สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือให้เป็นตัวอักษร

PROGRAM TO TRANSLATE FINGER SPELLINGS TO CHARACTERS

กรกช วิทูรพงศ์

ขนิษฐา ปาณวร

ณัฐนรี เพชรดากูล

ว/ส.
ก159ป
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82770
วัน,เดือน,ปี 23 ก.ค. 2551

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

1196 04ท2
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAM TO TRANSLATE FROM FINGER SPELLINGS TO CHARACTERS

KORRAKOT WITOONPHONG

KANITHA PANAWORN

NATNAREE PETCHDAKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	โปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือให้เป็นตัวอักษร PROGRAM TO TRANSLATE FINGER SPELINGS TO CHARACTERS	
ชื่อนักศึกษา	นายกรกช วิทูรพงศ์	47050765
	นางสาวขนิษฐา ปาณวร	47050768
	นางสาวณัฐนรี เพชรดากูล	47050774
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์	
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรกช ประชุมรักษ์	

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ประจำปีการศึกษา 2550

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อาจารย์วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ ประธานกรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษฎา บุศรา กรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรกช ประชุมรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

(รองศาสตราจารย์ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์)
หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	โปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือให้เป็นตัวอักษร	
ชื่อนักศึกษา	นายกรกช วิทูรพงศ์	47050765
	นางสาวขนิษฐา ปาณวร	47050768
	นางสาวณัฐนรี เพชรตากูล	47050774
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์	
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกช ประชุมรักษ์	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นสำหรับช่วยให้บุคคลปกติทั่วไปสามารถเข้าใจและติดต่อสื่อสารกับผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟัง โดยใช้ท่าทางการสะกดนิ้วมือในการสื่อสาร ผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งโครงงานนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรม เพื่อใช้รับภาพสัญลักษณ์ในการสะกดนิ้วมือจากกล้องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการแปลความหมายออกมาเป็นตัวอักษรภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และตัวเลข ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพที่รับมานี้ จะเป็นการตัดภาพพื้นหลังออก ให้เหลือเฉพาะในส่วนของมือ เพื่อนำไปวิเคราะห์หารูปร่างของมือ แล้วจึงนำมาประมวลผลทันที เพื่อแสดงความหมายของตัวอักษรนั้นๆออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	PROGRAM TO TRANSLATE FINGER SPELLINGS TO CHARACTERS	
Students	Mr.Korrakot Witoonphong	47050765
	Ms.Kanitha Panaworn	47050768
	Ms.Natnaree Petchdakul	47050774
Degree	Bachelor of Science	
Department	Mathematics and Computer Science, Faculty of Science	
Programme	Computer Science	
Academic Year	2007	
Advisor	Assistant Professor Dr.Korakot Prachumrak	

ABSTRACT

This project aims to help normal people to communicate by finger spelling with disable people through the computers. This project is to develop an application program to receive hand signals of the finger spelling from a web camera, and then translate them into meaningful Thai English and number characters. To analyze the hand feature, the Image processing method is applied to cut off the background, and then the hand feature is processed in real time to match the right character.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานปัญหาพิเศษนี้ ส่งผลให้คณะผู้จัดทำได้มีโอกาสนำความรู้ที่ศึกษาเล่าเรียน มาประยุกต์ใช้ในการทำงาน ได้เรียนรู้การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และได้ฝึกฝนทักษะต่างๆ

สำหรับรายงานโครงงานปัญหาพิเศษเล่มนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือ และการสนับสนุนตลอดจนการให้คำแนะนำ ปรึกษา และแก้ปัญหาต่างๆ จากผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ดังต่อไปนี้

1. ผศ.ดร.กรกช ประชุมรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
2. อ.วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ ประธานกรรมการ
3. ผศ.กฤษฎา บุศรา กรรมการ

รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ และบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำโครงงานปัญหาพิเศษนี้

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการทำโครงงานและรายงานโครงงานปัญหาพิเศษเล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนผู้ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน เกี่ยวกับปัญหาโครงงานพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย i

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญภาพ viii

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา 2

1.5 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงาน 2

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.8 อนาคต 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 หลักการของการประมวลผลภาพ (Image Processing) 4

2.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ Web camera 4

2.1.2 การปรับภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภาพไบนารี (Binary Image Analysis) 5

2.1.3 การนับจำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน 6

2.1.4 ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ 7

2.1.5 การจับคู่กับแม่แบบ (Template matching) 8

2.1.6 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ Open Source Computer Vision Library (OpenCV Library) 8

2.2 ความรู้ที่ใช้ภายในโอเพ่นซีวีไลบรารี (OpenCV Library) 8

2.2.1 การตัดภาพพื้นหลัง (Background Subtraction) 8

2.2.2 การหาเส้นรูปร่าง 10

2.2.3 การแทนเส้นรูปร่าง 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.2.4 ลำดับขั้นตอนของการทำงานค้นหาเส้นขอบซ้ำ....12
2.2.5 การค้นหาขอบภาพ (Edge Detection)....13
2.2.5.1 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Method)....13
2.2.5.2 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง (Laplacient Method)....14
2.2.5.3 การค้นหาขอบภาพด้วยแคนนี (Canny Edge Detection)....14
2.2.6 ค่าความถี่สี....17
2.2.7 ฟังก์ชันของภาพ....17
2.2.8 โครงสร้างข้อมูลแบบไดนามิก....20
2.2.8.1 ตัวเก็บหน่วยความจำ....20
2.2.8.2 ลำดับ....21
2.2.8.3 การเขียนและการอ่านลำดับ....21
2.2.8.4 เซต....23
2.2.8.5 กราฟ....26
2.3 ภาษามือ....28
2.3.1 ที่มาของภาษามือ....29
2.3.2 รูปแบบภาษามือ....29
2.3.2.1 ภาษามือธรรมชาติ....29
2.3.2.2 ภาษามือประดิษฐ์....30
2.3.3 การสะกดตัวอักษรด้วยนิ้วมือ (Finger spelling)....30

บทที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์....36
3.1 หลักการและแนวคิด....36
3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์....36
3.2.1 การทำงานของโปรแกรม....36
3.3 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม....41
3.3.1 เชื่อมต่อกล้องเว็บแคมเข้ากับโปรแกรม....41
3.3.2 รับภาพพื้นหลัง กำหนดความถี่สีพื้นหลังเริ่มต้น....41
3.3.3 รับภาพมือ กำหนดความถี่สีและขนาดของมือเริ่มต้น....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.3.4 รับภาพมือ และตัดภาพพื้นหลัง 43
3.3.5 ค้นหามือ 44
3.3.6 การค้นหาองค์ประกอบของมือ 45
3.3.7 การประมวลผลจากองค์ประกอบของมือ 46
3.3.7.1 กำหนดระดับพิกัดจุด 46
3.3.7.2 การตรวจสอบตัวอักษรภาษาอังกฤษ 48
3.3.7.2.1 การสะกดนิ้วมือท่านิ่งชัดเจน 48
3.3.7.2.2 การสะกดนิ้วมือท่ากำมือ 60
3.3.7.2.3 การสะกดนิ้วมือท่าเคลื่อนไหว 64
3.3.7.3 การตรวจสอบตัวอักษรภาษาไทย 65
3.3.7.3.1 การสะกดนิ้วมือท่าเดียว 66
3.3.7.3.2 การสะกดนิ้วมือรวมตัวอักษร 71
3.3.8 แสดงความหมายของภาพ 79

บทที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 80
4.1 ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์สำหรับโปรแกรม 80
4.2 อุปกรณ์ 80
4.3 ส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม 81
4.4 ขั้นตอนการการทำงานของโปรแกรม 82
4.4.1 เริ่มการทำงานโปรแกรม 82
4.4.2 รับภาพพื้นหลังและมือเริ่มต้น 82
4.4.3 ประมวลผล 84
4.5 ผลการทำงานภายในโปรแกรมเมื่อรับคำสั่งจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ 84
4.5.1 อักษรภาษาไทย 84
4.5.2 อักษรภาษาอังกฤษ 86
4.6 ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมในสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน 90
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 90
5.1.1 ข้อจำกัดของโปรแกรม 90
5.2 การอภิปราย 92
5.3 ข้อเสนอแนะ 93

รายการอ้างอิง 94
ภาคผนวก ก. การใช้งานโปรแกรม 95
ก.1 ขั้นตอนการติดตั้ง "OpenCV" 96
ก.2 การเรียกใช้งานโปรแกรม 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 กลุ่มของพิกเซลที่เรียงกันเป็นตัวอักษร 5

2.2 ลักษณะพิกเซลเพื่อนบ้าน (a) สี่เพื่อนบ้าน (b) แปดเพื่อนบ้าน (c) หกเพื่อนบ้าน 6

2.3 การแบ่งกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน 6

2.4 รูปแบบการเชื่อมติดกันของพิกเซล 10

2.5 ลำดับชั้นของส่วนประกอบที่เชื่อมติดกัน 10

2.6 การแทนเส้นขอบด้วยวิธีของฟรีแมน 11

2.7 การเข้ารหัสด้วยวิธีของฟรีแมนจากส่วนประกอบที่อยู่ติดกัน 12

2.8 (a) Mask ที่ใช้ในการคำนวณ $\frac{\partial P}{\partial x}$ (b) Mask ที่ใช้ในการคำนวณ $\frac{\partial P}{\partial y}$ 14

2.9 การจัดระบบของตัวเก็บหน่วยความจำ 20

2.10 โครงสร้างของลำดับ 21

2.11 โครงสร้างของเซต 23

2.12 กราฟตัวอย่าง 27

2.13 โครงสร้างภายในสำหรับกราฟตัวอย่างในภาพที่ 2.12 28

2.14 ตัวอย่างท่าทางภาษามือ 30

2.15 ท่าสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร B และ บ 31

2.16 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร ส, ศ และ ษ 31

2.17 แบบสะกดนิ้วมือของคนหูหนวกในประเทศไทย 32

2.18 ท่าพักมือ สำหรับการสะกดนิ้วมือ 33

2.19 ท่าสะกดนิ้วมือ คำว่า "ม้า" 33

2.20 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร A-Z 34

2.21 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร ก-ฮ 34

2.22 แบบสะกดนิ้วมือ สระและวรรณยุกต์ ภาษาไทย 35

2.23 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวเลข จำนวน 1-10 35

3.1 แผนภาพการตั้งค่าพื้นหลังเริ่มต้น 37

3.2 แผนภาพการตั้งค่าความถี่สีผิว และขนาดของมือ 38

3.3 แผนภาพการแปลความหมายของมือ 39

3.4 แผนภาพการทำงานโดยรวมของโปรแกรม 40

3.5 การจับภาพพื้นหลังเริ่มต้น 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ **หน้า**

3.6 การจับภาพมือ เพื่อตั้งค่าความถี่สีเริ่มต้น และกำหนดจุดส่วนต่างๆของมือ 42
3.7 การคำนวณค่าเฉลี่ยของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย 42
3.8 ภาพที่ได้หลังจากตัดพื้นหลังออก 43
3.9 ส่วนของมือที่ได้จากการ Mask 44
3.10 ส่วนของมือที่ใช้ฟังก์ชันค่าความถี่สี 45
3.11 ส่วนของมือที่จะนำไปใช้ในการประมวลผล 46
3.12 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “B” 48
3.13 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “C” 49
3.14 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “D” 49
3.15 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “F” 50
3.16 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “G” 50
3.17 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือดัวอักษร “H” 51
3.18 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “I” 51
3.19 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “K” 52
3.20 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “L” 52
3.21 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “P” 53
3.22 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “Q” 54
3.23 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “R” 54
3.24 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “U” 55
3.25 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “V” 55
3.26 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “W” 56
3.27 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “X” 56
3.28 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “Y” 57
3.29 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข “1” 57
3.30 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข “3” 58
3.31 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือดัวเลข “4” 59
3.32 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข “5” 59
3.33 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “A” 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ **หน้า**

3.34 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “E” 61
3.35 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “M” 61
3.36 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “N” 62
3.37 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “O” 62
3.38 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “S” 63
3.39 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “T” 63
3.40 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “J” 64
3.41 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “Z” 65
3.42 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ก” 66
3.43 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “จ” 66
3.44 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ด” 67
3.45 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ต” 67
3.46 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “น” 67
3.47 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “บ” 68
3.48 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “พ” 68
3.49 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฟ” 68
3.50 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ม” 69
3.51 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ย” 69
3.52 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ร” 69
3.53 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ล” 70
3.54 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ว” 70
3.55 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ส” 70
3.56 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ห” 71
3.57 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “อ” 71
3.58 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ข” 72
3.59 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ค” 72
3.60 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฆ” 72
3.61 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ง” 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ **หน้า**

3.62 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฉ” 73
3.63 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ญ” 73
3.64 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฎ” 74
3.65 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฏ” 74
3.66 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฐ” 74
3.67 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฑ” 75
3.68 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฒ” 75
3.69 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ณ” 75
3.70 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ถ” 76
3.71 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ท” 76
3.72 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ป” 76
3.73 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ผ” 77
3.74 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฝ” 77
3.75 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ภ” 77
3.76 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ศ” 78
3.77 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ษ” 78
3.78 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฬ” 78
3.79 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฮ” 79
3.80 หน้าจอแสดงผลภาษาอังกฤษ 79
3.81 หน้าจอแสดงผลภาษาไทย 79
4.1 ตัวอย่างกล้องที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ 80
4.2 หน้าจอโปรแกรม 82
4.3 หน้าจอโปรแกรมรอรับภาพพื้นหลังเริ่มต้น 82
4.4 หน้าจอรอรับค่าความถี่สี และขนาดของมือเริ่มต้น 83
4.5 การวางมือเพื่อกำหนดความถี่สี และขนาดมือเริ่มต้น 83
4.6 หน้าจอโปรแกรมขณะแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ 84
4.7 ผลการประมวลผลจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาไทย 85
4.8 ผลการประมวลผลจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาอังกฤษ 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

4.9 ผลการประมวลผลเมื่อมีแสงสว่างพอดี 87
4.10 ผลการประมวลผลเมื่อมีแสงสว่างมากเกินไป 87
4.11 ผลการประมวลผลเมื่อมีสีพื้นหลังใกล้เคียงกับความถี่สีของมือ 88
4.12 ผลการประมวลผลเมื่อพื้นหลังมีลวดลาย 88
4.13 ผลเมื่อมีวัตถุที่มีสีที่แตกต่าง กับความถี่สีของมือเข้ามา 89
4.14 ผลเมื่อมีวัตถุหรือส่วนอื่นของร่างกายที่มีความถี่ใกล้เคียงกันเข้ามา 89
5.1 หน้าจอการแสดงผล เมื่อเลือกภาษาอังกฤษ 91
5.2 หน้าจอการแสดงผล เมื่อเลือกภาษาไทย 91
5.3 หน้าจอการแสดงผล เมื่อแสดงสัญลักษณ์ตัวอักษร “ข” ภายในเวลาที่กำหนด 92
5.4 หน้าจอการแสดงผล เมื่อแสดงสัญลักษณ์ตัวอักษร “ข” เกินกว่าเวลาที่กำหนด 92
ก.1 ตัวติดตั้ง “OpenCV” 96
ก.2 การเริ่มต้นติดตั้ง “OpenCV” 96
ก.3 ข้อตกลงสำหรับการติดตั้ง “OpenCV” 97
ก.4 เลือกไดเรคทอรีสำหรับติดตั้ง “OpenCV” 97
ก.5 ตั้งชื่อแฟ้มสำหรับแสดงใน “Start menu” 98
ก.6 เพิ่มเส้นทางเชื่อมต่อไปยังไลบรารีของ “OpenCV” 98
ก.7 รายละเอียดสำหรับการติดตั้ง “OpenCV” 99
ก.8 การติดตั้ง “OpenCV” เสร็จสิ้น 99
ก.9 โปรแกรม “FingerSpelling.exe” 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาพิเศษ

ในปัจจุบันมีผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟัง ที่มีความรู้ความสามารถในการทำงานด้านต่างๆ ได้เท่าเทียมกับคนปกติทั่วไป แต่ยังมีปัญหาทางด้านการติดต่อสื่อสาร ซึ่งการติดต่อสื่อสารนับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งคนปกติทั่วไปจะใช้ภาษาพูดในการสื่อสาร แต่ผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟังจะใช้ภาษามือ รวมทั้งการสะกดนิ้วมือ ที่เป็นการแสดงท่าทางนิ้วมือแทนตัวอักษรในการสะกดคำ หรือแสดงคำที่ไม่สามารถแสดงด้วยภาษามือได้ เช่น ชื่อเฉพาะ ชื่อบุคคล เป็นต้น ในการสื่อสาร ทำให้คนปกติเข้าใจได้ยาก และเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟัง กับคนปกติยังมีน้อย อีกทั้งจากการสำรวจโปรแกรมที่ใช้ในการสอนท่าทางภาษามือและการสะกดนิ้วมือทั่วไป จะมีการใช้งานในลักษณะให้ทำการกำหนดคำศัพท์หรือตัวอักษร เพื่อให้โปรแกรมแสดงท่าทางในรูปแบบการสะกดนิ้วมือของตัวอักษรนั้นๆออกมา จึงทำให้ผู้ใช้งานเกิดความเบื่อหน่ายที่จะทำการเรียนรู้ท่าทางจากการดูภาพโดยไม่มีส่วนร่วมกับโปรแกรม ดังนั้นกลุ่มผู้ทำโครงงานจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านมัลติมีเดีย เพื่อช่วยในการอำนวยความสะดวกทางด้านการติดต่อสื่อสารให้แก่บุคคลทั่วไปเข้าใจความหมายของการสะกดนิ้วมือ โดยการสร้างโปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ ซึ่งเป็นท่ามาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ให้เป็นตัวอักษรที่คนปกติทั่วไปสามารถเข้าใจได้ และยังเป็นโปรแกรมที่ช่วยสอนให้คนปกติได้เรียนรู้ท่าทางต่างๆของการสะกดนิ้วมือ เพื่อสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟังได้

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจับภาพเคลื่อนไหวของมือ
2) เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถช่วยในการแปลท่าทางการสะกดนิ้วมือมาเป็นตัวอักษร ที่คนปกติสามารถเข้าใจ
3) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยให้ผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟัง สามารถติดต่อสื่อสารกับคนปกติได้อย่างเข้าใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โปรแกรมนี้สามารถติดต่อกับกล้องเพื่อทำการรับภาพท่าทางการสะกดนิ้วมือ เพื่อนำมาแปลความหมายของสัญลักษณ์มือที่รับเข้ามา แล้วแสดงความหมายของการสะกดนิ้วมือมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ออกทางหน้าจอของโปรแกรม เพื่อสามารถนำไปพัฒนาต่อไปได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษา

คณะผู้จัดทำโครงงานได้นำไลบรารี (Library) ที่คอยสนับสนุนการทำงานด้านกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพ (image processing) เช่น การหาเส้นขอบภาพ (Edge Detection) ประเภทของการเก็บข้อมูลของรูปภาพแบบดิจิทัล มาประยุกต์ใช้ในการทำงานการรับรูปภาพแบบในเวลาจริง (real-time) ซึ่งเป็นไลบารีที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มบุคคล โดยมีบริษัทอินเทล (Intel) ให้การสนับสนุนพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับการทำงานเกี่ยวกับการพัฒนาด้านการทำงานด้านกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพในภาษาซีพลัสพลัส (C++) โดยใช้ทฤษฎีการตีความหมายของภาพ และนำสัญลักษณ์ของภาษามือในการสะกดนิ้วมือมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม

1.5 ขอบเขตของโครงงาน

1) สร้างโปรแกรมในการเชื่อมต่อกล้องเข้ากับโปรแกรม
2) สร้างโปรแกรมเกี่ยวกับกระบวนการการประมวลผลรูปภาพเพื่อทำการจับสัญลักษณ์ภาพแล้วนำมากำหนดความหมาย
3) พัฒนาโปรแกรมที่รับภาพท่าทางการสะกดนิ้วมือจากกล้อง เพื่อนำมาทำการประมวลผล ว่ามีความหมายตรงกับตัวอักษรใด
4) แสดงความหมายออกทางหน้าจอ เพื่อเป็นโปรแกรมช่วยในการแปลตัวอักษร ตามหลักการการสะกดตัวอักษรด้วยนิ้วมือ ซึ่งเป็นท่ามาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1) กำหนดขอบเขต จุดประสงค์ ความต้องการของโครงงาน
2) วางแผนขั้นตอนการทำงาน
3) ค้นหา และศึกษาความหมายของท่าการสะกดนิ้วมือ
4) ศึกษาหลักการเขียนโปรแกรม เช่น ภาษาซีพลัสพลัส(C++) , โอเพ่นซีวี(OpenCV) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวกับกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพ
6) วิเคราะห์และออกแบบระบบ
7) พัฒนาและเขียนโปรแกรม
8) ออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
9) จัดทำเอกสาร

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ช่วยเพิ่มทักษะในด้านการเขียนโปรแกรม และความรู้ทางด้านมัลติมีเดีย
2) สามารถพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านมัลติมีเดีย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่ออำนวยความสะดวก
3) สามารถนำโปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือให้เป็นตัวอักษรที่สร้าง ไปใช้ประโยชน์สำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางด้านการพูด และการฟังได้
4) สามารถแปลท่าทางการสะกดนิ้วมือให้แก่บุคคลทั่วไป ที่ไม่เข้าใจภาษามือให้เข้าใจได้

1.8 อนาคต

พัฒนาโปรแกรมให้สามารถแปลความหมายของตัวอักษรต่างๆได้ถูกต้อง แม่นยำ ครบทุกตัวอักษร รวมทั้งสามารถแปลความหมายของท่าทางภาษามือธรรมชาติได้ และนำโปรแกรมการแปลภาพภาษามือ มาใช้เป็นเครื่องมือช่วยแปลภาษา เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกแก่ราชการ และองค์กรที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนบุคคลทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของการประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ หมายถึง การประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณ บนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง(ภาพถ่าย) หรือภาพเคลื่อนไหว(วีดิโอ) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆที่ไม่ใช่ภาพ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนภาพต่างๆ ที่ได้จากกล้องหรือจากการสแกน ตลอดจนข้อมูลภาพในรูปดิจิทัล โดยนำไปผ่านกระบวนการบางอย่างเพื่อให้เกิดเป็นภาพใหม่ เช่น ภาพที่มีความคมชัดสดใส หรือภาพที่เบลอ เป็นต้น นอกจากนั้นได้มีการนำการประมวลผลภาพไปใช้ในงานระบบรู้จำลายมือ, ทำระบบ Motion Detect เพื่อตรวจนับจำนวนคน หรือตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ ภายในภาพ ซึ่งนำไปใช้เกี่ยวกับระบบรักษาความปลอดภัยในท่าอากาศยาน และอื่นๆอีกมากมาย

หลักการการประมวลผลภาพ มีวิธีคิดที่เรียบง่าย ไม่ยุ่งยากมากนัก แต่สิ่งที่ทำให้เกิดปัญหาต่อการเรียนรู้สำหรับผู้ศึกษาเริ่มต้นคือ สมการคณิตศาสตร์ ซึ่งการคิดคำนวณนั้นมีหลายวิธี และมีประโยชน์แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นการนำเอาสีแต่ละจุด(Pixel) มาคำนวณสี(Color) การคำนวณบริเวณหลายจุดรวมกัน(Area) เช่น การดูลวดลาย(Pattern, Texture) การวิเคราะห์หารูปร่าง(Shape) และการวิเคราะห์แบบอื่นๆ เพื่อหาค่าอะไรบางอย่างที่ช่วยให้เราเข้าใจได้ว่า ภาพนั้นๆมีลักษณะอย่างไร ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินได้ว่า มันคือสิ่งที่เรากำลังค้นหาหรือสนใจอยู่หรือไม่

2.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ Web camera

เว็บแคม(Webcam) เป็นคำที่ย่อมาจาก Web Camera หรือบางครั้งอาจเรียกว่า Video Camera เป็นอุปกรณ์ที่สามารถจับภาพเคลื่อนไหวของเรา ให้ไปปรากฏในหน้าจอมอนิเตอร์ และสามารถส่งภาพเคลื่อนไหวนี้ผ่านระบบเครือข่ายเพื่อให้คนอีกฟากหนึ่ง สามารถเห็นตัวเราเคลื่อนไหวได้เหมือนอยู่ต่อหน้า ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์อีกตัวหนึ่ง และเริ่มมีความจำเป็นมากขึ้นเรื่อยๆ

สำหรับเซ็นเซอร์ที่กล้องเว็บแคมใช้นั้นจะมีหลักๆอยู่ 2 ชนิด คือ CCD และ CMOS แต่ที่นิยมใช้กันมากในตอนนี้ก็คือ CMOS เนื่องจากเหตุผลหลายๆประการและตัวเซ็นเซอร์ แบบ CMOS เองก็สามารถแบบออกได้ถึง 2 ชนิด ด้วยกันคือ CLF Color CMOS Censor ที่มีความละเอียดของพิกเซลเพียง 110,000 พิกเซล (367 x 291) ในขณะที่ VGA Color CMOS Censor ให้ความละเอียดที่สูงกว่าที่ 350,000 พิกเซล (655 x 493) สำหรับเซ็นเซอร์แบบ CCD จะเป็นเซ็นเซอร์ที่นิยมใช้ในกล้องดิจิตอล เพราะให้ความละเอียดที่สูงกว่าและมีสัญญาณรบกวนไม่มากเหมือนกับเซ็นเซอร์แบบ CMOS

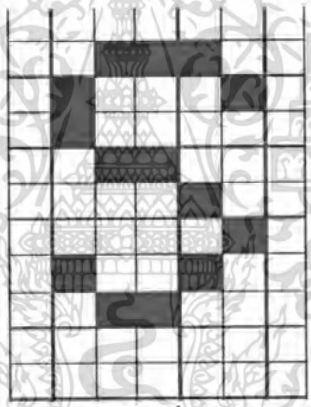
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเชื่อมต่อของกล้องเว็บแคมในปัจจุบันส่วนใหญ่ จะเป็นอินเทอร์เฟซแบบ USB แทบทั้งสิ้น ส่วนกล้องเว็บแคมแบบไร้สายจะใช้การเชื่อมต่อในแบบ Wi-Fi หรือ Wireless LAN ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายไปได้ทุกที่ โดยไม่ต้องคำนึงถึงสายให้วุ่นวาย แต่ปัจจุบันนี้เว็บแคมที่เชื่อมต่อในแบบ Wireless ค่อนข้างหายากพอสมควร และยังมีราคาแพงอยู่

2.1.2 การปรับภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภาพไบนารี (Binary Image Analysis)

การวิเคราะห์ภาพไบนารี คือ การวิเคราะห์ภาพที่มีความแตกต่างกันอยู่สองระดับ คือ ขาวกับดำ โดยใช้ 0 และ 1 เป็นค่าบอกลักษณะขาวหรือดำ การที่มีความเข้มเพียงสองระดับในภาพไบนารีทำให้สามารถเลือกพิจารณาให้ความเข้มระดับหนึ่งแทนภาพของสิ่งที่สนใจได้

โดยเรียกพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้ว่า"พิกเซลภาพ" และความเข้มอีกระดับแทนพื้นหลัง ในทางปฏิบัติในการพิจารณาภาพไบนารีจะไม่สนใจพิกเซลที่อยู่เดี่ยวๆ แต่จะสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน(Connected) หรือที่เรียกว่าพิกเซลเพื่อนบ้าน(Neighbor pixels) เช่น กลุ่มของพิกเซลที่เรียงกันเป็นตัวอักษรดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กลุ่มของพิกเซลที่เรียงกันเป็นตัวอักษร

การตีความว่าพิกเซลที่อยู่ในรูปแบบตารางสี่เหลี่ยม พิกเซลใดอยู่ติดกัน ทำได้ 3 แบบหลักๆ คือ

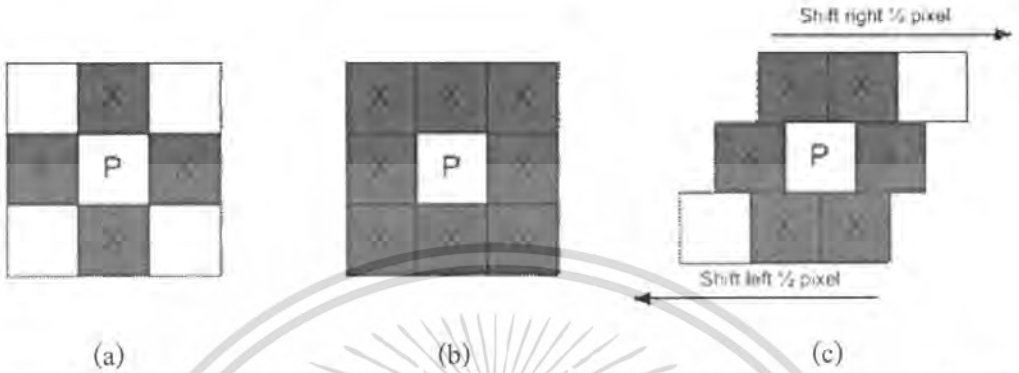
1) แบบสี่เพื่อนบ้าน (4-Connectedness) จะถือว่าแต่ละพิกเซลอยู่ติดกับสี่พิกเซลที่อยู่ด้านบน ล่าง ซ้าย และขวา เช่นในภาพที่ 2.2 (a) จะเห็นว่าพิกเซล P อยู่ติดกับพิกเซลที่เป็นสีเทา ส่วนที่เป็นสีขาวจะไม่ถือว่าเป็นพิกเซลที่ติดกับพิกเซล P

2) แบบแปดเพื่อนบ้าน (8-Connectedness) จะถือว่าแต่ละพิกเซลอยู่ติดกับทั้งแปดพิกเซลที่อยู่ล้อมรอบทั้งหมดดังภาพที่ 2.2 (b)

3) แบบหกเพื่อนบ้าน (6-Connectedness) ทั้งสองแบบที่กล่าวมาขั้นต้นไม่สอดคล้องบางประการกับเรขาคณิต กล่าวคือจากทฤษฎีเส้นโค้งของจอร์แดน (Jordan's curve theorem) เส้นโค้งบนระนาบที่ลากเป็นวงปิดจะแบ่งระนาบออกเป็นสองส่วนที่ไม่ติดกัน คือ ส่วนที่อยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงและส่วนที่อยู่นอกวง ดังนั้น วิธีแก้ปัญหาวิธีหนึ่งก็คือการเปลี่ยนไปใช้พิกเซลที่เป็นรูปหกเพื่อนบ้าน (6-connectedness) โดยกระทำได้โดยกำหนดให้พิกเซลที่อยู่แถวบนเลื่อนไปทางขวา ½ พิกเซลอยู่แถวล่างเลื่อนไปทางซ้าย ½ พิกเซล ดังภาพที่ 2.2 (c)

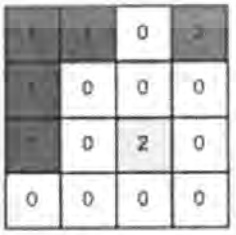


ภาพที่ 2.2 ลักษณะพิกเซลเพื่อนบ้าน (a) สี่เพื่อนบ้าน (b) แปดเพื่อนบ้าน (c) หกเพื่อนบ้าน

2.1.3 การนับจำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน

โดยทั่วไปจะไม่สนใจพิกเซลเดี่ยวๆ ที่แยกกันไป แต่จะสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน กลุ่มของพิกเซลเหล่านี้อาจเป็นภาพของตัวอักษรในเอกสาร หรืออาจเป็นภาพของสิ่งที่สนใจใดๆ ก็ได้ ข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบอยู่บ่อยๆ อย่างหนึ่งก็คือ จำนวนกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน เช่น จำนวนตัวอักษรในภาพเอกสาร

