ้างอิงของภาพกรรไกรเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด	11
3.1 การทำโค้งกระชับด้วยคิวบิกสไปล์อินเตอโพลชันของจุดควบคุม $n+1$ จุด.....	13
3.2 ฟังก์ชันจุด $P(u)$ สำหรับส่วนโค้งเฮอไมท์ระหว่างจุดควบคุม p_k และ p_{k+1}	14
3.3 ฟังก์ชัน $P(u)$ สำหรับส่วนโค้งคาดีนัล-สไปล์ระหว่างจุดควบคุม p_k และ p_{k+1}	17
3.4 เวกเตอร์สัมพัทธ์ ณ จุดปลายส่วนของคาดีนัล-สไปล์ที่ได้สัดส่วน กับคอร์คด้วยจุดควบคุมที่อยู่บนใกล้เคียง.....	17
3.5 ผลของเท็นชันพารามิเตอร์บนรูปทรงสำหรับส่วนของคาดีนัลสไปล์.....	18
3.6 ผลของไบอัสพารามิเตอร์บนรูปทรงของ โคซานค-บาร์เทิลล์ สไปล์.....	20
3.7 แสดงตัวอย่างของภาพวัตถุในการทำโค้งกระชับด้วยคาดีนัลสไปล์ของภาพวัตถุ.....	21
4.1 การเปลี่ยนตำแหน่งจุดจาก ตำแหน่ง P ไปยังตำแหน่ง P' ด้วยเวกเตอร์ การเปลี่ยนตำแหน่ง T	23
4.2 การหมุนของวัตถุไป θ รอบจุดหมุน (x, y)	23
4.3 แสดงค่าของมุมและตำแหน่งของจุดเมื่อเกิดการหมุน	25
4.4 การหมุนจุดจากตำแหน่ง (x, y) ไปยังตำแหน่ง (x', y') โดยหมุน	

เอกสารไป θ รอบจุด (x, y) 26

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การเปลี่ยนขนาดของเส้นตรงด้วยสมการ(5.12) โดยการใช้ $s_x = 0.5$ และ $s_y = 0.5$ ซึ่งจะเป็นการลดขนาดและเคลื่อนเข้าหาจุดออริจิน.....	27
4.6 การเปลี่ยนขนาดซึ่งเกี่ยวข้องกับจุดที่ครึ่ง (x_p, y_p) โดยระยะทางจากจุดยอดแต่ละจุดของ โพลิกอนไปยังจุดจุดครึ่งจะถูกเปลี่ยนขนาดด้วยการคำนวณของสมการ(4.13).....	28
5.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพของคั่นแบบรูปร่างของวัตถุ และรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ	35
5.2 รายละเอียดของขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจากรูปที่ 5.1	52
5.3 แสดงจุดอ้างอิง ที่ได้จากจุดต่ำสุดและสูงสุดของกราฟเซ็นทรอยเค็ต โพรไฟล์ การแบ่งจุดครึ่งแรกและการแบ่งจุดครึ่งที่ 2 ตามลำดับ	37
5.4 แสดงการลากเส้นจากจุดศูนย์กลางภาพ ไปยังจุดที่ได้จากการทำโค้งกระชับ โดยเลือกเส้นที่ยาวที่สุดไม่เกิน 10 ค่าที่จะเก็บในส่วนข้อมูลพิเศษ	38
5.5 โครงสร้างข้อมูลภาพ	39
6.1 ภาพวัตถุที่นำมาใช้ในการทดลองและหมายเลขอ้างอิง.....	42
6.2 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 1 อยู่ในลักษณะต่างๆ	45
6.3 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 10 อยู่ในลักษณะต่างๆ	46
6.4 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 1 อยู่ในลักษณะต่างๆ ของงานวิจัย [5]	45
6.5 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 10 อยู่ในลักษณะต่างๆ ของงานวิจัย [5]	46
6.6 แสดงตำแหน่งจุดต่ำสุดและสูงสุดที่เพิ่มขึ้นของภาพที่ 3 เมื่อเกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกัน	53
6.7 ภาพที่ใช้ทดสอบเมื่อมีการตัดบางส่วนของภาพ	54
6.8 แสดงผลการทดสอบของงานวิจัยที่เสนอ	55
6.9 แสดงผลการทดสอบในงานวิจัย [5]	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การรู้จำภาพวัตถุเป็นส่วนหนึ่งในระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ซึ่งถูกพัฒนา ขึ้นมาเพื่อให้ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์สามารถวิเคราะห์และรู้จำภาพวัตถุได้ โดยมีการพัฒนาตั้งแต่การวิเคราะห์ภาพข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน เช่น ภาพวัตถุที่ไม่เกิดการหมุน และการเปลี่ยนขนาด จนถึงกรณีที่ภาพวัตถุมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ภาพวัตถุเกิดการหมุน การเปลี่ยนขนาด และภาพวัตถุซึ่งเกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกัน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การรู้จำภาพวัตถุให้ผลการทดลองซึ่งไม่ดีเท่าที่ควร ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นแรงผลักดันให้ผู้ทำการวิจัยในสาขานี้ พยายามที่จะคิดค้นและหาวิธีการต่างๆ ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็น การใช้รหัสลูกโซ่(chain code)[7], ฟูเรียร์เคสคริปเตอร์(Fourier descriptors) [8], อินแวเรียนท์โมเมนต์(invariant moment) [9], ออโตรีเกรสซีฟโมเดล(autoregressive models) [10], โพลาร์ซิกเนเจอร์(polar signatures) [11] และวิธีซินแทกติก(syntactic approaches) [12] ในจำนวนหลักการเหล่านี้เป็นที่ทราบกันดีว่างานวิจัยในเอกสารอ้างอิง 8 – 12 เป็นวิธีการที่ไม่ขึ้นอยู่กับการหมุนและการย้ายตำแหน่ง งานวิจัยอื่นๆอาจจะมีการใช้ เส้นตรง มุม ในการรู้จำวัตถุแต่เมื่อวัตถุเกิดการหมุนการรู้จำก็จะเกิดปัญหา เพราะว่าตำแหน่งของมุมอาจคลาดเคลื่อนไปจากเดิมได้ เนื่องจากขอบภาพเกิดความคลาดเคลื่อน การรู้จำวัตถุในปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่จะทดสอบกับวัตถุ ที่เกิดการหมุน การย้ายตำแหน่ง และการเปลี่ยนขนาด แต่รูปร่างของวัตถุไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแต่ละวิธีการก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน อย่างเช่นการใช้ค่าสูงสุดของลักษณะเด่น [4] เป็นวิธีการที่ไม่ค่อยยุ่งยากและจะใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม แต่ไม่เหมาะสมกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้งและวิธีที่ทำการเก็บพิกัดจุดของขอบภาพ[5] ก็เป็นวิธีการที่เก็บข้อมูลที่มากเกินไปเนื่องจากเก็บพิกัดจุดขอบภาพทั้งหมด สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยหลักการ “ การรู้จำรูปทรงของวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยใช้คาตินัลสไปลน์และจินตคณิตอรรถวิทีม”

ในงานวิจัยนี้จะใช้ เซ็นทรอยด์โปรไฟล์(centroidal profile) และ ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian filter) หากจุดอ้างอิงสำหรับเลือกพิกัดจุดขอบภาพซึ่งจะนำไปทำ โค้งกระชับด้วยคาตินัลสไปลน์(Cardinal Splines) เพื่อใช้เก็บเป็นข้อมูลลักษณะเด่นของภาพ โดยข้อมูลภาพจะแบ่งเป็นส่วนข้อมูลพิเศษและพิกัดจุดภาพ โดยส่วนของข้อมูลพิเศษจะเป็นส่วนที่อธิบายมุม ตำแหน่ง และขนาดที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาและวิจัย วิธีการคำนวณหาจุดอ้างอิงบนเส้นขอบภาพที่เสถียรภาพต่อการหมุน การเปลี่ยนขนาดและการเปลี่ยนตำแหน่งของเส้นขอบภาพ
- 2) เพื่อศึกษาและวิจัย ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการรู้จำรูปทรงของวัตถุ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากหลักการและแนวทางการแก้ปัญหาที่กล่าวมา ทำให้คาดหวังได้ว่าจะสามารถคำนวณหาจุดอ้างอิงที่เกิดขึ้นบนเส้นขอบภาพของวัตถุที่มีเสถียรภาพได้ ด้วยเทคนิคของเซ็นทรอยแคว็ลโพรไฟล์ และ ตัวกรองเกาส์เซียน จากวิธีการดังกล่าวจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการหาจุดอ้างอิงโดยทั่วไป

1.4 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ใช้เซ็นทรอยแคว็ลโพรไฟล์และตัวกรองเกาส์เซียนในการหาจุดบนเส้นขอบภาพที่เสถียรต่อ การหมุน การเปลี่ยนตำแหน่งและการเปลี่ยนขนาดของภาพวัตถุ เพื่อใช้หาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพ ซึ่งจะนำไปทำโค้งกระชับด้วยคาคินัลสไปล์ และใช้จินีติกอัลกอริทึมมาช่วยในการจับคู่ลักษณะเด่นของส่วนข้อมูลพิเศษของต้นแบบรูปร่างของวัตถุกับส่วนข้อมูลพิเศษของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบที่เข้ากันได้ โดยส่วนข้อมูลพิเศษจะเป็นส่วนที่จะอธิบาย มุม ตำแหน่งและขนาดที่เปลี่ยนไปของภาพวัตถุ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษาและวิจัยจะมุ่งเน้นการจดจำภาพวัตถุในแบบสองมิติเท่านั้น โดยภาพวัตถุที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีลักษณะรูปทรงคงที่ ถ้าเปลี่ยนไปจะถือว่าเป็นคนละชิ้นกัน เช่นคิมที่กางจะเป็นคนละชิ้นกับคิมที่หุบขาเป็นต้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งเนื้อหาที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยไว้เป็นบทต่างๆ ด้วยกัน ทั้งหมด 6 บท ซึ่งพอที่จะกล่าวโดยสังเขปดังนี้

บทที่ 1 บทนำ จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยและเนื้อหาโดยรวมของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 การหาจุดอ้างอิงของขอบภาพวัตถุ ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการของ เซ็นทรอยแคว็ลโพรไฟล์และ ตัวกรองเกาส์เซียน ในการคำนวณหาจุดอ้างอิงของขอบภาพ สำหรับเลือกพิกัดจุด

ขอบภาพที่จะนำไปทำโค้งกระชับเพื่อใช้เป็นข้อมูลภาพต่อไป รวมถึงตัวอย่างการหาจุดอ้างอิงของภาพวัตถุในงานวิจัยนี้

บทที่ 3 การทำโค้งกระชับด้วยคณิตศาสตร์คิวบิกสไปไลน์ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการของ Hermite Interpolation, Cardinal Splines และ Kochanek-Bartels Splines สำหรับส่วนสุดท้ายก็จะเป็นตัวอย่างเป็นตัวอย่างของการทำโค้งกระชับภาพวัตถุด้วยคาคินัลสไปไลน์

บทที่ 4 จะกล่าวถึงคณิตศาสตร์ของการแปลงพิกัดจุดในระบบ 2 มิติ ซึ่งประกอบด้วย การเปลี่ยนตำแหน่ง(Translation), การหมุน(Rotation) และการเปลี่ยนขนาด(Scaling)

บทที่ 5 จะกล่าวถึง โครงสร้างการเก็บข้อมูลภาพ รวมถึงฟังก์ชันวัดค่าความแตกต่าง ที่จะใช้ในการรู้จำรูปทรงของวัตถุ

บทที่ 6 จะแสดงถึงประสิทธิภาพของผลการทดลองการรู้จำรูปทรงวัตถุของงานวิจัยที่นำเสนอ โดยใช้หลักการค้นหาแบบสมบูรณ์(Complete Search) และผลการทดลองของวิธีการ [5] และ บทสุดท้ายจะเป็นการสรุปประเด็นต่างๆในงานวิจัยนี้

บทที่ 2

การหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุ

2.1 เซ็นทรอยแควิลโพรไฟล์ (Centroidal Profile)

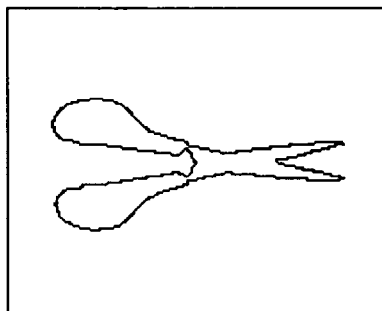
เซ็นทรอยแควิลโพรไฟล์ เป็นการคำนวณหาขอบเขตของภาพวัตถุในลักษณะ 1 มิติ โดยการคำนวณหาระยะทางจากจุดศูนย์กลางของภาพวัตถุ ไปยังทุกพิกัดจุดขอบภาพของวัตถุในลักษณะเรียงตามลำเส้นทางเดินของขอบภาพ ซึ่งก่อนที่จะคำนวณหาฟังก์ชันของระยะทางจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังพิกัดจุดขอบภาพนั้นจะต้องมีการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของภาพวัตถุก่อนซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.1

$$X_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$
$$Y_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.1)$$

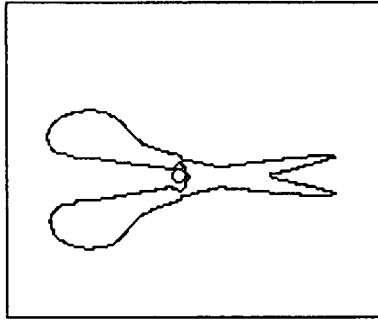
โดยที่ N คือ จำนวนพิกัดจุดขอบภาพ และ (x_i, y_i) แทนพิกัดจุดขอบภาพของวัตถุ

ขั้นตอนต่อไปนั้นจะเป็นการคำนวณหาฟังก์ชันของระยะทางจากจุดศูนย์กลางภาพ (X_c, Y_c) ไปยังพิกัดจุดขอบภาพ (x_i, y_i) ซึ่งแทนด้วยฟังก์ชัน $d(i)$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, N$ โดยการคำนวณหาค่าฟังก์ชัน $d(i)$ จะเริ่มต้นคำนวณที่จุดใด ๆ ของพิกัดจุดขอบภาพแล้วทำการคำนวณหาระยะทางทุก ๆ จุด โดยวนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งสำหรับฟังก์ชัน $d(i)$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

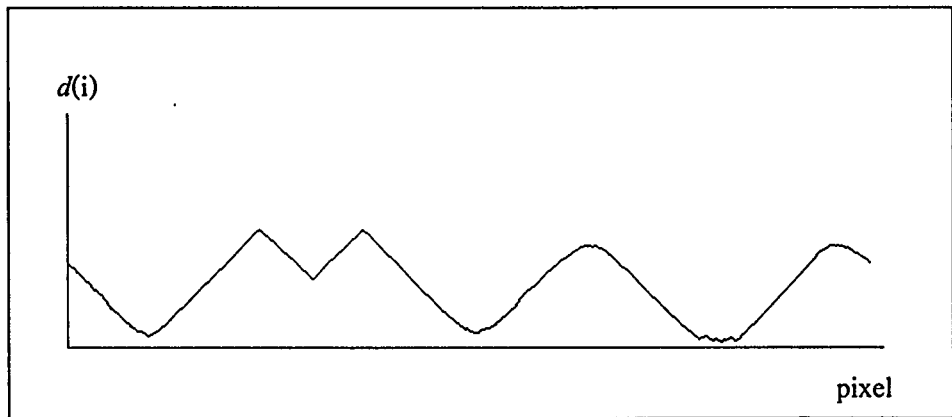
$$d(i) = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} \quad (2.2)$$



เอกสารนี้ **รูปที่ 2.1** แสดงภาพต้นแบบกรรไกร เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงจุดศูนย์กลางภาพของกรรไกร



รูปที่ 2.3 แสดงเซ็นทรอยแควิลโพไฟล์ของภาพกรรไกร

2.2 คณิตศาสตร์ของตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filtering)

สมการเกาส์เซียนเป็นสมการที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกรอง โดยมีค่า สเกล-สเปซ เป็นตัวควบคุมคุณสมบัติของการกรอง ถ้าค่า สเกล-สเปซ มีค่าน้อย ตัวกรองจะมีคุณสมบัติยอมให้ความถี่สูงผ่านไปได้ แต่ในทางตรงกันข้าม ค่า สเกล-สเปซ มีค่ามาก ตัวกรองก็จะมีคุณสมบัติเป็นตัวกีดความถี่สูง ซึ่งสมการของตัวกรองเกาส์เซียนถูกนิยามไว้ดังนี้

$$g(t, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

เมื่อ σ คือค่า สเกล-สเปซ ของตัวกรองเกาส์เซียน หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 t คือ ตัวแปรอิสระ

2.2.1 วิธีการกำหนดขนาดหน้าต่างของตัวกรองเกาส์เซียนสำหรับการประสาน

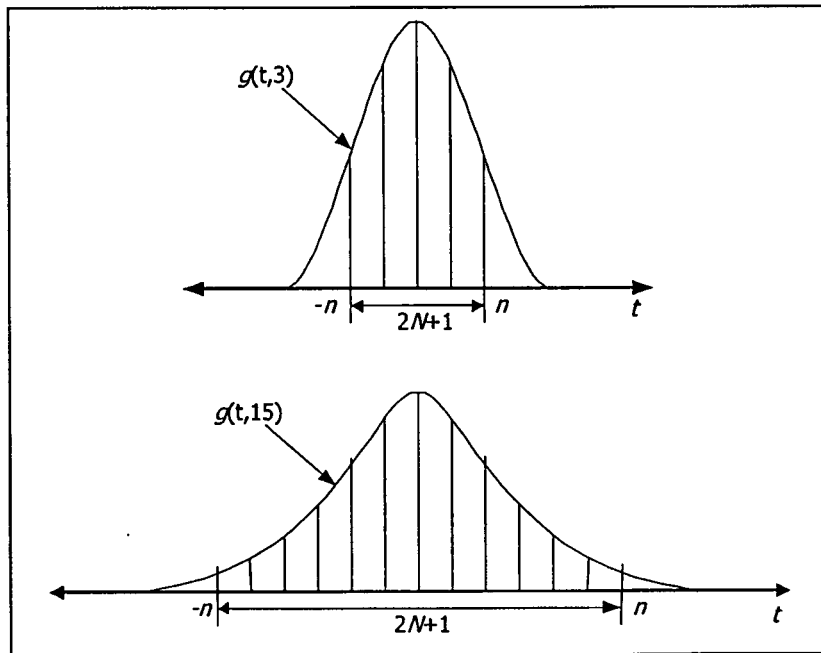
ตัวกรองเกาส์เซียนที่แสดงในสมการที่(2.3) เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง แต่ข้อมูลที่จะใช้ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผลร่วมกับตัวกรองเกาส์เซียน คือ ค่าฟังก์ชัน $d(i)$ ซึ่งเป็นข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นตัวกรองเกาส์เซียนจึงต้องถูกแซมพลิง (Sampling) ให้เป็นฟังก์ชันแบบไม่ต่อเนื่องด้วย ดังรูปที่ 2.4 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วขนาดของหน้าต่าง สำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเกาส์เซียนจะถูกกำหนดด้วยจำนวนแซมพลิง $2N+1$ โดยที่ N สามารถคำนวณได้จาก

$$N = \min\{N_1, N_2\} \quad (2.4)$$

เมื่อ
$$N_1 = \left\{ n : \text{Max} \sum_{i=-n}^n \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \leq 0.99 \right\} \quad (2.5)$$

$$N_2 = \lfloor 5\sigma \rfloor \quad (2.5)$$

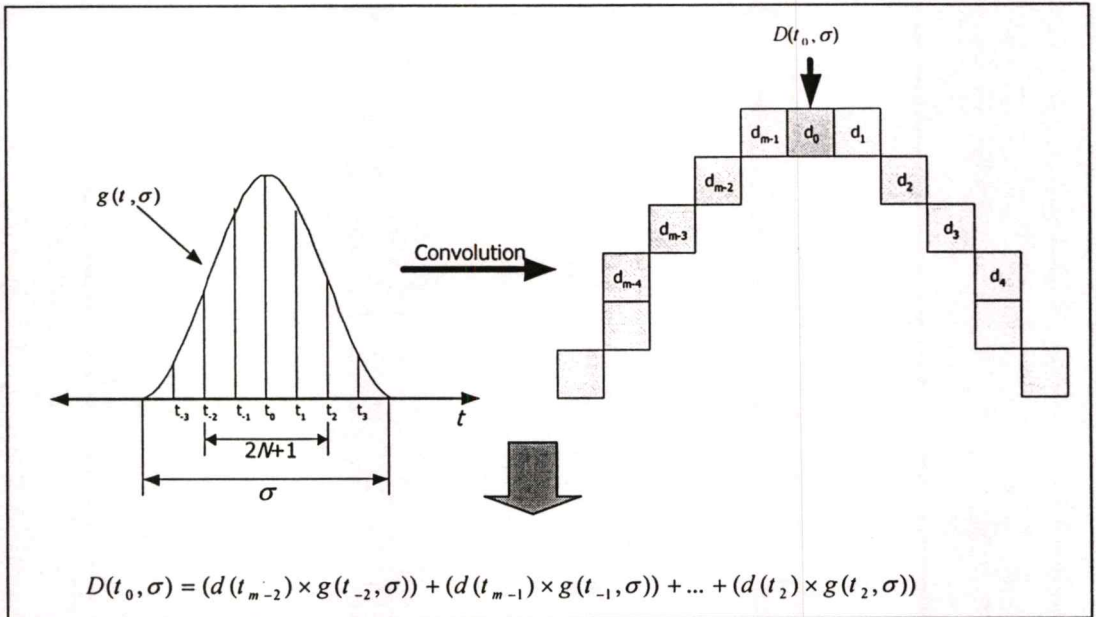


รูปที่ 2.4 แสดงหน้าต่างสำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเกาส์เซียนที่ค่า สเกล-สเปซต่างๆ

