

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งสัมบูรณ์สำหรับการรู้จำท่ามือ

**ABSOLUTE LOCATION INVARIANT FEATURES FOR HAND
POSTURE RECOGNITION**



สุรวะ อังประเสริฐ

SURAWEJ EUNGPRASERT

ฉ.น.
ล ๕๕๓๑
๒๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 60532
วัน,เดือน,ปี..... - 3 ก.ค. 2548

b..... 11587222
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1429-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSOLUTE LOCATION INVARIANT FEATURES FOR HAND
POSTURE RECOGNITION**



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

2005

ISBN 974-15-1429-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Absolute Location Invariant Features for Hand Posture Recognition
Student	Mr. Surawej Eungprasert
Student ID.	43067039
Degree	Master of Science
Programme	Information Science
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Nopporn Chotikakamthorn

ABSTRACT

This thesis proposes a method to resolve absolute location ambiguities in hand posture recognition application. For example, in a Thai sign language recognition system, a hand position as related to various body parts is important. Previous research work uses a hand position value to recognize a hand posture location. However, those positional values are measured relative to a transmitter position. Therefore, if the signer changes his position, values read by the devices are also changed. In this research, a method using hand orientation data has been developed to exploit a human hand movement limitation, to solve this problem. The method is invariant to a user translation movement. Yet, the signer's body rotation movements still cause a problem. To solve the problem, resynchronization of the hand reference coordinate is referred each time a user turns his body around. In this thesis, an automated resynchronization method has been developed. Resynchronization is performed each time the signer arm is placed parallel to his body. By using this resynchronization method, there is no need to add a sensor to provide a reference point.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำปรึกษา และ แนะนำแนวทาง จาก รศ.ดร.นพพร โชติกำจร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความอนุเคราะห์จากท่าน

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณและเอ่ยนามถึงบุคคลต่าง ๆ ที่ได้มีส่วนร่วมให้การช่วยเหลือผู้วิจัย ในการสร้างงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นมาจนสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และ พี่ ๆ ของนักวิจัยที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ อีกทั้งเป็นกำลังใจให้กับนักวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณบุคคลต่อไปนี้ที่มาผู้ทำท่า่มือเพื่อบันทึกเป็นข้อมูลสำหรับการทดลองต่าง ๆ ได้แก่ ดิ๊ก, กานต์, เฟย์, ปอย และ ออฟ จากศูนย์ปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง อ้อย และ เบียร์ จาก ศูนย์ E – Learning มหาลัยวิทยาลัยรามคำแหง และ กบ, ก้อย, แจ็ค, นน, นะ, เป้ง จากห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research

ขอขอบคุณ เพื่อน และ น้อง ๆ จากศูนย์ปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ และ ศูนย์ E – Learning มหาวิทยาลัยรามคำแหง และ เพื่อน และน้อง ๆ นักศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research ที่คอยให้กำลังใจ และ ให้คำปรึกษาปัญหาด้วยดีตลอดมา

อนึ่ง งานวิจัยที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น ได้ปฏิบัติภายในห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research ของสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุรเวช อึ้งประเสริฐ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานวิจัยการรู้จำตำแหน่งบนร่างกาย (Human Body Parts Recognition).....	5
2.1.1 งานวิจัยของ Manjula B. Waldon กับ Soowon Kim.....	5
2.1.2 งานวิจัยของ Christian Vogler, Dimitris Metaxas.....	6
2.1.3 งานวิจัยของ Jiyong Ma, Wen Gao, Jiangqin Wu และ Chunli Wang.....	6
2.1.4 งานวิจัยของ Oliver Bimber.....	7
2.1.5 งานวิจัยของ Lee W. Campbell, Devid A. Becker, Ali Azarbayejani, Aron F.Bobick และ Alex Pentland.....	7
2.2 งานวิจัยศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหว (Motion Capture).....	8
2.2.1 งานวิจัยของ Thomas B. Moeslund และ Erik Granum.....	9
2.2.2 งานวิจัยของ Victor B. Zordan และ Jessica K. Hodgins.....	10
2.2.3 งานวิจัยของ Tom Molet, Ronan Boulie และ Danial Thalmann.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ระบบจำแนกตำแหน่งมือในภาษามือไทยด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	14
3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker).....	14
3.1.1 ค่าตำแหน่งพิกัด (Position).....	15
3.1.2 ค่าองศาการหมุน (Orientation)	15
3.2 Euler Angles	17
3.3 ตำแหน่งมือกับความสำคัญในระบบภาษามือไทย.....	19
บทที่ 4 การจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายโดยอาศัยค่าองศาการหมุนของแขน	23
4.1 แนวคิดเบื้องต้น	23
4.2 ตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์	23
4.3 การจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย.....	24
4.3.1 ข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ (Sensor Input)	24
4.3.2 การเลือกข้อมูลองศาการหมุน (Extract Orientation Data)	25
4.3.3 การแปลงค่าองศาการหมุนให้อยู่ในรูป Direction Cosine Matrix (Transformation).....	25
4.3.3.1 Direction Cosine.....	26
4.3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Euler Angles และ Direction Cosine Matrix	27
4.3.4 การกำหนดตำแหน่งอ้างอิง (Synchronize the Reference Point)	28
4.3.5 การแยกคุณลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction).....	30
4.3.6 การจำแนกตำแหน่งมือ (Classification).....	31
บทที่ 5 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง	35
5.1 ลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่ามือ.....	35
5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	36
5.2.1 กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง.....	36
5.2.2 กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา v ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.2.1 การคำนวณข้อมูลการปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)	36
5.2.2.1.1 การคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัด	37
5.2.2.1.2 การคำนวณข้อมูลลองศาการหมุน	38
5.2.2.2 การคำนวณข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่า่มือ	40
5.2.2.2.1 การคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัด	41
5.2.2.2.2 การคำนวณข้อมูลลองศาการหมุน	43
บทที่ 6 ผลการทดลอง	45
6.1 รายละเอียดการบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	45
6.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและทดลอง	45
6.1.2 ตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่า่มือ	45
6.1.3 การบันทึกข้อมูลสำหรับการทดลอง	46
6.1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	46
6.1.4.1 ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง	46
6.1.4.2 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ	46
6.2 การทดลอง	47
6.2.1 การทดลองความเป็นอิสระจากผู้ทำท่า่มือ (Signer Independence)	49
6.2.1.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด	50
6.2.1.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ	51
6.2.2 การทดลองความเป็นอิสระจากการหมุนตัวของผู้ทำท่า่มือ (Signer Body Rotation Independence)	52
6.2.2.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด	52
6.2.2.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ	53
6.2.3 การทดลองความเป็นอิสระจากลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า (Transmitter Rotation Independence)	53
6.2.3.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.3.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	55
6.2.4 การทดลองการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงแบบไม่คงที่ (Synchronize the reference point).....	56
6.2.4.1 กรณีผู้ทำท่ามืออยู่หนึ่งไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและไม่หมุนตัว	56
6.2.4.1.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	57
6.2.4.1.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	57
6.2.4.2 กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่ง.....	58
6.2.4.2.1 กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ.....	58
6.2.4.2.1.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	60
6.2.4.2.1.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	60
6.2.4.2.2 กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้ง.....	61
6.2.4.2.2.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	62
6.2.4.2.2.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	62
6.2.4.3 กรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว.....	63
6.2.4.3.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	64
6.2.4.3.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	64
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ.....	66
7.1 สรุปผลการทดลอง.....	66
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
7.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหา.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก. วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว และ เซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่า ตำแหน่งพิกัด.....	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ก.1 วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุน yaw, pitch และค่าระยะพิคัด y	75
ก.1.1 ค่าในแนวพิคัด X, Y และ Z	75
ก.1.2 ค่าองศา yaw, pitch และ roll	76
ก.2 วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าตำแหน่งพิคัด	79
ภาคผนวก ข. การติดตั้งอุปกรณ์ และ การใช้งาน โปรแกรมจำแนกตำแหน่งมือ	84
ข.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	84
ข.2 การใช้งาน โปรแกรมจำแนกตำแหน่งมือ	86
ข.2.1 การบันทึกข้อมูลตำแหน่งมือ	87
ข.2.2 การจำแนกตำแหน่งมือ	90
ภาคผนวก ค. บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	93
ประวัติผู้เขียน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าองศาสูงสุดและต่ำสุดที่แต่ข้อต่อสามารถหมุนได้.....	10
3.1 ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่าทำมือทั้ง 35 ตำแหน่งที่ใช้ในงานวิจัย	22
4.1 แสดงข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์	24
4.2 แสดงข้อมูลที่ได้หลังจากตัดค่าตำแหน่งพิกัด	25
5.1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่าทำมือ	35
6.1 ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายที่ใช้ในการทดลอง	45
6.2 แสดงตำแหน่งมือที่ใช้สำหรับการจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ	47
6.3 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตำแหน่งมือที่ใช้ในการจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ และการ จำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	48
6.4 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่าทำมือแต่ละคน (Signer dependence) และ กรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่าทำมือทั้งหมด (Signer independence).....	52
6.5 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีผู้ทำท่าทำมือ ไม่หมุนตัว และ กรณีผู้ทำท่าทำมือหมุนตัว.....	53
6.6 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีไม่ปรับเอียง, ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 20 องศา และ 51 องศา กับแนวตั้ง.....	56
6.7 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ กับ กรณีตรวจสอบ และกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ ทำท่าทำมือไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและไม่หมุนตัว.....	58
6.8 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ กับ กรณีตรวจสอบ และกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ ทำท่าทำมือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ	61
6.9 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ กับ กรณีตรวจสอบ และกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ ทำท่าทำมือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้ง	63
6.10 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ กับ กรณีตรวจสอบ และกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ ทำท่าทำมือหมุนตัว.....	65
ข.1 แสดงรายชื่อ File ที่ได้จากการบันทึก	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ทำมือคำว่า “ประเทศไทย” ในระบบภาษามือไทย	1
2.1 ตำแหน่งของมือที่เป็นไปได้ 10 ตำแหน่ง	5
2.2 ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายสำหรับงานวิจัยของ Christian Vogler และ Dimitris Metaxas	6
2.3 แสดงลักษณะและตำแหน่งของข้อศอกที่ได้จากการหมุนของข้อต่อข้อศอกโดยค่า α คือค่าองศาที่ข้อต่อของข้อศอกสามารถที่จะหมุนได้ ซึ่ง S, E และ H คือตำแหน่งของหัวไหล่, ข้อศอก และมือ ตามลำดับ	9
2.4 ระบบ co-ordinate ที่ใช้ในงานวิจัยของ Thomas B. Moeslund และ Erik Granum ซึ่งจะประกอบไปด้วยลักษณะการหมุนของข้อต่อ 4 จุด ซึ่งสามารถใช้แทนลักษณะตำแหน่งและทิศทางของแขนได้	10
2.5 แสดงตำแหน่งที่คิดเซนเซอร์บนร่างกายของผู้ใช้งานระบบ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 9 ตำแหน่ง และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยที่อ่านได้จากเซนเซอร์ทั้งสิ้น 27 ค่า (27 Degree of Freedom)	11
2.6 แสดงตำแหน่งคิดเซนเซอร์	12
3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รุ่น 3SPACE® ISOTRAK II™ พร้อมด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวและอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)	14
3.2 แนวแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)	15
3.3 ลักษณะการหมุนของเซนเซอร์ด้วยค่าองศาการหมุน (η) yaw, (ψ) pitch และ (ϕ) roll	16
3.4 ลักษณะแนวแกนของเซนเซอร์เทียบกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เมื่อค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll มีค่าเท่ากับ 0 องศา	16
3.5 แนวแกนของวัตถุเทียบกับแนวแกนอ้างอิง	18
3.6 ลักษณะแนวแกนของวัตถุที่ได้จากการหมุนวัตถุรอบแกน z ของวัตถุ	18
3.7 ลักษณะแกนของวัตถุที่ได้จากการหมุนวัตถุรอบแกน y ของวัตถุ	19
3.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการหมุนวัตถุตามระบบ Euler Angles ด้วยค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll	19
3.9 ทำมือที่มีความหมายต่างกัน โดยมีรูปมือเดียวกันแต่ตำแหน่งมือต่างกัน (η) ทำมือในความหมาย “หน้าอก” (ψ) ทำมือในความหมาย “ท้อง”	20
3.10 ทำมือในความหมาย “วันแม่แห่งชาติ”	20
3.11 (η) ทำมือในความหมาย “จำ” (ψ) ทำมือในความหมาย “คนพูดมาก”	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงลักษณะและตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์ 2 ตัว ที่แขนท่อนบน และ แขนท่อนล่าง.....	23
4.2 แสดงโครงสร้างของขั้นตอนการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายโดยอาศัยค่าองศาการหมุน.....	24
4.3 ภาพ Direction Cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกนอ้างอิง.....	26
4.4 แสดงค่าองศาระหว่างแนวแกน X ของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ กับแนวแกน X ของแขนท่อนบนเมื่อเริ่มใช้งานระบบ.....	29
4.5 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลัง ของค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างกระทำกับแกน (ก) X, (ข) Y และ (ค) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนกระทำกับแกน (ง) X, (จ) Y และ (ฉ) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ.....	32
4.6 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลังศีรษะของค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างกระทำกับแกน (ก) X, (ข) Y และ (ค) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนกระทำกับแกน (ง) X, (จ) Y และ (ฉ) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ.....	32
4.7 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งไหล่ซ้าย ของค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างกระทำกับแกน (ก) X, (ข) Y และ (ค) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนกระทำกับแกน (ง) X, (จ) Y และ (ฉ) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ.....	33
6.1 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer dependence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	50
6.2 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer independence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	50
6.3 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer dependence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	51
6.4 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer independence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	51
6.5 ผลการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	52
6.6 ผลการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.7 ผลการทดลองกรณีปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 20 องศา กับแนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	54
6.8 ผลการทดลองกรณีปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 51 องศา กับแนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	54
6.9 ผลการทดลองกรณีปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 20 องศา กับแนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	55
6.10 ผลการทดลองกรณีปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 51 องศา กับแนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	55
6.11 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและไม่หมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	57
6.12 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและไม่หมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	57
6.13 แสดงตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายผู้ทำท่ามือ.....	59
6.14 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	60
6.15 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	60
6.16 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	62
6.17 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.18 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด.....	64
6.19 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ.....	64
7.1 แสดงแนวแกนของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งแขนแนบข้างลำตัว (x, y, z) กับ แนวแกนของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (X, Y, Z)	71
ก.1 Histogram และเส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลังศีรษะ (ก) ค่าองศาการหมุน yaw, (ข) ค่าองศาการหมุน pitch และ (ค) ค่าระยะของตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y	77
ก.2 Histogram และเส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหน้าผาก2 (ก) ค่าองศาการหมุน yaw, (ข) ค่าองศาการหมุน pitch และ (ค) ค่าระยะของตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y ระหว่าง	77
ก.3 Histogram และเส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งปาก2 (ก) ค่าองศาการหมุน yaw, (ข) ค่าองศาการหมุน pitch และ (ค) ค่าระยะของตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y	77
ก.4 แสดงลักษณะและตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์ 2 ตัว ที่แขนท่อนบน และ แขนท่อนล่าง	79
ก.5 Histogram และเส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลัง (ก) ระยะตำแหน่งพิกัด X, (ข) ระยะตำแหน่งพิกัด Y, (ค) ระยะตำแหน่งพิกัด Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างเมื่อปรับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง	81
ก.6 Histogram และเส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลังศีรษะ (ก) ระยะตำแหน่งพิกัด X, (ข) ระยะตำแหน่งพิกัด Y, (ค) ระยะตำแหน่งพิกัด Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างเมื่อปรับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง	81
ก.7 Histogram และเส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งไหล่ซ้าย (ก) ระยะตำแหน่งพิกัด X, (ข) ระยะตำแหน่งพิกัด Y, (ค) ระยะตำแหน่งพิกัด Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างเมื่อปรับเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง	81
ข.1 อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker)	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.2 กล่องควบคุม (Control Box).....	85
ข.3 ตำแหน่ง และ ลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)	85
ข.4 โปรแกรม PosAna	86
ข.5 ภาพโปรแกรมก่อนการบันทึกข้อมูลตำแหน่งแนบข้างลำตัว.....	87
ข.6 ภาพโปรแกรมขณะบันทึกข้อมูลตำแหน่งแนบข้างลำตัว.....	88
ข.7 ภาพโปรแกรมเมื่อสิ้นสุดการบันทึก	88
ข.8 ภาพโปรแกรมขณะจำแนกตำแหน่งมือ เมื่อมือของผู้ทำท่าทำมือกำลังเคลื่อนไหว	90
ข.9 ภาพโปรแกรมขณะจำแนกตำแหน่งมือ เมื่อมือของผู้ทำท่าทำมือ.....	91
ข.10 ภาพโปรแกรมเมื่อแขนท่อนบนของผู้ทำท่าทำมืออยู่ในลักษณะแนบชิดข้างลำตัว	92



บทที่ 1

บทนำ

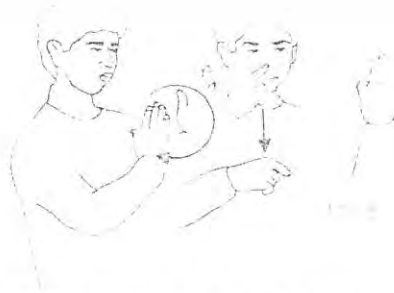
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารของผู้พิการด้านการได้ยินเสียง หรือ คนหูหนวก ใช้ติดต่อกับคนปกติ หรือคนหูหนวกด้วยกันนั้นจะใช้ภาษามือเป็นสื่อกลาง เพื่อใช้แสดงความหมาย หรือความต้องการที่ผู้สื่อสารต้องการให้ผู้รับสารเข้าใจตรงกัน โดยในปัจจุบันนี้ได้มีหน่วยงานหรือสถาบันต่าง ๆ ได้ทำการศึกษาและวิจัยระบบภาษามือที่มีใช้ในประเศนั้น ๆ อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็น พจนานุกรมภาษามืออิเล็กทรอนิกส์ หรือ วิดีโอสื่อการสอน เป็นต้น แต่สิ่งเหล่านี้ก็ยังไม่เพียงพอที่จะช่วยให้การสื่อสารเป็นไปอย่างราบรื่น ดังนั้นจึงมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม เพื่อที่จะสร้างระบบรู้จำภาษามือขึ้นมา โดยปัจจุบันได้มีการศึกษา พัฒนา และ วิจัยกันในวงกว้าง ไม่ว่าจะเป็นการสร้างภาพเคลื่อนไหว (Animation) ประกอบภาษามือ การนำกล้องวิดีโอเข้ามาประกอบการรู้จำท่ามือด้วยเทคนิคต่าง ๆ เพื่อสื่อความหมายของคำ หรือประโยค เป็นเสียง หรือ ข้อความให้ผู้รับสารเข้าใจ การนำอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์เช่น เซนเซอร์ (Sensor) และ อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) และ ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ (Data Gloves) มาใช้จำแนกลักษณะการเคลื่อนไหวของมือ และ แขน โดยอ้างอิงตามการใช้งานของระบบภาษามือนั้น ๆ

ภาษามือเป็นภาษาที่มีใช้งานกันอยู่ในหลาย ๆ ประเทศ ซึ่งบางประเทศก็มีภาษามือของตนเอง แต่ภาษามือทุกภาษาก็มีองค์ประกอบหลัก ๆ ของท่ามือที่คล้ายกันดังนี้

1. รูปร่างมือ (Posture or Hand Shape)
2. การหมุนหรือการหักข้อมือ (Orientation of Palm)
3. ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย (Position and Location of Hand)
4. การเคลื่อนไหวของแขน (Hand Movement)

ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 4 นั้นล้วนมีความสำคัญต่อความหมายในระบบภาษามือทั้งสิ้น



รูปที่ 1.1 ท่ามือคำว่า “ประเทศไทย” ในระบบภาษามือไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ๆ มานั้นปัญหาหนึ่งที่พบคือการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำท่ามือขณะที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของร่างกาย เช่น การยืน - นั่ง, การเดินไป - เดินมา หรือการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือไปในทิศทางต่าง ๆ เป็นต้น รวมไปถึงการเคลื่อนย้ายตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายทั้งสิ้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงนำเสนอแนวทางในการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำท่ามือโดยไม่ขึ้นต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งร่างกายของผู้ทำท่ามือ หรือ การเคลื่อนย้ายตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อศึกษาถึงวิธีการที่จะจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำท่ามือโดยอาศัยข้อมูลองศาการหมุนซึ่งไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งร่างกายของผู้ทำท่ามือ และ การเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เนื่องจากการเคลื่อนย้ายตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์
- เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้อ่างศาการหมุน (Orientation) กับการใช้ค่าตำแหน่งพิกัด (Position)

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- ข้อมูลองศาการหมุนไม่ขึ้นต่อการเคลื่อนย้ายตำแหน่งสัมบูรณ์ของร่างกายในแนวระนาบและแนวตั้ง
- ข้อมูลที่ใช้จำแนกตำแหน่งมือมีลักษณะการกระจายข้อมูลแบบ Normal Distribution
- ลักษณะการหมุนของแขนสามารถใช้จำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะอาศัยคุณสมบัติทางสรีระวิทยา และ การเคลื่อนไหวของแขน โดยการใช้ค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์เมื่อวางมือ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่สัมผัสกับร่างกายมาช่วยในการจำแนกตำแหน่งแทนการใช้ค่าตำแหน่งพิกัด เนื่องจากค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์เมื่อผู้ทำท่ามือวางมือ ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่สัมผัสกับร่างกายจะไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าผู้ทำท่ามือจะมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของร่างกาย เช่น การเดินไป - มา หรือ การยืน - นั่ง

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาระบบภาษามือ และ ขอบเขตของลักษณะท่ามือ ณ ตำแหน่งที่สัมพันธ์กับร่างกายในระบบภาษามือไทย
2. ศึกษาวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหาความคลุมเครือของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย
3. พัฒนารูปแบบการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
4. ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างวิธีการใช้งานอุปกรณ์เซนเซอร์ 1 ตัว และ 2 ตัว
5. การเคลื่อนไหวร่างกายของผู้ทำท่ามือมี 2 ลักษณะ คือเคลื่อนไหวร่างกายในลักษณะยืน – นั่ง ในแนวดิ่ง กับ การหมุนตัวของผู้ทำท่ามือรอบแนวดิ่ง
6. พัฒนาโปรแกรมระบบการตรวจวัดตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย วัตถุประสงค์ และ ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาทฤษฎี และ หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. ศึกษาวิธีการต่างๆ ที่มีอยู่ แนวความคิด หลักการ ข้อดี และ ข้อบกพร่องของแต่ละวิธีการ
4. พัฒนารูปแบบการจำแนกตำแหน่งของมือ โดยใช้ค่าองศาการหมุน
5. ทำการทดลอง ปรับปรุง และ สรุปผล
6. จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมา และ ความสำคัญของปัญหาที่นำมาสู่การศึกษาเพื่อทำวิจัย กล่าวถึงหลักการ และ ทฤษฎีต่างๆ ภายใต้สมมุติฐานที่กำหนด โดยมีจุดมุ่งหมาย ขอบเขต และขั้นตอนในการศึกษาระบุไว้อย่างชัดเจน

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการ และ วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายที่ปรากฏอยู่ในงานวิจัยต่าง ๆ

บทที่ 3 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และ ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือที่มีผลต่อความหมายของคำ และ ประโยคในระบบภาษามือไทย

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการและวิธีการจำแนกตำแหน่งของมือโดยใช้ค่าองศาการหมุน (Orientation)

บทที่ 5 กล่าวถึงลักษณะของผู้ทำท่ามือ และ การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 กล่าวถึงผลการทดลองจากการเก็บข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ เช่น กรณีผู้ทำท่ามือนิ่งไม่หมุนตัว, ผู้ทำท่ามือนิ่งมีการหมุนตัว และการปรับเปลี่ยนลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เอียงไปในทิศทางต่าง ๆ

บทที่ 7 กล่าวถึงบทสรุปของเนื้อหาทั้งหมดที่ได้กล่าวมา ผลลัพธ์ และ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ได้จากงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จะเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนไหว และการรู้จำตำแหน่งนั้น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

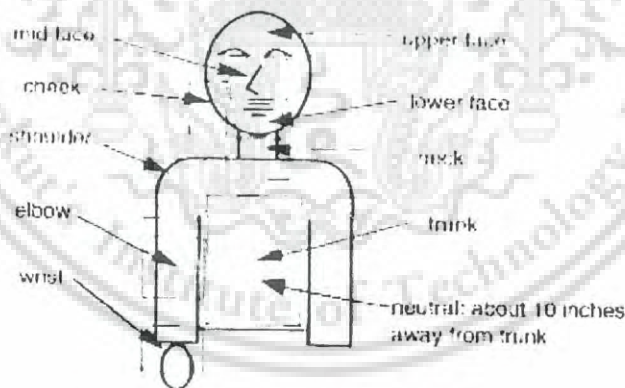
- งานวิจัยการรู้จำตำแหน่งบนร่างกาย (Human Body Parts Recognition)
- งานวิจัยศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนไหว (Motion Capture)

2.1 งานวิจัยการรู้จำตำแหน่งบนร่างกาย (Human Body Parts Recognition)

โดยส่วนใหญ่งานวิจัยในด้านนี้จะเป็นประกอบของงานวิจัยอื่น ๆ เช่น ระบบแปลภาษามือ อัตโนมัต เป็นต้น งานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่

2.1.1 งานวิจัยของ Manjula B. Waldon กับ Soowon Kim [1]

ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำภาษามืออเมริกัน (ASL: American Sign Language) โดยใช้ อุปกรณ์เซนเซอร์ และถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ โดยได้แบ่งตำแหน่งบนร่างกายออกเป็น 10 ส่วนดังแสดง ในรูป ที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของมือที่เป็นไปได้ 10 ตำแหน่ง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Neuron Network แบบ Backpropagation สำหรับการเรียนรู้ (Train) และทดสอบ (Test) ซึ่งในการเรียนรู้จะใช้ข้อมูลตำแหน่งละ 30 ชุดข้อมูล และในการทดสอบนั้นจะทดสอบด้วยข้อมูลตำแหน่งละ 15 ชุดข้อมูล รวม 150 ชุดข้อมูล ซึ่งจะสามารถให้ความถูกต้อง 98 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 งานวิจัยของ Christian Vogler, Dimitris Metaxas [2]

ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำภาษามืออเมริกัน โดยการแบ่งกลุ่มท่ามือออกเป็นหน่วยย่อยซึ่งจะใช้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) ในอ่านค่าตำแหน่งมือของผู้ทำท่ามือ ในส่วนของการรู้จำตำแหน่งนั้นจะใช้ค่าระยะทางในพิกัดแนวระนาบ และ พิกัดในแนวตั้ง โดยวัดเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง โดยตำแหน่งอ้างอิงคือตำแหน่งกึ่งกลางฐานของบริเวณกระดูกสันหลัง



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายสำหรับงานวิจัยของ Christian Vogler และ Dimitris Metaxas

ถ้าเป็นตำแหน่งมือที่ไม่สัมผัสร่างกาย จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ใกล้เคียง(p: proximal), ปานกลาง(m: medial), ค่อนข้างไกล(d: distal) และ ไกล(e: extended) โดยวัดจากตำแหน่งของร่างกาย ซึ่งจะใช้ตัวอักษร p, m, d และ e นำหน้าตำแหน่ง และ ถ้าหากตำแหน่งมืออยู่ที่กึ่งกลางด้านหน้า ลำตัวจะตามหลังด้วยเลข 0 ในขณะที่ตำแหน่งมือที่ด้านข้างหน้าอก จะตามหลังด้วยเลข 1 และถ้าหากตำแหน่งมืออยู่ที่ด้านขวาหรือด้านซ้ายของหน้าอก จะตามหลังด้วยเลข 2 เช่น d-1-TR จะหมายถึง ตำแหน่งมือที่อยู่ค่อนข้าง ไกลจากทางด้านขวาของลำตัว

2.1.3 งานวิจัยของ Jiyong Ma, Wen Gao, Jiangqin Wu และ Chunli Wang [3]

ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำภาษามือจีนแบบต่อเนื่อง โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) ซึ่งจะติดเซนเซอร์ไว้กับถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนของการรู้จำตำแหน่งมือนั้นได้นำค่าตำแหน่งพิกัดในแกน X, Y และ Z ที่อ่านได้จากอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) มาแปลงค่าใหม่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x' = R(x - s) \quad (2.1)$$

โดย x' คือ $[x'_1 \ x'_2 \ x'_3]^T$ เมื่อ x'_1, x'_2, x'_3 คือค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ในระบบ Cartesian co-ordinate หลังจากแปลงรูป

x คือ $[x_1 \ x_2 \ x_3]^T$ เมื่อ x_1, x_2, x_3 คือค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ในระบบ Cartesian co-ordinate ณ ช่วงเวลาใด ๆ

s คือ ค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ในระบบ Cartesian co-ordinate ณ ตำแหน่งอ้างอิง

R คือ Rotation Matrix

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

โดย α, β, γ คือค่าองศาที่หมุนรอบแกน X_1, X_2, X_3 ตามลำดับ

ซึ่งในงานวิจัยได้กล่าวถึงการกำหนดอ้างอิง โดยใช้ตำแหน่งเซนเซอร์ที่แขนข้างซ้ายเป็นตำแหน่งอ้างอิง ดังนั้น S คือ เวกเตอร์ของค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ที่แขนข้างซ้ายเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และ x คือเวกเตอร์ของค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ที่แขนข้างขวา ณ ช่วงเวลาใด ๆ ในขณะที่ R คือ Rotation Matrix ของแขนข้างซ้าย เพื่อใช้ปรับแก้การหมุนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เนื่องจากการเคลื่อนย้ายตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์ หรือการเปลี่ยนตำแหน่งของผู้ทำท่ามือขณะใช้งาน

2.1.4 งานวิจัยของ Oliver Bimber [4]

ได้นำเสนอวิธีการรู้จำท่ามือต่อเนื่องโดยการใช้ 6 Degree of Freedom (6 DOF) ซึ่งวิธีการที่นำเสนอ นั้น เป็นลักษณะของการกำหนดขอบเขตตำแหน่งออกเป็นช่วง ๆ (Boundary Box) โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่ามือมาช่วยในการกำหนดขอบเขตของตำแหน่งมือ นอกจากนี้ในงานวิจัยในยังได้นำเสนอถึงวิธีการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนไหวของแต่ละท่ามือไว้ด้วย

2.1.5 งานวิจัยของ Lee W. Campbell, Devid A. Becker, Ali Azarbajani, Aron F. Bobick และ Alex Pentland [5]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติที่ไม่แปรปรวนสำหรับงานรู้จำท่ามือที่ใช้ในกระบวนการทำท่า “ไทเก๊ก” ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการนำข้อมูลที่มีรูปแบบแตกต่างกันมาใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรู้จำตำแหน่งเพื่อศึกษาว่าข้อมูลแบบใดที่สามารถให้ความคงทนและไม่เปลี่ยนแปลงต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวของผู้ทำท่ามือ ซึ่งประเภทข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนั้นประกอบไปด้วย ค่าตำแหน่งพิกัด x, y, z , ค่า dx, dy, dz , ค่า r, θ, z ในระบบพิกัดเชิงขั้ว, ค่า $dr, d\theta, dz$, ค่า $dr, rd\theta, dz$, ค่า $dr, d\theta, dx, dy, dz$, ค่า $ds, \log(\rho ds), dz$ และ ค่า $ds, \log(\rho), dz$ โดยในงานวิจัยจะทำการทดลองในสภาวะปกติ, การทดลองความคงทนต่อการเลื่อนตำแหน่ง, คงทนต่อการหมุน และผลการทดลองรวม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าชนิดข้อมูล $dr, d\theta, dz$ ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า ในงานวิจัยที่ 2.1.1 – 2.1.2 นั้นสภาพแวดล้อมของระบบจะต้องคงที่ ไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และ ผู้ทำท่ามือจะต้องอยู่ในลักษณะที่คงที่ ไม่มีการหมุนตัวขณะใช้งาน ซึ่งค่อนข้างไม่เป็นอิสระต่อการใช้งานจริง

สำหรับงานวิจัยที่ 2.1.3 นั้นได้นำเสนอถึงวิธีการปรับแก้ค่าที่อ่านได้ก่อนที่จะนำข้อมูลไปเข้าสู่กระบวนการจำแนกตำแหน่ง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะอาศัยการอ้างอิงตำแหน่งกับเซนเซอร์ที่แขนข้างซ้าย โดยเซนเซอร์ที่แขนข้างซ้ายจะทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง และ ใช้ตรวจสอบการหมุนไปของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และผู้ทำท่ามือ ดังนั้นเซนเซอร์ที่มือข้างซ้ายจึงต้องอยู่ในลักษณะนิ่งและแนบข้างลำตัวตลอดเวลา เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบตำแหน่งและการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ ได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยที่ 2.1.4 นั้นนำเสนอถึงการใช้ขั้นตอนของ Fuzzy Logic เข้าช่วยในการจำแนกตำแหน่งและลักษณะการเคลื่อนไหวของผู้ทำท่ามือ ซึ่งรูปแบบการวิจัยนั้นใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ 2.1.1 – 2.1.2 เพียงแต่มีการใช้ลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่ามือเข้ามาช่วยในการกำหนดขอบเขตของช่วงตำแหน่งเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของมือ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่ามือการใช้งานระบบ

งานวิจัยที่ 2.1.5 เป็นการเปรียบเทียบเพื่อหาคุณสมบัติของข้อมูลที่คงทนต่อสภาพการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง และการหมุนตัว ซึ่งในงานวิจัยจะเป็นการเคลื่อนย้ายร่างกายและการหมุนตัวในขอบเขตที่จำกัด ไม่กว้างนัก อีกทั้งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนั้นคือข้อมูลชุดเดียวกันแต่นำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อค้นหาลักษณะที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในงานวิจัยรู้จำท่ามือ

2.2 งานวิจัยศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหว (Motion Capture)

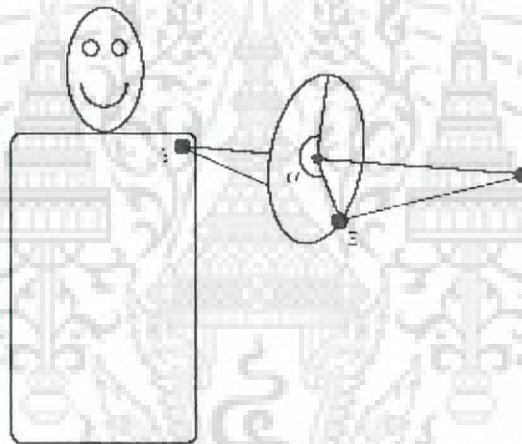
สำหรับงานวิจัยในด้านนี้จะเป็นการศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์, เครื่องจักร เช่น แขนกล หรือหุ่นยนต์ เป็นต้น รวมไปถึงการสร้างตัวละคร Animation ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวคล้ายมนุษย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ เช่น หัวไหล่, ข้อศอก, ข้อมือ, ต้นคอ เป็นต้น รวมถึงข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวในส่วนต่าง ๆ

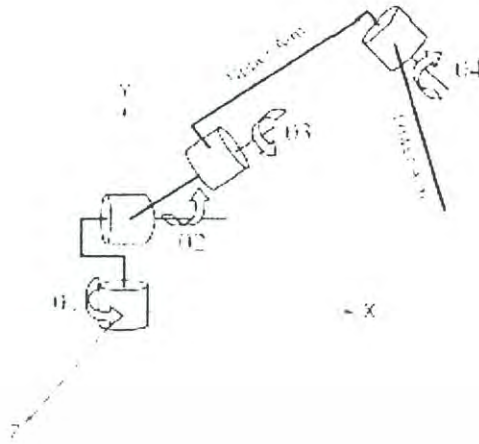
การศึกษาถึงข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายนั้นจะให้ความสนใจกับข้อจำกัดในการหมุนของแต่ละข้อต่อของกระดูก ณ ตำแหน่งจุดยึด เช่น หัวไหล่, ข้อศอก, ข้อมือ เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดในการหมุนนี้จะสามารถอธิบายได้ด้วยค่าองศาการหมุน (Orientation) สำหรับแต่ละข้อต่อ ซึ่งมีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับเรื่องนี้ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยของ Thomas B. Moeslund และ Erik Granum [6]

Thomas B. Moeslund และ Erik Granum ได้ทำการศึกษาดังข้อจำกัดการเคลื่อนไหวของแขน (Kinematic Constrains) ในลักษณะต่าง ๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนเพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไปซึ่งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนั้นเป็นภาพถ่ายสี และผลลัพธ์ที่ได้คือลักษณะ และ รูปแบบการเคลื่อนไหวของแขน