การที่จะทราบจำนวนดังกล่าวได้ต้องสามารถแยกพิกเซลออกเป็นกลุ่ม นั่นคือทุกๆคู่ของพิกเซลในกลุ่มเดียวกันจะต้องมีเส้นทางเชื่อมที่ประกอบไปด้วยพิกเซลอื่นๆในกลุ่มที่เรียงต่อกัน โดยต้องไม่มีเส้นทางระหว่างคู่พิกเซลต่างกลุ่ม วิธีนับที่จะเสนอนี้ทำงานโดยแจกหมายเลขกลุ่มให้กับแต่ละพิกเซล พิกเซลที่อยู่คนละกลุ่มจะได้หมายเลขต่างกัน ในอัลกอริธึมนี้ภาพไบนารีที่จะนำมาประมวลผลถูกเก็บในแถวลำดับสองมิติ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่

สามารถบรรยายรูปร่างของกลุ่มพิกเซลที่อยู่ติดกันด้วยตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ของกลุ่มพิกเซล R ตัวแรกที่จะกล่าวถึงก็คือโมเมนต์(moment) ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$m_{k,j} = \sum_{(x,y)\in R} x^k y^j \qquad [1]$$

โดยที่ (x,y) คือ พิกัดของแต่ละพิกเซลในกลุ่ม R และค่า k+j คือ ค่าอันดับของโมเมนต์นั่นเอง โมเมนต์ที่อันดับต่างๆให้ค่าจำนวนพิกเซลที่อยู่ในกลุ่ม ซึ่งถ้ากำหนดให้แต่ละพิกเซลมีพื้นที่หนึ่งหน่วย ค่า A ที่ได้ คือ พื้นที่ของกลุ่มพิกเซล R

นอกจากใช้หาพื้นที่แล้วยังสามารถหาจุดศูนย์กลางมวลของกลุ่มพิกเซล R ได้จากการคำนวณโมเมนต์อันดับ 1 นั่นคือจะได้พิกัดของศูนย์กลางมวลเป็น $(x, y) = (m_{1,0}, m_{0,1})$

นอกจากโมเมนต์ที่กล่าวถึงยังมีค่าโมเมนต์รอบศูนย์กลาง(Central moment) ซึ่งให้ค่าที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งของกลุ่มพิกเซล โมเมนต์กลางคำนวณได้ดังนี้

$$\mu_{k,j} = \sum_{(x,y)\in R} (x - x_C)^k (y - y_C)^j \qquad [2]$$

ในความเป็นจริงโมเมนต์รอบศูนย์กลางก็คือโมเมนต์ธรรมดาที่กล่าวมาแล้ว เมื่อเลื่อนกลุ่มพิกเซล R ให้ศูนย์กลางมวลของมันมาอยู่ที่จุดกำเนิด ด้วยค่าโมเมนต์รอบศูนย์กลางนี้ก็จะสามารถคำนวณแกนกลางของกลุ่มพิกเซล R ได้ โดยแกนกลางของกลุ่มพิกเซลนี้ คือ แกนที่ให้ค่าโมเมนต์อินเนอเชีย(moment of inertia) ต่ำสุด แกนกลางนี้จะวางตัวตามทางยาวของกลุ่มพิกเซล และผ่านจุดศูนย์กลางมวลของกลุ่มพิกเซล โดยทำมุมกับแกน x เท่ากับ

$$\frac{1}{2} \cdot a \cdot \tan 2(\mu_{1,1}, \mu_{2,0} - \mu_{0,2}) \qquad [3]$$

สามารถใช้ตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่นี้ช่วยในการตรวจสอบอย่างคร่าวๆ ว่าภาพที่ได้รับนั้นมีโอกาสเป็นภาพของวัตถุต้นแบบหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบตัวบอกลักษณะเชิงพื้นที่ของภาพที่ได้กับภาพของวัตถุต้นแบบ ทั้งนี้ภาพที่ต้องการตรวจสอบนั้นต้องถูกถ่ายในสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกันกับภาพของวัตถุต้นแบบ นอกจากวิธีนี้ก็อาจใช้ภาพต้นแบบในการเปรียบเทียบโดยตรงกับภาพที่ต้องการตรวจสอบโดยไม่ต้องคำนวณตัวบอกลักษณะก่อน เรียกวิธีนี้ ว่าการจับคู่กับแม่แบบ(Template matching)

2.1.5 การจับคู่กับแม่แบบ (Template matching)

การใช้แม่แบบเป็นส่วนประกอบสำคัญของหลายๆ เทคนิคในการประมวลผลภาพ แม่แบบก็คือภาพ ซึ่งโดยทั่วไปจะนำไปวางทาบกับภาพที่พิจารณาและทำการประมวลผลโดยใช้ค่าของพิกเซลของภาพและของแม่แบบที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ในที่นี้จะเสนอการจับคู่กับแม่แบบซึ่งก็คือการตรวจสอบว่ามีส่วนของภาพที่ตำแหน่งใดที่เหมือนกับแม่แบบ โดยหลักการแล้วการจับคู่กับแม่แบบก็เหมือนกับการค้นแบบอนุกรม นั่นก็คือจะทำการไล่เปรียบเทียบไปเรื่อยๆตามลำดับจนหมด แต่เนื่องจากภาพมีลักษณะเป็นสองมิติ การไล่เปรียบเทียบก็จะทำโดยเลื่อนแม่แบบจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างทีละพิกเซลจนครบทั้งภาพ ส่วนการตรวจสอบว่าส่วนของภาพนั้นมีความเหมือนกับแม่แบบเท่าไรนั้น ในกรณีภาพไบนารีจะอาศัยวิธีนับว่ามีพิกเซลที่มีค่าตรงกับแม่แบบกี่พิกเซล ตำแหน่งของการเลื่อนแม่แบบที่ได้จำนวนพิกเซลที่ตรงกับแม่แบบมากพอก็คือตำแหน่งที่มีภาพเหมือนแม่แบบปรากฏอยู่

2.1.6 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ Open Source Computer Vision Library (OpenCV Library)

โอเพ่นซีวี เป็นไลบรารีสำหรับใช้งานเรื่องการประมวลผลภาพ(Image processing) ซึ่งสามารถโหลดมาใช้งานได้ฟรี เพราะทาง Intel ที่เป็นผู้พัฒนาเทคโนโลยีห้องสมุดแบบ Open source หรือโอเพ่นซีวี ซึ่งได้เปิดให้เอาไปใช้ได้ตามลิขสิทธิ์แบบ BSD License ซึ่งผู้ใช้สามารถนำโปรแกรมไปพัฒนาต่อได้

การประมวลผลภาพ บางคนอาจนึกถึงการทำงานอย่าง Photoshop ซึ่งในบางความสามารถโอเพ่นซีวีก็ทำได้ เช่น การทำภาพเบลอ การหาค่าขีดแบ่ง การหาความถี่สี เป็นต้น แต่ความสามารถที่ใช้กันส่วนใหญ่จะเป็นพวก ค้นหาขอบภาพ ตรวจสอบการเคลื่อนไหว ทำการแยกรูปภาพ ฯลฯ ซึ่งโอเพ่นซีวีนี้สามารถจัดการกับข้อมูลแบบวีดิโอได้ด้วย

2.2 ความรู้ที่ใช้ภายในโอเพ่นซีวีไลบรารี (OpenCV Library)

2.2.1 การตัดภาพพื้นหลัง (Background Subtraction)

พื้นหลัง คือ เซตของภาพที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งพิกเซลนั้นไม่ขึ้นกับวัตถุใดๆที่เคลื่อนที่อยู่หน้ากล้อง นิยามนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าพิจารณาในเทคนิคของการตัดวัตถุที่กำหนด ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดด้วยความลึกของภาพในฉาก พื้นหลังก็คือ ส่วนหนึ่งของฉากที่อยู่ไกลจากกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำพื้นหลังง่ายๆ จะสมมุติเอาว่าทุกๆพื้นหลัง พิกเซลมีความสว่างแตกต่างกัน หรือเรียกว่า มีการกระจายตัวแบบปกติ(Normal distribution) คุณสมบัติของพื้นหลังสามารถคำนวณได้โดย การเก็บสะสมจากหลายๆเฟรม ค่าเฉลี่ยหาจากผลรวมของค่าพิกเซลในพื้นที่ที่กำหนดให้เป็น S(x,y) และ ผลรวมของสีเหมือนของค่า $S_q(x,y)$ สำหรับทุกๆ พิกเซลของรูปภาพ ค่าเฉลี่ยความสว่างในแต่ละพิกเซล สามารถคำนวณได้ จาก

$$m_{(x,y)} = \frac{S_{(x,y)}}{N} \quad ;\text{ซึ่ง N คือจำนวนของเฟรมที่เก็บ} \qquad [4]$$

ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน หาได้จาก

$$\sigma_{(x,y)} = \sqrt{\left(\frac{S_{q_{(x,y)}}}{N}\right) - \left(\frac{S_{q_{(x,y)}}}{N}\right)^2} \qquad [5]$$

พิกเซลในพื้นที่พิกเซลที่แน่นอนในเฟรมที่แน่นอนซึ่งพิจารณาวัตถุที่เคลื่อนที่จากเงื่อนไข

$$\left|m_{(x,y)} - P_{(x,y)}\right| > C\sigma_{(x,y)} \qquad [6]$$

ซึ่ง C คือค่าคงที่มาตรฐาน

C มีค่าเท่ากับ 3 ตามกฎผลรวม 3 ตัว (Three Sigma)

การหาโครงสร้างพื้นหลัง ในทุกๆ วัตถุควรจะถูกเก็บโดยกล้อง สำหรับเสี้ยววินาทีและภาพสมบูรณ์จากกล้องจะแสดงพื้นหลังที่วิเคราะห์ได้

จากเทคนิคที่กล่าวมา สามารถเพิ่มความสามารถได้ โดยเริ่มแรก จัดหาตัวปรับความต่างของพื้นหลังเพื่อปรับแสง และพื้นหลังของฉาก เมื่อกล้องเคลื่อนที่ หรือมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านวัตถุหลัก

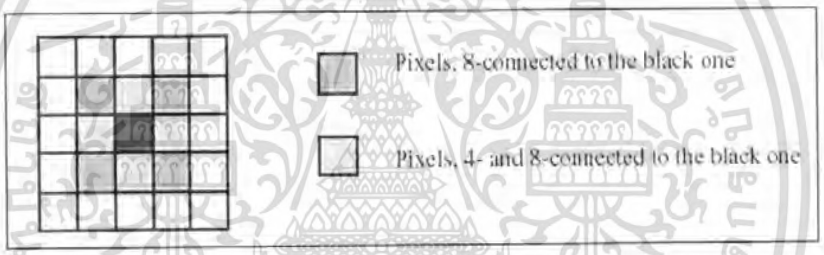
การเก็บสะสมค่าพื้นฐาน เพื่อการคำนวณค่ากลางของความสว่าง สามารถแทนที่ได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ย แม้ว่าเทคนิคต่างๆสามารถนำมาใช้ระบบส่วนที่มีการเคลื่อนไหวของฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแยกออก รวมถึงการตรวจจับและแทนที่ เช่น cvAbsDiff ด้วย cvThreshold แนวการมองของสายตา ความน่าจะเป็นต่างๆ และอื่นๆ

2.2.2 การหาเส้นรูปร่าง

จะเป็นการใช้ลำดับขั้นตอนของการทำงานเกี่ยวกับเรื่องเวคเตอร์ ซึ่งลำดับขั้นตอนของการทำงานที่ใช้หารูปร่างของแรสเตอร์อิมเมจ(raster image) ในการแปลงเป็นภาพขาวดำ (binary image) ภาพขาวดำคือ ภาพที่มีส่วนประกอบด้วย 0-พิกเซล ซึ่งก็คือ พิกเซลที่มีค่าเป็น 0 และ 1-พิกเซล ซึ่งก็คือ พิกเซลที่มีค่าเป็น 1 เท่านั้น เซตของ 0-พิกเซล หรือ 1-พิกเซลที่เชื่อมติดกันจะทำให้เกิด 0-(1-) คอมโพเนนท์ (0-(-1)Component) โดยปกติจะมีประเภทของการเชื่อมติดกัน 2 ชนิด นั่นก็คือ แบบ 4-คอนเนคทิวิตี(connectivity) และ 8-คอนเนคทิวิตี โดยกำหนดให้พิกเซล 2 พิกเซลอยู่ที่พิกัด (x', y') และ (x'', y'') จะเรียกว่าเป็นแบบ 4-คอนเนคทิวิตี ก็ต่อเมื่อ $|x' - x''| + |y' - y''| = 1$ และเป็นแบบ 8-คอนเนคทิวิตี ก็ต่อเมื่อ $\max(|x' - x''|, |y' - y''|) = 1$ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 รูปแบบการเชื่อมติดกันของพิกเซล

เมื่อใช้ความสัมพันธ์นี้ รูปจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนประกอบที่ไม่มีการทับซ้อนกันเป็นส่วนๆ 1-(0-) 4-คอนเนค (8-คอนเนค) ในแต่ละเซตจะประกอบไปด้วยพิกเซลที่มีค่าที่เท่ากัน ซึ่งก็คือ ทั้งหมดเป็นพิกเซลที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 และมีคู่ของพิกเซลที่อยู่ระหว่างจุดสองจุดของอีกเซต รูปส่วนประกอบต่างๆ จะมีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5 ลำดับชั้นของส่วนประกอบที่เชื่อมติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-คอมโพเนนท์ W1,W2 และ W3อยู่ภายในเฟรม (0-คอมโพเนนท์ B1) แสดงว่าถูกล้อมรอบด้วย B1

0-คอมโพเนนท์ B2 และ B3 อยู่ภายใน W1

1-คอมโพเนนท์ W5 และ W6 อยู่ภายใน B4 ซึ่งอยู่ภายใน W3 ดังนั้น 1-คอมโพเนนท์อยู่ภายใน W3 โดยตรง แต่ทั้ง W5 และ W6 ไม่ได้อยู่ติดกับส่วนอื่นที่แสดงว่ามันจะอยู่ระดับชั้นเดียวกันกับส่วนอื่น

ถ้าหากต้องการหลีกเลี่ยงความขัดแย้งที่เกิดจากโครงสร้าง 0-พิกเซลจะถือว่าเป็นพิกเซล 8-(4-) คอนเนค ในกรณีที่ 1-พิกเซล จะเกี่ยวข้องกับ 4-(8-) คอนเนค โดยจะสมมติว่าจากภาพนี้ 1-พิกเซลเป็น 8-คอนเนค และ0-พิกเซลเป็น 4-คอนเนค

จากการที่ 0-คอมโพเนนท์จะเสริมให้ 1-คอมโพเนนท์มีความสมบูรณ์และแยก 1-คอมโพเนนท์ให้ออกจากชิ้นส่วนอื่นที่ไม่ติดกันโอเพ่นซีวีไลบารี่จึงพิจารณาเพียงแค่ส่วนที่เป็นโครงสร้างในการศึกษาเท่านั้น ส่วนที่เป็น 0-พิกเซลจะถือว่าเป็นภาพพื้นหลัง ในส่วนของ 0-คอมโพเนนท์ที่ถูกล้อมรอบด้วย 1-คอมโพเนนท์โดยตรงก็จะเรียกว่า หลุมโฮลล์(hole) ของ 1-คอมโพเนนท์ จุดในเส้นขอบของ 1-คอมโพเนนท์ ก็คือพิกเซลใดๆที่อยู่ในส่วนนั้น และมี 4-คอนเนค เชื่อมกับ 0-พิกเซล เซตของจุดในเส้นขอบนั้นจะเรียกว่า เส้นขอบ(border)

ในแต่ละ 1-คอมโพเนนท์จะมี เส้นขอบภายนอก(outer border) ซึ่งจะแบ่งตัวเองออกจาก 0-คอมโพเนนท์ที่ล้อมรอบอยู่ และอาจจะมี เส้นขอบของหลุมโฮลล์(hole border) มากกว่า 1 หลุมโฮลล์ ที่แบ่งส่วนของ 1-คอมโพเนนท์ออกจาก 0-คอมโพเนนท์ที่อยู่รอบๆ จะเห็นได้ชัดว่าเส้นขอบภายนอกและเส้นขอบหลุมโฮลล์จะทำให้สามารถอธิบายรูปของส่วนประกอบนั้นได้จนครบ ดังนั้นเมื่อมีเส้นขอบทั้งหมดก็สามารถชี้ให้เห็นถึงเส้นรูปร่าง(contour) ของทุกๆ ชิ้นส่วนได้ ด้วยการเก็บข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับการจัดลำดับขั้นแทนด้วยการบีบอัดภาพของรูปไบนารีต้นแบบ

2.2.3 การแทนเส้นรูปร่าง

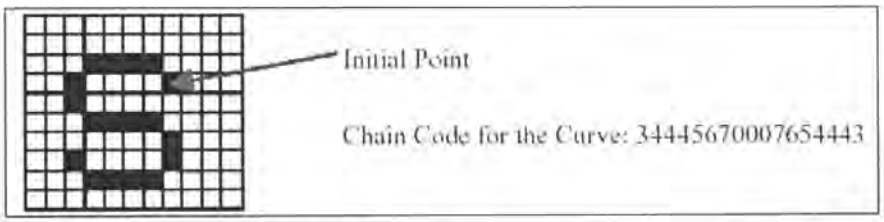
ไลบรารีของโอเพ่นซีวีใช้ 2 วิธีในการแทนเส้นรูปร่าง วิธีแรกจะเรียกว่า วิธีของฟรีแมน (Freeman method) หรือ สายโซ่รหัส ซึ่งจะแทนพิกเซลเพื่อนบ้านของพิกเซลหลักด้วยรหัสจาก 0-7 ดังภาพที่ 2.6

3	2	1
4		0
5	6	7

ภาพที่ 2.6 การแทนเส้นขอบด้วยวิธีของฟรีแมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลำดับของจุด 8-คอนเนค เส้นขอบจะถูกเก็บเป็นคู่อันดับจากจุดเริ่มต้นตามด้วยรหัสที่แสดงถึงตำแหน่งที่ตัวถัดไปมีความสัมพันธ์กับจุดปัจจุบัน ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเข้ารหัสด้วยวิธีของฟรีแมนจากส่วนประกอบที่อยู่ติดกัน

และอีกวิธีหนึ่งคือแทนด้วยเส้นหลายเหลี่ยมเมื่อเส้นโค้งถูกแทนด้วยลำดับของจุดของเส้นหลายเหลี่ยม แต่การแทนแบบนี้มักจะทำให้เกิดการก่อกวนอยู่บ่อยๆ

2.2.4 ลำดับขั้นตอนของการทำงานค้นหาเส้นขอบซ้ำ

ใช้ 4 ลำดับขั้นตอนของการทำงานในการหาเส้นรูปร่างตามลำดับ ดังนี้

1) ลำดับขั้นตอนของการทำงานในการหาเส้นรูปร่างภายนอกที่อยู่นอกสุดแล้วคืนค่าลิงก์ลิสต์ (link list) ออกมา จากภาพที่ 2.5 ก็คือเส้นขอบเขตของ W1, W2 และ W3

2) ลำดับขั้นตอนของการทำงานในการคืนค่าเส้นรูปร่างทั้งหมดเป็นลิงก์ลิสต์ จากภาพ 2.5 ก็คือ รูปร่าง 8 รูปร่างทั้งหมด

3) ลำดับขั้นตอนของการทำงานที่ใช้หาส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกัน โดยการสร้างเป็นระดับชั้น 2 ระดับ ก็คือ ในระดับบนเป็นขอบด้านนอกของส่วนพิกเซลที่เป็น 1-โดเมน (1-domain) และในระดับถัดมาจะเก็บเส้นขอบที่ติดต่อกับลิสต์ของหลุมโฮลล์ที่อยู่ในส่วนประกอบนั้นไว้ในส่วนหัว(Header) แล้วคืนค่าออกมา ในลิสต์นั้นจะสามารถถูกเข้าหาได้ด้วย v_next จากส่วนหัวของเส้นรูปร่างภายนอก จากภาพที่ 2.5 จะพบว่า W2, W5 และ W6 ไม่มีหลุมโฮลล์ภายในนั้น ส่วนหัวของเส้นรูปร่างภายนอกจึงไม่มีลิสต์ของเส้นรูปร่างหลุมโฮลล์ ในขณะที่ W1 มี 2 หลุมโฮลล์ ส่วนหัวของเส้นรูปร่างภายนอกจึงมีลิสต์ของเส้นรูปร่างหลุมโฮลล์ทั้ง 2 หลุม และ W3 ส่วนหัวของเส้นรูปร่างภายนอกจะมีลิสต์ของเส้นรูปร่างหลุมโฮลล์เพียงหลุมเดียว

4) ลำดับขั้นตอนของการทำงานที่ 4 นี้จะคืนค่าทรีของลำดับชั้น(hierarchical tree) ของเส้นรูปร่างทั้งหมดที่ประกอบไปด้วยลิสต์ของเส้นรูปร่างที่ล้อมรอบไปด้วยเส้นรูปร่างอื่นโดยตรง เช่น เส้นหลุมของ W3 มีลูก 2 ตัวคือ เส้นรูปร่างภายนอกของ W5 และ W6

จากลำดับขั้นตอนของการทำงานทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะทำกับรูปภาพเพียงครั้งเดียวเท่านั้น แต่ว่าก็ยังมีอินสแตนท์(Instance) ที่ต้องการผ่านกระบวนการมากกว่า 1 ครั้ง จึงควรใช้ลำดับขั้นตอนของการทำงานกระทำแบบบรรทัดต่อบรรทัด อย่างไรก็ตามลำดับขั้นตอนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานอาจจะพบกับจุดที่อยู่บนเส้นใหม่ กระบวนการหาเส้นขอบก็จะบรรจุเส้นขอบใหม่ลงในสายโซ่ ในขณะที่ดำเนินกระบวนการหาเส้นขอบทำเครื่องหมายบนจุดที่ผ่านมาแล้วด้วยค่าลบหรือบวกพิเศษ ถ้ามีเพื่อนบ้านทางด้านขวาของจุดที่พิจารณาอยู่เป็น 0-พิกเซล ก็จะทำเครื่องหมายบนจุดนี้เป็นค่าลบ ในทางกลับกันถ้าไม่ใช่ 0-พิกเซล ก็จะทำเครื่องหมายเป็นค่าบวก ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการระบุเส้นขอบที่ถูกตัดผ่านหรือสัมผัสกับเส้นขอบอื่น ซึ่งลำดับขั้นตอนของการทำงานที่หนึ่งและที่สองจะใส่เครื่องหมายให้กับรูปร่างด้วยค่าเดียวกัน และในลำดับขั้นตอนของการทำงานที่สามและที่สี่จะเป็นตัวระบุชื่อให้กับรูปร่างแต่ละส่วนซึ่งจะใช้ในจับตัวแพเรนท์(parent) ของการเจอเส้นขอบใหม่ๆ

2.2.5 การค้นหาขอบภาพ (Edge Detection)

การค้นหาขอบของภาพ คือ การหาเส้นรอบรูปที่เกิดจากความสว่างของภาพที่เปลี่ยนไปทันที โดยดูจากขนาดหรืออัตราการเปลี่ยนขนาด การหาขอบภาพสามารถแบ่งออกได้ 4 กลุ่ม คือ การสร้างกรอบอย่างง่ายเพื่อหาขอบของวัตถุ การเปลี่ยนแปลงโดยประมาณค่าของเกรเดียนต์ การเปลี่ยนแปลงโดยใช้เทมเพลตที่มีทิศทาง และการเปลี่ยนแปลงที่ใช้ความหนาแน่นของโมเดลของขอบที่เป็นพาราเมตริก ตัวอย่างวิธีการหาขอบภาพได้แก่

2.2.5.1 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Method)

วิธีการในการค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง(Gradient Method) สำหรับการตรวจจับขอบของภาพมีหลักการ คือ บริเวณขอบของวัตถุในภาพ มักจะมีค่าเกรเดียนต์ที่สูง การพิจารณาเฉพาะขนาดของเกรเดียนต์ โดยจะทำการกำหนดค่าขีดแบ่ง (Threshold) ด้วยค่า T ถ้า $|\nabla P| < T$ จะเป็นขอบ

การทำตัวดำเนินการเกรเดียนต์(Gradient Operator) นี้ทำโดยการหาอนุพันธ์ตามแนวแกน x และแกน y ของภาพแล้วนำมาคำนวณหาขนาด ดังสมการต่อไปนี้

$$\nabla P = \hat{i}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} \qquad [7]$$

$$|\nabla P| = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial y}\right)^2} \qquad [8]$$

ดังนั้น จะทำการตรวจจับขอบเมื่อ $|\nabla P| > T$ โดยที่ T คือ ค่าคงที่

การหาอนุพันธ์ตามแนวแกน x และแกน y ของภาพนั้นสามารถทำได้โดยการใช้ Mask ขนาด 3×3 คูณกับภาพ และ Mask ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ Mask ดังภาพที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(b)

ภาพที่ 2.8 (a) Mask ที่ใช้ในการคำนวณ $\frac{\partial P}{\partial x}$ (b) Mask ที่ใช้ในการคำนวณ $\frac{\partial P}{\partial y}$

2.2.5.2 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง (Laplacient Method)

วิธีการในการค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง(Laplacient Method) เปรียบได้กับการหาอนุพันธ์อันดับ 2 ของภาพเพื่อใช้ในการตรวจจับขอบขอบภาพ โดยภาพที่ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับ 2 บริเวณที่เป็นส่วนขอบจะเห็นได้ชัดขึ้น จากหลักการเดียวกันวิธีการในการค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง เราจะทำการประมาณค่าของ $\nabla^2 P$ โดยใช้ Mask ตามภาพที่ 2.8 (a) และ (b) โดยตำแหน่งของขอบ ก็คือค่า Zero Crossing ของ $\nabla^2 P$ ซึ่งการทำตัวดำเนินการลาปลาเซียน(Laplacian Operator) นี้ก็ทำโดยการหาอนุพันธ์อันดับ 2

$$\nabla^2 P = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \quad ; \text{เมื่อ } \nabla^2 P \text{ คือ Laplacian Image} \qquad [9]$$

ในการค้นหาขอบภาพ โดยใช้ตัวดำเนินการลาปลาเซียนนี้ ที่บริเวณขอบจะมีตำแหน่งเดียวกับ Zero Crossing ของ $\nabla^2 P$ (ตำแหน่งที่พิกเซลของ $\nabla^2 P$ เปลี่ยนจาก + เป็น - หรือจาก - เป็น +)

2.2.5.3 การค้นหาขอบภาพด้วยแคนนี (Canny Edge Detection)

ขั้นตอนการค้นหาขอบภาพโดยวิธีของแคนนี ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน เริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ(Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง คำนวณค่าขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าของ Non-maxima Suppression กับค่าขนาดของเกรเดียนต์เพื่อทำให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งสองระดับ (Double Thresholding) เพื่อระบุค่าของพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การปรับภาพให้เรียบ

ขั้นตอนแรกการค้นหาขอบโดยอัลกอริธึมของแคนนี ต้องกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ออกก่อน ด้วยวิธีการใช้ตัวกรองเกาส์เซียน(Gaussian) กำหนดกรอบ(Masks) เป็นเมตริกซ์ขนาด 3×3 หรือมีขนาดเท่ากับ 9 พิกเซล การกำหนดขนาดของตัวกรองเกาส์เซียนหากมีขนาดกว้างมาก จะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก ถ้าขนาดกรอบกว้างมากเกินไปมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดหายไป ผลของภาพที่ผ่านการปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองเกาส์เซียนหาได้จากสมการ

$$S_{(i,j)} = G_{(i,j,\sigma)} \cdot I_{(i,j)} \qquad [10]$$

กำหนดให้

$I_{(i,j)}$ คือ ภาพที่ต้องการหาขอบ

$G_{(i,j,\sigma)}$ คือGaussian Smoothing Filter

σ คือควบคุมระดับของการปรับภาพให้เรียบ

- การคำนวณค่าของเกรเดียนต์

ขั้นแรกปรับภาพ $I_{(i,j)}$ ให้มีความเรียบผลลัพธ์ที่ได้คือค่าของภาพในฟังก์ชัน $S_{(i,j)}$ ขั้นตอนที่สอง การหาค่าของเกรเดียนต์ ในทิศทางของแกน x และแกน y และกำหนดขนาดของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ $P_{x(i,j)}$ และ $Q_{y(i,j)}$ ตามลำดับ ดังสมการต่อไปนี้

$$P_{x_{(i,j)}} \approx \frac{S_{(i,j+1)} - S_{(i,j)} + S_{(i+1,j+1)} - S_{(i+1,j)}}{2} \qquad [11]$$

$$Q_{y_{(i,j)}} \approx \frac{S_{(i,j)} - S_{(i+1,j)} + S_{(i,j+1)} - S_{(i+1,j+1)}}{2} \qquad [12]$$

นำค่า $P_{x(i,j)}$ และ $Q_{y(i,j)}$ ที่ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งเมื่อคำนวณการแปลงรูปแบบจากระนาบของระบบพิกัดฉาก(Rectangular Form) ไปเป็นระนาบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Form) เพื่อหาขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ แทนค่าตามสมการ เพื่อหาค่าขนาดเกรเดียนต์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_{(i,j)} = \sqrt{P^2_{x\,(i,j)} + Q^2_{y(i,j)}} \qquad [13]$$

และทิศทางของเกรเดียนต์(Gradient Orientation) จะเท่ากับ

$$\theta_{(i,j)} = \tan^{-1}(P^2_{x\,(i,j)} + Q^2_{y(i,j)}) \qquad [14]$$

และสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชั่น

$$\theta = \tan^{-1}(x, y) \qquad [15]$$

- **Non-maxima Suppression**

การค้นหาขอบภาพด้วยวิธีการของแคนนี จุดที่ถือเป็นเส้นขอบของภาพได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับเกรเดียนต์ การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่งทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Non-maxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น local Maxima Point ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

- **การกำหนดค่าขีดแบ่ง**

แม้ว่าภาพจะผ่านการปรับภาพให้เรียบ(Smoothing) ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่ อันเนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่าขีดแบ่งขึ้นมา 2 ค่าคือ ค่าขีดแบ่งสูง(High Threshold : T_1) และค่าขีดแบ่งต่ำ(Low Threshold : T_2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T_1 จะถูกปรับเป็น '1' เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ แต่ถ้าน้อยกว่า T_2 จะถูกปรับเป็น '0' ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสอง การปรับเป็นค่า '0' หรือ '1' นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ขอบค่า > T_1) มีค่ามากกว่า T_2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น '1' และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน ดังนั้นการกำหนดค่าขีดแบ่งจะทำให้ภาพที่มีขอบหนาหรือบางนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ค่าความถี่สี

ค่าความถี่เป็นการประมาณแบบไม่ต่อเนื่องของตัวแปรสุ่มตามระดับความน่าจะเป็น ซึ่งตัวแปรต่างๆนี้อาจจะเป็นตัวแปรแบบสเกลาร์(Scalar) หรือเวคเตอร์(Vector) ก็ได้ กราฟค่าความถี่สีถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการประมวลผลรูปภาพ และคอมพิวเตอร์วิชั่น (computer vision) เช่นค่าความถี่สี 1 มิติจะมีประโยชน์ในด้านต่างๆดังนี้

- การปรับปรุงภาพสีเทา
- ระบุระดับค่าขอบเขตที่เหมาะสม
- เลือกสีผ่านความสว่างของกราฟค่าความถี่สี (hue histogram)

กราฟค่าความถี่สี 2 มิติมีประโยชน์ดังนี้

- วิเคราะห์และแบ่งสีรูปภาพ และการปรับแสง
- วิเคราะห์และแบ่งพื้นที่การเคลื่อนไหว (motion field)
- วิเคราะห์รูปร่างหรือลวดลายพื้นผิว (texture)

ในการใช้ค่าความถี่สีแต่ละแบบ ใช้ฟังก์ชัน CvHistogram

2.2.7 ฟังก์ชันของภาพ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการจัดการกับภาพแบบแรสเตอร์ (raster)

ไลบรารีของโอเพ่นซีวีจะใช้รูปแบบของภาพเป็น IplImage ซึ่งมาจาก Intel® Image Processing Library (IPL)

ตัวอย่างที่ 2.1 นิยามโครงสร้างของ IplImage

```
typedef struct _IplImage {
  int nSize; /* size of iplImage struct */
  int ID; /* image header version */
  int nChannels;
  int alphaChannel;
  int depth; /* pixel depth in bits */
  char colorModel[4];
  char channelSeq[4];
  int dataOrder;
  int origin;
  int align; /* 4- or 8-byte align */
  int width;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

82770

