

การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์การวัดขนาดมือแบบไร้หมุด  
บนพื้นฐานการประมวลผลภาพ

ENHANCEMENT OF PEG-LESS HAND GEOMETRY DEVICE  
BASED ON IMAGE PROCESSING

อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์การวัดขนาดมือแบบไร้หมุด  
บนพื้นฐานการประมวลผลภาพ

อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์การวัดขนาดมือแบบไร้หมุดบนพื้นฐานการประมวลผลภาพ
ชื่อ-นามสกุล	นายอภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.
ปีการศึกษา	2559

## บทคัดย่อ

งานวิจัยทางด้านระบบวัดขนาดมือด้วยการประมวลผลภาพมุ่งเน้นไปที่ ความแม่นยำในการระบุตัวตนโดยอาศัยคุณลักษณะของมือ โดยสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทคือระบบที่มีหมุดกำกับนิ้วมือและไม่มีหมุดกำกับนิ้วมือ ปัญหาของระบบวัดขนาดมือแบบไร้หมุดคือการหาคุณลักษณะเด่นของมือ ซึ่งที่ผ่านมามีปัญหาคือการวางท่าทางมือที่แตกต่างไปจากภาพต้นแบบ จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ

ภาพมือจำนวน 180 ภาพจาก 60 บุคคลในท่าทางที่แตกต่างกันถูกนำมาใช้ในการทดสอบภาพเหล่านี้ เริ่มต้นถูกนำมาหาคุณลักษณะเด่นของมือด้วยวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้า ร่วมกับวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนาง พร้อมทั้งเพิ่มเติมการตรวจสอบการวางมือด้วยวิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้ว ซึ่งนำไปสู่การ ได้มาซึ่งความยาวกับความกว้างของนิ้ว และความยาวเส้นฐานนิ้ว

ผลการทดลองพบว่า วิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าสามารถหาปลายนิ้วและร่องนิ้วของภาพมือได้ทั้งหมด วิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนางสามารถลดความผิดพลาดจากการวัดความยาวของนิ้วก้อย นิ้วชี้และฝ่ามือ โดยเฉลี่ยไม่เกิน 3 มิลลิเมตรของภาพมือที่ทดสอบ ส่วนวิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้ว สามารถคัดกรองภาพมือที่ผิดพลาดที่เกิดจากท่าทางชิดนิ้วมือได้ ดังนั้นในภาพรวมระบบนี้ มีประสิทธิภาพดี ทั้งมีความยืดหยุ่นสูงสามารถรองรับรูปร่างมือที่มีลักษณะที่แตกต่างกันได้ แสดงได้จากกราฟ ROC ที่มีอัตราความผิดพลาดสมดุล (EER) ที่ร้อยละ 5 ค่าจำกัดความผิดพลาด (threshold value) ที่ 3 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ระบบวัดขนาดมือ ตรวจสอบการวางมือ การหาคุณลักษณะเด่น

<b>Thesis Title</b>	Enhancement of Peg-less Hand Geometry Device based on Image Processing
<b>Name-Surname</b>	Mr. Apiwat Sawatdirat
<b>Program</b>	Electronics and Telecommunication Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Jakkree Srinonchat, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2016

## ABSTRACT

Research of hand geometry measurement system using image processing focused on the precision of the hand identification features. It can be classified into two types: peg system and peg-less system. The problem of peg-less hand geometry measurement system is a distinguishing feature of the hand. The major cause of problem is the placing hand gestures that are different from the original. This directly reduces the effectiveness of the system. This thesis presents the enhancement of peg-less hand geometry device based on image processing.

The opening the palm of the hand from 60 people, which are 180 images, is used as the image input. Firstly, the hull convexity defects technique with middle-ring finger valley parallel line-based technique are used to identify the hand feature. Moreover, the area ratio of hand's valleys technique is applied to check the position of the hand. This can provide the length and width of finger and the based line of finger.

The results are shown that the hull convexity defects technique can detect the finger trip and a concave finger of the hand. The middle-Ring finger valley parallel line-based technique can reduce the measure error of little finger, index finger and the opening the palm of the hand approximately 3 mm. finally, the area ratio of hand's valleys technique can classify the error image of finger touch gestures. Therefore this system can perform very well and highly flexible to support the different shape of those hand. It can be noticed in the receiver operating characteristic (ROC) result which provides the equal error rate value (EER) as 5% and the limited error threshold value as 3 mm.

**Keywords:** hand geometry system, placement detection, feature extraction

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นและสนับสนุนในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ ดร.วิเชียร อุปแก้ว และผู้ทรงคุณวุฒิ ดร.พิเชษฐ บุญหนุน ที่ได้คำแนะนำด้านความรู้และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาการทำการวิจัยในครั้งต่อไป

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณะครู-อาจารย์ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และเพื่อน น้องนิสิตที่ห้องปฏิบัติการและวิจัย ทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ที่ได้ช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูล รวมถึงคำแนะนำต่างๆ ตลอดเวลาที่ทำวิจัยอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจหาก หากขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	13
1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	13
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	13
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 ไบโอมेटริก.....	14
2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล.....	16
2.3 ระบบวัดขนาดมือ.....	20
2.4 อุปกรณ์วัดขนาดมือ.....	22
2.5 การตรวจสอบการวางมือบนอุปกรณ์แบบมีหมุดกำกับ.....	25
2.6 การหาประสิทธิภาพของระบบ.....	26
2.7 ทบทวนวรรณกรรม.....	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	49
3.1 การออกแบบอุปกรณ์วัดขนาดมือ.....	49
3.2 การออกแบบการเตรียมภาพ.....	50
3.3 การออกแบบการประมวลผลภาพเบื้องต้น.....	52
3.4 การออกแบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ.....	54

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การหาเส้นรอบรูปมือ(การหาขอบภาพ) .....	55
3.6 การหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือ .....	57
3.7 การตรวจสอบการวางมือ .....	62
3.8 การหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ .....	64
3.9 การคำนวณหาความยาวและความกว้างของนิ้ว .....	66
3.10 การแปลงหน่วยการวัดขนาดมือ .....	69
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	71
4.1 กระบวนการหาผลการทดลอง.....	71
4.2 ผลจากอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป .....	74
4.3 ผลจากอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ .....	81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	85
5.1 สรุปผลการหาลักษณะเด่นก่อนเพิ่มการตรวจสอบการวางมือ.....	85
5.2 สรุปผลการหาลักษณะเด่นเมื่อเพิ่มการตรวจสอบการวางมือ .....	85
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนา.....	86
บรรณานุกรม .....	87
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก ตารางแสดงภาพนำเข้าที่ใช้ทดสอบระบบ .....	93
ภาคผนวก ข ตารางแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ .....	102
ภาคผนวก ค ตารางแสดงข้อมูลผลความแตกต่างระหว่างท่าทางการวางมือ .....	112
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	198



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของไบโอเมตริกตามคุณลักษณะเฉพาะ .....	14
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของไบโอเมตริกประเภทต่างๆ .....	15
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการวัดประสิทธิภาพจากงานวิจัยที่ผ่านการตีพิมพ์.....	28
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบการวัดรูปร่างมือจากงานวิจัยที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ .....	29
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบงานวิจัยด้านไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะกายภาพของมือ .....	30
ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) ของอัตราส่วนของร่องนิ้วจาก งานวิจัย [6] .....	63
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างภาพมือที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองระบบ.....	73
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากระบบการหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป .....	75
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลผลลัพธ์โดยสรุปของกลุ่มบุคคลที่เข้าทดสอบ .....	76
ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์เมื่อนำมาหาความแตกต่างระหว่างท่าทางของบุคคลที่ 1 ถึง 6 .....	78
ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างภาพที่ได้จากระบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ...	82

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของฟิกเชล [9].....	17
รูปที่ 2.2 เมตริกซ์ของฟิกเชลในภาพ [9].....	17
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของภาพสี [9] .....	18
รูปที่ 2.4 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของฟิกเชล [9] .....	19
รูปที่ 2.5 แบบร่างระบบวัดขนาดมือของ David Sidlauskus [1] .....	20
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบและกระบวนการระบบวัดขนาดมือ .....	21
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการทำงานหลักของอุปกรณ์วัดขนาดมือ.....	22
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการเตรียมภาพมือจากงานวิจัยก่อนหน้า .....	23
รูปที่ 2.9 การทำงานย่อยของการประมวลผลภาพเบื้องต้นของ Sanchez-Reillo และคณะ [12] ..	24
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแสดงผลการหาลักษณะเด่นของมือจากงานวิจัยของ Jain และ Ross [16].....	25
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของ Hand Punch 1000 [13] .....	26
รูปที่ 2.12 การหาประสิทธิภาพของระบบด้วยกราฟ ROC [18].....	27
รูปที่ 2.13 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Golfarelli และคณะ .....	31
รูปที่ 2.14 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Joshi และคณะ .....	32
รูปที่ 2.15 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Jain และ Ross .....	33
รูปที่ 2.16 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Jain และ Duta .....	33
รูปที่ 2.17 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Sanchez-Reillo และคณะ .....	34
รูปที่ 2.18 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Oden และคณะ .....	35
รูปที่ 2.19 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Wong และ Shi .....	36
รูปที่ 2.20 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Ribaric และคณะ .....	36
รูปที่ 2.21 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Kumar และคณะ.....	37
รูปที่ 2.22 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Gonzalez และคณะ.....	38
รูปที่ 2.23 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Veldhuis และคณะ .....	39
รูปที่ 2.24 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Bulatov และคณะ .....	40
รูปที่ 2.25 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Han.....	40
รูปที่ 2.26 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Ong และคณะ .....	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.27 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ นงลักษณ์ ไคววิสารัช และคณะ .....	42
รูปที่ 2.28 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Woodard และคณะ .....	42
รูปที่ 2.29 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Boreki และ Zimmer .....	43
รูปที่ 2.30 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Xiong และคณะ .....	44
รูปที่ 2.31 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Amayeh และคณะ .....	45
รูปที่ 2.32 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Yuruk และคณะ .....	46
รูปที่ 2.33 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Adan และคณะ .....	47
รูปที่ 2.34 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Morales และคณะ .....	48
รูปที่ 3.1 ข้อกำหนดของระบบ .....	49
รูปที่ 3.2 แบบร่างของผู้ควบคุมแสงสว่าง .....	50
รูปที่ 3.3 ผู้ควบคุมแสงสว่างและตัวอย่างการใช้งาน .....	51
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานย่อยของการประมวลผลภาพเบื้องต้น .....	52
รูปที่ 3.5 กระบวนการหาลักษณะเด่นเมื่อแทรกการตรวจสอบการวางมือ .....	55
รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการหาขอบวิธีเคนนี่ .....	56
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือและกรอบด้านนอก .....	57
รูปที่ 3.8 แนวคิดการคำนวณหาคอนเวกซ์ฮัลล์ด้วยขั้นตอนวิธีแบบห่อของขวัญ .....	58
รูปที่ 3.9 รหัสเทียมของวิธีการเดินแถวของจารวิธ .....	59
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือ กรอบด้านนอก และพิกัดร่องนิ้ว .....	60
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือ กรอบด้านนอก และพิกัดปลายนิ้ว .....	61
รูปที่ 3.12 ภาพรวมของการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วด้วยวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้า .....	61
รูปที่ 3.13 แนวคิดการตรวจสอบการวางมือจากอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้ว .....	63
รูปที่ 3.14 แนวคิดของวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนาง .....	64
รูปที่ 3.15 ภาพรวมของการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือด้วยวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐาน .....	65
รูปที่ 3.16 แนวคิดประกอบการคำนวณหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ .....	65
รูปที่ 3.17 การหาจุดกลางนิ้วมือบนเส้นฐานนิ้วประกอบสมการที่ (3.14) และ (3.15) .....	66
รูปที่ 3.18 การหาจุดกลางนิ้วมือที่ $\frac{1}{3}$ และ $\frac{2}{3}$ ของความยาวนิ้ว .....	67

## สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.19 การหาจุดขอบนิ้วมือทั้งสองด้านประกอบสมการที่ (3.22).....	68
รูปที่ 3.20 ภาพรวมของการหาฟังก์ชันเชิงเพื่อหาความยาวและความกว้างนิ้ว.....	68
รูปที่ 3.22 ผลจากโปรแกรม โดยแสดงข้อมูลที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	70
รูปที่ 4.1 กระบวนการหาผลการวิจัย.....	71
รูปที่ 4.2 ระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป.....	72
รูปที่ 4.3 ระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการ วางมือ.....	72
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อความของระบบการหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป.....	74
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพจากข้อมูลทดสอบทั้ง 60 คนในทุกท่าทาง.....	77
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่กลั่นเนื้อและผิวหนังของมือมาบดบังร่องนิ้ว.....	79
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพจากข้อมูลทดสอบ 42 คนในทั้งสามท่าทาง.....	79
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพจากข้อมูล 60 คนในท่าทางวางนิ้วมือปกติและขยายนิ้ว มือกว้าง.....	80
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อความของระบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบฯ.....	81
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการ วางมือ.....	83
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพมือพร้อมอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วในท่าทางชิดนิ้วมือที่ถูกคัดออกจาก ระบบ.....	84
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างภาพมือพร้อมอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วในท่าทางวางมือปกติที่ถูกคัดออก จากระบบ.....	84

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบวัดขนาดมือ (hand geometry system) [1,2] คือระบบไบโอเมตริกที่นำข้อมูลขนาดและรูปร่างของฝ่ามือมาจำแนกความแตกต่างของแต่ละบุคคลออกจากกัน ระบบนี้มีข้อดีด้านความรวดเร็วในการประมวลผล ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยเนื่องจากข้อมูลมีขนาดเล็ก จึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่มีพื้นที่เก็บข้อมูลจำกัดหรือประยุกต์ใช้ในรูปแบบเครือข่าย สะดวกในการใช้งานและเป็นที่ยอมรับของสาธารณะ แต่ระบบที่มีวางจำหน่ายมีราคาแพงเนื่องจากมีเพียงไม่กี่บริษัทที่พัฒนาระบบในเชิงพาณิชย์ [3] ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาต้นแบบระบบวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (verification) ในแบบระบบเปิด เพื่อเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากระบบในเชิงพาณิชย์

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกระบวนการทำงานอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ (peg-less hand geometry device) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบฯ โดยนำเสนอการหาลักษณะเด่น (feature extraction) ของมือด้วยวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้า (hand convexity defects) [4] ร่วมกับวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานของนิ้วกลางและนิ้วนาง [5] ซึ่งนำไปสู่การได้มาซึ่งพิกัดของปลายนิ้วและร่องนิ้ว พร้อมทั้งเพิ่มการตรวจสอบการวางมือ (hand placement detection) [6] เข้าไปในกระบวนการ เพื่อรองรับภาพมือที่มีลักษณะแตกต่างกันในท่าทางวางมือปกติ ท่าทางขยำนิ้วมือกว้าง และท่าทางซิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบยืนยันเอกลักษณ์โดยการวัดขนาดมือ
- 1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ
- 1.2.3 เพื่อออกแบบอุปกรณ์วัดขนาดมือที่สามารถรองรับภาพมือที่มีลักษณะแตกต่างกันในท่าทางวางมือปกติ ท่าทางขยำนิ้วมือกว้าง และท่าทางซิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อยได้
- 1.2.4 เพื่อนำไปสู่การพัฒนาต้นแบบระบบยืนยันเอกลักษณ์โดยการวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 สามารถแสดงความยาวกับความกว้างของแต่ละนิ้วมือ และความยาวฝ่ามือ
- 1.3.2 สามารถแสดงประสิทธิภาพของระบบจากการสร้างกราฟ ROC
- 1.3.3 สามารถแสดงให้เห็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

### 1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.4.1 ภาพที่ใช้มีขนาด 640 x 480 พิกเซล ที่ถ่ายได้จากกล้องเว็บแคม ตัวกล้องติดตั้งด้านบนของผู้ควบคุมแสงสว่างสูงจากแผ่นรองฝ่ามือ 250 มิลลิเมตร โดยออกแบบให้แผ่นรองฝ่ามือมีเพียงจุดกำกับปลายนิ้วกลาง ใต้แผ่นรองฝ่ามือติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี เพื่อให้กล้องถ่ายภาพในลักษณะย้อนแสงทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดที่ขอบของฝ่ามือ

1.4.2 ภาพที่ใช้เป็นภาพจากหลังมือของมือขวาที่ไม่ใส่เครื่องประดับ เพื่อให้ภาพปรากฏลักษณะของนิ้วมือทั้งห้านิ้วอย่างชัดเจน

1.4.3 ทำการทดสอบระบบโดยภาพมือในท่าทางวางมือปกติ ท่าทางขยายนิ้วมือกว้าง และท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย จาก 60 บุคคล

### 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลโดยการวัดขนาดมือ

1.5.2 ศึกษาเทคนิคการหาลักษณะเด่นของมือในหลากหลายรูปแบบเพื่อหาแบบที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในระบบวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ

1.5.3 ทำการออกแบบระบบโดยการเปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่หรือระบบที่ใกล้เคียงกัน

1.5.4 ทำการทดสอบระบบโดยใช้ระบบมาตรฐานในการหาประสิทธิภาพ

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผลการวิจัย

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ

1.6.2 ได้แนวทางในการออกแบบอุปกรณ์วัดขนาดมือที่สามารถรองรับมือที่มีลักษณะและท่าทางในการวางมือที่แตกต่างกันได้ดี

1.6.3 ได้แนวทางในการพัฒนาต้นแบบระบบยืนยันเอกลักษณ์โดยการวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอบทความและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบยืนยันเอกลักษณ์โดยการวัดขนาดมือบนพื้นฐานการประมวลผลภาพ รวมทั้งการกล่าวถึงงานวิจัยซึ่งมีหลักการที่คล้ายกับงานวิจัยชิ้นนี้มาแนะนำเสนออีกด้วย โดยเสนอตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 2.1 ไบโอมेटริก

คำว่าไบโอมेटริก (Biometric) ประกอบขึ้นจากคำว่าไบโอ (Bio) ซึ่งหมายถึงสิ่งมีชีวิต และคำว่าเมตริก (Metrics) ซึ่งหมายถึงคุณลักษณะที่สามารถวัดค่า หรือประเมินจำนวนได้ เมื่อนำความหมายของทั้งสองคำมาตีความรวมกัน ไบโอมेटริกจึงหมายถึงเทคโนโลยีในการใช้คุณลักษณะหรือพฤติกรรมบางอย่างในสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์และสามารถเทียบวัดหรือนับจำนวนได้มาผนวกเข้ากับหลักการทางสถิติเพื่อการแยกแยะหรือจดจำแต่ละบุคคล ระบบไบโอมेटริกแบ่งตามลักษณะเฉพาะที่ใช้ในปัจจุบันได้สองประเภท คือ คุณลักษณะทางพฤติกรรมและคุณลักษณะทางกายภาพ [7,8] ซึ่งแต่ละประเภทสามารถจำแนกออกมาได้ดังตารางที่ 2.1

#### ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของไบโอมेटริกตามคุณลักษณะเฉพาะ

คุณลักษณะทางพฤติกรรม	คุณลักษณะทางกายภาพ
การกดแป้นพิมพ์ (Keystroke Dynamics)	ลายม่านตา (Iris)
การเซ็นลายมือชื่อ (Signature)	เยื่อภายในตา (Retina)
เสียงพูด (Voice Recognition)	ลายนิ้วมือ (Fingerprint)
การเดิน (Gait Recognition)	ใบหน้า (Facial Recognition)
	โครงมือหรือนิ้วมือ (Hand/Finger Geometry)
	ใบหู (Ear Shape)

โดยปกติเทคโนโลยีไบโอมेटริกที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ความเป็นสากล (universality) คือสามารถใช้งานในเชิงกว้าง
- ความเป็นลักษณะเฉพาะ (distinctiveness) คือข้อมูลสองชุดที่ต่างกันไม่ควรให้ผล

ของการเปรียบเทียบที่เหมือนกัน

- ความถาวร (permanence) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งนักในช่วงเวลาหนึ่ง
- การถูกเลือกใช้งาน (Collectability) คือปริมาณการถูกเลือกใช้งานจริง
- สมรรถนะ (performance) คือให้ผลของการเปรียบเทียบในระยะเวลาที่ยอมรับได้
- ความสามารถในการยอมรับได้ (acceptability) คือความเต็มใจยอมรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน
- การป้องกัน (circumvention) คือสามารถป้องกันการลอกเลียนแบบได้

ซึ่งแต่ละประเภทสามารถจำแนกคุณสมบัติออกมาได้ดังตารางที่ 2.2 โดยใช้อักษร “H” “M” และ “L” แทนความหมายที่ว่า ระดับสูง (High) ระดับกลาง (Medium) และระดับต่ำ (Low)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของไบโอเมตริกประเภทต่างๆ

Biometric characteristic	Universality	Distinctiveness	Permanence	Collectability	Performance	Acceptability	Circumvention
Facial thermogram	H	H	L	H	M	H	L
Hand vein	M	M	M	M	M	M	L
Gait	M	L	L	H	L	H	M
Keystroke	L	L	L	M	L	M	M
Odor	H	H	H	L	L	M	L
Ear	M	M	H	M	M	H	M
Hand Geometry	M	M	M	H	M	M	M
Fingerprint	M	H	H	M	H	M	M
Face	H	L	M	H	L	H	H
Retina	H	H	M	L	H	L	L
Iris	H	H	H	M	H	L	L
Palmprint	M	H	H	M	H	M	M
Voice	M	L	L	M	L	H	H
Signature	L	L	L	H	L	H	H
DNA	H	H	H	L	H	L	L



รูปแบบของการใช้งานไบโอเมตริกมีอยู่ 2 ลักษณะดังต่อไปนี้ คือการระบุตัวตน (Identification) และการยืนยันเอกลักษณ์บุคคล (Verification) โดยการระบุตัวตนหรือการจับคู่เปรียบเทียบแบบหนึ่งต่อจำนวนมากกว่า (1:N) ผู้ใช้จะต้องส่งข้อมูลทางไบโอเมตริกของตนเอง เช่น การวางนิ้วมือลงยังเครื่องอ่านลายนิ้วมือ, การถ่ายภาพใบหน้า เป็นต้น หลังจากนั้นระบบจะทำการจับคู่ข้อมูลที่ได้รับมากับข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูลเพื่อระบุว่าผู้ที่ส่งข้อมูลมาเป็นใคร กระบวนการที่วุ่นจะค่อนข้างใช้เวลานานเพราะระบบต้องมีการเปรียบเทียบข้อมูลเป็นจำนวนมากนั่นเอง

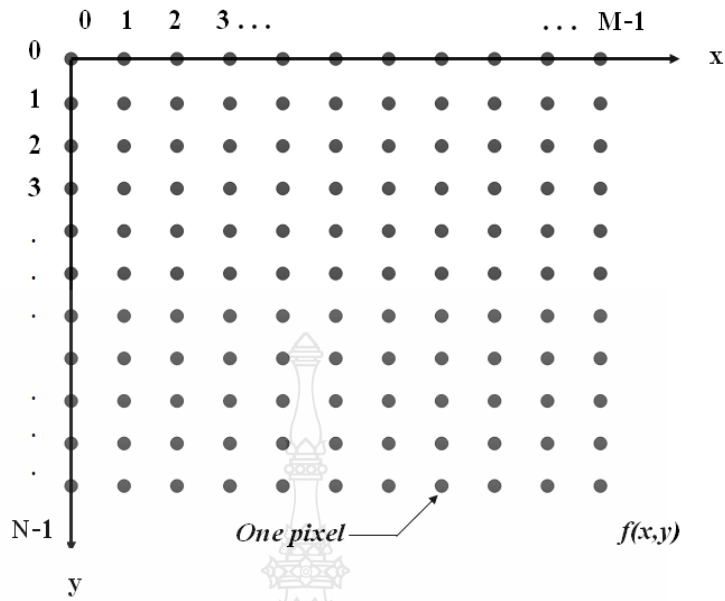
ส่วนการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลหรือการจับคู่เปรียบเทียบแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (1:1) ผู้ใช้จะต้องป้อนรหัสประจำตัวหรือ PIN (Personal Identification Number) ที่ระบุถึงตัวก่อน เพื่อเป็นการระบุข้อมูลทางไบโอเมตริกที่มีในฐานข้อมูลแล้วจึงค่อยส่งข้อมูลทางไบโอเมตริกของตนเองให้กับระบบ หลังจากนั้นระบบจะเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ว่าตรงกับข้อมูลที่ถูกรับบันทึกไว้ก่อนหน้านี้หรือไม่ กระบวนการที่ใช้โดยทั่วไปจึงใช้เวลาไม่มาก

## 2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล

ประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) [9] เป็นการแปลงข้อมูลของภาพให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล (Digital Format) สามารถนำเอาข้อมูลนี้จัดการผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งภาพดิจิทัลเป็นภาพที่ประกอบด้วยจุดภาพเล็กๆ จำนวนมากเรียกว่า พิกเซล โดยใช้ตัวเลขแทนค่าของระดับสีหรือระดับความสว่างของแต่ละพิกเซล ซึ่งสามารถปรับแต่งเพื่อการแสดงผลภาพตามต้องการได้ ภาพดิจิทัลมีข้อดีที่สามารถนำมาประมวลผลปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยกระบวนการต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้

### 2.2.1 ลักษณะและความหมายของพิกเซล

พิกเซล คือความเข้มแสงที่รวมกันทำให้เกิดเป็นภาพภาพหนึ่งๆจะประกอบด้วยพิกเซลมากมายซึ่งภาพแต่ละภาพที่ได้นั้นจะมีความหนาแน่นของพิกเซลแตกต่างกันออกไป ซึ่งความหนาแน่นเป็นตัวบอกถึงความละเอียด (Resolution) ของภาพซึ่งมีหน่วยเป็น ppi (Pixel Per Inch) คือจำนวนพิกเซลต่อนิ้ว ซึ่งโดยทั่วไปถือว่าภาพที่มีความละเอียดสูงหรือคุณภาพดีจะมีความละเอียด 300 x 300 ppi ขึ้นไป ยิ่งค่า ppi ยิ่งสูงขึ้นภาพจะมีความละเอียดและคมชัดมากขึ้น รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งของพิกเซล



เมื่อ  $N$  = จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดใแกน  $Y$

$M$  = จำนวนพิกเซลที่มากที่สุดใแกน  $X$

รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของพิกเซล [9]

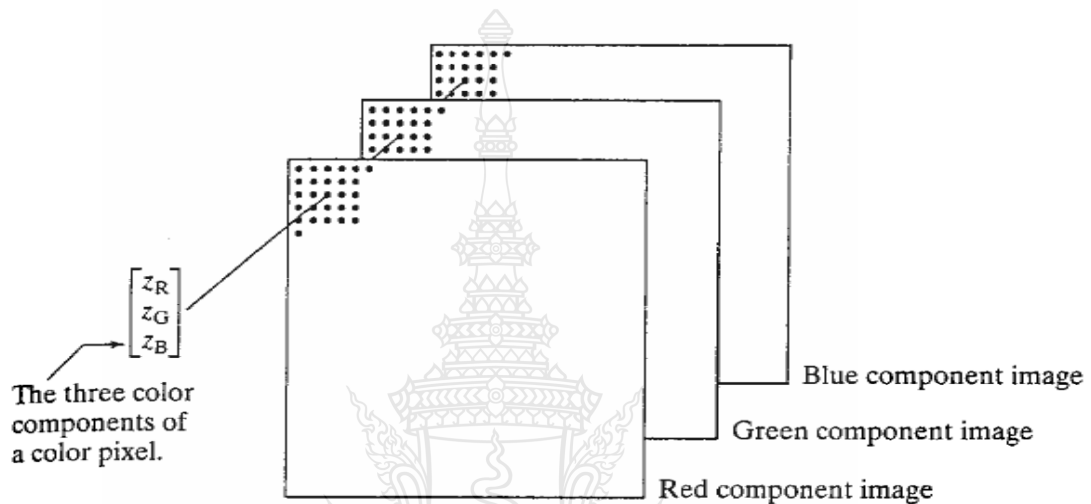
ในภาพหนึ่งๆ สามารถอธิบายได้ในรูปแบบเมตริกซ์ของพิกเซลขนาด  $N \times M$  ดังรูปที่ 2.2 โดยใช้คู่ลำดับ  $f(i,j)$  แทนค่าแต่ละพิกเซลและค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่พิกเซลนั้นๆของภาพ

	0	1	2	3	...	$M-1$
0	$f(0,0)$	$f(0,1)$	$f(0,2)$	$f(0,3)$	$f(0,4)$	
1	$f(1,0)$	$f(1,1)$	$f(1,2)$	$f(1,3)$	$f(1,4)$	
2	$f(2,0)$	$f(2,1)$	$f(2,2)$	$f(2,3)$		
$i$	$f(3,0)$	$f(3,1)$	$f(3,2)$			
$\downarrow$	$f(4,0)$	$f(4,1)$	$f(4,2)$			
$N$						

รูปที่ 2.2 เมตริกซ์ของพิกเซลในภาพ [9]

### 2.2.1 ภาพสี (RGB Image)

ภาพสีคือชุดการเรียงลำดับของ pixel สี  $M \times N \times 3$  ซึ่งในทุกๆพิกเซลของภาพสีนั้นจะมีค่าระดับ RGB เป็นส่วนประกอบที่มีค่าแตกต่างกัน ค่าความสัมพันธ์ทั้งสามขององค์ประกอบคือ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ที่กำหนดไว้ ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของภาพสี [9]

ภาพสีสามารถแสดงในแบบของแผ่นซ้อนทับของ 3 ภาพสีขาว-ดำ เมื่อสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ถูกส่งไปยังจอภาพสีเพื่อสร้างภาพสีบนจอภาพ โดยระบบแล้วการเกิดภาพสีนั้นจะอ้างอิงถึงองค์ประกอบของสีแดง เขียว และน้ำเงินของภาพนั้นๆ การแบ่งกลุ่มข้อมูลขององค์ประกอบสีขึ้นอยู่กับช่วงระยะที่กำหนดของข้อมูล กลุ่มข้อมูลของภาพสีจะเป็นแบบ Double ช่วงค่าข้อมูลจะเท่ากับ  $[0,1]$  และเช่นเดียวกันถ้าช่วงข้อมูลที่  $[0,255]$  หรือ  $[0,635535]$  กลุ่มของภาพสีจะเป็น Unit 8 หรือ Unit 16 ตามลำดับ จะใช้จำนวนบิตเป็นค่าพิกเซลขององค์ประกอบสี เพื่อใช้ตัดสินค่า bit depth ของภาพ RGB เช่น ในแต่ละองค์ประกอบสีมีค่าเท่ากับ 8 บิต ค่าความสัมพันธ์ RGB จะมีค่า 24 bit depth โดยทั่วไปแล้วจำนวนของ bit ในทุกองค์ประกอบภาพจะมีค่าเท่ากันในกรณีนี้ จำนวนสีที่เป็นไปได้ในภาพ RGB จะมีค่า  $(2^b)^3$  โดย b จำนวนของ bit ในแต่ละองค์ประกอบภาพ ในกรณีของ 8 บิต จะมีค่าเท่ากับ 16,777,216 โดยลักษณะการเก็บข้อมูลของภาพสีจะเป็นลักษณะของเมตริกซ์ของค่าสีแดง เขียว และน้ำเงิน

### 2.2.3 ภาพไบนารี (Binary Image)

ภาพไบนารีคือภาพซึ่งในแต่ละพิกเซลจะมีความเข้มสองระดับคือขาวกับดำ โดยเขียนแทนด้วยเลข 0 และ 1 ด้วยความเข้มของแสงเพียงสองระดับภาพไบนารีจึงมีข้อจำกัดที่จะนำภาพมาใช้แสดงภาพโดยทั่วไป แต่ทำให้การประมวลผลทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การประมวลผลภาพไบนารีนำไปใช้มากในการประมวลผลเอกสาร การประมวลผลที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การนับจำนวนชิ้นส่วนที่อยู่บนสายพานที่กำลังเคลื่อนที่เป็นต้น การมีความเข้มเพียงสองระดับในภาพไบนารีทำให้สามารถเลือกที่จะพิจารณาให้ความเข้มระดับหนึ่งแทนภาพของสิ่งที่เราสนใจ โดยเรียกพิกเซลที่มีความเข้มระดับนี้ว่าพิกเซลภาพและความเข้มอีกระดับแทนพื้นหลัง ในการพิจารณาภาพไบนารีจะไม่สนใจแต่ละพิกเซลที่แยกกันแต่เราจะสนใจกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน เช่น กลุ่มของพิกเซล ดังรูปที่ 2.4

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 2.4 ลักษณะภาพไบนารีที่แสดงกลุ่มของพิกเซล [9]

การสร้างภาพไบนารีสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการขีดแบ่ง (Thresholding Technique) โดยพิจารณาว่าพิกเซลใดเป็นสีขาวหรือสีดำ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างพิกเซลของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า “ค่าขีดแบ่ง” (Threshold Value) ข้อมูลภาพจะมีลักษณะที่ต่างกันระหว่างวัตถุ (Object) และพื้นหลัง (Background) โดยค่าของพิกเซลของภาพใดๆ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งจะถูกเปลี่ยนเป็น 1 (สีขาว) ในการสร้างภาพไบนารีโดยใช้เทคนิคการขีดแบ่งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัด สิ่งที่สำคัญที่สุดคือค่าขีดแบ่งเนื่องจากถ้าเลือกค่าขีดแบ่งที่ไม่เหมาะสม (ค่าขีดแบ่งที่น้อยเกินไปหรือมากเกินไป) ภาพที่ได้จะไม่สวยงามเท่าที่ควร ดังนั้นปัญหาของการสร้างภาพไบนารีคือการกำหนดค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ภาพที่จะนำมาทำการสร้างเป็นภาพไบนารีมีวิธีการ

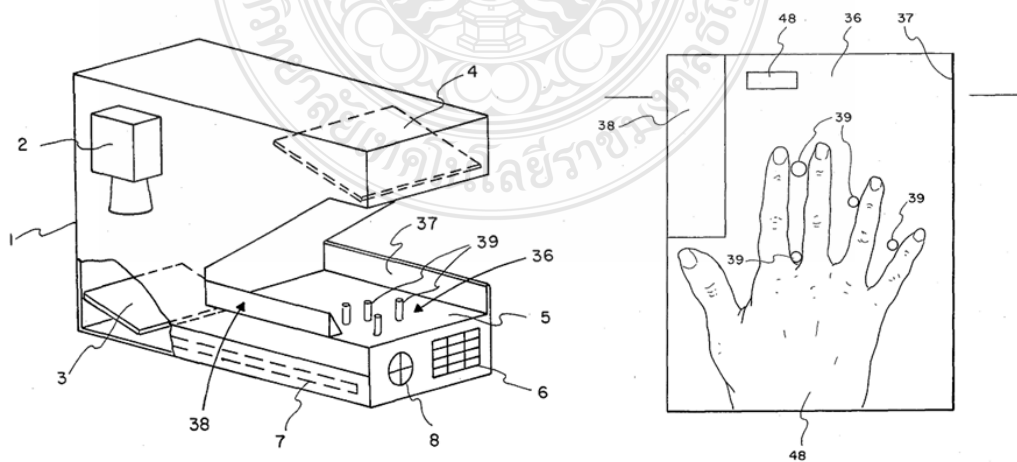
คำนวณหาค่าค่าขีดแบ่งได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีเหมาะสมกับลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันไป แต่  
ละวิธีอธิบายได้ดังนี้

1) การหาค่าค่าขีดแบ่งโดยการกำหนดค่าล่วงหน้า (Pre-Assigned Threshold Value) เป็น  
การกำหนดค่าค่าขีดแบ่งโดยการกำหนดค่าเองจากผู้ใช้ซึ่งการกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของ  
ผู้ใช้ โดยการเลือกค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่าค่าค่าขีดแบ่งค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุด  
และค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพอินพุทมีระดับความเข้มแสง 256 ระดับก็จะมี  
ค่าได้ตั้งแต่ 0-255 เมื่อเลือกค่าค่าขีดแบ่งได้แล้วก็สามารถสร้างภาพไบนารีได้

2) การหาค่าค่าขีดแบ่งจากค่ากลาง (Mid-Range Threshold Value) คือการหาค่าค่าขีดแบ่ง  
โดยอัตโนมัติโดยไม่ต้องให้ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด การหาค่าค่าขีดแบ่งนี้ใช้วิธีทางสถิติคือ การหาค่ากลาง  
หรือค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าค่าขีดแบ่งที่คำนวณได้จากค่ากึ่งกลางที่อยู่ระหว่างค่าระดับความเข้มสูงสุด  
(Maximum Level) และระดับความเข้มต่ำสุด (Minimum Level) ของภาพเพื่อทำการคำนวณค่าค่าขีด  
แบ่งได้แล้วก็สามารถสร้างภาพไบนารีได้โดยนำค่าค่าขีดแบ่งที่ได้มาใช้

### 2.3 ระบบวัดขนาดมือ

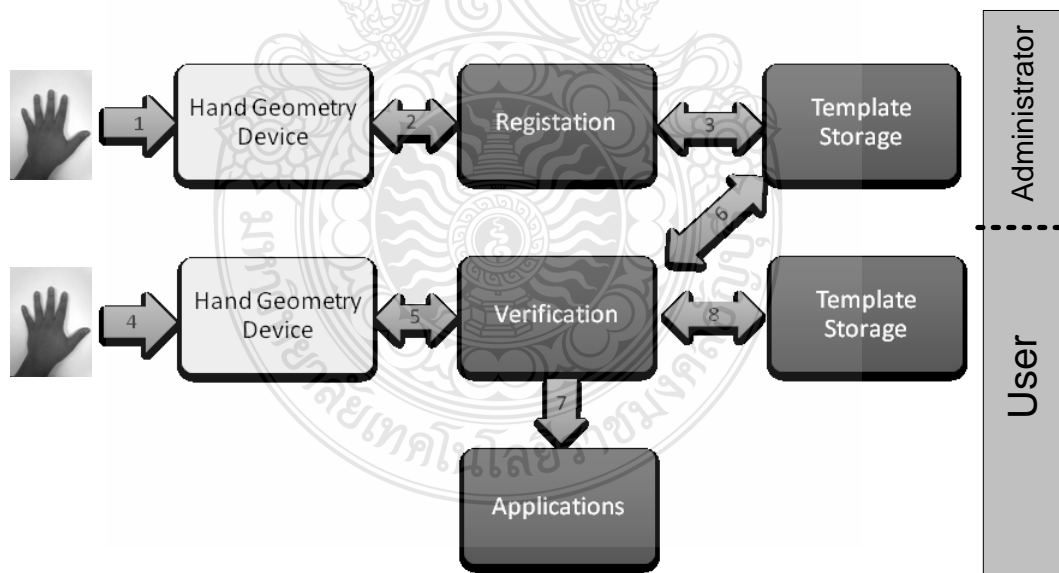
ระบบวัดขนาดมือ (Hand Geometry System) มีประวัติในการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์  
ก่อนระบบไบโอเมตริกอื่นๆ [1] โดยในปี ค.ศ. 1985 นายเดวิด ซิดลาอัสคัส (David Sidlauskus) ได้  
พัฒนาและจดสิทธิบัตรแนวคิดระบบวัดขนาดมือแบบมีหมุดกำกับนิ้วมือที่ใช้กล้อง CCD ในการรับ  
ภาพมือขึ้นมา ดังรูปที่ 2.1 จากนั้นในปีถัดมาก็เกิดระบบรู้จำขนาดมือ (Hand Geometry Recognition  
System) ขึ้นซึ่งนับเป็นเครื่องแรกที่นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.5 แบบร่างระบบวัดขนาดมือของ David Sidlauskus [1]

ในโอลิมปิกเกมส์ปี 1996 ได้นำระบบระบบวัดขนาดมือมาใช้ในการตรวจสอบบุคคลในการเข้าหมู่บ้าน โอลิมปิก อีกทั้งในหลากหลายองค์กรก็ได้นำระบบนี้มาใช้ในระบบเวลาปฏิบัติงาน ระบบนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจาก สะดวกในการใช้งาน เป็นที่ยอมรับของสาธารณะ แต่หนึ่งในข้อดีของระบบวัดขนาดมือคือความมีเอกลักษณ์อยู่ในระดับปานกลาง (Not Highly Unique) จึงจำกัดการใช้อยู่ในระบบงานยืนยันตัวตน (Verification Task) เท่านั้น

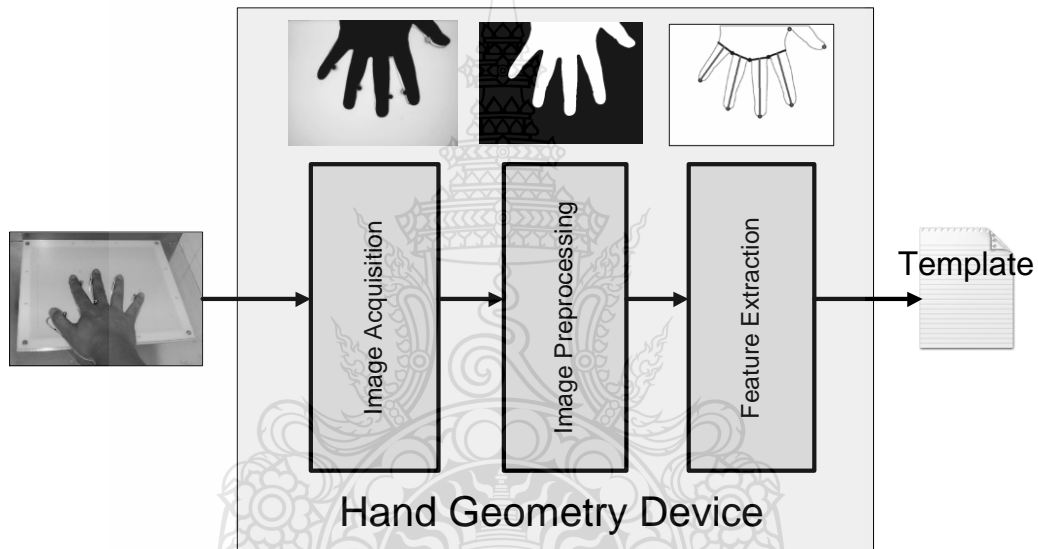
ระบบวัดขนาดมือมีองค์ประกอบและกระบวนการโดยทั่วไป [10] ดังรูปที่ 2.6 เริ่มจากกระบวนการ หมายเลข 1 คือการนำมือเข้าอุปกรณ์วัดขนาดมือ (Hand Geometry Device) หมายเลข 2 คือการประมวลผลหลักขณะเดินเพื่อสร้างแม่แบบพร้อมขึ้นทะเบียนผู้ใช้ (Registration) หมายเลข 3 คือการนำแม่แบบบันทึกลงบนหน่วยเก็บข้อมูล (Template Storage) บนเครือข่ายกลางหรือบนสื่อบันทึกข้อมูลอื่นๆ เช่น สมาร์ตการ์ด หมายเลข 4 คือการนำมือเข้าอุปกรณ์วัดขนาดมือเพื่อใช้งานระบบ หมายเลข 5 คือทำการประมวลผลหลักขณะเดินเพื่อสร้างแบบ หมายเลข 6 คือการเปรียบเทียบแบบที่ได้กับแม่แบบจากหน่วยเก็บข้อมูล (Verification) หมายเลข 7 คือนำผลการเปรียบเทียบส่งต่อไปใช้ประโยชน์ต่อไป (Applications) หมายเลข 8 คือบันทึกข้อมูลที่จำเป็นในด้านความปลอดภัยเพื่อนำไปตรวจสอบ



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบและกระบวนการระบบวัดขนาดมือ

## 2.4 อุปกรณ์วัดขนาดมือ

อุปกรณ์วัดขนาดมือ (Hand Geometry Device) ในปัจจุบันใช้การประมวลผลภาพเป็นแนวทางหลักในการทำงาน โดยทำหน้าที่รับภาพมือของผู้ใช้และหาลักษณะเด่นให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าขนาด ค่าปริมาตรหรือค่าที่แสดงให้เห็นลักษณะรูปทรงของนิ้วมือ ฝ่ามือ ในเชิงตัวเลขเพื่อความสะดวกในการจัดเก็บในหน่วยความจำพร้อมที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการขึ้นทะเบียนผู้ใช้งาน หรือในกระบวนการยืนยันเอกลักษณ์ โดยมีขั้นตอนการทำงานหลักแบ่งเป็นสามส่วน [11,12] คือ การเตรียมภาพ (Image Acquisition), การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing) และการหาลักษณะเด่น (Feature Extraction) ดังรูปที่ 2.7



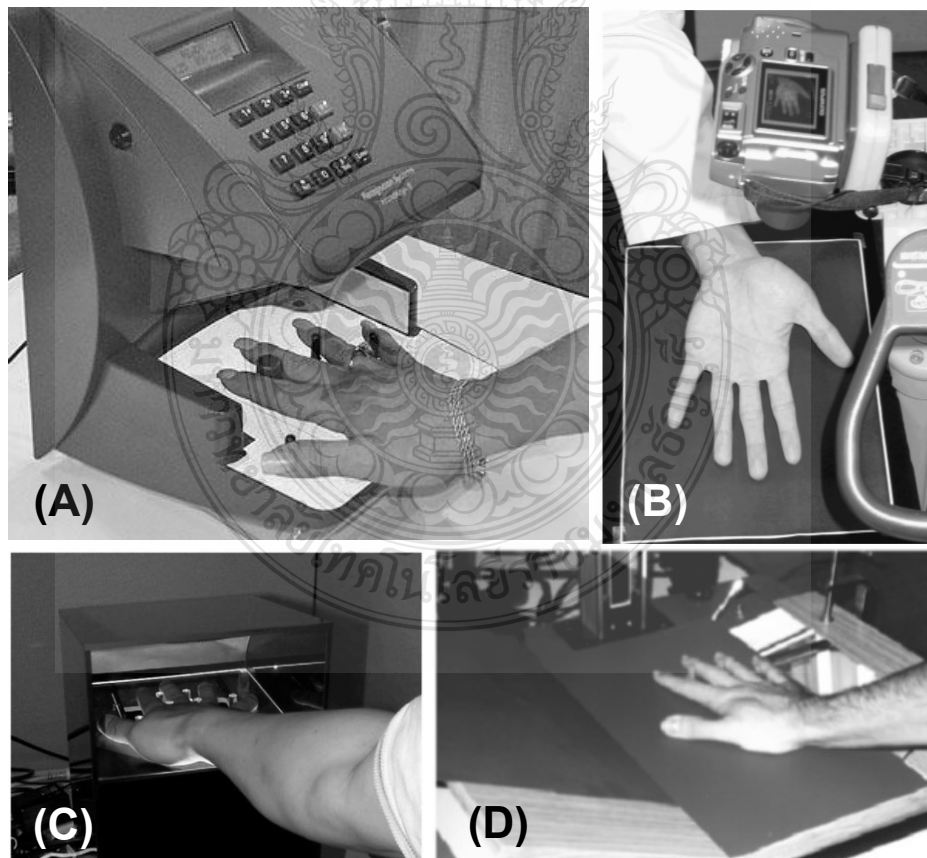
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการทำงานหลักของอุปกรณ์วัดขนาดมือ

### 2.4.1 การเตรียมภาพ

กระบวนการนี้เป็นการจัดวางตำแหน่งของมือให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด พร้อมปรับแต่งแสงและเงาทั้งระบบให้พร้อมที่จะรับการจับภาพสู่ระบบ หากกล่าวถึงระบบวัดขนาดมือในเชิงพาณิชย์แล้วในส่วนนี้จะใช้กล้องจับภาพจากหลังมือของผู้ใช้ โดยผู้ใช้งานวางลงบนแผ่นวางฝ่ามือไปตามแนวหมุดกำกับฝ่ามือ พร้อมทั้งไฟสัญญาณแสดงสถานะในการวางมือ [13] ดังรูปที่ 2.8 (A) หรือจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้เลือกใช้อุปกรณ์ในการรับภาพเป็นสองประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งใช้กล้อง ถ่ายภาพดิจิทัลในการรับภาพ เนื่องจากมือความรวดเร็วในการบันทึกภาพ มีขนาดเล็ก แต่การติดตั้งกล้องต้องได้ระยะที่เหมาะสมกับฝ่ามือที่จะทำการจับภาพ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดขนาดของอุปกรณ์วัดขนาดมือ จึงลดระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นวางฝ่ามือจึงทำให้เห็นภาพมือในส่วน

นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลางและนิ้วชี้เป็นหลัก พร้อมทั้งมีหมุดกำกับฝ่ามือ เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องซึ่งใช้เลนส์ในการรับภาพซึ่งมีความโค้งทำให้ตำแหน่งของมือมีผลต่อสัดส่วนของภาพ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.8 (B) แสดงการเตรียมภาพจากงานวิจัยของ Kumar และคณะ โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลความละเอียดสูงถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยถ่ายภาพในลักษณะหงายฝ่ามือเพื่อให้ได้ภาพฝ่ามือและลายมือที่ชัดเจน โดยไม่ใช้การส่องสว่างพิเศษใดหรือใช้หมุดในการกำกับใด หรือจากรูปที่ 2.8 (C) จากงานวิจัยของ Han จะใช้กล้องถ่ายภาพแบบ CCD ที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างภายในกล่องควบคุมแสงสว่างเพื่อจับภาพมือและลายมือ โดยมีการส่องสว่างพิเศษเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจน และดังรูปที่ 2.8 (D) จากงานวิจัยของ Sanchez-Reillo และคณะ [12] จะใช้กล้องถ่ายภาพโดยมีแผ่นรองรับฝ่ามือพร้อมหมุดกำกับนิ้วมือและมีกระจกเงาวางขนานข้างเอียง 45 องศาเพื่อรองรับภาพมือทั้งด้านหน้าและด้านข้าง

ซึ่งต่างจากงานวิจัยประเภทที่สองที่ใช้เครื่องสแกนเอกสารในการรับภาพโดยนิยมจะใช้ภาพที่มีส่วนมือตั้งแต่ข้อมือขึ้นไป โดยภาพจะได้สัดส่วนที่เท่ากันไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใดในแผ่นรับภาพ แต่จะใช้เวลาในการจับภาพนานกว่า

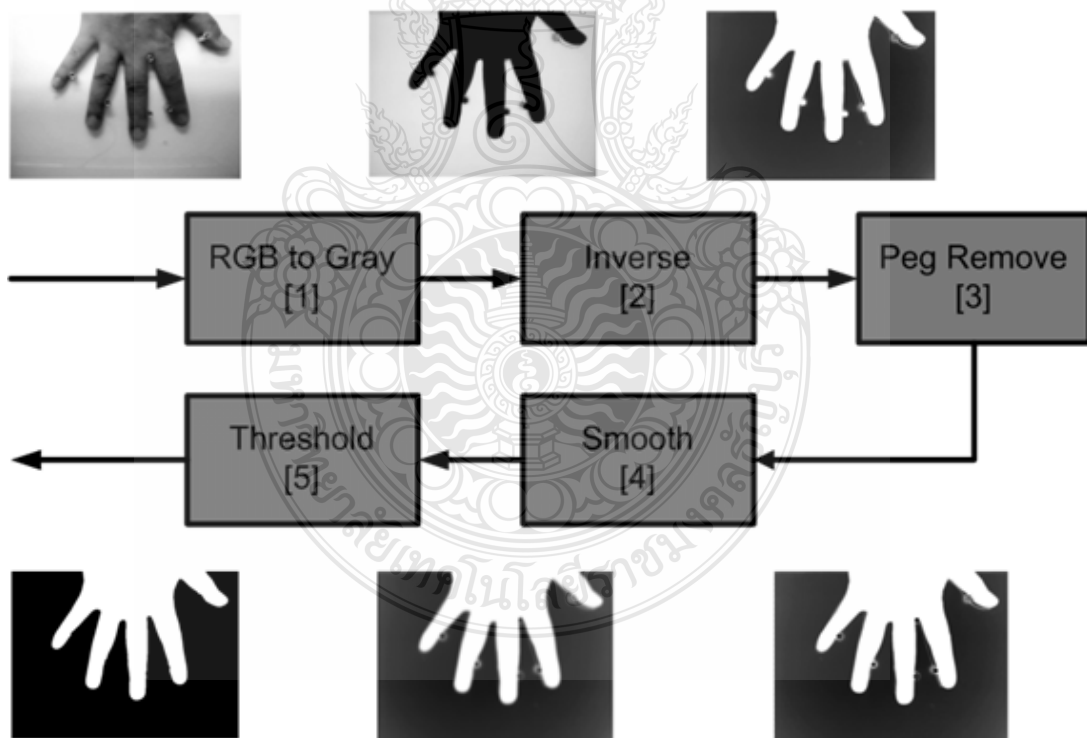


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการเตรียมภาพมือจากงานวิจัยก่อนหน้า



#### 2.4.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

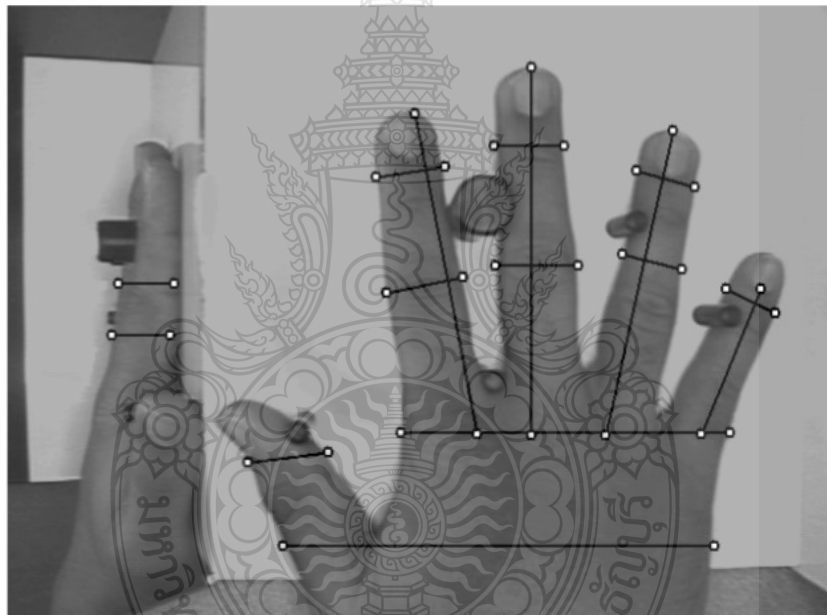
กระบวนการนี้จะนำภาพที่ได้จากกระบวนการเตรียมภาพก่อนหน้ามาปรับแต่งสิ่งที่ไม่ต้องการออกไปและดึงคุณลักษณะที่ต้องการออกมาให้เด่นชัดขึ้นเพื่อส่งต่อไปให้กระบวนการถัดไปคือกระบวนการหาลักษณะเด่น ยกตัวอย่างดังรูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างกระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้นจากงานวิจัยของ Sanchez-Reillo และคณะ [12] เนื่องจากภาพที่ได้กระบวนการก่อนหน้าเป็นภาพสี RGB ต้องนำมาแปลงเป็นระดับสีเทา (gray scale) พร้อมทั้งทำการกลับสลับระดับสีเทา (inverse) เพื่อส่งต่อไปยังการลบหมุด (peg remove) เพื่อทำการลบภาพหมุดใช้บังคับตำแหน่งมือ ภาพที่ได้จากการลบหมุดแล้วจะนำมาปรับเรียบ (smooth) ต่อไป ซึ่งขบวนการปรับเรียบนี้จะเกลี่ยพิกเซลขนาดเล็กที่ไม่ต้องการที่กระจายอยู่ในภาพให้กลืนไปกับพิกเซลใกล้เคียง และกระบวนการสุดท้ายคือแปลงภาพเป็นขาวดำ (binarization) โดยอ้างอิงถึงพื้นฐานการประมวลผลภาพดิจิทัลจากหนังสือ [14] Fundamentals of Digital Image Processing ของ Prentice Hall ตีพิมพ์ปี ค.ศ. 1988 และ [15] Digital Processing and Computer Vision ของ John Wiley & Sons ตีพิมพ์ปี ค.ศ. 1989



รูปที่ 2.9 การทำงานย่อยของการประมวลผลภาพเบื้องต้นของ Sanchez-Reillo และคณะ [12]

### 2.4.3 การหาลักษณะเด่นของมือ

ในขั้นตอนนี้จะนำภาพที่ได้จากกระบวนการประมวลผลเบื้องต้นมาประมวลผลเพื่อให้ได้ลักษณะเด่นของมือในแต่ละบุคคลออกมาในรูปแบบของชุดข้อมูลเพื่อประหยัดพื้นที่ในการบันทึกและความสะดวกในการนำไปเปรียบเทียบ เช่น ความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้ว, อัตราส่วนระหว่างนิ้วกับฝ่ามือ และความหนาของมือ เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัยนั้นๆ ว่าต้องการความถูกต้องแม่นยำหรือความผิดพลาดตั้งไว้ในระดับใด ตัวอย่างผลของการหาลักษณะเด่นจากงานวิจัยของ Jain และ Ross [16] ดังรูปที่ 2.10 แสดงผลการหาลักษณะเด่นของมือโดยจะหาความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้ว ขนาดของฝ่ามือ ความหนาของมือรวม 16 แกน โดยมีมุม 5 มุมกำกับไว้



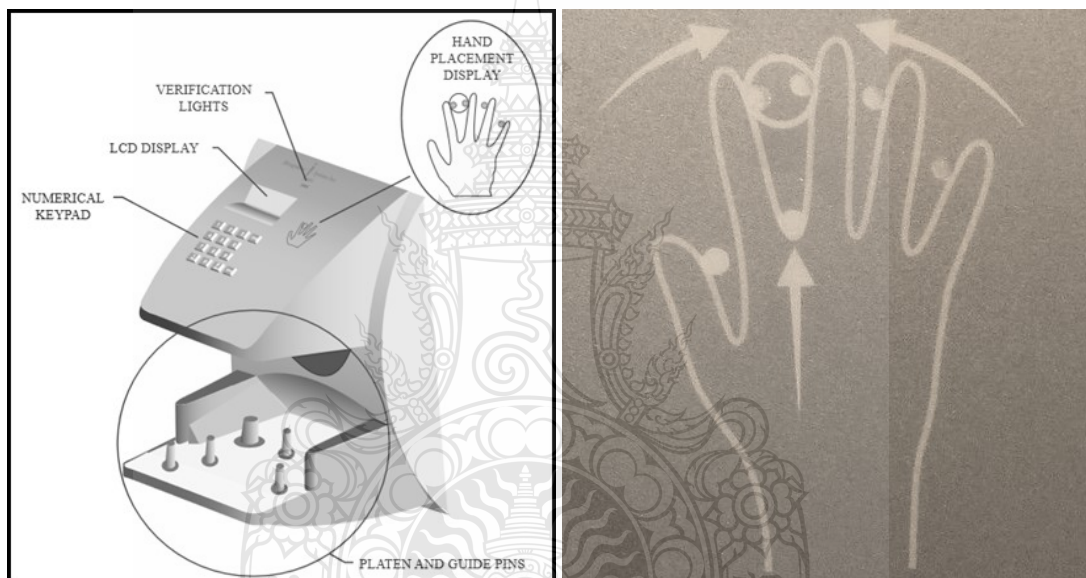
(akasapuv 65 53 59 52 62 47 47 45 255 333 253 287 243 149 34 35)

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแสดงผลการหาลักษณะเด่นของมือจากงานวิจัยของ Jain และ Ross [16]

### 2.5 การตรวจสอบการวางมือบนอุปกรณ์แบบมีหมุดกำกับ

ระบบในเชิงพาณิชย์แทบทั้งหมดใช้หมุดเข้ามาช่วยในการกำกับนิ้วมือพร้อมทั้งมีระบบตรวจสอบการวางมือ ข้อมูลต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่าระบบวัดขนาดมือให้มีความสำคัญกับขั้นตอนการรับภาพมือ จากรูปที่ 2.11 แสดงถึงส่วนประกอบของ Hand Punch 1000 [13] ซึ่งเป็นระบบวัดขนาดมือ

ที่มีวางจำหน่ายในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าระบบจะมีแผ่นวางมือและหมุดกำกับนิ้ว (platen and guide pins) จำนวนห้าหมุดเพื่อควบคุมนิ้วมือให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยมีไฟแสดงผลการวางนิ้วมือ (hand placement display) คอยแจ้งเตือนการวางนิ้วมือที่ถูกต้อง หากไฟแสดงผลดับแสดงว่าได้วางนิ้วมือถูกต้อง สอดคล้องกับงานวิจัย [17] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบฯ ที่มีหมุดกำกับมือที่สองหมุด สี่หมุด ห้าหมุดและ ไร่หมุด พบว่าระบบที่มีหมุดมากกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะหมุดจะช่วยลดความแปรปรวนของรูปร่างมือได้ แต่การใช้หมุดก็ยังมีข้อบกพร่องบางอย่างคือ ผู้ใช้งานหน้าใหม่ต้องศึกษาการวางมือกับหมุดที่ถูกต้อง ภาพมือที่จะเข้าสู่ระบบจะถูกหมุดคดบังรูปร่างบางส่วน และบางบุคคลที่มีขนาดของนิ้วมือไม่อยู่ในระยะของหมุดจะใช้งานไม่ได้



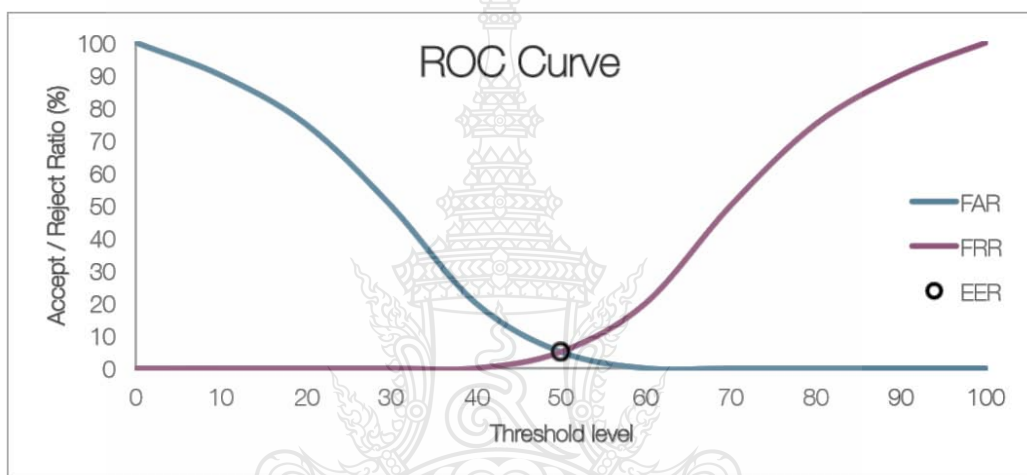
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของ Hand Punch 1000 [13]

## 2.6 การหาประสิทธิภาพของระบบ

การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกนั้นโดยทั่วไปจะวัดจากค่า FAR FRR และ EER [18] หากผู้ปลอมแปลงถูกยินยอม โดยระบบเราจะเรียกกรณีนี้ว่า การยินยอมที่ผิดพลาด (false accept) อัตราส่วนระหว่างจำนวนของผู้ปลอมแปลงที่ได้รับการยินยอมผ่านเข้าไปในระบบต่อจำนวนผู้ปลอมแปลงทั้งหมดที่ต้องได้รับการปฏิเสธจะถูกเรียกว่าอัตราการยินยอมที่ผิดพลาด (FAR: false accept rate) ดังแสดงในสมการที่ (2.1) และหากผู้ใช้ตัวจริงถูกปฏิเสธโดยระบบเราจะเรียกกรณีนี้ว่าการปฏิเสธที่ผิดพลาด (false reject) อัตราส่วนระหว่างจำนวนของผู้ใช้ตัวจริงที่ได้รับการปฏิเสธจาก

ระบบต่อจำนวนผู้ใช้ตัวจริงทั้งหมดที่ต้องได้รับการยอมรับจะถูกเรียกว่าอัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาด (FRR: false reject rate) ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

เมื่อเรานำค่า FAR และ FRR ทั้งสองมาสร้างกราฟ ROC (Receiver operating characteristic) โดยมีค่าระดับเกณฑ์ (threshold level) เป็นตัวแปรของค่าคะแนนความคล้ายคลึงกับแม่แบบ (template) ดังรูปที่ 2.12 จุดที่ได้จากตัดกันของเส้นกราฟ FAR และ FRR (จุดที่ FAR และ FRR มีค่าเดียวกัน) คืออัตราความผิดพลาดสมดุล (EER: equal error rate) ดังแสดงในสมการที่ (2.3) ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงความแม่นยำของระบบ



รูปที่ 2.12 การหาประสิทธิภาพของระบบด้วยกราฟ ROC [18]

$$FAR(th) = \frac{\text{Number of accepted imposter claims}}{\text{Total number of imposter accesses}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$FRR(th) = \frac{\text{Number of rejected genuine claims}}{\text{Total number of genuine accesses}} \times 100 \quad (2.2)$$

$$ERR \text{ where } FAR = FRR \quad (2.3)$$

เมื่อ  $th$  คือ ระดับค่าขีดแบ่ง หรือ ค่าระดับความคล้ายคลึงในขณะที่ทำการทดสอบ  
*Number of accepted imposter claims* คือ จำนวนผู้ปลอมแปลงที่ผ่านเข้าในระบบ  
*Number of rejected genuine claims* คือ จำนวนผู้ใช้ตัวจริงที่ได้รับการปฏิเสธจากระบบ  
*Total number of imposter accesses* คือ จำนวนผู้ปลอมแปลงที่เข้าทดสอบระบบทั้งหมด  
*Total number of genuine accesses* คือ จำนวนผู้ใช้ตัวจริงที่เข้าทดสอบระบบทั้งหมด

## 2.7 ทบทวนวรรณกรรม

จากหนังสือ Handbook of Biometrics ของ Springer Publishing Company ตีพิมพ์ปี ค.ศ. 2010 [19] ในหัวข้อเรื่อง “Hand Geometry Recognition” ได้รวบรวมข้อมูลการวัดประสิทธิภาพจากงานวิจัยที่ผ่านการตีพิมพ์ โดยเสนอในรูปแบบตารางเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ถึงปี ค.ศ. 2006 รวมทั้งสืบผลงานที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3 โดยเลือกเปรียบเทียบในด้าน จำนวนบุคคลที่เข้าร่วมการทดสอบ (User) ระบบในการกำกับนิ้วมือ (Pins) ลักษณะเฉพาะของผลลัพธ์ที่แสดงออกมา (Feature basis)

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการวัดประสิทธิภาพจากงานวิจัยที่ผ่านการตีพิมพ์

Reference	Year	Users	Pins	Feature basis	FAR	FRR	EER
Jain and Ross [16]	1999	50	Yes	Geometric	2%	14%	
Jain and Duta [23]	1999	53	Yes	Contours	2%	3.5%	
Sanchez-Reillo [24]	2000	20	Yes	Geometric			4.9%
Oden et al. [25]	2001	28	No	Contours	1%	1%	1%
Kumar et al. [29]	2003	100	No	Geometric	2%	22%	
Veldhuis et al. [31]	2004	51	Yes	Contours			0%
Bulatov et al. [32]	2004	70	No	Geometric	1%	3%	
Boreki & Zimmer [37]	2005	80	No	Contours	0.8%	3.8%	
Amayeh et al. [39]	2006	40	No	Contours	1%	2.42%	2%
Yoruk et al. [40]	2006	458	No	Contours	0.1%	3.9%	

รวมทั้งวารสาร Pattern Recognition เล่มที่ 42 ปี ค.ศ. 2009 ในหัวข้อเรื่อง “A survey of biometric technology based on hand shape” [1] ได้จัดทำตารางเพื่อเปรียบเทียบระบบการวัดรูปร่างมือจากงานวิจัยที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ โดยเปรียบเทียบในหลากหลายด้านเช่น จำนวนบุคคลที่ทำการทดสอบ (Population Size) จำนวนชุดการทดสอบต่อบุคคล (Sample/person) จำนวนและชนิดของต้นแบบ (Number/type of template) ลักษณะเฉพาะที่เลือกใช้งาน (Feature used) การวัดความคล้ายคลึง (Similarity measure) ดังตารางที่ 2.4

## ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบการวัดรูปร่างมือจากงานวิจัยที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่

Year system	Population size	Sample/ Person	Number/type of template	Features used	Similarity measure	Performance
Golfarelli et al. 1997 [21]	100	8	1 (mean of a multinormal pdf)	Finger lengths/widths, thickness (17)	Bayes a posteriori class probability	EER=0.0012
Jain and Ross 1999 [16]	50	5-10	1 (average feature vector)	Finger lengths/widths, aspect ratios (16)	Mahalanobis distance	FAR=0.01 FRR=0.17
Jain and Duta 1999 [23]	53	2-15	1-14 (raw contours)	Hand contour coordinates (120-350 contour points)	Mean alignment error	FAR=0.01 FRR=0.06
Sanchez-Reillo et al. 2000 [12]	20	10	1 (average feature vector)	Finger lengths, widths, ratios thickness, deviation (25)	Euclidian, Hamming, GMM	EER=0.05
Wong and Shi 2002 [27]	22	12-15	2 (average feature vectors)	Finger lengths, widths (13) Fingertip coordinates (50-90)	GMM probability ratio of hit points	FAR=0.022 FRR=0.111
Bulatov et al. 2004 [32]	70	10	1 (training vector bounding box )	Geometric features (30)	Nearest box ( $L_{\infty}$ minimum enclosing ball)	FAR=0.01 FRR=0.03
Ribaric et al. 2004 [28]	110 registered 399 impostors	7	3 (raw feature vectors)	Finger lengths/widths, palm width (24)	Normalized Euclidian distance	FAR=0.01 FRR=0.001 <sup>a</sup>
Veldhuis et al. 2005 [31]	51	10-20	1 (average)+ multiple raw	Hand contour coordinates, angles (51-211 contour points)	Log-Likelihood under Gaussian assumption	EER= 0.00001-0.002
Covavisaruch et al. 2005 [35]	96	10	1 (average feature vector)	Finger lengths/widths (21)	$\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \min(y_i - f_i)$	EER <sub>verif</sub> =0.03 EER <sub>idem</sub> =0.06
Woodard and Flynn, 2005 [36]	223	5-8	1 (average feature vector)	Shape indices (based on 3-D surface curvature) (18,500)	Normalized correlation coefficient	EER <sub>verif</sub> =0.09 <sup>b</sup> ERR <sub>idem</sub> =0.15
Yoruk et al. 2006 [40]	458	3	2 (raw feature vectors)	Contour coordinates (2048 points) ICA on binary hand image (458)	Modified Hausdorff L1, cosine distance	EER = 0.01- 0.02
Amayeh et al. 2006 [39]	40	10	5 (raw feature vectors)	Zernike moments of the binary hand image followed by PCA (30)	Euclidian	FAR=0.01 FRR=0.02
Adan et al. 2008 [20]	470	6-8	1 (time averaged feature vector)	Non-landmark based geometric measurements (14 for each hand)	Normalized sum of feature deviation	FAR=0.0045 FRR=0.034
Morales et al. 2008 [41]	20	10	4 (SVM training)	Finger widths for three fingers (40)	SVM score (distance to separator hyperplane)	EER = 3.4%

<sup>a</sup> The authors reported FAR/FRR rates for a system which combined hand geometry features with fingerprint and palm-based features.

<sup>b</sup> The authors only reported verification experiments corresponding to a 16-week lapse between the enrollment images and test images.

และจากวารสาร [20] Image and Vision Computing ปีที่ 26 ประจำเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2008 ในหัวข้อเรื่อง “Biometric verification/identification based on hands natural layout” ได้จัดทำตารางเพื่อเปรียบเทียบงานวิจัยด้าน ไบโอมेटริกที่ใช้ลักษณะกายภาพของมือในการระบุตัวบุคคลจากงานวิจัยที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ โดยนำเสนอเปรียบเทียบในด้าน เทคนิคที่ใช้ในการหาลักษณะจำเพาะ (kind of technique) ขนาดข้อมูลของต้นแบบที่ได้ (feature size) ความเข้มข้นในการประมวลผลภาพ (hard/middle/soft image processing), การมืออยู่ของหมุดกำกับนิ้วมือ (pegs or special demands)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมภาพ (device) เป็นระบบที่ยืนยันเอกลักษณ์หรือระบบระบุตัวบุคคล (verification/identification) เป็นต้น ดังตารางที่ 2.5

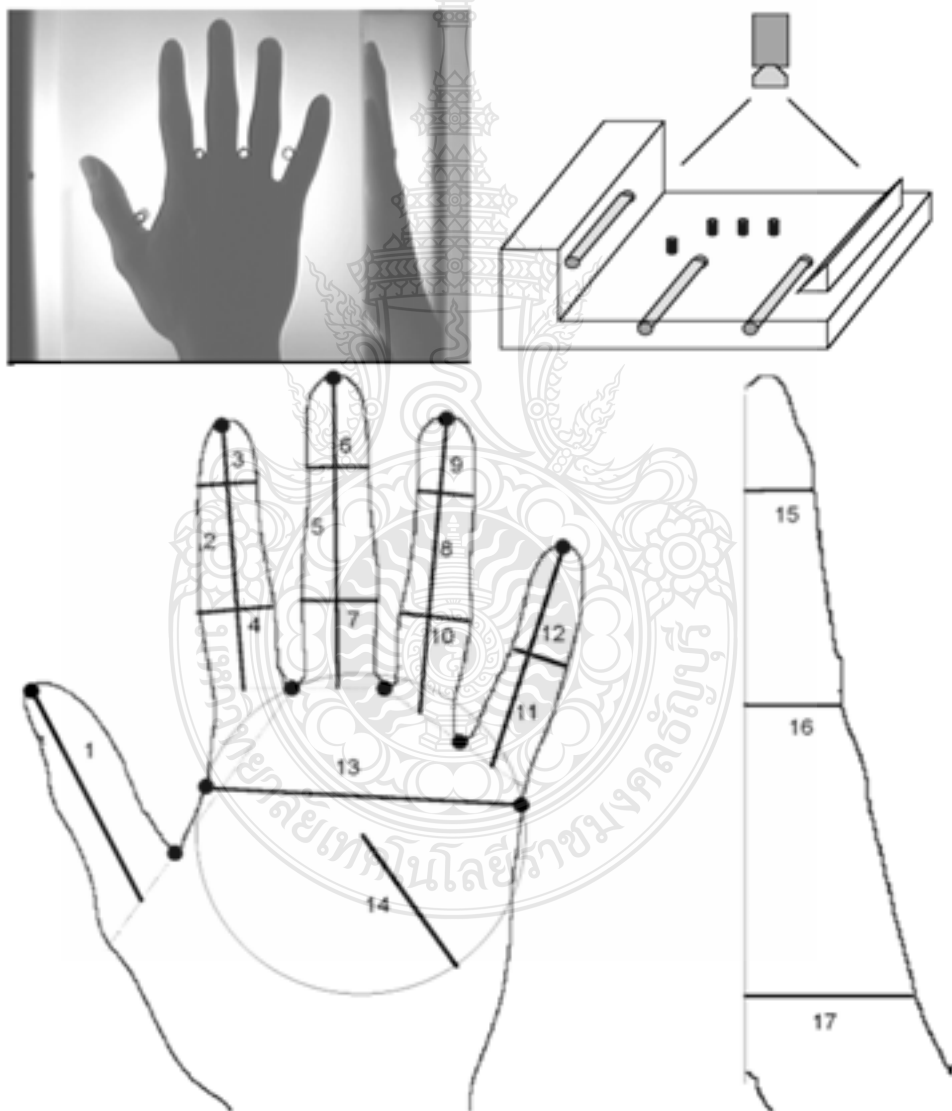
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบงานวิจัยด้านไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะกายภาพของมือ

Reference	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sanchez-Reillo et al. [12]	Hand / fingers geometry	Feature vector,#25	M	Yes	CCD	V/I	#20	#200	?	FAR < 10	97
Oden et al. [25]	Hand / fingers geometry	Feature vector,#16	M	No	CCD	V/I	#28	#840	?	FAR = 1	95
Hang et al.	Palmprint	Template image, 32x32	H	No	Scanner	V/I	#50	#1500	No	FAR < 9 FRR < 9	91
Zhang et al.	Palmprint	Template, 384 bytes	H	No	CCD	V	#193	#7752	Yes	FAR = 1	
Zhang and Shu	Palmprint	Template, image 400 x 400	H	No	Print + scanner	V	#20	?	No	?	
You et al.	Palmprint	Template, image 232 x 232	H	No	Print + scanner	I	#100	#200	No		95
Joshi et al. [22]	Middle/ring geometry	Template, 472 bytes	S	Yes	CCD	V	#206	#1030	No	FAR = 0.1 FRR = 0.1	
Jain and Duta [23]	Hand's contour	Template, #120 to 350	S	Yes	Scanner	V	#53	#353	No	FAR = 2.0 FRR = 3.5	
Jain and Ross [16]	Hand / fingers geometry	Feature vector, #16	M	Yes	CCD	V	#50	#500	?	?	
Han [33]	Hand/fingers geometry + palmprint	Feature vector, #10 Template #500	H	Yes	CCD	V	#50	#1500	No	FAR = 3.7 FRR = 5.3	
Gonzalez et al. [30]	Hand/fingers geometry + hand's contour	Feature vector, #17 Template #50 to 512	M	No	Scanner	I	#50	#500	No		97
Ong et al. [34]	Hand/fingers geometry + palmprint	Feature vector, #22 Template #?	M	No	Scanner	V	#50	#600	No	FAR = 1.0 FRR = 1.3	
Wong and Shi [27]	Fingers geometry	Feature vector, #16 Template #50 to 80	S	No	Scanner	V	#22	#288	No	FAR = 2.2 FRR = 11	
Li et al.	Knuckprint	Template, #100	H	No	CCD	I	#73	#1423	No		97.6
Kumar et al. [29]	Hand/fingers geometry + palmprint	Feature vector #(144+16)	H	No	CCD	V	#100	#1000	No	FAR=5.08 FRR=2.25	
Xiong et al. [38]	Fingers geometry	Feature vector, # (37 for each finger)	M	No	CCD	V	#108	#540	?	FAR=2.41 FRR=2.41	
Adan et al.[20]	Left/right hand's contours	Feature vector #(14+14)	S	No	2 CCD	V/I	#470	#5640	Yes	FAR=1.3 FRR=1.3	97.6

(1) kind of technique,(2) feature size,(3) hard/middle/soft (H/M/S) image processing, (4) pegs or special demands, (5) device, (6) verification/identification, (7) number of users tested, (8) image database, (9) off-line/on-line system, (10) FAR/FRR (%), (11) identification rate (%).

