การลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์โดยการเร่งความเร็วในการทำเจเนติกอัลกอริทึมด้วยการประมวลผลแบบขนาน

MEDICAL IMAGE REGISTRATION BASED ON ACCELERATION OF GENETIC ALGORITHM WITH PARALLEL PROCESSING

บุญญฤทธิ์ ลักษณะประณัย

BOONYARIT LAKSANAPANAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2251-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์โดยการเร่งความเร็วในการทำเจเนติกอัลกอริทึมด้วยการประมวลผลแบบขนาน

MEDICAL IMAGE REGISTRATION BASED ON ACCELERATION OF GENETIC ALGORITHM WITH PARALLEL PROCESSING

บุญญฤทธิ์ ลักษณประณัย
BOONYARIT LAKSANAPANAI

เลขหมู่.....................
เลขทะเบียน 63468
วัน,เดือน,ปี 29 ส.ค. 2549

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2251-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงว ... ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ... งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEDICAL IMAGE REGISTRATION BASED ON ACCELERATION OF GENETIC ALGORITHM WITH PARALLEL PROCESSING

BOONYARIT LAKSANAPANAI

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2006

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-15-2251-7

COPYRIGHT 2006
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็น ... เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์โดยการเร่งความเร็วในการทำเจเนติกอัลกอริทึมด้วยการประมวลผลแบบขนาน
นักศึกษา	นายบุญญฤทธิ์ ลักษณประณัย
รหัสนักศึกษา	47060408
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

บทคัดย่อ

ปกติแล้วการลงทะเบียนภาพ (image registration) โดยใช้ เจเนติก อัลกอริทึม (genetic algorithm) (GA) ต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานมาก เนื่องจาก เจเนติก อัลกอริทึม ต้องการหาค่าของ ฟังก์ชันเป้าหมาย(objective function) หลายร้อยครั้งขึ้นอยู่กับความกว้างของพื้นที่ ที่ค้นหา ในสถานการณ์ที่ดูเหมือนจะเลวร้ายที่สุดของการทำ เจเนติก อัลกอริทึม คือการลงทะเบียนภาพ แบบวัดความเหมือนกันของระดับความเข้มของภาพ(intensity-based) เพราะว่าต้องมีการประมาณค่าก่อนที่จะทำแต่ละฟังชันเป้าหมาย แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากวิธีการประมวลผลแบบขนาน สามารถเร่งการทำ เจเนติก อัลกอริทึม ได้ถึง 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	MEDICAL IMAGE REGISTRATION BASED ON ACCELERATION OF GENETIC ALGORITHM WITH PARALLEL PROCESSING
Student	Mr. Boonyarit Laksanapanai
Student ID.	47060408
Degree	Master of Engineering
Programme	Electronics Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Asso.Prof.Dr.Chuchart Pintavirooj

ABSTRACT

Generally, image registration using genetic algorithm is a time-consuming process since the algorithm needs to evaluate the objective function several hundred times depending on the vastness of search space. The situation appears worse if the registration is intensity-based due to the interpolation loops prior to each objective function. However, with the availability of parallel processing method, one can accelerate the application of genetic algorithm for iterative-based image registration process of up 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณ นายวิทวัส วิทยชำนาญกุล และเพื่อนนักศึกษาในห้องวิจัยที่ช่วยให้แนวคิด คำแนะนำช่วยแก้ปัญหาทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ซึ่งอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู ตลอดจนให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านการศึกษาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

บุญญฤทธิ์ ลักษณประณัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย	1
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 โครงสร้างวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 การลงทะเบียนภาพ (Image Registration)	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ประเภทของการลงทะเบียนภาพ	3
2.2.1 วัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน (Intraobject-Intramodality Registration)	3
2.2.2 วัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน (Intraobject-Intermodality Registration)	4
2.2.3 วัตถุต่างชนิดกัน (Interobject Registration)	4
2.3 วิธีลงทะเบียนภาพ	5
2.3.1 วิธีลงทะเบียนภาพแบบใช้จุดควบคุม (Control-point based registration)	5
2.3.2 วิธีลงทะเบียนภาพแบบโมเมนต์ (Moment based registration)	5
2.3.3 วิธีลงทะเบียนภาพแบบใช้ขอบภาพ (Edge-based registration)	6
2.3.4 วิธีลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ (Optimization of a similarity measurement)	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การแปลงเชิงเรขาคณิต 7

3.1 บทนำ 7

3.2 อัลกอริทึมของการแปลงเชิงเรขาคณิต 7

3.2.1 การแปลงพิกัด (Spatial Transformation) 7

3.2.2 การประมาณค่าระดับเทาในช่วง (Gray Level Interpolation) 7

3.3 การแปลงเรขาคณิตแบบเชิงเส้น 7

3.3.1 การเลื่อนพิกัด (Translation) 9

3.3.2 การสเกล (Scaling) 10

3.3.3 การหมุนวัตถุ (Rotation) 11

3.3.4 การสะท้อน (Reflection) 12

3.3.5 การเฉือน (Shearing) 13

3.3.6 การฉายภาพ (Projection) 14

3.3.6.1 การฉายภาพแบบออโทกราฟิก (Orthographic Projections) 14

3.3.6.2 การฉายภาพแบบเพอร์สเปกทีฟ (Perspective Projections). 15

3.3.7 การแปลงแบบผสม (Multiple Transformations) 18

3.4 รูปแบบการแปลงภาพ 19

3.4.1 การแปลงแบบริจิด (Rigid Transformation) 19

3.4.2 การแปลงแบบสิมิลาริตี้(SimilarityTransformation) 19

3.4.3 การแปลงแบบแอฟไฟน์(AffineTransformation) 19

3.4.4 การแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ(PerspectiveTransformation) 20

3.5 เทคนิคที่ใช้ในการแปลงพิกัดภาพ 20

3.5.1 การแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า 20

3.5.2 การแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง 21

3.6 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) 23

3.6.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสต์เนบอร์ (Nearest Neighbor) 24

3.6.2 การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์ (Linear Interpolation) 25

3.6.3 การประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชัน (Cubic Convolution) 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 เจเนติก อัลกอริทึม 29

4.1 บทนำ 29

4.2 แนวคิดพื้นฐานของเจเนติก อัลกอริทึม 29

4.3 รูปแบบการแทนโครโมโซม 31

4.4 ฟังก์ชั่นเป้าหมาย และ ค่าฟิตเนส 31

4.5 ตัวดำเนินการเจเนติก 31

4.5.1 การครอสโอเวอร์ 31

4.5.2 การมิวเตชั่น 33

4.6 การเลือกโครโมโซม 33

บทที่ 5 โครงสร้างคอมพิวเตอร์ขนานแบบคลัสเตอร์ 37

5.1 บทนำ 37

5.2 ชนิดของคอมพิวเตอร์แบบขนาน 37

5.2.1 ระบบหลายหน่วยประมวลผล(Multiprocessor) 38

5.2.2 ระบบหลายเครื่องประมวลผล(Multicomputer) 39

5.3 ส่วนประกอบโดยรวมของคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์ 40

5.4 การจำแนกคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์ 41

5.4.1 จำแนกตามงานที่ประยุกต์ใช้ 41

5.4.2 จำแนกตามลักษณะของเครื่องในระบบ 42

5.5 โครงสร้างพื้นฐานของระบบคลัสเตอร์ 43

5.5.1 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ 43

5.5.2 ระบบปฏิบัติการ 43

5.5.3 คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์ 44

5.5.4 การเชื่อมต่อเครือข่าย 45

5.6 เครื่องมือและโปรแกรมอัตถะประโยชน์ 48

5.6.1 โปรแกรมสื่อสารระหว่างโหนดโดยการส่งข้อความ 48

5.6.2 คอมไพเลอร์ 48

5.6.3 ชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์ 49

5.7 การจัดการระบบคลัสเตอร์ 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 โปรแกรมแบบขนาน.....51
6.1 บทนำ.....51
6.2 รูปแบบการพัฒนาโปรแกรมแบบขนาน.....51
6.2.1 การสร้างโปรแกรมขนานโดยอัติโนมัติ.....51
6.2.2 การสร้างโปรแกรมโดยใช้ชุดคำสั่งแบบขนาน.....52
6.2.3 การสร้างโปรแกรมแบบขนานด้วยตัวเอง.....53
6.3 การออกแบบโปรแกรมขนาน.....53
6.3.1 ขั้นตอนการแบ่งงาน.....54
6.3.2 ขั้นตอนการออกแบบการสื่อสาร.....55
6.3.3 ขั้นตอนการรวมกลุ่มงาน.....58
6.3.4 ขั้นตอนการกำหนดงาน.....59

บทที่ 7 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม.....60
7.1 บทนำ.....60
7.2 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม.....60
7.3 การแทนโครโมโซม.....60
7.4 ฟังก์ชั่นเป้าหมาย และ ค่าฟิตเนส.....61
7.5 การเลือกโครโมโซม.....62
7.6 ตัวดำเนินการเจเนติก.....62
7.7 การใช้ เจเนติก อัลกอริทึม ในการลงทะเบียนภาพบนระบบคลัสเตอร์.....63
7.7.1 การแบ่งงานบนระบบคลัสเตอร์.....63
7.2.2 การวัดประสิทธิภาพของการประมวลผลบนระบบคลัสเตอร์.....65

บทที่ 8 ผลการทดลอง.....67
8.1 บทนำ.....67
8.2 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม.....67
8.2.1 การลงทะเบียนภาพต้นแบบที่สร้างขึ้น.....67
8.2.2 การลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์.....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

8.3 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึมบนระบบคลัสเตอร์ 77

8.3.1 ระบบคลัสเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 77

8.3.2 ผลการทดลองบนระบบคลัสเตอร์ 77

บทที่ 9 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 80

9.1 สรุปผลงานวิจัย 80

9.2 ข้อเสนอแนะ 81

เอกสารอ้างอิง 82

เอกสารที่ได้รับการตีพิมพ์ 84

ประวัติผู้เขียน 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

8.1 แสดงค่าความเหมือนกันของภาพที่ได้จากผลลัพธ์การลงทะเบียนภาพต้นแบบ................ 74
8.2 เวลาเฉลี่ย 1 วัฏจักรเจเนติก อัลกอริทึมต่อจำนวนเครื่องที่ใช้ประมวลผล........................ 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงภาพถ่าย MRI สมองของผู้ป่วยรายเดียวกันแต่ถ่ายคนละเวลา....3
2.2 (ก) แสดงภาพถ่าย PET....4
(ข) แสดงภาพถ่าย MRI....4
(ค) แสดงภาพฟิวชั่นกันระหว่างภาพถ่าย PET และ MRI หลังจากการลงทะเบียนภาพ....4
2.3 (ก),(ข) แสดงภาพถ่าย MRI ของศรีษะผู้ป่วย 2 ราย....4
(ค) แสดงภาพ (ก) ที่ถูกลงทะเบียนภาพแล้ว....4
(ง) แสดงขอบของภาพถ่าย (ก),(ข) ที่นำมาวางซ้อนกันก่อนลงทะเบียนภาพ....4
(จ) แสดงขอบของภาพถ่าย (ก),(ข) ที่นำมาวางซ้อนกันหลังจากลงทะเบียนภาพ....4
3.1 ส่วนประกอบของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส....8
3.2 การเลื่อนจุดกึ่งกลางของปริมาตรต้นฉบับมายังจุดกำเนิด....9
3.3 การสเกลวัตถุ....10
3.4 การแปลงแบบหมุนรอบแกนทั้งสาม....11
3.5 การสะท้อนวัตถุกับระนาบ XY....12
3.6 การเฉือนโดยสัมพันธ์กับค่า z เมื่อ $Sh_{zx} = 0$ และ $Sh_{zy} = 1$....13
3.7 การฉายภาพลงบนระนาบ x = 0, y = 0 และ z = 0....14
3.8 การฉายภาพแบบเพอร์สเปกทีฟ....15
3.9 ลักษณะการแปลงแบบริจิด....19
3.10 ลักษณะการแปลงแบบสิมิลาริตี้....19
3.11 ลักษณะการแปลงแบบแอฟไฟน์....19
3.12 ลักษณะการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ....20
3.13 แสดงการแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า....20
3.14 แสดงคุณสมบัติของการการแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า....21
3.15 แสดงการแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง....22
3.16 แสดงคุณสมบัติของการการแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง....22
3.17 เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบต่างๆ....23
3.18 กระบวนการประมาณค่าในช่วง....23
3.19 การประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสต์เนบอร์....24
(ก) เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วง(ข) ลักษณะของการประมาณค่าในช่วง....24
3.20 การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์....25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.21 เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์.......... 25

3.22 ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงแบบไบลิเนียร์ 3 ขั้นตอน.......... 26

3.23 เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชัน.......... 27

3.24 การประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชันที่จุด d.......... 28

4.1 วัฏจักรของ เจเนติก อัลกอริทึม.......... 30

4.2 การครอสโอเวอร์ แบบ1จุด.......... 31

4.3 การครอสโอเวอร์ แบบ2จุด.......... 32

4.4 การครอสโอเวอร์ แบบยูนิฟอร์ม.......... 32

4.5 การครอสโอเวอร์ แบบเอริธเมทหิค.......... 32

4.6 การมิวเตชั่น, (ก)โครโมโซมก่อนการทำมิวเตชั่น, (ข)หลังการทำมิวเตชั่น.......... 33

4.7 แผนภูมิแสดงความน่าจะเป็นที่โครโมโซมจะถูกเลือกของวิธีวงล้อรูเลท.......... 33

4.8 แผนภูมิแสดงความน่าจะเป็นที่โครโมโซมจะถูกเลือกของวิธีจัดตำแหน่ง.......... 34

(ก) ก่อนที่จะทำการจัดตำแหน่งโครโมโซม.......... 34

(ข) หลังจากทำการจัดตำแหน่งโครโมโซม.......... 34

5.1 โครงสร้างการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบขนานหลายหน่วยประมวลผล.......... 38

5.2 โครงสร้างการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบหลายเครื่องประมวลผล.......... 39

5.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบคลัสเตอร์.......... 40

5.4 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกผ่านเกตเวย์.......... 46

5.5 การเชื่อมต่อแบบทุกเครื่องเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอก.......... 47

6.1 ขั้นตอนการทำงานของการสร้างโปรแกรมแบบขนานโดยอัตโนมัติ.......... 52

6.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมแบบขนานโดยใช้ชุดคำสั่งแบบขนาน.......... 53

6.3 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมแบบขนานด้วยตัวเอง.......... 53

6.4 ขั้นตอนการออกแบบการทำงานของโปรแกรมแบบขนาน.......... 54

6.5 การแบ่งขอบเขตหน้าที่ของปัญหา.......... 55

6.6 ลักษณะการสื่อสารในการคำนวณไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในสองมิติ.......... 56

6.7 การสื่อสารเพื่อรวมค่าโดยงานที่เป็นผู้จัดการ.......... 57

6.8 ตาราง (Grid) ซึ่งสร้างจากวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อีลีเมนต์.......... 57

6.9 การรวมกลุ่มงานในการประมวลผลแบบขนานเพื่อลดเวลาในการสื่อสาร.......... 58

7.1 แสดงการแทนค่าให้กับโครโมโซม.......... 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7.2	Island model	64
8.1	ภาพต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น	68
8.2	(ก) ภาพต้นแบบที่ถูกเลื่อนพิกัด Tx = 6, Ty = 36	69
	(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกเลื่อนพิกัด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง	69
	(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์	69
	(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์	69
	(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	69
	(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	69
8.3	(ก) ภาพต้นแบบที่ถูกสเกล Sx = 0.97, Sy = 1.2	70
	(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกเลื่อนพิกัด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง	70
	(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์	70
	(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์	70
	(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	70
	(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	70
8.4	(ก) ภาพต้นแบบที่ถูกหมุน R = 12	71
	(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกเลื่อนพิกัด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง	71
	(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์	71
	(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์	71
	(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	71
	(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	71
8.5	(ก) ภาพต้นแบบที่ถูกแปลงแบบริจิด Tx = 26, Ty = 10, R = -160	72
	(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกเลื่อนพิกัด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง	72
	(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์	72
	(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์	72
	(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	72
	(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์	72
8.6	(ก) ภาพถูกแปลงแบบสิมิลาริตี้ Tx = 26, Ty = 10, R = 200, Sx = 0.97, Sy = 1.2	73
	(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกเลื่อนพิกัด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง	73
	(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์..........73

(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์..73

(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์.............73

8.7 จุดภาพที่จะนำมาทำการลงทะเบียนภาพแบบวัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียว-กัน.. 74

(ก) ภาพ MRI ของสมองผู้ป่วย.. 74

(ข) ภาพ MRI ของสมองผู้ป่วยรายเดียวกันแต่ถ่ายคนละเวลา..74

8.8 (ก) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ก) และรูปที่ 8.7(ข) มาลบกันโดยตรงโดยที่ยังไม่ได้ทำการลงทะเบียนภาพเพื่อดูความแตกต่างกันของภาพทั้งสอง...75

(ข) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ก) และรูปที่ 8.7(ข) ที่ทำการลงทะเบียนภาพ แล้วมาลบกันโดยตรงเพื่อดูความแตกต่างกันของภาพทั้งสอง..75

8.9 (ก) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ข) มาเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป 25 dB 75

(ข) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ก) และรูปที่ 8.9(ก) ที่ทำการลงทะเบียนภาพ แล้วมาลบกันโดยตรงเพื่อดูความแตกต่างกันของภาพทั้งสอง..75

8.10 ภาพที่จะนำมาทำการลงทะเบียนภาพแบบวัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพต่างวิธีกัน 76

(ก) ภาพ PET ช่องท้องผู้ป่วย... 76

(ข) ภาพ CT ช่องท้องผู้ป่วย 76

8.11 (ก) ภาพจากรูปที่ 8.10 (ข) ที่ถูกทำการลงทะเบียนภาพแล้ว......................................76

(ข) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.10 (ก)และรูปที่ 8.11(ก) มาฟิวชั่น (Fusion)กัน..76

8.12 แผนภูมิแสดงเวลาที่ลดลงของการประมวลผล...7 8

8.13 แผนภูมิแสดงอัตราการเพิ่มความเร็วของการประมวลผลเทียบกับอุดมคติ.........................7 8

8.14 แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ในการประมวลผลเทียบกับอุดมคติ..............................79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การลงทะเบียนภาพ (Image Registration) เป็นสิ่งที่จำเป็นในงานที่เกี่ยวกับด้านการแพทย์หลายๆ งาน ซึ่งได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ สำหรับการ วินิจฉัยโรค การวางแผนการผ่าตัด การติดตามผล การรักษาโรคด้วยรังสี ฯลฯ หลักการของการทำการลงทะเบียนภาพ คือการหาคุณสมบัติการแปลง จากภาพหนึ่งไปยังภาพอื่นๆ เพื่อทำการจัดวางภาพตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไปลงบนระนาบเดียวกันอย่างสอดคล้องกัน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ หลักการของวิธีลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพคือ จะไม่ดึงคุณสมบัติใดๆของภาพ แต่จะทำการแปลงภาพๆหนึ่งและทำการวัดความเหมือนของภาพทั้งสอง และจะทำการแปลงภาพนั้นอีกจนกว่าภาพทั้งสองจะเหมือนกันที่สุด วิธีลงทะเบียนภาพวิธีนี้จำเป็นต้องใช้กระบวนการทำซ้ำ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) ในการลงทะเบียนภาพ ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมาก จึงได้นำวิธีการประมวลผลแบบขนานมาช่วยในการเร่งความเร็วของการทำเจเนติกอัลกอริทึม ทำให้ใช้เวลาประมวลผลโดยรวมลดลง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการและวิธีการลงทะเบียนภาพระหว่างภาพสองมิติและภาพสองมิติ
2. เพื่อศึกษาการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ
3. เพื่อศึกษาการประมวลผลแบบขนาน

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการลงทะเบียนภาพอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งนำข้อดีของวิธีการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ คือไม่ต้องทำเครื่องหมาย (land mark) ใดๆ บนตัวผู้ป่วยขณะทำการถ่ายภาพ หรือทำเครื่องหมายใดๆ บนภาพ แต่จะต้องมีกระบวนการทำซ้ำซึ่งได้นำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการลงทะเบียนภาพ เนื่องจากข้อดีของเจเนติกอัลกอริทึมในการลงทะเบียนภาพ คือเจเนติกอัลกอริทึมจะไม่ลู่เข้าสู่จุดโลคอลมินิมัม(local minimum) แต่เนื่องจากเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ ใช้เวลาใน

เอกสารนี้เ ... การค้า
ไม่ว่ากรณีใ ... ใช้

การประมวลผลแต่ละรอบนานมากจึงได้นำการประมวลผลแบบขนานมาช่วยในการเร่งความเร็วของการทำเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อให้ใช้เวลาประมวลผลโดยรวมลดลง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ เพื่อทำการลงทะเบียนภาพสองมิติกับภาพสองมิติ โดยทำการทดลองลงทะเบียนภาพกับภาพที่ถูกทำการแปลงแบบสิมิลาริตี้ (Similarity Transformation) โดยนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ และนำการประมวลผลแบบขนานมาช่วยในการเร่งความเร็วของการทำเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อให้ใช้เวลาประมวลผลโดยรวมลดลง

1.5 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 8 บท ในแต่ละบทมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา วัตถุประสงค์ของการศึกษา ความสำคัญของปัญหา ทฤษฎี และขอบเขตที่ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงประเภทและวิธีการลงทะเบียนภาพในปัจจุบัน

บทที่ 3 กล่าวถึงรูปแบบการแปลงทางเรขาคณิตแบบต่างๆ เทคนิคที่ใช้ในการแปลงภาพและเทคนิคในการประมาณค่า

บทที่ 4 กล่าวถึงเจเนติก อัลกอริทึม

บทที่ 5 กล่าวถึงโครงสร้างของคอมพิวเตอร์ขนานแบบคลัสเตอร์

บทที่ 6 กล่าวถึงโปรแกรมแบบขนาน

บทที่ 7 กล่าวถึงขั้นตอนที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพในงานวิจัยนี้

บทที่ 8 ผลการทดลอง ได้แก่ การลงทะเบียนภาพ และผลทางด้านเวลาการประมวลผล

บทที่ 9 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การลงทะเบียนภาพ
(Image Registration)

2.1 บทนำ

การลงทะเบียนภาพ (Image Registration) เป็นกระบวนการในการจัดวางภาพตั้งแต่สองภาพขึ้นไปลงบนระนาบเดียวกันอย่างสอดคล้อง เพื่อพิจารณารายละเอียดรวมทั้งตำแหน่งของวัตถุบนภาพทั้งหมดได้ในขณะเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การลงทะเบียนภาพจึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ผลภาพทางการแพทย์เช่น การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อมะเร็งเป็นต้นมีอยู่ในปัจจุบัน

2.2 ประเภทของการลงทะเบียนภาพ

2.2.1 วัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน (Intraobject-Intramodality Registration)

รูปที่ 2.1 แสดงภาพถ่าย MRI สมองของผู้ป่วยรายเดียวกันแต่ถ่ายคนละเวลา

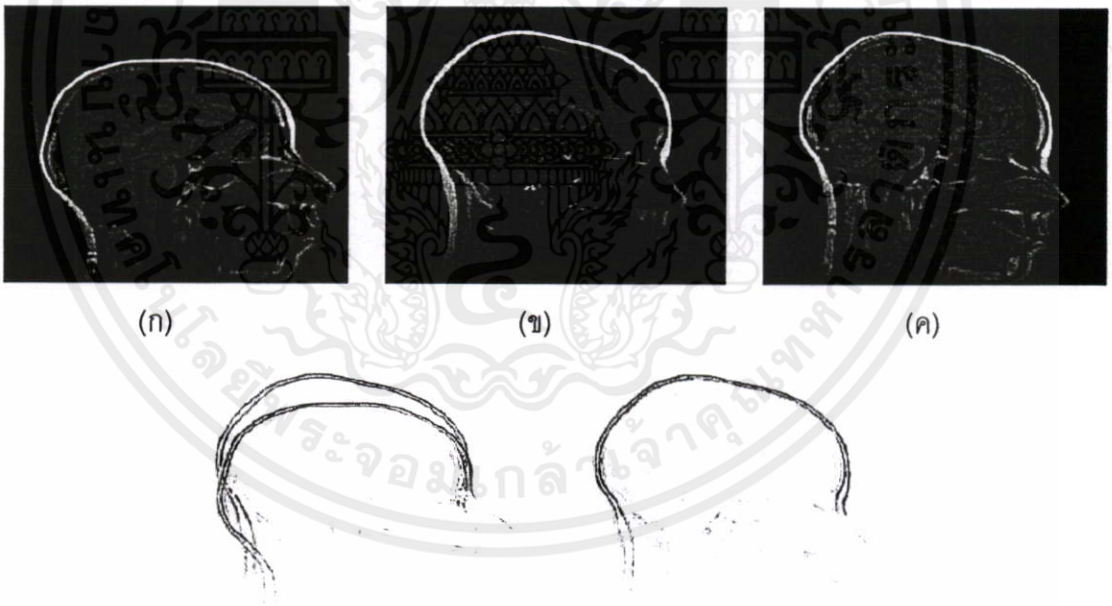
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 วัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน (Intraobject-Intermodality Registration)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.2 (ก) แสดงภาพถ่าย PET (ข) แสดงภาพถ่าย MRI (ค) แสดงภาพฟิวชั่น (Fusion) กันระหว่างภาพถ่าย PET และ MRI หลังจากการลงทะเบียนภาพ

2.2.3 วัตถุต่างชนิดกัน (Interobject Registration)



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ)

รูปที่ 2.3 (ก),(ข) แสดงภาพถ่าย MRI ของศีรษะผู้ป่วย 2 ราย

(ค) แสดงภาพ (ก) ที่ถูกลงทะเบียนภาพแล้ว

(ง) แสดงขอบของภาพถ่าย (ก),(ข) ที่นำมาวางซ้อนกันก่อนลงทะเบียนภาพ

(จ) แสดงขอบของภาพถ่าย (ก),(ข) ที่นำมาวางซ้อนกันหลังจากลงทะเบียนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ... ที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีลงทะเบียนภาพ

เราสามารถจำแนกวิธีลงทะเบียนภาพได้หลายแบบด้วยกัน [1-2] ในที่นี้เราแบ่งวิธีการลงทะเบียนภาพได้เป็น 4 วิธีตามคุณลักษณะของภาพที่นำมาใช้ลงทะเบียน ได้แก่

2.3.1 วิธีลงทะเบียนภาพแบบใช้จุดควบคุม (Control-point based registration)

วิธีการลงทะเบียนภาพแบบใช้จุดควบคุม จะใช้จุดที่สอดคล้องกันระหว่างจุดบนภาพทั้งสองภาพในการลงทะเบียน และเรียกจุดเหล่านั้นว่าแลนมาร์ค ดังนั้นความแม่นยำของการลงทะเบียนภาพจึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแลนมาร์คที่หาได้

แลนมาร์คอาจจะเป็นจุดซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุหรือไม่ใช่ก็ได้ เช่น ในภาพทางการแพทย์จะมีแลนมาร์ค เช่น จุดบนอวัยวะหรือขอบของกระดูกเป็นคุณสมบัติของวัตถุ หรือแลนมาร์คที่ได้จากการเอาแหล่งกำเนิดแสงติดไว้ที่ตัวผู้ป่วยตามจุดต่างๆหรือทำเครื่องหมายไว้ที่ตัวผู้ป่วย เป็นแลนมาร์คซึ่งไม่ใช่คุณสมบัติของวัตถุโดยตรง และวิธีที่ได้มาซึ่งแลนมาร์คนั้นมีหลายวิธี เช่น การหาแลนมาร์คด้วยมือหรือการกำหนดจุดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำและความรู้เกี่ยวกับภาพชนิดนั้นๆ เช่นการหาแลนมาร์คในภาพทางการแพทย์เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการหาแลนมาร์คแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ เช่นจุดเปลี่ยนโค้ง หรือจุดมุมของรูป [3]

จากนั้นสามารถหาเมตริกซ์ของการแปลงได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างแลนมาร์คบนภาพที่หนึ่งกับภาพที่สอง เช่นในภาพที่มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นสามารถหาเมตริกซ์ของการแปลงได้จากการประมาณ Mean Square Error (MSE)

2.3.2 วิธีลงทะเบียนภาพแบบโมเมนต์ (Moment based registration)

หลักการของวิธีการลงทะเบียนภาพแบบโมเมนต์จะพิจารณาความสัมพันธ์ของภาพจากคุณสมบัติพื้นฐานของภาพและไม่อาศัยมนุษย์ช่วยในการลงทะเบียนภาพ

เนื่องจากค่าระดับเทา (Gray level) และคุณสมบัติเชิงเรขาคณิตของภาพนั้น ถูกกำหนดลักษณะโดยจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity) แกนหลัก (Principal Axis) และค่าโมเมนต์อื่นๆ [4-7]

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของการแปลง (เลื่อน หมุน ย่อ ขยาย เป็นต้น) ของการแปลงสำหรับภาพมาตรฐาน สามารถคำนวณได้จากการคำนวณโมเมนต์แบบนอร์มอไลซ์ (Normalizing Moments) ในแต่ละภาพ เนื่องจากค่าโมเมนต์แบบนอร์มอไลซ์นี้มีคุณสมบัติที่ไม่แปรผันของภาพ

สำหรับประสิทธิภาพของวิธีการลงทะเบียนภาพแบบนี้จะไวต่อสัญญาณรบกวนอย่างมาก กล่าวคือ ค่าโมเมนต์และพารามิเตอร์สำหรับการแปลงที่คำนวณได้จากภาพที่มีสัญญาณรบกวนจะมีความผิดพลาดแปรผันตามขนาดของสัญญาณรบกวน เป็นผลให้วิธีลงทะเบียนภาพแบบนี้ไม่นิยมใช้ในการลงทะเบียนภาพมากนักและถูกจำกัดให้ใช้กับภาพที่มีรูปทรงอย่างง่ายเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 วิธีลงทะเบียนภาพแบบใช้ขอบภาพ (Edge-based registration)

วิธีลงทะเบียนภาพแบบนี้นิยมใช้กับภาพที่มีขอบภาพชัดเจน และไม่สนใจข้อมูลอื่นบนภาพยกเว้นขอบภาพเท่านั้น

โดยขั้นตอนของการหาขอบภาพสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Template matching หรือ Zero Crossing เป็นต้น อย่างไรก็ตามการหาขอบภาพที่มีสัญญาณรบกวนอาจทำได้ไม่ง่ายนัก

หลังจากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการในการลงทะเบียน เช่น วิธี ICP (Iterative Closet Points) หรือ Super-Curve [8] จากนั้นคำนวณหาค่าผิดพลาด โดยใช้ Minimum MSE (Mean Square Error) หรือการเปรียบเทียบระดับความเข้มสี (Intensity) ของพิกเซลที่เป็นขอบภาพ

แต่เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลที่ได้หรือขอบภาพที่ได้ไม่ถูกต้องทำให้กระบวนการลงทะเบียนผิดพลาดได้ กล่าวคือ ค่าที่คำนวณได้อาจจะให้ค่าผิดพลาดน้อยสุดในช่วงหนึ่ง (Local minimum) ไม่ใช่ค่าที่ผิดพลาดน้อยสุดจริงๆ (Global minimum) ดังนั้นผลของการลงทะเบียนจึงผิดพลาด จึงต้องอาศัยกระบวนการในการหาจุดที่เป็น Global minimum ที่ดีจึงจะช่วยแก้ปัญหาข้างต้นได้