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะและตำแหน่งของข้อศอกที่ได้จากการหมุนของข้อต่อข้อศอกโดยค่า α คือค่าองศาที่ข้อต่อของข้อศอกสามารถที่จะหมุนได้ ซึ่ง S, E และ H คือตำแหน่งของหัวไหล่, ข้อศอก และมือ ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ระบบ co-ordinate ที่ใช้ในงานวิจัยของ Thomas B. Moeslund และ Erik Granum ซึ่งจะประกอบไปด้วยลักษณะการหมุนของข้อต่อ 4 จุด ซึ่งสามารถใช้แทนลักษณะตำแหน่งและทิศทางของแขนได้

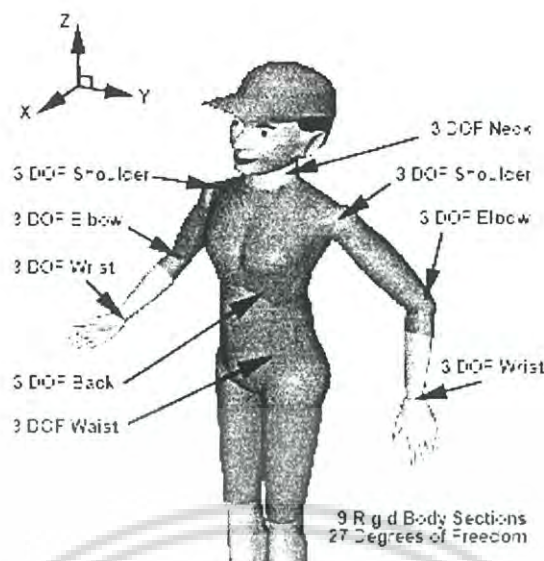
จากรูปที่ 2.4 นั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่ามุมองศาที่แต่ละข้อต่อสามารถจะหมุนไปได้ เนื่องจากต้องการที่จะขจัดลักษณะของแขนที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ออกไป ซึ่งค่าองศาที่เป็นไปได้ในแต่ละข้อต่อแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าองศาสูงสุดและต่ำสุดที่แต่ละข้อต่อสามารถหมุนได้

	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
Minimum	-135°	-135°	0°	45°
Maximum	45°	100°	145°	180°

2.2.2 งานวิจัยของ Victor B. Zordan และ Jessica K. Hodgins [7]

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาด้าน Motion Capture เพื่อปรับปรุงให้ตัวละคร Animation มีการเคลื่อนไหวคล้ายมนุษย์มากที่สุด โดยเน้นที่การเคลื่อนไหวในส่วนบนของร่างกาย ซึ่งส่วนล่างของร่างกายจะคงที่

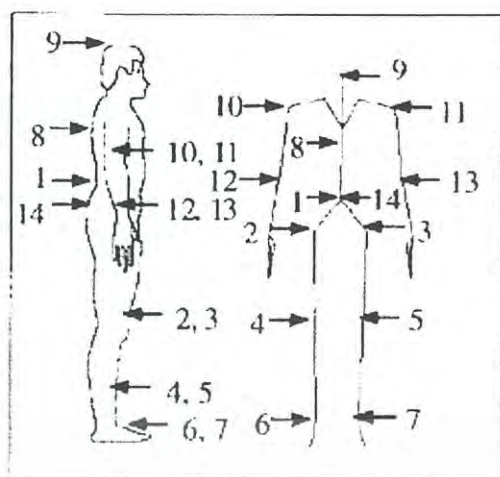


รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์บนร่างกายของผู้ใช้งานระบบ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 9 ตำแหน่ง และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยที่อ่านได้จากเซนเซอร์ทั้งสิ้น 27 ค่า (27 Degrees of Freedom)

2.2.3 งานวิจัยของ Tom Molet, Ronan Boulie และ Danial Thalmann [11]

เป็นการนำเสนอวิธีการเพื่อจำลองลักษณะการเคลื่อนไหวของตัวละคร Animation โดยใช้จำนวนให้จำนวนเซนเซอร์ และข้อมูลที่จำเป็นเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัย Motion Capture โดยทั่วไปนั้นจะอาศัยทั้งค่าตำแหน่งพิกัด (Position) และ ค่าองศาการหมุน (Orientation) จากเซนเซอร์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะสะดวก เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของผู้ใช้แต่ละคนสามารถบ่งบอกได้ด้วยระยะของตำแหน่งพิกัดในแต่ละเซนเซอร์ที่ติด ณ ตำแหน่งข้อต่อต่าง ๆ บนร่างกาย แต่วิธีการดังกล่าวนี้มีข้อเสีย ตรงนี้ตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์จะต้องติดในตำแหน่งเฉพาะ ซึ่งถ้าพิจารณาจากรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Victor B. Zordan และ Jessica K. Hodgins [7] นั้นจะพบว่าตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์นั้นจะอยู่ช่วงข้อต่อต่าง ๆ ขอร่างกาย ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวนี้ยุ่งยากและลำบากต่อการติดเซนเซอร์ อีกทั้งเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งช่วงของแขนนั้นจะพบว่า จะต้องใช้เซนเซอร์ ถึง 3 ตัวสำหรับการจำลองรูปแบบการเคลื่อนไหวของแขน

ดังนั้นในงานวิจัยของ Tom Molet, Ronan Boulie และ Danial Thalmann จึงได้นำเฉพาะค่าองศาการหมุน (Orientation) มาใช้ในการจำลองลักษณะการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยจะมีเซนเซอร์ 1 ตัวที่ตำแหน่งที่ระบุตำแหน่งของร่างกาย ซึ่งเซนเซอร์ดังกล่าวนี้จะใช้ทั้งค่าตำแหน่งพิกัด (Position) และ ค่าองศาการหมุน (Orientation) เพื่อที่จะสามารถจำลองการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายของผู้ใช้ได้ ซึ่งตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งติดเซนเซอร์

จากรูปที่ 2.6 จะพบว่าที่ช่วงแขนของผู้ใช้นั้นจะใช้เซนเซอร์เพียง 2 ตัว และเนื่องจากวิธีการที่นำเสนอนี้ใช้ค่าองศาการหมุนเป็นหลัก โดยจะอ้างอิงกับตำแหน่งเซนเซอร์ที่อยู่ตำแหน่งบริเวณกระดูกสันหลัง (ตำแหน่งหมายเลข 1) ดังนั้นการติดเซนเซอร์ที่ร่างกาย จึงไม่จำเป็นที่จะต้องติดที่ตำแหน่งข้อต่อของร่างกายโดยตรง โดยจะติดที่บริเวณช่วงระหว่างข้อต่อ เช่น แขนท่อนบน, แขนท่อนล่าง เป็นต้น แทนการติดที่ตำแหน่งหัวไหล่ และข้อศอก แต่การติดเซนเซอร์ในลักษณะนี้ไม่สามารถที่จะบ่งบอกลักษณะทางกายภาพของผู้ใช้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบค่าระหว่าง Model ที่ใช้เป็นตัวละคร Animation กับข้อมูลทางกายภาพของผู้ใช้ โดยให้ใกล้เคียงกับลักษณะทางกายภาพของผู้ใช้มากที่สุด อีกทั้งยังต้องทำการปรับเทียบค่าระหว่างเซนเซอร์กับ Model ที่จะเป็นตัวละคร Animation เพื่อให้การเคลื่อนไหวของตัวละครใกล้เคียงกับการลักษณะการเคลื่อนไหวของผู้ใช้จริง ซึ่งการปรับเทียบค่าสำหรับเซนเซอร์นั้นจะทำการปรับเทียบค่าตำแหน่งพิกัด (Position) สำหรับเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งที่ 1 สำหรับเซนเซอร์นอกเหนือจากนี้จะทำการปรับเทียบเฉพาะในส่วนองศาการหมุน (Orientation) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้สามารถจำลองลักษณะทางกายภาพและการเคลื่อนไหวของตัวละคร Animation ได้ใกล้เคียงกับลักษณะทางกายภาพและการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ หลังจากทำการปรับเทียบค่าเซนเซอร์แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการแปลงค่าข้อมูลเซนเซอร์เพื่อให้ลักษณะการเคลื่อนไหวของผู้ใช้กับตัวละคร Animation สอดคล้องกัน

จากทั้ง 3 งานวิจัยด้าน Motion Capture ที่กล่าวข้างต้นนั้นจะพบว่า ส่วนใหญ่จะใช้เซนเซอร์จำนวนมากติดที่อวัยวะส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อให้ได้รูปแบบการเคลื่อนไหวที่ใกล้เคียงกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ และเป็นธรรมชาติมากที่สุด โดยในงานวิจัยต่อ ๆ มาได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะลดจำนวนของเซนเซอร์ หรือข้อมูลที่นำไปประกอบการวิเคราะห์ โดยจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของข้อต่อต่าง ๆ ในร่างกาย และข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวของอวัยวะต่าง ๆ เพื่อที่จะ
ปฏิเสธรูปแบบการเคลื่อนไหวที่ไม่ถูกต้องออกไป ทำให้ลักษณะการเคลื่อนไหวที่ได้ใกล้เคียงกับ
ลักษณะการเคลื่อนไหวจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระบบจำแนกตำแหน่งมือในภาษามือไทยด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในระบบจำแนกตำแหน่งมือสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) นั้นให้ความแม่นยำมากกว่าระบบที่ใช้กล้องวิดีโอ และค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์สามารถนำเข้าสู่กระบวนการคำนวณได้ในทันที โดยไม่ต้องผ่านการคำนวณที่ซับซ้อน

3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker)

อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) ที่ใช้ในงานวิจัยผลิตโดยบริษัท Polhemus Inc. รุ่น 3SPACE[®] ISOTRAK II[™] พร้อมด้วยเซนเซอร์ จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้ติดที่แขนของผู้ทำท่ามือ



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รุ่น 3SPACE[®] ISOTRAK II[™] พร้อมด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวและอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

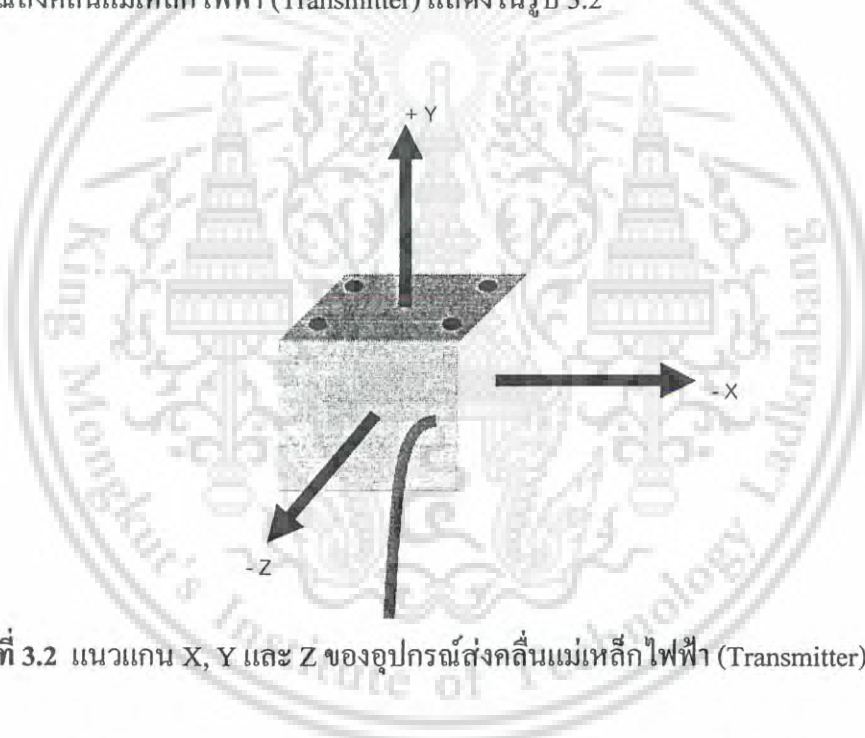
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) นั้นจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งจะต่อกับกล่องควบคุม โดยกล่องควบคุมจะมีช่องรับสัญญาณ (Receiver) จำนวน 2 ช่องสัญญาณ เพื่อใช้ต่อกับเซนเซอร์

เซนเซอร์แต่ละตัวจะส่งค่าชุดตัวเลขในแต่ละครั้งจำนวน 6 ชุดต่อเซนเซอร์ ซึ่งตัวเลขทั้ง 6 ชุดประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของค่าตำแหน่งพิกัด x , y และ z โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และ ส่วนของค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์เทียบกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

3.1.1 ค่าตำแหน่งพิกัด (Position)

ค่าตำแหน่งพิกัด (Position) ประกอบไปด้วยค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ในแนวแกน X , Y และ Z โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) โดยลักษณะของแกนอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) แสดงในรูป 3.2



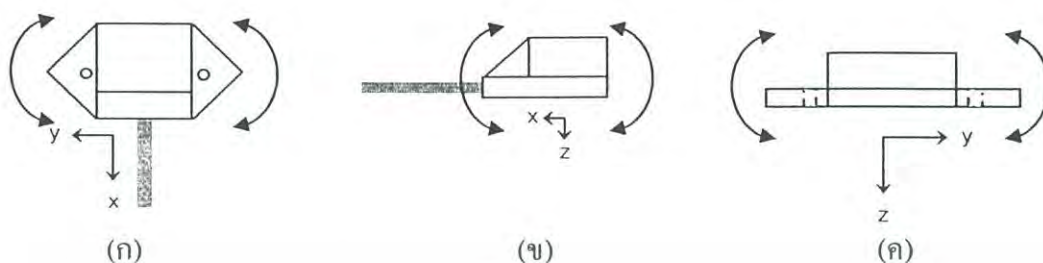
รูปที่ 3.2 แนวแกน X , Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

ค่าตำแหน่งพิกัดมีหน่วยวัดเป็นเซนติเมตร ซึ่งระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะให้ความถูกต้องสูงเมื่อเซนเซอร์อยู่ในช่วงรัศมีประมาณ 80 เซนติเมตร วัดจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

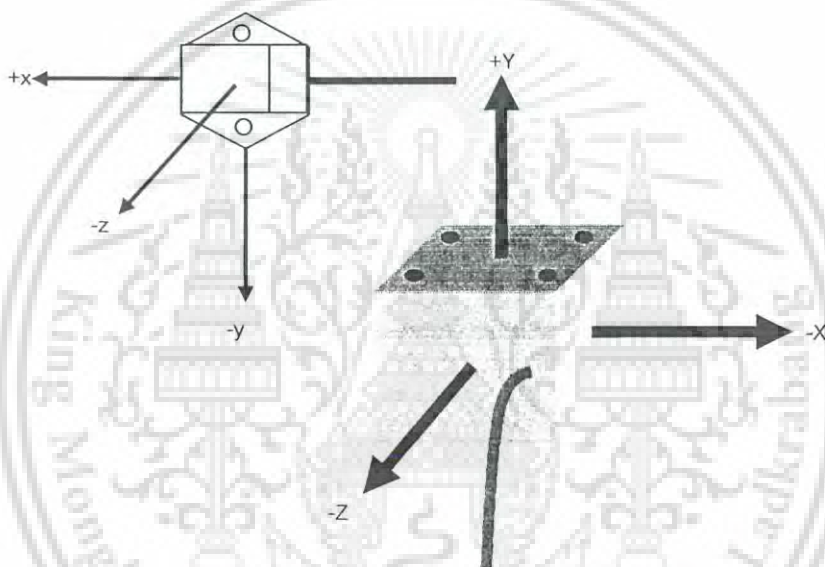
3.1.2 ค่าองศาการหมุน (Orientation)

ค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์นั้นประกอบไปด้วยค่าองศาการหมุน 3 ค่าได้แก่ ค่าองศาการหมุนในแนวราบ (yaw หรือ azimuth), ค่าองศาการหมุนในมุมเงย (pitch หรือ elevation) และค่า

องศาการหมุนของการม้วนเอียง (roll) ดังรูปที่ 3.3 โดยทิศทางแนวแกนของเซนเซอร์เทียบกับ ทิศทางแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.3 ลักษณะการหมุนของเซนเซอร์ด้วยค่าองศาการหมุน (ก) yaw, (ข) pitch และ (ค) roll



รูปที่ 3.4 ลักษณะแนวแกนของเซนเซอร์เทียบกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เมื่อค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll มีค่าเท่ากับ 0 องศา

ในระบบแกนของเซนเซอร์ และ อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) นั้นจะต่างกัน โดยระนาบ xy ของเซนเซอร์ นั้นจะขนานกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) และ แกน z อยู่ในแนวตั้ง ในขณะที่ระนาบ XZ ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะขนานกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) และ แกน Y อยู่ในแนวตั้ง ดังนั้นเมื่อนำเซนเซอร์วางในแนวราบ ค่าองศาการหมุน yaw จะเป็นค่าองศาการหมุนรอบแกน z ของเซนเซอร์ ซึ่งจะเป็นการหมุนที่ขนานกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate) ส่วนค่าองศาการหมุน pitch จะเป็นค่าการหมุนรอบแกน y ของเซนเซอร์ ซึ่งจะเป็นค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์ที่กระทำกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-

ordinate) และค่าองศาการหมุน roll จะเป็นค่าการหมุนรอบแกน x ของเซนเซอร์ ซึ่งจะเป็นการหมุนเอียงของเซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ก) – (ค)

รูปที่ 3.4 จะเป็นลักษณะการวางของเซนเซอร์ เมื่อเทียบกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เนื่องจากระบบพิกัดของอุปกรณ์ทั้ง 2 ต่างกัน ดังนั้นจากรูปที่ 3.4 จะพบว่าเซนเซอร์จะวางอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับระนาบในแนวราบของระบบพิกัดโลก (World Co-ordinate)

ค่าองศาการหมุนที่อ่านได้จากเซนเซอร์มีหน่วยเป็นเรเดียน โดยแต่ละค่าองศาการหมุนมีช่วงของค่าดังนี้

$$-\pi \leq \alpha \leq \pi \quad (3.1)$$

$$-\pi/2 \leq \beta \leq \pi/2 \quad (3.2)$$

$$-\pi \leq \gamma \leq \pi \quad (3.3)$$

โดยที่ α, β, γ คือค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ตามลำดับ โดยค่าองศาการหมุนทั้ง 3 ค่าเป็นไปตามระบบ Euler Angles

3.2 Euler Angles

Euler Angles เป็นระบบที่ใช้อธิบายการหมุนและความสัมพันธ์ของการหมุนของวัตถุในระบบ Orthogonal Co-ordinate ซึ่งประกอบไปด้วยค่าองศาการหมุน 3 ค่าด้วยกันคือ yaw หรือ azimuth, pitch หรือ elevation และ roll ซึ่งช่วงของค่าองศาทั้ง 3 แสดงในสมการ (3.1) – (3.3)

ลักษณะการหมุนของวัตถุตามระบบ Euler Angles มีลำดับดังนี้

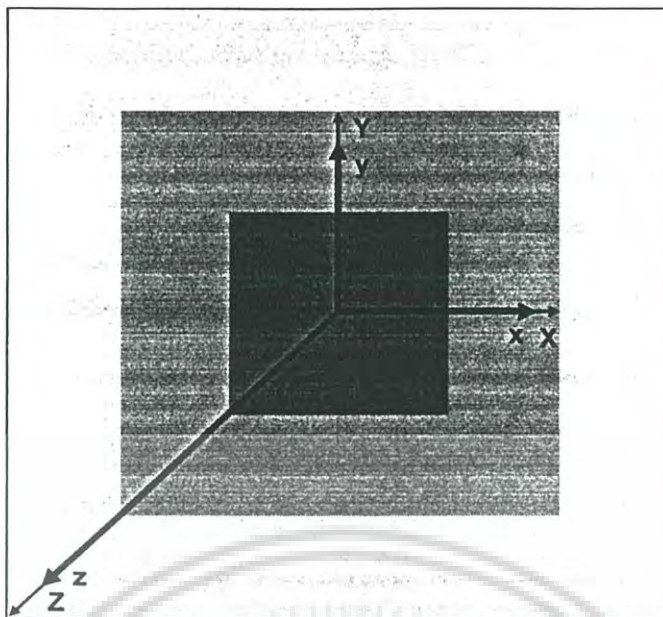
1. เริ่มจากการเทียบแกนระหว่างแกนของวัตถุ (x, y, z) กับแกนอ้างอิง (X, Y, Z) ซึ่งในงานวิจัยนี้แกนของวัตถุคือแกนของเซนเซอร์ ส่วนแกนอ้างอิงคือ แกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ดังรูป 3.5

2. เริ่มต้นด้วยการหมุนวัตถุรอบแกน z ของวัตถุ โดยแกน x ของวัตถุจะทำมุมกับแกน X ของแกนอ้างอิงเป็นมุมเท่ากับค่าองศาการหมุน yaw (α) ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.6

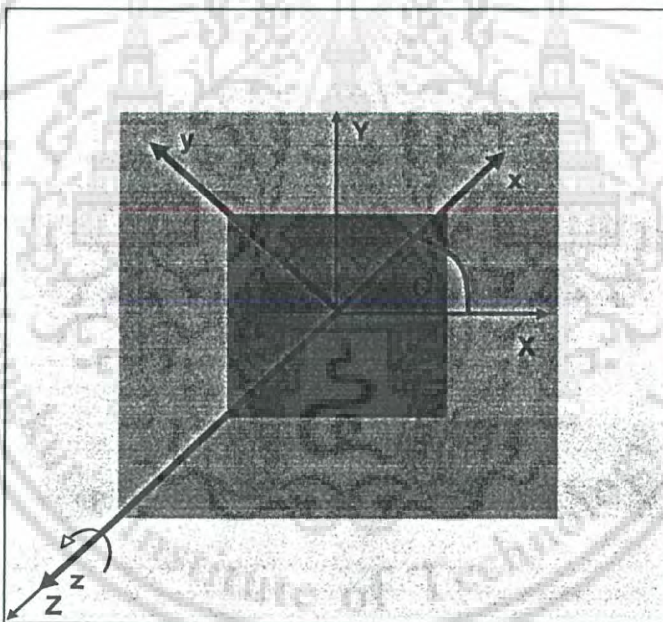
3. ทำการหมุนวัตถุรอบแกน y ของวัตถุ โดยแกน z ของวัตถุจะทำมุมกับแกน Z ของแกนอ้างอิงเป็นมุมเท่ากับค่าองศาการหมุน pitch (β) ดังรูปที่ 3.7

4. ทำการหมุนวัตถุรอบแกน x ของวัตถุ โดยแกน y วัตถุหลังจากการหมุนจะกระทำกับแกน y ของวัตถุก่อนการหมุนเป็นมุมเท่ากับค่าองศาการหมุน roll (γ) ดังรูป 3.8

จากลักษณะการหมุนดังกล่าว พบว่าลักษณะของวัตถุในระบบ 3 มิติ สามารถแทนได้ด้วยการหมุนแกนของวัตถุด้วยค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ตามระบบ Euler Angles

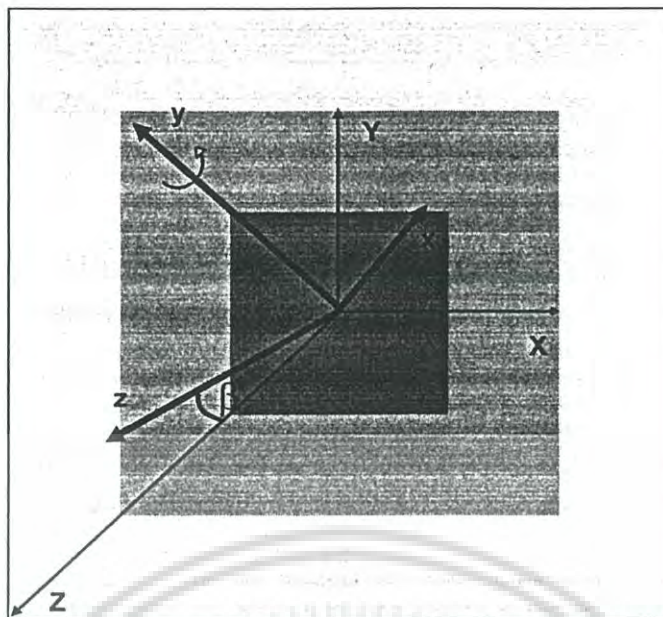


รูปที่ 3.5 แนวแกนของวัตถุเทียบกับแนวแกนอ้างอิง

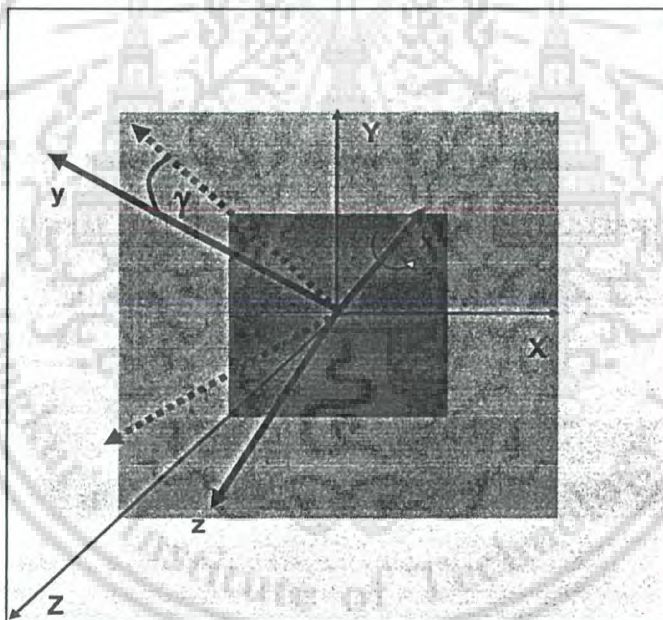


รูปที่ 3.6 ลักษณะแกนของวัตถุที่ได้จากการหมุนวัตถุรอบแกน z ของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ลักษณะแกนของวัตถุที่ได้จากการหมุนวัตถุรอบแกน y ของวัตถุ



รูปที่ 3.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการหมุนวัตถุตามระบบ Euler Angles ด้วยค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll

3.3 ตำแหน่งมือกับความสำคัญในระบบภาษามือไทย

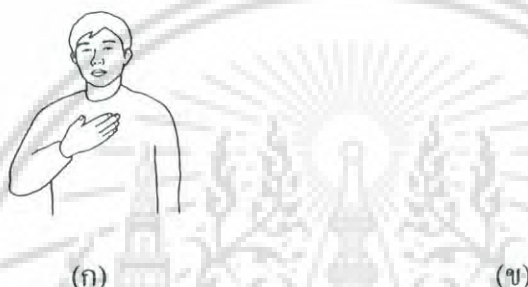
จากการศึกษาระบบภาษามือไทย พบว่ามีองค์ประกอบหลายอย่างที่ช่วยในการสื่อความหมาย ในระบบภาษามือ ได้แก่ ท่ามือ, สีหน้า, การเคลื่อนไหวของศีรษะ เป็นต้น ซึ่งในส่วนของท่ามือนั้น ได้แบบออกเป็นองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รูปมือ (Posture or Hand Shape)
2. การหมุนหรือการหักข้อมือ (Orientation of Palm)
3. ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย (Position and Location of Hand)
4. การเคลื่อนไหวของแขน (Hand Movement)

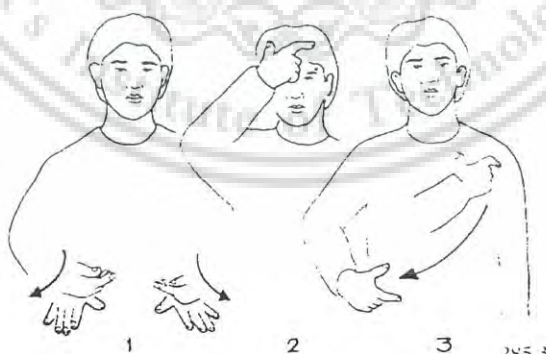
ท่ามือในระบบภาษามือนั้นจะประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบข้างต้น โดยในบางท่ามือนั้น องค์ประกอบบางอย่างอาจจะไม่ได้มีความสำคัญ หรือสามารถเพิกเฉยได้

สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเรื่องของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ ซึ่งในบางท่ามือที่มีรูปมือเดียวกัน แต่ตำแหน่งของมือต่างกัน สามารถสื่อความหมายที่แตกต่างกันได้ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ท่ามือที่มีความหมายต่างกัน โดยมีรูปมือเดียวกันแต่ตำแหน่งมือต่างกัน (ก) ท่ามือในความหมาย “หน้าอก” (ข) ท่ามือในความหมาย “ท้อง”

นอกจากนี้ค่าส่วนใหญ่ในระบบภาษามือไทยนั้น ต้องการการระบุตำแหน่งของมือที่ชัดเจนในการสื่อความหมาย เช่น ท่ามือในความหมาย “วันแม่แห่งชาติ”



รูปที่ 3.10 ท่ามือในความหมาย “วันแม่แห่งชาติ”

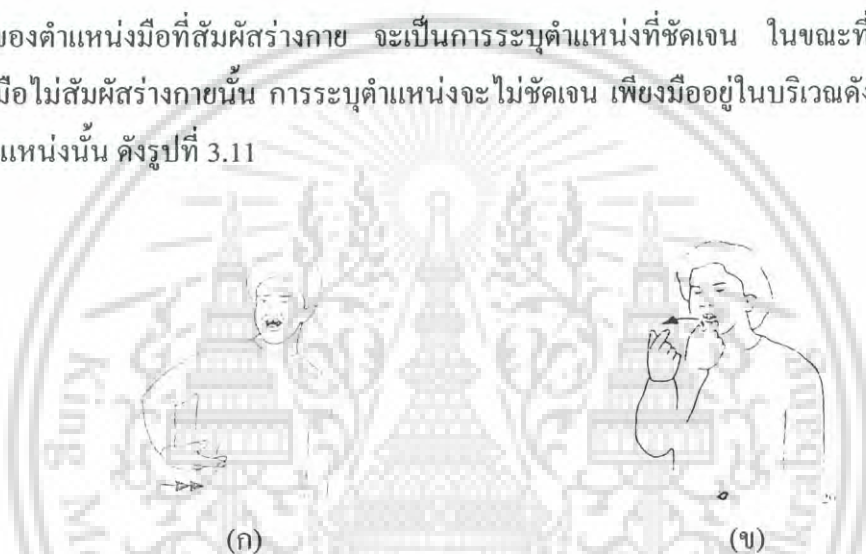
จากรูปที่ 3.10 พบว่าการทำท่ามือในความหมาย “วันแม่แห่งชาติ” นั้นจะเป็นการทำท่ามือต่อเนื่องโดยตำแหน่งของมือนั้นจะอยู่ในตำแหน่งที่ชัดเจน โดยในท่ามือแรกนั้นมือจะอยู่ใน

ตำแหน่งเอว ทำมือที่สองมือจะอยู่ในตำแหน่งหน้าผาก และทำมือที่สามนั้นจะเป็นการเคลื่อนไหวของมือจากตำแหน่งไหล่ซ้าย ไปยังตำแหน่งเอว

ตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำทำมือนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ตำแหน่งที่มือสัมผัสร่างกาย และ ตำแหน่งที่มือไม่สัมผัสร่างกาย

- ตำแหน่งที่มือสัมผัสกับร่างกาย ได้แก่ ตำแหน่งหน้าอก, เอว, สะโพก, ไหล่, ข้อศอก, ท้อง, ศีรษะ เป็นต้น
- ตำแหน่งที่มือ ไม่สัมผัสร่างกาย ได้แก่ บริเวณด้านหน้าลำตัว, บริเวณด้านข้างลำตัว, เหนือศีรษะ, บริเวณด้านข้างศีรษะ, บริเวณด้านหน้าใบหน้า เป็นต้น

ทำมือของตำแหน่งมือที่สัมผัสร่างกาย จะเป็นการระบุตำแหน่งที่ชัดเจน ในขณะที่ทำมือของตำแหน่งที่มือไม่สัมผัสร่างกายนั้น การระบุตำแหน่งจะไม่ชัดเจน เพียงมืออยู่ในบริเวณดังกล่าวก็จัดว่าอยู่ ณ ตำแหน่งนั้น ดังรูปที่ 3.11







รูปที่ 3.11 (ก) ทำมือในความหมาย “เข้าใจ” (ข) ทำมือในความหมาย “คนพูดมาก”

จากรูปที่ 3.11(ก) แสดงถึงทำมือในความหมาย “เข้าใจ” ซึ่งตำแหน่งมือนั้นจะสัมผัสร่างกายที่ตำแหน่งเอวของผู้ทำทำมือ สำหรับรูปที่ 3.11(ข) นั้นแสดงถึงทำมือในความหมาย “คนพูดมาก” ซึ่งตำแหน่งของมือนั้นจะสัมผัสร่างกายที่ตำแหน่งปาก จากนั้นจะเคลื่อนมือไปยังตำแหน่งบริเวณด้านหน้าใบหน้า

สาเหตุที่ให้ความสำคัญกับการศึกษาเรื่องของตำแหน่งมือที่สัมผัสกับร่างกายนั้น เนื่องจากว่าปัจจุบันระบบแปลภาษามืออัตโนมัติยังคงให้ความสำคัญต่อการใช้งานของผู้ทำทำมือไม่เพียงพอซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นการให้ความสำคัญกับรูปมือนอกจากรูปประกอบอื่น ๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกตำแหน่งมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำทำมือที่ปรากฏอยู่ในทำมือของระบบภาษามือไทยส่วนใหญ่ จำนวนทั้งสิ้น 35 ตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือทั้ง 35 ตำแหน่งที่ใช้ในงานวิจัย

						
หน้าท้อง	หลัง	หลังศีรษะ	บั้นท้าย	แก้ม	คาง1	คาง2
						
หู	ตา	คิ้ว	หน้าผาก1	หน้าผาก2	บริเวณด้านหน้า ข้างศีรษะ	บริเวณด้านหน้า ข้างลำตัว
						
บริเวณด้านหน้า ใบหน้า	บริเวณด้านหน้า ลำตัว	ศีรษะ	บริเวณข้างศีรษะ	สะโพก	หน้าอกซ้าย	ข้อศอกซ้าย
						
ไหล่ซ้าย	ปาก1	ปาก2	คอ	จมูก	บริเวณเหนือศีรษะ	หน้าอกขวา
						
ข้อศอกขวา	ไหล่ขวา1	ไหล่ขวา2	ขมับ	บริเวณด้านข้าง ลำตัว	เอว	แขนแนบข้างลำตัว

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ โดยใช้คำอรรถาธิบายของเซนเซอร์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับลักษณะการหมุนแขนของผู้ทำท่ามือ ดังนั้นจากตารางที่ 3.1 จะพบว่าตำแหน่งมือที่สัมพันธ์ร่างกายบางตำแหน่งมีลักษณะการหมุนของแขนมากกว่า 1 ลักษณะ เช่น ตำแหน่งคาง1 กับ ตำแหน่งคาง2 หรือ ตำแหน่งปาก1 กับ ตำแหน่งปาก2 เป็นต้น ซึ่งถ้าพิจารณาจากตำแหน่งของมือจะพบว่าทั้ง 2 ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งเดียวกัน แต่ลักษณะการหมุนของแขนนั้นต่างกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีผลต่อความหมายในระบบภาษามือ ทำให้ต้องแยกตำแหน่งที่มีลักษณะดังกล่าวออกจากกัน เพื่อให้สามารถจำแนกตำแหน่งของมือตามลักษณะการหมุนของแขนได้อย่างถูกต้อง แต่สำหรับตำแหน่งมือที่ไม่สัมพันธ์ร่างกายนั้น จะแยกตามบริเวณที่มือปรากฏอยู่ เช่น บริเวณด้านหน้าใบหน้า เป็นต้น แม้ว่าจะมีลักษณะการหมุนของแขนต่างกัน เนื่องจากตำแหน่งมือ ณ บริเวณดังกล่าวนั้น ไม่ส่งผลต่อความหมายในระบบภาษาจึงไม่ทำการแบ่งตำแหน่งดังกล่าวออกเป็นตำแหน่งย่อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายโดยอาศัยค่าองศาการหมุนของแขน

4.1 แนวคิดเบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการนำค่าองศาการหมุนมาช่วยในการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ เนื่องจาก

- การเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์นั้นมีขอบเขตที่จำกัด (Kinematic Constrains) ซึ่งลักษณะทิศทางของแขนท่อนบน และ แขนท่อนล่าง เมื่อมืออยู่ ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่สัมพันธ์กับร่างกายได้ข้อจำกัดนี้ สามารถที่จะนำมาช่วยในการจำแนกตำแหน่งของมือได้
- ค่าองศาการหมุน (Orientation) จะใช้เป็นตัวแทนแสดงลักษณะการหมุนของท่อนแขน ซึ่งค่าองศาการหมุนนี้ไม่ขึ้นต่อตำแหน่งสัมบูรณ์ของผู้ทำท่ามือ ดังนั้น ไม่ว่าผู้ทำท่ามือจะมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของร่างกายในลักษณะต่าง ๆ เช่น นั่ง - ยืน หรือ เดินไป - มา ค่าองศาการหมุนจะยังคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