2.2.1 วิธีการประสานด้วยตัวกรองเกาส์เซียน

การประสานกราฟเซ็นทรอยเค็ด โพร ไฟล์ ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน มีวิธีการประสานดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยข้อมูลที่น่ามาประสานนั้น เป็นจุดที่อยู่บนกราฟเซ็นทรอยเค็ด โพร ไฟล์ ซึ่งถูกเก็บตำแหน่งของจุดไว้ในรูปแบบฟังก์ชัน $d(i)$ โดยมีตัวแปร t แทนตำแหน่งเส้นทางเดินของจุดนั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟ ส่วนตัวกรองเกาส์เซียนจะถูกแซมพลิง โดยมีขนาดหน้าต่างสำหรับเก็บค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเกาส์เซียนเท่ากับ $2N+1$ ผลที่ได้จากการประสานก็คือ ค่า $D(t, \sigma)$ ซึ่งจะถูกนำไปประมวลผลหาจุดอ้างอิงในขั้นต่อไป และสำหรับรูปที่ 2.5 ก็ได้แสดงวิธีการประสานกราฟเซ็นทรอยแเค็ลโพรไฟล์ ที่ตำแหน่ง t_0 ด้วยตัวกรองเกาส์เซียนประกอบเป็นตัวอย่างด้วย



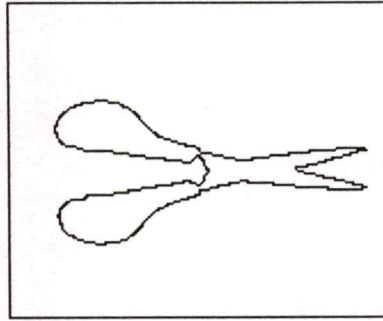
รูปที่ 2.5 ภาพแสดงวิธีการประสานกราฟเซ็นทรอยแเค็ลโพรไฟล์ ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน

2.3 วิธีการหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุ

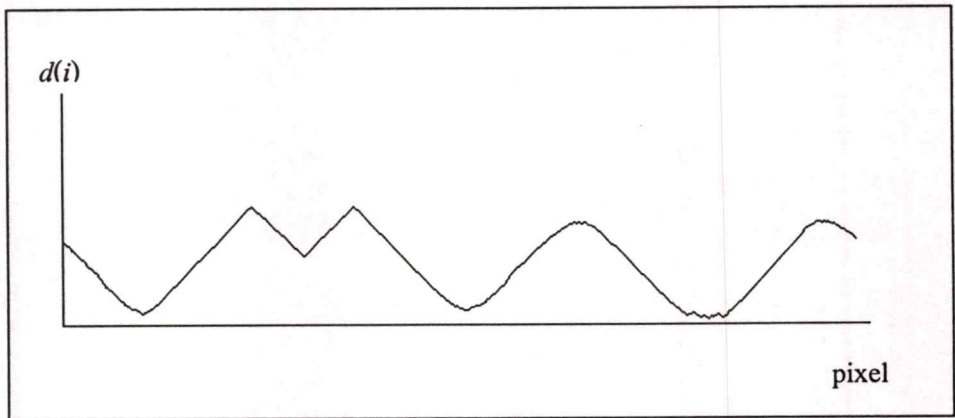
ภายหลังจากที่คำนวณหาเซ็นทรอยแเค็ลโพรไฟล์ ของภาพวัตถุแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการปรับกราฟของเซ็นทรอยแเค็ลโพรไฟล์ให้เรียบ ด้วยตัวกรองเกาส์เซียนเพื่อ ลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับขอบภาพวัตถุ โดยภาพวัตถุที่ใช้ทดลองมีขนาดไม่เกิน 300×300 จุด ซึ่งในที่นี้จะทำการเลือก $\sigma = 3$ โดยได้มาจากการทดลองเลือก σ เป็นค่าต่างๆ ทั้งนี้ถ้าเลือก σ มีค่ามากๆ อาจจะทำให้ส่วนเว้าส่วนโค้งของกราฟหายไป ในขณะที่ยิ่งเลือก σ มีค่าน้อยๆ สัญญาณรบกวนไม่สามารถกำจัดออกไปได้ เมื่อได้ลดสัญญาณรบกวนออกไปแล้วขั้นต่อไปก็จะมีเลือกจุดสูงสุด และจุดต่ำสุดของกราฟเพื่อใช้เป็นจุดที่จะนำไปหาจุดอ้างอิงในขั้นต่อไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5 สำหรับกระบวนการถัดไปจะทำการคำนวณว่าจุดต่ำสุดและสูงสุดที่เลือกนั้นถ้าแต่ละจุดอยู่ห่างกันเกิน 10% (ซึ่งค่า 10% นี้ได้มาจากการทดลองโดยค่าที่มากกว่า 10% จะทำให้ได้จุดอ้างอิงที่น้อยและทำให้ผลการทดลองให้ผลที่ถูกต้องน้อยลง ในขณะที่ถ้าเลือกค่าที่น้อยกว่า 10% จะทำให้ได้จุดอ้างอิงที่มากเกินไปรวมทั้งผลการทดลองก็ไม่ได้ดีกว่า) ของจำนวนจุดขอบภาพทั้งหมดก็จะคำนวณหาจุดกึ่งกลางของแต่ละคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

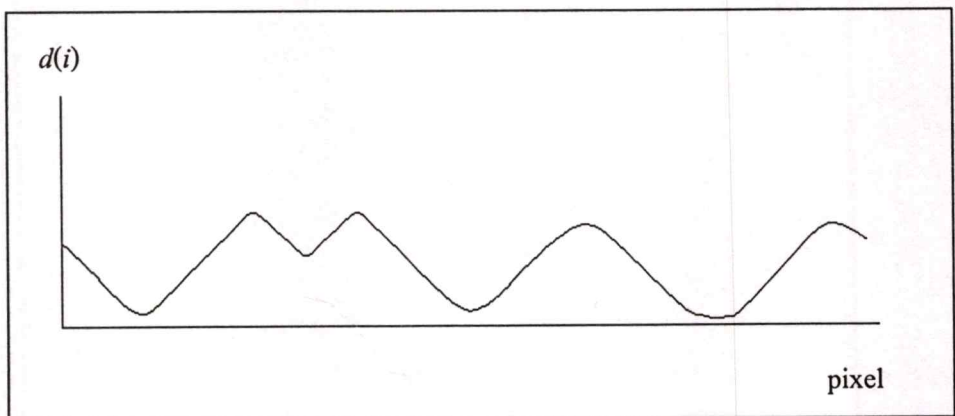
และทำการแบ่งครึ่งทุกจุดอีกครั้งหนึ่งเพื่อนำไปใช้เป็นจุดอ้างอิงของขอบภาพวัตถุต่อไป โดยรูปที่ 2.6 แสดงถึงขั้นตอนวิธีการหาจุดอ้างอิงของภาพกรรไกร



(ก) ภาพวัตถุกรรไกร

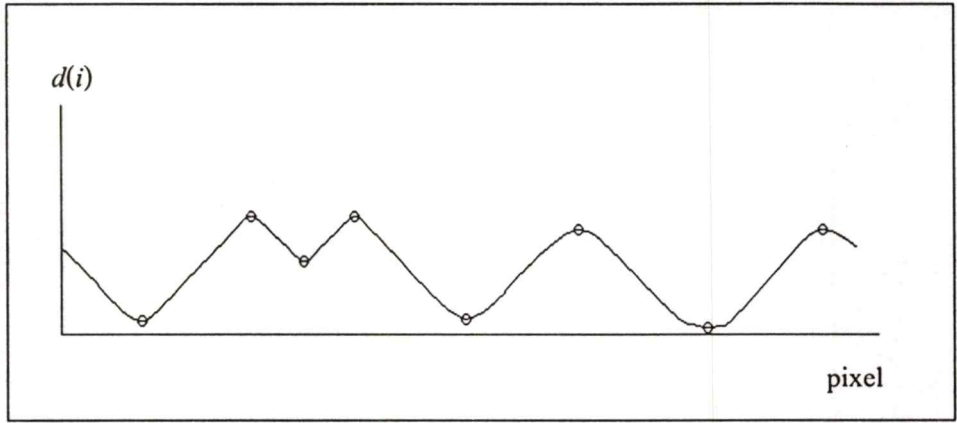


(ข) หาเส้นทรอยเคิลโปรไฟล์ของกรรไกร

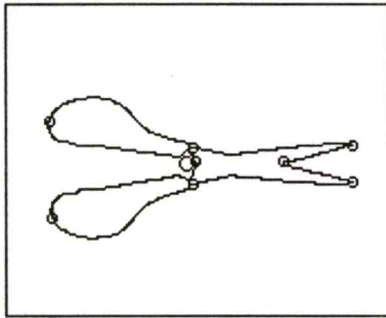


(ค) ต่อไปจะทำการปรับกราฟของเส้นทรอยเคิลโปรไฟล์ให้เรียบ ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน โดยเลือก $\sigma = 3$

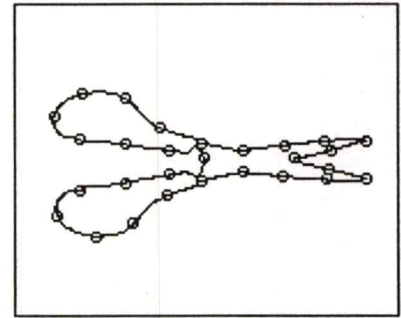
เอกสารนี้ **รูปที่ 2.6** แสดงถึงขั้นตอนวิธีการหาจุดอ้างอิงของภาพกรรไกร อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) เลือกจุดต่ำสุดและสูงสุดของกราฟ

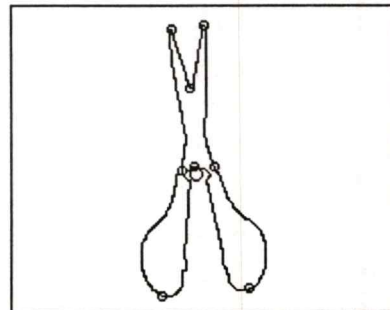
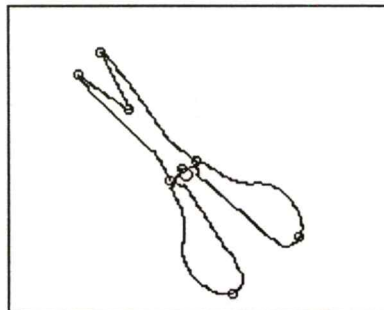
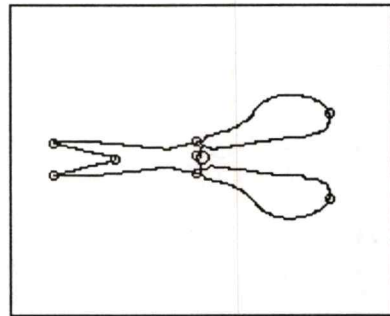
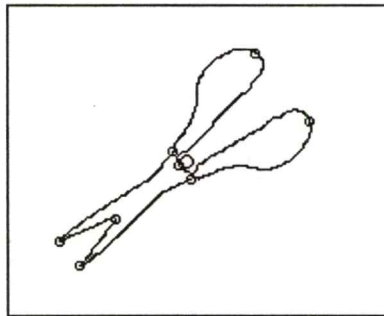


(จ) แสดงจุดต่ำสุดและสูงสุดบนภาพวัตถุ



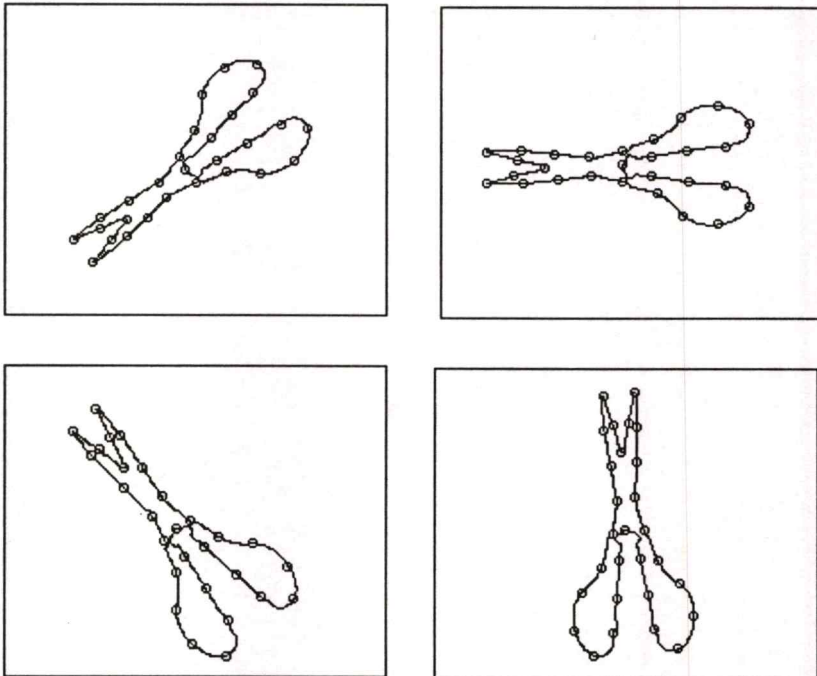
(ฉ) แสดงจุดอ้างอิงของภาพกรรไกร

รูปที่ 2.6 แสดงถึงขั้นตอนวิธีการหาจุดอ้างอิงของภาพกรรไกร(ต่อ)

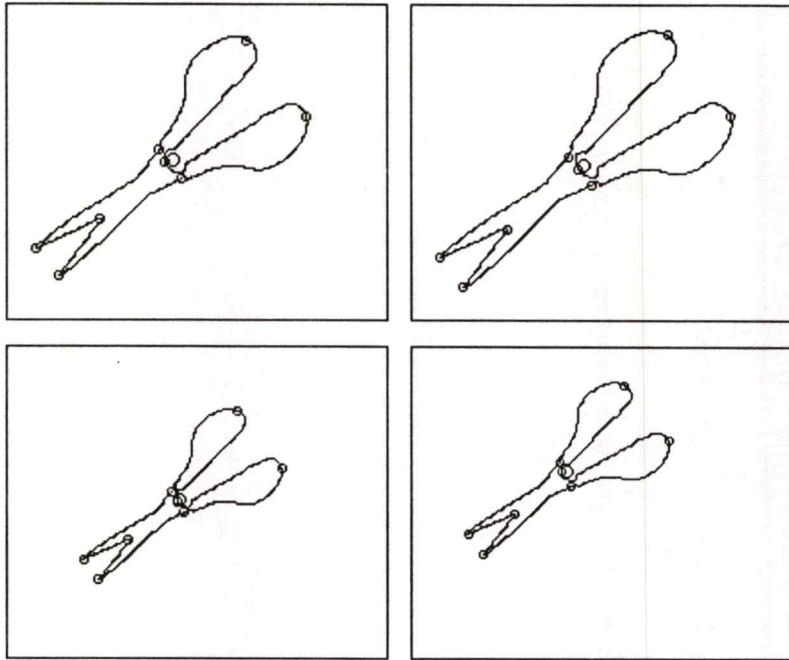


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 แสดงจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของเส้นทออยแค็ลโทรไฟล์ของภาพกรรไกรเมื่อเกิดการหมุน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

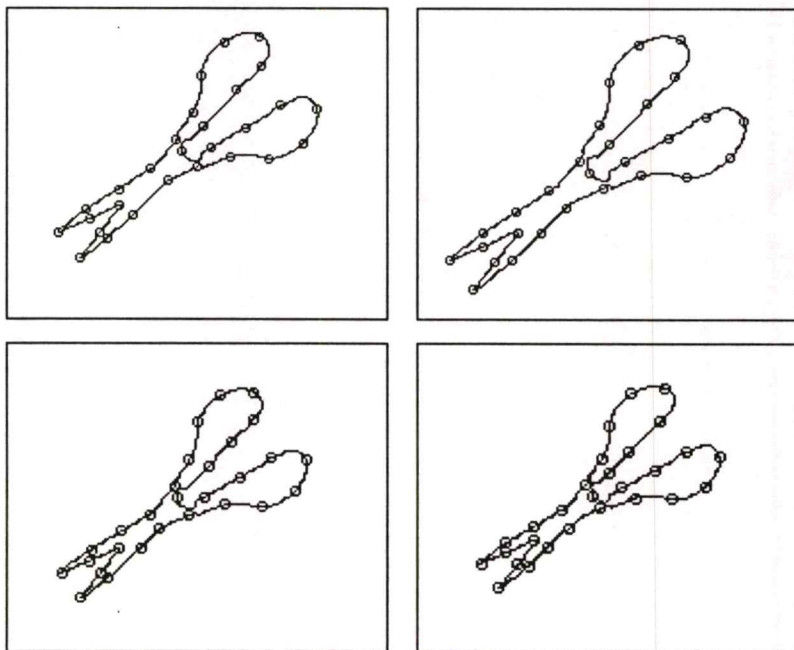
จากรูปที่ 2.7 เราจะเห็นได้ว่าจุดที่ได้จากจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของกราฟเส้นทออยแค็ตโพรไฟล์ของภาพกรรไกรเมื่อเกิดการหมุนเป็นมุมแตกต่างกัน ตำแหน่งของจุดที่ได้จะมีความเสถียร ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของวิธีการนี้ เพราะจะทำให้จุดอ้างอิงของภาพวัตถุที่ได้มีลักษณะเหมือนกัน (ดังรูปที่ 2.10) และ มีความเข้ากันได้ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำด้วย สิ่งสำคัญของการรู้จำรูปทรงของวัตถุก็คือลักษณะเด่นที่เราเลือกใช้ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่ได้นั้นจะต้องให้ลักษณะเด่นที่มีความเสถียรต่อ การหมุน การเปลี่ยนตำแหน่ง และการเปลี่ยนขนาด นอกจากนี้วิธีการของ เส้นทออยแค็ตโพรไฟล์ เป็นวิธีการที่การคำนวณก็ไม่ยุ่งยากมากและใช้เวลาก็ไม่มาก อีกทั้งกราฟที่สร้างขึ้นมาก็เป็นกราฟใน 1 มิติด้วย ซึ่งมีผลทำให้การลดสัญญาณรบกวนของกราฟโดยใช้ ตัวกรองเกาส์เซียนก็จะเป็นการประสานแบบใน 1 มิติด้วย จะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าการประสานใน 2 มิติ จึงมีผลทำให้ใช้นเวลาน้อยในการลดสัญญาณรบกวน สำหรับรูปที่ 2.10 แสดงจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของกราฟเส้นทออยแค็ตโพรไฟล์ของภาพกรรไกรเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด ซึ่งแสดงถึงความมีเสถียรของจุดของวิธีการเส้นทออยแค็ตโพรไฟล์ ซึ่งมีผลทำให้ได้จุดอ้างอิงที่ได้มีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 2.8 แสดงจุดอ้างอิงของภาพกรรไกรเมื่อเกิดการหมุนเป็นมุมต่างๆ



รูปที่ 2.9 แสดงจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของเส้นทออยเดิ้ลโพรไฟล์ของภาพกรไกรเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด



รูปที่ 2.10 แสดงจุดอ้างอิงของภาพกรไกรเมื่อกรไกรมีการเปลี่ยนขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทำโค้งกระชับด้วยคณิตศาสตร์คิวบิกสไปล์

3.1 คณิตศาสตร์คิวบิกสไปล์ (Cubic Splines)

หลักต่างๆของการสไปล์โดยส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการสร้างเส้นทางการสำหรับการภาพวัตถุที่เคลื่อนไหว หรือใช้สำหรับแสดงภาพวัตถุที่สร้างขึ้น แต่ในขณะที่การทำสไปล์อินเตอร์โพลชัน (Interpolation Splines) นิยมใช้ออกแบบรูปทรงของวัตถุ โพลีโนเมียลดีกรี 3 ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการทำงานและคำนวณได้เร็ว กว่า โพลีโนเมียลที่มีดีกรีสูงๆ ซึ่งคิวบิกสไปล์เองก็ใช้เวลาและหน่วยความจำในการคำนวณน้อย ในขณะที่ เมื่อเปรียบเทียบกับโพลีโนเมียลที่มีดีกรีน้อยกว่า คิวบิกสไปล์ค่อนข้างที่จะมีความยืดหยุ่นกว่าในการสร้างตัวแบบเส้นโค้งของรูปทรงต่างๆ

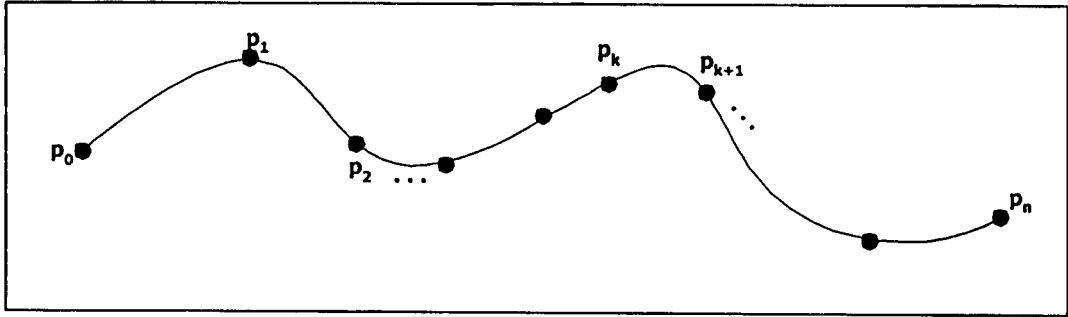
กำหนดให้เซตของจุดควบคุม(Control Points) ในการทำคิวบิกสไปล์อินเตอร์โพลชันเป็นการทำโค้งกระชับจุดต่างๆ ด้วยส่วนโค้งโพลีโนเมียลดีกรี 3 โดยลากผ่านจุดควบคุมทุกๆจุด สมมุติให้ว่ามีจุดควบคุมอยู่ $n+1$ จุด ซึ่งมีจุดโคออดิเนตในระบบสามมิติ ดังนี้

$$P_k = (x_k, y_k, z_k) \quad \text{เมื่อ } k = 0, 1, 2, \dots, n$$

สำหรับการทำโค้งกระชับจุดต่างๆด้วย คิวบิกสไปล์อินเตอร์โพลชัน แสดงดังรูป 4.1 โดยมีสมการในรูปตัวแปรพารามิเตอร์ดังนี้

$$\begin{aligned}x(u) &= a_x u^3 + b_x u^2 + c_x u + d_x \\y(u) &= a_y u^3 + b_y u^2 + c_y u + d_y \\z(u) &= a_z u^3 + b_z u^2 + c_z u + d_z\end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\text{เมื่อ } 0 \leq u \leq 1$$