อย่างไรก็ตามวิธีลงทะเบียนภาพแบบใช้ขอบภาพ นับว่าเป็นวิธีที่แพร่หลายเนื่องจากขอบภาพเป็นข้อมูลพื้นฐานของภาพ

2.3.4 วิธีลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ (Optimization of a similarity measurement)

หลักการของวิธีลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพคือ จะไม่ดึงคุณสมบัติใดๆของภาพ แต่จะทำการแปลงภาพๆหนึ่งและทำการวัดความเหมือนของภาพทั้งสองและจะทำการแปลงภาพนั้นอีกจนกว่าภาพทั้งสองจะเหมือนกันที่สุด

การวัดความเหมือนของภาพจะพิจารณาจากคุณสมบัติของภาพเช่น Correlation Coefficient, Correlation function หรือ Sum of absolute differences

วิธีลงทะเบียนภาพวิธีนี้จำเป็นต้องใช้กระบวนการทำซ้ำ เช่น การใช้ Genetic Algorithm [9] ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การแปลงเชิงเรขาคณิต

3.1 บทนำ

การแปลงเชิงเรขาคณิตเป็นทฤษฎีพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิกว่าด้วยการแปลงพิกัดภาพหรือวัตถุหนึ่งไปยังพิกัดใหม่โดยใช้พารามิเตอร์ของการแปลงจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างมากในการลงทะเบียนภาพ กล่าวคือหากเราทราบว่าภาพมีความสัมพันธ์กันด้วยพารามิเตอร์ของการแปลงเท่าใด เราจึงสามารถลงทะเบียนภาพได้

3.2 อัลกอริทึมของการแปลงเชิงเรขาคณิต

โดยทั่วไปภาพดิจิตอลจะประกอบไปด้วยอาเรย์สองมิติที่เป็นข้อมูลแสดงสีหรือความเข้มของแสง เรียกองค์ประกอบของข้อมูลเหล่านี้ว่า "พิกเซล" (Pixel) โดยแต่ละพิกเซลจะมีข้อมูลที่สำคัญคือ ตำแหน่งของพิกเซลหรือพิกัดของพิกเซลในภาพนั้นๆ และค่าของสีหรือความเข้มแสงของพิกเซลนั้นๆ [10-12]

ดังนั้นอัลกอริทึมของการแปลงภาพเชิงเรขาคณิตจึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

3.2.1 การแปลงพิกัด (Spatial Transformation)

เป็นการหาตำแหน่งในภาพใหม่ ซึ่งพิกเซลในภาพต้นฉบับจะถูกแปลงไป จะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.5 เทคนิคที่ใช้ในการแปลงภาพ

3.2.2 การประมาณค่าระดับเทาในช่วง (Gray Level Interpolation)

หลังจากที่ได้ตำแหน่งในภาพใหม่แล้ว จะทำการประมาณค่าสีหรือความเข้มแสงให้แก่พิกเซลนั้นๆ ด้วยเทคนิคต่างๆ ในหัวข้อที่ 3.6 การประมาณค่าในช่วง

3.3 การแปลงเชิงเรขาคณิตแบบเชิงเส้น

ในงานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกนั้น บางครั้งจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายภาพไปยังตำแหน่งใหม่ ย่อ-ขยายภาพ หรือมีการหมุนภาพให้อยู่ในมุมมองที่เหมาะสม ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้การแปลงเชิงเรขาคณิต(Geometric transformation)

ในการพิจารณาการแปลงนั้นจะพิจารณาได้ว่าเป็นการแปลงจุดในปริภูมิสามมิติ และเพื่อความเข้าใจง่ายจึงมักจะเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ โดยกำหนดให้จุดที่ต้องการแปลงเป็นจุด P มีพิกัดเป็น (x, y, z) ใดๆ เมื่อต้องการย้ายตำแหน่งของจุด P ไปยังพิกัดใหม่คือ P' ซึ่งมีพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(x', y', z') ก็ทำได้โดยการนำพิกัดของจุด P ไปบวกกับเมตริกซ์การแปลงซึ่งก็คือ T สามารถแสดงเมตริกซ์ของการแปลงได้ดังนี้

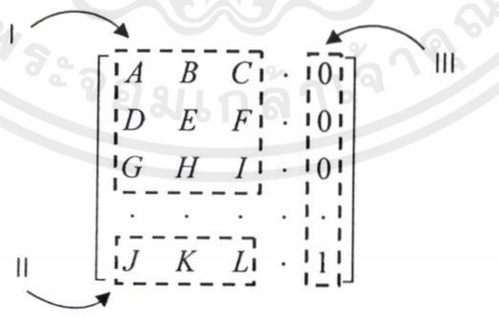
$$P' = P + T = [x \quad y \quad z] + [T_x \quad T_y \quad T_z] \tag{3.1}$$

โดยที่ค่า T_x, T_y และ T_z แสดงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปในแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำพิกัดของจุด P มาคูณกับเมตริกซ์การแปลง T ให้ได้พิกัดใหม่คือ P' นั้นจะเป็นการสเกล การหมุน การสะท้อน หรืออื่นๆ ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ภายในเมตริกซ์การแปลงนั้นและสามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$P' = P \cdot T = [x \quad y \quad z] \cdot \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

สำหรับการแปลงเชิงเรขาคณิตในทางคอมพิวเตอร์กราฟิกโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยการแปลงหลายๆชนิดประกอบกัน และเนื่องจากเป็นการคำนวณในรูปของเมตริกซ์จึงทำให้ยากในการคำนวณเมตริกซ์ที่มีรูปแบบแตกต่างกัน จึงได้มีการนำระบบพิกัดโฮโมจีเนียส (Homogeneous Coordinate System) เข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้

ในระบบพิกัดโฮโมจีเนียส จุดในระบบสามมิติ (x, y, z) จะถูกแทนด้วยระบบสี่มิตินั่นคือ (x, y, z, H) โดยจะมี H เป็นค่าแฟกเตอร์ที่มีหน้าที่สเกลซึ่งจะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ จุด (x, y, z, H) จะถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalize) เป็น $(x/H, y/H, z/H, 1)$ โดยทั่วไปแล้วค่า H จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจุด (x, y, z) ใดๆจะมีค่าในระบบพิกัดโฮโมจีเนียสเป็น $(x, y, z, 1)$



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 เมตริกซ์ย่อย I เป็นส่วนที่กำหนดว่าเป็นการแปลงแบบใด เช่น การหมุน การสเกล การสะท้อน เป็นต้น ส่วนเมตริกซ์ย่อย II เป็นส่วนของการย้ายตำแหน่งแบบเชิงเส้น และใน

ส่วนสุดท้ายเมตริกซ์ย่อย III ใช้ในการรวมระหว่างการเคลื่อนย้ายพิกัดและการแปลงที่อยู่ในรูปการคูณ โดยมีรายละเอียดของการแปลงแบบต่างๆดังนี้

3.3.1 **การเลื่อนพิกัด** (Translation)

เมตริกซ์การแปลง (T_T) ที่ใช้สำหรับการแปลงที่ต้องการเลื่อนพิกัดมีลักษณะดังนี้

$$T_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.3)$$

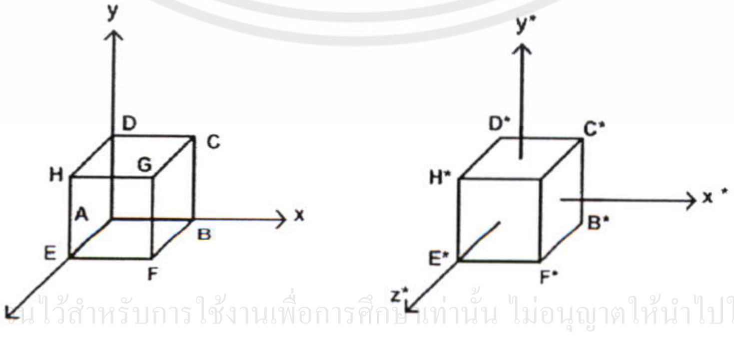
โดยที่ค่า T_x, T_y และ T_z แสดงระยะทางที่ต้องการเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปในแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ และพิกัดของจุดในระบบโฮโมจีเนียส (x', y', z', h) เป็น

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.4)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x+T_x & y+T_y & z+T_z & 1 \end{bmatrix} \qquad (3.5)$$

การเลื่อนเมตริกซ์เป็นการแปลงที่มีประโยชน์มากในทางคอมพิวเตอร์กราฟิก เนื่องจากข้อมูลภาพต้นฉบับที่นำมาใช้จะมีตำแหน่งอยู่ในด้านบวกเท่านั้น จึงจำเป็นต้องการอาศัยการแปลงแบบนี้เพื่อเลื่อนพิกัดกึ่งกลางของข้อมูลต้นฉบับให้มาอยู่ที่จุดกำเนิด (0,0,0) เสียก่อน แสดงในรูปที่ 3.2 จึงถือได้ว่าการแปลงแบบเลื่อนพิกัดเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการสร้างภาพทางคอมพิวเตอร์กราฟิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 การเลื่อนจุดกึ่งกลางของปริมาตรต้นฉบับมายังจุดกำเนิด

3.3.2 การสเกล (Scaling)

การสเกลเป็นการแปลงเพื่อปรับเปลี่ยนขนาดของวัตถุที่ต้องการ มีเมตริกซ์การแปลง (S) ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

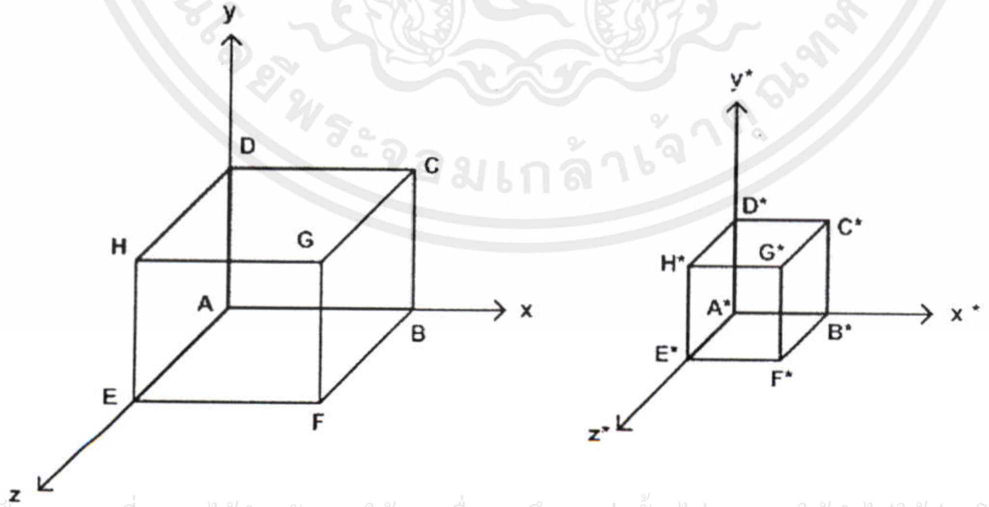
โดยที่ S_x, S_y และ S_z เป็นสัมประสิทธิ์การสเกลสำหรับพิกัด X, Y และ Z ตามลำดับ และพิกัดของจุดในระบบโฮโมจีเนียส (x', y', z', h) เป็น

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} xS_x & yS_y & zS_z & 1 \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

ค่า S_x, S_y และ S_z จะเป็นตัวกำหนดว่าเป็นการย่อหรือขยายรูป กล่าวคือ ถ้า S มีค่ามากกว่า 1 จะเป็นการขยายภาพและถ้า S มีค่าน้อยกว่า 1 จะเป็นการย่อขนาดภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 การสเกลวัตถุ

3.3.3 **การหมุนวัตถุ** (Rotation)

การหมุนวัตถุเป็นการหมุนวัตถุรอบแกนต่างๆทั้งสามแกน ซึ่งได้แก่ แกน X, Y หรือ Z โดยการอ้างอิงการมองในลักษณะมองออกจากจุดกำเนิดไปตามแนวแกน เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกนต่างๆในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีดังนี้

- เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน X ไปเป็นมุม θ คือ

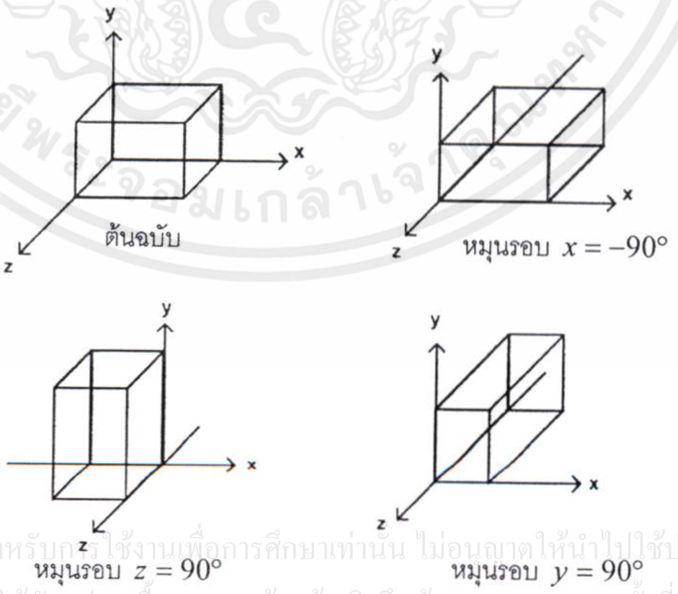
$$R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

- เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน Y ไปเป็นมุม ϕ คือ

$$R_Y = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & -\sin\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\phi & 0 & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

- เมตริกซ์การแปลงของการหมุนรอบแกน Z ไปเป็นมุม φ คือ

$$R_Z = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.11}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การแปลงแบบหมุนรอบแกนทั้งสาม

3.3.4 **การสะท้อน** (Reflection)

การสะท้อนวัตถุเป็นการสะท้อนพิกัดของวัตถุไปยังพิกัดที่อยู่อีกด้านหนึ่งของระนาบการสะท้อน XY, YZ หรือ XZ เมตริกซ์ของการสะท้อนมีดังต่อไปนี้

- เมตริกซ์ของการสะท้อนกับระนาบ XY คือ

$$Rf_{XY} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

จะเปลี่ยนเฉพาะพิกัด z โดย $z' = -z$

- เมตริกซ์ของการสะท้อนกับระนาบ YZ คือ

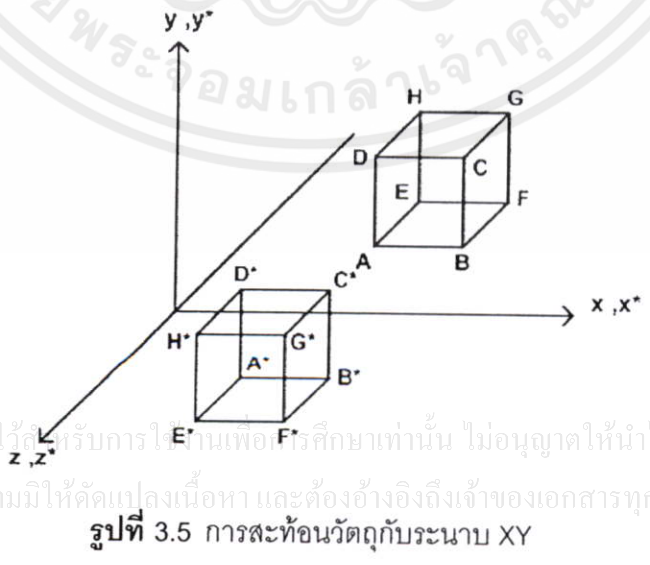
$$Rf_{YZ} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.13}$$

จะเปลี่ยนเฉพาะพิกัด x โดย $x' = -x$

- เมตริกซ์ของการสะท้อนกับระนาบ XZ คือ

$$Rf_{XZ} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.14}$$

จะเปลี่ยนเฉพาะพิกัด y โดย $y' = -y$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การสะท้อนวัตถุกับระนาบ XY

3.3.5 **การเฉือน** (Shearing)

การเฉือนในปริภูมิสามมิติเป็นการแปลงพิกัดตามแกนของสองแกนใดๆ (สมมติว่าเป็น x และ y) โดยสัมพันธ์กับค่าของพิกัดตามแนวแกนที่สาม (z) เป็นผลให้ค่าพิกัดตามแนวแกนของสองแกนแรกเปลี่ยนไป ในขณะที่ค่าพิกัดตามแนวแกนที่สามนั้นมีค่าคงเดิม

- เมตริกซ์ของการเฉือนโดยสัมพันธ์กับแกน X

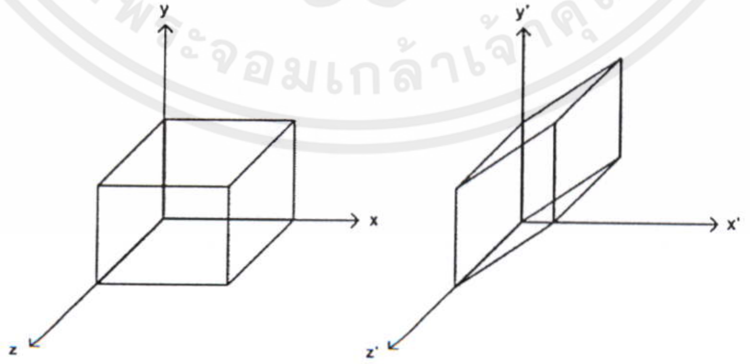
$$Sh_x = \begin{bmatrix} 1 & Sh_{xy} & Sh_{xz} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.15}$$

- เมตริกซ์ของการเฉือนโดยสัมพันธ์กับแกน Y

$$Sh_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ Sh_{yx} & 1 & Sh_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.16}$$

- เมตริกซ์ของการเฉือนโดยสัมพันธ์กับแกน Z

$$Sh_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ Sh_{zx} & Sh_{zy} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.17}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 การเฉือนโดยสัมพันธ์กับค่า z เมื่อ $Sh_{zx} = 0$ และ $Sh_{zy} = 1$

3.3.6 **การฉายภาพ** (Projection)

การฉายภาพเป็นการแปลงจาก n มิติไปเป็น $n-1$ มิติ การฉายภาพมี 2 ประเภทคือแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะอธิบายเฉพาะการฉายภาพแบบเชิงเส้นเท่านั้น สำหรับการฉายภาพแบบเชิงเส้นยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

3.3.6.1 **การฉายภาพแบบตั้งฉาก** (Orthographic Projections)

การฉายภาพแบบตั้งฉากเป็นวิธีฉายภาพแบบขนานอย่างหนึ่งที่มีรูปแบบอย่างง่ายและถูกใช้ในการวาดภาพทางวิศวกรรม โดยจะแสดงขนาดจริงของวัตถุในแต่ละด้าน เมตริกซ์ของการฉายภาพลงบนระนาบต่างๆเป็นดังนี้

- เมตริกซ์ของการฉายภาพลงบนระนาบ $x=0$

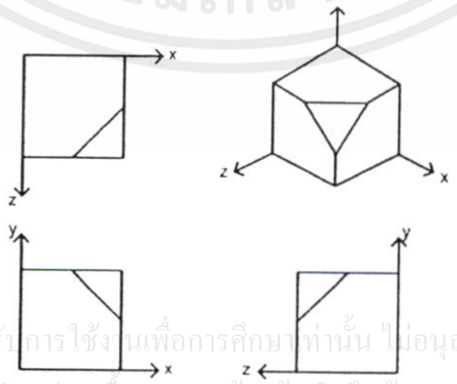
$$P_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

- เมตริกซ์ของการฉายภาพลงบนระนาบ $y=0$

$$P_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

- เมตริกซ์ของการฉายภาพลงบนระนาบ $z=0$

$$P_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

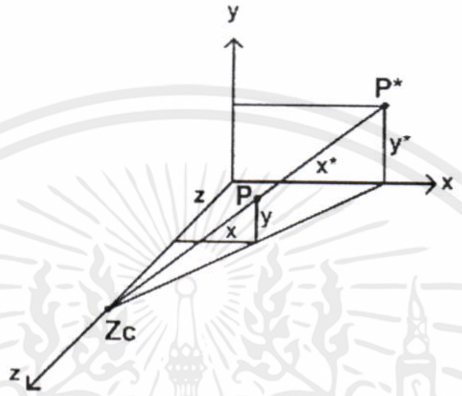


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แสดงการฉายภาพลงบนระนาบ x = 0, y = 0 และ z = 0

3.3.6.2 **การฉายภาพแบบเพอร์สเปกทีฟ** (Perspective Projections)

เป็นรูปแบบการแปลงเชิงเรขาคณิตอย่างหนึ่งซึ่งแตกต่างจากการแปลงแบบอื่นๆที่ได้กล่าวมาแล้ว คือการแปลงแบบเลื่อนพิกัด การสเกล การหมุน การสะท้อน และการเฉือนนั้นเป็นการแปลงซึ่งคงคุณสมบัติความขนานกันของเส้น แต่การแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟนี้แตกต่างออกไป และการแปลงแบบนี้ยังมีผลให้ขนาดของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปโดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของการฉายภาพ



รูปที่ 3.8 การฉายภาพแบบเพอร์สเปกทีฟ

พิจารณารูปที่ 3.8 เป็นการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟและทำการฉายภาพจากจุด P ไปยังจุด P^* บนระนาบ $z = 0$ โดยมี z_C เป็นจุดศูนย์กลางของการฉายภาพ (Center of projection) จากคุณสมบัติของสามเหลี่ยมคล้าย ได้ว่า

$$\frac{x^*}{z_C} = \frac{x}{z_c - z}$$

หรือ
$$x^* = \frac{x}{1 - \frac{z}{z_c}}$$

และ
$$\frac{y^*}{\sqrt{(x^*)^2 + z_c^2}} = \frac{y}{\sqrt{x^2 + (z_c - z)^2}}$$

หรือ
$$y^* = \frac{y}{1 - \frac{z}{z_c}}$$

จะได้ x^*, y^* เป็นพิกัดของ P^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $r = \frac{-1}{z_c}$ จะได้ $x^* = \frac{x}{rz+1}$ และ $y^* = \frac{y}{rz+1}$ (3.21)

หรือเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$[x \quad y \quad z \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \quad y \quad 0 \quad rz+1] \qquad (3.22)$$

เนื่องจาก $h = rz + 1 \neq 1$ ดังนั้นจึงคูณสมการที่ 3.22 ด้วย $\frac{1}{rz+1}$

จะได้
$$[x^* \quad y^* \quad z^* \quad 1] = \left[\frac{x}{rz+1} \quad \frac{y}{rz+1} \quad 0 \quad 1\right] \qquad (3.23)$$

จะเห็นว่าสมการที่ 3.21 มีค่าเท่ากันกับสมการที่ 3.23

จะได้เมตริกซ์ของการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟเมื่อจุดศูนย์กลางของการฉายภาพอยู่บนแกน X, Y และ Z ดังนี้

- กรณีที่มีจุดศูนย์กลางของการฉายภาพอยู่บนแกน X หรือที่พิกัด $[-1/p \quad 0 \quad 0 \quad 1]$

$$[x \quad y \quad z \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & p \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = [x \quad y \quad z \quad px+1] \qquad (3.24)$$

และ

$$[x^* \quad y^* \quad z^* \quad 1] = \left[\frac{x}{px+1} \quad \frac{y}{px+1} \quad \frac{z}{px+1} \quad 1\right] \qquad (3.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- กรณีที่มีจุดศูนย์กลางของการฉายภาพอยู่บนแกน Y หรือที่พิกัด $[0 \quad -1/q \quad 0 \quad 1]$

$$[x \quad y \quad z \quad 1]\cdot\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&q\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{bmatrix}=[x \quad y \quad z \quad qy+1] \tag{3.26}$$

และ

$$[x^* \quad y^* \quad z^* \quad 1]=\left[\frac{x}{qy+1} \quad \frac{y}{qy+1} \quad \frac{z}{qy+1} \quad 1\right] \tag{3.27}$$

- กรณีที่มีจุดศูนย์กลางของการฉายภาพอยู่บนแกน Z หรือที่พิกัด $[0 \quad 0 \quad -1/r \quad 1]$

$$[x \quad y \quad z \quad 1]\cdot\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&1&r\\0&0&0&1\end{bmatrix}=[x \quad y \quad z \quad rz+1] \tag{3.28}$$

และ

$$[x^* \quad y^* \quad z^* \quad 1]=\left[\frac{x}{rz+1} \quad \frac{y}{rz+1} \quad \frac{z}{rz+1} \quad 1\right] \tag{3.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

63468

3.3.7 การแปลงแบบผสม (Multiple Transformations)

โดยทั่วไปในการใช้งานทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกจำเป็นต้องใช้การแปลงหลายแบบร่วมกัน เช่นในการหมุนวัตถุรอบเส้นตรงใดๆ ซึ่งขนานกับแกน Z จำเป็นต้องทำการเลื่อนให้จุดศูนย์กลางของวัตถุไปยังจุดกำเนิดก่อน จึงจะทำการหมุนวัตถุรอบแกน Z จากนั้นจึงทำการเลื่อนวัตถุกลับไปยังตำแหน่งเดิม

ตัวอย่าง หมุนวัตถุเป็นมุม φ รอบเส้นตรงที่ขนานกับแกน Z ซึ่งผ่านจุด $(-T_x,-T_y,-T_z)$ กำหนดให้เมตริกซ์ M เป็นเมตริกซ์การแปลงแบบผสม จะได้

$$M = T_T \cdot R_Z \cdot T_T^{-1} \tag{3.30}$$

เมื่อ

$$T_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & T_z & 1 \end{bmatrix} \qquad T_T^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -T_x & -T_y & -T_z & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_Z = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

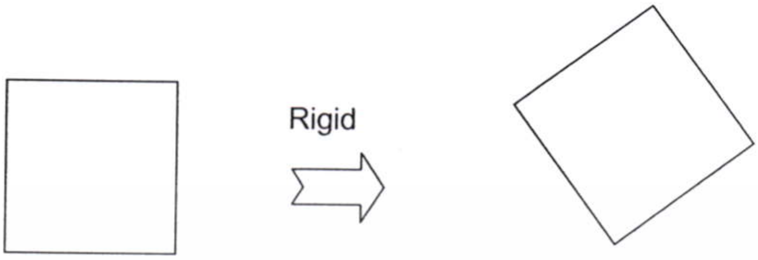
เนื่องจากเมตริกซ์ไม่มีคุณสมบัติการสลับที่ ดังนั้นลำดับของเมตริกซ์ของการแปลงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 รูปแบบการแปลงภาพ

3.4.1 การแปลงแบบริจิด (Rigid Transformation)

เป็นการแปลงแบบเชิงเส้นซึ่งประกอบไปด้วยการเลื่อนและการหมุนเท่านั้น



รูปที่ 3.9 ลักษณะการแปลงแบบริจิด

3.4.2 การแปลงแบบสิมิลาริตี้ (Similarity Transformation)

เป็นการแปลงแบบเชิงเส้นซึ่งประกอบไปด้วยการเลื่อน การหมุนและการสเกล

รูปที่ 3.10 ลักษณะการแปลงแบบสิมิลาริตี้

3.4.3 การแปลงแบบแอฟไฟน์ (Affine Transformation)

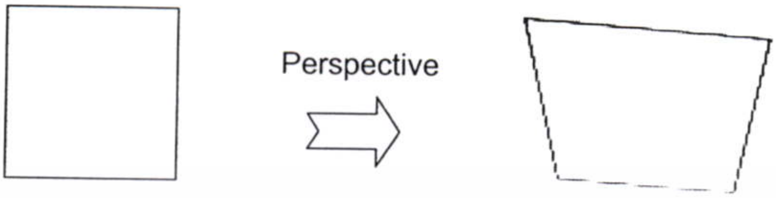
เป็นการแปลงแบบเชิงเส้นซึ่งประกอบไปด้วยการเลื่อน การหมุน การสเกลและการเฉือน

รูปที่ 3.11 ลักษณะการแปลงแบบแอฟไฟน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำห ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 **การแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ** (Perspective Transformation)

เป็นการแปลงแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วยการเลื่อน การหมุน การสเกล การเฉือน และการฉายภาพแบบเพอร์สเปกทีฟอีกด้วย



รูปที่ 3.12 ลักษณะการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ

3.5 เทคนิคที่ใช้ในการแปลงพิกัดภาพ

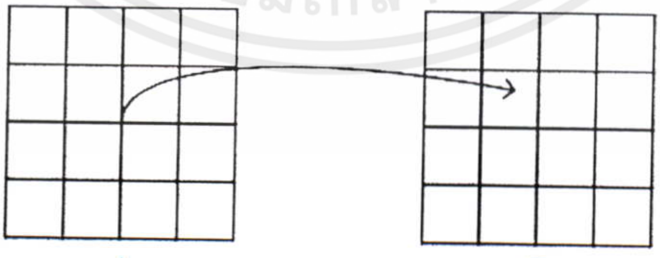
การแปลงพิกัดภาพเชิงเรขาคณิตสามารถทำได้ 2 วิธีคือ แบบส่งไปข้างหน้าและแบบส่งกลับข้างหลัง ซึ่งทั้งสองวิธีจะมีข้อดีข้อเสียต่างกัน

3.5.1 การแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า

หลักการของแบบส่งไปข้างหน้าคือจะทำการหาพิกัดของพิกเซลบนภาพผลลัพธ์จากพิกัดของพิกเซลบนภาพต้นฉบับ จากนั้นจะให้ค่าสีที่ตำแหน่งที่คำนวณได้ใหม่นั้นมีค่าเท่ากับค่าสีที่ตำแหน่งบนภาพต้นฉบับ

กำหนดให้ x, y เป็นพิกัดของพิกเซลบนภาพต้นฉบับและ u, v เป็นพิกัดใหม่ของพิกเซลบนภาพผลลัพธ์ จะได้ u, v เป็นฟังก์ชันในรูปของ x, y ดังนี้ $u(x, y)$ และ $v(x, y)$ และให้ A เป็นภาพต้นฉบับ B เป็นภาพผลลัพธ์ จะสามารถแทนความสัมพันธ์แบบส่งไปข้างหน้า ได้ดังนี้

$$B[u(x,y), v(x,y)] = A[x,y] \tag{3.31}$$



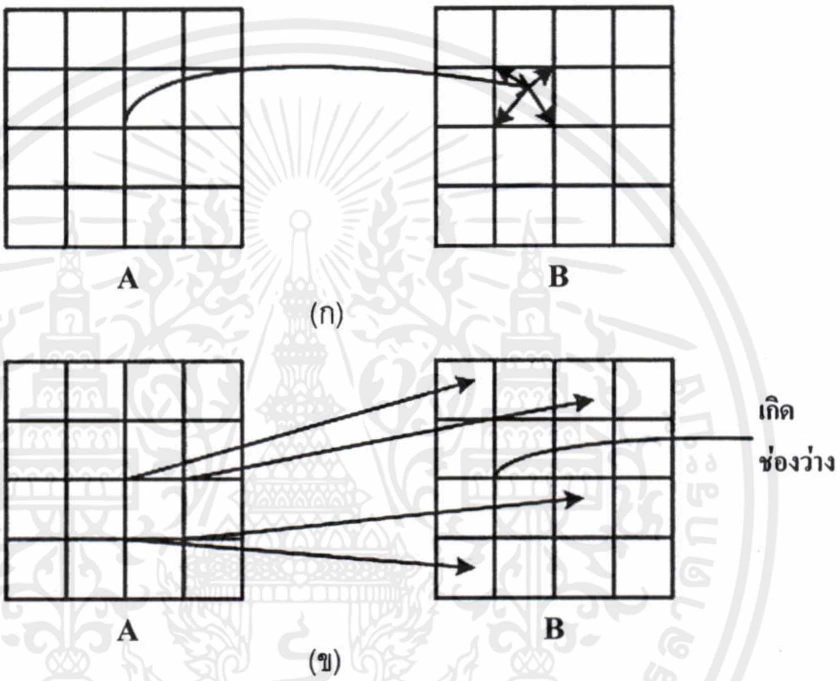
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.13 การแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของการแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า