```
int height;
struct _IplROI *roi; /* pointer to ROI if any */
struct _IplImage *maskROI; /*pointer to mask ROI if any */
void *imageId; /* use of the application */
struct _IplTileInfo *tileInfo; /* contains information on tiling */
int imageSize; /* useful size in bytes */
char *imageData; /* pointer to aligned image */
int widthStep; /* size of aligned line in bytes */
int BorderMode[4]; /* the top, bottom, left,
and right border mode */
int BorderConst[4]; /* constants for the top, bottom,
left, and right border */
char *imageDataOrigin; /* ptr to full, nonaligned image */
} IplImage;
```

จากตัวอย่างด้านบน width และ height จะเก็บค่าความกว้างและความสูงของรูปภาพเป็นแบบพิกเซล ส่วน dept จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของค่าพิกเซล

โดยที่ค่าที่เป็นไปได้ของ dept ในไฟล์ส่วนหัว ipl.h ประกอบไปด้วย

IPL_DEPTH_8U - ค่าจำนวนเต็ม 8-บิต แบบไม่มีเครื่องหมาย (unsigned char)

IPL_DEPTH_8S - ค่าจำนวนเต็ม 8-บิต แบบมีเครื่องหมาย (signed char หรือ char)

IPL_DEPTH_16S - ค่าจำนวนเต็ม 16-บิต แบบมีเครื่องหมาย (short int)

IPL_DEPTH_32S - ค่าจำนวนเต็ม 32-บิต แบบมีเครื่องหมาย (int)

IPL_DEPTH_32F - ค่าจำนวนจริงด้วยเลขทศนิยมแบบความละเอียดปกติ 32-บิต (float)

จากค่าที่เป็นไปได้ข้างต้น ค่าที่มีความสอดคล้องกันในภาษา C จะปรากฏอยู่ในวงเล็บ ในส่วนพารามิเตอร์ nChannels หมายถึงจำนวนระดับของสีในภาพ โดยที่ในภาพขาวดำจะมีเพียงช่อง(Channel) เดียว หรือระดับสีเดียว ในขณะที่ภาพสีส่วนใหญ่จะมี 3 หรือ 4 ช่อง ต่อมา origin จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าตำแหน่งบนของภาพ(origin = IPL_ORIGIN_TL) หรือตำแหน่งล่างของภาพ(origin=IPL_ORIGIN_BL) จะเป็นจุดเริ่มต้น ส่วนพารามิเตอร์ dataOrder บ่งชี้ว่าระดับของสีในภาพเป็นแบบผสม(dataorder = IPL_DATA_ORDER_PIXEL) หรือเป็นแบบแยก (dataorder = PL_DATA_ORDER_PLANE) พารามิเตอร์ widthStep เก็บจำนวนไบต์(byte) ระหว่างจุดในคอลัมน์เดียวกันและแถวที่ติดกัน พารามิเตอร์ width นั้นไม่เหมาะจะนำมาใช้คำนวณหาระยะห่าง เนื่องจากในแต่ละแถวอาจจะเรียงตัวโดยมีจำนวนไบต์คงที่ เพื่อให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของภาพที่เร็วขึ้น ทำให้อาจจะมีช่องว่างระหว่างส่วนท้ายของแถวที่ i และส่วนต้นของแถวที่ i+1 ส่วนต่อมาคือพารามิเตอร์ imageData จะเก็บตัวชี้(pointer) ชี้ไปที่แถวแรกของข้อมูลรูปภาพ ถ้ามีภาพที่แยกกันหลายระดับ(เมื่อ dataorder = IPL_DATA_ORDER_PLANE) มันจะถูกเก็บเป็นลำดับแบบแยกภาพกัน ด้วยจำนวนแถวรวมเป็น height*nChannels

มีความเป็นไปได้ที่จะเลือกบางส่วนของภาพเท่านั้นเป็นรูปแบบของสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือ บางระดับสีของภาพหรือทั้งสองอย่าง และจะทำงานกับเฉพาะส่วนนี้เท่านั้น ส่วนของสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เลือกเรียกว่า รีเจี้ยนออฟอินเทอร์เรส (Region of Interest) หรือ อาร์โอไอ (ROI) โครงสร้างของ IplImage จะมีอาร์โอไอ(ROI) ซึ่งถ้าตัวชี้ไม่เป็นค่าว่าง(NULL) มันจะชี้ไปที่โครงสร้างของ IplROI ซึ่งจะเก็บพารามิเตอร์ของอาร์โอไอที่เลือก ไม่เช่นนั้นส่วนที่เลือกจะถือว่าเป็นทั้งภาพ

ตัวอย่างที่ 2.2 นิยามโครงสร้างของ IplROI

```
typedef struct _IplROI {
    int coi; /* channel of interest or COI */
    int xOffset;
    int yOffset;
    int width;
    int height;
} IplROI;
```

จากตัวอย่าง IplROI จะมีจุดเริ่มต้นและขนาดของอาร์โอไอเช่นเดียวกับการระบุซีโอไอ (“Channel of Interest”) ในส่วนของซีโอไอ ถ้าเท่ากับ 0 จะหมายถึงทุกช่องสีของภาพถูกเลือก ไม่เช่นนั้นมันจะระบุเฉพาะที่เลือกไว้

โอเพ่นซีวีนั้นไม่เหมือนกับ IPL ทั้งหมด แต่จะสนับสนุนบางส่วนของ IplImage เท่านั้น

- ในแต่ละฟังก์ชันจะสนับสนุนเฉพาะบางระดับ และ/หรือ บางจำนวนของช่องสีเท่านั้น เช่น ฟังก์ชันทางสถิติของภาพจะสนับสนุนเฉพาะที่เป็น 1 หรือ 3 ช่องสีภาพของความลึก ซึ่งก็คือ IPL_DEPTH_8U, IPL_DEPTH_8S หรือ IPL_DEPTH_32F เท่านั้น
- โอเพ่นซีวีจะสนับสนุนเฉพาะภาพแบบผสม ไม่เป็นแบบแยก
- ในส่วนของ colorModel, channnelSeq, BorderMode และ BorderConst จะไม่ถูกพิจารณา
- align จะไม่ถูกพิจารณา และ widthStep จะนำมาใช้แทนการคำนวณซ้ำตัวมันเอง โดยการใช้ width และ align
- maskROI และ tileInfo ต้องเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การสนับสนุน COI นั้นค่อนข้างมีข้อจำกัด เฉพาะฟังก์ชันทางสถิติของภาพเท่านั้นที่สามารถรองรับค่าที่ไม่เป็น 0 ของ COI โดยใช้ฟังก์ชัน CvtPixToPlane และ CvtPlaneToPix
- ROI ของทุกๆ ภาพ ทั้งข้อมูลเข้าและออก ต้องเข้ากันกับภาพอื่น 1 ภาพ เช่น ภาพที่เป็นข้อมูลเข้าและออกของฟังก์ชัน Erode จะต้องมี ROI ที่มีขนาดเท่ากัน

ทั้งๆที่มีข้อจำกัด แต่โอเพ่นซีวีนั้นยังถือว่าสนับสนุนรูปแบบที่ใช้ส่วนใหญ่ที่สนับสนุนโดย IplImage ดังนั้น จึงสามารถนำมาใช้กับ IPL ได้กับรูปแบบปกติของ IplImage

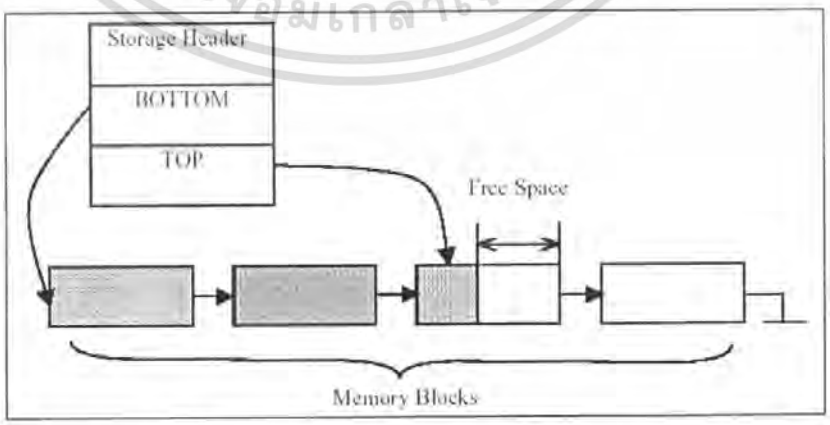
ฟังก์ชันที่จะอธิบายในบทนี้ส่วนใหญ่จะเป็นทางลัดในการสร้าง ทำลาย และการทำงานปกติอื่นๆ บน IplImage ซึ่งมันจะครอบคลุมฟังก์ชันของ IPL

2.2.8 โครงสร้างข้อมูลแบบไดนามิก

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างของข้อมูลที่เปลี่ยนขนาดได้ และฟังก์ชันพื้นฐานที่ออกแบบมาเพื่อทำโครงสร้างเหล่านี้

2.2.8.1 ตัวเก็บหน่วยความจำ

ตัวเก็บหน่วยความจำจะมีพื้นที่สำหรับเก็บโครงสร้างข้อมูลแบบไดนามิค ตัวเก็บจะประกอบไปด้วยตัวส่วนหัว(header) และดับเบิลลิงค์ลิสต์(double-link list) ของบล็อก (block) ของหน่วยความจำ ลิสต์นี้จะเปรียบเสมือนสแต็ค(stack) คือ ในส่วนของส่วนหัวจะเก็บตัวชี้ที่ชี้ไปยังบล็อกที่ไม่ได้ถูกยึดครอง และค่าจำนวนเต็มซึ่งเป็นจำนวนของไบต์ในบล็อกนั้น เมื่อพื้นที่ที่ว่างในบล็อกนั้นหมดตัวชี้จะถูกเลื่อนไปยังบล็อกถัดไปถ้ามีไม่เช่นนั้นมันจะสร้างบล็อกใหม่ที่มีขนาดเดียวกัน และดังนั้น วิธีการนี้จะทำให้แน่ใจว่าการจัดสรรหน่วยความจำให้นั้นมีความแน่นอนถูกต้อง และช่วยให้หลีกเลี่ยงการเกิดการเสียหน่วยความจำไปอย่างเปล่าประโยชน์ ถ้าบล็อกมีขนาดใหญ่ (ดูภาพที่ 2.9)

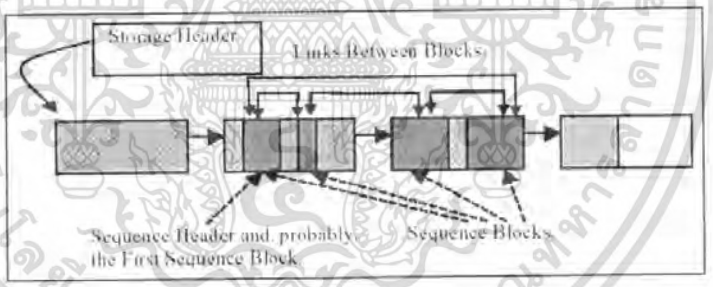


ภาพที่ 2.9 การจัดระบบของตัวเก็บหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8.2 ลำดับ

ลำดับ คือ อาร์เรย์ที่ปรับขนาดได้ขององค์ประกอบประเภทแบบสุ่มซึ่งอยู่ในตัวเก็บหน่วย ความจำลำดับนั้นจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ลำดับข้อมูลสามารถจะอยู่ต่างบล็อกข้อมูลกัน ลำดับของบล็อกจะเชื่อมต่อกับดับเบิ้ลลิงค์ลิสต์แบบวงกลม เพื่อเก็บลำดับขนาดใหญ่ในหลายๆ บล็อกของหน่วยความจำ หรือเก็บลำดับขนาดเล็กหลายๆ บล็อกใน 1 บล็อกหน่วยความจำ ยกตัวอย่างเช่น การจัดระบบเช่นนี้จะเหมาะกับการเก็บเส้นขอบ การทำลำดับจะมีการใช้ฟังก์ชันที่มีความเร็วในการทำมาใช้สำหรับเพิ่ม/ลบองค์ประกอบให้/จากส่วนหัวและส่วนท้ายของลำดับ ฟังก์ชันสำหรับการเพิ่ม/ลบ องค์ประกอบในส่วนกลางของลำดับนั้นก็สามารถทำได้แต่จะทำได้ช้ากว่า ลำดับเป็นสิ่งพื้นฐานสำหรับโครงสร้างข้อมูลแบบไดนามิคอื่นๆ เช่น เซต(set), กราฟ(graph) และเส้นขอบ(contour) ซึ่งเหมือนกับประเภทเหล่านี้ ลำดับจำไม่มีการคืนหน่วยความจำที่ถูกยึดครองแล้วให้กับตัวเก็บ อย่างไรก็ตาม ลำดับจะติดตามหน่วยความจำที่ถูกปล่อยกลับมาหลังจากองค์ประกอบได้ถูกลบออกจากลำดับแล้ว หน่วยความจำนี้จะถูกใช้ซ้ำ ในการคืนหน่วยความจำให้กับตัวเก็บ ผู้ใช้อาจจะลบทั้งตัวเก็บ หรือฟังก์ชันสร้างจุดในการจัดเก็บหรือฟังก์ชันสร้างจุดในการฟื้นฟูหรือเก็บข้อมูลชั่วคราวในตัวเก็บลูก



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของลำดับ

2.2.8.3 การเขียนและการอ่านลำดับ

ถึงแม้ว่าฟังก์ชันและแมโคร(macro) ที่จะอธิบายต่อจากนี้จะไม่สัมพันธ์กับทฤษฎี เพราะฟังก์ชันอย่างเช่น SeqPush และ GetSeqElem อนุญาตให้ผู้ใช้เขียนลำดับและอ่านมันได้ ฟังก์ชันการเขียน/อ่าน และแมโครนั้นมีความสำคัญในทางปฏิบัติ เพราะความรวดเร็วของมัน

ปัญหาต่อไปนี้เป็นการให้ตัวอย่าง ถ้าเป้าหมายคือการสร้างฟังก์ชันซึ่งสามารถสร้างลำดับจากค่าที่ทำการสุ่มมา N ตัวได้ แบบแรก การใส่ค่า(PUSH) สามารถเขียนได้ดังนี้

```
CvSeq* create_seq1( CvStorage* storage, int N ) {
    CvSeq* seq = cvCreateSeq( 0, sizeof(*seq), sizeof(int), storage);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        for( int i = 0; i < N; i++ ) {
            int a = rand();
            cvSeqPush( seq, &a );
        }
    return seq;
    }
```

แบบที่ 2 ใช้แบบแผนการเขียนที่รวดเร็ว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ กำหนดค่าเริ่มต้นของขั้นตอนการเขียน(สร้างตัวที่ใช้เขียน), เขียน, ปิดตัวที่ใช้เขียน(flush)

```
    CvSeq* create_seq1( CvStorage* storage, int N ) {
        CvSeqWriter writer;]
        cvStartWriteSeq( 0, sizeof(*seq), sizeof(int), storage, &writer );
        for( int i = 0; i < N; i++ ) {
            int a = rand();
            CV_WRITE_SEQ_ELEM( a, writer );
        }
    return cvEndWriteSeq( &writer );
    }
```

ถ้า N = 100000 และ ใช้หน่วยประมวลผลกลางเป็น Pentium® III 500 MHz ในแบบแรกจะใช้เวลา 230 มิลลิวินาที และแบบที่ 2 ใช้เวลา 111 มิลลิวินาที เพื่อให้งานเสร็จโดยสมมติว่าตัวเก็บมีจำนวนบล็อกเพียงพอแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีการสร้างบล็อกใหม่ การเปรียบเทียบอันใหม่กับลูปง่ายๆ ที่ไม่มีการใช้ลำดับในแนวคิดว่ามันมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพมากแค่ไหน

```
    int* create_seq3( int* buffer, int N ) {
        for( i = 0; i < N; i++ ) {
            buffer[i] = rand();
        }
    return buffer;
    }
```

ฟังก์ชันนี้ใช้เวลา 104 มิลลิวินาที เพื่อให้งานเสร็จโดยใช้เครื่องๆ เดียวกัน โดยทั่วไปแล้ว ลำดับจะไม่มีผลกระทบมากกับการทำงาน และความแตกต่างก็ไม่เป็นที่สำคัญ (น้อยกว่า 7% ในตัวอย่างข้างต้น) อย่างไรก็ตามข้อดีของลำดับคือ ผู้ใช้สามารถทำข้อมูลเข้าหรือข้อมูลออกได้ถึงแม้ว่าจะไม่ทราบจำนวนรวมก่อน โครงสร้างนี้ทำให้ผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจัดสรรหน่วยความจำได้ซ้ำๆ อีกปัญหาหนึ่งก็คือ การใช้ลิสต์ ซึ่งลำดับจะเร็วกว่าและใช้หน่วยความจำน้อยกว่า

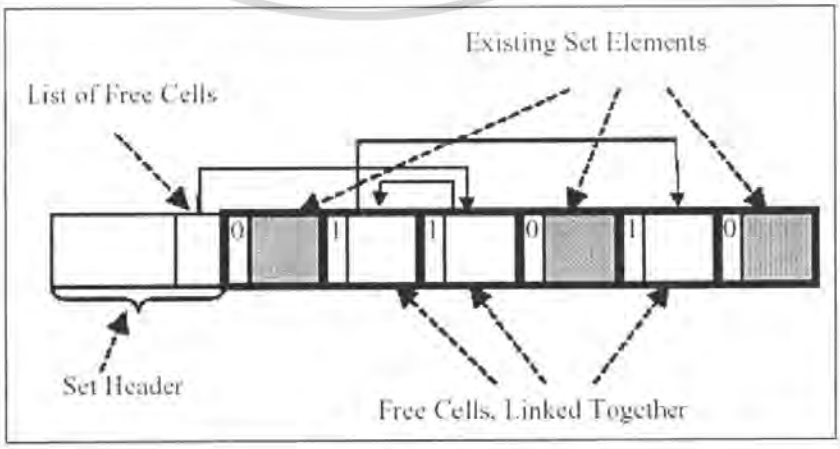
2.2.8.4 เซต

โครงสร้างของเซตส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับลำดับ แต่จะมีจุดประสงค์ที่ต่างกันโดยสิ้นเชิง เช่น ผู้ใช้ไม่สามารถใช้ลำดับในการหาตำแหน่งองค์ประกอบของโครงสร้างไดนามิคที่มีการเชื่อม ต่อระหว่างกันได้เพราะถ้ามีองค์ประกอบหนึ่งถูกลบออกไปจากส่วนกลางของลำดับ องค์ประกอบของลำดับตัวอื่นๆ จะถูกย้ายไปที่อื่นและที่อยู่ของมันก็จะเปลี่ยนไป ในกรณีนี้การเชื่อมโยงทั้งหมดจะต้องมีการซ่อมอีกครั้ง อีกลักษณะหนึ่งของปัญหานี้ก็คือ การลบองค์ประกอบจากส่วนกลางของลำดับนั้นทำได้ช้า ด้วยความซับซ้อน O(n) โดยที่ n คือจำนวนขององค์ประกอบในลำดับ

การแก้ปัญหาปรากฏอยู่ในรูปของการสร้างโครงสร้างหลวมๆ(Structure sparse) และโครงสร้างแบบไม่เรียงลำดับ(unordered) หมายความว่า เมื่อองค์ประกอบได้ถูกลบออกไปองค์-ประกอบอื่นๆต้องอยู่ในที่มันเคยอยู่ในขณะที่เซลล์(cell) ก่อนหน้านี้ที่ถูกยึดครองโดยองค์ประกอบ นั้นถูกเพิ่มเข้าไปในพูล(pool) ของ 3 เซลล์ เมื่อมีการเพิ่มองค์ประกอบตัวใหม่เข้ามาในโครงสร้างเซลล์ที่ยังว่างอยู่จะใช้ในการเก็บองค์ประกอบนี้ เซตจะมีการทำงานตามแบบนี้

เซตนั้นจะคล้ายกับลิสต์แต่ยังไม่มีการเชื่อมโยงกันระหว่างองค์ประกอบของโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้เป็นอิสระในการสร้างและเก็บลิสต์เหล่านี้ ถ้าต้องการเซตนั้นจะถูกทำให้เหมือนเป็นส่วนหนึ่งของลำดับ เซตใช้องค์ประกอบของลำดับเหมือนกับเป็นเซลล์และจัดระบบลิสต์ของเซลล์ที่เป็นอิสระ

จากภาพที่ 2.11 สำหรับตัวอย่างของเซต เพื่อความง่ายในการเข้าใจ ภาพจะไม่แสดงการแบ่ง ลำดับ/เซต ออกเป็นบล็อกของหน่วยความจำ และบล็อกของลำดับ



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของเซตจะทั้งปรากฏอยู่และเป็นอิสระ และเป็นองค์ประกอบของลำดับ บิตพิเศษจะบ่งชี้ว่าองค์ประกอบของเซตนั้นมีอยู่หรือไม่ ในแผนภาพด้านบนบิต 1 เป็นอิสระ บิต 0 คือถูกยึดครองแล้ว แมโคร CV_IS_SET_ELEM_EXISTS(set_elem_ptr) ใช้บิตพิเศษนี้เพื่อคืนค่าที่ไม่ใช่ 0 ถ้าองค์ประกอบเซตระบุโดยพารามิเตอร์ set_elem_ptr เป็นของเซต และ คืนค่า 0 ถ้าเป็นในกรณีอื่น

ตัวอย่างที่ 2.3 นิยามโครงสร้างของ CvSet

```
#define CV_SET_FIELDS() \
CV_SEQUENCE_FIELDS() \
CvMemBlock* free_elems;
typedef struct CvSet{
    CV_SET_FIELDS()
}CvSet;
```

พูดง่ายๆ ก็คือ เซตเท่ากับลำดับบวกกับลิสต์ของเซลล์ที่เป็นอิสระ วิธีการในการทำงานเกี่ยวกับเซตมี 2 อย่างคือ

1) ใช้ดัชนีสำหรับการอ้างถึงองค์ประกอบของเซตภายในลำดับ
2) ใช้ตัวชี้สำหรับจุดประสงค์เดียวกัน

ถึงแม้ว่าวิธีการแบบตัวชี้จะเร็วกว่าเพราะมันไม่ต้องมีการหาองค์ประกอบเซตด้วยดัชนีของมัน ซึ่งทำในวิธีเดียวกับลำดับทั่วไป แต่ว่าในบางครั้งวิธีการแรกจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า การตัดสินใจว่าจะใช้วิธีไหนในกรณีต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับเหตุผลต่างๆ ดังนี้

1) ประเภทของการทำงานที่จะทำกับเซต
2) วิธีการทำงานของเซตที่ควรทำ

วิธีการที่เซตถูกสร้างและองค์ประกอบใหม่เพิ่มขึ้นในเซตที่มีอยู่นั้นเหมือนกันไม่ว่าจะใช้วิธีไหน ข้อแตกต่างอย่างเดียวก็คือ วิธีการที่องค์ประกอบถูกลบออกไปจากเซต ผู้ใช้สามารถใช้ทั้ง 2 วิธีในการเข้าถึงพร้อมๆ กันก็ได้ ถ้าผู้ใช้มีหน่วยความจำเพียงพอสำหรับเก็บทั้งดัชนีและตัวชี้

ผู้ใช้อาจสร้างเซตด้วยองค์ประกอบของประเภทแบบสุ่มและระบุขนาดเป็นเท่าใดก็ได้ให้กับส่วนหัวเช่นเดียวกับลำดับ ภายใต้การควบคุมดังนี้

1) ขนาดของส่วนหัว ไม่สามารถน้อยกว่า sizeof(CvSet)
2) ขนาดองค์ประกอบของเซตควรที่จะสามารถแบ่งเป็น 4 ส่วนได้แล้วไม่เล็ก กว่า 8 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลของการควบคุมอย่างหลังคือการจัดระบบเซตภายใน ถ้าเซตมีเซลล์ที่เป็นอิสระอยู่ ในส่วน 4 ไบต์แรกขององค์ประกอบเซตนี้จะใช้เป็นตัวชี้ ชี้ไปยังเซลล์ที่เป็นอิสระตัวต่อไป ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถติดตามเซลล์ที่เป็นอิสระได้ทั้งหมด ในส่วน 4 ไบต์ถัดมาจะเก็บเซลล์ที่จะส่งคืนเมื่อเซลล์ถูกยึดครอง

เมื่อผู้ใช้ลบองค์ประกอบของเซตออกในขณะที่ทำอยู่ในส่วนของดัชนี ดัชนีขององค์ประกอบที่ถูกลบจะถูกส่งและเก็บในเซลล์ที่ถูกปล่อยอีกครั้ง บิตทำการระบุเมื่อองค์ประกอบที่เป็นของเซตนั้นสำคัญน้อยสุดของ 4 ไบต์แรก นี่เป็นเหตุผลว่าทำไมองค์ประกอบทั้งหมดต้องมีขนาดของมันที่หารด้วย 4 ลงตัว ในกรณีนี้มันจะเรียงตัวแบบมีขอบเขตเท่ากับ 4 ไบต์ ดังนั้นบิตที่สำคัญน้อยสุดต้องมีค่าเป็น 0 เสมอ

ในเซตที่เป็นอิสระบิตที่เหมือนกันจะถูกเซตเป็น 1 และในกรณีที่ต้องการที่อยู่จริงของเซลล์ที่เป็นอิสระอันต่อไปฟังก์ชันจะซ่อนบิตนี้ ในทางกลับกันถ้าเซลล์ถูกยึดครองอยู่บิตที่เหมือน กันจะเท่ากับ 0 ซึ่งเป็นข้อบังคับข้อที่ 2 และข้อสุดท้าย บิตที่สำคัญน้อยสุดในส่วนของ 4 ไบต์แรก ขององค์ประกอบเซตต้องเป็น 0 ไม่เช่นนั้นเซลล์ที่เหมือนกันจะถือว่าเป็นอิสระ ถ้าองค์ประกอบของเซตเป็นตามข้อบังคับนี้ เช่น ถ้าส่วนแรกขององค์ประกอบเซตนั้นชี้ไปที่อีกองค์ประกอบเซตหนึ่ง หรือไปที่โครงสร้างการเรียงตัวอื่นๆ นอกเซต แล้วข้อบังคับที่เหลือคือ การห้ามมีค่าเป็น 0 ของส่วนของ 4-หรือ8-ไบต์ หลังส่วนที่เป็นตัวชี้ ถ้าองค์ประกอบเซตไม่เป็นไปตามข้อบังคับนี้ เช่น ถ้าผู้ใช้ต้องการเก็บจำนวนเต็มในเซต ผู้ใช้อาจสร้างโครงสร้างขึ้นเองจาก CvSetElem หรือ เพิ่มมันใน โครงสร้างของผู้ใช้ให้เป็นส่วนแรก

ตัวอย่างที่ 2.4 นิยามโครงสร้างของ CvSetElem

```
#define CV_SET_ELEM_FIELDS() \
int* aligned_ptr;
typedef struct _CvSetElem{
    CV_SET_ELEM_FIELDS()
}CvSetElem;
```

ในส่วนแรกคือส่วนจำลองและไม่ถูกใช้ในเซลล์ที่ถูกยึดแล้ว ยกเว้นเมื่อบิตที่สำคัญน้อยสุด ซึ่งมีค่าเป็น 0 โดยโครงสร้างนี้องค์ประกอบที่เป็นจำนวนเต็มจะกำหนดได้จาก

```
typedef struct _IntSetElem{
    CV_SET_ELEM_FIELDS()
    int value;
}IntSetElem;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8.5 กราฟ

โครงสร้างเซตที่อธิบายด้านบนนั้นมาช่วยในการสร้างกราฟซึ่งประกอบไปด้วยจุดและเส้นขอบซึ่งสามารถอ้างอิงถึงกันได้

ตัวอย่างที่ 2.5 นิยามโครงสร้างของ CvGraph

```
#define CV_GRAPH_FIELDS() \
CV_SET_FIELDS() \
CvSet* edges;
typedef struct _CvGraph{
    CV_GRAPH_FIELDS()
}
CvGraph;
```

ในเทคโนโลยีเชิงวัตถุนั้นโครงสร้างของกราฟได้มาจากเซตของจุดและเซตของเส้นขอบ นอกจากนี้ ประเภทข้อมูลพิเศษจะปรากฏสำหรับจุดบนกราฟ และเส้นขอบบนกราฟ

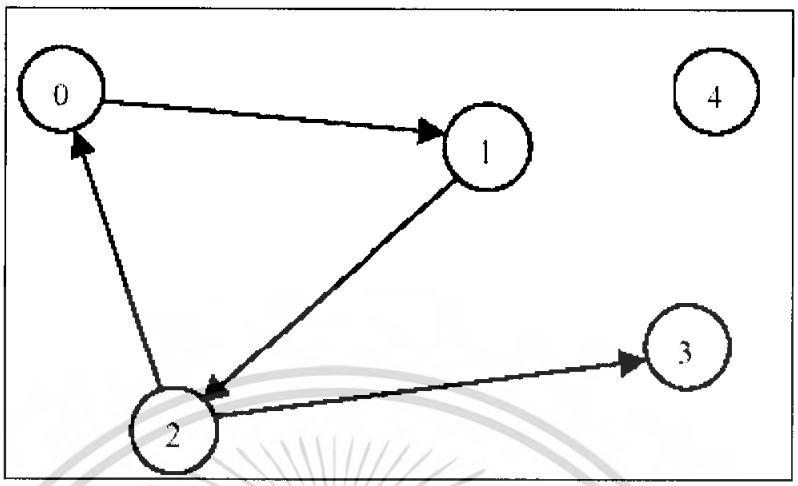
ตัวอย่างที่ 2.6 นิยามโครงสร้างของ CvGraphEdge และ CvGraphVtx

```
#define CV_GRAPH_EDGE_FIELDS() \
struct _CvGraphEdge* next[2]; \
struct _CvGraphVertex* vtx[2];
#define CV_GRAPH_VERTEX_FIELDS() \
struct _CvGraphEdge* first;
typedef struct _CvGraphEdge{
    CV_GRAPH_EDGE_FIELDS()
}CvGraphEdge;
typedef struct _CvGraphVertex{
    CV_GRAPH_VERTEX_FIELDS()
}CvGraphVtx;
```

จุดบนกราฟมีส่วนที่กำหนดก่อนเพียงหนึ่งส่วนเท่านั้น ที่สมมติค่าเป็น 1 เมื่อชี้ไปที่เส้นขอบแรกเป็นผลมากจากจุดแรก หรือเป็น 0 ถ้าจุดนั้นแยกออกมา เส้นขอบที่มาจากจุดเพิ่มการเชื่อมต่อที่ไม่เป็นวงกลม โครงสร้างของเส้นขอบนั้นซับซ้อนกว่า vtx[0] และ vtx[1] เป็นจุดเริ่มต้นและจุดปลายของเส้นขอบ next[0] และ next[1] เป็นเส้นขอบถัดมาที่อยู่ในลิสต์ของจุดที่เป็นไปได้สำหรับ vtx[0] และ vtx[1] ตามลำดับ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเส้นขอบจะอยู่ใน 2 ลิสต์เมื่อมีเส้นขอบ ที่เป็นไปได้สำหรับจุดเริ่มและจุดปลาย เช่น พิจารณากราฟ ในภาพที่ 2.12