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงนำมาเป็นแนวทางในการทบทวนงานวิจัย โดยมุ่งเน้นไปที่แนวทางการหาลักษณะเด่นของมือในแต่ละงานวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ ดังต่อไปนี้

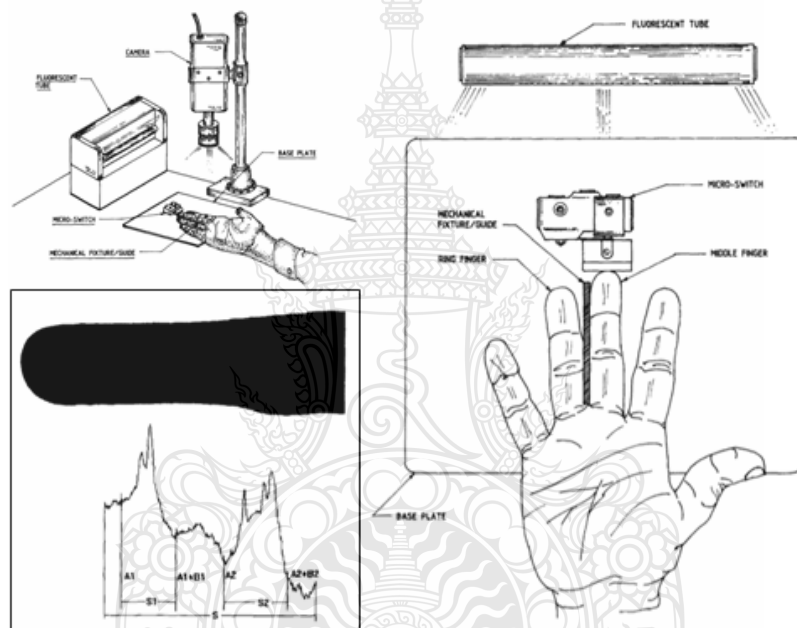
ในงานวิจัยของ Golfarelli และคณะ [21] นำเสนอในหัวข้อ “On the error-reject trade-off in biometric verification systems” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการหาประสิทธิภาพในการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลในระบบไบโอเมตริกโดยใช้กฎการตัดสินใจที่เหมาะสมแบบเบย์ (The Optimum Bayesian decision rule) โดยนำมาทดสอบกับต้นแบบระบบวัดขนาดมืองดรูปที่ 2.13 โดยมีแผนรองรับฝ่ามือพร้อมหมุดกำกับนิ้วมือที่ทำจากพลาสติกโปร่งแสงและมีกระจกเงาวางขนานข้างเอียง 45 องศาเพื่อรองรับภาพมื่อด้านข้าง โดยมีหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้กล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์บันทึกภาพจากมุมบน โดยได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 2.13 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Golfarelli และคณะ

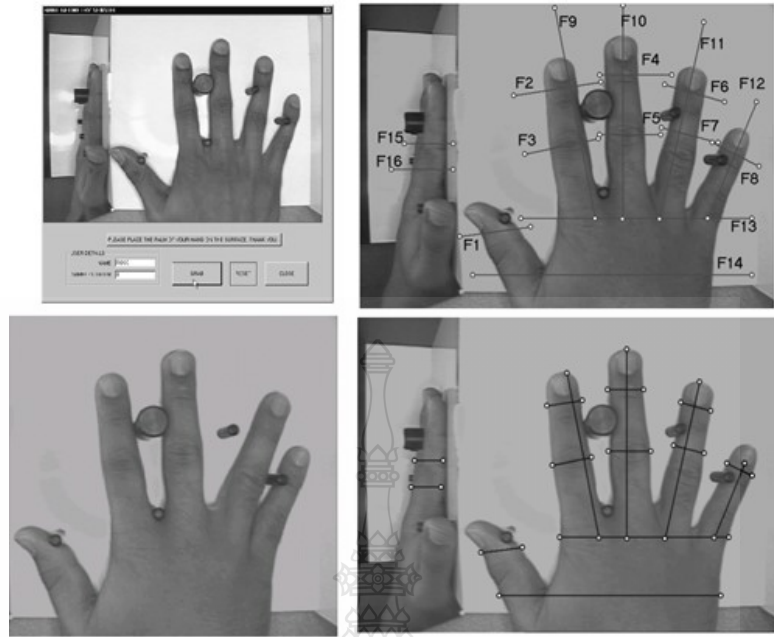


ในงานวิจัยของ Joshi และคณะ [22] นำเสนอในหัวข้อ “Computer-vision-based approach to personal identification using finger crease pattern” บทความนี้อธิบายถึงวิธีการตรวจสอบข้อมูลไบโอเมตริกซ์ในการการระบุตัวบุคคลโดยอัตโนมัติบนพื้นฐานของคอมพิวเตอร์วิชั่น จากรูปที่ 2.14 แสดงแนวคิดของงานวิจัยที่ใช้กล้อง CCD ภาพรอยขั้วด้านในของนิ้วมือและนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างแม่แบบ WLIP ( wide line integrated profile pattern) จากนั้นบันทึกไว้เป็นต้นแบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาเอกลักษณ์ในครั้งต่อไป โดยเสนอแนวทางในการลดปัญหาสิ่งแปลกปลอมในภาพสามารถจัดออกไปโดยการให้แสงสว่างที่สม่ำเสมอและการวางตำแหน่งของนิ้วมืออย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.14 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Joshi และคณะ

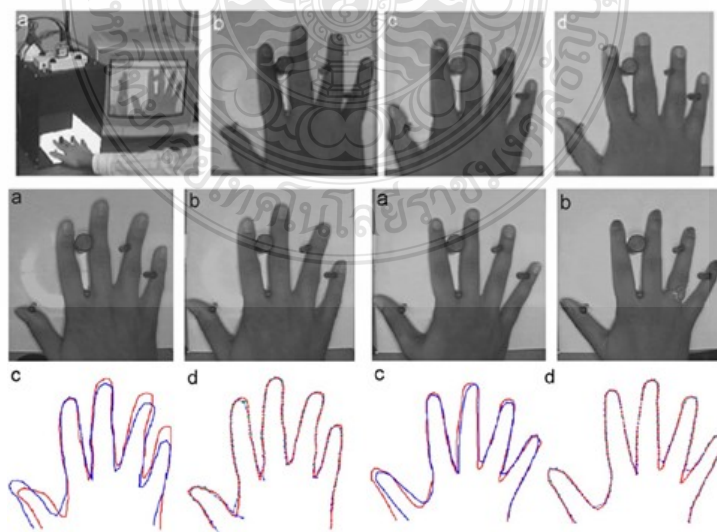
ในงานวิจัยของ Jain และ Ross [16] นำเสนอในหัวข้อ “A prototype hand geometry based verification system” งานวิจัยนี้ได้กล่าวว่ามีงานวิจัยที่เปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะด้านระบบตรวจสอบเอกลักษณ์โดยระบบวัดขนาดมืออยู่ไม่มาก จึงได้ออกแบบระบบต้นแบบและเสนอผลการทดสอบระบบโดยใช้ภาพมือของบุคคล 50 คนละ 10 รูป ความยาวและความกว้างของนิ้ว รวมทั้งขนาดความกว้างและความหนาของฝ่ามือถูกนำมาวัดขนาด จากรูปที่ 2.15 แสดงแนวแกนทั้ง 16 แกนที่จะทำการวัดโดยการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นสีเทาไปตามแนวแกนวัด โดยมีหมุดจำนวน 5 หมุดคอยบังคับฝ่ามือให้อยู่ในแนวการวัด ประสิทธิภาพที่ได้ถูกนำเสนอไว้เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป



(akasapuv 65 53 59 52 62 47 47 45 255 333 253 287 243 149 34 35)

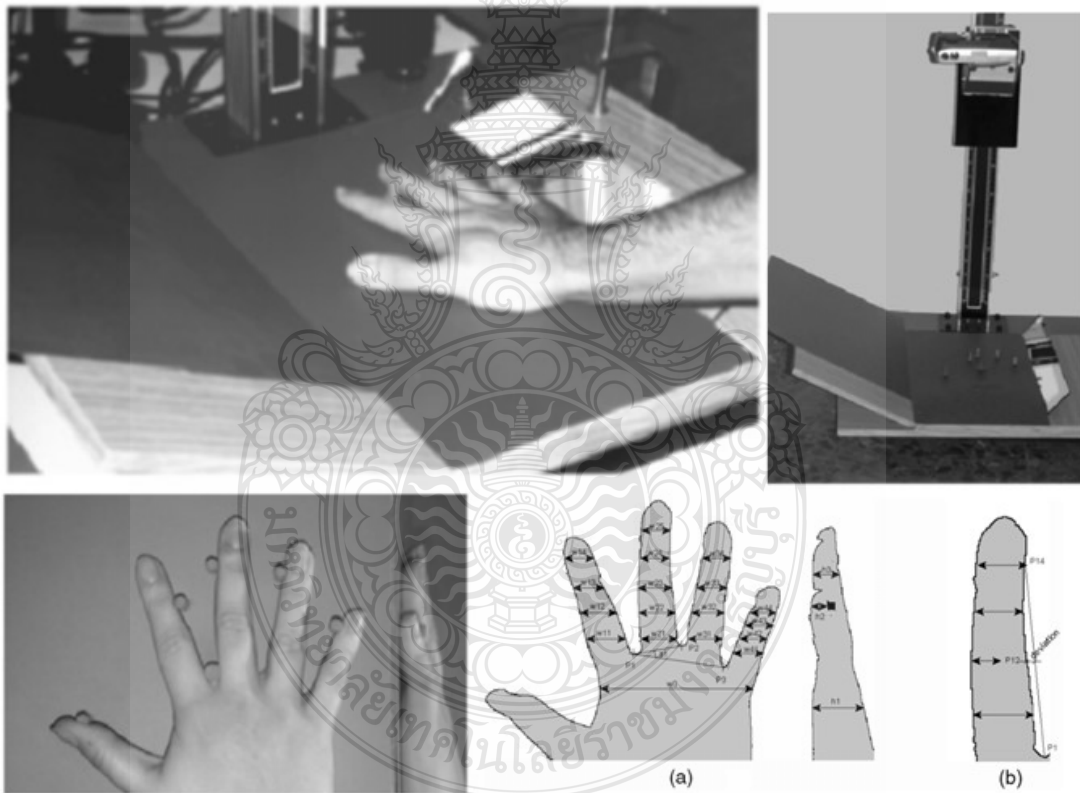
รูปที่ 2.15 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Jain และ Ross

ในงานวิจัยของ Jain และ Duta [23] นำเสนอในหัวข้อ “Deformable matching of hand shapes for verification” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบเอกลักษณ์บุคคลโดยอาศัยการจับคู่รูปทรงของมือโดยวิธีการนี้จะทำการจัดรูปทรงมือก่อนที่จะหาลักษณะเด่น ระยะห่างของรูปทรงจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติในระหว่างขั้นตอนการปรับตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.16 ระยะห่างของรูปทรงจะพิสูจน์ให้เห็นว่าสามารถนำมาเป็นเกณฑ์การจับคู่ที่เชื่อถือได้



รูปที่ 2.16 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Jain และ Duta

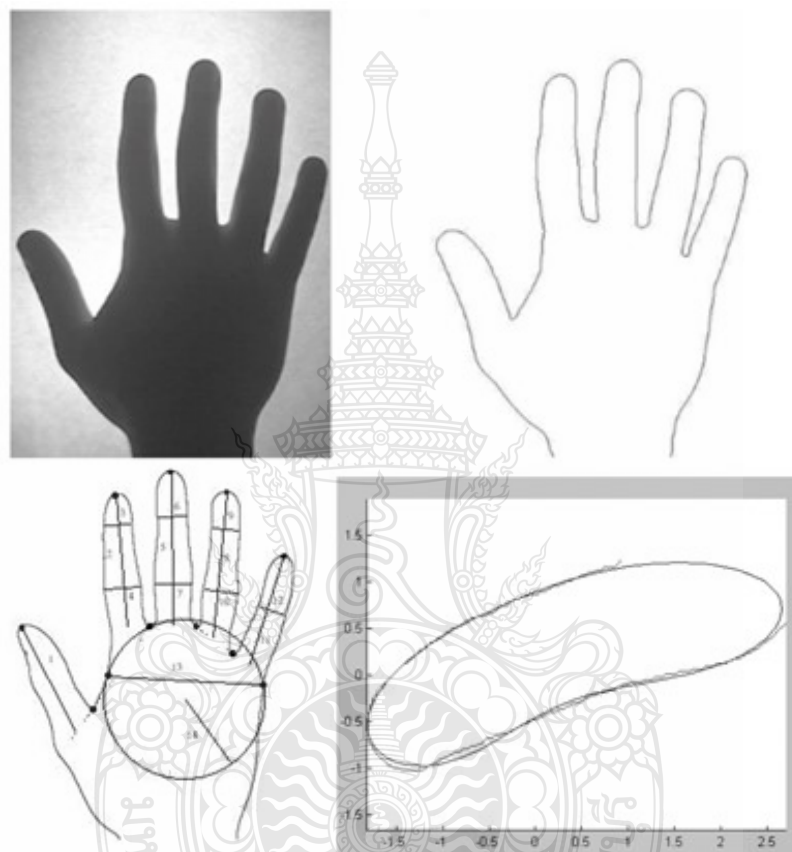
ในงานวิจัยของ Sanchez-Reillo และคณะ [12][24] นำเสนอในหัวข้อ "Biometric identification through hand geometry measurements" และ "Hand geometry pattern recognition through Gaussian mixture modeling" งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณรูปร่างผสมของเกาส์ (Gaussian mixture model) วิธีการจัดกลุ่มแบบระยะทางยูคลิด (Euclidean Distance) และวิธีการจัดกลุ่มแบบระยะทางของแฮมมิง (Hamming Distance) มาร่วมตรวจสอบเอกลักษณ์บุคคล จากภาพมือทั้งด้านหน้าและด้านข้างนำมาหาขอบภาพ และหาลักษณะเด่นทั้ง 25 ลักษณะเช่น ความกว้างของนิ้วทั้งสี่ ความกว้างและความหนาของฝ่ามือ ระยะห่างและมุมระหว่างปลายนิ้วมือ ถูกนำมาเป็นข้อมูลนำเข้า ดังรูปที่ 2.17 สรุปว่าวิธีการประมาณรูปร่างผสมของเกาส์มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองวิธีการ จากอัตราความผิดพลาดต่ำกว่าร้อยละ 5



รูปที่ 2.17 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Sanchez-Reillo และคณะ

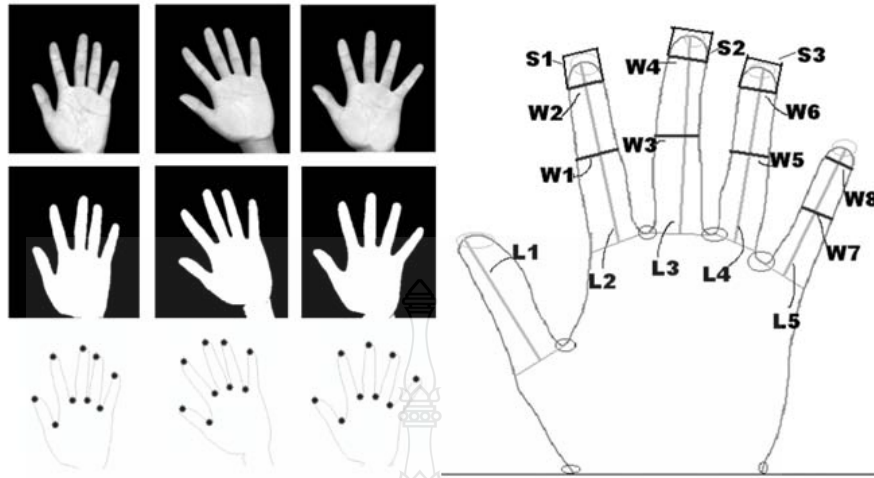
ในงานวิจัยของ Oden และคณะ [25][26] นำเสนอในหัวข้อ "Hand recognition using implicit polynomials and geometric features" และ "Combining implicit polynomials and geometric features for hand recognition" งานวิจัยนี้ได้เสนอการวัดขนาดมือในเชิงเรขาคณิตแบบทั่วไป

ร่วมกับการใช้ฟังก์ชัน implicit polynomials เพื่อสร้างแบบจำลองที่พอดีกับนิ้วมือทั้งสี่ ทั้งทดสอบจากการวางมือที่นิ้วไม่ชิดกันบนพื้นที่ที่กำหนดโดยไม่มีหมุดกำกับนิ้วมือและถ่ายภาพในลักษณะย้อนแสง ดังรูปที่ 2.18 ประสิทธิภาพของระบบในการตรวจสอบการยืนยันบุคคลอยู่ที่ร้อยละ 99 จากกลุ่มทดลอง 28 บุคคล



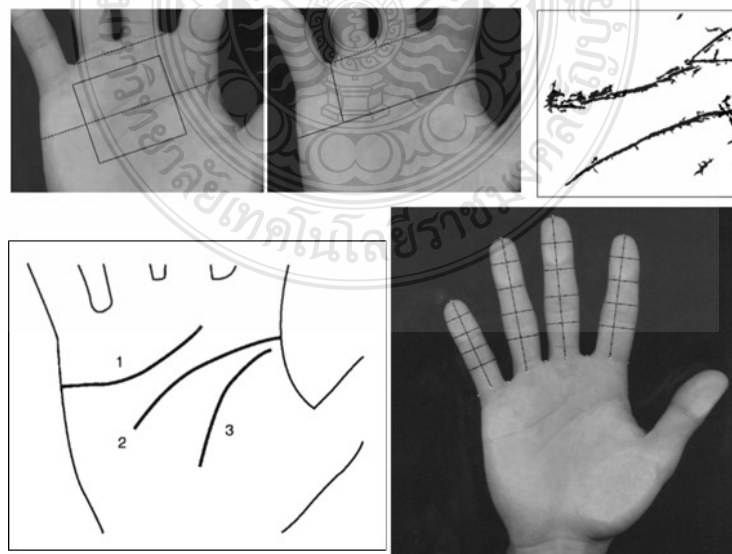
รูปที่ 2.18 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Oden และคณะ

ในงานวิจัยของ Wong และ Shi [27] นำเสนอในหัวข้อ “Peg-free hand geometry recognition using hierarchical geometry and shape matching” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบจดจำเอกลักษณ์บุคคลจากรูปร่างและขนาดของมือโดยไร้หมุดกำกับนิ้วมือ โดยใช้ขนาดความยาวและความกว้างของนิ้วมือ ร่วมกับลักษณะของปลายนิ้วมือ ดังรูป 2.19 เนื่องจากการที่ไร้หมุดกำกับนิ้วมือทำให้ในขั้นตอนการเตรียมภาพนั้นง่ายขึ้น นิ้วมือทั้งห้าที่วางบนอุปกรณ์โดยให้ห้องศานิ้วเว้นระยะห่างกันเล็กน้อยตามลักษณะปกติ ภาพที่ได้จะถูกลำมาปรับตำแหน่งและนำมาวัดขนาดเพื่อนำมาจดจำในระบบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ดีทั้งยังมีความง่ายในการใช้งาน



รูปที่ 2.19 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Wong และ Shi

ในงานวิจัยของ Ribaric และคณะ [28] นำเสนอในหัวข้อ "Multimodal biometric user-identification system for network-based applications" งานวิจัยนี้ได้นำเสนอต้นแบบระบบไบโอเมตริกแบบผสมผสานเพื่อการระบุตัวบุคคล ระบบนี้แตกต่างจากระบบผสมผสานแบบอื่นก่อนหน้านี้คือใช้ภาพชุดเดียวที่ได้จากเครื่องสแกนเอกสารที่ใช้ในสำนักงานทั่วไปในการหาลักษณะเด่นทางเรขาคณิตของมือ นิ้วมือ และลายมือ เงื่อนไขทั้งสามนี้ถูกนำมาพิจารณาในการวัดค่าความคล้ายคลึงกัน ดังรูป 2.20 โดยระบบถูกทดสอบจากบุคคลทั้งสิ้น 130 คน ผลการทดสอบประสิทธิภาพได้ค่า FAR = 0% และ FRR = 0.2 % แสดงให้เห็นว่าเป็นระบบที่มีการรักษาความปลอดภัยในระดับสูง



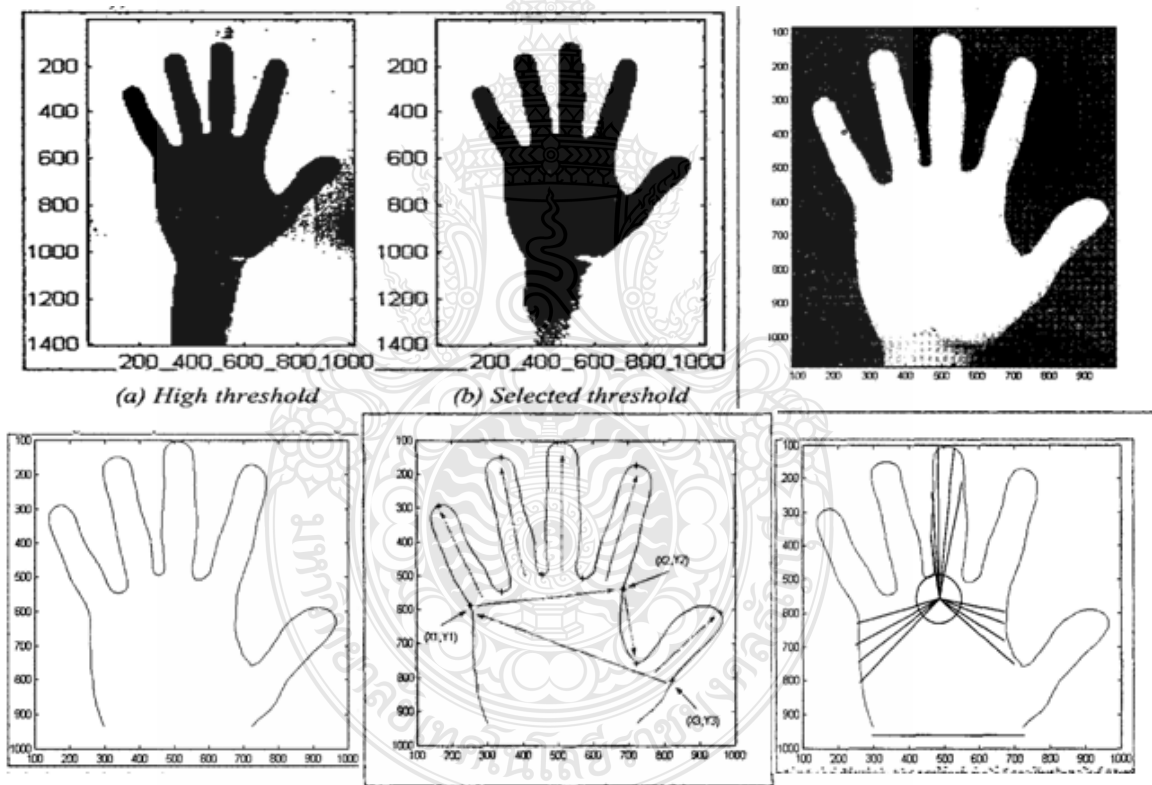
รูปที่ 2.20 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Ribaric และคณะ

ในงานวิจัยของ Kumar และคณะ [29] นำเสนอในหัวข้อ “Personal Verification Using Palmprint and Hand Geometry Biometric” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบเอกลักษณ์บุคคลโดยใช้ลายมือร่วมกับการวัดขนาดมือในเชิงเรขาคณิต ภาพมือจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลความละเอียดสูงถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยถ่ายภาพในลักษณะหงายฝ่ามือเพื่อให้ได้ภาพฝ่ามือและลายมือที่ชัดเจน โดยไม่ใช้การส่องสว่างพิเศษใดหรือใช้หมุดในการกำกับใดที่ทำให้เกิดความไม่สะดวกแก่ผู้ใช้ จากนั้นทำการแยกส่วนของภาพลายมือออกจากภาพต้นฉบับ ในส่วนของการวัดขนาดมือจะหา ลักษณะเด่น 16 ลักษณะดังนี้คือ ความยาวนิ้วทั้ง 4 ความกว้างนิ้วทั้ง 8 (นิ้วละสองค่า) ความยาวและความกว้างของฝ่ามือ พื้นที่และความยาวของมือ ส่วนภาพลายมือขนาด 300 x 300 พิกเซลจะถูกนำมา ยูบรวมให้เหลือขนาด 12 x 12 หรือ 144 ค่า ดังรูป 2.21



รูปที่ 2.21 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Kumar และคณะ

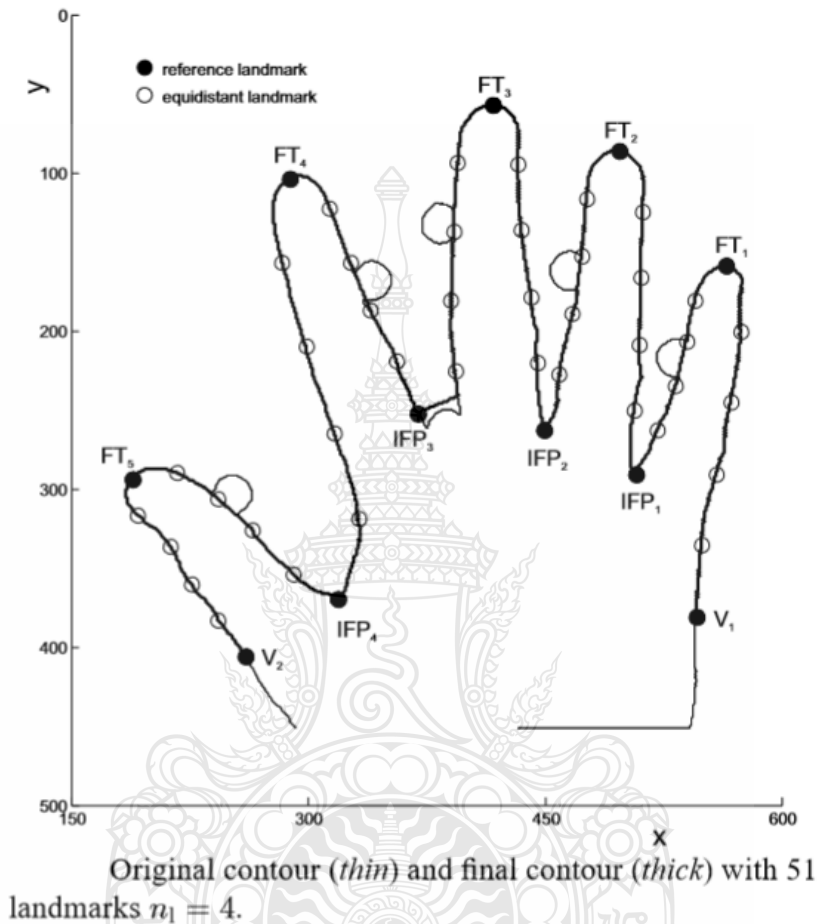
ในงานวิจัยของ Gonzalez และคณะ [27] นำเสนอในหัวข้อ "Automatic biometric identification system by hand geometry" งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการระบุตัวบุคคลโดยใช้การวัดมือและฝ่ามือในเชิงเรขาคณิต ชุดข้อมูลภาพมือถูกนำมาหาลักษณะเด่นในสองแบบคือ แบบที่หนึ่งข้อมูลเชิงเรขาคณิตได้แก่ ความยาวของนิ้วทั้งห้า อัตราส่วนของมือทั้งสามค่า พื้นที่และเส้นรอบรูปมือ แบบที่สองคือข้อมูลของเส้นรอบรูปมือ ที่วัดได้จากจุดศูนย์กลางมือไปยังจุดต่างๆบนเส้นรอบรูปมือ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 จากนั้นข้อมูลเส้นรอบรูปมือจะถูกนำมาลดขนาดความยาวของข้อมูลโดยใช้ Discrete Cosine Transform (DCT) Discrete Wavelets Transform (DWT) และ Principal Component Analysis (PCA) ในการทดสอบ และใช้เครือข่ายประสาทเทียม (neural network) ในการฝึกฝนระบบผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการจดจำที่สูงอยู่ที่ราวร้อยละ 99



รูปที่ 2.22 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Gonzalez และคณะ

ในงานวิจัยของ Veldhuis และคณะ [31] นำเสนอในหัวข้อ "A Comparison of Hand-Geometry Recognition Methods Based on Low and High-Level Features" งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลจากการใช้เส้นรอบรูปมือ ดังรูป 2.23 โดยการใช้การหาพิกัดเชิงระยะ (the spatial coordinates) จากจุดอ้างอิง (Landmark) ลงบนเส้นรอบรูปมือ และใช้การจัดกลุ่มแบบ log-

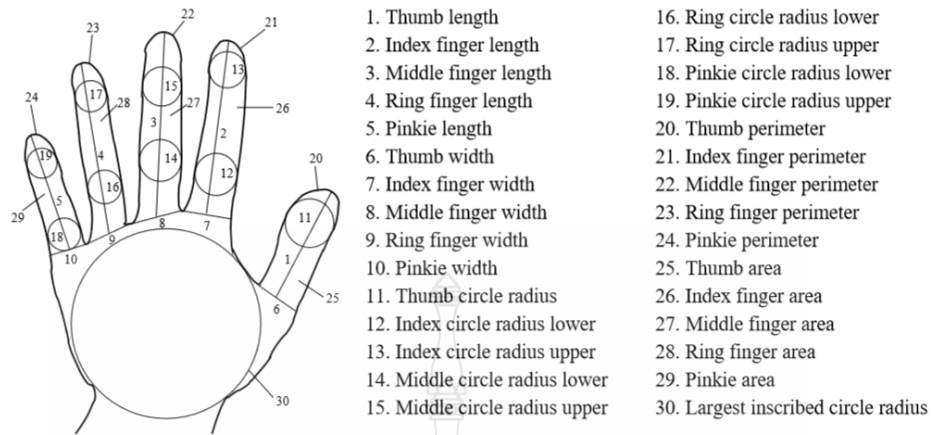
likelihood-ratio ในการยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้ใช้ทรัพยากรที่น้อยกว่าแบบการวัดขนาดมือแบบมาตรฐานคือแบบที่มีการวัดความกว้าง ความยาวและมุมต่างของนิ้ว



รูปที่ 2.23 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Veldhuis และคณะ

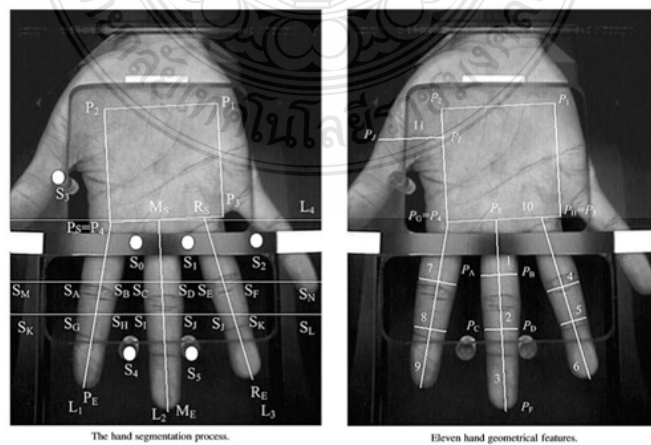
ในงานวิจัยของ Bulatov และคณะ [32] นำเสนอในหัวข้อ “Hand recognition using geometric classifiers” งานวิจัยนี้ได้แนะนำวิธีการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลจากการวัดขนาดมือ โดยใช้เครื่องสแกนเอกสารในการจับภาพมือ โดยการวางฝ่ามือที่แยกนิ้วมือพอประมาณบนพื้นผิวเครื่องสแกนเพื่อให้ได้ภาพมือ จากภาพที่ได้จะนำมาซึ่งการหาลักษณะเด่นทั้ง 30 ลักษณะดังรูปที่ 2.24 และใช้การจัดกลุ่มแบบ Nearest box และ Minimum enclosing ball ในการยืนยันผลลัพธ์ที่ได้เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของระบบในที่ท้ายสุด จากการทดสอบจาก 70 บุคคล รวม 714 ภาพมือ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านความปลอดภัยในระดับกลาง





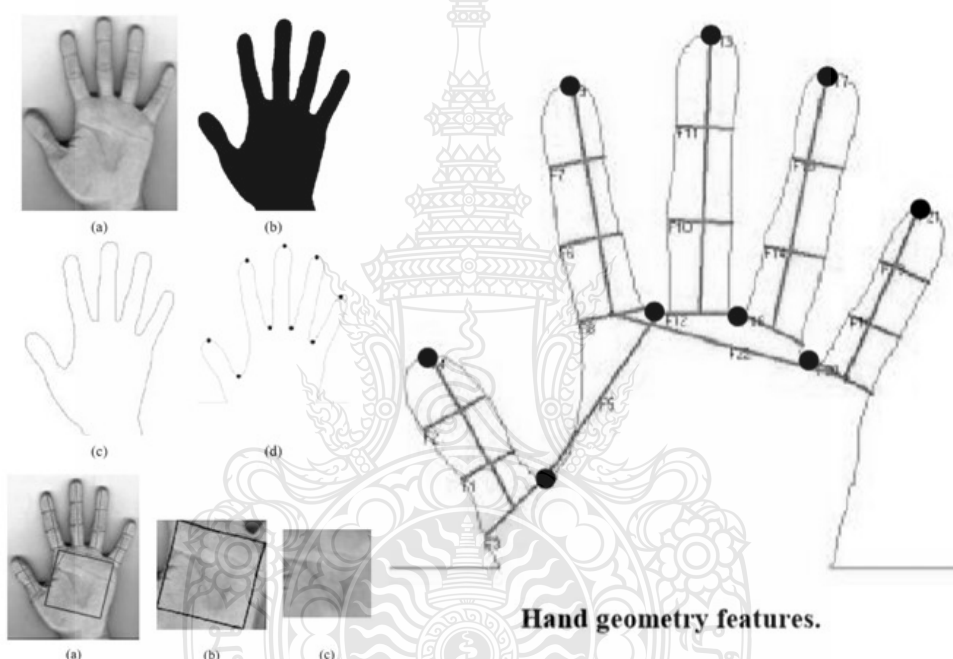
รูปที่ 2.24 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Bulatov และคณะ

ในงานวิจัยของ Han [33] นำเสนอในหัวข้อ “A hand-based personal authentication using a coarse-to-fine strategy,” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลบนพื้นฐานจากการหา ลักษณะเด่นของมือ ลักษณะเด่นของมือสองอย่างที่น่ามาใช้คือ ลักษณะทางเรขาคณิตของมือ และ ลายมือโดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบ CCD จับภาพมือ โดยภาพลายมือจะเป็นเป้าหมายหลักตั้งแต่เริ่ม กระบวนการประมวลผลเบื้องต้น กระบวนการ wavelet-based segmentation ถูกนำมาใช้ในการหา ตำแหน่งปลายนิ้วมือและตำแหน่งของลายมือ โดยกระบวนการนี้จะหาขอบของฝ่ามือและขอบของนิ้ว มือโดยใช้ wavelet transform นำมาซึ่งจุดอ้างอิงเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความยาวทั้ง 11 ค่า ดังรูปที่ 2.25 ในส่วนของลายมือที่ต้องใช้ความละเอียดสูงในการแยกแยะจะถูกนำมาลดขนาดโดยวิธีการ PCA ให้เหลือขนาด 50 เวกเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลต่อไป



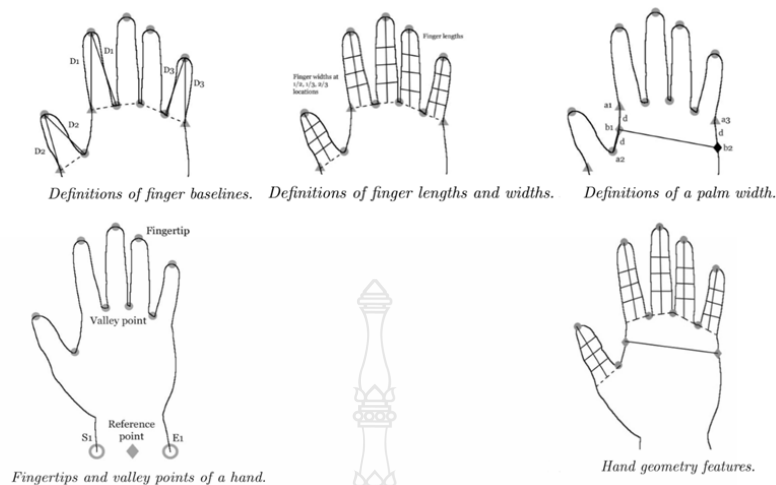
รูปที่ 2.25 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Han

ในงานวิจัยของ Ong และคณะ [34] นำเสนอในหัวข้อ "A single-sensor hand geometry and palmprint verification system" งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการนำการวัดขนาดมือและการจดจำลายมือมาผสมรวมกันในการยืนยันเอกลักษณ์บุคคล ในระบบนี้ใช้เครื่องสแกนเอกสารเป็นตัวจับภาพมือ ดังรูปที่ 2.26 โดยในขั้นตอนแรกจะนำภาพมือมาหาลักษณะเด่นของนิ้วมือและฝ่ามือมือ ขั้นตอนที่สองคือการหาลักษณะเด่นของลายมือโดยใช้ Linear Discriminant Analysis (LDA) ขั้นตอนสุดท้ายคือการจับคู่ความคล้ายคลึงกันจากกระบวนการที่ชื่อว่า sum rule และ weighted sum rule และ Support Vector Machine (SVM) ซึ่งในกรณีนี้ SVM แบบ RBF ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 99.99



รูปที่ 2.26 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Ong และคณะ

ในงานวิจัยของนงลักษณ์ โควาวิสารัช และคณะ [35] นำเสนอในหัวข้อ "Personal Verification and Identification Using Hand Geometry" งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบยืนยันตัวตน และระบุตัวตนโดยการวัดรูปร่างมือ โดยผู้ใช้สามารถวางมือได้โดยอิสระ คุณลักษณะที่ใช้ในการเทียบคือ ความยาวของนิ้วมือ ความกว้างของนิ้ว สามส่วนจากการแบ่งความยาวนิ้วเป็นสามส่วน และความกว้างฝ่ามือ ดังรูปที่ 2.27 ในการศึกษาจะใช้ฟังก์ชันการวัดระยะที่ต่างกัน 6 อย่างในการทดสอบการยืนยันตัวตน และระบุตัวตน ภาพที่ใช้ในการทดสอบมาจากผู้ใช้ 96 คน ผลการทดสอบในการยืนยันตัวตนพบว่าฟังก์ชันวัดระยะแบบ S1 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ CER = 3% ในการระบุตัวตนให้ความแม่นยำที่ 94%



รูปที่ 2.27 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ นงลักษณ์ ไคววารัช และคณะ

ในงานวิจัยของ Woodard และคณะ [36] นำเสนอในหัวข้อ “Finger surface as a biometric identifier” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการระบุตัวบุคคลและการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลผ่าน ภาพสามมิติของพื้นผิวของนิ้วชี้ นิ้วกลางและนิ้วนาง โดยในกระบวนการหาลักษณะเด่นของนิ้ว คอนเวกซ์ฮัลล์ของเส้นรอบมือถูกนำมาช่วยในการวิเคราะห์หาร่องนิ้วมือ และแยกส่วนแต่ละนิ้วออกจากกัน ดังรูปที่ 2.28

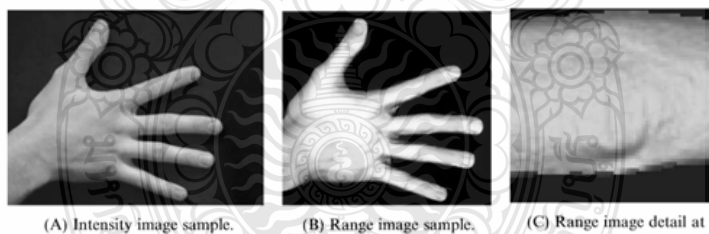


Fig. 1. Sample intensity/range images and range image detail.

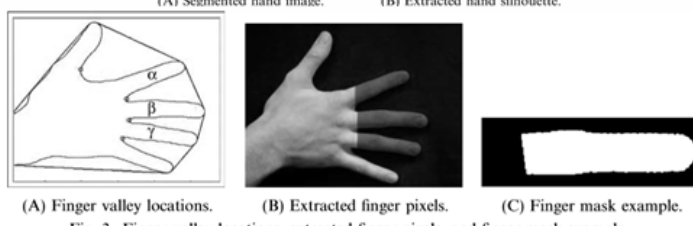
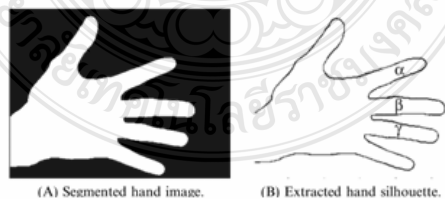
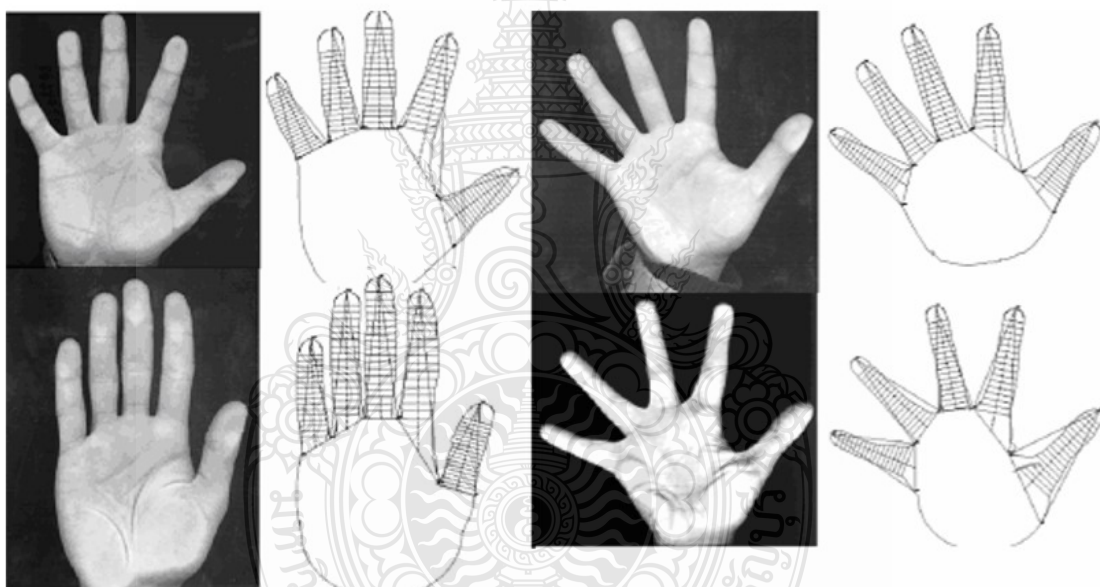


Fig. 3. Finger valley locations, extracted finger pixels, and finger mask example.

รูปที่ 2.28 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Woodard และคณะ

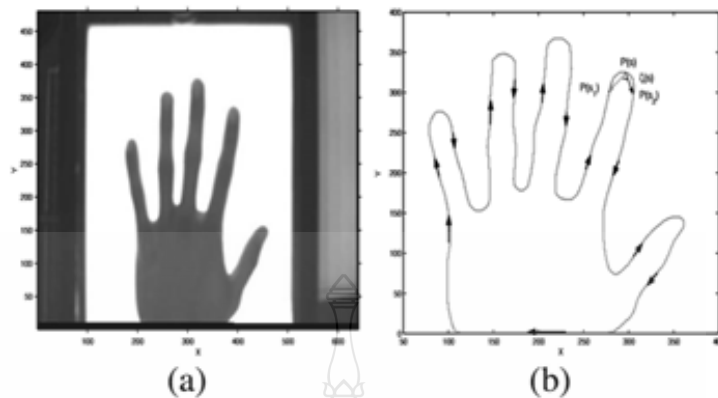
ในงานวิจัยของ Boreki และ Zimmer [37] นำเสนอในหัวข้อ “Hand Geometry Feature Extraction through Curvature Profile Analysis” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการหาลักษณะเด่นของการวัดขนาดมือจากการวิเคราะห์ความโค้งเว้าของเส้นรอบรูปมือ ดังรูปที่ 2.29 โดยความยาวของนิ้วมือจะได้รับการสร้างรูปสามเหลี่ยมจากจุดที่อยู่ติดกัน เส้นหลักของรูปสามเหลี่ยมจะถูกแบ่งเป็นยี่สิบส่วนเท่าๆกันซึ่งจะได้เส้นตั้งฉากจากเส้นหลักของรูปสามเหลี่ยมไปจนถึงขอบของนิ้ว ค่าเฉลี่ยของเส้นตั้งฉากทั้งหมดคือความกว้างของนิ้ว ยืนยันเอกลักษณ์บุคคลจากการวัดขนาดมือ ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากผู้ใช้งานแต่ละรายจะถูกนำมาหาความแปรผันระหว่างความยาวและความกว้างของนิ้วเพื่อหาสมการที่สามารถอธิบายความแปรผันดังกล่าว ซึ่งจะนำไปสู่การได้มาของค่าข้อมูลส่วนบุคคล (Biocode) สำหรับผู้ใช้งานแต่ละราย



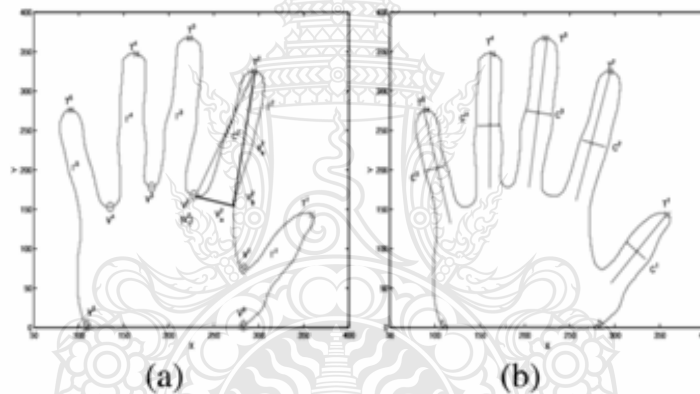
**Figure – Several images with its processed counterparts**

รูปที่ 2.29 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Boreki และ Zimmer

ในงานวิจัยของ Xiong และคณะ [38] นำเสนอในหัวข้อ “Peg-free Human Hand Shape Analysis and Recognition” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาความแปรปรวนของการวัดรูปร่างมือในระบบที่ไร้หมุดกำกับนิ้วมือ ดังรูปที่ 2.30 โดยใช้ค่าความโค้งเว้าของนิ้วมือในการหาตำแหน่งปลายนิ้วและร่องนิ้ว เพื่อเป็นแนวทางในการหาความกว้างและความยาวของนิ้ว โดยทดสอบจาก 108 บุคคล รวม 540 ตัวอย่าง พบว่าวิธีนี้มีแนวโน้มที่จะสามารถเพิ่มความแม่นยำให้ระบบการวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับได้



**Fig. 1.** (a) A hand image captured; and (b) the traced contour of the detected hand.  $P(s)$ ,  $P(s_1)$  and  $P(s_2)$  are used to compute  $\zeta(s)$  at  $P(s)$ . Sub pictures plotted here are not in scale.



**Fig. 2.** (a) The detected fingertips (denoted by x-markers) and valleys (circle markers). (b) The estimated major axis (the longer one within the finger) and the minor axis (the shorter one crossing the finger) of each finger of the hand shape in Fig. 1(b).

รูปที่ 2.30 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Xiong และคณะ

ในงานวิจัยของ Amayeh และคณะ [39] นำเสนอในหัวข้อ “Peg-Free Hand Shape Verification Using High Order Zernike Moments” งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพ ความถูกต้องและความทนทานของการวัดขนาดมือ โดยการนำ High order Zernike moment เข้ามาใช้ในระบบ เพื่อหลีกเลี่ยงขั้นตอนการแยกแยะความแตกต่างของมือและข้อผิดพลาดในการหาลักษณะเด่นของมือ (เช่น การหาปลายนิ้วร่อนนิ้ว) โดยการวางฝ่ามือที่แยกนิ้วมือพอประมาณ

บนพื้นผิวเครื่องสแกนเพื่อให้ได้ภาพมือ ดังแสดงในรูปที่ 2.31 จากภาพที่ได้จะนำมาซึ่งการหาลักษณะเด่นทั้ง 30 ลักษณะและใช้การจัดกลุ่มแบบ Nearest box และ Minimum enclosing ball ในการยืนยันผลลัพธ์ที่ได้เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของระบบในที่ท้ายสุด จากการทดสอบจาก 70 บุคคล รวม 714 ภาพมือ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านความปลอดภัยในระดับกลาง

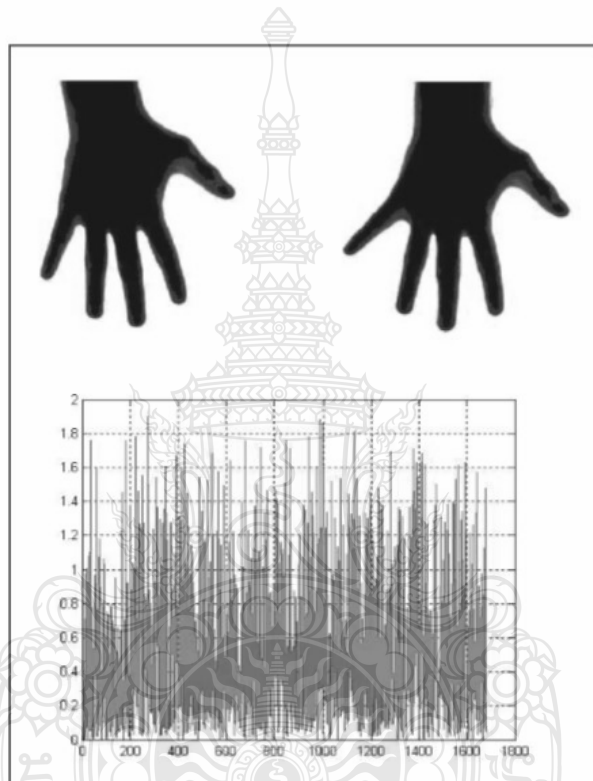
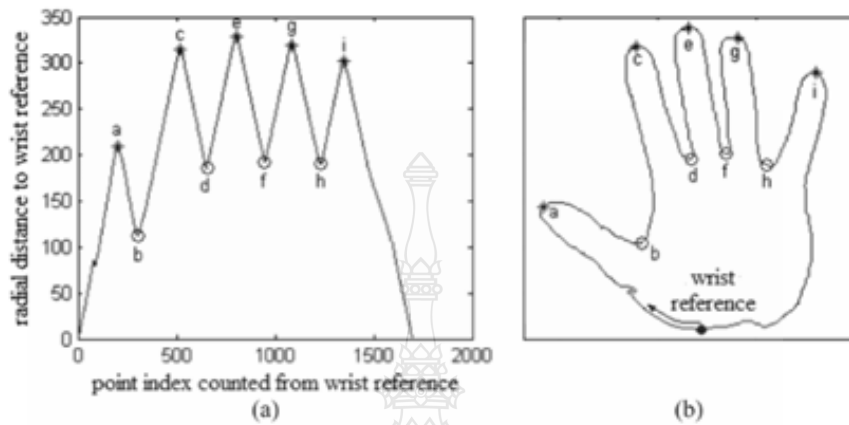


Figure . Normalized Zernike moment differences for two images of the same hand containing finger motion - less than 1.8% max error is shown.

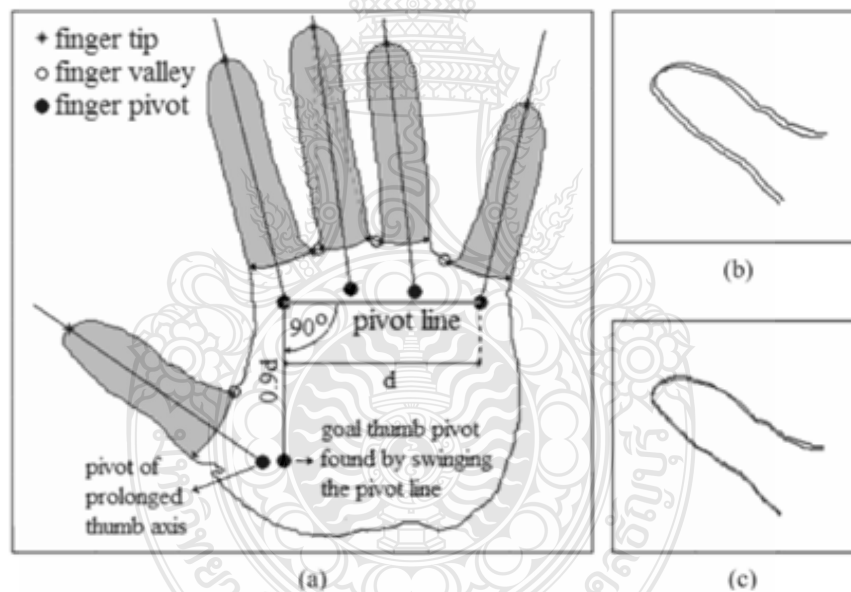
รูปที่ 2.31 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Amayeh และคณะ

ในงานวิจัยของ Yuruk และคณะ [40] นำเสนอในหัวข้อ “Shape-based hand recognition” ในงานวิจัยนี้ได้เสนอระบบที่ใช้ภาพมือขวที่ได้จากเครื่องสแกนเอกสารโดยไม่จำกัดท่าทางการวางมือที่ความละเอียดของภาพที่ 45 dpi ภาพที่ได้จะถูกนำมาปรับแต่งตัดต่อ แยกส่วน คงที่ ดังรูปที่ 2.32 จากนั้นจะนำส่วนที่ผ่านการแยกส่วนทั้งหมดนำมาประกอบขึ้นมาใหม่ในท่าทางที่กำหนดไว้เป็นรูปแบบที่ กระบวนการ Hausdorff Distance และ Independent Component Analysis ถูกนำมาใช้ใน

ระบบ และแสดงให้เห็นว่าระบบนี้มีประสิทธิภาพสูง ทั้งได้ทดสอบระบบมากถึงประมาณห้าร้อย ตัวอย่าง



(a) Radial distance function for finger extraction and (b) a hand contour with marked extremities.

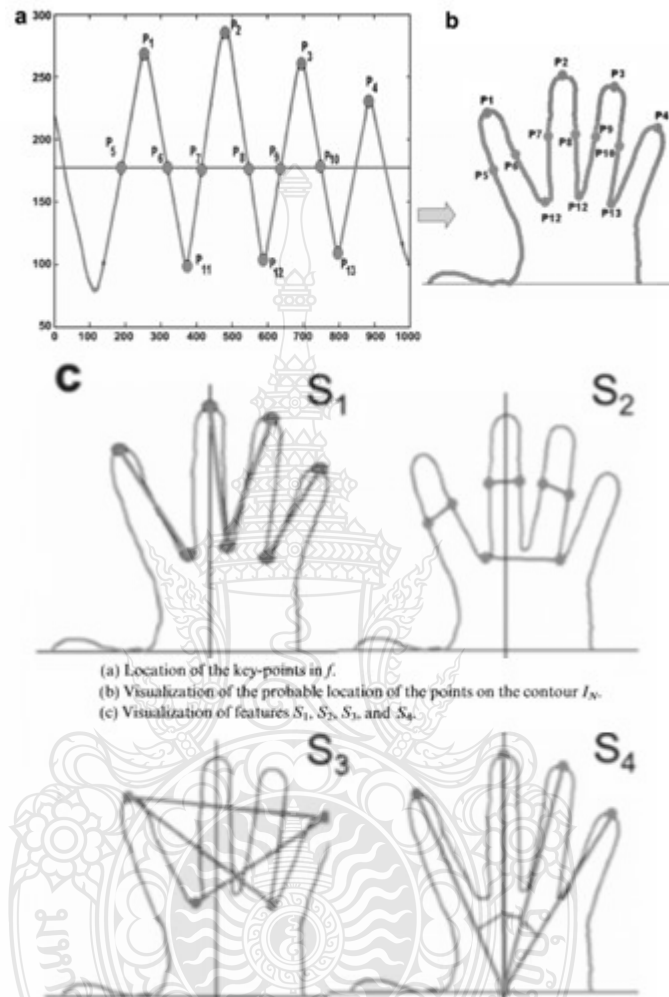


(a) Fingers extracted by a sickle sweep, finger axes, finger pivots, and definition of hand pivotal axis; (b) thumbs of the same person overlapped after rotation; and (c) thumbs of the same person overlapped after rotation and pivotal translation.

รูปที่ 2.32 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Yuruk และคณะ

ในงานวิจัยของ Adan และคณะ [20] นำเสนอในหัวข้อ “Biometric verification /identification based on hands natural layout” ในงานวิจัยนี้ได้เสนอระบบไบโอเมตริกที่ใช้ฝ่ามือในยืนยืนเอกลักษณ์บุคคล โดยใช้ทั้งกล้อง CCD สองตัวในการจับภาพฝ่ามือทั้งซ้ายและขวา ภาพที่ได้จะถูกนำมาหาลักษณะเด่นพร้อมทั้งหาความสัมพันธ์เกี่ยวโยงกัน (NRS : Natural reference system) ดัง

รูปที่ 2.33 S1, S2, S3 และ S4 จากการทดสอบกับบุคคลทั้ง 470 คน รวม 5640 ภาพ แสดงให้เห็นว่า ระบบดีมากพอที่จะนำมาใช้ในงานรักษาความปลอดภัย



รูปที่ 2.33 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Adan และคณะ

ในงานวิจัยของ Morales และคณะ [41] นำเสนอในหัวข้อ “Contract-Free Hand Biometric System for Real Environments” โดยในงานวิจัยนี้ได้เสนอระบบวัดขนาดมือแบบใหม่ที่ไร้การสัมผัสมือกับวัสดุรับภาพมือ โดยใช้ภาพถ่ายมือขวาที่ได้จากกล้องเว็บแคมขนาดที่มีความละเอียดของภาพที่ 320x240 พิกเซล จากการถ่ายในสภาพแวดล้อมจริงด้วยแสงอินฟราเรด จากนั้นทำการหาลักษณะเด่นในส่วนของนิ้วชี้ นิ้วกลาง และนิ้วนาง ดังรูปที่ 2.34 กระบวนการ Support Vector Machines ถูกนำมาใช้ในการแยกแยะลักษณะ ผลการทดสอบระบบแสดงค่า EER ที่ร้อยละ 3.4





Figure - System prototype



Captured image in visible range Near skin objects in visible range

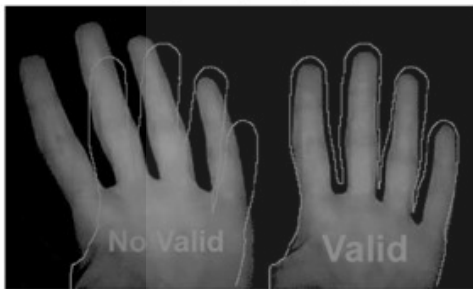


Figure - Template and hand positioning

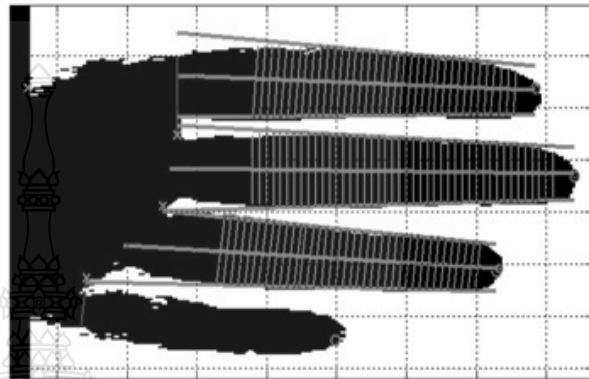


Figure - Feature extraction

รูปที่ 2.34 แนวคิดประกอบงานวิจัยของ Morales และคณะ



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ (peg-less hand geometry device) ทั้งสามส่วนหลักดังนี้ คือการเตรียมภาพ การประมวลผลภาพเบื้องต้น และการหาลักษณะเด่นที่เพิ่มการตรวจสอบการวางมือ (hand placement detection) เข้าไปในกระบวนการนี้ โดยการหาลักษณะเด่นของมือจะใช้วิธีการหากรอบด้านนอกและความเว้า (hand convexity defects) ร่วมกับวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานของนิ้วกลางและนิ้วนาง ซึ่งนำไปสู่การได้มาซึ่งพิกัดของปลายนิ้วและร่องนิ้ว เพื่อนำมาสร้างจุดอ้างอิงไปคำนวณหาขนาดของมือ

### 3.1 การออกแบบอุปกรณ์วัดขนาดมือ



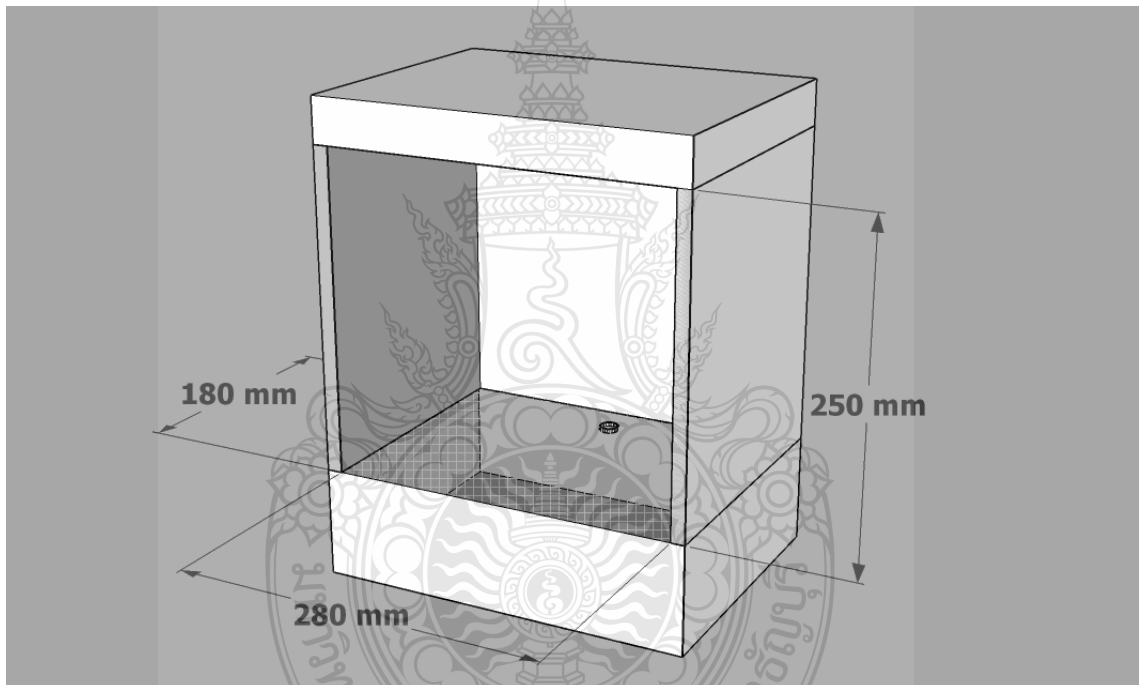
รูปที่ 3.1 ข้อกำหนดของระบบ

ผู้วิจัยได้กำหนดการทำงานเป็นสามส่วนคือ การเตรียมภาพ การประมวลผลภาพเบื้องต้น และการหาลักษณะเด่น ดังรูปที่ 3.1 เพื่อมุ่งเน้นไปที่ความเป็นระบบเปิด โปรแกรมจึงพัฒนาด้วย

ภาษาซี ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV เวอร์ชัน 2.1 [42] บน Intel Core i3 4005U 1.7 GHz มีหน่วยความจำหลัก 4 GByte บนระบบปฏิบัติการ Windows 10

โดยผลลัพธ์ของโปรแกรมได้ข้อมูลมือขวาที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และภาพเงามือพร้อมเส้นแสดงความขานิ้วมือและเส้นแสดงความกว้างฝ่ามือมือเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง จำนวน 9 ค่า คือความยาวและความกว้างโดยเฉลี่ยของนิ้ว 4 นิ้ว คือ นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลาง, นิ้วชี้ และความยาวฝ่ามือ ซึ่งค่าที่ได้นี้เหมาะสมและเพียงพอในการใช้งาน โดยอ้างอิงจากงานวิจัย [43]

### 3.2 การออกแบบการเตรียมภาพ



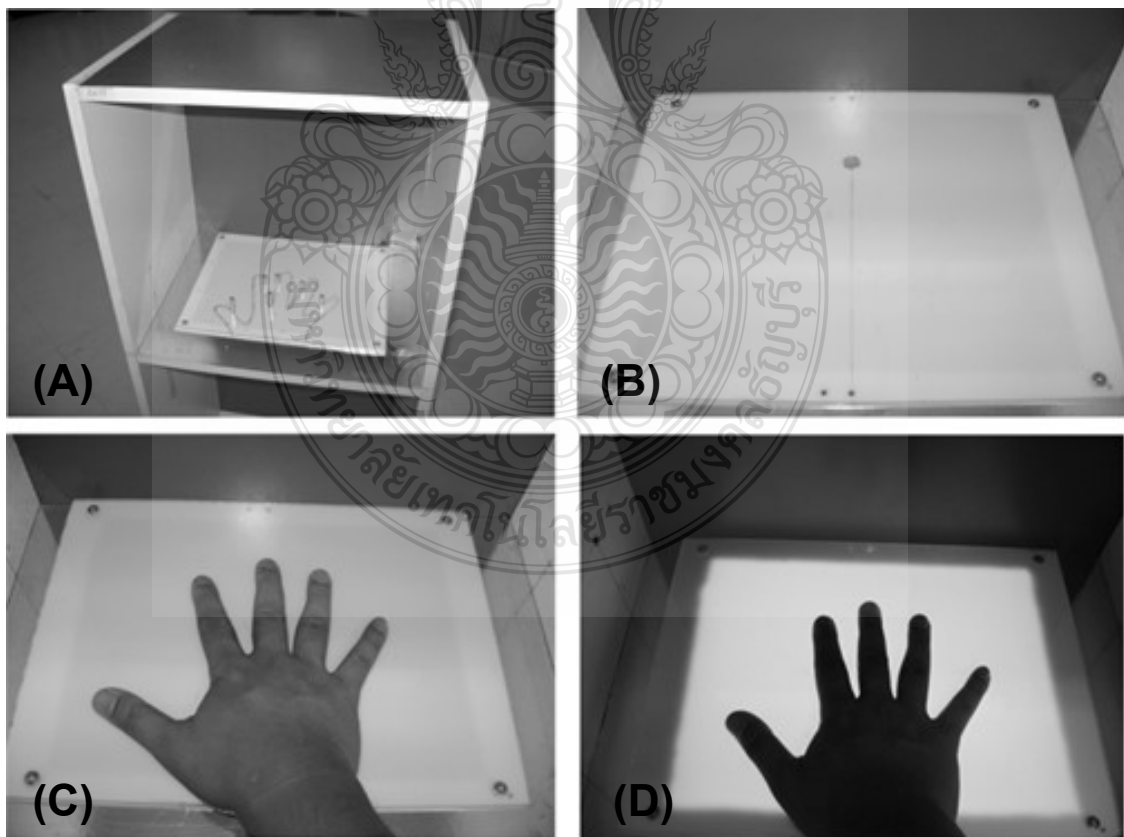
รูปที่ 3.2 แบบร่างของผู้ควบคุมแสงสว่าง

ในขั้นตอนการเตรียมภาพจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้เลือกใช้อุปกรณ์ในการรับภาพเป็นสองประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งใช้กล้อง CCD ในการรับภาพ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดขนาดของอุปกรณ์วัดขนาดมือ จึงลดระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นวางฝ่ามือจึงทำให้เห็นภาพมือในส่วน นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลางและนิ้วชี้เป็นหลัก พร้อมทั้งมีหมุดกำกับฝ่ามือ เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องซึ่งใช้เลนส์ในการรับภาพซึ่งมีความโค้งทำให้ตำแหน่งของมือมีผลต่อสัดส่วนของภาพที่ได้ซึ่งต่างจาก

งานวิจัย ประเภทที่สองที่ใช้เครื่องสแกนเอกสารในการรับภาพ จะใช้ภาพที่มีส่วนมือตั้งแต่ข้อมือขึ้นไป และภาพที่ได้จะ ได้สัดส่วนที่เท่ากันไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใดในแผ่นรับภาพ

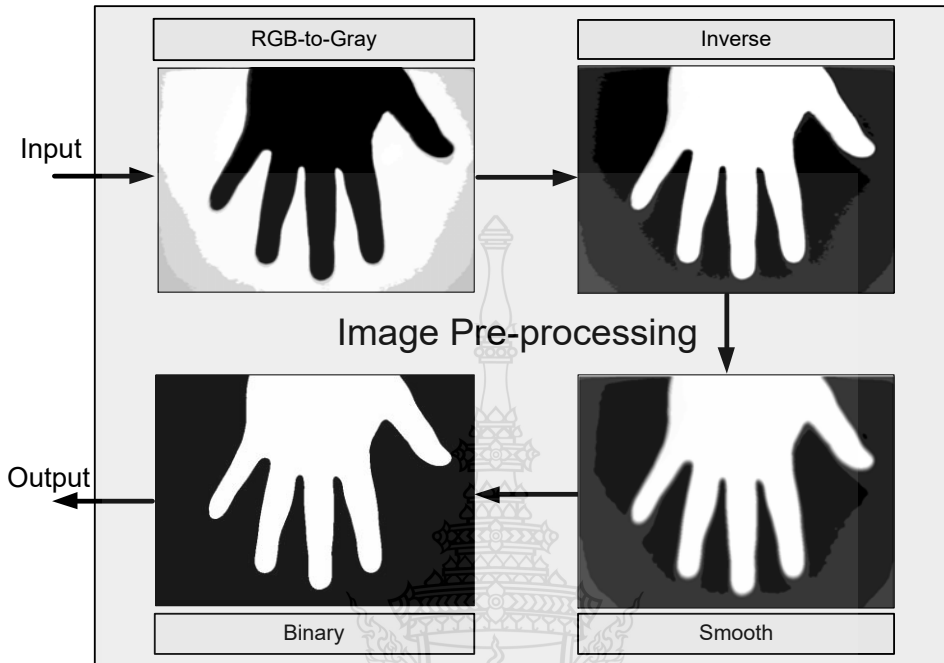
โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องเว็บแคม (Web Camera) ชนิดอัตราส่วนภาพ 4:3 ให้ภาพผลลัพธ์ที่ขนาด 640 x 480 พิกเซล โดยให้ทำการบันทึกภาพหลังมือขวาจากตู้ควบคุมแสงสว่าง ตัวกล้องติดตั้งด้านบนของตู้ควบคุมแสงสว่างสูงจากแผ่นรองฝ่ามือ 250 มิลลิเมตร ตู้ควบคุมแสงสว่างถูกออกแบบให้มีความยาว 280 มิลลิเมตร และความกว้าง 180 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.3 (A) แสดงภาพตู้ควบคุมแสงสว่างที่ใช้ในการทดลอง รูปที่ 3.3 (B) แสดงภาพแผ่นรองฝ่ามือที่ใช้ในการทดลอง โดยมีเพียงจุดกำกับปลายนิ้วกลางทำจากแผ่นอะคริลิก (acrylic) สีขาว และสีใสประกบคู่กันมีความหนาอย่างละ 2 มิลลิเมตร ส่วนรูปที่ 3.3 (C) แสดงตัวอย่างการวางมือบนตู้ควบคุมแสงสว่าง โดยผู้ใช้จะนำปลายนิ้วกลางสัมผัสที่จุดกำกับปลายนิ้ว พร้อมทั้งบังคับฝ่ามือและนิ้วทั้งห้าให้สัมผัสแนบชิดกับแผ่นรองฝ่ามือ ใต้แผ่นรองฝ่ามือติดตั้งหลอดไฟแอลอีดี (LED light bulb) เพื่อให้กล้องถ่ายภาพในลักษณะย้อนแสงทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดที่ขอบของฝ่ามือ และเพิ่มความแตกต่างระหว่างสีของแผ่นรองฝ่ามือและสีผิวของผู้ใช้อุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.3 (D)



รูปที่ 3.3 ตู้ควบคุมแสงสว่างและตัวอย่างการใช้งาน

### 3.3 การออกแบบการประมวลผลภาพเบื้องต้น



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานย่อยของการประมวลผลภาพเบื้องต้น

เนื่องจากภาพที่ได้กระบวนกรก่อนหน้าเป็นภาพสี RGB ต้องนำมาแปลงเป็นระดับสีเทา (Gray scale) พร้อมทั้งทำการกลับสลับระดับสีเทา (Inverse) ภาพที่ได้จะนำมาปรับเรียบ (Smooth) ต่อไป ซึ่งขบวนการปรับเรียบนี้จะเกลี่ยพิกเซลขนาดเล็กที่ไม่ต้องการที่กระจายอยู่ในภาพให้กลืนไปกับพิกเซลใกล้เคียง และกระบวนกรสุดท้ายคือแปลงภาพเป็นขาวดำ (Binary) ดังรูปที่ 3.4

#### 3.3.1 การแปลงภาพสีเป็นระดับสีเทา (RGB to Gray)

ภาพที่รับเข้ามาในขั้นตอนแรกเป็นภาพที่อยู่ในระบบปริภูมิสีแบบ RGB ดังนั้นแต่ละพิกัดของภาพจะประกอบด้วยค่าของเซตที่แสดงถึง ค่าของแดง (R) ค่าของสีเขียว (G) และค่าของสีน้ำเงิน (B) ระบบจะทำการเปลี่ยนให้เป็นภาพระดับสีเทา เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้นเพราะเมื่อแปลงภาพเป็นระดับสีเทาแล้วจะทำให้แต่ละจุดภาพของภาพจะเหลือเพียงค่าความเข้มของสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ภาพระดับสีเทาจะมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ของสีซึ่งอยู่ระหว่างสีขาวและสีดำ (Halftone Image) อย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่าแต่ละพิกเซลของภาพจะหมายถึงความเข้มแสงแต่ละตำแหน่งของพิกเซล ที่อยู่ในรูประดับสีเทา การเปลี่ยนภาพจากระบบสี RGB เป็นระดับสีเทา จะใช้สมการที่ (3.1) ในการแปลงภาพ

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad (3.1)$$

โดย  $Y$  แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล ที่เราต้องการหา  
 $R$  แทน ค่าสีแดง ณ จุด ที่ต้องการหา  
 $G$  แทน ค่าสีเขียว ณ จุด ที่ต้องการหา  
 $B$  แทน ค่าสีน้ำเงิน ณ จุด ที่ต้องการหา