4.2 ตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ 2 ตัวด้วยกัน โดยติดที่แขนท่อนบน และแขนท่อนล่าง โดยมีลักษณะการติดตั้งแสดงที่รูป 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะและตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์ 2 ตัว ที่แขนท่อนบน และ แขนท่อนล่าง

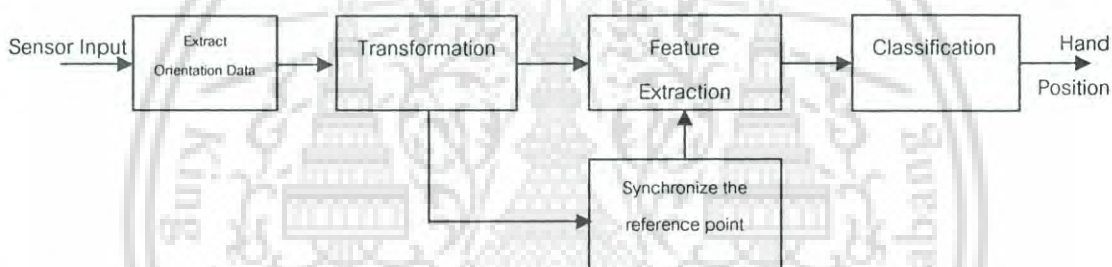
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่เลือกคิดเซนเซอร์ที่แขนท่อนบน และ แขนท่อนล่าง เนื่องจาก

- ต้องการใช้จำนวนเซนเซอร์น้อยที่สุดที่สามารถให้ความถูกต้องในการจำแนกตำแหน่งมือได้
- การนำเซนเซอร์ติดที่แขนท่อนบน และแขนท่อนล่าง ทำให้สามารถจำลองลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนทั้ง 2 ท่อนได้
- เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการใช้อ่างศาการหมุนช่วยในการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย จึงจำเป็นที่จะต้องรู้ทิศทางและลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนทั้ง 2 ท่อน
- การคิดเซนเซอร์ที่ท่อนแขนนั้นทำได้ง่ายกว่าการคิดไว้ที่ลำตัว หรือตำแหน่งอื่น ๆ

4.3 การจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย

ในการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายนั้น มีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างของขั้นตอนการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายโดยอาศัยค่า องศาการหมุน

จากโครงสร้างในรูปที่ 4.2 สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

4.3.1 ข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ (Sensor Input)

ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์แต่ละตัวที่ใช้ในการทดลองนั้นประกอบไปด้วยค่าตำแหน่งพิกัด (Position) x , y , z และ ค่าองศาการหมุน (Orientation) yaw, pitch, roll โดยในกระบวนการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายนั้นจะนำเฉพาะค่าองศาการหมุนจากทั้ง 2 เซนเซอร์มาใช้ในการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย โดยข้อมูลที่รับเข้ามาจะมีโครงสร้างดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์

ค่าจากเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่าง (ข้อมือ)						ค่าจากเซนเซอร์ที่แขนท่อนบน (ต้นแขน)					
ค่าตำแหน่งพิกัด			ค่าองศาการหมุน			ค่าตำแหน่งพิกัด			ค่าองศาการหมุน		
-44.393070	12.522034	-49.768360	-0.325694	-0.378796	3.073336	-31.957327	-10.537391	-43.809353	-2.164983	0.271615	-2.145451

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์ 1 ครั้งจะได้ข้อมูลทั้งสิ้น 12 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าที่อ่านได้นั้นจะอ้างอิงกับตำแหน่งและลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Transmitter)

4.3.2 การเลือกข้อมูลองศาการหมุน (Extract Orientation Data)

เมื่อได้ข้อมูลที่อ่านจากเซนเซอร์ จะเข้าสู่การเลือกเฉพาะข้อมูลองศาการหมุน โดยตัดข้อมูลส่วนของค่าตำแหน่งพิกัดออกไป ซึ่งจะเหลือข้อมูล 6 ค่า ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าข้อมูลที่ได้อีกหลังจากตัดค่าตำแหน่งพิกัด

ค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่าง (ข้อมือ)			ค่าองศาการหมุนของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบน (ต้นแขน)		
-0.325694	-0.378796	3.073336	-2.164983	0.271615	-2.145451

จากตารางที่ 4.2 จะเป็นชุดข้อมูลที่จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการแปลงรูปแบบต่อไป

4.3.3 การแปลงค่าองศาการหมุนให้อยู่ในรูป Direction Cosine Matrix (Transformation)

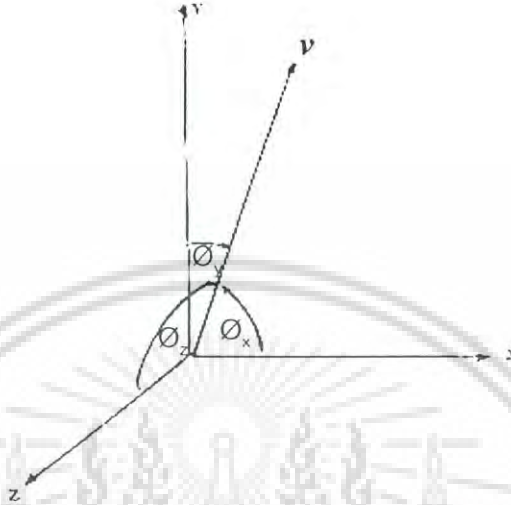
สาเหตุที่ต้องทำการแปลงรูปแบบจากค่าองศาการหมุนในระบบ Euler Angles ไปอยู่ในรูปแบบ Direction Cosine Matrix เนื่องจาก

- ค่าองศาการหมุนนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ดังนั้นถ้าอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ถูกปรับเอียง หรือ หมุนไปเนื่องจากการเคลื่อนย้ายตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ จะส่งผลให้ค่าองศาการหมุนเกิดการเปลี่ยนแปลง
- การเปรียบเทียบค่าเบื้องต้น (Calibration) และการย้ายตำแหน่งแกนอ้างอิง (Reference Point) นั้นไม่สามารถทำได้โดยตรง เนื่องจากในระบบของ Euler Angle นั้น เมื่อมีการหมุนตัวรอบแนวตั้ง และการหมุนของข้อมือ จะส่งผลให้ค่าองศา roll เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะของเซนเซอร์ ณ ช่วงเวลานั้น ๆ ดังนั้น ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ของตำแหน่งมือเดียวกัน สามารถเกิดค่าองศา roll ได้หลายค่า
- ลักษณะทิศทางของเซนเซอร์จะถูกอธิบายด้วยค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ซึ่งเป็นการยุ่งยากที่จะทำการเปรียบเทียบค่า เมื่อผู้ทำท่ามามีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของลำตัว เช่น การหมุนตัว เป็นต้น

การแปลงรูปแบบของ Euler Angles นั้นนิยมแปลงให้อยู่ใน 2 รูปแบบคือ Quaternion Matrix และ Direction Cosine Matrix ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Direction Cosine Matrix เนื่องจากรูปแบบ Direction Cosine Matrix นั้นง่ายต่อการทำความเข้าใจ

4.3.3.1 Direction Cosine

Direction Cosine เป็นการ ใช้ค่า cosine แสดงทิศทางของเวกเตอร์ใด ๆ ที่กระทำกับแกน X, Y และ Z ที่เวกเตอร์นั้นอ้างอิง ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพ Direction Cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกนอ้างอิง

ในการหาค่า cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกน X, Y และ Z ของแกนอ้างอิงนั้นสามารถหาได้ดังนี้

$$\mathbf{v} = [x \quad y \quad z]^T \quad (4.1)$$

$$\cos \phi_x = \frac{x}{|\mathbf{v}|}, \quad \cos \phi_y = \frac{y}{|\mathbf{v}|}, \quad \cos \phi_z = \frac{z}{|\mathbf{v}|} \quad (4.2)$$

โดยที่ \mathbf{v} แทนเวกเตอร์ใด ๆ และ $\cos \phi_x, \cos \phi_y, \cos \phi_z$ คือค่า cosine ของเวกเตอร์ที่กระทำกับแกน X, Y และ Z ของแกนอ้างอิงตามลำดับ โดย $\cos^2 \phi_x + \cos^2 \phi_y + \cos^2 \phi_z = 1$ ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $\mathbf{p} = [\cos \phi_x \quad \cos \phi_y \quad \cos \phi_z]$ จะได้ว่าเวกเตอร์ \mathbf{p} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ของ \mathbf{v}

เมื่อทำการแทนเวกเตอร์ใด ๆ ด้วยแกนของวัตถุ จะได้เวกเตอร์ 3 เวกเตอร์ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เมื่อนำทิศทางในแต่ละแกนของวัตถุมาหาค่า Direction Cosine เทียบกับแกนอ้างอิง จะได้ Direction Cosine Matrix สมการ (4.3)

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{x,x} & d_{y,x} & d_{z,x} \\ d_{x,y} & d_{y,y} & d_{z,y} \\ d_{x,z} & d_{y,z} & d_{z,z} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

โดยที่ $d_{x,x}$, $d_{x,y}$, $d_{x,z}$ คือ ค่า cosine ที่แกน X ของวัตถุกระทำกับแกน X, Y และ Z ของแกนอ้างอิง ตามลำดับ

$d_{y,x}$, $d_{y,y}$, $d_{y,z}$ คือ ค่า cosine ที่แกน Y ของวัตถุกระทำกับแกน X, Y และ Z ของแกนอ้างอิง ตามลำดับ

$d_{z,x}$, $d_{z,y}$, $d_{z,z}$ คือ ค่า cosine ที่แกน Z ของวัตถุกระทำกับแกน X, Y และ Z ของแกนอ้างอิง ตามลำดับ

4.3.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Euler Angles และ Direction Cosine Matrix

เมื่อหมุนแกนของวัตถุด้วยค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ตามระบบ Euler Angles จะทำให้เกิดมุมระหว่างแต่ละแกนของวัตถุ กับ แกนอ้างอิง ซึ่งสามารถที่จะนำมาคำนวณหาค่า Direction Cosine ของแต่ละแกนของวัตถุเทียบกับแกนอ้างอิง ได้ดังนี้

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{x,x} & d_{y,x} & d_{z,x} \\ d_{x,y} & d_{y,y} & d_{z,y} \\ d_{x,z} & d_{y,z} & d_{z,z} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

โดยที่ $d_{x,x} = \cos\alpha \cdot \cos\beta$

$$d_{x,y} = \sin\alpha \cdot \cos\beta$$

$$d_{x,z} = -\sin\beta$$

$$d_{y,x} = \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma - \sin\alpha \cdot \cos\gamma$$

$$d_{y,y} = \cos\alpha \cdot \cos\gamma + \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma$$

$$d_{y,z} = \cos\beta \cdot \sin\gamma$$

$$d_{z,x} = \cos\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \sin\alpha \cdot \sin\gamma$$

$$d_{z,y} = \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma - \cos\alpha \cdot \sin\gamma$$

$$d_{z,z} = \cos\beta \cdot \cos\gamma$$

α, β, γ คือค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ตามลำดับ

เมื่อได้ข้อมูลองศาการหมุนจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวแล้วนำเข้าสู่กระบวนการแปลงให้อยู่ในรูป Direction Cosine Matrix ซึ่งจะได้ Matrix 2 ชุด โดย Matrix แต่ละชุด จะเป็นตัวแทนของเซนเซอร์แต่ละตัว ดังนี้

$$\mathbf{D}_1 = \begin{bmatrix} d'_{x,x} & d'_{y,x} & d'_{z,x} \\ d'_{x,y} & d'_{y,y} & d'_{z,y} \\ d'_{x,z} & d'_{y,z} & d'_{z,z} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$\mathbf{D}_2 = \begin{bmatrix} d^2_{x,x} & d^2_{y,x} & d^2_{z,x} \\ d^2_{x,y} & d^2_{y,y} & d^2_{z,y} \\ d^2_{x,z} & d^2_{y,z} & d^2_{z,z} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

โดยที่ $\mathbf{D}_1, \mathbf{D}_2$ คือ Direction Cosine Matrix ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่าง และเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนตามลำดับ เทียบกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

$d'_{x,x}, d'_{x,y}, d'_{x,z}, d^2_{x,x}, d^2_{x,y}, d^2_{x,z}$ คือค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างอ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนอ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ตามลำดับ

$d^1_{y,x}, d^1_{y,y}, d^1_{y,z}, d^2_{y,x}, d^2_{y,y}, d^2_{y,z}$ คือค่า cosine ระหว่างแกน Y ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างอ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และ ค่า cosine ระหว่างแกน Y ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนอ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ตามลำดับ

$d^1_{z,x}, d^1_{z,y}, d^1_{z,z}, d^2_{z,x}, d^2_{z,y}, d^2_{z,z}$ คือค่า Cosine ระหว่างแกน Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างอ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และ ค่า cosine ระหว่างแกน Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนอ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ตามลำดับ

4.3.4 การตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the Reference Point)

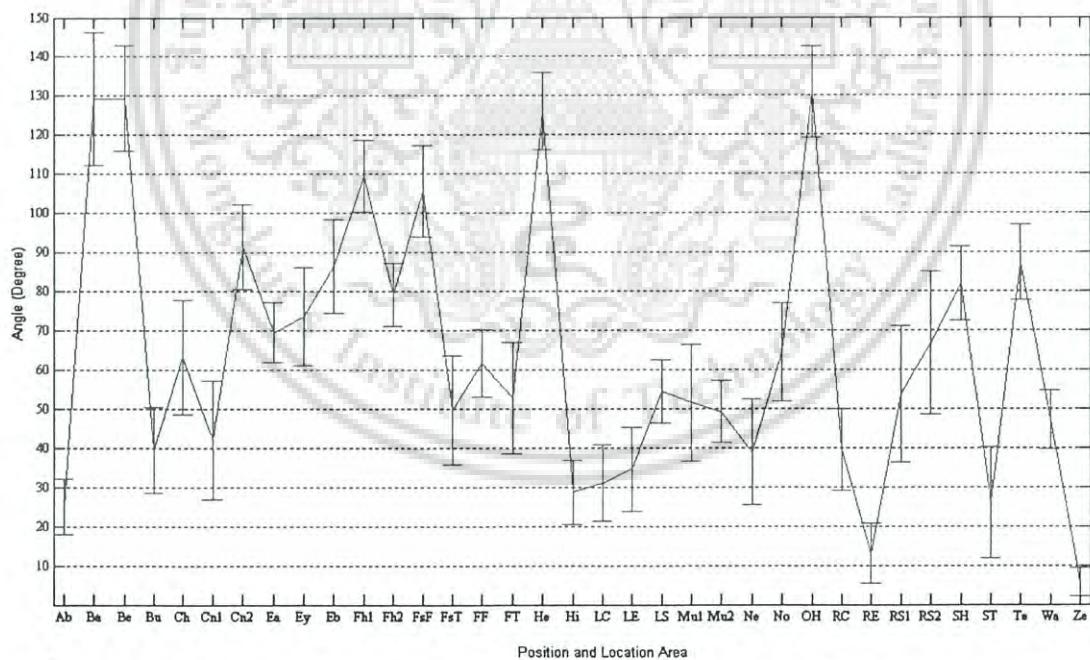
จาก Direction Cosine Matrix จะประกอบไปด้วยค่าแสดงทิศทางของแกน X, Y, Z ของเซนเซอร์ เทียบกับแกน X, Y, Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งก่อนจะเข้าสู่นขั้นตอนการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย จะต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งอ้างอิงเพื่อ

ทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ เมื่อตำแหน่งอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ

ลักษณะแขนท่อนบนแนบข้างลำตัวถูกใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง เนื่องจากโดยปกติเมื่อมนุษย์ไม่มีการใช้งานแขน หรืออยู่ในลักษณะพักแขน แขนท่อนบนจะอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัวเสียส่วนใหญ่ ดังนั้นในการตรวจสอบตำแหน่งอ้างอิงนั้นจะทำการตรวจสอบว่าแขนท่อนบนอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัวหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่าองศาระหว่างแนวแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบน ณ ช่วงเวลาใด ๆ กับแนวแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนเมื่อเริ่มใช้งานระบบ (ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น) โดยค่าองศาสามารถหาได้ดังนี้

$$\theta = \cos^{-1}(d_{x,x}^2 \cdot b_{x,x} + d_{x,y}^2 \cdot b_{x,y} + d_{x,z}^2 \cdot b_{x,z}) \quad (4.7)$$

โดยที่ θ คือองศาที่แกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบน ณ ช่วงเวลาใด ๆ กระทบกับแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนเมื่อเริ่มใช้งานระบบ (ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น) และ $b_{x,x}$, $b_{x,y}$, $b_{x,z}$ คือค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนเมื่อเริ่มใช้งานระบบ (ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น) อ้างอิงกับแกน X, Y และ Z ของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงค่าองศาระหว่างแนวแกน X ของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งมือใด ๆ กับแนวแกน X ของแขนท่อนบนเมื่อเริ่มใช้งานระบบ

จากรูปที่ 4.4 Ze คือลักษณะของแขนแนบข้างลำตัว ซึ่งถ้าค่า θ น้อยกว่า Threshold ก็จะทำให้การกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ซึ่งจากรูปที่ 4.4 จะพบว่า นอกจากท่ามือ Ze ซึ่งเป็นท่ามือแขนแนบข้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำตัวแล้ว ยังมีท่ามือ RE ซึ่งเป็นท่ามือตำแหน่งข้อศอกขวา ซึ่งลักษณะของท่ามื่อดังกล่าวนั้นแขนท่อนบนจะอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัว ดังนั้น ช่วงของกราฟของตำแหน่งท่ามื่อดังกล่าวจึงคาบเกี่ยวกับท่ามือตำแหน่งแขนแนบข้างลำตัว และ เมื่อพิจารณาช่วงของกราฟสำหรับท่ามือ Ze จะพบว่าค่า Threshold ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 10 องศา

ถ้าหากแขนท่อนบนอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัว จะทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ดังนี้

$$D_0 = D_2 \quad (4.8)$$

โดยที่ D_0 คือ Direction Cosine Matrix ของตำแหน่งอ้างอิง และ D_2 คือ Direction Cosine Matrix ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนเมื่อแขนท่อนบนแนบข้างลำตัวตามลำดับเทียบกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

4.3.5 การแยกคุณลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction)

จากการศึกษาถึงตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย, ลักษณะของแขน และ ทิศทางแนวแกนของเซนเซอร์นั้น ทำให้สามารถที่จะแยกคุณลักษณะเฉพาะเพื่อลดจำนวนข้อมูลที่จะนำเข้าสู่กระบวนการจำแนกตำแหน่ง ซึ่งจะเลือกเฉพาะค่าเวกเตอร์ของทิศทางแกน X ของแต่ละเซนเซอร์ที่กระทำกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เนื่องจาก

- ทิศทางแกน X ของเซนเซอร์นั้นจะขนานกับทิศทางของท่อนแขน ดังนั้นทิศทางแกน X ของเซนเซอร์จึงสามารถที่จะบ่งชี้ทิศทางของท่อนแขนที่ชี้ไป รวมถึงตำแหน่งของมือโดยประมาณ
- ในการระบุตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือนั้น การหมุนของข้อมือ (การหมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์) นั้นไม่ทำให้ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการหมุนของข้อมือจะส่งผลให้ทิศทางของแกน Y และ Z เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงสามารถที่จะตัดทิศทางแกน Y และ Z ของเซนเซอร์ออกจากกระบวนการจำแนกตำแหน่งมือได้

จากขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงจะทำให้ได้ตำแหน่งอ้างอิงใหม่ เนื่องจากต้องการสร้างระบบจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งร่างกายของผู้ทำท่ามือ และคงทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จึงจำเป็นจะต้องย้ายตำแหน่งแกนอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) มายังตำแหน่งอ้างอิงใหม่ที่ได้

การย้ายตำแหน่งแกนอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) สามารถทำได้โดยการนำค่า Direction Cosine ของแกน X ที่เทียบกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) สำหรับแต่ละเซนเซอร์มาคำนวณหาค่า Direction Cosine เทียบกับ Direction Cosine Matrix ของตำแหน่งอ้างอิงใหม่

การย้ายตำแหน่งแกนอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) มายังตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ทำได้ดังสมการ (4.9) และ (4.10)

$$v_1 = D_0^T \cdot d_x^1 \quad (4.9)$$

$$v_2 = D_0^T \cdot d_x^2 \quad (4.10)$$

โดยที่ v_1, v_2 คือค่า Direction Cosine แกน X ของเซนเซอร์ที่เซนทอนล่าง และ เซนเซอร์ที่เซนทอนบน ตามลำดับ เทียบกับแนวแกนของตำแหน่งอ้างอิงใหม่

D_0 คือ Direction Cosine Matrix ของตำแหน่งอ้างอิงใหม่

d_x^1, d_x^2 คือค่า Direction Cosine แกน X ของเซนเซอร์ที่เซนทอนล่าง และ เซนทอนบน ที่อ้างอิงกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ตามลำดับ

โดย

$$d_x^1 = \begin{bmatrix} d_{x,x}^1 \\ d_{x,y}^1 \\ d_{x,z}^1 \end{bmatrix}, d_x^2 = \begin{bmatrix} d_{x,x}^2 \\ d_{x,y}^2 \\ d_{x,z}^2 \end{bmatrix}$$

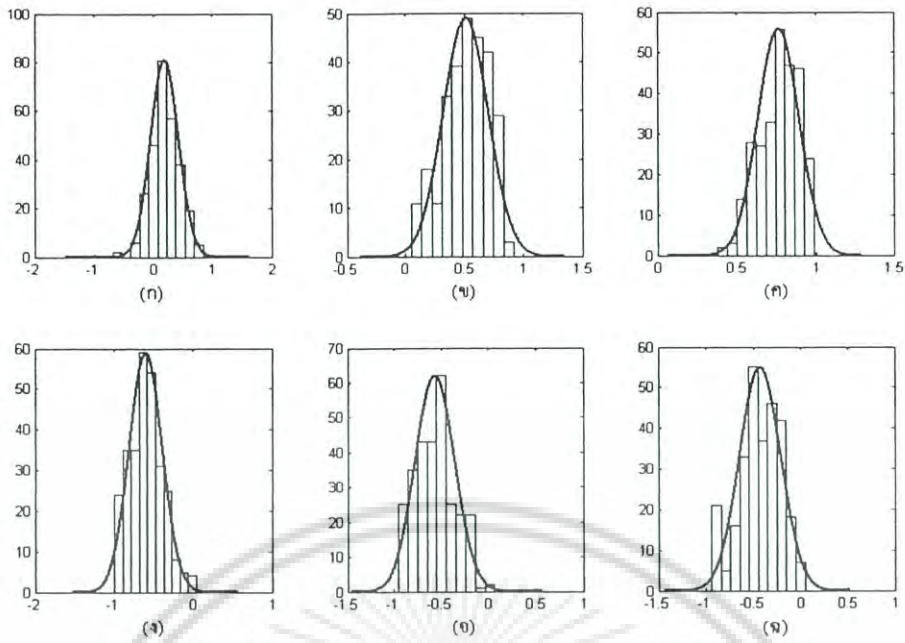
จากนั้นนำค่า v_1 และ v_2 มาประกอบเข้าเป็นเวกเตอร์ชุดเดียวกัน ดังนี้

$$v = [v_1 \quad v_2]^T \quad (4.11)$$

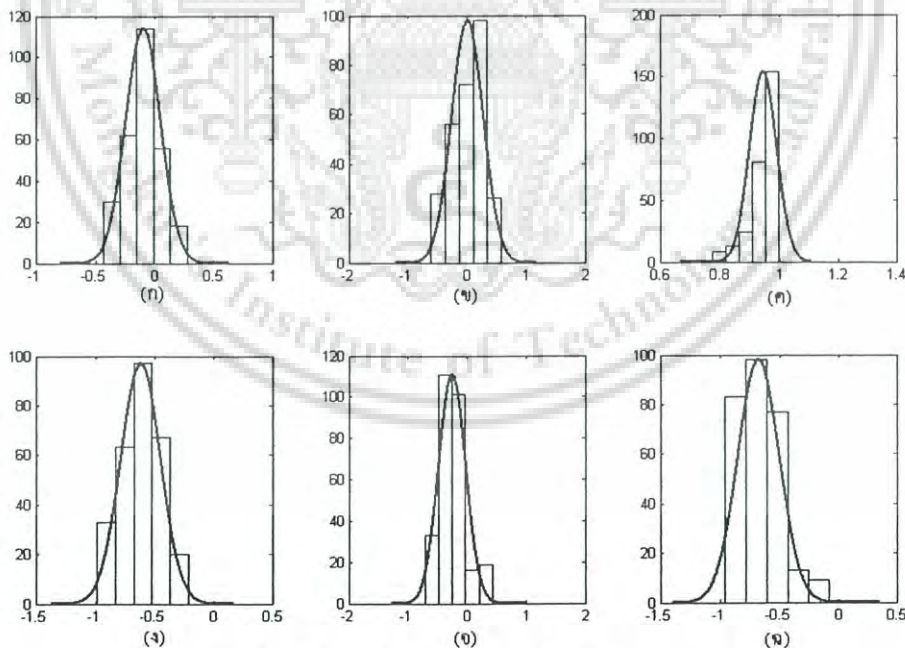
ซึ่งเวกเตอร์ข้อมูล v จะเป็นข้อมูลที่จะนำเข้าสู่กระบวนการจำแนกตำแหน่งของมือต่อไป

4.3.6 การจำแนกตำแหน่งมือ (Classification)

เมื่อพิจารณาแต่ละสมาชิกของเวกเตอร์ v ในแต่ละตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายดังรูปที่ 4.5 – 4.7 จะพบว่ารูปภาพ Histogram ที่ได้มีแนวโน้มคล้ายการกระจายของเส้นโค้งปกติ

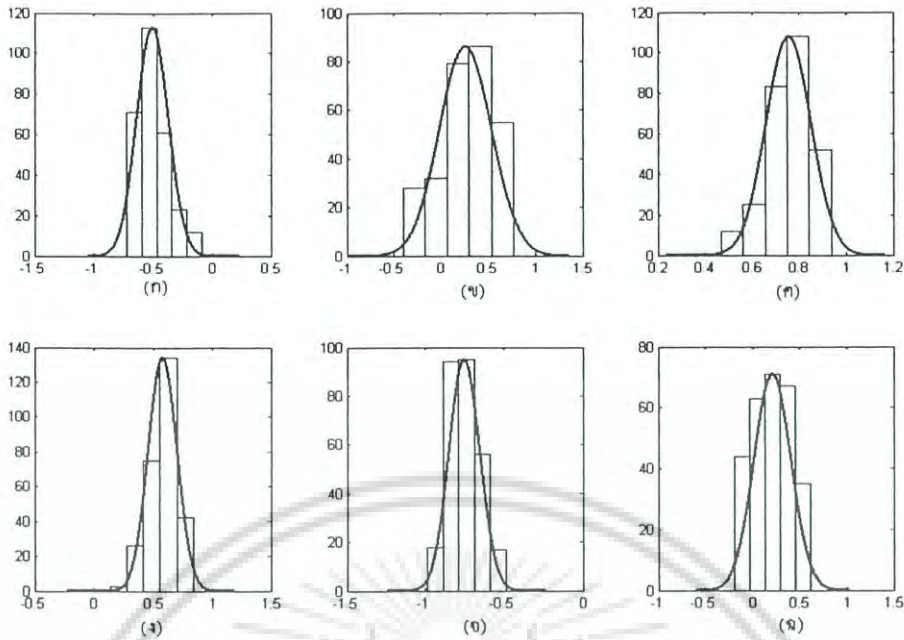


รูปที่ 4.5 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลัง ของค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างกระทำกับแกน (ก) X, (ข) Y และ (ค) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนกระทำกับแกน (ง) X, (จ) Y และ (ฉ) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ



รูปที่ 4.6 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลังศีรษะ ของค่า cosine ระหว่างแกนของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างกระทำกับแกน (ก) X, (ข) Y และ (ค) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนกระทำกับแกน (ง) X, (จ) Y และ (ฉ) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งไหล่ซ้าย ของค่า cosine ระหว่าง แกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างกระทำกับแกน (ก) X, (ข) Y และ (ค) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ และ ค่า cosine ระหว่างแกน X ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนบนกระทำกับแกน (ง) X, (จ) Y และ (ฉ) Z ของตำแหน่งอ้างอิงตามลำดับ

ดังนั้น จึงเลือกใช้ รูปแบบการกระจายปกติ (Normal Distribution) มาช่วยในการจำแนกตำแหน่ง โดยสามารถหาค่า Normal Probability Density Function ของเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v} เมื่อกำหนดกลุ่มของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายได้ดังนี้

$$p(\mathbf{v} | \mathbf{k}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |\mathbf{C}|}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{v}-\boldsymbol{\mu})^T \mathbf{C}^{-1}(\mathbf{v}-\boldsymbol{\mu})} \quad (4.12)$$

โดยที่ $p(\mathbf{v} | \mathbf{k})$ คือค่าความน่าจะเป็นของเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v} เมื่อกำหนดข้อมูลตำแหน่งมือตำแหน่งที่ \mathbf{k} โดยที่ \mathbf{k} คือข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่าทำมือ และ $\boldsymbol{\mu}, \mathbf{C}$ คือค่าเฉลี่ย และ เมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนร่วม (Covariant Matrix) ของข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่าทำมือตามลำดับ และ n คือค่ามิติของเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6

จากสมการ (4.12) ทำให้สามารถหาค่า Normal Probability Density Function ของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่าทำมือ เมื่อกำหนดค่าเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v} ดังนี้

$$\begin{aligned}
 p(k_i | v) &= \frac{p(v | k_i)p(k_i)}{p(v)} \\
 &= \frac{p(v | k_i)p(k_i)}{\sum_{i=1}^n p(v | k_i)p(k_i)}
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

กำหนดให้ความน่าจะเป็นของแต่ละตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่า่มือเท่ากัน ดังนั้น $p(k_i) = 1/n$ โดยที่ n คือจำนวนของข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่า่มือ และ k_i คือตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่า่มือ ณ ตำแหน่งที่ i ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 p(k_i | v) &= \frac{p(v | k_i)p(k_i)}{p(k_i)\sum_{i=1}^n p(v | k_i)} \\
 &= \frac{p(v | k_i)}{\sum_{i=1}^n p(v | k_i)}
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

หรือ

$$\Lambda(k_i | v) = \ln(p(v | k_i)) \tag{4.15}$$

โดยที่ $\Lambda(k_i | v)$ คือ Likelihood Function ของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่า่มือ ตำแหน่งที่ i เมื่อกำหนดค่าเวกเตอร์ข้อมูล v ดังนั้นตำแหน่งมือที่ได้จากการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย คือตำแหน่งที่ i เมื่อค่า $\Lambda(k_i | v)$ ณ ตำแหน่งมือที่ i มีค่าสูงที่สุด

บทที่ 5

การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการทดลอง

5.1 ลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่า่มือ

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้น ได้ทำการบันทึกจากจำนวนผู้ทำท่า่มือ 14 คน ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของผู้ทำท่า่มือ

ผู้ทำท่า่มือ	เพศ	อายุ	ส่วนสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ความยาว ช่วงแขน ท่อนบน (ซม.)	ความยาว ช่วงแขน ท่อนล่าง (ซม.)	ความยาว ช่วงลำตัว (ซม.)	ความกว้าง ช่วงไหล่ (ซม.)
1	ชาย	22	179	77	30	21	54	49
2	ชาย	22	173	68	30	27	62	45
3	หญิง	25	157	57	26	23	50	38
4	หญิง	27	158	48	28	24	58	41
5	หญิง	28	163	53	31	24	60	35
6	หญิง	27	160	51	27	24	53	36
7	หญิง	24	165	54	30	25	58	37
8	ชาย	24	168	58	32	26	60	40
9	ชาย	24	169	62	30	27	57	40
10	ชาย	24	170	70	32	26	49	45
11	ชาย	28	173	70	33	28	57	40
12	ชาย	26	181	90	28	29	55	49
13	หญิง	24	157	81	33	24	52	39
14	ชาย	28	160	55	27	23	50	43

- ข้อมูลความยาวช่วงแขนท่อนบนจะวัดจากตำแหน่งหัวไหล่จนถึงตำแหน่งข้อศอกของผู้ทำท่า่มือ
- ข้อมูลความยาวช่วงแขนท่อนล่างจะวัดจากตำแหน่งข้อศอกจนถึงตำแหน่งข้อมือของผู้ทำท่า่มือ
- ข้อมูลความยาวช่วงลำตัวจะวัดจากตำแหน่งหัวไหล่จนถึงตำแหน่งสะโพกของผู้ทำท่า่มือ
- ข้อมูลความกว้างช่วงไหล่จะวัดจากตำแหน่งหัวไหล่ซ้ายจนถึงตำแหน่งหัวไหล่ขวาของผู้ทำท่า่มือ

โดยผู้ทำท่า่มือที่ 1 ถึง 11 นั้น ไม่มีความรู้เกี่ยวกับระบบภาษามือมาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง
- กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

5.2.1 กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง

ข้อมูลในกลุ่มนี้ได้จากการบันทึกข้อมูลจริงของการทำท่ามือจากผู้ทำท่ามือแต่ละคน ซึ่งจะประกอบไปด้วยตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือทั้งสิ้น 35 ตำแหน่ง โดยจะบันทึกข้อมูลในกรณีไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งตำแหน่งและลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะคงที่ ไม่มีการปรับเอียง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กรณีย่อยคือ

- ผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ (Monitor)
- ผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านยืนหันหน้าเข้าหาจอภาพ (Monitor)
- ผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านยืนหันหน้าเข้าหาจอภาพ (Monitor) โดยเลื่อนตำแหน่งไปทางด้านหน้า 30 เซนติเมตร
- ผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านยืนหันหน้าเข้าหาจอภาพ (Monitor) โดยเลื่อนตำแหน่งไปทางด้านขวา 30 เซนติเมตร

5.2.2 กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

ข้อมูลในกลุ่มนี้จะคำนวณจากกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือและการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ที่องศาอื่น ๆ ตามต้องการ โดยการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

5.2.2.1 การคำนวณข้อมูลการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

สำหรับการคำนวณข้อมูลการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) นั้นจะอาศัยข้อมูลผู้ใช้อยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ โดยไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ของแต่ละตำแหน่ง สำหรับผู้ทำท่ามือแต่ละคนเป็นข้อมูลต้นแบบ

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลตำแหน่งพิกัด (Position) และข้อมูลองศาการหมุน (Orientation) ดังนั้นในการสร้างข้อมูลจึงต้องแยกคำนวณ ดังนี้

5.2.2.1.1 การคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัด

จากหัวข้อ 5.2.1.2 พบว่าข้อมูลการปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) นั้นมีทั้งสิ้น 8 กรณี โดยให้ v_p คือเวกเตอร์ของข้อมูลตำแหน่งพิกัดที่ได้จากการบันทึกจริงสำหรับกรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่าหนึ่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ และ v'_p คือเวกเตอร์ของข้อมูลตำแหน่งพิกัดที่ได้จากการคำนวณเมื่อมีการปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหน้า θ องศา

$$v'_p = F \cdot v_p \quad (5.1)$$

เมื่อ

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหลัง θ องศา

$$v'_p = B \cdot v_p \quad (5.2)$$

เมื่อ

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\theta) & \sin(-\theta) \\ 0 & -\sin(-\theta) & \cos(-\theta) \end{bmatrix}$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านซ้าย θ องศา

$$v'_p = L \cdot v_p \quad (5.3)$$

เมื่อ

$$L = \begin{bmatrix} \cos(-\theta) & \sin(-\theta) & 0 \\ -\sin(-\theta) & \cos(-\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านขวา θ องศา

$$\mathbf{v}'_p = \mathbf{R} \cdot \mathbf{v}_p \quad (5.4)$$

เมื่อ

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหน้า - ซ้าย θ

องศา

$$\mathbf{v}'_p = \mathbf{F} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{v}_p \quad (5.5)$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหน้า - ขวา θ

องศา

$$\mathbf{v}'_p = \mathbf{F} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{v}_p \quad (5.6)$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหลัง - ซ้าย θ

องศา

$$\mathbf{v}'_p = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{v}_p \quad (5.7)$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหลัง-ขวา θ

องศา

$$\mathbf{v}'_p = \mathbf{B} \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{v}_p \quad (5.8)$$