รูปที่ 3.1 การทำโค้งกระชับด้วยคิวบิกสไปล์อินเทอโพลชันของจุดควบคุม $n+1$ จุด

ในกรณีที่มีการทำโค้งกระชับจุดควบคุม $n+1$ จุด ดังรูปที่ 4.1 ก็จะทำให้เกิดส่วนโค้ง n ส่วน ซึ่งจะต้องมี $4n$ สัมประสิทธิ์ ของสมการโพลิโนเมียลที่ต้องพิจารณา ซึ่งเราสามารถจับคู่จุดควบคุมแต่ละจุดภายในได้ทั้งหมด $n-1$ จุด โดยในแต่ละคู่ของจุดควบคุมเราจะต้องใช้เงื่อนไขในการแก้สมการ 4 เงื่อนไข ได้แก่ ส่วนโค้ง 2 ส่วนที่อยู่ทั้งสองข้างของจุดควบคุมนั้นจะต้องมีอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองเท่ากัน และแต่ละส่วนโค้งจะต้องลากผ่านจุดควบคุม จากหลักการข้างต้นจะทำให้เรามีสมการทั้งหมด $4n-4$ สมการ ที่จะแก้ปัญหาสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลทั้งหมด $4n$ ซึ่งไม่เพียงพอเราจะต้องหาเงื่อนไขเพิ่มเติมอีก จากจุดควบคุมแรก p_0 ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นโค้ง และเงื่อนไขอื่นๆจาก จุดควบคุม p_n ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของเส้นโค้ง เรายังคงต้องการเงื่อนไขเพิ่มเติมอีกอย่างน้อยอีก 2 เงื่อนไขจึงจะแก้สมการทั้งหมดเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ได้ วิธีแรกเราจะได้อีก 2 เงื่อนไขคือ กำหนดให้อนุพันธ์อันดับที่ 2 ณ จุด p_0 และ p_n เป็น 0 และเงื่อนไขอื่นๆอีก 2 เงื่อนไขคือ เรา จะทำการเพิ่มจุดควบคุมพิเศษอีก 2 จุดที่จุดปลายของจุดควบคุมเดิม คือ p_{-1} และ p_{n+1} ซึ่งจะทำให้มีเงื่อนไขสมการ $4n$ เงื่อนไขตามต้องการ

3.2 คิวบิกสไปล์อินเทอโพลชัน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการต่างๆของการทำ คิวบิกสไปล์อินเทอโพลชัน ที่นิยมใช้กันซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีดังนี้

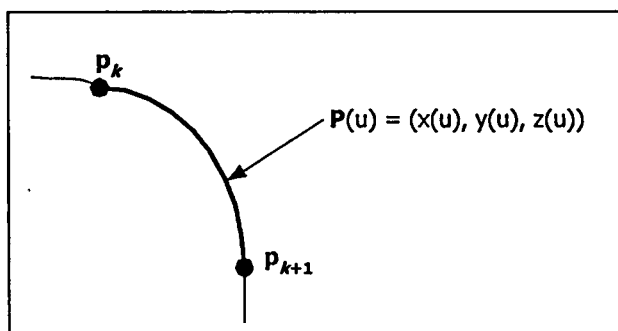
3.2.1 เฮอร์ไมท์ อินเทอโพลชัน (Hermite Interpolation)

สำหรับการทำ คิวบิกสไปล์วิธีนี้ จะเป็นการอินเทอโพลีท ส่วนของโพลิโนเมียลดีกรี 3 โดยใช้เงื่อนไข ความชัน ของจุดควบคุม ซึ่งอาจจะแตกต่างจาก วิธีการที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการของเฮอร์ไมท์สไปล์ (Hermite splines) นั้นขึ้นอยู่กับ การบังคับจุดปลายของจุดควบคุม ซึ่งมีหลักการดังนี้

กำหนดให้ $P(u)$ เป็นฟังก์ชันจุดที่อยู่ในรูปตัวแปรพารามตริกซ์ สำหรับส่วนของเส้นโค้ง ระหว่างจุดควบคุม p_k และ p_{k+1} แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยมีสมการเงื่อนไขสำหรับส่วนของเส้นโค้งดังนี้

$$\begin{aligned} P(0) &= p_k \\ P(1) &= p_{k+1} \\ P'(0) &= Dp_k \\ P'(1) &= Dp_{k+1} \end{aligned} \quad (2.2)$$

โดยที่ Dp_k และ Dp_{k+1} ก็คือค่าความชันของเส้นโค้ง ณ จุดควบคุม p_k และ p_{k+1} ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันจุด $P(u)$ สำหรับส่วนโค้งเฮอไมท์ระหว่างจุดควบคุม p_k และ p_{k+1}

เราสามารถเขียนสมการส่วนโค้งเฮอไมท์ที่สอดคล้องกับสมการ(4.1)

ได้ดังนี้

$$P(u) = au^3 + bu^2 + cu + d, \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (3.3)$$

โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$P(u) = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

และอนุพันธ์ฟังก์ชันจุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P'(u) = \begin{bmatrix} 3u^2 & 2u & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

โดยการแทนค่าจุดปลายซึ่งเราจะแทนค่า u ด้วยค่า 0 และ 1 ลงใน 2 สมการข้างต้น เราสามารถแสดงเงื่อนไขของเฮอไมท์ จากสมการ (3.3) ในรูปเมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} p_k \\ p_{k+1} \\ Dp_k \\ Dp_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

โดยเราสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของโพลิโนเมียลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} p_k \\ p_{k+1} \\ Dp_k \\ Dp_{k+1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_k \\ p_{k+1} \\ Dp_k \\ Dp_{k+1} \end{bmatrix} \\ &= M_H \cdot \begin{bmatrix} p_k \\ p_{k+1} \\ Dp_k \\ Dp_{k+1} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.7)$$

โดยที่ M_H คือ เมตริกซ์เฮอไมท์ ซึ่งเป็นค่าอินเวอร์สของเมตริกซ์เงื่อนไข จากสมการ(3.4) เราสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(u) = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \cdot M_H \cdot \begin{bmatrix} p_k \\ p_{k+1} \\ Dp_k \\ Dp_{k+1} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

สุดท้ายเราสามารถพิจารณาฟังก์ชันสำหรับเฮอไมท์เบสไลน์คิงฟังก์ชัน (Hermite blending function) โดยการคูณกระจายเมตริกซ์ในสมการ(4.8)และทำการรวบรวมสัมประสิทธิ์ที่สัมพันธ์กันเข้าด้วยกันแล้วเขียนให้อยู่ในรูปสมการโพลิโนเมียลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P(u) &= p_k (2u^3 - 3u^2 + 1) + p_{k+1} (-2u^3 + 3u^2) + Dp_k (u^3 - 2u^2 + u) \\ &\quad + Dp_{k+1} (u^3 - u^2) \\ &= p_k H_0(u) + p_{k+1} H_1(u) + Dp_k H_2(u) + Dp_{k+1} H_3(u) \end{aligned} \quad (3.9)$$

สำหรับโพลิโนเมียล $H_k(u)$ เมื่อ $k = 0, 1, 2, 3$ เรียกว่า เบสไลน์คิงฟังก์ชัน

เฮอไมท์โพลิโนเมียลเป็นวิธีการที่มีประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านภาพดิจิทัลซึ่งก็ไม่ใช่เรื่องยากที่เราจะคำนวณหาค่าความชันของเส้นโค้ง แต่ปัญหาทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟฟิกโดยส่วนใหญ่จะเป็นการสร้างเส้นโค้งสไปล์ โดยปราศจากการป้อนอินพุตค่าของความชันส่วนโค้ง หรือ ข้อมูลทางด้านเรขาคณิต ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการของ คาคินัลสไปล์ (Cardinal splines) และ โคชานเนค- บาร์เทลส์ สไปล์ (Kochanek-Bartels splines) ที่ไม่ต้องการป้อนอินพุตค่าของอนุพันธ์ของเส้นโค้ง ณ จุดควบคุม

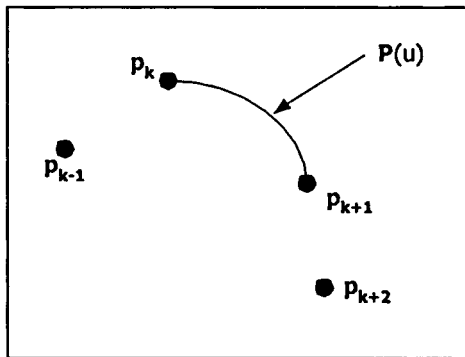
3.2.2 คาคินัลสไปล์ (Cardinal Splines)

สำหรับคาคินัลสไปล์ค่าความชัน ณ จุดควบคุมสามารถคำนวณได้จาก พิกัดจุดของจุดควบคุม 2 จุดที่อยู่ติดกัน

หลักการของคาคินัลสไปล์นั้นจะคำนวณบนจุดควบคุม 4 จุดใดๆที่อยู่ติดกัน โดยกำหนดให้จุดควบคุม 2 จุดที่อยู่ตรงกลางเป็นส่วนของจุดปลายและอีก 2 จุดจะถูกใช้สำหรับหาค่าความชันของจุดปลายทั้ง 2 กำหนดให้ $P(u)$ เป็นฟังก์ชันจุดที่อยู่ในรูปพารามेटริกสำหรับส่วนโค้งระหว่างจุดควบคุม p_k และ p_{k+1} ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยเราจะใช้จุดควบคุม 4 จุดได้แก่ p_{k-1} , p_k , p_{k+1} และ p_{k+2} เป็นเงื่อนไขสำหรับคาคินัลสไปล์ดังนี้

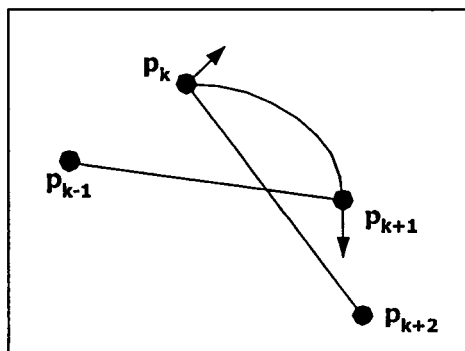
$$\begin{aligned}
 P(0) &= p_k \\
 P(1) &= p_{k+1} \\
 P'(0) &= \frac{1}{2}(1-t)(p_{k+1} - p_{k-1}) \\
 p'(1) &= \frac{1}{2}(1-t)(p_{k+2} - p_k)
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

ซึ่งความชัน ณ จุดควบคุม p_k และ p_{k+1} จะถูกกำหนดให้ได้สัดส่วนกับคอร์ด $\overline{p_{k-1}p_{k+1}}$ และ $\overline{p_k p_{k+2}}$ ตามลำดับดังรูปที่ 3.4 โดยพารามิเตอร์ t เรียกว่า เ็นชันพารามิเตอร์ (Tension parameter) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการทำได้งกระหับว่าเป็นแบบหย่อนหรือตึง ด้วยคาตินัลสไปลน์



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชัน $P(u)$ สำหรับส่วน โค้งคาตินัล-สไปลน์ระหว่างจุดควบคุม p_k และ p_{k+1}

รูปที่ 3.5 แสดงรูปทรงของเส้น โค้งคาตินอลสำหรับค่าเ็นชัน t ที่มีค่าน้อยๆและค่ามากๆ เมื่อ $t=0$ จะเป็นกลุ่มของเส้น โค้งที่เรียกว่า แคสมัล - โรม สไปล์ (Catmull - Rom splines) หรือ โอเวอร์ฮอส เซอร์ สไปล์ (Overhauser splines)



รูปที่ 3.4 เวกเตอร์สัมผัส ณ จุดปลายส่วนของคาตินัล-สไปลน์ที่ได้สัดส่วนกับคอร์ดด้วยจุดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธีการเดียวกันกับ เซอไมท์ สไปล์ เราสามารถเปลี่ยนสมการเงื่อนไข (3.10) แสดงอยู่ในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$P(u) = \begin{bmatrix} u^3 & u^2 & u & 1 \end{bmatrix} \cdot M_c \cdot \begin{bmatrix} p_{k-1} \\ p_k \\ p_{k+1} \\ p_{k+2} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

เมื่อ คาคินอลเมตริกซ์คือ

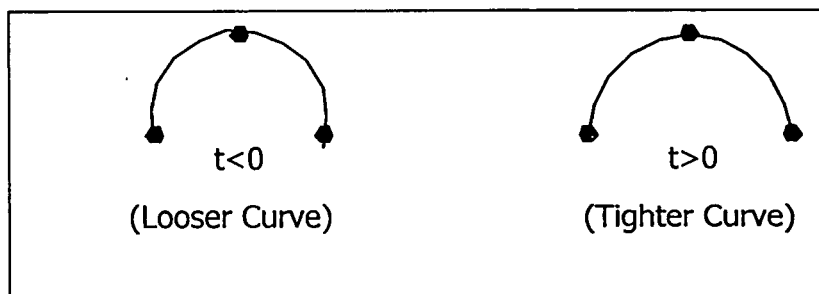
$$M_c = \begin{bmatrix} -s & 2-s & s-2 & s \\ 2s & s-3 & 3-2s & -s \\ -s & 0 & s & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

โดยที่ $s = (1-t)/2$

เมื่อกระจายสมการเมตริกซ์(4.11) เราจะได้สมการที่อยู่ในรูปสมการ โพลีโนเมียลดังนี้

$$\begin{aligned} P(u) &= p_{k-1}(-su^3 + 2su^2 - su) + p_k[(2-s)u^3 + (s-3)u^2 + 1] \\ &\quad + p_{k+1}[(s-2)u^3 + (3-2s)u^2 + su] + p_{k+2}(su^3 - su^2) \\ &= p_{k-1}CAR_0(u) + p_kCAR_1(u) + p_{k+1}CAR_2(u) + p_{k+2}CAR_3(u) \end{aligned} \quad (3.12)$$

โดยที่ $CAR_k(u)$ สำหรับ $k = 0,1,2,3$ คือ คาคินอลเบสฟังก์ชัน (Cardinal blending function)



รูปที่ 3.5 ผลของเท็นชันพารามิเตอร์บนรูปทรงสำหรับส่วนของคาคินัลสไปล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 โคชานเนค- บาร์เทลส์ สไปล์ (Kochanek-Bartels splines)

เป็นวิธีการอินตอโพลชันด้วยคิวบิกโพลิโนเมียลที่ขยายหรือพัฒนาต่อจากคาคินัลสไปล์ โดยการเพิ่มพารามิเตอร์ลงในสมการ เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนรูปทรงของส่วนโค้ง

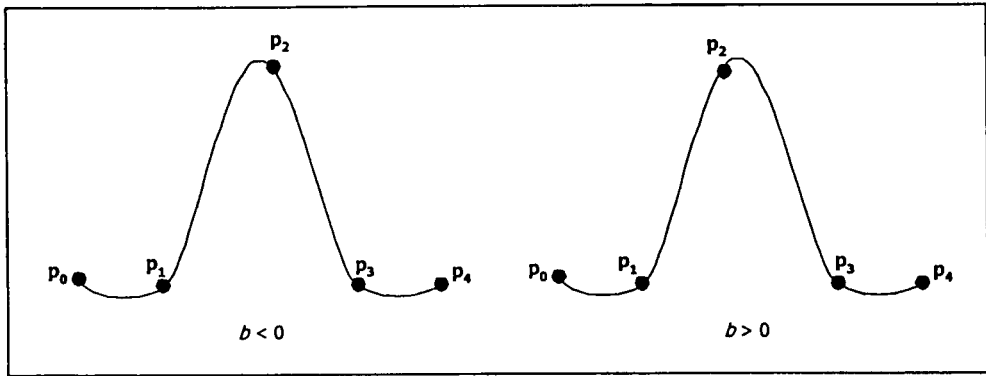
กำหนดให้ p_{k-1} , p_k , p_{k+1} และ p_{k+2} เป็นจุดควบคุมที่อยู่ติดต่อกัน เราสามารถนิยามสมการเงื่อนไขสำหรับส่วนโค้งโคชานเนค-บาร์เทลส์ ระหว่าง p_k และ p_{k+1} ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P(0) &= p_k \\
 P(1) &= p_{k+1} \\
 P'(0)_{in} &= \frac{1}{2}(1-t)[(1+b)(1-c)(p_k - p_{k-1}) \\
 &\quad + (1-b)(1+c)(p_{k+1} - p_k)] \\
 P'(1)_{out} &= \frac{1}{2}(1-t)[(1+b)(1+c)(p_{k+1} - p_k) \\
 &\quad + (1-b)(1-c)(p_{k+2} - p_{k+1})]
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

โดยที่ค่า t คือค่าเห็นชั้น พารามิเตอร์ b คือค่า ไบอัส พารามิเตอร์ (Bias parameter) และ c คือค่า คีอนทินิวอิทิ พารามิเตอร์ (continuity parameter)

ค่าเห็นชั้น พารามิเตอร์ t มีความหมายเช่นเดียวกับคาคินัลสไปล์ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมส่วนของเส้นโค้งว่าเป็นแบบหย่อนหรือตึง ส่วนค่าไบอัส พารามิเตอร์ b จะเป็นตัวปรับให้ส่วนโค้งมีการงอที่จุดปลาย ดังนั้นส่วนโค้งอาจจะมีการเอียงไปข้างหน้าหรือเอียงไปข้างหลังจุด ดังรูปที่ 3.6 ในขณะที่ พารามิเตอร์ c จะควบคุมความต่อเนื่องของเวกเตอร์สัมผัส ที่ข้ามขอบเขตของส่วนโค้ง ถ้า c ถูกกำหนด เป็นค่าที่ไม่ใช่ศูนย์ ก็คือ ความชันของส่วนโค้งจะไม่เกิดความต่อเนื่อง

โคชานเนค-บาร์เทลส์ สไปล์ นิยมใช้ออกแบบตัวแบบเส้นทางที่เคลื่อนไหวได้ ซึ่งหมายถึง การเลียนแบบการเคลื่อนที่ของวัตถุ ด้วยการกำหนดค่า c ที่ไม่เป็น 0

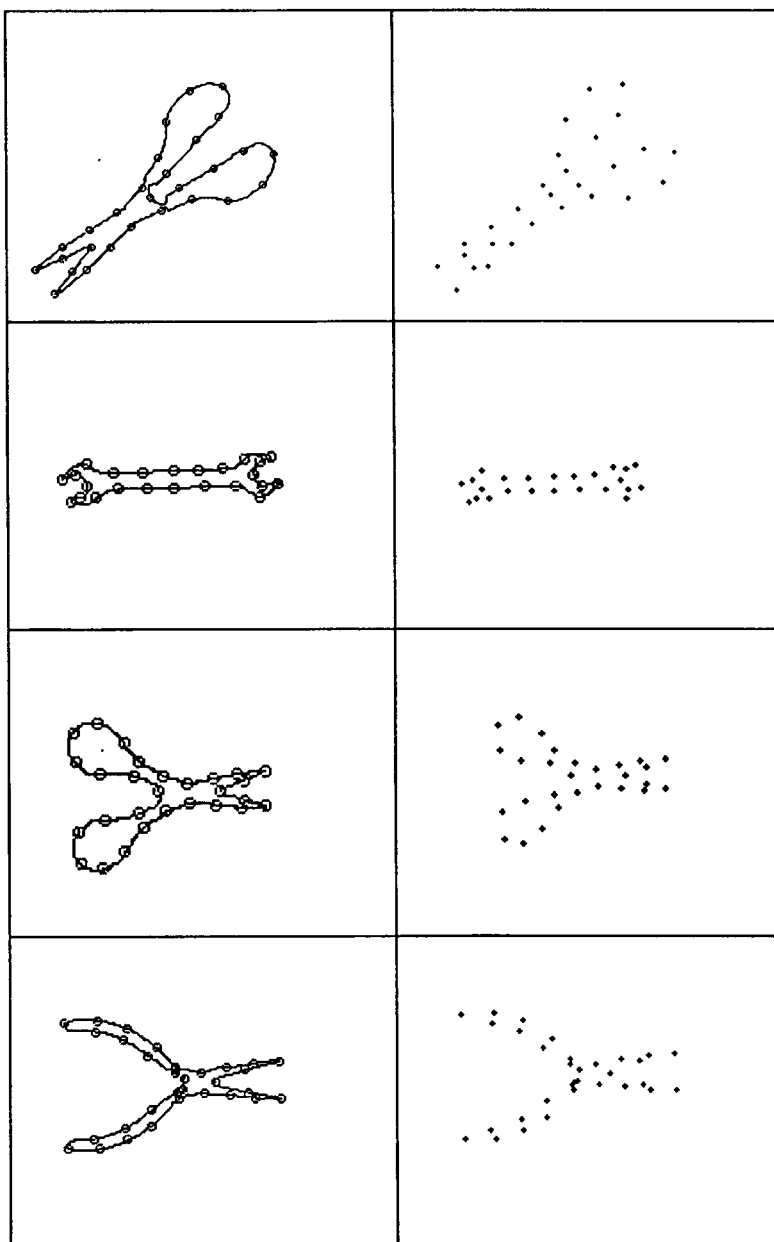


รูปที่ 3.6 ผลของไบอัสพารามิเตอร์บนรูปทรงของ โคชานเนค-บาร์เทิลล์ สไปล์

3.3 การทำโค้งกระชับด้วยคาน์ดิเนลสไปล์ (Cardinal splines curve fitting)