1. ตำแหน่งใหม่ที่คำนวณได้นั้นอาจจะไม่ตรงกับตำแหน่งของพิกเซลใดจริงๆ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยประมาณพิกัดไปยังจุดข้างเคียง พิจารณารูปที่ 3.14 (ก)
2. การแปลงบางกรณีอาจทำให้เกิดตำแหน่งว่างในภาพผลลัพธ์ได้ พิจารณารูปที่ 3.14 (ข)



รูปที่ 3.14 แสดงคุณสมบัติของการแปลงพิกัดแบบส่งไปข้างหน้า

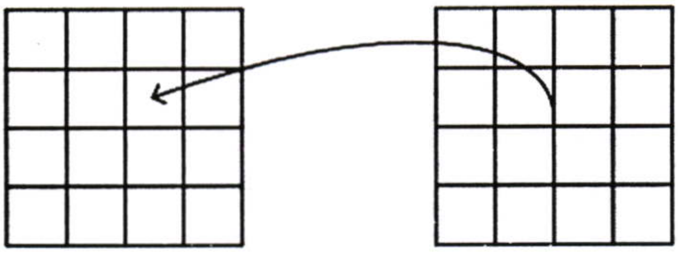
3.5.2 การแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง

หลักการของการแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง คือจะทำการหาพิกัดของพิกเซลบนภาพต้นฉบับจากพิกัดของพิกเซลบนภาพผลลัพธ์ จากนั้นคำนวณหาค่าสีของตำแหน่งบนภาพผลลัพธ์จากการประมาณค่าของพิกเซลข้างเคียงพิกเซลที่คำนวณได้บนภาพต้นฉบับ

กำหนดให้ x, y เป็นพิกัดของพิกเซลบนภาพต้นฉบับและ u, v เป็นพิกัดใหม่ของพิกเซลบนภาพผลลัพธ์ จะได้ x, y เป็นฟังก์ชันในรูปของ u, v ดังนี้ $x(u,v)$ และ $y(u,v)$ และให้ A เป็นภาพต้นฉบับ B เป็นภาพผลลัพธ์ จะสามารถแทนความสัมพันธ์แบบส่งกลับข้างหลังได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

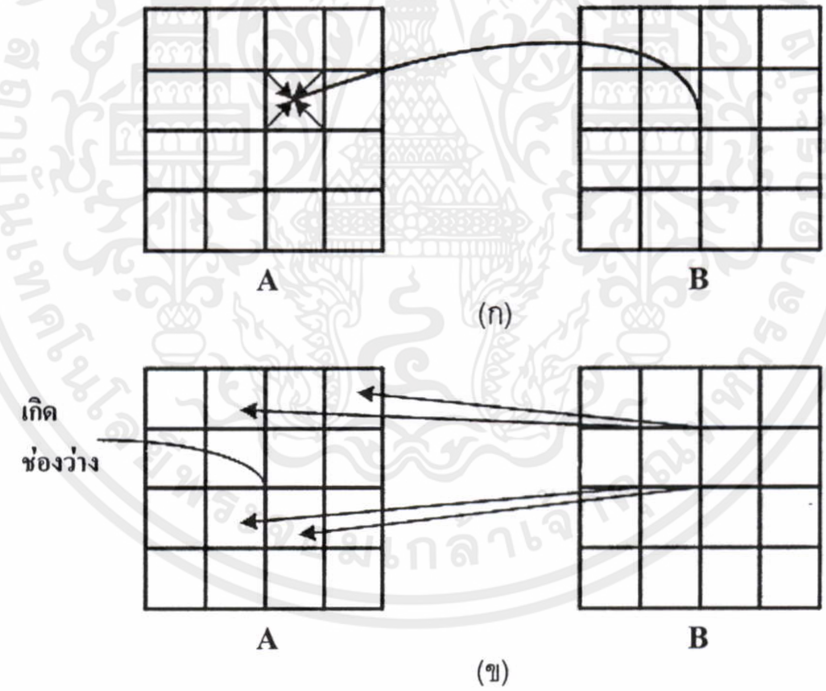
$$B[u,v] = A[x(u,v), y(u,v)] \tag{3.32}$$



รูปที่ 3.15 การแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง

คุณสมบัติของการแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง

1. ตำแหน่งใหม่ที่คำนวณได้นั้นอาจจะไม่ตรงกับตำแหน่งของพิกเซลใดจริงๆ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยประมาณค่าสีได้จากจุดข้างเคียงของจุดที่คำนวณได้ พิจารณารูปที่ 3.16 (ก)
2. การแปลงบางกรณีอาจทำให้เกิดตำแหน่งว่างในภาพต้นฉบับได้ พิจารณารูปที่ 3.16 (ข)



รูปที่ 3.16 แสดงคุณสมบัติของการแปลงพิกัดแบบส่งกลับข้างหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

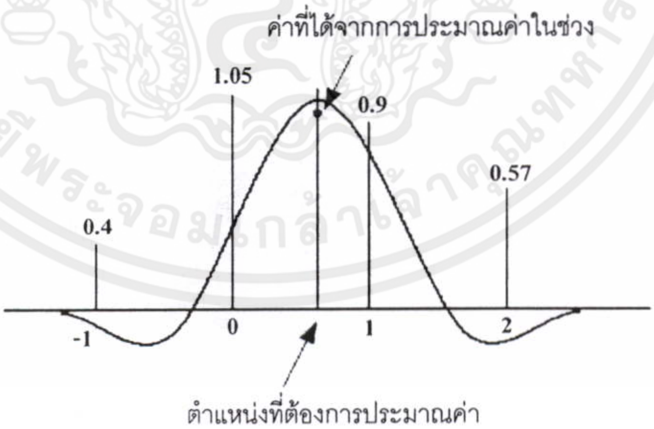
3.6 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

การประมาณค่าในช่วงมีอยู่หลายวิธี [10] ซึ่งแต่ละวิธีจะถูกควบคุมโดยเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วง (Interpolation Kernel) และรูปร่างของเคอร์เนลนี้จะเป็นตัวกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สำหรับถ่วงน้ำหนักการบวกและคุณภาพของการประมาณค่าในช่วง โดยรูปร่างของเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบต่างๆ

การคำนวณค่าของฟังก์ชันในตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าในช่วง ทำได้โดยการนำเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงไปคอนโวลูชันกับฟังก์ชันนั้นๆ ดังตัวอย่างที่ 3.1

ตัวอย่างที่ 3.1 พิจารณารูปที่ 3.18 ค่าของฟังก์ชันเต็มหน่วย (Discrete function) ฟังก์ชันหนึ่งมีค่าเป็น $f(-1) = 0.4, f(0) = 1.05, f(1) = 0.9, f(2) = 0.57$ และมีค่าของฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วง (Interpolation function) ที่ตำแหน่งเหล่านี้เป็น $-0.02, 0.38, 0.66$ และ -0.07



รูปที่ 3.18 กระบวนการประมาณค่าในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการประมาณค่าในช่วงให้ได้ค่าใหม่ โดยการคูณค่าฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงกับฟังก์ชันนั้น จะได้ $(0.4)\cdot(-0.02)+(1.05)\cdot(0.38)+(0.9)\cdot(0.66)+(0.57)\cdot(-0.07)=0.945$ นั่นคือค่าที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงมีค่าเท่ากับ 0.945

เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงหนึ่งมิติสามารถประยุกต์เพื่อใช้กับการประมาณค่าในช่วงในสองมิติและสามมิติได้ ซึ่งสมการการประมาณค่าในช่วงสองมิติสามารถทำได้ดังนี้

$$f(x,y)=g(x,y)\cdot h(x,y) \tag{3.33}$$

3.5.3 **การประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสเนบอร์** (Nearest Neighbor)

การประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสเนบอร์เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และมีความละเอียดน้อยที่สุด วิธีนี้จะเป็นการนำค่าที่อยู่ใกล้กับจุดที่จะประมาณค่าในช่วงมากที่สุดมาเป็นคำตอบ โดยมีลักษณะของเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงดังรูปที่ 3.19 (ก) ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าเพียงค่าเดียวที่ถูกนำไปใช้ในการประมวลผล ทำให้การคำนวณในแต่ละวงรอบมีน้อยมาก รูปที่ 3.19 (ข) แสดงลักษณะการประมาณค่าในช่วงสองมิติ

รูปที่ 3.19 การประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสเนบอร์ (ก) เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วง (ข) ลักษณะของการประมาณค่าในช่วงแบบสองมิติ

ปัญหาที่พบในการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีนี้ก็คือ จุดที่อยู่ใกล้กับจุดที่จะประมาณค่าในช่วงมีมากกว่าหนึ่งจุด จึงไม่สามารถระบุได้ว่าจะเลือกจุดใดมาเป็นค่าของการประมาณค่าในช่วง ซึ่งเรียกปัญหานี้ว่า การเกิดอะแลสซิ่ง (Aliasing) และข้อด้อยอีกข้อหนึ่งของวิธีนี้คือ การเลื่อนของภาพ ซึ่งเกิดจากการปัดค่าของเนียเรสเนบอร์ ทำให้ภาพเลื่อนขึ้นไปครึ่งถึงหนึ่งพิกเซล ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากในการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของวัตถุในภาพ แต่วิธีนี้ก็มีข้อดีในเรื่องของเวลาที่ใช้ประมวลผลเนื่องจากใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

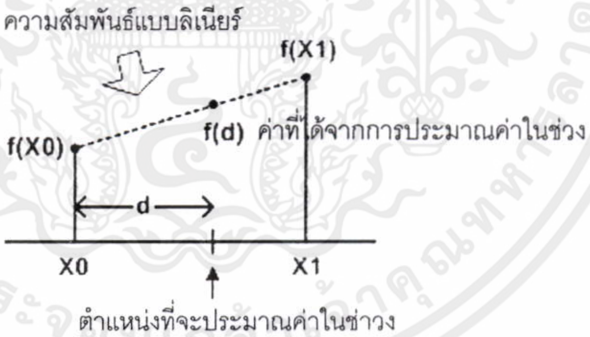
3.6.2 การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์ (Linear Interpolation)

เทคนิคการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เมื่อนำไปใช้ในสองมิติจะเรียกวิธีนี้ว่า การประมาณค่าในช่วงแบบไบลิเนียร์ (Bilinear Interpolation) และในทำนองเดียวกันถ้านำไปใช้ในสามมิติเรียกว่า การประมาณค่าในช่วงแบบไตรลิเนียร์ (Trilinear Interpolation) การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์นี้จะให้ภาพผลลัพธ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการประมาณค่าในช่วงแบบเนียเรสเนบอร์โดยวิธีนี้จะทำการประมาณจากจุด 4 จุดที่ล้อมรอบจุดที่ต้องการ และสมมติให้จุดที่อยู่ล้อมรอบจุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วงนี้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (Linear relationship) ดังรูปที่ 3.20

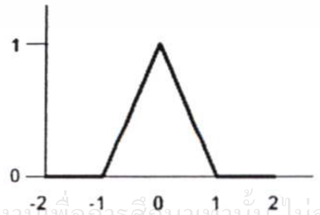
จากรูปที่ 3.20 จะพบว่า ค่าที่ถูกประมาณค่าในช่วงจะอยู่บนเส้นที่ลากระหว่างจุดสองจุด ดังสมการที่ 3.34

$$f(d) = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \cdot d + f(x_0) \tag{3.34}$$

เมื่อ d คือระยะทางระหว่างจุดที่ตำแหน่ง x_0 กับจุดในตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าในช่วง โดยทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่าง x_0 และ x_1 จะมีค่าคงที่และเท่ากันตลอด (ปกติมีค่าเท่ากับหนึ่ง) จะได้ลักษณะของเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์ดังรูปที่ 3.21



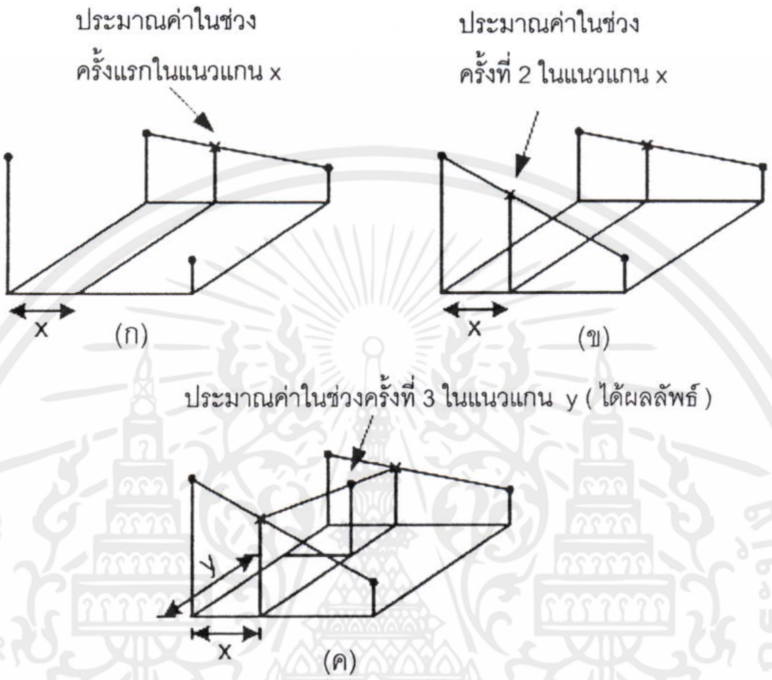
รูปที่ 3.20 การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์

การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์สามารถนำไปใช้ในมิติที่สูงขึ้นได้อย่างง่าย พิจารณารูปที่ 3.22 เป็นลักษณะการประมาณค่าในช่วงในสองมิติหรือการประมาณค่าในช่วงแบบไบลิเนียร์ ทำได้โดยเริ่มจากการหาจุดที่ทราบค่า 4 จุดที่อยู่รอบข้างจุดที่ต้องการประมาณค่าในช่วง จากนั้นทำการประมาณค่าในช่วงในแนวแกน X ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปใช้ประมาณค่าในช่วงในแนวแกน Y ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.22 (ก), 3.18 (ข) และ 3.18 (ค) ตามลำดับ

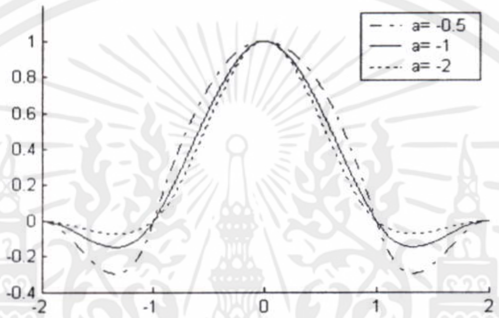


รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงแบบไบลิเนียร์ 3 ขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 **การประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชัน**(Cubic Convolution)

การประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชันเป็นวิธีที่ให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์สูงกว่าการประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์ แต่ใช้การคำนวณที่มากกว่า รูปที่ 3.23 แสดงลักษณะของเคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงที่ใช้ในการประมาณค่าในช่วงแบบนี้ สังเกตได้ว่าเคอร์เนลมีค่าในช่วงกว้าง 4 หน่วย ในขณะที่แบบลิเนียร์มีเพียง 2 หน่วย นั่นคือ การประมาณค่าในช่วงแบบลิเนียร์จะคำนวณค่าใหม่จากการใช้จุดข้างเคียง 2 จุด ส่วนการประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชันจะคำนวณค่าใหม่จากจุดข้างเคียงข้างละ 2 จุด รวมเป็น 4 จุด สำหรับประมาณค่าในช่วงในหนึ่งมิติ



รูปที่ 3.23 เคอร์เนลของการประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชัน

การประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชันจะมี a เป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งใช้สำหรับควบคุมรูปร่างและความชันของเคอร์เนล โดยลักษณะของเคอร์เนลที่แสดงดังรูปที่ 3.23 จะเห็นได้ว่าเมื่อ a มีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้น รูปร่างของเคอร์เนลจะชันและกินบริเวณออกไปด้านข้างมากขึ้น นิยามของฟังก์ชันคิวบิคคอนโวลูชันแสดงดังสมการที่ 3.35

$$
f(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & ; 0 \le x \le 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & ; 1 \le x \le 2 \\ 0 & ; |x| \ge 2 \end{cases} \tag{3.35}
$$

ในทางปฏิบัติแล้ว ค่า a จะอยู่ระหว่าง -3 กับ 0 ซึ่งภาพผลลัพธ์จะเบลอมากขึ้นเมื่อ a มีค่าเข้าใกล้ 0 และจะคมชัดขึ้นเมื่อ a มีค่าเข้าใกล้ -3 โดยปกติเมื่อใช้ $a = -0.5$ จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด พิจารณารูปที่ 3.24 เมื่อ d คือระยะทางระหว่างจุดที่ตำแหน่ง x_0 กับจุดในตำแหน่งที่ต้องการประมาณค่าในช่วง จะได้สมการการประมาณค่าในช่วงในรูปสัมประสิทธิ์ของเคอร์เนลที่จุด d ดังนี้

เอกสารนี้เป็น ... การค้า
ไม่ว่ากรณีใด ... ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(d) = c_0 \cdot p_0 + c_1 \cdot p_1 + c_2 \cdot p_2 + c_3 \cdot p_3 \tag{3.36}$$

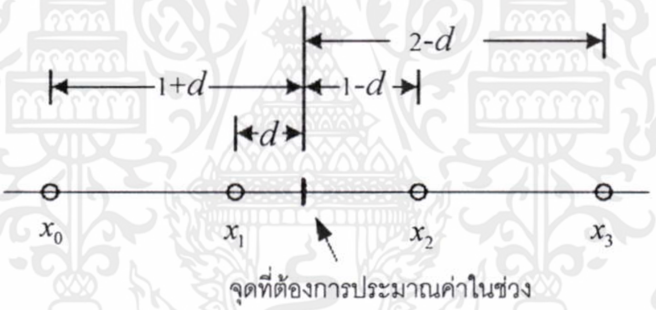
เมื่อ p_0, p_1, p_2 และ p_3 คือค่าของฟังก์ชันที่จุด x_0, x_1, x_2 และ x_3 ส่วน c_0, c_1, c_2 และ c_3 คือค่าสัมประสิทธิ์ของเคอร์เนลซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} c_0 &= a(1+d)^3 - 5a(1+d)^2 + 8a(1+d) - 4a \\ &= ad^3 - 2ad^2 + ad \end{aligned} \tag{3.37}$$

$$c_1 = (a+2)d^3 - (a+3)d^2 + 1 \tag{3.38}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= (a+2)(1-d)^3 - (a+3)(1-d)^2 + 1 \\ &= -(a+2)d^3 + (2a+3)d^2 - ad \end{aligned} \tag{3.39}$$

$$\begin{aligned} c_3 &= a(2-d)^3 - 5a(2-d)^2 + 8a(2-d) - 4a \\ &= -ad^3 + ad^2 \end{aligned} \tag{3.40}$$



รูปที่ 3.24 การประมาณค่าในช่วงแบบคิวบิคคอนโวลูชันที่จุด d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เจเนติกอัลกอริทึม
(Genetic Algorithm)

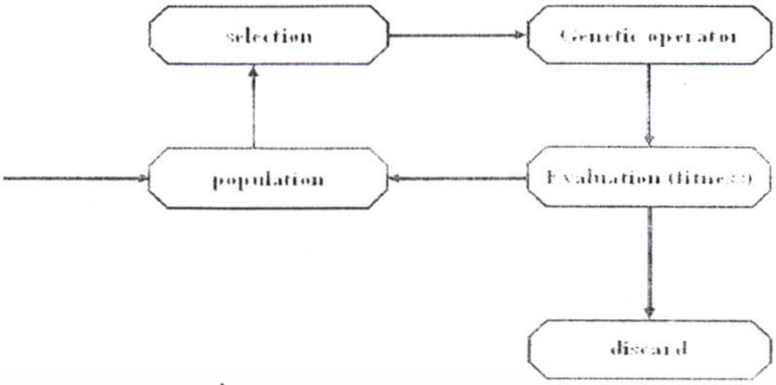
4.1 บทนำ

เจเนติกอัลกอริทึม เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ค้นหาคำตอบ(Search Algorithm) ที่มีประสิทธิภาพสูง ได้นำเสนอโดย John Holland ในปี ค.ศ. 1975 [13]โดยศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการทางธรรมชาติ(Natural Evolution) ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่โดยกระบวนการทางชีววิทยาประกอบไปด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือ สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่า โครโมโซม (chromosome) แต่ละ โครโมโซม ประกอบไปด้วย ยีน(Gene) การเรียงตัวของยีนจะมีตำแหน่งเฉพาะสำหรับสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด โดยยีนจะเป็นตัวเก็บข้อมูลต่างๆของสิ่งมีชีวิตและเป็นตัวถ่ายทอดลักษณะเด่นไปสู่ประชากรรุ่นใหม่ การให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่สามารถทำได้โดยกระบวนการทางพันธุกรรมศาสตร์(Genetic Operation) ประกอบไปด้วยการ ครอสโอเวอร์ (Crossover) และ มิวเตชั่น(Mutation)

4.2 แนวคิดพื้นฐานของ เจเนติก อัลกอริทึม

ขบวนการพื้นฐานของ เจเนติก อัลกอริทึม จำลองแนวคิดเกี่ยวกับวิวัฒนาการทางธรรมชาติ เพื่อใช้ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่า โครโมโซม ซึ่งในแต่ละ โครโมโซม ประกอบไปด้วยรหัสตัวแปรที่ใช้แก้ปัญหาทำให้คำตอบเป็นจริง ในทฤษฎีวิวัฒนาการ โครโมโซมที่มีค่า ฟิตเนส (Fitness) ที่ดีเท่านั้นที่มีความเป็นไปได้ที่จะอยู่รอดเพื่อให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ และถ่ายทอดลักษณะเด่นไปสู่ประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ตัวดำเนินการเจเนติก (genetic operator) รูปที่ 4.1 แสดงสถานะของการวิวัฒนาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 วัฏจักรของ เจเนติก อัลกอริทึม

จากรูปที่1 วัฏจักรของ เจเนติก อัลกอริทึม สามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

- กำหนดค่าเริ่มต้นให้ประชากรในบ่อ เจเนติก อัลกอริทึม โดยการสุ่ม และทำการหาค่า ฟิตเนส ของ โครโมโซม โดยใช้ ฟังก์ชั่นเป้าหมาย หลังจากการหาค่าแล้ว โครโมโซม ทั้งหมดจะถูกจัดลำดับโดยค่า ฟิตเนส
- เลือกโครโมโซมจากบรรพบุรุษ โดยที่โครโมโซม ที่มีค่า ฟิตเนส ที่ดีที่สุดนั้นมีโอกาสที่จะอยู่รอดสูง
- ให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่โดยใช้ ตัวดำเนินการเจเนติก ซึ่งประกอบด้วย ครอสโอเวอร์ (Crossover) และ มิวเตชั่น (mutation)
- หาค่า ฟิตเนส ของ โครโมโซม โดยใช้ ฟังก์ชั่นเป้าหมาย หลังจากการหาค่าแล้ว โครโมโซม ทั้งหมดจะถูกจัดลำดับโดยค่า ฟิตเนส
- แทนที่ประชากรรุ่นเก่าในบ่อ เจเนติก อัลกอริทึม โดยประชากรรุ่นใหม่และย้อนกลับไปทำข้อที่ 2