5.2.2.1.2 การคำนวณข้อมูลองศาการหมุน

การคำนวณข้อมูลองศาการหมุนจะกระทำเช่นเดียวกับการคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัด โดยก่อนจะทำการคำนวณนั้น ข้อมูลองศาการหมุนจะถูกแปลงให้อยู่ในรูป Direction Cosine Matrix โดย \mathbf{D}_s คือ Direction Cosine Matrix ที่ได้จากการแปลงข้อมูลองศาการหมุนของข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริงสำหรับกรณีผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ และ \mathbf{D}'_s คือ Direction Cosine Matrix ของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณเมื่อมีการปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหน้า θ องศา

$$D'_a = F \cdot D_a \quad (5.9)$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหลัง θ องศา

$$D'_a = B \cdot D_a \quad (5.10)$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านซ้าย θ องศา

$$D'_a = L \cdot D_a \quad (5.11)$$

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านขวา θ องศา

$$D'_a = R \cdot D_a \quad (5.12)$$

องศา

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหน้า - ซ้าย θ

$$D'_a = F \cdot L \cdot D_a \quad (5.13)$$

องศา

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหน้า - ขวา θ

$$D'_a = F \cdot R \cdot D_a \quad (5.14)$$

องศา

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหลัง - ซ้าย θ

$$D'_a = B \cdot L \cdot D_a \quad (5.15)$$

องศา

- กรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปด้านหลัง - ขวา θ

$$D'_a = B \cdot R \cdot D_a \quad (5.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่า D'_a ต่อมาคือการแปลงจากค่าจาก Direction Cosine Matrix กลับไปอยู่ในรูปองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ดังนี้

$$D'_a = \begin{bmatrix} d_{x,x} & d_{y,x} & d_{z,x} \\ d_{x,y} & d_{y,y} & d_{z,y} \\ d_{x,z} & d_{y,z} & d_{z,z} \end{bmatrix}$$

จากสมการที่ (4.4) จะสามารถหาค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ดังนี้

$$\beta = \sin^{-1}(-d_{x,z}) \quad (5.17)$$

$$\alpha = \begin{cases} \cos^{-1}(d_{x,x}/\cos\beta) & ; \sin^{-1}(d_{x,y}/\cos\beta) \geq 0 \\ -\cos^{-1}(d_{x,x}/\cos\beta) & ; \sin^{-1}(d_{x,y}/\cos\beta) < 0 \end{cases} \quad (5.18)$$

$$\gamma = \begin{cases} \cos^{-1}(d_{z,z}/\cos\beta) & ; \sin^{-1}(d_{y,z}/\cos\beta) \geq 0 \\ -\cos^{-1}(d_{z,z}/\cos\beta) & ; \sin^{-1}(d_{y,z}/\cos\beta) < 0 \end{cases} \quad (5.19)$$

เมื่อ α, β, γ คือค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัด (5.2.2.1.1) และ ข้อมูลองศาการหมุน (5.2.2.1.2) มาประกอบกัน จะได้ข้อมูลกรณีผู้ทำท่าทำมืออยู่ในท่าหนึ่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ โดยมีการปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไป θ องศาในทิศทางต่าง ๆ

5.2.2.2 การคำนวณข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่าทำมือ

การคำนวณข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่าทำมือนั้น จะต่างจากการคำนวณการปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) เพราะข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่าทำมือนั้น ตำแหน่งมือ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่สัมผัสกับร่างกายนั้นจะสัมพันธ์กับตำแหน่งอ้างอิง ดังนั้นการหาค่าตำแหน่งอ้างอิงเมื่อหมุนตัวไปจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก โดยการหมุนตัวของผู้ทำท่าทำมือนั้น จะเป็นการหมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์ เมื่อแขนท่อนบนอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัว ซึ่งแกน X ของเซนเซอร์ เมื่อแขนท่อนบนอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัวจะอยู่ในแนวตั้ง ดังแนวแกนของเซนเซอร์ที่แสดงในรูปที่ 3.3 และลักษณะการติดเซนเซอร์ในรูปที่ 4.1 สำหรับการคำนวณข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่าทำมือนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

5.2.2.2.1 การคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัด

สำหรับการคำนวณข้อมูลตำแหน่งพิกัดนั้น จะพบว่าการหมุนตัวรอบแกน X เมื่อแกนก่อนบนอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัวนั้น ค่าตำแหน่งพิกัดของตำแหน่งอ้างอิงจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นสิ่งที่ต้องหาคือระยะระหว่างตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ กับตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งหาได้ดังนี้

$$v_d = v_p - v_o \quad (5.20)$$

เมื่อ v_d คือเวกเตอร์ของระยะห่างในแนวแกน X, Y และ Z ระหว่างตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ กับตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิง

v_p คือเวกเตอร์ของตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

v_o คือเวกเตอร์ของตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิง โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

เพราะฉะนั้น

$$v_d = [d_x \quad d_y \quad d_z]^T \quad (5.21)$$

d_x, d_y, d_z คือระยะระหว่างตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ กับตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิง ในแนวแกน X, Y, Z ตามลำดับ

เนื่องจากการหมุนรอบลำตัวของผู้ที่ทำมือนั้นเป็นการหมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์ ไม่ใช่การหมุนรอบแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ดังนั้นจึงต้องทำการย้ายแกนอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปยังแกนของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

$$v'_d = D_0^T \cdot v_d \quad (5.22)$$

เมื่อ v'_d คือเวกเตอร์ของตำแหน่งพิกัด x, y, z ของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ เทียบกับแกนของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง และ D_0 คือ Direction Cosine Matrix ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง เทียบกับแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ เทียบกับแกนของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงแล้ว อันดับต่อมาคือทำการหมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงไป θ องศา

เนื่องจากเวกเตอร์ของตำแหน่งพิกัดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงก่อนและหลังการหมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงจะคงที่ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\mathbf{v}'_d = \mathbf{D}_0^T \cdot \mathbf{v}''_d \quad (5.23)$$

เมื่อ \mathbf{D}_0 คือ Direction Cosine Matrix ของตำแหน่งอ้างอิงหลังจากหมุนแกน X ของตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นไป θ องศา

\mathbf{v}''_d คือเวกเตอร์ของตำแหน่งพิกัด x, y, z ของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ เทียบกับแกนของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อผู้ทำท่ามือหมุนตัวทำการหมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงไป θ องศา

ดังนั้นจากสมการที่ (5.22) และ (5.23) จะได้

$$\mathbf{D}_0^T \cdot \mathbf{v}''_d = \mathbf{D}_0^T \cdot \mathbf{v}_d \quad (5.24)$$

$$\mathbf{v}''_d = (\mathbf{D}_0^T)^{-1} \cdot \mathbf{D}_0^T \cdot \mathbf{v}_d \quad (5.25)$$

เนื่องจาก

$$\mathbf{D}^T \cdot \mathbf{D} = \mathbf{I} \quad (5.26)$$

เมื่อ \mathbf{D} คือ Direction Cosine Matrix

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$\mathbf{D}^{-1} = \mathbf{D}^T \quad (5.27)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (5.25) จะได้ว่า

$$\mathbf{v}''_d = \mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_0^T \cdot \mathbf{v}_d \quad (5.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก v_d'' คือเวกเตอร์ของระยะห่างในแนวแกน X, Y และ Z ระหว่างตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ กับตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อหมุนรอบแกน X ไป θ ฉะนั้นระยะจากอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปยังเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ จะหาได้จาก

$$v_p = v_d'' + v_0 \quad (5.29)$$

จากสมการที่ 5.29 จะได้เวกเตอร์ของตำแหน่งพิกัด x, y และ z ของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ เมื่อผู้ทำท่า่มือทำการหมุนตัวไป θ องศา

5.2.2.2.2 การคำนวณข้อมูลองศาการหมุน

สำหรับการคำนวณข้อมูลองศาการหมุน เมื่อผู้ทำท่า่มือหมุนตัวไป θ องศา นั้น จะต้องทำการคำนวณหา Direction Cosine Matrix ของตำแหน่งอ้างอิงใหม่เมื่อผู้ทำท่า่มือหมุนตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$D_0^T \cdot D'_0 = R_x \quad (5.30)$$

เมื่อ D_0 คือ Direction Cosine Matrix ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อผู้ทำท่า่มือหันหน้าเข้าหาจอภาพ

D'_0 คือ Direction Cosine Matrix ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อผู้ทำท่า่มือหมุนตัวไป θ องศา จากตำแหน่งหันหน้าเข้าหาจอภาพในทิศทวนเข็มนาฬิกา

R_x คือ Rotation Matrix หมุนรอบแกน X ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง จากตำแหน่งผู้ทำท่า่มือหันหน้าเข้าหาจอภาพ ไป θ องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา

ดังนั้น

$$D'_0 = (D_0^T)^{-1} \cdot R_x \quad (5.31)$$

จากนั้นทำการคำนวณ Direction Cosine Matrix (D_n) ที่ได้จากเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งใด ๆ (D_i) กระทบกับเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อผู้ทำท่า่มือหันหน้าเข้าหาจอภาพ (D_0) ดังนี้

$$D_n = D_0^T \cdot D_i \quad (5.32)$$

เนื่องจากลักษณะการหมุนของแกน ณ ตำแหน่งใด ๆ เมื่อผู้ทำท่ามือทำการหมุนตัว นั้นจะคงที่ ฉะนั้น

$$(\mathbf{D}'_0)^T \cdot \mathbf{D}'_i = \mathbf{D}_0^T \cdot \mathbf{D}_i \quad (5.33)$$

จากสมการที่ (5.32) และ (5.33) จะได้

$$(\mathbf{D}'_0)^T \cdot \mathbf{D}'_i = \mathbf{D}_s \quad (5.34)$$

ดังนั้น จะสามารถคำนวณหา Direction Cosine Matrix ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งใด ๆ (\mathbf{D}'_i) กระทบกับเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิง เมื่อผู้ทำท่ามือหมุนตัวไป θ องศา (\mathbf{D}'_0) ได้ดังนี้

$$\mathbf{D}'_i = ((\mathbf{D}'_0)^T)^{-1} \cdot \mathbf{D}_s \quad (5.35)$$

หรือ

$$\mathbf{D}'_i = \mathbf{D}'_0 \cdot \mathbf{D}_s \quad (5.36)$$

จากค่า \mathbf{D}'_i ที่ได้สามารถแปลงให้อยู่ในรูปองศาการหมุน yaw, pitch และ roll ได้โดยใช้สมการที่ (5.17) – (5.19)

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 รายละเอียดการบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

6.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและทดลอง

- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Intel Pentium III 800 MHz
- อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รุ่น 3SPACE® ISOTRAK II™ ของบริษัท Polhemus Inc. พร้อมด้วยเซนเซอร์ จำนวน 2 ตัว และอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)
- ขาดังกล่าง สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)
- Microsoft® Visual C++ 6.0
- Virtual Hand Library Version 2.4
- MatLab® Version 6.5

6.1.2 ตำแหน่งมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำท่ามือ

ตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายผู้ทำท่ามือที่ใช้ในการทดลองมีทั้งสิ้น 35 ตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายที่ใช้ในการทดลอง

1. หน้าท้อง (Ab)	13. บริเวณด้านหน้าข้างศีรษะ (FsF)	25. จมูก (No)
2. หลัง (Ba)	14. บริเวณด้านหน้าข้างลำตัว (FsT)	26. เหนือศีรษะ (OH)
3. หลังศีรษะ (Be)	15. บริเวณด้านหน้าใบหน้า (FF)	27. หน้าอกขวา (RC)
4. บั้นท้าย (Bu)	16. บริเวณด้านหน้าลำตัว (FT)	28. ข้อศอกขวา (RE)
5. แก้ม (Ch)	17. ศีรษะ (He)	29. หัวไหล่ขวาตำแหน่งที่ 1 (RS1)
6. คางตำแหน่งที่ 1 (Cn1)	18. สะโพก (Hip)	30. หัวไหล่ขวาตำแหน่งที่ 2 (RS2)
7. คางตำแหน่งที่ 2 (Cn2)	19. หน้าอกซ้าย (LC)	31. บริเวณด้านข้างศีรษะ (SH)
8. หู (Ea)	20. ข้อศอกซ้าย (LE)	32. บริเวณด้านข้างลำตัว (ST)
9. ตา (Ey)	21. หัวไหล่ซ้าย (LS)	33. ขมับ (Te)
10. คิ้ว (Eb)	22. ปากตำแหน่งที่ 1 (Mu1)	34. เอว (Wa)
11. หน้าผากตำแหน่งที่ 1 (Fh1)	23. ปากตำแหน่งที่ 2 (Mu2)	35. แขนข้างลำตัว (Ze)
12. หน้าผากตำแหน่งที่ 2 (Fh2)	24. คอ (Ne)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 การบันทึกข้อมูลสำหรับการทดลอง

ในการบันทึกข้อมูลจะทำการบันทึกโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะ โดยมีลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบ Non – Real-Time ซึ่งการบันทึกข้อมูลในแต่ละครั้งจะได้ข้อมูล 30 ชุดต่อการบันทึก 1 รอบ โดยจะนำข้อมูลที่ได้ออกมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลตำแหน่งนั้น ๆ ดังนั้นในการบันทึก 1 รอบจะได้ข้อมูล 1 ชุดต่อตำแหน่งมือ 1 ตำแหน่ง

การบันทึกข้อมูลนั้นจะให้ผู้ทำท่ามือทำการชี้ หรือ วางมือ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งสิ้น 35 ตำแหน่ง โดยในแต่ละรอบจะทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่งแบบต่อเนื่องทีละตำแหน่งจากตำแหน่งที่ 1 ไปจนถึงสิ้นสุดที่ตำแหน่งที่ 35

6.1.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นจะประกอบไปด้วย ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง และ ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1.4.1 ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง

ในการบันทึกข้อมูลจริงจะทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่งจากผู้ทำท่ามือ 14 คน โดยแบ่งการบันทึกได้ดังนี้

1. กรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่าขึ้นหันหน้าไปทางจอภาพ โดยเลื่อนตัวไปทางขวา 30 เซนติเมตร จากตำแหน่งเริ่มต้น และไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)
2. กรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่าขึ้นหันหน้าไปทางจอภาพ โดยเลื่อนตัวไปข้างหน้า 30 เซนติเมตร จากตำแหน่งเริ่มต้น และไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)
3. กรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่าขึ้นหันหน้าไปทางจอภาพและไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)
4. กรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านั่งหันหน้าไปทางจอภาพและไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

6.1.4.2 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณนั้นจะประกอบไปด้วยข้อมูลการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไป θ องศาในทิศทางต่าง ๆ และข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) นั้นจะทำการสร้างข้อมูลการปรับเอียงไปในทิศทางต่าง ๆ ดังนี้ เอียงไปด้านหน้า, เอียงไปด้านหลัง, เอียงไปด้านหน้า - ซ้าย, เอียงไปด้านหน้า - ขวา, เอียงไปด้านหลัง - ซ้าย, เอียงไปด้านหลัง - ขวา, เอียงไปด้านซ้าย และ เอียงไปด้านขวา ซึ่งจะเอียงท่ามุม 20 องศา และ 51 องศา กับแนวตั้ง โดยสร้างจากข้อมูลที่ได้จากการ

บันทึกจริง ในกรณีผู้ทำท่ามีอยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ และไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งจะได้ข้อมูลตำแหน่งสำหรับแต่ละกรณีต่อผู้ทำท่ามี 1 คน (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 8 กรณี) เท่ากับ 2,800 ชุดข้อมูล

- ข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่ามีนั้นจะทำการสร้างข้อมูลหมุนตัวไป 90 องศา, 180 องศา และ 270 องศา โดยสร้างจากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจริง ในกรณีผู้ทำท่ามีอยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ และไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งจะได้ข้อมูลการหมุนตัวของผู้ทำท่ามีต่อผู้ทำท่ามี 1 คน (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 3 องศา) เท่ากับ 1,050 ชุดข้อมูล

6.2 การทดลอง

สำหรับการทดลองเพื่อจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมผัสกับร่างกายจะเป็นการทดลองเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุน (Orientation) กับวิธีการใช้เซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ข้อมูลค่าองศาการหมุน yaw, pitch และผลต่างในแนวแกน y , วิธีการใช้เซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ค่าตำแหน่งพิกัด (Position) และการใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าตำแหน่งพิกัด (Position) [3] ซึ่งวิธีการจำแนกตำแหน่งมือโดยใช้เซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ข้อมูลองศาการหมุน yaw, pitch และผลต่างในแนวแกน y และวิธีการใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าตำแหน่งพิกัด (Position) นั้นสามารถดูได้ในส่วนของภาคผนวก ก.

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือการจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด และการจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ ซึ่งข้อมูลตำแหน่งมือแบบละเอียดได้แสดงดังตารางที่ 6.1 สำหรับข้อมูลตำแหน่งมือแบบหยาบจะเป็นการนำข้อมูลตำแหน่งมือแบบละเอียดทั้ง 35 ตำแหน่งมาจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ โดยนำข้อมูลตำแหน่งมือที่ลักษณะของแขนใกล้เคียงกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน ข้อมูลตำแหน่งมือที่ได้หลังจัดกลุ่มข้อมูลใหม่แสดงดังตารางที่ 6.2 และ ตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.2 แสดงตำแหน่งมือที่ใช้สำหรับการจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

1. หน้าห้อง (Ab)	10. บริเวณด้านหน้าใบหน้า (FF)	19. ข้อศอกขวา (RE)
2. หลัง (Ba)	11. บริเวณด้านหลังลำตัว (FT)	20. หัวไหล่ขวา (RS)
3. หลังศีรษะ (Be)	12. ศีรษะ (He)	21. บริเวณข้างศีรษะ (SH)
4. บั้นท้าย (Bu)	13. หน้าอก (LC)	22. บริเวณข้างลำตัว (ST)
5. คาง (Cn)	14. ข้อศอกซ้าย (LE)	23. ใบหน้าคอนบน (UF)
6. หู (Ea)	15. หัวไหล่ซ้าย (LS)	24. เอว (Wa)
7. หน้าผาก (Fh)	16. ใบหน้าคอนล่าง (LF)	25. แขนแบบข้างลำตัว หรือ
8. บริเวณด้านหน้าข้างศีรษะ (FsF)	17. ปาก (Mu)	ตำแหน่งอ้างอิง (Ze)
9. บริเวณด้านหน้าข้างลำตัว (FsT)	18. เหนือศีรษะ (OH)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตำแหน่งมือที่ใช้ในการจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ และ การจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

ข้อมูลตำแหน่งแบบหยาบ	ข้อมูลตำแหน่งแบบละเอียด
1. หน้าท้อง (Ab)	หน้าท้อง (Ab)
2. หลัง (Ba)	หลัง (Ba)
3. หลังศีรษะ (Be)	หลังศีรษะ (Be)
4. บั้นท้าย (Bu)	บั้นท้าย (Bu)
5. คาง (Cn)	คางตำแหน่งที่ 2 (Cn2)
6. หน้าผาก (Fh)	หน้าผากตำแหน่งที่ 2 (Fh2) + ขมับ (Te)
7. บริเวณด้านหน้าข้างศีรษะ (FsF)	บริเวณด้านหน้าข้างศีรษะ (FsF)
8. บริเวณด้านหน้าข้างลำตัว (FsT)	บริเวณด้านหน้าข้างลำตัว (FsT)
9. บริเวณด้านหน้าใบหน้า (FF)	บริเวณด้านหน้าใบหน้า (FF)
10. บริเวณด้านหน้าลำตัว (FT)	บริเวณด้านหน้าลำตัว (FT)
11. ศีรษะ (He)	ศีรษะ (He)
12. หน้าอก (LC)	หน้าอกซ้าย (LC) + หน้าอกขวา (RC)
13. ข้อศอกซ้าย (LE)	ข้อศอกซ้าย (LE)
14. หัวไหล่ซ้าย (LS)	หัวไหล่ซ้าย (LS)
15. ใบหน้าตอนล่าง (LF)	แก้ม (Ch) + คางตำแหน่งที่ 1 (Cn1) + อก (Ne) + จมูก (No) + ปากตำแหน่งที่ 1 (Mu1)
16. ปาก (Mu)	ปากตำแหน่งที่ 2 (Mu2)
17. เหนือศีรษะ (OH)	เหนือศีรษะ (OH)
18. ข้อศอกขวา (RE)	ข้อศอกขวา (RE)
19. หัวไหล่ขวา (RS)	หัวไหล่ขวาตำแหน่งที่ 1 (RS1) + หู (Ea)
20. บริเวณข้างศีรษะ (SH)	บริเวณข้างศีรษะ (SH)
21. บริเวณข้างลำตัว (ST)	บริเวณข้างลำตัว (ST) + หัวไหล่ขวาตำแหน่งที่ 2 (RS2)
22. ใบหน้าตอนบน (UF)	ตา (Ey) + คิ้ว (Eb) + หน้าผากตำแหน่งที่ 1 (Fh1)
23. เอว (Wa)	เอว (Wa) + สะโพก (Hi)
24. แขนแนบข้างลำตัวหรือตำแหน่งอ้างอิง (Ze)	แขนแนบข้างลำตัวหรือตำแหน่งอ้างอิง (Ze)

สำหรับการทดลองได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองหลัก ๆ ดังนี้

6.2.1 การทดลองความเป็นอิสระจากผู้ทำท่ามือ (Signer Independence)

6.2.2 การทดลองความเป็นอิสระจากการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ (Signer Body Rotation Independence)

6.2.3 การทดลองความเป็นอิสระจากลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter Rotation Independence)

6.2.4 การทดลองวิธีการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองทั้งหมดนั้นจะใช้การเรียนท่ามือตำแหน่งจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งสิ้น 14 คน (Signer Independence) โดยใช้ข้อมูลผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับเรียนรู้ ซึ่งจะได้ข้อมูลสำหรับเรียนรู้ทั้งสิ้น (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 14 คน) เท่ากับ 4,900 ชุดข้อมูล โดยในแต่ละการทดลองนั้นจะทำการเปรียบเทียบระหว่างการเซนเซอร์ 1 ตัว กับการใช้เซนเซอร์ 2 ตัว โดยวิธีการใช้เซนเซอร์ 1 ตัวนั้นจะประกอบไปด้วยวิธีการจำแนกตำแหน่ง โดยใช้ค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ ค่าระยะพิคคแนวแกน y (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.1) และวิธีการจำแนกตำแหน่งโดยใช้ค่าตำแหน่งพิคค (Position) สำหรับวิธีการจำแนกตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวนั้นจะประกอบไปด้วยวิธีการจำแนกตำแหน่งโดยอาศัยค่าองศาการหมุน (Orientation) ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ กับการใช้ค่าตำแหน่งพิคค (Position) [3] (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.2)

สำหรับการทดลองที่ 6.2.1 – 6.2.3 นั้นตำแหน่งอ้างอิงจะถูกกำหนดก่อนทำการบันทึกข้อมูลในแต่ละการทดลอง ซึ่งสำหรับการทดลองที่ 6.2.2 ซึ่งเป็นการทดลองความเป็นอิสระจากการหมุนลำตัวของผู้ทำท่ามือนั้น ตำแหน่งอ้างอิงจะถูกกำหนดใหม่หลังจากผู้ทำท่ามือทำการหมุนลำตัวแล้ว สำหรับการทดลองที่ 6.2.3 นั้นอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะถูกปรับเอียงไปก่อนเริ่มการบันทึกข้อมูลและคงอยู่ในลักษณะนั้นตลอดการบันทึกในแต่ละกรณี โดยไม่มีการปรับเอียงใหม่

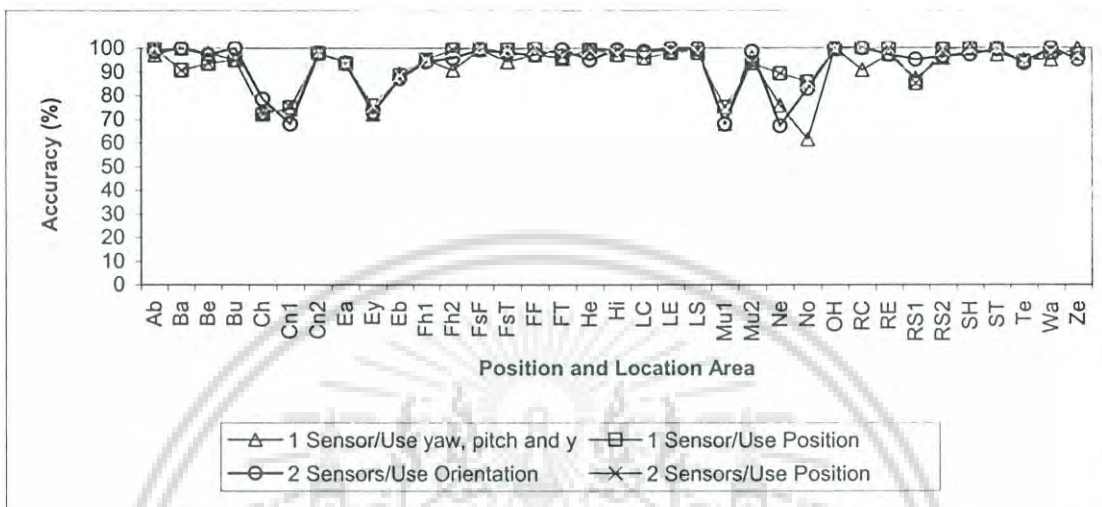
สำหรับในส่วนของการทดลองที่ 6.2.4 นั้นจะเป็นการทดลองวิธีการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เพื่อทำการทดลองการจำแนกตำแหน่งท่ามืออย่างต่อเนื่อง โดยในแต่ละการทดลองย่อยจะทำการกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นก่อนการบันทึก 1 ครั้งในลักษณะผู้ทำท่ามือหันหน้าเข้าหาจอภาพ แล้วจึงทำการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายหรือหมุนตัว ซึ่งในระหว่างการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายหรือหมุนตัวนั้นจะใช้การตรวจสอบตำแหน่งแขนท่อนบนแนบข้างลำตัวเพื่อกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงใหม่ไปพร้อม ๆ กัน

6.2.1 การทดลองความเป็นอิสระจากผู้ทำท่ามือ (Signer Independence)

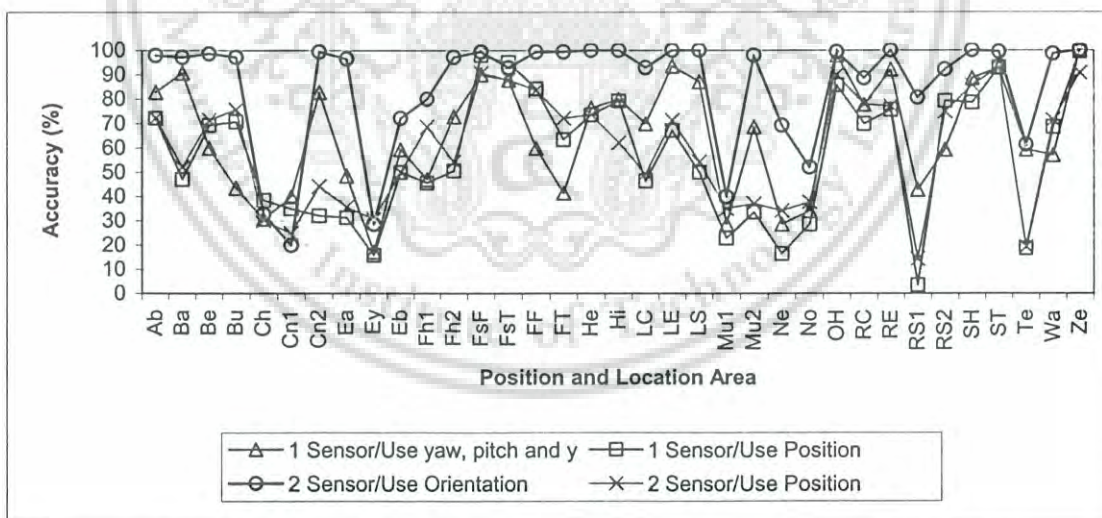
การทดลองนี้เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของวิธีการจำแนกตำแหน่งมือจากการเปลี่ยนผู้ทำท่ามือโดยไม่ต้องทำการเรียนรู้ข้อมูลตำแหน่งใหม่ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยข้อมูลกรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่านั่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ โดยไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จากผู้ทำท่ามือ 14 คน โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีจำแนกตำแหน่งมือของผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer dependence) กับค่าความถูกต้องกรณีจำแนกตำแหน่งมือของผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer independence) ซึ่งกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคนจะใช้ข้อมูลในการทดลองสำหรับผู้ทำท่ามือแต่ละคน (35 ตำแหน่ง * 20 ชุดข้อมูล) เท่ากับ 700 ชุดข้อมูล โดยแบ่งสำหรับเรียนรู้ 350 ชุดข้อมูล และ สำหรับทดสอบ 350 ชุด

ข้อมูล และกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมดจะใช้ข้อมูลในการทดลอง (35 ตำแหน่ง * 20 ชุดข้อมูล * 14 คน) เท่ากับ 9,800 ชุดข้อมูล โดยแบ่งสำหรับเรียนรู้ 4,900 ชุดข้อมูล และสำหรับทดสอบ 4,900 ชุดข้อมูล

6.2.1.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



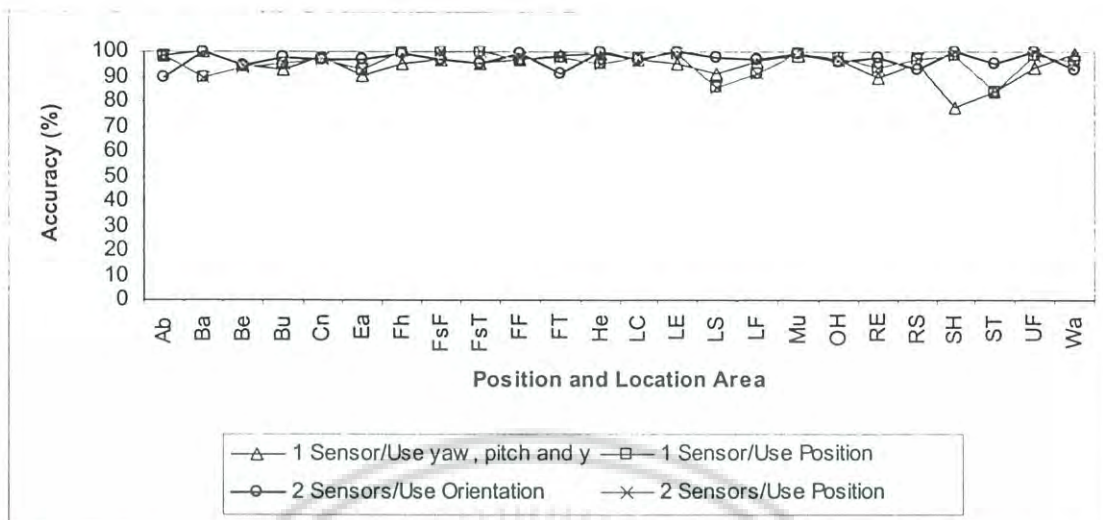
รูปที่ 6.1 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer dependence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



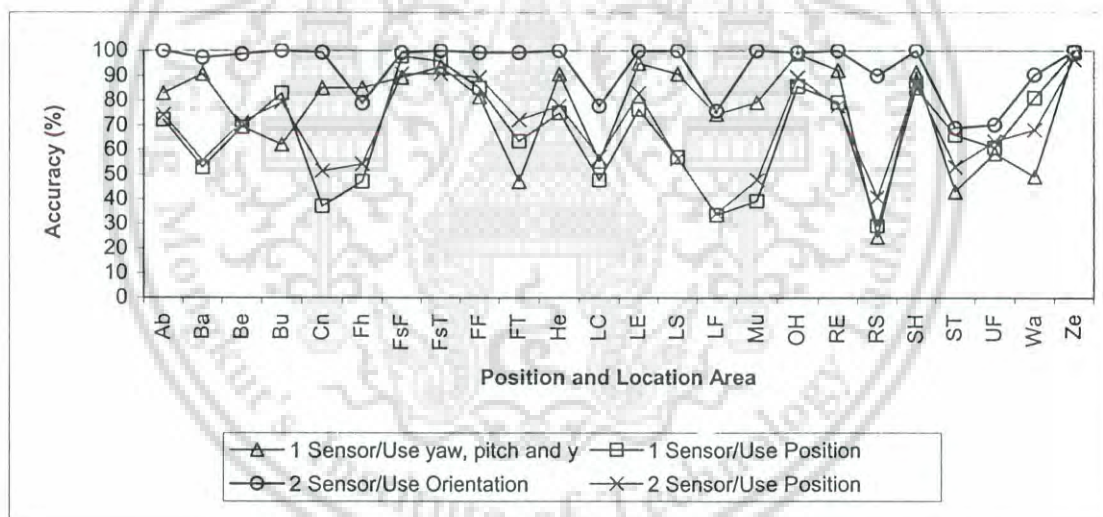
รูปที่ 6.2 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer independence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.3 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer dependence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.4 ผลการทดลองกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer independence) กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

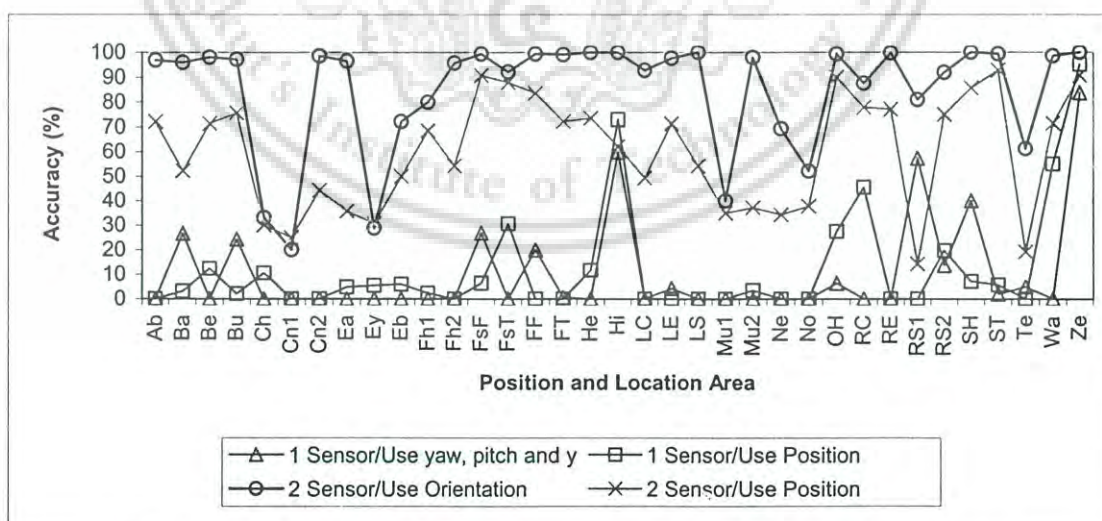
ตารางที่ 6.4 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer dependence) และ กรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer independence)

	จำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด		จำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ	
	Signer dependence	Signer independence	Signer dependence	Signer independence
1 Sensor / Use yaw, pitch and y	91.86 %	65.43 %	94.51 %	76.24 %
1 Sensors / Use Position	93.61 %	56.84 %	95.63 %	67.48 %
2 Sensors / Use Orientation	93.14 %	85.14 %	96.73 %	93.51 %
2 Sensors / Use Position	93.61 %	59.82 %	95.63 %	69.26 %

6.2.2 การทดลองความเป็นอิสระจากการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ (Signer Body Rotation Independence)

เป็นการทดลองความเป็นอิสระจากการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือของวิธีการจำแนกตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุน สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัวนั้นจะใช้ข้อมูลกรณีผู้ทำท่ามืออยู่ในท่าหนึ่งโดยทำการหมุนตัวไป 90, 180 และ 270 องศาในทิศทางวนเข็มนาฬิกาจากตำแหน่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ โดยไม่ปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งจะได้ข้อมูลสำหรับทดลองทั้งสิ้น (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 3 กรณี * 14 คน) เท่ากับ 14,700 ชุดข้อมูล

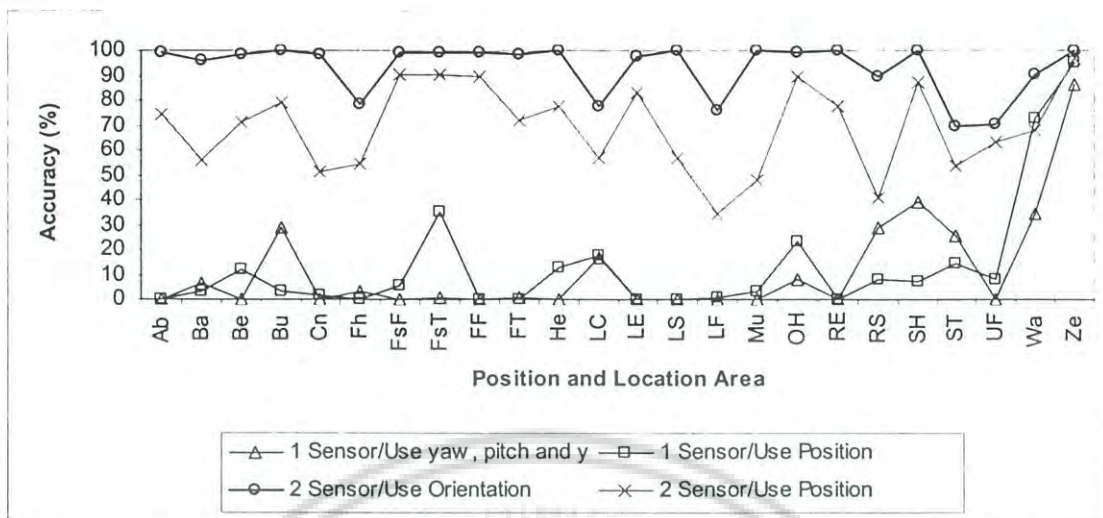
6.2.2.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