จากการทำโค้งกระชับทั้ง 3 แบบที่อธิบายไปนั้นเราจะเลือกใช้วิธีการของคาน์ดิเนลสไปล์ เนื่องจากสะดวกและเหมาะสมกว่าวิธีการอื่นๆ เพราะถ้าเป็นวิธีการเฮอไมท์สไปล์ นั้นจะต้องป้อนค่าความชันของจุดควบคุมเข้าไปด้วยเมื่อมีการทำโค้งกระชับซึ่งจะทำให้ไม่สะดวกในการทดลองครั้งนี้ ในขณะที่วิธีโคชานเนค-บาร์เทิลล์ สไปล์นั้น มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำโค้งกระชับมากกว่า รวมทั้งวิธีการโคชานเนค-บาร์เทิลล์ สไปล์จะเหมาะสมกับเส้นโค้งที่เคลื่อนไหวได้โดยการกำหนดค่า c ที่ไม่เป็น 0 ซึ่งในงานวิจัยนี้เราจะทำโค้งกระชับกับภาพวัตถุที่ไม่มีการเคลื่อนไหวของจุดเนื่องจากเราต้องการจุดข้อมูลภาพที่เสถียร ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่เราเลือกคาน์ดิเนลสไปล์ในการทำโค้งกระชับจุดอ้างอิงของภาพวัตถุ

ภายหลังจากที่เราได้คำนวณหาจุดอ้างอิงของขอบภาพวัตถุแล้วขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการนำจุดอ้างอิงของขอบภาพวัตถุมาทำโค้งกระชับ ด้วยคาน์ดิเนลสไปล์โดยใช้สมการ 3.12 ในการคำนวณ โดยกำหนดให้จุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุเป็นจุดควบคุมของการทำโค้งกระชับ สำหรับจุดอ้างอิงที่จะนำมาทำโค้งกระชับนั้นจากการทดลองจุดอ้างอิงของแต่ละภาพวัตถุที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีไม่เกิน 60 จุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทำโค้งกระชับ คือข้อมูลจุด (Data point) อยู่ในรูปพิกัด (x, y) รูปที่ 3.7 แสดงถึงการทำโค้งกระชับของภาพวัตถุตัวอย่าง ซึ่งพิกัดจุดที่ได้จากการทำโค้งกระชับ ก็จะถูกนำไปใช้เป็นลักษณะเด่นของภาพวัตถุ เพื่อใช้ในการรู้จำภาพวัตถุในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างของภาพวัตถุในการคำนวณหาจุดอ้างอิงของภาพวัตถุ(รูปทางซ้าย) และผลลัพธ์จากการนำจุดอ้างอิงของภาพวัตถุมาทำโค้งกระชับด้วยคาคินัสไปลน์(รูปทางขวา) เพื่อใช้เป็นลักษณะเด่นของภาพวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

เรขาคณิตของการแปลงพิกัดจุดแบบ 2 มิติ

4.1 พื้นฐานของการแปลงพิกัดจุด(Basic Transformations)

ในตอนนี้เราจะมาพิจารณาหลักการทั่วไปของการแปลงพิกัดจุดซึ่งได้แก่การเปลี่ยนตำแหน่ง (translation) การหมุน(rotation) และ การเปลี่ยนขนาด(resize) ของภาพวัตถุในระนาบ 2 มิติ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนตำแหน่ง(Translation)

การเปลี่ยนตำแหน่งจะเป็นสิ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในเส้นทางแบบเส้นตรงจากพิกัดตำแหน่งหนึ่งไปยังพิกัดตำแหน่งอื่นๆ การเปลี่ยนตำแหน่งในระนาบ 2 มิติจากจุดเริ่มต้น (x, y) ไปยังตำแหน่ง (x', y') โดยมีระยะของการเปลี่ยนตำแหน่งคือ t_x และ t_y ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1 คำนวณดังนี้

$$x' = x + t_x, y' = y + t_y \quad (4.1)$$

โดยที่ (t_x, t_y) เรียกว่า เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่ง(Translation vector) หรือ เวกเตอร์การเลื่อน (Shift vector)

เราสามารถแสดงสมการการเปลี่ยนตำแหน่ง(4.1) ในรูปของสมการเมตริกซ์โดยการใส่ เวกเตอร์คอลัมน์ในการที่จะแสดงพิกัดตำแหน่งและเวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งดังนี้

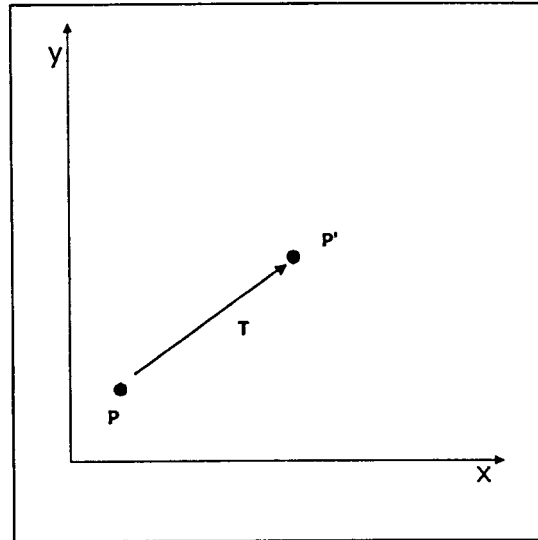
$$P = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_2 \end{bmatrix}, P' = \begin{bmatrix} x'_1 \\ y'_2 \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

ซึ่งเราสามารถเขียนเป็นสมการ การเปลี่ยนตำแหน่งในระนาบ 2 มิติในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$P' = P + T \quad (4.3)$$

บางครั้งสมการการแปลงในรูปเมตริกซ์อาจจะแสดงให้อยู่ในรูป พิกัดตำแหน่ง เวกเตอร์ แถวแทนเวกเตอร์คอลัมน์ก็ได้ ซึ่งในกรณีนี้เราอาจจะเขียนได้ว่า $P = [x \ y]$ และ $T = [t_x \ t_y]$

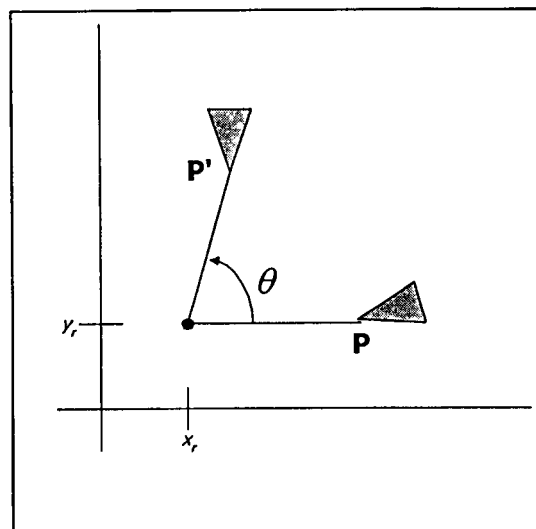
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนตำแหน่งจุดจาก ตำแหน่ง P ไปยังตำแหน่ง P' ด้วยเวกเตอร์
การเปลี่ยนตำแหน่ง T

4.1.2 การหมุน (Rotation)

การหมุนในระนาบ 2 มิติ จะถูกใช้กับวัตถุเพื่อแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งในลักษณะวงกลมในระนาบ xy ในการหมุนวัตถุนั้นเราจะทำการกำหนด มุมของการหมุน คือ θ และตำแหน่งของจุดที่เกิดการหมุน (x_r, y_r) ของวัตถุ ดังรูปที่ 4.2 ถ้าเรากำหนดมุมของการหมุนเป็นค่า บวก ก็จะทำให้เกิดการหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าเรากำหนดมุมของการหมุนเป็นค่าลบ จะทำให้เกิดการหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยการแปลงพิกัดสามารถอธิบายได้ว่าเป็นการหมุน รอบแกนหมุน (Rotation axis) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบ xy และผ่านจุดที่เกิดการหมุน



สิ่งแรกที่เราจะพิจารณาก็คือ สมการของการแปลงพิกัดสำหรับการหมุนของจุด P โดย หมุนรอบ จุดกำเนิด(origin) ความสัมพันธ์ของมุม และพิกัดตำแหน่งของจุดเริ่มต้น และจุดตำแหน่ง ที่เกิดการแปลงแสดงดังรูป 4.3 จากรูป r เป็นค่าคงที่ของระยะทางของจุดจากจุดกำเนิด ϕ เป็นมุม ของตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำมุมเท่ากับแกนอน และ θ เป็นมุมที่หมุนไป ซึ่งเราสามารถแสดงพิกัด ตำแหน่งที่เกิดการแปลงในรูปของมุม θ และ ϕ ดังนี้

$$\begin{aligned}x' &= r \cos(\phi + \theta) = r \cos \phi \cos \theta - r \sin \phi \sin \theta \\y' &= r \sin(\phi + \theta) = r \sin \phi \cos \theta + r \cos \phi \sin \theta\end{aligned}\quad (4.4)$$

โดยเราสามารถแสดงพิกัดตำแหน่งของจุดในรูปของพิกัดเชิงขั้วได้ดังนี้คือ

$$x' = r \cos \phi, \quad y' = r \sin \phi \quad (4.5)$$

โดยการแทนค่าสมการ(4.5) ลงในสมการ (4.4) เราจะได้สมการของการแปลงพิกัดสำหรับการหมุน จุด ณ. ตำแหน่งจุด (x, y) โดยหมุนไป θ รอบจุดกำเนิด:

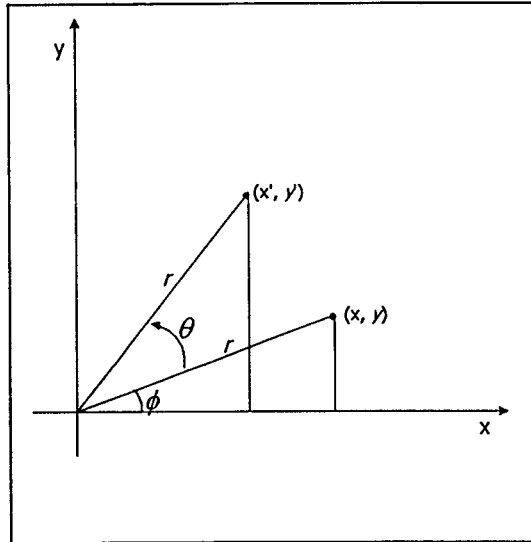
$$\begin{aligned}x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\y' &= x \sin \theta + y \cos \theta\end{aligned}\quad (4.6)$$

และสามารถแสดงในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้:

$$P' = R \cdot P \quad (4.7)$$

โดยที่เมตริกซ์การหมุนคือ:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

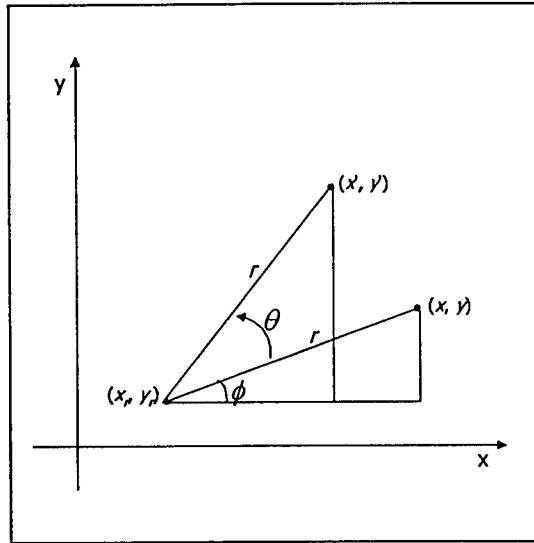


รูปที่ 4.3 แสดงความของมุมและตำแหน่งของจุดเมื่อเกิดการหมุน

สำหรับการหมุนของจุดรอบจุดใดๆที่ไม่ใช่จุดกำเนิด แสดงดังรูป 4.4 โดยการใช้หลักการตรีโกณเราสามารถแปลงสมการ(4.5) ในรูปของสมการการแปลงสำหรับการหมุนของจุดใดๆรอบจุดตำแหน่งที่หมุน (x_r, y_r) :

$$\begin{aligned} x' &= x_r + (x - x_r) \cos \theta - (y - y_r) \sin \theta \\ y' &= y_r + (x - x_r) \sin \theta + (y - y_r) \cos \theta \end{aligned} \quad (4.9)$$

โดยสมการที่(4.9) นั้นเราเรียกว่า สมการทั่วไปของการหมุน ซึ่งจะแตกต่าง จากสมการ(4.6) ตรงที่สมการ(4.6)นั้นเราทำการหมุนรอบจุดกำเนิด ในขณะที่สมการ(4.9) นั้นเราจะทำการหมุนรอบจุด (x_r, y_r) ใดๆ



รูปที่ 4.4 การหมุนจุดจากตำแหน่ง (x, y) ไปยังตำแหน่ง (x', y') โดยหมุนไป θ รอบจุด (x, y)

4.1.3 สเกลลิง (Scaling)

การแปลงพิกัดโดยใช้ สเกลลิง ก็คือ การเปลี่ยนขนาดของวัตถุ ซึ่งการคำนวณสามารถทำได้โดยการคูณค่าพิกัดตำแหน่ง (x, y) ทุกๆจุดด้วยค่า สเกลลิงแฟกเตอร์ (scaling factor) คือ s_x และ s_y ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งของการแปลง (x', y') :

$$x' = x \cdot s_x, \quad y' = y \cdot s_y \quad (4.10)$$

โดยที่ สเกลลิงแฟกเตอร์ s_x จะทำการเปลี่ยนขนาดของวัตถุในแนวแกน x ในขณะที่ s_y จะทำการเปลี่ยนขนาดของวัตถุในแนวแกน y ดังนั้นสมการ(4.5) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ใหม่ได้ดังนี้:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

หรือ

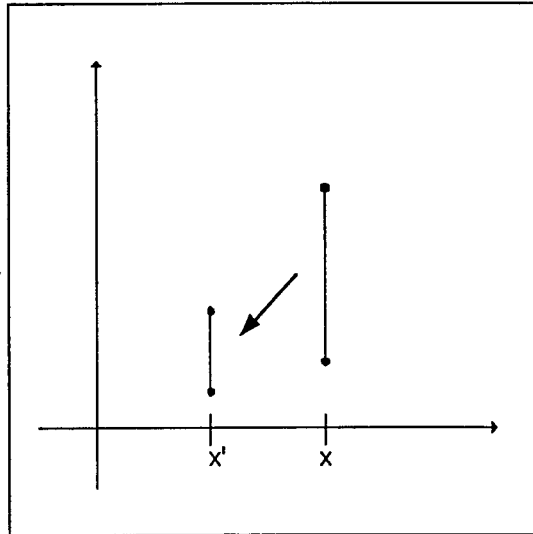
$$P' = S \cdot P \quad (4.12)$$

โดยที่ S คือสเกลลิงเมตริกซ์ ขนาด 2×2 ในสมการ(4.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า s_x และ s_y จะเป็นเลขจำนวนบวกใดๆ โดยที่ค่าที่น้อยกว่า 1 จะเป็นการลดขนาดวัตถุ และค่าที่มากกว่า 1 จะเป็นการขยายวัตถุให้ใหญ่ขึ้น ในขณะที่ถ้าเรากำหนดให้ s_x และ s_y เป็น 1 จะทำให้ขนาดของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งถ้า s_x และ s_y เท่ากันเราจะเรียกว่า ยูนิฟอร์มสเกลลิ่ง (uniform scaling) ในขณะที่ค่าถ้า s_x และ s_y ไม่เท่ากันจะถูกเรียกว่า ดิฟเฟอเรนเชียล สเกลลิ่ง (differential scaling) ซึ่งนิยมใช้กันในงานประยุกต์ต่างๆ

วัตถุที่ถูกทำการแปลงพิกัดด้วยสมการ(4.11) จะมีการเปลี่ยนทั้งขนาดและตำแหน่ง ซึ่งถ้าค่าสเกลลิ่งแฟกเตอร์มีค่าน้อยกว่า 1 จะเป็นการเคลื่อนวัตถุเข้าใกล้จุดกำเนิด ในขณะที่ถ้ามีค่ามากกว่า 1 จะเป็นการเคลื่อนตำแหน่งพิกัดจุดออกจากจุดกำเนิด จากรูปที่ 4.5 แสดง การเปลี่ยนของเส้นตรงโดยการกำหนดให้ $s_x = 0.5$ และ $s_y = 0.5$ แล้วแทนลงในสมการ(4.11) ซึ่งทั้งความยาวของเส้นตรงและระยะทางจากจุดกำเนิดจะถูกลดลงครึ่งหนึ่ง



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนขนาดของเส้นตรงด้วยสมการ(4.12) โดยการใช้ $s_x = 0.5$ และ $s_y = 0.5$ ซึ่งจะเป็นการลดขนาดและเคลื่อนเข้าหาจุดกำเนิด

เราสามารถควบคุมตำแหน่งของวัตถุที่เปลี่ยนขนาดได้โดยการเลือกตำแหน่งซึ่งเราเรียกว่า การตรึงจุด (fixed point) โดยจะเป็นส่วนที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการแปลงพิกัดด้วยการเปลี่ยนขนาด ถ้ากำหนดให้ (x_p, y_p) เป็นจุดที่ตรึง ที่เราเลือก ซึ่งเป็นจุดยอดใดๆของวัตถุ หรือ จุดศูนย์กลางของวัตถุ หรือ เป็นจุดอื่นๆ ดังรูปที่ 4.6 สำหรับรูปโพลิگون (polygon) ที่มีการเปลี่ยนขนาดก็จะมี ความเกี่ยวข้องกับจุดที่ถูกตรึง โดยการเปลี่ยนขนาดของระยะทางจากจุดยอดใดๆ ไปยังจุดที่ตรึง กำหนดให้ (x, y) เป็นจุดยอดใดๆ และ (x', y') เป็นพิกัดจุดที่เกิดการเปลี่ยนขนาด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้:

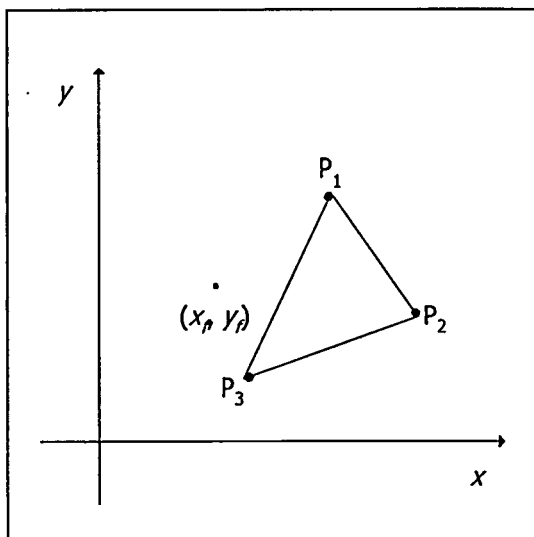
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x' = x_f + (x - x_f)s_x, \quad y' = y_f + (y - y_f)s_y \quad (4.13)$$

เราสามารถเขียนสมการการแปลงการเปลี่ยนขนาดใหม่โดยทำการแยกเทอมการบวกและการคูณได้ดังนี้:

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot s_x + x_f(1 - s_x) \\ y' &= y \cdot s_y + y_f(1 - s_y) \end{aligned} \quad (4.14)$$

โดยที่เทอมของการบวก $x_f(1 - s_x)$ และ $y_f(1 - s_y)$ คือ ค่าคงที่สำหรับทุกๆจุดของวัตถุ



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนขนาดซึ่งเกี่ยวข้องกับจุดที่ตรง (x_p, y_p) โดยระยะทางจากจุดยอดแต่ละจุดของโพลิกอนไปยังจุดจุดตรงจะถูกเปลี่ยนขนาดด้วยการคำนวณของสมการ(4.13)

การนำเอาจุดที่ถูกตรงมาคิดคำนวณด้วยนั้นก็คล้ายคลึงกับจุดที่ถูกหมุนของ สมการการหมุนภาพ ซึ่งเราสามารถกำหนดค่าเป็น เวกเตอร์คอลัมน์ โดยมีสมาชิกเป็น เทอมของค่าคงที่ในสมการ 4.14 และทำการบวกคอลัมน์เวกเตอร์เข้ากับ $S \cdot P$ ในสมการ 4.12 ซึ่งในหัวข้อถัดไปนั้นจะเป็นการอธิบายการสร้างสูตรเมตริกซ์สำหรับ สมการของการแปลงพิกัด ซึ่งอยู่ในรูปของการคูณเมตริกซ์

4.2 การแสดงการแปลงพิกัดจุดในรูปของเมตริกซ์ (Matrix Representation)

จากหัวข้อ 4.1 ที่ผ่านมาระเราจะเห็นว่าการแปลงพิกัดตำแหน่งแต่ละวิธีนั้น สามารถแสดงใน เอกสารนี้ **รูปทั่วไปของสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้:** เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P' = M_1 \cdot P + M_2 \quad (4.15)$$