### 3.3.2 การกลับสลับระดับสีเทา

การกลับสลับระดับสีเทา ( inverse image หรือ negative image) คือการแปลงภาพระดับสีเทาของภาพแบบ 8 บิตซึ่งจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 เป็น 255 ถึง 0 หรือที่นิยมเรียกว่าเนกาทีฟ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ภาพที่ได้จากการเตรียมภาพเป็นภาพที่ผ่านการถ่ายภาพในลักษณะย้อนแสงโดยมีพื้นหลัง (background) เป็นสีขาว หากเทียบเป็นระดับสีเทาคือค่า 255 ส่วนภาพมือเป็นสีดำเมื่อเทียบเป็นระดับสีเทาคือ 0 หรือหมายถึงไม่มีแสง ไม่พบวัตถุ ซึ่งจะไม่ตรงกับเป้าหมายของเราที่ต้องการให้ภาพมือเป็นวัตถุที่ต้องการหา ส่วนพื้นหลังจะเป็นส่วนที่ต้องการกำจัดออกไป จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนนี้ โดยจะใช้สมการที่ (3.2) ในการแปลงภาพ

$$X = 255 - Y \quad (3.2)$$

โดย  $X$  แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล ที่เราต้องการหา  
 $Y$  แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซลเดิม

### 3.3.3 การปรับเรียบ

การปรับเรียบ ( smooth หรือ blur) เป็นขั้นตอนก่อนการแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ โดยจะเป็นการกรองภาพเพื่อกำจัดสิ่งรบกวน (noise) เพื่อให้ภาพมีคุณภาพที่ดีขึ้นเมื่อไปเป็นภาพขาวดำ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Gaussian filter ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ Gaussian mask นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ Gaussian filter เป็นดังสมการที่ (3.3)

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] \times I[i, j] \quad (3.3)$$

โดย  $S[i, j]$  คือภาพผลลัพธ์  
 $I[i, j]$  คือภาพต้นฉบับ  
 $G[i, j, \sigma]$  คือ Gaussian smoothing filter  
 $\sigma$  เป็นตัวควบคุมระดับของการกรอง ( $\sigma$  คือค่าความเบี่ยงเบน (Standard Deviation))

### 3.3.4 การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำ

การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำหมายถึงภาพที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเป็นหลัก ในทางดิจิทัลหมายความว่ามีความเป็น 2 สถานะคือ 0 และ 1 ถ้าพิกเซลใดมีค่าเป็น 0 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีดำ พิกเซลใดมีค่าเป็น 1 หมายความว่าพิกเซลนั้นมีสีขาว การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำจะต้องกำหนดค่าความเข้มที่ต้องการอ้างอิงหรือ ค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) โดยผู้ใช้สามารถกำหนดได้เองหรือใช้อัลกอริทึมในการหาค่า ซึ่งแสดงไว้ดังสมการที่ (3.4)

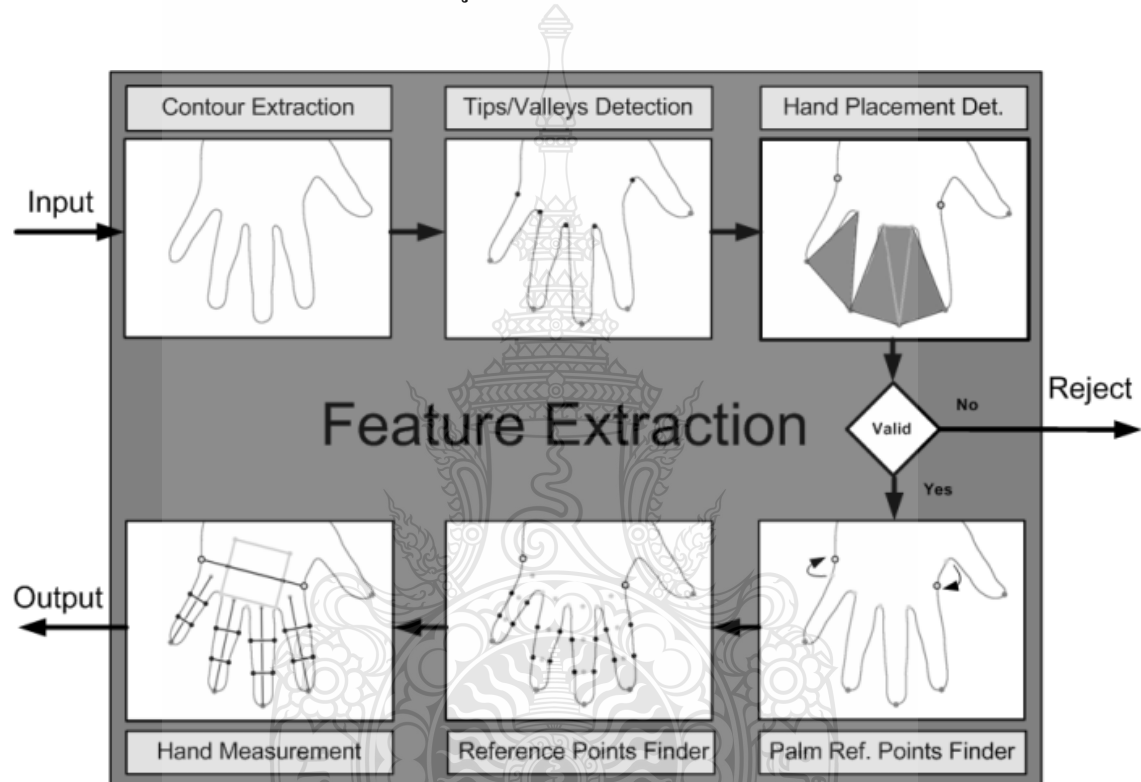
$$f_T[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{if } f[i, j] > T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.4)$$

โดย  $f_T[i, j]$  คือค่าระดับความสว่างที่  $[i, j]$   
 $T$  คือค่าขีดแบ่ง

## 3.4 การออกแบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ

เนื่องจากการตรวจสอบการวางมือในระบบมีหมุดกำกับติดตั้งตัวตรวจรู้การสัมผัสที่หมุด กระบวนการตรวจสอบนี้จึงอยู่ในส่วนแรกของระบบคือการเตรียมภาพ แต่ในระบบไร้หมุดกำกับนั้นสามารถแทรกกระบวนการนี้ลงไปในกระบวนการหาลักษณะเด่นได้ เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ดังรูปที่ 3.5 การหาลักษณะเด่นของระบบนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินการ หกขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่หนึ่งคือการหาเส้นรอบรูปมือ (Contour Extraction) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การหาขอบภาพวิธีแคนนี่ (Canny edge Detection) ข้อมูลพิกัดที่ได้จะนำไปสู่ขั้นตอนที่สองคือการหาปลายนิ้วและร่องนิ้ว ขั้นตอนที่สามเป็นส่วนการตรวจสอบการวางมือที่ผู้วิจัยเพิ่มเข้ามาในกระบวนการหาลักษณะเด่น ซึ่งจะแตกต่างไปจากงานวิจัยก่อนหน้า โดยในขั้นตอนนี้จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงเพื่อคัดกรองภาพมือที่ไม่ถูกต้อง (Invalid) ออกจากระบบและแจ้งเตือนผู้ใช้งาน หากภาพมือที่ได้ถูกต้อง (Valid) จะเข้าสู่ขั้นตอนที่สี่ การหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ (Palm

Reference Points Finder) เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งฐานของนิ้วก้อยและนิ้วชี้ ส่วนขั้นตอนที่ทำการหาจุดอ้างอิง (Reference Points Finder) เพื่อการวัดขนาด จากตำแหน่งปลายนิ้วและร่องนิ้วร่วมกับข้อมูลพิกัดเส้นรอบรูปมือจะนำมาคำนวณหาจุดอ้างอิงต่างๆที่จะนำไปสู่การได้มาซึ่งความยาวและความกว้างของแต่ละนิ้ว และส่งต่อไปขั้นตอนสุดท้ายการวัดขนาดมือ (Hand Measurement) ผลแสดงออกเป็นขนาดความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้วมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องในภายหลัง

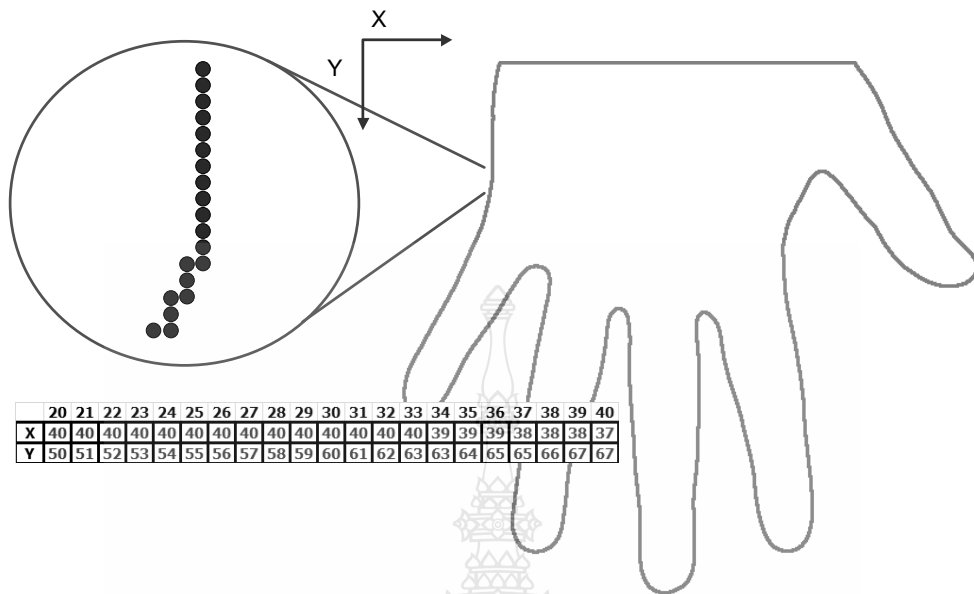


รูปที่ 3.5 กระบวนการหาลักษณะเด่นเมื่อแทรกการตรวจสอบการวางมือ

### 3.5 การหาเส้นรอบรูปมือ (การหาขอบภาพ)

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการหาขอบวิธีแคนนี่ [44] ซึ่งเป็นวิธีการหาขอบที่สามารถเลือกทิศทางการเกิดขอบภาพได้ และได้ผลดีในการหาขอบในภาพ ซึ่งอยู่ในประเภทวิธีการหาขอบแบบ Gradient การทำงานนั้นเริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้น คำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของ Gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ในขั้นตอนถัดมาจึงใช้ Non-maxima suppression กับ Gradient Magnitude เพื่อทำให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายใช้ Double Thresholding Algorithm เพื่อระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.6





รูปที่ 3.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการหาขอบวิธีแคนนี่

โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การกำจัดสัญญาณรบกวน (Smoothing with Gaussian Filter) ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้หน้าต่า (Mask) ขนาดเล็ก ขนาดของหน้าต่าเกาส์เซียนนี้ หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป

2) การหาทิศทางการเป็นขอบภาพ ในขั้นแรกนำ smoothing image  $S[i, j]$  มาสร้าง  $x, y$  partial derivatives  $P[i, j]$  และ  $Q[i, j]$  ตามสมการที่ (3.1) และ (3.2)

$$P[i, j] = \{(S[i, j + 1] - S[i, j]) + (S[i + 1, j + 1] - S[i + 1, j])\}/2 \quad (3.1)$$

$$Q[i, j] = \{(S[i, j] - S[i + 1, j]) + (S[i, j + 1] - S[i + 1, j + 1])\}/2 \quad (3.2)$$

- เมื่อ
- $P[i, j]$  คือ ค่าความแตกต่างในแกนแนวนอน
  - $Q[i, j]$  คือ ค่าความแตกต่างในแกนแนวตั้ง
  - $S[i, j]$  คือ ค่าความเข้มแสงของจุดภาพ

หลังจากนั้นนำค่า  $x$ ,  $y$  partial derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานสำหรับการแปลงรูปแบบจาก rectangular ไปเป็น polar (rectangular-to-polar conversion) เพื่อหาขนาดและทิศทางของ gradient ตามสมการที่ (3.3) และ (3.4)

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2} \quad (3.3)$$

$$\theta[i, j] = \arctan \frac{Q[i, j]}{P[i, j]} \quad (3.4)$$

3) การขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maxima Suppression) สำหรับการหาขอบโดย Canny method จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับ gradient ด้วย ซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Non-maxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น local maxima points ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

4) การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) แม้ว่าภาพจะผ่านการ smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่อันเนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า threshold ขึ้นมา 2 ค่า คือ high threshold ( $T_1$ ) และ low threshold ( $T_2$ ) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า  $T_1$  จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า  $T_2$  จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่า threshold ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า  $> T_1$ ) มีค่ามากกว่า  $T_2$  แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีความเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

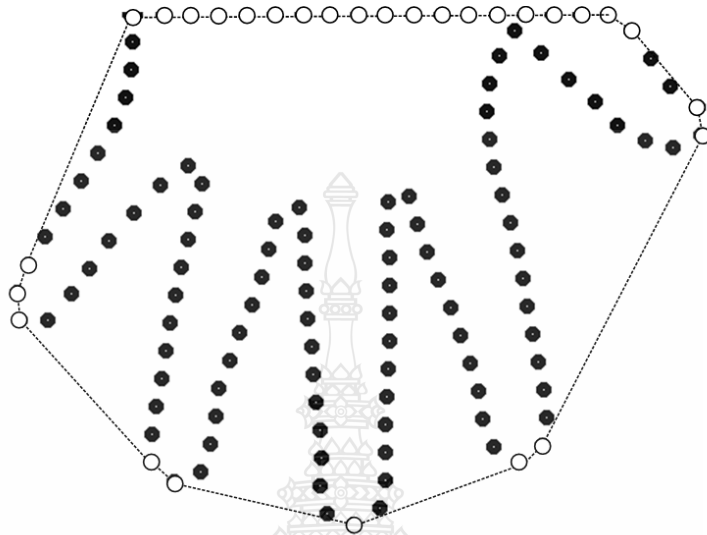
### 3.6 การหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือด้วยวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้า โดยอ้างอิงจากงานวิจัย [4] ซึ่งวิธีนี้มีจุดเด่นที่ความยืดหยุ่นในการรองรับภาพมือที่แตกต่างกันและในหลากหลายท่าทางการวางฝ่ามือ ซึ่งแบ่งการทำงานเป็นสามขั้นตอนดังนี้คือ การหากรอบด้านนอก การหาร่องนิ้วจากพิกัดความเว้าที่ลึกที่สุด และ การหาปลายนิ้วจากพิกัดกรอบด้านนอก

#### 3.6.1 การหากรอบด้านนอก

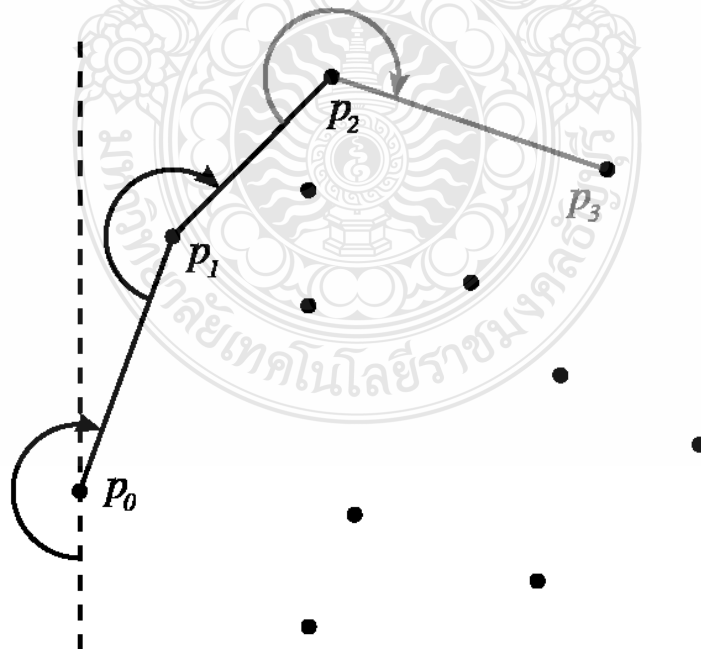
ขั้นตอนแรกให้หากรอบด้านนอก หรือ คอนเวกซ์ฮัลล์ (Convex Hull) ซึ่งกรอบด้านนอกของเส้นรอบรูปมือ คือ เซตย่อยที่เล็กที่สุดที่สามารถครอบคลุมทุกๆจุดของเส้นรอบรูปมือ โดยให้เซต

ของเส้นรอบรูปมือคือทุกๆจุดบนรูปและคอนเวกซ์ฮัลล์ของเส้นรอบรูปมือคือเซตของจุดวงกลมสีขาว โดยมีเส้นประแสดงให้เห็นว่าเซตของจุดสีขาวสามารถครอบคลุมทุกจุดบนเส้นรอบรูปมือ ดังรูปที่ 3.7



- สมาชิกของกรอบด้านนอก
- สมาชิกของเส้นรอบรูปมือ

รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือและกรอบด้านนอก



รูปที่ 3.8 แนวคิดการคำนวณหาคอนเวกซ์ฮัลล์ด้วยขั้นตอนวิธีแบบห่อของขัวญ

ในการคำนวณหาคอนเวกซ์ฮัลล์ในกรณีนี้ใช้ขั้นตอนวิธีแบบห่อของขวัญ (Gift Wrapping Algorithm) ขั้นตอนวิธีแบบห่อของขวัญมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเดินแถวของจาร์วิส (Jarvis' March) เพื่อเป็นเกียรติแก่ อาร์ เอ จาร์วิส ผู้นำขั้นตอนวิธีนี้ออกเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2516 ขั้นตอนวิธีจะเริ่มจากให้  $i = 0$  และให้  $p_0$  คือจุดสุดขีดจุดหนึ่ง ซึ่งทราบแน่นอนว่าอยู่บนคอนเวกซ์ฮัลล์ เช่น จุดบนสุด จากนั้น เลือกจุด  $p_{i+1}$  โดย  $p_{i+1}$  คือจุดที่ให้มุมกว้างที่สุดเทียบกับ  $p_i$  (อาจเป็นทิศทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาก็ได้) ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้  $p_i = p_0$  ก็วนกลับมาจนครบจุดเริ่มต้นนั่นเอง ดังรูปที่ 3.8 หรือสามารถแสดงเป็นรหัสเทียม (Pseudo code) ได้ดังรูปที่ 3.9

```

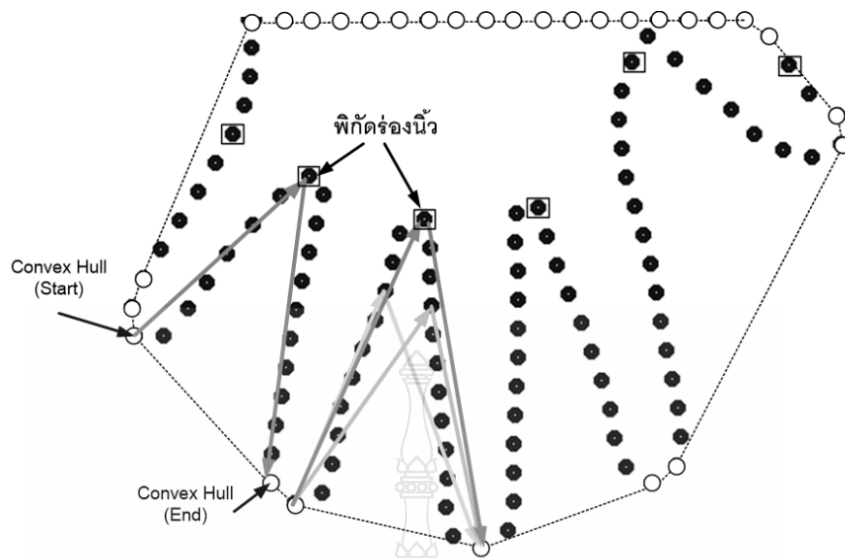
Pseudocode
jarvis(S)                                // รับ S ที่เป็นเซตของจุด
pointOnHull = leftmost point in S        // ตั้งค่า p0 ด้วยจุดสุดขีดจุดหนึ่ง
i = 0                                    // เริ่ม i = 0
repeat
  P[i] = pointOnHull                     // เพิ่มค่า pi ลงไปในอาร์เรย์ของคำตอบ P ช่องที่ i
  endpoint = S[0]                         // ตั้งค่าเริ่มต้นสำหรับการหาจุดต่อไปบนคอนเวกซ์ฮัลล์
  for j from 1 to |S|                     // ตรวจสอบทุกจุด
    if (endpoint == pointOnHull) or (S[j] is on left of line from P[i] to endpoint)
      endpoint = S[j]                    // ถ้าหากมุมของจุดใหม่กว้างกว่าเทียบกับจุดเดิมที่เลือกไปในรอบก่อน ให้เปลี่ยนจุดที่เลือกใหม่
  i = i+1
  pointOnHull = endpoint                  // ตั้งค่าจุด pi+1 ให้เป็นจุดหลักสำหรับรอบหน้า
until endpoint == P[0]                   // ทำซ้ำจนกว่าจะครบรอบ

```

รูปที่ 3.9 รหัสเทียมของวิธีการเดินแถวของจาร์วิส

### 3.6.2 การหาร่องนิ้วจากพิกัดความเว้าที่ลึกที่สุด

การหาร่องนิ้วจากพิกัดความเว้าที่ลึกที่สุดคือขั้นตอนต่อจากการหากรอบด้านนอก โดยให้นำเซตของคอนเวกซ์ฮัลล์มาหาจุดระบุตำแหน่งร่องนิ้ว โดยพิกัดร่องนิ้วนี้คือจุดของเส้นรอบรูปมือที่แทรกอยู่ระหว่างจุดคอนเวกซ์ฮัลล์ที่มีลำดับในเซตติดกันในเซตของคอนเวกซ์ฮัลล์ ซึ่งจุดนี้เมื่อคำนวณหาระยะทางจากจุดคอนเวกซ์ฮัลล์ตั้งต้นผ่านจุดเส้นรอบรูปมือที่ต้องการระบุค่าและสิ้นสุดที่จุดคอนเวกซ์ฮัลล์ปิดท้ายแล้ว ได้ความยาวมากที่สุด จากสมการที่ (3.5) (3.6) (3.7) ผลที่ได้แสดงดังรูป 3.10 โดยรูปสัญลักษณ์สีเหลี่ยมแสดงสมาชิกของพิกัดร่องนิ้วที่ได้จากขั้นตอนนี้



- สมาชิกของกรอบด้านนอก
- สมาชิกของเส้นรอบรูปมือ
- สมาชิกของพิกัดร่องนิ้ว

รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือ กรอบด้านนอก และพิกัดร่องนิ้ว

$$length_{st} = \sqrt{|CX_{st} - X_i|^2 + |CY_{st} - Y_i|^2} \quad (3.5)$$

$$length_{end} = \sqrt{|CX_{end} - X_i|^2 + |CY_{end} - Y_i|^2} \quad (3.6)$$

$$length = length_{st} + length_{end} \quad (3.7)$$

- เมื่อ  $C$  คือ เซตของคอนเวกซ์ฮัลล์  
 $i$  คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ  
 $st$  คือ จุดตั้งต้น  
 $end$  คือ จุดปิดท้าย

### 3.6.3 การหาปลายนิ้วจากพิกัดกรอบด้านนอก

จากกระบวนการข้างต้นสามารถระบุตำแหน่งปลายนิ้วก้อยและนิ้วนางได้คือจุดคอนเวกซ์ฮัลล์ตั้งต้น ส่วนตำแหน่งปลายนิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือคือจุด คอนเวกซ์ฮัลล์ปิดท้าย จากนั้นหาจุดระบุตำแหน่งปลายนิ้วกลางซึ่งต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างจุด คอนเวกซ์ฮัลล์ปิดท้ายนิ้วนาง และจุดคอนเวกซ์ฮัลล์ตั้งต้นนิ้วชี้ ดังแสดงด้วยรูปกากบาท ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.11



### 3.7 การตรวจสอบการวางมือ

การตรวจสอบการวางมือด้วยวิธีการหาอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้ว [6] จากชุดข้อมูลที่ระบุพิสัยของเส้นรอบรูปมือและชุดข้อมูลพิสัยปลายนิ้วและร่องนิ้วที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าจะถูกนำมาคำนวณหาข้อมูลของการวางมือ แนวคิดของวิธีการแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งพบว่าพื้นที่ร่องนิ้วมือจะเปลี่ยนแปลงตามท่าทางการวางมือ เมื่อขยายมือให้กว้างขึ้นพื้นที่ร่องนิ้วจะเพิ่มขึ้น แต่หากชิดมือให้แคบลงพื้นที่ร่องนิ้วจะลดลง จากแนวคิดนี้จึงนำมาสู่การคำนวณหาพื้นที่แต่ละร่องนิ้วเทียบกับพื้นที่นิ้วกลาง ซึ่งจะได้ค่าอัตราส่วน (หน่วยเป็นเท่า) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง การคำนวณด้วยวิธีนี้จะคำนวณหาพื้นที่ของทั้งสี่พื้นที่ โดยประมาณจากสามเหลี่ยมที่ทราบค่าความยาวทั้งสามด้าน ด้วยสูตรของเฮรอน (Heron's formula) ดังสมการที่ (3.8) และ (3.9) จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าอัตราส่วน ดังนี้ อัตราส่วนของร่องนิ้วก้อย (L Area ratio), อัตราส่วนของร่องนิ้วนาง (R Area ratio) และ อัตราส่วนของร่องนิ้วชี้ (I Area ratio) ดังสมการที่ (3.10) (3.11) และ (3.12)

$$S = (a + b + c)/2 \quad (3.8)$$

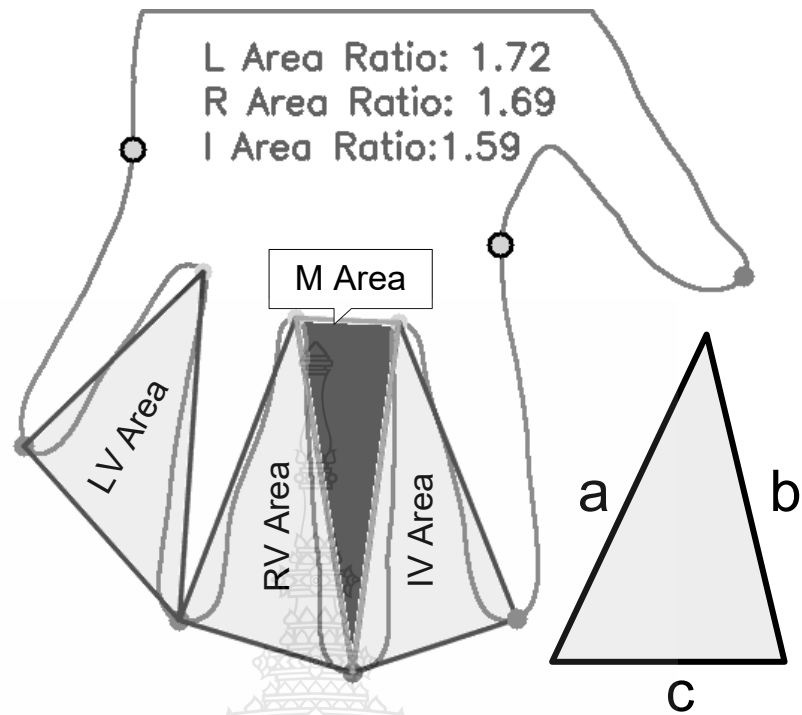
$$Area = \sqrt{s(s - a)(s - b)(s - c)} \quad (3.9)$$

$$L \text{ Area Ratio} = LV\text{Area}/M \text{ Area} \quad (3.10)$$

$$R \text{ Area Ratio} = RV\text{Area}/M \text{ Area} \quad (3.11)$$

$$I \text{ Area Ratio} = IV\text{Area}/M \text{ Area} \quad (3.12)$$

เมื่อ  $a, b, c$  คือ ความยาวในแต่ละด้านของรูปสามเหลี่ยม  
 $S$  คือ ความยาวครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูปสามเหลี่ยม  
 $Area$  คือ พื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม  
 $LV$  คือ ร่องนิ้วระหว่างนิ้วก้อย-นาง (little valley)  
 $RV$  คือ ร่องนิ้วระหว่างนิ้วนาง-กลาง (ring valley)  
 $IV$  คือ ร่องนิ้วระหว่างนิ้วชี้-กลาง (index valley)  
 $M$  คือ นิ้วกลาง (middle finger)



รูปที่ 3.13 แนวคิดการตรวจสอบการวางมือจากอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้ว

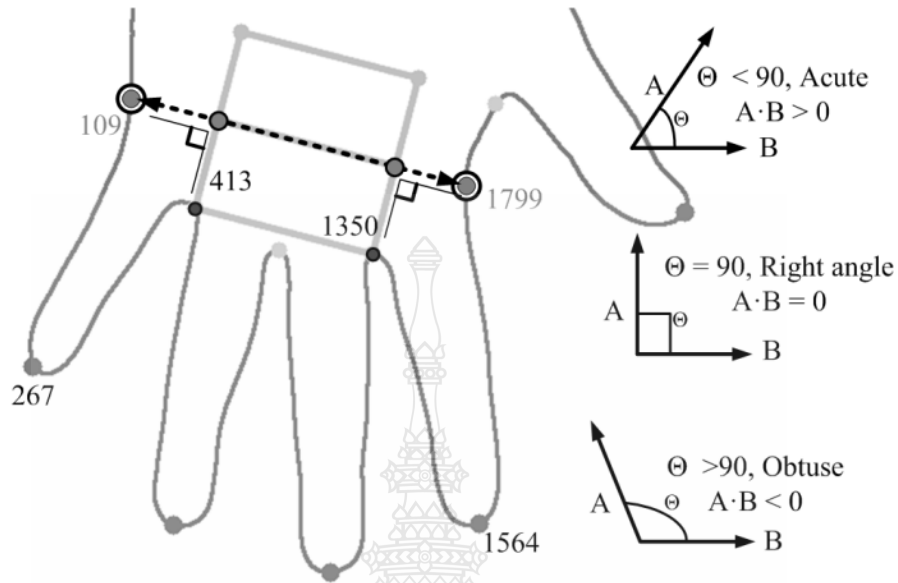
โดยใช้ค่าอ้างอิงอัตราส่วนของร่องนิ้วคือ ร่องนิ้วนาง และร่องนิ้วซี้ที่ 1.4 1.2 และ 1.2 เท่าตามลำดับมาจากงานวิจัย [6] ซึ่งนำเอาภาพมือของกลุ่มบุคคลที่ได้ผลลัพธ์ในการหาลักษณะเด่นที่ผิดพลาดจากการวางมือทั้งสามท่าทางมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนของร่องนิ้วทั้งสามซึ่งได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3.1 โดยเลือกค่าที่คาบเกี่ยวกันระหว่างท่าทางวางมือปกติและท่าทางซิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ย( $\mu$ )และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน( $\sigma$ ) ของอัตราส่วนของร่องนิ้วจากงานวิจัย [6]

ท่าทาง	อัตราส่วน	$\mu$	$\sigma$	$\mu-\sigma$	$\mu+\sigma$
วางมือ ปกติ	L Area Ratio	1.72	0.24	1.48	1.96
	R Area Ratio	1.45	0.23	1.22	1.68
	I Area Ratio	1.36	0.15	1.21	1.51
ซิดนิ้วมือ จากปกติ	L Area Ratio	1.32	0.18	1.14	1.50
	R Area Ratio	1.10	0.16	0.94	1.26
	I Area Ratio	0.98	0.10	0.88	1.08



### 3.8 การหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ



รูปที่ 3.14 แนวคิดของวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนาง

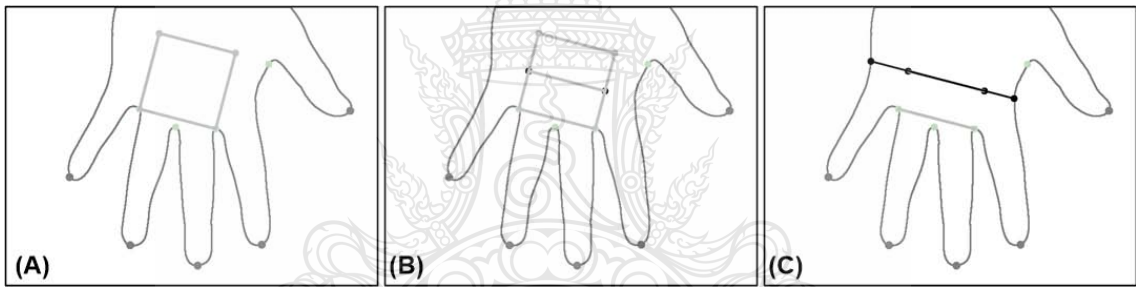
การหาตำแหน่งขอบฝ่ามือด้วยวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานของนิ้วกลางและนิ้วนางจากงานวิจัย [5] ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในกระบวนการถัดไปในการหาความยาวของนิ้วก้อยและนิ้วชี้ จากชุดข้อมูลที่ระบุพิกัดของเส้นรอบรูปมือและชุดข้อมูลพิกัดปลายนิ้วและร่องนิ้วที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า จะถูกนำมาคำนวณหาพิกัดขอบฝ่ามือด้านนอกและพิกัดขอบฝ่ามือด้านใน ซึ่งพิกัดที่ได้นี้จะนำมาใช้ในการหาเส้นฐานนิ้วก้อย และเส้นฐานนิ้วชี้ตามลำดับ โดยวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนาง วิธีการนี้ใช้เส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนางเป็นเส้นอ้างอิงหลัก แล้วนำมาสร้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อแสดงภาพพื้นที่ฝ่ามือด้านใน แล้วหาจุดแบ่งครึ่งจัตุรัส จะได้เส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนางที่มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิงหลักเท่ากับความกว้างของนิ้วอ้างอิง พิกัดขอบฝ่ามือจะได้จากผลการ dot product ระหว่างสองเวกเตอร์ คือ [พิกัดร่องนิ้ว, พิกัดปลายเส้นขนาน] และ [พิกัดบนเส้นรอบรูปมือ, พิกัดปลายเส้นขนาน] หรือเวกเตอร์ A และ B ตามลำดับดังสมการที่ (3.13) หากผลการคำนวณเท่ากับศูนย์แสดงว่าทั้งสองเวกเตอร์ตั้งฉากกันให้ถือว่าจุดนั้นคือพิกัดขอบฝ่ามือ ดังรูปที่ 3.14

$$A \cdot B = |A||B| \cos \theta \quad (3.13)$$

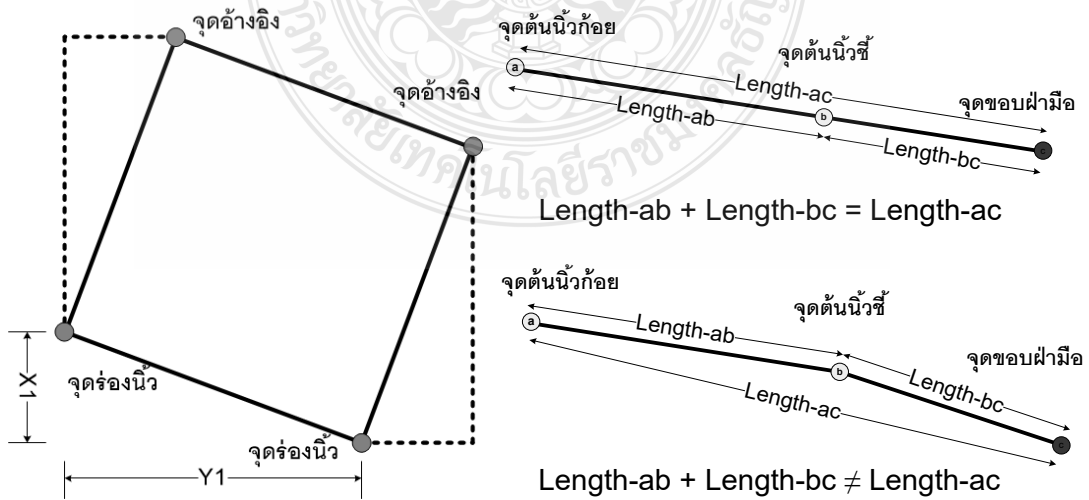
เมื่อ  $A$  คือ เวกเตอร์พิกัดร่องนิ้ว-พิกัดปลายเส้นขนาน

$B$  คือ เวกเตอร์พิกัดบนเส้นรอบรูปมือ-พิกัดปลายเส้นขนาน

รูปที่ 3.15 แสดงภาพรวมการทำงานของการทำงานพิกัดขอบฝ่ามือด้านนอกและพิกัดขอบฝ่ามือด้านใน โดยรูปที่ 3.15 (A) แสดงรูปผลการคำนวณหาจุดอ้างอิงเพื่อนำมาสร้างสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อแสดงภาพพื้นที่ฝ่ามือด้านใน ส่วนรูปที่ 3.16 (ซ้าย) คือรูปประกอบเพิ่มเติมแสดงจุดต่างๆที่นำมาคำนวณหาจุดอ้างอิง ขั้นตอนต่อมาคือรูปที่ 3.15 (B) แสดงรูปผลการคำนวณหาจุดแบ่งครึ่งจัตุรัส จุดที่จะนำมาสู่พิกัดขอบฝ่ามือทั้งสอง ดังรูปที่ 3.15 (C) ส่วนรูปที่ 3.16 (ขวา) คือรูปประกอบเพิ่มเติมอีกแนวทางหนึ่งที่นำมาคำนวณหาจุดขอบฝ่ามือจากข้อมูลพิกัดทั้งหมด โดยหากผลการคำนวณหาความยาวไม่เท่ากันแสดงว่าเส้นทางที่ได้ไม่เป็นเส้นตรงให้เลื่อนตำแหน่งไปจุดถัดไปและเริ่มการคำนวณใหม่ จนกว่าจะพบว่าเป็นเส้นตรงถือว่าจุดนั้นคือพิกัดขอบฝ่ามือ



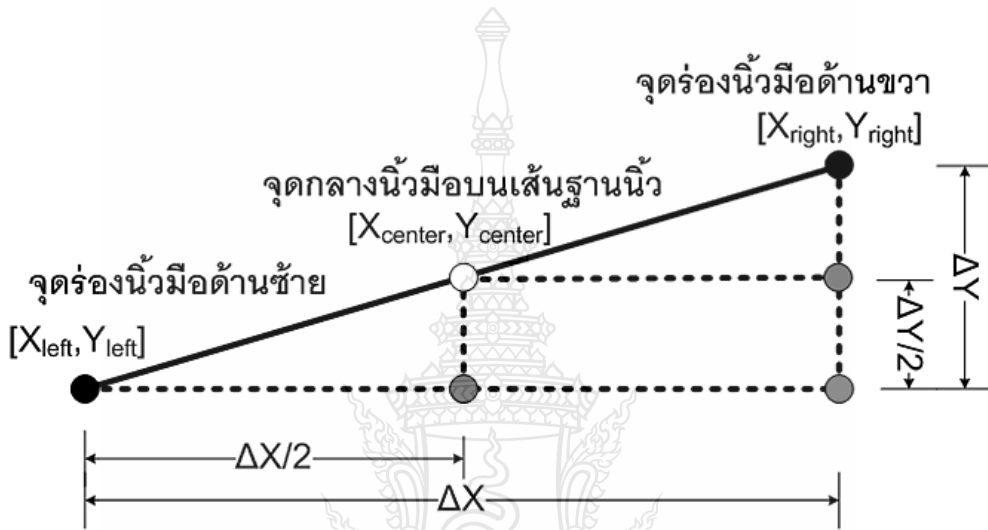
รูปที่ 3.15 ภาพรวมของการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือด้วยวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐาน



รูปที่ 3.16 แนวคิดประกอบการคำนวณหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ

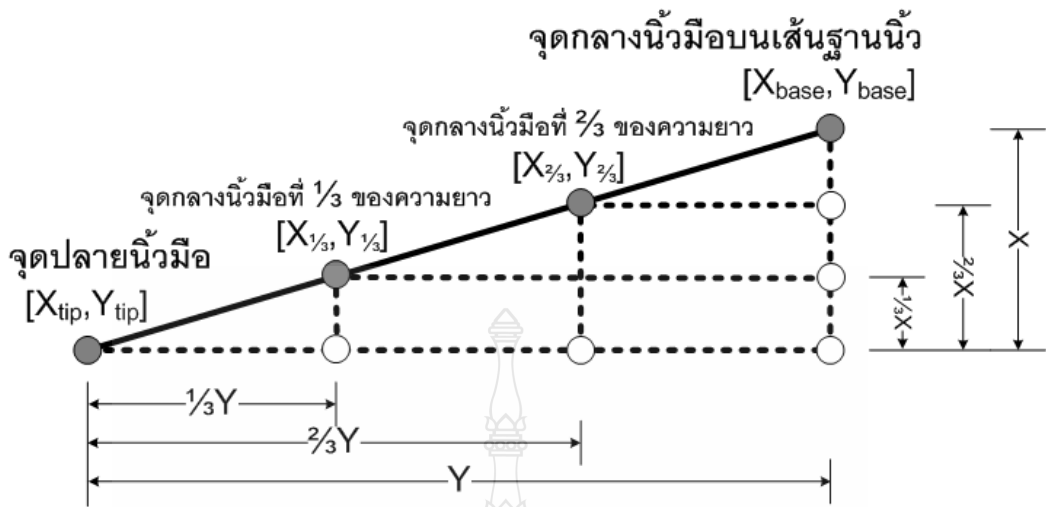
### 3.9 การคำนวณหาความยาวและความกว้างของนิ้วมือ

การคำนวณหาความยาวของนิ้วมือแต่ละนิ้วได้จากการหาจุดกลางนิ้วมือบนเส้นฐานนิ้วของแต่ละนิ้ว ดังรูปที่ 3.17 เมื่อแทนค่าพิกัดร่องนิ้วมือด้านซ้ายและพิกัดร่องนิ้วมือด้านขวาของนิ้วนั้นๆ ในสมการที่ (3.14) และ (3.15) จะได้พิกัดกลางนิ้ว จากนั้นแทนค่าพิกัดที่ได้และพิกัดปลายนิ้วในสมการที่ (3.20) จะได้ความยาวของนิ้วนั้น โดยหน่วยนับจะเป็นพิกเซล



รูปที่ 3.17 การหาจุดกลางนิ้วมือบนเส้นฐานนิ้วประกอบสมการที่ (3.14) และ (3.15)

การคำนวณหาความกว้างของนิ้วมือแต่ละนิ้วเริ่มจากการหาจุดกลางนิ้วมือที่  $\frac{1}{3}$  และ  $\frac{2}{3}$  ของความยาวนิ้วแต่ละนิ้ว ดังรูปที่ 3.18 โดยแทนค่าพิกัดกลางนิ้วมือบนเส้นฐานที่ได้จากสมการก่อนหน้านี้ และพิกัดปลายนิ้วลงในสมการที่ (3.16) ถึง (3.19) จากนั้นนำผลลัพธ์พิกัดที่ได้มาหาพิกัดขอบนิ้วมือที่  $\frac{1}{3}$  และ  $\frac{2}{3}$  ของความยาวนิ้วมือแต่ละนิ้ว พิกัดขอบนิ้วมือที่  $\frac{2}{3}$  ของความยาวนิ้วมือจะได้จากผลการ dot product ระหว่างสองเวกเตอร์ คือ [พิกัดกลางนิ้วมือที่  $\frac{2}{3}$ , พิกัดกลางนิ้วมือบนเส้นฐาน] และ [พิกัดกลางนิ้วมือที่  $\frac{2}{3}$ , พิกัดบนเส้นรอบรูปมือ (ที่คาดว่าเป็นผลลัพธ์)] หรือเวกเตอร์ A และ B ตามลำดับดังสมการที่ (3.22) หากผลการคำนวณเท่ากับศูนย์แสดงว่าทั้งสองเวกเตอร์ตั้งฉากกันให้ถือว่าจุดนั้นคือพิกัดขอบนิ้วมือ ดังรูปที่ 3.19 ซึ่งต้องทำการหาพิกัดขอบนิ้วมือทั้งสองด้าน เช่นเดียวกันกับพิกัดขอบนิ้วมือที่  $\frac{1}{3}$  ของความยาวนิ้วมือก็สามารถหาได้จากสมการเดียวกัน จากนั้นแทนค่าพิกัดขอบนิ้วมือทั้งสองฝั่งของแต่ละนิ้วแต่ละส่วนในสมการที่ (3.21) จะได้ความกว้างของนิ้วนั้นๆ โดยหน่วยนับจะเป็นพิกเซล



รูปที่ 3.18 การหาจุดกลางนิ้วมือที่  $1/3$  และ  $2/3$  ของความยาวนิ้ว

$$X_{base} = \left( \frac{X_{left} + X_{right}}{2} \right) \quad (3.14)$$

$$Y_{base} = \left( \frac{Y_{left} + Y_{right}}{2} \right) \quad (3.15)$$

$$X_{1/3} = (X_{tip}) + \left( \frac{X_{base} - X_{tip}}{3} \right) \quad (3.16)$$

$$Y_{1/3} = (Y_{tip}) + \left( \frac{Y_{base} - Y_{tip}}{3} \right) \quad (3.17)$$

$$X_{2/3} = (X_{tip}) + \left( \frac{X_{base} - X_{tip}}{3} \right) \times 2 \quad (3.18)$$

$$Y_{2/3} = (Y_{tip}) + \left( \frac{Y_{base} - Y_{tip}}{3} \right) \times 2 \quad (3.19)$$

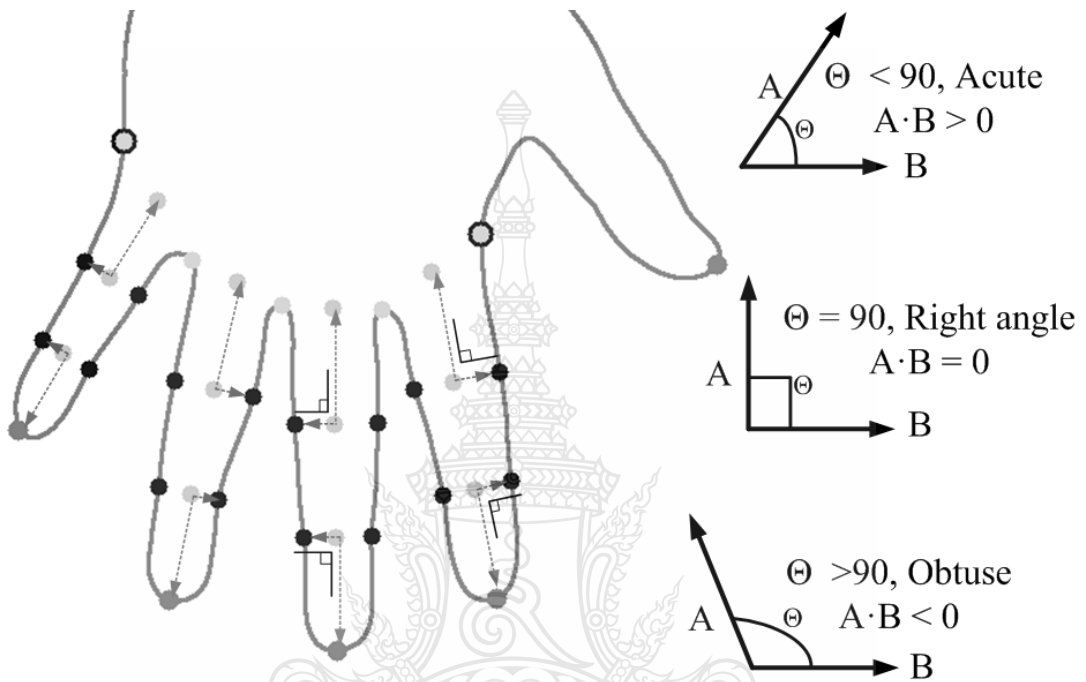
$$Lenght = \sqrt{|X_{tip} - X_{base}|^2 + |Y_{tip} - Y_{base}|^2} \quad (3.20)$$

$$Width = \sqrt{|X_{right} - X_{left}|^2 + |Y_{right} - Y_{left}|^2} \quad (3.21)$$

เมื่อ  $X$  คือ พิกัดในแนวแกนนอนในระบบพิกัดฉาก  
 $Y$  คือ พิกัดในแนวแกนตั้งในระบบพิกัดฉาก  
 $left, right$  คือ จุดซ้าย และจุดขวาที่จะหาค่า  
 $tip, base$  คือ จุดปลายนิ้ว และจุดฐานนิ้ว

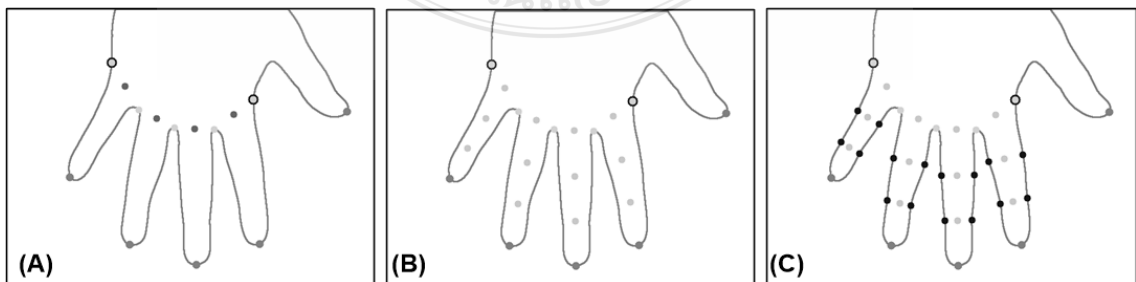
$$A \cdot B = |A||B| \cos \theta \quad (3.22)$$

เมื่อ  $A$  คือ เวกเตอร์พิกัดกลางนิ้วที่  $1/3$  หรือ  $2/3$  - พิกัดปลายนิ้วหรือพิกัดกลางฐานนิ้ว  
 $B$  คือ เวกเตอร์พิกัดกลางนิ้วที่  $1/3$  หรือ  $2/3$  - พิกัดบนเส้นรอบรูปมือ



รูปที่ 3.19 การหาจุดขอบนิ้วมือทั้งสองด้านประกอบสมการที่ (3.22)

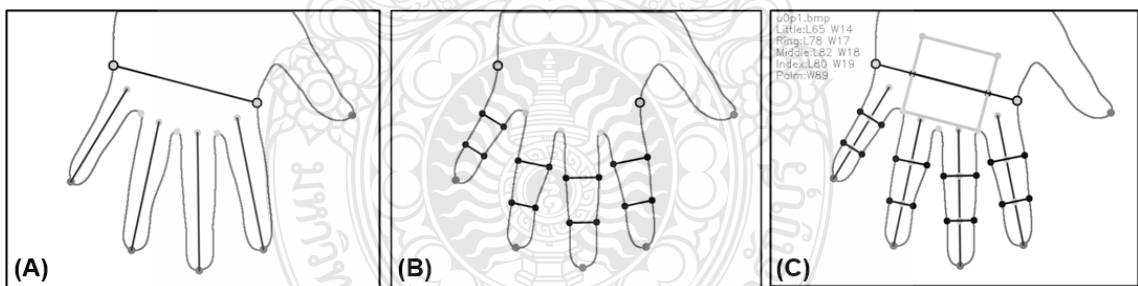
รูปที่ 3.20 แสดงภาพรวมของการหาพิกัดอ้างอิงเพื่อหาความยาวและความกว้างนิ้ว โดยรูปที่ 3.20 (A) แสดงรูปผลการคำนวณหาจุดกลางนิ้วบนฐานนิ้วทั้งสี่จุด ขั้นตอนต่อมาดังรูปที่ 3.20 (B) แสดงรูปผลการคำนวณหาจุดกลางนิ้วมือที่  $1/3$  และ  $2/3$  ของความยาวนิ้วแต่ละนิ้ว จุดที่ได้จะนำมาสู่การคำนวณหาจุดขอบนิ้วมือทั้งสองสลับหกดจุด ดังรูปที่ 3.20 (C)



รูปที่ 3.20 ภาพรวมของการหาพิกัดอ้างอิงเพื่อหาความยาวและความกว้างนิ้ว

### 3.10 การแปลงหน่วยการวัดขนาดมือ

จากความยาวของนิ้วมือ ความกว้างของนิ้วมือ และความยาวของฝ่ามือในขั้นตอนก่อนหน้า นี้ ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่มีหน่วยนับเป็นพิกเซล ในขั้นตอนสุดท้ายนี้คือการแปลงหน่วยการวัดขนาดมือให้เป็นมิลลิเมตร เนื่องจากเราทราบค่าความกว้างและความยาวของแผ่นรองฝ่ามือซึ่งเป็นพื้นที่รับภาพ ตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบตู้ควบคุมแสงสว่างซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และทราบขนาดของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากกล้องเว็บแคมที่มีหน่วยเป็นพิกเซลซึ่งคงที่ โดยนำค่าทั้งสองมาเทียบตามมาตราส่วน แต่ทั้งนี้ระยะห่างของกล้องเว็บแคมต่อแผ่นรองฝ่ามือนั้นมีผลโดยตรงกับค่าที่วัดได้ หากกล้องเว็บแคมสามารถจับภาพขนาด 640 x 480 มิลลิเมตรได้พอดี แสดงว่าหนึ่งพิกเซลที่เห็นในภาพแสดงว่ามีค่าเท่ากับหนึ่งมิลลิเมตร รูปที่ 3.21 แสดงภาพรวมของการหาความยาวและความกว้างนิ้ว โดยรูปที่ 3.21 (A) แสดงรูปผลการคำนวณหาความยาวของนิ้วทั้งสี่และความยาวฝ่ามือ ขั้นตอนต่อมาดังรูปที่ 3.21 (B) แสดงรูปผลการคำนวณหาความกว้างของนิ้วมือทั้งสี่ที่  $\frac{1}{3}$  และ  $\frac{2}{3}$  ของความยาวนิ้วแต่ละนิ้ว และนำมาสู่การแปลงหน่วยการวัดขนาดมือ ดังรูปที่ 3.21 (C) โดยผลลัพธ์ของโปรแกรมได้แสดงข้อมูลมือขวาที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จำนวน 9 ค่า คือความยาวและความกว้างของนิ้ว 4 นิ้ว คือ นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลาง, นิ้วชี้ และความยาวฝ่ามือที่มุมบนของภาพ พร้อมทั้งภาพเงามือพร้อมเส้นแสดงความยาวนิ้วมือและเส้นแสดงความกว้างฝ่ามือ



รูปที่ 3.21 ภาพรวมของการหาความยาว ความกว้างนิ้ว และความยาวฝ่ามือ

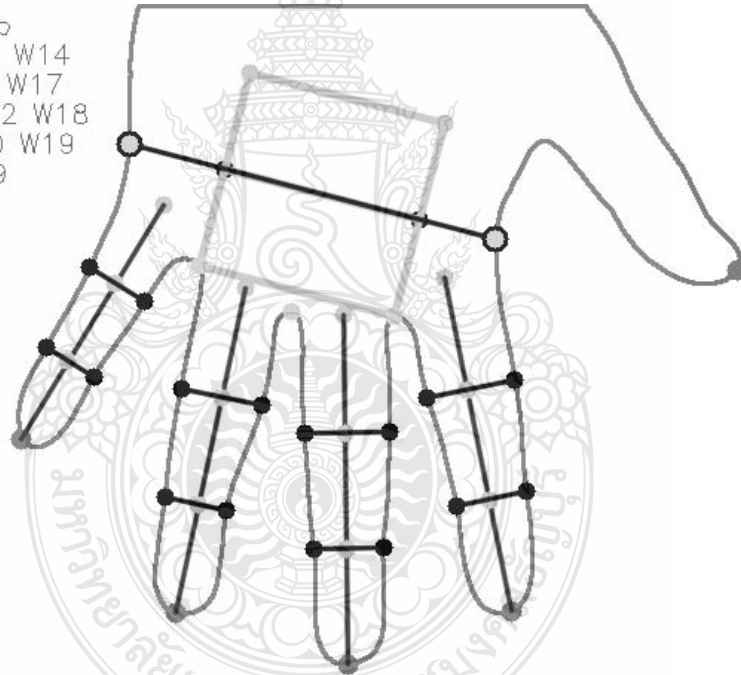
ในการวัดขนาดมือของบุคคลนั้นขนาด 640 x 480 มิลลิเมตรไม่เพียงพอการใช้งานเนื่องจากขนาดมือของบุคคลต้องการระยะที่มากกว่า จึงต้องปรับระยะห่างให้มากขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ใช้ระยะจากกล้องเว็บแคมถึงแผ่นรองมืออยู่ที่ 250 มิลลิเมตร โดยเมื่อเทียบสัดส่วนพิกเซลต่อมิลลิเมตรแล้วจะอยู่ที่อัตราส่วน 1 พิกเซลต่อ 0.35 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเพื่อใช้ในการแปลงหน่วยการวัดได้ดังสมการที่ (3.23)

$$\text{millimeters} = \text{pixels} \times 0.35 \quad (3.23)$$

เมื่อ *millimeters* คือ ระยะทางจริงที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร  
*pixels* คือ ระยะทางของภาพที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

จากรูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างของบุคคลทดสอบที่หนึ่ง (u0) ในท่าทางวางมือปกติ (p1) โดยแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลมือขวาที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรที่มุมขวากำกับไว้ในภาพเงามือพร้อมเส้นแสดงความยาวนิ้วมือและเส้นแสดงความกว้างฝ่ามือเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง จำนวน 9 ค่า คือความยาว (L) และความกว้างโดยเฉลี่ย (W) ของนิ้ว 4 นิ้ว คือ นิ้วก้อย (Little) นิ้วนาง (Ring) นิ้วกลาง (Middle) นิ้วชี้ (Index) และความยาวฝ่ามือ (Palm)

u0p1.bmp  
 Little:L65 W14  
 Ring:L78 W17  
 Middle:L82 W18  
 Index:L80 W19  
 Palm:W89



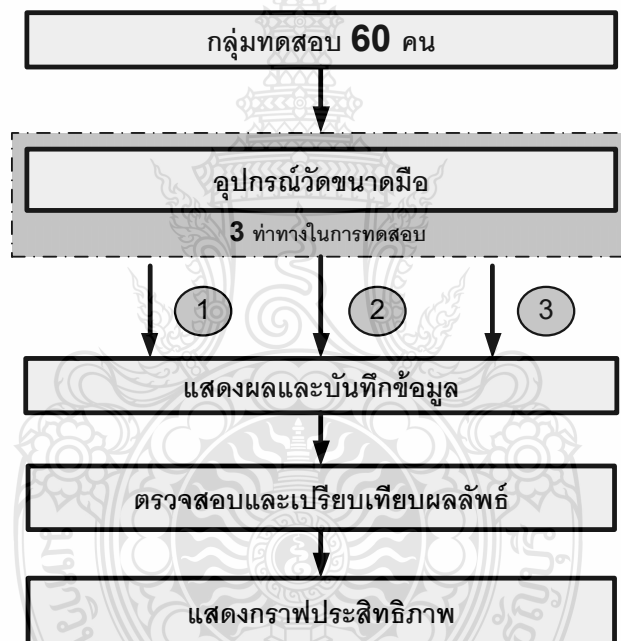
รูปที่ 3.22 ผลจากโปรแกรมโดยแสดงข้อมูลที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

จากกระบวนการในการออกแบบอุปกรณ์วัดขนาดมือในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากอุปกรณ์และการหาประสิทธิภาพ เพื่อแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ออกแบบมานี้มีประสิทธิภาพที่ดีพร้อมที่จะนำไปพัฒนาเป็นระบบวัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับต่อไป

#### 4.1 กระบวนการหาผลการวิจัย

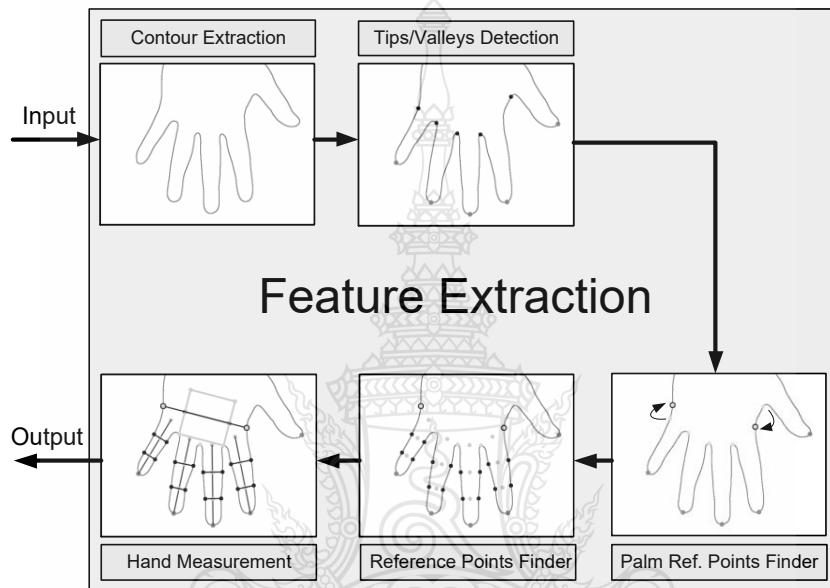


รูปที่ 4.1 กระบวนการหาผลการวิจัย

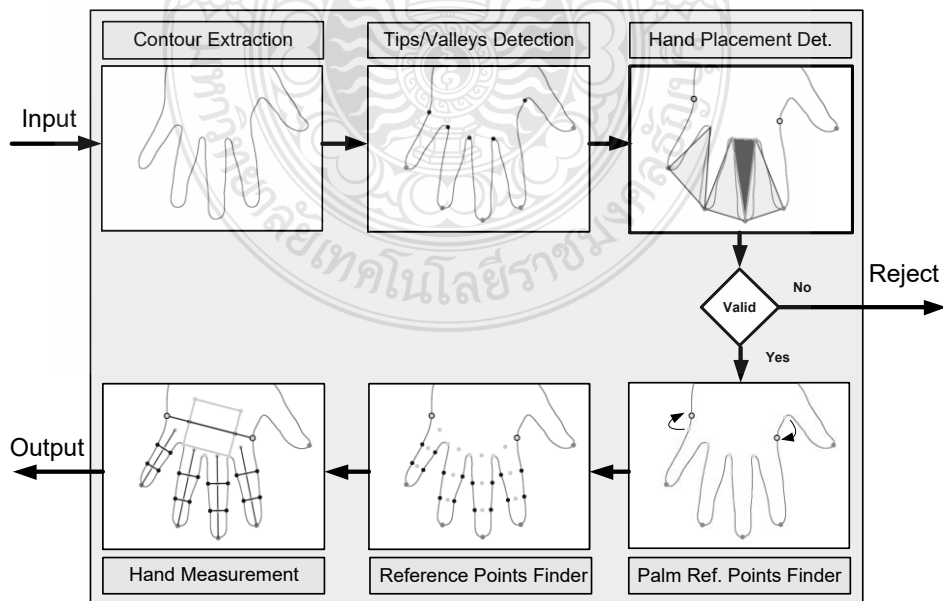
ในการทดสอบจะใช้กระบวนการดังรูปที่ 4.1 โดยได้นำบุคคลจำนวน 60 คนมาทดสอบ บุคคลละ 3 ท่าทางในท่าทางวางนิ้วมือปกติ, ท่าทางขายนิ้วมือกว้าง และท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติ เล็กน้อย ผลลัพธ์ของโปรแกรมจะแสดงข้อมูลมือขวามือหน่วยขนาดนิ้วมือเป็นมิลลิเมตร และภาพงา มือพร้อมเส้นแสดงความยาวนิ้วมือ, เส้นแสดงความกว้างฝ่ามือและเส้นแสดงความกว้างของนิ้วมือ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้แต่ละชุดมาตรวจสอบและหาผลความแตกต่างระหว่างตัวอย่างและนำมาสร้างกราฟเพื่อ



หาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ตารางที่ 4.1 จะแสดงตัวอย่างภาพมือในท่าทางทั้ง 3 ท่าทางที่ใช้ในการทดสอบของบุคคลที่ 1 ถึง 6 ตามลำดับ (ภาพทดสอบทั้ง 60 บุคคลแสดงใน ภาคผนวก ก.) โดยจะทำการทดสอบในสองระบบคือ ระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป ดังรูปที่ 4.2 และระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ ดังรูปที่ 4.3







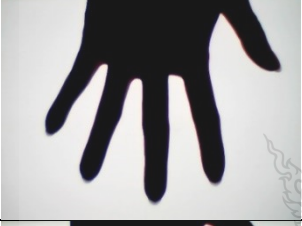
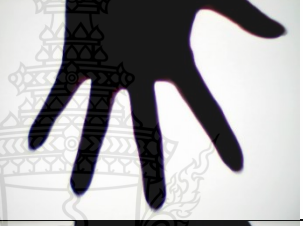
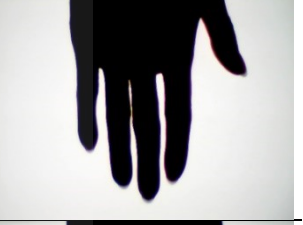
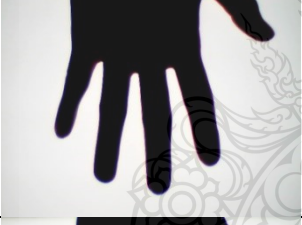
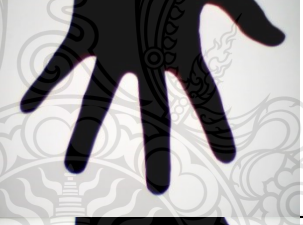
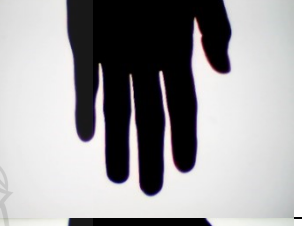
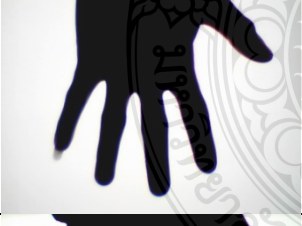
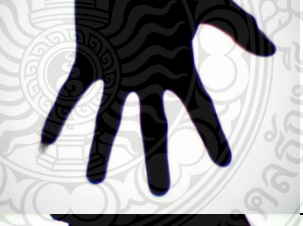
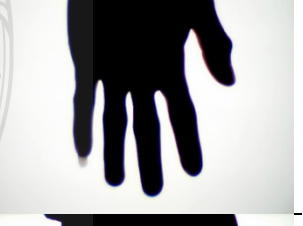
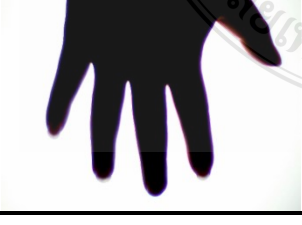




รูปที่ 4.2 ระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป



รูปที่ 4.3 ระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ

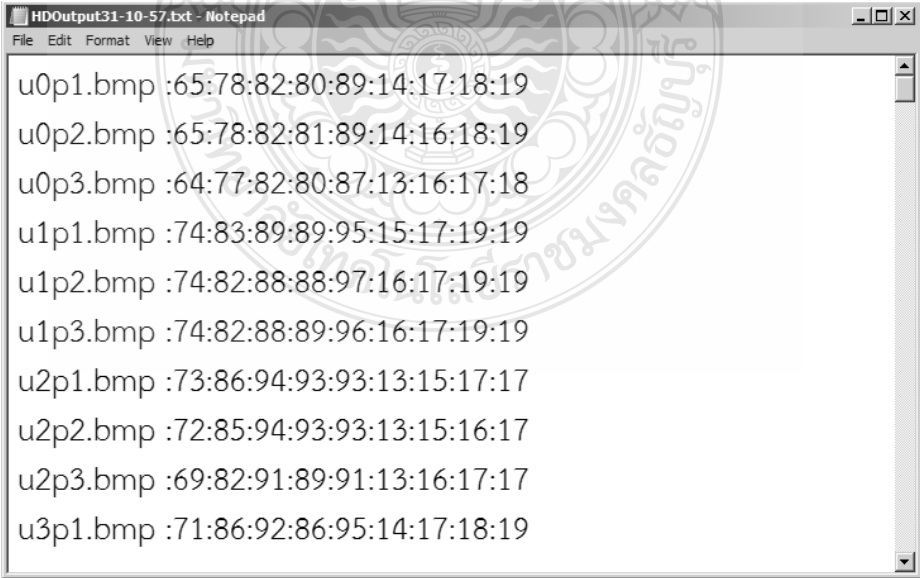
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างภาพมือที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองระบบ

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
01			
02			
03			
04			
05			
06			

## 4.2 ผลจากอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป

4.2.1 ผลการบันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อความและภาพมือที่ได้จากการทดสอบ ในรูปที่ 4.4 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความ (Text file) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ไฟล์แรกแสดงรหัสบุคคลที่ทดสอบและท่าทางในการทดสอบ ดังเช่น u0p1.bmp หมายถึงบุคคลที่ทดสอบเป็นคนแรกในท่าทางที่หนึ่ง (p1) หรือ ท่าทางวางมือปกติ ถ้าเป็นท่าทางที่สอง (p2) หรือ ท่าทางขยำนิ้วมือกว้าง และสุดท้ายถ้าเป็นท่าทางที่สาม (p3) หรือ ท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย
- ไฟล์ที่สองคือความยาวนิ้วก้อย
- ไฟล์ที่สามคือความยาวนิ้วนาง
- ไฟล์ที่สี่คือความยาวนิ้วกลาง
- ไฟล์ที่ห้าคือความยาวนิ้วชี้
- ไฟล์ที่หกคือความกว้างฝ่ามือ
- ไฟล์ที่เจ็ดคือความกว้างโดยเฉลี่ยของนิ้วก้อย
- ไฟล์ที่แปดคือความกว้างโดยเฉลี่ยของนิ้วนาง
- ไฟล์ที่เก้าคือความกว้างโดยเฉลี่ยของนิ้วกลาง
- ไฟล์ที่สิบคือความกว้างโดยเฉลี่ยของนิ้วชี้

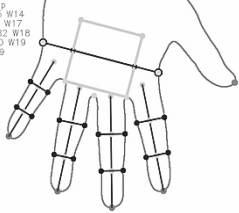
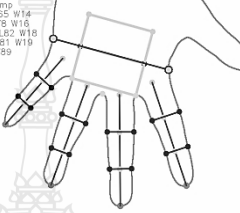
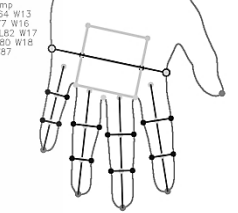
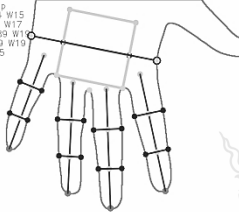
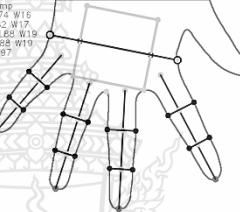
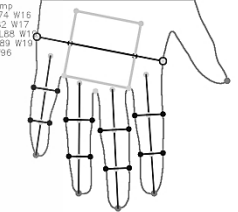
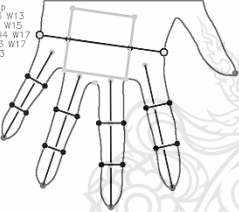
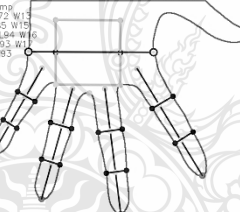
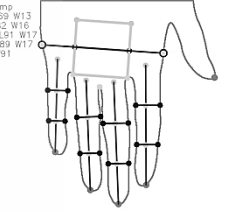
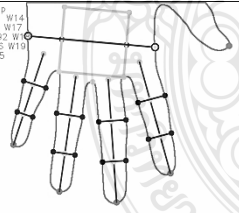
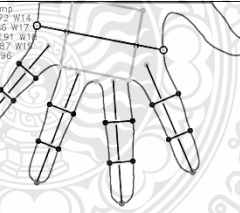
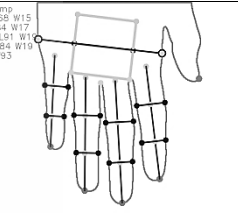
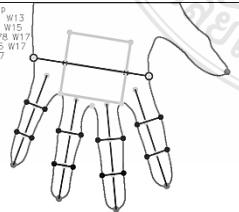
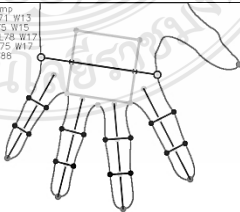
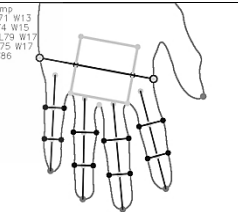
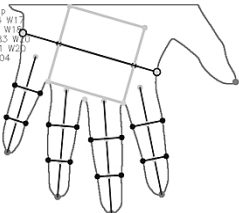
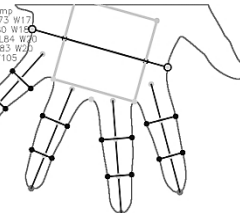
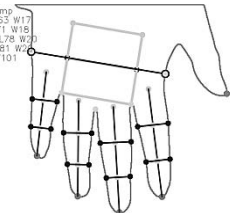


```
HDOutput31-10-57.txt - Notepad
File Edit Format View Help
u0p1.bmp :65:78:82:80:89:14:17:18:19
u0p2.bmp :65:78:82:81:89:14:16:18:19
u0p3.bmp :64:77:82:80:87:13:16:17:18
u1p1.bmp :74:83:89:89:95:15:17:19:19
u1p2.bmp :74:82:88:88:97:16:17:19:19
u1p3.bmp :74:82:88:89:96:16:17:19:19
u2p1.bmp :73:86:94:93:93:13:15:17:17
u2p2.bmp :72:85:94:93:93:13:15:16:17
u2p3.bmp :69:82:91:89:91:13:16:17:17
u3p1.bmp :71:86:92:86:95:14:17:18:19
```

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อความของระบบการหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป

ตารางที่ 4.2 จะแสดงตัวอย่างภาพมือที่ได้จากการทดสอบพร้อมเส้นแสดงความยาวนิ้วมือ, เส้นแสดงความกว้างฝ่ามือและเส้นแสดงความกว้างของนิ้วมือในท่าทางทั้ง 3 ท่าทางที่ใช้ในการทดสอบของบุคคลที่ 1 ถึง 6 ตามลำดับ (ภาพผลลัพธ์ทั้ง 60 บุคคลแสดงใน ภาคผนวก ข.)