รูปที่ 6.5 ผลการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.6 ผลการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือหมุนลำตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

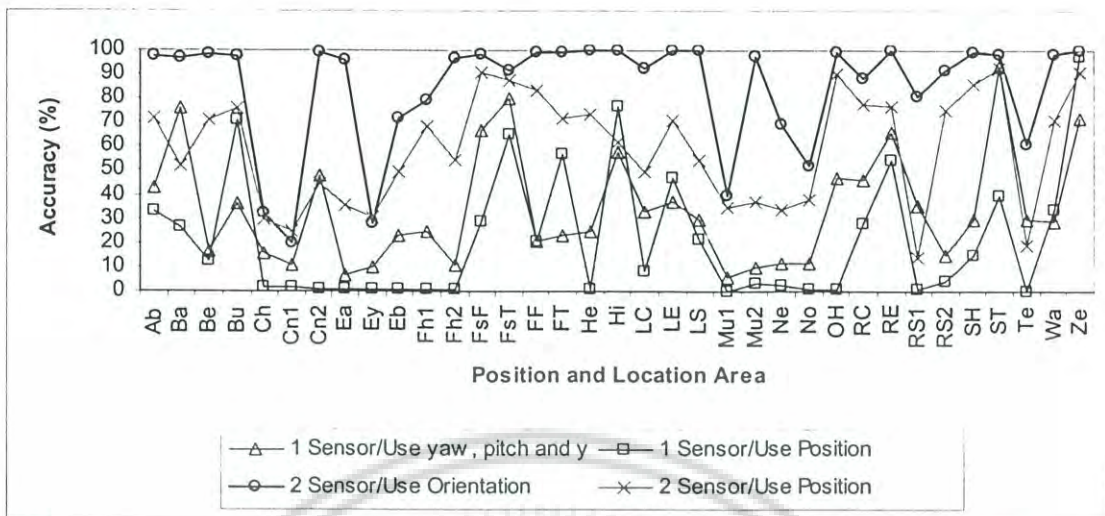
ตารางที่ 6.5 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีผู้ทำท่ามือไม่หมุนตัว และ กรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว

	จำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด		จำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ	
	ไม่หมุนตัว	หมุนตัว	ไม่หมุนตัว	หมุนตัว
1 Sensor / Use yaw, pitch and y	65.43 %	10.61 %	76.24 %	11.66 %
1 Sensor / Use Position	56.84 %	12.23 %	67.48 %	13.55 %
2 Sensors / Use Orientation	85.14 %	84.88 %	93.51 %	93.13 %
2 Sensors / Use Position	59.82 %	59.82 %	69.26 %	69.26 %

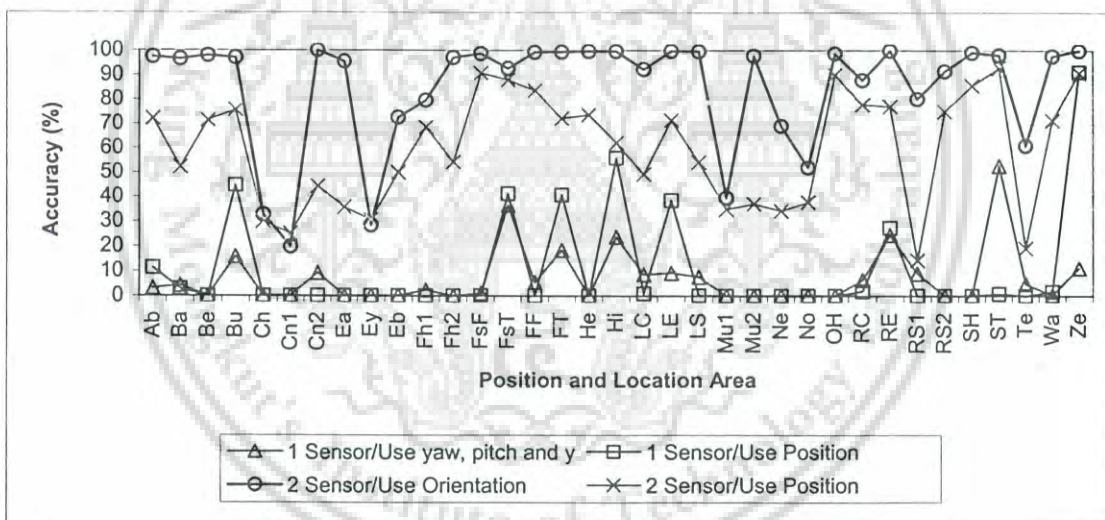
6.2.3 การทดลองความเป็นอิสระจากลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter Rotation Independence)

เป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ในองศาต่าง ๆ ต่อค่าความถูกต้องของวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุน โดยจะทำการปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไป 20 องศา และ 51 องศา กับแนวตั้งในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งได้จากการคำนวณ โดยทั้ง 2 กรณีผู้ทำท่ามือจะอยู่ในท่าหนึ่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองกรณีปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไปในทิศทางต่าง ๆ จะใช้ข้อมูลสำหรับทดลองในแต่ละกรณี (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 8 กรณี * 14 คน) เท่ากับ 39,200 ชุดข้อมูล

6.2.3.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



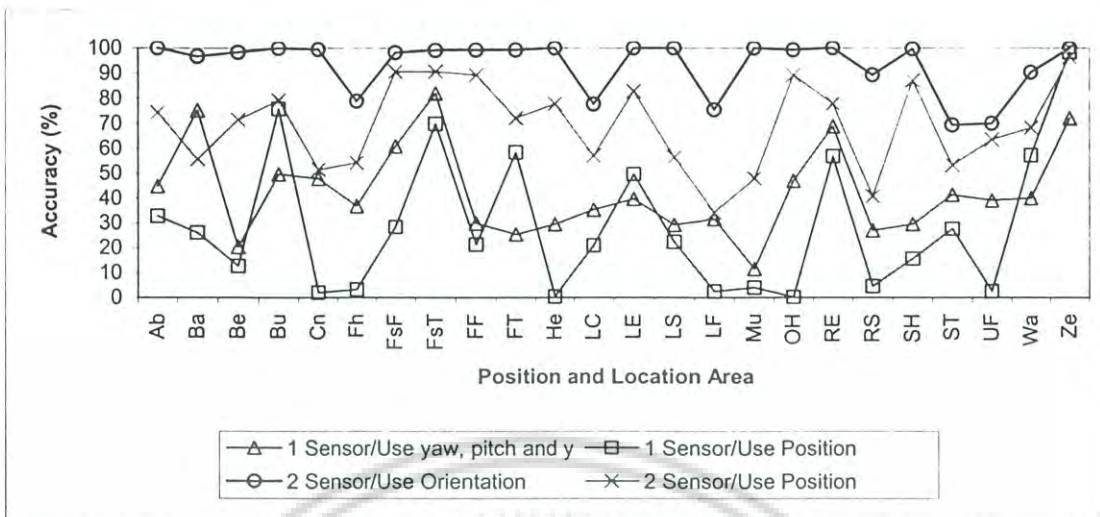
รูปที่ 6.7 ผลการทดลองกรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 20 ongsakab แนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



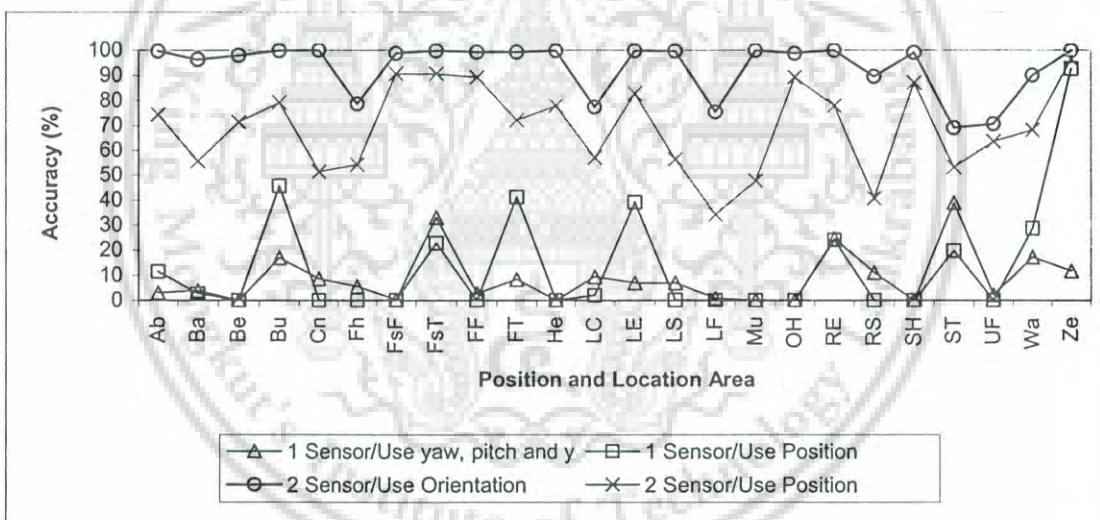
รูปที่ 6.8 ผลการทดลองกรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 51 ongsakab แนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.9 ผลการทดลองกรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 20 ongsakap แนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.10 ผลการทดลองกรณีปรับเชิงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 51 ongsakap แนวตั้ง กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 ค่าความถูกต้องเฉลี่ยกรณีไม่ปรับเอียง, ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) 20 องศา และ 51 องศา กับแนวตั้ง

	จำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด			จำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ		
	0 องศา	20 องศา	51 องศา	0 องศา	20 องศา	51 องศา
1 sensor / Use yaw, pitch and y	65.43 %	34.19 %	7.31 %	76.24 %	42.28 %	8.80 %
1 sensor / Use Position	56.84 %	21.67 %	10.28 %	67.48 %	28.88 %	13.79 %
2 sensors / Use Orientation	85.14 %	84.90 %	84.80 %	93.51 %	93.33 %	93.24 %
3 sensors / Use Position	59.82 %	59.82 %	59.82 %	69.26 %	69.26 %	69.26 %

6.2.4 การทดลองวิธีการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน

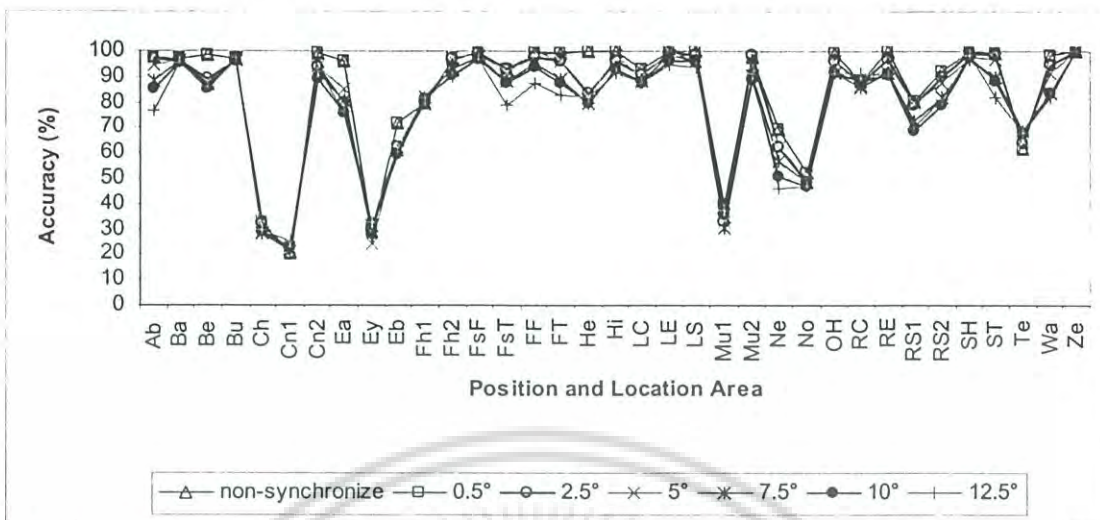
(Synchronize the reference point)

จากการทดลองที่ 6.2.1 – 6.2.3 วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วย 2 เซนเซอร์โดยใช้ค่าองศาการหมุนนั้นจะทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแบบคงที่ ซึ่งเมื่อผู้ทำท่ามือมีการเปลี่ยนแปลงอิริยาบถ อาจส่งผลให้ตำแหน่งอ้างอิงนั้นมีความคลาดเคลื่อนไป เป็นผลให้ต้องทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ แต่การกำหนดตำแหน่งอ้างอิงนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เซนเซอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง โดยเฉพาะ ซึ่งทำให้ต้องเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานระบบได้อย่างต่อเนื่อง และลดจำนวนเซนเซอร์ที่ต้องใช้ในการจำแนกตำแหน่ง โดยตำแหน่งอ้างอิงนั้นจะถูกตรวจสอบตลอดระยะเวลาที่ใช้งานระบบ และจะทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่เมื่อแขนท่อนบนของผู้ทำท่ามืออยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัว โดยในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ กับการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน โดยใช้ค่า θ ที่ 0.5, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 องศา เป็นค่า threshold ของมุมมองของแขนท่อนบนที่กระทำกับแนวแกนของตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น เพื่อใช้ตรวจสอบลักษณะแขนท่อนบนแนบข้างลำตัวของผู้ทำท่ามือ

6.2.4.1 กรณีผู้ทำท่ามืออยู่นิ่งไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกาย และไม่หมุนตัว

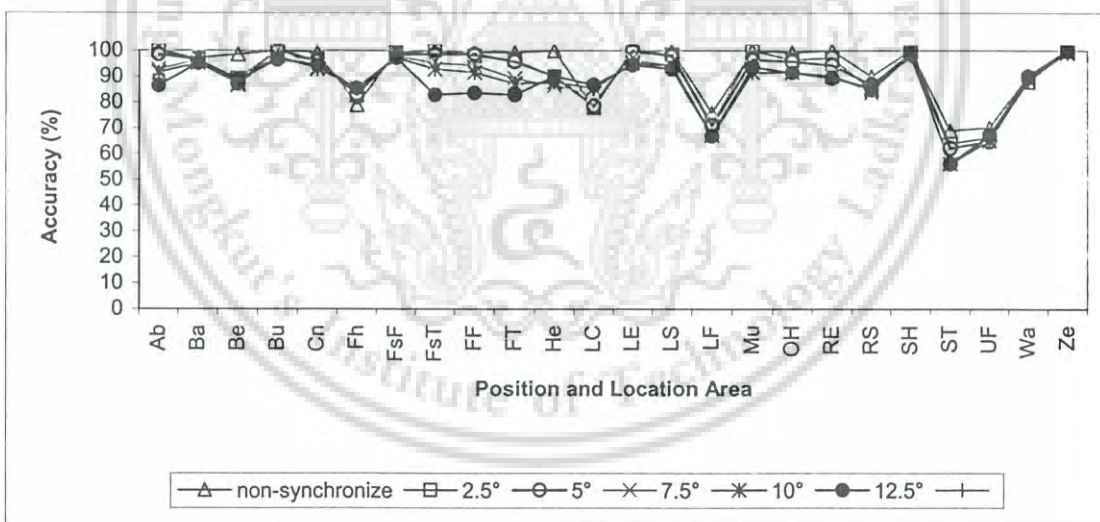
เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองที่ได้จากการทดลองความเป็นอิสระจากผู้ทำท่ามือ (การทดลองที่ 6.2.1) ซึ่งใช้การกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแบบคงที่ (Non – synchronize the reference point) กับวิธีการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) โดยใช้ข้อมูลทดสอบชุดเดียวกับการทดลองที่ 6.2.1

6.2.4.1.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



รูปที่ 6.11 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกาย และไม่หมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

6.2.4.1.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.12 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกาย และไม่หมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงครั้งที่ กับ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่าThreshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ทำท่ามือไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและหมุนตัว

	จำแนกตำแหน่งแบบ ละเอียด	จำแนกตำแหน่ง แบบหยาบ	จำนวนครั้งที่ Synchronize
non-synchronize	85.14 %	93.51 %	0
0.5°	85.14 %	93.50 %	16
2.5°	82.22 %	91.34 %	37
5 °	81.59 %	90.77 %	77
7.5°	79.22 %	88.68 %	135
10°	78.29 %	88.05 %	198
12.5°	77.69 %	87.28 %	259

6.2.4.2 กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่ง

เป็นการทดลองความเป็นอิสระต่อการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายของผู้ทำท่ามือ ซึ่งในการทดลองดังกล่าวนี้ โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นก่อนที่ผู้ทำท่ามือจะทำการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายโดยไม่มีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่หลังการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Non - synchronize the reference point) และกรณีใช้การตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) ซึ่งจะอาศัยการตรวจสอบลักษณะแขนท่อนบนแนบข้างลำตัวของผู้ทำท่ามือเพื่อกำหนดตำแหน่งอ้างอิง โดยในการทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ และ กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้ง

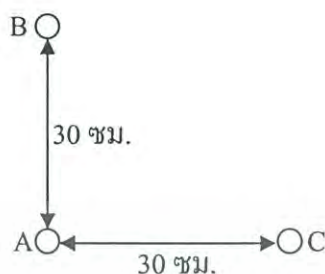
6.2.4.2.1 กรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ

การทดลองจะใช้ข้อมูลการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของผู้ทำท่ามือ โดยจะมีลำดับการเคลื่อนย้ายตำแหน่งดังนี้ 5 กรณี ดังนี้

1. ผู้ทำท่ามืออยู่ ณ ตำแหน่ง A ทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น
2. ผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายไปด้านหน้า 30 เซนติเมตร (จากตำแหน่ง A ไปยัง ตำแหน่ง B) แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (5 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
3. ผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายไปด้านหลัง 30 เซนติเมตร (จากตำแหน่ง B ไปยัง ตำแหน่ง A) แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (5 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
4. ผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายไปด้านขวา 30 เซนติเมตร (จากตำแหน่ง A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไปยัง ตำแหน่ง C) แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (5 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
5. ผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายไปด้านซ้าย 30 เซนติเมตร (จากตำแหน่ง C ไปยัง ตำแหน่ง A) แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (5 รอบ * 35 ตำแหน่ง)

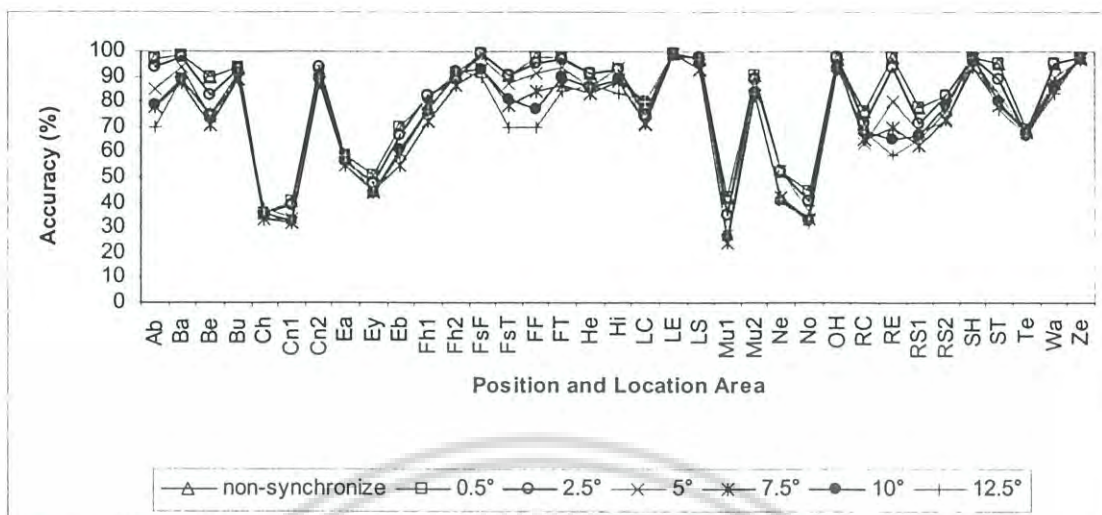


รูปที่ 6.13 แสดงตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายผู้ทำท่า่มือ

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยข้อมูลผู้ทำท่า่มือยืนหันหน้าเข้าหาจอภาพ ณ ตำแหน่ง A , ตำแหน่ง B และ ตำแหน่ง C $|AB|$ และ $|AC|$ เท่ากับ 30 เซนติเมตร โดยผู้ทำท่า่มือ 1 คนจะทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่งละ 5 รอบ สำหรับการทดลองนี้จะใช้ข้อมูลจากผู้ทำท่า่มือ 14 คน ดังนั้นจะได้ข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบข้อมูลกรณีผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวราบสำหรับผู้ทำท่า่มือแต่ละคน (35 ตำแหน่ง * 5 ชุดข้อมูล * 4 กรณี) เท่ากับ 700 ชุดข้อมูล หรือ 9,800 ชุดข้อมูลสำหรับผู้ทำท่า่มือทั้งหมด

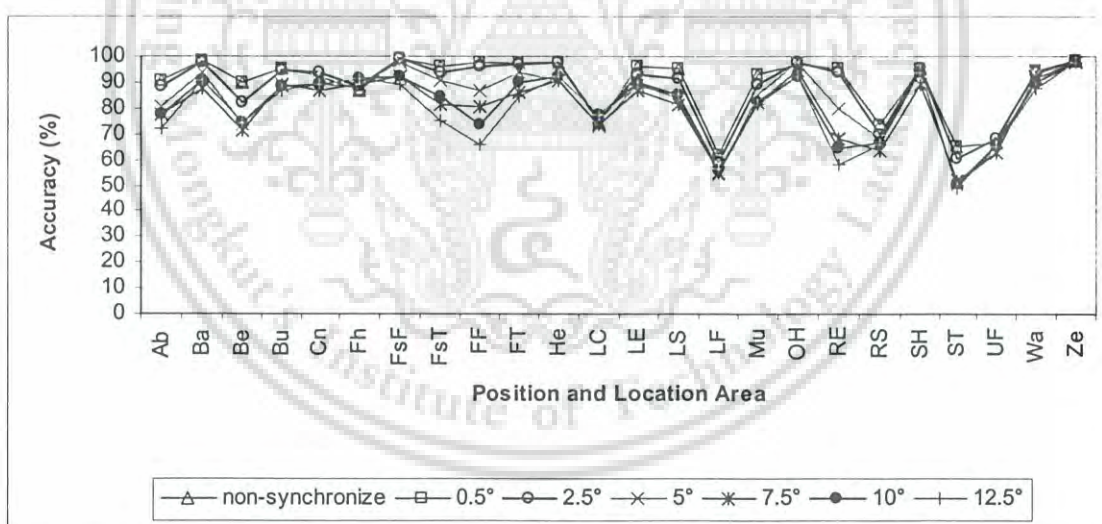
ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ (Non-synchronize the reference point) ซึ่งจะกำหนดตำแหน่งอ้างอิง ณ ตำแหน่ง A ก่อนเริ่มการทดลองเพียงครั้งเดียว และไม่มีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ตลอดการทดลอง กับกรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) โดยใช้การตรวจสอบลักษณะแขนแนบข้างลำตัวเพื่อกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ซึ่งจะใช้ค่า Threshold ซึ่งเป็นแนวแกนของแขนท่อนบน ณ ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นกับตำแหน่งใด ๆ ที่ 0.5, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 องศา

6.2.4.2.1.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



รูปที่ 6.14 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

6.2.4.2.1.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.15 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงครั้งที่ กับ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ

	จำแนกตำแหน่งแบบ ละเอียด	จำแนกตำแหน่ง แบบหยาบ	จำนวนครั้งที่ Synchronize
non-synchronize	81.57 %	89.50 %	0
0.5°	81.57 %	89.50 %	24
2.5°	79.80 %	88.07 %	45
5 °	75.97 %	83.45 %	105
7.5°	72.54 %	80.48 %	178
10°	74.16 %	81.54 %	267
12.5°	72.54 %	79.60 %	340

6.2.4.2.2 กรณีผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้ง

การทดลองจะใช้ข้อมูลกรณีผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่าขึ้น และ กรณีผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่า นั่ง โดยทั้ง 2 กรณีจะหันหน้าเข้าหาจอภาพ และไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) โดยมีลักษณะการเคลื่อนย้ายตำแหน่งดังนี้

1. ผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่านั่ง ทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น
2. ผู้ทำท่า่มือเปลี่ยนจากท่านั่ง ไปสู่ท่าขึ้น แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (10 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
3. ผู้ทำท่า่มือเปลี่ยนจากท่าขึ้น ไปสู่ท่านั่ง แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (10 รอบ * 35 ตำแหน่ง)

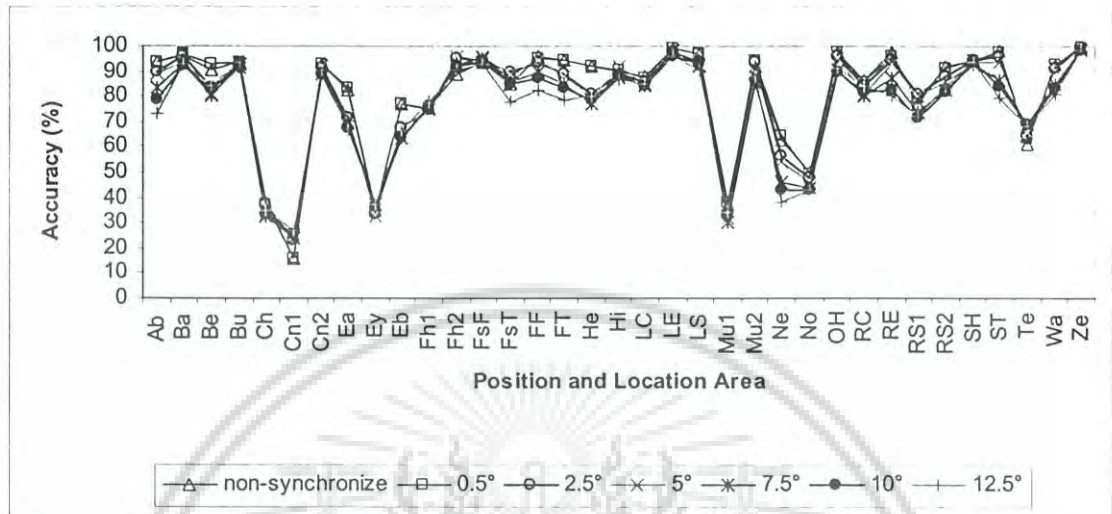
สำหรับการทดลองนี้จะใช้ข้อมูลจากผู้ทำท่า่มือทั้งสิ้น 14 คน ดังนั้นจะได้ข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบข้อมูลกรณีผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวตั้งสำหรับผู้ทำท่า่มือแต่ละคน (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 2 กรณี) เท่ากับ 700 ชุดข้อมูล หรือ 9,800 ชุดข้อมูล สำหรับผู้ทำท่า่มือทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงครั้งที่ (Non – synchronize the reference point) ซึ่งจะกำหนดตำแหน่งอ้างอิงเมื่อผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่านั่ง ก่อนเริ่มการทดลองเพียงครั้งเดียว และไม่มีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ตลอดการทดลอง กับ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) โดย ใช้การตรวจสอบลักษณะแขนแขนข้างลำตัวเพื่อกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ซึ่งจะใช้ค่า Threshold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

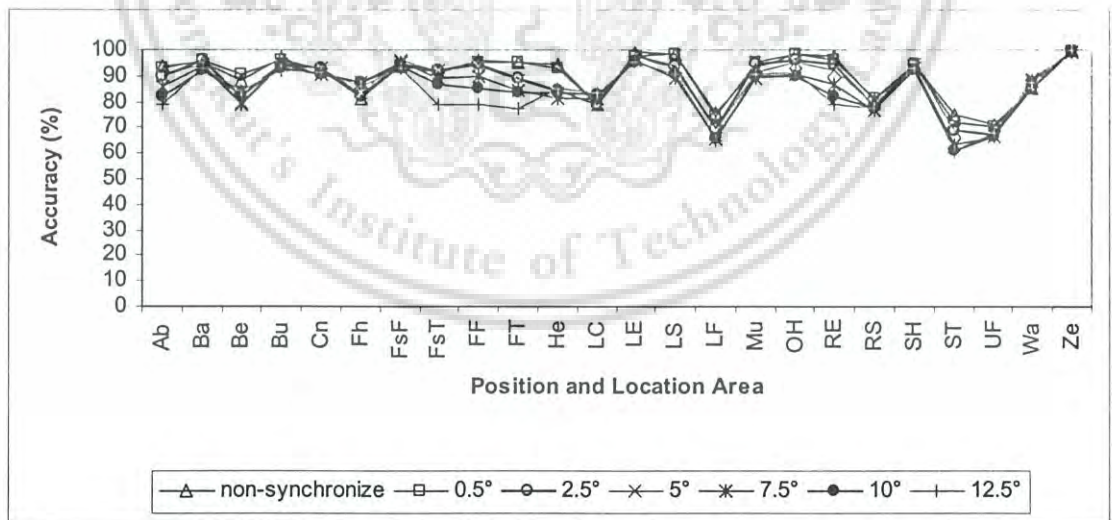
ซึ่งเป็นแนวแกนของแขนท่อนบน ณ ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นกับตำแหน่งใด ๆ ที่ 0.5, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 องศา

6.2.4.2.2.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



รูปที่ 6.16 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้งกรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

6.2.4.2.2.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ



รูปที่ 6.17 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวตั้งกรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงครั้งที่ กับ กรณี ตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวนิ่ง

	จำแนกตำแหน่งแบบ ละเอียด	จำแนกตำแหน่ง แบบหยาบ	จำนวนครั้งที่ Synchronize
non-synchronize	81.58 %	90.29 %	0
0.5°	81.95 %	90.03 %	19
2.5°	79.66 %	87.91 %	63
5 °	78.90 %	87.61 %	144
7.5°	76.59 %	85.62 %	270
10°	75.97 %	84.98 %	386
12.5°	75.45 %	84.23 %	497

6.2.4.3 กรณีผู้ทำท่า่มือหมุนตัว

การทดลองจะใช้ข้อมูลกรณีผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่านิ่ง และไม่ปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) โดยมีลำดับการหมุนตัวดังนี้

1. ผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่านิ่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ ทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิง เริ่มต้น
2. ผู้ทำท่า่มือหมุนตัวไป 90 องศา ในทิศทวนเข็มนาฬิกาจากลักษณะหันหน้าเข้าหาจอภาพ แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (10 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
3. ผู้ทำท่า่มือหมุนตัวไป 180 องศา ในทิศทวนเข็มนาฬิกาจากลักษณะหันหน้าเข้าหาจอภาพ แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (10 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
4. ผู้ทำท่า่มือหมุนตัวไป 270 องศา ในทิศทวนเข็มนาฬิกาจากลักษณะหันหน้าเข้าหาจอภาพ แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (10 รอบ * 35 ตำแหน่ง)
5. ผู้ทำท่า่มือหมุนตัวไป 360 องศา ในทิศทวนเข็มนาฬิกาจากลักษณะหันหน้าเข้าหาจอภาพ แล้วทำการบันทึกข้อมูลตำแหน่ง (10 รอบ * 35 ตำแหน่ง)

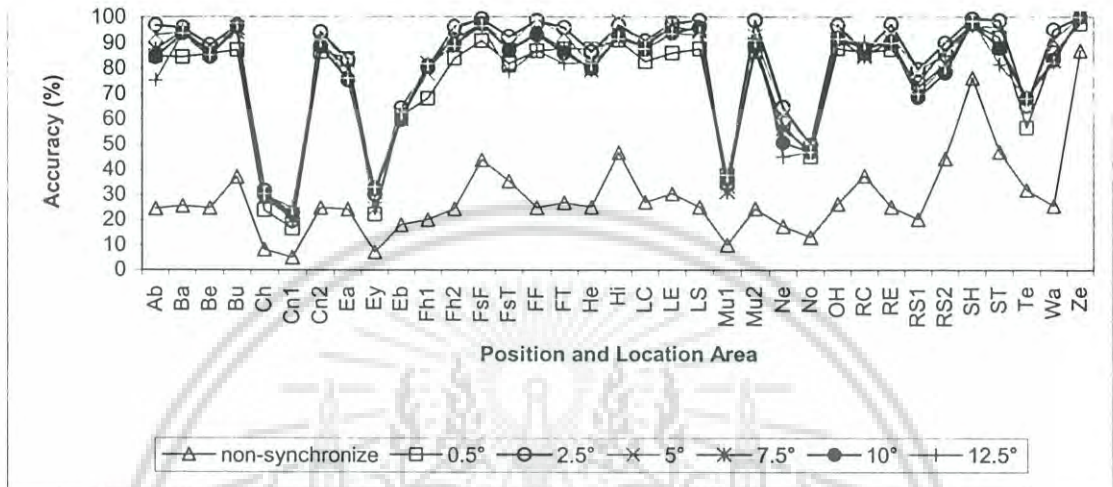
สำหรับการทดลองนี้จะใช้ข้อมูลจากผู้ทำท่า่มือทั้งสิ้น 14 คน ดังนั้นจะได้ข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบข้อมูลกรณีผู้ทำท่า่มือหมุนตัวสำหรับผู้ทำท่า่มือแต่ละคน (35 ตำแหน่ง * 10 ชุดข้อมูล * 4 กรณี) เท่ากับ 1,700 ชุดข้อมูล หรือ 19,600 ชุดข้อมูล สำหรับผู้ทำท่า่มือทั้งหมด

ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงครั้งที่ (Non - synchronize the reference point) ซึ่งจะกำหนดตำแหน่งอ้างอิงเมื่อผู้ทำท่า่มืออยู่ในท่านิ่งหันหน้าเข้าหาจอภาพ ก่อนเริ่มการทดลองเพียงครั้งเดียว และไม่มีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ตลอดการ

ทดลอง กับกรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

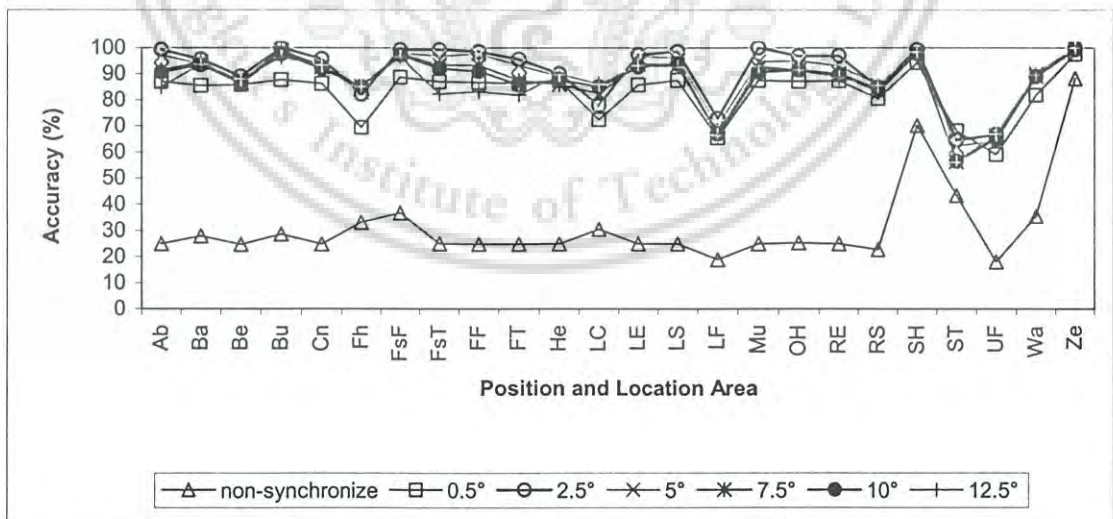
point) โดยใช้การตรวจสอบลักษณะแขนแบบข้างลำตัวเพื่อกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ซึ่งจะใช้ค่า Threshold ซึ่งเป็นแนวแกนของแขนท่อนบน ณ ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นกับตำแหน่งใด ๆ ที่ 0.5, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 องศา