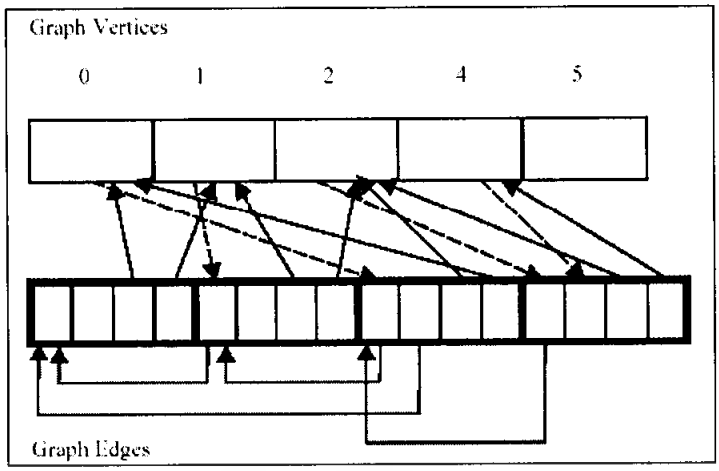
ภาพที่ 2.12 กราฟตัวอย่าง

โครงสร้างสามารถสร้างจากรหัสคำสั่งดังนี้

```
CvGraph* graph = cvCreateGraph( CV_SEQ_KIND_GRAPH |
CV_GRAPH_FLAG_ORIENTED,sizeof(CvGraph),
sizeof(CvGraphVtx)+4, sizeof(CvGraphEdge), storage);
for( i = 0; i < 5; i++ ){
    cvGraphAddVtx( graph, 0, 0 );/* arguments like in cvSetAdd*/
}
cvGraphAddEdge( graph, 0, 1, 0, 0 );
cvGraphAddEdge( graph, 1, 2, 0, 0 );
cvGraphAddEdge( graph, 2, 0, 0, 0 );
cvGraphAddEdge( graph, 2, 3, 0, 0 );
```

โครงสร้างภายในจะเป็นดังภาพที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างภายในสำหรับกราฟตัวอย่างในภาพที่ 2.12

กราฟแบบไม่มีทิศทางสามารถอธิบายโดยโครงสร้าง CvGraph ถ้าเส้นขอบไม่มีทิศทาง เข้าแทนที่เส้นขอบที่มีทิศทางโครงสร้างภายในยังคงเหมือนเดิม อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันที่ใช้ในการหาเส้นขอบจะสำเร็จเฉพาะเมื่อมันสามารถหาเส้นขอบจาก 3 ถึง 2 ในฟังก์ชันไม่ได้หาเฉพาะจาก 3 ถึง 2 แต่หาจาก 2 ถึง 3 ด้วย ซึ่งเส้นนั้นก็แสดงด้วยเช่นกัน จากรหัสคำสั่ง ประเภทกราฟถูกระบุเมื่อกราฟถูกสร้างขึ้น และสามารถเปลี่ยนพฤติกรรมฟังก์ชันการหาเส้นขอบโดยระบุหรือละทิ้งตัวบ่งชี้ CV_GRAPH_FLAG_ORIENTED เส้นขอบ 2 เส้นเชื่อมต่อกับจุดเดียวกันในกราฟแบบไม่มีทิศทางอาจไม่มีทางเกิดขึ้น เพราะการมีอยู่ของเส้นขอบระหว่าง 2 จุดถูกตรวจสอบก่อนที่เส้นขอบใหม่จะเพิ่มเข้ามาระหว่างมัน อย่างไรก็ตามภายในเส้นขอบสามารถเขียนรหัสคำสั่งจากจุดแรกถึงจุดที่ 2 อย่างเช่นในเซต ผู้ใช้อาจทำกับดัชนีหรือตัวชี้ก็ได้ การสร้างกราฟใช้เพียงตัวชี้เพื่ออ้างถึงเส้นขอบ แต่ผู้ใช้สามารถเลือกดัชนีหรือตัวชี้เพื่ออ้างถึงจุดก็ได้

2.3 ภาษามือ

ภาษามือ คือภาษาสื่อสารของผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟัง แต่ด้วยสายตาที่ปกติ สามารถมองเห็นกิริยาอาการท่าทางที่เคลื่อนไหวไปมาได้ จึงใช้ภาพเป็นสื่อในการเรียนรู้ความหมาย แม้จะเข้าใจได้ไม่มากหรืออาจเข้าใจไม่ลึกซึ้งนัก แต่ก็เป็นส่วนที่มีอิทธิพลผลักดันให้พยายามใช้ท่าทางร่างกายและสีหน้าเพื่อแสดงความรู้สึกภายในที่มีอยู่ให้คนอื่นเข้าใจความต้องการได้

ภาษามือ จะใช้มือ สีหน้า กิริยาท่าทางประกอบในการสื่อความหมายและถ่ายทอดอารมณ์แทนการพูด ซึ่งเป็นการสื่อสารโดยไม่ใช้เสียง แต่ใช้มือแสดงการเคลื่อนไหว หรือ แสดงสัญลักษณ์เพื่อสื่อความหมายให้ผู้อื่นเข้าใจ แทนการพูดโดยท่าทางที่แสดงเป็นท่าทางที่เลียนแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากท่าทางธรรมชาตินั้นเองก็ได้มีการพัฒนาขึ้นโดยใช้มือทำท่าต่างๆ ให้เกิดเป็นท่าทางใช้แทนความหมายในคำพูด เรียกภาษาท่าทางที่ได้รับการพัฒนานั้นว่า "ภาษามือ" ซึ่งภาษามือของแต่ละชาติแตกต่างกัน เช่นเดียวกับภาษาพูด โดยที่ภาษามือเป็นภาษาที่นักการศึกษาของคนหูหนวกตกลงยอมรับแล้วว่าเป็นภาษาสำหรับติดต่อสื่อความหมายระหว่างผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟังด้วยกันเอง และระหว่างผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟังกับคนปกติ

โครงสร้างของภาษามือ ประกอบด้วย ท่ามือ ตำแหน่งของมือ การเคลื่อนไหวของมือ และทิศทางของฝ่ามือ

ภาษามือไทย เป็นภาษาสัญลักษณ์สำหรับบุคคลที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน หรือที่เรียกกันว่า "คนหูหนวก" โดยลักษณะการใช้ภาษามือในประเทศไทย ได้รับอิทธิพลมาจาก "ภาษาธรรมชาติ" และ "ภาษามือสไตล์อเมริกัน"

2.3.1 ที่มาของภาษามือ

1) จากชุมนุมคนหูหนวก

แต่ละอาชีพจะมีภาษาที่จำเป็น คำศัพท์ภาษามือที่ได้มาจึงเป็นคำที่ใช้อยู่และคนปกติที่เกี่ยวข้องเข้าใจ เมื่อนำคำศัพท์มารวมกันจะได้คำที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตเพิ่มขึ้น เช่น ช่างตัดเสื้อมีคำว่า กรรไกร จักร เข็ม ช่างทาสีมีคำว่า ทาสี สีแดง สีขาว ฯลฯ

2) จากนักวิจัยภาษามือ

ซึ่งเป็นกลุ่มคนหูหนวกที่รวบรวมภาษามือมาพิจารณาว่าใช้ต่างกันหรือเหมือนกัน (ภาคเหนือ ใต้ กลาง อีสาน) ท่ามือเหล่านั้นต้องไม่ขัดต่อประเพณีวัฒนธรรมของชาติ การวิจัยจำเป็นต้องมีคนปกติที่มีความรู้เรื่องภาษามือและภาษาไทยอย่างดีเป็นผู้ช่วยเหลือ

3) จากครูโรงเรียนสอนคนหูหนวก

เนื่องจากอยู่ใกล้ชิดกับนักเรียน การได้สนทนา ให้คำปรึกษาระหว่างครู-นักเรียน ผู้ปกครอง ทำให้ครูเข้าใจภาษามือของนักเรียน

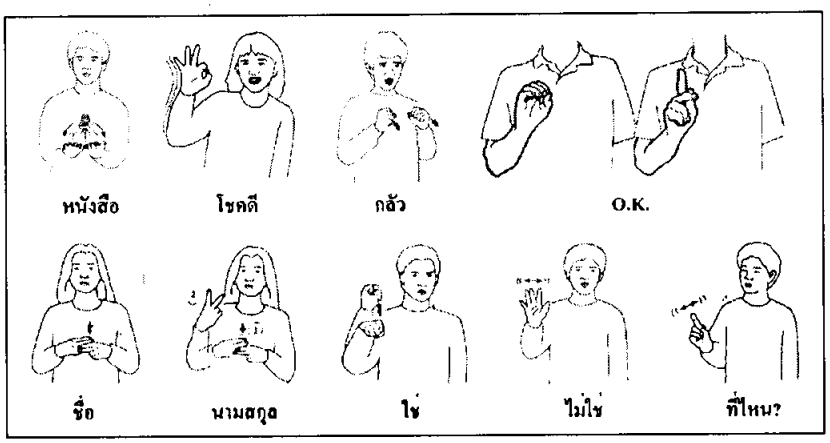
2.3.2 รูปแบบภาษามือ

การเรียนรู้ภาษามือไทย มีหลักการที่อ้างอิงได้ง่าย เช่น การสะกดนิ้วมือ จะอาศัยฐานแบบสะกดนิ้วมือตัวอักษร A - Z ผสมกัน หรือผสมกับฐานแบบสะกดนิ้วมือตัวเลข 0 - 9 ส่วนท่าภาษามือก็มักจะใกล้เคียงกับท่าทางหรือกริยา หรือวัตถุจริงในธรรมชาติ ซึ่งถ้าใช้วิธีการศึกษาแบบเทียบเคียง จะทำให้เข้าใจและจำภาษามือได้ง่ายขึ้น

2.3.2.1 ภาษามือธรรมชาติ

คนหูหนวกเป็นผู้สร้างขึ้นและใช้ร่วมกันในแต่ละชุมชนหรือในแต่ละชาติ ซึ่งส่วนมากเป็นท่าเลียนแบบธรรมชาติ ที่จะช่วยคนหูหนวกให้มีพัฒนาการในภาษาธรรมชาติเท่าเทียมกับคนปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างท่าทางภาษามือ

2.3.2.2 ภาษามือประดิษฐ์

คือภาษามือที่คิดขึ้นแทนภาษาพูด และภาษาเขียน เพื่อให้มีคำใช้ให้เพียงพอในการศึกษา และการสื่อความหมาย โดยเฉพาะเรื่องนามธรรม เป็นภาษาที่ทำท่าทางคำแต่ละคำตามไวยากรณ์ภาษาพูดหรือภาษาเขียนของคนปกติ และมักนำแบบสะกดนิ้วมือมาประสมด้วย เช่น ประชาชน(คน+ป) พลเมือง(คน+พ) เป็นต้น

2.3.3 การสะกดตัวอักษรด้วยนิ้วมือ (Finger spelling)

2.3.3.1 ความหมายของการสะกดตัวอักษรด้วยนิ้วมือ

การสะกดตัวอักษรด้วยนิ้วมือหรือการสะกดนิ้วมือเป็นวิธีการสื่อภาษาชนิดหนึ่งที่ใช้ในหมู่ผู้ที่สูญเสียการได้ยิน คนหูหนวก หรือบุคคลปกติที่ต้องการจะสื่อภาษา สื่อความเข้าใจกับคนหูหนวก

การสะกดนิ้วมือคือการที่บุคคลทำท่าด้วยนิ้วมือเป็นรูปต่างๆแทนตัวพยัญชนะสระวรรณยุกต์ตลอดจนสัญลักษณ์อื่นๆของภาษาประจำชาติ เพื่อการสื่อภาษาหรือการเขียนในอากาศนั่นเอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัวอักษรที่สะกดนิ้วมือ(Manual Alphabets) ของภาษาใดๆ จะมีจำนวนเท่ากับตัวอักษรของภาษานั้นๆ

2.3.3.2 ความแตกต่างของการสะกดนิ้วมือและภาษามือ

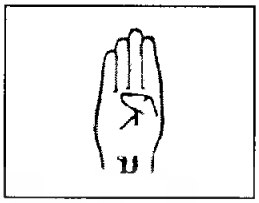
มีบุคคลเป็นจำนวนมากที่ไม่คุ้นเคยกับการศึกษาของคนหูหนวก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสอนคนหูหนวกโดยปรัชญาการสอนระบบรวม (Total Communication) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีการสื่อภาษาทั้ง 2 แบบนี้ใช้มือในการทำท่าทางเหมือนกันนั่นเอง

2.3.3.3 ความเป็นมาของแบบสะกดนิ้วมือไทย

คุณหญิงกมลา ไกรฤกษ์ อดีตอาจารย์ใหญ่โรงเรียนเศรษฐเสถียร(สอนคนหูหนวกดุสิต) ได้กำหนดท่าสำหรับสะกดอักษรไทยด้วยนิ้วมือขึ้นใช้ในประเทศไทยเป็นคนแรกในปีพ.ศ.2496 โดยดัดแปลงมาจากแบบตัวอักษรสะกดนิ้วมือของอเมริกัน (American Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

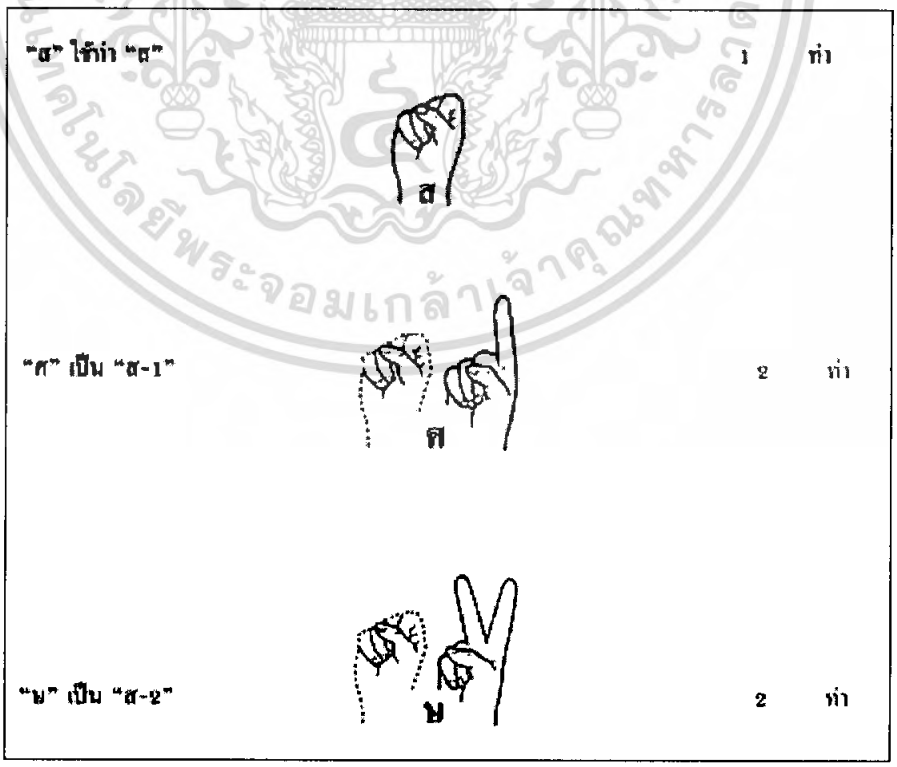
Alphabets) และยึดหลักทางสัทศาสตร์ทั้งของภาษาไทยและภาษาอังกฤษ กล่าวคือเสียงพยัญชนะหรือเสียงสระตัวใดในภาษาไทยที่ออกเสียงเหมือนหรือคล้ายคลึงกับเสียงพยัญชนะหรือเสียงสระในภาษาอังกฤษ ก็ให้ใช้ท่าสะกดนิ้วมือเหมือนกัน เช่น “B” กับ “บ” มีท่าสะกดนิ้วมือ ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ท่าสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร B และ บ

ส่วนเสียงในภาษาไทยที่ไม่มีในภาษาอังกฤษ เช่น เสียง “ป” ดัดแปลงเป็นท่า พ-1 ซึ่งไม่มีในแบบสะกดนิ้วมืออเมริกัน เป็นต้น

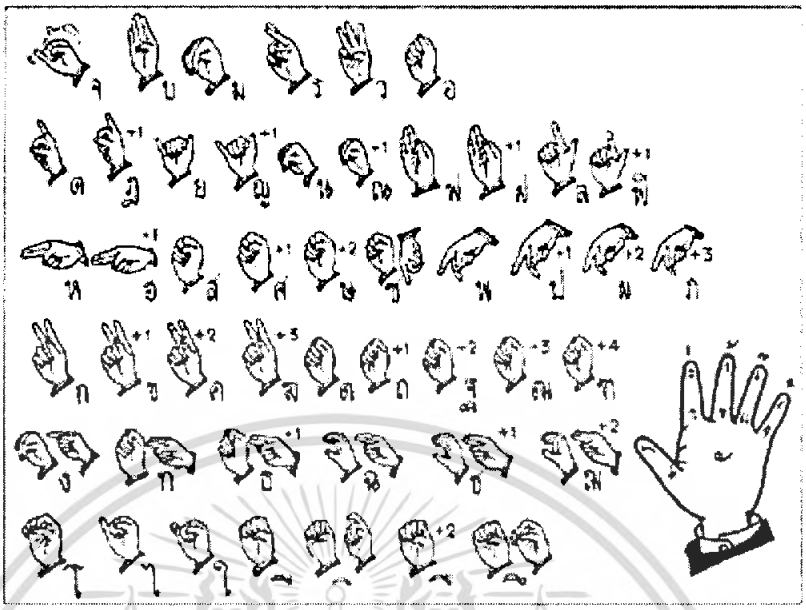
นอกจากนี้ยังได้คำนึงถึงความถี่ของการใช้ท่ามือแทนเสียงนั้นอีกด้วย เช่น อักษรใดที่ปรากฏในพจนานุกรมว่าใช้มาก ก็ใช้ท่ามือง่าย ส่วนอักษรที่มีความถี่ในการใช้น้อย ก็ใช้ท่ามือยาก(หลายท่ามือ) เช่น “ส” ตามพจนานุกรมใช้มากกว่า “ศ” และ ”ษ” ตามลำดับ จึงกำหนดให้มีท่า ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร ส, ศ และ ษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.4 แบบสะกดนิ้วมือของคนหูหนวกในประเทศไทย



ภาพที่ 2.17 แบบสะกดนิ้วมือของคนหูหนวกในประเทศไทย

จากภาพที่ 2.17 เป็นการแบ่งท่าสะกดนิ้วมือออกเป็น 6 แถว ตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

- แถวที่ 1 เป็นท่าตัวอักษรสะกดนิ้วมือที่เป็นท่าเดียว ได้แก่ จ บ ม ร ว อ
- แถวที่ 2-3 เป็นท่าตัวอักษรสะกดนิ้วมือที่มีเสียงเหมือนกัน แต่เขียนต่างกัน โดยกำหนดให้ตัวอักษรตัวแรกทำท่าเดียว ส่วนอักษรที่มีเสียงซ้ำกันกับอักษรตัวแรก ให้ทำท่าอักษรตัวแรกและท่าตัวเลข หรือตัวอักษรรวมเข้าไปเป็น 2 ท่า
- แถวที่ 4-5 ในกรณีที่มีเสียงซ้ำกันหลายตัวอักษร เช่น ข ค ฆ กำหนดให้ท่า ก เป็นหลักผสมกับท่าเลขเพิ่มมากขึ้น เช่น ก-1=ข ก-2=ค และ ก-3=ฆ ตามลำดับเป็นต้น ต่อจากนั้นก็เป็นตัวพยัญชนะบางตัวใช้ท่ามือ 2 ท่า หรือมากกว่านั้น เช่น ต-ห-1=ธ เป็นต้น
- แถวที่ 6 เป็นท่าสระในภาษาไทยบางตัวซึ่งได้เรียงลำดับโดยอาศัยหลักเกณฑ์เดียวกันกับท่าพยัญชนะคือเริ่มจากสระที่ใช้ท่าเดียว ไปสู่สระที่ต้องใช้ท่ามือ 2 ท่า

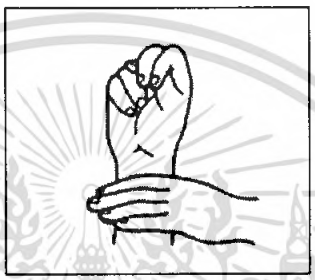
ตัวอักษรสะกดนิ้วมือปี พ.ศ. 2498 ไม่มีท่าพยัญชนะ 3 ตัว คือ ฃ, ค และ ฎ เนื่องจากผู้กำหนดได้ให้เหตุผลว่าตัวอักษรดังกล่าว มีใช้น้อยหรือไม่มีที่ใช้ใน

ต่อมาในปี พ.ศ. 2522 โรงเรียนเศรษฐเสถียรได้จัดพิมพ์แผนภูมิภาพอักษรสะกดนิ้วมือขึ้น โดยเรียงลำดับตัวอักษรแตกต่างจากแผนภูมิเดิม และได้เพิ่มตัวอักษรอีก คือ “ฎ”=ต-5, “ๆ” (ไม้ยมก) และ “ฯ” (ไปยาลน้อย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

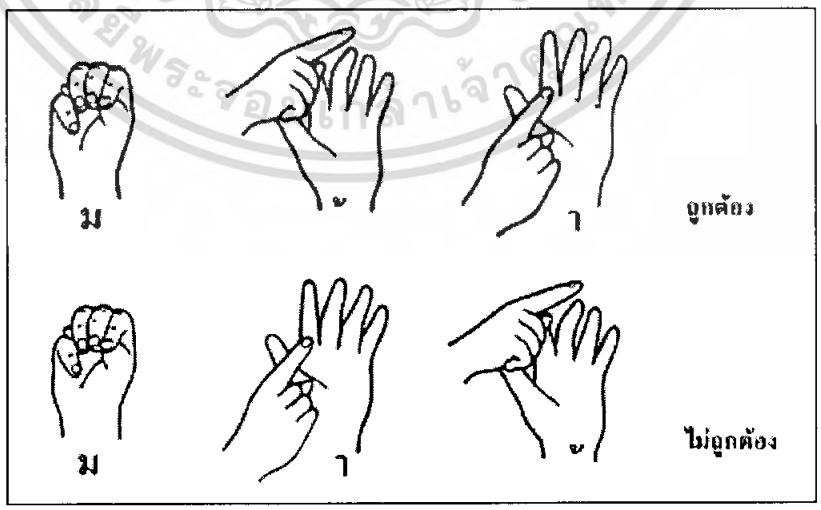
2.3.3.5 หลักการสะกดนิ้วมือ

การสะกดนิ้วมือ เป็นการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ต้องทำท่าให้ชัดเจนในระดับสายตา เป็นจังหวะสวยงาม ไม่ยกมือขึ้นๆลงๆ เว้นวรรคตอนให้ถูกต้องตามหลักภาษาพูด และภาษาเขียน การสะกดนิ้วมือต้องสะกดเป็นคำ หันฝ่ามือไปสู่ผู้ดู หรือผู้อ่านพร้อมกับเปล่งเสียงคำนั้นด้วย นิยมทำที่ข้างใบหน้าหรือระดับอกในภาษาไทยนิยมสะกดพยัญชนะและสระบางตัวด้วยมือที่ถนัด ส่วนมืออีกข้างหนึ่งใช้แสดงตำแหน่งของสระ วรรณยุกต์ และเครื่องหมายอื่นๆ การสะกดนิ้วมือติดต่อกันเป็นเวลานานอาจใช้ท่าพักมือดังที่แสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ท่าพักมือ สำหรับการสะกดนิ้วมือ

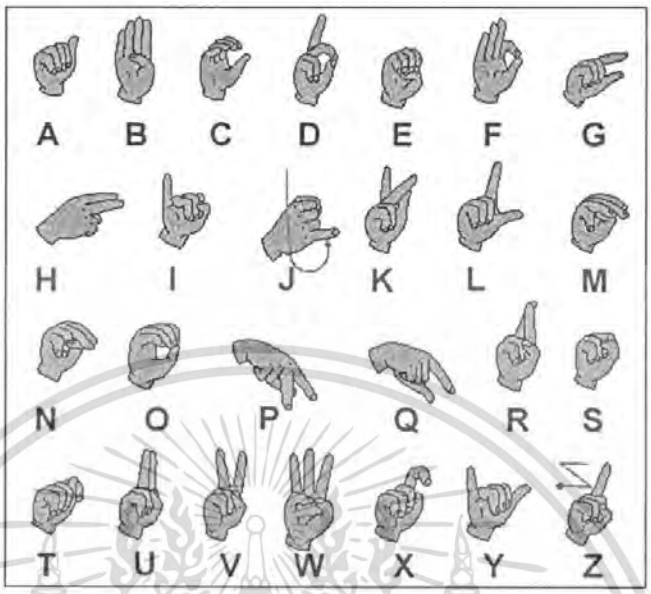
ท่าพักมือนี้ ยังใช้ได้ในกรณีที่ผู้สะกดต้องการจะเน้นความสำคัญของคำที่กำลังสะกดอยู่ได้อีกด้วย และขณะสะกดนิ้วมือควรมองที่มือตนเพื่อความถูกต้อง และต้องเรียงลำดับพยัญชนะ สระ วรรณยุกต์ เช่นเดียวกับการพิมพ์ดีด เช่น ตัวอย่างคำว่า “ม้า” ต้องสะกด ม้-า ดังภาพที่ 2.19



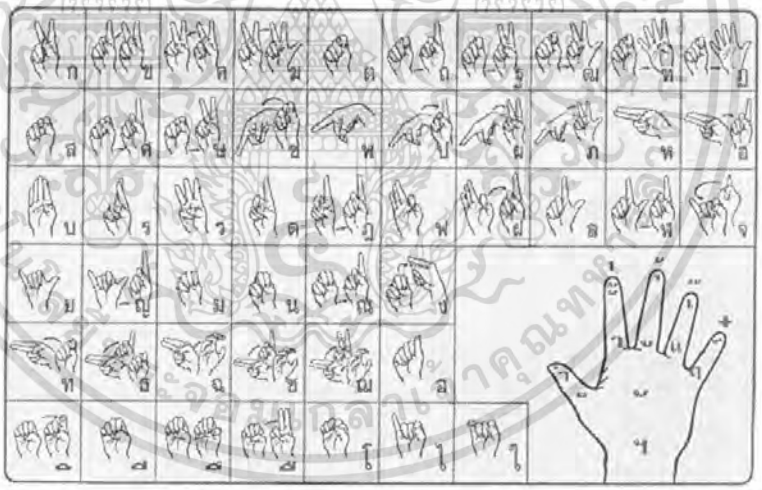
ภาพที่ 2.19 ท่าสะกดนิ้วมือ คำว่า “ม้า”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะกดนิ้วมือและการอ่านท่าอักษรที่สะกดนิ้วมือ เป็นทักษะที่ต้องฝึกฝนอยู่เสมอจึงจะสามารถทำได้คล่องแคล่ว รวดเร็ว ถูกต้อง และสวยงาม

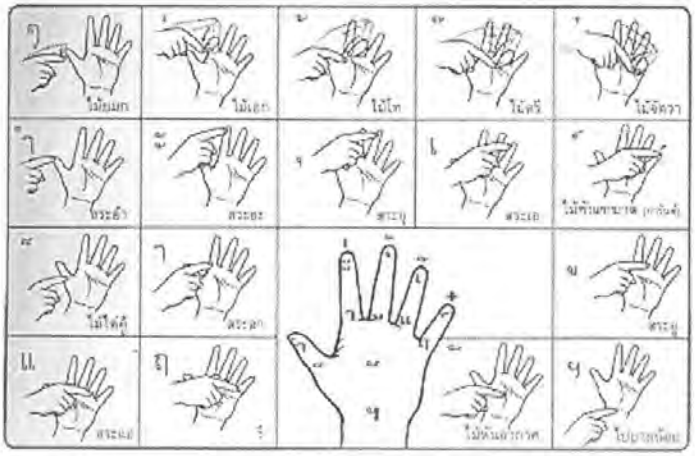


ภาพที่ 2.20 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร A-Z

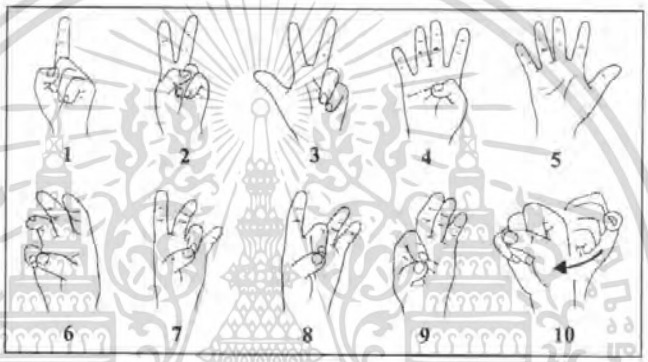


ภาพที่ 2.21 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวอักษร ก-ฮ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.22 แบบสะกดนิ้วมือ สระและวรรณยุกต์ ภาษาไทย



ภาพที่ 2.23 แบบสะกดนิ้วมือ ตัวเลข จำนวน 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์

3.1 หลักการและแนวคิด

จากหลักการทฤษฎีการประมวลผลภาพต่างๆ เราสามารถนำมาใช้ในการประมวลผล แยกองค์ประกอบ และเน้นภาพเฉพาะส่วนที่สนใจได้ โดยกระบวนการต่างๆ เช่น ทฤษฎีการกรองโดยวิธีคอนโวลูชั่น (Convolution) ทฤษฎีการหาขอบภาพ (Edge Detector) เป็นต้น

ซึ่งโครงงานนี้มีเป้าหมายที่จะแสดงความหมายของตัวเลข ตัวอักษรภาษาไทย และภาษาอังกฤษตามหลักในการสะกดนิ้วมือ โดยใช้การประมวลผลจากภาพสัญลักษณ์มือที่แสดงผ่านกล้องเว็บแคม โดยหลักการของโครงงานคือ การคำนวณหาเส้นขอบมือ หาตำแหน่งจุดปลายนิ้วมือ จุดระหว่างช่องนิ้วมือ ประมวลผล แล้วแสดงความหมาย

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

การทำงานของซอฟต์แวร์หลัก แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

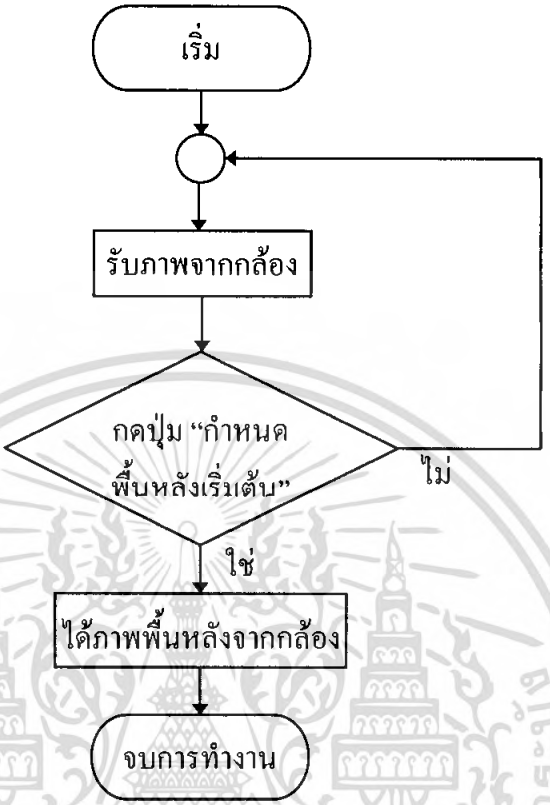
- การประมวลผลภาพ เช่น การตัดภาพพื้นหลัง การกำหนดค่าความถี่สีผิว และขนาดของมือ เป็นต้น
- การตีความ และแปลความหมาย
- แสดงความหมาย จากท่าการสะกดนิ้วมือ ที่แปลความหมายได้จากการประมวลผล

3.2.1 การทำงานของโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน โปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อโปรแกรมเข้ากับกล้อง และไปเรียกการทำงานในส่วนของกระบวนการการทำงานในการประมวลผลภาพขึ้นมา เพื่อกำหนดค่ามือเริ่มต้นที่จะใช้ในการนำมาประมวลผล เพื่อใช้แปลความหมายของการสะกดนิ้วมือ โดยกดปุ่ม “เริ่ม” ที่หน้าจอของโปรแกรม โดยเมื่อเรียกการทำงานในการประมวลผลภาพขึ้นมา อันดับแรกโปรแกรมจะทำการรับภาพพื้นหลัง เพื่อใช้หาส่วนของมือ และตัดภาพพื้นหลังออก อันดับที่สองโปรแกรมจะทำการรับภาพมือของผู้ใช้ เพื่อกำหนดค่าความถี่สีผิว และขนาดมือ เมื่อส่งภาพที่รับจากกล้องเข้ามาในโปรแกรม โปรแกรมจะทำการตั้งค่าพื้นหลังเริ่มต้น สีผิวและขนาดของมือเริ่มต้น อันดับที่สามโปรแกรมจะวนรอบ เพื่อทำการรับภาพสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือจากผู้ใช้ มาทำการประมวลผลภาพ ตีความหมาย และแสดงผลออกมาทางหน้าจอ ซึ่งโปรแกรมจะจบการทำงานเมื่อถูกสั่งให้จบการทำงาน และออกจากโปรแกรมโดยกดปุ่ม “ออกจากโปรแกรม” หรือ กดปุ่ม “X” มุมขวาบน และสามารถกำหนด