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างภาพที่ได้จากระบบการหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
01	 <p>v0p1.bmp Little:L5 W14 Ring:L78 W17 Middle:L82 W18 Index:L80 W19 Palm:W89</p>	 <p>v0p2.bmp Little:L5 W14 Ring:L78 W16 Middle:L82 W18 Index:L81 W19 Palm:W89</p>	 <p>v0p3.bmp Little:L5 W13 Ring:L77 W16 Middle:L82 W17 Index:L80 W18 Palm:W87</p>
02	 <p>v1p1.bmp Little:L74 W15 Ring:L53 W17 Middle:L89 W19 Index:L89 W19 Palm:W95</p>	 <p>v1p2.bmp Little:L74 W16 Ring:L52 W17 Middle:L88 W18 Index:L88 W19 Palm:W87</p>	 <p>v1p3.bmp Little:L74 W16 Ring:L52 W17 Middle:L88 W18 Index:L89 W19 Palm:W86</p>
03	 <p>v2p1.bmp Little:L73 W13 Ring:L86 W15 Middle:L84 W17 Index:L93 W17 Palm:W93</p>	 <p>v2p2.bmp Little:L72 W14 Ring:L55 W19 Middle:L88 W18 Index:L93 W18 Palm:W93</p>	 <p>v2p3.bmp Little:L69 W13 Ring:L52 W16 Middle:L86 W17 Index:L89 W17 Palm:W91</p>
04	 <p>v3p1.bmp Little:L71 W14 Ring:L86 W17 Middle:L82 W19 Index:L86 W19 Palm:W95</p>	 <p>v3p2.bmp Little:L72 W14 Ring:L86 W17 Middle:L81 W17 Index:L87 W17 Palm:W96</p>	 <p>v3p3.bmp Little:L69 W15 Ring:L84 W17 Middle:L81 W17 Index:L84 W19 Palm:W93</p>
05	 <p>v4p1.bmp Little:L71 W13 Ring:L74 W15 Middle:L78 W17 Index:L75 W17 Palm:W87</p>	 <p>v4p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L76 W15 Middle:L78 W17 Index:L75 W17 Palm:W88</p>	 <p>v4p3.bmp Little:L71 W13 Ring:L74 W15 Middle:L79 W17 Index:L75 W17 Palm:W86</p>
06	 <p>v5p1.bmp Little:L74 W11 Ring:L79 W19 Middle:L83 W19 Index:L81 W21 Palm:W104</p>	 <p>v5p2.bmp Little:L73 W11 Ring:L80 W19 Middle:L84 W20 Index:L83 W21 Palm:W105</p>	 <p>v5p3.bmp Little:L83 W11 Ring:L71 W18 Middle:L78 W20 Index:L81 W21 Palm:W101</p>

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลผลลัพธ์โดยสรุปของกลุ่มบุคคลที่เข้าทดสอบ

	หน่วย: มิลลิเมตร								
	ความยาว					ความกว้าง			
	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้
ค่าที่น้อยสุด	53	60	66	67	76	11	13	15	15
ค่าที่มากที่สุด	79	93	99	96	106	18	19	21	22
ค่าเฉลี่ย	69	80	86	83	92	14	16	18	18
ความแตกต่างระหว่าง มากที่สุดและน้อยสุด	26	33	33	29	30	7	6	6	7

จากข้อมูลผลลัพธ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความจะนำมาหาผลทางสถิติเพื่อให้เห็นภาพรวมของกลุ่มบุคคลที่เป็นกลุ่มทดสอบ ดังตารางที่ 4.3 โดยหาค่าความยาวและความกว้างน้อยที่สุดของนิ้วมือแต่ละนิ้ว, ค่าความยาวและความกว้างมากที่สุดของนิ้วมือแต่ละนิ้ว, ค่าความกว้างน้อยที่สุดและมากที่สุดของฝ่ามือ, ค่าเฉลี่ยความยาวของนิ้วมือแต่ละนิ้ว, ค่าเฉลี่ยความกว้างของฝ่ามือและของนิ้วมือแต่ละนิ้ว และสุดท้ายคือค่าความแตกต่างระหว่างค่ามากที่สุดกับน้อยที่สุดของแต่ละฟิลด์เพื่อนำค่าที่ได้ไปประกอบการสร้างกราฟแสดงประสิทธิภาพ

4.2.2 กราฟประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป จากข้อมูลผลลัพธ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความจะถูกนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าโปรแกรมหา FAR และ FRR ใช้กระบวนการจับคู่ลักษณะเด่น (Feature Matching Algorithm) แบบระยะทางแฮมมิง (Hamming Distance) [12] ดังสมการที่ (4.1) ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจะนำมาสร้างกราฟเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ ค่าขีดแบ่งเริ่มต้นจาก 0 มิลลิเมตร ถึง 35 มิลลิเมตรซึ่งได้จากตารางที่ 4.4

$$d(y_i, f_i) = \#\{i \in \frac{\{1, \dots, N\}}{|y_i - f_i|} > threshold_i\} \quad (4.1)$$

โดย  $N$  คือ จำนวนของคุณลักษณะที่ใช้ทดสอบ

$y$  คือ ขนาดมือของบุคคลทดสอบ

$f$  คือ ขนาดมือของต้นแบบ

$threshold$  คือ ค่าขีดแบ่ง

$i$  คือ ดัชนี เพื่อแบ่งช่วงในการทดสอบ

กราฟประสิทธิภาพที่ได้ของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไปแสดงดัง รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า EER มีค่าประมาณร้อยละ 17 จากข้อมูลทดลองทั้งหมด 60 คนในทั้งสามท่าทางทดสอบโดยในกระบวนการจับคู่ลักษณะเด่นเปรียบเทียบเฉพาะค่าความยาวนิ้วมือแต่ละนิ้วและความกว้างฝ่ามือ เมื่อวิเคราะห์ในส่วนของเส้นกราฟ FAR คือผู้ปลอมแปลงสามารถผ่านการยินยอมจากระบบได้น้อยเมื่อเทียบกับค่าขีดแบ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ในระบบวัดขนาดมือ แต่เส้นกราฟ FRR คือผู้ใช้ตัวจริงไม่สามารถผ่านการยินยอมจากระบบ ได้ยังมีอัตราสูงเมื่อเทียบกับค่าขีดแบ่ง แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ตัวจริงต้องฝึกฝนการใช้งานระบบเพิ่มขึ้นเพื่อลดค่า FRR นี้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพจากข้อมูลทดสอบทั้ง 60 คนในทุกท่าทาง

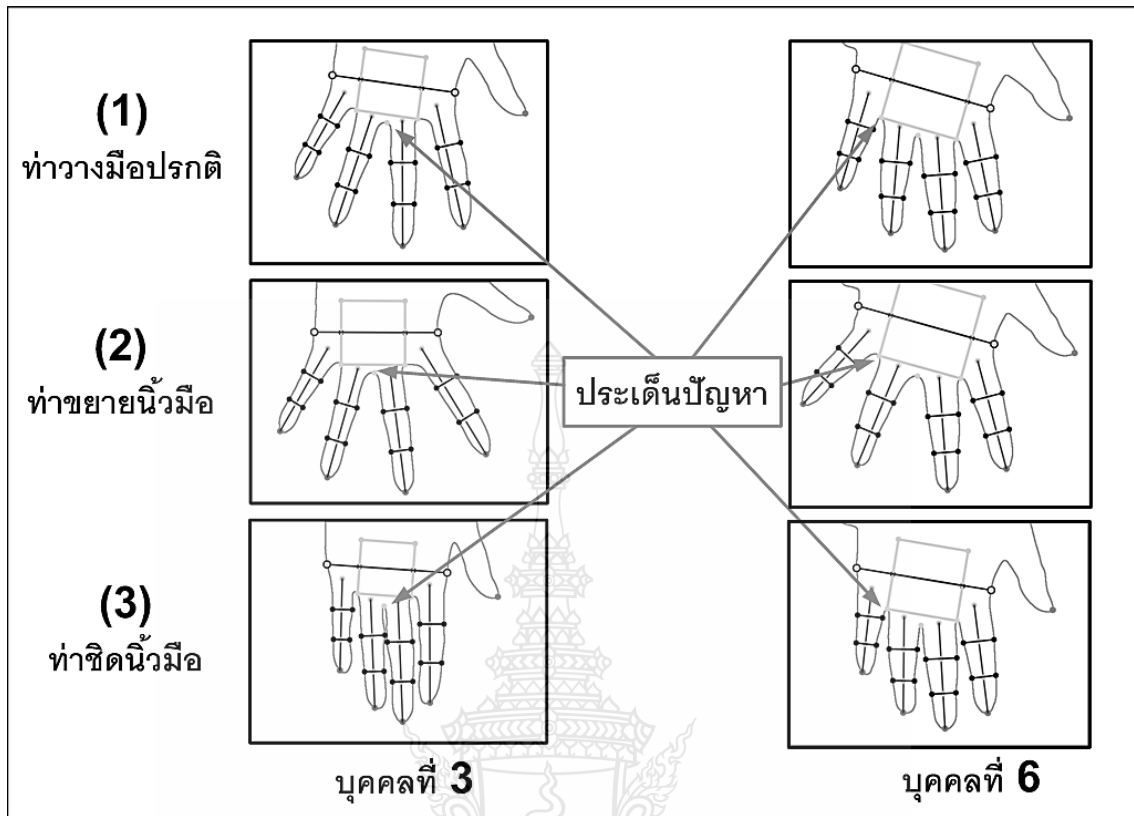
4.2.3 การตรวจสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป จากข้อมูลผลลัพธ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความจะถูกนำตรวจสอบความถูกต้องและหาค่าความแตกต่างระหว่างท่าทางของบุคคลดังตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์เมื่อนำมาหาความแตกต่างระหว่างท่าทางของบุคคลที่ 1 ถึง 6 โดยในแต่ละบุคคลจะเปรียบเทียบผลความแตกต่างระหว่างท่าทางวางนิ้วมือปกติกับท่าทางขยายนิ้วมือกว้าง, ท่าทางวางนิ้วมือปกติกับท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย และท่าทางขยายนิ้วมือกว้างกับท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย ของทุกผลลัพธ์พร้อมทั้งหาผลรวมของความแตกต่างระหว่างท่าทางนั้น โดยใช้ภาพมือพร้อมเส้นแสดงความยาวนิ้วมือ, เส้นแสดงความกว้างฝ่ามือและเส้นแสดงความกว้างของนิ้วมือจะถูกนำมา

ประกอบการพิจารณาหาข้อผิดพลาดของผลลัพธ์ (ตารางหาความแตกต่างทั้ง 6 บุคคลแสดงในภาคผนวก ค.)

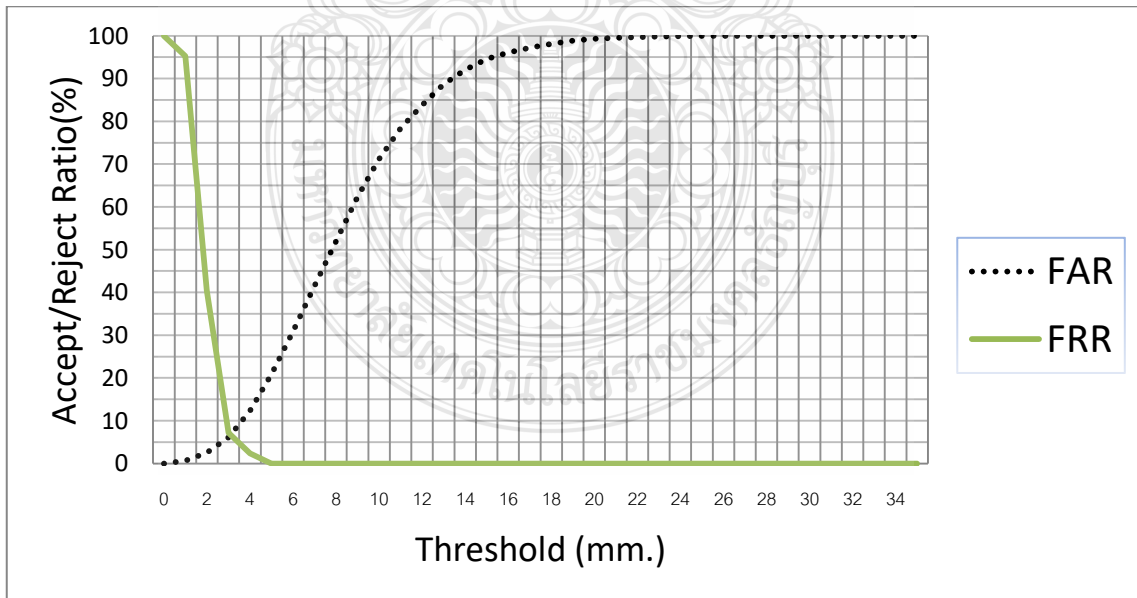
ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์เมื่อนำมาหาความแตกต่างระหว่างท่าทางของบุคคลที่ 1 ถึง 6

		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง
		ความยาว			ความกว้าง						
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	
บุคคลที่ 1	(1) ท่าปรกติ	65	78	82	80	89	14	17	18	19	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	65	78	82	81	89	14	16	18	19	
	(3) ท่าชิดนิ้ว	64	77	82	80	87	13	16	17	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
	ความต่าง(1)-(3)	1	1	0	0	2	1	1	1	1	8
บุคคลที่ 2	(1) ท่าปรกติ	74	83	89	89	95	15	17	19	19	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	74	82	88	88	97	16	17	19	19	
	(3) ท่าชิดนิ้ว	74	82	88	89	96	16	17	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	1	2	1	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	0	1	1	0	1	1	0	0	0	4
บุคคลที่ 3	(1) ท่าปรกติ	73	86	94	93	93	13	15	17	17	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	72	85	94	93	93	13	15	16	17	
	(3) ท่าชิดนิ้ว	69	82	91	89	91	13	16	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3
	ความต่าง(1)-(3)	4	4	3	4	2	0	1	0	0	18
บุคคลที่ 4	(1) ท่าปรกติ	71	86	92	86	95	14	17	18	19	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	72	86	91	87	96	14	17	18	19	
	(3) ท่าชิดนิ้ว	68	84	91	84	93	15	17	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	3	2	1	2	2	1	0	1	0	12
บุคคลที่ 5	(1) ท่าปรกติ	71	74	78	75	87	13	15	17	17	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	71	75	78	75	88	13	15	17	17	
	(3) ท่าชิดนิ้ว	71	74	79	75	86	13	15	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	ความต่าง(1)-(3)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
บุคคลที่ 6	(1) ท่าปรกติ	74	79	83	81	104	17	18	20	20	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	73	80	84	83	105	17	18	20	20	
	(3) ท่าชิดนิ้ว	63	71	78	81	101	17	18	20	20	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	2	1	0	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	11	8	5	0	3	0	0	0	0	27
	ความต่าง(2)-(3)	10	9	6	2	4	0	0	0	0	31

จากข้อมูลผลลัพธ์ทั้ง 60 บุคคลเมื่อนำมาหาความแตกต่างระหว่างท่าทางปรากฏว่ามีตัวอย่างทดสอบกว่าหนึ่งในสามในท่าทางชิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อยมีความขานิ้วกลางและนิ้วนาง (ซึ่งเป็นนิ้วหลักที่ใช้อ้างอิงความถูกต้องของระบบ) ลดลงเกินกว่า 3 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับท่าทางวางนิ้วมือปรกติ ซึ่งเป็นผลมาจากกล้ามเนื้อและผิวหนังของมือมาบดบังร่องนิ้ว ทำให้ผลความแตกต่างระหว่าง ท่าทางวางนิ้วมือปรกติกับท่าทางชิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อย และท่าทางขยายนิ้วมือกว้างกับท่าทางชิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อย ของบางนิ้วหรือทุกนิ้วผลลัพธ์มีความแตกต่าง 4 มิลลิเมตรขึ้นไป ดังรูปที่ 4.6 แสดงภาพของบุคคลที่ 3 และ 6 ที่กล้ามเนื้อและผิวหนังของมือมาบดบังร่องนิ้ว



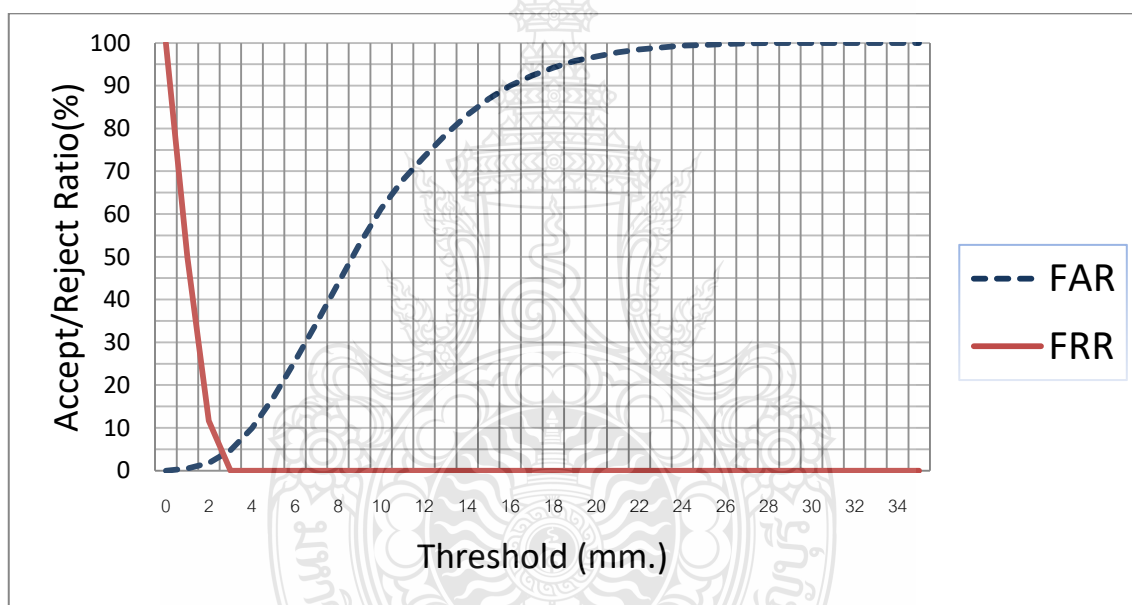
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่กล้ำเนื้อและผิวหนังของมือมาบดบังร่องนิ้ว



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพจากข้อมูลทดสอบ 42 คนในทั้งสามท่าทาง



จากการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดข้างต้น นำมาซึ่งการสร้างกราฟประสิทธิภาพที่ได้จากข้อมูลทดลองทั้งหมด 42 คนในทั้งสามท่าทางทดสอบโดยในกระบวนการจับคู่ลักษณะเด่นเปรียบเทียบเฉพาะค่าความยาวนิ้วมือแต่ละนิ้วและความกว้างฝ่ามือ โดยยกเว้นข้อมูลมือของบุคคลทดสอบที่ 3, 6, 7, 10, 12, 19, 22, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 36, 39, 44, 49 และ 56 ออกจากกลุ่มข้อมูลทดสอบ ซึ่งค่าดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างท่าทางวางนิ้วมือปกติและท่าทางซิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อยมีความยาวนิ้วกลางและนิ้วนาง ซึ่งเป็นนิ้วหลักที่ใช้อ้างอิงความถูกต้องของระบบลดลงเกินกว่า 3 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4.7 แสดงว่า EER มีค่าประมาณร้อยละ 5 เมื่อวิเคราะห์ในส่วนของเส้นกราฟ FRR คือผู้ใช้ตัวจริงไม่สามารถผ่านการยินยอมจากระบบได้มีอัตราต่ำลงเมื่อเทียบกับค่าขีดแบ่ง แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ที่ถูกคัดเลือกรอกจากการทดสอบต้องฝึกฝนการใช้งานระบบเพิ่มขึ้น



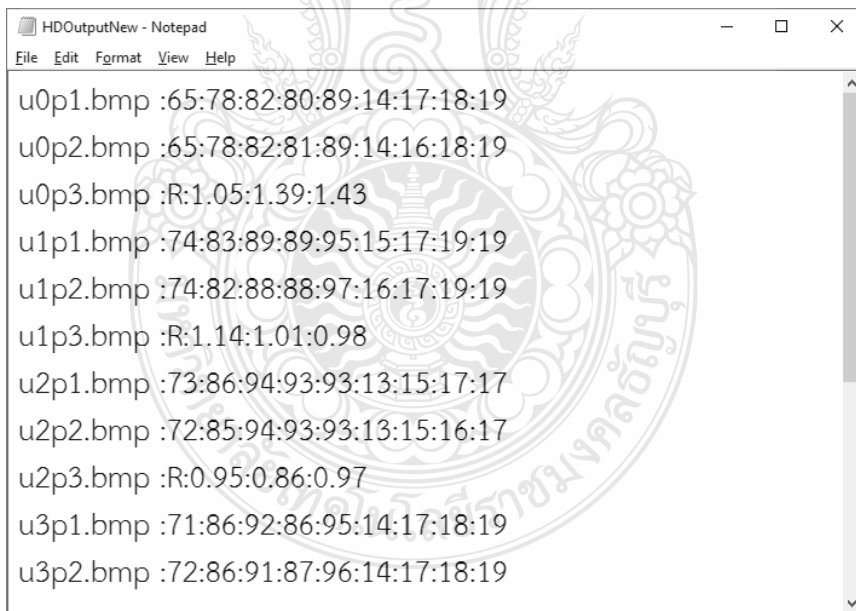
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพจากข้อมูล 60 คนในท่าทางวางนิ้วมือปกติและขยายนิ้วมือกว้าง

ส่วนรูปที่ 4.8 ได้นำข้อมูลทดลองทั้งหมด 60 คนในท่าทางวางนิ้วมือปกติและท่าทางขยายนิ้วมือกว้างโดยไม่นำท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อยจากปกติมาใช้ โดยในกระบวนการจับคู่ลักษณะเด่นเปรียบเทียบเฉพาะค่าความยาวนิ้วมือแต่ละนิ้วและความกว้างฝ่ามือ แสดงให้เห็นว่า EER มีค่าประมาณร้อยละ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากมีกระบวนการคัดกรองท่าทางซิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อยออกจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

### 4.3 ผลจากอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ

4.3.1 ผลการบันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ข้อความและภาพมือที่ได้จากการทดสอบ ในรูปที่ 4.9 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความ โดยมีรายละเอียดเหมือนดังหัวข้อ 4.2.1 ไฟล์ข้อความของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่ใช้การหาลักษณะเด่นแบบทั่วไป หากแต่เมื่อภาพทดสอบไม่ผ่านการคัดกรองจะแสดงข้อมูล โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ไฟล์แรกแสดงรหัสบุคคลที่ทดสอบและท่าทางในการทดสอบ ดังเช่น u0p1.bmp หมายถึงบุคคลที่ทดสอบเป็นคนแรกในท่าทางที่หนึ่ง (p1) หรือ ท่าทางวางมือปกติ ถ้าวางเป็นท่าทางที่สอง (p2) หรือ ท่าทางขยายนิ้วมือกว้าง และสุดท้ายถ้าวางเป็นท่าทางที่สาม (p3) หรือ ท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย
- ไฟล์ที่สองคืออักษร “R” เพื่อแสดงว่าภาพนี้ถูกคัดออกจากระบบ
- ไฟล์ที่สามคือค่าอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วระหว่างนิ้วก้อย-นางต่อพื้นที่นิ้วกลาง
- ไฟล์ที่สี่คือค่าอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วระหว่างนิ้วนาง-กลางต่อพื้นที่นิ้วกลาง
- ไฟล์ที่ห้าคือค่าอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วระหว่างนิ้วกลาง-ชี้ต่อพื้นที่นิ้วกลาง



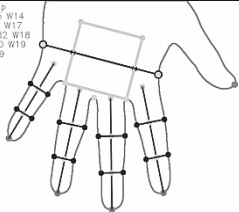
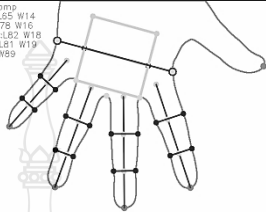
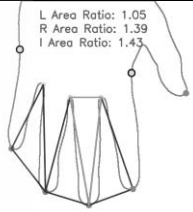
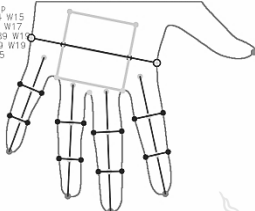
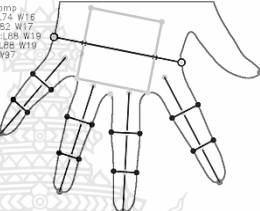
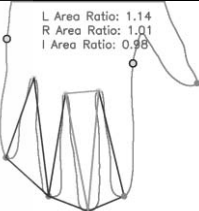
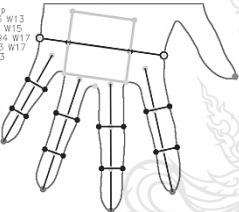
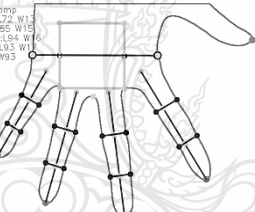
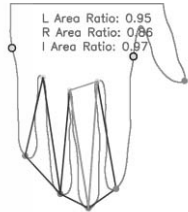
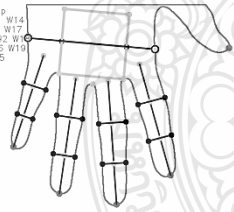
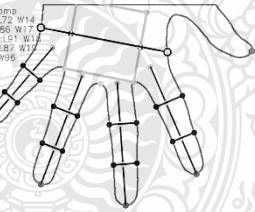
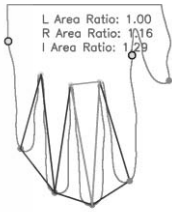
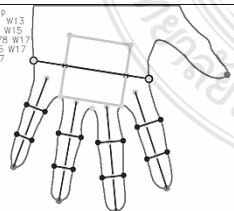
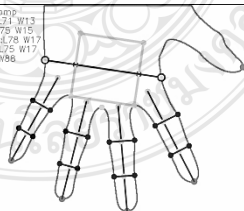
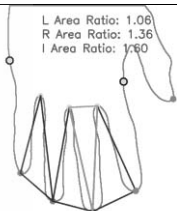
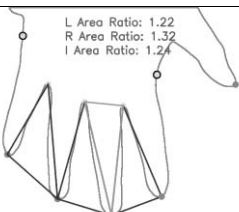
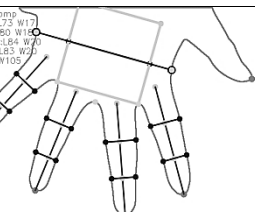
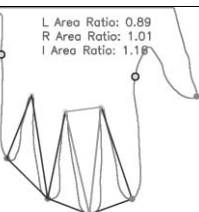
```
HDOOutputNew - Notepad
File Edit Format View Help
u0p1.bmp :65:78:82:80:89:14:17:18:19
u0p2.bmp :65:78:82:81:89:14:16:18:19
u0p3.bmp :R:1.05:1.39:1.43
u1p1.bmp :74:83:89:89:95:15:17:19:19
u1p2.bmp :74:82:88:88:97:16:17:19:19
u1p3.bmp :R:1.14:1.01:0.98
u2p1.bmp :73:86:94:93:93:13:15:17:17
u2p2.bmp :72:85:94:93:93:13:15:16:17
u2p3.bmp :R:0.95:0.86:0.97
u3p1.bmp :71:86:92:86:95:14:17:18:19
u3p2.bmp :72:86:91:87:96:14:17:18:19
```

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างข้อมูลไฟล์ข้อความของระบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบฯ

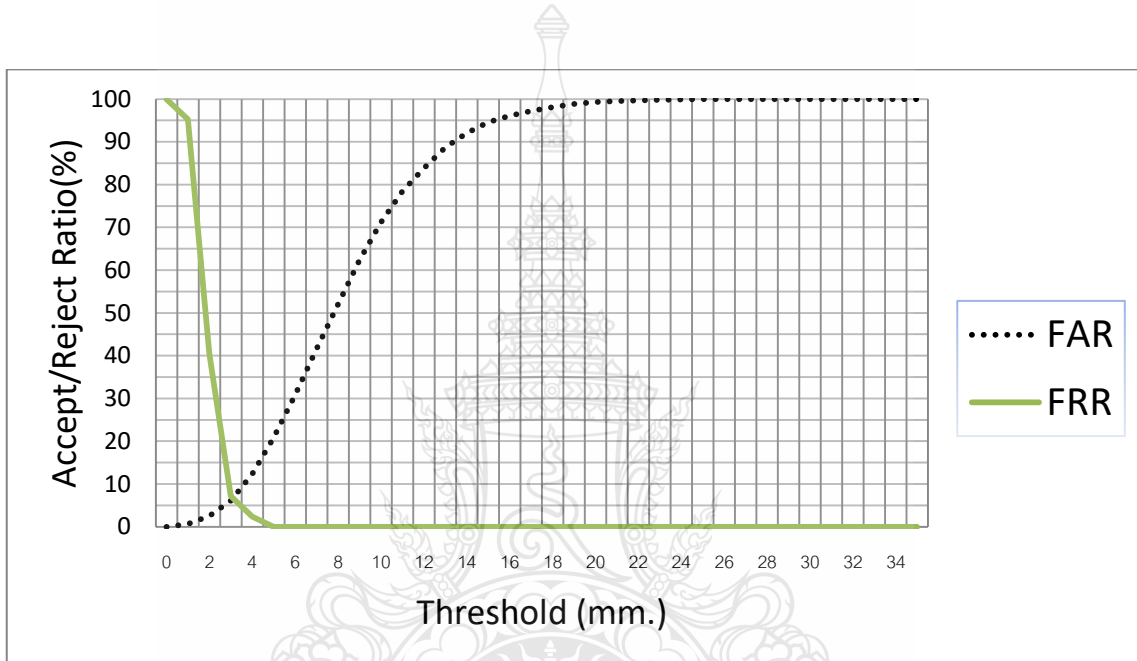
ในการทดสอบนี้มีการตรวจสอบการวางมือเพื่อคัดกรองท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย ออกจากระบบ หากตรวจสอบพบภาพมือที่วางมือผิดพลาดขึ้น โปรแกรมจะแสดงข้อมูลผลลัพธ์ของค่าอัตราส่วนลงในภาพมือพร้อมเส้นแสดงรูปแบบ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง ดัง

ตารางที่ 4.5 แสดงภาพผลลัพธ์ของของบุคคลที่ 1 ถึง 6 ในกระบวนการ โดยภาพที่ปรากฏอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้ว แสดงว่าภาพนั้นถูกคัดกรองออกจากระบบ

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างภาพที่ได้จากระบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางขี้นิ้วมือเล็กน้อย
01	 <p>u0p1.bmp Little:L55 W14 Ring:L76 W17 Middle:L82 W18 Index:L89 W19 Palm:W89</p>	 <p>u0p2.bmp Little:L55 W14 Ring:L76 W16 Middle:L82 W18 Index:L81 W19 Palm:W89</p>	 <p>L Area Ratio: 1.05 R Area Ratio: 1.39 I Area Ratio: 1.43</p>
02	 <p>u1p1.bmp Little:L74 W15 Ring:L83 W17 Middle:L89 W19 Index:L89 W19 Palm:W95</p>	 <p>u1p2.bmp Little:L74 W15 Ring:L83 W17 Middle:L88 W19 Index:L88 W19 Palm:W97</p>	 <p>L Area Ratio: 1.14 R Area Ratio: 1.01 I Area Ratio: 0.99</p>
03	 <p>u2p1.bmp Little:L73 W13 Ring:L86 W15 Middle:L84 W17 Index:L83 W17 Palm:W93</p>	 <p>u2p2.bmp Little:L72 W13 Ring:L85 W15 Middle:L84 W15 Index:L83 W15 Palm:W93</p>	 <p>L Area Ratio: 0.95 R Area Ratio: 0.86 I Area Ratio: 0.87</p>
04	 <p>u3p1.bmp Little:L71 W14 Ring:L86 W17 Middle:L82 W19 Index:L86 W19 Palm:W95</p>	 <p>u3p2.bmp Little:L72 W14 Ring:L85 W17 Middle:L81 W17 Index:L87 W17 Palm:W96</p>	 <p>L Area Ratio: 1.00 R Area Ratio: 1.16 I Area Ratio: 1.29</p>
05	 <p>u4p1.bmp Little:L71 W13 Ring:L74 W15 Middle:L78 W17 Index:L75 W17 Palm:W87</p>	 <p>u4p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L76 W15 Middle:L78 W17 Index:L75 W17 Palm:W86</p>	 <p>L Area Ratio: 1.06 R Area Ratio: 1.36 I Area Ratio: 1.60</p>
06	 <p>L Area Ratio: 1.22 R Area Ratio: 1.32 I Area Ratio: 1.24</p>	 <p>u5p2.bmp Little:L73 W17 Ring:L80 W19 Middle:L84 W19 Index:L83 W19 Palm:W105</p>	 <p>L Area Ratio: 0.89 R Area Ratio: 1.01 I Area Ratio: 1.18</p>

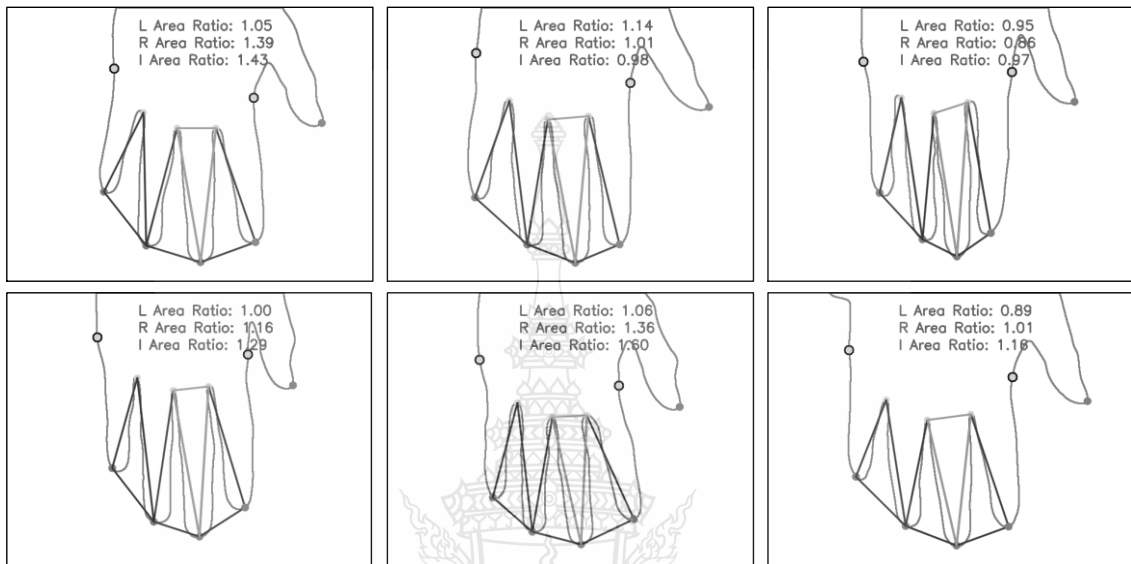
4.3.2 กราฟประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่มีการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ จากกระบวนการจับคู่ลักษณะเด่น (Feature Matching Algorithm) แบบระยะทางแฮมมิง ดังสมการที่ (4.1) เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.2.3 ในรูปที่ 4.10 แสดงกราฟประสิทธิภาพของระบบเมื่อเพิ่มการตรวจสอบการวางมือ พบว่าค่า EER มีค่าประมาณร้อยละ 5 และที่ค่าขีดแบ่งที่ 3 มิลลิเมตร โดยลดลงจากในระบบของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่มีการหาลักษณะเด่นทั่วไปอย่างเด่นชัด แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น



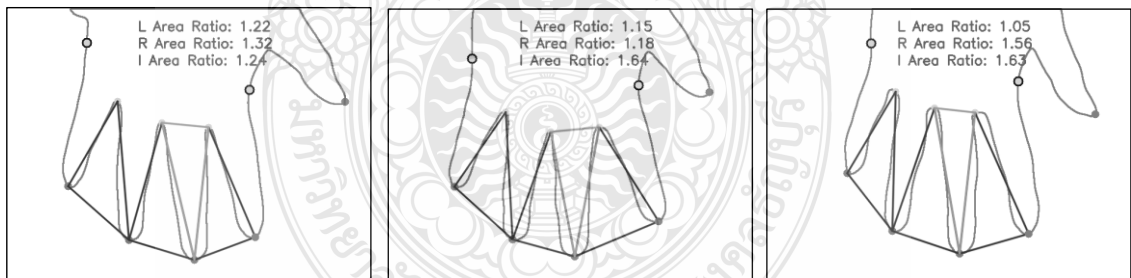
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ

4.2.3 การตรวจสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอุปกรณ์วัดขนาดมือที่มีการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ จากการตรวจสอบพบว่ากระบวนการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือด้วยวิธีหาอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วต่อพื้นที่นิ้วกลาง โดยใช้ค่าอ้างอิงที่ 1.4 1.2 และ 1.2 ตามลำดับนั้น สามารถคัดกรองภาพมือในท่าทางชนิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อยได้ทั้งหมด ดังรูปที่ 4.11 แสดงภาพมือพร้อมอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วกำกับในภาพของบุคคลทดสอบที่ 1 ถึง 6 ในท่าทางชนิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อย ส่วนรูปที่ 4.12 แสดงภาพมือพร้อมอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วกำกับในภาพของบุคคลทดสอบที่ 6 10 และ 55 ตามลำดับ ในท่าทางวางมือปรกติ ซึ่งจากการวิเคราะห์จากภาพผลลัพธ์ได้ข้อสังเกตว่าบุคคลที่มีรูปร่างมือที่อวบอ้วนหากใช้ระบบนี้จะต้องวางมือให้กว้างกว่าปรกติทั่วไป เพราะร่องนิ้วถูกบดบังได้ง่ายกว่าจากปริมาณเนื้อและผิวหนัง เช่นในกรณีบุคคลที่ 6 และ 10 นี้ ส่วนบุคคลที่ 55 ซึ่งมีรูปร่างมือปรกติแต่ถูกคัดกรองออกจากระบบเนื่องมาจากนิ้วก้อยของผู้ใช้งานชิดกับ

นิ้วนางเกินกว่าค่าอ้างอิง ผลการตรวจสอบและเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถคัดกรองการวางมือของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้องแต่ทั้งนี้ระบบยังสามารถนำข้อมูลในการคัดกรองแจ้งกลับไปยังผู้ใช้ให้เห็นถึงข้อผิดพลาดในการวางมือได้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพมือพร้อมอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วในท่าทางชิดนิ้วมือที่ถูกคัดออกจากระบบ



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างภาพมือพร้อมอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วในท่าทางวางมือปกติที่ถูกคัดออกจากระบบ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการทำงานของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับนิ้วมือ โดยการหาลักษณะเด่นของมือด้วยวิธีหาคอordanนอกและความเว้า ร่วมกับวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนาง ซึ่งนำไปสู่การได้มาซึ่งความยาวกับความกว้างของนิ้ว และความยาวเส้นฐานนิ้ว พร้อมทั้งเพิ่มเติมการตรวจสอบการวางมือด้วยวิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้ว เพื่อคัดกรองการวางมือในท่าทางชนิดนิ้วมือจากปกติที่เป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพของกระบวนการโดยใช้ภาพมือจำนวน 180 ภาพจาก 60 บุคคลในท่าทางที่แตกต่างกัน คือ ท่าวางมือปกติ ท่าทางขยายนิ้วมือกว้าง และท่าทางชนิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย

#### 5.1 สรุปผลการหาลักษณะเด่นก่อนเพิ่มการตรวจสอบการวางมือ

เป็นที่ทราบกันดีว่าระบบวัดขนาดมือในเชิงพาณิชย์แทบทั้งหมดใช้หมุดเข้ามาช่วยในการกำกับนิ้วมือพร้อมทั้งมีระบบตรวจสอบการวางมือ ทั้งนี้เพราะหมุดจะช่วยลดความแปรปรวนของรูปร่างมือได้ แต่การใช้หมุดก็ยังมีข้อบกพร่องบางอย่างคือ ผู้ใช้งานหน้าใหม่ต้องศึกษาการวางมือกับหมุดที่ถูกต้อง ภาพมือที่จะเข้าสู่ระบบจะถูกหมุดคบบังรูปร่างบางส่วน และบางบุคคลที่มีขนาดของนิ้วมือไม่อยู่ในระยะของหมุดจะใช้งานไม่ได้ กระบวนการหาลักษณะเด่นในงานวิจัยนี้จึงนำมาแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งแตกต่างกับประสิทธิภาพที่ลดลงคือ ได้ค่า EER เท่ากับร้อยละ 17 และค่าระดับเกณฑ์ที่ 5 มิลลิเมตร และจากผลที่ได้นี้พบว่าประสิทธิภาพที่ลดลงล้วนมาจากท่าทางชนิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย ซึ่งหากวัดประสิทธิภาพของกระบวนการเพียงท่าวางมือปกติ และท่าทางขยายนิ้วมือกว้าง จะได้ EER มีค่าประมาณร้อยละ 4 และค่าระดับเกณฑ์ที่ 3 มิลลิเมตร ซึ่งดีเพียงพอในการนำมาประยุกต์ใช้งาน

#### 5.2 สรุปผลการหาลักษณะเด่นเมื่อเพิ่มการตรวจสอบการวางมือ

จากผลของการหาประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มการตรวจสอบการวางมือเข้าไปในการหาลักษณะเด่นทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยการหาลักษณะเด่นด้วยวิธีเดิมได้ค่า EER เท่ากับร้อยละ 17 และค่าระดับเกณฑ์ที่ 5 มิลลิเมตร ในส่วนของการหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือนั้น ค่า EER เท่ากับร้อยละ 5 และค่าระดับเกณฑ์ที่ 3 มิลลิเมตร เนื่องมาจาก

การคัดกรองด้วยวิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้วนี้สามารถคัดกรองท่าทางชนิดนิ้วมือจากปกติได้แทบทั้งหมด ทั้งสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานระบบว่าพบข้อผิดพลาดในท่าทางของผู้ใช้งานที่ตำแหน่งร่องนิ้วมือไหน ทั้งมีความยืดหยุ่นสูงสามารถรองรับรูปร่างมือที่มีลักษณะที่แตกต่างกันได้ดี ถือเป็นอีกทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบวัดขนาดมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนา

จากกระบวนการตรวจสอบการวางมือด้วยวิธีหาอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วได้ข้อสังเกตว่าบุคคลที่มีรูปร่างมือสั้นและอวบจำเป็นต้องขยำนิ้วมือมากกว่าปกติจึงจะผ่านการตรวจสอบการวางมือ และหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ ยังสามารถทำได้เนื่องจากการหาประสิทธิภาพของกระบวนการเมื่อตัดท่าทางชนิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย จะได้ EER ที่มีค่าประมาณร้อยละ 4 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการตรวจสอบการวางมือด้วยวิธีหาอัตราส่วนพื้นที่ร่องนิ้วยังตรวจสอบการวางมือยังไม่ได้ทั้งหมด



## บรรณานุกรม

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," Pattern Recognition, vol. 42, 2009, pages 2797-2806.
- [2] A. K. Singh, A. K. Agrawal, and C. B. Pal, "Hand geometry verification system: A review," in International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops 2009 (ICUMT '09), 2009, pages 1-7.
- [3] "Hand measuring systems," Biometric Technology Today, vol. 9, issue 4, pages 9-11, 2001.
- [4] อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร, "การพัฒนาระบบวัดโครงสร้างมือโดยใช้เทคนิค Hull Convexity Defects," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, กาญจนบุรี, 11-13 ธันวาคม 2556, เล่ม 2, หน้า 777-780.
- [5] จักรี ศรีนนท์ฉัตร และอภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์, "การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดกำกับ," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, ขอนแก่น, 19-21 พฤศจิกายน 2557, เล่ม 2, หน้า 901-904.
- [6] อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์, ชีรพล ยอดโรจน์ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร, "การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดกำกับ," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38, พระนครศรีอยุธยา, 18-20 พฤศจิกายน 2558, เล่ม 2, หน้า 745-748.
- [7] A. K. Jain, A. Ross and S. Prabhakar, "An introduction to biometric recognition," in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 14, no. 1, pages 4-20, Jan. 2004.
- [8] M. Faundez-Zanuy, Biometric security technology, in IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 21, no. 6, June 2006, pages 15-26.
- [9] Gonzalez Rafael C. and Woods Richard E., Digital Image Processing (2nd ed.), New Jersey, Prentice Hall, 2002.
- [10] S. Liu and M. Silverman, "A practical guide to biometric security technology," IT Professional, vol. 3, 2001, pages 27-32.
- [11] P. Varchol and D. Levický, "Using of Hand Geometry in Biometric Security Systems," Radio Engineering Special Issue: Advanced Digital Signal Processing, Volume 16, 2007.



## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez-Avila and A. Gonzalez-Marcos, "**Biometric identification through hand geometry measurements,**" in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 10, pages 1168-1171, Oct 2000.
- [13] Recognition Systems Inc., **HandPunch 1000 Manual (Version 3.0)**, 2003, July. [Online]. Available: [http://www.handpunch.com/manuals/HandPunch-1000\\_Manual.pdf](http://www.handpunch.com/manuals/HandPunch-1000_Manual.pdf)
- [14] Anil K. Jain, **Fundamentals of Digital Image Processing**, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1989.
- [15] Robert J. Schalkoff, **Digital Image Processing and Computer Vision: an Introduction to Theory and Implementations**, John Wiley & Sons Inc., New York, USA. 1989.
- [16] A. K. Jain, A. Ross, and S. Pankanti. "**A prototype hand geometry based verification system,**" In Proceedings of the 2nd International Conference on Audio Video based Biometric Personal Authentication (AVBPA), pages 166–171, Washington D. C., March 1999.
- [17] M. A. Ferrer, A. Morales, C. M. Travieso, and J. B. Alonso, "**Influence of the pegs number and distribution on a biometric device based on hand geometry,**" IEEE International Carnahan Conference on Security Technology ( ICCST 2008, 2008), pages 221-225.
- [18] BehavioSec Company, **Measuring FAR/FRR/ERR Continuous Authentication Technical Write Paper (Draft Version)**, 2009, Dec. [Online]. Available: <http://www.behaviosec.com/wp-content/uploads/2012/11/far-frr-wp.pdf>
- [19] Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross, **Handbook of Biometrics**, Springer-Verlag Inc., Secaucus, NJ, USA, 2007.
- [20] Miguel Adán, Antonio Adán, Andrés S. Vázquez, Roberto Torres, "**Biometric verification /identification based on hands natural layout,**" Image and Vision Computing, Volume 26, Issue 4, 2008, pages 451-465.
- [21] M. Golfarelli, D. Maio and D. Malton, "**On the error-reject trade-off in biometric verification systems,**" in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, no. 7, pages 786-796, Jul 1997.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] D.G. Joshi, Y.V. Rao, S. Kar, Valli Kumar, R. Kumar, **“Computer-vision-based approach to personal identification using finger crease pattern,”** Pattern Recognition, Volume 31, Issue 1, 1998, pages 15-22.
- [23] A. K. Jain and N. Duta, **“Deformable matching of hand shapes for user verification,”** Proceedings 1999 International Conference on Image Processing, Vol. 2, Kobe, 1999, pages 857-861.
- [24] R. Sanchez-Reillo, **“Hand geometry pattern recognition through Gaussian mixture modeling,”** Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition. ICPR-2000, Barcelona, 2000, pages 937-940 vol.2.
- [25] C. Oden, A. Ercil, V. Yildiz, H. Kirmizitas and B. Buke, **“Hand recognition using implicit polynomials and geometric features,”** In Proceedings of the Third International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, pages 336–341, June 2001.
- [26] Cenker Oden, Aytul Ercil, Burak Buke, **“Combining implicit polynomials and geometric features for hand recognition,”** Pattern Recognition Letters, vol. 24, Issue 13, 2003, pages 2145-2152.
- [27] Alexandra L. N. Wong and Pengcheng Shi, **“Peg-free hand geometry recognition using hierarchical geometry and shape matching,”** IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 2002, pages 281-284.
- [28] S. Ribaric, D. Ribaric and N. Pavesic, **“Multimodal biometric user-identification system for network-based applications,”** in IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing, vol. 150, no. 6, pages 409-416, 15 Dec. 2003.
- [29] A. Kumar, D. C. M. Wong, H. C. Shen and A. K. Jain, **“Personal Verification Using Palmprint and Hand Geometry Biometric,”** In Proceedings of the 4th International Conference on Audio and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA), pages 668–678, UK, June 2003.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [30] S. Gonzalez, C. M. Travieso, J. B. Alonso and M. A. Ferrer, "**Automatic biometric identification system by hand geometry,**" in IEEE Proceedings of the 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on Security Technology, 2003, pages 281-284.
- [31] R. Veldhuis, A. Bazen, W. Booij, and A. Hendrikse, "**A Comparison of Hand-Geometry Recognition Methods Based on Low- and High-Level Features,**" In Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual workshop on Circuit, System and Signal Processing (ProRISC), pages 326-330, 25-26 Nov 2004, Veldhoven, Netherlands, 2004.
- [32] Y. Bulatov, S. Jambawalikar, P. Kumar and S. Sethia. "**Hand recognition using geometric classifiers,**" In Proceedings of the International Conference on Biometric Authentication (ICBA'04), pages 753–759, Hong Kong, China, July 2004.
- [33] Chin-Chuan Han, "**A hand-based personal authentication using a coarse-to-fine strategy,**" Image and Vision Computing, Volume 22, Issue 11, 2004, pages 909-918.
- [34] Michael Goh Kah Ong, Tee Connie, Andrew Teoh Beng Jin, and David Ngo Chek Ling, "**A single-sensor hand geometry and palmprint verification system,**" In Proceedings of the 2003 ACM SIGMM workshop on Biometrics methods and applications (WBMA '03), New York, USA, 2003, pages 100-106.
- [35] N.Covavisaruch, P. Prateepamornkul, P. Ruchikachorn and P. Taksaphan, "**Personal Verification and Identification Using Hand Geometry,**" ECTI transactions on computer and information technology, Vol. 1 No. 2, Nov 2005, pages 134 – 140.
- [36] Damon L. Woodard, Patrick J. Flynn, "**Finger surface as a biometric identifier,**" Computer Vision and Image Understanding, Volume 100, Issue 3, 2005, pages 357-384.
- [37] Guilherm Boreki and Alessandro Zimmer, "**Hand Geometry Feature Extraction through Curvature Profile Analysis,**" XVIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, SIBGRAPI, Brazil, 2005.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [38] X. Wei, X. Changsheng and O. Sim Heng, "Peg-free Human Hand Shape Analysis and Recognition," in Acoustics, Speech and Signal Processing, 2005. Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on, 2005, pages. 77-80.
- [39] G. Amayeh, G. Bebis, A. Erol, and M. Nicolescu, "**Peg-Free Hand Shape Verification Using High Order Zernike Moments,**" in Proceedings of the IEEE Computer Society Workshop on Biometrics, volume 2, New York, June 2006, pages 40–47.
- [40] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "**Shape-based hand recognition,**" in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, 2006, pages 1803-1815.
- [41] A. Morales, M. A. Ferrer, F. Díaz, J. B. Alonso and C. M. Travieso, "**Contact-free hand biometric system for real environments,**" 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008), Lausanne, Switzerland, 2008, pages 1-5.
- [42] Gary Rost Bradski and Adrian Kaehler, **Learning Opencv (First ed.)**, O'Reilly Media Inc., 2008.
- [43] Javier Burgues, Julian Fierrez, Daniel Ramos, and Javier Ortega-Garcia, "**Comparison of distance-based features for hand geometry authentication,**" In Proceedings of the 2009 joint COST 2101 and 2102 international conference on Biometric ID management and multimodal communication (BioID\_MultiComm'09), Berlin, Heidelberg, 2009, pages 325-332.
- [44] J. Canny, "**A Computational Approach to Edge Detection,**" IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), 1986, pages 679–698.





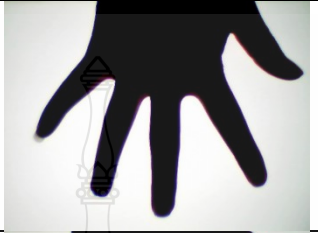



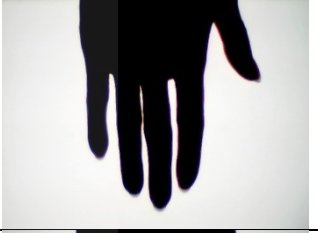
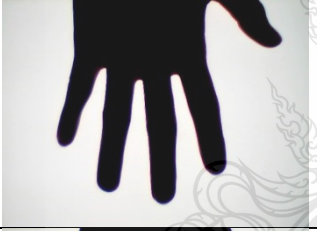

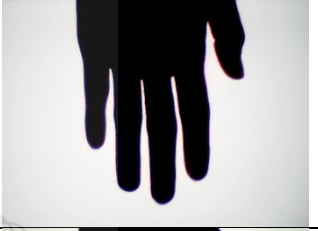
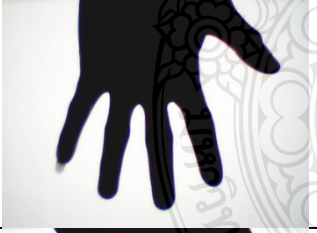
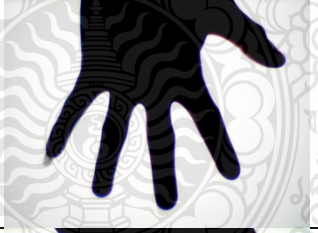
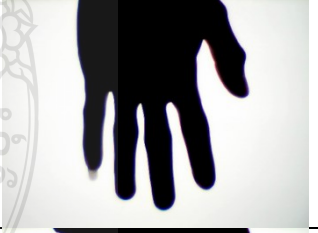
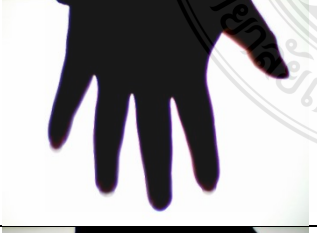





ภาคผนวก







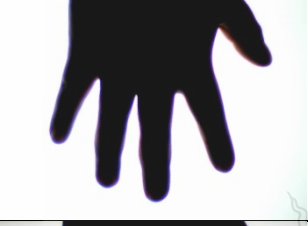

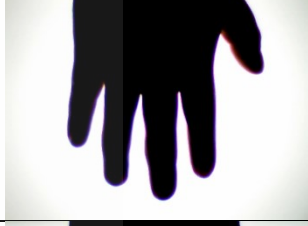
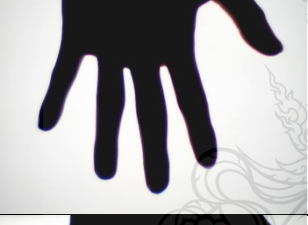
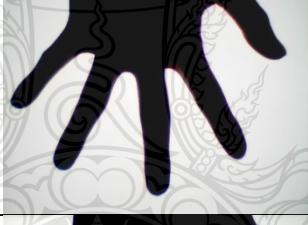
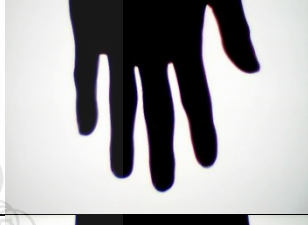
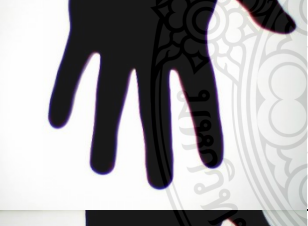

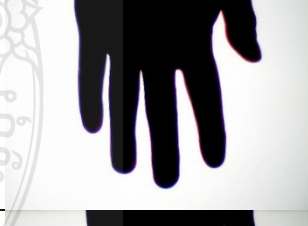
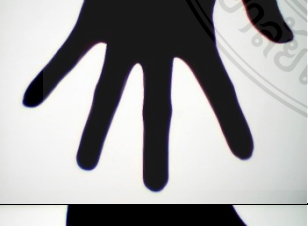


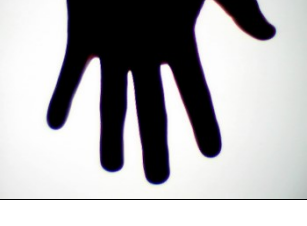














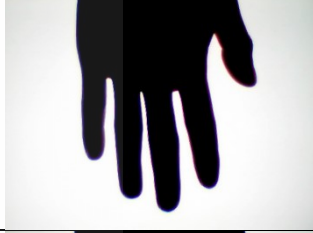
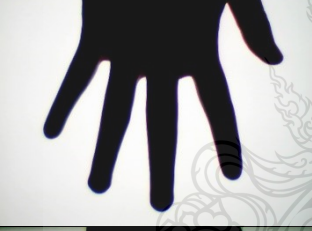
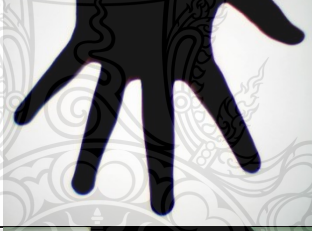
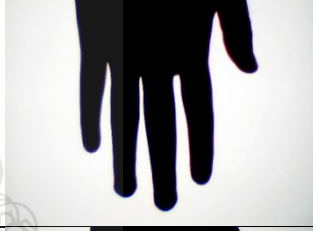
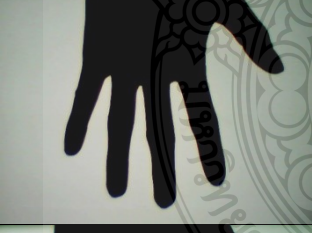

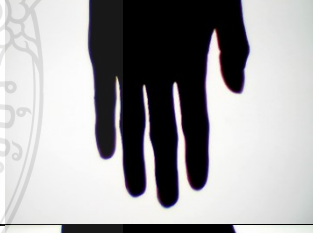



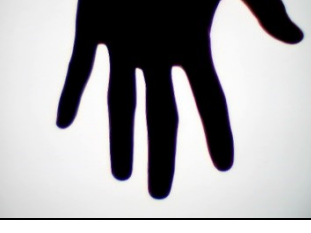


ภาคผนวก ก







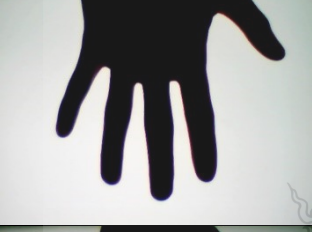
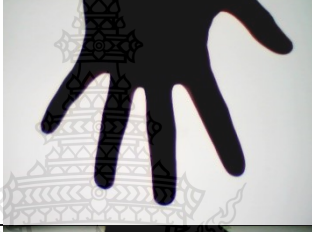
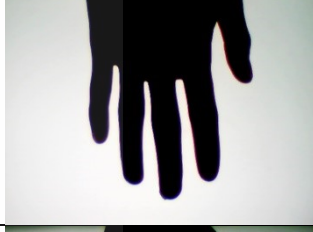
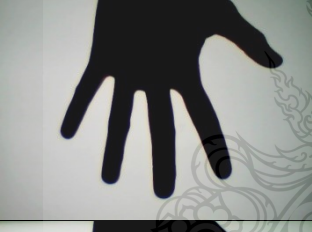
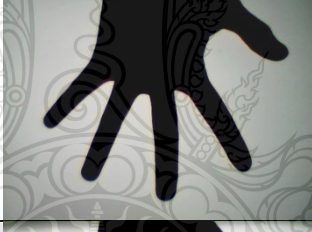
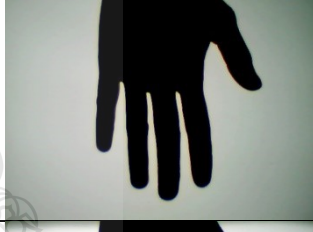

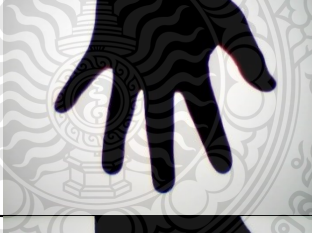
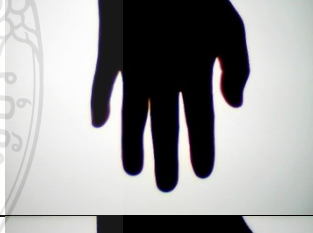


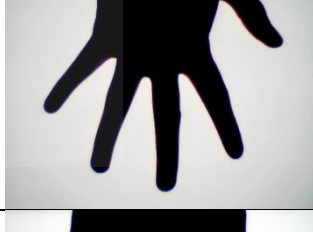
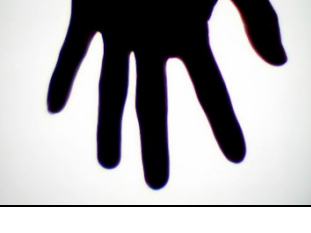


ตารางแสดงภาพนำเข้าที่ใช้ทดสอบระบบ







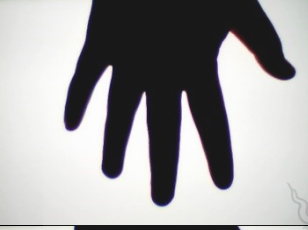

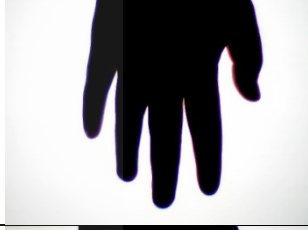
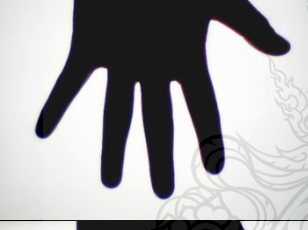
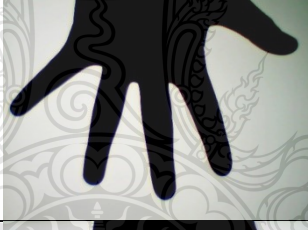
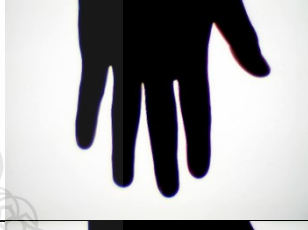
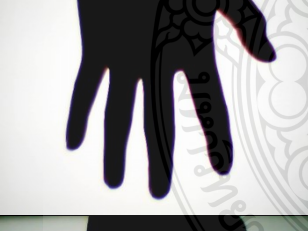





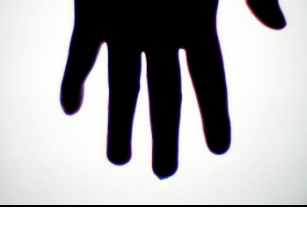


บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางจับนิ้วมือเล็กน้อย
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			









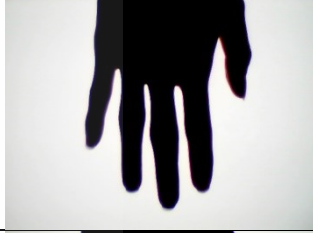
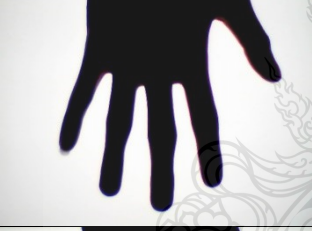
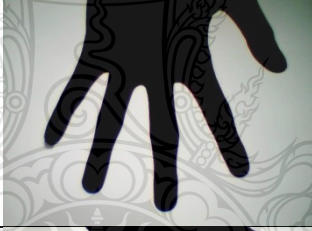
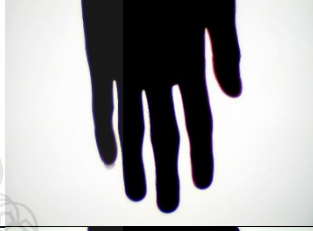
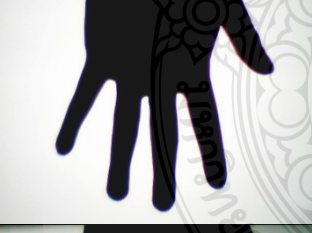
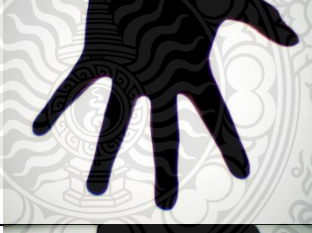
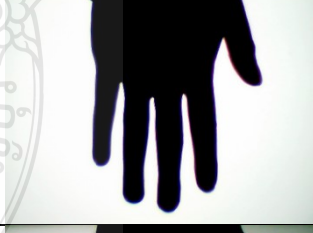
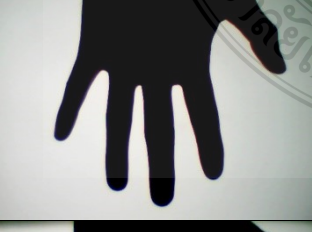

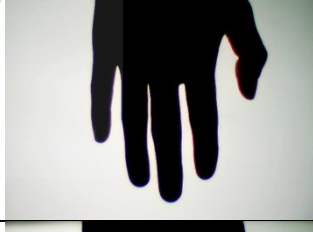

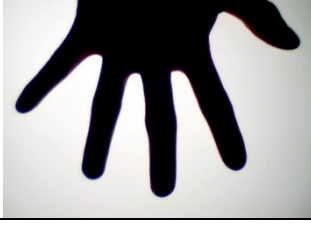

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางจับนิ้วมือเล็กน้อย
08			
09			
10			
11			
12			
13			
14			










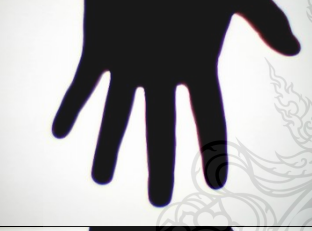
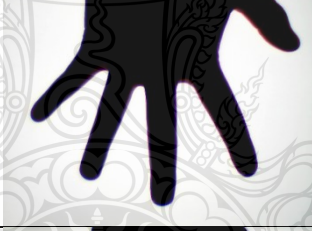
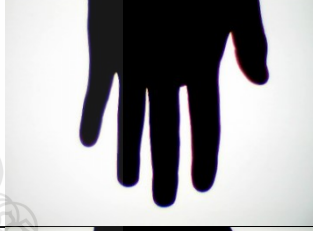
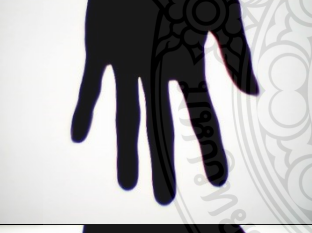
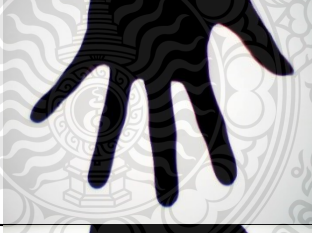
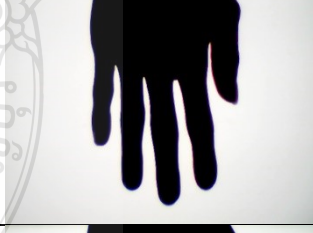
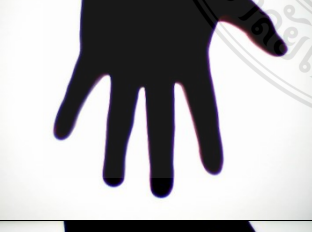
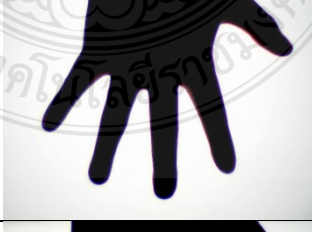
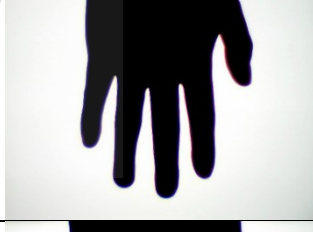
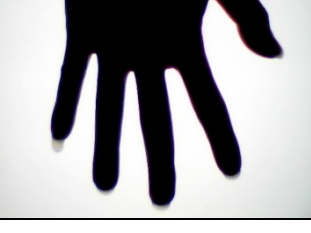













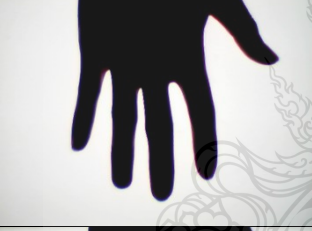
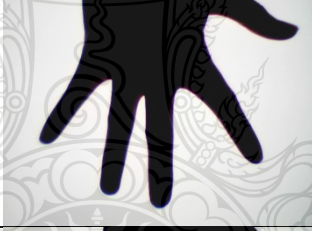
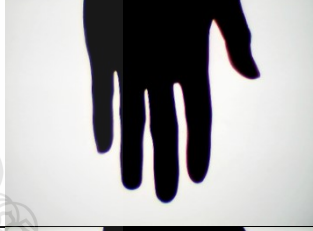






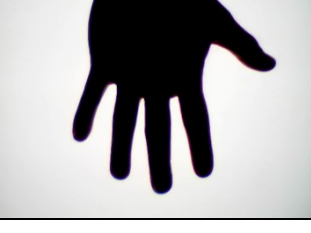
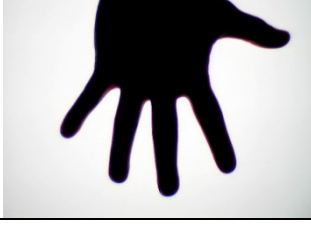

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			







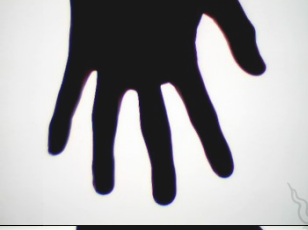
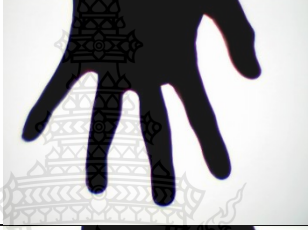
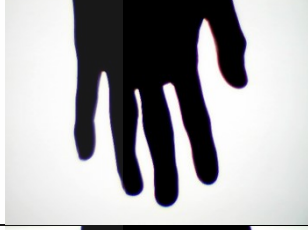
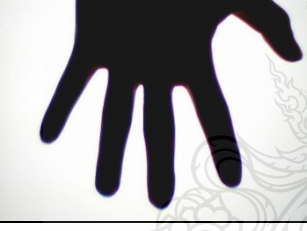


บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			

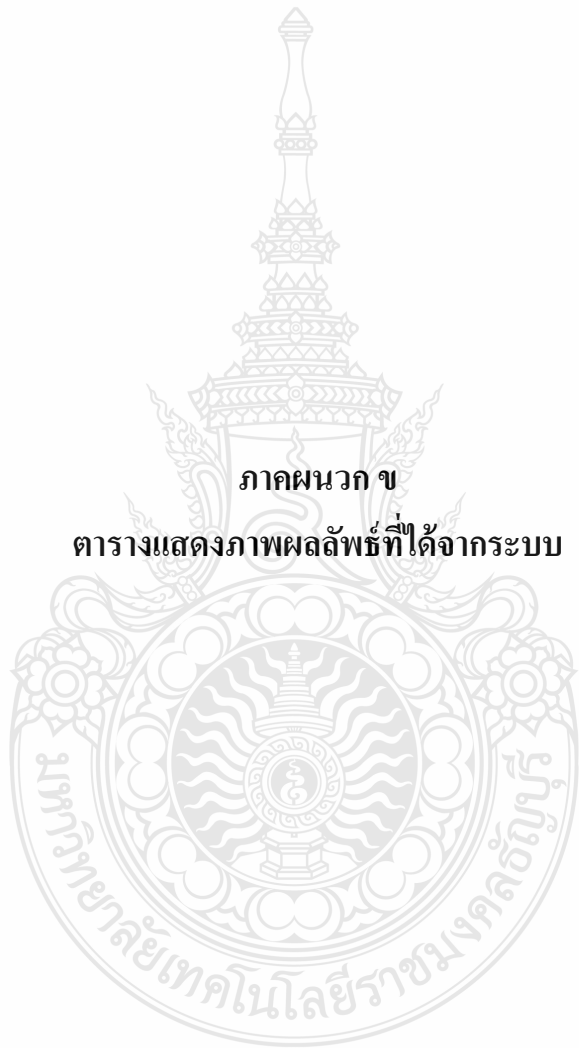
บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางชิดนิ้วมือเล็กน้อย
57			
58			
59			
60			



ภาคผนวก ข  
ตารางแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ





บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางจับนิ้วมือเล็กน้อย
01	u0p1.bmp Little:L54 W14 Ring:L78 W17 Middle:L92 W18 Index:L80 W19 Palm:W89	u0p2.bmp Little:L65 W14 Ring:L78 W16 Middle:L82 W18 Index:L81 W19 Palm:W89	u0p3.bmp Little:L54 W13 Ring:L77 W16 Middle:L82 W17 Index:L80 W18 Palm:W87
02	u1p1.bmp Little:L74 W15 Ring:L83 W17 Middle:L89 W19 Index:L89 W19 Palm:W95	u1p2.bmp Little:L74 W16 Ring:L82 W17 Middle:L88 W19 Index:L89 W19 Palm:W97	u1p3.bmp Little:L74 W16 Ring:L82 W17 Middle:L88 W19 Index:L89 W19 Palm:W96
03	u2p1.bmp Little:L73 W13 Ring:L86 W15 Middle:L86 W17 Index:L93 W17 Palm:W93	u2p2.bmp Little:L72 W13 Ring:L85 W16 Middle:L84 W18 Index:L93 W18 Palm:W93	u2p3.bmp Little:L69 W13 Ring:L82 W16 Middle:L81 W17 Index:L89 W17 Palm:W91
04	u3p1.bmp Little:L71 W14 Ring:L86 W17 Middle:L89 W19 Index:L89 W19 Palm:W95	u3p2.bmp Little:L72 W14 Ring:L86 W17 Middle:L89 W19 Index:L87 W19 Palm:W95	u3p3.bmp Little:L69 W15 Ring:L84 W17 Middle:L81 W19 Index:L84 W19 Palm:W93
05	u4p1.bmp Little:L71 W13 Ring:L74 W15 Middle:L78 W17 Index:L75 W17 Palm:W87	u4p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L75 W16 Middle:L78 W17 Index:L75 W17 Palm:W86	u4p3.bmp Little:L71 W13 Ring:L74 W15 Middle:L79 W17 Index:L75 W17 Palm:W86
06	u5p1.bmp Little:L74 W13 Ring:L78 W16 Middle:L83 W17 Index:L81 W17 Palm:W104	u5p2.bmp Little:L74 W13 Ring:L80 W17 Middle:L84 W17 Index:L83 W17 Palm:W105	u5p3.bmp Little:L83 W17 Ring:L71 W18 Middle:L78 W18 Index:L81 W17 Palm:W101
07	u6p1.bmp Little:L71 W16 Ring:L81 W17 Middle:L86 W17 Index:L78 W18 Palm:W97	u6p2.bmp Little:L89 W15 Ring:L91 W17 Middle:L87 W18 Index:L80 W18 Palm:W97	u6p3.bmp Little:L85 W15 Ring:L85 W17 Middle:L71 W18 Index:L76 W18 Palm:W95

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางขิดนิ้วมือเล็กน้อย
08	u/p1.bmp Little:L72 W13 Ring:L53 W16 Middle:L90 W15 Index:L84 W15 Palm:W91	u/p2.bmp Little:L70 W13 Ring:L84 W15 Middle:L85 W16 Index:L83 W16 Palm:W92	u/p3.bmp Little:L89 W13 Ring:L83 W15 Middle:L89 W16 Index:L82 W16 Palm:W93
09	u9p1.bmp Little:L71 W14 Ring:L52 W16 Middle:L86 W1 Index:L85 W18 Palm:W98	u9p2.bmp Little:L71 W14 Ring:L91 W16 Middle:L86 W18 Index:L84 W18 Palm:W99	u9p3.bmp Little:L70 W13 Ring:L81 W16 Middle:L85 W18 Index:L86 W18 Palm:W97
10	u9p1.bmp Little:L66 W16 Ring:L73 W15 Middle:L78 W2 Index:L75 W2 Palm:W103	u9p2.bmp Little:L65 W18 Ring:L74 W19 Middle:L85 W12 Index:L76 W2 Palm:W106	u9p3.bmp Little:L58 W17 Ring:L70 W18 Middle:L77 W2 Index:L74 W23 Palm:W101
11	u10p1.bmp Little:L73 W14 Ring:L86 W17 Middle:L83 Index:L85 W17 Palm:W96	u10p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L86 W17 Middle:L91 W14 Index:L86 W16 Palm:W95	u10p3.bmp Little:L68 W18 Ring:L85 W17 Middle:L92 Index:L87 W17 Palm:W95
12	u11p1.bmp Little:L72 W15 Ring:L83 W16 Middle:L87 W Index:L85 W20 Palm:W101	u11p2.bmp Little:L71 W15 Ring:L83 W16 Middle:L87 W19 Index:L84 W17 Palm:W102	u11p3.bmp Little:L68 W17 Ring:L79 W19 Middle:L86 W1 Index:L84 W20 Palm:W101
13	u12p1.bmp Little:L74 W14 Ring:L89 W17 Middle:L90 W18 Index:L83 W18 Palm:W95	u12p2.bmp Little:L74 W14 Ring:L89 W17 Middle:L90 W18 Index:L84 W18 Palm:W96	u12p3.bmp Little:L78 W14 Ring:L89 W17 Middle:L90 W18 Index:L84 W18 Palm:W92
14	u13p1.bmp Little:L68 W17 Ring:L78 W18 Middle:L85 W18 Index:L82 W14 Palm:W92	u13p2.bmp Little:L68 W14 Ring:L78 W16 Middle:L86 W18 Index:L83 W18 Palm:W93	u13p3.bmp Little:L65 W14 Ring:L76 W18 Middle:L84 W19 Index:L82 W18 Palm:W93

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
15	v14p1.bmp Little:L75 W14 Ring:L53 W17 Middle:L81 W19 Index:L89 W19 Palm:W94	v14p2.bmp Little:L74 W14 Ring:L53 W16 Middle:L81 W17 Index:L87 W19 Palm:W94	v14p3.bmp Little:L77 W15 Ring:L81 W17 Middle:L80 W18 Index:L87 W18 Palm:W94
16	v15p1.bmp Little:L89 W12 Ring:L52 W14 Middle:L87 W15 Index:L81 W15 Palm:W83	v15p2.bmp Little:L70 W12 Ring:L52 W14 Middle:L86 W15 Index:L51 W15 Palm:W84	v15p3.bmp Little:L89 W12 Ring:L81 W14 Middle:L86 W15 Index:L79 W15 Palm:W80
17	v16p1.bmp Little:L72 W14 Ring:L81 W16 Middle:L86 W17 Index:L80 W17 Palm:W95	v16p2.bmp Little:L70 W14 Ring:L80 W16 Middle:L85 W18 Index:L80 W18 Palm:W96	v16p3.bmp Little:L89 W15 Ring:L80 W17 Middle:L85 W18 Index:L79 W17 Palm:W94
18	v17p1.bmp Little:L78 W15 Ring:L81 W17 Middle:L95 W19 Index:L87 W18 Palm:W99	v17p2.bmp Little:L73 W15 Ring:L82 W17 Middle:L91 W17 Index:L89 W18 Palm:W98	v17p3.bmp Little:L74 W15 Ring:L89 W17 Middle:L96 W18 Index:L79 W18 Palm:W94
19	v18p1.bmp Little:L72 W14 Ring:L84 W16 Middle:L89 W17 Index:L87 W17 Palm:W87	v18p2.bmp Little:L73 W13 Ring:L84 W16 Middle:L88 W16 Index:L85 W16 Palm:W98	v18p3.bmp Little:L86 W13 Ring:L81 W15 Middle:L88 W16 Index:L86 W16 Palm:W84
20	v19p1.bmp Little:L77 W15 Ring:L85 W17 Middle:L89 W19 Index:L87 W18 Palm:W102	v19p2.bmp Little:L77 W15 Ring:L86 W15 Middle:L94 W17 Index:L88 W17 Palm:W103	v19p3.bmp Little:L77 W14 Ring:L85 W17 Middle:L88 W19 Index:L85 W18 Palm:W100
21	v20p1.bmp Little:L79 W14 Ring:L86 W17 Middle:L94 W19 Index:L88 W18 Palm:W97	v20p2.bmp Little:L77 W15 Ring:L86 W18 Middle:L94 W19 Index:L89 W18 Palm:W97	v20p3.bmp Little:L77 W14 Ring:L87 W17 Middle:L93 W19 Index:L88 W18 Palm:W95