6.2.4.3.1 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด



รูปที่ 6.18 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด

6.2.4.3.2 กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

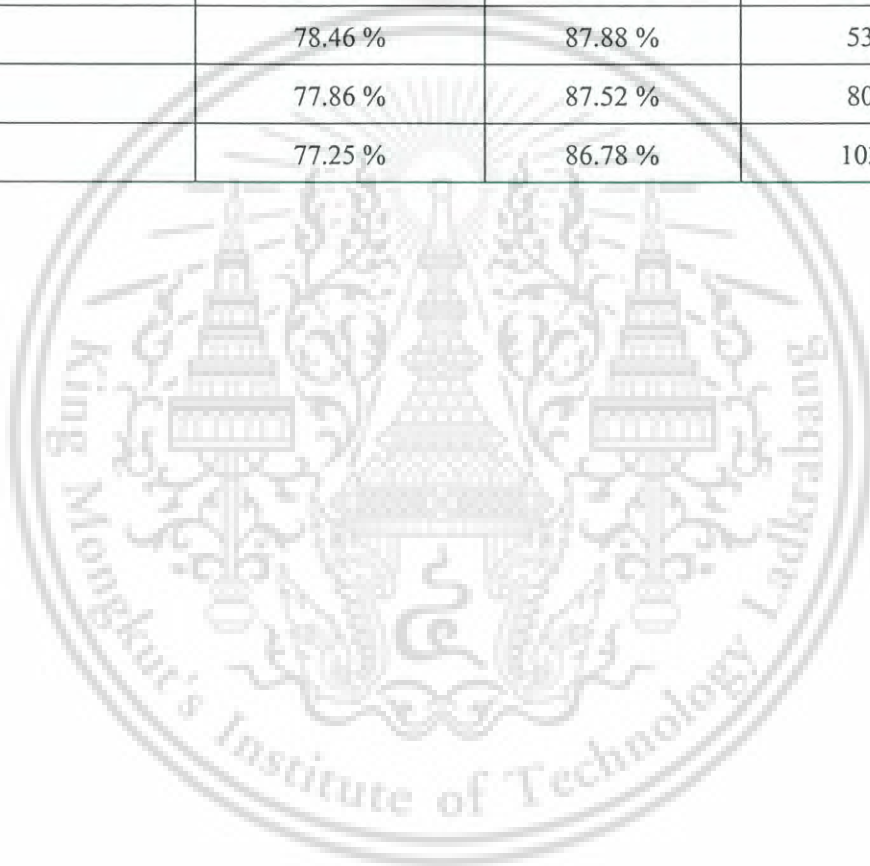


รูปที่ 6.19 เปรียบเทียบระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อผู้ทำท่ามือหมุนตัว กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.10 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงครั้งที่ กับ กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน เมื่อกำหนดค่า Threshold ต่าง ๆ สำหรับกรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว

	จำแนกตำแหน่งแบบ ละเอียด	จำแนกตำแหน่ง แบบหยาบ	จำนวนครั้งที่ Synchronize
non-synchronize	28.95 %	31.39 %	0
0.5°	75.66 %	83.00 %	54
2.5°	82.49 %	91.21 %	147
5 °	80.47 %	89.54 %	313
7.5°	78.46 %	87.88 %	537
10°	77.86 %	87.52 %	800
12.5°	77.25 %	86.78 %	1037



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

จากบทที่ 6 ได้แสดงถึงผลการทดลอง โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายจากผู้ทำท่ามือ 14 คน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ โดยใช้เฉพาะค่าองศาการหมุน (Orientation) กับวิธีการจำแนกอื่น ๆ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

7.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองที่ 6.2.1 เป็นการทดลองความเป็นอิสระจากผู้ทำท่ามือ (Signer Independence) ของวิธีการจำแนกตำแหน่งมือ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer Dependence) กับกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer Independence) พบว่าในกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer Dependence) นั้นทั้ง 4 วิธีการให้ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน สำหรับในกรณีจำแนกตำแหน่งมือจากข้อมูลผู้ทำท่ามือทั้งหมด (Signer Independence) พบว่าวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนนั้นให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกตำแหน่งมือทั้ง 3 วิธีการ ทั้งในกรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด และ แบบหยาบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนมีความเป็นอิสระต่อผู้ทำท่ามือมากกว่า วิธีการที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี

2. จากการทดลองที่ 6.2.2 เป็นการทดลองความเป็นอิสระต่อการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ โดยในการทดลองจะทำการกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นทุกครั้งที่มีการหมุนลำตัว ซึ่งพบว่ากรณีใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนนั้นให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกรณีผู้ทำท่ามือไม่หมุนตัว และ กรณีผู้ทำท่ามือหมุนตัว พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความถูกต้องสำหรับวิธีการใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุน ลดลง 0.26% และ 0.38% สำหรับการจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด และ แบบหยาบ ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนมีความเป็นอิสระต่อการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ

3. จากการทดลองที่ 6.2.3 เป็นการทดลองความเป็นอิสระจากลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) โดยเป็นการทดลองเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ปรับเทียบ, กรณีปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ไป 20 องศา และ 51 องศา ตามลำดับ โดยจะทำการกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงใหม่ทุกครั้งทำการปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Transmitter) จากการทดลองพบว่าวิธีการใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนให้ค่าความถูกต้องสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีไม่ปรับเทียบ, ปรับเทียบ 20 องศา และ ปรับเทียบ 51 องศา จะพบว่าวิธีการจำแนกตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุน กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียด ลดลง 0.24% และ 0.34% สำหรับกรณีปรับเทียบ 20 องศา และ 51 องศา ตามลำดับ และ กรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบหยาบ ลดลง 0.18% และ 0.27% สำหรับกรณีปรับเทียบ 20 องศา และ 51 องศา ตามลำดับ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนมีความเป็นอิสระต่อการปรับเทียบอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

4. การทดลองที่ 6.2.1 – 6.2.3 นั้นวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนนั้นใช้วิธีการกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงแบบคงที่ นั่นคือจะทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงก่อนเริ่มทำการทดลองเพียงครั้งเดียว ซึ่งการวิธีการนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อค่าความถูกต้องของการจำแนกตำแหน่งมือได้ เนื่องจากตัวผู้ทำท่ามือเอง เช่นมีการหมุนลำตัว หรือเอียงตัวขณะบันทึกข้อมูล อีกทั้งวิธีการดังกล่าวยังไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นในการทดลองที่ 6.2.4 นั้นจะเป็นการนำวิธีการตรวจสอบและกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน โดยใช้การตรวจสอบลักษณะแขนแขนข้างลำตัว เพื่อทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ เพื่อเพิ่มความสะดวกและความยืดหยุ่นในการใช้งาน โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 การทดลองที่ 6.2.4.1 เป็นการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือ ไม่เคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและไม่หมุนตัว โดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ (non – synchronize the reference point) และกรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (synchronize the reference point) โดยใช้ค่า threshold ที่ 0.5, 2.5, 5, 7.5, 10 และ 12.5 องศา พบว่ากรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ นั้นให้ค่าความถูกต้องสูงสุด ถัดมาคือกรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน โดยใช้ค่า threshold ที่ 0.5 องศา และลดลงตามค่า threshold ที่เพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกรณีผู้ทำท่ามือ ไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายและไม่หมุนตัวนั้น ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบเพื่อกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ดังนั้นวิธีการตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอ้างอิง โดยเฉพาะเมื่อค่า threshold มีค่ามากขึ้นความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอ้างอิงยิ่งมีมากขึ้น เป็นผลให้ค่าความถูกต้องลดต่ำลง

4.2 การทดลองที่ 6.2.4.2.1 เป็นการทดลองกรณีผู้ทำท่ามือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวราบ พบว่ากรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงคงที่ และกรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกันโดยใช้ค่า threshold ที่ 0.5 องศา ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด เนื่องจากคุณสมบัติของค่าองศาการหมุนที่ไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในแนวราบ ดังนั้นการเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวราบโดยผู้ทำท่ามือ ไม่มีการหมุน หรือ เอียงตัวจะส่งผลต่อค่าองศาการหมุนค่อนข้างน้อย ฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกันเมื่อใช้ค่า threshold สูงขึ้นจะมีโอกาสทำให้ตำแหน่งอ้างอิงมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น เป็นผลให้ค่าความถูกต้องลดลง

4.3 การทดลองที่ 6.2.4.2.2 เป็นการทดลองกรณีผู้ทำท่า่มือเคลื่อนย้ายตำแหน่งร่างกายในแนวดิ่ง พบว่ากรณีกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแบบคงที่ ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด เนื่องจากคุณสมบัติของค่าองศาการหมุนที่ไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในดิ่ง ดังนั้นการเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวดิ่งโดยผู้ทำท่า่มือไม่มีการหมุน หรือ เอียงตัวจะส่งผลต่อค่าองศาการหมุนค่อนข้างน้อย ฉะนั้นกรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกันเมื่อใช้ค่า threshold สูงขึ้นจะมีโอกาสทำให้ตำแหน่งอ้างอิงมีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น เป็นผลให้ค่าความถูกต้องลดลง

4.4 การทดลองที่ 6.2.4.3 เป็นการทดลองกรณีผู้ทำท่า่มือหมุนตัว พบว่าการจำแนกตำแหน่งมือโดยให้ผู้ทำท่า่มือทำการหมุนตัวไปเรื่อย ๆ โดยไม่มีการกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงใหม่นั้นค่าความถูกต้องที่ได้ค่อนข้างต่ำ โดยได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 28.95% และ 31.39% สำหรับกรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียดและแบบหยาบ ตามลำดับ ในขณะที่กรณีตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน โดยใช้ค่า threshold ที่ 2.5 องศา จะให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ 6.2.3 ซึ่งจะทำการกำหนดค่าตำแหน่งอ้างอิงใหม่ทุกครั้งที่มีผู้ทำท่า่มือหมุนตัว จะพบว่าถึงแม้ว่าวิธีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ทุกครั้งผู้ทำท่า่มือมีการหมุนลำตัวจะให้ค่าความถูกต้องสูงกว่ากรณีใช้การตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน โดยใช้ค่า threshold ที่ 2.5 องศา โดยมากกว่า 2.65% และ 2.30% สำหรับกรณีจำแนกตำแหน่งมือแบบละเอียดและแบบหยาบตามลำดับ แต่วิธีการดังกล่าวไม่สะดวกและไม่มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน อีกทั้งไม่สามารถรับประกันได้ว่าผู้ทำท่า่มือจะไม่มีการหมุน หรือเอียงตัวไปตลอดการใช้งาน ในขณะที่วิธีการตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกันนั้น ผู้ทำท่า่มือสามารถที่จะเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้อย่างอิสระ

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปเป็นภาพรวมได้ดังนี้

- วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าองศาการหมุนนั้นมีความเป็นอิสระต่อผู้ทำท่า่มือมากกว่าวิธีการอื่น ๆ ฉะนั้นวิธีการนี้จึงสามารถที่จะใช้งานกับผู้ทำท่า่มือคนอื่น ๆ ได้โดยไม่ต้องทำการเรียนรู้ตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่า่มือสำหรับผู้ทำท่า่มือนั้น ๆ ใหม่ หรือทำการเปรียบเทียบค่าเบื้องต้น (Calibration) ก่อนการใช้งานระบบ และการนำวิธีการตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกันมาใช้งานจะช่วยลดจำนวนเซนเซอร์ที่ต้องนำมาใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง และเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งาน ทำให้ผู้ทำท่า่มือมีอิสระในการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง

- ถึงแม้ว่าค่าองศาการหมุนจะไม่ขึ้นต่อการเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวนอนและแนวดิ่ง แต่สำหรับการหมุนตัวของผู้ทำท่า่มือนั้นจะส่งผลกระทบต่อค่าองศาการหมุนอย่างมาก ดังผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองที่ 6.2.2 วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ค่าองศา yaw, pitch และค่าระยะพิทช์ y ค่าความถูกต้องจะลดลงอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับเทียบค่าตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ดังวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าตำแหน่งพิทช์ ซึ่งจะมีเซนเซอร์ ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง โดยเฉพาะ แต่วิธีการดังกล่าวนี้มีความเป็นอิสระต่อผู้ทำท่ามือน้อยกว่าวิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุน และการเซนเซอร์มาใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงจะทำให้ต้องเพิ่มเซนเซอร์ ขึ้นเป็น 3 ตัว ซึ่งดังนั้นวิธีการตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานระบบจำแนกตำแหน่ง ได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดระบบเพื่อทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ หรืออีกทั้งไม่จำเป็นต้องมีเซนเซอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง โดยเฉพาะ ซึ่งเป็นการลดจำนวนเซนเซอร์ที่ต้องใช้งานลงได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

จากข้อสรุปและผลการทดลองจึงได้ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

1. สำหรับงานวิจัยหรืองานที่ต้องใช้การจำแนกตำแหน่งมือโดยทำการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือเฉพาะบุคคล (Signer dependence) และตำแหน่งผู้ทำท่ามือนิ่งๆ อีกทั้งการติดตั้งอุปกรณ์คงที่ไม่มีมีการเคลื่อนย้าย วิธีการจำแนกตำแหน่งทั้ง 4 วิธีการสามารถให้ค่าความถูกต้องสูงใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากผู้ทำท่ามือมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งไปมาในแนวราบ โดยไม่มีการหมุนลำตัว และการติดตั้งอุปกรณ์คงที่ วิธีการจำแนกตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ ค่าระยะพิทช์ y มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากใช้เซนเซอร์เพียง 1 ตัว และถ้าหากผู้ทำท่ามือมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งอิสระ และ อุปกรณ์มีการเคลื่อนย้ายไม่คงที่ วิธีการจำแนกตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าพิทช์ และ วิธีการจำแนกตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุน จะเหมาะสมกับกรณีดังกล่าวมากที่สุด

2. สำหรับงานวิจัยหรืองานที่ใช้การจำแนกตำแหน่งมือโดยทำการจำแนกตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับผู้ทำท่ามือ โดยไม่มีการเรียนรู้ หรือปรับเทียบค่าตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือของผู้ทำท่ามือแต่ละคน (Signer independence) นั้น วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุนมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากวิธีการดังกล่าวมีความเป็นอิสระต่อผู้ทำท่ามือน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ

3. เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอเป็นการจำแนกตำแหน่งมือโดยใช้ค่าองศาการหมุน ซึ่งปัจจุบันมีอุปกรณ์เซนเซอร์ที่สามารถวัดเฉพาะค่าองศาการหมุน โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถที่จะติดตั้งบนอุปกรณ์และสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พกพาได้ซึ่งจะทำให้การใช้งานระบบจำแนกตำแหน่งสะดวกและยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น อีกทั้งราคาอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาที่ถูกกว่าการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขณะใช้งาน

7.3 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหา

ปัญหาที่พบในการศึกษางานวิจัยมีดังนี้

- ปัญหาเรื่องการติดเซนเซอร์ ซึ่งการติดเซนเซอร์นั้นจะติดบนสายรัด ซึ่งบางครั้งในระหว่างที่ทำการเก็บ หรือ บันทึกข้อมูล อาจทำให้เซนเซอร์ขยับจนเกิดความคลาดเคลื่อนเบี่ยงเบนไป ทำให้ข้อมูลบางค่าเกิดความคลาดเคลื่อนได้ วิธีการแก้ปัญหาอาจจะต้องหาที่ยึดติดเซนเซอร์ให้มีความมั่นคงไม่เบี่ยงเบน หรือ ขยับในช่วงที่มีการใช้งาน

- เนื่องจากการบันทึกข้อมูลนั้นเป็นการบันทึกอย่างต่อเนื่อง ทำให้การบันทึกข้อมูลใช้เวลานาน ซึ่งส่งผลให้ผู้ทำท่ามือเกิดอาการเมื่อยล้าเป็นผลให้ข้อมูลตำแหน่งบางตำแหน่งหรือบางช่วงเกิดความคลาดเคลื่อนเป็นผลให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกตำแหน่งมีลดลง

- เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสภาพภายในห้องทดลอง นั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากมาย อาจส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาคือหลีกเลี่ยงการนำอุปกรณ์ที่สามารถส่งคลื่นสัญญาณรบกวนเข้าใกล้อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่ง หรือควรจัดสภาพห้องทดลองให้โล่งหรือกว้างเพียงพอที่จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด

- วิธีการตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) นั้นจะสามารถทำการตรวจสอบได้อย่างถูกต้อง ให้ความถูกต้องและความแม่นยำในการจำแนกตำแหน่งมือสูงนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการติดเซนเซอร์ให้อยู่ในลักษณะใกล้เคียงแนวตั้งมากที่สุด และเนื่องจากว่าแนวแกนของเซนเซอร์นั้นอ้างอิงกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จึงเป็นการยากที่จะสามารถติดเซนเซอร์ให้อยู่ในแนวตั้งได้อย่างถูกต้อง ฉะนั้นการปรับเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์วัดองศาการหมุน ทั้งที่อาศัยการเทียบค่ากับสนามแม่เหล็กโลก หรือแบบที่ใช้วัดการเอียง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) และไม่เกิดสัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังสามารถติดตั้งบนอุปกรณ์ที่สามารถพกพาได้ ทำให้เพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานมากขึ้น

- วิธีการตรวจสอบและกำหนดตำแหน่งอ้างอิงในเวลาเดียวกัน (Synchronize the reference point) ที่ใช้ในการทดลองที่ 6.2.4 นั้น เมื่อทำการตรวจสอบได้ว่าแขนท่อนบนอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัวแล้วจะนำค่าข้อมูลของตำแหน่งเซนเซอร์ที่แขนท่อนบน ณ ช่วงเวลานั้นมาใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ซึ่งส่งผลให้ระนาบ yz ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงใหม่ ไม่ขนานกับระนาบ YZ ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น ฉะนั้นเมื่อค่า $threshold$ ที่ใช้ในการตรวจสอบมีค่ามากขึ้น มุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างระนาบทั้ง 2 ก็จะมีมากขึ้นเป็นผลให้การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการจำแนกตำแหน่งของมือมีค่าลดลงตามค่า threshold ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นหากทำการปรับระนาบ yz ของเซนเซอร์เมื่อแทนที่บนบนแนบข้างลำตัว ให้อยู่ในแนวเดียวกับระนาบ YZ ของเซนเซอร์ที่ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอ้างอิง และสามารถเพิ่มค่าความถูกต้องในการจำแนกตำแหน่งมือให้สูงขึ้นได้



รูปที่ 7.1 แสดงแนวแกนของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งแขนแนบข้างลำตัว (x, y, z) กับ แนวแกนของเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (X, Y, Z)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Manjula B. Waldron, Soowon Kim. "Isolated ASL Sign Recognition System for Deaf Persons" **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, vol. 3., no. 3, Sep. 1995.
- [2] Christian Vogler, Dimitris. "Metaxas Toward Scalability in ASL Recognition: Breaking Down Signs into Phonemes" **Gesture Workshop'99**. March 17-19, 1999.
- [3] Jiyong Ma, Wen Gao, Jiangqin Wu, Chunli Wang. "A Continuous Chinese Sign Language Recognition System" **In IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition.**, pp.428-433, 2000.
- [4] Oliver Bimber. "CONTINUOUS 6DOF GESTURE RECOGNITION : A FUZZY LOGIC APPROACH" **Proc. WSCG'99**, Plzen, Czech Republic, vol.1, pp.24-30, Feb. 1999.
- [5] Lee W. Campbell, David A. Becker, Ali Azarbayejani, Aaron F. Bobick, Alex Pentland. "Invariant features for 3-D gesture recognition", **Second International Workshop on Face and Gesture Recognition**, Killington VT Oct. 1996.
- [6] Thomas B. Moeslund, Erik Granum "POSE ESTIMATION OF A HUMAN ARM USING KINEMATIC CONSTRAINTS" **Proc. 12th Scandinavian conference on image analysis (SCIA'01)**, Bergen, Norway, June 11-14, 2001.
- [7] Victor B. Zordan, Jessica K. Hodgins "Tracking and Modifying Upper-body Human Motion Data With Dynamic Simulation" **In Computer Animation and Simulation '99**, Eurographics, pp.13-22, 1999.
- [8] Tanya Tickel, David Hannon, Kevin M. Lynch, Michael A. Peshkin, J. Edward Colgate. "Kinematic Constraints for Assisted Single-Arm Manipulation" **Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation**, Washington DC, May 2002.
- [9] E.V. Biryukova, A. Roby-Brami, A.A. Frolov, M. Mokhtari. "Kinematics of human arm reconstructed from spatial tracking system recordings" **Journal of Biomechanics**. 33. pp.985-995, Elsevier Science Ltd., 2000
- [10] Tom Molen, Ronan Boulic, Daniel Thalmann. "A Real Time Anatomical Converter For Human Motion Capture" **Proc. 7th Eurographics Int. Workshop on Animation and Simulation**, Springer – Verlag, Wien, Sep. 1996.
- [11] Tom Molen, Ronan Boulic, Daniel Thalmann. **Human Motion Capture Driven by Orientation Measurement**. Presence, MIT Press, vol.8,no.2, pp.187-203, April 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] สมาคมคนหูหนวกแห่งประเทศไทย. ปทานุกรมภาษามือไทย ฉบับปรับปรุงและขยายเพิ่มเติม. ไทยวัฒนาพานิช, 1990.
- [13] Virtual Technologies, Inc. **VirtualHand® Software Library Reference Manual**. Aug. 5, 1998.
- [14] Polhemus, Inc. **3SPACE® User's Manual**. May 1993.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว และ เซนเซอร์ 2 ตัว โดยใช้ค่าตำแหน่งพิกัด

ก.1 วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว โดยใช้ค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ ค่าระยะพิกัด y

การจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว จะทำการคิดเซนเซอร์ที่บริเวณข้อมือขวาของผู้ทำท่ามือ

ก่อนเริ่มกระบวนการจำแนกตำแหน่งมือ ผู้ทำท่ามือต้องอยู่ในท่าเริ่มต้น โดยแขนจะอยู่ในลักษณะแนบข้างลำตัว แล้วทำการบันทึกค่าตำแหน่งเริ่มต้น เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับตำแหน่งมือใด ๆ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการจำแนก ซึ่งในกระบวนการจำแนกตำแหน่งมือนั้น จะทำการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ ณ ตำแหน่งมือใด ๆ โดยข้อมูลจะประกอบไปด้วยค่าตำแหน่งพิกัด X, Y และ Z และค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll โดยค่าทั้งหมดจะอ้างอิงกับแนวแกนของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นำมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าในแนวพิกัด X, Y และ Z และค่าองศาการหมุน yaw, pitch และ roll

ก.1.1 ค่าในแนวพิกัด X, Y และ Z

สำหรับข้อมูลในส่วนนี้ จะนำเฉพาะค่าตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y มาใช้ประกอบการจำแนกตำแหน่งมือ เนื่องจากการเคลื่อนไหวของผู้ทำท่ามือในแนวระนาบ เช่น การเคลื่อนย้ายร่างกายไปทางซ้าย - ขวา, เคลื่อนย้ายร่างกายไปด้านหน้า หรือดอยหลัง และการหมุนตัวของผู้ทำท่ามือ ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y โดยจะนำมาหาค่าระยะผลต่างในแนวแกน Y ระหว่างตำแหน่งมือใด ๆ กับตำแหน่งอ้างอิง ดังสมการ (ก.1)

$$v_p = |y_n - y_0| \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ v_p คือระยะผลต่างในแนวแกน Y ระหว่างตำแหน่งมือใด ๆ กับตำแหน่งอ้างอิง

y_n คือค่าตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y ณ ตำแหน่งมือใด ๆ

y_0 คือค่าตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y ณ ตำแหน่งอ้างอิง

แต่สำหรับกรณีผู้ทำท่ามือมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวตั้ง เช่น จากทำยืน ไปสู่ทำนั่ง หรือ

ในทางกลับกัน จำเป็นต้องมีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่ โดยการให้แขนแนบข้างลำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 ค่าองศา yaw, pitch และ roll

สำหรับข้อมูลในส่วนของการหมุน yaw, pitch และ roll นั้น จะใช้เฉพาะค่า yaw และ pitch มาประกอบการจำแนกตำแหน่งมือ เนื่องจาก ณ ตำแหน่งมือใด ๆ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของมือไม่ขึ้นต่อการหมุนข้อมือ นั่นคือ หากมีการหมุนข้อมือเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งมือใด ๆ จะไม่ส่งผลให้ตำแหน่งของมือมีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะการหมุนของข้อมือจะสัมพันธ์กับค่าองศาการหมุน roll โดยตรง ฉะนั้นลักษณะแขน ณ ตำแหน่งมือใด ๆ จึงสามารถระบุได้โดยใช้เฉพาะค่าองศาการหมุน pitch และ yaw ได้ โดยนำค่าที่ได้มาประกอบเป็นเวกเตอร์ดังสมการ (ก.2)

$$v_a = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (\text{ก.2})$$

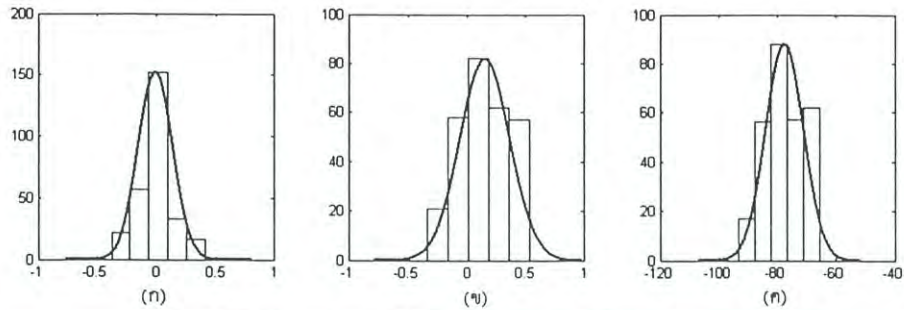
เมื่อ v_a คือเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยค่าองศา yaw และ pitch ณ ตำแหน่งมือใด ๆ

α คือค่าองศาการหมุน yaw ณ ตำแหน่งมือใด ๆ

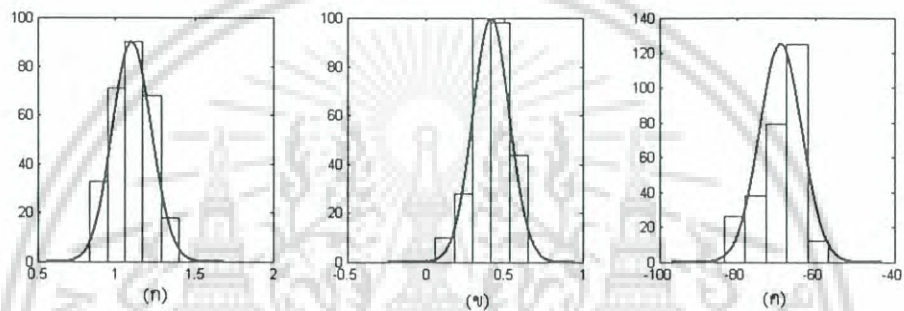
β คือค่าองศาการหมุน pitch ณ ตำแหน่งมือใด ๆ

เมื่อได้ค่าข้อมูล v_p และ v_a แล้วจะนำค่าทั้ง 2 มาประกอบการจำแนกตำแหน่งของมือ เนื่องจากตำแหน่งมือบางตำแหน่งจะมีองศาการหมุนของแขนท่อนล่าง (ที่ติดเซนเซอร์) คล้ายคลึงกัน หรือเหมือนกัน ดังนั้นการใช้เพียงค่าของข้อมูล v_a เพียงอย่างเดียว จะไม่สามารถจำแนกตำแหน่งมือดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง และเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งมือที่มีลักษณะองศาการหมุนของแขนท่อนล่างคล้ายคลึงกัน หรือเหมือนกันนั้น จะมีค่าระยะตำแหน่งพิกัดแนวแกน Y ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้พิจารณาค่า v_p มาร่วมประกอบการจำแนกตำแหน่งมือที่มีลักษณะดังกล่าว

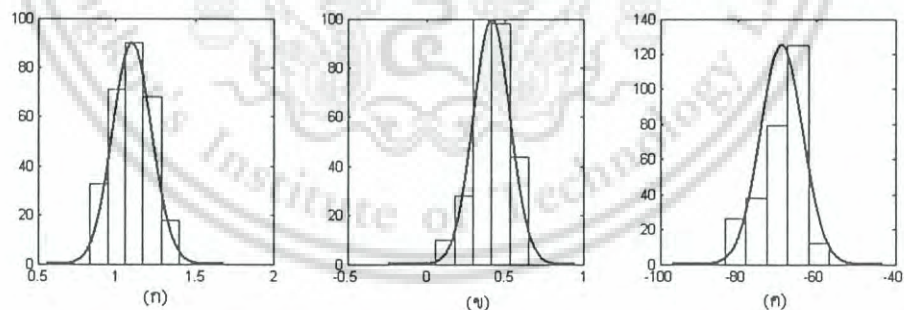
เมื่อพิจารณาแต่ละสมาชิกของเวกเตอร์ v_a และ v_p ในแต่ละตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายดังรูปที่ ก.1 – ก.3 จะพบว่ารูปภาพ Histogram ที่ได้มีแนวโน้มคล้ายการกระจายของเส้นโค้งปกติ



รูปที่ ก.1 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลังศีรษะ (ก) ค่าองศาการหมุน yaw , (ข) ค่าองศาการหมุน pitch และ (ค) ค่าระยะของตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y



รูปที่ ก.2 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหน้าผาก2 (ก) ค่าองศาการหมุน yaw, (ข) ค่าองศาการหมุน pitch และ (ค) ค่าระยะของตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y



รูปที่ ก.3 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งปาก2 (ก) ค่าองศาการหมุน yaw , (ข) ค่าองศาการหมุน pitch และ (ค) ค่าระยะของตำแหน่งพิกัดในแนวแกน Y

ดังนั้น จึงพิจารณาเลือกใช้ รูปแบบการกระจายปกติ (Normal Distribution) มาช่วยในการ จำแนกตำแหน่ง โดย นำค่า μ และ σ มาคำนวณหาค่า Probability Density Function ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหาค่า Probability Density Function กรณีใช้ค่าองศาการหมุน yaw และ pitch (v_a)

$$p(v_a | k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |C|}} e^{-\frac{1}{2}(v_a - \mu)^T C^{-1} (v_a - \mu)} \quad (ก.3)$$

เมื่อ $p(v_a | k)$ คือค่าความน่าจะเป็นของเวกเตอร์ข้อมูล v_a เมื่อกำหนดข้อมูลตำแหน่งมือที่ k โดยที่ k คือข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ และ μ, C คือค่าเฉลี่ย และ เมทริกซ์ของค่าความแปรปรวนร่วม (Covariant Matrix) ของข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือตามลำดับ และ n คือค่ามิติของเวกเตอร์ข้อมูล v_a ซึ่งเท่ากับ 2

- การหาค่า Probability Density Function กรณีใช้ค่าระยะตำแหน่งพิกัดแนวแกน Y (v_p)

$$p(v_p | k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{v_p - \lambda}{\sigma}\right)^2} \quad (ก.4)$$

เมื่อ $p(v_p | k)$ คือค่าความน่าจะเป็นของข้อมูล v_p เมื่อกำหนดตำแหน่งมือที่ k และ λ, σ คือค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือตามลำดับ

เมื่อได้ค่า Probability Density Function ของข้อมูล v_a และ v_p แล้วสามารถที่จะคำนวณหาค่า Probability Density Function ของการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 1 ตัว ดังนี้

- การหาค่า Probability Density Function ของตำแหน่งมือเมื่อกำหนดค่า v_a แล v_p

$$\begin{aligned} p(k_i | v_a, v_p) &= \frac{p(k_i)p(v_a, v_p | k_i)}{p(v_a, v_p)} \\ &= \frac{p(k_i)p(v_a | k_i)p(v_p | k_i)}{p(v_a, v_p)} \\ &= \frac{p(k_i)p(v_a | k_i)p(v_p | k_i)}{\sum_{i=1}^n p(v_a, v_p | k_i)p(k_i)} \end{aligned} \quad (ก.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ความน่าจะเป็นของแต่ละตำแหน่งมือเท่ากันดังนั้น $p(k_i) = 1/n$ เมื่อ n คือจำนวนของข้อมูลตำแหน่งมือ

ดังนั้น

$$p(k_i | v_a, v_p) = \frac{p(v_a | k_i) p(v_p | k_i)}{\sum_{i=1}^n p(v_a, v_p | k_i)} \quad (ก.6)$$

หรือ

$$\Lambda(k_i | v_a, v_p) = \ln(p(v_a | k_i) \cdot p(v_p | k_i)) \quad (ก.7)$$

โดยที่ $\Lambda(k_i | v_a, v_p)$ คือ Likelihood Function ของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ ตำแหน่งที่ i เมื่อกำหนดค่าข้อมูล v_a และ v_p ดังนั้นตำแหน่งมือที่ได้จากการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายคือตำแหน่งที่ i เมื่อค่า $\Lambda(k_i | v_a, v_p)$ ณ ตำแหน่งมือที่ i มีค่าสูงที่สุด

ก.2 วิธีการจำแนกตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าตำแหน่งพิกัด

การวิเคราะห์ตำแหน่งมือด้วยเซนเซอร์ 2 ตัวโดยใช้ค่าตำแหน่งพิกัด นั้นเป็นวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยงานวิจัยของ Jiyong Ma, Wen Gao, Jiangqin Wu และ Chunli Wang [3] ซึ่งใช้ในงานวิจัยระบบแปลภาษามืออัตโนมัติของจีน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้เซนเซอร์ 2 ตัวโดยเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิงจะติดที่ข้อมือขวา แต่วิธีการที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้จะใช้ตำแหน่งที่แขนท่อนบนเป็นตำแหน่งอ้างอิงแทน โดยจะทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงแบบคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการบันทึกข้อมูล สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองจะใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ติดที่บริเวณข้อมือของแขนท่อนล่าง ดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.4 แสดงลักษณะและตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์ 2 ตัว ที่แขนท่อนบน และ แขนท่อนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนเริ่มกระบวนการจำแนกตำแหน่งมือ ต้องทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงก่อน ซึ่งตำแหน่งอ้างอิงจะเป็นตำแหน่งเซนเซอร์ที่ติด ณ แขนท่อนบน เมื่อแขนท่อนบนแนบข้างลำตัว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว ณ ตำแหน่งมือใด ๆ มาหาค่าระยะผลต่างในแต่ละตำแหน่งพิกัดกับตำแหน่งอ้างอิง แล้วนำมาประกอบเป็นชุดข้อมูลดังสมการ (ก.8)

$$v_p = [\Delta x \quad \Delta y \quad \Delta z]^T \quad (\text{ก.8})$$

เมื่อ v_p คือเวกเตอร์ของระยะผลต่างในแต่ละตำแหน่งพิกัดของเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว กับตำแหน่งอ้างอิง

$$\Delta x = x_1 - x_0, \quad \Delta y = y_1 - y_0, \quad \Delta z = z_1 - z_0$$

โดย x_0, y_0, z_0 คือค่าตำแหน่งพิกัด X, Y และ Z ของตำแหน่งอ้างอิง

x_1, y_1, z_1 คือค่าตำแหน่งพิกัด X, Y และ Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่าง

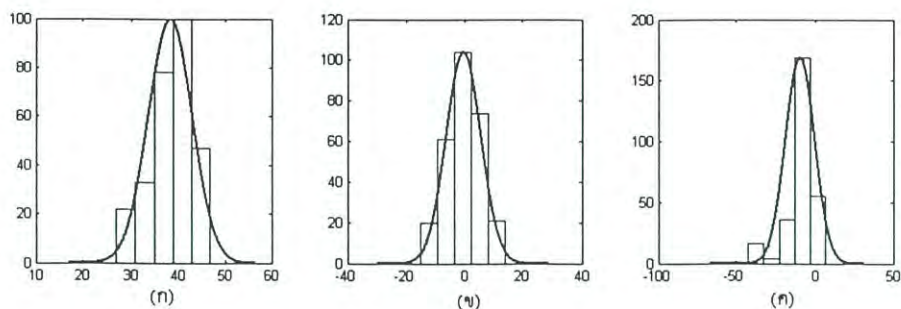
จากนั้นนำค่าเวกเตอร์ v_p มาเปรียบเทียบกับแนวแกนของตำแหน่งอ้างอิงดังนี้

$$v'_p = R \cdot v_p \quad (\text{ก.9})$$

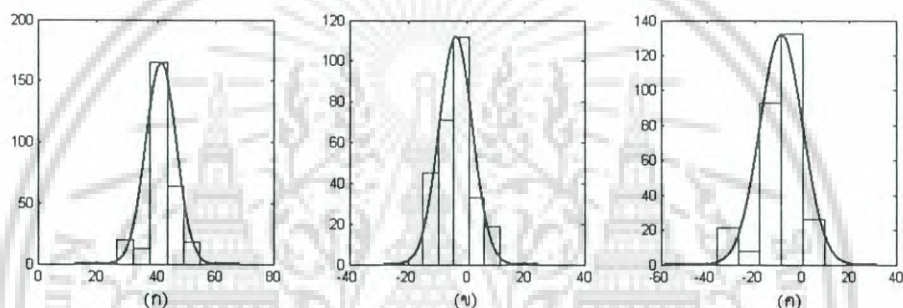
$$\text{โดย } R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ α, β, γ คือค่าองศาที่หมุน yaw, pitch และ roll ตามลำดับ