โดยที่ P และ P' ก็คือ เวกเตอร์คอลัมน์ของพิกัดตำแหน่ง เมตริกซ์ M_1 เป็นเมตริกซ์ขนาด 2×2 ซึ่งเก็บแฟกเตอร์ของการคูณ และ M_2 มีสมาชิก 2 ตัวที่เก็บเทอมที่เกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง โดยที่สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งนั้น M_1 คือเมตริกซ์เอกลักษณ์ และสำหรับการหมุนหรือสเกลลิ่งนั้น M_2 ก็จะเก็บค่าเทอมของการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับจุดที่ทำการหมุนหรือจุดที่ตรึงสำหรับสเกลลิ่ง เราสามารถทำการรวมเทอมที่เกิดการคูณและเทอมที่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง ด้วยเรขาคณิต การแปลงพิกัดในรูป 2 มิติให้เป็นเมตริกซ์เพียงตัวเดียวโดยการกระจายเมตริกซ์ 2×2 ให้เป็นเมตริกซ์ 3×3 ซึ่งเราขอมให้มีการแสดงสมการของการแปลงทั้งหมดเป็น การคูณเมตริกซ์ ในการแสดงการแปลงพิกัดในแบบ 2 มิติเป็นการคูณเมตริกซ์นั้น เราสามารถแสดงแต่ละพิกัดตำแหน่งคาร์ทีเซียน (x, y) ด้วย พิกัดตำแหน่งโฮโมจีเนียส(homogeneous coordinate) 3 คู่ลำดับคือ (x_h, y_h, h) โดยที่

$$x = \frac{x_h}{h}, \quad y = \frac{y_h}{h} \quad (4.16)$$

ดังนั้นโดยทั่วไปการแสดงพิกัดตำแหน่งโฮโมจีเนียสสามารถเขียนเป็น $(h x, h y, h)$ สำหรับเรขาคณิตการแปลงพิกัดในแบบ 2 มิติ นั้นสามารถเลือกโฮโมจีเนียสพารามิเตอร์ h เป็นได้ทุกค่าที่ไม่ใช่ 0 ซึ่งอาจจะเป็นค่าจำนวนที่ไม่จำกัดสำหรับแสดงแต่ละจุดพิกัดตำแหน่ง (x, y) เมื่อเรากำหนดให้ $h = 1$ แต่ละจุดตำแหน่งอาจจะแสดงด้วยพิกัดตำแหน่งโฮโมจีเนียส $(x, y, 1)$ สำหรับค่าอื่นๆสำหรับพารามิเตอร์ h ก็สามารถเลือกได้

ในเทอมของ พิกัดตำแหน่งโฮโมจีเนียส ก็จะเป็นตัวแบบคณิตศาสตร์ที่จะถูกนำไปใช้แสดงสมการระบบคาร์ทีเซียน เมื่อจุดตำแหน่งในระบบคาร์ทีเซียน (x, y) ถูกเปลี่ยนเป็นจุดตำแหน่งโฮโมจีเนียสคือ (x_h, y_h, h) ซึ่งจากสมการจะมี x และ y โดยที่ $f(x, y) = 0$ ซึ่งได้มาซึ่งสมการโฮโมจีเนียส ในรูปสามพารามิเตอร์คือ x_h, y_h และ h นั่นก็หมายความว่า ถ้าแต่ละพารามิเตอร์ถูกแทนด้วยค่า v ครั้ง ซึ่งค่า v ก็จะเป็นตัวประกอบของสมการ ในการแสดงตำแหน่งในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสนั้นเราจะขอมให้สมการแปลงพิกัดเชิงเรขาคณิตทั้งหมดเป็นการคูณของเมตริกซ์ ซึ่งพิกัดทั้งหมดจะแสดงในลักษณะเวกเตอร์คอลัมน์ที่มี 3 สมาชิก และการคำนวณก็จะเป็นในลักษณะเมตริกซ์ขนาด 3×3 โดยสมการการเปลี่ยนตำแหน่งจะเขียนได้ว่า:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

หรือ

$$P' = T(t_x, t_y) \cdot P \quad (4.18)$$

โดย $T(t_x, t_y)$ เป็นเมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งขนาด 3×3 ในสมการ 4.17 ซึ่งอินเวส ของเมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งสามารถหาได้โดยการแทนค่า พารามิเตอร์ t_x และ t_y ด้วยค่า $-t_x$ และ $-t_y$

ในทำนองเดียวกันสมการการแปลงพิกัดสำหรับการหมุน ที่ทำการหมุนรอบพิกัดจุดกำเนิด เขียนได้ว่า:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

หรือเขียนเป็น

$$P' = R(\theta) \cdot P \quad (4.20)$$

เมื่อ $R(\theta)$ เป็นตัวโอเปอเรเตอร์ของการแปลงพิกัดสำหรับการหมุนของเมตริกซ์ขนาด 3×3 ในสมการ 4.19 โดยมี θ เป็นพารามิเตอร์สำหรับการหมุนภาพ ซึ่งอินเวสเมตริกซ์ก็สามารถคำนวณได้โดยการแทน θ ด้วย $-\theta$

สุดท้ายก็คือ การแปลงพิกัดสำหรับสเกลลิ่ง ที่สัมพันธ์กับพิกัดจุดกำเนิดซึ่งสามารถแสดงอยู่ในรูปการคูณเมตริกซ์ดังนี้:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P' = S(s_x, s_y) \cdot P \quad (4.22)$$

โดยที่ $S(s_x, s_y)$ เป็นเมตริกซ์ขนาด 3×3 ในสมการ 4.21 ของพารามิเตอร์ s_x และ s_y ในการหาอินเวอร์สเมตริกซ์สำหรับเมตริกซ์สเกลลิ่ง สามารถทำได้โดยการแทนพารามิเตอร์เหล่านี้ด้วย $1/s_x$ และ $1/s_y$

4.3 การรวมการแปลงพิกัดจุด (Composite Transformations)

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเป็นการแสดงสมการในรูปสมการเมตริกซ์ โดยเราสามารถสร้างเมตริกซ์ลำดับของการแปลงพิกัดได้ซึ่งก็คือ เมตริกซ์ของการรวมการแปลงพิกัดจุด (composite transformation matrix) โดยการคำนวณผลคูณเมตริกซ์ของวิธีการแปลงพิกัดแต่ละวิธี ซึ่งรูปแบบผลคูณของเมตริกซ์การแปลงเราเรียกว่า คอนแคททิเนชัน (concatenation) หรือ การรวม (composition) ของเมตริกซ์ สำหรับเมตริกซ์คอลัมน์ที่แสดงถึงพิกัดตำแหน่ง เราสามารถสร้างรูปแบบการรวมการแปลงพิกัดได้โดยการคูณเมตริกซ์ตามลำดับจากขวาไปซ้าย ซึ่งขั้นตอนการคูณเมตริกซ์ที่เราทำอย่างต่อเนื่องในการหาผลคูณของเมตริกซ์การแปลงสามารถดำเนินการได้ดังนี้

การเปลี่ยนตำแหน่ง (Translation)

ถ้ากำหนดเวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่ง 2 ครั้งที่ทำอย่างต่อเนื่องกันคือ (t_{x1}, t_{y1}) และ (t_{x2}, t_{y2}) ถูกประยุกต์เข้ากับพิกัดตำแหน่ง P ซึ่งสุดท้ายเราจะได้ตำแหน่งของการแปลงคือ P' ที่สามารถคำนวณได้ดังนี้:

$$\begin{aligned} P' &= T(t_{x2}, t_{y2}) \cdot \{T(t_{x1}, t_{y1}) \cdot P\} \\ &= \{T(t_{x2}, t_{y2}) \cdot T(t_{x1}, t_{y1})\} \cdot P \end{aligned} \quad (4.23)$$

โดยที่ P และ P' ก็คือ เวกเตอร์คอลัมน์ในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส เราสามารถปรับปรุงผลลัพธ์นี้ได้โดยการคำนวณผลคูณของเมตริกซ์สำหรับสองกลุ่มที่สัมพันธ์กันแต่บางครั้งการรวมเมตริกซ์การแปลงพิกัด สำหรับลำดับของการเปลี่ยนตำแหน่งคือ

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & t_{x2} \\ 0 & 1 & t_{y2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_{x1} \\ 0 & 1 & t_{y1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_{x1} + t_{x2} \\ 0 & 1 & t_{y1} + t_{y2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

$$T(t_{x_2}, t_{y_2}) \cdot T(t_{x_1}, t_{y_1}) = T(t_{x_1} + t_{x_2}, t_{y_1} + t_{y_2}) \quad (4.25)$$

ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนตำแหน่ง 2 ครั้งต่อเนื่องกัน โดยการบวก

การหมุน(Rotations)

สำหรับกระบวนการหมุนที่เกิดขึ้น 2 ครั้งต่อเนื่องกัน ที่จุด P สามารถคำนวณหาตำแหน่งของการแปลงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P' &= R(\theta_2) \cdot \{R(\theta_1) \cdot P\} \\ &= \{R(\theta_2) \cdot R(\theta_1)\} \cdot P \end{aligned} \quad (4.26)$$

โดยการคูณเมตริกซ์การหมุน 2 เมตริกซ์เข้าด้วยกัน เราสามารถเปลี่ยนแปลงกระบวนการหมุนที่เกิดขึ้น 2 ครั้งต่อเนื่องกันด้วยการบวกคือ:

$$R(\theta_2) \cdot R(\theta_1) = R(\theta_1 + \theta_2) \quad (4.27)$$

ดังนั้นสำหรับพิกัดจุดตำแหน่งภายหลังการหมุนสามารถคำนวณได้ดังนี้:

$$P' = R(\theta_1 + \theta_2) \cdot P \quad (4.28)$$

สเกลลิง (Scaling)

การคูณค่าเมตริกซ์การแปลงพิกัด สำหรับกระบวนการสร้าง การทำสเกลลิงต่อเนื่องกัน 2 ครั้ง เราจะได้การรวมเมตริกซ์สเกลลิงดังนี้:

$$\begin{bmatrix} s_{x_2} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_{x_1} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y_1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{x_1} \cdot s_{x_2} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y_1} \cdot s_{y_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

หรือ

$$S(s_{x_2}, s_{y_2}) \cdot S(s_{x_1}, s_{y_1}) = S(s_{x_1} \cdot s_{x_2}, s_{y_1} \cdot s_{y_2}) \quad (4.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งผลลัพธ์ของเมตริกซ์ในกรณีนี้ จะเป็นตัวบ่งบอกถึงกระบวนการสเกลลิ่งที่เกิดการคูณ
อย่างต่อเนื่อกัน โดยถ้าเราจะเปลี่ยนขนาดของวัตถุไป 3 เท่าเราจะต้องมีการดำเนินการ 2 ครั้ง ซึ่ง
ผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายจะมีการคูณเกิดขึ้น 9 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การรู้จำรูปทรงของวัตถุ

5.1 ขั้นตอนของการรู้จำภาพวัตถุ

สำหรับขั้นตอนของการรู้จำภาพวัตถุมีกระบวนการที่สำคัญอยู่ 2 กระบวนการคือ กระบวนการประมวลผลหาลักษณะเด่นของเส้นขอบภาพวัตถุ และกระบวนการประมวลผลจับคู่ลักษณะเด่นเพื่อจำภาพวัตถุ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

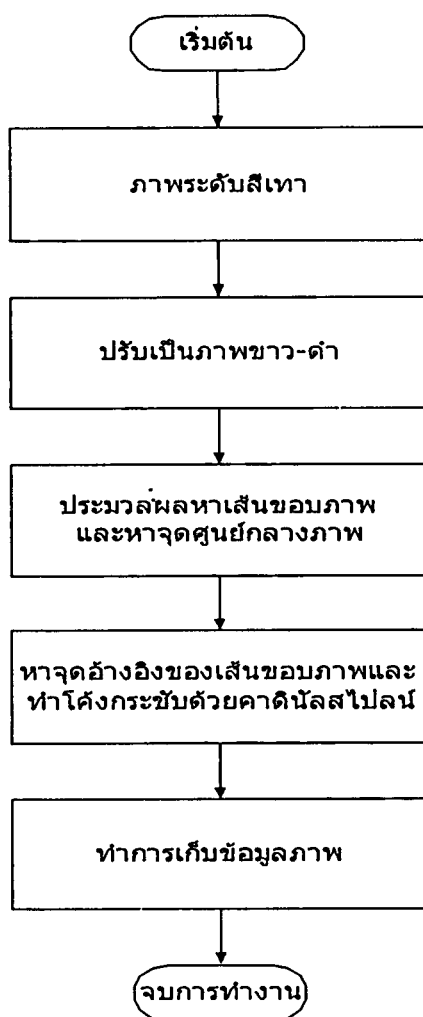
1. การคำนวณหาลักษณะเด่นของเส้นขอบภาพ

ในการคำนวณหาลักษณะเด่นของเส้นขอบภาพ มีลำดับขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มจากการนำภาพระดับสีเทา (Gray Level Image) ที่ได้จากกล้องดิจิทัลที่มีขนาดภาพไม่เกิน 300×300 มาทำการแปลงเป็นภาพขาว-ดำ แล้ว ทำการหาเส้นขอบภาพวัตถุโดยใช้วิธีการติดตามขอบภาพ (contour following) หลังจากนั้นจึงนำเอาเส้นขอบภาพที่ได้มาทำการหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพและนำจุดอ้างอิงไปทำโค้งกระชับด้วยคาตินัลสไปไลน์ เพื่อใช้เป็นลักษณะเด่นของภาพวัตถุแล้วทำการเก็บข้อมูลของแต่ละภาพวัตถุไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผลจับคู่ลักษณะเด่นต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 5.1 และ 5.2

2. การประมวลผลจับคู่ลักษณะเด่นเพื่อจดจำภาพวัตถุ

ภายหลังจากที่มีการหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุและทำโค้งกระชับด้วยคาตินัลสไปไลน์แล้วเราจะนำข้อมูลภาพที่ได้มาทำการจัดเก็บเป็น คั่นแบบรูปร่างของวัตถุ (Model Shapes) โดยแต่ละข้อมูลภาพจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลพิเศษและส่วนข้อมูลจุดภาพ โดยส่วนของข้อมูลพิเศษ จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 ค่าได้แก่ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังจุดภาพ (l) มุมที่กระทำกับแนวแกนอน (θ) และ ตำแหน่งของจุดภาพในส่วนของข้อมูลจุดภาพ (p) โดยแต่ละภาพวัตถุจะเก็บไม่เกิน 10 ค่า และสำหรับส่วนข้อมูลจุดภาพแต่ละจุดประกอบด้วยค่าพิกัด (x, y) ซึ่งจะเก็บไม่เกิน 60 จุด โดยทั้งคั่นแบบรูปร่างของวัตถุแต่ละภาพวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ (Input Shape) จะเก็บข้อมูลภาพโดยใช้โครงสร้างข้อมูลภาพเดียวกัน

ในการประมวลผลจับคู่ลักษณะเด่นเพื่อดูถึงประสิทธิภาพในการรู้จำภาพวัตถุในงานวิจัยที่เสนอนี้ เราจะใช้การค้นหาแบบสมมุติฐาน ในการประมวลผลจับคู่ลักษณะเด่นที่เข้ากันได้ของ รูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบกับคั่นแบบรูปร่างของวัตถุ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพของต้นแบบรูปร่างของวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ

5.2 การหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุและการทำโด่งกระชับด้วยคาตินัลสไปโรน

ภายหลังจากที่เราทำการหาเส้นขอบภาพของวัตถุแล้วกระบวนการถัดไปก็คือ เราจะคำนวณหาจุดศูนย์กลางภาพโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$X_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$Y_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (5.1)$$

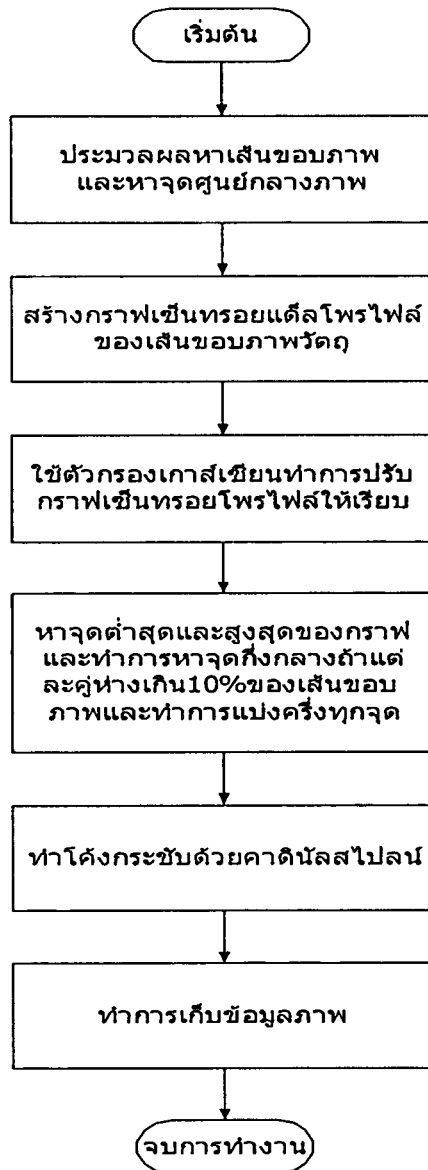
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ N คือ จำนวนพิกัดจุดขอบภาพ และ (x_i, y_i) แทนพิกัดจุดขอบภาพของวัตถุ

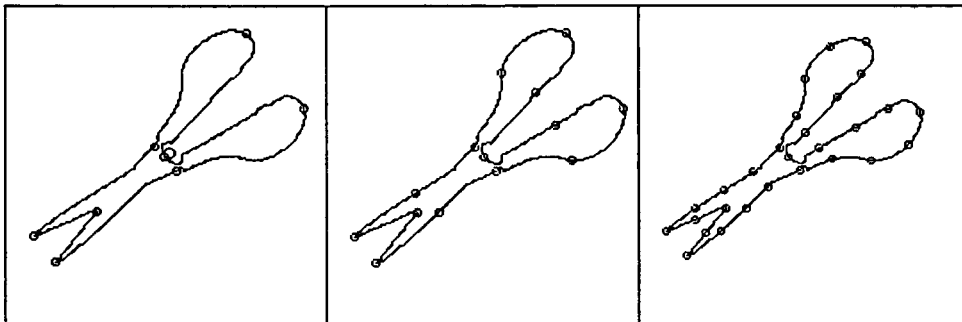
และใช้สมการ 3.2 ในการคำนวณหาเส้นทอรอยแควิล โพรไฟล์เพื่อหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของกราฟสำหรับใช้หาจุดอ้างอิงต่อไป แต่เนื่องจากขอบภาพวัตถุอาจจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นซึ่งมีผลทำให้กราฟของเส้นทอรอยแควิล โพรไฟล์ มีลักษณะไม่ราบเรียบและส่งผลต่อการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของกราฟเส้นทอรอยแควิล โพรไฟล์ ได้จุดที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นเราจึงนำกราฟเส้นทอรอยแควิล โพรไฟล์ไปปรับให้เรียบ โดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียนตามสมการ 2.3 โดยเลือกค่า $\sigma = 3$ ซึ่งเป็นค่าที่ได้มาจากการทดลอง การที่เราเลือกค่า σ น้อยๆ เพราะว่าถ้าเลือกค่า σ มากๆอาจจะทำให้ส่วนเว้าส่วนโค้งของกราฟที่สำคัญหายได้รวมทั้งต้องใช้เวลาในการคำนวณ ในขณะที่ถ้าเลือกค่า σ น้อยมากๆ อาจจะทำให้กราฟไม่ราบเรียบเท่าที่ควร

กระบวนการถัดไปหลังจากคำนวณหาจุดต่ำสุดและสูงสุดของกราฟเส้นทอรอยแควิล โพรไฟล์ ซึ่งก็จะได้จุดพิกัดต่างๆบนเส้นขอบภาพ เราจะทำการหาจุดกึ่งกลางแต่ละคู่ โดยจะพิจารณาว่า แต่ละจุดอยู่ห่างกันเกิน 10% ของจำนวนจุดขอบภาพทั้งหมดก็จะคำนวณหาจุดกึ่งกลางของแต่ละคู่ และทำการแบ่งครึ่งทุกจุดอีกครั้งหนึ่งเพื่อนำไปใช้เป็นจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุต่อไป

สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของการเก็บข้อมูลภาพวัตถุ ก็คือ จะมีการนำจุดอ้างอิงทั้งหมดของเส้นขอบภาพวัตถุมาทำโค้งกระชับด้วยคาตินัลสไปลน์และพิกัดจุดที่ได้จากการทำโค้งกระชับก็จะนำไปจัดเก็บเป็นข้อมูลภาพเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป โดยทั้งต้นแบบรูปร่างของวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบจะทำการเก็บข้อมูลภาพด้วยหลักการเดียวกัน



รูปที่ 5.2 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจากรูป 5.1



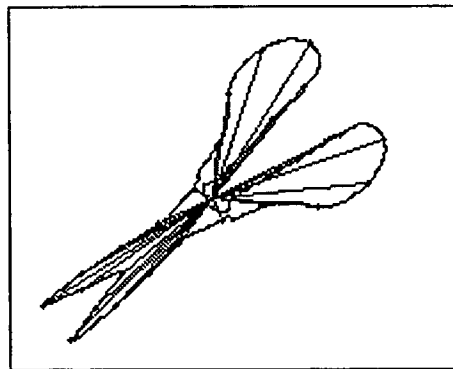
รูปที่ 5.3 แสดงจุดอ้างอิง ที่ได้จากจุดต่ำสุดและสูงสุดของกราฟเส้นทройแต่ิลโพรไฟล์ การแบ่งจุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนที่สอนวิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 โครงสร้างข้อมูลภาพ