การค้นหาคำตอบของเจเนติกอัลกอริทึมจะประมวลผลซ้ำๆจนกว่าได้รับคำตอบที่ถูกต้องตามเงื่อนไขที่วางไว้ หรือ มากกว่าจำนวนรอบที่กำหนดซึ่งสามารถแสดงเป็นอัลกอริทึมได้ดังนี้

```
Genetic Algorithm
Begin
        Initial population;
        Evaluate population;
        While termination criterion not reached
        Begin
                Select solution for next population;
                Crossover;
                Mutation;
                Evaluate population;
        End;
End;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ในการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 รูปแบบการแทนโครโมโซม

ในเจเนติกอัลกอริทึมคำตอบของปัญหาที่ต้องการจะเปลี่ยนไปตามการประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้ง่ายในการคำนวณจึงทำคำตอบของปัญหาให้เป็น รหัสไบนารี่(binary-code) ซึ่งอยู่ในรูปของ บิตสตริง (bit string) และ บิตสตริง หลายๆตัวเปรรวมกันเป็น สตริง เดี่ยว หรือ โครโมโซม ในทางชีวะวิทยาแต่ละ บิต เปรียบเสมือน ยีน (gene)

4.4 ฟังก์ชั่นเป้าหมาย และ ค่าฟิตเนส

เจเนติกอัลกอริทึมจะพิจารณาคำตอบที่ได้ว่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ต้องการหรือไม่จากค่าฟิตเนส และค่าฟิตเนสยังเป็นสิ่งที่บ่งบอกว่าโครโมโซมมีโอกาสที่จะถูกเลือกมากน้อยเพียงใด ซึ่งค่าฟิตเนสนั้นสามารถหาได้จากฟังก์ชั่นเป้าหมาย ฟังก์ชั่นเป้าหมายเป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ตรวจสอบคำตอบของปัญหา โดยทั่วไปสมการของฟังก์ชั่นเป้าหมายจะขึ้นอยู่กับปัญหาที่จะนำมาหาคำตอบ

4.5 ตัวดำเนินการเจเนติก

ตัวดำเนินการเจเนติกใช้สำหรับการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งประกอบด้วย

4.5.1 การครอสโอเวอร์

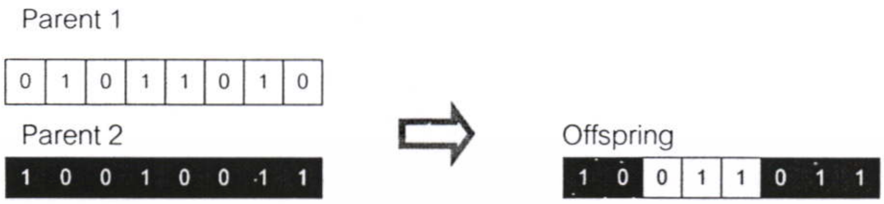
การครอสโอเวอร์ คือ การรวมกันใหม่ของยีนซึ่งก็คือการแลกเปลี่ยนยีนกันบางส่วนของบรรพบุรุษ 2 ตัว เพื่อให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งวิธีการครอสโอเวอร์มรผู้ค้นคิดขึ้นมาหลายวิธีสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้[14]

- การครอสโอเวอร์ แบบ1จุด (Single point crossover) เป็นการนำยีนจากบรรพบุรุษตัวแรกมาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่จนกระทั่งถึงจุดครอสโอเวอร์(Crossover Point) ก็จะนำยีนจากบรรพบุรุษตัวที่ 2 มาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งจุดครอสโอเวอร์ คือจุดที่จะทำการแลกเปลี่ยนยีน

รูปที่ 4.2 การครอสโอเวอร์ แบบ1จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การครอสโอเวอร์ แบบ 2 จุด(Two point crossover) เป็นการนำยีนจากบรรพบุรุษตัวแรกมาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่จนกระทั่งถึงจุดครอสโอเวอร์ที่ 1 ก็จะนำยีนจากบรรพบุรุษตัวที่ 2 มาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่จนถึงจุดครอสโอเวอร์ที่ 2 จะนำยีนจากบรรพบุรุษตัวที่ 1 มาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่



รูปที่ 4.3 การครอสโอเวอร์ แบบ2จุด

- การครอสโอเวอร์ แบบยูนิฟอร์ม (Uniform crossover) เป็นการสุ่มนำยีนจากบรรพบุรุษทั้งสองมาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่

รูปที่ 4.4 การครอสโอเวอร์ แบบยูนิฟอร์ม

- การครอสโอเวอร์ แบบเอริธเมทิค (Arithmetic crossover) เป็นการนำค่าของบรรพบุรุษทั้งสองมาคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้วนำผลลัพธ์มาไว้ที่ประชากรรุ่นใหม่

รูปที่ 4.5 การครอสโอเวอร์ แบบเอริธเมทิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การมิวเตชั่น

การมิเตชั่น ใช้สำหรับหาค่าที่ไม่ครอบคลุม บริเวณที่ค้นหา การมิวเตท (mutate) คือการสลับบิต บาง ยีน ใน โครโมโซม ของทายาทที่เกิดใหม่ซึ่งจะได้ค่าใหม่ของตัวแปรเข้ามาแทนที่ การมิวเตชั่นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

1	0	0	1	0	0	1	0

(ก)

1	1	1	1	0	1	1	0

(ข)

รูปที่ 4.6 การมิวเตชั่น, (ก)โครโมโซมก่อนการทำมิวเตชั่น, (ข)หลังการทำมิวเตชั่น

4.6 การเลือกโครโมโซม

เป็นขั้นตอนการคัดเลือกโครโมโซมรุ่นเก่า เพื่อใช้ในการสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งแนวคิดการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ นั้น โครโมโซม ที่มีค่า ฟิตเนส ที่ดีมีโอกาสสูงกว่าที่จะอยู่รอดเพื่อให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งวิธีการเลือกนั้นมีหลายวิธีจึงได้นำมาแสดงเป็นตัวอย่างส่วนหนึ่งดังต่อไปนี้ดังต่อไปนี้[15]

- วิธีการเลือกแบบวงล้อรูเลท (Roulette Wheel Selection) เป็นวิธีที่นิยมกันวิธีหนึ่ง แสดงได้ดัง รูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความน่าจะเป็นที่โครโมโซมจะถูกเลือกของวิธีวงล้อรูเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกแบบวงล้อรูเลท สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- กำหนด พื้นที่บนวงล้อรูเลทให้โครโมโซมแต่ละตัวโดย สมการที่ 4.1

$$P_{select} = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^{N} F_i} \tag{4.1}$$

เมื่อ P_{select} คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก

F_i คือ ค่าฟิตเนสของโครโมโซม

N คือ จำนวนประชากรในบ่อ

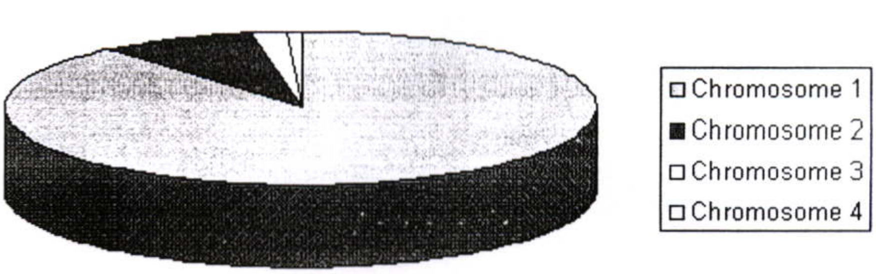
ขนาดพื้นที่ทั้งหมดบนวงล้อรูเลทคือ ขนาดผลรวมของค่า ฟิตเนส ทั้งหมดของประชากรภายในบ่อเจเนติก พื้นที่บนวงล้อรูเลทของโครโมโซม แต่ละตัว คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก(Probability of Selected Value : P_{select}) ซึ่งโครโมโซมที่มีค่า ฟิตเนสที่ดีที่สุด จะมีพื้นที่บนวงล้อรูเลทมากที่สุด หรือ มีค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก มากที่สุดนั่นเอง

- หมุนวงล้อรูเลทเพื่อเลือกประชากรตามจำนวนที่ต้องการโดยการสุ่ม

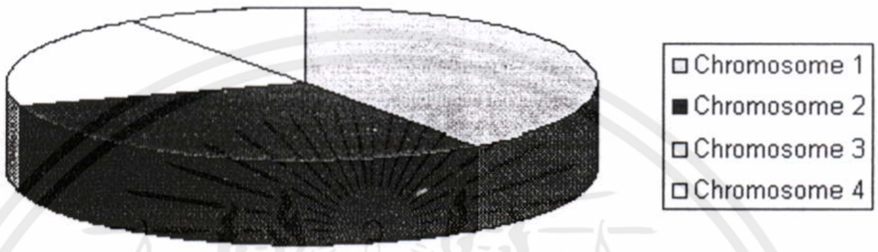
- วิธีการเลือกแบบจัดตำแหน่ง (Rank Selection) จากวิธีการวงล้อรูเลทที่กล่าวไปแล้วนั้นอาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้ถ้าค่าฟิตเนสของประชากรภายในบ่อมีค่าที่แตกต่างกันมากๆ ตัวอย่างเช่นโครโมโซมที่ดีที่สุดมีค่าฟิตเนสเท่ากับ 90% ของผลรวมค่าฟิตเนสประชากรในบ่อเจเนติก ทำให้โครโมโซมตัวอื่นๆมีโอกาสน้อยมากที่จะถูกเลือก

วิธีการเลือกแบบจัดตำแหน่งได้มีการแก้ไขโดยการนำโครโมโซมมาจัดตำแหน่งก่อน โดยใช้ค่าฟิตเนสที่ได้จากฟังก์ชั่นเป้าหมายของโครโมโซมแต่ละตัวเมื่อจัดตำแหน่งเรียบร้อยแล้วโครโมโซมแต่ละตัวจะมีค่าฟิตเนสเป็นค่าตำแหน่ง โดยที่โครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดจะมีค่าฟิตเนสเท่ากับ 1 โครโมโซมตัวที่แย่ลองลงมาอันดับ 2 จะมีค่าฟิตเนสเท่ากับ 2 โครโมโซมจะถูกจัดตำแหน่งไปตามค่าฟิตเนสเดิม โดยโครโมโซมที่ดีที่สุด จะมีค่าฟิตเนสเท่ากับ N (N = จำนวนประชากรทั้งหมดภายในบ่อเจเนติก) หลังจากทำการจัดตำแหน่งเรียบร้อยแล้วก็จะนำไปทำตามวิธีการเลือกแบบวงล้อรูเลทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความน่าจะเป็นที่โครโมโซมจะถูกเลือกของวิธีจัดตำแหน่ง
(ก) ก่อนที่จะทำการจัดตำแหน่งโครโมโซม
(ข) หลังจากทำการจัดตำแหน่งโครโมโซม

จากรูปที่ 4.8(ก) คือแผนภูมิแสดงความน่าจะเป็นที่โครโมโซมจะถูกเลือกก่อนที่จะทำการจัดตำแหน่งโครโมโซม จะเห็นว่า โครโมโซม 1 นั้นมีค่าฟิตเนสค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับผลรวมของค่าฟิตเนสทั้งหมดทำให้โครโมโซมอื่นๆมีโอกาสที่จะถูกเลือกน้อยจึงได้มีการแก้ไขโดยการจัดตำแหน่ง ผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 4.8(ข)

- วิธีการเลือกแบบสถานะไม่เปลี่ยนแปลง (Steady-State Selection) แนวคิดหลักของการเลือกแบบสถานะไม่เปลี่ยนแปลง คือ โครโมโซมส่วนใหญ่สามารถอยู่รอดไปยังรุ่นต่อไป

วิธีการเลือกแบบสถานะไม่เปลี่ยนแปลงสามารถทำได้โดยการเลือกโครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสที่ดีส่วนหนึ่งเพียงเล็กน้อยเพื่อนำไปให้กำเนิดประชากรรุ่นต่อไป และโครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสที่ไม่ดีบางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยประชากรรุ่นใหม่โครโมโซมที่ไม่ถูกแทนที่จะอยู่รอดไปยังรุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **วิธีการเลือกแบบอิลิทิซึม** (Elitism Selection) **เป็นการสำเนาโครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสดีที่สุด หรือ โครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสที่ดีบางส่วนไปยังรุ่นต่อไป โดยปรกติแล้ววิธีการเลือก**แบบอิลิทิซึมจะถูกใช้ร่วมกับวิธีการเลือกแบบอื่นๆ เพราะในบางกรณีการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่นั้นอาจจะไม่ทำให้เกิดประชากรรุ่นใหม่ที่มีค่าฟิตเนสที่ดีกว่าประชากรรุ่นเก่า

- วิธีการเลือกแบบทัวนะเมนท์ (Tournament Selection) ประชากรทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ และในแต่ละกลุ่มย่อยจะถูกเลือกโครโมโซมออกมากลุ่มละ 1 ตัวเพื่อนำไปให้กำเนิดประชากรรุ่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
โครงสร้างของคอมพิวเตอร์ขนานแบบคลัสเตอร์

5.1 บทนำ

ในการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ หรือทางด้านอื่นๆ ในปัจจุบันและอนาคตจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นในการประมวลผล ไม่ว่าจะเป็นการประมวลผลทางภาพ การจำลองสภาวะอากาศของโลก การวิจัยตัวยาใหม่ๆ การวิเคราะห์รหัสพันธุกรรม หรือ DNA ของเชื้อโรคที่ไม่เคยรู้จัก การประมวลผลคลื่นสัญญาณต่างๆ ที่ได้รับจากอวกาศ จะเห็นได้ว่าถ้าหากเรามีคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง ผลลัพธ์ที่ต้องการของปัญหาจะถูกคำนวณออกมาได้อย่างรวดเร็ว

หนึ่งในบรรดาคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงที่นิยมนำมาใช้งานในงานวิจัยต่างๆ คือระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น และเริ่มนำมาใช้ในงานวิจัยอย่างกว้างขวาง แต่อาจจะมีคำถามว่าทำไมถึงต้องมีการสร้างระบบคลัสเตอร์ขึ้นมาในโลกปัจจุบันซึ่งมีซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ หรือคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงที่ผลิตในเชิงการค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมากมายแล้ว คำตอบสั้นๆ ก็คือ เรื่องงบประมาณ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์นั้นมีราคา ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์แบบอื่นๆ หรือเปรียบเทียบราคากันไม่ได้เลยกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป ดังนั้นการสร้างระบบคลัสเตอร์จึงน่าจะเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับห้องวิจัย และมหาวิทยาลัยซึ่งมีงบประมาณไม่มากนัก ในการที่จะมีคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงแต่ไม่ต้องลงทุนในด้านงบประมาณมากนักเพื่อใช้ในการคำนวณ เพราะระบบคลัสเตอร์จะเป็นการนำเอาเทคโนโลยีที่ราคาถูกกว่ามาทำงานร่วมกันให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเพียงพอสำหรับงานวิจัยต่างๆ

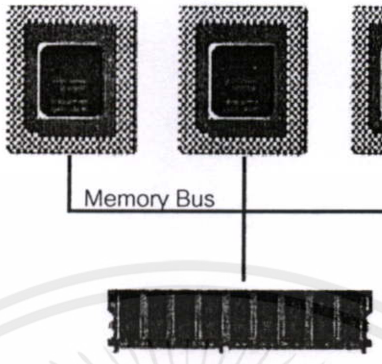
5.2 ชนิดของคอมพิวเตอร์แบบขนาน

การประมวลผลแบบขนานเป็นวิธีการในการแบ่งปัญหาขนาดใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อยๆ แล้วทำการแก้ปัญหาเหล่านั้นไปพร้อมๆกันในปัจจุบันระบบประมวลผลแบบขนานถูกใช้อย่างแพร่หลายทั้งในการคำนวณทางวิทยาศาสตร์และการประยุกต์ใช้กับงานทั่วๆไป จากความต้องการความสามารถในการประมวลผลที่มากขึ้นนี้ทำให้มีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงขึ้น ราคาถูกลง และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์แบบขนานถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 **ระบบหลายหน่วยประมวลผล**(Multiprocessor)

หลักการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบหลายหน่วยประมวลผลสามารถแสดงรูปแบบการเชื่อมต่อได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 โครงสร้างการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบขนานหลายหน่วยประมวลผล

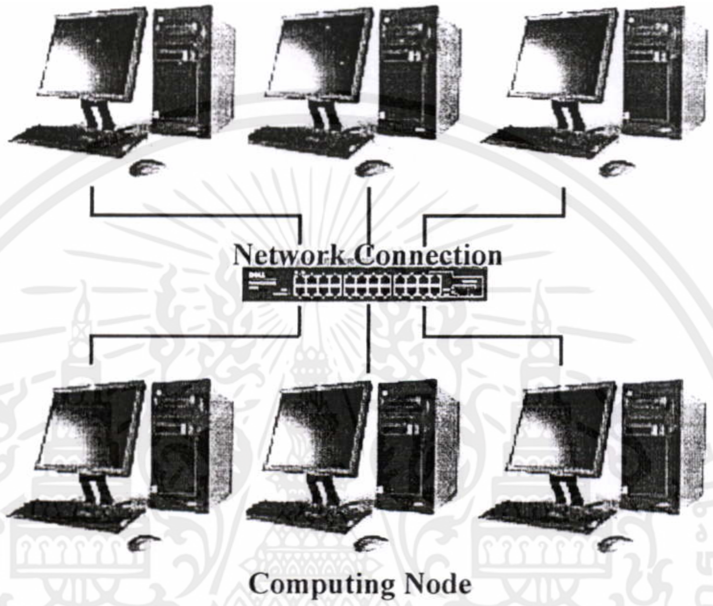
จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าแต่ละหน่วยประมวลผลสามารถทำงานไปพร้อมๆ กันได้ เพราะทุกหน่วยประมวลผลสามารถที่จะเข้าถึงหน่วยความจำส่วนกลางทางช่องสัญญาณบัส (BUS) ได้อย่างเท่าเทียมกัน การทำงานของหน่วยประมวลผลในระบบแบบนี้จะทำงานคล้ายๆ กับระบบที่มีหน่วยประมวลผลเดียวคือ จะทำการอ่านค่าข้อมูลมาจากหน่วยความจำส่วนกลาง ทำการคำนวณค่า แล้วใส่กลับเข้าไปที่หน่วยความจำส่วนกลางเช่นเดิม แต่ว่าทุกหน่วยประมวลผลจะสามารถทำงานต่างๆ เหล่านี้ได้อย่างพร้อมๆ กัน ฉะนั้นจะได้ว่า หากในระบบมีหน่วยประมวลผล N หน่วย ระบบนี้จะมีความเร็วสูงสุดที่เป็นไปได้เท่ากับ N เท่าของเครื่องที่มีหน่วยประมวลผลตัวเดียว แต่ในทางปฏิบัติความเร็วที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยประมวลผลมักจะไม่ได้เป็นไปตามทฤษฎี เพราะปัญหาหลายประการในทางปฏิบัติ

ปัญหาที่พบได้บ่อยคือ ความคับคั่งในการเข้าถึงหน่วยความจำ (Memory Contention) ซึ่งปัญหาเกิดขึ้นเนื่องมาจากในระบบมีหลายหน่วยประมวลผลที่ต้องการเข้าถึงหน่วยความจำเพื่ออ่าน หรือเขียน ทำให้หน่วยความจำไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการในการอ่านหรือเขียนทั้งหมดพร้อมกันได้ มีผลทำให้เกิดปัญหานี้ขึ้น ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างของระบบที่ดีจึงมีส่วนสำคัญที่จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องความคับคั่งในการเข้าถึงหน่วยความจำได้ ทางออกหนึ่งก็คือการกำหนดให้แต่ละหน่วยประมวลผลมีหน่วยความจำชั่วคราว (Local cache memory) เป็นของตัวเอง เพื่อช่วยให้หน่วยประมวลผลสามารถเก็บข้อมูลในการคำนวณหรือผลลัพธ์จากการคำนวณได้มากขึ้น ก่อนที่จะติดต่อกับหน่วยความจำส่วนกลางต่อไป

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2. 2 **ระบบหลายเครื่องประมวลผล** (Multicomputer)

การหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งในการเข้าถึงหน่วยความจำในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถแก้ไขได้อีกวิธีหนึ่งนั่นคือ การกระจายให้ทุกๆ เครื่องมีหน่วยความจำขนาดใหญ่เป็นของตัวเอง แล้วทำการติดต่อสื่อสารกันผ่านทางเครือข่ายโดยวิธีการส่งผ่านข้อความ ซึ่งระบบนี้มักจะถูกเรียกว่า ระบบหลายเครื่องประมวลผล โดยสามารถแสดงรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.2 โครงสร้างการทำงานของสถาปัตยกรรมแบบหลายเครื่องประมวลผล

จากรูปที่ 5.2 แต่ละเครื่องจะสามารถทำงานได้โดยอิสระต่อกัน และเป็นเครื่องคนละรุ่นคนละรูปแบบได้โดยอิสระ (Heterogeneous) หรือจะเป็นเครื่องรุ่นเดียวกันแบบเดียวกันทั้งหมดก็ได้ (Homogeneous) โดยเมื่อทำการคำนวณจะทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณไว้ที่หน่วยความจำแต่ละเครื่องเอง แล้วทำการสื่อสารข้อมูลและรับส่งค่าผลลัพธ์กับเครื่องอื่นๆ ผ่านทางเครือข่ายโดยวิธีการส่งผ่านข้อความ ซึ่งหลักการนี้จะแตกต่างกับหัวข้อที่ผ่านมาทั้งในด้านโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และวิธีการเขียนโปรแกรม เพราะในหัวข้อที่ผ่านมาทุกหน่วยประมวลผลจะใช้หน่วยความจำเดียวกันแต่ในโครงสร้างแบบนี้หน่วยประมวลผลแต่ละหน่วยจะมีพื้นที่เก็บข้อมูลเป็นของตัวเอง หรืออาจจะกล่าวได้ว่ามีหน่วยความจำสองรูปแบบ คือหน่วยความจำแบบส่วนตัวของหน่วยประมวลผลหรือหน่วยความจำแบบโลคอล (Local memory) และหน่วยความจำของหน่วยประมวลผลอื่นหรือหน่วยความจำแบบรีโมต (Remote memory) ซึ่งการเข้าถึง

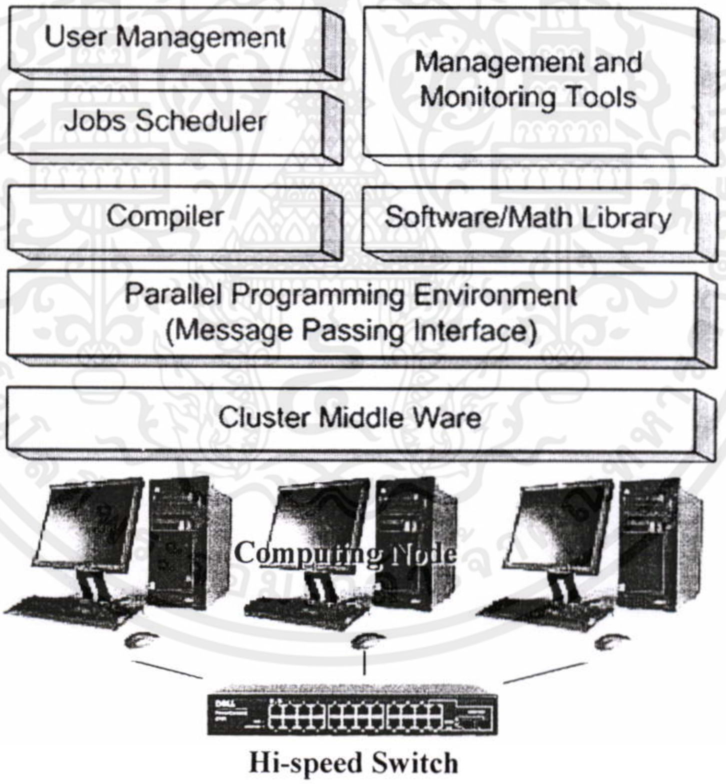
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำแบบโลคอลนั้นแต่ละหน่วยประมวลผลสามารถเข้าถึงได้โดยตรง แต่ถ้าหากเป็นการเข้าถึงเพื่ออ่านหรือส่งค่าให้หน่วยความจำอื่นๆ ต้องทำผ่านเครือข่ายตามวิธีการส่งผ่านข้อความ

5.3 ส่วนประกอบโดยรวมของคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์

เราอาจกล่าวได้ว่าระบบคลัสเตอร์คือ กลุ่มของคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายความเร็วสูงและสามารถคำนวณงานที่ถูกแบ่งออกเป็นงานย่อยๆ แล้วร่วมกันได้ ซึ่งรูปแบบของเครือข่ายและการเชื่อมต่อนี้มีด้วยกันหลายวิธีและหลายชนิดเครือข่าย ส่วนการที่จะทำให้กลุ่มของคอมพิวเตอร์สามารถทำงานร่วมกันได้นั้นจะต้องมีซอฟท์แวร์เป็นตัวกลางในการเชื่อมการทำงานของแต่ละหน่วยประมวลผลเข้าด้วยกัน[16] ซึ่งมาตรฐานที่นิยมใช้คือ ระบบการส่งผ่านข้อความ (Message Passing Interface) และคลัสเตอร์มิดเดิลแวร์ (Cluster Middle Ware)

ส่วนประกอบโดยรวมทั้งหมดของระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์นั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังบล็อกไดอะแกรมด้านล่างดังนี้



รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบคลัสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 สามารถที่จะแบ่งการทำงานออกได้ทั้งหมดสามส่วนด้วยกันคือ

1. โครงสร้างพื้นฐานของระบบคลัสเตอร์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ การเชื่อมต่อเครือข่าย ระบบปฏิบัติการ และคลัสเตอร์มิดเดิลแวร์
2. เครื่องมือและโปรแกรมอรรถประโยชน์ ประกอบด้วย โปรแกรมสื่อสารระหว่างโหนด
3. การจัดการะบบคลัสเตอร์ ประกอบด้วยตัวจัดการคิวงาน การจัดการสิทธิของผู้ใช้งาน

5.4 การจำแนกคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์

เราสามารถที่จะจำแนกประเภทของระบบคลัสเตอร์ออกตามเกณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้

5.4.1 จำแนกตามงานที่ประยุกต์ใช้

ระบบคลัสเตอร์สามารถนำเอาประยุกต์ใช้ได้กับงานที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านการคำนวณหรืองานทางด้านการเป็นเครื่องแม่ข่ายให้บริการงานต่างๆ โดยสามารถแบ่งย่อยได้เป็นสองประเภทดังนี้

- ระบบคลัสเตอร์แบบประสิทธิภาพสูง (High Performance (HP) Clusters) มักจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระบบคลัสเตอร์แบบนี้จะถูกสร้างขึ้นมาให้มีความรวดเร็วในการคำนวณมากที่สุด ประสิทธิภาพของหน่วยประมวลผลจะต้องสูงเพียงพอ อีกทั้งเครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมต่อต้องคุณภาพดีมาก ประสิทธิภาพในการคำนวณจึงจะสูงตามไปด้วย
- ระบบคลัสเตอร์แบบเสถียรภาพสูง (High Availability (HA) Clusters) ระบบคลัสเตอร์แบบนี้จะเน้นไปทางด้านเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการงานต่างๆ เช่น ให้บริการเป็นเว็บเซอร์ฟเวอร์ (Web Server) หรือให้บริการพื้นที่เก็บข้อมูลบนเครือข่าย (Storage Server) เพื่อจะทำให้มั่นใจได้ว่าผู้ใช้งานทั่วๆ ไปจะสามารถเข้าถึงทรัพยากรต่างๆ ได้ตลอดเวลา การให้บริการไม่ได้ขึ้นอยู่เครื่องเซอร์ฟเวอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งเพียงเครื่องเดียว

การสร้างระบบคลัสเตอร์แต่ละแบบนั้นจะมีข้อแตกต่างกัน วิธีการต่างกัน และซอฟท์แวร์ที่ใช้มีลักษณะแตกต่างกัน เพราะระบบหนึ่งต้องการความรวดเร็วในการคำนวณเพียงอย่างเดียว ส่วนอีกระบบหนึ่งต้องการความเชื่อถือในการเข้าถึงบริการได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 จำแนกตามลักษณะของเครื่องในระบบ

ระบบคลัสเตอร์เกิดการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์หลายๆ เครื่องเข้าด้วยกัน โดยเครื่องคอมพิวเตอร์เหล่านี้อาจจะมีลักษณะเหมือนกันทั้งหมดหรือไม่เหมือนกันเลยก็ได้ ซึ่งถ้าหากจำแนกระบบคลัสเตอร์ตามลักษณะของฮาร์ดแวร์ในระบบแล้ว สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็นสองประเภท เช่นกันคือ

- ระบบคลัสเตอร์แบบเนื้อเดียว (Homogeneous Cluster) ระบบคลัสเตอร์แบบนี้เป็นระบบที่มีองค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ที่ใช้ในแต่ละเครื่องเหมือนกันทั้งหมดได้แก่หน่วยประมวลผลกลาง ชนิดและขนาดของหน่วยความจำ ชนิดและขนาดของฮาร์ดดิสก์ และชนิดของระบบปฏิบัติการ เป็นต้น โดยระบบคลัสเตอร์นี้เป็นแบบที่นิยมสร้าง เนื่องจากการบริหารจัดการระบบสามารถทำได้อย่างสะดวก นอกจากนั้นการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการประมวลผลบนระบบคลัสเตอร์สามารถเขียนในครั้งเดียวแล้วทำงานได้กับทุกๆ เครื่องในระบบ
- ระบบคลัสเตอร์แบบเนื้อผสม (Heterogeneous Cluster) ระบบคลัสเตอร์แบบนี้เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงโดยสามารถสร้างจากเครื่องแบบใดก็ได้ที่สนับสนุนการประมวลผลแบบขนาน แต่ปัญหาของระบบนี้คือการสร้างโปรแกรมสำหรับประมวลผลแบบขนานจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นเนื่องจากต้องทำการสร้างโปรแกรมที่สามารถประมวลผลของแต่ละเครื่อง แต่ละระบบปฏิบัติการ เช่น เครื่องที่ใช้ระบบปฏิบัติการลีนุกส์ (Linux) และระบบที่ใช้ไมโครซอฟท์วินโดว์ (Microsoft Windows) เป็นระบบปฏิบัติการ โปรแกรมที่สร้างขึ้นมาอาจไม่สามารถใช้ด้วยกันได้ วิธีแก้ปัญหาอย่างหนึ่งคือสร้างโปรแกรมให้สนับสนุนมาตรฐานเช่น ANSI C เป็นต้น หรืออาจสร้างโปรแกรมที่สามารถประมวลผลได้บนทุกระบบ โดยที่ใช้รหัสต้นฉบับ (Source Code) ตัวเดียวกัน เช่น ภาษาจาวา (Java)

สิ่งหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญมากเช่นกันในระบบคลัสเตอร์แบบเนื้อผสมนี้ คือ การสมดุลงานในระบบหรือ Load Balancing เพราะเนื่องจากว่าคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแบบนี้สามารถที่จะมีองค์ประกอบภายในแตกต่างกันได้ ทำให้คอมพิวเตอร์แต่ละโหนดมีความสามารถและประสิทธิภาพในการคำนวณผลได้รวดเร็วแตกต่างกัน เมื่อทำงานร่วมกันนั้นจะต้องการการกระจายงานที่เหมาะสม เพื่อให้เครื่องที่มีประสิทธิภาพมากกว่ามีโอกาสได้รับงานไปคำนวณมากกว่า ระบบทั้งหมดไม่ต้องรอค่าผลลัพธ์จากเครื่องที่มีความรวดเร็วต่ำ ถ้าหากทำการสมดุลงานได้ดีแล้ว ประสิทธิภาพของระบบก็จะดีตามไปด้วย แต่ถ้าหากไม่คำนึงถึงเรื่องนี้แล้วประสิทธิภาพโดยรวมจะต่ำตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 โครงสร้างพื้นฐานของระบบคลัสเตอร์

ในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์ จะต้องมีส่วนประกอบพื้นฐานของระบบซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ ระบบปฏิบัติการ และซอฟท์แวร์ที่ทำงานในระดับของเคอร์เนล (Kernel) ของระบบปฏิบัติการซึ่งเรียกซอฟท์แวร์นี้ว่า คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์ และสุดท้ายต้องเชื่อมแต่ละโหนดเข้าด้วยกันผ่านทางเครือข่าย

5.5.1 **ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์**

องค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นในการพิจารณาเพื่อสร้างเป็นระบบคลัสเตอร์นั้นมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- แผงวงจรรวม Mother Board หรือ System Board
- หน่วยประมวลผล (CPUs)
- หน่วยความจำชั่วคราว (RAM)
- หน่วยความจำหลัก (Disk Storage)
- การ์ดเน็ตเวิร์ค (Network adapter)
- ตัวถังเครื่อง (Cases)

ซึ่งแต่ละโหนดควรจะมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนคุณสมบัติต่างๆ ทางด้านฮาร์ดแวร์ สามารถพิจารณาให้เหมาะสมตามความต้องการและงบประมาณที่มีอยู่

5.5.2 **ระบบปฏิบัติการ**

ระบบปฏิบัติการจะเป็นส่วนสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์และระบบคลัสเตอร์ เฉพาะคอมพิวเตอร์ในระบบคลัสเตอร์ต้องสามารถทำงานเองได้โดยอิสระ ไม่ขึ้นกับเงื่อนไขของเครื่องอื่น ถึงแม้มีเครื่องใดเครื่องหนึ่งในระบบหยุดไป คลัสเตอร์ก็ยังสามารถทำงานได้ ดังนั้นระบบปฏิบัติการจึงเป็นความจำเป็นในส่วนนี้ที่จะทำให้คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องสามารถทำงานโดยอิสระต่อกันได้ ระบบปฏิบัติการที่สามารถใช้กับระบบคลัสเตอร์ได้มีหลากหลาย เช่น Linux, Solaris, FreeBSD, Tru64 UNIX, HP-UX ซึ่งการเลือกใช้ระบบปฏิบัติการจะเป็นระบบปฏิบัติการตระกูลยูนิกส์ หรือ Microsoft Windows ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสะดวก ความเชี่ยวชาญและอุปกรณ์ที่เลือกใช้ อีกอย่างหนึ่งคือจะขึ้นอยู่กับซอฟท์แวร์และชุดคำสั่งที่เลือกใช้ด้วย เช่น ถ้าหากเลือกใช้ OpenMosix [17] ที่ทำงานได้บนลีนุกซ์เท่านั้นก็จะเป็นต้องเลือกใช้ลีนุกซ์เป็นระบบปฏิบัติการอีกทั้งฮาร์ดแวร์ที่สนับสนุนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แต่โดยส่วนใหญ่ซอฟท์แวร์และชุดคำสั่งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในระบบคลัสเตอร์นี้จะทำงานเข้ากันได้กับระบบปฏิบัติการตระกูลยูนิกส์เกือบทุกตัวอยู่แล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์

คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์คือซอฟท์แวร์ที่ทำงานในระดับเดียวกันกับแกนหรือเคอร์เนล (Kernel) ของระบบปฏิบัติการ มีหน้าที่ในการกระจายโพรเซส (Process) จากโหนดหนึ่งไปยังโหนดอื่นๆ ที่อยู่ในระบบคลัสเตอร์เดียวกัน โดยส่วนใหญ่คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์นี้จะเป็นซอฟท์แวร์ที่เขียนเพิ่มเติมเข้าไปในแกนของระบบปฏิบัติการ เพื่อให้ทุกเครื่องที่อยู่ในระบบคลัสเตอร์เหมือนเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์หลายหน่วยประมวลผลขนาดใหญ่ ที่เหมือนมีหน่วยความจำ หน่วยประมวลผลอยู่ที่เดียวกันเหมือนกับระบบคอมพิวเตอร์แบบ SMP (Symmetric Multi Processor) หรือ MMP (Massie Multi Processor) โดยมีเครือข่ายเป็นช่องทางสำหรับการติดต่อกับบัส (Bus) ภายในโพรเซสที่เกิดในโหนดหนึ่งสามารถข้ามหรือกระจายไปยังโหนดอื่นๆ ได้โดยสะดวก การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานระบบที่ใช้คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์นี้ก็สามารถทำได้ง่าย เพราะผู้ใช้ไม่ต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้งานชุดคำสั่งเหมือนกับการเขียนโปรแกรมบนสภาวะการโปรแกรมแบบขนาน (Parallel Programming Environment) ที่จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป การสมดุลงานหรือ Load Balancing เอง ผู้ใช้งานก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง กล่าวคือทุกอย่างทั้งการกระจายงาน การสมดุลงาน คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์จะเป็นตัวจัดการให้ทั้งหมด แต่ทั้งนี้ในเรื่องของประสิทธิภาพและความรวดเร็วแล้ว อาจจะด้อยกว่าการเขียนโปรแกรมบนสภาวะการโปรแกรมขนานเพราะในสภาวะแวดล้อมแบบขนาน ผู้ใช้จะต้องทำการเขียนลำดับขั้นตอนทุกอย่างด้วยตัวเอง ทำให้ความเข้าใจในเนื้องานมีมากกว่า และทำให้โปรแกรมทำงานได้รวดเร็วกว่าด้วย ตัวอย่างของคลัสเตอร์มิดแวร์มีดังนี้

- BPROC (Beowulf distribute PROCess space) เป็นซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาโดยห้องวิจัย CESDIS ของ NASA ซึ่งเป็นเพียงแค่โปรแกรมจำลองสภาวะของคลัสเตอร์เท่านั้น ไม่ได้ทำงานลึกลงไปในแกนของระบบปฏิบัติการอย่างแท้จริง แต่ก็ถือได้ว่าในจุดเริ่มของคลัสเตอร์มิดเดิลแวร์รุ่นหลังๆ โดยหลักการทำงานก็ตรงไปตรงมาตามวิธีการของคลัสเตอร์มิดเดิลแวร์ คืออนุญาตให้มีการโอนย้าย Process จากเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง และช่วยกันคำนวณจนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการออกมาได้ เมื่อทำการคำนวณจะมีโหนดหนึ่งที่ถูกกำหนดให้เป็นโหนดหลัก (Master Node) และส่วนที่เหลือทั้งหมดจะเรียกว่า สลาฟโหนด (Slave Node) โดยโหนดหลัก จะทำการเก็บค่าหมายเลขโพรเซส (Process ID) ที่ทำงานอยู่ และรายละเอียดเกี่ยวกับโหนดอื่นๆ ในระบบไว้ แล้วทำการกระจายโพรเซสไปยังโหนดอื่นๆ ส่วน สลาฟโหนด เมื่อได้รับคำสั่งให้สร้างโพรเซสหรือได้รับงานมาจากมาสเตอร์ จะทำการคำนวณและส่งค่าผลลัพธ์กลับไปให้ยังโหนดหลัก ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- MOSIX เป็นซอฟท์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Hebrew University of Jerusalem เพื่อทำหน้าที่ทำให้เกิดการกระจายงานในระบบตามมาตรฐานของคลัสเตอร์มิดเดิลแวร์ ซึ่งแตกต่างจาก BPROC ตรงที่ MOSIX ไม่ได้เป็นเพียงแค่โพรเซสที่จำลองสภาวะเท่านั้น แต่ MOSIX ทำงานในระดับของแกนระบบปฏิบัติการ จึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า สามารถควบคุมการกระจายงานต่างๆ ได้ดีกว่า คุณสมบัติที่สำคัญๆ คือ การกระจาย โพรเซสในระบบคลัสเตอร์ การทำหน้าที่สมดุลงานในระบบให้อัตโนมัติ และจัดการหน่วยความจำของระบบทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ อันมีผลทำให้ระบบของ MOSIX สามารถขยายได้และมีประสิทธิภาพสูง การทำงานของ MOSIX จะเป็นไปโดยอัตโนมัติทุกอย่างโดยที่ผู้ใช้งานหรือผู้เขียนโปรแกรมไม่ต้องศึกษาเพิ่มเติมมากนัก ก็สามารถเขียนโปรแกรมให้ทำงานบนระบบ คลัสเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

  การทำงานของระบบจะไม่ได้เป็นการควบคุมจากศูนย์กลาง (Decentralized)เหมือนกับ BPROC โดยจะไม่มีการแบ่งว่าโหนดไหนเป็น โหนดหลัก หรือ สลาฟโหนด แต่ทุกโหนดสามารถกระจายงานข้ามไปมาระหว่างกันได้อย่างสะดวก และง่ายดาย

5.5.4 **การเชื่อมต่อเครือข่าย**

การสื่อสารระหว่างแต่ละเครื่องในระบบคลัสเตอร์จะทำผ่านระบบเครือข่ายความเร็วสูงซึ่งอุปกรณ์เครือข่ายแต่ละชนิดจะมีความเร็วและราคาแตกต่างกันไป ตัวอย่างอุปกรณ์เครือขายที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างระบบคลัสเตอร์ มีดังนี้

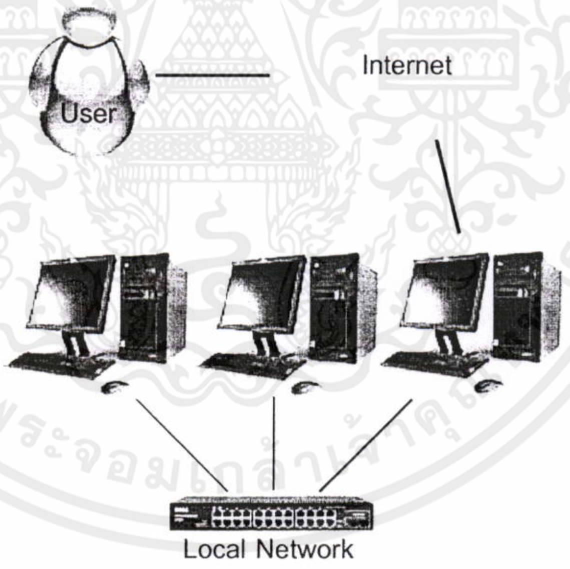
- Ethernet[18]ในปัจจุบันอุปกรณ์ Ethernet นั้นได้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงมากขึ้นจนถึงระดับ Gigabit Ethernet หรือ 10 Gigabit Ethernet คือ มีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลประมาณ 1 – 10 พันล้านบิตต่อวินาที
- Myrinet[19] มีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลประมาณ 2 พันล้านบิตต่อวินาที (Gigabits per second) และมีค่า Latency Time ต่ำกว่าเครือข่ายแบบ Ethernet มากแต่มีราคาแพงกว่า Fast Ethernet
- Quadric[20] มีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 340 – 900 MB/second หรือประมาณ 2.65 – 7 Gbit/sec และค่า Latency Time มีค่าต่ำมาก
- InfiniBand[21] เป็นเทคโนโลยีที่มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลสูงมากถึง 5 Gbit/sec สำหรับการ์ดรุ่น 1x และ 20 Gbit/sec สำหรับการ์ดรุ่นที่มีความเร็ว 4x อีกทั้งค่า Latency Time มีค่าต่ำมาก น้อยกว่า 10 microsecond

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปแบบวิธีการเชื่อมต่อเครือข่าย (Network Topology) ของระบบคลัสเตอร์นั้นมีหลายรูปแบบที่ถูกนำเสนอ ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อแบบวงแหวน การเชื่อมต่อแบบ cube และ Hypercube ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อเหล่านี้ต้องมีสายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างโหนดค่อนข้างมาก ทำให้ต้องมีการลงทุนทางด้านเครือข่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นรูปแบบของเครือข่ายแบบนี้จะไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานในระบบจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอเพียงแค่สองรูปแบบที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติและไม่ต้องลงทุนเกี่ยวกับเครือข่ายมากนัก ดังนี้

- การเชื่อมต่อโดยผ่านเกตเวย์

การเชื่อมต่อคลัสเตอร์ด้วยวิธีนี้จะเป็นดังรูปที่ 5.4 โดยจะมีคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นทางเข้าหรือทางออกหรือเกตเวย์ (Gate way) ให้แก่ระบบทั้งหมด เมื่อผู้ใช้ติดต่อเข้ามาในระบบจะต้องทำการติดต่อกับเครื่องที่เป็นเกตเวย์ ส่วนเครื่องอื่นๆ จะทำงานอยู่เบื้องหลังเท่านั้น ทำให้วิธีนี้มีประโยชน์ในเรื่องของการรักษาความปลอดภัย ของระบบ เพราะมีเพียงเครื่องเดียวเท่านั้นที่เชื่อมต่อกับภายนอก เมื่อต้องการรักษาความปลอดภัยก็สนใจเพียงเครื่องที่เป็นทางเข้าของระบบ แต่การเชื่อมต่อวิธีนี้ก็รับประกันไม่ได้เสมอไปนักว่าจะไม่ถูกบุกรุกจากภายนอก การเชื่อมต่อสามารถแสดงได้ดังนี้



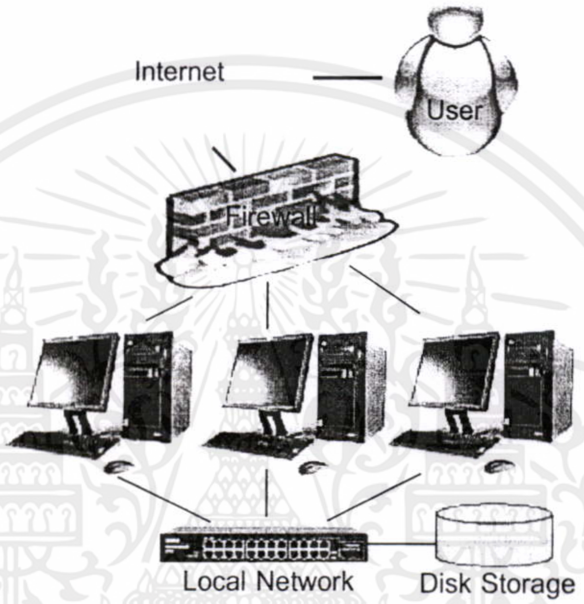
รูปที่ 5.4 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกผ่านเกตเวย์

การเชื่อมต่อแบบนี้มีข้อดีในส่วนของการดูแลเรื่องความปลอดภัย แต่จะไม่ค่อยเหมาะนักกับงานที่เป็นด้านการให้บริการหรือคลัสเตอร์ที่ต้องการความคงทนสูง (High Availability Cluster) อย่างเช่นเครื่องแม่ข่ายให้บริการเว็บ หรืออีเมล์ ดังนั้นจึงต้องใช้รูปแบบการเชื่อมต่อตามวิธีการในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเชื่อมต่อแบบทุกเครื่องเชื่อมภายนอก

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบนี้ ทุกเครื่องจะทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอก ทำให้เครื่องจากภายนอกสามารถเข้าถึงทรัพยากรของแต่ละเครื่องได้โดยตรง โดยจะมีประโยชน์ในกรณีที่เครื่อง คลัสเตอร์เหล่านี้ทำหน้าที่ให้บริการงานต่างๆ เช่นเครื่องแม่ข่ายของงานเว็บไซต์ การเชื่อมต่อแบบนี้มักจะนำเอาไฟร์วอล (Firewall) มาวางไว้ด้านหน้าของระบบอีกชั้น เพื่อเป็นการป้องกันการบุกรุกจากภายนอกได้ในระดับหนึ่ง ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การเชื่อมต่อแบบทุกเครื่องเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอก

และเนื่องจากระบบนี้มักจะถูกใช้เป็นเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการอันเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีที่เก็บข้อมูลรวมศูนย์ไว้ที่เดียวโดยอาจจะเป็น Storage ตามมาตรฐานทั่วไป เช่น NAS (Network Attach server) เป็นต้น