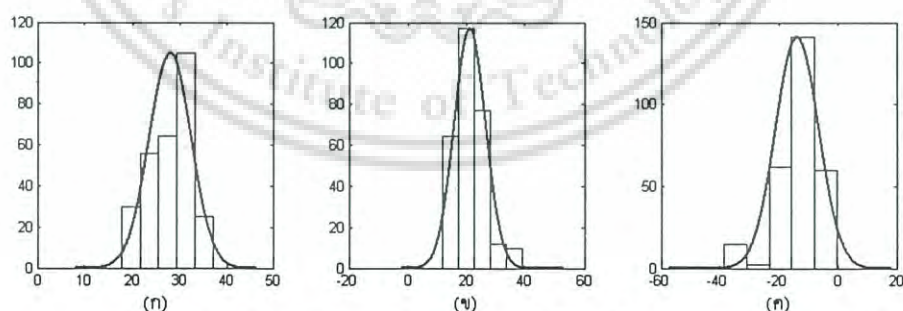
เมื่อพิจารณาแต่ละสมาชิกของเวกเตอร์ v'_p ในแต่ละตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายดังรูปที่ ก.5 – ก.7 จะพบว่ารูปภาพ Histogram ที่ได้มีแนวโน้มคล้ายการกระจายของเส้นโค้งปกติ



รูปที่ ก.5 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลัง (ก) ระยะตำแหน่งพิกัด X , (ข) ระยะตำแหน่งพิกัด Y, (ค) ระยะตำแหน่งพิกัด Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่างเมื่อเปรียบเทียบค่ากับตำแหน่งอ้างอิง



รูปที่ ก.6 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งหลังศีรษะ (ก) ระยะตำแหน่งพิกัด X , (ข) ระยะตำแหน่งพิกัด Y, (ค) ระยะตำแหน่งพิกัด Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อนล่าง เมื่อเปรียบเทียบค่ากับตำแหน่งอ้างอิง



รูปที่ ก.7 Histogram และ เส้นโค้งปกติของมือ ณ ตำแหน่งไหล่ซ้าย (ก) ระยะตำแหน่งพิกัด X , (ข) ระยะตำแหน่งพิกัด Y, (ค) ระยะตำแหน่งพิกัด Z ของเซนเซอร์ที่แขนท่อน เมื่อเปรียบเทียบค่ากับตำแหน่งอ้างอิง

ดังนั้น จึงพิจารณาเลือกใช้ รูปแบบการกระจายปกติ (Normal Distribution) มาช่วยในการ จำแนกตำแหน่ง โดยสามารถหาค่า Normal Probability Density Function ของเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v}'_p เมื่อกำหนดตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายได้ดังนี้

$$p(\mathbf{v}'_p | \mathbf{k}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |\mathbf{C}|}} e^{-\frac{1}{2}((\mathbf{v}'_p - \mu)^T \mathbf{C}^{-1}(\mathbf{v}'_p - \mu))} \quad (\text{ก.10})$$

เมื่อ $p(\mathbf{v}'_p | \mathbf{k})$ คือค่าความน่าจะเป็นของเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v}'_p เมื่อกำหนดข้อมูลตำแหน่งมือ ตำแหน่งที่ \mathbf{k} โดยที่ \mathbf{k} คือข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ และ μ, \mathbf{C} คือค่าเฉลี่ย และ เมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนร่วม (Covariant Matrix) ของข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับ ร่างกายผู้ทำท่ามือตามลำดับ และ n คือค่ามิติของเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v}'_p ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3

จากสมการ (ก.10) ทำให้สามารถหาค่า Normal Probability Density Function ของตำแหน่งมือที่ สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ เมื่อกำหนดค่าเวกเตอร์ข้อมูล \mathbf{v}'_p ดังนี้

$$\begin{aligned} p(k_i | \mathbf{v}'_p) &= \frac{p(\mathbf{v}'_p | k_i) p(k_i)}{p(\mathbf{v}'_p)} \\ &= \frac{p(\mathbf{v}'_p | k_i) p(k_i)}{\sum_{i=1}^n p(\mathbf{v}'_p | k_i) p(k_i)} \end{aligned} \quad (\text{ก.11})$$

กำหนดให้ความน่าจะเป็นของแต่ละตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือเท่ากัน ดังนั้น $p(k_i) = 1/n$ โดยที่ n คือจำนวนของข้อมูลตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ และ k_i คือตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ ณ ตำแหน่งที่ i ดังนั้น

$$p(k_i | \mathbf{v}'_p) = \frac{p(\mathbf{v}'_p | k_i)}{\sum_{i=1}^n p(\mathbf{v}'_p | k_i)} \quad (\text{ก.12})$$

หรือ

$$\Lambda(k_i | \mathbf{v}'_p) = \ln(p(\mathbf{v}'_p | k_i)) \quad (\text{ก.13})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\Lambda(k_i | v'_p)$ คือ Likelihood Function ของตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ ตำแหน่งที่ i เมื่อกำหนดค่าเวกเตอร์ข้อมูล v'_p ดังนั้นตำแหน่งมือที่ได้จากการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกาย คือตำแหน่งที่ i เมื่อค่า $\Lambda(k_i | v'_p)$ ฅ ตำแหน่งมือที่ i มีค่าสูงที่สุด



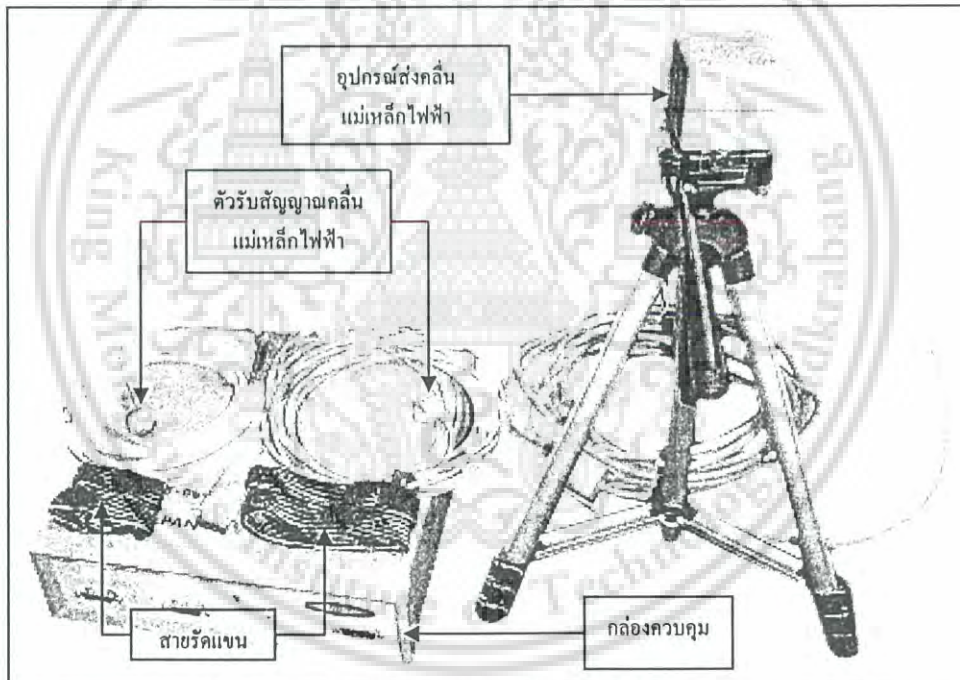
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
การติดตั้งอุปกรณ์ และ
การใช้งานโปรแกรมจำแนกตำแหน่งมือ

ข.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

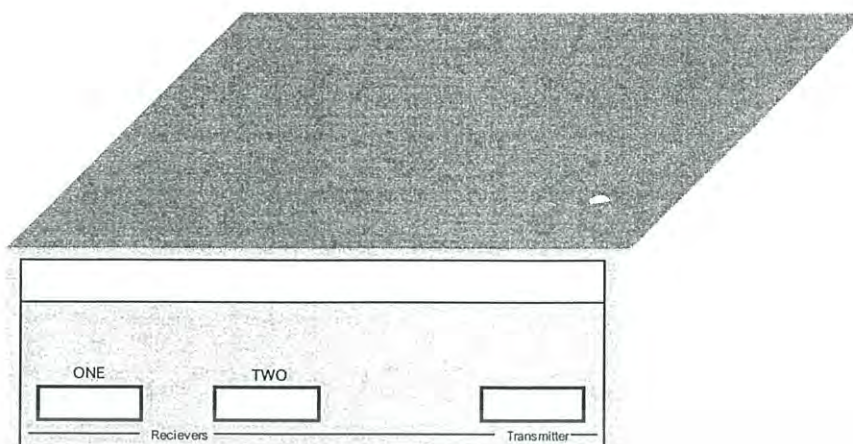
1. กล่องควบคุม (Control Box)
2. อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)
3. ตัวรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver Sensor)



รูปที่ ข.1 อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker)

ในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Tracker) นั้น ตัวรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver Sensor) กับ อุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะต่อเข้ากับกล่องควบคุมซึ่งจะมีช่องสัญญาณสำหรับต่ออุปกรณ์ 3 ช่องสัญญาณด้วยกัน โดยช่องสัญญาณ 2 ช่อง จะใช้ต่อกับตัวรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver Sensor) และ อีก 1 ช่องสัญญาณสำหรับต่อกับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

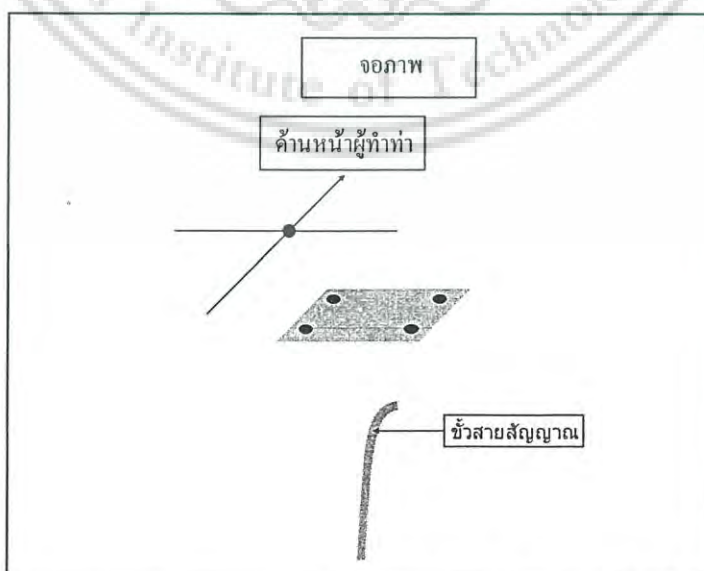


รูปที่ ข.2 กล่องควบคุม (Control Box)

จากรูปที่ ข.2 ช่องสัญญาณ ONE และ TWO นั้นจะใช้สำหรับต่อตัวรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Receiver Sensor) ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ จะต่อเซนเซอร์ที่ใช้ติดแขนท่อนล่างเข้ากับช่องสัญญาณ ONE และต่อเซนเซอร์ที่ใช้ติดแขนท่อนบนกับช่องสัญญาณ TWO และต่อสายสัญญาณของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ากับ ช่องสัญญาณทางขวาสุด

จากนั้นนำเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวติดเข้ากับสายรัดแขน แล้วนำไปรัดเข้ากับแขนของผู้ทำท่ามือ โดยเซนเซอร์ที่ติดแขนท่อนล่างจะรัศมีบริเวณข้อมือของผู้ทำท่ามือ และเซนเซอร์ที่ติดแขนท่อนบนจะรัศมีบริเวณกึ่งกลางแขนท่อนบนของผู้ทำท่ามือ

สำหรับลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) นั้นจะวางโดยให้ด้านที่มีขั้วสายสัญญาณหัน ไปทางด้านหลังของผู้ทำท่ามือ และ ด้านที่มีรูวงกลม 4 รูอยู่ด้านบนดังแสดง ในรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 ตำแหน่ง และ ลักษณะการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตำแหน่งการวางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จะอยู่ด้านหลังทางขวามือของผู้ทำท่ามือ ซึ่งตำแหน่งการยื่นของผู้ทำท่ามือจะต้องอยู่ในช่วงรัศมี 80 เซนติเมตร วัดจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) จึงให้ค่าความถูกต้องสูง

ข.2 การใช้งานโปรแกรมจำแนกตำแหน่งมือ

โปรแกรมจำแนกตำแหน่งมือ หรือ โปรแกรม PosAna (Position Analysis) ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

- เพื่อใช้บันทึกข้อมูลตำแหน่งสำหรับนำไปใช้ในการทดลอง
- เพื่อใช้ทดสอบการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือแบบ Real-Time



รูปที่ ข.4 โปรแกรม PosAna

โปรแกรม PosAna ประกอบไปด้วย 2 หน้าหลัก ๆ ดังนี้

- การบันทึกข้อมูลตำแหน่งมือ
- การจำแนกตำแหน่งมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2.1 การบันทึกข้อมูลตำแหน่งมือ

สำหรับการบันทึกข้อมูลตำแหน่งมือด้วยโปรแกรม PosAna นั้นมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ทำการปรับอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter) ในลักษณะที่ต้องการ (สำหรับกรณีเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปรับเอียงของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) จากนั้นผู้ทำท่า่มือจะต้องอยู่ในท่าเตรียมพร้อมสำหรับการบันทึกข้อมูล โดยอาจจะเป็นการยืน หรือนั่ง ขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี
2. กดปุ่ม Start ที่อยู่ในกรอบ Record เพื่อเริ่มทำการบันทึกข้อมูล
3. การบันทึกจะเริ่มขึ้นมีเสียงบี๊บ (Beep) 1 ครั้ง เพื่อบอกสถานะเริ่มบันทึกข้อมูล และ บี๊บ (Beep) 2 ครั้ง เพื่อบอกสถานะสิ้นสุดการบันทึก โดยลักษณะการบันทึกจะเป็นการบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่องตั้งแต่ตำแหน่งมือที่ 1 จนถึงตำแหน่งมือสุดท้าย โดยจะมีช่วงเวลาประมาณ 2 – 3 วินาที เพื่อให้ผู้ทำท่า่มือเปลี่ยนตำแหน่งของมือไปยังตำแหน่งที่ต้องการบันทึก โดยช่วงเวลาดังกล่าวจะมีข้อความแสดง “เตรียมสำหรับตำแหน่ง” ดังรูปที่ ข.5 และเมื่อเข้าสู่สถานะบันทึกข้อมูล จะแสดงข้อความบอกตำแหน่งที่กำลังบันทึก ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.5 ภาพโปรแกรมก่อนการบันทึกข้อมูลตำแหน่งแขนข้างลำตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 ภาพโปรแกรมขณะบันทึกข้อมูลตำแหน่งแถบข้างลำตัว

4. การบันทึกจะดำเนินไปจนกระทั่งครบทั้ง 35 ตำแหน่ง เมื่อครบตามจำนวน โปรแกรมจะหยุดการบันทึกโดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ ข.7 แต่เนื่องจากการบันทึกเป็นลักษณะการบันทึกต่อเนื่องตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 จนครบทุกตำแหน่ง ดังนั้นหากเกิดการผิดพลาดขึ้น เช่น วางมือผิดตำแหน่ง หรือ ลืมเปลี่ยนตำแหน่งมือ ผู้ทำท่า่มือสามารถยกเลิกการบันทึก โดยการกดที่ปุ่ม Stop เพื่อหยุดการบันทึก จากนั้นให้กดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการบันทึกใหม่อีกครั้ง โดยจะเริ่มบันทึกตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ใหม่



รูปที่ ข.7 ภาพโปรแกรมเมื่อสิ้นสุดการบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการทบทวนเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ที่เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บอยู่ในรูปของ Text File โดยจะมีชื่อตามตำแหน่งที่บันทึกดังแสดงในตารางที่ ข.1 ซึ่ง File ทั้งหมดจะอยู่ใน Folder Data ภายใต้ Folder ของโปรแกรม PosAna

ตารางที่ ข.1 แสดงรายชื่อ File ที่ได้จากการบันทึก

ชื่อ File	คำอธิบาย
1. Abdomen.txt	ตำแหน่งหน้าท้อง
2. Back.txt	ตำแหน่งหลัง
3. Behindhead.txt	ตำแหน่งหลังศีรษะ
4. Buttock.txt	ตำแหน่งบั้นท้าย
5. Cheek.txt	ตำแหน่งแก้ม
6. Chin1.txt	ตำแหน่งคาง1
7. Chin2.txt	ตำแหน่งคาง2
8. Ear.txt	ตำแหน่งหู
9. Eye.txt	ตำแหน่งตา
10. Eyebrows.txt	ตำแหน่งคิ้ว
11. ForeHead1.txt	ตำแหน่งหน้าผาก1
12. ForeHead2.txt	ตำแหน่งหน้าผาก2
13. FrontBesideofFace.txt	ตำแหน่งบริเวณด้านหน้าข้างศีรษะ
14. FrontBesideofTrunk.txt	ตำแหน่งบริเวณด้านหน้าข้างลำตัว
15. FrontFace.txt	ตำแหน่งบริเวณด้านหน้าใบหน้า
16. FrontofTrunk.txt	ตำแหน่งบริเวณด้านหน้าลำตัว
17. Head.txt	ตำแหน่งศีรษะ
18. Hip.txt	ตำแหน่งสะโพก
19. LeftChest.txt	ตำแหน่งหน้าอกซ้าย
20. LeftElbow.txt	ตำแหน่งข้อศอกซ้าย
21. LeftShoulder.txt	ตำแหน่งไหล่ซ้าย
22. Mouth1.txt	ตำแหน่งปาก1
23. Mouth2.txt	ตำแหน่งปาก2
24. Neck.txt	ตำแหน่งคอ
25. Nose.txt	ตำแหน่งจมูก
26. OverHead.txt	ตำแหน่งเหนือศีรษะ
27. RightChest.txt	ตำแหน่งหน้าอกขวา
28. RightElbow.txt	ตำแหน่งข้อศอกขวา
29. RightShoulder1.txt	ตำแหน่งไหล่ขวา1
30. RightShoulder2.txt	ตำแหน่งไหล่ขวา2
31. SideofHead.txt	ตำแหน่งบริเวณด้านข้างศีรษะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

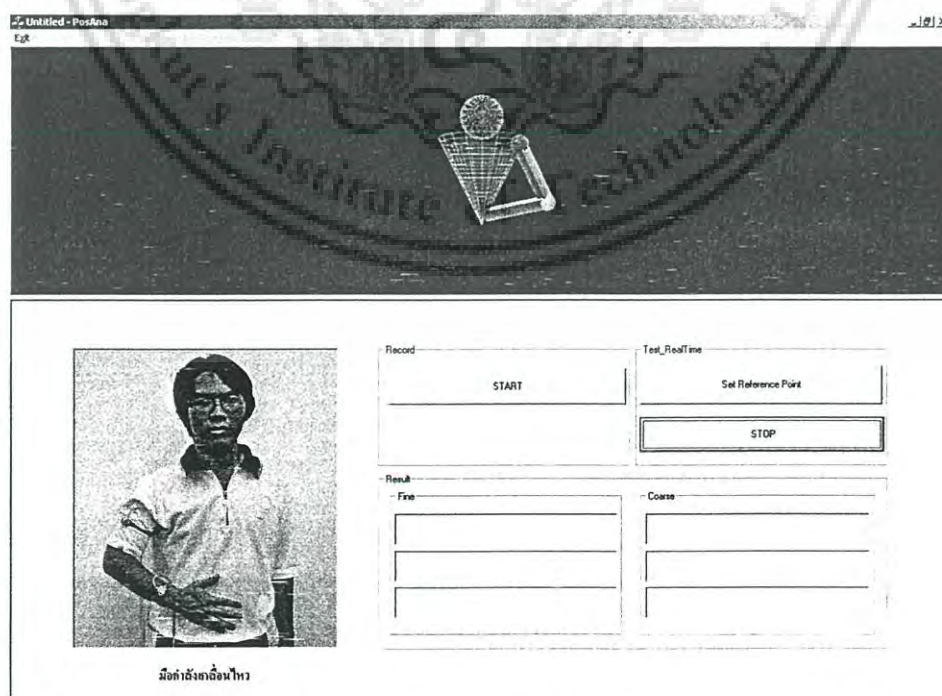
ตารางที่ ข.1 แสดงรายชื่อ File ที่ได้จากการบันทึก (ต่อ)

ชื่อ File	คำอธิบาย
32. SideofTrunk.txt	ตำแหน่งบริเวณด้านข้างลำตัว
33. temple.txt	ตำแหน่งขมับ
34. Waist.txt	ตำแหน่งเอว
35. Zero.txt	ตำแหน่งแนวข้างลำตัว

ข.2.2 การจำแนกตำแหน่งมือ

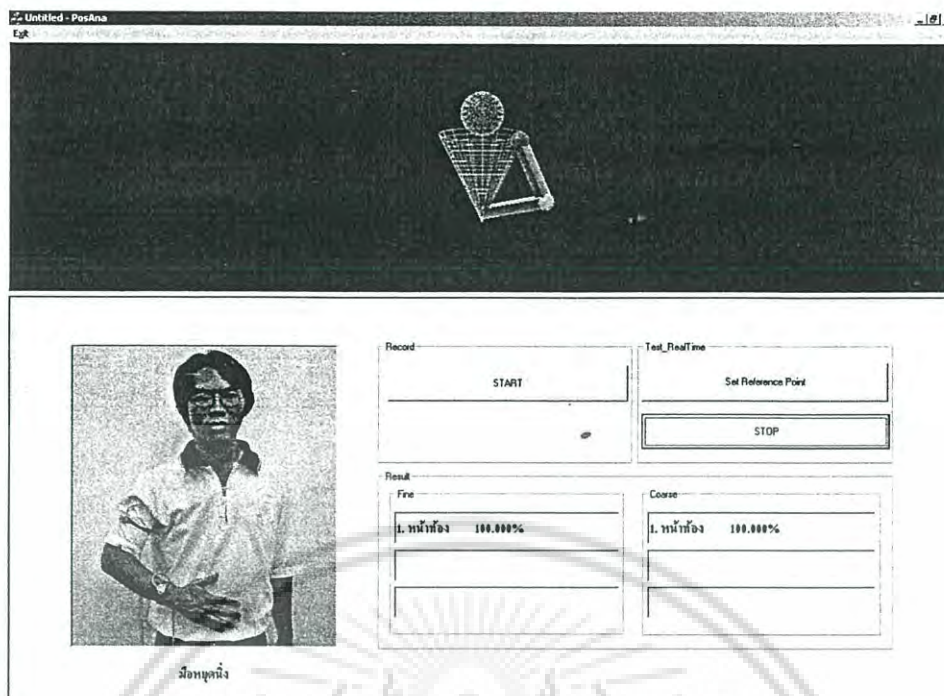
สำหรับการจำแนกตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่าทำมือด้วยโปรแกรม PosAna นั้น มีขั้นตอนดังนี้

1. จัดวางลักษณะของอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามต้องการ โดยจะอยู่ในแนวระนาบ หรือ ปรับเอียง สำหรับกรณีต้องการทดสอบการจำแนกตำแหน่งเมื่อปรับเอียงอุปกรณ์ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. ผู้ทำท่าทำมืออยู่ในลักษณะแขนแนบข้างลำตัว เพื่อทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิง จากนั้น กดปุ่ม Set Reference Point เพื่อทำการบันทึกตำแหน่งอ้างอิง
3. ทำการกดปุ่ม Start ในกรอบ Test_RealTime เพื่อเริ่มเข้าสู่การใช้งานระบบจำแนกตำแหน่งมือแบบ Real – Time โดยการจำแนกตำแหน่งมือนั้นจะเริ่มต้นเมื่อแขนของผู้ทำท่าทำมืออยู่ในลักษณะหยุดนิ่ง ชั่วระยะเวลาหนึ่ง โดยตำแหน่งของมือที่จำแนกได้จะแสดงออกเป็นรูปภาพ และข้อความใน Textbox ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.8 ภาพโปรแกรมขณะจำแนกตำแหน่งมือ เมื่อมือของผู้ทำท่าทำมือกำลังเคลื่อนไหว

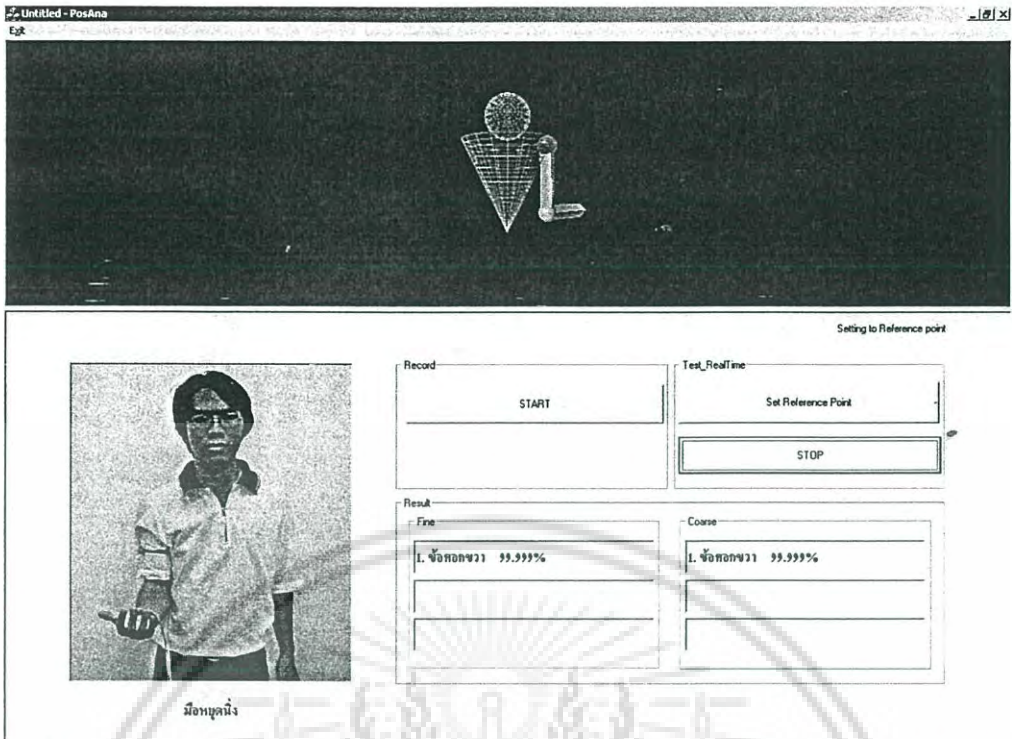
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การเป็นเจ้าของโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 ภาพโปรแกรมขณะจำแนกตำแหน่ง เมื่อกำหนดตำแหน่งมือของผู้ทำท่าทำมือหยุดนิ่ง

จากรูปที่ ข.8 เมื่อกำหนดตำแหน่งหรือแกนของผู้ทำท่าทำมือมีการเคลื่อนไหวไม่หยุดนิ่งจะมีข้อความแสดงได้ภาพว่า “มือกำลังเคลื่อนไหว” และ ถ้าหากมือหรือแกนของผู้ทำท่าทำมือหยุดนิ่งจะมีข้อความแสดงได้ภาพว่า “มือหยุดนิ่ง” พร้อมกับในภาพจะแสดงภาพของตำแหน่งที่จำแนกได้ และ ภายใน TextBox ภายในกรอบ Result จะแสดงข้อความตำแหน่งที่จำแนกได้ โดยใน TextBox ภายในกรอบ Fine จะแสดงตำแหน่งเมื่อทำการจำแนกตำแหน่งแบบละเอียด และ TextBox ภายในกรอบ Coarse จะแสดงตำแหน่งเมื่อทำการจำแนกตำแหน่งแบบหยาบ โดยจะแสดงรายการตำแหน่งที่ใกล้เคียงได้ 3 ตำแหน่ง สำหรับกรณีที่ตำแหน่งนั้น ๆ ไม่สามารถจำแนกได้อย่างถูกต้อง 100%

4. ทุกครั้งที่แกนก่อนบนของผู้ทำท่าทำมืออยู่ในลักษณะแนบชิดข้างลำตัว โปรแกรมจะทำการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงใหม่อัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ ข.10 ซึ่งจะมีข้อความ “Setting to Reference Point” ปรากฏที่มุมบนด้านขวา เหนือกรอบ Test_RealTime และเมื่อแกนก่อนบนของผู้ทำท่าทำมือไม่อยู่ในลักษณะแนบชิดข้างลำตัว ข้อความดังกล่าวก็จะหายไป



รูปที่ ข.10 ภาพ โปรแกรมเมื่อแขนท่อนบนของผู้ทำท่ามืออยู่ในลักษณะแนบชิดข้างลำตัว

- เมื่อต้องการสิ้นสุดการใช้งานสามารถกดปุ่ม Stop จากนั้น โปรแกรมจะทำการหยุดกระบวนการจำแนกตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. สุรเวช อิงประเสริฐ, นพพร โชติกคำธร. “การแก้ปัญหาความคลุมเครือของตำแหน่งในระบบการแปลภาษามืออัตโนมัติโดยใช้ 6 - DOF ของ Tracker” การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 (EECON – 25), เล่ม 2, หน้า 57 – 61

**การประชุมวิชาการ
ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25
25th Electrical Engineering Conference
(EECON - 25)**

21-22 พฤศจิกายน 2545
ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Volume II

สาขาบทความ

- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และ
เทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

ดำเนินการจัดการประชุมโดย
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาคงความคลุมเคลือของตำแหน่งในระบบการแปลภาษามืออัตโนมัติโดยใช้ 6-DOF ของ Tracker

Resolving Absolute Location Ambiguities in Automated Sign Language Translation Using 6-DOF

Tracker

สุรเวช อึ้งประเสริฐ, นพพร ไรติกถาวร

คณะ เทคโนโลยีสารสนเทศ และ สำนักวิจัยการสื่อสาร และเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

โทร 0-2510-3042 E-mail: wej00@hotmail.com, s3067039@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในภาษามือตำแหน่งของมือที่อ้างอิงกับตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือนั้นมีความสำคัญมาก ดังนั้นในการแปลภาษามืออัตโนมัติจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ท่าวิธีในการจำแนกตำแหน่งบนร่างกายออกมาให้ชัดเจน เพื่อลดความกำกวมของตำแหน่งที่อาจเกิดขึ้นจากการทำท่ามืองานวิจัยฉบับนี้นำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์จากความสามารถในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์แบบ 6-DOF (degree of freedom) ของ tracker มาใช้แก้ปัญหาคงความคลุมเคลือที่แท้จริงบนร่างกายของผู้ทำท่ามือ

Abstract

In sign languages, hand position relative to different parts of a speaker's body plays a crucial role in gesture communication. Therefore in automating sign language translation, analysis and detection of hand position as related to various body parts is required to alleviate possible sign of ambiguities. This research proposes the use of additional degrees of freedom (pitch, yaw, and roll) available in a 6-DOF tracking device to solve the ambiguity problem as mentioned. The device is part of the hand acquisition equipment used in an automated Thai sign language translation system. Real data obtained from various speakers performing Thai sign language gestures and postures, has been used for the analysis. The results are included to demonstrate the proposed method's performance.

Key word: Gesture Recognition, Sign Language, 6-DOF, Cyber Glove, Tracker

1. บทนำ

ภาษามือไทย เป็นภาษาที่ใช้สื่อสารระหว่างคนปกติกับคนหูหนวกหรือระหว่างคนหูหนวกด้วยกัน ซึ่งภาษามือไทยนั้นมีโครงสร้างพื้นฐานที่คล้ายคลึงกับภาษามืออื่น ๆ ดังนี้

ภาษามือไทยประกอบด้วย 4-องค์ประกอบพื้นฐานหลักๆ ดังนี้

1. รูปร่างมือ (Hand shape or Posture)
2. การหมุน หรือหักข้อมือ (Orientation of palm)
3. ตำแหน่งของมือที่อ้างอิงกับร่างกายผู้ทำท่ามือ (Location)
4. ทิศทางการเคลื่อนไหวของมือ (Hand Movement)

ในแต่ละองค์ประกอบนั้นสิ่งที่มีความสำคัญต่อความหมายของท่ามือในภาษามือทั้งสิ้น โดยรูปร่างนั้นสามารถใช้ค่าของ Sensor ที่มีอยู่ในแต่ละข้อคือนิ้วมือ ของ Data Glove นำมาวิเคราะห์หารูปร่างที่ถูกต้องได้ในขณะที่ การหมุนหรือหักข้อมือ ก็สามารถใช้ค่า 3-DOF (degree of freedom) จาก Sensor ของ Tracker (Roll) และ จาก Data Glove (Pitch, Yaw) วิเคราะห์หารูปร่างการหมุนหรือหักข้อมือได้ ส่วน ทิศทางการเคลื่อนไหวของมือนั้น สามารถวิเคราะห์ได้จาก การเปลี่ยนตำแหน่งของมือ โดยใช้ 3-DOF (X, Y, Z Axis) ของ tracker วิเคราะห์หารูปร่างแบบทิศทาง การเคลื่อนไหวของมือ ดังนั้นสิ่งหนึ่งที่เป็นปัญหาที่นำมาสู่การทดลองในครั้งนี้ คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถใช้ข้อมูลจาก 6-DOF (X, Y, Z Axis and Pitch, Yaw, Roll) มาใช้ในการตรวจสอบหาค่าตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือได้ เนื่องจากภาษามือไทยบางคำ ตำแหน่งของมือที่อ้างอิงกับตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือสามารถใช้สื่อถึงความหมายเฉพาะได้

จวบจนปัจจุบันได้มีงานวิจัยต่าง ๆ มากมายเกี่ยวกับ Gesture recognition Sign Language ทั้งที่เป็นงานวิจัยการแปลภาษามืออัตโนมัติที่ใช้ กล้องวิดีโอ และ งานวิจัยที่ไร้ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ โดยในส่วนของงานวิจัยที่ใช้กล้องวิดีโอ [1 - 2] นั้นจะเป็นงานวิจัยที่ใช้กล้องหลายตัวในการบันทึกภาพ ของผู้ทำท่ามือ แล้วนำมาทำ Image segmentation และ Pattern recognition โดยบางงานวิจัยให้ผู้ใช้สวม Color Glove เพื่อทำการแยกส่วนของรูปร่างมือ อีกทั้งได้มีการทำ Image tracking เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทิศทาง การเคลื่อนไหวของมือในรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงการหาตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับตำแหน่งบนร่างกายของผู้ทำท่ามือ แต่ปัญหาของการทำ Image tracking คือ การที่ผู้ทำท่ามือจะต้องอยู่นิ่ง ๆ ขณะที่ทำ Image segmentation ไม่เช่นนั้น จะต้องทำการ Segmentation

frame ข้อมูลอยู่เรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้ระบบทำงานได้ช้า และได้ความถูกต้องต่ำ อีกทั้งยังต้องใช้กล้องอย่างน้อย 2 ตัวในการบันทึกภาพที่ได้ เพื่อสร้างระบบ 3D Image tracking ขึ้นมา ข้อเสียอีกข้อ คือ เมื่อมีการเปลี่ยนผู้ทำท่ามือ จะต้องทำการ Calibration ตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือใหม่ เพื่อระบุตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกายของผู้ทำท่ามือนั้น ๆ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการแปลภาษามืออัตโนมัติโดยใช้ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ เช่น Cyber Glove [3 - 4] นั้นจะใช้ Tracker และ Data Glove (Cyber Glove หรือ Power Glove) โดยระบบจะรับค่า Sensor จาก Data Glove มาทำการวิเคราะห์หาความถูกต้องของรูปมือ ลักษณะการหมุนหรือหักข้อมือ รวมไปถึงการนำชุดของข้อมูล มาวิเคราะห์หารูปแบบและทิศทางของการเคลื่อนไหวของมือ [5] โดยนำข้อมูลที่ได้จาก 6-DOF มาสร้าง Vector เพื่อสร้างรูปแบบทิศทางของการเคลื่อนไหวในระบบ 3D ขึ้นภายใต้ Boundary Box ที่สร้างขึ้น เพื่อจำกัดขอบเขตของการเคลื่อนไหวของมือที่เป็นไปได้ แล้วทำการวิเคราะห์หาลักษณะการเคลื่อนไหวของมือ ในระนาบ 3 มิติ ในส่วนของการวิเคราะห์ตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือนั้น จะอาศัยวิธีการ Calibration ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนร่างกาย แล้วสร้าง Boundary Box ขึ้นเพื่อไว้ตรวจสอบตำแหน่งของมือ ที่เกิดขึ้น ว่ามีอยู่ ณ บริเวณใดของตำแหน่งบนร่างกาย ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อดีตรงที่มีความถูกต้องแน่นอนในการเปรียบเทียบตำแหน่งของมือที่สัมพันธ์กับตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือ แต่ข้อเสียของวิธีนี้อยู่ที่ความยุ่งยากในการทำ Calibration ซึ่งจะพบว่าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงผู้ทำท่ามือ หรือเปลี่ยนตำแหน่ง เช่น ยืน หรือนั่ง จะต้องทำการ Calibration ใหม่ ส่วนข้อเสียอีกข้อคือ ตำแหน่งที่ใช้ในการ Calibration นั้นมีจำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณใบหน้าผู้ทำท่ามือ เช่น หู, ตา, จมูก, ปาก เป็นต้น ซึ่งการที่จะทำการแปลภาษามือ จำเป็นที่จะต้องทำการ Calibration ตำแหน่งต่าง ๆ เหล่านี้ก่อน จึงเสียเวลาในการ Calibration และมีขั้นตอนมากเกินไป