ภายหลังจากที่เราทำโค้งกระชับจุดอ้างอิงด้วยคานินัลสไปล์แล้ว เราจะทำการหาระยะทางจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังทุกพิกัดจุด ตามสมการ 5.2 แล้วทำการเลือกพิกัดจุดซึ่งมีความยาวสูงสุดไม่เกิน 10 อันดับแรก และคำนวณหามุมที่กระทำกับแกนนอนเพื่อเก็บ เป็นส่วนข้อมูลพิเศษ ซึ่งส่วนของข้อมูลพิเศษแต่ละค่าจะประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์คือ l_i , θ_i , และ p_i (ซึ่งเก็บตำแหน่งของจุดภาพในส่วนข้อมูลพิเศษ)

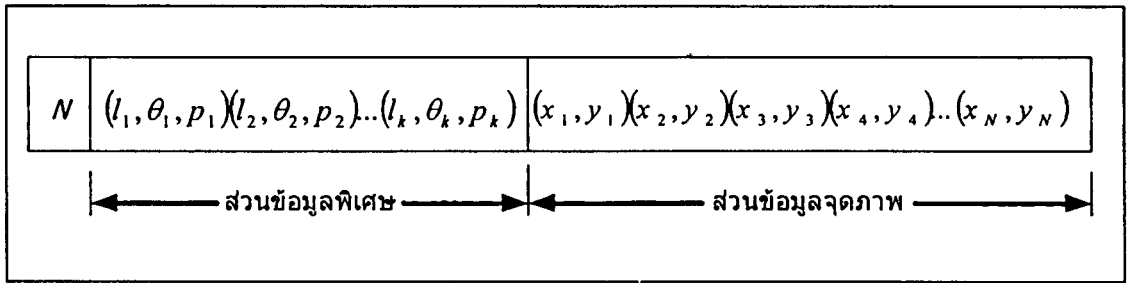
$$d_i = \sqrt{(x_i - X_c)^2 + (y_i - Y_c)^2} \quad (5.2)$$

โดยที่ (x_i, y_i) แทนพิกัดจุดภาพ และ (X_c, Y_c) แทนจุดศูนย์กลางภาพ



รูปที่ 5.4 แสดงการลากเส้นจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังจุดที่ได้จากการทำโค้งกระชับ โดยเลือกเส้นที่ยาวที่สุด ไม่เกิน 10 ค่า ที่จะเก็บในส่วนข้อมูลพิเศษ

สำหรับข้อมูลภาพที่ทำการจัดเก็บ แสดงดังรูป 5.5 โดยทั้งต้นแบบรูปร่างของวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ จะมีโครงสร้างการเก็บเหมือนกัน สำหรับโครงสร้างข้อมูลภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนข้อมูลพิเศษ ซึ่งแต่ละภาพจะเก็บไม่เกิน 10 ค่า และส่วนของข้อมูลจุดภาพซึ่งก็คือพิกัดจุดภาพที่ได้จากการทำโค้งกระชับด้วยคานินัลสไปล์ แต่ละภาพนั้นจะทำการจัดเก็บพิกัดจุดภาพไม่เกิน 60 พิกัดจุด



รูปที่ 5.5 โครงสร้างข้อมูลภาพ

จากรูป

N	แทน	จำนวนพิกัดจุดภาพในส่วนข้อมูลภาพ โดยที่ $N \leq 60$
l_k, θ_k, p_k	แทน	ความยาวจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังพิกัดจุดขอบภาพมุมที่กระทำแกนนอน และตำแหน่งในส่วนข้อมูลจุดภาพ ตามลำดับ โดยที่ $k \leq 10$
(x_i, y_i)	แทน	พิกัดจุดจากการทำโค้งกระชับ โดยที่ $1 \leq i \leq N$

5.4 ฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างระหว่างต้นแบบรูปร่างของวัตถุกับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ เพื่อใช้กับการค้นหาแบบสมบูรณ์

การหาฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างระหว่างต้นแบบรูปร่างของวัตถุกับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ เพื่อใช้กับการค้นหาแบบสมบูรณ์ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนามาจากสูตรการแปลงพิกัดตำแหน่งซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นซึ่งเป็นการวัดความแตกต่างของลักษณะเด่นระหว่างต้นแบบรูปร่างของวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ให้ (x, y) เป็นพิกัดจุดของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ และ (x^*, y^*) เป็นพิกัดจุดของรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบที่เกิดจากการหมุน การย้ายตำแหน่งและการเปลี่ยนขนาดของพิกัดจุด (x, y) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\begin{aligned} x^* &= tx + x \cdot s \cdot \cos \theta - y \cdot s \cdot \sin \theta \\ y^* &= ty + x \cdot s \cdot \sin \theta + y \cdot s \cdot \cos \theta \end{aligned} \quad (5.3)$$

โดยที่

tx และ ty คือ ค่าระยะทางของตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยน

θ คือ ค่าของมุมที่หมุนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

s คือ ค่าสเกลลิงแฟกเตอร์

สำหรับสูตรคำนวณหา ฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างระหว่างต้นแบบรูปร่างของวัตถุ กับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ เพื่อใช้กับการค้นหาแบบสมบูรณ์ในงานวิจัยนี้สามารถ คำนวณหาได้จากสูตรต่อไปนี้ได้

$$F = \sum_{i=1}^N D_i \quad (5.4)$$

เมื่อ

$$D_i = \sqrt{(X_i^m - X_i^u)^2 + (Y_i^m - Y_i^u)^2} \quad (5.5)$$

โดยที่ (X_i^u, Y_i^u) คือพิกัดจุดของลักษณะเด่นในส่วนของคุณลักษณะของข้อมูลภาพ สำหรับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบและ (X_i^m, Y_i^m) คือ พิกัดจุดของลักษณะเด่นในส่วนของคุณลักษณะของข้อมูลภาพสำหรับต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ที่ได้จากการแปลงตำแหน่งพิกัดจุด (x_m, y_m) ของข้อมูลจุดภาพสำหรับต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ซึ่งคำนวณหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} X^m &= tx_0 + x_m s_0 \cdot \cos\theta_0 - y_m s_0 \cdot \sin\theta_0 \\ Y^m &= ty_0 + x_m s_0 \cdot \sin\theta_0 + y_m s_0 \cdot \cos\theta_0 \end{aligned} \quad (5.6)$$

โดยที่

$$\left. \begin{aligned} s_0 &= (l_u) / (l_m) \\ \theta_0 &= \theta_u - \theta_m \\ tx_0 &= x_u - x_m \\ ty_0 &= y_u - y_m \end{aligned} \right\} \quad (5.7)$$

เมื่อ

θ_u, l_u คือ มุมและความยาวจากจุดศูนย์กลางภาพไปยังพิกัดจุดขอบภาพ ของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ ในส่วนของข้อมูลพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

θ_u, l_u คือ มุมและความยาวจากจุดศูนย์กลางภาพ ไปยังพิกัดจุดขอบภาพ ของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ ในส่วนของข้อมูลพิเศษ

θ_m, l_m คือ มุมและความยาวจากจุดศูนย์กลางภาพ ไปยังพิกัดจุดขอบภาพ ของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ในส่วนของข้อมูลพิเศษ

s_0 คือ ค่าสเกลลิง ของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบและต้นแบบรูปร่างของวัตถุ

x_0, y_0 คือ ค่าระยะทางของตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบและต้นแบบรูปร่างของวัตถุ

(x_u, y_u) คือ พิกัดจุด ของรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ

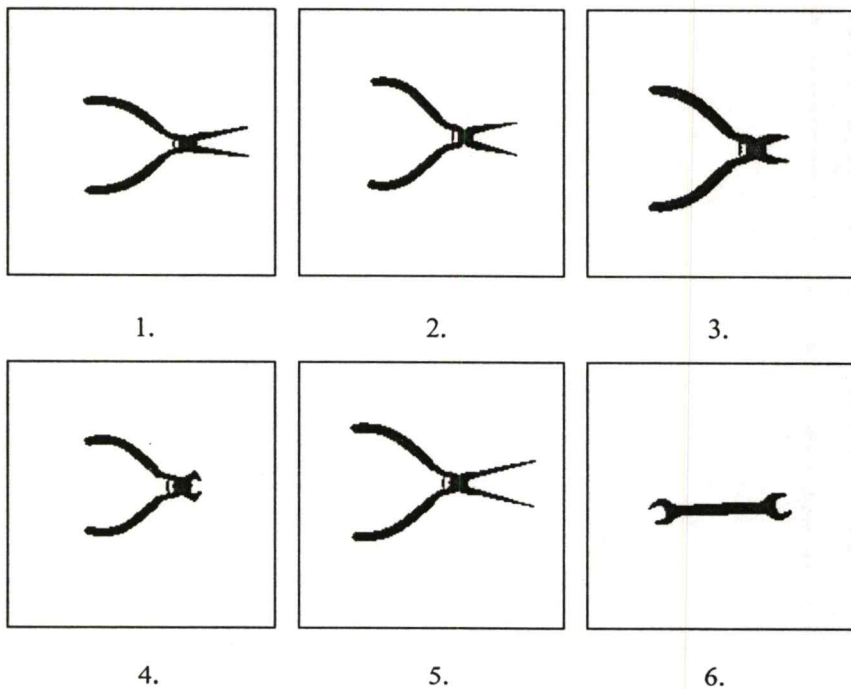
(x_m, y_m) คือ พิกัดจุด ของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ

ผลลัพธ์จากฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างระหว่างต้นแบบรูปร่างของวัตถุกับรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ เป็นผลรวมระยะห่างระหว่างพิกัดจุดของ ต้นแบบรูปร่างของวัตถุ และรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบซึ่งแนวความคิดในที่นี้จะเป็นการแปลงพิกัดจุดของ ต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ที่เกิด การหมุน การย้ายตำแหน่ง และการเปลี่ยนขนาด ไปยังตำแหน่งพิกัดจุดที่สอดคล้องเช่นเดียวกับ รูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ แล้วคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุด ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้เราจะพิจารณาเฉพาะค่าผลรวมระยะห่างที่น้อยที่สุดเท่านั้น โดยในการทดลองนั้นเมื่อมีการป้อนภาพวัตถุเข้ามา เราจะใช้ การค้นหาแบบสมบูรณ์ในการทดสอบกับต้นแบบรูปร่างของวัตถุ กับทุกๆภาพที่เก็บไว้เป็นฐานข้อมูล เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างออกมาแล้วเลือกเอาภาพวัตถุที่ให้ค่า ฟังก์ชันสำหรับวัดความแตกต่างที่น้อยที่สุดเป็นคำตอบ

บทที่ 6

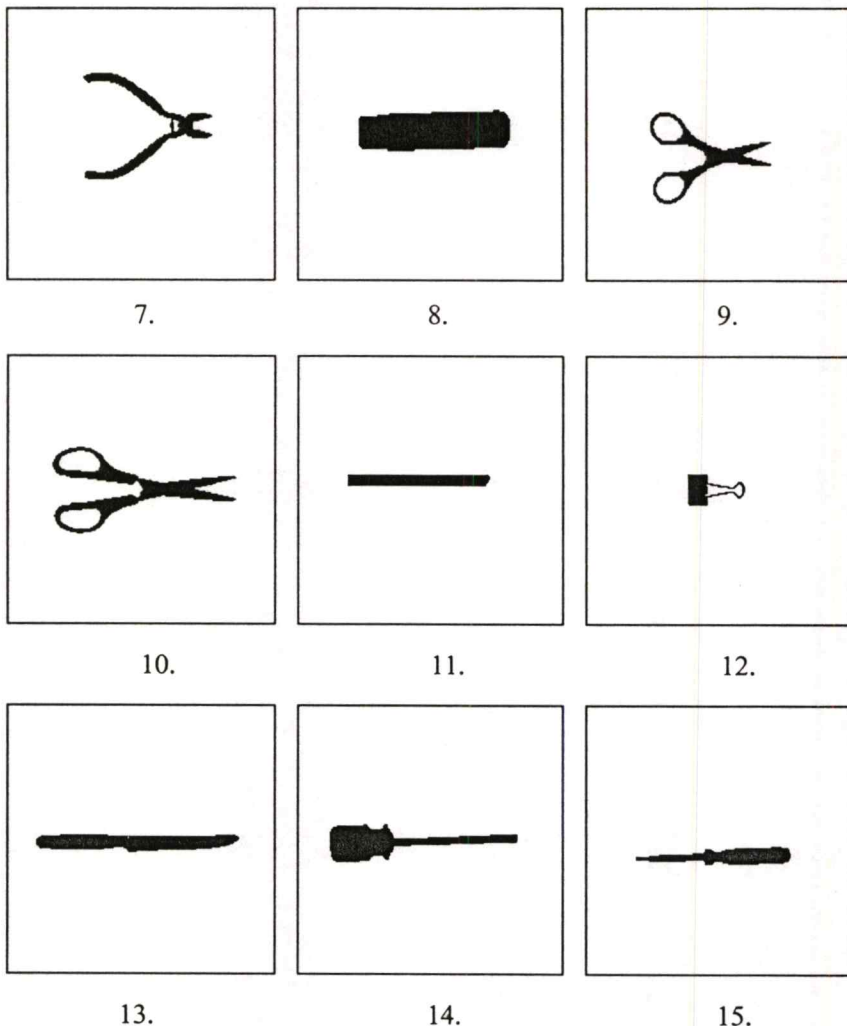
ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของงานวิจัยที่เสนอ โดยทำการทดสอบกับภาพวัตถุที่ได้จากการถ่ายโดยใช้ดิจิทัล ซึ่งเป็นภาพสีเทา(256 ระดับ) ขนาดไม่เกิน 300×300 จุด แล้วแปลงเป็นภาพขาวดำ โดยภาพวัตถุที่นำมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลจะมีทั้งสิ้น 15 ภาพ และภาพวัตถุที่นำมาทดสอบประกอบด้วยภาพที่เกิดการหมุน การเปลี่ยนขนาด และภาพที่เกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกัน โดยภาพที่นำมาทดสอบจะมีทั้งสิ้น 585 ภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็นภาพที่เกิดการหมุน 105 (แต่ละภาพหมุนไป 7 แบบ) ภาพ ภาพที่มีการเปลี่ยนขนาด 60 ภาพ(แต่ละภาพเปลี่ยนขนาด 4 แบบ) และภาพที่เกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกัน อีก 420 ภาพ(แต่ละภาพหมุนและเปลี่ยนขนาดไป 28 แบบ) โดยในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย ผลการทดลองของวิธีการที่นำเสนอโดยงานวิจัยจากเอกสารอ้างอิง[5] และ ผลการทดลองที่เสนอในงานวิจัยนี้



รูปที่ 6.1 ภาพวัตถุที่นำมาใช้ในการทดลองและหมายเลขอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1(ต่อ)

6.1 ผลการทดลองสำหรับงานวิจัยที่เสนอ

สำหรับหัวข้อนี้จะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองการรู้จำรูปทรงของวัตถุโดยใช้หลักการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อดูถึงประสิทธิภาพในการรู้จำภาพวัตถุเมื่อมีการเก็บลักษณะเด่นของภาพวัตถุตามวิธีการที่นำเสนอ โดยเราจะใช้ การค้นหาแบบสมบูรณ์ ในการวัดความแตกต่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ กับ ต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

1. ป้อนภาพวัตถุที่ต้องการทดสอบ
2. ทำการเก็บข้อมูลภาพวัตถุที่ต้องการทดสอบ ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 5.2
3. สำหรับแต่ละ ต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ที่เก็บในฐานข้อมูลทั้งสิ้น 15 ภาพ ทุกต้นแบบรูปร่างของวัตถุ จะทำการทดสอบกับ วัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ โดยใช้การค้นหาแบบสมบูรณ์ในการคำนวณหาค่า ฟังก์ชันวัดความแตกต่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

```

For m := 1 to 15 do
Begin
//ทำการจับคู่ในส่วนของข้อมูลพิเศษ ของวัตถุที่ป้อนเข้ามาใน ระบบ กับ ต้นแบบ
รูปร่างของวัตถุ
    For j:= 1 to sm do // sm คือจำนวนข้อมูลพิเศษของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ
    For k:= 1to sn do // sn คือจำนวนข้อมูลพิเศษของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ
        Begin
        //คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัดความแตกต่างตามสมการที่ 5.4
        จำนวน  $F = \sum_{i=1}^N D_i$ 
        แต่ละรอบเก็บค่าฟังก์ชันวัดความแตกต่าง ที่น้อยที่สุด
        End
        แต่ละรอบเก็บค่าฟังก์ชันวัดความแตกต่าง ที่น้อยที่สุด
    End
End

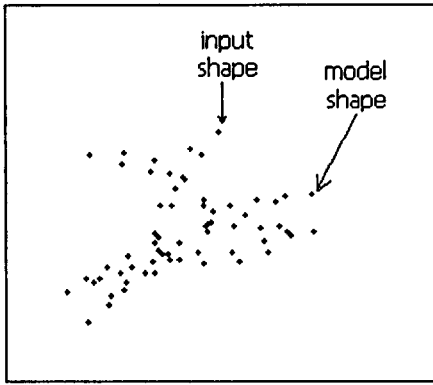
```

สำหรับคำตอบจากการใช้การค้นหาแบบสมบูรณ์ จะเลือกต้นแบบรูปร่างของวัตถุที่ให้ค่าฟังก์ชันความแตกต่าง ที่น้อยที่สุดเป็นคำตอบที่จะบอกว่าวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบเป็นภาพต้นแบบรูปร่างของวัตถุ ภาพใด ซึ่งผลการทดลองของหลักการที่นำเสนอขึ้นจากการทดสอบโดยใช้การค้นหาแบบสมบูรณ์แสดงในตารางที่ 6.1 และ รูป 6.2 และ 6.3 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากการค้นหาลักษณะเด่นที่เข้ากันได้ของต้นแบบรูปร่างของวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ

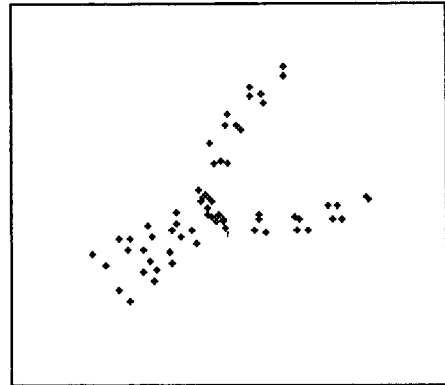
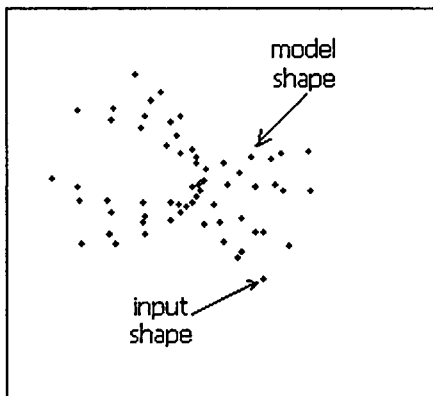
จากผลการทดลองเราสามารถพิจารณาได้ว่า สิ่งสำคัญและมีผลอย่างมากต่อการรู้จำรูปทรงของวัตถุก็คือ ลักษณะเด่นที่ใช้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วลักษณะเด่นที่นิยมใช้กัน ได้แก่ มุม ส่วนโค้ง และจุดบนเส้นขอบภาพวัตถุ เป็นต้น โดยลักษณะเด่นที่ตินั้นควรจะต้องมีความเสถียรภาพต่อการหมุน การเปลี่ยนตำแหน่ง และการเปลี่ยนขนาด ซึ่งจะมีผลทำให้มีประสิทธิภาพในการรู้จำรูปทรงวัตถุ ทั้งนี้เนื่องจากว่าวิธีที่นำเสนอขึ้น สามารถคำนวณหาลักษณะเด่น ได้เสถียรภาพ เมื่อ ภาพวัตถุเกิดการหมุน เกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง และเกิดการเปลี่ยนขนาด โดยใช้หลักการของเซ็นทรอยแอดีลโพรไฟล์ ในการพิจารณาเลือกจุดอ้างอิงสำหรับเก็บเป็นลักษณะเด่นของภาพวัตถุ ซึ่งข้อดีอีกประการหนึ่งของวิธีการที่นำเสนอขึ้นก็คือขนาดของข้อมูลที่ใช้เป็นลักษณะเด่นมีจำนวนข้อมูลจุดภาพที่ไม่มาก ซึ่งจะประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการจับคู่ลักษณะเด่นนั้นก็ใช้เวลาไม่มากเนื่องจากว่าในการจับคู่ลักษณะเด่นเราจะใช้ ส่วนของข้อมูลพิเศษสำหรับ ใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการจับคู่ลักษณะเด่น เพื่อคำนวณหาค่าความแตกต่าง รวมทั้งอธิบายถึง มุม ขนาด และตำแหน่งที่เปลี่ยนไป ของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ กับ ต้นแบบรูปร่างของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

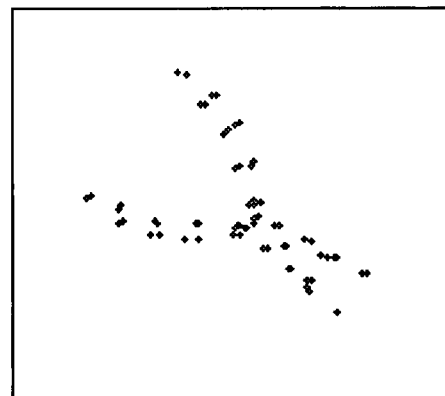
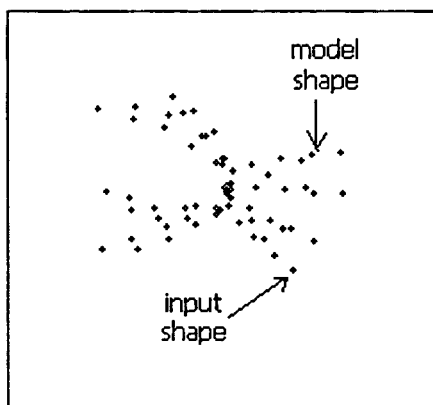
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