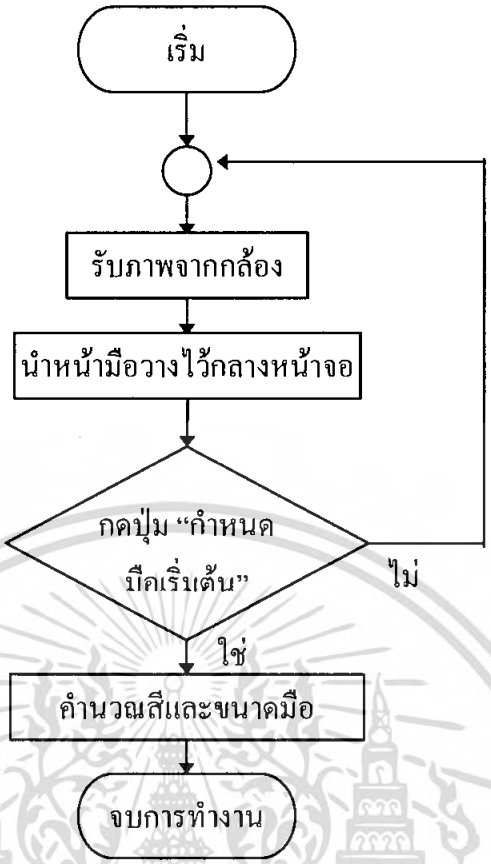
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นหลัง หรือความถี่สีและขนาดมือใหม่ ด้วยการกดปุ่ม “เริ่ม” ที่หน้าจอของโปรแกรมอีกครั้ง ซึ่งได้มีการออกแบบการทำงานแต่ละส่วน ดังแผนภาพต่อไปนี้



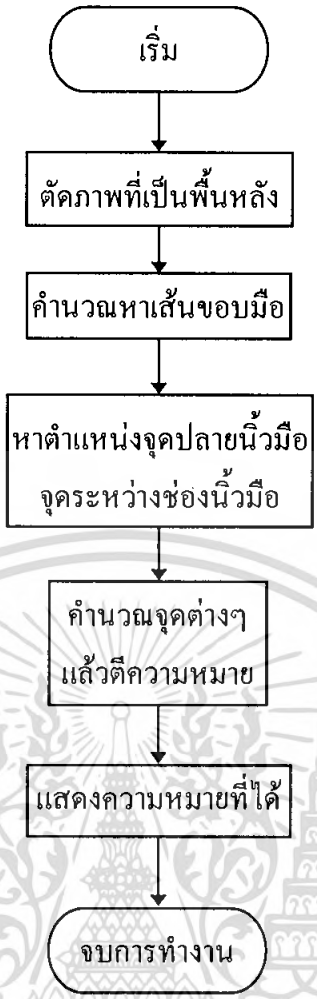
ภาพที่ 3.1 แผนภาพการตั้งค่าพื้นหลังเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



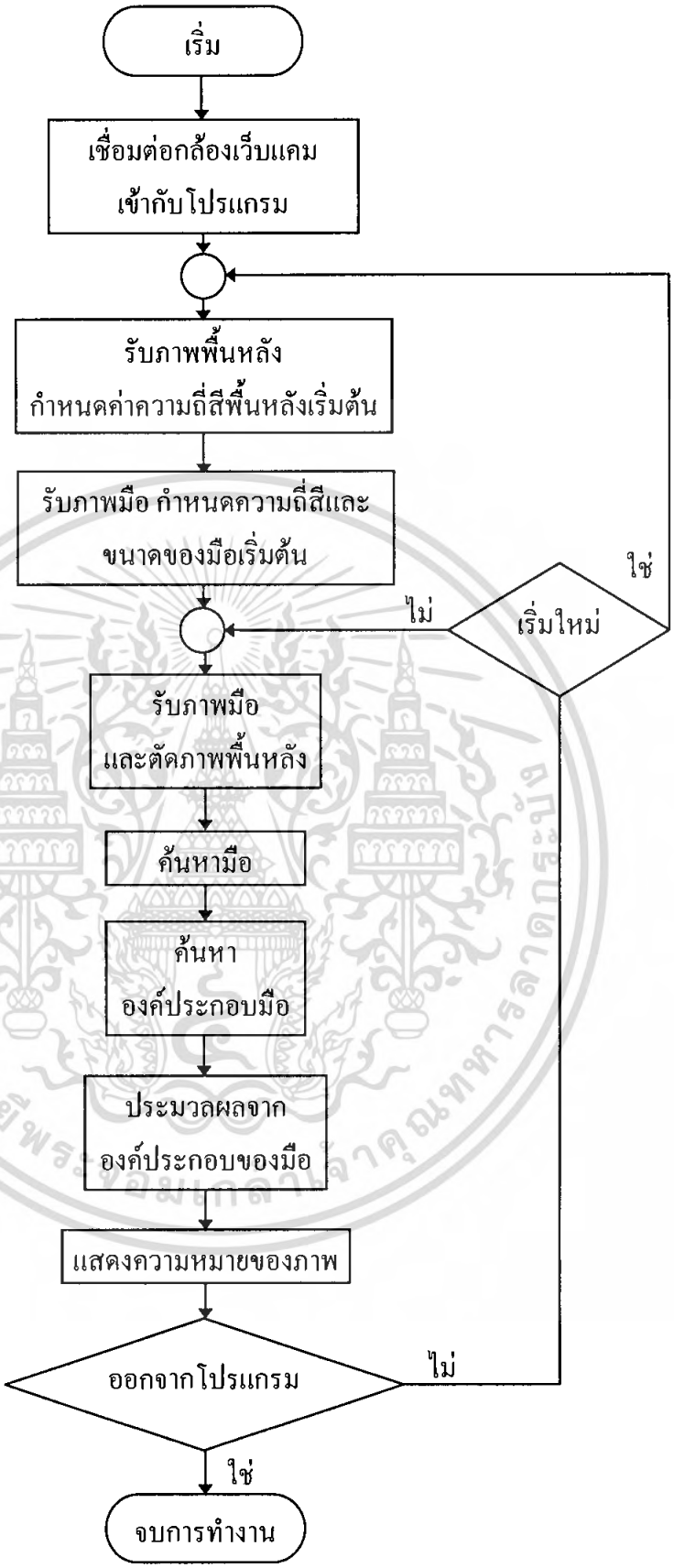
ภาพที่ 3.2 แผนภาพการตั้งค่าความถี่สีผิว และขนาดของมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แผนภาพการแปลความหมายของมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แผนภาพการทำงานโดยรวมของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

3.3.1 เชื่อมต่อกล้องเว็บแคมเข้ากับโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมให้โปรแกรมเชื่อมต่อกับพอร์ตของกล้องเว็บแคม สามารถทำได้ด้วยการใช้ฟังก์ชันการทำงาน ภายในไลบรารีของ OpenCV โดยสั่งให้กล้องเว็บแคมวนรอบการทำงาน เพื่อรับภาพมาประมวลผลตลอดเวลา

3.3.2 รับภาพพื้นหลัง กำหนดความถี่สีพื้นหลังเริ่มต้น

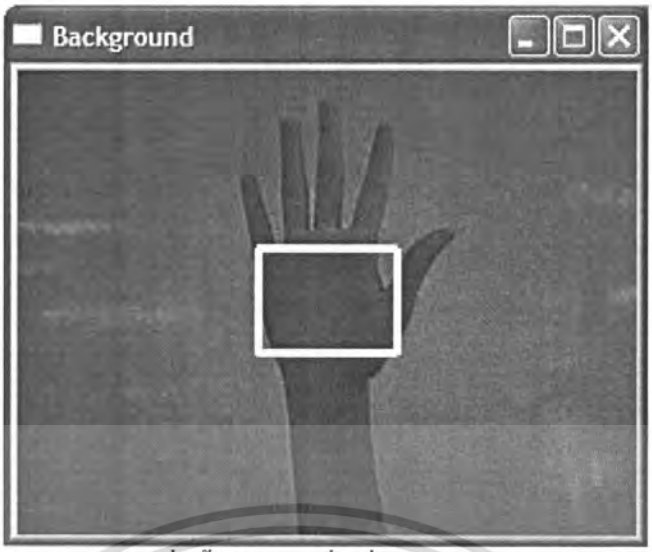
หลังจากที่โปรแกรมเชื่อมต่อเข้ากับกล้อง โปรแกรมจะทำการวนรอบการทำงาน ในการรอรับภาพพื้นหลังในเวลาจริง (Real time) ซึ่งการตั้งค่าภาพพื้นหลังของโปรแกรมนี้ ได้ออกแบบให้ผู้ใช้กำหนดภาพพื้นหลังเริ่มต้นโดยการกดปุ่ม "กำหนดพื้นหลังเริ่มต้น" ที่หน้าจอของโปรแกรม เมื่อหลังจากผู้ใช้กดปุ่ม แล้ว จะนำภาพพื้นหลังในเวลานั้น เข้ามาเก็บไว้ในตัวแปรชนิด "IplImage" ที่ประกาศไว้ โดยเป็นรูปแบบของ IPL (Intel Image Processing Library) ซึ่งเป็นการเก็บรูปภาพในรูปแบบตัวเลข ที่กำหนดขึ้นมาโดยบริษัทอินเทล

ภาพที่ 3.5 การจับภาพพื้นหลังเริ่มต้น

3.3.3 รับภาพมือ กำหนดความถี่สีและขนาดของมือเริ่มต้น

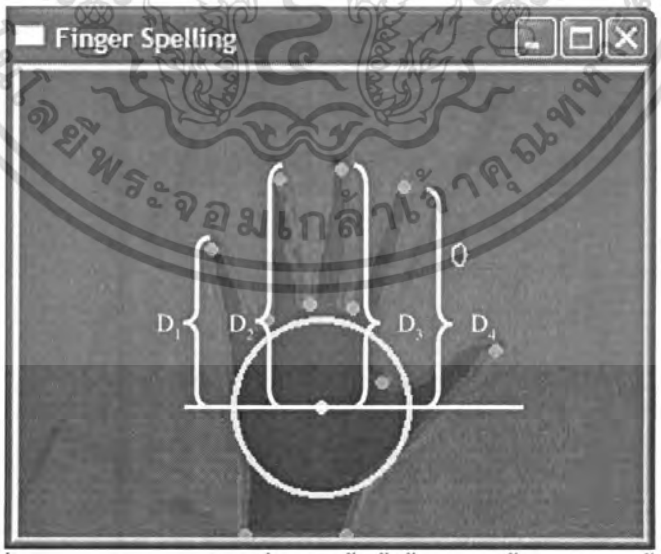
จากนั้นโปรแกรมจะทำการวนรอบการทำงาน รอรับภาพมือของผู้ใช้ โดยผู้ใช้ต้องกางมือตามธรรมชาติ โดยให้ส่วนทั้งหมดของมืออยู่ภายในหน้าจอของโปรแกรม และวางฝ่ามือให้อยู่ภายในตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมสีขาว แล้วทำการกดปุ่ม "กำหนดมือเริ่มต้น" เพื่อเป็นการกำหนดขนาด และค่าความถี่สีของมือเริ่มต้น แล้วบันทึกไว้ เพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนการประมวลผล และเปรียบเทียบสีของมือ เพื่อหาส่วนที่เป็นมือ เมื่อมีภาพเข้ามาในกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 การจับภาพมือ เพื่อตั้งค่าความถี่สีเริ่มต้น และกำหนดจุดส่วนต่างๆของมือ

ในการกำหนดขนาดมือเริ่มต้นนั้น เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม "กำหนดมือเริ่มต้น" โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย โดยนำค่าพิกัดของจุดต่างๆที่พบไปเก็บไว้ในตัวแปรประเภทอาร์เรย์(Array) และนำค่าพิกัดแกน Y ที่สูงที่สุดที่พบ 4 จุด (ซึ่งเป็นจุดยอดของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย) มาลบกับค่าพิกัดแกน Y ของจุดกลางฝ่ามือ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 โดยนำค่าที่ได้ทั้ง 4 นิ้ว มาบวกกันแล้วหาร 4 ซึ่งจากภาพที่ 3.7 ค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 จะเท่ากับ $(D_1 + D_2 + D_3 + D_4) / 4$



ภาพที่ 3.7 การคำนวณค่าเฉลี่ยของนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 รับภาพมือ และตัดภาพพื้นหลัง

หลังจากโปรแกรมได้ภาพพื้นหลังเริ่มต้น และค่าความถี่สีเริ่มต้นของมือ โปรแกรมจะทำการวนรอบการทำงาน รอรับภาพผ่านทางกล้องเว็บแคม และทำการตัดภาพพื้นหลังที่ไม่ต้องการนำมาประมวลผลออก

ใช้วิธีการคำนวณการตัดภาพพื้นหลัง โดยการใช้ตัวแปร 2 ตัว เพื่อลดเวลาของการทำงานในการรับภาพ และการคำนวณในเวลาจริง ให้มีความล่าช้าน้อยที่สุด โดยกำหนดให้ตัวแปรตัวแรกเก็บภาพที่รับเข้ามา และตัวแปรที่ 2 รับข้อมูลจากตัวแปรแรกมาเก็บไว้ เพื่อนำมาคำนวณ จากนั้นนำภาพที่รับเข้ามาเปรียบเทียบกับภาพพื้นหลังเริ่มต้น โดยการนำภาพที่เก็บไว้มาลบกัน โดยที่การลบกันของภาพ IPL นั้น เป็นการลบกันในระดับของพิกเซล ซึ่งแยกค่าออกเป็น 3 ช่อง คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ถ้าค่าที่ได้จากการลบกันมีค่าอยู่ในช่วงของขอบเขตที่กำหนดไว้ จะทำการเก็บค่า 0 (สีดำ) ลงในพิกเซลของตัวแปรของภาพที่รับเข้ามา แต่ถ้าค่าที่ได้จากการลบกันมีค่าเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้ จะทำการเก็บค่าพิกเซลเดิม ดังสมการต่อไปนี้

$$IPL_B = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } IPL_B - IPL_{BG} <= \text{ช่วงที่กำหนด} \\ \text{ค่าเดิมของ } IPL_B & \text{ถ้า } IPL_B - IPL_{BG} > \text{ช่วงที่กำหนด} \end{cases} \quad [16]$$

โดยที่ IPL_A คือ ตัวแปรที่เก็บภาพที่รับเข้ามาในเวลาจริง

IPL_B คือ ตัวแปรที่รับข้อมูลจาก IPLA มาเก็บไว้ เพื่อนำมาคำนวณ

IPL_{BG} คือ ตัวแปรที่เก็บภาพพื้นหลังเริ่มต้น

ภาพที่ 3.8 ภาพที่ได้หลังจากตัดพื้นหลังออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

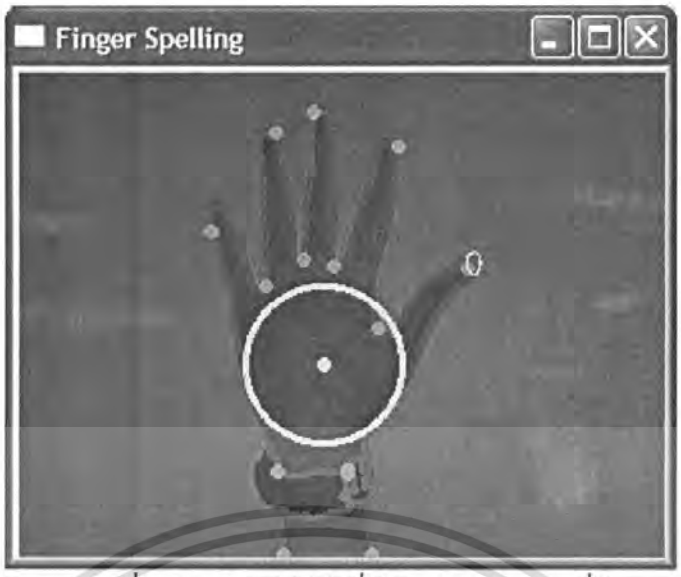
ส่วนของมือหลังจากที่ตัดภาพพื้นหลังออกไปแล้ว จะมีจุดรบกวน (Noise) อยู่มาก ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการประมวลผล จึงต้องทำการลดจุดรบกวนต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยการใช้ทฤษฎีอีโรชัน (Erosion) และไดเลชัน (Dilation) ซึ่งเป็นทฤษฎีในการกำจัดจุดรบกวน และในกรณีที่แสงเกิดการเปลี่ยนแปลงอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการตัดภาพพื้นหลัง จึงเรียกใช้ฟังก์ชันในการเลือกพิกเซลที่ต้องการและไม่ต้องการ โดยเลือกจากการกำหนดขอบเขตของสีที่สนใจ และทำการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงเฉพาะสิ่งที่เข้ามาในกล้อง โดยไม่เกี่ยวข้องกับพื้นหลังในแต่ละพิกเซล โดยถ้าค่าของพิกเซลที่นำมาเปรียบเทียบอยู่ในช่วงของขอบเขตที่กำหนดไว้ ฟังก์ชันจะถือว่าพิกเซลนี้เป็นตำแหน่งที่ต้องการ และทำการเปลี่ยนค่าในพิกเซลนั้นให้เป็น 1 (สีขาว) ถ้าค่ามีนำมาเปรียบเทียบเกินกว่าช่วงของขอบเขตของสีที่กำหนดไว้ จะถือว่าพิกเซลตำแหน่งนี้เป็นพิกเซลที่ไม่ต้องการ และทำการเปลี่ยนค่าในพิกเซลนั้นให้เป็น 0 (สีดำ) ซึ่งฟังก์ชันในการทำงานนี้เป็นฟังก์ชันในไลบรารีของ OpenCV

ภาพที่ 3.9 ส่วนของมือที่ได้จากการ Mask

3.3.5 ค้นหามือ

หลังจากขั้นตอนการตัดพื้นหลังออก อาจจะยังมีส่วนแปลกปลอมอื่นๆ นอกจากส่วนของมือ และภาพพื้นหลัง เช่น นาฬิกาข้อมือ แขนเสื้อ เป็นต้น จึงต้องใช้ค่าความถี่สีของมือที่เก็บไว้มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อเลือกส่วนที่มีความถี่สีเดียวกัน ซึ่งจะถือว่าเป็นส่วนที่ต้องการนำมาใช้ในการประมวลผล โดยใช้ฟังก์ชันความถี่สีมาทำการเลือกค่าของสีในระดับของพิกเซล และนำมาเทียบกับค่าความถี่สีที่ได้กำหนดเอาไว้ ถ้าพบว่าพิกเซลนั้นเป็นตำแหน่งที่ไม่ต้องการจะถูกปรับค่าให้เป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

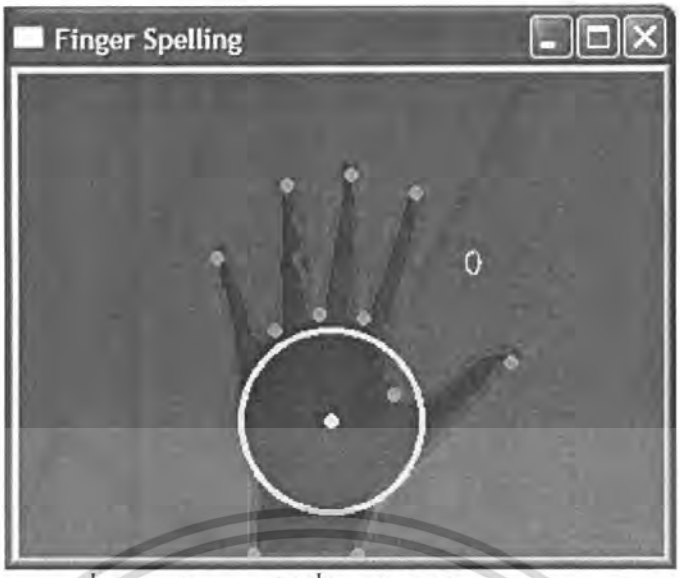


ภาพที่ 3.10 ส่วนของมือที่ใช้ฟังก์ชันค่าความถี่สี

3.3.6 การค้นหาองค์ประกอบของมือ

เมื่อได้ส่วนของมือแล้ว จะทำการสร้างฟังก์ชันหาพิกเซลที่เป็นเส้นขอบของมือ โดยใส่ตัวกรองเกาส์เซียนให้กับภาพ ตามหลักทฤษฎีของแคนนี (Canny) และค้นหาพิกเซลที่มีทิศทางการไล่ระดับของสี แล้วหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 จากนั้นจะทำการเก็บตำแหน่งพิกเซลที่เป็นส่วนของเส้นขอบของมือ ลงในตัวแปรชนิดอาร์เรย์ (Array) เพื่อนำมาคำนวณหาองค์ประกอบของมือ แล้วทำการหาจุดปลายนิ้วมือ และจุดระหว่างนิ้วมือที่หาได้โดยการนำเส้นขอบมือที่ได้มาหาจุดหักเห โดยการเรียกใช้ฟังก์ชันในไลบรารีของ OpenCV จากนั้นจะคำนวณหาจุดศูนย์กลางของฝ่ามือ โดยเรียกใช้ฟังก์ชันในไลบรารีของ OpenCV ซึ่งเป็นฟังก์ชันในการสร้างสี่เหลี่ยมที่เล็กที่สุดที่จะสามารถนำภาพมือใส่ลงไปได้ แล้วหาจุดศูนย์กลางของฝ่ามือ โดยการคำนวณหาความกว้าง ความยาว ของกล่องสี่เหลี่ยมนั้น จากนั้นทำการลดความกว้างของกรอบสี่เหลี่ยมให้มีขนาดเล็กลง เพื่อกะประมาณให้พอดีกับส่วนของอุ้งมือ และกำหนดให้ครึ่งหนึ่งของความกว้างของกรอบสี่เหลี่ยมที่ถูกลดความกว้างลงนั้น จะเป็นค่ารัศมีของฝ่ามือ และหาจุดศูนย์กลาง จากจุดตัดของเส้นทแยงมุมของกรอบสี่เหลี่ยมนั้น ซึ่งจะได้ผลดังภาพที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 ส่วนของมือที่จะนำไปใช้ในการประมวลผล

3.3.7 การประมวลผลจากองค์ประกอบของมือ

การประมวลผลหาความหมายของการสะกดนิ้วมือนั้น จะนำจุดต่างๆที่ได้จากการหาองค์ประกอบของมือนั้นมาคำนวณ โดยจะนำจุดทุกจุดที่พบมากำหนดระดับพิกัด โดยนำพิกัดของจุดที่พบมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 ที่ได้จากขั้นตอนการรับภาพมือเริ่มต้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบการกางนิ้วมือว่ามีนิ้วใดที่กางออก และกางในลักษณะใด จากนั้นจะทำการตีความหมายของตัวอักษร จากลักษณะของท่าในการสะกดนิ้วมือ

3.3.7.1 กำหนดระดับพิกัดจุด

1) นำพิกัดของจุดต่างๆที่ได้จากการหาองค์ประกอบของมือนั้นไปเก็บไว้ในตัวแปรประเภทอาร์เรย์
2) นำค่าในอาร์เรย์ที่ได้จากการหาองค์ประกอบของมือ มากำหนดระดับพิกัดจุดในแกน Y โดยเก็บลงในตัวแปรประเภทอาร์เรย์อีกตัวหนึ่ง ซึ่งแบ่งระดับออกเป็น 7 ระดับ ดังนี้
   - ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ ลบกับ 0.99 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่ามากกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน Y กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 900 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของปลายนิ้วชี้ นิ้วกลาง และนิ้วนางที่กางขึ้น
   - ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ ลบกับ 0.85 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่ามากกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน Y กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 800 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของข้อนิ้วข้อที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ ลบกับ 0.70 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่ามากกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน Y กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 700 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของข้อนิ้วข้อที่หนึ่งถึงข้อที่สอง
- ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ ลบกับ 0.50 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่ามากกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน Y กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 600 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของข้อนิ้วข้อที่สองถึงข้อที่สาม
- ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ ลบกับ 0.30 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่ามากกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน Y กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 500 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของข้อนิ้วข้อที่สาม
- ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ มีค่ามากกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน Y กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 400 ซึ่งเป็นระดับพิกัดบริเวณฝ่ามือ
- ถ้าพิกัดในแกน Y ของจุดที่พบ อยู่ในระดับที่นอกเหนือจากระดับที่กล่าวมาข้างต้น กำหนดให้ระดับพิกัดแกน Y เป็น 0 ซึ่งเป็นระดับพิกัดที่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางของฝ่ามือ

3) นำค่าในอาร์เรย์ที่ได้จากการหาองค์ประกอบของมือ มากำหนดระดับพิกัดจุดในแกน X โดยเก็บลงในตัวแปรประเภทอาร์เรย์อีกตัวหนึ่ง ซึ่งแบ่งระดับออกเป็น 8 ระดับ ดังนี้
   - ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ บวกกับ 0.90 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 9 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของปลายนิ้วก้อย
   - ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ บวกกับ 0.50 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 8 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วก้อยถึงนิ้วนาง
   - ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ บวกกับ 0.30 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 7 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วนางถึงนิ้วกลาง
   - ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 5 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X บวกกับ 0.40 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 4 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วชี้
- ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X บวกกับ 0.70 เท่าของค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 3 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วชี้ถึงนิ้วโป้ง
- ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ มีค่าน้อยกว่าพิกัดของจุดกึ่งกลางฝ่ามือในแนวแกน X บวกกับค่าเฉลี่ยของนิ้วทั้ง 4 กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 2 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วโป้งในลักษณะกางมือธรรมดา
- ถ้าพิกัดในแกน X ของจุดที่พบ อยู่ในระดับที่นอกเหนือจากระดับที่กล่าวมาข้างต้น กำหนดให้ระดับพิกัดแกน X เป็น 1 ซึ่งเป็นระดับพิกัดของนิ้วโป้งในลักษณะกางมืออย่างเต็มที่

3.3.7.2 การตรวจสอบตัวอักษรภาษาอังกฤษ

ประมวลผลโดยการนำค่าระดับพิกัดของแกน X และแกน Y มาตรวจสอบ โดยแบ่งตามลักษณะของสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

3.3.7.2.1 การสะกดนิ้วมือท่านิ่งชัดเจน

1) B

- จุดที่ 1 เป็นจุดสูงสุด ซึ่งเป็นนิ้วกลาง มีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 และ 3 อยู่ทางด้านซ้าย และด้านขวาของจุดแรก ซึ่งอยู่สูงเกือบเท่าจุดที่ 1 มีระดับพิกัดแกน Y ในระดับ 600 ถึง 900
- จุดอื่นๆจะต่ำกว่าจุดศูนย์กลางมือ รวมถึงทุกๆจุดจะไม่แยกไปข้างใดข้างหนึ่ง นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.12 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "B"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) C

- จุดที่ 1 และ 2 อยู่บริเวณปลายนิ้วชี้ ด้านขวาของศูนย์กลางมือ มีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในระดับ 600 ถึง 800 และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 5
- จุดที่ 3 และ 4 อยู่บริเวณปลายนิ้วโป้งจะมีความสูงจากจุดศูนย์กลางมือเล็กน้อยและไปทางด้านขวามืออยู่มากพอ มีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในระดับ 400 ถึง 500 และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 3
- จุดที่ 5 จุดระหว่างจุดที่ 1 และ 2 กับ จุดที่ 3 และ 4 จะมีค่าระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าจุดที่ 1, 2, 3 และ 4
- จุดอื่นๆ จะมีค่าไม่แยกไปทางซ้าย นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.13 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "C"

3) D

- จุดที่ 1 จุดสูงสุด คือจุดที่นิ้วชี้ มีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 และ 3 อยู่ในบริเวณกำปั้น มีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 700
- จุดอื่นๆจะไม่แยกไปทางซ้ายและขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.14 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "D"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) F

- จุดที่ 1 สูงที่สุดจะเป็นจุดของนิ้วกลาง มีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 มีความสูงรองลงมา มีระดับพิกัดแกน Y ในช่วง 700 ถึง 800
- จุดที่ 3 จะอยู่แนวตั้งเดียวกับจุดที่ 1 แต่จะต่ำกว่าจุดที่ 1 และ 2 อยู่บริเวณกำปั้น
- จุดที่ 4 จะอยู่ตรงข้อนิ้วโป้ง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 และมากกว่าหรือเท่ากับ 1
- จุดอื่นๆจะต้องไม่ไปทางซ้ายและทางขวานั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.15 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "F"

5) G

- จุดที่ 1 จุดปลายนิ้วชี้จะอยู่ใกล้ขอบด้านขวาและไม่สูงมาก ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 และมีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 1
- จุดที่ 2 อยู่ใกล้กับขอบด้านขวา ซึ่งมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3
- จุดอื่นๆจะไม่มีจุดไหนสูงกว่าจุดที่ 1 นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600

ภาพที่ 3.16 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "G"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) H

- จุดที่ 1 จุดปลายนิ้วชี้จะอยู่ใกล้ขอบด้านขวาและไม่สูง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 และมีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 1 หรือ 2
- จุดที่ 2 จะอยู่ใกล้ขอบด้านขวามากๆ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 และมีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 1
- จุดอื่นๆจะไม่มีจุดไหนสูงกว่าจุดที่ 1 และ 2 ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600

ภาพที่ 3.17 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "H"

7) I

- จุดที่ 1 สูงที่สุดจะเป็นจุดของนิ้วก้อย ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 จะอยู่แนวตั้งเดียวกับจุดที่ 1 แต่จะต่ำกว่าจุดที่ 1 อยู่บริเวณกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดที่ 3 จะอยู่แนวนอนเดียวกับจุดที่ 2 และอยู่บริเวณกำปั้นนิ้วชี้ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600
- ทุกๆจุดจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.18 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "I"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

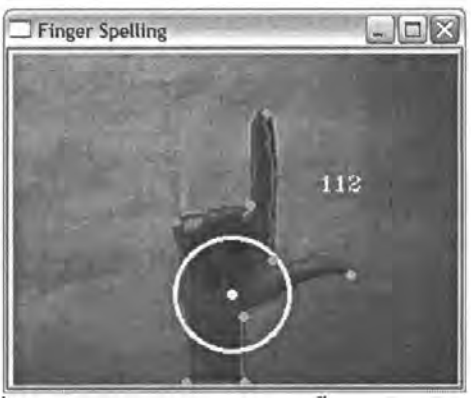
8) K

- จุดที่ 1 และ 2 เป็นจุดของนิ้วชี้และนิ้วกลาง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 3 และ 4 เป็นจุดก่อนที่จะถึงนิ้วกลางและนิ้วชี้ ซึ่ง 2 จุดนี้จะอยู่บริเวณกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600 ซึ่งจุดที่ 4 จะมีความสูงมากกว่าจุดที่ 3 เล็กน้อย เนื่องจากผลของนิ้วโป้งที่มาแทรก
- จุดอื่นๆจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวานั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.19 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "K"

9) L

- จุดที่ 1 คือจุดที่สูงที่สุดเป็นจุดของนิ้วชี้ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 เป็นจุดปลายของนิ้วโป้งจะอยู่ใกล้กับขอบด้านขวาพอประมาณ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3
- จุดอื่นๆจะอยู่ต่ำกว่ากำปั้น และไม่ไปทางซ้ายและขวา ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 และระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7



ภาพที่ 3.20 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "L"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) P