สำหรับโครงสร้างพื้นฐานของระบบคลัสเตอร์มีทั้งหมดสี่ส่วนคือ โครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ ระบบปฏิบัติการ คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์ และการเชื่อมต่อเครือข่าย ซึ่งได้กล่าวถึงโดยละเอียดแล้วในหัวข้อนี้ แต่ว่าการที่ระบบคลัสเตอร์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือการที่จะทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการเขียนโปรแกรมเพื่อทำงานบนระบบเหล่านี้ได้นั้น ต้องมีการกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมของส่วนที่เป็นชุดคำสั่งทางซอฟท์แวร์ (Software Library) และเครื่องมือต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 เครื่องมือและโปรแกรมอรรถประโยชน์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงเครื่องมือต่าง ๆ ที่ถูกใช้ในการสร้างและการเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ระบบคลัสเตอร์ โดยจะกล่าวถึงโปรแกรมจัดการสภาวะการโปรแกรมแบบขนาน (Parallel Programming Environment) ซึ่งในระบบคลัสเตอร์ส่วนใหญ่มักจะเลือกใช้โปรแกรมการสื่อสารระหว่างโหนด โดยการส่งข้อความ (Message Passing Interface) นั่นเอง หลังจากนั้นจะเป็นการกล่าวถึงตัวแปรภาษาที่สนับสนุนการทำงานบนระบบคลัสเตอร์ และสุดท้ายจะได้กล่าวถึงชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรม ให้สามารถทำได้ง่ายและสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ดังมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

5.6.1 โปรแกรมสื่อสารระหว่างโหนดโดยการส่งข้อความ

ในรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของระบบคลัสเตอร์ ในชั้นของสภาวะแวดล้อมการโปรแกรมแบบขนาน (Parallel Programming Environment) นั้น จะเป็นชั้นของซอฟท์แวร์ที่จะคอยอำนวยความสะดวกพื้นฐานให้แก่ผู้ใช้งานระบบ ทั้งในส่วนของชุดคำสั่ง (Library) พื้นฐานที่จำเป็นในการสื่อสารระหว่างโหนด การส่งค่าตัวแปร การส่งค่าข้อมูลแบบเจาะจง การส่งข้อมูลแบบกระจาย หรือบรอดแคสต์ (Broadcasting) และอื่น ๆ อีกทั้งมีการเตรียมซอฟต์แวร์สำหรับการติดต่อ (Software Interface) กับตัวแปรภาษาหรือคอมไพเลอร์ และคำสั่งใช้งานทั่วไป

สำหรับมาตรฐานของสภาวะแวดล้อมการโปรแกรมแบบขนานที่ได้รับความนิยม และมีการพัฒนาชุดคำสั่งตามมาตรฐานขึ้นมาใช้งานจริงมากที่สุดคือ มาตรฐานการส่งผ่านข้อความ หรือ Message Passing Interface ซึ่งมีชุดคำสั่งที่สร้างขึ้นมาใช้งานและได้รับความนิยมมากคือ MPICH[22] และ LAM [23]

โดยทั้ง MPICH และ LAM จะเป็นซอฟแวร์ไลบรารี (Software Library) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาตามมาตรฐาน MPI [24] เวอร์ชั่น 1.1 หรือสูงกว่า และจะมีการเตรียมฟังก์ชั่นพื้นฐานต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งมีคำสั่งใช้งานพื้นฐานให้แก่ผู้ใช้เพื่อทำการคอมไพล์ (Compile) โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาและคำสั่งใช้งานอื่น ๆ เพื่อติดต่อและสั่งงานกับระบบคลัสเตอร์

ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับรายละเอียดของการเขียนโปรแกรมแบบขนาน และการใช้งานคำสั่งของ MPICH นั้น จะกล่าวโดยละเอียดในบทถัดไป

5.6.2 คอมไพเลอร์

ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ถูกนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมบนระบบคลัสเตอร์ ที่ได้รับความนิยมโดยส่วนใหญ่คือ C/C++ และ FORTRAN เพราะเนื่องจากมีผู้พัฒนาฟังก์ชั่นและไลบรารีต่าง ๆ ขึ้นมากมายทั้งตัว MPICH, LAM หรือ PVM (Parallel Virtual Machine) เอง ก็มีฟังก์ชั่นสนับสนุนภาษาเหล่านี้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจะทำการสร้างโปรแกรมขนานจะต้องมีการคอมไพล์โปรแกรมที่สร้างขึ้นมา และเนื่องจากฟังก์ชั่นที่ถูกเตรียมไว้ให้โดย MPICH หรือ LAM เป็น C/C++ หรือ FORTRAN ดังนั้นในระบบคลัสเตอร์จึงต้องมีตัวแปรภาษาเหล่านี้อยู่ในระบบก่อนแล้ว คอมไพเลอร์ที่นิยมนำมาใช้ตัวอย่างเช่น GCC ของ GNU Project [25]เป็นต้น

5.6.3 ชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์

มีผู้พัฒนาชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการสร้างโปรแกรมการคำนวณต่าง ๆ หลายอย่าง ซึ่งชุดคำสั่งเหล่านี้ได้ช่วยให้การสร้างโปรแกรมขึ้นมาทำได้ง่ายขึ้น เพราะไม่ต้องเขียนโปรแกรมเองทั้งหมด และคำสั่งเหล่านี้ก็สามารถใช้งานร่วมกับระบบคลัสเตอร์ได้โดยไม่มีปัญหา และบางชุดคำสั่งยังสนับสนุนการทำงานแบบขนานในตัวชุดคำสั่งเลยอีกด้วย ตัวอย่างชุดคำสั่งเหล่านี้ เช่น

- PETs [26] เป็นไลบรารีที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาทางด้านนิวเมอริคอล (Numerical Analysis) โดยเฉพาะสมการพวก Partial differential equation สมการเชิงเส้น และสมการไม่เชิงเส้น เป็นต้น
- PLAPACK [27] หรือ Parallel Linear Algebra Package เป็นชุดคำสั่งที่สนับสนุนการประมวลผลแบบขนาน เพราะถูกสร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของ MPI และชุดคำสั่งนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการแก้ปัญหาของสมการพีชคณิตเชิงเส้น และการคำนวณเกี่ยวกับเมตริกซ์
- ScaLAPACK [28] เป็นชุดคำสั่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการคำนวณเมตริกซ์ และพีชคณิตเชิงเส้น การหาค่าไอเก้น (igen value) เป็นต้น

5.7 การจัดการระบบคลัสเตอร์

ระบบคลัสเตอร์ที่ดีนั้นนอกจากจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคำนวณงานต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วแล้ว จะต้องมีการจัดการที่ดี สามารถรองรับการทำงานของผู้ใช้งานหลาย ๆ คน รวมทั้งสามารถตรวจสอบสถานะของแต่ละโหนดได้อีกด้วย การจัดการระบบที่ดีจะทำให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน โดยส่วนใหญ่รวมทั้งทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้นด้วย การจัดการระบบนั้นจะมีอยู่ด้วยกันสามส่วนคือ

- การจัดการเกี่ยวกับผู้ใช้ (Users Management) จะเป็นการเพิ่มหรือลบผู้ใช้ในระบบให้สิทธิ์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานแต่ละคน กำหนดความเหมาะสมให้เกิดขึ้นสำหรับผู้ใช้งาน และเนื่องมาจากเหตุผลที่ว่าคอมพิวเตอร์แต่ละโหนดที่เชื่อมต่ออยู่ในคลัสเตอร์นั้นสามารถทำงานได้โดยอิสระ และมีระบบปฏิบัติการเป็นของตัวเอง การจัดการเรื่องผู้ใช้งานจึงเป็นสิ่งจำเป็นอันดับต้น ๆ เพราะเมื่อทำการเพิ่มหรือลบผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกจากระบบ ทุกโหนดจะต้องรู้และรับทราบการเปลี่ยนแปลงนั้น อีกอย่างเมื่อผู้ใช้ทำการล็อกอินเข้ามายังระบบคงไม่ดีแน่หากผู้ใช้ต้องทำการล็อกอินไปยังทุกเครื่องก่อนจึงจะสามารถใช้งานได้ ดังนั้นทางที่ดีควรจะให้ผู้ใช้ล็อกอินเข้าสู่ระบบเพียงครั้งเดียวแล้วสามารถใช้ทรัพยากรภายในระบบได้อย่างเหมาะสม

- การจัดการคิวงาน (Job scheduler) เมื่อมีผู้ใช้งานระบบหลาย ๆ คน อาจจะมีการแย่งกันใช้ทรัพยากรของระบบที่มีอยู่ ดังนั้นจะต้องมีระบบหรือวิธีการที่จะมาเรียงลำดับหรือช่วยจัดการงานต่าง ๆ ตามความสำคัญหรือตามลำดับของงานที่ส่งให้มาประมวลผลในระบบ ระบบการจัดการคิวงานที่ดีนั้นต้องสามารถตรวจสอบทรัพยากรที่มีอยู่ของระบบทั้งหมดได้ เช่น มีโหนดออนไลน์ (Online) อยู่กี่โหนด หรือออฟไลน์ (Offline) ไปแล้วกี่โหนด ผู้ใช้คนไหนมีสิทธิ์ใช้หน่วยประมวลผลได้มากน้อยแค่ไหน ใช้หน่วยความจำได้เท่าไหร่ โปรแกรมของผู้ใช้สามารถทำงานได้ตั้งแต่เวลาเท่าไหร่ถึงเท่าไหร่ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นสิ่งที่ต้องมีในตัวจัดการคิวงาน ตัวจัดการคิวงานนี้มีเครื่องมือให้ใช้บ้างบางส่วนนั่นคือ ระบบ Batch queues ซึ่งที่นิยมนำมาใช้งานเช่น OpenPBS (Open Portable Batch System)
- การตรวจสอบและการจัดการ (Monitoring and Management) ระบบคลัสเตอร์จะต้องทำการตรวจสอบสถานะทำงานได้ เช่น สถานะการใช้งานหน่วยประมวลผล ปริมาณการใช้หน่วยความจำ และสถานะของเครื่องแต่ละโหนด เพื่อจะได้ทำการตรวจสอบและแก้ไขได้อย่างถูกต้อง ระบบการตรวจสอบสถานะมีเครื่องมือ เช่น Ganglia[29] เป็นต้น ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ทำให้จัดการระบบได้ง่ายขึ้น เพราะมีการตรวจสอบระบบเป็นระยะ ส่วนระบบการจัดการนั้นต้องมีระบบการจัดการที่ดี เพื่อให้ระบบสามารถทำงานต่อเนื่องยาวนาน และมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
โปรแกรมแบบขนาน

6.1 บทนำ

หลักการประมวลผลขนานแบบต่าง ๆ ทั้งระบบที่เป็นแบบหลายหน่วยประมวลผลหรือหลายเครื่องประมวลผล จะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าหากโปรแกรมที่นำมาใช้งานบนระบบเหล่านี้ไม่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาอย่างเหมาะสมหรือยังคงใช้วิธีการในการโปรแกรมแบบลำดับขั้น (Sequential Algorithm) เหมือนกับโปรแกรมอื่น ๆ ทั่วไป ดังนั้น ในบทนี้จึงจะเป็นการกล่าวถึงความสำคัญและวิธีการในการออกแบบและสร้างโปรแกรมแบบขนาน โดยใช้เทคนิคและวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรมมากยิ่งขึ้น

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงเนื้อหาทั้งหมดของการโปรแกรมแบบขนาน นับตั้งแต่กลวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการโปรแกรม รูปแบบและวิธีการพัฒนาโปรแกรม การออกแบบวิธีการการทำงานของโปรแกรมทั้งการแบ่งงาน การรวมกลุ่มงาน การสมดุลงาน และการสื่อสารระหว่างโปรเซสในขณะทำงาน

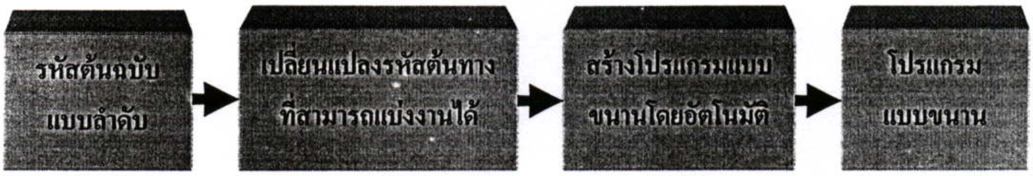
6.2 รูปแบบของการพัฒนาโปรแกรมแบบขนาน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงรูปแบบหรือแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมขนานแบบต่าง ๆ ก่อนที่จะกล่าวถึงทฤษฎีและการออกแบบเพื่อสร้างโปรแกรมขนานในหัวข้อถัดไป โดยลำดับแรกในการพัฒนาโปรแกรมขนานนั้น ส่วนใหญ่ผู้เขียนโปรแกรมมักจะสร้างโปรแกรมในแบบลำดับ (Sequential Program) ให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องก่อน จากนั้นจึงจะพัฒนาโปรแกรมแบบลำดับนี้ไปเป็นโปรแกรมขนานได้ตามวิธีเหล่านี้

6.2.1 การสร้างโปรแกรมขนานโดยอัตโนมัติ

การสร้างโปรแกรมด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ก็มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดยหน้าที่ของการสร้างโปรแกรมแบบขนานจะเป็นหน้าที่ของตัวแปรภาษาซึ่งตัวแปรภาษาจะตรวจสอบรหัสต้นฉบับ (Source Code) ซึ่งอาจประกอบด้วยส่วนของรหัสที่มีการรวมซ้ำ และการประมวลผลกับข้อมูลที่ซ้ำ ๆ กันโดยตัวแปรภาษานี้จะทำการเปลี่ยนรหัสต้นฉบับไปเป็นรหัสที่สนับสนุนการประมวลผลแบบขนาน จากนั้นใช้ตัวแปรภาษาเปลี่ยนรหัสที่ได้ไปเป็นโปรแกรมแบบขนานโดยอัตโนมัติ แต่ข้อจำกัดของการสร้างโปรแกรมด้วยวิธีนี้อยู่กับเทคโนโลยีที่ตัวแปรภาษาใช้ในการเปลี่ยนรหัสต้นฉบับเป็นรหัสที่สนับสนุนการประมวลผลแบบขนาน ขั้นตอนการทำงานของการสร้างโปรแกรมขนานโดยอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 6.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการทำงานของการสร้างโปรแกรมแบบขนานโดยอัตโนมัติ

6.2.2 **การสร้างโปรแกรมโดยใช้ชุดคำสั่งแบบขนาน**

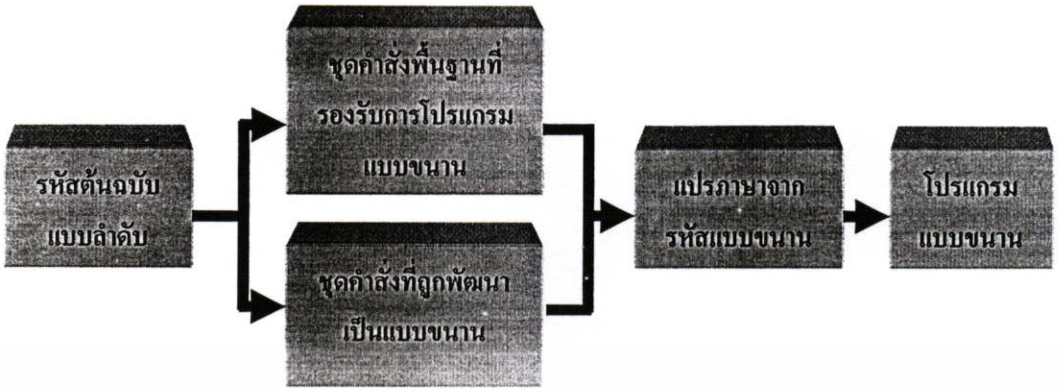
เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแรก โดยเมื่อทำการสร้างโปรแกรมจะใช้ชุดคำสั่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาให้สนับสนุนการทำงานแบบขนานแล้ว เช่น ชุดคำสั่งของ ScaLAPACK หรือ PLAPACK ซึ่งชุดคำสั่งเหล่านั้นสนับสนุนการประมวลผลแบบขนานอยู่แล้ว ฟังก์ชั่นที่ชุดคำสั่งเหล่านี้เตรียมไว้ให้ใช้งาน เช่น ชุดคำสั่งของการหาผลเฉลยสมการต่าง ๆ แบบขนาน และการคูณเมตริกแบบขนาน เป็นต้น

จุดคำสั่งที่สนับสนุนการทำงานแบบขนานนี้จะมีอยู่สองกลุ่มคือ

- กลุ่มของชุดคำสั่งพื้นที่รองรับหรือทำให้เกิดสภาพแวดล้อมการประมวลผลแบบขนาน ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชั่นที่ถูกเตรียมไว้โดย MPICH หรือ LAM ซึ่งจะเป็นคำสั่งหรือฟังก์ชั่นพื้นฐานทำให้เกิดการประมวลผลแบบขนานได้ เพราะมีคำสั่งทำให้เกิดการสื่อสารระหว่างโหนดต่อโหนด การส่งข้อความถึงโหนดอื่น ๆ ในระบบได้ และอื่น ๆ อีกมาก
- กลุ่มของชุดคำสั่งที่ได้รับการพัฒนาให้เป็นการประมวลผลแบบขนาน เช่น ScaLAPACK หรือ PLAPACK ซึ่งเป็นชุดคำสั่งทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาให้ทำงานแบบขนานได้โดยเรียกใช้ชุดคำสั่งของ MPI อีกที

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการสร้างโปรแกรมแบบขนานโดยใช้เพียงแค่คำสั่งพื้นฐานเพื่อให้เกิดสภาพแวดล้อมในการโปรแกรมแบบขนานขึ้นเท่านั้น แต่ไม่ได้ชุดคำสั่งขนานแบบอื่นเข้ามาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมแบบขนานโดยใช้ชุดคำสั่งแบบขนาน

6.2.3 **การสร้างโปรแกรมแบบขนานด้วยตัวเอง**

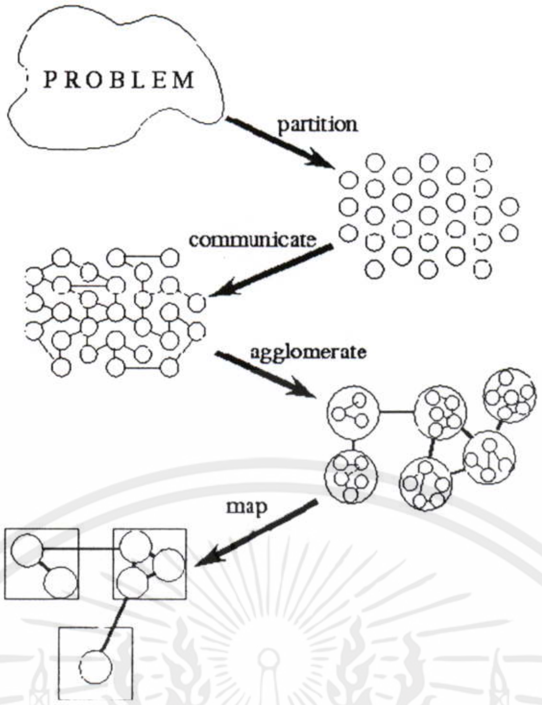
การสร้างโปรแกรมแบบขนานด้วยวิธีนี้เป็นแบบที่ยืดหยุ่นมากที่สุด ผู้สร้างโปรแกรมสามารถเลือกตัวแปรภาษาใดก็ได้ที่ต้องการ รวมถึงสามารถเลือกรูปแบบและวิธีการที่ใช้ในการสื่อสาร แต่วิธีนี้นับเป็นวิธีที่ยากและเสียเวลามากที่สุด ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมแบบขนานด้วยตัวเองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.3

รูปที่ 6.3 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมแบบขนานด้วยตัวเอง

6.3 การออกแบบโปรแกรมขนาน

เมื่อจะทำการลงมือเขียนโปรแกรมนั้น จะต้องมีการออกแบบโปรแกรมที่ดีก่อนจึงค่อยลงมือเขียนโดยโปรแกรมที่ดีนั้นจะต้องเป็นไปตามหลักการและหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ ที่ได้นำ เสนอไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งวิธีการออกแบบโปรแกรมขนานนี้ Foster[30] ได้เสนอหลักการต่าง ๆ ไว้สี่ขั้นตอนด้วยกัน การแบ่งงาน (Partition) การพิจารณาเรื่องการสื่อสาร (Communication) การรวมกลุ่มงาน (Agglomerate) และการกำหนดงานไปยังหน่วยคำนวณที่เหมาะสม (Mapping) สามารถแสดงขั้นตอนทั้งหมดได้ดังรูปที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 ขั้นตอนการออกแบบการทำงานของโปรแกรมแบบขนาน

จากรูปจะเห็นได้ว่าจากปัญหาขนาดใหญ่ที่ต้องการคำนวณนั้น ในขั้นตอนของการแบ่งงานจะทำการแยกแยะปัญหาออกให้เป็นส่วนย่อยตามความเหมาะสมของแต่ละปัญหา หลังจากนั้นจึงทำการพิจารณาความเกี่ยวพันของแต่ละส่วน โดยอาจจะพิจารณาจากขอบเขต การอยู่ติดกันของส่วนย่อยเล็ก ๆ เหล่านั้น รวมทั้งพิจารณาถึงการรับและส่งค่าของปัญหาต่าง ๆ อีกด้วย หลักจากนั้นจึงทำการรวมส่วนที่เกี่ยวข้องหรือมีความสัมพันธ์เข้าไว้ด้วยกันในขั้นตอนของการรวมกลุ่มงาน และสุดท้ายจะเป็นการกำหนดงานไปยังหน่วยคำนวณหรือ Processing Element ที่เหมาะสมต่อไป

6.3.1. **ขั้นตอนการแบ่งงาน**

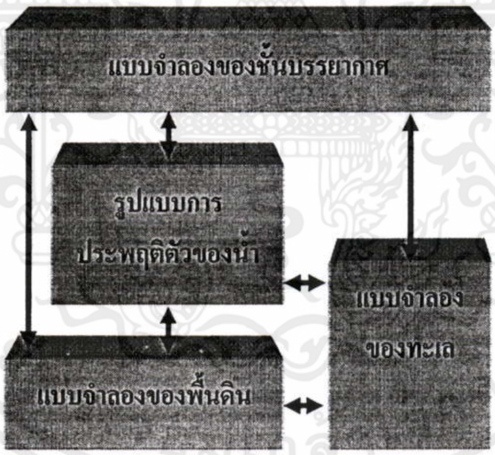
การแบ่งงานเป็นจุดเริ่มต้นของการประมวลผลแบบขนาน เพราะจะต้องทำการแบ่งปัญหาขนาดใหญ่ที่ซับซ้อนออกมาเป็นส่วนย่อยที่สามารถคำนวณไปพร้อม ๆ กันให้ได้ก่อน จึงจะสามารถทำตามขั้นตอนอื่น ๆ ต่อไปได้ การแบ่งงานสามารถทำได้สองแบบคือ

- การแบ่งข้อมูลของปัญหาออกเป็นส่วนย่อย (Data Decomposition) ในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาที่ข้อมูลอินพุท ว่าสามารถแบ่งเป็นส่วนย่อย แล้วประมวลผลไปพร้อมกันได้หรือไม่โดยอาจจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ของชุดข้อมูล หรือเป็นกลุ่มของข้อมูลที่อยู่ติดกัน แล้วทำการประมวลผลโดยใช้หลักการ "โปรแกรมเดี่ยวหลายชุดข้อมูล" (Single

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Multiple Data : SPMD) ซึ่งโปรแกรมที่ทำงานอยู่บนแต่ละหน่วยประมวลผลจะเป็นโปรแกรมชุดเดียวกัน แต่ประมวลผลข้อมูลคนละชุดข้อมูล ซึ่งชุดข้อมูลที่ถูกส่งไปคำนวณจะเกิดจากการแบ่งปัญหาด้วยวิธีนี้ ตัวอย่างเช่น การบีบอัดข้อมูลเคลื่อนไหวหรือภาพยนตร์สามารถทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ แล้วส่งไปประมวลผลยังแต่ละหน่วยประมวลผลเมื่อได้ผลลัพธ์จึงค่อยนำมารวมกันก็จะได้เป็นภาพยนตร์ที่ผ่านการเข้ารหัสที่สมบูรณ์ทั้งหมด ซึ่งจากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า โปรแกรมที่ทำงานอยู่ในแต่ละหน่วยประมวลผลเป็นโปรแกรมเดียวกัน แต่ประมวลผลส่วนของข้อมูลต่างกัน ตามหลักการ SPMD

- การแบ่งปัญหาตามหน้าที่ของการคำนวณออกเป็นส่วนย่อย (Functional Decomposition) ซึ่งการแบ่งงานแบบนี้จะกระทำตั้งแต่เริ่มลงมือเขียนส่วนของโปรแกรม เพราะจะต้องทำการแยกฟังก์ชั่นการทำงานของแต่ละส่วนอย่างชัดเจนตั้งแต่ทีแรก ว่าส่วนไหนทำอะไร และเกี่ยวข้องกับข้อมูลชุดไหนบ้าง เพื่อให้เป็นไปตามหลักการ "หลายโปรแกรมหลายชุดข้อมูล" (Multiple Program Multiple Data : MPMD) เช่น การสร้างแบบจำลองของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งประกอบด้วยงานย่อย ๆ คือ การสร้างแบบจำลองของทะเล พื้นดิน และชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 6.5 การแบ่งขอบเขตหน้าที่ของปัญหา

6.3.2. ขั้นตอนออกแบบการสื่อสาร

ขั้นตอนการสื่อสารนี้จะพิจารณาความสัมพันธ์ในเรื่องของการสื่อสารระหว่างงานที่แบ่งออกไปในงานบางอย่าง งานย่อยที่ถูกแบ่งไม่สามารถประมวลผลได้ในเวลาเดียวกันได้ทั้งหมด เนื่องจากต้องอาศัยข้อมูลหรือผลลัพธ์จากงานย่อยอื่นเพื่อใช้งานการประมวลผล ดังนั้นจึงต้องมีการสื่อสารระหว่างงานย่อย การเลือกวิธีการสื่อสารที่เหมาะสมจะทำให้การประมวลผลมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

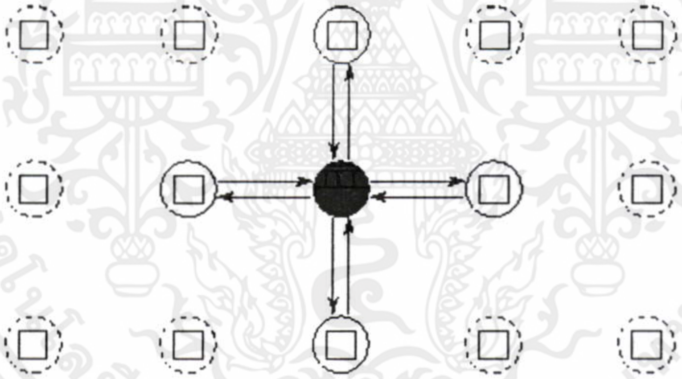
ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การออกแบบขั้นตอนการสื่อสารจะแบ่งเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกออกแบบโครงสร้างของการเชื่อมโยงว่างานใดต้องการข้อมูลและงานใดทำหน้าที่ให้ข้อมูล ขั้นตอนที่สองคือกำหนดโครงสร้างของข้อความ (Message) ที่ใช้ในการส่งและรับของแต่ละการเชื่อมโยง ลักษณะของการสื่อสารอาจแบ่งได้เป็นสี่แบบดังนี้

- การสื่อสารกับโปรเซสข้างเคียง (Local Process Communication)

การสื่อสารกับโปรเซสข้างเคียง คือ การสื่อสารที่เกิดขึ้นระหว่างงานจำนวนน้อย เช่นการวิเคราะห์เชิงเลข (Numerical Analysis) ในวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ของ Jacobi ซึ่งการหาค่า $X_{i,j}^{(t+1)}$ ทำได้จากสมการ 6.1 โดยใช้ข้อมูลห้าจุดในการคำนวณ

$$X_{i,j}^{(t+1)} = \frac{4X_{i,j}^{(t)} + X_{i-1,j}^{(t)} + X_{i+1,j}^{(t)} + X_{i,j-1}^{(t)} + X_{i,j+1}^{(t)}}{8} \qquad (6.1)$$

งานแต่ละงานทำหน้าที่หาค่าของ $X_{i,j}^{(t+1)}$ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน และในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่ส่งค่าของตัวเองให้กับงานอื่นด้วยดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ลักษณะการสื่อสารในการคำนวณไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในสองมิติ

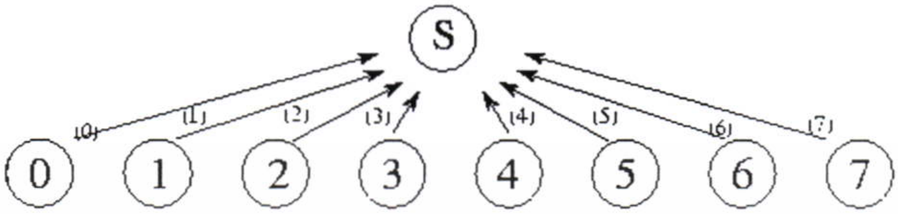
- การสื่อสารแบบครอบคลุม (Global Communication)

ส่วนการสื่อสารแบบครอบคลุมจะเป็นการสื่อสารในลักษณะที่งาน ๆ หนึ่งเป็นศูนย์กลางในการติดต่อกับงานอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การคำนวณหาค่าผลรวมดังสมการ 6.2

$$S = \sum_{i=0}^{N-1} X_i \qquad (6.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณแบบนี้จะเกินจากงานที่เป็นผู้จัดการ (Manager) รับค่า X_1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการคำนวณของผู้ทำงาน (Worker) ต่าง ๆ เพื่อทำการหาค่าผลรวม S โดยการสื่อสารจะมีลักษณะดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 การสื่อสารเพื่อรวมค่าโดยงานที่เป็นผู้จัดการ

- การสื่อสารแบบไม่มีโครงสร้างและการสื่อสารแบบเปลี่ยนแปลงได้ (Unstructured and Dynamic Communication)

ในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการสื่อสารแบบคงที่และมีโครงสร้างที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีงานบางรูปแบบที่มีโครงสร้างไม่แน่นอนและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การวิเคราะห์ไฟไนต์อีลีเมนต์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.8

รูปที่ 6.8 ตาราง (Grid) ซึ่งสร้างจากวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อีลีเมนต์

จากรูปที่ 6.8 ขนาดของตารางที่สร้างขึ้นมาเพื่อการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์นี้จะไม่มีรูปแบบที่แน่นอน เพราะความละเอียดของตารางไม่เท่ากัน อาจจะขนาดใหญ่ในส่วนที่ไม่สำคัญมาก และจะมีขนาดเล็กลงมากขึ้นในส่วนที่เป็นจุดสนใจต้องการที่จะวิเคราะห์โดยละเอียด ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถออกแบบการสื่อสารไว้ก่อนได้ วิธีแบ่งงานอาจทำได้โดยกำหนดให้แต่ละจุดต่อ (Vertex) ของเส้นตารางเป็นงานหนึ่งงาน และการสื่อสารจะทำตามจุดต่อตารางที่แบ่งไว้

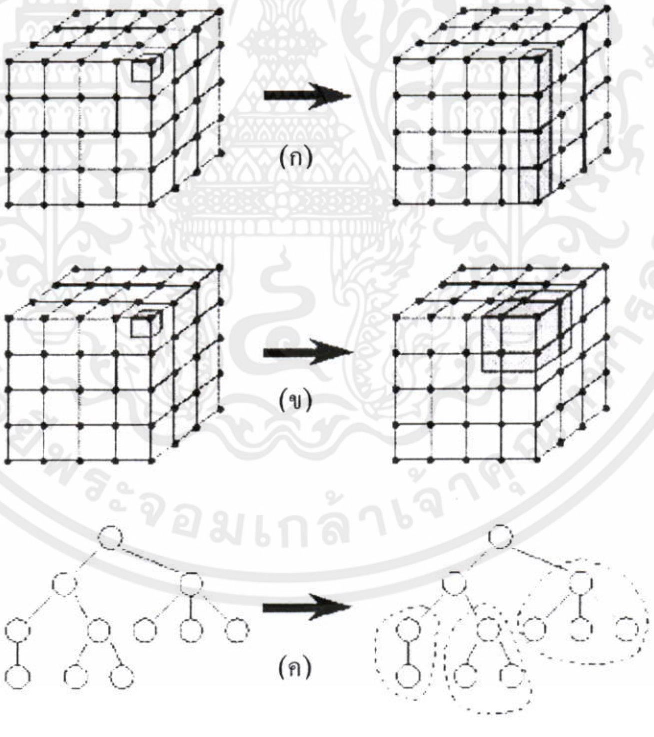
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสื่อสารแบบไม่ประสานกัน (Asynchronous Communication)

การสื่อสารทั้งสามรูปแบบที่กล่าวมาแล้วล้วนแต่เป็นการสื่อสารแบบประสาน หรือตรวจทานการทำงานทั้งสิ้น (Synchronous Communication) จะมีการสื่อสารอีกรูปแบบหนึ่งที่ไม่มีการตรวจทานจังหวะและเวลาในการส่งข้อมูล ข้อมูลจะถูกร้องขอมาก่อนเท่านั้น จึงจะเกิดการสื่อสารขึ้น การสื่อสารแบบประสานกัน ผู้ส่งและผู้รับรู้ว่าจะเกิดการสื่อสารกันก่อนจะเกิดการสื่อสารกันจริง ส่วนการสื่อสารแบบไม่ประสานกันผู้ส่งจะไม่รู้ว่าเมื่อใดผู้รับจะต้องการข้อมูล ผู้รับข้อมูลจะต้องทำการร้องขอข้อมูลโดยตรงจากผู้ส่งข้อมูลเมื่อต้องการ

6.3.3. ขั้นตอนการรวมกลุ่มงาน

ขั้นตอนการรวมกลุ่มงานจะถูกกำหนดเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างงานให้ลดลง และทำให้หน่วยประมวลผล (Processors) ไม่ต้องเสียเวลาในการสื่อสาร และรอคอยการรับส่งข้อมูล ทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณมากขึ้นด้วย



รูปที่ 6.9 การรวมกลุ่มงานในการประมวลผลแบบขนานเพื่อลดเวลาในการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมกลุ่มงานอาจทำได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับประเภทของงานเช่นจากรูปที่ 6.9

ก. เป็นการรวมกลุ่มงานจากในตารางสามมิติเป็นงานในตารางสองมิติ

ข. เป็นการรวมกลุ่มงานในตารางสามมิติเป็นงานที่ใหญ่ขึ้นในสามมิติ

ค. เป็นการรวมกลุ่มงานในรูปแบบแผนภูมิต้นไม้เป็นต้น

6.3.4. ขั้นตอนการกำหนดงาน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดงานไปยังหน่วยประมวลผลหรือหน่วยคำนวณที่เหมาะสม เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์ของหน่วยประมวลผลสูงสุด และลดการสื่อสารให้มีน้อยที่สุด การกำหนดงานนี้สามารถทำเป็นแบบคงที่ที่กำหนดไว้ตายตัวตั้งแต่เริ่มสร้างโปรแกรม หรือทำการกำหนดงานตอนที่กำลังทำการคำนวณโดยใช้เทคนิคของการสมดุลงาน (Load Balancing) เข้ามาช่วยก็ได้

การกำหนดงานจะถูกทำเป็นขั้นตอนสุดท้ายในแบบอัลกอริทึมแบบขนาน การกำหนดงานบนคอมพิวเตอร์แบบขนานจะต่างจากระบบคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลเดียว โดยในคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลเดียว ระบบปฏิบัติการจะเป็นผู้กำหนดและจัดลำดับงาน (Scheduling) ให้กับหน่วยประมวลผลเพื่อให้ทำการประมวลผล ส่วนในคอมพิวเตอร์แบบขนานการกำหนดงานอาจทำโดยอัตโนมัติจากระบบปฏิบัติการแบบขนานเช่น ในระบบคลัสเตอร์ที่ใช้คลัสเตอร์มิดเดิลแวร์อย่าง OpenMosix เป็นต้น หรืออาจกำหนดจากผู้สร้างโปรแกรมโดยตรง การกำหนดงานเป็นขั้นตอนที่ซับซ้อนซึ่งวิธีการกำหนดงานที่ดีจะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลงานน้อยและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานหลักการในการกำหนดงานที่ดีมีสองข้อคือ

- กำหนดงานที่สามารถประมวลผลพร้อม ๆ กันได้ให้ทำงานในหน่วยประมวลผลต่างกัน
- กำหนดงานที่ต้องมีการสื่อสารกันบ่อยให้ทำงานอยู่ในหน่วยประมวลผลเดียวกัน

การกำหนดงานไม่มีรูปแบบที่แน่นอนขึ้นอยู่กับประเภทของงาน รูปแบบของแต่ละปัญหาและลักษณะคอมพิวเตอร์แบบขนาน เช่น ในระบบคอมพิวเตอร์คลัสเตอร์แบบเนื้อผสม (Heterogeneous) ซึ่งความสามารถในการประมวลผลของแต่ละหน่วยผลอาจไม่เท่ากันจะทำให้วิธีการกำหนดงานมีความยากและซับซ้อนขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

7.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงวิธีการที่ใช้ลงทะเบียนภาพ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก่ การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม รูปแบบการแทนโครโมโซม ฟังก์ชั่นเป้าหมาย และ ค่าฟิตเนส ตัวดำเนินการเจเนติกการใช้เจเนติกการเลือกโครโมโซม และ การลงทะเบียนภาพบนระบบคลัสเตอร์

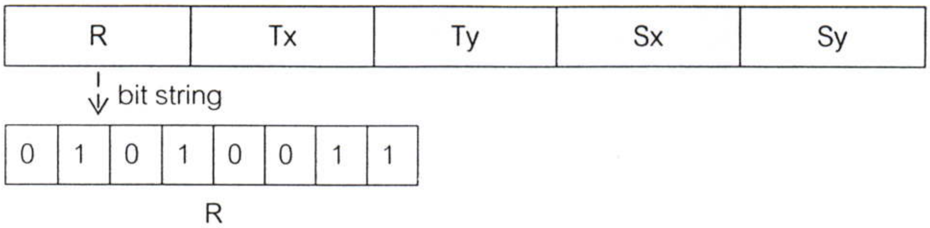
7.2 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ วิธีการของการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพคือ จะไม่ดึงคุณสมบัติใดๆของภาพ แต่จะทำการแปลงภาพๆหนึ่งและทำการวัดความเหมือนของภาพทั้งสอง และจะทำการแปลงภาพนั้นอีกจนกว่าภาพทั้งสองจะเหมือนกันที่สุด ข้อดีของวิธีการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ คือไม่ต้องทำเครื่องหมาย (land mark) ใดๆ บนตัวผู้ป่วยขณะทำการถ่ายภาพ หรือทำเครื่องหมายใดๆ บนภาพ วิธีลงทะเบียนภาพวิธีนี้จำเป็นต้องใช้กระบวนการทำซ้ำ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ เจเนติกอัลกอริทึม ในการลงทะเบียนภาพ เพราะการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการลงทะเบียนภาพนั้นจะไม่ลู่เข้าสู่จุดโลคอลมินิมัม (local minimum) เจเนติกอัลกอริทึมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำตามอัลกอริทึมที่แสดงในบทที่ 4 ส่วนรายละเอียดปลีกย่อยอื่นๆจะกล่าวในหัวข้อต่อๆไปในบทนี้

7.3 รูปแบบการแทนโครโมโซม

ภาพที่ใช้ลงทะเบียนภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นภาพทางด้านการแพทย์จึงไม่มีผลของการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ (Perspective Transformation) ดังนั้นวิธีการแปลงที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกการแปลงแบบสิมิลาริตี้ (Similarity Transformation) ซึ่งการแปลงแบบสิมิลาริตี้นั้นประกอบไปด้วยการหมุน การเลื่อนพิกัด และการสเกล โดยสามารถแทนโครโมโซมได้ดังรูปที่ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 แสดงการแทนค่าให้กับโครโมโซม

จากรูปที่ 7.1 แสดงการแทนค่าให้กับโครโมโซมซึ่งประกอบไปด้วย Tx, Ty คือการเลื่อนพิกัดไปทางแนวแกน X และ Y ตามลำดับ Sx, Sy คือการสเกลไปทางแนวแกน X และ Y ตามลำดับ R คือการหมุน และยังแสดงตัวอย่างการแปลงค่าตัวแปรให้อยู่ในรูป บิต สตริงดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ซึ่งตัวแปรในโครโมโซมทุกตัวจะถูกเข้ารหัสเช่นเดียวกับ R

7.4 **ฟังก์ชั่นเป้าหมาย และ ค่าฟิตเนส**

การลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมนั้นจะต้องทำการแปลงภาพทุกครั้งก่อนที่นำไปหาค่าฟิตเนส ซึ่งการแปลงภาพถูกกำหนดโดยสมการต่อไปนี้

$$X_i = s_1(M(\bar{t}_i)) \qquad (7.1)$$

$$Y_i = s_2(\bar{t}_i)\text{, } i=1,\dots,N \qquad (7.2)$$

จากสมการที่ 7.1 และ สมการที่ 7.2 $\overline{t_i}$ เป็นพิกัดบนภาพ, $S_1(t)$ และ $S_2(t)$ เป็นภาพต้นฉบับทั้ง 2 ภาพ, $X_i = (X_1,\dots,X_N)$ และ $Y_i = (Y_1,\dots,Y_N)$ เป็นภาพที่ถูกแปลงแล้ว และ ภาพปกติตามลำดับ, $S_1(M(.))$เป็นการแปลงพิกัด และการประมาณ โดยที่ M(.) ถูกจัดอยู่ในรูปของเมทริค (Matrix)ดังต่อไปนี้

M = S.R.T

$$= \begin{bmatrix} Sx & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Sy & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ Tx & Ty & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (7.3)$$

ค่าฟิตเนสที่จะนำมาตรวจสอบการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพนั้นก็คือค่าความเหมือนกันของภาพ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ Correlation Coefficient เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่นเป้าหมายเพื่อหาค่าความเหมือนกันของภาพ สามารถหาค่าความเหมือนกันของภาพได้จากสมการที่ 7.4[31]

$$\hat{\rho}_s(X,Y) = \frac{\hat{C}_s(X,Y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_x^2 \hat{\sigma}_y^2}},\ -1 \le \hat{\rho}_s(X,Y) \le 1 \qquad (7.4)$$

จากสมการที่ 7.4 X,Y คือภาพทั้ง 2 ภาพที่จะนำมาทำการลงทะเบียนภาพ และ covariance $\hat{C}_s(X,Y)$,variance $\hat{\sigma}_x^2$, $\hat{\sigma}_y^2$ และ ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$, $\bar{Y}$ ถูกกำหนดโดยสมการที่ 7.5 ,7.6 และ7.7 ตามลำดับ

$$\hat{C}_s(X,Y) \equiv \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \qquad (7.5)$$

$$\hat{\sigma}_x^2 \equiv \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2 \quad \hat{\sigma}_y^2 \equiv \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_i - \bar{Y})^2 \qquad (7.6)$$

$$\bar{X} \equiv \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i \qquad \bar{Y} \equiv \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i \qquad (7.7)$$

ซึ่งค่า $\hat{\rho}_s(X,Y)$ ที่ได้ถ้ายิ่งลู่เข้าใกล้ 1 แสดงว่าภาพทั้งสองที่นำมาตรวจสอบยิ่งเหมือนกัน ถ้าค่า $\hat{\rho}_s(X,Y)$ ที่ได้เท่ากับ 0 แสดงว่าภาพทั้งสองที่นำมาตรวจสอบไม่เหมือนกันเลย ซึ่งค่า $\hat{\rho}_s(X,Y)$ ที่ได้เท่ากับ -1 แสดงว่าภาพทั้งสองที่นำมาตรวจสอบอินเวิร์ส (Inverse) กัน

7.5 การเลือกโครโมโซม

การเลือกโครโมโซมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้วิธีการเลือกแบบจัดตำแหน่ง ร่วมกับวิธีการเลือกแบบอิลิทิซึม สาเหตุที่ใช้วิธีการเลือกแบบจัดตำแหน่งเพราะว่าค่าฟิตเนสที่ได้จากฟังก์ชั่นเป้าหมายนั้น อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 เมื่อเรานำไปจัดตำแหน่งก่อนก็จะง่ายต่อการนำไปเลือกโครโมโซม และสาเหตุที่ใช้ วิธีการเลือกแบบอิลิทิซึมมาใช้ร่วมกันนั้นเพราะว่าในบางกรณีการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่นั้นอาจจะไม่ทำให้เกิดประชากรรุ่นใหม่ที่มีค่าฟิตเนสที่ดีกว่าประชากรรุ่นเก่า

7.6 ตัวดำเนินการเจเนติก

ตัวดำเนินการเจเนติกใช้สำหรับการให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งประกอบด้วย การครอสโอเวอร์ และการมิวเตชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การครอสโอเวอร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้การครอสโอเวอร์แบบ 1 จุด โดยจุดครอสโอเวอร์จะสามารถหาได้จากการสุ่มซึ่งจะถูกควบคุมโดยค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover Probability : P_C)

การมิวเตชั่นนั้นใช้วิธีการเดียวกับที่อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 ซึ่งยีนแต่ละตัวจะถูกทำการมิวเตทหรือไม่นั้นสามารถหาได้จากการสุ่มและจะถูกควบคุมโดยค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation Probability : P_M)

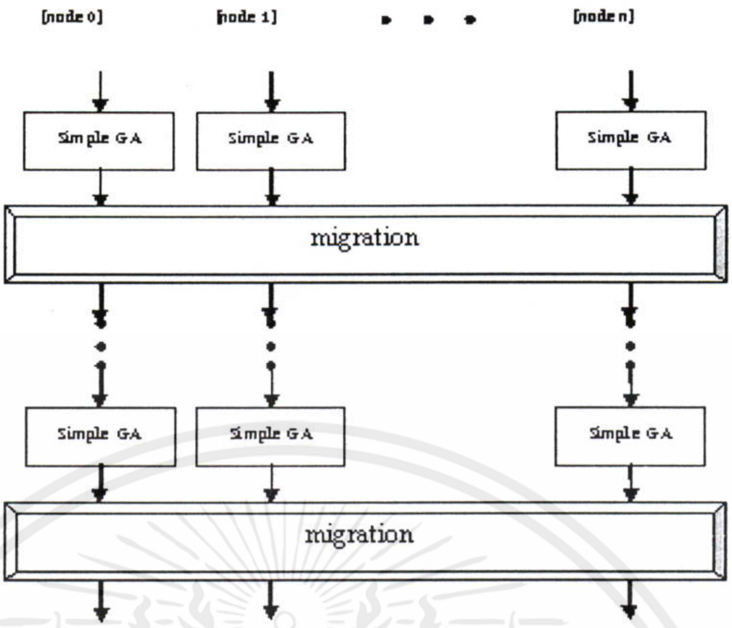
7.7 การใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการลงทะเบียนภาพบนระบบคลัสเตอร์

เนื่องจากการใช้ เจเนติกอัลกอริทึม ในการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพนั้นต้องทำการแปลงภาพเป็นจำนวนหลายร้อยครั้ง ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลนานมาก จึงได้นำวิธีการประมวลผลแบบขนานมาช่วยในการเร่งความเร็วของการทำเจเนติกอัลกอริทึม ทำให้ใช้เวลาประมวลผลโดยรวมลดลง ซึ่งระบบที่ใช้ในการประมวลผลแบบขนานคือระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์

7.7.1 การแบ่งงานบนระบบคลัสเตอร์

เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์ในการทดลองเป็นคลัสเตอร์แบบเนื้อเดียวและมีหน่วยความจำเป็นแบบรวมศูนย์กลาง ดังนั้นการทำงานของแต่ละโหนด(Node) จึงสามารถมีเวลาในการทำงานใกล้เคียงกัน เนื่องจากความเร็วของหน่วยประมวลผลมีความเร็วใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งงานให้เครื่องละเท่าๆกันได้ ทำให้ระบบทำงานไปพร้อมๆกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้การแบ่งงานที่เรียกว่า แบบไอแลนด์ (island model)[32] ประชากรในบ่อเจเนติกอัลกอริทึม จะถูกแบ่งออกเป็นบ่อ เจเนติกอัลกอริทึม ย่อยๆตามจำนวนโนดของระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์ซึ่งแต่ละบ่อจะถูกเรียกว่าไอแลนด์ (island) แต่ละไอแลนด์กำหนดค่าเริ่มต้นให้ประชากรในบ่อ เจเนติกอัลกอริทึม ในจำนวนที่เท่ากันโดยการสุ่มประชากรและจะแยกกันทำ เจเนติกอัลกอริทึมจนเสร็จ 1 วัฏจักรของ เจเนติกอัลกอริทึมหลังจากนั้น โครโมโซม ที่ดีที่สุดในแต่ละบ่อจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังไอแลนด์ศูนย์กลางเพื่อเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดเพียงตัวเดียวส่งกลับไปยังทุกๆ บ่อ ตัวดำเนินการนี้เรียกว่า ตัวดำเนินการย้ายถิ่น(migration operator) หลังจากส่งโครโมโซมกลับไปยังทุกๆ บ่อแล้วก็จะกลับไปทำวัฏจักรของ เจเนติกอัลกอริทึมอีกครั้ง ซึ่งจะทำซ้ำๆเช่นนี้ต่อไปจนกระทั่งได้คำตอบของสมการ การแบ่งงานแบบไอแลนด์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 Island model

จากรูปที่ 7.2 แสดงรูปการแบ่งงานของการทำเจเนติกอัลกอริทึมในการลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์บนระบบคลัสเตอร์แบบไอแลนด์ ซึ่งสามารถแสดงเป็นอัลกอริทึมได้ดังต่อไปนี้