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
22	u21p1.bmp Little:L86 W15 Ring:L79 W16 Middle:L83 W18 Index:L79 W18 Palm:W87	u21p2.bmp Little:L87 W15 Ring:L79 W16 Middle:L83 W17 Index:L79 W18 Palm:W88	u21p3.bmp Little:L89 W14 Ring:L75 W15 Middle:L83 W17 Index:L80 W16 Palm:W82
23	u22p1.bmp Little:L87 W14 Ring:L75 W16 Middle:L83 W17 Index:L77 W17 Palm:W93	u22p2.bmp Little:L86 W13 Ring:L76 W16 Middle:L84 W18 Index:L78 W18 Palm:W92	u22p3.bmp Little:L85 W14 Ring:L74 W15 Middle:L83 W18 Index:L76 W17 Palm:W91
24	u23p1.bmp Little:L88 W13 Ring:L78 W16 Middle:L85 W16 Index:L83 W18 Palm:W85	u23p2.bmp Little:L88 W13 Ring:L79 W15 Middle:L85 W18 Index:L83 W18 Palm:W89	u23p3.bmp Little:L85 W13 Ring:L76 W16 Middle:L83 W18 Index:L82 W18 Palm:W85
25	u24p1.bmp Little:L81 W12 Ring:L73 W13 Middle:L78 W16 Index:L78 W16 Palm:W77	u24p2.bmp Little:L81 W12 Ring:L73 W15 Middle:L78 W16 Index:L78 W16 Palm:W78	u24p3.bmp Little:L83 W13 Ring:L71 W14 Middle:L77 W16 Index:L76 W16 Palm:W76
26	u25p1.bmp Little:L85 W13 Ring:L67 W15 Middle:L72 W17 Index:L70 W17 Palm:W86	u25p2.bmp Little:L85 W13 Ring:L69 W16 Middle:L72 W17 Index:L72 W18 Palm:W85	u25p3.bmp Little:L83 W13 Ring:L65 W15 Middle:L67 W17 Index:L69 W18 Palm:W84
27	u26p1.bmp Little:L86 W12 Ring:L78 W15 Middle:L83 W16 Index:L77 W16 Palm:W82	u26p2.bmp Little:L78 W13 Ring:L79 W15 Middle:L85 W16 Index:L77 W16 Palm:W82	u26p3.bmp Little:L84 W13 Ring:L71 W15 Middle:L70 W16 Index:L76 W16 Palm:W81
28	u27p1.bmp Little:L78 W15 Ring:L91 W15 Middle:L96 W15 Index:L92 W15 Palm:W101	u27p2.bmp Little:L78 W15 Ring:L91 W15 Middle:L96 W15 Index:L93 W15 Palm:W101	u27p3.bmp Little:L72 W15 Ring:L86 W15 Middle:L93 W15 Index:L91 W15 Palm:W95

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
29	u29p1.bmp Little:L70 W12 Ring:L81 W15 Middle:L86 W16 Index:L83 W16 Palm:W89	u29p2.bmp Little:L70 W13 Ring:L80 W15 Middle:L87 W16 Index:L85 W17 Palm:W90	u29p3.bmp Little:L65 W13 Ring:L77 W16 Middle:L85 W17 Index:L83 W17 Palm:W86
30	u29p1.bmp Little:L71 W14 Ring:L80 W17 Middle:L85 W18 Palm:W94	u29p2.bmp Little:L70 W15 Ring:L80 W17 Middle:L84 W19 Index:L85 W19 Palm:W97	u29p3.bmp Little:L70 W14 Ring:L79 W17 Middle:L84 W18 Index:L86 W18 Palm:W92
31	u30p1.bmp Little:L85 W16 Ring:L71 W17 Middle:L81 W20 Index:L82 W20 Palm:W95	u30p2.bmp Little:L87 W16 Ring:L75 W17 Middle:L82 W20 Index:L81 W20 Palm:W98	u30p3.bmp Little:L83 W16 Ring:L64 W19 Middle:L73 W15 Index:L76 W19 Palm:W95
32	u31p1.bmp Little:L73 W15 Ring:L81 W17 Middle:L84 W18 Index:L79 W18 Palm:W95	u31p2.bmp Little:L73 W16 Ring:L82 W17 Middle:L84 W18 Index:L81 W18 Palm:W96	u31p3.bmp Little:L71 W15 Ring:L79 W17 Middle:L82 W18 Index:L79 W18 Palm:W94
33	u32p1.bmp Little:L73 W14 Ring:L82 W16 Middle:L88 W18 Index:L89 W19 Palm:W94	u32p2.bmp Little:L70 W14 Ring:L84 W16 Middle:L88 W18 Index:L85 W18 Palm:W94	u32p3.bmp Little:L65 W14 Ring:L77 W16 Middle:L87 W18 Index:L90 W19 Palm:W91
34	u33p1.bmp Little:L86 W14 Ring:L72 W16 Middle:L78 W17 Index:L82 W16 Palm:W85	u33p2.bmp Little:L77 W14 Ring:L73 W16 Middle:L88 W18 Index:L82 W18 Palm:W88	u33p3.bmp Little:L83 W14 Ring:L72 W15 Middle:L78 W17 Index:L82 W17 Palm:W83
35	u34p1.bmp Little:L85 W16 Ring:L84 W16 Middle:L92 W20 Index:L90 W21 Palm:W101	u34p2.bmp Little:L87 W17 Ring:L95 W18 Middle:L92 W20 Index:L90 W20 Palm:W103	u34p3.bmp Little:L83 W17 Ring:L83 W18 Middle:L90 W20 Index:L90 W20 Palm:W100

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางขิดนิ้วมือเล็กน้อย
36	u35p1.bmp Little:L89 W12 Ring:L70 W14 Middle:L77 W15 Index:L72 W16 Palm:W83	u35p2.bmp Little:L89 W12 Ring:L70 W14 Middle:L77 W15 Index:L71 W16 Palm:W84	u35p3.bmp Little:L85 W12 Ring:L66 W14 Middle:L75 W15 Index:L71 W16 Palm:W81
37	u36p1.bmp Little:L77 W14 Ring:L89 W17 Middle:L92 W1 Index:L88 W15 Palm:W95	u36p2.bmp Little:L76 W15 Ring:L89 W16 Middle:L91 W Index:L90 W11 Palm:W96	u36p3.bmp Little:L75 W15 Ring:L87 W16 Middle:L91 W16 Index:L86 W18 Palm:W94
38	u37p1.bmp Little:L89 W12 Ring:L82 W15 Middle:L88 W16 Index:L83 W16 Palm:W87	u37p2.bmp Little:L89 W12 Ring:L82 W15 Middle:L87 W16 Index:L83 W16 Palm:W88	u37p3.bmp Little:L89 W12 Ring:L81 W15 Middle:L88 W16 Index:L83 W16 Palm:W86
39	u38p1.bmp Little:L72 W12 Ring:L84 W15 Middle:L91 W17 Index:L86 W16 Palm:W86	u38p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L85 W15 Middle:L91 W17 Index:L86 W16 Palm:W89	u38p3.bmp Little:L89 W13 Ring:L82 W15 Middle:L89 W16 Index:L84 W16 Palm:W84
40	u39p1.bmp Little:L72 W12 Ring:L81 W15 Middle:L83 W16 Index:L80 W16 Palm:W89	u39p2.bmp Little:L70 W12 Ring:L80 W16 Middle:L83 W16 Index:L80 W16 Palm:W90	u39p3.bmp Little:L70 W13 Ring:L80 W15 Middle:L83 W16 Index:L79 W16 Palm:W87
41	u40p1.bmp Little:L89 W13 Ring:L80 W16 Middle:L86 W19 Index:L79 W18 Palm:W93	u40p2.bmp Little:L85 W13 Ring:L81 W15 Middle:L86 W19 Index:L80 W12 Palm:W92	u40p3.bmp Little:L87 W14 Ring:L76 W16 Middle:L83 W19 Index:L76 W18 Palm:W91
42	u41p1.bmp Little:L74 W15 Ring:L84 W17 Middle:L89 W1 Index:L88 W19 Palm:W97	u41p2.bmp Little:L75 W15 Ring:L85 W18 Middle:L90 W1 Index:L90 W17 Palm:W96	u41p3.bmp Little:L74 W15 Ring:L84 W16 Middle:L90 W1 Index:L88 W19 Palm:W95

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
43	u42p1.bmp Little:L74 W14 Ring:L57 W15 Middle:L92 W15 Index:L85 W16 Palm:W94	u42p2.bmp Little:L74 W14 Ring:L67 W17 Middle:L92 W16 Index:L87 W17 Palm:W94	u42p3.bmp Little:L71 W15 Ring:L86 W17 Middle:L83 W16 Index:L85 W18 Palm:W92
44	u43p1.bmp Little:L87 W15 Ring:L77 W16 Middle:L81 W13 Index:L79 W13 Palm:W93	u43p2.bmp Little:L89 W14 Ring:L76 W16 Middle:L82 W13 Index:L79 W13 Palm:W91	u43p3.bmp Little:L59 W14 Ring:L71 W16 Middle:L76 W17 Index:L77 W16 Palm:W90
45	u44p1.bmp Little:L89 W13 Ring:L81 W16 Middle:L86 W16 Index:L79 W17 Palm:W93	u44p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L82 W15 Middle:L86 W16 Index:L80 W17 Palm:W93	u44p3.bmp Little:L87 W13 Ring:L80 W16 Middle:L86 W16 Index:L78 W17 Palm:W92
46	u45p1.bmp Little:L88 W14 Ring:L77 W16 Middle:L86 W16 Index:L86 W19 Palm:W97	u45p2.bmp Little:L77 W13 Ring:L77 W16 Middle:L87 W16 Index:L86 W16 Palm:W96	u45p3.bmp Little:L84 W14 Ring:L74 W16 Middle:L85 W16 Index:L85 W19 Palm:W96
47	u46p1.bmp Little:L70 W11 Ring:L84 W14 Middle:L90 W16 Index:L87 W15 Palm:W87	u46p2.bmp Little:L74 W12 Ring:L85 W16 Middle:L90 W16 Index:L85 W15 Palm:W87	u46p3.bmp Little:L67 W12 Ring:L83 W14 Middle:L90 W16 Index:L85 W15 Palm:W85
48	u47p1.bmp Little:L84 W14 Ring:L76 W16 Middle:L81 W17 Index:L79 W16 Palm:W91	u47p2.bmp Little:L74 W14 Ring:L76 W15 Middle:L89 W17 Index:L79 W17 Palm:W92	u47p3.bmp Little:L82 W14 Ring:L75 W16 Middle:L80 W17 Index:L77 W17 Palm:W90
49	u48p1.bmp Little:L78 W13 Ring:L83 W16 Middle:L98 W17 Index:L85 W16 Palm:W99	u48p2.bmp Little:L78 W13 Ring:L92 W16 Middle:L99 W16 Index:L86 W16 Palm:W98	u48p3.bmp Little:L71 W13 Ring:L80 W14 Middle:L98 W16 Index:L86 W17 Palm:W95

บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
50	u49p1.bmp Little:L73 W14 Ring:L57 W17 Middle:L83 W15 Index:L89 W15 Palm:W99	u49p2.bmp Little:L73 W15 Ring:L67 W15 Middle:L82 W19 Index:L88 W19 Palm:W101	u49p3.bmp Little:L72 W15 Ring:L66 W15 Middle:L82 W15 Index:L89 W18 Palm:W95
51	u50p1.bmp Little:L68 W15 Ring:L76 W17 Middle:L85 W20 Index:L78 W19 Palm:W94	u50p2.bmp Little:L68 W15 Ring:L76 W17 Middle:L86 W19 Index:L79 W19 Palm:W94	u50p3.bmp Little:L68 W15 Ring:L77 W17 Middle:L83 W20 Index:L77 W19 Palm:W92
52	u51p1.bmp Little:L69 W12 Ring:L79 W16 Middle:L83 W17 Index:L84 W17 Palm:W90	u51p2.bmp Little:L69 W12 Ring:L79 W15 Middle:L85 W17 Index:L85 W16 Palm:W90	u51p3.bmp Little:L70 W13 Ring:L79 W16 Middle:L83 W17 Index:L84 W17 Palm:W85
53	u52p1.bmp Little:L72 W13 Ring:L76 W16 Middle:L83 W17 Index:L80 W17 Palm:W90	u52p2.bmp Little:L71 W14 Ring:L76 W15 Middle:L83 W17 Index:L79 W15 Palm:W89	u52p3.bmp Little:L69 W14 Ring:L77 W16 Middle:L83 W15 Index:L79 W17 Palm:W89
54	u53p1.bmp Little:L69 W13 Ring:L76 W14 Middle:L83 W15 Index:L82 W15 Palm:W86	u53p2.bmp Little:L69 W13 Ring:L76 W13 Middle:L84 W15 Index:L81 W16 Palm:W87	u53p3.bmp Little:L69 W12 Ring:L76 W14 Middle:L81 W15 Index:L80 W15 Palm:W87
55	u54p1.bmp Little:L69 W14 Ring:L62 W17 Middle:L88 W19 Index:L87 W18 Palm:W93	u54p2.bmp Little:L69 W14 Ring:L63 W15 Middle:L88 W19 Index:L88 W18 Palm:W92	u54p3.bmp Little:L69 W15 Ring:L61 W17 Middle:L88 W18 Index:L87 W18 Palm:W91
56	u55p1.bmp Little:L58 W12 Ring:L64 W14 Middle:L69 W15 Index:L67 W16 Palm:W82	u55p2.bmp Little:L56 W12 Ring:L65 W14 Middle:L70 W15 Index:L70 W15 Palm:W80	u55p3.bmp Little:L54 W12 Ring:L60 W14 Middle:L66 W15 Index:L67 W15 Palm:W81



บุคคลที่	ท่าทางวางมือปกติ	ท่าทางขยายมือกว้าง	ท่าทางซิดนิ้วมือเล็กน้อย
57	u56p1.bmp Little:L84 W13 Ring:L77 W15 Middle:L80 W17 Index:L84 W16 Palm:W83	u56p2.bmp Little:L85 W13 Ring:L76 W15 Middle:L87 W17 Index:L86 W16 Palm:W84	u56p3.bmp Little:L86 W13 Ring:L76 W15 Middle:L80 W17 Index:L84 W16 Palm:W83
58	u57p1.bmp Little:L71 W13 Ring:L57 W16 Middle:L90 W17 Palm:W94	u57p2.bmp Little:L71 W13 Ring:L85 W16 Middle:L89 W17 Palm:W94	u57p3.bmp Little:L70 W13 Ring:L86 W16 Middle:L90 W17 Index:L85 W17 Palm:W93
59	u58p1.bmp Little:L77 W13 Ring:L82 W15 Middle:L85 W16 Index:L84 W16 Palm:W91	u58p2.bmp Little:L75 W13 Ring:L61 W15 Middle:L85 W16 Index:L84 W16 Palm:W91	u58p3.bmp Little:L76 W13 Ring:L82 W15 Middle:L80 W16 Index:L83 W16 Palm:W89
60	u59p1.bmp Little:L78 W15 Ring:L57 W16 Middle:L88 W17 Index:L88 W19 Palm:W99	u59p2.bmp Little:L75 W15 Ring:L86 W16 Middle:L88 W17 Index:L88 W19 Palm:W98	u59p3.bmp Little:L75 W15 Ring:L86 W16 Middle:L88 W17 Index:L88 W19 Palm:W97

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงข้อมูลผลความแตกต่างระหว่างท่าทางการวางมือ



		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง
		ความยาว				ความกว้าง					
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	
ชุดที่ 1	(1) ทาบปรกติ	65	78	82	80	89	14	17	18	19	
	(2) ทาบย่นิ้ว	65	78	82	81	89	14	16	18	19	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	64	77	82	80	87	13	16	17	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
	ความต่าง(1)-(3)	1	1	0	0	2	1	1	1	1	8
ชุดที่ 2	(1) ทาบปรกติ	74	83	89	89	95	15	17	19	19	
	(2) ทาบย่นิ้ว	74	82	88	88	97	16	17	19	19	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	74	82	88	89	96	16	17	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	1	2	1	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	0	1	1	0	1	1	0	0	0	4
ชุดที่ 3	(1) ทาบปรกติ	73	86	94	93	93	13	15	17	17	
	(2) ทาบย่นิ้ว	72	85	94	93	93	13	15	16	17	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	69	82	91	89	91	13	16	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	0	0	0	0	0	1	0	3
	ความต่าง(1)-(3)	4	4	3	4	2	0	1	0	0	18
ชุดที่ 4	(1) ทาบปรกติ	71	86	92	86	95	14	17	18	19	
	(2) ทาบย่นิ้ว	72	86	91	87	96	14	17	18	19	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	68	84	91	84	93	15	17	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	1	1	1	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	3	2	1	2	2	1	0	1	0	12
ชุดที่ 5	(1) ทาบปรกติ	71	74	78	75	87	13	15	17	17	
	(2) ทาบย่นิ้ว	71	75	78	75	88	13	15	17	17	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	71	74	79	75	86	13	15	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
	ความต่าง(1)-(3)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
ชุดที่ 6	(1) ทาบปรกติ	74	79	83	81	104	17	18	20	20	
	(2) ทาบย่นิ้ว	73	80	84	83	105	17	18	20	20	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	63	71	78	81	101	17	18	20	20	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	2	1	0	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	11	8	5	0	3	0	0	0	0	27
ชุดที่ 7	(1) ทาบปรกติ	71	81	86	78	97	16	17	19	18	
	(2) ทาบย่นิ้ว	69	81	87	80	97	15	17	19	18	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	65	65	71	76	95	15	17	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	2	0	1	2	0	1	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	6	16	15	2	2	1	0	0	0	42
ชุดที่ 8	(1) ทาบปรกติ	70	83	90	84	91	13	16	16	15	
	(2) ทาบย่นิ้ว	70	84	89	83	92	13	15	16	16	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	69	83	89	82	90	13	15	16	16	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	1	1	0	1	0	1	6
	ความต่าง(1)-(3)	1	0	1	2	1	0	1	0	1	7
ชุดที่ 9	(1) ทาบปรกติ	72	82	86	85	98	14	16	17	18	
	(2) ทาบย่นิ้ว	71	81	86	84	99	14	16	18	18	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	70	81	85	86	97	13	16	18	18	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	0	1	1	0	0	1	0	5
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	1	1	1	1	0	1	0	8
ชุดที่ 10	(1) ทาบปรกติ	66	73	78	75	103	16	18	20	20	
	(2) ทาบย่นิ้ว	65	74	80	76	106	18	19	21	21	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	58	70	77	74	101	17	18	20	20	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	2	1	3	2	1	1	1	13
	ความต่าง(1)-(3)	8	3	1	1	2	1	0	0	0	16
	ความต่าง(2)-(3)	7	4	3	2	5	1	1	1	1	25

		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง
		ความยาว				ความกว้าง					
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	
ชุดที่ 11	(1) ทาปรกติ	73	86	93	88	96	14	17	18	17	
	(2) ทายายนิ้ว	73	86	91	88	96	14	17	19	18	
	(3) ทาขิดนิ้ว	69	85	92	87	95	14	17	18	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	2	0	0	0	0	1	1	4
	ความต่าง(1)-(3)	4	1	1	1	1	0	0	0	1	9
ชุดที่ 12	(1) ทาปรกติ	72	83	87	85	101	15	18	19	20	
	(2) ทายายนิ้ว	71	83	87	84	103	16	18	19	20	
	(3) ทาขิดนิ้ว	68	79	86	84	101	17	19	20	20	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	0	1	2	1	0	0	0	5
	ความต่าง(1)-(3)	4	4	1	1	0	2	1	1	0	14
ชุดที่ 13	(1) ทาปรกติ	79	89	96	93	95	14	17	18	18	
	(2) ทายายนิ้ว	78	89	96	94	96	14	17	18	19	
	(3) ทาขิดนิ้ว	76	89	96	94	92	14	17	17	18	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	0	1	1	0	0	0	1	4
	ความต่าง(1)-(3)	3	0	0	1	3	0	0	1	0	8
ชุดที่ 14	(1) ทาปรกติ	68	78	85	82	92	14	16	18	18	
	(2) ทายายนิ้ว	68	79	86	83	93	14	16	18	18	
	(3) ทาขิดนิ้ว	65	76	84	82	90	14	16	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	3	2	1	0	2	0	0	1	0	9
ชุดที่ 15	(1) ทาปรกติ	75	83	91	89	94	14	17	18	18	
	(2) ทายายนิ้ว	74	83	91	87	94	14	16	18	18	
	(3) ทาขิดนิ้ว	77	81	90	87	94	15	17	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	0	2	0	0	1	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	2	2	1	2	0	1	0	1	0	9
ชุดที่ 16	(1) ทาปรกติ	69	82	87	81	83	12	14	15	15	
	(2) ทายายนิ้ว	70	82	86	81	84	12	14	15	15	
	(3) ทาขิดนิ้ว	69	81	86	79	80	12	14	15	15	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	1	0	1	0	0	0	0	3
	ความต่าง(1)-(3)	0	1	1	2	3	0	0	0	0	7
ชุดที่ 17	(1) ทาปรกติ	72	81	86	80	96	14	16	18	18	
	(2) ทายายนิ้ว	70	80	85	80	94	14	16	18	18	
	(3) ทาขิดนิ้ว	69	80	85	79	94	15	17	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	2	1	1	0	0	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	3	1	1	1	2	1	1	1	1	12
ชุดที่ 18	(1) ทาปรกติ	78	91	95	87	99	15	17	19	18	
	(2) ทายายนิ้ว	78	92	97	89	98	15	17	19	18	
	(3) ทาขิดนิ้ว	74	89	96	88	94	15	17	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	2	2	1	0	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	4	2	1	1	5	0	0	0	0	13
ชุดที่ 19	(1) ทาปรกติ	72	84	89	87	87	14	16	17	17	
	(2) ทายายนิ้ว	73	84	89	86	88	13	16	16	16	
	(3) ทาขิดนิ้ว	66	81	88	86	84	13	15	16	16	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	0	1	1	1	0	1	1	6
	ความต่าง(1)-(3)	6	3	1	1	3	1	1	1	1	18
ชุดที่ 20	(1) ทาปรกติ	77	85	89	87	102	15	17	19	19	
	(2) ทายายนิ้ว	77	86	89	88	103	15	18	19	19	
	(3) ทาขิดนิ้ว	77	85	88	85	100	14	17	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	0	1	1	0	1	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	0	0	1	2	2	1	0	0	1	7
	ความต่าง(2)-(3)	0	1	1	3	3	1	1	0	1	11

		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง
		ความยาว				ความกว้าง					
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	
บุคคณท 21	(1) ทาปรคค	79	88	94	88	97	14	17	19	18	
	(2) ทาขยยนิ้ว	77	88	94	89	97	13	17	19	18	
	(3) ทาขคคนิ้ว	77	87	93	88	96	14	17	19	18	
	ความตาง(1)-(2)	2	0	0	1	0	1	0	0	0	4
	ความตาง(1)-(3)	2	1	1	0	1	0	0	0	0	5
บุคคณท 22	(1) ทาปรคค	66	79	83	79	87	15	16	18	18	
	(2) ทาขยยนิ้ว	67	79	83	79	88	15	16	17	18	
	(3) ทาขคคนิ้ว	60	75	83	80	82	14	15	17	16	
	ความตาง(1)-(2)	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3
	ความตาง(1)-(3)	6	4	0	1	5	1	1	1	2	21
บุคคณท 23	(1) ทาปรคค	67	75	83	77	93	14	16	18	17	
	(2) ทาขยยนิ้ว	66	76	84	78	92	13	16	18	18	
	(3) ทาขคคนิ้ว	65	74	83	76	91	14	15	18	17	
	ความตาง(1)-(2)	1	1	1	1	1	1	0	0	1	7
	ความตาง(1)-(3)	2	1	0	1	2	0	1	0	0	7
บุคคณท 24	(1) ทาปรคค	68	78	85	83	88	13	16	18	18	
	(2) ทาขยยนิ้ว	68	79	85	83	89	13	15	18	18	
	(3) ทาขคคนิ้ว	65	78	85	82	88	13	16	18	18	
	ความตาง(1)-(2)	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3
	ความตาง(1)-(3)	3	0	0	1	0	0	0	0	0	4
บุคคณท 25	(1) ทาปรคค	61	73	78	78	77	12	13	16	16	
	(2) ทาขยยนิ้ว	60	73	78	79	78	12	13	16	16	
	(3) ทาขคคนิ้ว	58	71	77	77	76	13	14	16	16	
	ความตาง(1)-(2)	1	0	0	1	1	0	0	0	0	3
	ความตาง(1)-(3)	3	2	1	1	1	1	1	0	0	10
บุคคณท 26	(1) ทาปรคค	55	67	72	70	86	13	15	17	17	
	(2) ทาขยยนิ้ว	56	69	72	72	85	13	15	17	18	
	(3) ทาขคคนิ้ว	53	62	67	69	84	13	15	17	18	
	ความตาง(1)-(2)	1	2	0	2	1	0	0	0	1	7
	ความตาง(1)-(3)	2	5	5	1	2	0	0	0	1	16
บุคคณท 27	(1) ทาปรคค	66	78	83	77	82	12	15	16	16	
	(2) ทาขยยนิ้ว	66	79	83	77	83	13	15	16	16	
	(3) ทาขคคนิ้ว	64	71	76	76	81	13	15	16	16	
	ความตาง(1)-(2)	0	1	0	0	1	1	0	0	0	3
	ความตาง(1)-(3)	2	7	7	1	1	1	0	0	0	19
บุคคณท 28	(1) ทาปรคค	78	91	96	92	101	15	18	19	19	
	(2) ทาขยยนิ้ว	78	91	96	93	100	16	18	19	19	
	(3) ทาขคคนิ้ว	72	86	93	91	96	15	18	20	19	
	ความตาง(1)-(2)	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3
	ความตาง(1)-(3)	6	5	3	1	5	0	0	1	0	21
บุคคณท 29	(1) ทาปรคค	70	81	86	83	89	12	15	16	16	
	(2) ทาขยยนิ้ว	70	80	87	85	90	13	15	16	16	
	(3) ทาขคคนิ้ว	65	77	85	83	86	13	16	17	17	
	ความตาง(1)-(2)	0	1	1	2	1	1	0	0	0	6
	ความตาง(1)-(3)	5	4	1	0	3	1	1	1	1	17
บุคคณท 30	(1) ทาปรคค	71	80	85	86	94	14	17	18	18	
	(2) ทาขยยนิ้ว	70	80	84	86	97	15	17	19	19	
	(3) ทาขคคนิ้ว	70	79	84	86	92	14	17	18	18	
	ความตาง(1)-(2)	1	0	1	0	3	1	0	1	1	8
	ความตาง(1)-(3)	1	1	1	0	2	0	0	0	0	5
	ความตาง(2)-(3)	0	1	0	0	5	1	0	1	1	9

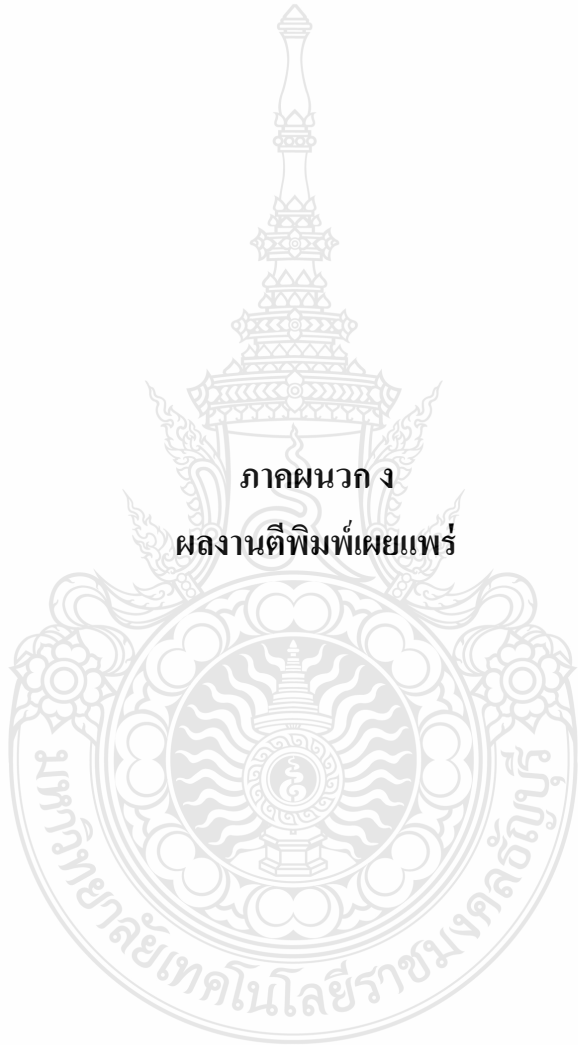
		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง	
		ความยาว				ความกว้าง						
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้		
ภาคที่ 31	(1) ทาบปรกติ	65	71	81	82	95	16	17	20	20		
	(2) ทาบย่นิ้ว	67	73	82	81	98	16	17	20	20		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	63	64	73	76	96	16	16	19	19		
	ความต่าง(1)-(2)	2	2	1	1	3	0	0	0	0		9
	ความต่าง(1)-(3)	2	7	8	6	1	0	1	1	1		27
	ความต่าง(2)-(3)	4	9	9	5	2	0	1	1	1		32
ภาคที่ 32	(1) ทาบปรกติ	73	81	84	79	95	15	17	18	18		
	(2) ทาบย่นิ้ว	73	82	84	81	96	15	17	18	19		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	71	79	82	79	94	15	17	18	18		
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	0	2	1	0	0	0	1		5
	ความต่าง(1)-(3)	2	2	2	0	1	0	0	0	0		7
	ความต่าง(2)-(3)	2	3	2	2	2	0	0	0	1		12
ภาคที่ 33	(1) ทาบปรกติ	73	82	88	89	94	14	16	18	19		
	(2) ทาบย่นิ้ว	70	84	89	89	94	14	16	18	18		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	65	77	87	90	91	14	16	18	19		
	ความต่าง(1)-(2)	3	2	1	0	0	0	0	0	1		7
	ความต่าง(1)-(3)	8	5	1	1	3	0	0	0	0		18
	ความต่าง(2)-(3)	5	7	2	1	3	0	0	0	1		19
ภาคที่ 34	(1) ทาบปรกติ	66	72	78	82	85	14	16	17	18		
	(2) ทาบย่นิ้ว	67	73	79	82	88	14	16	17	18		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	63	72	78	82	83	14	15	17	17		
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	0	3	0	0	0	0		6
	ความต่าง(1)-(3)	3	0	0	0	2	0	1	0	1		7
	ความต่าง(2)-(3)	4	1	1	0	5	0	1	0	1		13
ภาคที่ 35	(1) ทาบปรกติ	65	84	92	90	101	16	18	20	21		
	(2) ทาบย่นิ้ว	67	85	92	90	103	17	19	20	22		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	63	83	90	90	100	17	19	20	20		
	ความต่าง(1)-(2)	2	1	0	0	2	1	1	0	1		8
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	2	0	1	1	1	0	1		9
	ความต่าง(2)-(3)	4	2	2	0	3	0	0	0	2		13
ภาคที่ 36	(1) ทาบปรกติ	60	70	77	72	83	12	14	15	16		
	(2) ทาบย่นิ้ว	59	70	77	71	84	12	14	15	16		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	55	66	75	71	81	12	14	15	16		
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	0	1	1	0	0	0	0		3
	ความต่าง(1)-(3)	5	4	2	1	2	0	0	0	0		14
	ความต่าง(2)-(3)	4	4	2	0	3	0	0	0	0		13
ภาคที่ 37	(1) ทาบปรกติ	77	89	92	88	95	14	17	17	18		
	(2) ทาบย่นิ้ว	76	89	91	90	96	15	16	17	18		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	75	87	91	86	94	15	16	18	18		
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	1	2	1	1	1	0	0		7
	ความต่าง(1)-(3)	2	2	1	2	1	1	1	1	0		11
	ความต่าง(2)-(3)	1	2	0	4	2	0	0	1	0		10
ภาคที่ 38	(1) ทาบปรกติ	69	82	88	83	87	12	15	16	16		
	(2) ทาบย่นิ้ว	69	82	87	83	88	12	15	16	16		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	69	81	88	83	86	12	15	16	16		
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	1	0	1	0	0	0	0		2
	ความต่าง(1)-(3)	0	1	0	0	1	0	0	0	0		2
	ความต่าง(2)-(3)	0	1	1	0	2	0	0	0	0		4
ภาคที่ 39	(1) ทาบปรกติ	72	84	91	86	86	12	15	17	16		
	(2) ทาบย่นิ้ว	73	85	91	86	89	13	15	17	17		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	68	82	89	84	84	13	15	16	16		
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	0	0	3	1	0	0	1		7
	ความต่าง(1)-(3)	4	2	2	2	2	1	0	1	0		14
	ความต่าง(2)-(3)	5	3	2	2	5	0	0	1	1		19
ภาคที่ 40	(1) ทาบปรกติ	72	81	83	80	89	12	15	16	16		
	(2) ทาบย่นิ้ว	70	80	83	80	90	12	14	16	17		
	(3) ทาบชิดนิ้ว	70	80	83	79	87	13	15	16	16		
	ความต่าง(1)-(2)	2	1	0	0	1	0	1	0	1		6
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	0	1	2	1	0	0	0		7
	ความต่าง(2)-(3)	0	0	0	1	3	1	1	0	1		7

		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง
		ความยาว				ความกว้าง					
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	ฝ่ามือ	นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	
ชุดที่ 41	(1) ทาบปรกติ	68	80	86	79	93	13	16	18	18	
	(2) ทาบย่นิ้ว	68	81	86	80	93	13	15	18	17	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	67	78	83	76	91	14	16	18	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	0	1	0	0	1	0	1	4
	ความต่าง(1)-(3)	1	2	3	3	2	1	0	0	0	12
	ความต่าง(2)-(3)	1	3	3	4	2	1	1	0	1	16
ชุดที่ 42	(1) ทาบปรกติ	74	84	89	89	97	15	17	19	19	
	(2) ทาบย่นิ้ว	75	85	90	90	96	15	17	19	18	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	74	84	90	88	95	15	18	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	1	1	0	0	0	1	6
	ความต่าง(1)-(3)	0	0	1	1	2	0	1	0	0	5
	ความต่าง(2)-(3)	1	1	0	2	1	0	1	0	1	7
ชุดที่ 43	(1) ทาบปรกติ	74	87	92	85	94	14	18	19	18	
	(2) ทาบย่นิ้ว	74	87	93	87	94	14	17	18	17	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	71	86	93	85	92	15	17	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	1	2	0	0	1	1	1	6
	ความต่าง(1)-(3)	3	1	1	0	2	1	1	0	0	9
	ความต่าง(2)-(3)	3	1	0	2	2	1	0	1	1	11
ชุดที่ 44	(1) ทาบปรกติ	67	77	81	79	93	15	16	18	19	
	(2) ทาบย่นิ้ว	68	78	82	79	91	14	16	17	18	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	59	71	76	77	90	14	16	17	18	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	0	2	1	0	1	1	8
	ความต่าง(1)-(3)	8	6	5	2	3	1	0	1	1	27
	ความต่าง(2)-(3)	9	7	6	2	1	0	0	0	0	25
ชุดที่ 45	(1) ทาบปรกติ	69	81	86	79	93	13	16	18	17	
	(2) ทาบย่นิ้ว	71	82	86	80	93	13	15	17	17	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	67	80	86	78	92	13	16	18	17	
	ความต่าง(1)-(2)	2	1	0	1	0	0	1	1	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	0	1	1	0	0	0	0	5
	ความต่าง(2)-(3)	4	2	0	2	1	0	1	1	0	11
ชุดที่ 46	(1) ทาบปรกติ	66	77	86	86	97	14	16	19	19	
	(2) ทาบย่นิ้ว	67	77	87	86	96	13	15	18	19	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	64	74	85	85	96	14	16	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	1	0	1	1	1	1	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	2	3	1	1	1	0	0	0	0	8
	ความต่าง(2)-(3)	3	3	2	1	0	1	1	1	0	12
ชุดที่ 47	(1) ทาบปรกติ	70	84	90	87	87	11	14	16	15	
	(2) ทาบย่นิ้ว	69	85	90	88	87	12	14	16	15	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	67	83	90	88	85	12	14	16	15	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	0	1	0	1	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	3	1	0	1	2	1	0	0	0	8
	ความต่าง(2)-(3)	2	2	0	0	2	0	0	0	0	6
ชุดที่ 48	(1) ทาบปรกติ	64	76	81	79	91	14	16	17	16	
	(2) ทาบย่นิ้ว	64	76	80	78	92	14	15	17	17	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	62	75	80	77	90	14	16	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	1	1	1	0	1	0	1	5
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	1	2	1	0	0	0	1	8
	ความต่าง(2)-(3)	2	1	0	1	2	0	1	0	0	7
ชุดที่ 49	(1) ทาบปรกติ	78	93	98	95	99	15	17	19	18	
	(2) ทาบย่นิ้ว	78	92	99	96	98	15	17	19	18	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	71	90	98	96	95	15	18	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	7	3	0	1	4	0	1	0	1	17
	ความต่าง(2)-(3)	7	2	1	0	3	0	1	0	1	15
ชุดที่ 50	(1) ทาบปรกติ	73	87	93	89	99	14	17	19	18	
	(2) ทาบย่นิ้ว	73	87	93	88	101	15	18	19	18	
	(3) ทาบชิดนิ้ว	72	86	92	89	98	15	18	19	18	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	0	1	2	1	1	0	0	5
	ความต่าง(1)-(3)	1	1	1	0	1	1	1	0	0	6
	ความต่าง(2)-(3)	1	1	1	1	3	0	0	0	0	7

		มิลลิเมตร									ผลรวมความแตกต่าง
		ความยาว				ฝ่ามือ	ความกว้าง				
		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้		นิ้วก้อย	นิ้วนาง	นิ้วกลาง	นิ้วชี้	
บุคคลที่ 51	(1) ท่าปรกติ	68	78	85	78	94	15	17	20	19	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	68	79	86	79	94	15	17	19	19	
	(3) ท่าขีดยืน	66	77	83	77	92	15	17	20	19	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	1	0	0	0	1	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	2	1	2	0	0	0	0	8
	ความต่าง(2)-(3)	2	2	3	2	2	0	0	1	0	12
บุคคลที่ 52	(1) ท่าปรกติ	69	79	83	84	90	12	16	17	17	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	69	79	83	85	90	12	15	17	16	
	(3) ท่าขีดยืน	70	79	83	84	88	13	16	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
	ความต่าง(1)-(3)	1	0	0	0	2	1	0	0	0	4
	ความต่าง(2)-(3)	1	0	0	1	2	1	1	0	1	7
บุคคลที่ 53	(1) ท่าปรกติ	72	78	83	80	90	13	16	17	17	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	71	78	83	79	89	14	15	17	18	
	(3) ท่าขีดยืน	69	77	83	79	89	14	16	18	17	
	ความต่าง(1)-(2)	1	0	0	1	1	1	1	0	1	6
	ความต่าง(1)-(3)	3	1	0	1	1	1	0	1	0	8
	ความต่าง(2)-(3)	2	1	0	0	0	0	1	1	1	6
บุคคลที่ 54	(1) ท่าปรกติ	69	78	83	82	86	13	14	15	15	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	69	78	84	84	87	13	13	15	16	
	(3) ท่าขีดยืน	69	76	81	80	87	12	14	15	15	
	ความต่าง(1)-(2)	0	0	1	2	1	0	1	0	1	6
	ความต่าง(1)-(3)	0	2	2	2	1	1	0	0	0	8
	ความต่าง(2)-(3)	0	2	3	4	0	1	1	0	1	12
บุคคลที่ 55	(1) ท่าปรกติ	69	82	88	87	93	14	17	19	18	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	68	83	89	88	92	14	16	19	18	
	(3) ท่าขีดยืน	65	81	88	87	91	15	17	18	18	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	1	1	0	1	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	4	1	0	0	2	1	0	1	0	9
	ความต่าง(2)-(3)	3	2	1	1	1	1	1	1	0	11
บุคคลที่ 56	(1) ท่าปรกติ	56	64	69	67	82	12	14	15	16	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	56	65	70	70	80	12	14	15	15	
	(3) ท่าขีดยืน	54	60	66	67	81	12	14	15	15	
	ความต่าง(1)-(2)	0	1	1	3	2	0	0	0	1	8
	ความต่าง(1)-(3)	2	4	3	0	1	0	0	0	1	11
	ความต่าง(2)-(3)	2	5	4	3	1	0	0	0	0	15
บุคคลที่ 57	(1) ท่าปรกติ	64	77	86	84	83	13	15	17	16	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	65	78	87	86	84	13	15	17	16	
	(3) ท่าขีดยืน	66	78	86	84	83	13	15	17	16	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	1	2	1	0	0	0	0	6
	ความต่าง(1)-(3)	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	ความต่าง(2)-(3)	1	0	1	2	1	0	0	0	0	5
บุคคลที่ 58	(1) ท่าปรกติ	71	87	90	86	94	13	16	17	17	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	71	85	89	85	94	13	16	17	17	
	(3) ท่าขีดยืน	70	86	90	85	93	13	16	17	17	
	ความต่าง(1)-(2)	0	2	1	1	0	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	1	1	0	1	1	0	0	0	0	4
	ความต่าง(2)-(3)	1	1	1	0	1	0	0	0	0	4
บุคคลที่ 59	(1) ท่าปรกติ	77	82	85	84	91	13	15	17	16	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	75	81	86	84	91	13	15	17	16	
	(3) ท่าขีดยืน	76	82	86	83	89	13	15	17	16	
	ความต่าง(1)-(2)	2	1	1	0	0	0	0	0	0	4
	ความต่าง(1)-(3)	1	0	1	1	2	0	0	0	0	5
	ความต่าง(2)-(3)	1	1	0	1	2	0	0	0	0	5
บุคคลที่ 60	(1) ท่าปรกติ	76	87	88	88	99	15	18	19	19	
	(2) ท่าขยายนิ้ว	75	86	88	88	98	15	18	19	19	
	(3) ท่าขีดยืน	75	86	88	88	97	15	18	19	19	
	ความต่าง(1)-(2)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3
	ความต่าง(1)-(3)	1	1	0	0	2	0	0	0	0	4
	ความต่าง(2)-(3)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1



ภาคผนวก ง  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



# 17<sup>th</sup> ICSEC

International Computer Science  
and Engineering Conference 2013

## Proceedings of ICSEC2013 THE 2013 INTERNATIONAL COMPUTER SCIENCE AND ENGINEERING CONFERENCE

September 4<sup>th</sup> - 6<sup>th</sup>, 2013  
Department of Computing, Faculty of Science  
Silpakorn University, Thailand

Vol.2 : National Sessions



## Other reviewers

### External Reviewers

Komate Amphawan, Burapha University, Thailand  
 Tanapat Anusas-amornkul, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand  
 Chutiporn Anutariya, Shinawatra University, Thailand  
 Saowalak Arampongsanuwat, Silpakorn University, Thailand  
 Bahareh Asadi, Azad University, Iran  
 Namfon Assawamekin, University of the Thai Chamber of Commerce, Thailand  
 Yacine Atif, UAE University, UAE  
 Mehdi Bahrami, University of California, Merced & Lian Processor Co., USA  
 Vo Nguyen Quoc Bao, Posts and Telecommunications Institute of Technology, Vietnam  
 Emad A. Bataineh, Zayed University, UAE  
 Vincent Berment, Université de Grenoble, France  
 Aniruddha Bhattacharjya, CSE Department Amrita School of Engineering Amrita Vishwa VidyaPeetham  
 BANGALORE, India  
 Pattarasinee Bhattarakosol, Chulalongkorn University, Thailand  
 Veera Boonjing, KMUTL, Thailand  
 Pudsadee Boonrawd, KMUT-NB, Thailand  
 Worawan Carballo (Marurngsith), Thammasat University, Thailand  
 Pedro A. Castillo, University of Granada, Spain  
 Nopphadol Chalortham, Chiang Mai University, Thailand  
 Hutchatai Chanlekha, Kasetsart University, Thailand  
 Chalermopol Charnsripinyo, National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand  
 Somchai Chatvichienchai, University of Nagasaki, Siebold Campus & Faculty of Global Communication, Japan  
 Kuo-Sheng Cheng, National Cheng Kung University, Taiwan  
 Krisana Chinnasarn, Burapha University, Thailand  
 Suphamit Chittayasothorn, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand  
 Chidchanok Choksuchat, Department of Computing, Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand  
 Jaruloj Chongstitvatana, Chulalongkorn University, Thailand  
 Prabhas Chongstitvatana, Chulalongkorn University, Thailand  
 Noppadol Chumchob, Silpakorn University, Thailand  
 Wichian Chutimaskul, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Rafael Corchuelo, University of Sevilla, Spain  
 Banpot Dolwithayakul, Silpakorn University, Thailand  
 Ye Duan, University of Missouri, USA  
 Mark Embrechts, Rensselaer Polytechnic Institute, USA  
 Jittat Fakcharoenphol, Kasetsart University, Thailand  
 Carlos Fernandez-Llatas, Universidad Politecnica de Valencia & TSB-ITACA, Spain  
 Aldy Gunawan, Temasek Polytechnic, Singapore  
 Sunyoung Han, Konkuk University, Korea  
 Antony Harfield, Narasuan University, Thailand  
 Choochart Haruechaiyasak, NECTEC, Thailand  
 Wladyslaw Homenda, Warsaw University of Technology, Poland  
 Wei-Chiang Hong, Oriental Institute of Technology, Taiwan  
 Nuttanont Hongwarittorn, Thammasat University, Thailand  
 Apirak Hoolor, Mahidol, Thailand  
 Paramate Horkaew, Suranaree University of Technology, Thailand  
 Sarun Intakosum, KMUTL, Thailand  
 Biju Issac, Teesside University, Middlesbrough, United Kingdom  
 Chaiporn Jaikaeo, Kasetsart, Thailand  
 Saichon Jaiyen, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand  
 Alex James, Nazarbayev University, Kazakhstan  
 Suparerk Janjarasjitt, Ubon Ratchathani University, Thailand  
 Aphirak Jansang, Kasetsart University, Thailand  
 Chatklaw Jareanpon, Mahasarakham University, Thailand  
 Chuleerat Jaruskulchai, Kasetsart University, Thailand  
 Agnieszka Jastrzebska, Warsaw University of Technology, Poland  
 Selvi Kadirvel, University of Florida & NSF Center for Cloud and Autonomic Computing, USA  
 Nawat Kamnoonwatana, Mahidol University, Thailand

Sinchai Kamolphiwong, Prince of Songkla University, Thailand  
 Rachadaporn Kanawong, Silpakorn University, Thailand  
 Pizzanu Kanongchaiyos, Chulalongkorn University, Thailand  
 Nairat Kanyamee, Silpakorn, Thailand  
 Montri Karnjanadecha, Prince of Songkla University, Thailand  
 Darun Kesrarat, Assumption University, Thailand  
 Najeed A. Khan, NED University of Engineering and Technology, Pakistan  
 Sukumal Kitisin, Kasetsart, Thailand  
 Preecha Kocharoen, Sripatum University, Thailand  
 Rachada Kongkachandra, Thammasat University, Thailand  
 Piya Kovintavewat, Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand  
 Piya Kovintavewat, Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand  
 Binod Kumar, Jayawant Technical Campus, Pune, India  
 Kittichai Lavangnananda, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Nutthanon Leelathakul, Burapha University, Thailand  
 Benchaphon Limthanmaphon, KMUT-NB, Thailand  
 Chu-Hsing Lin, Tunghai University, Taiwan  
 Chun-Wei Lin, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, P.R. China  
 Rajalida Lipikorn, Chulalongkorn University, Thailand  
 Kongkoo Lu, Philips Research North America, USA  
 Chidchanok Lursinsap, Chulalongkorn University, Thailand  
 Songrit Maneewongvatana, KMUTT, Thailand  
 Suthathip Maneewongvatana, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Pornchai Mongkolnam, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Weenawadee Muangon, Silpakorn University, Thailand  
 Pornsiri Muenchaisri, Chulalongkorn University, Thailand  
 Surasak Mungsing, SPU, Thailand  
 Skanda N Muthaiah, Sandisk India Device Design Center, India  
 Saeid Nahavandi, Deakin University, Australia  
 Sathit Nakkrasae, Ramkhamheang University, Thailand  
 Somchai Namprasert, Kasetsart, Thailand  
 Ekawit Nantajeewarawat, Sirindhorn International Institute of Technology, Thailand  
 Sudsangan Ngamsuriyaroj, Mahidol University, Thailand  
 Sasiphan Nitayaprapha, UTCC, Thailand  
 Athitaya Nitshot, NECTEC, Thailand  
 Yusuke Nojima, Osaka Prefecture University, Japan  
 Andres Ortiz-Garcia, University of Málaga, Spain  
 Sasipa Panthuwadeethorn, Chulalongkorn University, Thailand  
 Nelson Luiz Passos, Midwestern State University, USA  
 Vorapoj Patanavijit, Assumption University, Thailand  
 Pagaporn Pengsart, Mahidol, Thailand  
 Pagaporn Pengsart, Faculty of ICT, Mahidol University, Thailand  
 Yongyuth Permpoontanalarp, King Mongkut's University of Technology Thonburi & Logic and Security Lab, Thailand  
 Antonio Pescapé, University of Napoli Federico II, Italy  
 Suphakant Phimoltares, Chulalongkorn University, Thailand  
 Sukanya Phongsuphap, Mahidol University & Faculty of ICT, Mahidol University, Thailand  
 Anan Phonphoem, Kasetsart University, Thailand  
 Sopon Phumeechanya, Silpakorn, Thailand  
 Punpiti Piamsa-nga, Kasetsart University, Thailand  
 Chomtip Pornpanomchai, Mahidol University, Thailand  
 Kata Praditwong, Silpakorn, Thailand  
 Akara Prayote, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand  
 Jitdumrong Preechasuk, Kasetsart University, Thailand  
 Ladda Preechaveerakul, Prince of Songkla University, Thailand  
 Nucharee Premchaiswadi, Dhurakijpundit University, Thailand  
 Santham Prom-on, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Supakit Prueksaaron, NECTEC, Thailand  
 Pakawan Pugsee, Chulalongkorn University & Department of Mathematic and Computer Science, Faculty of Science, Thailand  
 Sunee Raksakietisak, Srinakharinwirot University, Thailand  
 Sukanya Ratanataynon, Thammasat University, Thailand  
 Prapaporn Rattanatamrong, Thammasat University, Thailand  
 George Rebovich, Jr., The MITRE Corporation, USA  
 Arshin Rezazadeh, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran  
 Sunisa Rimcharoen, Burapha University, Thailand  
 Wasara Rodhetbhai, Silpakorn University, Thailand  
 Yodthong Rodkaew, UTCC, Thailand  
 Walisa Romsaiyud, Siam University, Thailand  
 Songsakdi Rongviriyapanish, Thammasat University, Thailand  
 Wilawan Rukpakavong, Loughborough University, United Kingdom  
 Jaratsri Runggrattanaubol, Naresuan University, Thailand  
 Wararat Rungworawut, KKU, Thailand  
 Youssef Said, Tunisie Telecom & National Engineering School of Tunis (ENIT), Tunisia  
 Usa Sammapun, Kasetsart University, Thailand

Simon See, BGI Shenzhen & Nvidia, Shanghai Jiatong University, Singapore  
 Kristsana Seepanomwan, Silpakorn University, Thailand  
 Twittie Senivongse, Chulalongkorn University, Thailand  
 Edwin Sha, Chongqing University, P.R. China  
 Zili Shao, The Hongkong Polytechnic University, Hong Kong  
 Fu Shaojing, University of NUDT, P.R. China  
 Tao Shi, BlackBerry, USA  
 Patrick Siarry, University of Paris XII, France  
 Piyanuch Silapachote, Mahidol University, Thailand  
 Dragan Simic, University of Novi Sad & Novi Sad Fair, Serbia  
 Sukree Sinthupinyo, Chulalongkorn University, Thailand  
 Somnuk Sintupoun, Maejo University, Thailand  
 Waralak Vongdowang Siricharoen, University of the Thai Chamber of Commerce, Thailand  
 Peerapon Siripongwutikorn, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Karanya Sitdhisanguan, Silpakorn University, Thailand  
 Onjira Sitthisak, Thaksin University, Thailand  
 Siraya Sitthisarn, Thaksin University, Thailand  
 Chakchai So-In, Khon Kaen University, Thailand  
 Chukiet Sodsri, Silpakorn University, Thailand  
 Pavadee Sompagdee, Thammasat University, Thailand  
 Peraphon Sophatsathit, Chulalongkorn University, Thailand  
 Gridaphat Sriharee, KMUT-NB, Thailand  
 Ramakrishnan Srinivasan, Dr Mahalingam College of Engineering and Technology, India  
 Ananta Srisuphab, Mahidol University, Thailand  
 Anongnart Srivihok, Kasetsart University, Thailand  
 Jakkarin Suksawatchon, Faculty of Informatics, Burapha University, Thailand  
 Ureerat Suksawatchon, Burapha University, Thailand  
 Khamron Sunat, Khon Kaen, Thailand  
 Jitima Sunkhamani, Walailak University, Thailand  
 Wannarat Suntiamorntut, Prince Of Songkla University, Thailand  
 Athasit Surarerks, Chulalongkorn University, Thailand  
 Taratip Suwannasart, Chulalongkorn University, Thailand  
 Pinyo Taeprasartsit, Silpakorn, Thailand  
 Pichaya Tandayya, Prince of Songkla University, Thailand  
 Preecha Tangkriengkhit, Sripatum, Thailand  
 Songsri Tangsripairoj, Mahidol, Thailand  
 Chularat Tanprasert, National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand  
 Panjai Tantasanawong, Silpakorn University, Thailand  
 Thitinan Tantidham, Mahidol University, Thailand  
 Churee Techawut, Chiang Mai University, Thailand  
 Punnarumol Temdee, Mae Fah Luang University, Thailand  
 Yaowadee Temtanapat, Thammasat University, Thailand  
 Jose Tenreiro Machado, Institute of Engineering, Polytechnic of Porto, Portugal  
 Orasa Tetiwat, Naresuan University, Thailand  
 Sissades Tongsima, National Center for Genetic Engineering and BioTechnology & Genome Institute, Thailand  
 Quang Minh Tran, National Institute of Informatics, Japan  
 Kriengsak Treeprapin, Ubonratchathani University, Thailand  
 Jih-Fu Tu, St. John's University, Taiwan  
 Elpida Tzafestas, University of Athens, Greece  
 Putchong Uthayopas, Kasetsart University, Thailand  
 Sornthep Vannarat, NECTEC, Thailand  
 Sangsuee Vasupongayya, Prince of Songkla University, Thailand  
 Vasaka Visoottiviseth, Mahidol University, Thailand  
 Luca Vollero, Universita' Campus Bio-Medico (Roma), Italy  
 Boonsup Waikham, Khon Kaen University, Thailand  
 Krisana Waiyamai, Kasetsart, Thailand  
 Dittaya Wanvarie, Chulalongkorn University, Thailand  
 Pakorn Watanachaturaporn, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang & Faculty of Engineering, Thailand  
 Bunthit Watanapa, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Saowaluck Wattanapa, Thammasat University, Thailand  
 Naruemon Wattanapongsakorn, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand  
 Warin Wattanapornprom, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand  
 Pakaket Wattuya, Kasetsart University, Thailand  
 Sartra Wongthanavas, Khon Kaen University, Thailand  
 Min Wu, Oracle Corporation, USA  
 Bin Xiao, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong

	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 Thai Track Full Papers: THA1.3	446	<i>Facebook Application for Place Recommendation</i>
Saivichit, Assist. Prof. Chaiyachet	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: NET1.2	261	<i>Path-Reputation Based Technique in Reactive AODV Ad Hoc Sensor Networks Routing for Flood Warning Application</i>
Sathienpong, Sasipa	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: MUL1.5	245	<i>Automatic Multiple Kinect Cameras Setting for Simple Walking Posture Analysis</i>
Sawatdirat, Apiwat	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 Thai Track Full Papers: THA5.4	540	<i>A Comparative of the Methods to Find Fingertips and Valleys Based on Images Processing</i>
Seresangtakul, Pusadee	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 Thai Track Full Papers: THA1.2	441	<i>Database to Ontology Mapping System</i>
Shakya, Binita	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: DM1.5	179	<i>A Design Pattern Knowledge Base and Its Application to Sequence Diagram Design</i>
Sharma, Kanika	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: COM4.3	365	<i>Improved Termite Hill Routing Protocol Using ACO in WSN</i>
Sharma, Manik	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: PAR2.1	73	<i>Design and Comparative Analysis of DSS Queries in Distributed Environment</i>
Shengbing, Zhang	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: COM1.2	131	<i>Prediction Oriented Analysis of Optimal Replacement</i>
Shin, Yeon-seung	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: MUL3.2	375	<i>Impacts of Joint Packet Scheduling for Heterogeneous Component Carriers in Multi-carrier Systems</i>
Siddiqui, Adil	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: MUL2.5	334	<i>Independent Component Analysis Based Assessment of Linked Gray and White Matter in the Initial Stages of Alzheimer's Disease Using Structural MRI Phase Images</i>
Silawong, Chanapa	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 Thai Track Full Papers: THA2.2	410	<i>A Comparative Study of Compression Algorithms for Each Data Type</i>
Singh, Gurdev	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: PAR2.1	73	<i>Design and Comparative Analysis of DSS Queries in Distributed Environment</i>
Singh, Gurvinder	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: PAR2.1	73	<i>Design and Comparative Analysis of DSS Queries in Distributed Environment</i>
Siri, Atikhom	ICSEC 2013 - ICSEC 2013 English Track Full Papers: NET2.4	348	<i>Analysis Model for Measuring Information Flow in Social Networks</i>

## การเปรียบเทียบวิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วบนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ

### A Comparative of the Methods to Find Fingertips and Valleys Based on Images Processing

อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์ และ จักรี ศรีรินทร์ฉัตร

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-3588 E-mails: apiwat.sa@rmuti.ac.th, jakkree.s@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยส่วนใหญ่ทางด้านระบบวัดโครงสร้างมือด้วยการประมวลผลภาพมุ่งเน้นไปที่ความแม่นยำในการระบุตัวตนโดยอาศัยคุณลักษณะของนิ้ว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการเปรียบเทียบวิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสมองกลฝังตัวซึ่งมีทรัพยากรจำกัด โดยทดสอบด้วยการสร้างโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา C++ และใช้ gcc4 เป็นคอมไพเลอร์ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพ OpenCV 2.1 ทำการประมวลผลบน Samsung S3C2440A ARM920T ผลการทดลองพบว่าวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีในด้านความยืดหยุ่นสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันมากๆ ได้ ด้านวิธีการหาค่าความโค้งจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีที่ความเร็วในการประมวลผล ส่วนวิธีการหาคอรับด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือเป็นวิธีที่นำข้อดีของสองวิธีข้างต้นมารวมกัน จึงเป็นข้อดีและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบสมองกลฝังตัว

คำสำคัญ: ระบบวัดโครงสร้างมือ, เส้นรอบรูปมือ, การหาปลายนิ้ว

#### Abstract

Most of hand geometry system research using image processing is focused to provide the accuracy identify user which used the characteristic of finger. This research focuses to comparative the methods of the detection finger tips and valleys from the hand contours for apply to embedded system which it is a resource limited. In the experiment, the program is developed by using C++ language and compiled with gcc4 compiler and OpenCV 2.1. This experiment is also operated on Samsung S3C2440A ARM920TS. The primary results show the advantage of the radius distance from the hand contour is provided the optimize solution for the large scale different of the hand data. The advantage of the curvature of the hand contour is provided the fastest computation processing. The hull convexity defect of the

hand contour is taken the advantage of the both methods. It is an optimize method to apply for the embedded system.

Keywords: Hand geometry system, Hand contour, Fingertips detection

#### 1. บทนำ

งานวิจัยส่วนใหญ่ด้านระบบวัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry System) มุ่งเน้นไปที่การระบุตัวตน (Identification) ที่ต้องการความแม่นยำสูง จึงใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมาก [1-4] อีกทั้งระบบที่มีวางจำหน่ายก็มีความแพงเนื่องจากมีเพียงไม่กี่บริษัทที่พัฒนาระบบในเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาต้นแบบระบบระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (Verification) ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด เพื่อเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากระบบในเชิงพาณิชย์

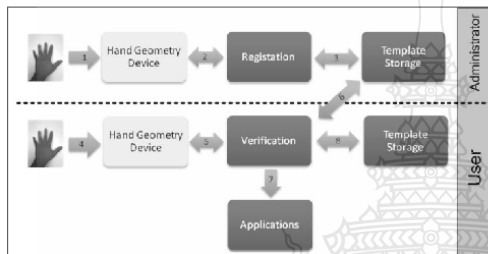
โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบเทคนิคการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือ (Hand Contour) แบบต่างๆ ในด้านความเร็วในการประมวลผล พร้อมทั้งหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของทั้งปลายนิ้วและร่องนิ้วในแต่ละวิธีการ ซึ่งการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วนี้เป็นกระบวนการสำคัญส่วนหนึ่งในอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry Device) โดยผลลัพธ์จากกระบวนการนี้จะนำไปหาความกว้างและความยาวของนิ้วแต่ละนิ้วต่อไป จากการค้นหาข้อมูลงานวิจัยด้านนี้พบว่าวิธีที่นิยมใช้มีอยู่สองวิธีคือ วิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือ ดังในงานวิจัย [5-10] กับวิธีหาค่าความโค้งจากเส้นรอบรูปมือ ดังในงานวิจัย [3][11-13] พร้อมทั้งปรับปรุงวิธีการหาคอรับด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือของงานวิจัย [3][14] ด้านระบบสัญญาณมือ (Hand Gesture System) ให้สามารถระบุปลายนิ้วและร่องนิ้วได้ทุกรูปแบบหนึ่ง

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 ระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์

ระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์มีองค์ประกอบและกระบวนการโดยทั่วไปดังรูปที่ 1 ซึ่งได้ข้อมูลมาจาก [15] เริ่มจาก

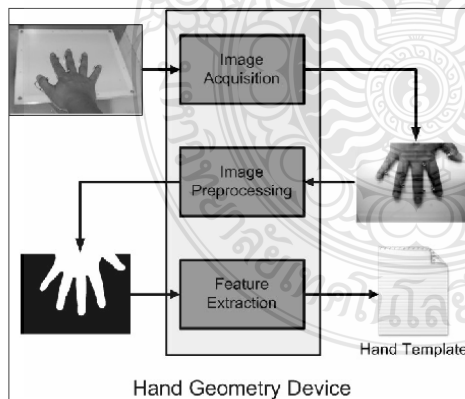
กระบวนการ (1) นำมือเข้าอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ (2) ทำการประมวลผล  
 ลักษณะเด่นเพื่อสร้างแม่แบบพร้อมขึ้นทะเบียนผู้ใช้ (3) นำแม่แบบ  
 บันทึกลงบนหน่วยเก็บข้อมูล, บนเครือข่ายกลางหรือบนสื่อบันทึกข้อมูล  
 อื่นๆ เช่น สมาร์ทการ์ด (4) นำมือเข้าอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือเพื่อใช้งาน  
 ระบบ (5) ทำการประมวลผลลักษณะเด่นเพื่อสร้างแม่แบบ (6)  
 เปรียบเทียบแม่แบบที่ได้กับแม่แบบจากหน่วยเก็บข้อมูล (7) นำผลการ  
 เปรียบเทียบส่งต่อไปใช้ประโยชน์ต่อไป (8) บันทึกข้อมูลที่เป็นใน  
 ด้านความปลอดภัยเพื่อนำไปตรวจสอบ



รูปที่ 1 องค์ประกอบและกระบวนการระบบวัดโครงสร้างมือ

## 2.2 อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ

อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือทำหน้าที่รับภาพมือของผู้ใช้และหา  
 ลักษณะเด่นออกมาเพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการยืนยันเอกลักษณ์มีขั้นตอน  
 การทำงานหลักแบ่งเป็นสามส่วนคือ การเตรียมภาพ (Image  
 Acquisition), การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing)  
 และการหาลักษณะเด่น (Feature Extraction) ดังรูปที่ 2

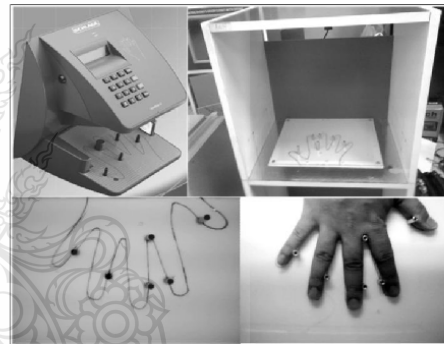


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานหลักของอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ

## 3. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมภาพ

ในขั้นตอนการเตรียมภาพจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้  
 เลือกใช้อุปกรณ์ในการรับภาพเป็นสองประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งใช้กล้อง  
 CCD ในการรับภาพ เช่น [3],[5-8]และ[12] ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดขนาดของ  
 อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ จึงลดระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นวางฝ่ามือจึง  
 ทำให้เห็นภาพมือในส่วน นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลางและนิ้วชี้เป็นหลัก  
 พร้อมทั้งมีหมุดกำกับฝ่ามือ เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องซึ่งใช้เลนส์ในการ  
 รับภาพซึ่งมีความโค้งทำให้ตำแหน่งของมือมีผลต่อสัดส่วนของภาพที่ได้ซึ่ง  
 ต่างจากงานวิจัยประเภทที่สองที่ใช้เครื่องสแกนเอกสารในการรับภาพเช่น  
 [3],[6] และ[7] จะใช้ภาพที่มีส่วนมือตั้งแต่ข้อมือขึ้นไป และภาพที่ได้จะ  
 สัดส่วนที่เท่ากันไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใดในแผ่นรับภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้  
 ใช้กล้องเว็บแคม (Web Camera) บันทึกภาพมือขวาจากตู้ควบคุมแสง  
 สว่าง ซึ่งมีหมุด 6 หมุดช่วยบังคับมือให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ภาพที่ได้มี  
 ขนาด 640 x 480 พิกเซล มีความชัดเจนของนิ้วมือทั้ง 4 นิ้วคือ นิ้วก้อย,  
 นิ้วนาง, นิ้วกลางและนิ้วชี้ คล้ายกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ดังรูปที่ 3

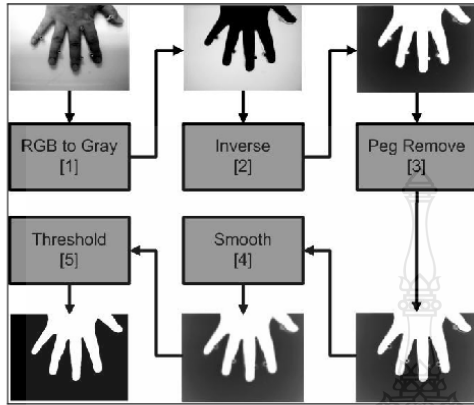


รูปที่ 3 (ซ้ายบน) ผลิตภัณฑ์ Schlage HandKey II (ขวาบน) ตู้ควบคุมแสง  
 (ซ้ายล่าง) แผ่นรองมือพร้อมหมุด (ขวาล่าง) ตัวอย่างภาพมือที่ได้

### 3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

เนื่องจากภาพที่ได้กระบวนการก่อนหน้าเป็นภาพสี RGB ต้อง  
 นำมาแปลงเป็นระดับสีเทา (RGB-to-Gray) พร้อมทั้งทำการกลับสลับ  
 ระดับสีเทา (Inverse) เพื่อส่งต่อไปยังการลบหมุด (Peg Remove) เพื่อ  
 ทำการลบภาพหมุดทั้ง 6 ที่ใช้บังคับตำแหน่งมือ โดยในการขบวนการนี้ผู้  
 ทดลองได้นำภาพจากขั้นตอนการกลับสลับระดับสีเทามาหาตำแหน่งจุด  
 ศูนย์กลางและรัศมีของแต่ละหมุด จากนั้นใช้ฟังก์ชันในการวาดภาพวงกลม  
 ในส่วนของกราฟิกไลบรารีวาดทับลงในตำแหน่งหมุดที่ได้ จากนั้นกำหนด  
 ตำแหน่งและขนาดรัศมีเป็นค่าคงที่ในโปรแกรมเพื่อใช้กับภาพอื่นต่อไป  
 ภาพที่ได้จากการลบหมุดแล้วจะนำไปปรับเรียบ (Smooth) ต่อไป ซึ่ง  
 ขบวนการปรับเรียบนี้จะเกลี่ยพิกลขนาดเล็กน้อยที่ไม่ต้องการที่กระจายอยู่ใน  
 ภาพให้กลืนไปกับพิกลใกล้เคียง และกระบวนการสุดท้ายคือแปลงภาพ  
 เป็นขาวดำ (Threshold) ดังรูปที่ 4

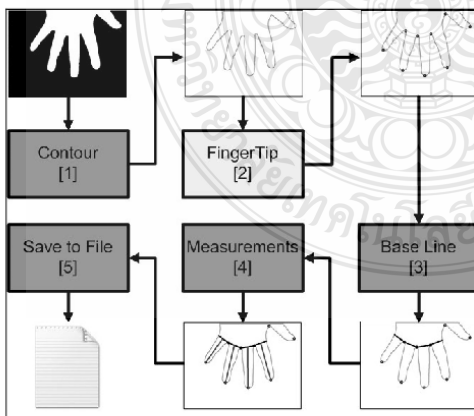




รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานย่อยของการประมวลผลเบื้องต้น

### 3.3 การหาลักษณะเด่น

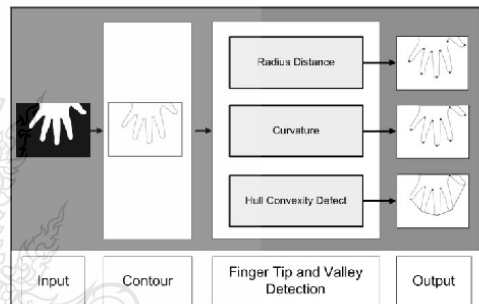
ในขั้นตอนนี้จะนำภาพขาวดำที่ได้จากระบวนการประมวลผลเบื้องต้นเพื่อให้ได้ลักษณะเด่นของมือในแต่ละบุคคลออกมาในรูปแบบของชุดข้อมูลเพื่อประหยัดพื้นที่ในการบันทึกและความสะดวกในการนำไปเปรียบเทียบ เช่น ความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้ว, อัตราส่วนระหว่างนิ้วกับฝ่ามือ และความหนาของมือ เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัยนั้นๆ ต้องการความถูกต้องแม่นยำหรือความผิดพลาดตั้งไว้ในระดับใด โดยในงานวิจัยนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด จึงแบ่งขั้นตอนย่อยของการหาลักษณะเด่นออกเป็นห้าขั้นดังนี้ การหาเส้นรอบรูปมือ (Contour), การหาปลายนิ้วและร่องนิ้วมือ (Finger Tip), การหาเส้นฐานของนิ้ว (Base Line), การหาความยาวของนิ้ว (Measurements) และการสร้างแม่แบบ (Template) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานย่อยของการหาลักษณะเด่น

### 3.4 วิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือ

จากที่ได้เกริ่นนำในบทนำแล้วว่างานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การเปรียบเทียบ วิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือในสามวิธีที่นิยมใช้คือ วิธีรัศมี (Radius Distance) จากเส้นรอบรูปมือ, วิธีหาความโค้ง (Curvature) จากเส้นรอบรูปมือ และวิธีหาขอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ (Hull Convexity Defects) จึงได้ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้งสามวิธีดังรูปที่ 6 ทั้งสามวิธีจะใช้ข้อมูลเส้นรอบรูปมือเดียวกันเพื่อนำไปหาปลายนิ้วและร่องนิ้วและแสดงผลออกมาเป็นภาพที่ระบุจุดปลายนิ้วและร่องนิ้ว ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งปลายนิ้วและร่องนิ้วด้วยบุคคล จากนั้นทำการเปลี่ยนอินพุตไปเรื่อยๆ พร้อมทั้งทำการสังเกตและบันทึกผลลัพธ์ ทำไปจนกระทั่งได้ข้อมูลเพียงพอก็นำมาผลลัพธ์มาวิเคราะห์หาทสรุปของการทดลอง



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ของทั้งสามวิธี

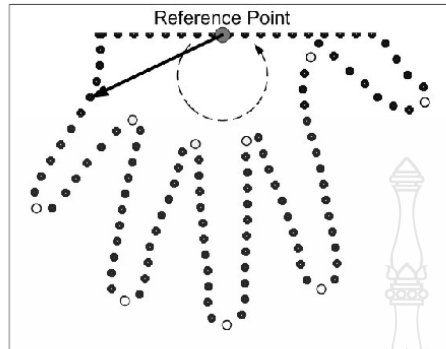
### 3.5 วิธีรัศมีจากเส้นรอบรูปมือ

จากข้อมูลเส้นรอบรูปมือที่ได้นำมาหาจุดอ้างอิงหลัก (reference point) โดยในการทดลองนี้ใช้จุด  $X_{ref} = X$  of Maximum  $Y, Y_{ref} = 0$  ในระบบพิกัดฉาก (Cartesian coordinates) เนื่องจากภาพอินพุตเป็นแบบมีหมุดกำกับทำให้ค่าสูงสุดของแกน Y จะเป็นปลายนิ้วกลาง และแกน X ของจุดนี้จะเป็นตำแหน่งแบ่งครึ่งฝ่ามือ เมื่อได้จุดอ้างอิงหลักแล้วให้ทำการแปลงข้อมูลเส้นรอบรูปมือจากระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinates) ซึ่งประกอบไปด้วยค่ารัศมีและค่ามุม ดังสมการที่ (1) และ (2) จุดที่มีค่ารัศมีสูงที่สุดก่อนที่ค่ารัศมีจะลดลงจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุดนั้นเป็นปลายนิ้ว ส่วนจุดที่มีค่ารัศมีต่ำที่สุดก่อนที่ค่าจะเพิ่มขึ้นจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุดนั้นเป็นร่องนิ้ว ผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 7

$$radius = \sqrt{|X_i - X_{ref}|^2 + |Y_i - Y_{ref}|^2} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y_i - Y_{ref}}{X_i - X_{ref}} \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $i$  คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ  
 $ref$  คือ จุดอ้างอิงหลัก



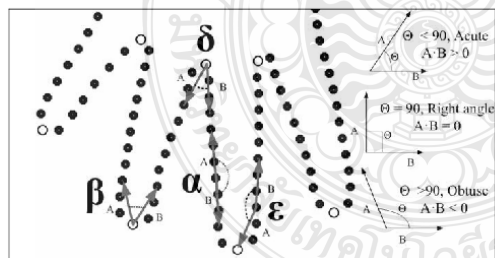
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือและตำแหน่งปลาย/ร่องนิ้ว

### 3.6 วิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือ

หากเรากำหนดให้เส้นรอบรูปมือแทนด้วย  $C$  ที่มีจำนวนจุดทั้งหมด  $n$  จุด และแต่ละจุดแทนด้วย  $i$  และ  $k$  คือลำดับของจุดที่ห่างจากจุด  $i$  เราสามารถหาค่าความโค้งได้โดยการ dot product ระหว่างสองเวกเตอร์ คือ  $[C_i, C_{i+k}]$  และ  $[C_i, C_{i+1}]$  หรือเวกเตอร์  $A$  และ  $B$  ตามลำดับตั้งสมการที่ (3) และ (4) จากรูปที่ 8 เป็นตัวอย่างการหาความโค้งของจุดดัชนี ซึ่งกำหนดให้ค่า  $k = 3$  จะได้จุดปลายนิ้วและจุดร่องนิ้วคือจุด  $\beta$  และ  $\delta$  ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 90 องศาที่สุดก่อนจะห่างออกไป ส่วนจุด  $\alpha$  และ  $\epsilon$  จะไม่ถูกรูป

$$|A \cdot B| = |A| |B| \cos \theta \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{A \cdot B}{|A| |B|} \quad (4)$$