- จุดที่ 1 จุดปลายนิ้วชี้จะอยู่ใกล้กับขอบจอด้านขวา และต่ำกว่าจุดศูนย์กลางของฝ่ามือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 และมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่า 400 และจะสูงกว่าจุดที่ 2
- จุดที่ 2 จุดปลายนิ้วกลางจะต่ำกว่าจุดศูนย์กลางมือ นั่นคือมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่า 400
- จุดที่ 3 คือจุดระหว่างจุดที่ 1 และ 2 ซึ่งมีความสูงมากกว่าจุดศูนย์กลางของฝ่ามือ
- ทุกๆจุดจะอยู่ตำแหน่งต่ำกว่าแนวกำปั้นของมือ และไม่ไปทางซ้าย นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

ภาพที่ 3.21 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "P"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

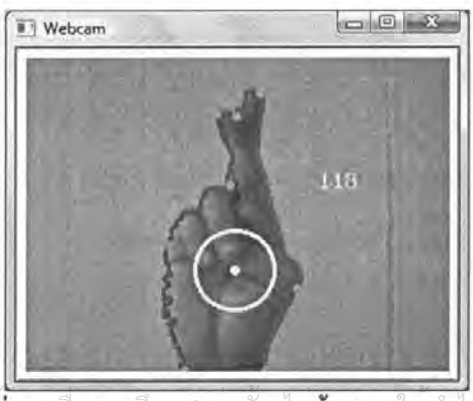
11) Q

- จุดที่ 1 จุดปลายนิ้วชี้อยู่ใกล้ขอบจอด้านขวา และต่ำกว่าศูนย์กลางมือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 และระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่า 400
- จุดที่ 2 จุดปลายนิ้วก้อยจะมีความสูงใกล้เคียงศูนย์กลางมือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500
- ทุกๆจุดจะต่ำกว่ากำปั้น นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 และไม่ไปทางซ้าย นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

ภาพที่ 3.22 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "Q"

12) R

- จุดที่ 1 เป็นจุดของนิ้วกลาง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 เป็นจุดของนิ้วชี้ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 800
- จุดที่ 3 เป็นจุดระหว่างจุดที่ 1 และ 2 จะมีความสูงใกล้เคียงจุดที่ 1 และ 2 มาก ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 700 ถึง 800
- จุดอื่นๆจะอยู่ต่ำกว่ากำปั้น และไม่ไปทางซ้ายและขวา นั่นคือ ระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 และระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7



ภาพที่ 3.23 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "R"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13) U

- จุดที่ 1 สูงที่สุดจะเป็นจุดของนิ้วกลาง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 จะมีความสูงรองลงมา ซึ่งมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 700 ถึง 800
- จุดที่ 3 จะอยู่แนวตั้งเดียวกับจุดที่ 1 แต่จะต่ำกว่าจุดที่ 1 และ 2 อยู่บริเวณกำปั้น
- จุดที่ 4 จะอยู่ตรงข้อกำปั้นนิ้วก้อยจะอยู่ไปทางซ้าย
- ทุกๆจุดจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.24 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "U"

14) V

- จุดที่ 1 และ 2 เป็นจุดที่สูงที่สุด 2 จุด เป็นจุดของนิ้วชี้และนิ้วกลาง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 3 และ 4 คือจุดก่อนที่จะถึงนิ้วกลางและนิ้วชี้ซึ่ง 2 จุดนี้จะอยู่บริเวณกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600 แต่จุดที่ 4 จะมีความสูงน้อยกว่าจุดที่ 3 เล็กน้อย
- จุดอื่นๆจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.25 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "V"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) W

- จุดที่ 1, 2 และ 3 เป็นจุดที่สูงที่สุด ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y มากกว่า 800
- จุดที่ 4 และ 5 เป็นจุดระหว่าง 3 ข้างต้น ความสูงจะอยู่ที่ข้อที่ 3 ของปลายนิ้ว ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- จุดอื่นๆจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.26 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "W"

16) X

- จุดที่ 1 เป็นจุดของนิ้วชี้ ไม่สูงมากนัก ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 700 ถึง 800
- จุดที่ 2 อยู่แนวตั้งเดียวกับจุดที่ 1 แต่ต่ำกว่าจุดที่ 1 และอยู่บริเวณกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดที่ 3 จะอยู่ตรงข้อกำปั้นนิ้วก้อยทางซ้าย ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- ทุกๆจุดจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.27 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "X"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17) Y

- จุดที่ 1 เป็นจุดของนิ้วก้อย ซึ่งจะอยู่ใกล้กับขอบทางซ้าย ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน X มากกว่าหรือเท่ากับ 8
- จุดที่ 2 เป็นจุดของนิ้วโป้ง ซึ่งจะอยู่ใกล้กับขอบทางขวา ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2
- จุดอื่นๆจะอยู่บริเวณกลางมือ และต่ำกว่าจุดกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7 และมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500

ภาพที่ 3.28 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "Y"

18) 1

- จุดที่ 1 สูงที่สุดจะเป็นจุดของนิ้วกลาง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 อยู่แนวตั้งเดียวกับจุดที่ 1 แต่จะสูงต่ำกว่าจุดที่ 1 และอยู่บริเวณกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดที่ 3 ตรงข้อกำปั้นนิ้วก้อย ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- ทุกๆจุดจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.29 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19) 2

เลข “2” จะมีลักษณะท่าทางเดียวกันกับตัวอักษร “V”

20) 3

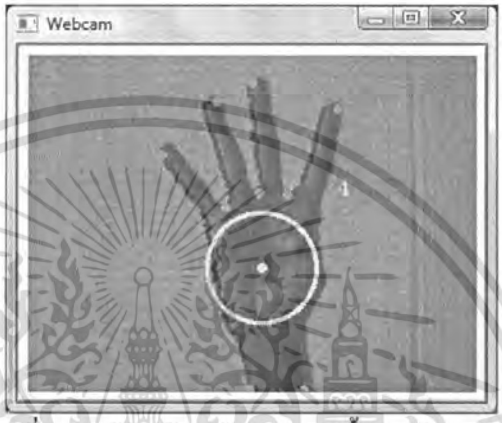
- จุดที่ 1 คือจุดที่สูงที่สุดเป็นจุดของนิ้วกลาง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 2 คือจุดที่สูงใกล้เคียงจุดที1มากๆลงมาเป็นจุดของนิ้วชี้ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 900
- จุดที่ 3 จะอยู่ระหว่างจุดที่1และ2จะมีความสูงอยู่ระดับกำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดที่ 4 เป็นจุดปลายของนิ้วโป้งจะอยู่ใกล้กับขอบด้านขวาพอประมาณ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3
- จุดอื่นๆจะอยู่ต่ำกว่ากำปั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือกับ 500 และจะไม่ไปทางซ้ายและขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.30 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข “3”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21) 4

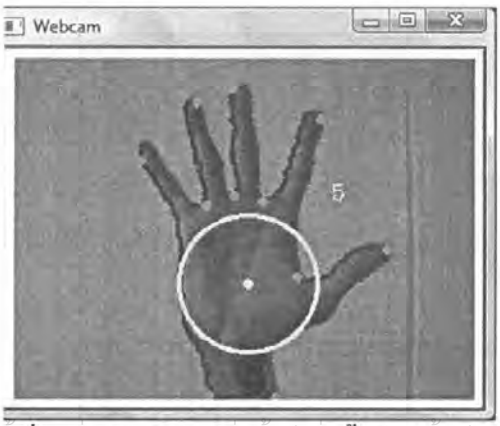
- จุดที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็นจุดที่สูงที่สุด ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y มากกว่า 800
- จุดที่ 5, 6, 7 เป็นจุดระหว่าง 4 จุดข้างต้น ซึ่งความสูงจะอยู่ที่ข้อที่ 3 ของปลายนิ้ว ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- จุดอื่นๆจะไม่ไปทางซ้ายและทางขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7



ภาพที่ 3.31 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข "4"

22) 5

- จุดที่ 1, 2, 3, 4 เป็นจุดที่สูงที่สุด จะมีความสูงพอๆกัน ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y มากกว่า 800
- จุดที่ 5, 6, 7 เป็นจุดระหว่าง 4 จุดข้างต้น ซึ่งความสูงจะอยู่ที่ข้อที่ 3 ของปลายนิ้วอยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- จุดที่ 8 จะอยู่ที่ปลายนิ้วโป้งจะอยู่ใกล้เคียงกับจอด้านขวาพอประมาณ นั่นคือ จะมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3



ภาพที่ 3.32 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวเลข "5"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7.2.2 การสะกดนิ้วมือท่ากำมือ

1) A

- จุดที่ 1 จุดบนสุดจะเป็นจุดของนิ้วโป้ง จะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 600 หรือ 700 และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 5
- จุดที่ 2 จุดทางด้านซ้ายจะเป็นจุดของกำปั้นนิ้วก้อย จะมีระดับพิกัดแกน Y เท่ากับ 500 หรือ 600 และระดับพิกัดแกน X มากกว่า 5
- จุดที่ 3 จุดทางด้านขวาจะเป็นจุดข้อนิ้วโป้ง จะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 5
- จุดอื่นๆต้องเป็นจุดที่ต่ำกว่า 3 จุดข้างต้น มีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่า 400
- ทุกจุดจะต้องมีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.33 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "A"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) E

- จุดที่ 1 จุดทางซ้ายที่สูงเป็นอันดับสองบริเวณข้อที่3นิ้วก้อย มีระดับพิกัดแกน Y ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดที่ 2 จุดทางขวาที่สูงเป็นอันดับสอง มีระดับพิกัดแกน Y ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดที่ 3 จุดระหว่าง จุดที่ 1 และ 2 ต้องสูงกว่า 2 จุดข้างต้น แต่ไม่สูงมากนัก ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y ในช่วง 600 ถึง 800
- ส่วนจุดอื่นๆจะต่ำกว่า จุดที่ 1 และ 2 และไม่แยกไปทางซ้ายและขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.34 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "E"

3) M

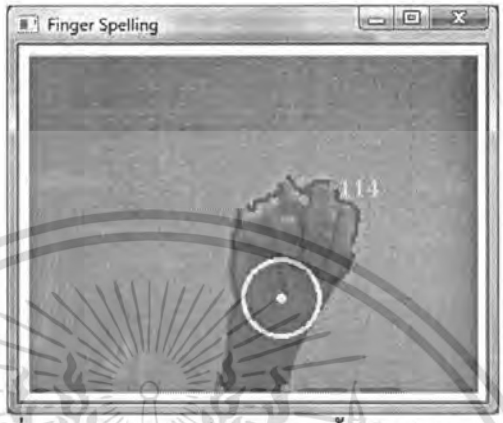
- ทุกๆจุดอยู่ที่อยู่ในแนวกำปั้น จะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- มีจุดโคด 1 จุด ที่สูงขึ้นกว่าจุดอื่น แต่ยังคงเป็นจุดในแนวกำปั้น ซึ่งจุดนี้ต้องอยู่ซีกทางซ้ายของมือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 7

ภาพที่ 3.35 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "M"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) N

- ทุกๆจุดอยู่ที่อยู่ในแนวกำปั้นนั้น มีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- มีจุดโดด 1 จุด ที่สูงขึ้นกว่าจุดอื่น แต่ยังคงเป็นจุดแนวกำปั้น ซึ่งจุดนี้ต้องอยู่ตรงกลางของมือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 5



ภาพที่ 3.36 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "N"

5) O

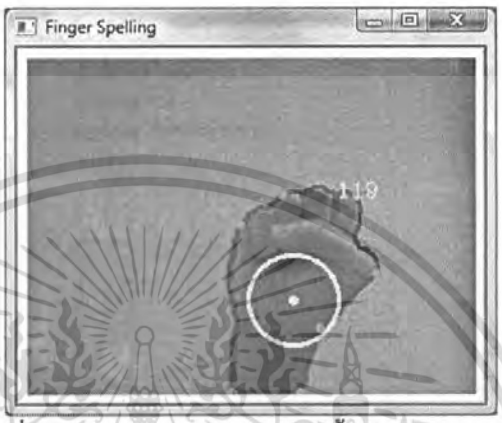
- จุด 3-4 จุดที่อยู่ด้านบน ต้องมีความสูงพอประมาณ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 700 ถึง 900 และมีความกว้างของจุดทางซ้ายสุดและขวาสุดพอประมาณ นั่นคือมีระดับพิกัดแกน X มากกว่าหรือเท่ากับ 6 และ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4
- จุดอื่นๆนอกเหนือจากนี้จะต้องต่ำกว่าจุดศูนย์กลางมือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่า 400 และไม่ไปทางซ้ายและขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7

ภาพที่ 3.37 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "O"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) S

- ทุกๆจุดจะต่ำกว่าหรือเท่ากับจุดที่อยู่ในแนวกำปั้นนั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดในแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 500 และไม่ไปทางซ้ายและขวา นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X มากกว่า 2 และน้อยกว่า 7
- ต้องไม่ถูกตรวจสอบพบว่าเป็นตัวอักษร A, M, N, O หรือ T เสียก่อน



ภาพที่ 3.38 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "S"

7) T

- ทุกๆจุดอยู่ที่อยู่ในแนวกำปั้นนั้น ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 400 ถึง 600
- มีจุดโดด 1 จุด ที่สูงขึ้นกว่าจุดอื่น แต่ยังคงเป็นจุดแนวกำปั้น จุดนี้ต้องอยู่ซีกทางขวาของมือ นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 4

ภาพที่ 3.39 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "T"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) 0

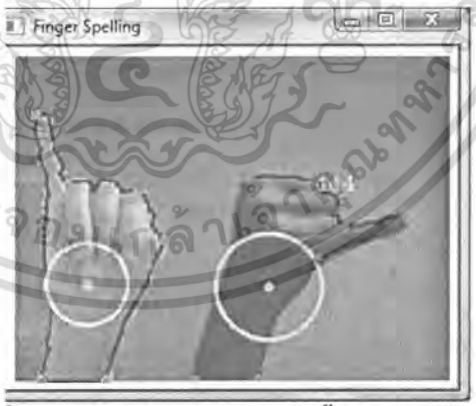
เลข "0" จะมีลักษณะท่าทางเดียวกันกับตัวอักษร "O"

3.3.7.2.3 การสะกดนิ้วมือท่าเคลื่อนไหว

1) J

หลังจากที่พบตัว "I" โปรแกรมจะทำการตรวจสอบหาตัว subJ ภายใน 3 วินาที ถ้าพบ subJ จะแสดงตัวอักษร "J" ถ้าไม่พบ subJ จะแสดงตัวอักษร I ซึ่งกำหนดให้ท่า subJ มีลักษณะดังนี้

- จุดที่ 1 จุดปลายนิ้วก้อยจะอยู่ใกล้ขอบด้านขวามากๆและไม่สูง ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 และมีระดับพิกัดแกน X เท่ากับ 1
- จุดที่ 2 จะอยู่ในแนวเดียวแกน Y เดียวกับจุดที่ 1 แต่จุดในแนวแกน Y จะใกล้กับจุดศูนย์กลางของฝ่ามือมาก และจะมีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 5 และมากกว่า 2
- จุดที่ 3 จะอยู่ในแนวแกน X เดียวกับจุดที่ 2 ความสูงจะอยู่ที่กำปั้น และมีระดับพิกัดแกน Y อยู่ในช่วง 500 ถึง 600
- จุดอื่นๆจะไม่มีจุดไหนสูงกว่าจุดกำปั้น นั่นคือ ซึ่งจะมีระดับพิกัดแกน Y น้อยกว่าหรือเท่ากับ 600
- ไม่มีจุดใดไปทางซ้าย นั่นคือ มีระดับพิกัดแกน X น้อยกว่า 7



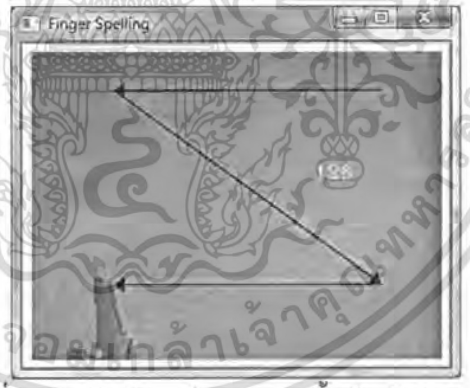
ภาพที่ 3.40 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "J"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Z

ต้องทำ 4 ขั้นตอน ภายในเวลา 3 วินาที โดยการวาดมือเป็นรูปตัว Z ซึ่งจะตรวจสอบโดยการนับจุดที่สูงที่สุดของภาพเป็นหลัก ดังนี้

- จุดที่สูงที่สุดจะอยู่บริเวณขวาบนของจอภาพ ซึ่งจะพบจุดที่มีพิกัดแกน Y มีค่ามากกว่าครึ่งจอภาพในแกน Y และระดับพิกัดแกน X มากกว่าครึ่งจอภาพในแกน X
- จุดที่สูงที่สุดในครั้งต่อๆไปจะต้องขยับไปทางซ้ายจนถึงบริเวณซ้ายบนของจอภาพ ซึ่งจะพบจุดที่มีพิกัดแกน Y มีค่ามากกว่าครึ่งจอภาพในแกน Y และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าครึ่งจอภาพในแกน X
- จุดที่สูงที่สุดต้องค่อยๆต่ำลงมาพร้อมกับขยับไปด้านขวาเรื่อยๆจนถึงบริเวณขวาล่างของจอภาพ ซึ่งจะพบจุดที่มีพิกัดแกน Y มีค่าน้อยกว่าครึ่งจอภาพในแกน Y และระดับพิกัดแกน X มากกว่าครึ่งจอภาพในแกน X
- จุดที่สูงที่สุดจะต้องขยับไปทางซ้ายเรื่อยๆจนถึงบริเวณซ้ายล่างของจอภาพ ซึ่งจะพบจุดที่มีพิกัดแกน Y มีค่าน้อยกว่าครึ่งจอภาพในแกน Y และระดับพิกัดแกน X น้อยกว่าครึ่งจอภาพในแกน X



ภาพที่ 3.41 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร "Z"

3.3.7.3 การตรวจสอบตัวอักษรภาษาไทย

เนื่องจากท่าสะกดนิ้วมือของตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป ดัดแปลงมาจากการสะกดนิ้วมืออเมริกัน ถ้าพยัญชนะภาษาไทยออกเสียงเหมือนหรือคล้ายคลึงกับเสียงพยัญชนะในภาษาอังกฤษ ก็ให้ใช้ท่าสะกดนิ้วมือเหมือนกัน จึงมีวิธีการประมวลผลเช่นเดียวกันกับตัวอักษรภาษาอังกฤษ แต่จะเพิ่มข้อจำกัดในเรื่องของเวลา และขั้นตอนการรวมตัวอักษร โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

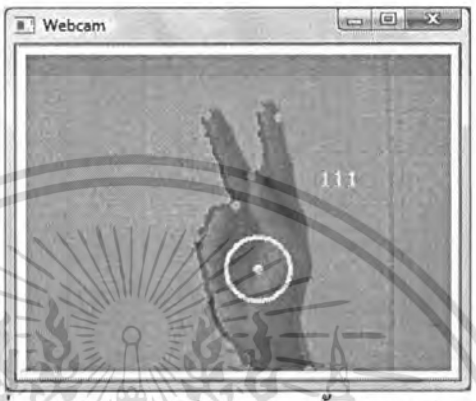
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7.3.1 การสะกดนิ้วมือท่าเดียว

กำหนดให้ผู้ใช้ต้องแสดงท่าการสะกดนิ้วมือเป็นเวลา 3 วินาที หากท่ามือไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงจะทำการแสดงผล

1) ก

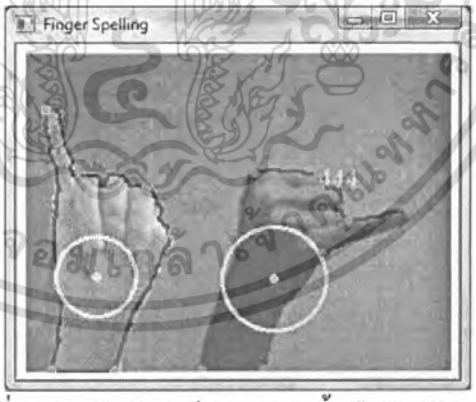
มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “K”



ภาพที่ 3.42 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ก”

2) จ

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “J”

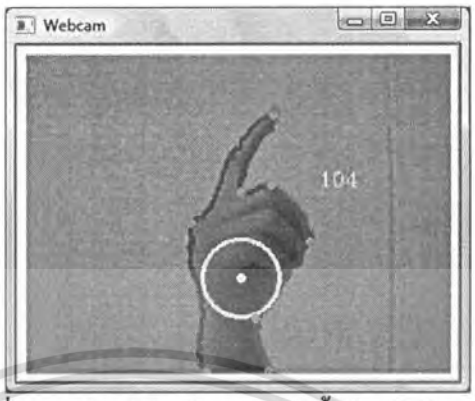


ภาพที่ 3.43 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “จ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ด

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “D”



ภาพที่ 3.44 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ด”

4) ต

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “T”

ภาพที่ 3.45 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ต”

5) น

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “N”

ภาพที่ 3.46 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “น”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) บ

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “B”

ภาพที่ 3.47 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “บ”

7) พ

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “P”

ภาพที่ 3.48 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “พ”

8) ฟ

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “F”

ภาพที่ 3.49 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฟ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) ม

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “M”

ภาพที่ 3.50 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ม”

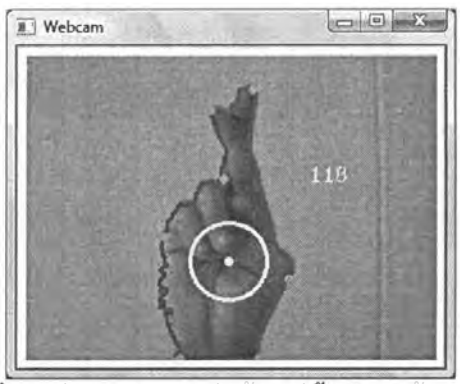
10) ย

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “Y”

ภาพที่ 3.51 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ย”

11) ร

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “R”



ภาพที่ 3.52 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ร”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) ล

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “L”

ภาพที่ 3.53 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ล”

13) ว

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “W”

ภาพที่ 3.54 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ว”

14) ส

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “S”

ภาพที่ 3.55 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ส”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) ห

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “H”

ภาพที่ 3.56 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ห”

16) อ

มีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวอักษร “A”

ภาพที่ 3.57 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “อ”

17) ตัวเลข

มีวิธีการตรวจสอบเช่นเดียวกับตัวเลขในภาษาอังกฤษ

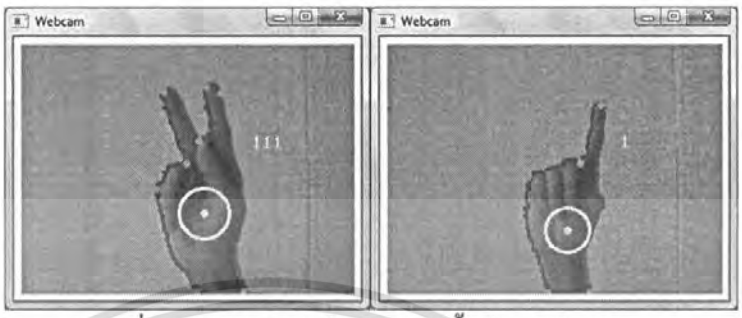
3.3.7.3.2 การสะกดนิ้วมือรวมตัวอักษร

ส่วนเสียงในภาษาไทยที่ไม่มีในภาษาอังกฤษ หรือออกเสียงเหมือนกัน จะมีการดัดแปลงท่าให้มีการรวมเข้ากับตัวเลขหรือตัวอักษร ซึ่งกำหนดให้ผู้ใช้ต้องแสดงท่าการสะกดนิ้วมือ โดยเปลี่ยนท่าให้ทันภายในเวลา 3 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ข

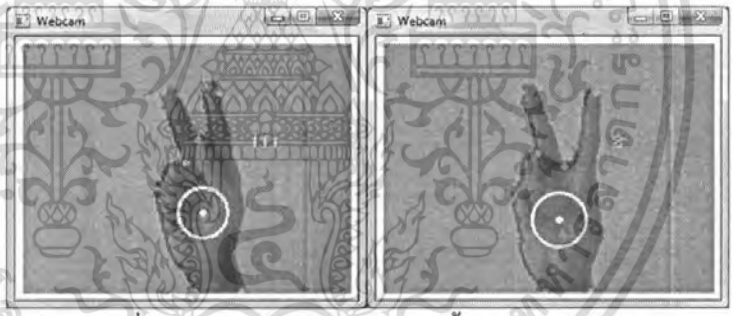
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “K” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “K” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ข”



ภาพที่ 3.58 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ข”

2) ค

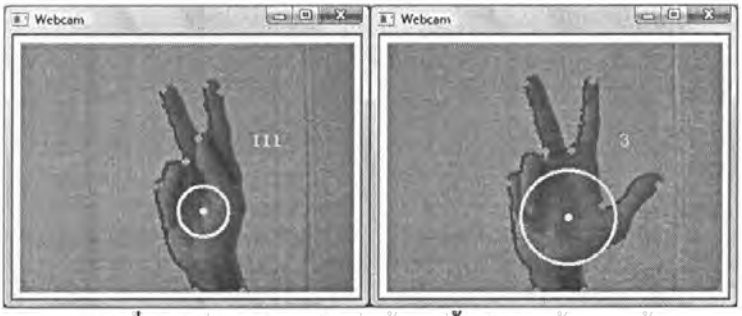
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “K” และ เลข “2” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “K” และตามด้วย “2” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ค”



ภาพที่ 3.59 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ค”

3) ฆ

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “K” และ เลข “3” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “K” และตามด้วย “3” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฆ”

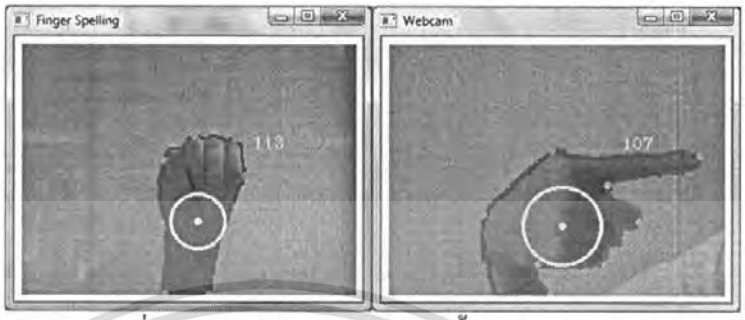


ภาพที่ 3.60 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฆ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ง

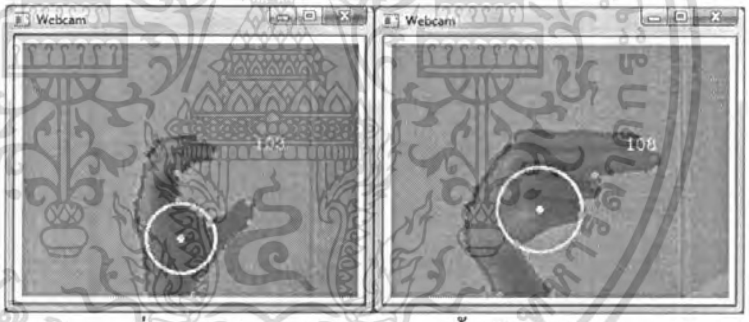
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “N” และ “G” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “N” และตามด้วย “G” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ง”



ภาพที่ 3.61 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ง”

5) ฉ

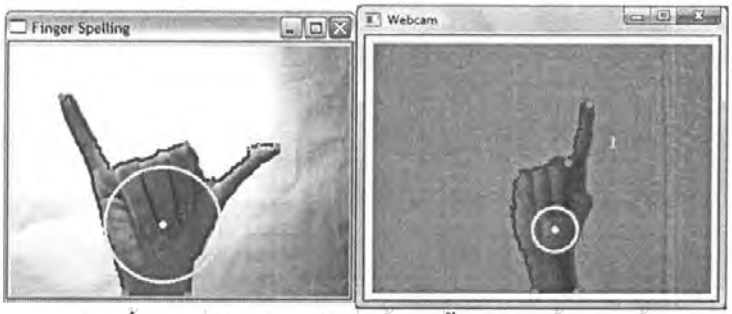
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “C” และ เลข “H” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “C” และตามด้วย “H” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฉ”



ภาพที่ 3.62 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฉ”

6) ญ

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “Y” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “Y” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ญ”

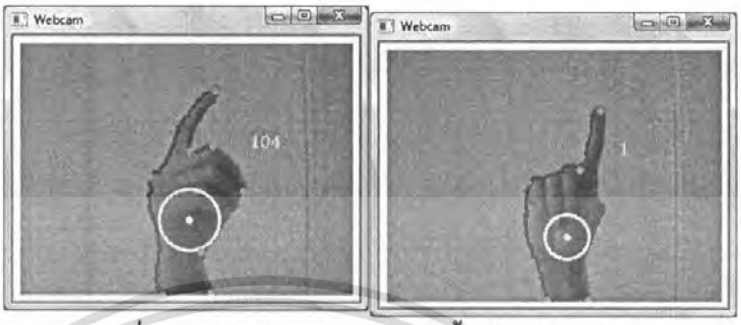


ภาพที่ 3.63 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ญ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ฎ

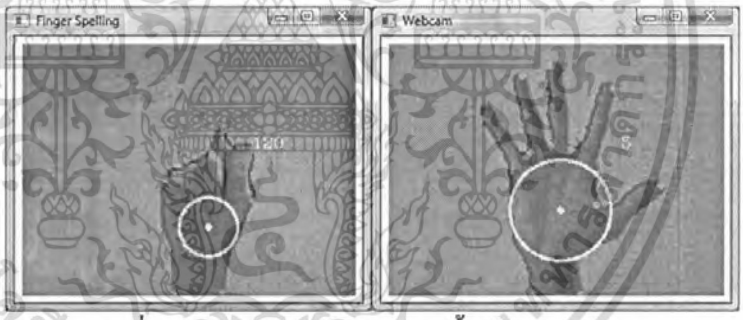
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “D” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “D” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฎ”



ภาพที่ 3.64 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฎ”

8) ฏ

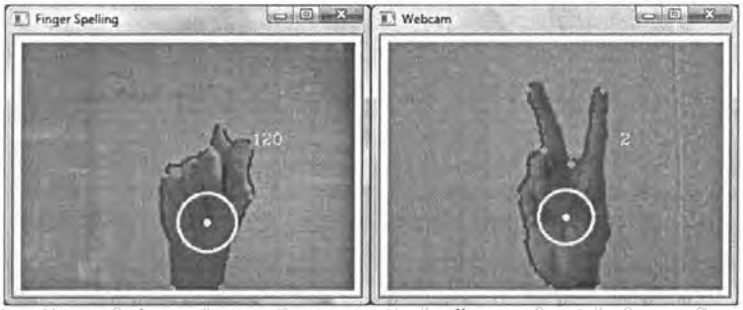
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “T” และ เลข “5” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “T” และตามด้วย “5” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฏ”



ภาพที่ 3.65 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฏ”

9) ฐ

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “T” และ เลข “2” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “T” และตามด้วย “2” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฐ”

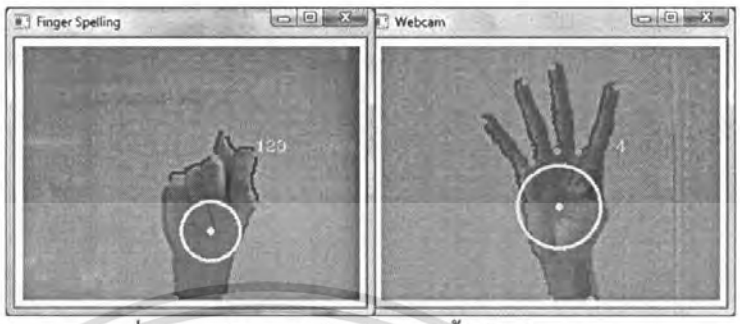


ภาพที่ 3.66 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฐ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) ฑ