```
Genetic Algorithm
Begin
        Initial population;
        Evaluate population;
        While termination criterion not reached
        Begin
                Select solution for next population;
                Crossover;
                Mutation;
                Evaluate population;
                Select the best chromosome;

                IF Node 0. THEN
                        Receive the best chromosome from every Node;
                        Select the best chromosome from the best node;
                        Send the best chromosome to every node;
                ELSE;
                        Send the best chromosome to Node 0;
                        Receive the best chromosome from Node 0;
                END IF;
        End;
End;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7.2 การวัดประสิทธิภาพของการประมวลผลบนระบบคลัสเตอร์

การวัดเวลาที่ใช้ในการทำเจเนติกอัลกอริทึมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการวัดเวลาที่ใช้ในการทำเจเนติกอัลกอริทึมต่อ 1 รอบวัฏจักรเท่านั้นซึ่งจะไม่รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการอ่านภาพมาเก็บไว้ในหน่วยความจำและการตั้งค่าระบบ (Initialization) ของ MPI ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะถูกทำครั้งเดียว และแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นดังสมการ 7.8

$$T = \frac{100}{p} \tag{7.8}$$

เมื่อ T คือเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

p คือจำนวนเครื่องที่ใช้ประมวลผลในระบบคลัสเตอร์

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะมีลักษณะตามสมการ 7.9

$$T_p = t_{comp} + t_{comm} \tag{7.9}$$

เมื่อ T_p คือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลทั้งหมด

t_{comp} คือเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

t_{comm} คือเวลาที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโหนด

ระบบคลัสเตอร์เป็นระบบที่การสื่อสารระหว่างโหนดจะทำผ่านระบบเครือข่ายซึ่งความเร็วของการสื่อสารจะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของอุปกรณ์ระบบเครือข่าย อุปกรณ์เครือข่ายที่ดีควรจะทำให้ t_{comm} มีค่าน้อยๆ เพราะเมื่อเกิดการสื่อสารระหว่างหลายๆโหนดในระบบคลัสเตอร์ t_{comm} จะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นตามจำนวนของการสื่อสารเหล่านั้นด้วยซึ่งจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากขึ้น แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้การสื่อสารระหว่างโหนดใช้เวลาน้อยมากดังนั้นจึงกำหนดให้ $t_{comm} = 0$

นอกจากการวัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแล้วยังสามารถวัดประสิทธิภาพได้จากค่าอัตราการเพิ่มของความเร็ว (Speedup) ของการประมวลผลได้จากสมการ 7.10

$$S_p = \frac{T_1}{T_p} \tag{7.10}$$

เมื่อ S_p คืออัตราการเพิ่มของความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล

T_1 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนเครื่องหนึ่งเครื่องด้วยอัลกอริทึมแบบลำดับ

T_p เวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนเครื่องจำนวน p เครื่องด้วยอัลกอริทึมแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์

และะค่าสุดท้ายสำหรับการวัดประสิทธิภาพคือค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของการประมวลผลได้ดังสมการ 7.11

$$E_p = \frac{S_p}{p} = \frac{T_1}{pT_p} \le 1 \tag{7.11}$$

เมื่อ E_p ค่าประสิทธิภาพของการประมวลผล

S_p คืออัตราการเพิ่มของความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล

T_1 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนเครื่องหนึ่งเครื่องด้วยอัลกอริทึมแบบลำดับ

T_p เวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนเครื่องจำนวน p เครื่องด้วยอัลกอริทึมแบบ

p คือจำนวนเครื่องที่ใช้ประมวลผลในระบบคลัสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม ... ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
ผลการทดลอง

8.1 บทนำ

การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่1 จะเป็นการทดลองการลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม ส่วนที่ 2 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมบนระบบคลัสเตอร์

8.2 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม

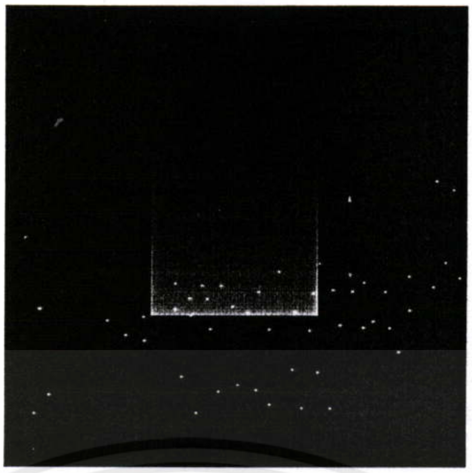
การทดลองทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้