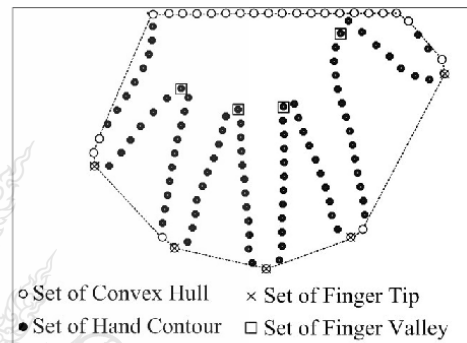


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความโค้งดัชนีและปลาย/ร่องนิ้ว

### 3.7 วิธีหาขอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ

จากข้อมูลเส้นรอบรูปมือที่ได้ขั้นตอนแรกให้นำมาหากรอบด้านนอก หรือ Convex Hull ซึ่ง Convex Hull ของเส้นรอบรูปมือ คือ เซตย่อยที่เล็กที่สุดที่สามารถครอบคลุมทุกจุดของเส้นรอบรูปมือ โดยให้เซตของเส้นรอบรูปมือคือทุกจุดบนรูปและ Convex Hull ของเส้นรอบรูปมือคือเซตของจุดวงกลมสีขาว โดยมีเส้นประแสดงให้ดูว่าเซตของจุดสีขาว

สามารถครอบคลุมทุกจุดบนเส้นรอบรูปมือ ขั้นตอนที่สองให้นำเซตของ Convex Hull มาหาจุดระบุตำแหน่งร่องนิ้ว โดยจุดนี้คือจุดที่แทรกอยู่ระหว่างจุด Convex Hull ที่มีลำดับในเซตติดกันในเซตของ Convex Hull ซึ่งจุดนี้เมื่อคำนวณหาระยะทางจากจุด Convex Hull ตั้งต้นผ่านจุดที่ต้องการระบุค่าและสิ้นสุดที่จุด Convex Hull ปิดท้ายแล้วได้ความยาวมากที่สุด จากสมการที่ (5) (6) (7) ผลที่ได้แสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยม จากกระบวนการข้างต้นสามารถระบุตำแหน่งปลายนิ้วก้อยและนิ้วโป้งคือจุด Convex Hull ตั้งต้น ส่วนตำแหน่งปลายนิ้วชี้และนิ้วโป้งคือจุด Convex Hull ปิดท้าย จากนั้นหาจุดระบุตำแหน่งปลายนิ้วกลางซึ่งต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างจุด Convex Hull ปิดท้ายนิ้วนาง และจุด Convex Hull ตั้งต้นนิ้วชี้ ซึ่งแสดงด้วยรูปกากบาท ดังตัวอย่างในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือ, กรอบด้านนอก, ตำแหน่งปลายนิ้วและตำแหน่งร่องนิ้ว

$$length_{st} = \sqrt{|CX_{st} - X_i|^2 + |CY_{st} - Y_i|^2} \quad (5)$$

$$length_{end} = \sqrt{|CX_{end} - X_i|^2 + |CY_{end} - Y_i|^2} \quad (6)$$

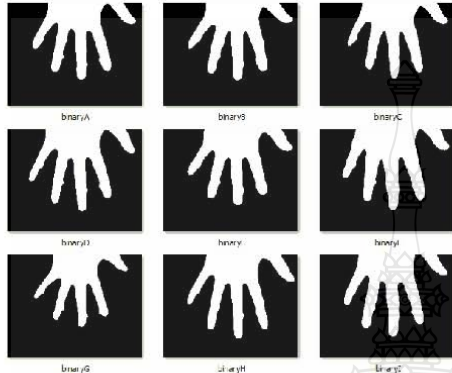
$$length = length_{st} + length_{end} \quad (7)$$

เมื่อ  $C$  คือ เซตของ Convex Hull  
 $i$  คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ  
 $st$  คือ จุดตั้งต้น ;  $end$  คือ จุดปิดท้าย

### 4. ผลการดำเนินการ

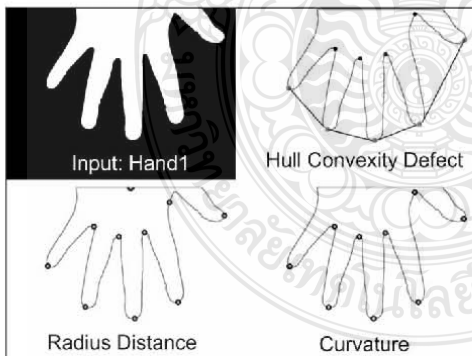
จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นทั้งสามวิธีนำมาเขียนเป็นโปรแกรมโดยกำหนดให้รับข้อมูลจากภาพมือแบบขาวดำ ขนาด 640x480 พิกเซล ที่ทำการลบหมุดก่ากับนิ้วมือแล้ว และผลลัพธ์ของโปรแกรมให้แสดงภาพรูปมือพร้อมแสดงจุดปลายนิ้วและร่องนิ้ว ระบบถูกพัฒนาด้วยภาษา C++ ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.1 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 10.04 Desktop มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium Dual ความเร็ว 3 GHz

หน่วยความจำหลักขนาด 4 GB แบบ DDR2 เพื่อให้ได้โปรแกรมต้นแบบของทั้ง 3 วิธี นำภาพถ่ายมือที่ได้จากนักศึกษาจำนวน 30 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 รูปมือบางส่วนที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อทำการทดสอบโปรแกรมต้นแบบ โดยโปรแกรมต้องให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องครบทั้ง 30 ตัวอย่าง พบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือในกระบวนการหาจุดอ้างอิงได้ค่า  $X_{ref}$  อยู่ระหว่าง 322 ถึง 336,  $Y_{ref} = 0$  ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือได้กำหนดค่าในกลุ่มทดสอบนี้คือใช้ค่า  $k = 35$  และ  $A \cdot B$  อยู่ระหว่าง 550 ถึง -550 และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือได้ระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดในกลุ่มทดสอบนี้ใช้ค่า 60 พิกเซล หรือประมาณ 20 มิลลิเมตร ซึ่งตัวอย่างภาพที่ได้แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์จากทั้งสามวิธี

จากนั้นเลือกภาพมือที่มีขนาดเส้นรอบรูปมือที่สั้นที่สุด, ขนาดปานกลางและขนาดยาวที่สุดจากชุดข้อมูลตัวอย่างดังรูปที่ 12 นำมาหาเวลาในการประมวลผลหลายนิ้วโดยเฉลี่ยจากเส้นรอบมือทั้งสามขนาด



รูปที่ 12 รูปมือที่ใช้ในการทดสอบทั้งสามขนาด

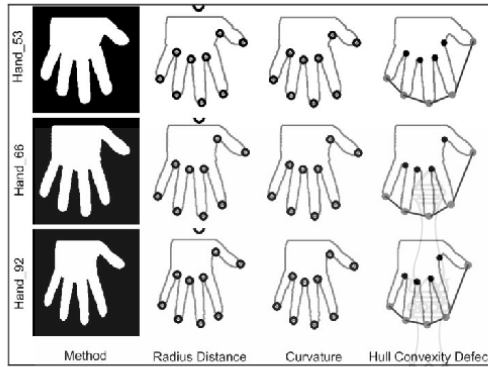
เมื่อได้เวลาในการประมวลผลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ข้างต้นแล้ว นำมาคอมไพล์ด้วย GCC Toolchain (gcc 4.6.2, libc 2.14.1) เพื่อนำไปใช้กับระบบปฏิบัติการ Free Linux BSP for FriendlyARM's Mini2440 ซึ่งใช้หน่วยประมวลผลกลาง Samsung S3C2440A ARM9 ความเร็ว 400 MHz โดยใช้หน่วยความจำหลักแบบ SDRAM ขนาด 64 MB และบน FriendlyARM's Tiny6410 ซึ่งใช้หน่วยประมวลผลกลาง Samsung S3C6410A ARM11 ความเร็ว 400 MHz โดยใช้หน่วยความจำหลักแบบ SDRAM ขนาด 64 MB โดยเวลาที่ใช้ในการประมวลผลหลายนิ้วโดยเฉลี่ยจากเส้นรอบมือทั้งสามขนาด ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนหน่วยประมวลผลต่างๆ

	Contour pixels	Radius Distance	Curvature	Hull Convexity Defects
CPU: Intel Pentium Dual Core E5700 Speed: 3 GHz				RAM: 4GB
Hand01 (smallest)	2150	0.9 msec	0.5 msec	0.7 msec
Hand02 (medium)	2450	0.9 msec	0.5 msec	0.7 msec
Hand03 (largest)	2800	0.9 msec	0.5 msec	0.7 msec
CPU: ARM9 Samsung S3C2440 Speed: 400 MHz				RAM: 64MB
Hand01 (smallest)	2150	18 msec	9.1 msec	12 msec
Hand02 (medium)	2450	20 msec	9.6 msec	13 msec
Hand03 (largest)	2800	21 msec	10 msec	15 msec
CPU: ARM11 Samsung S3C6410 Speed: 533 MHz				RAM: 256MB
Hand01 (smallest)	2150	11.0 msec	6.4 msec	8 msec
Hand02 (medium)	2450	12.0 msec	6.5 msec	9 msec
Hand03 (largest)	2800	12.5 msec	6.7 msec	10 msec

ทำการทดสอบโปรแกรมเพิ่มเติมอีก 100 ตัวอย่างด้วยชุดข้อมูลรูปร่างมือ (Hand Shape Database) ของ Prof. BÜLENT SANKUR จาก Bogazici University ผู้เขียนงานวิจัย [4], [9-10] โดยเป็นภาพมือแบบขาวดำ ขนาด 200x200 พิกเซล โดยโปรแกรมต้องให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องทั้งหมด พบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือไม่ต้องปรับค่าใดๆ ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือได้กำหนดค่าในกลุ่มทดสอบนี้คือใช้ค่า  $k = 15$  และ  $A \cdot B$  อยู่ระหว่าง 100 ถึง -100 และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือได้ระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดในกลุ่มทดสอบนี้ใช้ค่า 20 พิกเซล ซึ่งตัวอย่างภาพที่ได้แสดงในรูปที่ 13

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวิธีการพบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือนั้นไม่ต้องการการระบุค่าเบื้องต้นใดๆของนิ้วมือเนื่องจากมีกระบวนการหาจุดอ้างอิงหลักช่วยในส่วนนี้แล้ว ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือต้องกำหนดค่า  $k$  ซึ่งต้องมีระยมากกว่าความกว้างของนิ้วแต่ต้องไม่เกินความยาวนิ้วซึ่งวิธีนี้หากขนาดมือมีความแตกต่างกันมากๆจะเกิดข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ ต้องระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดเพื่อป้องกันการระบุตำแหน่งนิ้วก้อยกับข้อมนิ้วอื่นใดๆของเส้นรอบรูปมือผิด



รูปที่ 13 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์จากชุดข้อมูลรูปร่างมือ Bogazici University

### 5. สรุปผลการทดลอง

จากการนำเสนอการเปรียบเทียบเทคนิคการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือที่ได้ข้อสรุปว่าวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีในด้านความยืดหยุ่นสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันมากได้ ด้านวิธีการหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีที่ความเร็วในการประมวลผล ส่วนวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือเป็นวิธีที่น่าข้อดีของสองวิธีข้างต้นมารวมกัน จึงเป็นอีกทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด

### เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," *Pattern Recognition*, vol. 42, pp. 2797-2806, 2009.
- [2] A. K. Singh, A. K. Agrawal, and C. B. Pal, "Hand geometry verification system: A review," in *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT '09. International Conference on*, 2009, pp. 1-7.
- [3] G. Amayeh, G. Bebis, and M. Hussain, "A Comparative Study of Hand Recognition Systems," in *Emerging Techniques and Challenges for Hand-Based Biometrics (ETCHB), 2010 International Workshop on*, 2010, pp. 1-6.
- [4] E. Yörük, H. Dutağacı, and B. Sankur, "Hand biometrics," *Image and Vision Computing*, vol. 24, pp. 483-497, 2006.
- [5] J. M. Guo, Y. F. Liu, C. Mei-Hui, W. Chia-Chu, and L. Thanh-Nam, "Contact-free hand geometry identification system," in *Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on*, 2011, pp. 3185-3188.
- [6] M. A. Ferrer, J. Fabregas, M. Faundez, J. B. Alonso, and C. Travieso, "Hand geometry identification system performance," in *Security Technology, 2009. 43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on*, 2009, pp. 167-171.
- [7] M. A. Ferrer, A. Morales, C. M. Travieso, and J. B. Alonso, "Influence of the pegs number and distribution on a biometric device based on hand geometry," in *Security Technology, 2008. ICCST 2008. 42nd Annual IEEE International Carnahan Conference on*, 2008, pp. 221-225.
- [8] J. Xiaoqian, X. Wanhong, L. Sweeney, L. Yiheng, R. Gross, and D. Yurovsky, "New Directions in Contact Free Hand Recognition," in *Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on*, 2007, pp. II - 389-II - 392.
- [9] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "Shape-based hand recognition," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 1803-1815, 2006.
- [10] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "Person authentication based on hand shape," in *Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004. Proceedings of the IEEE 12th*, 2004, pp. 152-155.
- [11] G. Park and S. Kim, "Hand Biometric Recognition Based on Fused Hand Geometry and Vascular Patterns," *Sensors*, vol. 13, pp. 2895-2910, 2013.
- [12] X. Wei, X. Changsheng, and O. Sim Heng, "Peg-free Human Hand Shape Analysis and Recognition," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on*, 2005, pp. 77-80.
- [13] G. Boreki and A. Zimmer, "Hand geometry: a new approach for feature extraction," in *Automatic Identification Advanced Technologies, 2005. Fourth IEEE Workshop on*, 2005, pp. 149-154.
- [14] G. Tofighi, S. A. Monadjemi, and N. Ghasem-Aghae, "Rapid hand posture recognition using Adaptive Histogram Template of Skin and hand edge contour," in *Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2010 6th Iranian*, 2010, pp. 1-5.
- [15] S. Liu and M. Silverman, "A practical guide to biometric security technology," *IT Professional*, vol. 3, pp. 27-32, 2001.

# 17<sup>th</sup> ICSEC

International Computer Science and Engineering Conference 2013  
Hosted by Silpakorn University

## The 17th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2013)

September 4 - 6, 2013 @ Silpakorn University,  
THAILAND

Conference Theme :  
"Big Data Processing for A Better Society"



<http://icsec2013.su.ac.th> or <http://www.icsec2013.org>

### The First Call For Papers

The original mission of the ICSEC 2013 is to bring together innovative academics and industrial experts in the field of Computer Science, Computer Engineering, Information Technology and Information Security to a common forum, where a constructive dialog on theoretical concepts, practical ideas and results of the state of the art will be developed. The event will be held over three days, with tutorial sessions and presentations delivered by researchers from the international community, including presentations from well-known keynote speakers.

### The list of topics of interest includes (but not limited to)

Algorithmic Information Theory	Logic Design
Analysis of Algorithms and Problem Complexity	Memory Structures
Arithmetic and Logic Structures	Mobile Applications
Artificial Intelligence	Mobile Computing
Cloud Computing	Mobile Security
Computability Theory	Mobile Social Networks
Computer Architecture	Mobile, Ad Hoc and Sensor Network Management
Computer Graphics	Natural Language Processing
Computer Networks	Network Management
Computer System Implementation	Pattern Recognition
Control structures and Microprogramming	Programming Language
Cryptography	Quality of Service, Scalability and Performance
Data and Knowledge Management	Resource and Knowledge Discovery
Data Mining	Security and Access Control
Digital Forensics	Self-Organizing Networks and Networked Systems
Digital Signal Processing	Semantic Web, Ontology
Distributed Computing	Signal Processing
Formal Semantics	Simulation and Modeling
Formal Semantics	Social Network Applications
Fuzzy and Neural Network Systems	Social Networks
Grid Computing	Speech Recognition
High Performance Computing	Symbolic and Algebraic Manipulation
Image Processing and Computer Vision	Theory of Computation
Information Content Security	VLSI design
Information Technology Management	Web Modeling and Design
Internet Modeling	Web Services Architecture
Knowledge Discovery	Web Services Security
Knowledge Management	XML-Based Languages

### Important Dates for The First Call For Papers

Full paper submission	June 15, 2013
Notification of paper acceptance	July 22, 2013
Camera-ready papers	August 2, 2013
Pre-Registration	August 2, 2013
Workshop and Tutorial Day	September 5, 2013
Conference Day	September 4-6, 2013

### Paper Submission

Prospective authors are invited to submit papers reflecting original, unpublished work in these fields. Papers should not exceed 6 pages including results, figures and references. Manuscript templates will be made available on the website. All submissions will be subjected to a double-blind review procedure by at least two reviewers. Presented and selected papers will be published in IEEE Xplore library. Best paper awards will be given to outstanding contributions and recognized as such at the conference. The authors of the best selected papers will be invited to extend the works for the submission to "Maejo International Journal of Science and Technology" (Special issue) which is abstracted/indexed by SCI, ISI, DOA and Google Scholar.

Only electronic submissions with PDF and Word files will be accepted via EDAS submission system (<http://edas.info>) (in requesting process). Papers in Thai are also welcome in Thai track submission. The reviewing process of Thai track is the same as English track but they will not be included in IEEE Xplore library.

Also, student travel grants are available for international accepted papers. Further information, please contact the conference secretariats.



#### Advisory Committee

Suchai Tanawasatein (SPU)  
Booncharoen Sirinaovakul (KMUTT)  
Chidchanok Lursinsap (CU)  
Kanchit Malalwongs (SPU)  
Nontawat Junchareon (KU)  
Pansak Siriruchatapong (NECTEC)  
Peter Haddawy (AIT)  
Sinchai Kamolphiwong (PSU)  
Somchai Chatratana (NSTDA)  
Suthep Madarasm (KMUTT)  
Vilas Wuwongse (AIT)  
Wanchai Riveipiboon (CU)  
Yuen Poovarawan (KU)

#### International Advisory Committee

Zili Shao, Hong Kong Polytechnic U., China  
Bin Xiao, Hong Kong Polytechnic U., China  
Chokchai Leangskuksun, Louisiana Tech U., USA  
Nelson Passos, Midwestern State University, USA  
David R. Surma, Indiana University, USA  
Qingfeng (Karen) Zhuge, Chongqing University, China  
Edwin H.M. Sha, Chongqing University, China  
Tarek El-Ghazawi, George Washington University, USA  
Somchai Chatvichienchai, U. of Nagasaki, Japan  
Mitsuhide Satomoto, Tsukuba University, Japan  
Simon See, BGI Shenzhen and Shanghai Jiao Tong University, China  
Sunyoung Han, Konkuk university, Korea  
Kongkoo Lu, Philips Research North America, USA  
Vincent Berment, Université de Grenoble, France  
Sergei Gorlatch, Universitaet Muenster, Germany  
Ye Duan, University of Missouri - Columbia, USA  
Aniruddha Bhattacharjya, Amrita Vishva Vidyapeetham, India

#### Steering Committee

Chularat Tanprasert (NECTEC)  
Chantana Chantrapornchai (SU)  
Ekkarat Boonchieng (CMU)  
Kanat Poolsawas (MU)  
Kosin Chamnongthai (KMUTT)  
Nikom Suvoorn (PSU)  
Pichaya Tandayya (PSU)  
Prabhas Chongstitvatana (CU)  
Prasong Praneetpolgrang (SPU)  
Rachada Kongkachandra (TU)  
Sartra Wongthanavas (KKU)  
Kanda Runapongsa Saikaew (KKU)  
Somchai Numprasertchai (KU)  
Supaporn Klattisin (MU)  
Vera Varavithya (KMUTNB)  
Veera Boonging (KMUTL)

#### Technical Program Chairs

Prabhas Chongstitvatana CU  
Tasanawan Soonklang, SU

#### Financial Chairs

Sunee Pongpinigoinyo, SU  
Panjai Tantatsanawong, SU  
Rawitai Pulam, SU

#### ICSEC 2013 Secretariat

Opas Wongtaweasap, SU  
**Correspondence Address**  
The Secretariat of ICSEC 2013  
Department of Computing, Faculty of Science,  
Silpakorn University, Naikhon pathom 73000, THAILAND  
Tel: +66 (34) 272-923 Fax: +66 (34) 272-923  
E-mail: [icsec2013@su.ac.th](mailto:icsec2013@su.ac.th)  
Main URL: <http://www.icsec2013.org>  
Mirror URL: <http://icsec2013.cp.su.ac.th>

# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering  
No. 88, Mahachulalongkornrajavidyalaya Road, Bangkok 10900, Thailand

## Volume 2

(CM) ไฟฟ้าสื่อสาร  
(EL) อิเล็กทรอนิกส์  
(PH) ไฟโตนิคส์  
(CT) ระบบควบคุม  
และการวัดคุม  
(DS) การประมวล  
สัญญาณดิจิทัล  
(CP) คอมพิวเตอร์  
และเทคโนโลยีสารสนเทศ  
(CN) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  
กับวิศวกรรมไฟฟ้า  
(BE) วิศวกรรมชีวการแพทย์

Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Lathiao

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503-1504

Fax: 02-579-7566



L&E

silicon craft

ABB



#### Reviewer

Amnart Suksri  
Amnoiy Ruengwaree  
Amorn Jiraseree-amornkun  
Anon Namin  
Anupap Meesomboon  
Anuree Lorsawatsiri  
Anuwat Jangwanitlert  
Aphibal Pruksanubal  
Apichai Bhatranand  
Apirada Namsang  
Apiwat Lek-uthai  
Arkhom Mounghaodaeng  
Arkorn Kaewrawang  
Arnon Isaramongkolrak  
Arporn Teeramongkonrasmee  
Arthit Sode-Yome  
Atthapol Ngaopitakkul  
Benjamas Panomruttanarug  
Bongkarn Homnan  
Bongkoj Sookananta  
Boonchuay Supmonchai  
Boonlert Suechoey  
Boonruk Chipipop  
Boonsri Kaewkham-ai  
Boonyang Plangklang  
Budhapon Sawetsakulanond  
Bundit Thipakorn  
Chainarong Klimanee  
Chaiwut Chat-uthai  
Chaiyan Jettanasen  
Chaiyaporn Lothongkam  
Chaiyo Thammarat  
Chaiyut Sumpavakup  
Chanchai Dechthummarong  
Chanchana Tangwongsan

#### Organization

Khon Kaen University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Mahanakorn University of Technology  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Khon Kaen University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Civil Aviation Training Center Thailand  
Chulalongkorn University  
Srinakharinwirot University  
Khon Kaen University  
Mahanakorn University of Technology  
Chulalongkorn University  
Siam University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Dhurakij Pundit University  
Ubonratchathani University  
Chulalongkorn University  
South-East Asia University  
Rangsit University  
Chiang Mai University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahanakorn University of Technology  
South-East Asia University  
Mahanakorn University of Technology  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Chulalongkorn University



#### Reviewer

Channarong Banmongkol  
Chanwit Boonchuay  
Charnchai Pluempitiwiriyawej  
Chatchai Suppitaksakul  
Chawasak Rakpenthai  
Chiranut Sa-ngiamsak  
Chirasak Sinsukudomchai  
Chirawat Wattapanich  
Chirdpong Deelertpaiboon  
Chowarit Mitsantisuk  
Chutham Sawigun  
Danucha Prasertsom  
Decha Wilairat  
Denchai Worasawate  
Duang-arthit Srimoon  
Dulpichet Rerkpreedapong  
Dusit Thanapatay  
Ekapon Siwapornsathain  
Jakkree Srinonchat  
Jeerasuda Koseeyaporn  
Jirasak Chanwuttitum  
Jitkomut Songsiri  
Jonglak Pahasa  
Jukkrit Kluabwang  
Jukkrit Tagapanij  
Kamon Jirasereeamornkul  
Kanadit Chetpattananondh  
Kanchana Silawarawet  
Kanjanapan Sukvichai  
Keerati Chayakulkheeree  
Khanittha Kaewdang  
Kiatiyuth Kveeyarn  
Kiattisin Kanjanawanishkul  
Kittisak Tripipatpornchai  
Kitiwann Nimkerdphol

#### Organization

Chulalongkorn University  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin  
Chulalongkorn University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
University of Phayao  
Khon Kaen University  
South-East Asia University  
Walailak University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Kasetsart University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Mahidol University  
Kasetsart University  
Rangsit University  
Kasetsart University  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn University  
University of Phayao  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Prince of Songkla University  
Siam University  
Kasetsart University  
Sripatum University  
Ubonratchathani University  
Kasetsart University  
Maharakham University  
Rangsit University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi





#### Reviewer

Kobchai Dejhan  
Komsan Hongesombut  
Komson Daroj  
Krischonme Bhumkittipich  
Krissada Asavaskulkiet  
Krit Angkeaw  
Kulyos Audomvongseree  
Kunthphong Srisathit  
Kusumal Chalermyanont  
Kwanchai Eurviriyankul  
Mana Sriyudthsak  
Manop Aorpimai  
Miti Ruchanurucks  
Mongkol Konghirun  
Mongkol Raksapatcharawong  
Monthon Nawong  
Montree Siripruchyanun  
Montri Karnjanadecha  
Montri Somdunyanok  
Naebboon Hoonchareon  
Nalin Sidahao  
Napat Sra-ium  
Nararat Ruangchaijatupon  
Narong Buabthong  
Narong Yoothanom  
Nathabhat Phankong  
Nattachote Rugthaicharoencheep  
Nattapong Phanthuna  
Nattavut Chayavanich  
Nattaya Klairuang  
Nattha Jindapetch  
Natthaphob Nimpitiwan  
Nimit Boonpirom  
Nisachon Tangsangiumvisai  
Nophadon Wiwatcharagoses

#### Organization

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Kasetsart University  
Ubonratchathani University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Mahidol University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Chulalongkorn University  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin  
Prince of Songkla University  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Chulalongkorn University  
Mahanakorn University of Technology  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Kasetsart University  
Dhurakij Pundit University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Prince of Songkla University  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin  
Chulalongkorn University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Khon Kaen University  
Thammasat University  
Sripatum University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Kasetsart Universit  
Prince of Songkla University  
Bangkok University  
Sripatum University  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok



**Reviewer**

Nuntiya Chaiyabut  
Ong-Art Sadmai  
Opas Chutatape  
Pairote Thongprasri  
Paisarn Sonthikorn  
Paitoon Raklua  
Pakorn Kaewtrakulpong  
Panich Intra  
Parnjit Damrongkulkamjorn  
Pasist Suwanapingkarl  
Patamaporn Sripadungtham  
Peerapol Yuvapoositanon  
Peerayot Sanposh  
Pennapa Pairodamonchai  
Petch Nantivatana  
Phaisan Ngamjanyaporn  
Phumin Kirawanich  
Phunsak Thiennviboon  
Pichai Aree  
Pichet Wisartpong  
Pinit Jitjing  
Pinit Thepsatorn  
Pipat Prommee  
Pisit Liutanakul  
Pisit Vanichchanunt  
Pisit Wisutmetheekorn  
Piya Warabuntaweasuk  
Poonlap Lamsrichan  
Pornchai Phukpattaranont  
Pracha Yeunyongkul  
Prajub Pawarangkoon  
Pramin Artrit  
Pranchalee Samanpiboon  
Prasopchok Hothongkham  
Prayoot Akkaraekthalin

**Organization**

Bangkok University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Rangsit University  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Kasetsart University  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
Kasetsart University  
Mahanakorn University of Technology  
Udon Thani Rajabhat University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Sripatum University  
Rangsit University  
Mahidol University  
Kasetsart University  
Thammasat University  
Mahanakorn University of Technology  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Mahanakorn University of Technology  
Bangkok University  
Kasetsart University  
Prince of Songkla University  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Mahanakorn University of Technology  
Khon Kaen University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Rattanakosin  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok



### Reviewer

Preecha Kocharoen  
Punyaphat Phumiphak  
Rardchawadee Silapunt  
Raungrong Suleesathira  
Rawid Banchuin  
Rungsimant Sitdhikorn  
Sakchai Thipchaksurat  
Sakorn Po-Ngam  
Saliltip Sinthusonthishat  
Samphan Phrompichai  
Samroeng Hintamai  
Sanchai Dechanupaprittha  
Santitham Prom-on  
Sanun Srisuk  
Sarawan Wongsa  
Sarawuth Chaimool  
Sarinee Outrakul  
Sawat Bunnjaweht  
Seangrawee Buakaew  
Sermak Uatrongjit  
Sirichai Dangeam  
Sirichai Wattanasophon  
Siroj Sirisukprasert  
Sirivat Poonvasin  
Sirivit Taechajedcadarumsri  
Siriwich Tadsuan  
Siwapon Srisonphan  
Somboon Nuchprayoon  
Somboon Sooksatra  
Somchai Hiranvarodom  
Somchat Jiriwibhakorn  
Sommart Sang-ngern  
Sompob Polmai  
Somporn Sirisumrannukul  
Songkran Kantawong

### Organization

Sripatum University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Siam University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Mahanakorn University of Technology  
Mahanakorn University of Technology  
Sripatum University  
Kasetsart University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Nakhon Phanom University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Kasetsart University  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Chiang Mai University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Kasetsart University  
Kasetsart University  
Kasetsart University  
Khon Kaen University  
South-East Asia University  
Kasetsart University  
Chiang Mai University  
Rangsit University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Bangkok University



#### Reviewer

Songphol Kanjanachuchai  
Songrit Maneewongvatana  
Sorawat Chivapreecha  
Srijidtra Charoenlarnopparut  
Srisakdi Jangjit  
Suchart Yammen  
Suchin Trirongjitmoah  
Sudchai Boonto  
Sumate Naetiladdanon  
Suneat Pranonsatit  
Supakit Kawdungta  
Supalak Sathiracheewin  
Supatana Auethavekiat  
Supattana Nirukkanaporn  
Surachai Chaitusaney  
Surachoke Thanapitak  
Surapan Airphaiboon  
Surapong Suwankawin  
Suree Pumrin  
Suthathip Maneewongvatana  
Suwat Pattaramalai  
Tanet Wonghong  
Tanin Duangjan  
Tasanee Chayavanich  
Teerasak Somsak  
Teerasit Kasetkasem  
Terdpun Choogorn  
Thamvarit Singhavilai  
Thanadol Pritranan  
Thanakorn Khongdeach  
Thanapong Thanasaksiri  
Theerayod Wiangtong  
Thidarat Tawsook  
Thong Lantharthong  
Thumrongrat Amornraksa

#### Organization

Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Kasetsart University  
Kasetsart University  
Naresuan University  
Ubonratchathani University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Kasetsart University  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Kasetsart University  
Chulalongkorn University  
Rangsit University  
Chulalongkorn University  
Mahidol University  
King Mongkut's Institute of technology Ladkrabang  
Chulalongkorn University  
Chulalongkorn University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Bangkok University  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Kasetsart University  
Nakhon Sawan Rajabhat University  
Mahidol University  
Mahidol University  
Kasetsart University  
Chiang Mai University  
Mahanakorn University of Technology  
Bangkok University  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
King Mongkut's University of Technology Thonburi



**Reviewer**

Titipong Lertwiryaprapa  
Toempong Phetchakul  
Trin Saengsuwan  
Ukrit Mankong  
Umarin Sangpanich  
Upady Hatthasin  
Uthane Supatti  
Uthen Kamnarn  
Veerachai Malyavej  
Viboon Chunkag  
Vichai Saelee  
Vijit Kinnares  
Vinai Silaruam  
Virote Pirajnanchai  
Vishnu Thonglek  
Vorapong Silaphan  
Vuttipon Tarateeraseth  
Wachira Chongburee  
Walisa Romsaiyud  
Wanchai Chankaipol  
Wanchai Chimchavee  
Wanchai Khamseen  
Wanchai Pijitrojana  
Wanchai Subsingha  
Wanchak Lenwari  
Wannarat Suntiamorntut  
Wanwisa Thaiwirot  
Warakorn Srichavengsup  
Warayut Kampeerawat  
Warut Suampun  
Wason Tanjaroen  
Watcharee Veerakachen  
Wattanapong Kurdthongmee  
Wekin Piyarat  
Werapon Chiracharit

**Organization**

King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang  
Kasetsart University  
Chiang Mai University  
Kasetsart University  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Kasetsart University  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Mahanakorn University of Technology  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
South-East Asia University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Mahanakorn University of Technology  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Mahanakorn University of Technology  
Srinakharinwirot University  
Kasetsart University  
Siam University  
Sripatum University  
University of the Thai Chamber of Commerce  
Rajamangala University of Technology Lanna  
Thammasat University  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
King Mongkut's University of Technology Thonburi  
Prince of Songkla University  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok  
Thai-Nichi Institute of Technology  
Khon Kaen University  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Kasetsart University  
Kasetsart University  
Walailak University  
Srinakharinwirot University  
King Mongkut's University of Technology Thonburi

## สารบัญ

CT005	An Adaptive Control Input Reduction for Robust Controller Designs	713
CT006	Teaching Model-Based Design and Rapid Prototyping to Undergraduate Students	717
CT007	Sensors Fusion for Balancing Robot	723
CT008	Vibration Suppression of Flexible Master-Slave Robot Based on Resonance Ratio Control with Coefficient Diagram Method	727
CT009	Identification and Control a Half-scale Platform of Multi-Launcher Rocket System	731
CT010	Three-Phase Power Monitoring Via Wireless System	735
CT011	เครื่องสแกนเนอร์สำหรับสอบเทียบเครื่องคาลิเบรเตอร์ในกระแสไฟฟ้าตรงแบบอัตโนมัติ	739
DS001	การปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจจับจัมกจากข้อมูลใบหน้า 2.5 มิติด้วยค่าเฉลี่ยข้อมูลใบหน้า	743
DS002	Fast arbitrary image resizing based on frequency scaling in the DCT domain	749
DS003	Wavelet Image Encoder using Combination of Simple Bit-plane and Wavelet Difference Reduction	753
DS004	A Spatially Regularized Constrained Superresolution Framework Based on a Nonlinear Myriad Filter with GOM Motion Estimation for Real Noisy Blurred Videos	757
DS005	2D Image Reconstruction Eye-Tracking via Bilateral Total Variation Based Super-resolution	761
DS006	อัลกอริทึมสำหรับการตรวจวัดระดับความรุนแรงของกระแสน้ำโดยใช้ตัวตรวจจับขอบพิกเซลชนิด FIR	765
DS007	การนับกระดาดลูกฟุตบอลด้วยวิธีการตรวจหาเส้นรอยต่อจากภาพกระดาดลูกฟุตบอลด้านรอยตัด	769
DS008	การแบ่งส่วนถนนในลำดับภาพจากกล้องวงจรปิด(Road Segmentation from CCTV Image Sequence)	773
DS009	การพัฒนาระบบวัดโครงสร้างมือโดยใช้เทคนิค Hull Convexity Defects	777
DS010	วิธีการปรับปรุงภาพด้วยการรวมภาพที่โฟกัสเฉพาะจุดโดยวิธีวัดความชัดแบบปรับขนาด Window อัตโนมัติ	781
DS011	Analysis of Adaptive Data-Reusing Switching Kronecker LL Filters	785
DS012	การแก้ปัญหาการหมุนของภาพเพื่อการรู้จำโดยกระบวนการแปลงลักษณะเฉพาะจากตำแหน่งโดยรอบ	789
DS013	Template-Based Morphological Model for Detection	793
DS014	The Patient Fall Alarm Systems by Acceleration Measurement Using Pattern Recognition by Expectation-maximization algorithm	797
DS015	การรู้จำท่าทางการเดินด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์คผ่านสหสัมพันธ์เชิงลบ	801

## การพัฒนาระบบวัดโครงสร้างมือโดยใช้เทคนิค Hull Convexity Defects Improvement Hand Geometry System using Hull Convexity Defects Technique

อภิวัฒน์ สวัสดิ์ศรีรัตน์ และ จักรี ศรีรินทร์ฉัตร

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-3588 E-mails: apiwat.sa@rmutt.ac.th, jakkree.s@en.rmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยทางด้านระบบวัดโครงสร้างมือด้วยการประมวลผลภาพมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพในการระบุตัวบุคคลโดยอาศัยคุณลักษณะของนิ้วมือ งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบวัดโครงสร้างมือโดยใช้เทคนิค Hull convexity defect เพื่อหาพิกัดปลายนิ้วและร่องนิ้วจากภาพมือของบุคคลจำนวน 15 คน รวม 90 ตัวอย่างที่มีลักษณะแตกต่างกันนำมาใช้ในการทดสอบ อีกทั้งยังนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีวัดรัศมีและวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือ ผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีนี้สามารถหาพิกัดปลายนิ้วและร่องนิ้วได้ทั้งหมดทั้งมีข้อดีคือสามารถใช้กับมือที่มีขนาดแตกต่างกันได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพของระบบได้ผลตอบสนองแบบเชิงเส้นกับภาพมือทุกขนาดซึ่งเหมาะกับการนำมาประยุกต์ในระบบสมองกลฝังตัว

คำสำคัญ: ระบบวัดโครงสร้างมือ, เส้นรอบรูปมือ, คอนเวกซ์ฮัลล์

### Abstract

Hand geometry research using image processing aims to provide the efficiency of identify the person by using the hand feature. This research presents an improvement hand geometry system using hull convexity defects technique to search the finger tip and valley position. In this experiment, 15 people with 90 hand images, which collect from different position layout, are used to be input testing system. Moreover, this experiment results are compared with radius distance and curvature technique which recently uses. The experiment results show that this technique can find all finger tip and valley position. This technique can use with the different feature image which is better than the other technique. This is an advantage of this technique. Therefore, the system efficiency provides the linear response with any hand image which it is appropriately to apply to embedded system.

Keywords: hand geometry system, hand contour, convex hull

### 1. บทนำ

งานวิจัยส่วนใหญ่ด้านระบบวัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry System) มุ่งเน้นไปที่การระบุตัวตน (Identification) ที่ต้องการความแม่นยำสูง จึงใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมาก [1-2] ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาต้นแบบระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (Verification) ที่ใช้ทรัพยากรน้อยกว่า โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้า (Hull Convexity Defects) จากเส้นรอบรูปมือ ของงานวิจัย [3] ด้านระบบสัญญาณมือ (Hand Gesture System) ให้สามารถระบุปลายนิ้วและร่องนิ้วได้อีกรูปแบบหนึ่งพร้อมทั้งเปรียบเทียบเทคนิคการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือ (Hand Contour) ที่นิยมใช้อยู่สองวิธีคือ วิธีวัดรัศมี (Radius Distance) จากเส้นรอบรูปมือ ดังในงานวิจัย [4-5] กับวิธีหาความโค้ง (Curvature) จากเส้นรอบรูปมือ ดังในงานวิจัย [6-7] ซึ่งการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วนี้เป็นกระบวนการสำคัญส่วนหนึ่งในอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry Device)

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

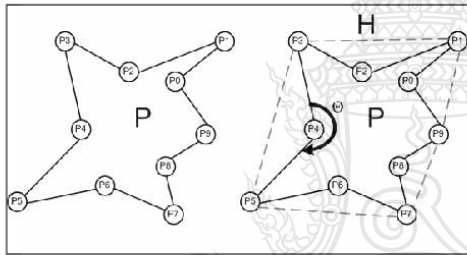
#### 2.1 Convex Hull

Convex Hull ของรูป  $P$  คือ เซตย่อยที่เล็กที่สุดของ  $P$  เมื่อเชื่อมโยงกันแล้วได้บริเวณครอบคลุมสมาชิกทั้งหมดของ  $P$  ด้วยเหตุนี้เซตของรูป  $P$  ที่ประกอบด้วย  $N$  จุด หรือ  $\{p_0, p_1, p_2, \dots, p_N\} \in P$  สามารถหา Convex Hull ของ  $P$  ซึ่งแทนด้วยเซต  $H$  ที่ประกอบด้วย  $M$  จุด โดยหากจุดที่มีลำดับติดกันทั้งสามนำมาคำนวณหาองศาของมุมภายในจากเงื่อนไข  $\langle p_{i-1}, p_i, p_{i+1} \rangle$  ถ้า  $\theta > \pi$  ให้  $p_i \notin M$  ถ้าไม่ใช่ ให้  $p_i \in M$  ดังตัวอย่าง  $\langle p_3, p_4, p_5 \rangle$  ได้ค่า  $\theta > \pi$   $p_4 \notin M$  ทำให้ไปจนไม่สามารถลดสมาชิกของเซตได้อีก จึงได้ผลว่า  $\{p_1, p_3, p_5, p_7, p_9\} \in H$  ดังรูปที่ 1

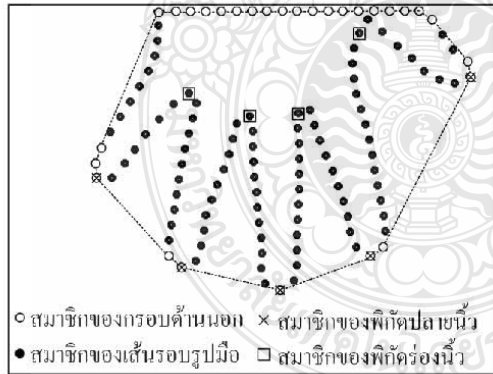
#### 2.2 วิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ

ขั้นตอนแรกให้หากรอบด้านนอก หรือ Convex Hull ซึ่ง Convex Hull ของเส้นรอบมือ คือ เซตย่อยที่เล็กที่สุดที่สามารถครอบคลุมทุกจุดของเส้นรอบรูปมือ โดยให้เซตของเส้นรอบรูปมือคือทุกจุดบน

รูปและ Convex Hull ของเส้นรอบรูปมือคือเซตของจุดวงกลมสีขาว โดยมีเส้นประแสดงให้ดูว่าเซตของจุดสีขาวสามารถครอบคลุมจุดบนเส้นรอบรูปมือ ขั้นตอนที่สองให้นำเซตของ Convex Hull มาหาจุดระบุตำแหน่งร่องนิ้ว โดยจุดนี้คือจุดที่แทรกอยู่ระหว่างจุด Convex Hull ที่มีลำดับในเซตติดกันในเซตของ Convex Hull ซึ่งได้จากการคำนวณหาระยะทางจากจุด Convex Hull ตั้งต้นผ่านจุดที่ต้องการระบุค่าและสิ้นสุดที่จุด Convex Hull ปิดท้ายแล้วได้ความยาวมากที่สุด จากสมการที่ (1) (2) (3) ผลที่ได้แสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยม จากกระบวนการข้างต้นสามารถระบุตำแหน่งปลายนิ้วก้อยและนิ้วนางได้คือจุด Convex Hull ตั้งต้น ส่วนตำแหน่งปลายนิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือคือจุด Convex Hull ปิดท้าย จากนั้นหาจุดระบุตำแหน่งปลายนิ้วกลางซึ่งต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างจุด Convex Hull ปิดท้ายนิ้วนาง และจุด Convex Hull ตั้งต้นนิ้วชี้ ดังแสดงด้วยรูปภาพบาท ดังตัวอย่างในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซต P และ Convex Hull ของ P



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือ, กรอบด้านนอก, ตำแหน่งปลายนิ้วและตำแหน่งร่องนิ้ว

$$length_{st} = \sqrt{|CX_{st} - X_i|^2 + |CY_{st} - Y_i|^2} \quad (1)$$

$$length_{end} = \sqrt{|CX_{end} - X_i|^2 + |CY_{end} - Y_i|^2} \quad (2)$$

$$length = length_{st} + length_{end} \quad (3)$$

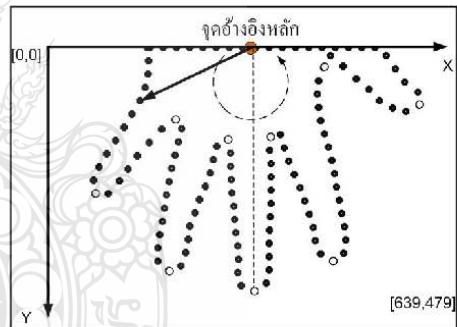
เมื่อ  $C$  คือ เซตของ Convex Hull  
 $i$  คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ  
 $st$  คือ จุดตั้งต้น ;  $end$  คือ จุดปิดท้าย

2.3 วิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือ

จากข้อมูลเส้นรอบรูปมือที่ได้นำมาหาจุดอ้างอิงหลัก (reference point) โดยให้จุดอ้างอิงหลักมีค่าแกน  $X = X$  ของพิกัดที่มีค่าแกน  $Y$  สูงสุด และค่าแกน  $Y = 0$  เมื่อได้จุดอ้างอิงหลักแล้วให้ทำการแปลงข้อมูลเส้นรอบรูปมือจากระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว โดยหาเฉพาะค่ารัศมี ดังสมการที่ (4) จุดที่มีค่ารัศมีสูงที่สุดก่อนที่ค่ารัศมีจะลดลงจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุดนั้นเป็นปลายนิ้ว ส่วนจุดที่มีค่ารัศมีต่ำที่สุดก่อนที่ค่าจะเพิ่มขึ้นจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุดนั้นเป็นร่องนิ้วผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ 3

$$radius = \sqrt{|X_i - X_{ref}|^2 + |Y_i - Y_{ref}|^2} \quad (4)$$

เมื่อ  $i$  คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ  
 $ref$  คือ จุดอ้างอิงหลัก



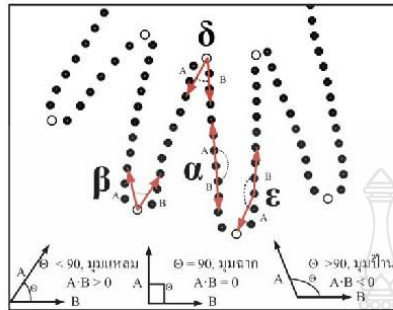
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือและตำแหน่งปลายร่องนิ้ว

2.4 วิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือ

หากเรากำหนดให้เส้นรอบรูปมือแทนด้วย  $C$  ที่มีจำนวนจุดทั้งหมด  $n$  จุด และแต่ละจุดแทนด้วย  $i$  และ  $k$  คือลำดับของจุดที่ห่างจากจุด  $i$  เราสามารถหาค่าความโค้งได้โดยการใช้ dot product ระหว่างสองเวกเตอร์ คือ  $[C_i, C_{i+k}]$  และ  $[C_i, C_{i+k}]$  หรือเวกเตอร์  $A$  และ  $B$  ตามลำดับดังสมการที่ (5) โดยค่าที่มากที่สุดในกลุ่มจะเป็นพิกัดที่ต้องการ จากรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างการหาความโค้งของจุดดัชนี ซึ่งกำหนดให้ค่า  $k=2$  จะได้จุดปลายนิ้วและจุดร่องนิ้วคือจุด  $\beta$  และ  $\delta$  ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 90 องศาที่สุดก่อนจะห่างออกไป ส่วนจุด  $\alpha$  และ  $\epsilon$  จะไม่ถูกระบุ

$$A \cdot B = |A||B| \cos \theta \quad (5)$$

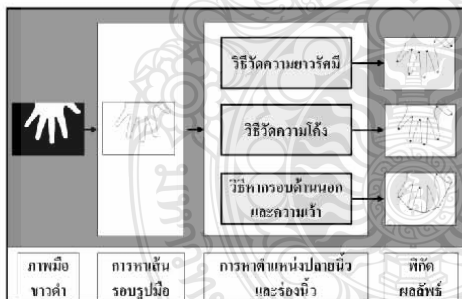




รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความโค้งของจุดและปลายร่องนิ้ว

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากที่ได้เกริ่นนำในบทนำแล้วว่างานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การเปรียบเทียบ วิธีการหาพิกัดปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือในสามวิธี จึงได้ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ของทั้งสามวิธีดังรูปที่ 5 ทั้งสามวิธีจะใช้ข้อมูลเส้นรอบรูปมือเดียวกันเพื่อนำไปหาปลายนิ้วและร่องนิ้วและแสดงผลที่ออกมาเป็นข้อมูลพิกัดและภาพที่ระบุตำแหน่งปลายนิ้วและร่องนิ้ว ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องของปลายนิ้วและร่องนิ้วด้วยบุคคล จากนั้นเปลี่ยนอันดับไปเรื่อยๆ พร้อมทั้งสังเกตและบันทึกผลลัพธ์ จนกระทั่งได้ข้อมูลเพียงพอ จากนั้นนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์หาบทสรุปของการทดลอง

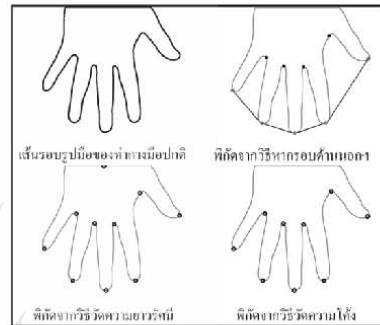


รูปที่ 5 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้งสามวิธี

4. ผลการดำเนินการ

จากขั้นตอนการดำเนินการเมื่อนำมาเขียนเป็น โปรแกรม โดยกำหนดให้รับข้อมูลจากภาพรูปมือแบบขาวดำ ขนาด 640x480 พิกเซล และผลลัพธ์ของโปรแกรมให้แสดงภาพรูปมือพร้อมแสดงจุดปลายนิ้วและร่องนิ้ว ระบบถูกพัฒนาด้วยภาษา C++ ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.1 ในการทดสอบนี้ได้ นำภาพถ่ายมือที่ได้จากนักศึกษาจำนวน 15 คน คนละ 3 รูป โดยรูปแรกเป็นภาพถ่ายมือท่าทางนิ้วมือปกติ (ท่าทาง 1) รูปที่สองเป็นภาพถ่ายมือท่าทางนิ้วมือมากกว่าปกติ (ท่าทาง 2) และรูปสุดท้ายเป็นภาพถ่ายมือท่าทาง

นิ้วมือมากที่สุด (ท่าทาง 3) เพื่อให้ได้โปรแกรมที่แสดงผลพิกัดได้ครบทั้ง 15 ตัวอย่างพบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือในกระบวนการหาจุดอ้างอิงได้ค่า  $X_{ref}$  อยู่ระหว่าง 322 ถึง 336,  $Y_{ref} = 0$  ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือได้กำหนดค่าในกลุ่มทดสอบนี้คือใช้ค่า  $k = 35$  และ  $A \cdot B$  อยู่ระหว่าง 550 ถึง -550 และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ ได้ระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดในกลุ่มทดสอบนี้ใช้ค่า 60 พิกเซล ซึ่งตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 6 และตัวอย่างค่าพิกัดที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยไม่นำข้อมูลพิกัดร่องนิ้วระหว่างนิ้วและนิ้วหัวแม่มือ และปลายนิ้วหัวแม่มือมาพิจารณา



รูปที่ 6 ภาพท่าทางนิ้วมือปกติที่ใช้ในการทดสอบและผลลัพธ์

ตารางที่ 1. ตัวอย่างค่าพิกัดที่ได้จากภาพมือจากทั้งสามวิธี

ท่าทางนิ้วมือปกติของบุคคลทดสอบที่				
หมายเลขมือรูป	2046 JL			
ฝ่าย	ชาย			
วิธีการ	วัดความยาวรัศมี	วัดความโค้ง	หาคาบรอบค้ำนอก	
ปลายนิ้วมือ	นิ้วโป้ง	296	296	292
	นิ้วชี้	114	114	110
	นิ้วกลาง	297	297	293
ร่องนิ้วลึก, ชีวเนียง	นิ้วโป้ง	449	444	452
	นิ้วชี้	227	225	230
	นิ้วกลาง	173	173	176
ปลายนิ้วหาง	นิ้วโป้ง	689	692	684
	นิ้วชี้	214	217	214
	นิ้วกลาง	410	410	410
ร่องนิ้วตื้น-นิ้วหาง	นิ้วโป้ง	911	910	911
	นิ้วชี้	292	291	292
	นิ้วกลาง	207	207	207
ปลายนิ้วตาง	นิ้วโป้ง	1162	1158	1159
	นิ้วชี้	333	329	330
	นิ้วกลาง	445	445	445
ร่องนิ้วตาง-นิ้วชี้	นิ้วโป้ง	1403	1404	1433
	นิ้วชี้	361	362	361
	นิ้วกลาง	210	210	210
ปลายนิ้วชี้	นิ้วโป้ง	1619	1617	1622
	นิ้วชี้	437	435	440
ปลายนิ้วชี้	นิ้วโป้ง	410	410	409

จากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้ของแต่ละภาพมาหาความแตกต่างด้านพิกัดและค่าความแตกต่างด้านระยะทาง ระหว่างวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้ากับวิธีวัดรัศมี และค่าความแตกต่างระหว่างวิธีวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้ากับวิธีหาความโค้ง และท้ายที่สุดนำค่าความแตกต่างที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของพิคคที่ได้จากภาพทั้งหมด

วิธีการ	หน่วยการวัด	ท่าทาง	ปลายนิ้ว		ร่องนิ้ว		ข้อนิ้ว		ข้อนิ้ว		ข้อนิ้ว		
			ดัชนี	ชี้-กลาง	นิ้ว	นิ้วนาง	กลาง	นิ้วนาง	กลาง	นิ้วนาง	นิ้วชี้	นิ้ว	
แยกกับนิ้วชี้	พิคคของเส้น	[1]	-3.00	2.40	-2.60	0.60	-3.20	-1.40	1.80				
		[2]	-2.80	3.60	-0.60	0.00	-2.80	-1.40	-0.20				
	รอบรูปมือ	[3]	-2.20	3.40	1.20	1.60	-2.00	-0.60	-2.60				
		[1]	1.41	1.19	0.95	0.22	1.12	0.51	0.66				
	(สี่เหลี่ยม)	[2]	1.44	1.78	0.22	0.00	1.26	0.51	0.22				
		[3]	1.09	1.64	0.22	0.29	0.63	-0.22	1.00				
แยกกับนิ้วกลาง	พิคคของเส้น	[1]	-5.60	4.20	-4.80	1.80	0.20	-1.80	4.00				
		[2]	-5.20	4.60	-2.80	2.60	1.00	-3.00	2.60				
	รอบรูปมือ	[3]	-2.00	3.60	0.40	1.80	1.80	-1.40	0.40				
		[1]	2.29	1.75	1.70	0.64	0.35	0.64	1.43				
	(สี่เหลี่ยม)	[2]	2.23	2.05	0.99	0.91	0.49	1.06	0.93				
		[3]	0.96	1.69	0.49	0.64	0.63	0.66	0.45				

ทำการทดสอบซ้ำ แต่ให้เปลี่ยนแปลงท่าทางของภาพมือครั้งนี้ โดยรูปแรกเป็นภาพถ่ายมือท่าทางนิ้วมือน้อยกว่าปกติ (ท่าทาง 4) รูปที่สองเป็นภาพถ่ายมือท่าทางนิ้วมือปกติจากนั้นชนิดนิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือเข้ามา (ท่าทาง 5) และรูปสุดท้ายเป็นภาพถ่ายมือท่าทางนิ้วมือปกติจากนั้นชนิดนิ้วนางและนิ้วก้อยเข้ามา (ท่าทาง 6) ดังรูปที่ 7 ในส่วนของค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยได้ผลดังตารางที่ 3



รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพท่าทางชุดที่สองที่ใช้ในการทดสอบและผลลัพธ์

ตารางที่ 3. ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของพิคคที่ได้จากภาพชุดที่สองทั้งหมด

วิธีการ	หน่วยการวัด	ท่าทาง	ปลายนิ้ว		ร่องนิ้ว		ข้อนิ้ว		ข้อนิ้ว		ข้อนิ้ว		
			ดัชนี	ชี้-กลาง	นิ้ว	นิ้วนาง	กลาง	นิ้วนาง	กลาง	นิ้วนาง	นิ้วชี้	นิ้ว	
แยกกับนิ้วชี้	พิคคของเส้น	[4]	-4.80	3.40	-3.60	0.00	-4.40	-0.40	4.40				
		[5]	-3.00	2.00	-0.60	1.40	-1.60	-0.40	4.00				
	รอบรูปมือ	[6]	-4.60	3.20	-2.80	0.00	-3.20	-0.80	-0.40				
		[4]	1.96	1.68	1.33	0.00	1.54	0.07	1.67				
	(สี่เหลี่ยม)	[5]	1.48	0.99	0.87	0.51	0.56	0.16	1.51				
		[6]	2.05	1.58	1.02	0.00	1.12	0.29	0.16				
แยกกับนิ้วกลาง	พิคคของเส้น	[4]	-8.40	3.80	-6.80	0.60	1.00	-0.20	7.80				
		[5]	-3.40	3.40	-2.40	2.00	1.80	-0.60	7.80				
	รอบรูปมือ	[6]	-7.60	3.80	-5.20	1.40	0.80	-2.00	0.20				
		[4]	3.24	1.74	2.35	0.21	0.49	0.24	2.81				
	(สี่เหลี่ยม)	[5]	1.51	1.47	0.86	0.70	0.63	0.40	2.60				
		[6]	3.01	1.79	1.84	0.49	0.28	0.71	0.41				

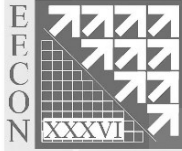
5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วโดยวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือได้ข้อสรุปว่าวิธีนี้มีข้อดีในด้านความชัดเจนสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันได้เพียงแค่ว่าค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดเพื่อป้องกันการระบุตำแหน่งนิ้วก้อยกับขอบนิ้วสุดอื่นผิดพลาด และเมื่อเปรียบเทียบพิคคของปลายนิ้ว

และร่องนิ้วกับวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือพบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยไม่เกิน 4 ลำดับ จากข้อมูลเส้นรอบรูปมือขนาด 2200 ถึง 2800 ลำดับ หรือวัดเป็นระยะทางเฉลี่ยไม่เกิน 2 มิลลิเมตร หากเปรียบเทียบกับวิธีการหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือพบว่าได้ค่าโดยเฉลี่ยไม่เกิน 6 ลำดับ หรือวัดเป็นระยะทางเฉลี่ยไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตร ส่วนในกรณีที่ว่าท่าทางมือให้ชัดเจนกว่าปกติจะได้ค่าพิคคที่แตกต่างกันเพิ่มขึ้นแต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบสัญญาณมือซึ่งไม่ต้องการความละเอียดสูงได้ จึงถือเป็นอีกทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," Pattern Recognition, vol. 42, pp. 2797-2806, 2009.
- [2] G. Amayeh, G. Bebis, and M. Hussain, "A Comparative Study of Hand Recognition Systems," in Emerging Techniques and Challenges for Hand-Based Biometrics (ETCHB), 2010 International Workshop on, 2010, pp. 1-6.
- [3] G. Tofighi, S. A. Monadjemi, and N. Ghasem-Aghaee, "Rapid hand posture recognition using Adaptive Histogram Template of Skin and hand edge contour," in Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2010 6th Iranian, 2010, pp. 1-5.
- [4] J. M. Guo, Y. F. Liu, C. Mei-Hui, W. Chia-Chu, and L. Thanh-Nam, "Contact-free hand geometry identification system," in Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on, 2011, pp. 3185-3188.
- [5] M. A. Ferrer, J. Fabregas, M. Faundez, J. B. Alonso, and C. Travieso, "Hand geometry identification system performance," in Security Technology, 2009. 43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on, 2009, pp. 167-171.
- [6] G. Park and S. Kim, "Hand Biometric Recognition Based on Fused Hand Geometry and Vascular Patterns," Sensors, vol. 13, pp. 2895-2910, 2013.
- [7] X. Wei, X. Changsheng, and O. Sim Heng, "Peg-free Human Hand Shape Analysis and Recognition," in Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on, 2005, pp. 77-80.



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพ

# การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 The 36<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี

<http://eecon36.ku.ac.th>



## คณะกรรมการจัดการประชุม

### 1. คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า

### 2. สถาบันกรรมการสามัญ

- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- มหาวิทยาลัยมหิดล
- มหาวิทยาลัยสยาม
- มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
- ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
- มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
- มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
- มหาวิทยาลัยธนบุรี
- มหาวิทยาลัยรังสิต
- มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
- มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

### 3. สถาบันกรรมการสภามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- มหาวิทยาลัยพะเยา
- มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- มหาวิทยาลัยราชธานี
- มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
- มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- มหาวิทยาลัยศิลปากร
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering Conference : EECON) เป็นการประชุมวิชาการระดับชาติที่มีมาตรฐานทางวิชาการเป็นที่ยอมรับในระดับสากล มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ อาจารย์ นิสิต นักศึกษาและ นักวิจัย ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าจากสถาบันต่างๆ ได้นำผลงานวิจัยมาเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกัน ซึ่งดำเนินการโดยคณะกรรมการจัดการประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ประกอบด้วย คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้แทนจากสถาบันสามัญ ผู้แทนจากสถาบันสหทบ และกรรมการสามัญที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพในแต่ละปี โดยอยู่ภายใต้การดูแลของ สมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) (สวทท หรือ EEAT) ซึ่งเริ่มจัดการประชุมครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2521 จนถึงปัจจุบัน ปี พ.ศ. 2556 เป็นครั้งที่ 36 โดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพดำเนินการจัดการประชุม ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสอันดีเนื่องจากปี พ.ศ. 2556 นี้เป็นปีที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีอายุครบรอบ 70 ปี

## สาขาของบทความ

- ๕๐ ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ๕๐ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ๕๐ ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ๕๐ ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- ๕๐ อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ๕๐ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ๕๐ ไฟโตนิคส์ (PH)
- ๕๐ วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
- ๕๐ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ๕๐ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

## การส่งบทความ

จัดทำบทความเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษขนาด A4 ส่งผ่านระบบการออนไลน์ โดยขั้นตอนและรายละเอียดในการส่งบทความสามารถเข้าดูได้ที่เว็บไซต์ของการประชุมที่ <http://eecon36.ku.ac.th>

## การพิจารณาและการนำเสนอบทความ

การพิจารณาบทความดำเนินการโดยผู้พิจารณาบทความระดับวิชาชีพชั้นสูง (Professional Reviewers) ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้รับการคัดเลือกตรงตามสาขาจาก สมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) และจากสถาบันกรรมการทั่วประเทศ บทความที่ผ่านการพิจารณาจะได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารการประชุม (Proceedings) ของ EECON-36 และจะต้องมีการนำเสนอในที่ประชุม บทความตีพิมพ์ในแต่ละสาขาจะได้รับคัดเลือกในขั้นตอนแรกจากผู้พิจารณาบทความ และจะได้รับการพิจารณาตัดสินในขั้นตอนสุดท้ายโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้รับการเสนอชื่อจากสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) และจากสถาบันที่เป็นกรรมการสามัญทั่วประเทศ

## กำหนดการสำคัญ

หมดเขตรับบทความ	ศุกร์ที่	12	กรกฎาคม	2556
แจ้งพิจารณาบทความ	จันทร์ที่	9	กันยายน	2556
หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์	จันทร์ที่	23	กันยายน	2556
การลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ	จันทร์ที่	23	กันยายน	2556
การลงทะเบียนล่วงหน้า	จันทร์ที่	7	ตุลาคม	2556
การนำเสนอบทความ	วันที่	11 - 13	ธันวาคม	2556

## ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ

ผศ.ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
50 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
โทรศัพท์ 02-797-0999 ต่อ 1503, 1504 โทรสาร 02-579-7566  
Email: eecon36@gmail.com

# CALL FOR PAPERS

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37  
The 37<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference  
(EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

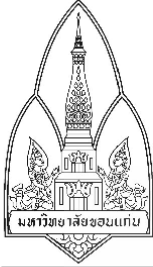
Vol.2

CM, EL, CT, CP, DS, PH, BE, GN



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
KHON KAEN UNIVERSITY





คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37

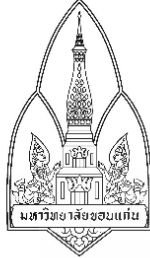


สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง (PW)

ผศ. ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ. ดร. ตฤณ แสงสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ. ดร. เชิดชัย ประภาณวรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. ชีรธรรม บุญยะกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ. อำนาจ สุขศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร. บุญยั้ง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ดร. สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ. ดร. ธนาธิป สุ่มอ้อม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ. ดร. กิรติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ. ดร. อาทิตย์ ไสตรโยม	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ. ดร. วิญญู แสงวงสินกสิกิจ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ. ดร. วันชัย นิมนวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ. บุญเลิศ สือเฉย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ. ดร. นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ. ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ. ดร. นิตย์ เพ็ชรรักษ์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ผศ. ธนากร น้ำหอมจันทร์	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
ผศ. ดร. วิวัฒน์ ทิพย์จร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รศ. ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อ. ดร. จงลักษณ์ พาหะชา	มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

ผศ. เจิตสกุล โสภานิตย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ. ดร. ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ. ดร. กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ. ดร. สาคร โพธิ์งาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ. ดร. วิบูลย์ ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ. ดร. ปานหทัย บัวศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



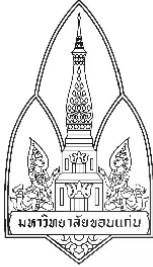
รศ. ดร. ไพบุลย์ นาคมหาชลาสินธุ์  
รศ. ดร. เวศิน ปิยรัตน์  
ผศ. วันชัย จันไกรผล  
ผศ. ดร. ยงยุทธ นาราษฎร์  
ผศ. อนุชิต เจริญ  
ผศ. ดร. เกษม อุทัยไขฟ้า  
ผศ. ชูเกียรติ พงษ์พานิช  
อ. จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล  
อ. ยุทธนา จงเจริญ  
ผศ. ชุตินันท์ อู่ยายโสม  
ผศ. ดร. อุเทน คำน่าน  
อ. ดร. สายชล ชุตเจื้อจิ้น  
อ. ดร. ดำรงค์ อมรเดชาพล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยสยาม  
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต  
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต  
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ  
มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

รศ. ดร. วาทีต เบญจพลกุล  
ผศ. ดร. วิกรม ธีรภาพจรเดช  
ผศ. ดร. พินิจ กำหอม  
ผศ. ดร. ชาตรี มัทธอนจาดุภัทร  
ผศ. ดร. อาคม แก้วระวีง  
อ. ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ  
ผศ. ดร. สวัสดิ์ บุญยะเวศ  
รศ. ดร. สมชาติ โชคชัยธรรม  
อ. ดร. กำพล วรดิษฐ์  
รศ. ดร. ณรงค์ อยู่ถนอม  
พล.ท. ดร. สมพงษ์ คุ้มสวัสดิ์  
ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์  
ผศ. ดร. สันต์ชัย รัตนนันท  
ผศ. ณัฐ จันท์ครบ  
อ. ดร. ชัยพร เขมะภาคะพันธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยสยาม  
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ  
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์  
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



อ. ดร. ศุภกิจ แก้วดวงตา  
ผศ. นิพนธ์ ทางทอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (EL)

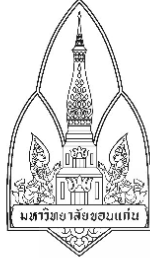
รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์  
ผศ. ดร. ชูเกียรติ การะเกตุ  
รศ. ดร. ภาณุมาศ คำสัตย์  
ผศ. ดร. กมล จิรเสรีอมรกุล  
ผศ. ดร. บัลลังก์ เนียมมณี  
อ. ดร. สถาพร พรพรหมลิขิต  
ผศ. ดร. อำนาจ เรืองวารี  
ผศ. ดร. ชีรยศ เวียงทอง  
ผศ. ศิริพงษ์ ฉายสินธ์  
อ. ดร. สัญญา คุณขาว  
ผศ. วิภาวัลย์ นาคทรัพย์  
ผศ. สุภานันท์ ตันวรรณรักษ์  
รศ. ดร. อธิพงษ์ค์ ชัยสายัณห์  
ผศ. โกศล นิธิโสภา  
อ. ดร. สุวิทย์ กิระวิทยา  
ผศ. ดร. กฤษดา ยิ่งขັນ  
ผศ. สุภณ พลสิงห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยสยาม  
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
มหาวิทยาลัยนเรศวร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด (CT)

ผศ. ดร. สุชิน อรุณสวัสดิ์วงศ์  
ผศ. ดร. มิติ รุจามุณีรักษ์  
ผศ. ดร. วันจักร์ เล่นวารี  
รศ. ดร. สุขสันต์ นุ่นงาม  
ผศ. ดร. อานุภาพ มีสมบุรณ์  
อ. ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล  
ผศ. ดร. มานพ อ้อพิมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



- ผศ. ดร. ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์
- อ. ดร. กลุขชัย วิถีพานิช
- ผศ. ดร. นิमित บุญภิรมย์
- อ. ณธรรม เกิดสำอางค์
- ผศ. ดร. ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร
- รศ. ดร. เดชา พวงดาวเรือง
- ผศ. ดร. ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ
- อ. ดร. มุทิตา สงฆ์จันทร์
- รศ. ดร. โกศล โอฬารไพโรจน์
- อ. ดร. สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล

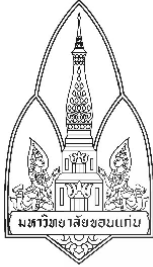
- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- มหาวิทยาลัยนเรศวร
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (CP)

- ผศ. ดร. วันเฉลิม โปรา
- รศ. ดร. มงคล รักษาพัชรวงศ์
- ผศ. ดร. ณัฐชา จินดาเพ็ชร
- รศ. ดร. อารังรัตน์ อมรรักษา
- รศ. ดร. วรา วราวิทย์
- อ. ดร. ศิริชัย เตரியมล้ำเลิศ
- ผศ. ดร. ชันวา ศรีประโม่ง
- ผศ. ดร. สมภพ รอดอัมพร
- อ. ดร. วรายุทธ์ แสนเงิน
- ผศ. ณัฐพร ฤทธิ์นุ่ม
- ผศ. น.อ. ไชโย ธรรมรัตน์ ร.น.
- ผศ. ทง ลานธารทอง
- อ. ดร. สุรเดช จิตประไพกุลศาล
- อ. ดร. ณรงค์เดช กิริติพรานนท์
- อ. ดร. ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล
- ผศ. ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์
- อ. ดร. พรเทพ โรจนวสุ

- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- มหาวิทยาลัยนเรศวร
- มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- มหาวิทยาลัยพะเยา





คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37

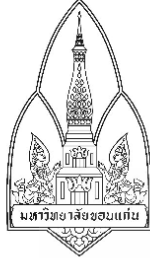


สาขาวิศวกรรมระบบประมวลสัญญาณ (DS)

ผศ. ดร. สุภาวดี อรัณวิทย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ. ดร. วุฒิพงศ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ. ดร. พรชัย พงษ์ภัทรานนต์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ. ดร. บัณฑิต ทิพากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร. วิไลพร แซ่ลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ. ดร. วีระสิทธิ์ อิมถวิล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร. จักรี ศรีรินทร์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ดร. พิระพล ยูวภูษิตานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ. ดร. ปรีชา กอเจริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ. ดร. ทศนัย พลอยสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสยาม
อ. อธิยุทธ์ จันทร์แจ่ม	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ. วรินทร์ วงษ์มณี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ. สมศักดิ์ สิริโปรถานนท์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ. ดร. อัศวิน วงศ์กิ่งแห	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ. ดร. บงการ ทอมนาน	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
อ. ดร. นพดล มณีเชียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ. ดร. ธนาทิพย์ จันทร์คง	มหาวิทยาลัยพะเยา

สาขาวิศวกรรมโฟโตนิกส์ (PH)

รศ. ดร. ดวงฤดี วรสุขิพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อ. ดร. พิสุทธิ รัตติกดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ. ดร. ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ. ดร. นันทกานต์ วงศ์เกษม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ. ดร. วิสิทธิ์ ล้อธรรมจักร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ. ดร. สมมาตร แสงเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ. ดร. วันชัย ไพบูลย์โรจนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อ. เอกชัย ดีศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ. ดร. ธานัท รุ่งศิริธนะ	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ. สิริวิช ทัตสวน	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ. ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา	มหาวิทยาลัยนเรศวร



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

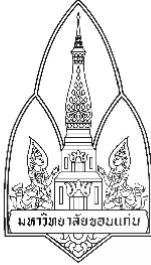
ผศ. ดร. อภรณ์ อิ่มมงคลรัมย์  
ผศ. ดร. ดุสิต ธนเพทาย  
รศ. บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา  
ผศ. ดร. บุญยิ่ง เจริญ  
อ. ดร. กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล  
รศ. ดร. นกตล อุชายภิกษิต  
ผศ. ดร. ชัยพันธุ์ เจริญพงษ์  
อ. เพชร นันทวิวัฒนา  
อ. ดร. ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธิ์  
ผศ. ดร. สมเกียรติ เพียงพรานทอง  
ผศ. ดร. วรพล พงษ์เพชร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์  
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

รศ. ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์  
ผศ. ดร. วชิระ จงบุรี  
ดร. เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพนากุล  
ศ. ดร. โกสินทร์ จำนงไทย  
รศ. ไชยยันต์ สุวรรณชีวะศิริ  
รศ. กิตติพงษ์ ตันมิตร  
ผศ. ดร. สมชัย หิรัญโรดม  
รศ. ดร. สุเจตน์ จันทริกซ์  
รศ. ณรงค์ บวบทอง  
ผศ. พิณิจ เทพสาธ  
ผศ. พศวีร์ ศรีโหมต  
ผศ. ไวยพจน์ ศุภบรรเสถียร  
อ. สุธี รุกขพันธุ์  
อ. มนตรี ห่วงอาษา  
ผศ. วิชัย แซ่ลี  
ผศ. สมเกียรติ ทองแก้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยสยาม  
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต  
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37



ผศ. ดร. พันส นฤฤทธิ  
อ. มนชล นาวงษ์  
อ. ดร. ยุพดี หัตถสิน  
รศ. ดร. เสวศักดิ์ รักเป็นไทย

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
มหาวิทยาลัยพะเยา



CP007	โปรโตคอลกระจายคีย์เชิงควอนตัมแบบสลับตำแหน่งบิตข้อมูล-ตอนที่ 2 : ทดสอบและอภิปรายผลการทำงาน พิชัย อยู่เปล้า	833
CP008	การพัฒนาแบบจำลองไมโครแมกเนติกส์สำหรับการศึกษาปรากฏการณ์แม่เหล็กในวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก สมัชชา คุ่มแก้ว และ บดินทร์ ดำรงค์ศักดิ์	837
CP009	การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำแนกประเภทในการพยากรณ์ระดับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร จากการใช้พลังงานไฟฟ้า: กรณีศึกษาโรงเรียนเศรษฐบุตรบำเพ็ญ พึงใจ พิษณุบุตรรัตน์ และ อีรรัฐ ธีรรัฐการณ	841
CP010	การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตัดต่อวิถีโอบนระบบปฏิบัติการไอโอเอสกรณีซ้อนภาพนิ่งลงบนวิดีโอ สุกฤษฎี สุنامه และ ชัยพร เขมะภาดะพันธ์	845
CP011	Genetic Algorithm for Multi-objective p-Median Problem Panwadee Tangpattanakul	849
CP012	อุปกรณ์รบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ควบคุมทิศทางด้วยแอปพลิเคชัน บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สอนธิ วนาลัยสุสันต์ สุพิตรา บุตรดี อธิคม ศิริ ธนาวุฒิ ธนวานิชย์ และ กมล บุญล้อม	853
CP013	การพัฒนาเกมเพื่อสอดแทรกการเรียนรู้ด้วยการประยุกต์ใช้คุณสมบัติจำเพาะและระบบเซนเซอร์ ของอุปกรณ์พกพาแอนดรอยด์ ธิดารัตน์ ต่อสุข และ พงศเทพ แสงจันทร์	857
CP014	ระบบต้นแบบการลงทะเบียนบุคคลด้วยภาพถ่ายบัตรประชาชนโดยใช้โทรศัพท์มือถือซึ่งมีการประมวลผลภาพ และบันทึกข้อมูลด้วยบริการกลุ่มเมฆ กันตยา ณ นคร ศัทธยา ศรีวัฒนพงศ์ สราวุฒิ อินวัน ณรงค์ศักดิ์ พิบูลย์ ทรงกลด สีระกุล ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกูล อนุชล หอมเสียง อนุพงศ์ ไทโรจน์ ณัฐชาสิทธิ์ ชูเกียรติขจร	861
CP015	การเชื่อมโยงออนไลน์ด้วยการจับคู่คอนเซ็ปต์โดยใช้ชุดข้อมูลเชิงความหมาย กรณีศึกษาการปลูกหมอนเลี้ยงไหม ปนัดดา ใจบุญลือ และ สุพจน์ นิตยสุวัฒน์	865
CP016	การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมระบบมดเพื่อคัดเลือกข้อสอบที่มีคุณภาพจากแบบทดสอบหลายชุด มานะ โสภานิพล สังสุทธิ และ คณิศร จีกระโทก	869
CP017	การถอดรหัสรูปแบบภาษามือตัวอักษรภาษาไทยโดยใช้ควอดรี วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ และ จีรารธร ตัมศรี	873
CP018	โปรแกรมประมวลผลภาพพุทธศิลป์พระหริศรัย วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ และ จิตเจียรระโน พานิชชาติ	877
DSI01	Noise Benefit in Signal and Neural Processing: From Forbidden Intervals to Forbidden Regions Sanya Mitaim and Bart Kosko	881
DSI02	การแยกแยะสถานะพื้นผิวถนนโดยใช้เสียงจากยางรถยนต์ วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ	887
DS001	การแบ่งส่วนภาพพื้นผิวโดยใช้เทคนิคแบบจำลองเส้นรอบขอบที่เคลื่อนที่ร่วมกับเทคนิคการไหลของขอบภาพ ธนัญชัย บุญหนัก สนั่น ศรีสุข	893
DS002	การพัฒนาเทคนิคมอร์ฟอโลยีสำหรับการค้นหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์แบบหลายป้าย ธีรพล ยอดโรจน์ และ จักริ ศรีรินทร์ฉัตร	897
DS003	การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งขอบฝ้ามือนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบไร้หมวกก่าบ จักริ ศรีรินทร์ฉัตร และ อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์	901

## การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดก้ำกับ The Enhancement Palm Reference Points Detection Technique of Peg-less Hand Geometry Device

จักรี ศรีนันทมิตร และ อภิวัฒน์ สวัสดิ์ศรีรัตน์

ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [apiwat.sa@rmu.ac.th](mailto:apiwat.sa@rmu.ac.th)

### บทคัดย่อ

กระบวนการหลักขณะเด่นของอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบวัดโครงสร้างมือ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ โครงสร้างมือแบบไร้หมุดก้ำกับเพื่อหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ ภาพมือ จำนวน 90 ภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันถูกนำมาใช้ในการทดสอบ ผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววง ได้ผลลัพธ์โดยเฉลี่ยที่ดีที่สุด คือมีความผิดพลาดสูงสามารถรองรับลักษณะรูปร่างมือที่แตกต่างกันได้ดี วิธีการข้างต้นนี้ได้แสดงค่าความผิดพลาดไว้สูงสุดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

**คำสำคัญ:** ระบบวัดโครงสร้างมือ, เส้นรอบรูปมือ, การหาตำแหน่งเด่น

### Abstract

Feature extraction process of hand geometry device is a majority step which is directly affected to efficiency of hand geometry system. This research presents the enhancement feature extraction technique of peg-less hand geometry device to detect the palm reference point. The 90 hand images, which are taken from different shape, are used as the input to test the system. The results show that the Middle-Ring finger valley parallel line-based provides the best average efficiency. It gives a vary computation which can be apply to the different hand shape feature. This technique also shown the maximum error is not more than 3 millimeter.