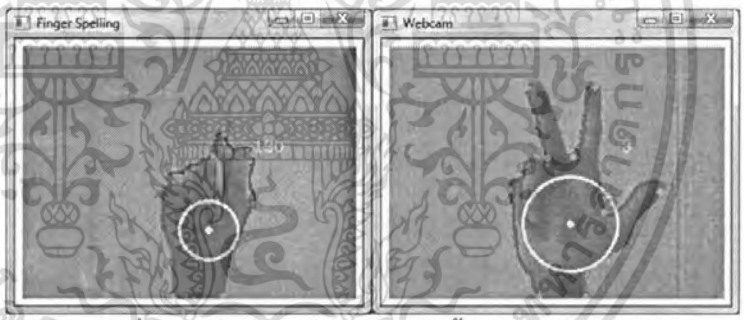
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “T” และ เลข “4” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “T” และตามด้วย “4” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฑ”



ภาพที่ 3.67 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฑ”

11) ฒ

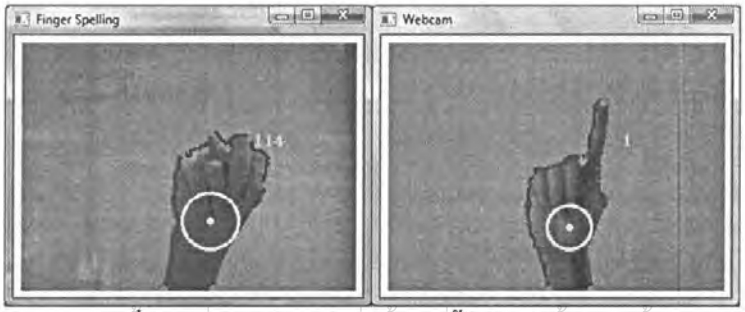
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “T” และ เลข “3” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “T” และตามด้วย “2” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฒ”



ภาพที่ 3.68 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฒ”

12) ณ

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “N” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “N” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ณ”

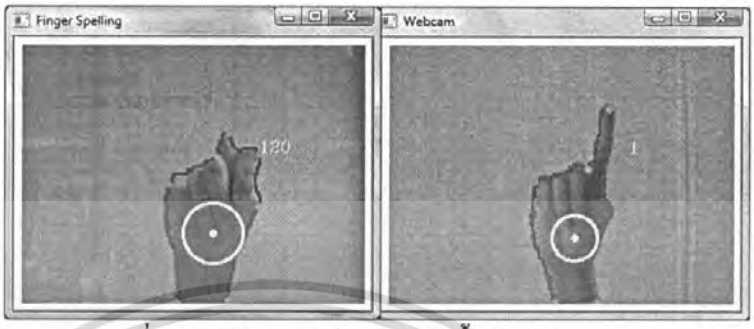


ภาพที่ 3.69 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ณ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13) ถ

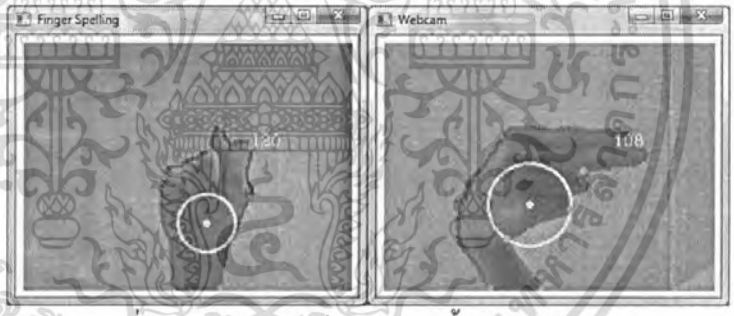
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “T” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “T” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ถ”



ภาพที่ 3.70 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ถ”

14) ท

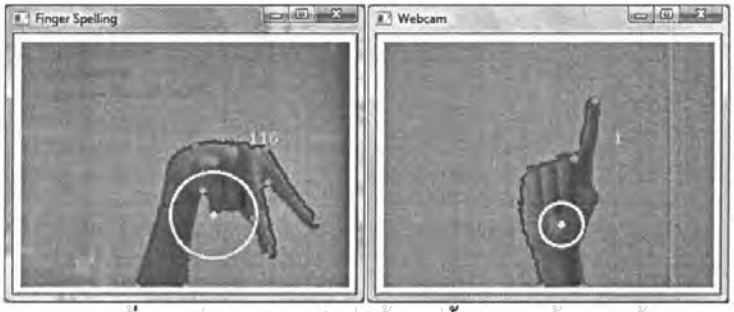
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “T” และ “H” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “T” และตามด้วย “H” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ท”



ภาพที่ 3.71 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ท”

15) ป

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “P” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “P” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ป”

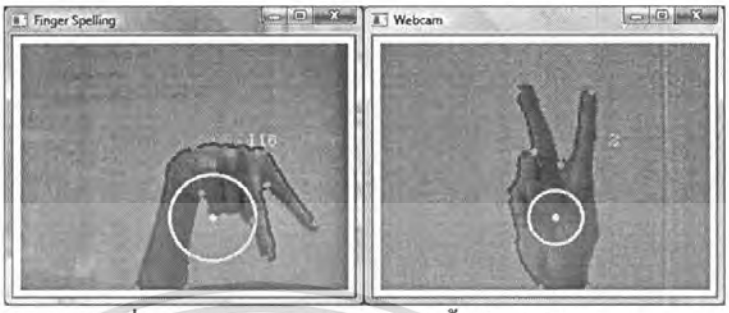


ภาพที่ 3.72 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ป”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16) ผ

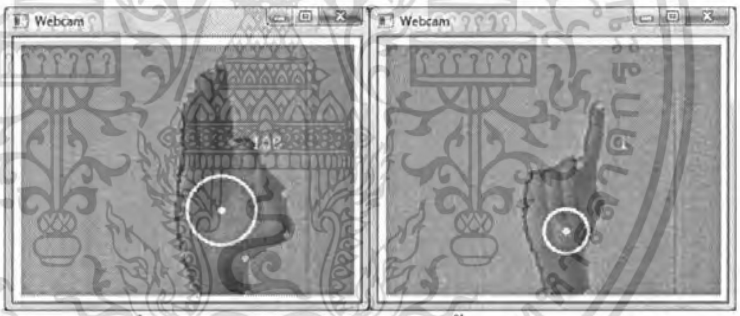
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “P” และ เลข “2” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “P” และตามด้วย “2” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ผ”



ภาพที่ 3.73 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ผ”

17) ฝ

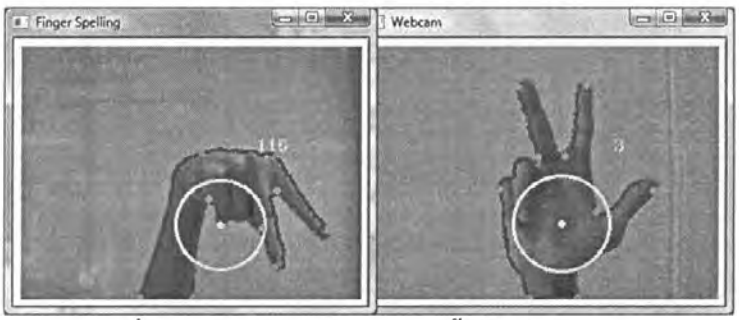
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “F” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “F” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฝ”



ภาพที่ 3.74 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฝ”

18) ภ

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “P” และ เลข “3” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “P” และตามด้วย “3” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ภ”

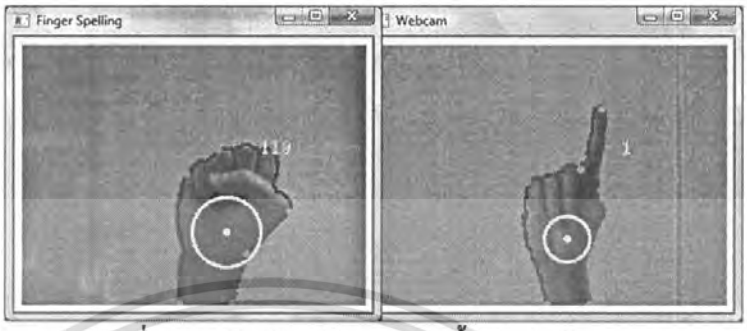


ภาพที่ 3.75 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ภ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19) ศ

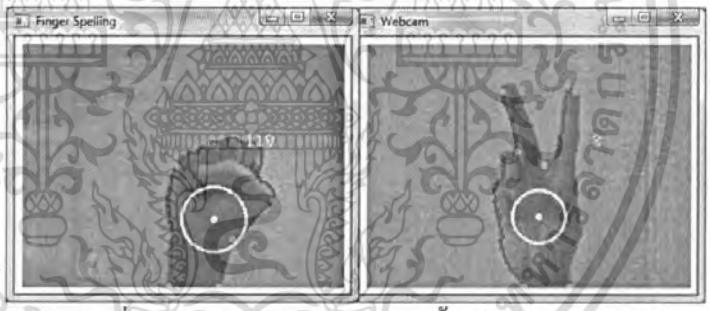
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “S” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “S” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ศ”



ภาพที่ 3.76 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ศ”

20) ษ

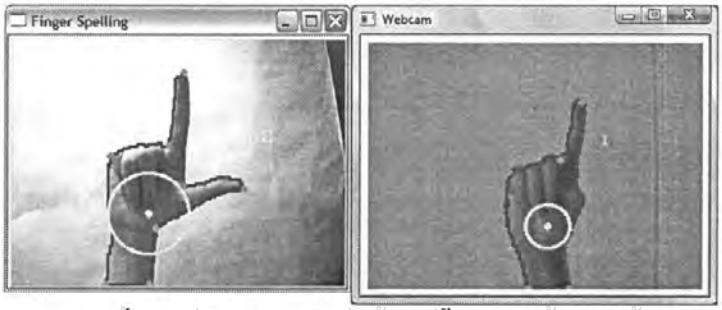
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “S” และ เลข “2” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “S” และตามด้วย “2” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ษ”



ภาพที่ 3.77 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ษ”

21) ฬ

เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “L” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “L” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฬ”

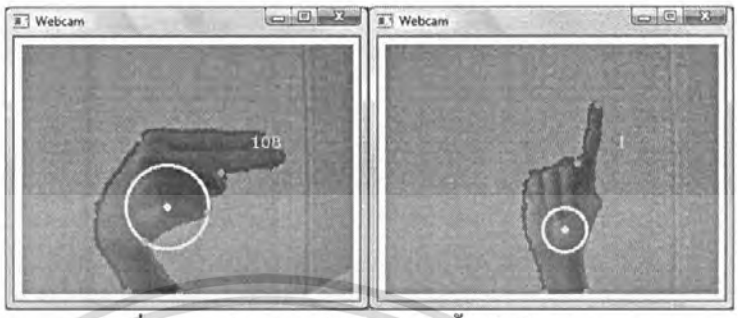


ภาพที่ 3.78 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฬ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22) ฮ

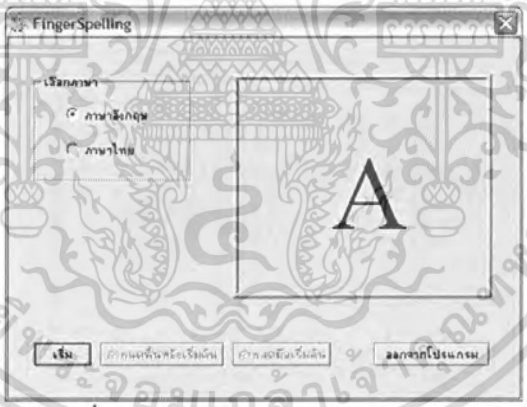
เป็นการรวมท่าของตัวอักษร “H” และ เลข “1” ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบ “H” และตามด้วย “1” ภายในเวลา 3 วินาที จะแสดงผลเป็น “ฮ”



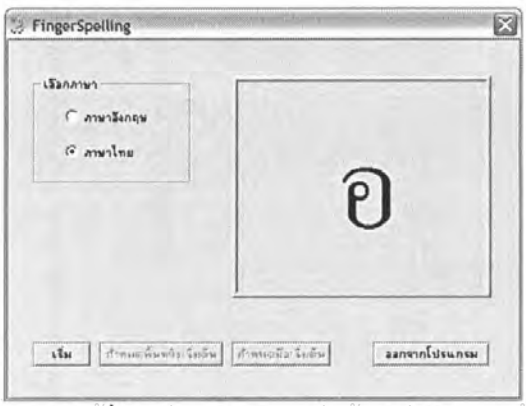
ภาพที่ 3.79 สัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือตัวอักษร “ฮ”

3.3.8 แสดงความหมายของภาพ

ถ้าผลที่ได้จากการประมวลผลตรงกับตัวอักษรใดๆที่ได้กำหนดไว้ โปรแกรมจะทำการแสดงผลที่ได้ออกทางหน้าจอหลักของโปรแกรม



ภาพที่ 3.80 หน้าจอแสดงผลภาษาอังกฤษ



ภาพที่ 3.81 หน้าจอแสดงผลภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ในขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมเพื่อให้มี ประสิทธิภาพ นั้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นปัจจัยมารองรับการทำงานของโปรแกรมนี้ เพื่อทำให้โปรแกรมสามารถ ปฏิบัติงานได้จริง

4.1 ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์สำหรับโปรแกรม

- CPU pantiam4 1ghz
- Ram 256 Mb
- Web camera
- ระบบปฏิบัติการ Window XP sp2
- Microsoft Visual Studio c++ 6.0
- OpenCV Library

4.2 อุปกรณ์

กล้องที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (Web camera) 1 ตัว

ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างกล้องที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม

- **void initBgLoad()**

  การกำหนดตั้งค่าเริ่มต้นของการกำหนดรูปพื้นหลังเริ่มต้น ได้แก่ การสร้างหน้าต่างสำหรับภาพพื้นหลัง และ การรับภาพเฟรมจากกล้อง

- **void initBgLoop(int*inStep)**

  การวนรับภาพพื้นหลังตลอดเวลาจนกว่าผู้ใช้จะกดปุ่ม "กำหนดพื้นหลังเริ่มต้น" และถือว่าภาพสุดท้ายที่รับจากกล้องเป็นภาพพื้นหลังเริ่มต้น

- **void initHistLoop(int*inStep)**

  การวนรับภาพตลอดเวลาจนกว่าผู้ใช้จะกดปุ่ม "กำหนดมือเริ่มต้น" และคำนวณฮิสโตรแกรมของสีที่อยู่ภายในกรอบสีขาว ซึ่งคือ สีของมือผู้ใช้

- **void imgProcessingLoop(int* fingInterrupt)**

  ประมวลผลภาพแต่ละภาพที่ได้รับจากกล้อง โดยการตัดสีที่ไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ก่อนแล้วหลังจากนั้นจึงหาขอบภาพ หาตำแหน่งและขนาดของฝ่ามือ คำนวณขนาดและทิศทางของเวคเตอร์ของเส้นขอบมือ ทำให้รู้จุดเปลี่ยนความชัน ซึ่งเป็นจุดยอดของปลายนิ้ว ตีความหมายและวิเคราะห์ความหมายของรูปรวมถึงการควบคุมการส่งอินเทอร์รัปของความหมายมือที่วิเคราะห์แล้วไปยังส่วนของเกม

- **void bgSubtract(IplImage* bg,IplImage* frame,IplImage* sub)**

  การตัดภาพพื้นหลังโดยการเปรียบเทียบค่าสี RGB ดูความแตกต่างของภาพพื้นหลังที่กำหนดไว้กับภาพปัจจุบันที่รับเข้ามาจากกล้อง

- **cvSmooth(backproject,backproject,CV_GAUSSIAN ,5,5,0);**

  ลดจุดรบกวนของภาพในแต่ละเฟรม

- **cvErode(maskSub, maskSub, ck, 4);cvDilate(maskSub, maskSub, ck, 3);**

  ลดจุดรบกวนของภาพในแต่ละเฟรมที่เหลือจากการลบจุดรบกวนจาก cvSmooth

- **imgAdvanceVan()**

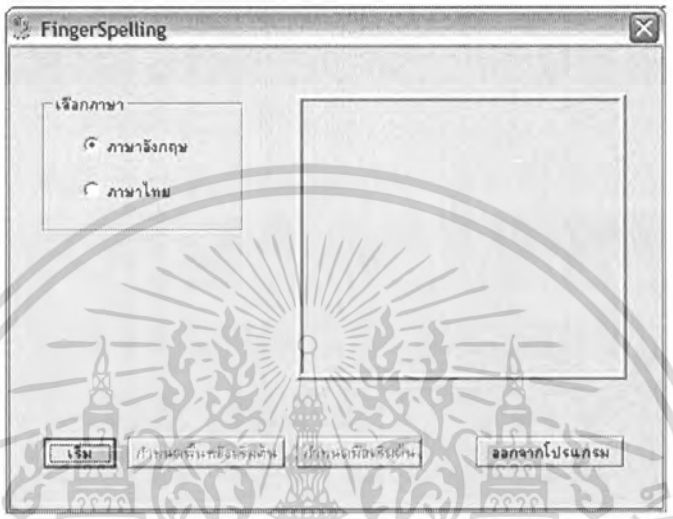
  นำจุดต่างๆของมือที่ได้จากการประมวลผลภาพ มาประมวลผลเพื่อตรวจสอบว่าภาพที่ได้รับมามีความหมายตรงกับตัวอักษรใดตามหลักการสะกดของนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ขั้นตอนการการทำงานของโปรแกรม

4.4.1 เริ่มการทำงานโปรแกรม

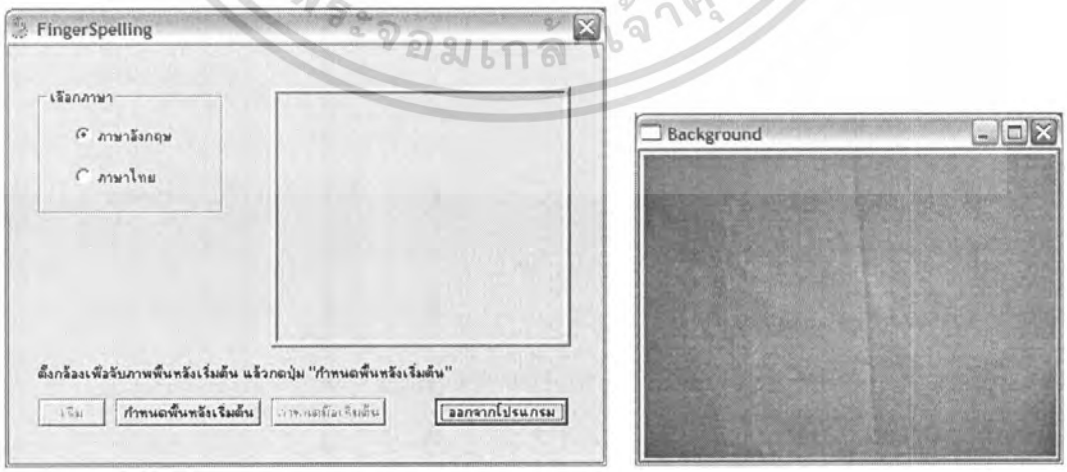
เมื่อเปิดโปรแกรม "FingerSpelling.exe" ให้ผู้ใช้กดปุ่ม "เริ่ม" ที่หน้าจอโปรแกรม เพื่อทำการเชื่อมต่อกล้องเข้ากับโปรแกรม และเริ่มการทำงานของโปรแกรม



ภาพที่ 4.2 หน้าจอโปรแกรม

4.4.2 รับภาพพื้นหลังและมือเริ่มต้น

เมื่อกดปุ่ม "เริ่ม" จะมีหน้าจอให้ผู้ใช้จับภาพพื้นหลังเริ่มต้น ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 หน้าจอโปรแกรมรอรับภาพพื้นหลังเริ่มต้น

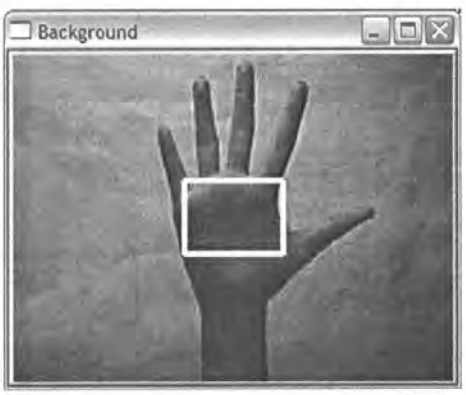
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจับภาพพื้นหลัง พื้นหลังไม่จำเป็นต้องเป็นพื้นเรียบ สามารถมีลวดลายต่างๆได้ แต่สีพื้นหลังต้องมีความแตกต่างกับกับสีของมืออย่างชัดเจน ไม่ควรใช้สีพื้นหลังที่ใกล้เคียงสีมือ เช่น สีส้ม สีแดง สีเหลือง และสีดำ ซึ่งถึงแม้ว่าสีดำจะไม่ใกล้เคียงสีของมือ แต่สีดำหรือสีที่มีโทนเข้มจะมีสีที่ใกล้เคียงกับ สีเงาของมือ และเมื่อได้พื้นหลังที่ต้องการ ให้ผู้ใช้กดปุ่ม "กำหนดพื้นหลังเริ่มต้น" เพื่อทำการบันทึกพื้นหลัง

จากนั้นก็จะปรากฏหน้าต่อไป เพื่อทำการบันทึกความถี่สีและขนาดของมือ โดยหน้าจอนี้จะมี รูปสี่เหลี่ยมตรงกลางหน้าจอ ดังภาพ

ภาพที่ 4.4 หน้าจอรอรับค่าความถี่สี และขนาดของมือเริ่มต้น

โดยให้วางฝ่ามือให้เต็มกรอบสี่เหลี่ยม และองค์ประกอบของมือทั้งหมดอยู่ภายในหน้าจอนั้นพอดี ดังภาพที่ 4.5 แล้วทำการกดปุ่ม "กำหนดมือเริ่มต้น" เพื่อบันทึกความถี่สีและขนาดของมือ แล้วนำภาพพื้นหลัง ความถี่สีและขนาดของมือมา ทำการประมวลผล เพื่อเริ่มการจับภาพสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ



ภาพที่ 4.5 การวางมือเพื่อกำหนดความถี่สี และขนาดมือเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ประมวลผล

เมื่อเริ่มการประมวลผลแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ โปรแกรมจะแสดงผล 2 หน้าจอ ดังนี้

(1) หน้าจอแสดงภาพหลังจากผ่านกระบวนการประมวลผลภาพที่รับจากกล้อง ประกอบด้วยด้วยสัญลักษณ์ 3 สี

- สัญลักษณ์ที่ 1 เป็นเส้นสีแดง แสดงเส้นขอบของมือผู้ใช้
- สัญลักษณ์ที่ 2 เป็นเส้นวงกลมและจุดสีเหลือง แสดงจุดศูนย์กลางของฝ่ามือ
- สัญลักษณ์ที่ 3 เป็นจุดสีเขียว แสดงจุดต่างๆขององค์ประกอบของมือ เพื่อนำไปคำนวณและประมวลผลหาตัวอักษรของสัญลักษณ์

(2) หน้าจอแสดงตัวอักษร ผู้ใช้สามารถเลือกให้โปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษได้จากตัวเลือกในหน้าจอนี้ และหากผู้ใช้ต้องการกำหนดพื้นหลัง หรือขนาดและความถี่สีมือเริ่มต้นใหม่ สามารถกดปุ่ม "เริ่ม" เพื่อให้โปรแกรมวนรอบรับภาพพื้นหลังและมือเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง และกดปุ่ม "ออกจากโปรแกรม" เมื่อต้องการสั่งให้โปรแกรมจบการทำงาน

ดังภาพที่ 4.6

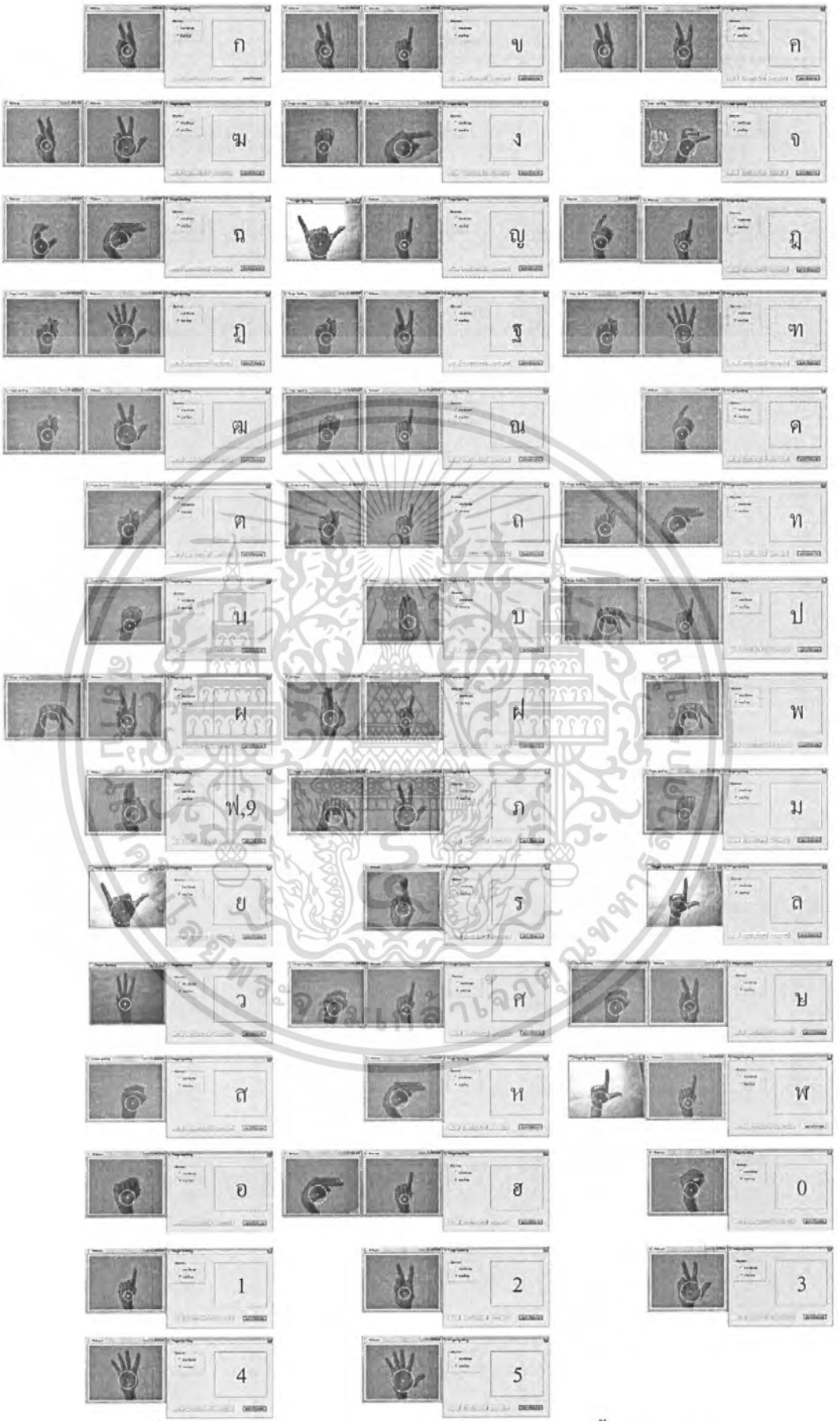
ภาพที่ 4.6 หน้าจอโปรแกรมขณะแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ

4.5 ผลการทำงานภายในโปรแกรมเมื่อรับคำสั่งจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือ

4.5.1 อักษรภาษาไทย

การทำงานแสดงการประมวลผลสัญลักษณ์การสะกดนิ้ว ในภาษาไทย จะสามารถแสดง ได้ดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

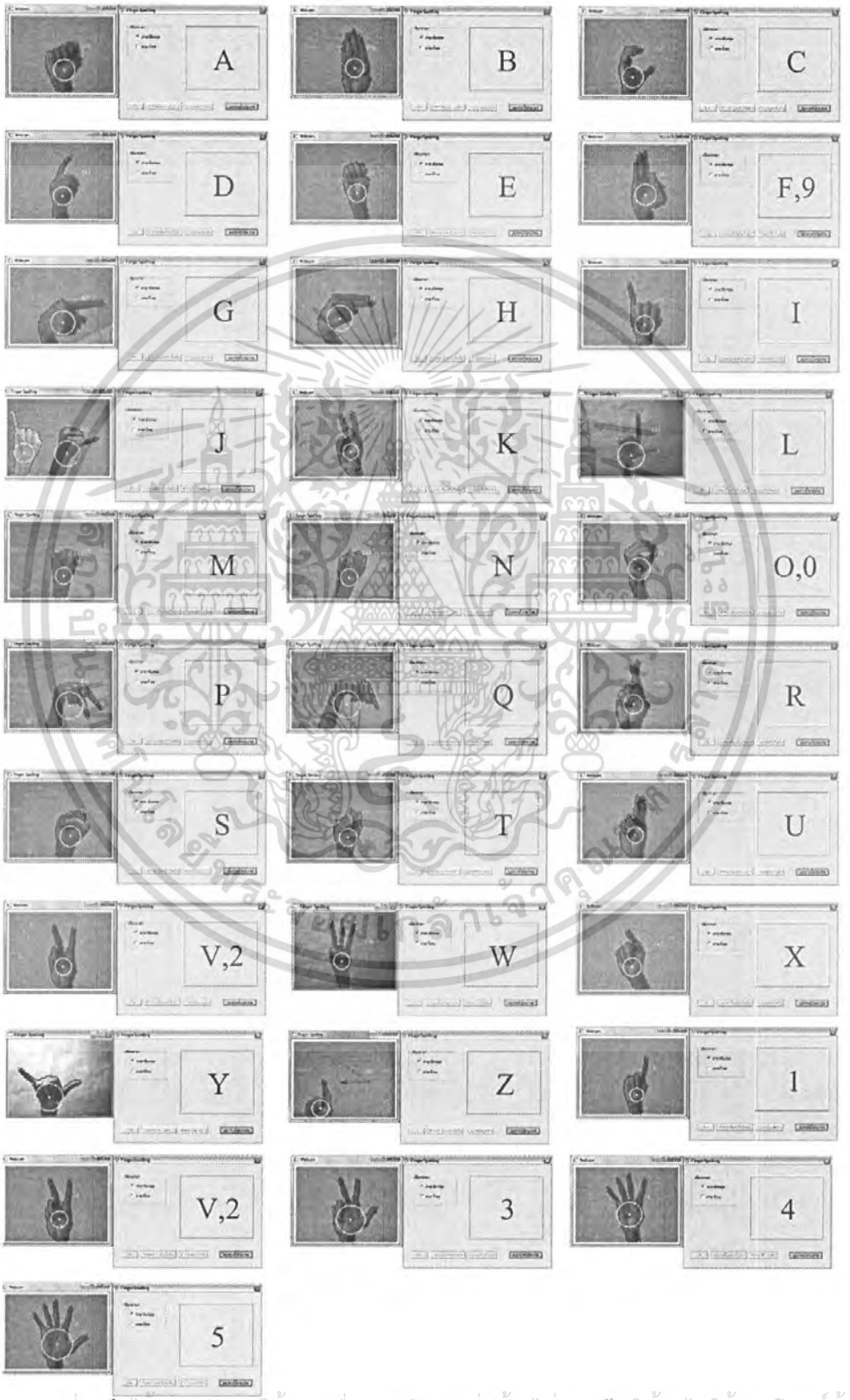


ภาพที่ 4.7 ผลการประมวลผลจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 อักษรภาษาอังกฤษ

การทำงานแสดงการประมวลผลสัญลักษณ์การสะกดนิ้ว ในภาษาอังกฤษ จะสามารถแสดง ได้ดังภาพ



ภาพที่ 4.8 ผลการประมวลผลจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาอังกฤษ

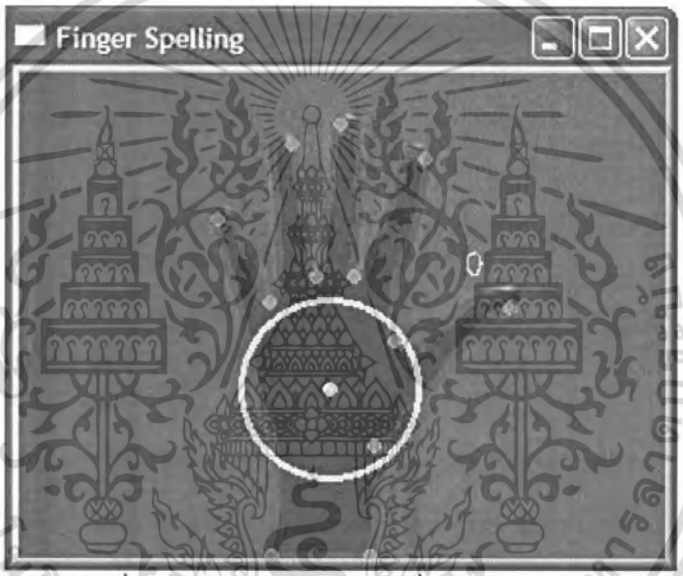
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรมในสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน

ในขั้นตอนการจับภาพพื้นหลัง จะต้องมี ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เพื่อทำให้โปรแกรมนี้สามารถ ดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- แสงสว่างที่ได้รับทางสิ่งแวดล้อม แสงสว่างของพื้นหลังในขณะดำเนินงานนั้นต้องไม่มากเกิน ไป เพราะจะทำให้การดำเนินงานของโปรแกรม เป็นไปอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ

  จากการแสดงให้เห็นดังภาพ 4.9 เป็นภาพที่มีแสงสว่างพอดี จะทำให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพ แต่ภาพที่ 4.10 เป็นภาพที่แสดงผล เมื่อมีแสงสว่างมากเกินไป ทำให้ ความถี่สีของมือ มี สีที่ใกล้เคียงกับสีพื้นหลัง ทำให้การประมวลผลผิดพลาดได้

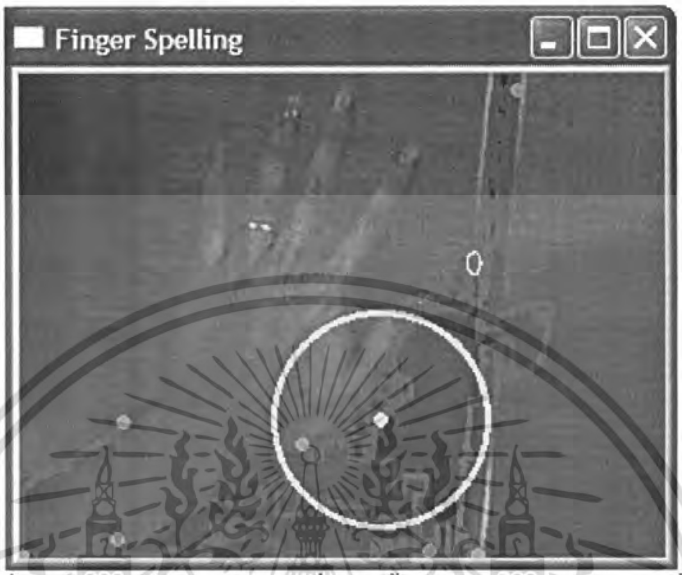


ภาพที่ 4.9 ผลการประมวลผลเมื่อมีแสงสว่างพอดี

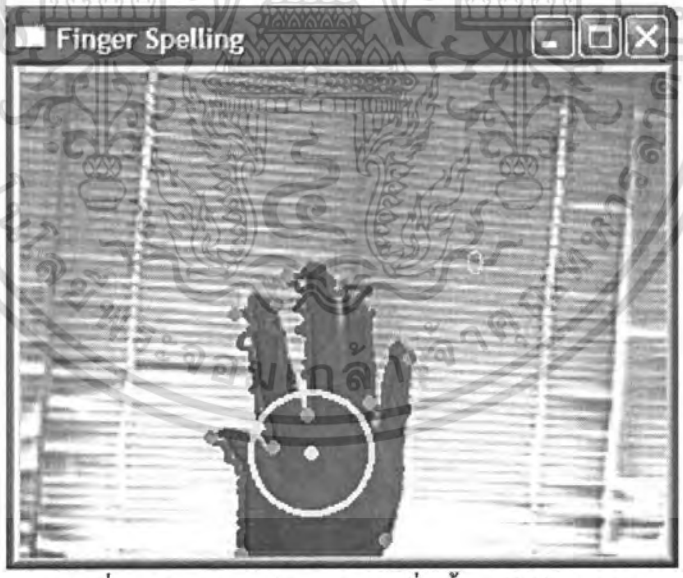
ภาพที่ 4.10 ผลการประมวลผลเมื่อมีแสงสว่างมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัตถุที่เป็นพื้นหลัง ในการเลือกพื้นหลัง ควรเลือกพื้นหลังมีสีและลวดลาย แตกต่างกับสีของมือ ดังภาพที่ 4.11 และ 4.12 เป็นตัวอย่างที่สีของพื้นหลัง มีสีใกล้เคียงกับสีมือ



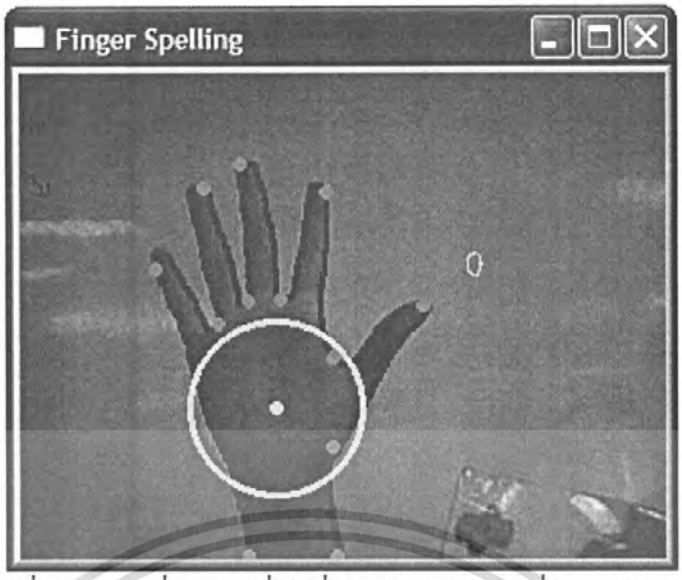
ภาพที่ 4.11 ผลการประมวลผลเมื่อมีสีพื้นหลังใกล้เคียงกับความถี่สีของมือ



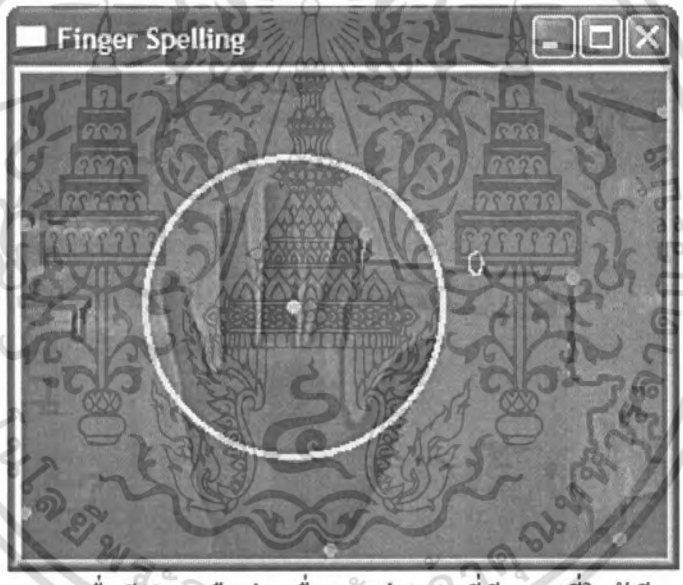
ภาพที่ 4.12 ผลการประมวลผลเมื่อพื้นหลังมีลวดลาย

- ในการประมวลผลเมื่อมีวัตถุอื่นๆของร่างกายหรือวัตถุต่างๆ เข้ามาในเฟรมกล้อง โปรแกรมจะสามารถประมวลผลได้ เมื่อวัตถุนั้น มีสีที่แต่ต่างกับความถี่สีของมือผู้ใช้ ดังภาพ 4.13 แต่เมื่อ มีวัตถุที่สีใกล้เคียงกับความถี่ของสีมือ หรือ สัดส่วนอื่นของร่างกายที่ไม่ใช่มือ ก็จะไม่สามารถประมวลผลได้ถูกต้อง ดังภาพที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 ผลเมื่อมีวัตถุที่มีสีที่แตกต่าง กับความถี่สีของมือเข้ามา



ภาพที่ 4.14 ผลเมื่อมีวัตถุหรือส่วนอื่นของร่างกายที่มีความถี่ใกล้เคียงกันเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โดยส่วนใหญ่คนปกติที่ไม่มีโอกาสได้เรียนรู้ภาษามือ อาจจะมีความยากลำบากในการสื่อสารกับผู้ที่มีความผิดปกติทางด้านการพูดและการฟัง ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านการติดต่อสื่อสารให้แก่บุคคลทั่วไปเข้าใจความหมายของการสะกดนิ้วมือมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของภาษามือ ให้คนปกติทั่วไปสามารถเข้าใจได้ อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการเรียนรู้ท่าทางในการสะกดนิ้วมือแก่ผู้ที่มีความผิดปกติอีกด้วย

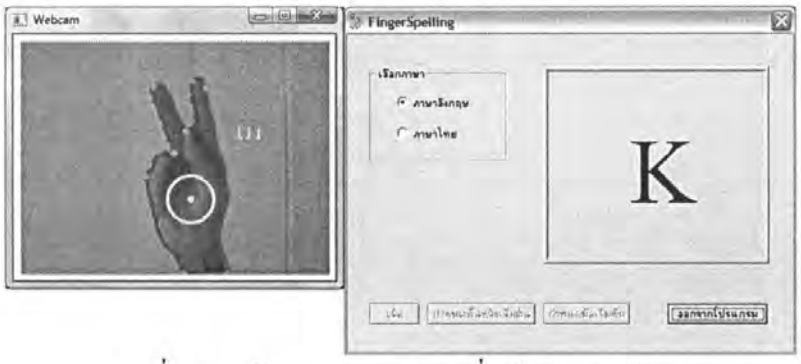
ซึ่งโปรแกรมนี้จะสามารถติดต่อกล้องเว็บแคม เพื่อรับภาพมือโดยวนรอบรับภาพในลักษณะเวลาจริงตลอดเวลา และเรียกใช้ฟังก์ชันต่างๆจากไลบรารีของ OpenCV มาประมวลผลภาพแล้วทำการคิดอัลกอริธึมหาความหมายของตามหลักการสะกดนิ้วมือมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพื่อแสดงความหมายของตัวอักษรในแต่ละท่านั้นๆออกมา

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้ ประมวลผลได้เฉพาะท่าสัญลักษณ์มือเดียวเท่านั้น และยังไม่สามารถประมวลผลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำมากนัก อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในด้านของภาพพื้นหลังที่จำเป็นต้องกำหนดพื้นหลังเริ่มต้น เพื่อใช้ในการคำนวณตัดภาพพื้นหลังขณะประมวลผลแบบเวลาจริง ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถเคลื่อนที่กล้องได้ในขณะรันโปรแกรม รวมทั้งยังมีข้อจำกัดของพื้นหลังที่จำเป็นต้องมีค่าความถี่สีที่แตกต่างจากค่าความถี่สีของมือ และสภาพแวดล้อมของระบบจะต้องมีลักษณะเป็นระบบปิด หรือควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อระบบ เช่น แสง เงา เป็นต้น ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะสามารถพัฒนาให้สามารถประมวลผลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ สามารถแปลความหมายของท่าทางลักษณะของมือที่ต้องใช้การเคลื่อนไหว และสามารถแปลความหมายของภาษามือ จากท่าภาษามือธรรมชาติได้ รวมทั้งลดข้อจำกัดในการเลือกใช้พื้นหลังและสภาพแวดล้อมได้ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ที่มีความสนใจต่อไป

5.1.1 ข้อจำกัดของโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้ ได้พัฒนาให้สามารถแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือได้โดยให้ผู้ใช้เลือกแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาอังกฤษ และภาษาไทย แยกจากกัน เนื่องจากสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาไทยใช้สัญลักษณ์เดียวกับสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมืออเมริกัน โดยอาศัยจากหลักการเทียบเสียงพยัญชนะ จึงแยกออกจากกันเพื่อง่ายต่อความเข้าใจและง่ายต่อการใช้งานสำหรับผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.1 หน้าจอการแสดงผล เมื่อเลือกภาษาอังกฤษ

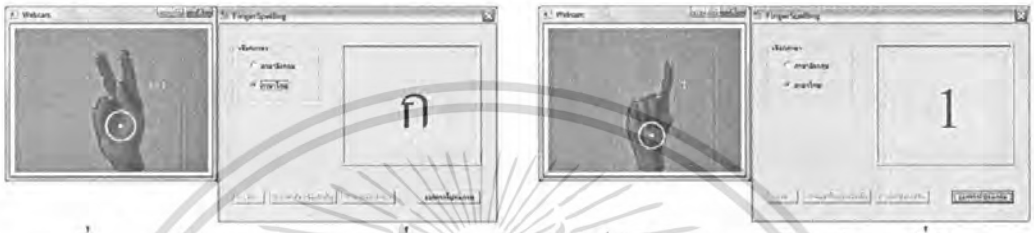
ภาพที่ 5.2 หน้าจอการแสดงผล เมื่อเลือกภาษาไทย

การตีความหมายสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือภาษาอังกฤษที่มีลักษณะท่ามือเคลื่อนไหว ซึ่งมี 2 ตัวอักษร คือ "J" และ "Z" การประมวลผลจะนำภาพแต่ละเฟรมที่จับได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด มาประมวลผลแล้วตีความออกมา ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ผู้ใช้ต้องทำท่าการสะกดนิ้วมือที่มีการเคลื่อนไหวภายในเวลา 3 วินาที

และการสะกดนิ้วมือภาษาไทยจะมีการรวมท่าสะกดนิ้วมือเข้าด้วยกัน เช่น ตัวอักษร "ข" จะเป็นท่าการสะกดนิ้วมือตัวอักษร "ก" รวมกับ ตัวเลข "1" การแปลสัญลักษณ์ท่ามือในการสะกดนิ้วมือภาษาไทยจึงถูกพัฒนาให้มีการจับเวลาในการแสดงท่า เพื่อนำมาประมวลผลโดยผู้ใช้ต้องทำท่าการสะกดนิ้วมือของตัวอักษรนั้นๆ ภายในเวลา 3 วินาที โปรแกรมจึงจะทำการรวมท่า แล้วตีความหมายออกมาเป็นตัวอักษร ซึ่งถ้าผู้ใช้ทำท่าช้าเกินกว่าเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาที่กำหนดโปรแกรมจะตีความเป็นตัวอักษรทีละตัว ยกตัวอย่างเช่น ตัวอักษร "ข" ดังภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.3 หน้าจอการแสดงผล เมื่อแสดงสัญลักษณ์ตัวอักษร “ข” ภายในเวลาที่กำหนด



ภาพที่ 5.4 หน้าจอการแสดงผล เมื่อแสดงสัญลักษณ์ตัวอักษร “ข” เกินกว่าเวลาที่กำหนด

5.2 การอภิปราย

ในการพัฒนาโปรแกรมโดยการเรียกใช้ฟังก์ชันในไลบรารีของ OpenCV สำหรับที่ใช้ในการประมวลผลภาพนี้ เป็นไลบรารีฟรีแวร์ ที่มีความสามารถ และเหมาะสมต่อการนำมาใช้พัฒนาโปรแกรมทางด้านการประมวลผลภาพ ในหลายๆกระบวนการ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มบุคคลกลุ่มหนึ่ง แต่อาจจะยังมีปัญหา จุดบกพร่องต่างๆอยู่บ้าง รวมทั้งยังเป็นเรื่องที่ใหม่ ยังไม่แพร่หลายมากนัก จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการศึกษา และค้นคว้าหาข้อมูล

และในขั้นตอนการประมวลผลหาความหมายแบบเวลาจริง โดยการใช้อัลกอริธึมที่คำนวณหาความหมายจากจุดปลายนิ้ว จุดระหว่างนิ้ว จุดศูนย์กลางของฝ่ามือ รวมทั้งระยะห่างของนิ้วที่กางออกที่คิดขึ้นมานี้ ถึงแม้ว่าจะเป็นการประหยัดงบประมาณในการนำอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ เข้ามาช่วยในการประมวลผล และสะดวกต่อการใช้งานสำหรับผู้ใช้ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องพกอุปกรณ์อื่นๆ แต่การประมวลผลโดยการนำภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมเข้ามาใช้คำนวณและประมวลผลนี้ อาจเกิดความผิดพลาดในการประมวลผลได้ เนื่องจากภาพที่ได้รับเข้ามานั้น อาจจะยังมีจุดรบกวนทำให้การประมวลผลเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโปรแกรมนี้มีการทำงานแบบเวลาจริง ต้องใช้การประมวลผลอยู่ตลอดเวลา จึงควรเลือกใช้กล้องที่มีอัตราความถี่ในการรับภาพสูง รวมทั้งเลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อช่วยลดการกระตุก และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล

แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมในอนาคต ควรพัฒนาให้โปรแกรมสามารถประมวลผลได้ถูกต้อง แม่นยำ ทั้งท่ามือในลักษณะท่านิ่ง และเคลื่อนไหว และสามารถประมวลผลโดยใช้ 2 มือได้ โดยไม่มีข้อจำกัดในการเลือกใช้พื้นหลัง และไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งนำโปรแกรมไปพัฒนาประยุกต์ให้สามารถติดตั้งได้บนโทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์เทคโนโลยีแบบพกพาต่างๆ เพื่อความสะดวกสบายต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

[1] ชาลิณี สมานมิตร, พิมพ์ศิริ สิงห์ตระหง่าน และมัสลิน อัคราวิวัฒน์. (2550). *การใช้สัญลักษณ์มือติดต่อกับสัตว์เลี้ยงดิจิตอลผ่านทางเวปแคม*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล. 2544. *คู่มือการเขียนโปรแกรม และใช้งาน Visual C++ 6.0 ฉบับโปรแกรมเมอร์*. กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส.

[3] วรวุฒิ เที่ยงธรรม และรุ่งโรจน์ วนพฤกษาศิลป์. 2542. *เรียนลัด Visual C++ 6.0 สไตล์ Visual Guide*. นนทบุรี : ออฟเซทเพรส.

[4] นิรุธ อำนวยศิลป์. (ม.ป.ป.). *Visual C++ and MFC Programming เขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย Visual C++ และ MFC*. (ม.ป.ท.) : ไทยเดฟดอทคอม.

[5] อาจารย์ฝ่ายวิชาการ. (10 มีนาคม 2551). *สัมภาษณ์*. อาจารย์. ฝ่ายวิชาการ โรงเรียนเศรษฐ-เสถียร ในพระราชูปถัมภ์.

[6] มูลนิธิพัฒนาคนพิการไทย. 2550. *คู่มืออาสาสมัครเพื่อคนพิการ*. นนทบุรี : โรงพิมพ์ยิ้มสู้.

[7] Intel Corporation. *CV Reference Manual*. Retrieved December 15, 2007, from http://opencvlibrary.sourceforge.net/CvReference.

[8] Intel Corporation. *CXCore Reference Manual*. Retrieved December 15, 2007, from http://opencvlibrary.sourceforge.net/CxCore.

[9] Intel Corporation. *HighGui Reference Manual*. Retrieved January 25, 2007, from http://opencvlibrary.sourceforge.net/HighGui.

[10] *HighGUI Reference Manual*. Retrieved February 14, 2008, from http://www.ai.rug.nl/vakinformatie/pas/content/Highgui/opencvref_highgui.htm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

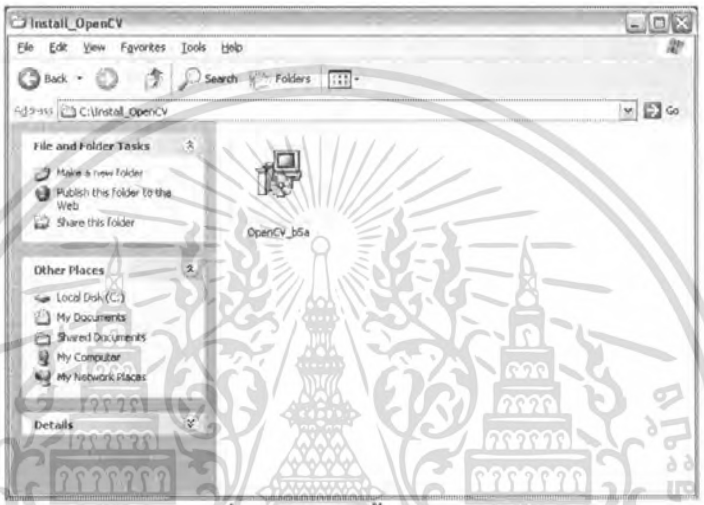
การใช้งานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานโปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือให้เป็นตัวอักษรนี้ จำเป็นต้องติดตั้ง OpenCV ก่อนเรียกใช้งาน โดยมีวิธีการติดตั้งดังนี้

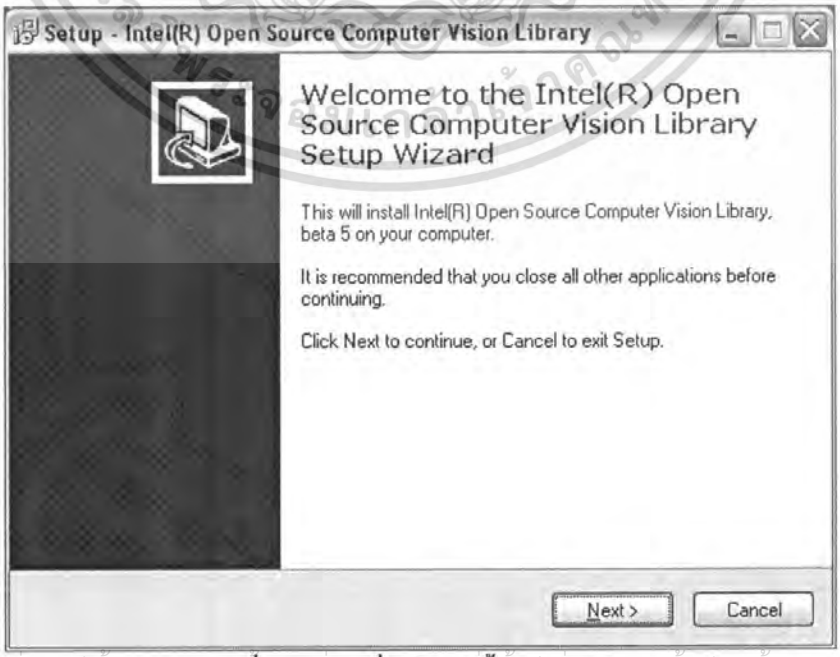
ก.1 ขั้นตอนการติดตั้ง "OpenCV"

ก.1.1) ดับเบิ้ลคลิกเลือกไฟล์ "OpenCV_b5a.exe" (ซึ่งสามารถเข้าไปดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary)



ภาพที่ ก.1 ตัวติดตั้ง "OpenCV"

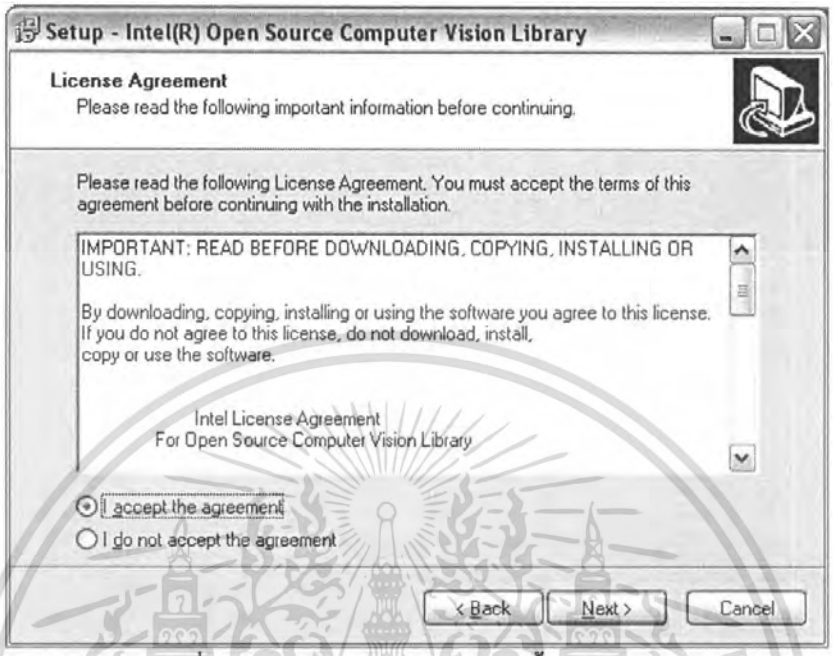
ก.1.2) ระบบจะแสดงข้อความต้อนรับ หากต้องการติดตั้ง ให้กดปุ่ม "Next >"



ภาพที่ ก.2 การเริ่มต้นติดตั้ง "OpenCV"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.3) จากนั้นระบบจะแสดงข้อตกลงในการใช้โปรแกรม หากยอมรับข้อตกลงให้คลิกเลือกที่ "I accept the agreement" และกดปุ่ม "Next >"



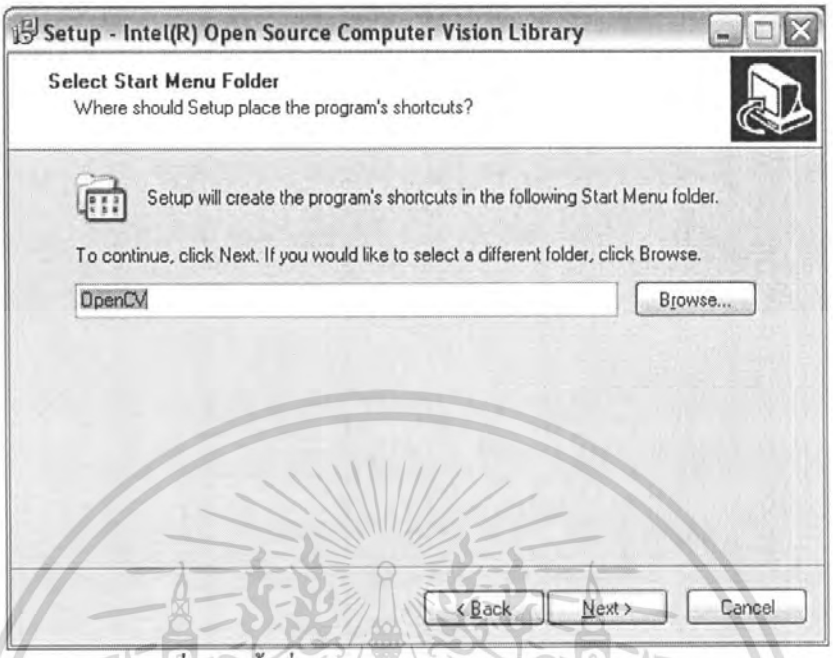
ภาพที่ ก.3 ข้อตกลงสำหรับการติดตั้ง "OpenCV"

ก.1.4) เลือก Directory ที่ต้องการติดตั้ง และกดปุ่ม "Next >"

ภาพที่ ก.4 เลือกไดเรคทอรีสำหรับติดตั้ง "OpenCV"

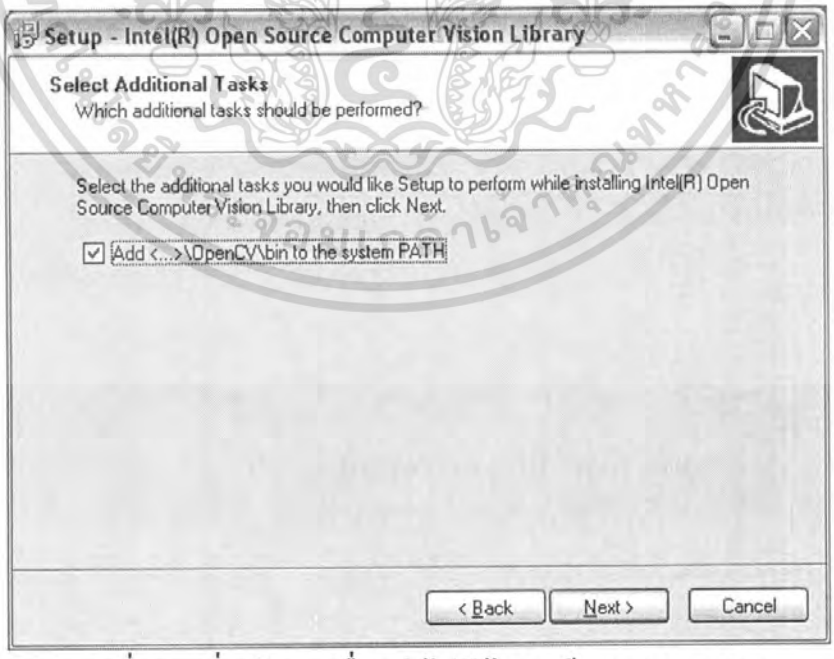
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.5) ตั้งชื่อแฟ้มที่ต้องการให้แสดงใน "Start menu" และกดปุ่ม "Next >"



ภาพที่ ก.5 ตั้งชื่อแฟ้มสำหรับแสดงใน "Start menu"

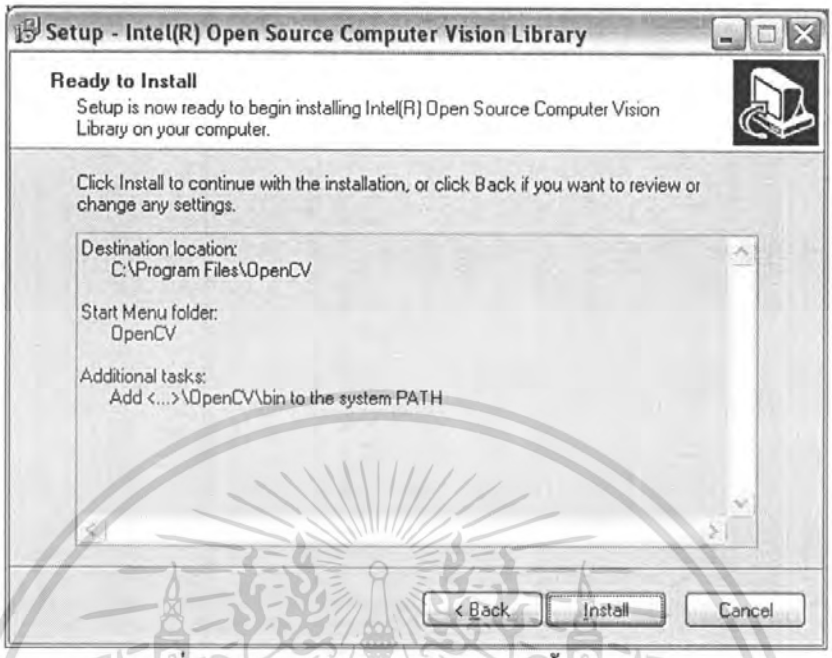
ก.1.6) คลิกเลือก "Add <...>\OpenCV\bin to the system PATH" เพื่อให้โปรแกรมเพิ่มเส้นทางไปยัง OpenCV ให้อัตโนมัติ และกดปุ่ม "Next >"



ภาพที่ ก.6 เพิ่มเส้นทางเชื่อมต่อไปยังไลบรารีของ "OpenCV"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.7) ระบบจะแสดงรายละเอียดการติดตั้ง OpenCV จากนั้นกดปุ่ม "Install"



ภาพที่ ก.7 รายละเอียดสำหรับการติดตั้ง "OpenCV"

ก.1.8) รอโปรแกรมติดตั้งจนสำเร็จ ระบบจะแจ้งให้ทราบว่าได้ทำการติดตั้งโปรแกรมสำเร็จแล้วกดปุ่ม "Finish"

ภาพที่ ก.8 การติดตั้ง "OpenCV" เสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การเรียกใช้งานโปรแกรม

เมื่อทำการติดตั้ง "OpenCV" เรียบร้อยแล้ว สามารถเปิดโปรแกรม "FingerSpelling.exe" เพื่อเรียกใช้งานโปรแกรมแปลสัญลักษณ์การสะกดนิ้วมือให้เป็นตัวอักษรได้ทันที

ภาพที่ ก.9 โปรแกรม "FingerSpelling.exe"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้