- $-0.8 \leq Sx, Sy \leq 1.31$
- $-\pi \leq \theta \leq \pi$
- $-127 \leq Tx, Ty \leq 128$
- จำนวนโครโมโซม 150
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ = 0.6
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น = 1/จำนวนโครโมโซม
- เจเนติกจะหยุดเมื่อครบ 50 Steady State หรือไม่เกิน 300 รอบ

8.2.1 การลงทะเบียนภาพต้นแบบที่สร้างขึ้น

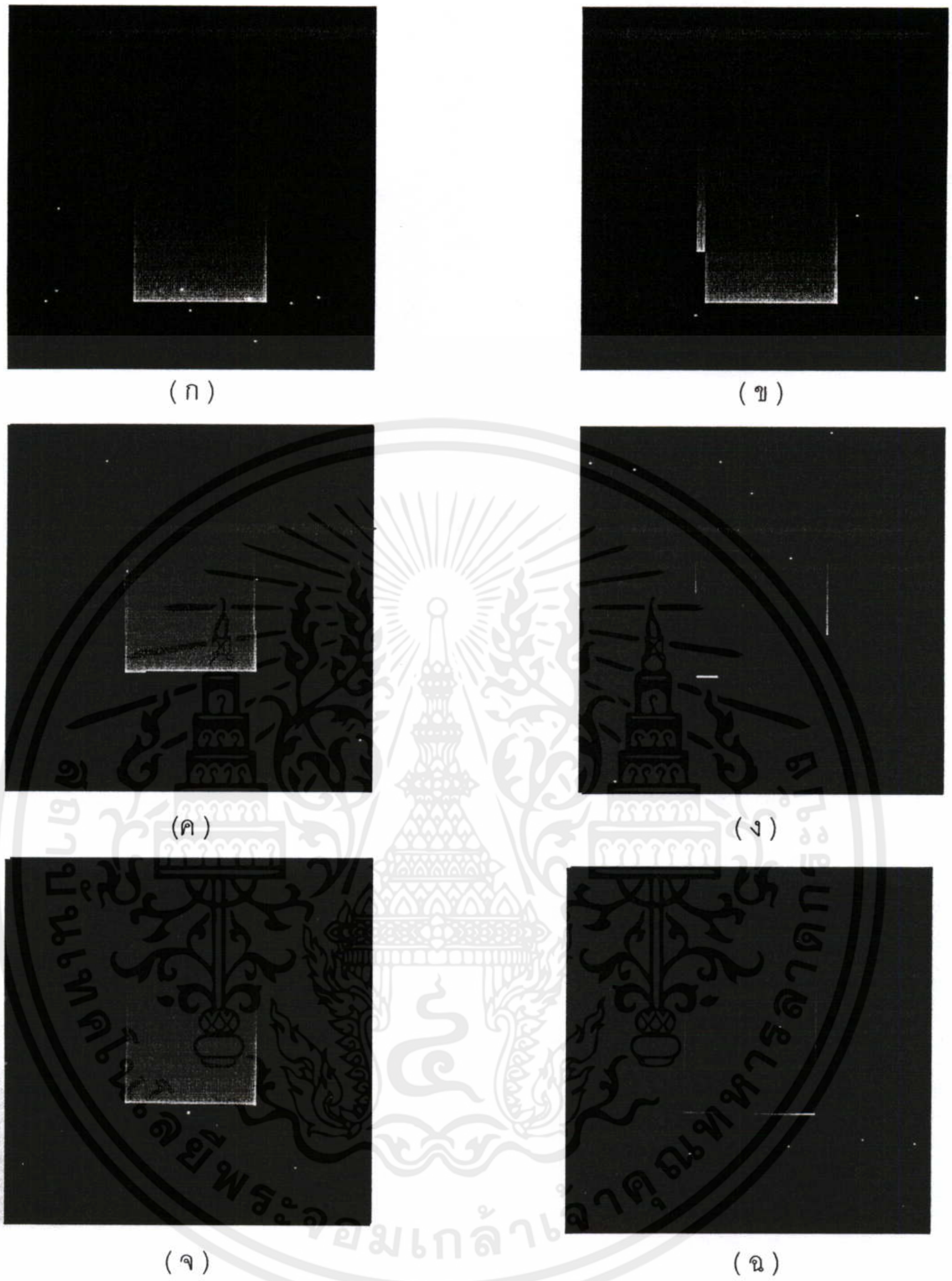
การทดลองนี้จะทำการลงทะเบียนภาพของภาพต้นแบบสองมิติที่สร้างขึ้น หลังจากนั้นทำการแปลงภาพในลักษณะที่แตกต่างกัน 5 ลักษณะเมื่อเทียบกันภาพต้นแบบ ได้แก่ การเลื่อนพิกัดภาพเพียงอย่างเดียว การสเกลภาพเพียงอย่างเดียว การหมุนภาพเพียงอย่างเดียว การแปลงภาพแบบริจิด และ การแปลงภาพแบบสิมิลาริตี้ เพื่อพิสูจน์คุณสมบัติการลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม และการประมาณที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิดคือ แบบเนียเรสต์เนบอร์ และแบบลิเนียร์ ซึ่งภาพต้นแบบที่สร้างขึ้นนั้นจะเป็นภาพสี่เหลี่ยมภายในสี่เหลี่ยมจะมีระดับเทาที่แตกต่างกันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.1 ภาพต้นแบบที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 (ก) ภาพต้นแบบที่ถูกเลื่อนพิกัด Tx = 6, Ty = 36

(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกเลื่อนพิกัด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง

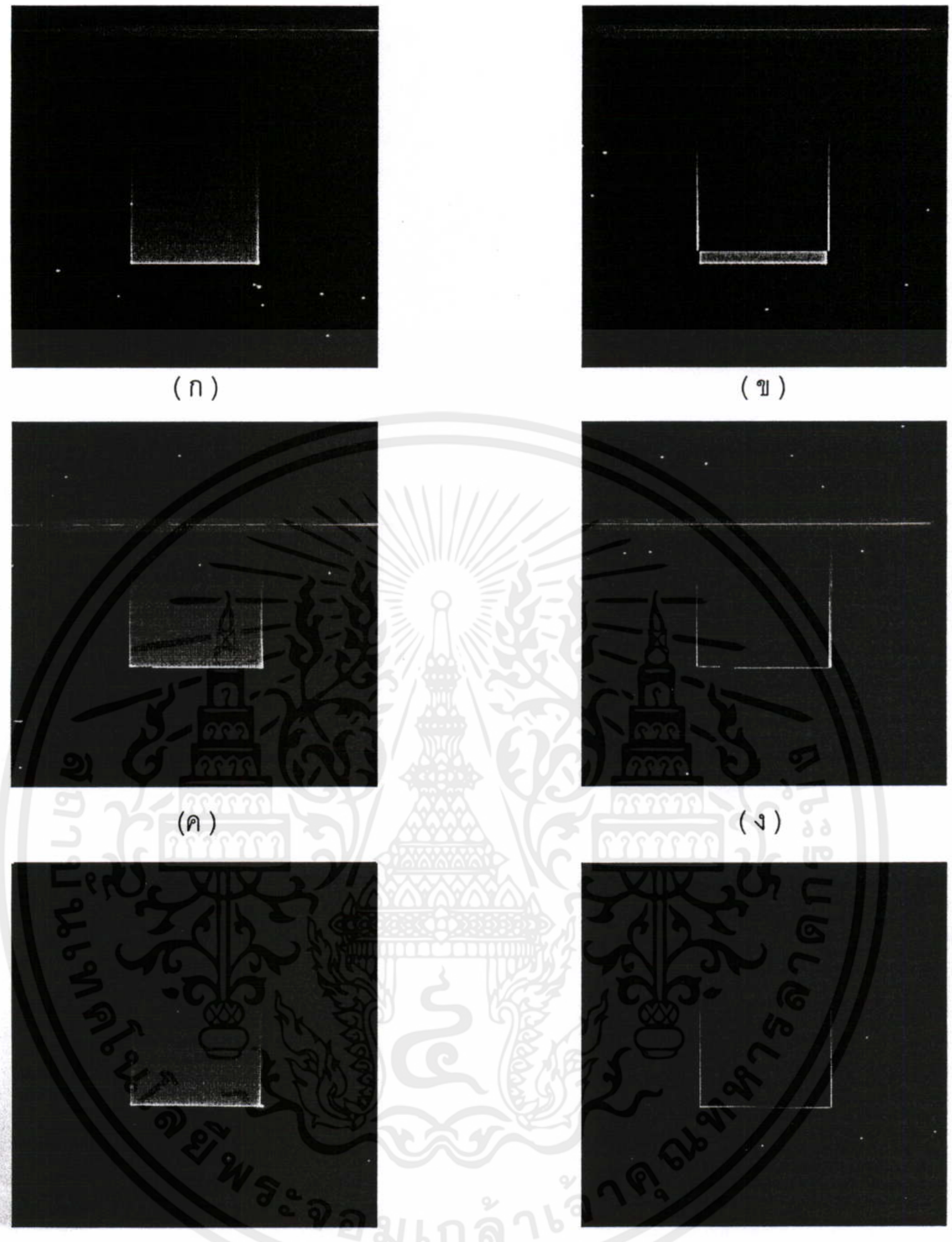
(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์

(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์

(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 (ก) ภาพต้นแบบที่ถูกสเกล Sx = 0.97, Sy = 1.2

(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกสเกล เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง

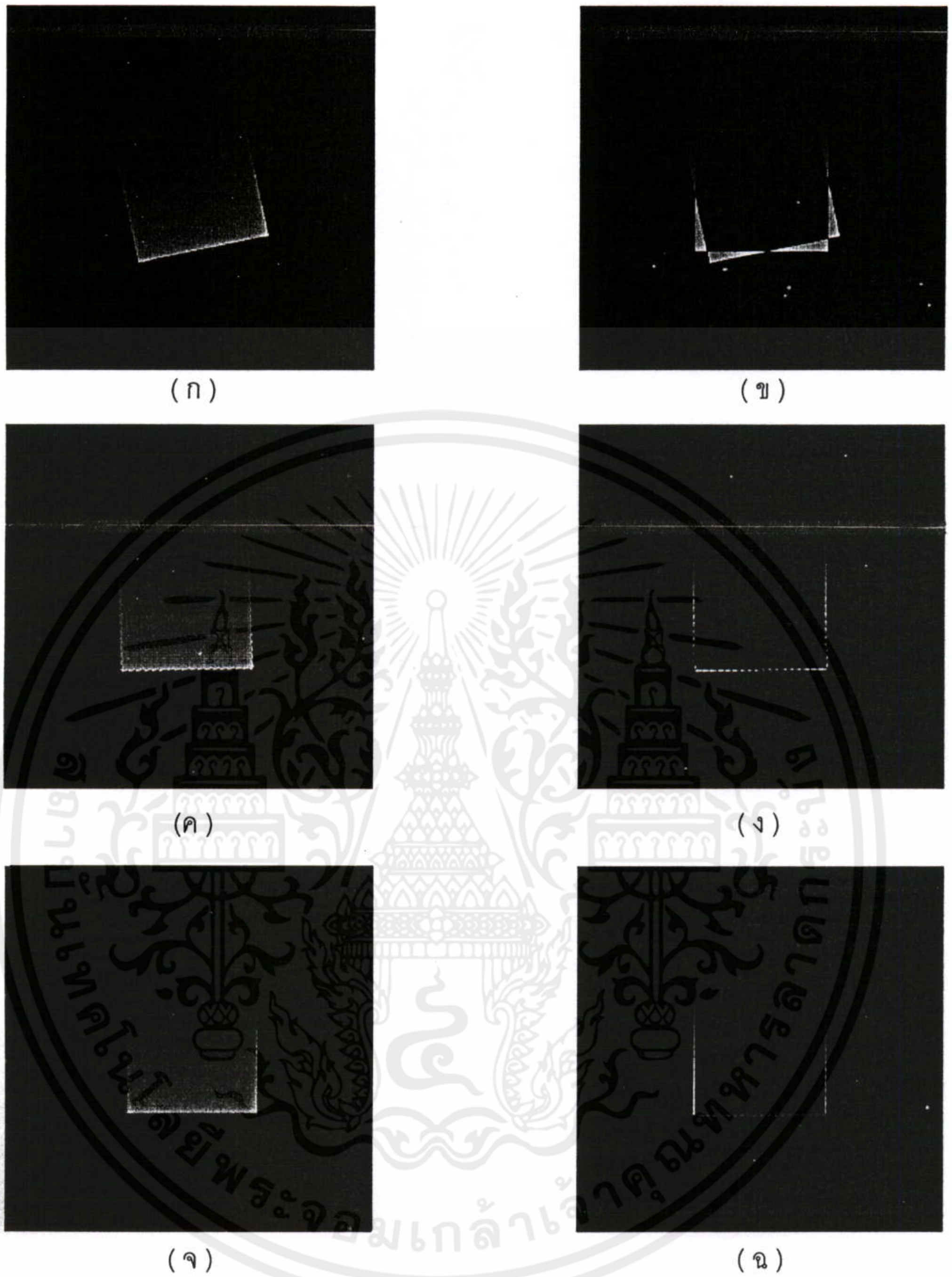
(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์

(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์

(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.4 (ก) ภาพต้นแบบที่ถูกหมุน R = 12

(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกหมุน เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง

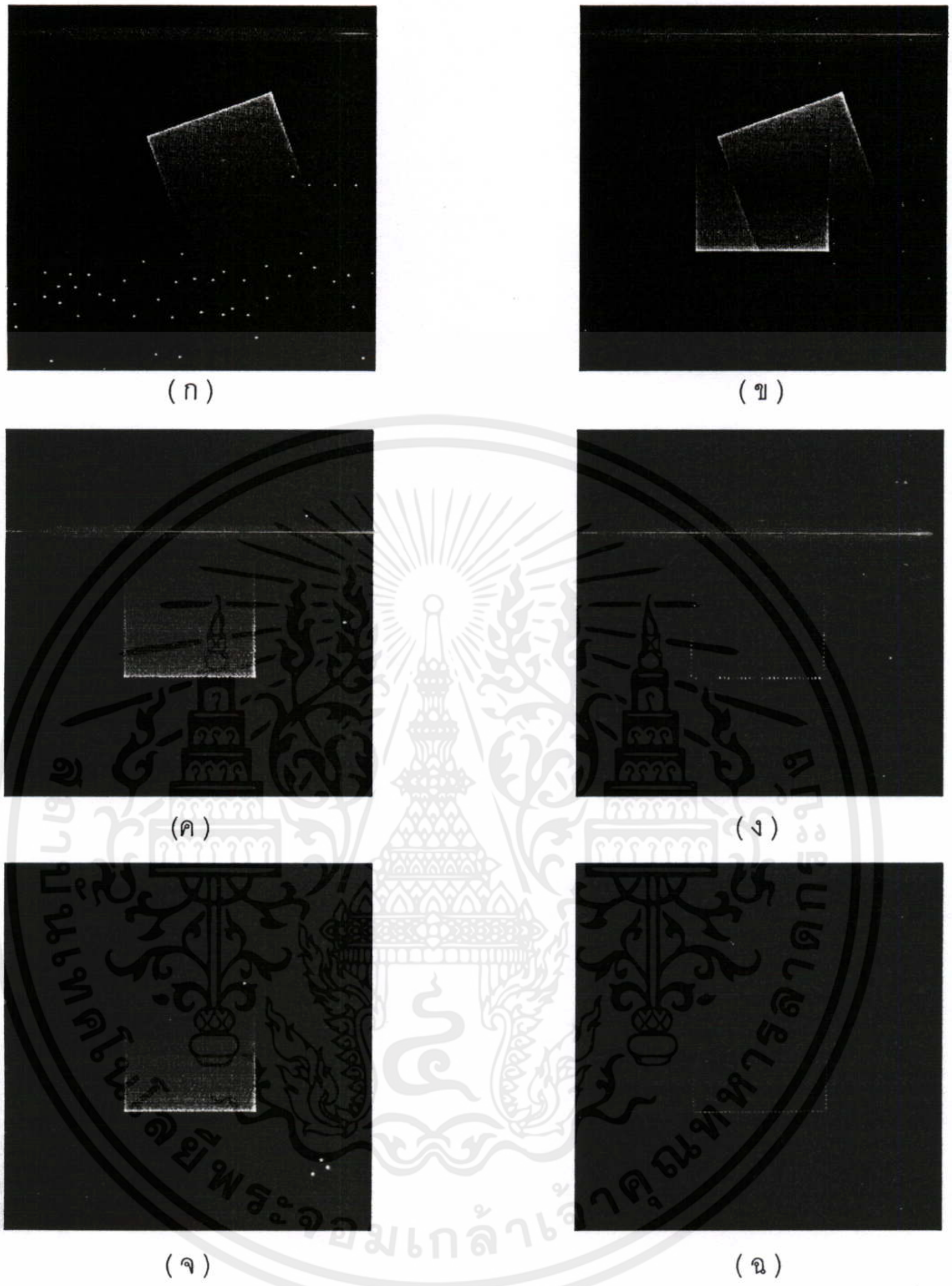
(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์

(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์

(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.5 (ก) ภาพต้นแบบที่ถูกแปลงแบบริจิด Tx = 26, Ty = 10, R = -160

(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่แปลงแบบริจิด เพื่อดูความแตกต่างของภาพทั้งสอง

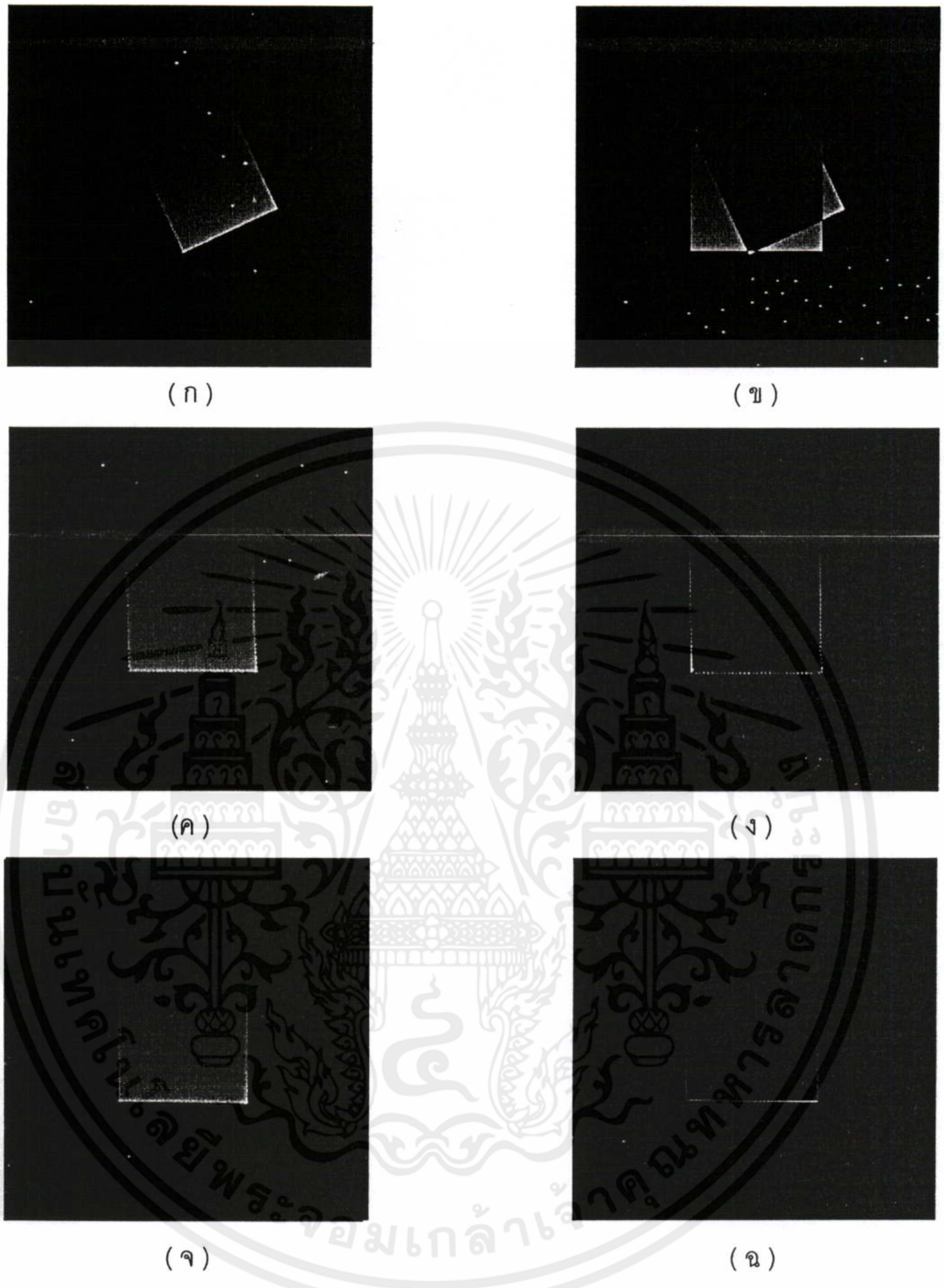
(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์

(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์

(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6 (ก) ภาพถูกแปลงแบบสิมิลาริตี้ Tx = 26, Ty = 10, R = 200, Sx = 0.97, Sy = 1.2

(ข) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่แปลงแบบสิมิลาริตี้ เพื่อดูความแตกต่างของภาพ

(ค) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์เนบอร์

(ง) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบเนียเรสต์

(จ) ภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

(ฉ) ภาพต้นแบบถูกลบด้วยภาพที่ถูกแปลงกลับโดยใช้การประมาณแบบลิเนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงห้องสมุดทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าความเหมือนกันของภาพที่ได้จากผลลัพธ์การลงทะเบียนภาพต้นแบบ

การแปลง	ความเหมือนกันของภาพ	
	เนียเรสต์	ลิเนียร์
เลื่อนพิกัด	0.9925	0.9916
สเกล	0.9834	0.9906
หมุน	0.9879	0.9909
ริจิด	0.9956	0.9969
สิมิลาริตี้	0.9830	0.9875

8.2.2 **การลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์**

การทดลองนี้จะทำการลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์ โดยการลงทะเบียนภาพที่นำมาทดลองนั้นจะมี 2 ประเภทคือ วัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน และวัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน การแปลงที่จะนำมาใช้ในการทดลองนี้คือการแปลงแบบสิมิลาริตี้ เพราะว่าภาพทางด้านการแพทย์นั้นจะไม่มีผลของการแปลงแบบเพอร์สเปกทีฟ และการประมาณที่ใช้ในการทดลองนี้มี 2 ชนิดคือ แบบเนียเรสต์เนบอร์ และ แบบลิเนียร์ ซึ่งการทดลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

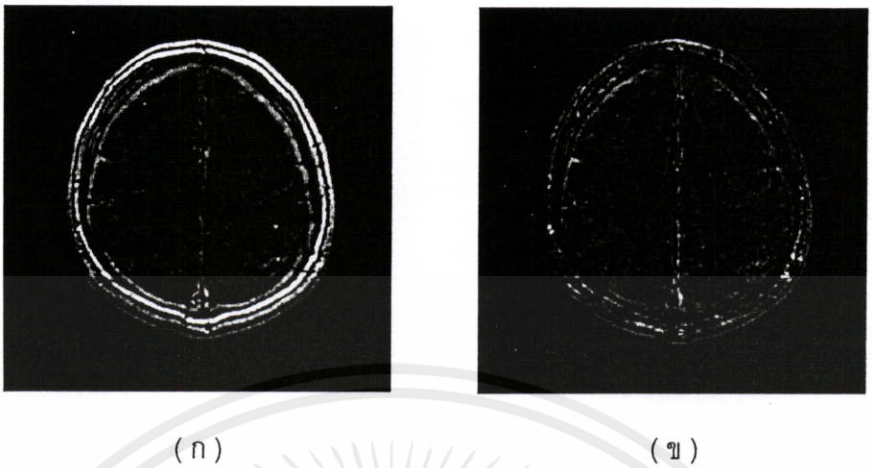
(ก) (ข)

รูปที่ 8.7 ภาพที่จะนำมาทำการลงทะเบียนภาพแบบวัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน

(ก) ภาพ MRI ของสมองผู้ป่วย

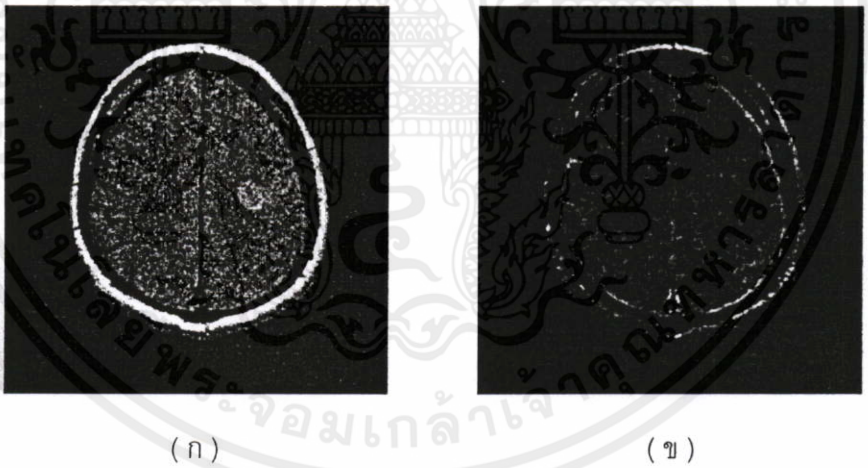
(ข) ภาพ MRI ของสมองผู้ป่วยรายเดียวกันแต่ถ่ายคนละเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.8 (ก) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ก) และรูปที่ 8.7(ข) มาลบกันโดยตรงโดยที่ยังไม่ได้ทำการลงทะเบียนภาพเพื่อดูความแตกต่างกันของภาพทั้งสอง

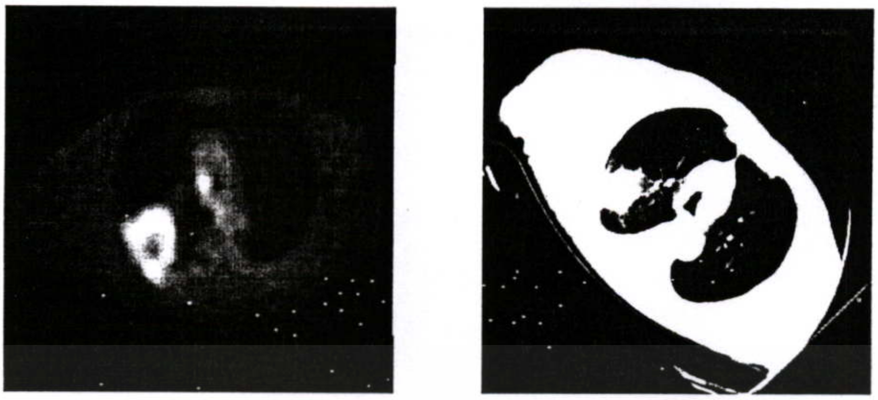
(ข) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ก) และรูปที่ 8.7(ข) ที่ทำการลงทะเบียนภาพแล้วมาลบกันโดยตรงเพื่อดูความแตกต่างกันของภาพทั้งสอง



รูปที่ 8.9 (ก) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ข) มาเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไป 25 dB

(ข) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.7 (ก) และรูปที่ 8.9(ก) ที่ทำการลงทะเบียนภาพแล้วมาลบกันโดยตรงเพื่อดูความแตกต่างกันของภาพทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 8.10 ภาพที่จะนำมาทำการลงทะเบียนภาพแบบวัตถุชนิดเดียวกันและถ่ายภาพต่างวิธีกัน

(ก) ภาพ PET ช่องท้องผู้ป่วย

(ข) ภาพ CT ช่องท้องผู้ป่วย

(ก) (ข)

รูปที่ 8.11 (ก) ภาพจากรูปที่ 8.10 (ข) ที่ถูกทำการลงทะเบียนภาพแล้ว

(ข) ภาพที่ได้จากการนำภาพรูปที่ 8.10 (ก)และรูปที่ 8.11 (ก) มาฟิวชั่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 การลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมบนระบบคลัสเตอร์

หัวข้อนี้จะเป็นการทดลองนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประมวลผลแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะเป็นผลลัพธ์ทางด้านเวลา ความเร็วที่เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของการประมวลผลแบบขนาน

8.3.1 ระบบคลัสเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการคำนวณนั้น เป็นคลัสเตอร์แบบเนื้อเดียว (Homogenous Cluster) คือจะมีหน่วยประมวลผล ปริมาณหน่วยความจำ และส่วนประกอบอื่น ๆ เหมือนกัน ระบบที่ใช้ประกอบด้วยเครื่อง PC X86 โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น HPx2100 จำนวน 5 เครื่อง ชนิดที่มีสองหน่วยประมวลผลในหนึ่งเครื่อง หน่วยประมวลผล (CPU) เป็น Intel Xeon 2.4 GHz หน่วยความจำชนิด ECC จำนวน 1 GB เชื่อมต่อกันด้วยเครือข่ายภายในความเร็ว 1 Gbit/sec ใช้ระบบปฏิบัติการ Suse Linux 8.0 และมี MPICH เป็นสภาวะแวดล้อมแบบขนาน

8.3.2 ผลการทดลองบนระบบคลัสเตอร์

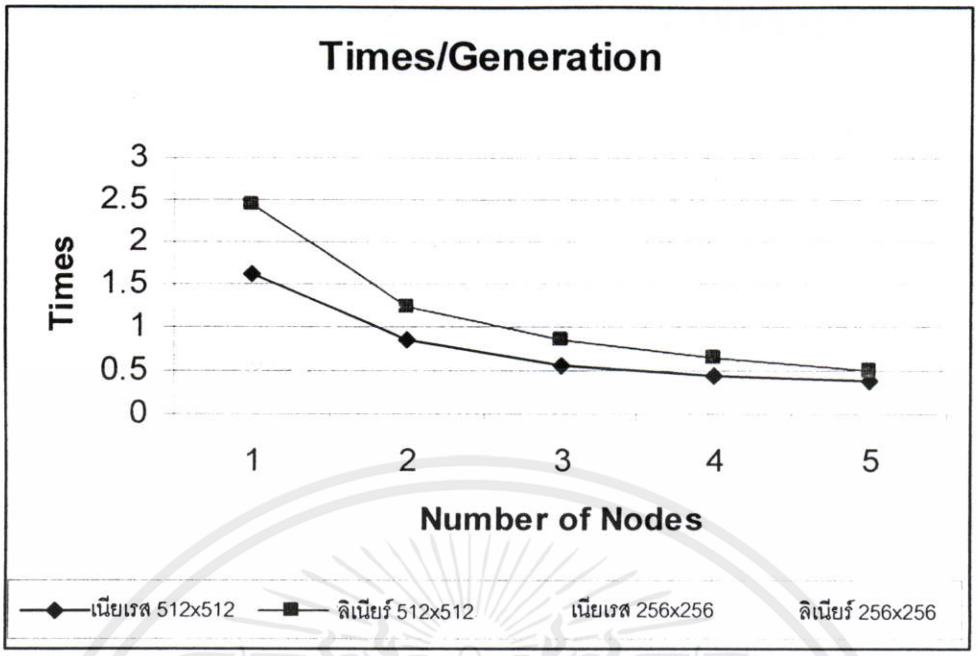
ผลการทดลองนี้จะแสดงถึงการใช้เวลาที่ลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องที่ประมวลผลดังตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 เวลาเฉลี่ย 1 วัฏจักรเจเนติก อัลกอริทึมต่อจำนวนเครื่องที่ใช้ประมวลผล