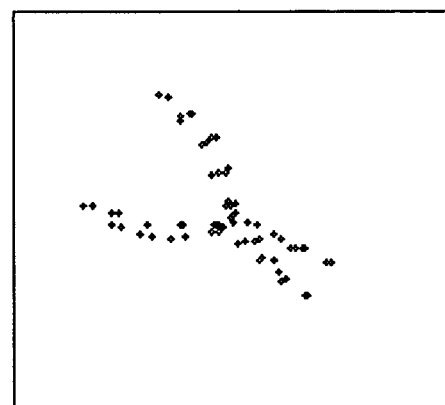
1. แสดงจุดอ้างอิงของภาพที่ 1

2. ผลลัพธ์จากการค้นหาแบบสมบูรณ์
ซึ่งให้ค่าความแตกต่าง 2.862

3. แสดงจุดอ้างอิงของภาพที่ 1

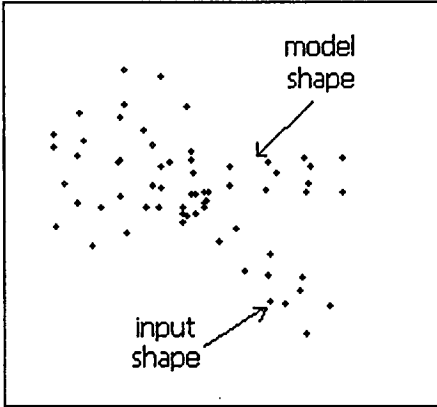
4. ผลลัพธ์จากการค้นหาแบบสมบูรณ์
ซึ่งให้ค่าความแตกต่าง 1.589

5. แสดงจุดอ้างอิงของภาพที่ 1

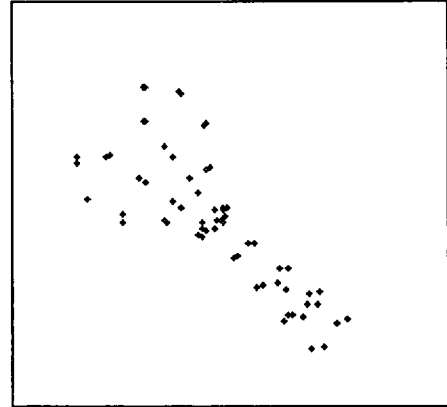
6. ผลลัพธ์จากการค้นหาแบบสมบูรณ์
ซึ่งให้ค่าความแตกต่าง 1.769

รูปที่ 6.2 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 1 อยู่ในลักษณะต่างๆ

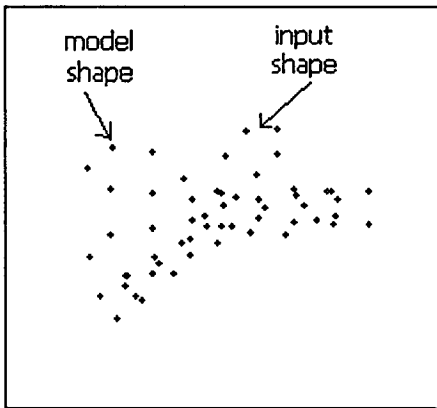
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



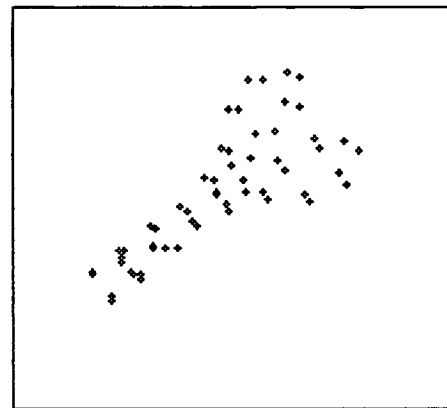
1. แสดงจุดอ้างอิงของภาพที่ 10



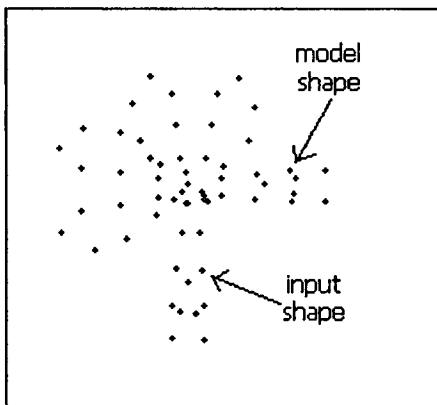
2. ผลลัพธ์จากการค้นหาแบบสมบูรณ์
ซึ่งให้ค่าความแตกต่าง 5.717



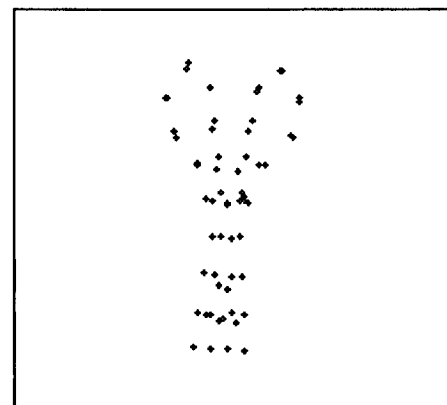
3. แสดงจุดอ้างอิงของภาพที่ 10



4. ผลลัพธ์จากการค้นหาแบบสมบูรณ์
ซึ่งให้ค่าความแตกต่าง 2.425



5. แสดงจุดอ้างอิงของภาพที่ 10



6. ผลลัพธ์จากการค้นหาแบบสมบูรณ์
ซึ่งให้ค่าความแตกต่าง 5.218

รูปที่ 6.3 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 10 อยู่ในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผลการทดลองโดยงานวิจัยที่นำเสนอ

ภาพวัตถุ	ภาพวัตถุที่มีการ การหมุน	ภาพวัตถุที่มีการ เปลี่ยนขนาด	ภาพวัตถุที่มีการ เปลี่ยนขนาดและหมุน
1	100	100	93.7
2	100	100	100
3	100	100	93.7
4	71.4	75	81.3
5	100	100	100
5	100	100	100
7	100	75	93.7
8	100	100	100
9	100	100	100
10	100	100	100
11	100	100	93.7
12	100	100	100
13	100	100	100
14	85.7	100	90.5
15	100	100	95.9
เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย	97.1%	97%	95.2 %

6.2 ผลการทดลองสำหรับงานวิจัยจากเอกสารอ้างอิง[5]

สำหรับหลักการของวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ ทำการจัดเก็บพิกัดจุดขอบภาพทั้งหมด ทั้งวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ และ ดันแบบรูปร่างของวัตถุ โดยแต่ละดันแบบรูปร่างของวัตถุนั้นจะทำการเก็บพิกัดจุดขอบภาพอีก 3 จุดซึ่งต้องเป็นจุดที่ไม่อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันเพื่อใช้ในการแปลงพิกัดจุดให้สอดคล้องกับวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ โดยใช้จันติก อัลกอริทึม หาจุดพิกัดจุดขอบภาพ 3 จุดที่ใช้ในการทดสอบของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ ที่เข้ากันได้กับ 3 จุดของดันแบบรูปร่างของวัตถุ เพื่อใช้ในการแปลงพิกัดจุดขอบภาพดันแบบรูปร่างของวัตถุไปยังวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

1. ทำการเก็บพิกัดจุดขอบภาพ(B_{ref}) และเลือกเก็บพิกัดจุดขอบภาพ 3 จุด[S0,S1,S2] ซึ่งไม่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน ของดันแบบรูปร่างของวัตถุดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนพิกัดจุดขอบภาพของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ

$$[S_0, S_1, S_2] = [(x_{r,s_0}, y_{r,s_0}), (x_{r,s_1}, y_{r,s_1}), (x_{r,s_2}, y_{r,s_2})]$$

แทนพิกัดจุดขอบภาพ 3 จุดที่เลือกเก็บของต้นแบบรูปร่างของวัตถุ

2. ทำการเก็บพิกัดจุดขอบภาพ (B_{scene}) ของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ

$$B_{scene} = [(x_{u,0}, y_{u,0}), (x_{u,1}, y_{u,1}), (x_{u,2}, y_{u,2}), \dots, (x_{u,n}, y_{u,n})]$$

และกำหนดให้ T เป็นจุดทดสอบที่ได้จากการสุ่มเลือกจาก B_{scene}

$$T = [t_0, t_1, t_2] = [(x_{u,t_0}, y_{u,t_0}), (x_{u,t_1}, y_{u,t_1}), (x_{u,t_2}, y_{u,t_2})]$$

3. ทำการแปลงพิกัดจุดขอบภาพของต้นแบบรูปร่างของวัตถุให้อยู่ในแนวเดียวกันกับ วัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ โดยใช้สูตรการแปลงพิกัดดังนี้

$$\begin{bmatrix} x_{u,i} \\ y_{u,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{r,i} \\ y_{r,i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix}_{i=0,1,2,\dots,n} \quad (6.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} a &= \frac{(x_{u,1} - x_{u,0})(y_{r,2} - y_{r,0}) - (x_{u,2} - x_{u,0})(y_{r,1} - y_{r,0})}{(x_{r,1} - x_{r,0})(y_{r,2} - y_{r,0}) - (x_{r,2} - x_{r,0})(y_{r,1} - y_{r,0})} \\ b &= \frac{(x_{u,1} - x_{u,0})(x_{r,2} - x_{r,0}) - (x_{u,2} - x_{u,0})(x_{r,1} - x_{r,0})}{(y_{r,1} - y_{r,0})(x_{r,2} - x_{r,0}) - (y_{r,2} - y_{r,0})(x_{r,1} - x_{r,0})} \\ c &= \frac{(y_{u,1} - y_{u,0})(y_{r,2} - y_{r,0}) - (y_{u,2} - y_{u,0})(y_{r,1} - y_{r,0})}{(x_{r,1} - x_{r,0})(y_{r,2} - y_{r,0}) - (x_{r,2} - x_{r,0})(y_{r,1} - y_{r,0})} \\ d &= \frac{(y_{u,1} - y_{u,0})(x_{r,2} - x_{r,0}) - (y_{u,2} - y_{u,0})(x_{r,1} - x_{r,0})}{(y_{r,1} - y_{r,0})(x_{r,2} - x_{r,0}) - (y_{r,2} - y_{r,0})(x_{r,1} - x_{r,0})} \\ e &= x_{u,0} - ax_{r,0} - by_{r,0} \\ f &= y_{u,0} - cx_{r,0} - dy_{r,0} \end{aligned} \quad (6.2)$$

สำหรับค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่จะใช้กับจินตคติ อัลกอริทึม สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$MS = \left(1 - \lambda_1 \frac{A(O_{scene} / O_{ref})}{A(O_{scene})} \right) \left(1 - \lambda_2 \frac{A(O_{ref} / O_{scene})}{A(O_{scene})} \right) \quad (6.3)$$

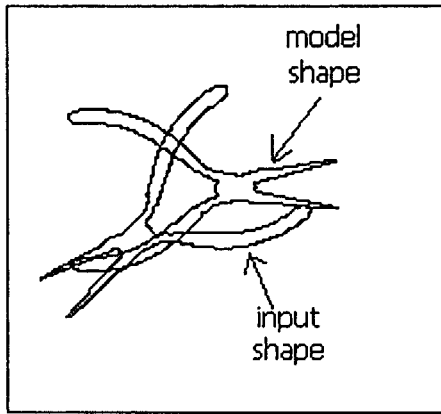
โดยที่ $A(O)$ แทนพื้นที่ของภาพ และ X/Y แทนพื้นที่ ที่อยู่ใน X แต่ไม่อยู่ใน Y

สำหรับพารามิเตอร์ λ_1 และ λ_2 จะเป็นค่าตัวเลขที่ได้จากการทดลองที่มีผลต่อความเร็วในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

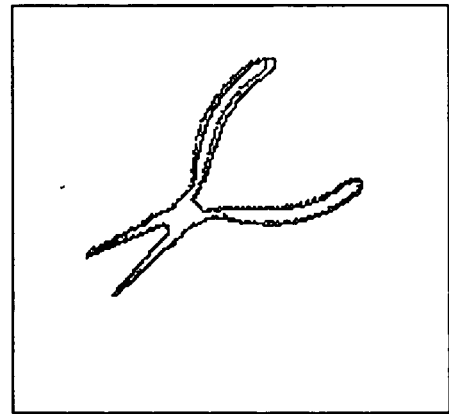
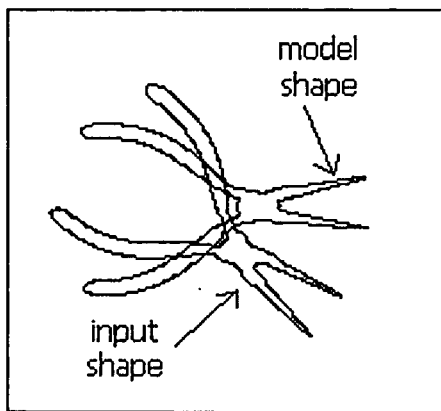
การทำงานของจีเนติก อัลกอริทึมและทำให้มีลจรอยของภาพมากขึ้น ซึ่งในการทดลองของเราจะใช้ $\lambda_1 = 5.3$ และ $\lambda_2 = 1.0$

4. ใช้จีเนติก อัลกอริทึม ในการสุ่มเลือกจุดทดสอบ T บนพิกัดจุดขอบภาพของวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ (B_{scene}) ซึ่งมีวิธีการดังนี้
 - 4.1 กำหนดให้ความยาวของโครโมโซมยาวเท่ากับ 30 บิต โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเพื่อแทนจุดที่ทดสอบ 3 จุดซึ่งแต่ละส่วนยาว 10 บิตเนื่องจากรูปที่ทำการทดลองนั้นมีจำนวนพิกัดจุดขอบภาพไม่เกิน 650 จุด
 - 4.2 กำหนดให้จำนวนประชากรมีทั้งสิ้น 30 โครโมโซม
 - 4.3 การครอสโอเวอร์ (Crossover) จะเป็นแบบ 1 จุด โดยโครโมโซมพ่อ-แม่ ที่ถูกเลือกนั้น จะมีการสุ่มเลือก ส่วนที่จะทำครอสโอเวอร์กัน (แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 3 ส่วนแล้วทำการสุ่มเลือกแต่ละส่วนของพ่อและแม่มาครอสโอเวอร์กัน) ในการทดลอง จะใช้ความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover : P_c)เท่ากับ 0.75
 - 4.4 สำหรับฟังก์ชันความเหมาะสม(Fitness function) จะคำนวณตามสมการ 6.3 โดยคำตอบที่ได้จากจีเนติก อัลกอริทึมจะต้องให้ค่าความเหมาะสม(Fitness value) ที่สูงที่สุด
 - 4.5 ในการทดลองนั้น แต่ละภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลจะถูกทดสอบกับภาพวัตถุที่ป้อนเข้ามา โดยให้จีเนติก อัลกอริทึม ทำงานไม่เกิน 100 รอบในการสุ่มเลือกจุดทดสอบ 3 จุดที่อยู่บนพิกัดจุดขอบภาพ ของภาพวัตถุที่ป้อนเข้ามาและคำนวณหาค่าความเหมาะสมในแต่ละรอบแล้วเลือกเอาค่าความเหมาะสมที่มากที่สุดไว้ในแต่ละภาพ ของภาพวัตถุในฐานข้อมูลซึ่งมีทั้งสิ้น 15 ภาพ ใน 15 ภาพนี้เลือกค่าความเหมาะสมที่มากที่สุดเป็นคำตอบ

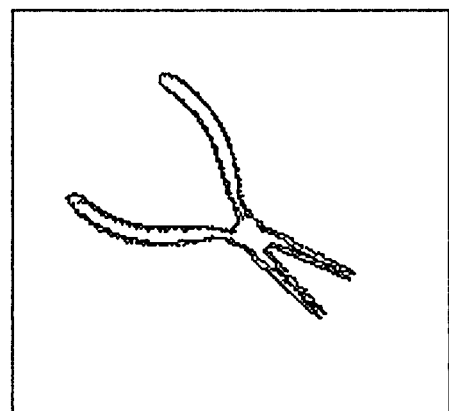
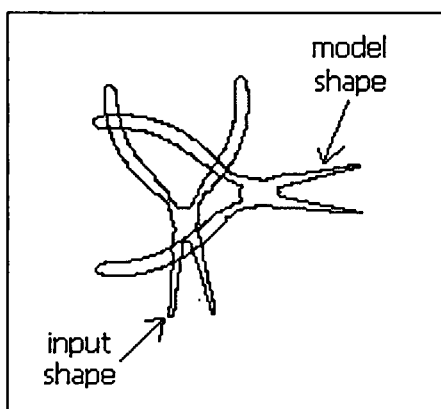
ซึ่งผลการทดลองของวิธีการนี้แสดงดังตารางที่ 6.2 โดยแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและรูปตัวอย่างจากการใช้จีเนติก อัลกอริทึมในการวัดค่าความเหมือนระหว่างต้นแบบรูปร่างของวัตถุและรูปร่างของวัตถุที่ป้อนเข้ามา ดังรูป 6.4 และ 6.5 ของการทดลองสำหรับงานวิจัยตามเอกสารอ้างอิง [5] สำหรับรายละเอียดอื่นๆที่สนใจสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [5]



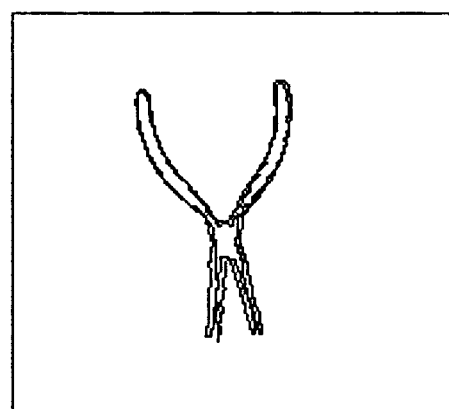
1. แสดงจุดขอบภาพของภาพที่ 1

2. ผลลัพธ์ของจีเนติกเจอร์รอบที่ 41
ค่าความเหมาะสม 0.504

3. แสดงจุดขอบภาพของภาพที่ 1

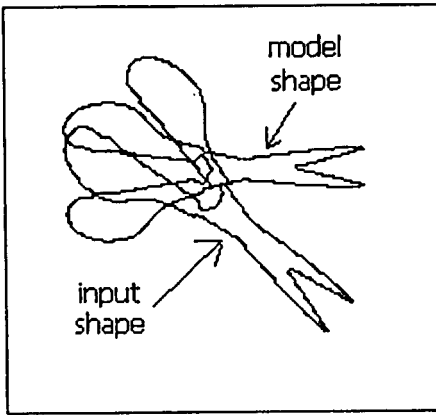
4. ผลลัพธ์ของจีเนติกเจอร์รอบที่ 53
ค่าความเหมาะสม 0.502

5. แสดงจุดขอบภาพของภาพที่ 1

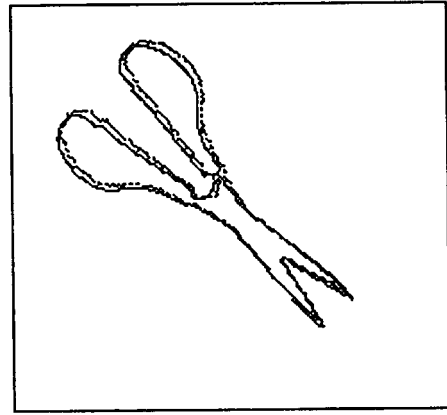
6. ผลลัพธ์ของจีเนติกเจอร์รอบที่ 16
ค่าความเหมาะสม 0.555

รูปที่ 6.4 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 1 อยู่ในลักษณะต่างๆของงานวิจัย[5]

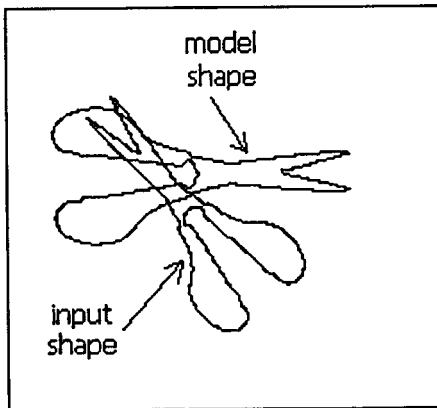
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



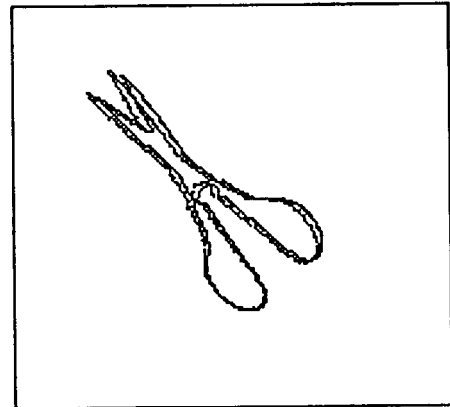
1. แสดงจุดขอบภาพของภาพที่ 10



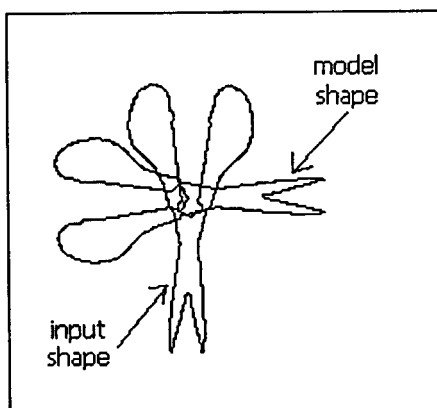
2. ผลลัพธ์ของจินีติกเจอร์รอบที่ 25
ค่าความเหมาะสม 0.504