**Keywords:** hand geometry system, hand contour, feature extraction

### 1. บทนำ

ระบบวัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry System) [1,2] คือระบบไบโอเมตริกที่นำข้อมูลขนาดและรูปร่างของฝ่ามือมาจำแนกความแตกต่างของแต่ละบุคคลออกจากกัน ระบบนี้มีข้อดีด้านความรวดเร็วในการประมวลผล ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยเนื่องจากข้อมูลมีขนาดเล็ก จึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่มีพื้นที่เก็บข้อมูลจำกัดหรือประยุกต์ใช้ในรูปแบบเครือข่าย สะดวกในการใช้งานและเป็นที่ยอมรับของสาธารณะ แต่เนื่องจากระบบที่มีวงจำหน่ายมีราคาแพงเนื่องจากมีเพียงไม่กี่บริษัทที่

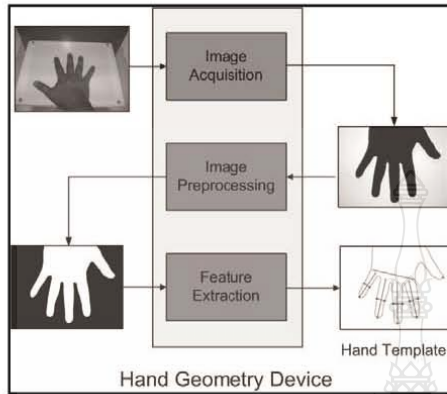
พัฒนาระบบในเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาต้นแบบระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (Verification) ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด เพื่อเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากระบบในเชิงพาณิชย์ โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบเทคนิคการหาตำแหน่งเด่นบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry Device) แบบไร้หมุดก้ำกับนิ้วมือ (Peg-less) ในส่วนของกระบวนการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการหาฐานนิ้วก้อย, ฐานนิ้วชี้และความกว้างของฝ่ามือ บนหลักการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ (Hand contour-based) ระหว่างวิธีการวัดระยะห่างจากปลายนิ้วและร่องนิ้ว (Euclidean distance-based) จากงานวิจัย [3-5], วิธีการหาเส้นแกนหมุน (Pivot line-based) จากงานวิจัย [6,7] และวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววง (Middle-Ring finger valley parallel line-based) ซึ่งพัฒนาจากงานวิจัย [8,9] โดยจะเปรียบเทียบในด้านความเที่ยงตรงของผลการวัดความยาวนิ้วมือ เมื่อรับภาพมือที่มีลักษณะแตกต่างกันในท่าทางวางมือปกติ, ท่าทางขยิบนิ้วมือกว้าง และท่าทางชิดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ

อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือทำหน้าที่หาตำแหน่งเด่นของภาพมือออกมาเพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการยืนยันเอกลักษณ์มีขั้นตอนการทำงานหลักสามส่วนคือ การเตรียมภาพ (Image Acquisition), การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing) และการหาตำแหน่งเด่น (Feature Extraction) ดังรูปที่ 1 โดยในงานวิจัยก่อนหน้าที่เกี่ยวกับระบบวัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดก้ำกับนิ้วมือจะใช้ภาพมือตั้งแต่ส่วนข้อมือขึ้นไปซึ่งทำให้ขนาดของอุปกรณ์มีขนาดใหญ่ เพื่อทำการลดขนาดของอุปกรณ์ผู้วิจัยจึงใช้ภาพมือที่มีขนาดใกล้เคียงกับระบบในเชิงพาณิชย์เป็นแนวทางในการดำเนินงาน งานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องเว็บแคม (Webcam) บันทึกภาพมือขวาจากตู้ควบคุมแสงสว่าง ซึ่งมีจุดนำร่องช่วยบังคับนิ้วกลางให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ มีความชัดเจนของนิ้วมือทั้ง 4 นิ้วคือ นิ้วก้อย, นิ้ววง, นิ้วกลางและนิ้วชี้ โดยไม่นำข้อมูลนิ้วหัวแม่มือมาพิจารณา เนื่องจากแกนหมุนของนิ้วหัวแม่มือต่างจากนิ้วอื่นๆทำให้ภาพนิ้วหัวแม่มือที่ได้มีขนาดไม่แน่นอน

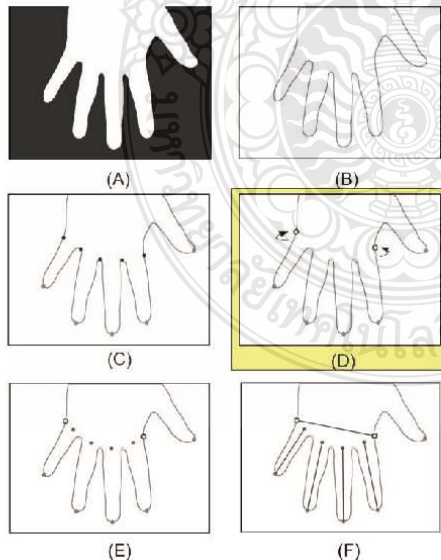
DS003



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ

**2.2 การหาลักษณะเด่นโดยวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ**

รูปที่ 2 คือรูปประกอบการอธิบายขั้นตอนย่อยในกระบวนการหา ลักษณะเด่นโดยวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ โดยรูปที่ 2(A) คือ ภาพมือที่ผ่านการประมวลผลภาพเบื้องต้นแบบขาวดำ (Binary) ใช้เป็น ภาพนำเข้าสู่กระบวนการหาลักษณะเด่นของมือ เพื่อนำไปหาความยาว นิ้วทั้งสี่นิ้วคือ นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลาง และนิ้วชี้ พร้อมทั้งหาความ กว้างของฝ่ามือ ซึ่งในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นห้าขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่หนึ่งคือการ หาขอบภาพหรือการหาเส้นรอบรูปมือ โดยในงานวิจัยนี้ใช้การหา ขอบภาพวิคเนนนี่ (Canny Edge Detection) เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่ ระบุพิคตของเส้นรอบรูปมือ (Hand Contour Data) ดังรูปที่ 2(B)



รูปที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนย่อยในกระบวนการหา ลักษณะเด่น

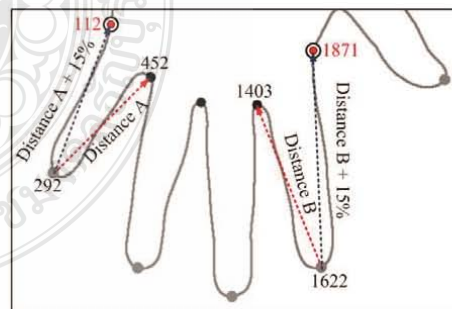
ขั้นตอนที่สองคือการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วมือ ดังรูปที่ 2(C) ชุด ข้อมูลพิคตเส้นรอบรูปมือที่ได้นำมาหาพิคตปลายนิ้วและร่องนิ้วด้วย วิธีการหาขอบด้านนอกและความเว้า (Convex hull and Convexity Defects) จากงานวิจัย [10] ขั้นตอนที่สามคือการหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ ซึ่งเป็นกระบวนการที่งานวิจัยนี้ต้องการทดสอบโดยวิธีการทั้งสามแบบที่ กล่าวไปในบทนำ ดังรูปที่ 2(D) ขั้นตอนที่สี่คือการหาตำแหน่งกลางนิ้ว มือบนเส้นฐานนิ้วมือ ดังรูปที่ 2(E) จากพิคตร่องนิ้วมือ และพิคตขอบฝ่า มือ จะนำไปสู่เส้นฐานนิ้วมือ กึ่งกลางของเส้นฐานนิ้วมือคือตำแหน่ง กลางนิ้วมือ ขั้นตอนที่ห้าคือการหาความยาวของนิ้วมือ และความ กว้างของฝ่ามือ ดังรูปที่ 2(F) ระยะทางจากพิคตปลายนิ้วมือถึงพิคตกลาง นิ้วมือ คือความยาวของนิ้วมือแต่ละนิ้ว ส่วนความกว้างของฝ่ามือคือ ระยะทางจากพิคตขอบฝ่ามือด้านนอกถึงพิคตขอบฝ่ามือด้านใน

**2.3 การหาตำแหน่งขอบฝ่ามือ**

จากชุดข้อมูลที่ระบุพิคตของเส้นรอบรูปมือและชุดข้อมูลพิคตปลาย นิ้วและร่องนิ้วที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า จะถูกนำมาคำนวณหาพิคตขอบ ฝ่ามือด้านนอกและพิคตขอบฝ่ามือด้านใน ซึ่งพิคตที่ได้นี้จะนำมาใช้ในการ หาเส้นฐานนิ้วก้อย และเส้นฐานนิ้วชี้ตามลำดับ ดังวิธีการทั้งสามนี้

**2.3.1 วิธีการวัดระยะห่างจากปลายนิ้วและร่องนิ้ว**

วิธีนี้จะคำนวณหาระยะห่างจากพิคตปลายนิ้วและพิคตร่องนิ้วและ นำมาเป็นระยะอ้างอิง (ระยะห่างจากปลายนิ้วและร่องนิ้วพร้อมทั้งบวก เพิ่มอีกร้อยละสิบห้า) เพื่อใช้หาพิคตขอบฝ่ามือ โดยให้พิคตปลายนิ้วเป็น หลักและชุดข้อมูลพิคตของเส้นรอบรูปมือเป็นพิคตเป้าหมาย หากพิคตใด ในชุดข้อมูลพิคตเส้นรอบรูปมือมีระยะห่างจากพิคตปลายนิ้วเท่ากับ ระยะทางอ้างอิง ให้ถือว่าจุดนั้นเป็นพิคตขอบฝ่ามือ ดังรูปที่ 3 งานวิจัยที่ [5] กล่าวว่า การเพิ่มระยะห่างอีกร้อยละสิบห้าจากการทดลอง

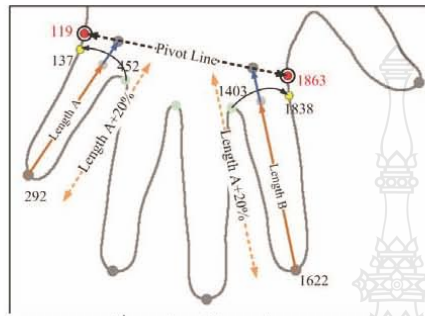


รูปที่ 3 แนวคิดของวิธีการวัดระยะห่างจากปลายนิ้วถึงร่องนิ้ว

**2.3.2 วิธีการหาเส้นแกนหมุน**

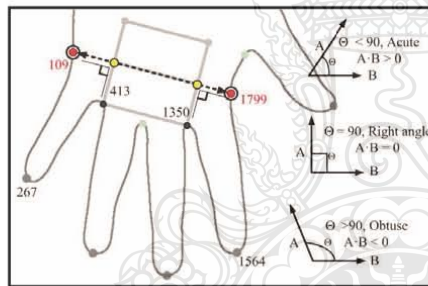
วิธีการนี้จะสร้างเส้นตรงที่ใช้ชื่อว่าเส้นแกนหมุนเพื่อเป็นตำแหน่ง อ้างอิงในการหาขอบฝ่ามือ โดยเส้นนี้ได้จากการหาความยาวนิ้วก้อยและ ความยาวนิ้วชี้ จากนั้นเพิ่มความยาวของนิ้วทั้งสองอีกร้อยละสิบ พิคต

ใหม่ที่ได้จะเป็นจุดต้นและจุดปลายของเส้นแกนหมุน จากนั้นทำการคำนวณหาพิคคอปฝ่ามือ หากพิคคอคอดของเส้นรอบรูปมืออยู่ในระนาบเดียวกันกับจุดทั้งสอง ให้ถือว่าจุดนั้นเป็นพิคคอปฝ่ามือ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แนวคิดของวิธีการหาเส้นแกนหมุน

### 2.3.3 วิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววง



รูปที่ 5 แนวคิดของวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววง

วิธีการนี้ได้แนวคิดจากงานวิจัยที่ [8,9] ที่ใช้เส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววงเป็นเส้นอ้างอิงหลัก พิกคอปฝ่ามือจะได้มาจากชุดข้อมูลเส้นรอบรูปมือที่ทำมุม 20 องศาับเส้นอ้างอิง โดยวิธีการนี้ได้พัฒนามาใช้เส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววงเป็นเส้นอ้างอิงหลัก แล้วนำมาสร้างสี่เหลี่ยมจตุรัสเพื่อแสดงภาพพื้นที่ฝ่ามือด้านใน แล้วหาจุดแบ่งครึ่งจตุรัส จะได้เส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้ววงที่มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิงหลักเท่ากับความกว้างของนิ้วอ้างอิง พิกคอปฝ่ามือจะได้จากผลการ dot product ระหว่างสองเวกเตอร์ คือ [พิคคอร่องนิ้ว, พิกคอปปลายเส้นขนาน] และ [พิคคอบนเส้นรอบรูปมือ, พิกคอปปลายเส้นขนาน] หรือเวกเตอร์ A และ B ตามลำดับดังสมการที่ (1) หากผลการคำนวณเท่ากับศูนย์แสดงว่าทั้งสองเวกเตอร์ตั้งฉากกัน ให้ถือว่าจุดนั้นคือพิคคอปฝ่ามือ ดังรูปที่ 5

$$A \cdot B = |A||B| \cos \theta \quad (1)$$

เมื่อ A คือ เวกเตอร์พิกคอร่องนิ้ว-พิกคอปปลายเส้นขนาน  
B คือ เวกเตอร์พิกคอบนเส้นรอบรูปมือ-พิกคอปปลายเส้นขนาน

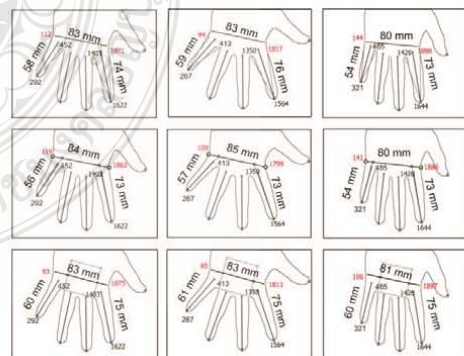
### 3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

โปรแกรมพัฒนาด้วยภาษา C ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.1 โดยกำหนดให้รับข้อมูลจากภาพเงามือขนาด 640x480 พิกเซล ส่วนกระบวนการหลักขณะเดินใช้ขั้นตอนดังหัวข้อ 2.2 แต่เปลี่ยนขั้นตอนที่สามคือวิธีการหาขอบฝ่ามือให้ครบทั้งสามวิธี ผลลัพธ์ของ โปรแกรมให้แสดงข้อมูลมือขวามือ นิ้วมือและเส้นแสดงความกว้างฝ่ามือเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้แต่ละชุดมาหาผลความแตกต่างระหว่างตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์หาบทสรุปของการทดลอง ในการทดสอบนี้ได้นำภาพถ่ายมือที่ได้จากบุคคลจำนวน 30 คน คนละ 3 รูป ในท่าทางวางมือปรกติ, ท่าทางขยี้มนิ้วมือกว้าง และท่าทางขยี้มนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อย ดังรูปที่ 6 เป็นตัวอย่างภาพถ่ายของบุคคลจำนวน 10 คนทั้งสามท่าทางที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 ตัวอย่างภาพถ่ายมือที่ใช้ในการทดลอง

### 4. ผลการทดลอง



รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพถ่ายผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

ผลลัพธ์ความยาวนิ้วมือของแต่ละบุคคลทั้งสามท่าทางที่ทดสอบ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 7 โดยภาพในแถวที่หนึ่งคือภาพผลลัพธ์ของวิธีการ

วัดระยะห่างจากปลายนิ้วและร่องนิ้ว ภาพในแถวที่สองคือภาพผลลัพธ์ของวิธีการหาเส้นแกนหมุน และภาพในแถวที่สามคือภาพผลลัพธ์ของวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนาง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลข้อมูลบุคคลที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง

ข้อมูล	วิธีที่ 1			วิธีที่ 2			วิธีที่ 3		
	ค่าทาง 1	ค่าทาง 2	แฉกค่า	ค่าทาง 1	ค่าทาง 2	แฉกค่า	ค่าทาง 1	ค่าทาง 2	แฉกค่า
บุคคลที่ 1	นิ้วนาง	73	73	0					
	นิ้วกลาง	77	77	0					
	นิ้วก้อย	58	59	1	56	57	1	60	61
	นิ้วชี้	74	76	2	73	73	0	75	75
	ฝ่ามือ	83	83	0	84	85	1	83	83
รวมผลต่าง			3			2			1

ผลปรากฏว่ามีตัวอย่างทดสอบเกินกว่าครึ่งในท่าทางขิดนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อยมีความยาวนิ้วกลางและนิ้วนาง ซึ่งเป็นนิ้วหลักที่ใช้อ้างอิงความถูกต้องของระบบ) ลดลงเกินกว่า 3 มิลลิเมตรเมื่อเทียบกับท่าทางวางมือปรกติ ซึ่งเป็นผลมาจากกล้ามเนื้อและผิวหนังของมือมาคบบังร่อนนิ้ว ผู้วิจัยจึงไม่นำข้อมูลในท่าทางดังกล่าวมาพิจารณา จึงใช้เฉพาะผลลัพธ์ที่ได้จากท่าทางวางมือปรกติ และท่าทางขยำนิ้วมือกว้างในแต่ละวิธีของแต่ละบุคคลมาหาผลความแตกต่าง (ความยาวของนิ้วก้อย, ความยาวของนิ้วชี้ และความกว้างของฝ่ามือ) ตัวอย่างค่าที่ได้ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำผลความแตกต่างที่ได้ของบุคคลทดสอบทั้งหมดนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 2 โดยพบว่าผลค่าเฉลี่ยผลความแตกต่างต่างของวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนางอยู่ที่ 2.33 มิลลิเมตร และเมื่อตรวจสอบผลความแตกต่างระหว่างท่าทางในทุกข้อมูลทดสอบพบว่าวิธีนี้ได้ผลไม่เกินกว่า 3 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่ามีความแปรปรวนน้อยซึ่งถือว่าวิธีที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 ผลค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างท่าทางที่ 1 และ 2

ข้อมูล	ความแตกต่างระหว่างท่าทางที่ 1 และ 2		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
บุคคลที่ทดสอบ	1	3	2
	2	8	5
	3	4	2
	4	7	4
	5	2	2
	6	2	3
	7		
	8		
	9		
	30	4	1
ผลรวม	110	100	70
ค่าเฉลี่ย	3.67	3.33	2.33

## 5. สรุปผลการทดลอง

สรุปได้ว่าวิธีการสร้างเส้นขนานกับเส้นฐานนิ้วกลางและนิ้วนางได้ผลลัพธ์โดยเฉลี่ยที่ดีที่สุด คือมีความยืดหยุ่นสูงสามารถรองรับลักษณะรูปร่างมือที่แตกต่างกันได้ดี ทั้งผลจากชุดทดสอบแสดงค่าความผิดพลาดไว้สูงสุดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าน้อยมากในระบบวัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดกำกับ จึงถือเป็นอีกทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," *Pattern Recognition*, vol. 42, pp. 2797-2806, 2009.
- [2] A. K. Singh, A. K. Agrawal, and C. B. Pal, "Hand geometry verification system: A review," in *Ultra Modern Telecommunications & Workshops*, 2009. *ICUMT '09. International Conference on*, 2009, pp. 1-7.
- [3] X. Wei, X. Changsheng, and O. Sim Heng, "Peg-free Human Hand Shape Analysis and Recognition," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2005. *Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on*, 2005, pp. 77-80.
- [4] G. Fouquier, L. Likforman, J. Darbon, and B. Sankur, "The Biosecure Geometry-Based System for Hand Modality," in *Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2007. *ICASSP 2007. IEEE International Conference on*, 2007, pp. 1-801-I-804.
- [5] G. Boreki and A. Zimmer, "Hand geometry: a new approach for feature extraction," in *Automatic Identification Advanced Technologies*, 2005. Fourth IEEE Workshop on, 2005, pp. 149-154.
- [6] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "Shape-based hand recognition," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 1803-1815, 2006.
- [7] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "Person authentication based on hand shape," in *Signal Processing and Communications Applications Conference*, 2004. *Proceedings of the IEEE 12th*, 2004, pp. 152-155.
- [8] M. A. Ferrer, J. Fabregas, M. Faundez, J. B. Alonso, and C. Travieso, "Hand geometry identification system performance," in *Security Technology*, 2009. *43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on*, 2009, pp. 167-171.
- [9] M. A. Ferrer, A. Morales, C. M. Travieso, and J. B. Alonso, "Influence of the pegs number and distribution on a biometric device based on hand geometry," in *Security Technology*, 2008. *ICCST 2008. 42nd Annual IEEE International Carnahan Conference on*, 2008, pp. 221-225.
- [10] อภิวัฒน์ สวัสดิรัตน์ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร, "การพัฒนาแบบวัดโครงสร้างมือโดยใช้เทคนิค Hull Convexity Defects," *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36*, กาญจนบุรี, 11-13 ธันวาคม 2556, เล่ม 2, หน้า 777-780.





มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37  
The 37<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-37)  
19-21 พฤศจิกายน 2557  
ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ. ขอนแก่น  
<http://eecon37.kku.ac.th>



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า หรือ Electrical Engineering Conference (EECON) เป็นการประชุมวิชาการระดับชาติที่มีมาตรฐานทางวิชาการเป็นที่ยอมรับในระดับสากล มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ อาจารย์ นิสิต นักศึกษา และ นักวิจัย ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ได้นำเสนอผลงานวิจัยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางด้านงานวิจัยระหว่างกัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้านี้ดำเนินการโดยคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้แทนจากสถาบันกรรมการสามัญ ผู้แทนจากสถาบันกรรมการสมทบ และคณะกรรมการดำเนินงานจัดการประชุม จากสถาบันที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพในแต่ละปี การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าได้จัดขึ้นทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 เป็นต้นมา และในปี พ.ศ. 2557 นี้ นับเป็นครั้งที่ 37 โดยมหาวิทยาลัยขอนแก่นได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพซึ่งนับเป็นโอกาสดีเนื่องจากเป็นวาระครบรอบ 50 ปีแห่งการสถาปนามหาวิทยาลัย

คณะกรรมการจัดการประชุม	สาขาของบทความ												
<b>1. คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า</b> <b>2. สถาบันกรรมการสามัญ</b> สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาวิทยาลัยศรีปทุม มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยสยาม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยรังสิต มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยพะเยา	ไฟฟ้ากำลัง (PW) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE) ไฟฟ้าสื่อสาร (CM) ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT) อิเล็กทรอนิกส์ (EL) การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS) โฟโตนิกส์ (PH) วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE) คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)												
<b>3. สถาบันกรรมการสมทบ</b> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาวิทยาลัยรามคำแหง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นซีบู	<b>การส่งบทความ</b> จัดทำบทความเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษขนาด A4 ตามแบบที่กำหนด ส่งผ่านระบบออนไลน์ โดยขั้นตอนและรายละเอียดในการส่งบทความสามารถเข้าดูได้ที่เว็บไซต์ ของการประชุมที่ <a href="http://eecon37.kku.ac.th">http://eecon37.kku.ac.th</a>  <b>การพิจารณาและการนำเสนอบทความ</b> การพิจารณาบทความดำเนินการโดยผู้พิจารณาบทความระดับวิชาชีพชั้นสูงทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Professional Reviewers) ที่ได้รับการคัดเลือกตรงตามสาขาจากสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า(ประเทศไทย) หรือ EEAAT และจากสถาบันกรรมการทั่วประเทศ บทความที่ผ่านการพิจารณาจะได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารการประชุม (Proceedings) ของ EECON-37 และต้องมีการนำเสนอในที่ประชุม บทความดีเด่นในแต่ละสาขาจะได้รับการคัดเลือกในขั้นตอนแรกจากผู้พิจารณาบทความ และจะได้รับการพิจารณาตัดสินในขั้นตอนสุดท้ายโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้รับการเสนอชื่อจากสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า(ประเทศไทย) และจากสถาบันที่เป็นกรรมการสามัญทั่วประเทศ  <b>กำหนดการสำคัญ</b> <table border="1"> <tr> <td>❖ หมดเขตรับบทความ</td> <td>วันศุกร์ที่ 11 กรกฎาคม 2557</td> </tr> <tr> <td>❖ แจ้งผลการพิจารณาบทความ</td> <td>วันจันทร์ที่ 1 กันยายน 2557</td> </tr> <tr> <td>❖ หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์</td> <td>วันจันทร์ที่ 15 กันยายน 2557</td> </tr> <tr> <td>❖ วันสุดท้ายของการลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ</td> <td>วันจันทร์ที่ 15 กันยายน 2557</td> </tr> <tr> <td>❖ วันสุดท้ายของการลงทะเบียนล่วงหน้า</td> <td>วันจันทร์ที่ 13 ตุลาคม 2557</td> </tr> <tr> <td>❖ การนำเสนอบทความ</td> <td>19 - 21 พฤศจิกายน 2557</td> </tr> </table>	❖ หมดเขตรับบทความ	วันศุกร์ที่ 11 กรกฎาคม 2557	❖ แจ้งผลการพิจารณาบทความ	วันจันทร์ที่ 1 กันยายน 2557	❖ หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์	วันจันทร์ที่ 15 กันยายน 2557	❖ วันสุดท้ายของการลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ	วันจันทร์ที่ 15 กันยายน 2557	❖ วันสุดท้ายของการลงทะเบียนล่วงหน้า	วันจันทร์ที่ 13 ตุลาคม 2557	❖ การนำเสนอบทความ	19 - 21 พฤศจิกายน 2557
❖ หมดเขตรับบทความ	วันศุกร์ที่ 11 กรกฎาคม 2557												
❖ แจ้งผลการพิจารณาบทความ	วันจันทร์ที่ 1 กันยายน 2557												
❖ หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์	วันจันทร์ที่ 15 กันยายน 2557												
❖ วันสุดท้ายของการลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ	วันจันทร์ที่ 15 กันยายน 2557												
❖ วันสุดท้ายของการลงทะเบียนล่วงหน้า	วันจันทร์ที่ 13 ตุลาคม 2557												
❖ การนำเสนอบทความ	19 - 21 พฤศจิกายน 2557												
<b>ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ</b> ผศ.ดร.กิตติพงษ์ มีสวัสดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถ. มิตราภพ ต. ในเมือง อ. เมืองขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002 โทรศัพท์ 043-202-353 และ 083-413-3106 โทรสาร 043-202-836 Email: eecon37@elec.kku.ac.th													

CALL FOR PAPERS

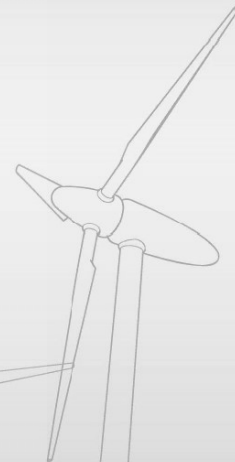
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
The 38<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-38)



**UTCC** University of  
the Thai Chamber  
of Commerce

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

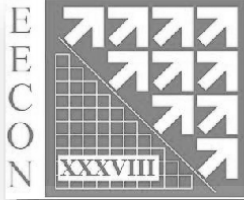
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)  
ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)  
ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)  
อิเล็กทรอนิกส์ (EL)  
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)  
ไฟโตนิคส์ (PH)  
วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)  
คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)



**Volume II**  
AEC Synergy

วันที่ ๑๘ - ๒๐ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๘  
โรงแรมารบุรี อโยธยา คอนเวนชัน ซีส์อาร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



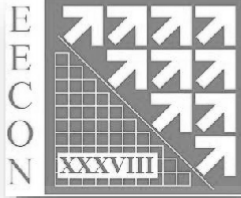


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาไฟฟ้ากำลัง (PW)

ผศ.ดร.วันชัย ฉิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ศ.ดร.อิสระชัย งามหรุ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วณิชย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ตฤณ แสงสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.กীরติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ.ดร.บรรณวฤทธิ์ สิงห์วิลัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.บุญเลิศ สื่อเฉย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.สมบูรณ์ นุชประยูร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.อำนาจ สุขศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รศ.ดร.ภาณุ เกียรติขึ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.เชิดชัย ประภาณวรรคิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ธีรธรรม บุญยะกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สถิตทิพย์ สันทรสนธิชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อาจารย์ ดร.คณิศร์ มาตรา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.ดร.คมสันต์ ดาโรจน์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.บงกช สุขอนันต์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นิพัทธ์ จันทรมินทร์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผศ.ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษ์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม	มหาวิทยาลัยสยาม
รศ.ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.จงลักษณ์ พาหะชา	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ.ดร.ประมุข อุดมเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.นันทิยา ชัยบุตร	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผศ.ดร.วิญญู แสงวสินกสิกิจ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.ดร.รัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ธนากร นำหอมจันทร์	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

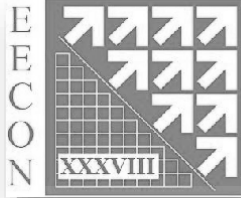


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

ผศ.ดร.เกษม อุทัยไขฟ้า	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ.ดร.วีระเชษฐ یشانเงิน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.เจ็ดสกุล โสภานิตย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ศิริโรจน์ ศิริสุขประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.วันชัย ททรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.วันชัย จันไกรผล	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ.ดร.ชัชวาลย์ เยาวบุตร	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ชูเกียรติ พงษ์พานิช	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.ปานหทัย บัวศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.อุเทน คำนาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ.ดร.พินิจ ศรีธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.สาคร โพธิ์งาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.เวดิน ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.ดร.ประชา คำภักดิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.กุศลมาลัย เฉลิมยานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.ยุทธนา จงเจริญ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ดร.กองพล อารีรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.ไพบูลย์ นาคมหาชลาสินธุ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.ยงยุทธ นารามภูรี	มหาวิทยาลัยสยาม
อ.ดร.สายชล ชูดเชื้อจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.ดำรงค์ อมรเดชาพล	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ.ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.อนุชิต เจริญ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

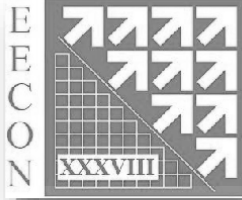


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



สาขาไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

ผศ.ดร.สันต์ชัย รัตน์นนท์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ศ.ดร.พรชัย ททรัพย์นิธิ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วาทิต เบญจพลกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ไพฑูริย์ รักเหลือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รศ.ดร.พงศธร เศรษฐธีร	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร.อดิศักดิ์ มนต์ประภัสสร	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ชราดล โกมลมิศรี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.อาคม แก้วระวีง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ดร.วรรณเรย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ.ดร.พินิจ กำหม่อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.ประยุทธ อัครเอกฉាលิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สาวสดี บุญยเวศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.ดร.กำพล วรรดิษฐ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.ดร.ประสิทธิ์ นครราช	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.ดร.อธิพงษ์ สุริยา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.วิกรม ชีรภาพจรเดช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.ดร.ชัยพร เหมะภาคะพันธ์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รศ.ดร.สมชาติ โชคชัยธรรม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อ.พล.ท.ดร.สมพงษ์ ตูมิสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.นิพนธ์ ทางทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.ภักดิ์วัฒน์ จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อ.ดร.ปกรณ์ ยุบลโกศล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

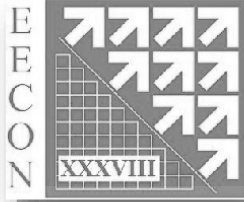


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

ผศ.ดร.ศุภเชษฐ์ อินทร์เนตร	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ศ.ดร.วันชัย ธีรรัฐจา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.สุชิน อรุณแส้วตีวงศ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อ.ดร.เขาวลิต มีตรสันติสุข	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.นิมิต บุญภิรมย์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ.ดร.พัฒนชา พัฒนะศรี	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร.เดชา พวงดาวเรือง	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.บุญศรี แก้วคำอ้าย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.อาณูภาพ มีสมบุรณ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ.ดร.วันจักร์ เล่นาวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุสันต์ นูนงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วีระชัย มาลัยเวช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อ.ดร.กฤษชัย วิถีพานิช	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.มงคล ปุษยตานนท์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.มุกิตา สงขโมจันทร์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.กองพันธ์ อารีรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.สิทธิเดช วัชราศรีศิริกุล	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ.ดร.ปรีชา สาคะรังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อ.ณธรรม เกิดสีอ่างค์	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

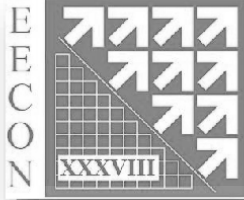


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาอิเล็กทรอนิกส์ (EL)

ผศ.สุภานันท์ ตันวรรณรัมย์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมชัย รัตนธรรมพันธ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ชูเกียรติ การเกตุ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.อำนาจ เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.สัญญา คุณขาว	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ.ดร.สุโชค ธนพิทักษ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.นิภาภรณ์ ศิริพล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อ.ดร.สถาพร พรพรหมลิขิต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.สมชาย ศรีสกุลเดี่ยว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ.ดร.กมล จิรเสรีอมรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.บัลลังก์ เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ธีรยศ เวียงทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ศิริพงษ์ ฉายสินธุ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.บนิษฐา แก้วแดง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.ภาณุมาศ คำสัตย์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.สุภาณ พลสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รศ.นภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.โกศล นิธิโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



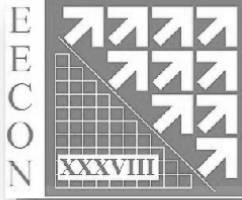
คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)

ผศ.ดร.วรินทร์ วงษ์มณี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ปรีชา กอเจริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ.ดร.พรชัย ชันยากร	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.สมศักดิ์ ลีโรจน์ปานนท์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.นิพนธ์ ชีระอำพน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.วิระสิทธิ์ อิ่มถวิล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.นพดล มณีเศียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ดร.ประจวบ อินระวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รศ.ดร.บัณฑิต ทิพากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.วิไลพร แซ่ลิ้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พีระพล ยูภูมิदानนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.วรการ วงศ์สายเชื้อ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.พรชัย พงษ์ภักดิ์รานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.อัศวพันธ์ วงศ์กั้งแห	มหาวิทยาลัยเรศวร
รศ.ดร.บงการ หอมน่าน	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รศ.ดร.กิตติ อัดดกิจมงคล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ทัศนัย พลอยสุวรรณ	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.ชนาทิพย์ จันทร์คง	มหาวิทยาลัยพะเยา
รศ.ดร.สมเกียรติ อุดมธรรมภาณุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.วิศาล พัฒน์ชู	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อ.ธีรยุทธ จันทร์แจ่ม	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต



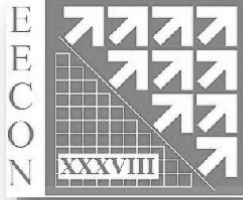


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาโฟโตนิกส์ (PH)

ผศ.ดร.ชานัท รุ่งศิริชนะ	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ.ดร.สุริภณเฑ สมควรพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ดวงฤดี วรสุชีพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อ.ดร.พิสุทธิ์ รัตศักดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.วิสิทธิ์ ล้อธรรมจักร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.เอกชัย ดีศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รศ.ดร.ภูมินทร์ กิระวานิช	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.สิริวิษ ทัดสวน	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.อุกฤษฏ์ มั่นคง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.นันทกานต์ วงศ์เกษม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อ.ดร.สมมาตร แสงเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.ทิพย์วรรณ พังสุวรรณรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.วันชัย ไพจิตรโรจนนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

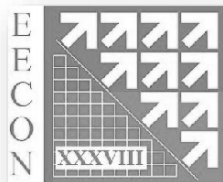


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(ECON-38)



สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ มานิตพรสุทร์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
อ.ดร.ชูชาติ บิดเชวีร์จัน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อาวรณ์ ชีรมงคลรัมย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ดุสิต ชนเพทาย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.เพชร นันทิวัฒนา	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ.ดร.เชิง เลิศมโนรัตน์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.สมเกียรติ เพียงพรานทอง	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.บุญยิ่ง เจริญ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.นพดล มณีเชียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผศ.ดร.จีฆพันธุ เจริญพงษ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.ศุภฤกษ์ จันทร์จรัสจิตต์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.วรพล พงษ์เพชร	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
รศ.ดร.นภดล อุซายภิชาติ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.สุพจน์ สุปไพฑารมณ	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

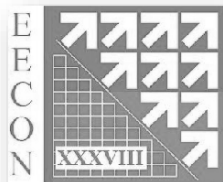


คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

ผศ.ณัฐธาดา พดุงษ์กานนท์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร.สุรินทร์ กิตติขจรกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.วันเฉลิม โปธา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ศิริชัย เติริยมล้ำเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ดร.วนายุทธ์ แสนเงิน	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
อ.ดร.ก่อพร พันธุ์ยิ้ม	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.น.อ.ไชโย ชรรวมรัตน์ ร.น.	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อ.ดร.ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ.ดร.ณอมศักดิ์ โสภณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รศ.ดร.ธีรวัฒน์ อมรรักษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วรา วราวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชันษา ศรีประโม่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร.สมภาพ รอดอัมพร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.ดร.สุรเดช จิตประไพกุลศาล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ณรงค์เดช กิรติพรานนท์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.พรเทพ โรจนวสุ	มหาวิทยาลัยพะเยา
อ.ดร.จักรพงษ์ สุชาภูษกุล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
อ.รัชกร อ่อนบุญเอื้อ	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย



คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๘  
(EECON-38)



สาขานานาชาติที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

ผศ.ณัฐพร ฤทธิ์น้อม	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.วชิระ จงบุรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สมชัย หิรัญโรตม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.พศวีร์ ศรีโหมด	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผศ.ดร.อารณีย์ พันทะหัด	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.วิชัย แซ่ลี	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.ยุทธนา ป่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.กิตติพงษ์ ตันมิตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร.ยุพดี หัตถสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.กฤติเดช บัวใหญ่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ศ.ดร.โกสินทร์ จำงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ไชยยันต์ สุวรรณเชื้อศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สุเจตน์ จันทร์รัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.พินิจ เทพสาทร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.ดร.เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพนากุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.พนัส นันตฤทธิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.มนเชล นาวงษ์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ดร.อนันท์ อุนศิริไฉย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ณรงค์ บวบทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ไวยพจน์ ศุภาวรเสถียร	มหาวิทยาลัยสยาม
อ.ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รศ.ดร.เชวศักดิ์ รักเป็นไทย	มหาวิทยาลัยพะเยา
อ.สุธี รุกขพันธ์	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.ทง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ปฎิภาณ เกิดลา	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

DS07	<b>การลดแอมพลิจูดและห้ขจัดสัญญาณรบกวนในน้ำแม่โดยใช้วิธีการโดยอ้อมบริเวณโดยารรวมกลุ่มพิกเซล</b> ศุวิทย์ เมาะรามี่ และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	741
DS08	<b>การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดล้ากับ</b> อภิวัฒน์ ศวัสศิริพันธ์, ชีรพล ยอดโรจน์ และ จักรวี ศรีนนท์ฉัตร	745
DS09	<b>การต่อภาพถ่ายเอกซเรย์ซอร์ติคเมตรกเตอร์กำลังแรงดันสูงด้วยวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัล</b> กันคณณ โสณพันธ์, ไพศาล มุณีสว่าง, นันทวัฒน์ อูดี และ ศุวิทย์ กิระ วิทยา	749
DS10	<b>Evaluation of Generation and Contrast Resolution in Potential of Improving Ultrasound Image Quality by using Ultraharmonic Frequency</b> Chunda Samakee	753
DS11	<b>Advanced Adaptive Frequency-domain Linear Equalisation in Single-Carrier FDE</b> Kom Puangnak, Suchada Sitjongsataporn and Aphichata Thongrak	757
PHI01	<b>ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดทางมิติ</b> มลฤดี เรณูสวัสดิ์	761
PH01	<b>ผลกระทบของจำนวนโฟตอนที่สูงเกินไปต่อระบบสื่อสารทางแสงเชิงควอนตัม</b> ศุวิทย์ กิระ วิทยา, จุฑาเพชร เวชรังษี, ปรมินทร์ แสงวงษ์งาม และ เขียวศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์	765
PH02	<b>การศึกษาศาถการตอบทางแสงและประสิทธิภาพของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al</b> ธนกฤต แสงโสม, ยุทธนา แจงอรุณ, วุฒิไกร คำอ่อน, งามจิต มงคลชนานนท์, วรเทพ น้อยปรีชา และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ	769
PH03	<b>Efficiency Improvement of HAMR Light Delivery System using an Embedded Reflector</b> Nathapat Supreeyhitikul and Rardchawadee Silapunt	773
PH04	<b>Electrical Characteristics of LEDs for Visible Light Communication</b> Saichon Sripphan and Suwit Kiravittaya	777
PH05	<b>ผลกระทบของแกนเซเรอร์ต่อความไวในการรับของไฮโดรโฟโชนิคเซลล์เซมิคอนดักเตอร์อินเดียมฟอสไฟด์</b> ไอยรา จันทวณิช และ อธิคม ฤกษ์นุตวา	781
BEI01	<b>การพัฒนาเครื่องมือแพทย์โดยสังเคราะห์ด้วยแสง</b> เชง เลิศมโนรัตน์	785
BE01	<b>การนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้กับเนื้อเยื่อที่ต้นแบบไปควบคุมหมอกไอไฟ 2 ช่องสัญญาณ</b> ชาญชัย สุภกิจอมรพันธ์, สุวดี สุขศรี, ณัฐพงศ์ ประมูลเรือง, มนต์ สังวาลศิลป์, ทาเคโนบุ มัทซึอูระ และ ธนพงศ์ ไชยชนะ	790
BE02	<b>การแบ่งส่วนภาพอัลตราซาวด์โดยใช้แบบจำลองเส้นรอบขอบที่คล้ายกันที่ร่วมกันเวลเตอร์การไหลของ</b> <b>ขอบภาพ</b> ธนัญชัย บุญหนัก, ตันน ศรีสุข และ ธันวาศรี ประโม่ง	794

## การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดก้ำกับ The Hand Placement Detection of Peg-less Hand Geometry Device

อภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์<sup>1</sup>, ธีรพล ยอดโรจน์<sup>2</sup> และจักรี ครินทร์ถัณฑ์<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น [apiwat.sa@rmuti.ac.th](mailto:apiwat.sa@rmuti.ac.th)

<sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### บทคัดย่อ

การตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือเป็นขั้นตอนหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบวัดขนาดมือ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจสอบการวางมือของอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุดก้ำกับสองวิธีคือ วิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้ว และวิธีการหาอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างปลายนิ้ว ภาพมือจำนวน 180 ภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันถูกนำมาใช้ในการทดสอบ ผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการทั้งสองสามารถหาภาพมือที่ผิดพลาดได้ทั้งหมด โดยมีความผิดพลาดสูงสามารถรองรับลักษณะรูปร่างมือที่แตกต่างกันได้ดี

**คำสำคัญ:** ระบบวัดขนาดมือ, การตรวจสอบการวางมือ, เส้นรอบรูปมือ, การหาลักษณะเด่น

### Abstract

Hand placement detection of hand geometry device is a majority step which is directly affected to efficiency of hand geometry system. This research presents the hand placement detection of peg-less hand geometry device in two different methods: Area ratio of hand's valleys and Width ratio of distance between fingertips. The 180 hand images, which are taken from different shape, are used as the input to test the system. The experiment results show that both methods can find all invalid images. Its gives a vary computations which can be apply to the different hand shape feature.

**Keywords:** hand geometry system, hand placement detection, hand contour, feature extraction

### 1. บทนำ

ระบบวัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry System) [1,2] คือระบบไบโอเมตริกที่นำข้อมูลขนาดและรูปร่างของฝ่ามือมาจำแนกความแตกต่างของแต่ละบุคคลออกจากกัน ระบบนี้มีข้อดีด้านความรวดเร็วในการประมวลผล ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยเนื่องจากข้อมูลมีขนาดเล็ก จึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่มีพื้นที่เก็บข้อมูลจำกัดหรือประยุกต์ใช้ในรูปแบบเครือข่าย สะดวกในการใช้งานและเป็นที่ยอมรับของสาธารณะ แต่ระบบที่มีวางจำหน่ายมีราคาแพงเนื่องจากมีเพียงไม่กี่บริษัทที่พัฒนาระบบใน

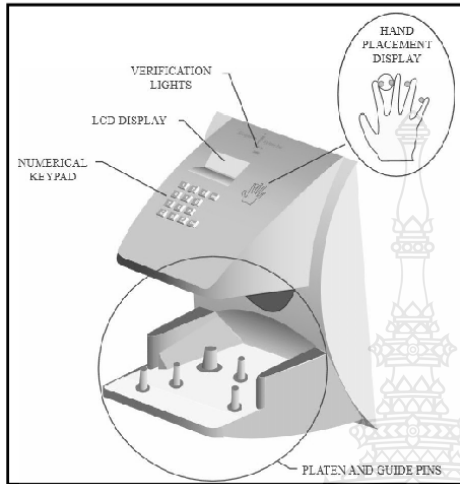
เชิงพาณิชย์ [3] ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาต้นแบบระบบวัดขนาดมือแบบไร้หมุดก้ำกับฝ่ามือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (Verification) ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด เพื่อเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากระบบในเชิงพาณิชย์ โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบการวางมือ (Hand Placement Detection) แบบไร้หมุดก้ำกับ (Peg-less) บนหลักการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ (Hand contour-based) ด้วยวิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่องนิ้ว และวิธีการหาอัตราส่วนระยะห่างระหว่างปลายนิ้ว ซึ่งพัฒนาจากงานวิจัย [4,5] เพื่อรองรับภาพมือที่มีลักษณะแตกต่างกันในท่าทางการวางมือปกติ, ท่าทางขยำนิ้วมือกว้าง และท่าทางขยำนิ้วมือจากปรกติเล็กน้อย

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การตรวจสอบการวางมือบนอุปกรณ์แบบมีหมุดก้ำกับ

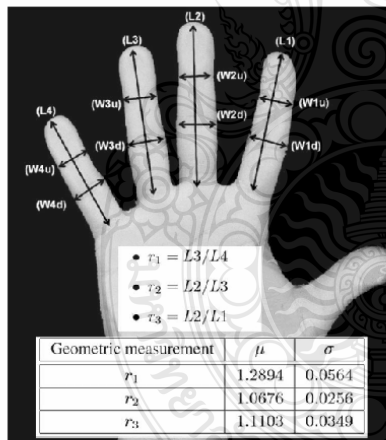
ระบบในเชิงพาณิชย์แทบทั้งหมดใช้หมุดเข้ามาช่วยในการกำกั้นนิ้วมือพร้อมทั้งมีระบบตรวจสอบการวางมือ ข้อมูลต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นว่าระบบวัดขนาดมือให้ความสำคัญกับขั้นตอนการรับภาพมือ จากรูปที่ 1 แสดงถึงส่วนประกอบของ Hand Punch 1000 [6] ซึ่งเป็นระบบวัดขนาดมือที่มีวางจำหน่ายในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าระบบจะมีแผ่นวางมือและหมุดก้ำกับนิ้ว (Platen and Guide Pins) จำนวนห้าหมุดเพื่อควบคุมนิ้วมือให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยมีไฟแสดงผลการวางนิ้วมือ (Hand Placement Display) คอยแจ้งเตือนการวางนิ้วมือที่ถูกต้อง พร้อมทั้งระบบได้ระบุขั้นตอนการวางมือที่ถูกต้องไว้ดังนี้ ใช้มือขวาอไว้หน้าเครื่องในลักษณะที่นิ้วมือทั้งสองชนกัน โดยรักษาระดับของมือให้ขนานกับแผ่นวางมือไว้ จากนั้นเลื่อนมือเข้าไปจนร่องนิ้วระหว่างนิ้วชี้และนิ้วกลางชนกับหมุด บินนิ้วมือเข้ามาโดยสังเกตไฟแสดงผลการวางนิ้วมือบนหน้าเครื่อง หากไฟแสดงผลดับแสดงว่าได้วางนิ้วมือถูกต้อง แต่ถ้าไฟแสดงผลยังสว่างอยู่แสดงว่านิ้วนั้นยังไม่สัมผัสกับหมุด สอดคล้องกับงานวิจัย [7] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่มีหมุดก้ำกับมือทั้งสองหมุด, สี่หมุด, ห้าหมุดและไร้หมุด พบว่าระบบที่มีหมุดมากกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เพราะหมุดจะช่วยลดความแปรปรวนของรูปร่างมือได้ แต่การใช้หมุดก็ยังมีข้อบกพร่องบางอย่างคือ ผู้ใช้งานหน้าใหม่ต้องศึกษาการวางมือกับหมุดที่ถูกต้อง, ภาพมือที่จะเข้าสู่ระบบจะถูกหมุดคบบังรูปร่างบางส่วน และบางบุคคลที่มีขนาดของนิ้ว

มือไม่อยู่ในระยะของหมุดจะใช้งานไม่ได้



รูปที่ 1. ส่วนประกอบของ Hand Punch 1000 จาก [6]

## 2.2 การตรวจสอบการวางมือบนอุปกรณ์แบบไร้หมุดกำกับ

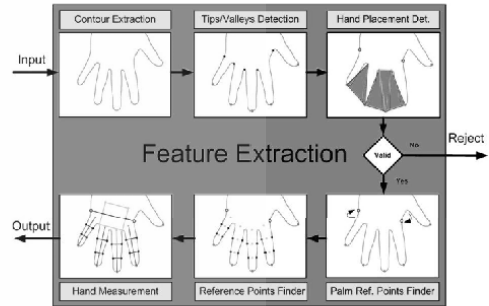


รูปที่ 2. ภาพอัตราความยาวระหว่างนิ้วจากงานวิจัย [4]

ระบบไร้หมุดกำกับนี้ ยังไม่มีบริษัทใดนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ ส่วนใหญ่ระบบนี้ใช้ในห้องปฏิบัติการตามมหาวิทยาลัย งานวิจัย [4, 5] ได้กล่าวถึงการตรวจสอบการวางนิ้วมือในระบบไร้หมุดกำกับ โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดความยาวนิ้วมาหาความสัมพันธ์ทางอัตราส่วนระหว่างนิ้วมาใช้ในการคัดกรองภาพมือที่ผิดพลาดออกจากระบบ คือ อัตราความยาวระหว่างนิ้วจนถึงนิ้วก้อย, อัตราความยาวระหว่างนิ้วกลางต่อนิ้วนาง และอัตราความยาวระหว่างนิ้วกลางต่อนิ้วชี้ จากนั้นนำกลุ่มข้อมูลอัตราส่วนทั้งสามมาหาค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ )

ดังรูปที่ 2 ภาพที่เหลือจากการคัดกรองเมื่อนำไปสู่กระบวนการหาประสิทธิภาพพบว่าจะได้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

## 2.3 การหาลักษณะเด่นร่วมกับการตรวจสอบการวางมือ



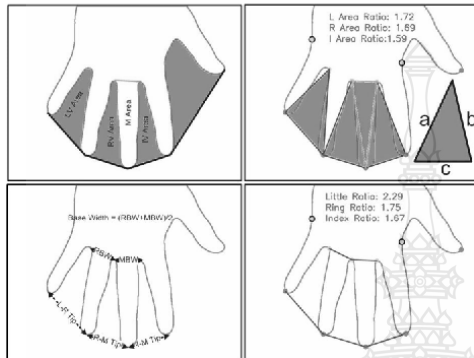
รูปที่ 3. กระบวนการหาลักษณะเด่นเมื่อแทรกการตรวจสอบการวางมือ

เนื่องจากการตรวจสอบการวางมือในระบบมีหมุดกำกับติดตั้งตัวตรวจรู้การสัมผัสที่หมุด กระบวนการตรวจสอบนี้จึงอยู่ในส่วนแรกของระบบคือการเตรียมภาพ (Image Acquisition) แต่ในระบบไร้หมุดกำกับนั้นสามารถแทรกกระบวนการนี้ลงไปในการหาลักษณะเด่น (Feature Extraction) ได้ เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ดังรูปที่ 3 การหาลักษณะเด่นของระบบนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินการ หกขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนหนึ่งคือการหาเส้นรอบรูปมือ (Contour Extraction) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การหาขอบภาพวิดิแคนนีย์ (Canny edge Detection) ข้อมูลที่สกัดที่ได้จะนำไปสู่ขั้นตอนที่สองคือการหาปลายนิ้วและร่องนิ้ว [8] ขั้นตอนที่สามนี้เองเป็นส่วนการตรวจสอบการวางมือที่ผู้วิจัยจะนำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 2.4 ในขั้นตอนนี้จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงเพื่อคัดกรองภาพมือที่ไม่ถูกต้อง (Invalid) ออกจากระบบและแจ้งเตือนผู้ใช้งาน หากภาพมือที่ได้ถูกต้อง (Valid) จะเข้าสู่ขั้นตอนที่สี่ [9] การหาค่าแห่งขบฝ่ามือ (Palm Reference Points Finder) เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งฐานของนิ้วก้อยและนิ้วชี้ ขั้นตอนสุดท้ายคือการหาจุดอ้างอิง (Reference Points Finder) เพื่อการวัดขนาด จากตำแหน่งปลายนิ้วและร่องนิ้ว ร่วมกับข้อมูลสกัดเส้นรอบรูปมือนำมาคำนวณหาจุดอ้างอิงต่างๆที่จะนำไปสู่การได้มาซึ่งความยาวและความกว้างของแต่ละนิ้ว และส่งต่อไปขั้นตอนสุดท้ายการวัดขนาดมือ (Hand Measurement) ผลแสดงออกเป็นขนาดความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้วมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องในภายหลัง

## 2.4 วิธีการตรวจสอบการวางมือจากที่สกัดเส้นรอบรูปมือ

จากชุดข้อมูลที่ระบุพิกัดของเส้นรอบรูปมือและชุดข้อมูลที่สกัดปลายนิ้วและร่องนิ้วที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้จะถูกนำมาคำนวณหาข้อมูลของการวางมือ ซึ่งข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการคัดกรองภาพมือที่ไม่ถูกต้อง

ออกจากระบบและแจ้งเตือนผู้ใช้งานด้วยวิธีการทั้งสองคือ วิธีการหาอัตราส่วนของพื้นที่ร่อนนิ้ว และวิธีการหาอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างปลายนิ้ว ดังนี้



รูปที่ 4. แนวคิดของวิธีการตรวจสอบการวางมือของทั้งสองวิธี

#### 2.4.1 วิธีการหาอัตราส่วนพื้นที่ร่อนนิ้ว

แนวคิดของวิธีการแสดงได้ดังรูปที่ 4 (ซ้ายบน) ซึ่งพบว่าพื้นที่ร่อนนิ้วมือจะเปลี่ยนแปลงตามท่าทางการวางมือ เมื่อขยายมือให้กว้างขึ้นพื้นที่ร่อนนิ้วจะเพิ่มขึ้น แต่หากขจัดมือให้แคบลงพื้นที่ร่อนนิ้วจะลดลง จากแนวคิดนี้จึงนำมาสู่การคำนวณหาพื้นที่แต่ละร่อนนิ้วเทียบกับพื้นที่นิ้วกลาง ซึ่งจะได้ค่าอัตราส่วน (หน่วยเป็นเท่า) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนนี้จากหลากหลายบุคคลและท่าทางที่แตกต่างกัน) การคำนวณด้วยวิธีนี้จะคำนวณหาพื้นที่ของทั้งสี่พื้นที่ที่โดยประมาณจากสามเหลี่ยมที่ทราบค่าความยาวทั้งสามด้าน ดังรูปที่ 4 (ขวาบน) ด้วยสูตรของเฮรอน (Heron's formula) ดังสมการที่ (1) และ (2) จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าอัตราส่วนดังนี้

- อัตราส่วนของร่อนนิ้วก้อย (L Area ratio) ได้จากพื้นที่ร่อนนิ้วระหว่างนิ้วก้อย-นางต่อพื้นที่นิ้วกลาง (LV Area/M Area)
- อัตราส่วนของร่อนนิ้วนาง (R Area ratio) ได้จากพื้นที่ร่อนนิ้วระหว่างนิ้วนาง-กลางต่อพื้นที่นิ้วกลาง (RV Area/M Area)
- อัตราส่วนของร่อนนิ้วชี้ (I Area ratio) ได้จากพื้นที่ร่อนนิ้วระหว่างนิ้วชี้-กลางต่อพื้นที่นิ้วกลาง (IV Area/M Area)

$$S = (a + b + c)/2 \quad (1)$$

$$Area = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad (2)$$

เมื่อ  $a, b, c$  คือ ความยาวในแต่ละด้านของรูปสามเหลี่ยม  
 $S$  คือ ความยาวครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูปสามเหลี่ยม  
 $Area$  คือ พื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม

#### 2.4.2 วิธีการหาอัตราส่วนระยะห่างระหว่างปลายนิ้ว

แนวคิดของวิธีการแสดงได้ดังรูปที่ 4 (ซ้ายล่าง) ซึ่งพบว่าระยะห่างระหว่างปลายนิ้วมือจะเปลี่ยนแปลงตามท่าทางการวางมือ เมื่อขยายมือให้กว้างขึ้นระยะห่างระหว่างปลายนิ้วจะเพิ่มขึ้น แต่หากขจัดมือให้แคบลงระยะห่างระหว่างปลายนิ้วจะลดลง จากแนวคิดนี้จึงนำมาสู่การคำนวณหาอัตราส่วนที่เกี่ยวกับความกว้างของฐานนิ้ว (ค่าก่อนข้างคงที่) ซึ่งจะได้ค่าอัตราส่วน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ข้อมูลระยะห่างทั้งสามค่าคือ ปลายนิ้วก้อยถึงปลายนิ้วนาง, ปลายนิ้วนางถึงปลายนิ้วกลาง และปลายนิ้วชี้ถึงปลายนิ้วกลาง พร้อมทั้งความกว้างของฐานนิ้ว ที่ได้จากครึ่งหนึ่งของระยะฐานนิ้วนางรวมกับฐานนิ้วกลาง (Base width = (RBW+MBW)/2) ดังรูปที่ 4 (ขวาล่าง) จะถูกนำมาหาค่าอัตราส่วนดังนี้

- อัตราส่วนนิ้วก้อย (Little ratio) คือระยะปลายนิ้วก้อยถึงปลายนิ้วนางต่อความกว้างของฐานนิ้ว (L-R Tip/ Base width)
- อัตราส่วนนิ้วนาง (Ring ratio) คือระยะปลายนิ้วนางถึงปลายนิ้วกลางต่อความกว้างของฐานนิ้ว (R-M Tip /Base width)
- อัตราส่วนนิ้วชี้ (Index ratio) คือระยะปลายนิ้วชี้ถึงปลายนิ้วกลางต่อความกว้างของฐานนิ้ว (I-M Tip /Base width)

### 3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

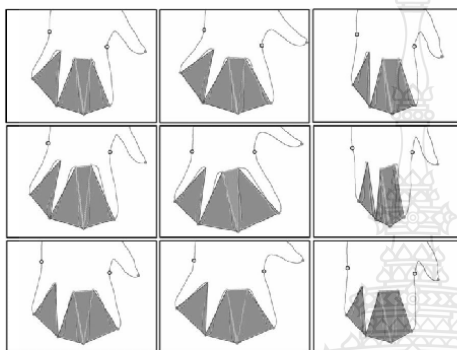
โปรแกรมพัฒนาด้วยภาษา C ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.1 โดยกำหนดให้รับข้อมูลจากภาพเงามือขนาด 640x480 พิกเซล ส่วนกระบวนการตรวจสอบการวางมือใช้วิธีดังหัวข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 ผลลัพธ์ของโปรแกรมให้แสดงผลอัตราส่วนและภาพมือพร้อมเส้นแสดงรูปแบบของแต่ละวิธี เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง จากนั้นนำผลลัพธ์ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) และนำมาวิเคราะห์หาบทสรุปของการทดลอง ในการทดสอบนี้ได้นำภาพมือจากงานวิจัยที่ [9] ที่ได้จากบุคคลจำนวน 60 คน คนละสามท่าทางคือ ท่าทางวางมือปกติ (Usual), ท่าทางขยายนิ้วมือกว้าง (Wide-open) และท่าทางขจัดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย (Nearly-closed) โดยเลือกเฉพาะภาพมือของบุคคลที่มีผลลัพธ์ความแตกต่างระหว่างท่าทางเกินกว่า 3 มิลลิเมตร (แสดงว่าเกิดข้อผิดพลาดในการวางมือ)

### 4. ผลการทดลอง

ภาพมือจาก 20 บุคคลที่พบข้อผิดพลาดในการวัดความยาวนิ้วถูกนำมาทดสอบ ข้อมูลอัตราส่วนทั้งหมดถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 1 โดยคำนวณเฉพาะผลลัพธ์จากท่าทางวางมือปกติ และท่าทางขจัดนิ้วมือจากปกติเล็กน้อย เพราะจากผลของงานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่าท่าทางขยายนิ้วมือกว้างได้ผลลัพธ์ในการวัดความยาวนิ้วที่ดี ส่วนภาพผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาประกอบกร



วิเคราะห์หาผลสรุปของผลการทดลอง รูปที่ 5 แสดงภาพผลลัพธ์ของ บุคคลที่หนึ่ง (แถวแรก), บุคคลที่สาม (แถวกลาง) และบุคคลที่สิบ (แถว สุดท้าย) ในท่าทางวางมือปกติ (หลักแรก), ท่าทางขยำนิ้วมือกว้าง (หลักกลาง) และท่าทางขี้นิ้วมือจากปกติเล็กน้อย (หลักสุดท้าย) ตามลำดับ



รูปที่ 5. ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองของบุคคลที่หนึ่ง, สาม และสิบ

ตารางที่ 1. ข้อมูลค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) ของทั้งสองวิธี

		Ratio	$\mu$	$\sigma$	$\mu-\sigma$	$\mu+\sigma$
Method A	Usual	L Area Ratio	1.72	0.24	1.48	1.96
		R Area Ratio	1.45	0.23	1.22	1.68
	Nearly-closed	I Area Ratio	1.36	0.15	1.21	1.51
		L Area Ratio	1.32	0.18	1.14	1.50
Method B	Usual	R Area Ratio	1.10	0.16	0.94	1.26
		I Area Ratio	0.98	0.10	0.88	1.08
	Nearly-closed	Little Ratio	1.90	0.18	1.72	2.08
		Ring Ratio	1.55	0.22	1.33	1.77
	Usual	Index Ratio	1.85	0.23	1.62	2.08
		Little Ratio	1.60	0.21	1.39	1.81
Nearly-closed	Ring Ratio	1.19	0.19	1.00	1.38	
	Index Ratio	1.34	0.20	1.14	1.54	

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 1 และภาพผลลัพธ์มาวิเคราะห์หาค่า อ้างอิงเพื่อนำไปคัดกรองภาพมือที่ท่าทางไม่ถูกต้อง โดยต้องพิจารณาถึง รายละเอียดในข้อผิดพลาดในแต่ละนิ้ว โดยในการทดลองนี้จะใช้ค่า อ้างอิงของวิธีการแรกคือ 1.4, 1.2 และ 1.2 เท่าตามลำดับ ส่วนวิธีที่ สองจะใช้ค่า 1.7, 1.4 และ 1.4 เท่าตามลำดับเพื่อนำไปทดสอบ จาก ภาพข้อมูลทั้ง 60 บุคคลพบว่าสามารถคัดกรองภาพมือที่วางขี้นิ้วมือที่ ผิดพลาดได้ทั้งหมด (ภาพมือของ 20 บุคคลที่ผิดพลาด) และคัดกรอง ภาพมือที่วางขี้นิ้วมือปกติที่สัมพันธ์ซึ่งจะผิดพลาดได้ ทั้งนี้มีข้อสังเกตว่า บุคคลที่มีรูปร่างมือสั้นและอวบจำเป็นต้องขยำนิ้วมือมากกว่าปกติ เนื่องจากเนื้อและผิวหนังอาจบดบังร่องนิ้วง่ากว่าบุคคลอื่น

## 5. สรุปผลการทดลอง

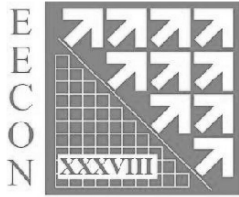
สรุปได้ว่าวิธีการตรวจสอบการวางมือทั้งสองวิธีสามารถคัดกรอง ภาพมือที่ผิดพลาดพร้อมทั้งแจ้งเตือนข้อผิดพลาดให้ผู้ทราบได้ทั้งหมด

ทั้งกล่าวได้ว่าค่าอ้างอิงเปรียบเสมือนหมุดที่ใช้ในการกำกับนิ้วมือที่ สามารถปรับแต่งตำแหน่งได้ตามความเหมาะสมโดยผู้ดูแลระบบ ระบบ จึงมีความยืดหยุ่นสูงสามารถรองรับลักษณะรูปร่างมือที่แตกต่างกันได้ดี ถือเป็นอีกทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบวัด โครงสร้างมือเพื่อ การยืนยันเอกลักษณ์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," *Pattern Recognition*, vol. 42, pp. 2797-2806, 2009.
- [2] A. K. Singh, A. K. Agrawal, and C. B. Pal, "Hand geometry verification system: A review," in *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT '09. International Conference on*, 2009, pp. 1-7.
- [3] "Hand measuring systems," *Biometric Technology Today*, vol. 9, issue 4, pp. 9-11, 2001.
- [4] J. Burgues, J. Fierrez, D. Ramos, M. Puertas, and J. Ortega-Garcia, "Detecting Invalid Samples in Hand Geometry Verification through Geometric Measurements," in *Emerging Techniques and Challenges for Hand-Based Biometrics (ETCHB), 2010 International Workshop on*, 2010, pp. 1-6.
- [5] J. Burgues, J. Fierrez, D. Ramos, and J. Ortega-Garcia, "Comparison of Distance-Based Features for Hand Geometry Authentication," in *Biometric ID Management and Multimodal Communication*. vol. 5707, J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, A. Esposito, A. Drygajlo, and M. Faundez-Zanuy, Eds., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 325-332.
- [6] Recognition Systems Inc. (2003, July). *HandPunch 1000 Manual* (Version 3.0) [Online]. Available: [http://www.handpunch.com/manuals/HandPunch-1000\\_Manual.pdf](http://www.handpunch.com/manuals/HandPunch-1000_Manual.pdf)
- [7] M. A. Ferrer, A. Morales, C. M. Travieso, and J. B. Alonso, "Influence of the pegs number and distribution on a biometric device based on hand geometry," in *Security Technology, 2008. ICCST 2008. 42nd Annual IEEE International Carnahan Conference on*, 2008, pp. 221-225.
- [8] อภิวัฒน์ สวัสดิ์ศรีรัตน์ และจักรี ศรีนนท์ฉัตร, "การพัฒนาระบบวัด โครงสร้างมือโดยใช้เทคนิค Hull Convexity Defects," *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36*, กาญจนบุรี, 11-13 ธันวาคม 2556, เล่ม 2, หน้า 777-780.
- [9] จักรี ศรีนนท์ฉัตร และอภิวัฒน์ สวัสดิ์ศรีรัตน์, "การพัฒนาเทคนิคการ หาด้านหน้าขอบฝ่ามือบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดกำกับ," *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37*, ขอนแก่น, 19-21 พฤศจิกายน 2557, เล่ม 2, หน้า 901-904.

# CALL FOR PAPERS



**การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38**  
**The 38<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference (EECON-38)**  
 18 – 20 พฤศจิกายน 2558  
 ณ โรงแรมวอร์ริ อโยธยา คอนเวนชัน รีสอร์ท จังหวัดอยุธยา  
 โดยมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพ  
<http://eecon38.utcc.ac.th>



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า หรือ Electrical Engineering Conference (EECON) เป็นการประชุมวิชาการระดับชาติที่มีมาตรฐานทางวิชาการเป็นที่ยอมรับในระดับสากล มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา นักวิจัย รวมไปถึงวิศวกรและผู้ปฏิบัติงานในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องจากสถาบันการศึกษาและหน่วยงานต่างๆ ได้มีโอกาสนำเสนอผลงานวิจัยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางด้านงานวิจัยระหว่างกัน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้านี้ดำเนินการ โดยคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้แทนจากสถาบันกรรมการสามัญ ผู้แทนจากสถาบันกรรมการสหบท และคณะกรรมการดำเนินการจัดการประชุมจากสถาบันที่ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพในแต่ละปี การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าได้จัดขึ้นทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 เป็นต้นมา และในปี พ.ศ. 2558 นี้ นับเป็นครั้งที่ 38 โดยมหาวิทยาลัยหอการค้าไทยได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพ ซึ่งนับเป็นโอกาสที่ดีเนื่องจากเป็นวาระครบรอบ 52 ปีแห่งการสถาปนามหาวิทยาลัยและ 25 ปีแห่งการก่อตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์

- คณะกรรมการจัดการประชุม**
- คณะกรรมการสภาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า**
  - สถาบันกรรมการสามัญ**  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
 มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
 มหาวิทยาลัยสยาม  
 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ  
 ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ  
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
 มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
 มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น  
 มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต  
 มหาวิทยาลัยรังสิต  
 มหาวิทยาลัยเรศวร  
 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์  
 มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ  
 มหาวิทยาลัยพะเยา  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
  - สถาบันกรรมการสหบท**  
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
 มหาวิทยาลัยอีสต์สมิธซิว  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
 มหาวิทยาลัยธนบุรี

- สาขาของบทความ**
- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| ✓ ไฟฟ้ากำลัง (PW)             | ✓ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)              |
| ✓ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)    | ✓ โฟโตนิกส์ (PH)                             |
| ✓ ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)           | ✓ วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)                   |
| ✓ ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT) | ✓ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)       |
| ✓ อิเล็กทรอนิกส์ (EL)         | ✓ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN) |

**การส่งบทความ**

จัดพิมพ์ความเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษขนาด A4 ตามแบบที่กำหนดส่งผ่านระบบออนไลน์ โดยขั้นตอนและรายละเอียดในการส่งบทความ สามารถเข้าไปดูได้ที่เว็บไซต์ของการประชุมวิชาการที่ <http://eecon38.utcc.ac.th>

**การพิจารณาและการนำเสนอบทความ**

การพิจารณาบทความ ดำเนินการโดยผู้พิจารณาบทความระดับผู้เชี่ยวชาญทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Professional Reviewers) ที่ได้รับการคัดเลือกตรงตามสาขาของบทความจากสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) หรือ EEAAT และจากสถาบันที่เป็นกรรมการทั่วประเทศ บทความที่ผ่านการพิจารณาจะได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารการประชุม (Proceedings) ของ EECON-38 และต้องมีการนำเสนอในที่ประชุม บทความดีเด่นในแต่ละสาขาจะได้รับการคัดเลือกในขั้นตอนแรกจากผู้พิจารณาบทความ และจะได้รับการพิจารณาตัดสินในขั้นตอนสุดท้ายโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้รับการเสนอชื่อจากสมาคมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (ประเทศไทย) และจากสถาบันที่เป็นกรรมการสามัญทั่วประเทศ

**กำหนดการสำคัญ**

๑๐	หมดเขตรับบทความ.....	24 กรกฎาคม 2558
๑๑	แจ้งผลการพิจารณาบทความ .....	1 กันยายน 2558
๑๔	หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์.....	14 กันยายน 2558
๑๕	วันสุดท้ายของกรลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ.....	14 กันยายน 2558
๑๖	วันสุดท้ายของกรลงทะเบียนล่วงหน้า.....	16 ตุลาคม 2558
๑๘	การนำเสนอบทความ .....	18 – 20 พฤศจิกายน 2558

**ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ**

**ศศ.ณัฐพร กุฑารัตน์**  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและพลังงาน  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย  
 126/1 ถนนวิภาวดีรังสิต ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400  
 โทรศัพท์ : 02 697 6710 และ 02 697 6722  
 โทรสาร : 02 275 4892  
 อีเมล : [eecon38@utcc.ac.th](mailto:eecon38@utcc.ac.th)



พัฒนาการการประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าประเทศไทย  
<https://www.facebook.com/ThaiEECONHistory>





# THE 10<sup>TH</sup> NATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND INFORMATION TECHNOLOGY

PROCEEDINGS OF NCCIT 2014

THE 10<sup>TH</sup> NATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND INFORMATION TECHNOLOGY

8<sup>TH</sup>-9<sup>TH</sup> MAY 2014

ANGSANA LAGUNA PHUKET, THAILAND

WWW.NCCIT.NET

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

## บทความวิจัย

การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ  
ครั้งที่ 10

8-9 พฤษภาคม 2557

โรงแรมอัญญา ลากูนา ภูเก็ต



คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

WWW.IT.KMUTNB.AC.TH

## TECHNICAL PROGRAM COMMITTEE

Alisa Kongthon, NECTEC	Paranya Ammaruekarat, NPRU
Anirach Mingkhuan, KMUTNB	Parinya Sa-Nguansat, PIM
Apida Roonwat, MSU	Passakorn Prathombutr, NECTEC
Banatus Soiraya, UBS Co.,Ltd.	Patharawut Saengsiri, TISTR
Burin Rujjanapan, Nation	Phattanapong Chompoowises, MSU
Chatchawin Namman, UBU	Phayung Meesad, KMUTNB
Chatklaw Charoenpol, MSU	Pilapan Phonarin, RMUTK
Chanattha Thongsuk, MU	Pongpisit Wuttidittachotti, KMUTNB
Chayakorn Netramai, KMUTNB	Poolsak Koseeyaporn, KMUTNB
Choochart Haruechaiyasa, NECTEC	Prachyanun Nilsook, KMUTNB
Dech Thammasiri, NPRU	Prasong Praneetpolgrang, SPU
Gamkarn Somprasertsri, MSU	Pudsadee Boonrawd, KMUTNB
Jamornkul Laokietkul, CRU	Punnee Sittidech, NU
Jaran Sanrach, KMUTNB	Sakchai Tangwannawit, KMUTNB
Jaree Thongkam, MSU	Saowalak Arampongsanuwat, SU
Jeerasak Nampradit, KMUTNB	Sirapat Boonkrong, KMUTNB
Jirapan Srisompan, KMUTNB	Siriporn Supratit, RSU
Jiratta Phuboon-ob, MSU	Sithiporn Kerdsun-ang, KMUTNB
Kairung Hengprapohm, NPRU	Somchai Prakancharoen, KMUTNB
Kanchana Viriyapant, KMUTNB	Somjit Arch-int, KKU
Kantpong Woraratpanya, KMITL	Somnuk Puangpronpitag, MSU
Kiattisak Yochanang, KMUTNB	Sompong Valuvanathorn, UBU
Kittiwan Nimkerdphol, RMUTT	Somsak Akatimagool, KMUTNB
Kriengsak Treeprapin, UBU	Soradech Krootjohn, KMUTNB
Mahasak Ketcham, KMUTNB	Sucha Smanchat, KMUTNB
Maleerat Sodanil, KMUNB	Suksaeng Kukanok, IBA Co.,Ltd.
Manasawee Kaenampornpan, MSU	Sumitra Nuanmesri, SSRU
Manoon Srivirat, UBU	Sunantha Sodsee, KMUTNB
Meechai Lohakan, KMUTNB	Supot Nitsuwat, KMUTNB
Montean Rattanasiriwongwut, KMUNB	Tharat Arreerard, MRU
Nadh Ditcharoen, UBU	Thawatchai Sahapong, MRU
Nalinpat Porrawatpreyakorn, KMUNB	Thawatchai Sarawong, RMUTK
Narong Photi, MOE	Thippaya Chintakovid, KMUTNB
Nattavee Utakrit, KMUTNB	Thirapon Wongsaaardsakul, BU
Nawaporn Wisitpongphan, KMUNB	Tong Srikacha, TOT
Nidapan Sureerattanan, TNI	Tossaporn Joochim, UBU
Nivet Chirawichitchai, SPU	Udom Jeenpradub, KMUTNB
Noppasak Tantisattayanon, RMUTR	Uraivan Inyaem, RMUTT
Nucharee Premchaiswadi, DPU	Vatinee Nuijian, KMUTNB
Padej Phomsakha-Na-Sakonnakorn, CU	Veerawan Janthanasub, RMUTK
Pairoj Likitthanasate, TOT	Watchareewan Jitsakul, KMUTNB
Panana Tangwannawit, PCRU	Winai Bhosuwat, KU
Panida Songram, MSU	Wongot Sriurai, UBU
Panomkhawn Riyamongkol, NU	Worapapha Arreerard, MRU

Friday May 9 <sup>th</sup> , 2014		
NCCIT2014 Room III		
Recommender Systems		
Time	Title/Author	Page
13:00-13:15 NCCIT2014-161	<b>The Efficient Rating Prediction Algorithm for Music Recommender System by Using Tendencies Based Algorithm with Micro Profiles</b> <i>Sumet Darapisut and Jakkarin Suksawatchon</i>	755
13:15-13:30 NCCIT2014-257	<b>Consumer Prices Index Prediction using Data Mining Techniques: A Case Study of Sakaeo Province</b> <i>Kittisak Omuean and Phayung Meesad</i>	762
13:30-13:45 NCCIT2014-6	<b>Recommender System for Purchasing Mobile Phones using User-based Collaborative Filtering Approach</b> <i>Phanarut Srichetta and Phonpimon Panthuvapee</i>	768
13:45-14:00 NCCIT2014-183	<b>Recommender Systems for South National Park of Thailand Tourism Using Google Maps API on Smart Phone</b> <i>Chamaiporn Tongkaw and Maleerat Sodamil</i>	774
14:00-14:15 NCCIT2014-27	<b>A Recommendation System to Choose Study Program based on Repertory Grid</b> <i>Dechawut Wanichsan and Sathit Suwannawach</i>	780
Feature Selection Techniques, Feature Recognition, Feature Detection, and Gesture Recognition		
14:15-14:30 NCCIT2014-110	<b>Defect Detection in Textile Fabrics with Edge Detection and Support Vector Machines</b> <i>Thodsaphon Prachpreecha and Sorakis Srikasem</i>	786
14:30-14:45 NCCIT2014-61	<b>A Comparative Study in Feature Extraction Methods of Peg-fixed Hand Geometry Device</b> <i>Jakkree Srinonchat and Apiwat Savatdirat</i>	792
14:45-15:00 NCCIT2014-135	<b>Real-Time Lane Detection for Driving Using Embedded System</b> <i>Kittisak Thongyuan and Mahasak Ketcham</i>	798
15:00-15:30	<b>Coffee Break</b>	

## การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการหาลักษณะเด่นบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบมีหมุดกำกับ A Comparative Study in Feature Extraction Methods of Peg-fixed Hand Geometry Device

จักรี ศรีนนท์จักร (Jakkree Srinonchat) และอภิวัฒน์ สวัสดิ์ศิริรัตน์ (Apiwat Sawatdirat)

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

jakkree.s@en.rmutt.ac.th, apiwat.sa@rmuti.ac.th

### บทคัดย่อ

กระบวนการหาลักษณะเด่นของอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับประสิทธิภาพของระบบวัดโครงสร้างมือ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การเปรียบเทียบเทคนิคการหาลักษณะเด่นบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบมีหมุดกำกับ ระหว่างวิธีการนับพิกเซลจากรูปเงามือกับวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ เพื่อเป็นแนวทางในการนำมาประยุกต์ใช้บนระบบสมองกลฝังตัว ผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการนับพิกเซลจากรูปเงามือมีข้อดีด้านความเร็วในการประมวลผล ส่วนวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีในด้านความยืดหยุ่นสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันได้ดีกว่าและสามารถพัฒนาสู่ระบบวัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดกำกับได้

**คำสำคัญ:** อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ ระบบสมองกลฝังตัว การหาลักษณะเด่น เส้นรอบรูปมือ คอนเวกซ์ฮัลล์

### Abstract

Feature extraction process of hand geometry device is a majorly effected to the efficiency of hand geometry system. This research presents a comparative study in feature extraction methods of peg-fixed hand geometry device between the counting pixel-based on hand silhouette technique and the hand contour-based technique. This technique can be applied to the embedded system. The experiment results show that the counting pixel-based on hand silhouette technique offers the fastest processing as the advantage. While the hand contour-based technique offers the advantage of using with many different inputs which can be developed to peg-free hand geometry system.