จำนวนเครื่องที่ใช้ประมวลผล	เวลาเฉลี่ยต่อ 1 วัฏจักรเจเนติก(วินาที)			
	ภาพขนาด 512 x 512		ภาพขนาด 256 x 256	
	เนียเรสต์	ลิเนียร์	เนียเรสต์	ลิเนียร์
1	1.63	2.44	0.41	0.60
2	0.85	1.24	0.22	0.30
3	0.57	0.86	0.15	0.21
4	0.44	0.64	0.11	0.16
5	0.37	0.51	0.09	0.13

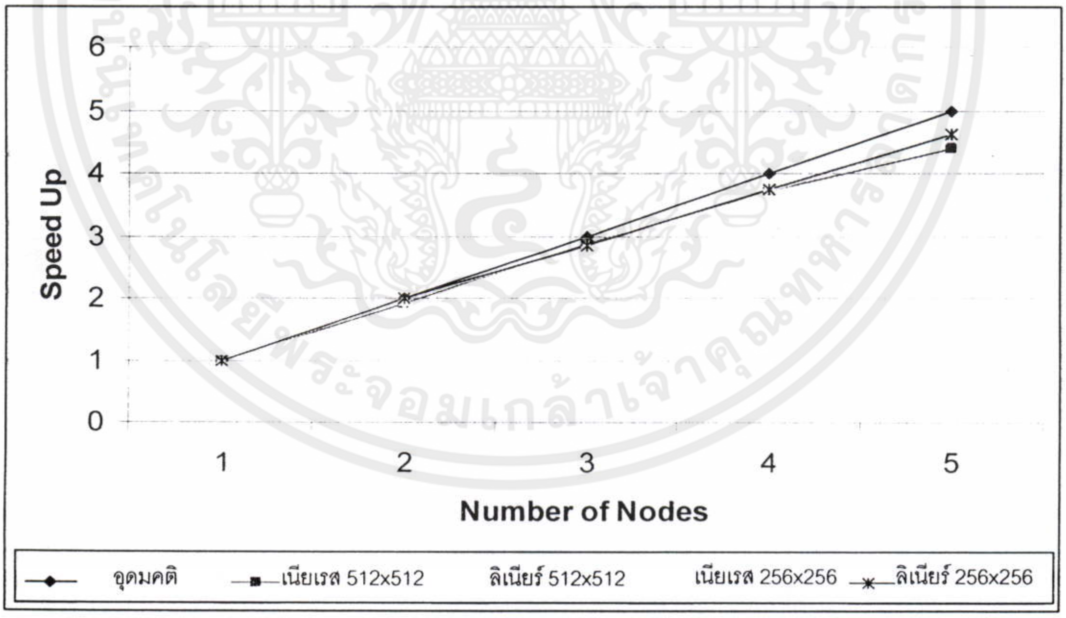
จากตารางที่ 8.2 จะประกอบไปด้วยผลการใช้เวลาที่ลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องที่ประมวลผลซึ่งการทดลองได้มีการทดลองกับภาพ 2 ขนาดคือภาพขนาด 512 x 512 และ ภาพขนาด 256 x 256 และยังมีการประมาณ 2 ประเภทคือ เนียเรสต์ และ ลิเนียร์ ซึ่งตารางที่ 8.2 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 8.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.12 แผนภูมิแสดงเวลาที่ลดลงของการประมวลผล

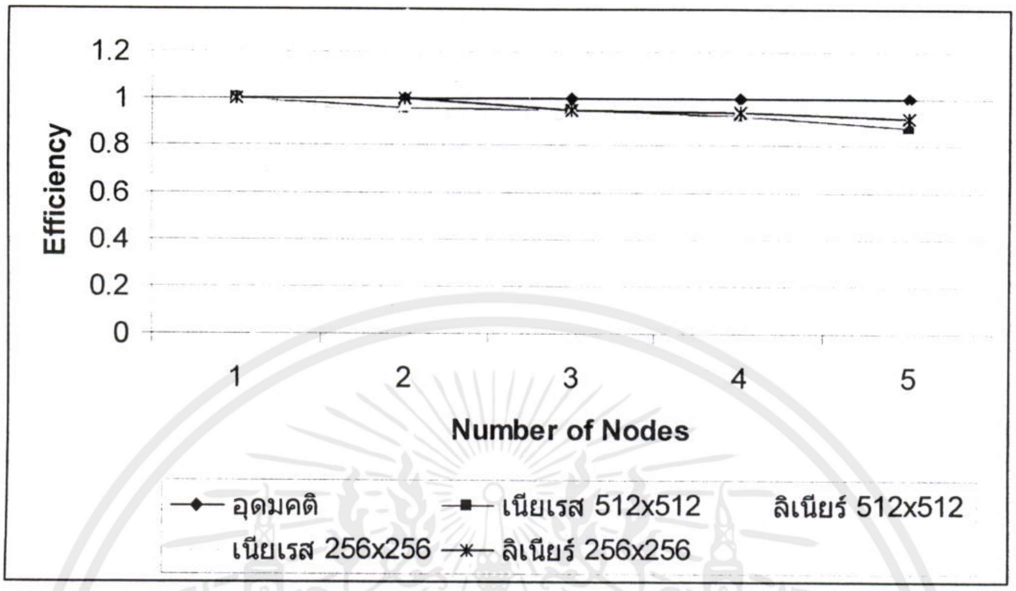
จาตารางที่ 8.2 เราสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการเพิ่มความเร็วของการประมวลผลได้โดยใช้สมการที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 7 ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 8.13



รูปที่ 8.13 แผนภูมิแสดงอัตราการเพิ่มความเร็วของการประมวลผลเทียบกับอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเราสามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ในการประมวลผลได้โดยใช้สมการที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 7 ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 8.14



รูปที่ 8.14 แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ในการประมวลผลเทียบกับอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการลงทะเบียนภาพระหว่างภาพสองมิติและภาพสองมิติแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ วิธีการของการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพคือ จะไม่ดึงคุณสมบัติใดๆของภาพ แต่จะทำการแปลงภาพๆหนึ่งและทำการวัดความเหมือนของภาพทั้งสอง และจะทำการแปลงภาพนั้นอีกจนกว่าภาพทั้งสองจะเหมือนกันที่สุด ข้อดีของวิธีการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ คือไม่ต้องทำเครื่องหมาย (land mark) ใดๆ บนตัวผู้ป่วยขณะทำการถ่ายภาพ หรือทำเครื่องหมายใดๆ บนภาพ วิธีลงทะเบียนภาพวิธีนี้จำเป็นต้องใช้กระบวนการทำซ้ำ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ เจเนติกอัลกอริทึมในการลงทะเบียนภาพ เพราะการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการลงทะเบียนภาพนั้นจะไม่ลู่เข้าสู่จุดโลคอลมินิมัม (local minimum) แต่เนื่องจากการใช้ เจเนติกอัลกอริทึม ในการลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพนั้นต้องทำการแปลงภาพเป็นจำนวนหลายร้อยครั้ง ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลนานมาก จึงได้นำวิธีการประมวลผลแบบขนานมาช่วยในการเร่งความเร็วของการทำเจเนติกอัลกอริทึม ทำให้ใช้เวลาประมวลผลโดยรวมลดลง ซึ่งระบบที่ใช้ในการประมวลผลแบบขนานคือระบบคอมพิวเตอร์แบบคลัสเตอร์

การทดลองได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการทดลองลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม และการทดลองลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมบนระบบคลัสเตอร์

การทดลองลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม คือการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพ ซึ่งการทดลองนี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การลงทะเบียนภาพต้นแบบที่สร้างขึ้น และภาพทางด้านการแพทย์ การลงทะเบียนภาพต้นแบบที่สร้างขึ้นจะทำการสร้างภาพต้นแบบขึ้นมาโดยภาพที่สร้างขึ้นนั้นจะเป็นภาพสี่เหลี่ยมภายในสี่เหลี่ยมจะมีระดับเทาที่แตกต่างกัน หลังจากได้ภาพต้นแบบแล้วทำการแปลงภาพต้นแบบดังนี้ เลื่อนพิกัดเพียงอย่างเดียว สเกลเพียงอย่างเดียว หมุนเพียงอย่างเดียว การแปลงแบบริจิดและ การแปลงแบบสิมิลาริตี้ หลังจากทำการแปลงแล้ว จะนำไปทดลองลงทะเบียนภาพโดยจะมีการทดลองกับการประมาณ 2 ประเภทคือ เนียเรสต์เนบอร์ และ ลิเนียร์ ซึ่งผลการทดลองจะนำภาพที่แปลงกลับแล้วมาลบกับภาพต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อดูความแตกต่าง จากผลที่ได้ทำให้ทราบว่า การประมาณแบบลิเนียร์ทำให้ภาพที่ถูกแปลงกลับมีคุณภาพที่ดีกว่า และเราสามารถสรุปได้ว่า

สามารถใช้เจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ลงทะเบียนภาพแบบพิจารณาความเหมือนกันของภาพได้ การทดลองลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ วัตถุชนิดเดียวกันถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกัน และวัตถุชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกัน โดยที่การลงทะเบียนภาพวัตถุชนิดเดียวกัน ถ่ายภาพด้วยวิธีเดียวกันนั้นผลที่ได้จะนำภาพที่ถูกแปลงกับแล้วมาลบกับภาพที่นำมาลงทะเบียนด้วยเพื่อดูความแตกต่าง และการลงทะเบียนภาพชนิดเดียวกันแต่ถ่ายภาพต่างวิธีกันผลที่ได้จะนำภาพที่ถูกแปลงกับแล้วมาฟิวชั่นกับภาพที่นำมาลงทะเบียนด้วยเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการลงทะเบียนภาพ เราสามารถสรุปได้ว่าสามารถใช้เจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ลงทะเบียนภาพทางด้านการแพทย์ได้

การทดลองลงทะเบียนภาพโดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมบนระบบคลัสเตอร์เป็นการทดลองนำเจเนติก อัลกอริทึมมาประมวลผลแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์เพื่อเร่งความเร็วในการทำเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งประกอบไปด้วยผลของเวลาที่ลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องที่ประมวลผลซึ่งการทดลองได้มีการทดลองกับภาพ 2 ขนาดคือภาพขนาด 512 x 512 และ ภาพขนาด 256 x 256 และยังมีการประมาณ 2 ประเภทคือ เนียเรสต์ และ ลิเนียร์ โดยที่เวลาที่ใช้จะทำการวัดเวลาที่ใช้ในการทำเจเนติกอัลกอริทึมต่อ 1 รอบวัฏจักรเท่านั้นซึ่งจะไม่รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการอ่านภาพมาเก็บไว้ในหน่วยความจำและการตั้งค่าระบบ (Initialization) ของ MPI ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะถูกทำครั้งเดียว และเมื่อได้ผลของเวลาที่ลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องที่ประมวลผล เราจะนำไปคำนวณหาอัตราการเพิ่มความเร็วของการประมวลผลเพื่อดูว่า อัตราการเพิ่มความเร็วของการประมวลผลเป็นเช่นไรซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกับอุดมคติ และเรายังนำเวลาที่ได้มาใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ในการประมวลผลซึ่งผลที่ได้สูงกว่า 80% เมื่อเทียบกับอุดมคติ เราสามารถสรุปได้ว่าสามารถนำเจเนติก อัลกอริทึมมาประมวลผลแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์เพื่อเร่งความเร็วในการทำเจเนติก อัลกอริทึมได้

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำเจเนติก อัลกอริทึมมาประมวลผลแบบขนานบนระบบคลัสเตอร์ เพื่อทำการลงทะเบียนภาพแบบ 3 มิติ
2. ใช้ OpenGL[33] เพื่อช่วยในการเร่งความเร็วในการทำเจเนติก อัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Karin K., Marija I., Josef M., David A.W. "Medical image registration" **Europhysics New**, Vol. 31, No. 4, 2000

[2] Petra A. van den Elsen, Evert-Jan D. Pol, Max A. Viergever, "Medical Image Matching – A Review with Classification" **IEEE Engineering in Medicine and Biology**, March 1993. pp. 26-39.

[3] Rao K.K., Krishnan R. "Shape feature extraction from object corners" **Proceedings of the IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation**, April 1994. pp.160-165.

[4] Ming-Kei Hu. "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants" **IRE Transactions Information Theory**, IT-8, February 1962. pp. 179-187.

[5] Flusser J., Suk T. "Affine Moment Invariants: A New Tool for Character Recognition" **Pattern Recognition Letters**, Vol. 15, April 1994. pp. 433-436.

[6] Peleg S., Resenfeld A. "A min-max Medial Axis Transformation" **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol. 3, No. 2, March 1981. pp. 208-210.

[7] Blum H., Nagel R. "Shape Description using Weighted Symmetric Axis Features" **Pattern Recognition**, Vol. 10, 1978. pp. 167-180.

[8] Minghui X., Bede L. "Image Registration by "Super-Curves"" **IEEE Transactions on Image Processing**, Vol. 13, No. 5, May 2004. pp. 720-732.

[9] Jean-Michel R., Jean-Jose J., Christian R., "Genetic Algorithms for a Robust 3-D MR-CT Registration" **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, Vol. 4, No. 3, June 2000. pp. 126-136.

[10] ธนาภรณ์ รัตนเมธาวี. "**การเพิ่มความเร็วในการสร้างภาพเชิงปริมาตรทางการแพทย์ด้วยการแปลงระยะทางสองทิศทาง**. " วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

[11] สมบัติ ฝอยทอง. "**การรู้จำรูปทรงของวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยใช้คาดินัลสไปลน์**." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12] David F. R., J. Alan Adams. **Mathematical Elements for Computer Graphics.** 2nd ED. New York: McGraw-Hill Publishing company, Inc. 1989.

[13] กริช สมกันธา. "**การแก้ไขข้อผิดพลาดของตัวอักษรที่ได้จาก OCR ภาษาไทย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม**." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546

[14] http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/cromu.html

[15] http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/selection.html

[16] Spector,D HM. "**Building Linux Cluster.**" O'Reilly & Associates,Inc. 2000.

[17] http://openmosix.sf.net

[18] http://www.10gea.org

[19] http://www.myri.com

[20] http://www.quadrics.com

[21] http://www.infinibandta.org

[22] http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich/

[23] http://www.lam-mpi.rog

[24] http://www.mpi-forum.org/

[25] http://gcc.gnu.org

[26] http://acts.nersc.gov/petsc/

[27] http://www.cs.utexas.edu/users/plapack/

[28] http://www.netlib.org/sclapack/

[29] http://ganglia.sourceforge.net/

[30] http://www.unix.mcs.anl.gov/dbpp/.1995

[31] L. Junck, J.G. Moen, G.D. Hutchins, M.B. Brown, D.E. Kuhl, "Correlation methods for the centering, rotation, and alignment of functional brain images," **Journal of Nuclear Medicine**, 31, 1220–1276., 1990.

[32] T. Hiroyasu, M.Miki,Y. Tanimura "The differences of parallel efficiency between the two models of parallel genetic algorithms on PC cluster systems" **High Performance Computing in the Asia-Pacific Region Proceedings.**, vol.2,May 2000.pp. 945 – 948.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

[33] http://www.opengl.org

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CERTIFICATE

THIS IS TO CERTIFY THAT

Boonyarit Luksanapranai

participated at the

WSCG'2005

The 13-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2005

held in co-operation with

EUROGRAPHICS Association

on

January 31 – February 4, 2005

Co-Chairs

Mike L.V.Pitteway, Brunel University, London, United Kingdom (Honourary)
Tosiyasu L. Kunii, Kanazawa Institute of Technology, Tokyo, Japan
Vaclav Skala, University of West Bohemia, Plzen, Czech Republic

Prof.Ing.Vaclav Skala, CSc.
c/o University of West Bohemia
Plzeň, Czech Republic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acceleration of Genetic Algorithm with Parallel Processing with Application in Medical Image Registration

B. Laksanapanai* W. Withayachumnankul * C. Pintavirooj * P.Tosranon**
*Department of Electronics, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
**Department of Physical apply and Medical instrumentation
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand.

kpchucha@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Generally, image registration using genetic algorithm is a time-consuming process since the algorithm needs to evaluate the objective function several hundred times depending on the vastness of search space. The situation appears worse if the registration is intensity-based due to the interpolation loops prior to each objective function. However, with the availability of parallel processing method, one can accelerate the application of genetic algorithm for iterative-based image registration process of up 80 % for multi-modality alignment

Keywords

image registration, genetic algorithm, parallel processing

1. INTRODUCTION

Image registration is essential in many medical tasks. It provides useful information for diagnosis, surgical planning, event tracking, radiotherapy, and so on. The key of image registration is to find the proper transformation of one image to another image so that each point of one image is spatially aligned with its corresponding point of the other. The intrinsic registration is more preferable since it needs no extra marker adhered to the patient while he/she is exposed by the imaging equipment. The intrinsic registration methods are divided into 3 types including landmark-based, segmentation-based, and intensity-based methods. Standing apart from other methods, intensity-based methods use full content available from the images since they deal directly with grey-level information but not with extracted or intrinsic feature. These methods, however, suffers from long computational time of full-plane grayscale transformation leading to limitation of usage. Several intensity-based methods are available including, for example, the maximizing mutual information [Col90a], correlation coefficients [Jun90a], or minimization of squared intensity differences. For more details about these methods and medical image registration, the reader should consult [Ant98a].

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

WSCG SHORT papers proceedings, ISBN 80-903100-9-5
WSCG'2005, January 31-February 4, 2005
Plzen, Czech Republic.
Copyright UNION Agency – Science Press

To find the optimum of transformation, the genetic algorithm (GA) [Gol89a] is chosen because of its strong immunity to local minima, flexibility to multidimensional function, and simplistic implementation procedure. Several image registration techniques use GA as a parameter-search-for procedure, but with intensity-based registration the GA is rarely found because the repetitive call to the objective function together with the computational cost of the transformation makes the time of convergence crucial. [Raj99a] are examples from the minority of literatures that use GA searching for parameters from distance function of grayscale images.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The time consuming and the complexity of the image registration process are the critical problems. In addition, the registration process requires very high performance of the computer. Therefore, in this paper, concepts of parallel programming method is employed to speed up a medical image registration process. In the parallel processing, the appropriate amount of work is distributed to each computer (node) in the clustering system. The processing time is then diminished as a function of number of dedicated computer.

The paper is organized as follows: - The second topic presents the basic idea of genetic algorithm. The third topic, objective function, describes the parameters used to transform the image and the correlation coefficient used to measured the similarity between registered images. The forth topic proposed the concept of parallel programming. The demonstrations are done with unregistered images.The paper is finalized with discussion and conclusion.

2. BASIC IDEA OF GENETIC ALGORITHM

GA mimics all the processes based on the concept of natural evolution to find the optimized solution to the given problem residing in the search space. The GA pool contains a number of individuals called chromosomes. Each chromosome encoded from the parameters holds the potential solution. According to the evolutionary theories, the chromosomes which only have a good fitness are likely to survive and to generate the offsprings and pass its strength to them by the genetic operator. The fitness of chromosome is the way that is linked to the predefined problem or objective function. Figure 1. shows the possible stages of evolution.

GA cycle can be decomposed into five steps described as follows:-

1.) Randomly initialize the population in the pool. With more population, the coverage in search space is good but traded off by the calculation time in each generation.

In the simplest way, the real-value parameter is binary-coded to give a bit string. The bit strings for several parameters are concatenated to form a single string or chromosome. In accord with the biology, each bit corresponds to gene.

2.) Evaluate the chromosomes by objective function. After the evaluation, all the chromosomes are ranked for the fitness values in the descending or ascending order depending on the purpose of objective function.

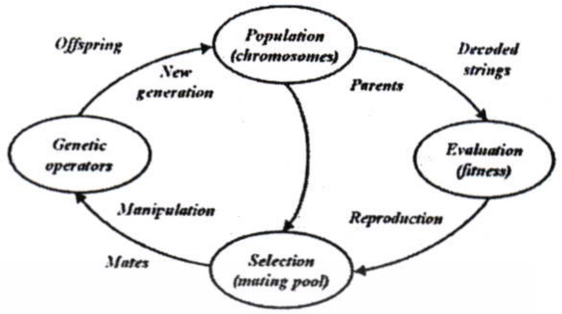


Figure 1. GA cycle.

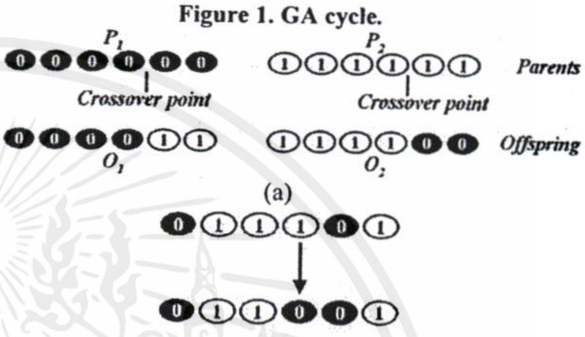


Figure 2. Genetic operators, a) crossover and b) mutation.

3.) Select the parents from the chromosomes with the biased chances. The higher-fitness chromosome is prone to survive.

4.) Generate the offspring using genetic operators consisting of crossover and mutation. Crossover is a recombination operator that swaps the parts of two parents as shown in figure 2a. Two random decisions are made prior to this operation, whether to do it or not and where the crossover point is. Mutation gives a good chance to explore the uncovered search space. It mutates, or complements some genes in the chromosome of the offspring, so that the new parameter value takes place.

5.) Entirely replace the elder generation in the pool with the newer one and return to step 2. In some case, the few best elders may be kept away from replacement. This is known as elitist strategy.

The criteria for stopping the revaluation loops are met when a) the loop number is over some predefined point or b) the steady state lasts for predetermined times.

3. OBJECTIVE FUNCTION

The image transformation is defined by the following equation:

$$X_i = s_1(M(\vec{t}_i)) \quad (1)$$

$$Y_i = s_2(\vec{t}_i),\ i=1,\dots,N \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where $\overline{t}_i$ denotes the spatial location, $s_1(t)$ and $s_2(t)$ denote two original images, $X_i=(X_1,...,X_N)$ and $Y_i = (Y_1,...,Y_N)$ denote the transformed and normal image, $s_1(M(\cdot))$ denotes a spatial transformation and interpolation of $s_1(\cdot)$ Generally, a similarity model is sufficient to regulate the unregistered images especially the tomographic-scanned images because they have no perspective distortion. Therefore, the transformation model M can be formed by multiplication of scaling S, rotation R, and translation T matrices in the order that there is no non-orthogonal scaling.

$$M = S\cdot R\cdot T$$
$$= \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ dx & dy & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Noted that z-concerned parameters are discarded for non-perspective 2D registration, and the matrices are valid for row vector.

The validation of registration is measured by the correlation coefficient between two aligned images. The correlation coefficient method is most likely able to measure similarity of multimodal images with the simplicity. Given vectorized image X and Y, the correlation coefficient ρ is defined as follows

$$\hat{\rho}_s(X,Y) = \frac{\hat{C}_s(X,Y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_x^2 \hat{\sigma}_y^2}}, \ -1 \le \hat{\rho}_s(X,Y) \le 1 \quad (4)$$

where covariance $\hat{C}_s(X,Y)$, variances $\hat{\sigma}_x^2$, $\hat{\sigma}_y^2$, and means $\overline{X}$, $\overline{Y}$ are defined by

$$\hat{C}_s(X,Y) \equiv \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y}) \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_x^2 \equiv \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2 \quad \hat{\sigma}_y^2 \equiv \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Y_i - \overline{Y})^2 \quad (6)$$

$$\overline{X} \equiv \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i \qquad \overline{Y} \equiv \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i \quad (7)$$

Hence, the correlation coefficient method can be used as an objective function which has to be optimized to maximum value.

4. PARALLEL PROCESSING

The computational expense of genetic algorithm and the vast memory requirement of intensity-based image registration have motivated the development of parallel

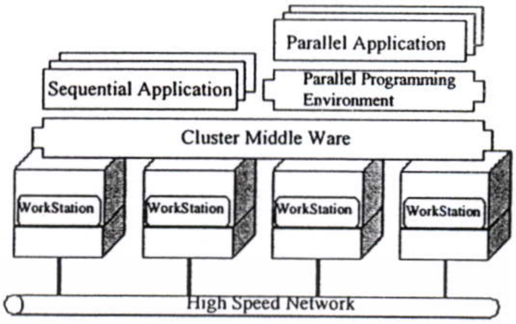


Figure 3. Clustering system architecture developed by using parallel programming environment such as MPICH.

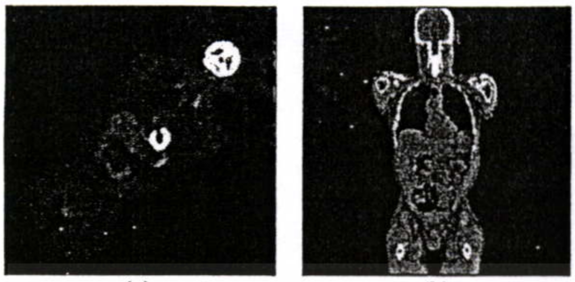
implementation on multi-computers. In general, parallel implementations can be grouped into 3 categories: 1.) Hardware architectures designed specially for parallel processing 2.) Software implementations on machines with hardware support for parallel processing [Kau88a] and 3.) Parallel processing algorithms implemented entirely in software on general-purpose hardware[Pet99a, Pot89a]. This research falls into the third category. It includes the clustering architecture [Buy99a] (shown in figure 1) consisting of a homogeneous collection of general purpose computer systems connected via networks, also termed a clustered computing environment, provides very powerful and cost effective image registation. The parallel-implementation platform uses a public domain software Massage Passing Interface (MPI), which is easy-to-use and freely available.

5. EXPERIMENTAL RESULTS

We test the purposed system for multimodality image. The searched-for parameters consist of: $-0.8 \le sx, sy \le 1.31$, $-\pi \le \theta \le \pi$, and $-127 \le dx, dy \le 128$. String length for each parameter is equal to 8, or the step of quantization is equal to 256. The population size in each generation is restricted to 150. With the crossover probability of 0.6 and mutation probability of 0.06, GA cycle always meets the criterion of 50-time steady-state within 300 generations.

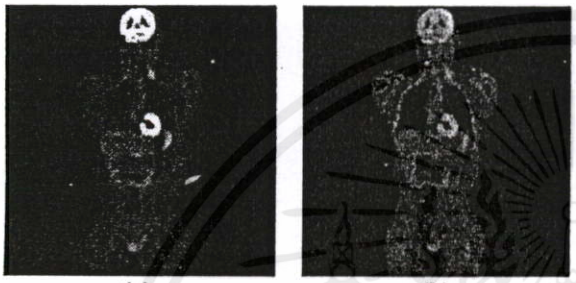
All the experiments in this paper are tested on homogeneous system consists of 5 machines of Intel Xeon 2.4GMHz Dual CPU, ECCRAM 1 Gbytes connected via 1 Gbps LAN running Linux operating system. The software is written on C++ using parallel programming environment such as MPICH.
The PET and CT image to be aligned are shown in figure 4. With the size of 256 × 256 pixels × 8 bits,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

Figure 4. Unregistered (a) PET and (b) CT images



(a) (b)

Figure 5.(a) Transformed PET image,(b) PET-CT fusion

process	Multimodal	
	PET-CT 256 x 256	
	linear	nearest
1	0.59844	0.422585
2	0.309701	0.217344
3	0.217391	0.147382
4	0.165579	0.115491
5	0.13389	0.092646

Table 1. Averaged time per Genetic Cycle

the PET image is rotated by 45 degrees to see if there are some transformation irregularities during GA cycle. After certain point, the PET image is transformed to the correct position resulting in growth of coefficient from 0.300463 to 0.753600. The parameters obtained from GA are $\theta = 46.9$, $sx = 1.056$, $sy = 0.97$, $dx = -3$, $dy = -3$. Figure 5 shows the aligned position of PET and simple PET-CT fusion image that gives both anatomical and functional details. The times per generation are recorded in Table 1.

Table 1 shows the average time per genetic cycle for multimodality image registration. In multimodality registration, the result of nearest and linear interpolations are compared. One can be inferred that system speed-up factor increases as the number of node increases. Specifically, four nodes can accelerate the registration task more than one node does about 75%.

6. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This paper proposes the new method for intensity-based image registration process on clustering system that faster than compute on single machine and single memory. There are two contributions of this paper. The first contribution is the application of genetic algorithm for intensity-based image registration. The second contribution is the application of parallel programming method to distribute works to be processed concurrently on each computer in the clustering system. The result for multi-modality image registration is very promising.

7. REFERENCES

[Ant98a] Antoine Maintz, J.B. and Viergever, M.A., "A Survey of Medical Image Registration," Medical Image Analysis, vol. 2, pp. 1-37, 1998.

[Buy99a] Buyya R. "High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems", Volume 1. Prentice Hall PTR. 1999.

[Col90a] Collignon, A., Maes, F., Delaere, D., Vandermeulen, D., Suetens, P.,and Marchal, G., "Automated multimodality imageregistration using information theory," Bizais, Y., and Barillot, C., (eds), Information Processing in Medical Imaging, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 263–274,1995.

[Gol89a] Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, 1989.

[Jun90a] Junck, L. , Moen, J.G., Hutchins, G.D. , Brown, M.B. and Kuhl, D.E. , "Correlation methods for the centering, rotation, and alignment of functional brain images," Journal of Nuclear Medicine, 31, 1220–1276., 1990.

[Kau88a] Kaufman, A. and Bakalash, R., " Memory and Processing Architectures for 3D Voxel-Based Imagery", IEEE Computer Graphics and Applications., vol. 8, no. 11, pp. 10-23, 1988.

[Pet99a] Petersen, J., " Introduction to Programming on Distributed Memory Multiprocessor", Computer Physics Communications, vol. 73, no. 1-3, pp.72-92, 1999.

[Pot89a] Potmesil, M. and Hoffert, E. M., " The Pixel Machine: A parallel Image Computer", Comput. Graphics, vol. 23, no. 3, pp. 69-78, 1989.

[Raj99a] Rajapakse, J.C., and Guojun, B., "Functional MR Image Registration Using a Genetic Algorithm," Proceeding of Int. Conf. on Neural Information Processing, pp. 922-927, 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายบุญญฤทธิ์ ลักษณประณัย
วัน เดือน ปีเกิด	4 กันยายน 2523
ที่อยู่	50/44 ซ.เพชรเกษม80 ถ.เพชรเกษม แขวงบางแคเหนือ เขตบางแค จ.กรุงเทพฯ 10160 โทร 02-4559563
ประวัติการศึกษา	2547 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2547-2549 ผู้ช่วยวิจัย

พ.ศ.2547

- W. Withayachumnankul, B. Laksanapanai, and C. Pintavirooj, "Hardware-accelerated objective function evaluation for medical image registration", *Proc. IEEE TENCON*, Chiang Mai, Thailand, vol. A, pp. 419–422, 2004.

พ.ศ.2548

- B. Laksanapanai, W. Withayachumnankul, C. Pintavirooj, and P. Tosranon, "Acceleration of genetic algorithm with parallel processing with application in medical image registration", *Proc. WS Computer Graphics*, Plzen, Czech Republic, pp. 133-136, 2005.
- K. Kalaratt, B. Laksanapanai,C. Pintavirooj, and M. Sangworasil "FAST CONE-BEAM TOMOGRAPHY ON CLUSTERING SYSTEM", *Proc. 2005 ECTI international Conference*, Vol.1. pp. 335-338, May 12-13, *2005*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้