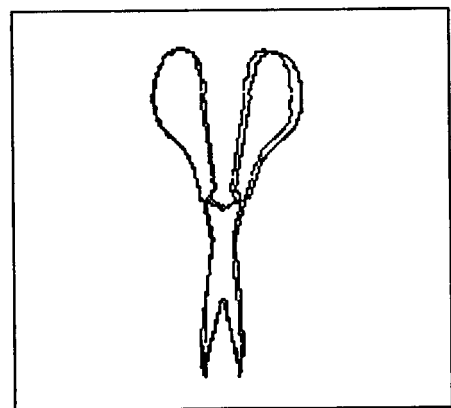
3. แสดงจุดขอบภาพของภาพที่ 10



4. ผลลัพธ์ของจินีติกเจอร์รอบที่ 24
ค่าความเหมาะสม 0.435



5. แสดงจุดขอบภาพของภาพที่ 10



6. ผลลัพธ์ของจินีติกเจอร์รอบที่ 14
ค่าความเหมาะสม 0.578

รูปที่ 6.4 ตัวอย่างแสดงผลการทดลองเมื่อภาพที่ 10 อยู่ในลักษณะต่างๆของงานวิจัย[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 6.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผลการทดลองโดยงานวิจัย[5]

ภาพวัตถุ	ภาพวัตถุที่มีการ การหมุน	ภาพวัตถุที่มีการ เปลี่ยนขนาด	ภาพวัตถุที่มีการเปลี่ยน ขนาดและหมุน
1	85.7	100	90.6
2	100	100	100
3	71.4	100	90.6
4	100	100	93.7
5	85.7	100	93.7
6	100	100	100
7	85.7	75	90.6
8	100	100	100
9	100	100	100
10	100	100	100
11	100	100	93.7
12	100	100	100
13	100	100	100
14	100	100	93.7
15	100	100	93.7
เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย	95.2%	98.3%	96.0%

6.3 ปัจจัยที่มีผลในการรู้จำรูปทรงของวัตถุของงานวิจัยที่เสนอและงานวิจัย[5]

1. งานวิจัยที่เสนอ

จุดอ้างอิงที่ใช้เป็นลักษณะเด่น

ถ้าตำแหน่งของจุด ค่าสุดและจุดสูงสุด ของกราฟเซ็นทรอยแควิล โพรไฟล์ เปลี่ยนไปหรือมีเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องมาสาเหตุที่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อภาพวัตถุเกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกัน(ดังรูป 6.5) จะมีผลทำให้การรู้จำให้ผลผิดพลาดได้ ซึ่งจากตารางที่ 6.2 เราจะเห็นได้ว่าเมื่อภาพวัตถุเกิดการหมุนและการเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกันจะให้ผลการทดลองที่ไม่ถูกต้อง 100% หมดทุกภาพ และในกรณีที่ภาพวัตถุเป็นภาพที่ต่างกันแต่จุดอ้างอิงของภาพวัตถุ อาจจะมีลักษณะเหมือนกันได้ ซึ่งในกรณีนี้ก็จะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่นภาพที่ 4 กับ ภาพที่ 7 ซึ่งมีผลให้ ผลการทดลองของภาพที่ 4 และ 7 ให้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลการทดลองที่ไม่ดีเท่าที่ควร สำหรับปัญหาของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปัญหา

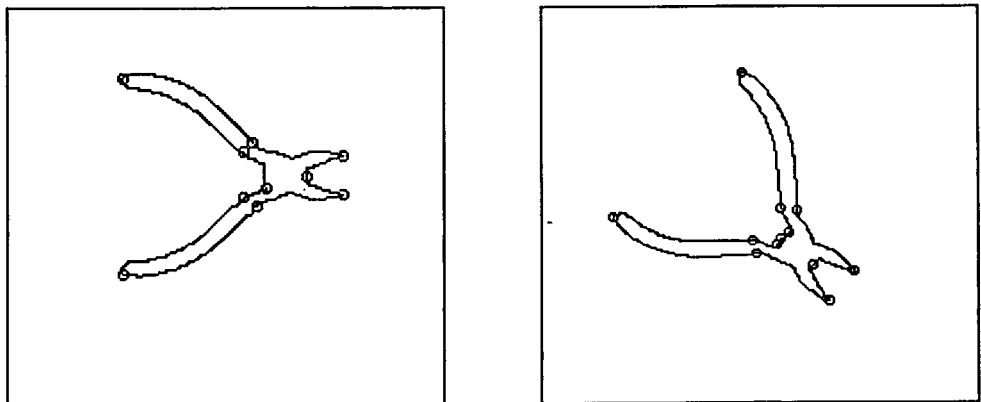
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของภาพที่ 4 และ 7 ให้ผลการทดลองที่ไม่ดีเท่าที่ควร สำหรับปัญหาของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปัญหาที่เราหลีกเลี่ยงไม่ได้ในการรู้จำรูปทรงวัตถุแต่เราสามารถลดสัญญาณรบกวนได้โดยการลดสัญญาณรบกวนในขั้นตอนของการเตรียมภาพก่อนการประมวลผลซึ่งอาจจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเพิ่มขึ้นได้

2. งานวิจัย[5]

จุดทดสอบ 3 จุดของภาพวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ

สำหรับงานวิจัยนี้ปัจจัยที่สำคัญที่ผลต่อเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับจุดทดสอบ 3 จุดของภาพวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบว่าจินตริก อัลกอริทึมจะหาจุดทดสอบทั้ง 3 จุดที่ตรงกับ 3 จุดที่เลือกของภาพต้นแบบเจอหรือไม่ ซึ่งการที่จินตริกอัลกอริทึมหาไม่เจอนั้นอาจจะมาจากสาเหตุที่ จุดทดสอบ 3 จุดของภาพวัตถุที่ป้อนเข้ามาในระบบ ที่เข้ากันได้หรือตรงกันกับ 3 จุดที่เลือกของภาพต้นแบบ มีบางจุดมีการเปลี่ยนตำแหน่งไป หรืออาจจะมีการสูญหายไป ซึ่งสาเหตุก็เกิดมาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการหมุนหรือการเปลี่ยนขนาดของภาพ จึงมีผลทำให้ผลการทดลองเมื่อภาพวัตถุเกิดการหมุนและ ภาพที่เกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกันให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องน้อยกว่าวิธีการที่เสนอ ในขณะที่ภาพวัตถุที่มีการเปลี่ยนขนาดอย่างเดียวจะให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงกว่าเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดของภาพนั้นอาจจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยกว่าการหมุน รวมทั้งมีการวัดพื้นที่ของภาพวัตถุแทนที่จะวัดระยะห่างระหว่างจุดตามงานวิจัยที่เสนอจึงทำให้แยกแยะภาพที่ 4 และ 7 ได้ดีกว่างานวิจัยที่เสนอ

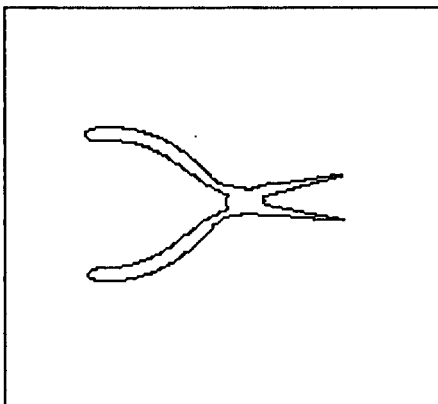


รูปที่ 6.6 แสดงตำแหน่งจุดต่ำสุดและจุดสูงสุด ที่เพิ่มขึ้นเมื่อภาพวัตถุเกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาด

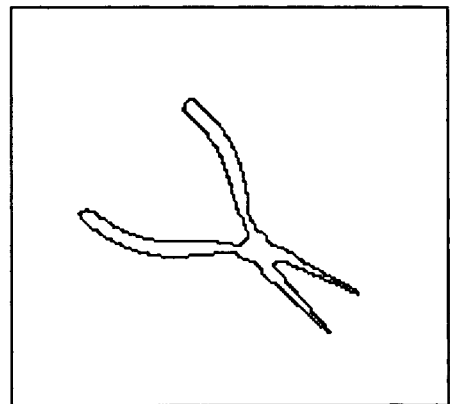
ไปพร้อมๆกันของรูปทิมตัดสายไฟปากแบนในงานวิจัยที่เสนอ ซึ่งทำให้ผลการทดลองผิดพลาดน้อยกว่างานวิจัยที่เสนอ โดยที่งานวิจัยที่เสนอใช้วิธีวัดระยะห่างระหว่างจุดสามจุดเพื่อหาพื้นที่ของวัตถุ ซึ่งวิธีนี้ไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร ถึงแม้ว่ากรณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ข้อดีของงานวิจัยที่เสนอเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย[5]

1. งานวิจัยที่เสนอให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับงานวิจัย [5] ถึงจะมีการลดจำนวนข้อมูลจุดภาพที่เก็บ ในขณะที่งานวิจัย [5] ไม่มีการลดจำนวนข้อมูลจุดภาพที่เก็บ
2. งานวิจัยที่เสนอจะมีการลดข้อมูลจุดภาพที่เก็บ จึงทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บ รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณข้อมน้อยกว่า วิธีการในงานวิจัย [5] ที่มีการจัดเก็บข้อมูลจุดภาพทั้งหมด
3. ในกรณีที่เราดัดคบางส่วนของภาพทิ้งไป (รูปที่ 6.6, 6.7 และ 6.8) วิธีการที่นำเสนอยังตอบได้ว่าเป็นภาพวัตถุใดในขณะที่งานวิจัย [5] ตอบผิด ทั้งนี้ก็เพราะว่า ถึงแม้ว่าจะดัดคบางส่วนของภาพทิ้งไปแต่จุดต่ำสุดสุดของกราฟเช่นทรอยแควล์ โพรไฟล์ที่อยู่บนภาพวัตถุยังมีจำนวนเท่าเดิมจึงทำให้มีจำนวนจุดอ้างอิงเท่าเดิมด้วย ถึงแม้ว่าตำแหน่งของจุดอ้างอิงเปลี่ยนแปลงบ้างแต่ก็ไม่มีผลมาก ในขณะที่งานวิจัย [5] การที่เราดัดคบางส่วนของภาพทิ้งไปนั้น อาจจะ ไปทำลายจุดทดสอบบางจุดจาก 3 จุด ที่ตรงกับหรือเข้ากันได้กับ 3 จุดที่เลือกของภาพต้นแบบไป จึงทำให้จินตึก อัลกอริทึม หาจุดทดสอบ 3 จุดไม่เจอซึ่งทำให้จินตึก อัลกอริทึมตอบผิด
4. จากข้อ 3. เราจึงกล่าวได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถพัฒนาเพื่อใช้ในการรู้จำรูปทรงของวัตถุที่มีการซ้อนทับกันของภาพวัตถุได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงวิธีการมากเหมือนกับ งานวิจัย [5]

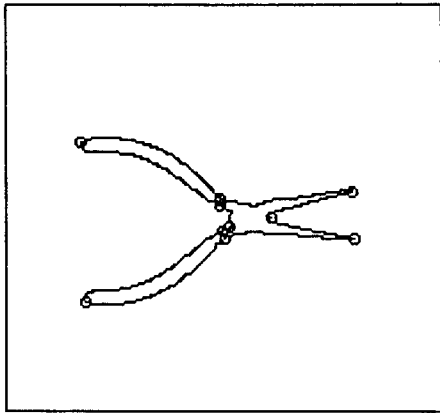


1. ภาพต้นแบบของภาพที่ 1

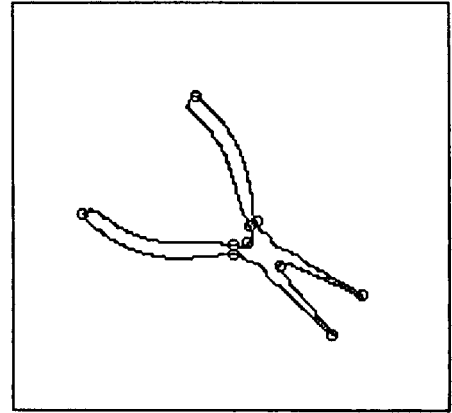


2. ภาพที่ใช้ทดสอบซึ่งตัดค้ำมออกไปบางส่วน

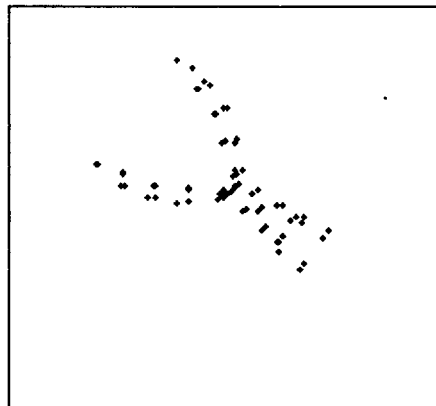
เอกสารนี้รูปที่ 6.6 ภาพที่ใช้ทดสอบเมื่อมีการตัดค้ำบางส่วนของภาพนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. แสดงจุดต่ำสุดสูงสุดสุดของภาพต้นแบบ



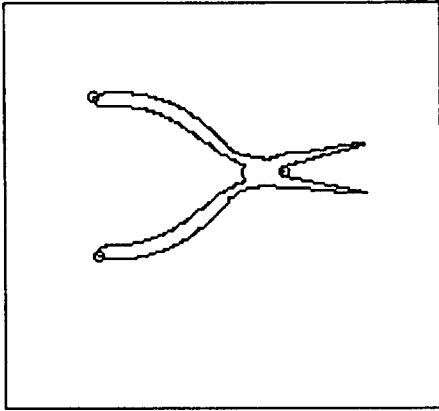
2. แสดงจุดต่ำสุดสูงสุดสุดของภาพต้นที่ใช้ทดสอบ



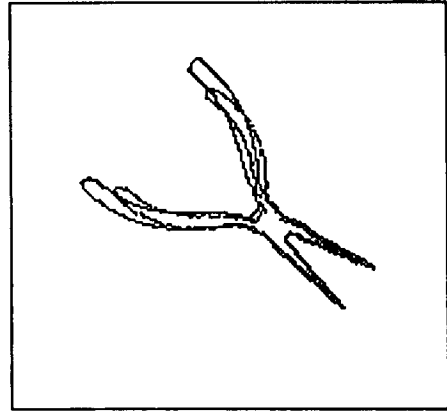
3. ผลการทดสอบซึ่งตอบถูกว่าเป็นภาพที่ 1
โดยให้ค่าความแตกต่าง 1.782

รูปที่ 6.7 แสดงถึงผลการทดสอบในงานวิจัยที่เสนอ

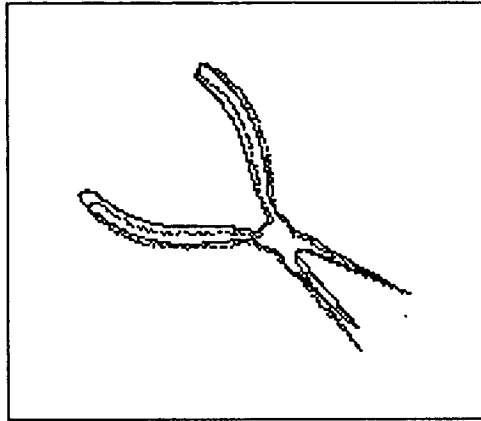
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. แสดงถึงตำแหน่งของ 3 จุดที่เลือกของ
ภาพต้นแบบ



2. ผลการทดสอบกับภาพที่ 1 ให้ค่า
ความเหมาะสม 0.213



3. ผลการทดสอบจีเน็ติก อัลกอริทึมตอบว่าเป็น
ภาพที่ 5 ซึ่งมีค่าความเหมาะสม 0.412

รูปที่ 6.8 แสดงถึงผลการทดสอบในงานวิจัย [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การรู้จำรูปทรงของวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยใช้ *คาคินัลสไปลน์* ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความเสถียรต่อการ หมุน การเปลี่ยนตำแหน่ง และการเปลี่ยนขนาด ของวัตถุ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ เซ็นทรอยแควิล โพรไฟล์และตัวกรองเกาส์เซียน ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนออกไปเพื่อให้กราฟของเซ็นทรอยแควิล โพรไฟล์มีความราบเรียบมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ได้จุดต่ำสุดและจุดสูงสุดของกราฟเซ็นทรอยแควิล โพรไฟล์ ที่เสถียรแล้วนำจุดเหล่านี้ไปหาจุดอ้างอิงของเส้นขอบภาพวัตถุ และไปทำโค้งกระชับด้วยคาคินัลสไปลน์เพื่อให้ได้ข้อมูลจุดภาพที่มีกระชับและลดสัญญาณรบกวนของข้อมูลภาพซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการรู้จำน้อยลง และสิ่งสำคัญคือในงานวิจัยนี้มีการลดจำนวนข้อมูลของจุดภาพที่เก็บ ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลจุดภาพไม่เกิน 60 จุดในส่วนของข้อมูลภาพ จึงทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลของแต่ละภาพวัตถุ รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะใช้เวลาน้อยตามไปด้วย ในขณะที่ผลการทดลองให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ใกล้เคียงกับวิธีการที่ไม่มีการลดจำนวนข้อมูลในงานวิจัย [5] ซึ่งถือว่าเป็นจุดเด่นของงานวิจัยที่เสนอนี้

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ เมื่อนำมาทดสอบกับภาพวัตถุที่เกิดการหมุนมีความถูกต้อง 97.1% เมื่อทดสอบกับภาพวัตถุที่มี การเปลี่ยนขนาด มีความถูกต้อง 97% และเมื่อทดสอบกับภาพวัตถุที่เกิดการหมุนและเปลี่ยนขนาดไปพร้อมๆกันมีความถูกต้อง 96.2% ซึ่งให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับงานวิจัย [5] ถึงแม้ว่าจะมีการลดข้อมูลที่เก็บของภาพก็ตาม

7.2 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่สำคัญของการรู้จำรูปทรงของวัตถุก็คือ วิธีการที่จะนำมาหาลักษณะเด่นจะเลือกใช้วิธีใด ซึ่งมีความเสถียรต่อ การหมุน การเปลี่ยนขนาด และการเปลี่ยนตำแหน่ง ของภาพวัตถุ และควรจะมีจำนวนของลักษณะเด่นไม่มากนักเพราะจะทำให้สูญเสียเวลาอย่างมากในการรู้จำของระบบ ซึ่งก็จะเป็นสิ่งที่ทำทลายความคิดของนักวิจัยในการคิดค้นและหาวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] สมบัติ ฝอยทอง, เอื้อน ปิ่นเงิน, พิศิษฐ์ โภคารัตน์กุล และ ชม กิมปาน “Genetic Algorithm สำหรับการรู้จำรูปทรงของวัตถุที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24 22-23 พฤศจิกายน 2544: 1231-1235
- [2] S. Foithong, C. Kimpan and P. Phokharatkul,” Invariant Object Recognition Using Shape Descriptors and Genetic Algorithm”, World Multiconference on Systemic, Cybernetics and Information 22-25 July, Vol. VI, Part I pp. 274-278, 2001.
- [3] S. Foithong, C. Kimpan and P. Phokharatkul,” Object Recognition Using Characteristic Component and Genetic Algorithm “, Electrical and Electronic Technology, TENCON Proceedings of IEEE Region 10 International Conference on, Vol. 1, pp. 345-349, 2001
- [4] C.C. Chang, S.M. Hwang and D.J. Buehrer, “A shape recognition scheme based on relative distances of feature points from the centroid” , Pattern Recognition , Vol. 24, No. 11 pp.1053- 1063, 1991.
- [5] P.W.M. Tsang, “A Genetic for Affine Invariant Object Shape Recognition “, Genetic Algorithm in Engineering System :Innovations and Applications 12-14 September 1995, Conference Publication No. 414 , IEE , 1995.
- [6] D. Hearn and M.P. Baker, Computer Graphics, Prentice Hall, 1994, pp. 184-198.
- [7] H.Freeman and L.S. Davis,” A corner-finding algorithm for chain-code curves”, IEEE Trans. (Comput. 26, 297-303 1977).
- [8] E. Person and K.S. Fu, ”Shape discrimination using Fourier descriptors ”, IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. 7 , 170-179(1977).
- [9] M.F. Zakaria, L.J. Vrooman, P.J.A. Zsombor Murray and J.M.H.M. Kessel , “Fast algorithm for computation of moment invariants”, Pattern Recognition 20, 639-643(1987).
- [10] S.R.Dubois and F.H. Glanz ,”An autoregressive model approach to two-dimensional shapes classification, IEEE trans. Pattern ,Anal. Mach. Intell. 8,55-66 (1986) .
- [11] W.N. Lie and Y.C. Chen, “Shape representation and matching using polar signature ” , Proc. Int. Comput. Symp.1986, Tainan ,Taiwan, pp. 710-718(1986) .
- [12] H.H. Chen and J.S.Su, “A syntactic approach to shape recognition”, Proc. Int. Comput.Symp. 1986, Tainan, Taiwan, pp. 103-122 (December 1986).
- [13] Endor Ozcan, and Chilukuri K.Mohan, “Shape recognition using Genetic algorithms.” ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 1996 ,pp. 414-416.

- [14] D.E.Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison Wesley, Reading (MA), 1989.
- [15] Lakhmi C. Jain Eds., Evolution of Engineering and Information Systems and Their Applications, CRC Press, 2000.

ประวัติผู้เขียน

สมบัติ ฝอยทอง เกิดเมื่อวันที่ 23 เมษายน 2517 ภูมิลำเนา 55 หมู่ 5 ต. บ้านขาว อ. ระโนด

จ. สงขลา มีประวัติการศึกษาดังนี้

1. วุฒิมัธยมต้น โรงเรียนนาทวีวิทยาคม อ. นาทวี จ. สงขลา
2. วุฒิมัธยมปลาย โรงเรียนนวมินทราชูทิศทักษิณ อ. เมือง จ. สงขลา
3. วุฒิ วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 2 จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ
4. ปัจจุบันศึกษา ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขต. ลาดกระบัง กรุงเทพฯ