**Keywords:** Hand Geometry Device, Embedded System, Feature Extraction, Hand Contour, Convex Hull.

### 1. บทนำ

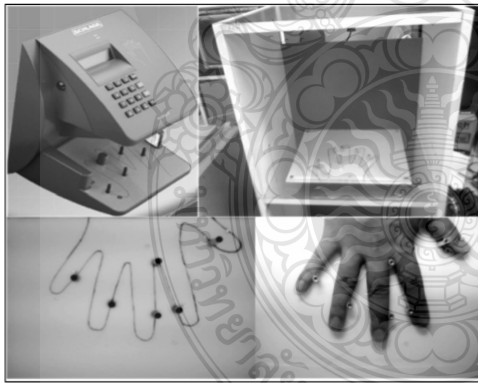
ระบบวัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry System) [1,2] คือระบบไบโอเมตริกที่นำข้อมูลขนาดและรูปร่างของฝ่ามือมาจำแนกความแตกต่างของแต่ละบุคคลออกจากกัน ระบบนี้มีข้อดีด้านความเร็วในการประมวลผล ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยเนื่องจากข้อมูลมีขนาดเล็ก จึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่มีพื้นที่เก็บข้อมูลจำกัดหรือประยุกต์ใช้ในรูปแบบเครือข่าย สะดวกในการใช้งานและเป็นที่ยอมรับของสาธารณะ แต่เนื่องจากระบบที่มีวางจำหน่ายมีราคาแพงเนื่องจากมีเพียงไม่กี่บริษัทที่พัฒนาระบบในเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการพัฒนาต้นแบบระบบระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (Verification) ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิดเพื่อเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากระบบในเชิงพาณิชย์ โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบเทคนิคการหาลักษณะเด่นบนอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือแบบมีหมุดกำกับนี้มือ (Peg-fixed) ระหว่างวิธีการนับพิกเซลจากรูปเงามือ (Counting pixel-based) ดังงานวิจัย [3,4] กับวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ (Hand contour-based) ดังงานวิจัย [5-7] โดยจะเปรียบเทียบในด้านความเร็วในการประมวลผล ความเที่ยงตรง พร้อมทั้งหาปัจจัยที่มีผลกระทบกับความถูกต้องของวิธีการ

### 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ

อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือเป็นส่วนหนึ่งของระบบวัดโครงสร้างมือ ทำหน้าที่รับภาพมือของผู้ใช้และหาลักษณะเด่น

ออกมาเพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการยืนยันเอกลักษณ์มีขั้นตอนการทำงานหลักแบ่งเป็นสามส่วนคือ การเตรียมภาพ (Image Acquisition), การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Pre-processing) และการหาลักษณะเด่น (Feature Extraction) ในส่วนของการเตรียมภาพ งานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องเว็บแคม (Web Camera) บันทึกภาพมือขวาจากตู้ควบคุมแสงสว่าง ซึ่งมีหมุด 6 หมุดช่วยบังคับมือ ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ มีความชัดเจนของนิ้วมือทั้ง 4 นิ้วคือ นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลางและนิ้วชี้ คล้ายกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ดังภาพที่ 1 และงานวิจัย [3-10] ในส่วนการประมวลผลภาพเบื้องต้นจะนำภาพมือของผู้ใช้มาปรับปรุงให้เหลือเฉพาะส่วนที่ต้องการ แล้วแปลงเป็นภาพขาวดำ ส่วนสุดท้ายคือการหาลักษณะเด่น ขั้นตอนนี้จะนำภาพที่ได้มาหาหลักขนะเด่นของมือในแต่ละบุคคลออกมาในรูปแบบของชุดข้อมูลเพื่อประหยัดพื้นที่ในการบันทึกและความสะดวกในการนำไปเปรียบเทียบ เช่น ความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้ว, อัตราส่วนระหว่างนิ้วกับฝ่ามือ และความหนาของมือ เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัยนั้นๆ ต้องการความถูกต้องแม่นยำหรือความผิดพลาดตั้งไว้ในระดับใด

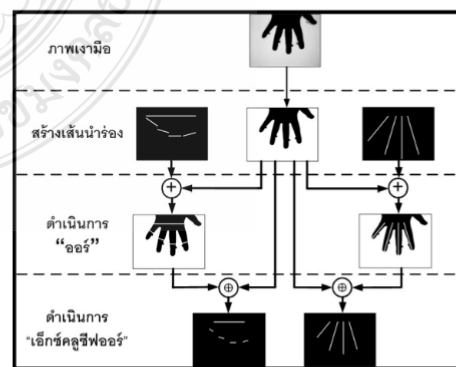


ภาพที่ 1: (ซ้ายบน) ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ (ขวาบน) ตู้ควบคุมแสง (ซ้ายล่าง) แผ่นรองมือพร้อมหมุด (ขวาล่าง) ตัวอย่างภาพที่ได้

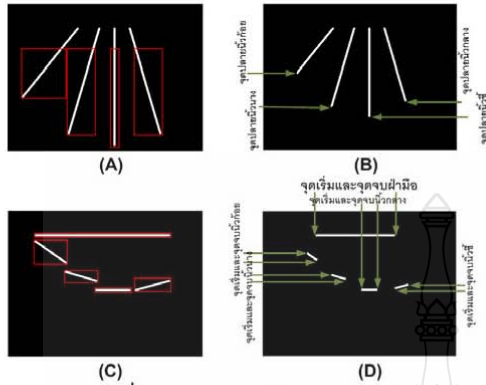
### 2.2 วิธีการนับพิกเซลจากรูปเงามือ

กระบวนการหาหลักขนะเด่นของมือด้วยวิธีการนับพิกเซลจากรูปเงามือเพื่อหาความยาวและความกว้างของนิ้วทั้งสี่นิ้วคือนิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลาง และนิ้วชี้ พร้อมทั้งหาความกว้างของฝ่ามือ รวมทั้งเส้นเก้าค่า มีการทำงานสี่ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่

หนึ่งสร้างภาพเส้นนำร่องแบบคงที่ (Fixed Guide Lines) สองภาพคือภาพเส้นนำร่องความยาว และภาพเส้นนำร่องความกว้าง จากตำแหน่งของหมุดกำกับฝ่ามือเก็บไว้ในระบบ ซึ่งเส้นเหล่านี้จะเป็นตัวจำกัดความยาวและความกว้างสูงสุดที่ระบบจะวัดได้ ขั้นตอนที่สองนำภาพเส้นนำร่องทั้งสองมาดำเนินการทางลอจิก ออร์กับภาพมือขวาได้ผลลัพธ์เป็นภาพเงามือพร้อมเส้นนำร่องความยาวนิ้วมือและภาพเงามือพร้อมเส้นนำร่องความกว้างนิ้วมือ ขั้นตอนที่สามนำภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนที่สองมาดำเนินการทางลอจิกเอ็กซ์คลูซีฟออร์กับภาพมือขวา จะได้ภาพเส้นผลลัพธ์ความยาวนิ้วมือและภาพเส้นผลลัพธ์ความกว้างนิ้วมือ ดังภาพที่ 2 ในส่วนของขั้นตอนสุดท้ายคือการหาความยาวนิ้วและความกว้างนิ้ว ดังภาพที่ 3 โดยการหาความยาวนิ้วมือต้องทำการกำหนดกรอบการค้นหาเพื่อความสะดวกในการระบุนิ้วมือและลดเวลาในการประมวลผลดังภาพที่ 3(A) จากนั้นค้นหาจุดปลายนิ้วซึ่งหาได้จากพิกเซลสีขาวตำแหน่งแรกจากกรอบที่กำหนด โดยเริ่มค้นหาจากกรอบที่มีค่าพิกเซลมากที่สุดลงมาหาค่าพิกเซลที่น้อยที่สุดดังภาพที่ 3(B) และคำนวณหาความยาวของนิ้วด้วยสมการที่ 1 ส่วนการหาความกว้างนิ้วมือและความกว้างฝ่ามือก็เช่นเดียวกันต้องทำการกำหนดกรอบการ ค้นหา ดังภาพที่ 3(C) แต่ต้องค้นหาจุดเริ่มนิ้วซึ่งหาได้จากพิกเซลสีขาวตำแหน่งแรกจากกรอบที่กำหนด โดยเริ่มค้นหาจากกรอบที่มีค่าพิกเซลน้อยที่สุดขึ้นไปหาค่าพิกเซลที่มากที่สุด และค้นหาจุดจบนิ้วซึ่งหาได้จากพิกเซลสีขาวตำแหน่งแรกจากกรอบที่กำหนด โดยเริ่มค้นหาจากกรอบที่มีค่าพิกเซลมากที่สุดลงมาหาค่าพิกเซลที่น้อยที่สุดดังภาพที่ 3(D) แล้วนำจุดทั้งสองที่ได้มาคำนวณหาความกว้างของนิ้วด้วยสมการที่ 1 เช่นกัน



ภาพที่ 2: วิธีการนับพิกเซลจากรูปเงามือ



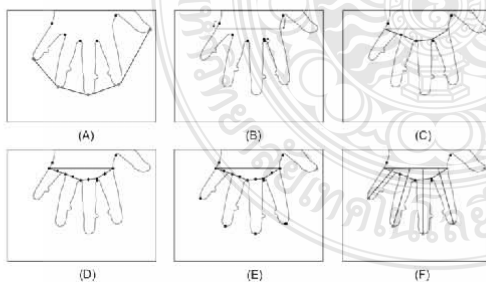
ภาพที่ 3: การหาความยาวนิ้วและความกว้างนิ้ว

$$\text{length} = \sqrt{|X_{\text{start}} - X_{\text{end}}|^2 + |Y_{\text{start}} - Y_{\text{end}}|^2} \quad (1)$$

เมื่อ X คือ พิกัดในแนวแกนอนในระบบพิกัดฉาก  
 Y คือ พิกัดในแนวแกนตั้งในระบบพิกัดฉาก  
 start คือ จุดเริ่ม  
 end คือ จุดจบ

### 2.3 วิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ

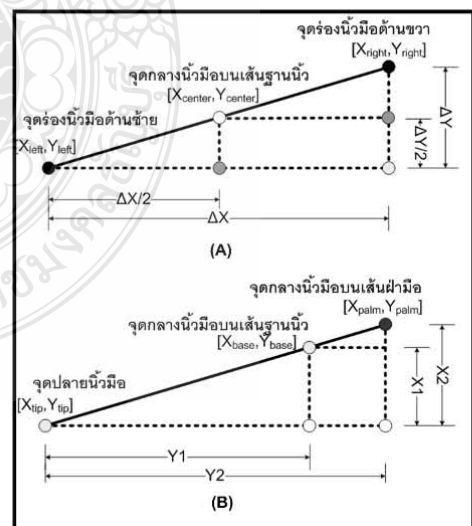
กระบวนการหลักขณะเค้นของมือด้วยวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือเพื่อหาความยาวนิ้วและความกว้างของฐานนิ้วทั้งสี่นิ้วคือ นิ้วก้อย, นิ้วนาง, นิ้วกลาง และนิ้วชี้ พร้อมทั้งหาความกว้างของฝ่ามือ รวมทั้งสิ้นเก้าค่า ในงานวิจัยนี้แบ่งเป็นหกขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังนี้



ภาพที่ 4: วิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ

ภาพที่ 4(A) แสดงการหาปลายนิ้วและร่องนิ้ว ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การหาปลายนิ้วและร่องนิ้วด้วยวิธีการหาขอบด้านนอกและความเว้า (Convex hull and Convexity Defects)

ของเส้นรอบรูปมือจากงานวิจัย [11-12] ภาพที่ 4(B) แสดงการปรับตำแหน่งข้อมือทั้งซ้ายและขวาเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการหาความกว้างของฐานนิ้วและความกว้างของฝ่ามือ และปรับตำแหน่งร่องนิ้วระหว่างนิ้วกลางกับนิ้วชี้ซึ่งมีหมุดกำกับอยู่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องขึ้น ภาพที่ 4(C) แสดงการหาความกว้างของฐานนิ้วมือ และความกว้างของฝ่ามือ โดยในส่วนของความกว้างของฐานนิ้วแต่ละนิ้วจะคำนวณจากตำแหน่งร่องนิ้วที่มีลำดับติดกันที่ผ่านการปรับตำแหน่งแล้ว ส่วนความกว้างของฝ่ามือจะคำนวณจากตำแหน่งร่องนิ้วที่มีลำดับแรกกับลำดับสุดท้ายที่ผ่านการปรับตำแหน่งแล้ว โดยใช้สมการที่ 1 ภาพที่ 4(D) แสดงการหาตำแหน่งกลางนิ้วมือบนเส้นฐานนิ้วมือเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการหาความยาวนิ้ว โดยได้แสดงภาพประกอบเพิ่มเติมในภาพที่ 5(A) ซึ่งจะ ได้สมการที่ 2 และสมการที่ 3 นำมาหาค่าตำแหน่ง ภาพที่ 4(E) แสดงการหาตำแหน่งกลางนิ้วมือบนเส้นฝ่ามือเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการหาความยาวนิ้ว ได้จากการนำตำแหน่งปลายนิ้วและตำแหน่งกลางนิ้วมือบนเส้นฐานนิ้วของแต่นิ้วมาคำนวณ โดยได้แสดงภาพประกอบเพิ่มเติมในภาพที่ 5(B) ซึ่งจะ ได้สมการที่ 6 ที่มาจากการแปลงสมการที่ 4 และสมการที่ 5 นำมาหาค่าตำแหน่ง ภาพที่ 4(F) แสดงการหาความยาวของนิ้ว นำจุดทั้งสองที่ได้มามีค่าคำนวณหาความยาวของนิ้วด้วยสมการที่ 1



ภาพที่ 5: (บน) ประกอบสมการที่ 2-3 (ล่าง) ประกอบสมการที่ 4-6



$$X_{center} = \left( \frac{X_{left} + X_{right}}{2} \right) \quad (2)$$

$$Y_{center} = \left( \frac{Y_{left} + Y_{right}}{2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{X_{tip} - X_{palm}}{X_{tip} - X_{base}} = \frac{Y_{tip} - Y_{palm}}{Y_{tip} - Y_{base}} \quad (4)$$

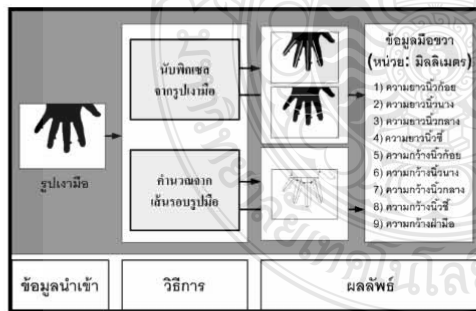
$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{Y_2}{Y_1} \quad (5)$$

$$X_2 = \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) \cdot X_1 \quad (6)$$

เมื่อ X คือ พิกัดในแนวแกนอนในระบบพิกัดฉาก  
 Y คือ พิกัดในแนวแกนตั้งในระบบพิกัดฉาก  
 left, right, center คือ จุดซ้าย จุดขวา และจุดกลางที่จะหาค่า  
 tip, palm, base คือ จุดปลายนิ้ว จุดบนฝ่ามือ และจุดฐานนิ้ว

### 3. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเน้นไปที่เทคนิคการหาลักษณะเด่นของมือระหว่างวิธีการนับฟิงเชลจากรูปเงามือกับวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ จึงได้ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้งสองวิธี ดังภาพที่ 6 โดยทั้งสองวิธีจะใช้ข้อมูลรูปเงามือเดียวกันเพื่อนำไปหาความยาวนิ้ว, ความกว้างของแต่ละนิ้วและความกว้างฝ่ามือและแสดงผลเป็นภาพ, ข้อมูลมือขวา และเวลาในการประมวลผล



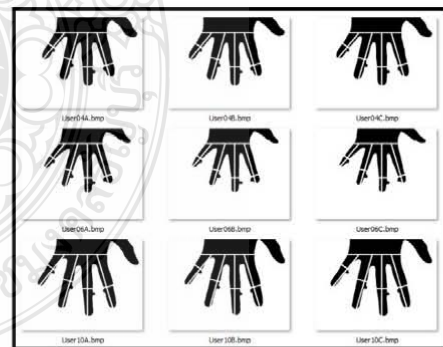
ภาพที่ 6: ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์

จากขั้นตอนการดำเนินการนำมาเขียนเป็นโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา C++ ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1 ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.1 โดยกำหนดให้รับข้อมูลจากภาพรูปเงามือขนาด 640x480 พิกเซล และผลลัพธ์ของ

โปรแกรมให้แสดงข้อมูลมือขวามีหน่วยขนาดนิ้วมือเป็นมิลลิเมตร และภาพรูปเงามือพร้อมเส้นแสดงความยาวนิ้วมือและเส้นแสดงความกว้างนิ้วมือเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้อง ในการทดสอบนี้ได้นำภาพถ่ายมือที่ได้จากนักศึกษาจำนวน 30 คน คนละ 3 รูป โดยไม่นำข้อมูลนิ้วหัวแม่มือมาพิจารณา จากนั้นนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์หาบทสรุปของการทดลอง

### 4. ผลการดำเนินการ

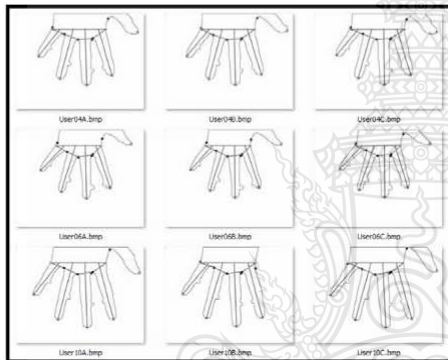
จากขั้นตอนการดำเนินการที่กล่าวมาข้างต้น โปรแกรมได้ทำการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 10.04 มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium Dual ความเร็ว 3 GHz หน่วยความจำหลักขนาด 4 GB ได้ภาพผลลัพธ์จากวิธีการนับฟิงเชลจากรูปเงามือ ดังภาพที่ 7 และได้ภาพผลลัพธ์จากวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือดังภาพที่ 8 โดยทั้งสองภาพเป็นตัวอย่างภาพผลลัพธ์ของบุคคลทดสอบที่ 4, 6 และ 10 อย่างละสามภาพตามลำดับ และได้ข้อมูลของมือขวาของแต่ละบุคคลจากทั้งสองวิธี นำมาสร้างตารางเปรียบเทียบขนาดของข้อมูลมือขวาของแต่ละบุคคล และตารางเปรียบเทียบความยาวของข้อมูลมือขวา ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 7: ตัวอย่างภาพผลลัพธ์จากวิธีการนับฟิงเชลจากรูปเงามือ

จากการสังเกตภาพผลลัพธ์ทั้งหมดด้วยสายตาพบว่า วิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือนั้นได้ภาพเส้นแสดงความยาวนิ้วมือที่ดีกว่าโดยเฉพาะในส่วนของเส้นแสดงความยาวนิ้วก้อยเนื่องจากพบว่าภาพผลลัพธ์ในบางบุคคลของวิธีการนับฟิงเชล

จากรูปง่ามมือได้เส้นแสดงความยาวนิ้วก้อยที่ไม่ต่อเนื่อง (เส้นนำร่องขาดบางส่วน) ในส่วนของเส้นแสดงความกว้างนั้นการสังเกตไม่สามารถเปรียบเทียบเส้นแสดงความกว้างของทั้งสองวิธีการงานวิจัยนี้ได้โดยตรง เนื่องจากวิธีการนับพิกเซลจากรูปง่ามมือนั้นใช้เส้นนำร่องความกว้างนิ้วมือวัดได้ตำแหน่งหมุดกำกับนิ้วมือ แต่วิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือใช้เส้นฐานนิ้วมือซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต่างกัน แต่เมื่อแยกพิจารณาแล้วไม่พบภาพผลลัพธ์ใดแสดงเส้นความกว้างผิดพลาด ส่วนเส้นแสดงความกว้างฝ่ามือนั้นแสดงผลได้ถูกต้องทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการทั้งสองในงานวิจัยนี้ใช้เส้นนี้เป็นจุดอ้างอิงหลัก



ภาพที่ 8: ตัวอย่างภาพผลลัพธ์จากรีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ

จากการวิเคราะห์ตารางเปรียบเทียบขนาดของข้อมูลมือขวาส่วนบุคคล พบว่าข้อมูลขนาดของมือของแต่ละบุคคลทั้งสามตัวอย่าง คือ A, B และ C ซึ่งหมายถึงภาพมือขวาที่ได้จากการบันทึกข้อมูลครั้งที่หนึ่ง, ครั้งที่สอง และครั้งที่สามนั้นสามารถนำมาใช้การยืนยันเอกลักษณ์ได้ เนื่องจากข้อมูลขนาดมือที่ได้ในแต่ละครั้งจากทั้งสองวิธีมีความเที่ยงตรงพอที่จะนำมาใช้ในการจำแนกความแตกต่างของแต่ละบุคคลออกจากกัน ส่วนผลการวิเคราะห์ตารางเปรียบเทียบความยาวของนิ้วมือระหว่างทั้งสองวิธี พบว่าขนาดของความยาวนิ้วมือที่แปลงหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรแล้วจะได้ผลความยาวแทบไม่แตกต่างกันในส่วนของนิ้วกลางและนิ้วชี้ เนื่องจากจากรูปแบบการวางตำแหน่งของหมุดกำกับนิ้วมือแบบนี้จะบังคับให้นิ้วทั้งสองเคลื่อนตำแหน่งได้น้อยกว่านิ้วอื่นๆ ในส่วนของขนาดของความยาวนิ้วนางและนิ้วก้อยที่แตกต่างกันมากกว่านิ้วกลางและนิ้วชี้ มาจากผลของวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือได้ทำการปรับตำแหน่งอ้างอิง

บนเส้นฝ่ามือโดยแปรผันตามขนาดความกว้างของนิ้วมือและฝ่ามือ ซึ่งหากมองจากในบางมุมมองการหลักขณะเด่นด้วยวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือเสมือนการปรับเส้นนำร่องให้ตรงตามขนาดและรูปร่างมือ หรือเส้นนำร่องแบบพลวัต (Dynamic Guide Lines)

ตารางที่ 1: เปรียบเทียบขนาดของข้อมูลมือขวาส่วนบุคคล (บุคคลที่ 4)

บุคคลที่ 04	การวัด	ตำแหน่ง	พิชเชล			มิลลิเมตร			Max-กมข
			ภาพ A	ภาพ B	ภาพ C	ภาพ A	ภาพ B	ภาพ C	
ส่วนนิ้วก้อย	ความยาว	นิ้วก้อย	177.95	180.77	172.96	62	63	61	2
		นิ้วนาง	258.56	259.52	256.36	90	91	90	1
		นิ้วชี้	281.00	280.00	279.00	98	98	98	0
	ความกว้าง	นิ้วก้อย	41.22	41.22	39.83	14	14	14	0
		นิ้วนาง	48.13	49.08	49.08	17	17	17	0
		นิ้วชี้	50.73	48.54	48.54	18	17	17	1
ส่วนนิ้วก้อย	ความยาว	นิ้วก้อย	171.86	175.90	169.24	60	61	59	2
		นิ้วนาง	256.67	257.63	255.26	90	90	89	1
		นิ้วชี้	281.11	279.06	278.02	98	98	97	1
	ความกว้าง	นิ้วก้อย	40.56	39.59	39.21	14	14	14	0
		นิ้วนาง	47.64	48.86	48.86	16	16	16	0
		นิ้วชี้	50.73	48.54	48.54	18	17	17	1

ตารางที่ 2: เปรียบเทียบความยาวของนิ้วมือระหว่างทั้งสองวิธี

บุคคลที่	ภาพ	ความยาวนิ้ว (มิลลิเมตร)											
		นิ้วก้อย		นิ้วนาง		นิ้วชี้							
		15/12	15/11	15/12	15/11	15/12	15/11						
001	A	56	60	4	89	90	1	99	99	0	88	88	0
	B	58	61	3	89	91	2	99	99	0	88	87	1
	C	61	62	1	91	92	1	100	99	1	87	87	0
002	A	60	61	1	92	92	0	99	100	1	88	88	0
	B	61	61	0	92	92	0	99	100	1	87	88	1
	C	62	63	1	92	93	1	99	99	0	86	87	1
003	A	68	72	4	97	99	2	108	108	0	91	91	0
	B	67	72	5	96	98	2	107	108	1	91	91	0
	C	73	77	4	99	101	2	109	109	0	90	90	0
004	A	60	62	2	90	90	0	98	98	0	84	84	0
	B	61	63	2	90	91	1	98	98	0	83	83	0
	C	59	61	2	89	90	1	97	98	1	84	84	0
005	A	59	68	9	93	96	3	105	106	1	93	94	1
	B	67	69	2	94	97	3	107	107	0	94	95	1
	C	64	70	6	96	98	2	108	108	0	92	92	0
006	A	60	67	7	83	82	1	91	91	0	77	76	1
	B	57	56	-1	81	81	0	90	90	0	77	76	1
	C	57	54	-3	81	79	-2	89	89	0	76	76	0
007	A	61	67	6	98	99	1	110	110	0	98	99	1
	B	61	64	3	95	96	1	108	109	1	98	99	1
	C	85	87	2	98	100	2	110	110	0	98	98	0
008	A	62	65	3	95	97	2	107	107	0	91	91	0
	B	62	66	4	94	97	3	106	106	0	89	90	1
	C	62	66	4	95	96	1	106	106	0	90	91	1
009	A	68	69	1	99	101	2	110	110	0	91	89	2
	B	69	70	1	100	102	2	111	111	0	92	90	2
	C	65	67	2	98	99	1	109	109	0	91	91	0
010	A	71	74	3	102	103	1	113	113	0	102	103	1
	B	71	73	2	101	101	0	111	111	0	99	100	1
	C	74	76	2	104	105	1	114	113	1	102	102	0

(หมายเหตุ: แสดงเฉพาะบุคคลที่ 1-10)

หลังจากการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ข้างต้นก่อนที่จะดำเนินการวัดความเร็วในการประมวลผลบนระบบสมองกลฝังตัว ผู้วิจัยได้ทำการแก้ไข โปรแกรมโดยตัดการประมวลผลด้านการพิกออก จากนั้นนำมาคอมไพล์ด้วย GCC Toolchain เพื่อใช้กับระบบปฏิบัติการ Linux for FriendlyARM บน Mini2440 และบน Tiny6410 จากนั้นทำการทดลองซ้ำทุกตัวอย่างโดยบันทึกเวลาในการประมวลผล และหาเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ยจากทั้งสองวิธีได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: เวลาที่ใช้ในการประมวลผล

	วิธีนับพิทเชล จากรูปเงมือ	วิธีการคำนวณจาก เส้นรอบรูปมือ
CPU: Intel Pentium Dual Core E5700 Speed: 3 GHz RAM: 4GB	4-5 msec.	5-6 msec.
CPU: ARM11 Samsung S3C6410 Speed: 533 MHz RAM: 256MB	40-44 msec.	68-72 msec.
CPU: ARM9 Samsung S3C2440 Speed: 400 MHz RAM: 64MB	55-60 msec.	100-105 msec.

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวิธีการหา ลักษณะเด่นของมือในระบบที่มีหมุดกำกับนิ้วมือ พบว่าการวางมือให้อยู่ในตำแหน่งที่มีหมุดกำกับอย่างเคร่งครัดส่งผลดี โดยตรงกับความต้องการของผลลัพธ์ที่ได้ โดยอ้างอิงจากรายเปรียบเทียบขนาดของข้อมูลมือชาวส่วนบุคคลทั้งหมดมาเลือกเฉพาะตารางที่ให้ส่วนต่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดมากที่สุดปฏิบัติ จากนั้นให้ย้อนกลับไปสังเกตภาพเงมือของบุคคลนั้นด้วยสายตาดังพบว่าเกิดการวางมือไม่เคร่งครัดในตำแหน่ง ทำให้ภาพเงมือที่ได้เอียงหรือตำแหน่งการวัดต่ำกว่าปกติ

### 5. สรุปผลการทดลอง

จากการนำเสนอเทคนิคการหาลักษณะเด่นของมือระหว่างวิธีการเปรียบเทียบรูปเงมือด้วยเส้นนำร่องแบบคงที่ กับวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือ ได้ข้อสรุปว่าวิธีการนับพิทเชลจากรูปเงมือมีข้อดีด้านความเร็วในการประมวลผล ส่วนวิธีการคำนวณจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีที่ในด้านความยืดหยุ่นสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันได้ดีกว่า และสามารถนำวิธีการนี้มาพัฒนาการหาลักษณะเด่นของมือในระบบวัดโครงสร้างมือแบบไร้หมุดกำกับได้ พร้อมทั้งเป็นแนวทางในการตัดสินใจนำเทคนิคมาประยุกต์ใช้ในระบบวัดโครงสร้างมือด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว

### เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," *Pattern Recognition*, vol. 42, pp. 2797-2806, 2009.
- [2] A. K. Singh, A. K. Agrawal, and C. B. Pal, "Hand geometry verification system: A review," *International Conference on Ultra Modern Telecommunications & Workshops (ICUMT '09)*, pp. 1-7, 2009.
- [3] A. R. a. S. P. Anil K. Jain, "A Prototype Hand Geometry-based Verification System," *International Conference on Audio and Video based Biometric Person Authentication (AVBPA)*, pp. 166-171, 1999.
- [4] P. Varchol and D. Levický, "Using of Hand Geometry in Biometric Security Systems", *Radio Engineering Special Issue: Advanced Digital Signal Processing*, Volume 16, 2007.
- [5] R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez-Avila, and A. Gonzalez-Marcos, "Biometric identification through hand geometry measurements," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, pp. 1168-1171, 2000.
- [6] M. A. Ferrer, J. Fabregas, M. Faundez, J. B. Alonso, and C. Travieso, "Hand geometry identification system performance," *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST 2009)*, pp. 167-171, 2009.
- [7] M. A. Ferrer, A. Morales, C. M. Travieso, and J. B. Alonso, "Influence of the pegs number and distribution on a biometric device based on hand geometry," *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST 2008)*, pp. 221-225, 2008.
- [8] M. Golfarelli, D. Maio, and D. Malton, "On the error-reject trade-off in biometric verification systems," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, pp. 786-796, 1997.
- [9] A. K. Jain and N. Duta, "Deformable matching of hand shapes for user verification," *Proceedings of International Conference on Image Processing (ICIP 99)*, vol.2, pp. 857-861, 1999.
- [10] C. öden, A. Erçil, V. Taylan Yıldöz, H. Körmözötas, and B. Büke, "Hand Recognition Using Implicit Polynomials and Geometric Features," *Audio and Video Based Biometric Person Authentication*. vol. 2091, Springer: Berlin Heidelberg, pp. 336-341, 2001.
- [11] G. Tofighi, S. A. Monadjemi, and N. Ghasem-Aghae, "Rapid hand posture recognition using Adaptive Histogram Template of Skin and hand edge contour," *The 6<sup>th</sup> Machine Vision and Image Processing Conference (MVIP 2010)*, Isfahan, Iran, pp 1-7, 2010.
- [12] D. L. Woodard and P. J. Flynn, "Finger surface as a biometric identifier," *Journal of Computer Vision and Image Understanding*, vol. 100, pp. 357-384, 2005.



การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 10  
**The 10<sup>th</sup> National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT 2014)**  
 8 - 9 พฤษภาคม 2557 ณ Angsana Laguna จังหวัดภูเก็ต  
 คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศขับเคลื่อนสังคม : ทุนวิจัยและการประยุกต์ใช้งาน

■ **เชิญชวนส่งบทความวิจัย**

คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นเรื่อยๆ ในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะด้านธุรกิจจะมีการแข่งขันสูงมากขึ้น จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการศึกษานักวิจัยที่องค์การวิจัยและพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานอยู่เสมอ ผลการวิจัยและการค้นพบใหม่ควรรีได้รับการถ่ายทอดสู่สังคมนักวิจัยและชุมชนไอทีอย่างต่อเนื่อง การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 10 (NCCIT 2014) ร่วมกับการประชุมระดับนานาชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 10 (ICIT 2014) เป็นเวทีในการเผยแพร่และแลกเปลี่ยนข่าวสาร วิทยาการความรู้ ทักษะ และประสบการณ์จากการค้นคว้าวิจัยของอาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และประชาชนทั่วไป รวมทั้งนำเสนอความรู้และผลงานการวิจัยสู่สังคมเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เครือข่ายผู้จัดงานประชุมวิชาการ NCCIT 2014 ครั้งนี้ประกอบด้วย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ Fern University in Hagen สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี Chemnitz University of Technology สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี Oklahoma State University ประเทศสหรัฐอเมริกา Edith Cowan University ประเทศออสเตรเลีย Hanoi National University of Education สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต และสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ การประชุมวิชาการครั้งนี้ยังได้รับการสนับสนุนด้านวิชาการจากสมาคมคณาจารย์เทคโนโลยีสารสนเทศแห่งประเทศไทย (สทศท.)

■ **หัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

• **Data Mining and Machine Learning**

Artificial Neural Network, Fuzzy Systems, Hybrid Systems, Evolutionary Computation, Knowledge Discovery, Knowledge Transfer, Decision Support, Recommender Systems, Text Mining, and Web Mining

• **Data Network and Communication**

Computer Network, Security & Forensic, Wireless & Sensor Network, Telecommunication, Mobile Ad-Hoc Network, Cloud & Grid Computing, Decentralized computing, P2P networks, P2P protocols, and Semantic P2P networks

• **Human-Computer Interface and Image Processing**

Human Machine Interface, User Customization, Embedded Computation, Augmented Reality, Computer Vision, Feature detection, Medical image processing, and Facial recognition

• **Information Technology and Computer Education**

Knowledge Management, Web Application, Web Service, Management Information System, Customer Relation Management, Ontology, Semantic Web and Enterprise Resource Planning, Software engineering and Computer Education

■ **วันสำคัญ**

วันสุดท้ายของการส่งบทความเพื่อพิจารณา :	31 มกราคม 2557
ประกาศผลการพิจารณา :	17 กุมภาพันธ์ 2557
วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์ :	3 มีนาคม 2557
กำหนดการลงทะเบียน :	10 - 31 มีนาคม 2557

■ **รูปแบบการประชุมวิชาการ**

แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การบรรยายพิเศษโดยผู้เชี่ยวชาญรับเชิญ (Invited Keynotes speakers) และการนำเสนอปากเปล่าปกติ (Regular Oral Presentations) บทความวิจัยที่ผ่านการคัดเลือกและนำเสนอจะได้รับการเผยแพร่เป็นเสนอดีวีดีเพื่อบันทึกข้อมูล

■ **การส่งบทความวิจัย**

**NCCIT2014** รับบทความวิจัยภาษาไทย ผู้ส่งบทความวิจัยจะต้องอธิบายรายละเอียดของงานและผลการวิจัยที่เป็นผลงานของตนเอง พร้อมบทคัดย่อ ความยาวสูงสุดจำนวน 6 หน้ากระดาษ A4 บทความวิจัยทุกเรื่องจะได้รับการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 คน การจัดรูปแบบบทความวิจัย ตรวจสอบข้อมูลที่ <http://www.nccit.net> สำหรับบทความวิจัยภาษาไทยและส่งบทความได้ที่ <https://www.easychair.org/account/signin.cgi?conf=nccit2014>

■ **ติดต่อ**

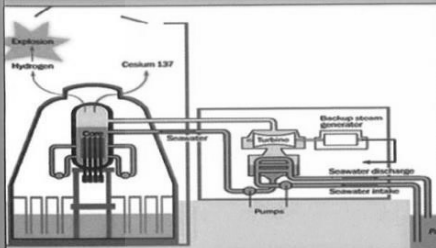
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
 1518 ถ.ประชาธรรม 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
 Email: [admin@nccit.net](mailto:admin@nccit.net) Tel: 02-555-2000 Ext.2711, 2719, 2726 Fax: 02-555-2734

[www.nccit.net](http://www.nccit.net)



# วิศวกรรมสาร

• ฉบับที่ 91 ปีที่ 28 มกราคม - มีนาคม 2558 •



01 : การจำลองกระบวนการเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาเคมีที่ขึ้นกับ  
ทำปฏิกิริยาสองชนิด

13 : การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตสำหรับ  
ชิ้นงานโดยวิธีวิเคราะห์หาการขัดข้องและผลกระทบของการ  
ออกแบบ (DFMEA)

23 : วิธีกรังกลุ่มใหม่ (วิธีความน่าจะเป็นฟังก์ชันเป็นสองขั้นตอน)  
สำหรับจัดกลุ่มโพรไฟล์การ:

31 : การพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าของ  $npn$  โดยใช้วิธีการแยก  
ส่วนประกอบ ร่วมกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน

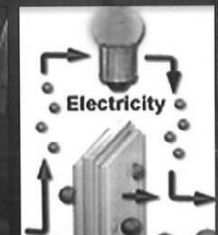
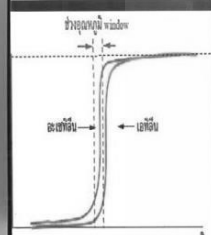
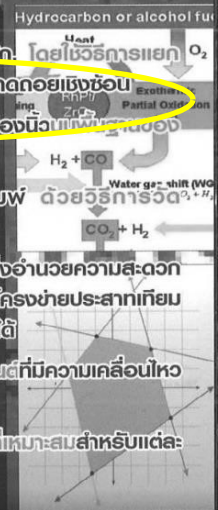
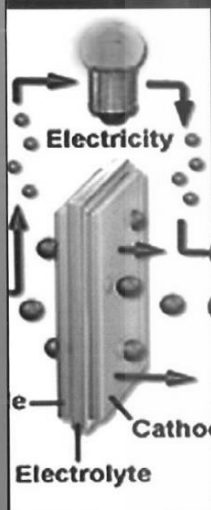
41 : การเปรียบเทียบวิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วในพื้นผิวของ  
การประมวลผลภาพ

51 : การพิสูจน์ตัวตนโดยอิงหระการพิมพ์ ด้วยวิธีการวัด  
ความต่างของเส้นโค้ง

61 : แบบจำลองการไหลพลังงานไฟฟ้าของสิ่งอำนวยความสะดวก  
และการทำนายไหลระยะปานกลางด้วยโครงข่ายประสาทเทียม  
และระบบอนุพันธ์เชิงอนุพันธ์

71 : การออกแบบบริเวณหยิบชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีความเคลื่อนไหว  
สูงในโรงงานประกอบรถยนต์

83 : การศึกษาเปรียบเทียบวิธีหาค่าอนุพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละ  
ประเภทข้อมูล



# การเปรียบเทียบวิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วบนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ

A Comparative of the Methods to Find Fingertips and Valleys Based on Images Processing

อภิวัฒน์ สวัสดิ์ศิริรัตน์ และ จักรี ศรีรัตนพิงค์ตร  
ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ  
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
E mails: apiwat.sa@rmuti.ac.th, jakkrree.s@en.rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยทางด้านระบบวัดโครงสร้างมือด้วยการประมวลผลภาพส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่ความแม่นยำในการระบุตัวตน โดยอาศัยคุณลักษณะของนิ้ว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการเปรียบเทียบวิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสมองกลังตัวซึ่งมีทรัพยากรจำกัด โดยทดสอบด้วยการสร้างโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา C++ และใช้ gcc4 เป็นคอมไพเลอร์ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพ OpenCV 2.1 ทำการประมวลผลบน Samsung S3C2440A ARM920T ผลการทดลองพบว่าวิธีวัดนิ้วจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีในด้านความยืดหยุ่นสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันมากๆ ได้ ด้านวิธีการวัดหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือมีข้อดีที่ความเร็วในการประมวลผล ส่วนวิธีการรอบด้านนอกและความยาวจากเส้นรอบรูปมือเป็นวิธีที่นำข้อดีของสองวิธีข้างต้นมารวมกัน จึงเป็นข้อดีและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบสมองกลังตัว

## คำสำคัญ

ระบบวัดโครงสร้างมือ เส้นรอบรูปมือ การหาปลายนิ้ว

## Abstract

Most of hand geometry system research using image processing is focused to provide the accuracy identify user which used the characteristic of finger. This research focuses to comparative the methods of the detection finger tips and valleys from the hand contours for apply to embedded system which it is a resource limited. In the experiment, the program is developed by using C++ language and compiled with gcc4 compiler and OpenCV 2.1. This experiment is also operated on

ฉบับที่ 91 ปีที่ 28 มกราคม - มีนาคม 2558

*Samsung S3C2440A ARM920TS. The primary results show the advantage of the radius distance from the hand contour is provided the optimize solution for the large scale different of the hand data. The advantage of the curvature of the hand contour is provided the fastest computation processing. The hull convexity defect of the hand contour is taken the advantage of the both methods. It is an optimize method to apply for the embedded system.*

## Keywords

hand geometry system, hand contour, fingertips detection

## 1. บทนำ

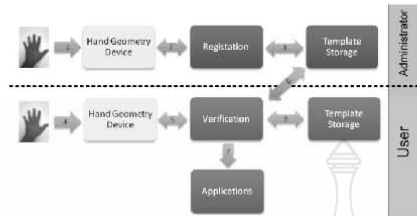
งานวิจัยด้านระบบวัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry System) ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การระบุตัวตน (Identification) ที่ต้องการความแม่นยำสูง จึงใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมาก [1-4] อีกทั้งระบบที่มีวางจำหน่ายก็มีราคาแพง เนื่องจากมีเพียงไม่กี่บริษัทที่พัฒนาระบบในเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ (Verification) ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด เพื่อเป็นอีกทางเลือกนอกเหนือจากระบบในเชิงพาณิชย์ โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบเทคนิคการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือ (Hand Contour) แบบต่างๆ ในด้านความเร็วในการประมวลผล พร้อมทั้งหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของพิกัดปลายนิ้วและร่องนิ้วในแต่ละวิธีการ ซึ่งการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วนี้เป็นกระบวนการสำคัญส่วนหนึ่งในอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ (Hand Geometry Device) โดยผลลัพธ์จากกระบวนการนี้จะนำไปหาความกว้างและความยาวของนิ้วมือแต่ละนิ้วต่อไป จากการค้นหาข้อมูลงานวิจัยด้านนี้พบว่าวิธีที่นิยมใช้สองวิธีคือ วิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือ ดังในงานวิจัย [5-10] กับวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือ ดังในงานวิจัย [3][11-

13] พร้อมทั้งปรับปรุงวิธีหาขอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือของงานวิจัย [3][14] ด้านระบบสัญญาณมือ (Hand Gesture System) ให้สามารถระบุปลายนิ้วและร่องนิ้วได้อีกรูปแบบหนึ่ง

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์

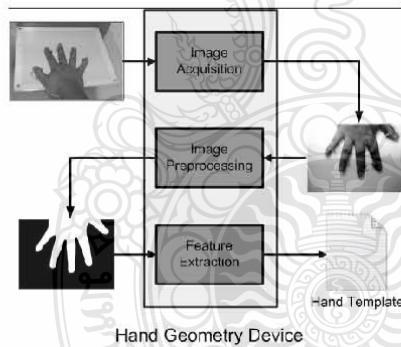
ระบบวัดโครงสร้างมือเพื่อการยืนยันเอกลักษณ์มีองค์ประกอบและกระบวนการโดยทั่วไปดังภาพที่ 1 ซึ่งได้ข้อมูลมาจาก [15] เริ่มจากกระบวนการ {1} นำมือเข้าอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ {2} ทำการประมวลผลหาลักษณะเด่นเพื่อสร้างแม่แบบพร้อมขึ้นทะเบียนผู้ใช้ {3} นำแม่แบบบันทึกลงบนหน่วยเก็บข้อมูลบนเครือข่ายกลาง หรือบนสื่อบันทึกข้อมูลอื่นๆ เช่น สมาร์ทการ์ด {4} นำมือเข้าอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือเพื่อใช้งานระบบ {5} ประมวลผลหาลักษณะเด่นเพื่อสร้างแบบ {6} เปรียบเทียบแบบที่ได้กับแม่แบบจากหน่วยเก็บข้อมูล {7} นำผลการเปรียบเทียบส่งต่อไปใช้ประโยชน์ต่อไป {8} บันทึกข้อมูลที่จำเป็นในด้านความปลอดภัยเพื่อนำไปตรวจสอบ



ภาพที่ 1 องค์ประกอบและกระบวนการระบบวัด  
โครงสร้างมือ

## 2.2 อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ

อุปกรณ์วัดโครงสร้างมือทำหน้าที่รับภาพมือของผู้ใช้และหาลักษณะเด่นออกมา เพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการยืนยันเอกลักษณ์มีขั้นตอนการทำงานหลักแบ่งเป็นสามส่วนคือ การเตรียมภาพ (Image Acquisition) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing) และการหาลักษณะเด่น (Feature Extraction) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำงานหลักของอุปกรณ์วัด  
โครงสร้างมือ

## 3. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.1 การเตรียมภาพ

ในขั้นตอนการเตรียมภาพจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้เลือกใช้อุปกรณ์ในการรับภาพเป็นสอง

ประเภทคือ ประเภทที่หนึ่งใช้กล้อง CCD ในการรับภาพ เช่น [3], [5-8] และ [12] ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดขนาดของอุปกรณ์วัดโครงสร้างมือ จึงลดระยะห่างระหว่างกล้องและแผ่นวางฝ่ามือ จึงทำให้เห็นภาพมือในส่วน นิ้วก้อย นิ้วนาง นิ้วกลาง และนิ้วชี้เป็นหลัก พร้อมทั้งมีหมุดกำกับฝ่ามือ เนื่องจากข้อจำกัดของกล้องซึ่งใช้เลนส์ในการรับภาพซึ่งมีความโค้ง ทำให้ตำแหน่งของมือมีผลต่อสัดส่วนของภาพที่ได้ซึ่งต่างจากงานวิจัยประเภทที่สองที่ใช้เครื่องสแกนเอกสารในการรับภาพเช่น [3], [6] และ [7] จะใช้ภาพที่มีส่วนมือนิ่งแต่ข้อมือขึ้นไป และภาพที่ได้จะได้สัดส่วนที่เท่ากันไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใดในแผ่นรับภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องเว็บแคม (Web Camera) บันทึกภาพมือขาวจากตู้ควบคุมแสงสว่าง ซึ่งมีหมุด 6 หมุดช่วยบังคับมือให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ภาพที่ได้มีขนาด 640 x 480 พิกเซล มีความชัดเจนของนิ้วมือทั้ง 4 นิ้วคือ นิ้วก้อย นิ้วนาง นิ้วกลาง และนิ้วชี้ คล้ายกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ดังภาพที่ 3

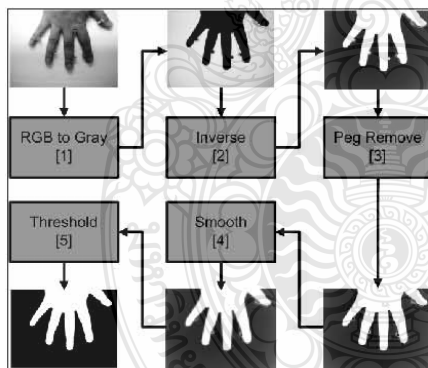


ภาพที่ 3 (ซ้ายบน) ผลิตภัณฑ์ Schlage HandKey II (ขวาบน) ตู้ควบคุมแสง (ซ้ายล่าง) แผ่นรองมือพร้อมหมุด (ขวาล่าง) ตัวอย่างภาพมือที่ได้



### 3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

เนื่องจากภาพที่ได้กระบวนการก่อนหน้าเป็นภาพสี RGB ต้องนำมาแปลงเป็นระดับสีเทา (RGB-to-Gray) พร้อมทั้งกลับสีระดับสีเทา (Inverse) เพื่อส่งต่อไปยังการลบหมุด (Peg Remove) เพื่อลบภาพหมุดทั้ง 6 ที่ใช้บังคับตำแหน่งมือ โดยขบวนการนี้ผู้ทดลองได้นำภาพจากขั้นตอนการกลับสีระดับสีเทามาหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของแต่ละหมุด จากนั้นใช้ฟังก์ชันวาดภาพวงกลมในส่วนของกราฟิกไลบรารีวาดทับลงในตำแหน่งหมุดที่ได้ จากนั้นกำหนดตำแหน่งและขนาดรัศมีเป็นค่าคงที่ในโปรแกรมเพื่อใช้กับภาพอื่นต่อไป ส่วนภาพที่ได้จากการลบหมุดแล้วจะนำมาปรับเรียบ (Smooth) ต่อไป ซึ่งขบวนการปรับเรียบนี้จะเกลี่ยพิกเซลขนาดเล็กที่ไม่ต้องการที่กระจายอยู่ในภาพให้กลืนไปกับพิกเซลใกล้เคียง และกระบวนการสุดท้ายคือแปลงภาพเป็นขาวดำ (Threshold) ดังภาพที่ 4

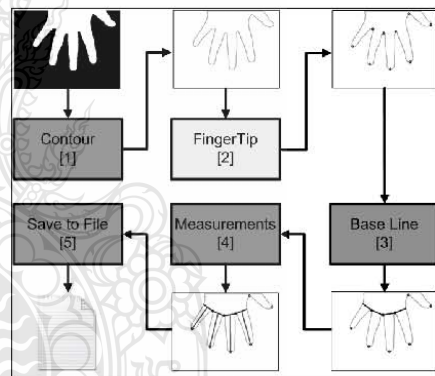


ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานย่อยของการประมวลผลเบื้องต้น

### 3.3 การหาลักษณะเด่น

ในขั้นตอนนี้จะนำภาพขาวดำที่ได้จากกระบวนการประมวลผลเบื้องต้นเพื่อให้ได้ลักษณะเด่นของมือในแต่ละบุคคลออกมาในรูปแบบของชุดข้อมูลเพื่อ

ประหยัดพื้นที่ในการการบันทึกและความสะดวกในการนำไปเปรียบเทียบ เช่น ความกว้างและความยาวของแต่ละนิ้ว อัตราส่วนระหว่างนิ้วกับฝ่ามือและความหนาของมือ เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัยนั้นๆว่าต้องการความถูกต้องแม่นยำหรือความผิดพลาดตั้งไว้ในระดับใด โดยในงานวิจัยนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในการยืนยันเอกลักษณ์บุคคลด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด จึงแบ่งขั้นตอนย่อยของการหาลักษณะเด่นออกเป็นห้าขั้น ดังนี้ การหาเส้นรอบรูปมือ (Contour) การหาปลายนิ้วและร่องนิ้วมือ (Finger Tip) การหาเส้นฐานของนิ้ว (Base Line) การหาความยาวของนิ้ว (Measurements) และการสร้างแม่แบบ (Template) ดังภาพที่ 5

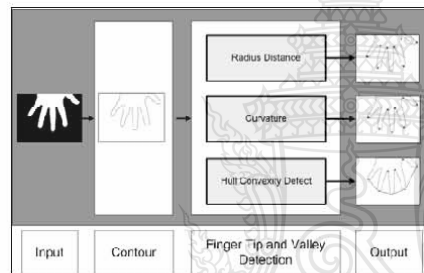


ภาพที่ 5 ขั้นตอนการทำงานย่อยของการหาลักษณะเด่น

### 3.4 วิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากรอบรูปมือ

จากที่ได้เกริ่นนำในบทนำแล้วว่างานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การเปรียบเทียบวิธีการหาปลายนิ้วและร่องนิ้วจากรอบรูปมือในสามวิธีที่นิยมใช้คือ วิธีวัดรัศมี (Radius Distance) จากเส้นรอบรูปมือ วิธีหาความโค้ง (Curvature) จากเส้นรอบรูปมือ และวิธีหากรอบ

ด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ (Hull Convexity Defects) จึงได้ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ของทั้งสามวิธีดังภาพที่ 6 ทั้งสามวิธีจะใช้ข้อมูลเส้นรอบรูปมือเดียวกันเพื่อนำไปหาปลายนิ้วและร่องนิ้ว และแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นภาพที่ระบุจุดปลายนิ้วและร่องนิ้ว ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งปลายนิ้วและร่องนิ้วด้วยบุคคล จากนั้นเปลี่ยนอินพุตไปเรื่อยๆ พร้อมทั้งสังเกตและบันทึกผลลัพธ์ ทำไปจนกระทั่งได้ข้อมูลเพียงพอ จากนั้นนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์หาบทสรุปของการทดลอง



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทดลองเพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ของทั้งสามวิธี

### 3.5 วิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือ

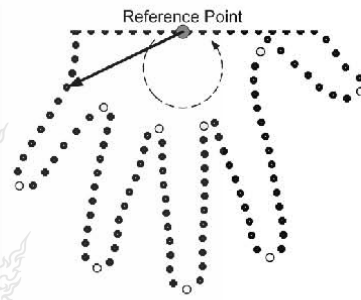
จากข้อมูลเส้นรอบรูปมือที่ได้นำมาหาจุดอ้างอิงหลัก (reference point) โดยในการทดลองนี้ใช้จุด  $X_{ref} = X$  of Maximum  $Y, Y_{ref} = 0$  ในระบบพิกัดฉาก (Cartesian coordinates) เนื่องจากภาพอินพุตเป็นแบบมีหมุดกำกับทำให้ค่าสูงสุดของแกน Y จะเป็นปลายนิ้วกลาง และแกน X ของจุดนี้จะเป็นตำแหน่งแบ่งครึ่งฝ่ามือ เมื่อได้จุดอ้างอิงหลักแล้วให้แปลงข้อมูลเส้นรอบรูปมือจากระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinates) ซึ่งประกอบไปด้วยค่ารัศมีและค่ามุม ดังสมการที่ (1) และ (2) จุดที่มีค่ารัศมีสูงที่สุดก่อนที่ค่ารัศมีจะลดลงจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุดนั้นเป็น

ปลายนิ้ว ส่วนจุดที่มีค่ารัศมีต่ำที่สุดก่อนที่ค่าจะเพิ่มขึ้นจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุดนั้นเป็นร่องนิ้ว ผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 7

$$radius = \sqrt{|X_i - X_{ref}|^2 + |Y_i - Y_{ref}|^2} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y_i - Y_{ref}}{X_i - X_{ref}} \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $i$  คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ  $ref$  คือ จุดอ้างอิงหลัก



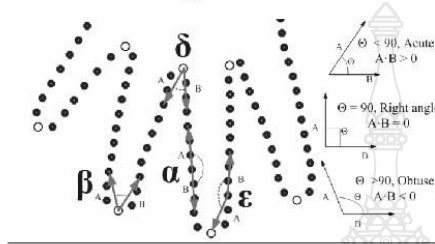
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือและตำแหน่งปลาย/ร่องนิ้ว

### 3.6 วิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือ

หากกำหนดให้เส้นรอบรูปมือแทนด้วย  $C$  ที่มีจำนวนจุดทั้งหมด  $n$  จุด และแต่ละจุดแทนด้วย  $i$  และ  $k$  คือลำดับของจุดที่ห่างจากจุด  $i$  สามารถหาค่าความโค้งได้โดยการ dot product ระหว่างสองเวกเตอร์ คือ  $[C_i, C_{i+k}]$  และ  $[C_i, C_{i+k}]$  หรือเวกเตอร์  $A$  และ  $B$  ตามลำดับดังสมการที่ (3) และ (4) จากภาพที่ 8 เป็นตัวอย่างการหาความโค้งของจุดดัชนี ซึ่งกำหนดให้ค่า  $k = 3$  จะได้จุดปลายนิ้วและจุดร่องนิ้วคือจุด  $\beta$  และ  $\delta$  ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 90 องศาที่สุด ก่อนจะห่างออกไปส่วนจุด  $\alpha$  และ  $\epsilon$  จะไม่ถูกระบุ

$$A \cdot B = |A| |B| \cos \theta \quad (3)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{A \cdot B}{|A| |B|} \quad (4)$$

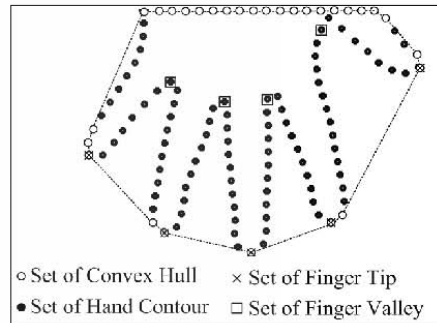


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความโค้งคังชันและปลาย/ร่องนิ้ว

### 3.7 วิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ

จากข้อมูลเส้นรอบรูปมือที่ได้ขั้นตอนแรกให้นำมาหากรอบด้านนอก หรือ Convex Hull ซึ่ง Convex Hull ของเส้นรอบรูปมือ คือ เซตย่อยที่เล็กที่สุดที่สามารถครอบคลุมทุกจุดของเส้นรอบรูปมือ โดยให้เซตของเส้นรอบรูปมือคือทุกจุดบนรูปและ Convex Hull ของเส้นรอบรูปมือคือเซตของจุดวงกลมสีขาว โดยมีเส้นประแสดงให้ดูว่าเซตของจุดสีขาวสามารถครอบคลุมทุกจุดบนเส้นรอบรูปมือ ขั้นตอนที่สองให้นำเซตของ Convex Hull มาหาจุดระบุตำแหน่งร่องนิ้ว โดยจุดนี้คือจุดที่แทรกอยู่ระหว่างจุด Convex Hull ที่มีลำดับในเซตติดกันในเซตของ Convex Hull ซึ่งจุดนี้เมื่อคำนวณหาระยะทางจากจุด Convex Hull ตั้งต้นผ่านจุดที่ต้องการระบุค่าและสิ้นสุดที่จุด Convex Hull ปิดท้ายแล้วได้ความยาวมากที่สุด จากสมการที่ (5) (6) (7) ผลที่ได้แสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมจากกระบวนการข้างต้นสามารถระบุตำแหน่งปลายนิ้วก้อยและนิ้วนางได้คือจุด Convex Hull ตั้งต้น ส่วนตำแหน่งปลายนิ้วชี้และนิ้วโป้งคือจุด Convex Hull ปิดท้าย จากนั้นหาจุดระบุตำแหน่งปลายนิ้วกลางซึ่ง

ต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างจุด Convex Hull ปิดท้ายนิ้วนาง และจุด Convex Hull ตั้งต้นนิ้วชี้ ดังแสดงด้วยรูปกากบาท ดังตัวอย่างในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบรูปมือ, กรอบด้านนอก, ตำแหน่งปลายนิ้วและตำแหน่งร่องนิ้ว

$$length_{c_i} = \sqrt{|CX_{st} - X_i|^2 + |CY_{st} - Y_i|^2} \quad (5)$$

$$length_{c_{end}} = \sqrt{|CX_{end} - X_i|^2 + |CY_{end} - Y_i|^2} \quad (6)$$

$$length = length_{c_i} + length_{c_{end}} \quad (7)$$

เมื่อ C คือ เซตของ Convex Hull

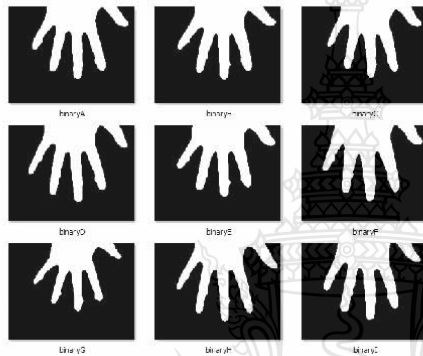
i คือ ตำแหน่งลำดับของเส้นรอบรูปมือ

st คือ จุดตั้งต้น ; end คือ จุดปิดท้าย

## 4. ผลการดำเนินการ

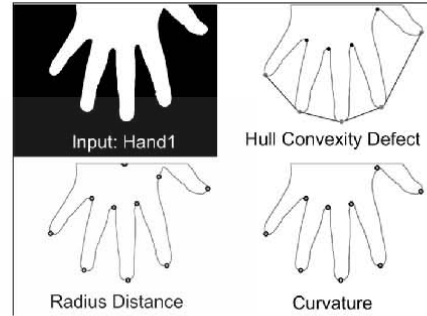
จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นทั้งสามวิธีนำมาเขียนเป็นโปรแกรมโดยกำหนดให้รับข้อมูลจากภาพมือแบบขาวดำ ขนาด 640x480 พิกเซล ที่ลบหมุดกำกับนิ้วมือแล้ว และผลลัพธ์ของโปรแกรมให้แสดงภาพรูปมือพร้อมแสดงจุดปลายนิ้วและร่องนิ้ว ระบบถูกพัฒนาด้วยภาษา C++ ใช้คอมไพเลอร์ gcc4.4.1

ร่วมกับฟังก์ชันการประมวลผลภาพของ OpenCV 2.1 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu 10.04 Desktop มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium Dual ความเร็ว 3 GHz หน่วยความจำหลักขนาด 4 GB แบบ DDR2 เพื่อให้ได้โปรแกรมต้นแบบของทั้ง 3 วิธี นำภาพถ่ายมือที่ได้จากนักศึกษาจำนวน 30 ตัวอย่าง ดังภาพที่ 10



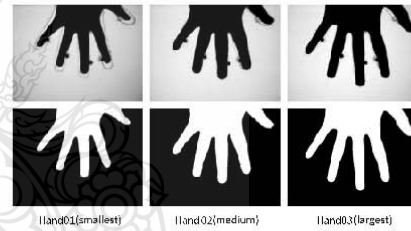
ภาพที่ 10 รูปมือบางส่วนที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อทดสอบโปรแกรมต้นแบบ โดยโปรแกรมต้องให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องครบทั้ง 30 ตัวอย่าง พบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือในกระบวนการหาจุดอ้างอิงได้ค่า  $X_{ref}$  อยู่ระหว่าง 322 ถึง 336,  $Y_{ref} = 0$  ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือได้กำหนดค่าในกลุ่มทดสอบนี้คือใช้ค่า  $k = 35$  และ  $A \cdot B$  อยู่ระหว่าง 550 ถึง -550 และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือได้ระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดในกลุ่มทดสอบนี้ใช้ค่า 60 พิกเซล หรือประมาณ 20 มิลลิเมตร ซึ่งตัวอย่างภาพที่ได้แสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์จากทั้งสามวิธี

จากนั้นเลือกภาพมือที่มีขนาดเส้นรอบรูปมือที่สั้นที่สุด, ขนาดปานกลางและขนาดยาวที่สุดจากชุดข้อมูลตัวอย่างดังภาพที่ 12 นำมาหาเวลาในการประมวลผลหาปลายนิ้วโดยเฉลี่ยจากเส้นรอบรูปมือทั้งสามขนาด



ภาพที่ 12 รูปมือที่ใช้ในการทดสอบทั้งสามขนาด

เมื่อได้เวลาในการประมวลผลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ข้างต้นแล้ว นำมาคอมไพล์ด้วย GCC Toolchain (gcc 4.6.2, libc 2.14.1) เพื่อนำไปใช้กับระบบปฏิบัติการ Free Linux BSP for FriendlyARM's Mini2440 ซึ่งใช้หน่วยประมวลผลกลาง Samsung S3C2440A ARM9 ความเร็ว 400 MHz โดยใช้หน่วยความจำหลักแบบ SDRAM ขนาด 64 MB และบน FriendlyARM's Tiny6410 ซึ่งใช้หน่วย

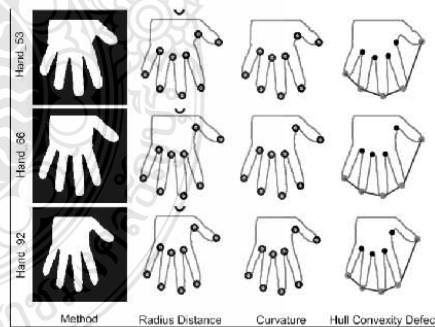
ประมวลผลกลาง Samsung S3C6410A ARM11 ความเร็ว 533 MHz โดยใช้หน่วยความจำหลักแบบ SDRAM ขนาด 64 MB เวลาที่ใช้ในการประมวลผลหาปลายนิ้วโดยเฉลี่ยจากเส้นรอบมือทั้งสามขนาด ได้ผลดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลบนหน่วยประมวลผลต่างๆ

	Contour pixels	Radius Distance	Curvature	Hull Convexity Defects
CPU: Intel Pentium Dual Core E5700		Speed: 3 GHz		RAM: 4GB
Hand01 (smallest)	2150	0.9 msec.	0.5 msec.	0.7 msec.
Hand02 (medium)	2450	0.9 msec.	0.5 msec.	0.7 msec.
Hand03 (largest)	2800	0.9 msec.	0.5 msec.	0.7 msec.
CPU: ARM9 Samsung S3C2440		Speed: 400 MHz		RAM: 64MB
Hand01 (smallest)	2150	18 msec.	9.4 msec.	12 msec.
Hand02 (medium)	2450	20 msec.	9.6 msec.	13 msec.
Hand03 (largest)	2800	21 msec.	10 msec.	15 msec.
CPU: ARM11 Samsung S3C6410		Speed: 533 MHz		RAM: 256MB
Hand01 (smallest)	2150	11.0 msec.	6.4 msec.	8 msec.
Hand02 (medium)	2450	12.0 msec.	6.5 msec.	9 msec.
Hand03 (largest)	2800	12.5 msec.	6.7 msec.	10 msec.

ทดสอบโปรแกรมเพิ่มเติมอีก100 ตัวอย่างด้วยชุดข้อมูลรูปร่างมือ (Hand Shape Database) ของ Prof. BÜLENT SANKUR จาก Bogazici University ผู้เขียนงานวิจัย [4], [9-10] โดยเป็นภาพมือแบบขาวดำ ขนาด 200x200 พิกเซล โดยโปรแกรมต้องให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องทั้งหมด พบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือไม่ต้องการปรับค่าใดๆ ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือได้กำหนดค่าในกลุ่มทดสอบนี้คือใช้ค่า  $k = 15$  และ  $A \cdot B$  อยู่ระหว่าง 100 ถึง -100 และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือได้ระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุดในกลุ่มทดสอบนี้ใช้ค่า 20 พิกเซล ซึ่งตัวอย่างภาพที่ได้แสดงในภาพที่ 13

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวิธีการพบว่าในวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือนั้นไม่ต้องการการระบุค่าเบื้องต้นใดๆของนิ้วมือ เนื่องจากมีกระบวนการหาจุดอ้างอิงหลักช่วยในส่วนนี้แล้ว ส่วนวิธีหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือต้องกำหนดค่า  $k$  ซึ่งต้อง

มีระยะมากกว่าความกว้างของนิ้ว แต่ต้องไม่เกินความยาวนิ้วซึ่งวิธีนี้หากขนาดมือมีความแตกต่างกันมากๆจะเกิดข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง และวิธีหากรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือ ต้องระบุค่าความยาวของนิ้วที่สั้นที่สุด เพื่อป้องกันการระบุตำแหน่งนิ้วที่ก้อยกับขอบเว้าอื่นใดๆ ของเส้นรอบรูปมือผิด



ภาพที่ 13 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์จากชุดข้อมูลรูปร่างมือ Bogazici University

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการนำเสนอการเปรียบเทียบเทคนิคการหาลายนิ้วและร่องนิ้วจากเส้นรอบรูปมือนี้ได้ข้อสรุปว่าวิธีวัดรัศมีจากเส้นรอบรูปมือนี้น่าเชื่อถือในด้านความยืดหยุ่นสูงสามารถรับข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันมากๆได้ ด้านวิธีการหาความโค้งจากเส้นรอบรูปมือนี้น่าเชื่อถือที่ความเร็วในการประมวลผล ส่วนวิธีการรอบด้านนอกและความเว้าจากเส้นรอบรูปมือนี้น่าเชื่อถือของวิธีข้างต้นมารวมกัน จึงเป็นอีกทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบวัดโครงสร้างมือ เพื่อการยืนยันเอกลักษณ์ด้วยเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในแบบระบบเปิด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Duta, "A survey of biometric technology based on hand shape," *Pattern Recognition*, vol. 42, pp. 2797-2806, 2009.
- [2] A. K. Singh, A. K. Agrawal, and C. B. Pal, "Hand geometry verification system: A review," in *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT '09. International Conference on, 2009*, pp. 1-7.
- [3] G. Amayeh, G. Bebis, and M. Hussain, "A Comparative Study of Hand Recognition Systems," in *Emerging Techniques and Challenges for Hand-Based Biometrics (ETCHB), 2010 International Workshop on, 2010*, pp. 1-6.
- [4] E. Yörük, H. Dutağacı, and B. Sankur, "Hand biometrics," *Image and Vision Computing*, vol. 24, pp. 483-497, 2006.
- [5] J. M. Guo, Y. F. Liu, C. Mei-Hui, W. Chia-Chu, and L. Thanh-Nam, "Contact-free hand geometry identification system," in *Image Processing (ICIP), 2011 18th IEEE International Conference on, 2011*, pp. 3185-3188.
- [6] M. A. Ferrer, J. Fabregas, M. Faundez, J. B. Alonso, and C. Travieso, "Hand geometry identification system performance," in *Security Technology, 2009. 43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on, 2009*, pp. 167-171.
- [7] M. A. Ferrer, A. Morales, C. M. Travieso, and J. B. Alonso, "Influence of the pegs number and distribution on a biometric device based on hand geometry," in *Security Technology, 2008. ICCST 2008. 42nd Annual IEEE International Carnahan Conference on, 2008*, pp. 221-225.
- [8] J. Xiaoqian, X. Wanhong, L. Sweeney, L. Yiheng, R. Gross, and D. Yurovsky, "New Directions in Contact Free Hand Recognition," in *Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on, 2007*, pp. II - 389-II - 392.

- [9] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "Shape-based hand recognition," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 15, pp. 1803-1815, 2006.
- [10] E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur, and J. Darbon, "Person authentication based on hand shape," in *Signal Processing and Communications Applications Conference, 2004. Proceedings of the IEEE 12th*, 2004, pp. 152-155.
- [11] G. Park and S. Kim, "Hand Biometric Recognition Based on Fused Hand Geometry and Vascular Patterns," *Sensors*, vol. 13, pp. 2895-2910, 2013.
- [12] X. Wei, X. Changsheng, and O. Sim Heng, "Peg-free Human Hand Shape Analysis and Recognition," in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings. (ICASSP '05). IEEE International Conference on*, 2005, pp. 77-80.
- [13] G. Boreki and A. Zimmer, "Hand geometry: a new approach for feature extraction," in *Automatic Identification Advanced Technologies, 2005. Fourth IEEE Workshop on*, 2005, pp. 149-154.
- [14] G. Tofighi, S. A. Monadjemi, and N. Ghasem-Aghaee, "Rapid hand posture recognition using Adaptive Histogram Template of Skin and hand edge contour," in *Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2010 6th Iranian*, 2010, pp. 1-5.
- [15] S. Liu and M. Silverman, "A practical guide to biometric security technology," *IT Professional*, vol. 3, pp. 27-32, 2001.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายอภิวัฒน์ สวัสดิ์รัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	15 กันยายน 2515
ที่อยู่	305/1 หมู่ 18 ตำบลพระลับ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ประวัติการทำงาน	อาจารย์สังกัดสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ. 2548 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	081-7693092
อีเมล	apiwat.sa@rmuti.ac.th