2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาคอมพิวเตอร์ของการอ้างอิงตำแหน่งมือที่สัมพันธ์กับร่างกายผู้ทำท่ามือ โดยใช้ประโยชน์จาก 6-DOF ของ Tracker เพื่อแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

1. ลดขั้นตอนการทำ Calibration ตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือ
2. เพื่อนำค่า 6-DOF tracker มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดในการตรวจสอบตำแหน่งมือกับร่างกายผู้ทำท่ามือ
3. เพื่อนำไปสู่การสร้างระบบแปลภาษามือ ที่สะดวกและง่ายในการใช้งานกับคนหูหนวก

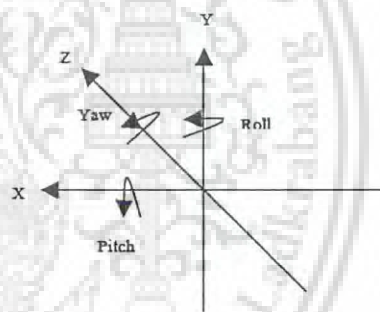
3. หลักการและแนวความคิด



รูปที่ 1 เซนเซอร์จำนวน 22 ตัว ของ Cyber Glove

อุปกรณ์ถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ นั้นประกอบด้วย เซนเซอร์จำนวน 22 ตัว และยังมี เซนเซอร์ ที่ทำหน้าที่อ้างอิงกับ ตำแหน่งของ Tracker อยู่ด้วย ซึ่งจะ ให้ค่า 6-DOF (X, Y, Z Axis and Roll, Pitch, Yaw) ของตำแหน่งแกน ซึ่งค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเคลื่อนไหวของมือไปในทิศทางตามแนวทั้ง 6 ในระนาบ 3D ดังรูปที่ 2

เมื่อพิจารณาจากลักษณะของค่าจาก 6-DOF แล้วจะพบว่า มีค่าที่ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการยืนหรือนั่งของผู้ทำท่ามืออยู่ 3 ค่าคือ Pitch, Yaw, Roll ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลองเพื่อหาข้อสรุปว่าค่าทั้ง 3 นี้เพียงพอต่อการใช้ระบุตำแหน่งของมือที่อ้างอิงกับตำแหน่งบนร่างกายผู้ทำท่ามือหรือไม่



รูปที่ 2 6-DOF ของ Tracker ซึ่งประกอบไปด้วยค่าในแนวแกน X, Y, Z และมุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 (Pitch, Roll, Yaw)



รูปที่ 3 รูปมือที่อ้างอิงตำแหน่งในร่างกาย โดย (a) eye location (b) nose location (c) mouth location

จากรูปทั้ง 3 ด้านบนจะเป็นท่ามือที่ใช้ระบุตำแหน่งบนร่างกาย ซึ่งตำแหน่งมีความสำคัญต่อความหมายของคำในภาษามือ โดยจากรูปจะเป็นตำแหน่ง ตา, จมูก, ปาก ซึ่งให้ความหมายบ่งบอกถึงตำแหน่งที่วี และจากรูปจะพบว่าค่าของ Pitch, Yaw, Roll จะมีค่าของมุมที่แตกต่างกัน ซึ่งเราจะใช้ค่าทั้ง 3 นี้มาวิเคราะห์เพื่อใช้จำแนกตำแหน่งบนร่างกายต่อไป

4. การทดลอง

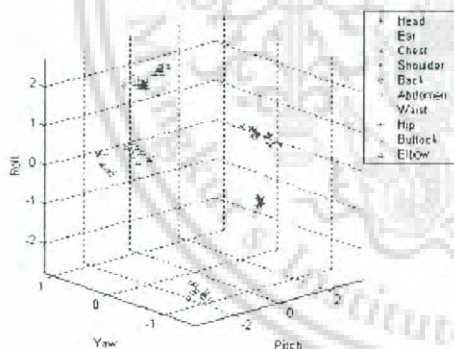
ในการทดลองได้ทำการเลือกท่ามือต่าง ๆ จากภาษามือไทย โดยเลือกมาจำนวนทั้งสิ้น 16 ท่ามือ ซึ่งแต่ละท่ามือจะระบุตำแหน่งบนร่างกายทั้งหมด 16 ตำแหน่ง โดยแต่ละท่ามือจะทำการ เก็บข้อมูล 10 ครั้ง ซึ่งจะได้ข้อมูลทั้งสิ้น 160 ข้อมูล ซึ่งตำแหน่งที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ศีรษะ, ตา, หู, จมูก, ปาก, แก้ม, คาง, คอ, หน้าอก, ไหล่, หลัง, ข้อศอก, หน้าท้อง, เอว, สะโพก และ ก้น ซึ่งจะทำการรับค่า 6-DOF จาก Tracker แล้วนำมา Plot กราฟ

การทดลองได้ทำการจำแนกตำแหน่งบนร่างกายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 คือ ศีรษะ, หู, หน้าอก, ไหล่, หลัง, ข้อศอก, หน้าท้อง, เอว, สะโพก และ ก้น และ กลุ่มที่ 2 ได้แก่ ตา, จมูก, แก้ม, ปาก, คาง และ คอ

สาเหตุที่ต้องทำการแบ่งกลุ่มของตำแหน่งออกเป็น 2 กลุ่ม เนื่องจากตำแหน่งของกลุ่มที่ 1 นั้นมีความแตกต่างในเรื่องของตำแหน่งที่ชัดเจน

4.1 การทดลองข้อมูลกลุ่มที่ 1

ตำแหน่งในกลุ่มที่ 1 นี้จะใช้ค่ามุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 คือ Pitch, Yaw และ Roll ในการพิจารณาความแตกต่างของตำแหน่งของมือที่อ้างอิงกับตำแหน่งบนร่างกาย ซึ่งผลที่ได้จะได้ออกมาดังกราฟด้านล่าง

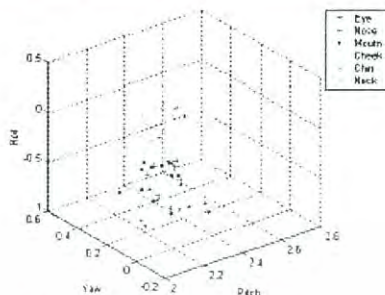


รูปที่ 4 ค่าที่ได้จากมุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 แกน (Pitch, Yaw, Roll) จากตำแหน่งบนร่างกาย 10 ตำแหน่ง

จากรูปจะพบว่า ค่าจากมุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 แกน นั้น ค่าที่ได้จะเกาะกลุ่ม และแต่ละกลุ่มนั้นจะแบ่งแยกจากกันชัดเจน

4.2 การทดลองข้อมูลกลุ่มที่ 2

ตำแหน่งในกลุ่มที่ 2 นั้นเป็นตำแหน่งที่อยู่บริเวณใบหน้า ซึ่งตำแหน่งในกลุ่มนี้ จะมีความใกล้เคียงกันในเรื่องของตำแหน่ง ซึ่งเมื่อนำเอาค่ามุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 มาทำการ Plot กราฟ จะได้ผลลัพธ์รูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าที่ได้จากมุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 แกน (Pitch, Yaw, Roll) จากตำแหน่งบนร่างกาย 6 ตำแหน่ง

จากรูปจะพบว่า ข้อมูลที่ได้เมื่อนำมา Plot กราฟ กลุ่มของข้อมูลจะอยู่รวมตัวกัน ไม่สามารถแบ่งแยกกลุ่มได้ชัดเจน เนื่องจากค่าของตำแหน่งมีความใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจากกราฟ จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการแบ่งแยกออกเป็น 2-กลุ่ม คือ กลุ่ม ตา, จมูก, ปาก และ แก้ม กับ กลุ่ม คาง และ คอ

ดังนั้นการใช้เพียงค่า มุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 จึงไม่เพียงพอที่จะใช้ในการจำแนกตำแหน่งที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้ เพราะฉะนั้นเราจึงจำเป็นต้องพิจารณาหา องค์ประกอบอื่น ที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลเพิ่มในการจำแนกตำแหน่งต่าง ๆ เหล่านี้

ในการทดลองในส่วนของกลุ่มที่ 2 นี้ได้ทำการเก็บค่าของข้อมูลจาก Tracker ทั้งมือซ้ายและมือขวา โดยมือขวาจะใช้ในการชี้หรือระบุตำแหน่งบนร่างกาย ในขณะที่มือซ้ายจะปล่อยแขนเหยียดตรง แนบลำตัว หลักการคือ เราจะใช้ตำแหน่งพิคค ในแนวแกน X, Y, Z มาช่วยในการพิจารณาค่าของมือ เพิ่มจากค่ามุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 แกน ซึ่งตำแหน่งพิคคนี้ จะเป็นตำแหน่งที่สัมพันธ์กันระหว่าง มือ ซ้ายและมือขวา โดย นำค่าพิคคที่ได้มาหาค่าความแตกต่างของพิคคมือซ้ายและมือขวา ดังนี้

$$Xdif = XR - XL \tag{1}$$

$$Ydif = YR - YL \tag{2}$$

$$Zdif = ZR - ZL \tag{3}$$

เมื่อ XR, YR, ZR คือ ค่าพิคคในแนวแกน X, Y, Z ของมือข้างขวา
XL, YL, ZL คือ ค่าพิคคในแนวแกน X, Y, Z ของมือข้างซ้าย

X_{diff} , Y_{diff} , Z_{diff} คือค่าความแตกต่างของพิกัดของมือข้าง
ขวาและมือข้างซ้ายในแนวแกน X, Y, Z

จากข้อมูลที่ได้จากมุมหมุนรอบแกนทั้ง 3 แกน จะนำมาหาค่าข้อ
สำคัญ เพื่อที่จะทำการลดจำนวนของข้อมูล จาก Vector 3 มิติ ให้อยู่ในรูป
2 มิติ เพื่อที่จะนำค่าตำแหน่ง พิกัดเข้าไปแทรก เพื่อที่จะนำไป Plot กราฟ
3 มิติ ได้

การหาค่าข้อสำคัญของ ชุดข้อมูลทำได้ดังนี้

$$R = A * A^T \quad (4)$$

$$R = U * S * V^T \quad (5)$$

เมื่อ R คือ Singular Matrix

A คือ Matrix ของข้อมูล ในที่นี้มีขนาด $n \times m$ เมื่อ n คือค่าของข้อ
มูล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 และ m คือจำนวนชุดของข้อมูลในที่นี้มีค่าเท่ากับ 6

A^T คือ Transpose Matrix ของ Matrix A

U และ V คือ Matrix ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

S คือ Diagonal Matrix

จากสมการด้านบน จะได้ Singular Matrix R มีขนาด 3×3 ซึ่งเมื่อนำ
ไปสู่ขั้นตอน Principle Component Analysis จะได้ Diagonal Matrix S
ซึ่งจะนำมาพิจารณาค่า โดยค่า S ที่มีค่ามากถือว่ามีความสำคัญสูง ในขณะที่
ค่าต่ำ จะถือว่ามีความสำคัญต่ำ เมื่อนำ Matrix S มาพิจารณาว่า ค่าในแถวใด
ใน Matrix S ที่มีค่าน้อยที่สุด แล้วทำการตัดค่าในแถวของ Matrix U ออก
ซึ่งจะส่งผลให้ Matrix U มีขนาดเท่ากับ 2×3 จากนั้นเข้าสู่สมการค่า
Matrix ของข้อมูลใหม่ดังนี้

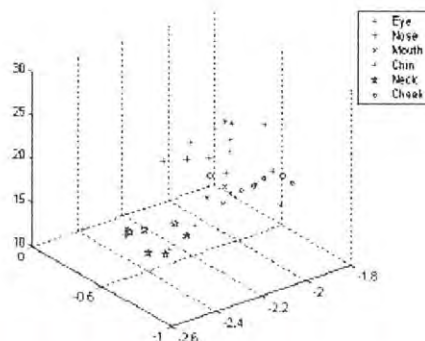
$$A_{new} = U * A_{old} \quad (6)$$

เมื่อ A_{new} คือ Matrix ของข้อมูลเดิม ซึ่งมีขนาด 3×6

U คือ Matrix ที่ได้ จากขั้นตอนการ Principle Component
Analysis ซึ่งมีขนาด 2×3

A_{new} คือ Matrix ข้อมูลใหม่ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 2×6

ซึ่งเมื่อเราได้ค่าของ Matrix A ใหม่แล้ว เราจะนำค่า พิกัดที่ได้จาก
สมการที่ (1-3) ซึ่งเมื่อพิจารณาพิกัดทั้ง 3-แกนจะเลือกเอาพิกัด Y มา
ทำการแทรกในชุดข้อมูล A_{new} ซึ่งจะทำให้ มีขนาด 3×6 จากนั้นนำมา
Plot กราฟ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กลุ่มข้อมูลที่ได้จากการเพิ่มค่า พิกัด Y ในชุดข้อมูลเดิม

จากรูปที่ 6 จะพบว่าเมื่อเพิ่มข้อมูลของพิกัด Y เข้าไปในชุดข้อมูล
เดิม ทำให้กลุ่มของข้อมูลซึ่งเดิมเกาะกลุ่มกันนั้น แยกออกชัดเจน แต่
จากกราฟ จะเห็นว่า ตำแหน่ง ปาก กับ แก้ม และ คาง กับ คอ กลุ่มของข้อ
มูลยังอยู่เกาะกลุ่ม กัน อยู่ ซึ่งอาจเนื่องมาจาก ความต่างในแนวแกน Y ที่
ใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้การเพิ่มพิกัด Y เข้าไปในชุดข้อมูลเดิม ไม่สามารถ
จำแนกข้อมูลของทั้ง 4 ตำแหน่งนี้ได้

5. สรุป

จากการทดลอง จะพบว่า เราสามารถนำเอา 6-DOF ของ
Tracker มาใช้ในการพิจารณาตำแหน่งบนร่างกายของคู่ทำท่ามือได้ โดย
ถ้าเป็นตำแหน่งที่แบ่งแยกความแตกต่างชัดเจน เช่น ศีรษะ, หู, หน้าอก,
ไหล่, หลัง, ข้อศอก, หน้าท้อง, เหว, สะโพก และ ก้น นั้นเราสามารถใส่ค่า
มุมหมุนรอบแกนทั้ง 3-แกน ในการจำแนกความแตกต่างของแต่ละ
ตำแหน่งได้ ส่วนในกรณีตำแหน่งที่ไม่สามารถแบ่งแยกได้ชัดเจน เช่น
ตำแหน่งที่อยู่บริเวณใบหน้า เช่น แกะ, จมูก, แก้ม, ปาก, คาง และ คอ
นั้น เราจำเป็นต้องนำ ค่าพิกัดของตำแหน่ง ของมือที่สัมพันธ์ระหว่าง
มือทั้ง 2 ข้างมาประกอบการพิจารณา ซึ่งจากการทดลองนำค่าพิกัด Y มา
ร่วมพิจารณา ทำให้สามารถจำแนกตำแหน่ง คาง, ปาก, จมูก, คาง ออกจาก
กันได้ แต่ก็ยังมี ตำแหน่ง คาง กับ คอ และ แก้ม กับ ปาก ที่การนำเพียง
พิกัด Y มาร่วมพิจารณา ไม่เพียงพอ ซึ่งอาจต้องนำค่าพิกัดอื่นนอกจากนี้
มาประกอบการพิจารณาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] J. K. Aggarwal and Q. Cai "Human Motion Analysis: A Review"
Computer Vision and Image Understanding: CVIU, 1999, V. 73,
No. 3, pp. 428 – 440.
[2] Cbdras, C., Shah, M. "Motion-based recognition: a survey"
Image

- and *Vision Computing*, March, 1995, V. 13, No. 2, pp. 129-155.
- [3] Manjula B. Waldron "Isolated ASL Sign Recognition System for Deaf Persons" *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, September, 1995, Vol. 3, No. 3, pp. 261 – 271.
- [4] Christian Vogler and Dimitris Metaxas "Toward Scalability in ASL Recognition: Breaking Down Sign into Phonemes" *Gesture Workshop '99*, Gif-sur-Yvette, France, March 17 – 19, 1999.
- [5] Oliver Bimber "Continuous 6DOF Gesture Recognition: A Fuzzy Logic Approach" *Fraunhofer Institute for Computer Graphics*, Rostock, Germany

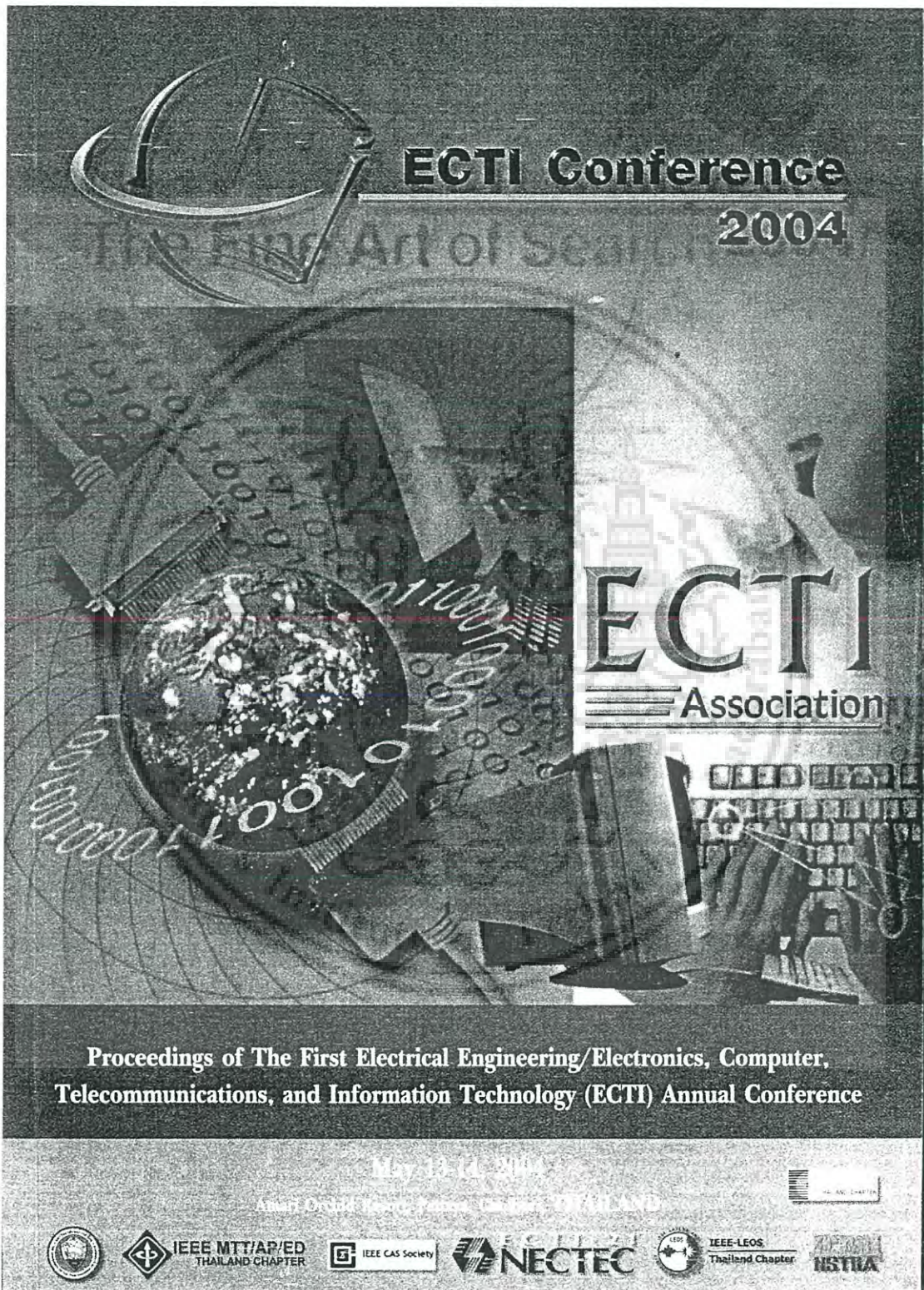


สุรเวช ชั่งประเสริฐ จบปริญญาตรี สาขาวิศวกรรม
ชลประทาน จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี
2542, ปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาโท คณะ
เทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



นพพร โชคดีอักษร จบปริญญาเอก สาขา Electrical
and Electronic Engineering (Signal Processing) จาก
Imperial College, London, ปี 1996. ปัจจุบันเป็นอ
จารย์ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และหัวหน้า
ห้องปฏิบัติการ Multimedia and Virtual Research
Laboratory สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง งานวิจัยได้แก่ signal processing
techniques และ งาน ใน ด้าน multimedia data
security, multimedia wireless communications,
virtual reality.

2. Surawej Eungprasert and Nopporn Chotikakamthorn. "Absolute Location Invariant Features for Hand Posture Recognition" ECTI Conference 2004, pp. 483 - 486



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Location Invariant Features for Hand Posture Recognition

Surawej Eungprasert and Nopporn Chotikakamthorn

Faculty of Information Technology & Research Center for Communication and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand, e-mail: s3067039@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Hand posture recognition is applied in various research areas such as sign language automated translation system, and manual-based human-computer interface. One of the problems found in hand posture recognition is due to change of user body location while using the system. In this paper, by using certain positional and orientation measures obtained from the 6-DOF location sensing device, a hand posture feature which is invariant to change of user's absolute body location is derived. This invariance property is achieved due to the constraints imposed by human hand kinematics, as well as by the feasible range of hand postures allowed by most sign languages. Experiments using real measurements are included.

Keywords: Posture Recognition, Sign Language Translation, Gesture Recognition

1. INTRODUCTION

There have been many research works dealing with localization of various human-body parts (such as hand). Those studies may be divided into two different approaches, namely the vision-base and instrument-base (using an electromagnetic or alike tracker) ones. Examples of methods using the second approach include those of [1-3], while the methods in [2, 4-5] applied the first approach.

Manjula B. Waldron [1] used x, y and z axis values as measured by using a 6-DOF electromagnetic tracker to identify a hand location relative to a human body. He divided body location into 10 areas based on the standard defined by the American Sign Language (ASL). Backpropagation Neural Network was used in [1] for automated classification. In [3], Oliver Bimber divided a human body into different areas. Each area was defined by means of a boundary box. Classification of a hand position relative to human body was performed based in the 3-dimensional location information (x, y and z coordinates) using an electromagnetic tracker.

In [4], Britter Bauer and Hermann Hienz used a video camera, in combination with a color-marked glove to collect hand posture and positional information. Hand location was identified relative to a main body trunk, by means of vision-based image processing. Christian

Vogler and Dimitris Metaxas [2, 5] used a video camera in combination with a 6-DOF magnetic tracker, to obtain hand position. In their papers, a Hidden Markov Model was used for posture recognition.

One practical problem associated with the hand posture recognition arises when a user changes his body location (e.g., from sitting to standing up). Most research works assume that a user main body position remains fixed throughout the system usage period. This paper presents a solution to this problem. Because the system under study uses a 6-DOF electromagnetic tracker to collect 3-D hand positions. Unlike other works using this tracker-based approach, the method described here utilizes certain tracker measures from all 6-DOF positional information. The proposed hand posture features are found to be invariant to change of a user's main body position, thus avoiding the need for repeating the registration of human body position while using the system. The paper is organized as follows: Brief general information about Thai sign language is described in Section 2. Next, a hand posture feature based on tracker 6-DOF information is described in Section 3. Experimental result with real measured data is provided in Section 4.

2. THAI SIGN LANGUAGE AND DATA ACQUISITION

Hand position relative to a human body is an important information required by an automated (Thai) sign language translation system. The same hand posture at different difference location may convey different message. In this research, a human body is divided into 20 different location areas, as defined by [6]. These areas are abdomen, back, head, buttock, cheek, chin, chin2, ear, eye, hip, chest, elbow, left shoulder, right shoulder, mouth1, mouth2, neck1, neck2, nose, and waist. The classification is performed based on an arm location relative to a user's body. Thus, using this classification criterion, there maybe more than one posture at a particular location (e.g., mouth1 and mouth2). Hand location data is obtained from the 6-DOF electromagnetic tracker. Data measures obtained from the tracker include the 3D position relative to the 3-dimensional coordinates (Here, the x axis is aligned along the left-right direction. The y axis is aligned along the up-down direction. And the z axis is aligned along the forward-backward direction.). In

addition, measures corresponding to three angular orientation values, namely the yaw, pitch and roll angles are also used (Here, the yaw is defined by an amount of rotation angle about the z axis. The pitch is defined as an amount of rotation angle about the x axis. And lastly the roll is the amount of rotation angle about the y axis). The 3-D axis values (x, y, and z) are measured in the centimeter unit, while the angular values (yaw, pitch, and roll) are measured in the radius unit. The system used for the experiment places the sensor on a user's wrist.

3. HAND POSTURE RECOGNITION USING ABSOLUTE-LOCATION INVARIANT FEATURES

In the following, we examine the proposed hand posture recognition system with an absolute-location invariant features, using 1) orientation information, 2) y-axis data.

3.1 RECOGNITION USING MEASURES OF ORIENTATION VALUES

In addition to the positional information, as obtained from the 3-D coordinate measures, the orientation information as obtained by the measures of the yaw and pitch values are applied as part of the recognition features. In our study, the 'roll' value was not used as one of the applied features. The reason for this exclusion is that the 'roll' value provides no added information that can help identifying the hand position relative to a human body.

Based on early statistical analysis of the measured data, the recognition method employed here adopts the multidimensional normal distribution model for the chosen orientation measures (yaw and pitch values). The probability density function of the two values is given in the following equation.

$$p(\theta|k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n |C_k|}} e^{-\frac{1}{2}(\theta - \mu_k)^T C_k^{-1} (\theta - \mu_k)} \quad (1)$$

$$\theta = \begin{bmatrix} \text{yaw} \\ \text{pitch} \end{bmatrix} \quad (2)$$

where $p(\theta|k)$ is a probability density function of θ conditioned on k . Here, k is a class of hand location areas. The n parameter in Eq. (1) corresponds to the dimension of θ , which is 2 in this case. In the same equation, μ_k is the mean vector of orientation measures corresponding to the k^{th} hand location area, and C_k is the respective covariant matrix.

3.2 RECOGNITION USING THE Y-AXIS VALUE

Here, we describe the use of the y-axis value as part of the measured feature for hand posture recognition. This positional measure is invariant to horizontal

movement of a user body. Use of the y-axis value supplements the described orientation measures. For instance, with certain hand location areas, the hand orientation values are close to those of other hand location areas. When this is the case, use of the described orientation measures alone does not provide sufficient level of hand-location class discrimination. Use of the y-axis value in such cases makes hand location classification possible.

To make the measure y-axis position invariant to the height of each user, the measured y axis value is first offset by the y-axis value corresponding to the initial hand location (see Fig. 1 for the picture of the initial hand location). This relative y-axis value is described mathematically by



Fig1: the initial hand location

$$y = |Y - Y_0| \quad (3)$$

where Y is the measured y-axis value, and Y_0 is the value with respect to the initial hand location.

As for the case of the orientation measures, y is modeled as a random variable with a normal distribution, as described by the following conditional probability function.

$$p(y|k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n \sigma_k}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \lambda_k}{\sigma_k} \right)^2} \quad (4)$$

where λ_k and σ_k are, respectively, the mean and standard deviation values of y as obtained with respect to the k^{th} hand location area.

Based on statistical analysis of the measured data, y is modeled as independent to the orientation variables (see experimental section for verification). Thus, the probability function of the hand location area k given the orientation and y-axis measures, is

$$\begin{aligned} P(k|\theta, y) &= \frac{p(\theta, y|k)P(k)}{p(\theta, y)} \\ &= \frac{p(\theta, y|k)P(k)}{p(\theta)p(y)} \\ &= \frac{p(\theta|k)p(\theta)p(y|k)p(y)P(k)}{p(\theta)p(y)} \end{aligned}$$

$$= p(\theta|k)p(y|k)P(k) \quad (5)$$

By comparing $P(k|\theta, y)$ among all possible hand location area classes, the hand location corresponding to the class k which maximizes the above probability function is denoted as the current hand location.

From Eq. (5), by assuming that the hand location area classes are uniformly distributed (they are equally likely to occur), $P(k) = 1/K$, where K is the total number of distinct hand location areas (= 20 in our study). Thus, maximizing Eq. (5) is equivalent to the maximization of the following likelihood function.

$$\Lambda(k|\theta, y) = p(\theta|k)p(y|k) \quad (6)$$

The two conditional probability density functions in Eq. (6) are as defined in Eq. (1) and Eq. (4).

4. EXPERIMENTAL RESULT

In our experiment, hand position data was obtained by asking the users to place their right hand in 20 different hand positions. The data obtained is visualized in Figure 1 as a function of yaw and pitch.



Fig2: yaw and pitch values corresponding to 20 different hand location areas

From the figure, some postures were found to be isolatable by using only the pitch and yaw values. Examples of those cases include postures of hand location placed on the head and chest locations. The two hand locations map to two closely-spaced points in the orientation measures space. The two locations, however, give quite different y-axis values. Thus, the problem can be remedied by supplementing the pitch and yaw values with the y-axis value.

Figure 3 plots the distribution of y obtained from the real measurement corresponding to the two hand locations areas. The two postures were found to be isolatable by using the y value.

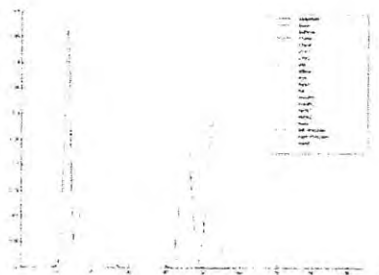


Fig3 : normal distribution of y

Table1 : Data obtained from the experiment by using angular data

	Abdomen	Back	Buttock	Chest	Chin1	Chin2	Ear	Elbow	Eye	Head	Hip	Mouth1	Mouth2	Neck1	Neck2	Nose	L-Shoulder	R-Shoulder	Wrist	
Abdomen	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Back	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Buttock	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
Chest	0	0	0	1	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chin1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chin2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ear	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elbow	0	0	0	0	0	0.02	0.01	1	0	0.04	0	0	0	0.02	0	0	0.03	0	0	0
Eye	0	0	0.24	0.23	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0	0	0
Head	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hip	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mouth1	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.09	0	0	0	0
Mouth2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Neck1	0	0	0.06	0.02	0.12	0	0	0.02	0.64	0.04	0.01	0.12	0	1	0.01	0.02	0	0	0	0
Neck2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Nose	0	0	0.09	0.14	0	0	0	0.12	0	0	0.05	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0
L-Shoulder	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
R-Shoulder	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Wrist	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Table2 : Data obtained from experiment by using the Y-axis value.

	Abdomen	Back	Buttock	Chest	Chin1	Chin2	Ear	Elbow	Eye	Head	Hip	Mouth1	Mouth2	Neck1	Neck2	Nose	L-Shoulder	R-Shoulder	Wrist	
Abdomen	0.44	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08
Back	0	0.84	0	0	0	0.02	0	0	0.03	0	0	0	0	0.02	0.04	0	0	0	0	0
Buttock	0.24	0	0.84	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
Chest	0	0	0	0.64	0	0	0.19	0	0	0	0	0.09	0	0	0	0.32	0	0	0	0
Chin1	0	0	0	0	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.15	0	0	0
Chin2	0	0	0	0.01	0	0	0.47	0	0	0.41	0	0	0	0	0.47	0	0	0	0	0
Ear	0	0	0	0.37	0	0	0.02	0.4	0.01	0	0	0	0	0.02	0.43	0	0	0	0	0
Elbow	0.04	0	0.03	0	0	0	0	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0.18
Eye	0	0	0	0.26	0	0.2	0.18	0	0.18	0	0	0	0	0.2	0.01	0	0	0	0	0
Head	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0
Hip	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mouth1	0	0	0	0	0.43	0	0	0	0	0	0	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0
Mouth2	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.87	0	0	0	0	0	0	0
Neck1	0	0.05	0	0.01	0.07	0.06	0.1	0	0.07	0	0.14	0.05	0.06	0.07	0.06	0.03	0.02	0	0	0
Neck2	0	0	0.21	0	0.23	0.13	0.29	0	0	0	0	0.23	0.21	0.11	0	0	0	0	0	0
Nose	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
L-Shoulder	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	0.21	0	0	0
R-Shoulder	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0.84
Wrist	0.17	0	0.05	0	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 : Data obtained from experiment

	Experiment Result																				
	Abdomen	Back	Buttock	Cheek	Chest	Chin1	Chin2	Ear	Elbow	Eye	Head	HP	Mouth1	Mouth2	Neck1	Neck2	Nose	L-Shoulder	R-Shoulder	Waist	
Abdomen	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Back	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Buttock	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cheek	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
Chest	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chin1	0	0	0	0	0	0.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chin2	0	0	0	0	0	0	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ear	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.99	0	0	0	0	0
Elbow	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eye	0	0	0	0.64	0	0	0	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Head	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Mouth1	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0
Mouth2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Neck1	0	0	0	0.06	0	0.00	0.02	0	0	0.02	0	0	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0	0
Neck2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Nose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
L-Shoulder	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
R-Shoulder	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Waist	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.99

From the same experiment, it was found that the proposed features have been capable of correct hand position classification in most cases. However, from Table 3, hand positioned around the face area (neck1, cheek etc.) can not be accurately classified by the proposed feature. A additional constraints imposed by the language itself, as well as by the arm/hand kinematics may be used to solve this problem.

5. REFERENCE

- [1] Manjula B. Waldron "Isolated ASL Sign Recognition System for Deaf Person" IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering, September 1995, Vol.3, No. 3, pp. 261 – 271.
- [2] Christian Vogler and Dimitris Metaxas "Toward Scalability in ASL Recognition: Breaking Down Sign into Phonemes" Gesture Workshop' 99, Gif-sur-Yvette France, March 17-19, 1999.
- [3] Oliver Bimber "Continuous 6DOF Gesture Recognition: A Fuzzy Logic Approach" Fraunhofer Institute for Computer Graphics, Rostock, Germany.
- [4] Britta Bauer and Hermann Hienz "Relevant Features for Video-Based Continuous Sign Language Recognition" Department of Technical Computer Science, Aachen University of Technology (RWTH).
- [5] Christian Vogler and Dimitris Metaxas "ASL Recognition Based on a Coupling Between HMMs and 3D Motion Analysis" Proceeding of the International Conference on Computer Vision, pp. 363 – 369, Mumbai, India, January 4-7, 1998.
- [6] Manfa Suwanarat, Vilaiporn Rungsritthong, Anucha Ratanasint, Lloyd Anderson and Owen P. Wrigley, *The Thai Sign Language Dictionary : Revised and Expanded Edition*, Bangkok: Thai Watana panich Co.ltd., 1990.

3. Surawej Eungprasert and Nopporn Chotikakamthorn. "Location Invariant Features for Relative Hand Position Classification" 7th International Conference on Signal Processing (ICSP'04), vol.2, pp.1326 - 1329

Prof. RUAN Qiuqi
Institute of Information Science
Northern Jiaotong University
Beijing 100044, CHINA

Tel.: (86 10) 51688616
(86 10) 51688073
Fax: (86 10) 51688616
(86 10) 68283458

Email: byuan@center.njtu.edu.cn



7th International Conference on
Signal Processing (ICSP'04)

Aug. 31-Sept.4, 2004, Beijing, CHINA

Acceptance Letter from ICSP'04

April 30, 2004

Dear Author(s),

It is my pleasure to inform you that your paper, entitled

Paper ID: sf0124

Title: Location Invariant Features for Relative Hand Position Classification

Names: Surawej Eungprasert Nopporn Chotikakamthorn

has been accepted by the Technical Program Committee of ICSP'04 to be held in Beijing, China, August 31 - Sept. 4, 2004. This time of ICSP'04, as all previous ICSP'02, ICSP'00, ICSP'98, ICSP'96, ICSP'93 and ICSP'90, will be a plentiful one. 700 papers selected from more than 1050 submissions will be presented at the conference. Authors will be required to register and pay the registration fee before June 1 2004. Only registered papers can be included in the conference proceedings, which will be published before the conference.

For conference proceedings and CD-ROM use, your camera-ready paper must be met the required format and in .pdf file. The electronic file of your camera-ready paper should be upload on the web again use your paper ID and password (<http://icsp04.njtu.edu.cn/finalupload.htm>). Paper format is the same as used for submissions (see <http://icsp04.njtu.edu.cn>) before May 20 2004. Please remember that your camera-ready papers may not exceed 4 pages. The exceeded pages have to be paid by extra-charge (USD 60/page). The enclosed you may find is the registration, hotel and tour information.

I am looking forward to meeting you at the conference in Beijing. Your participation in the conference will certainly enhance the conference importance and success. Thank you for your contribution to ICSP'04.

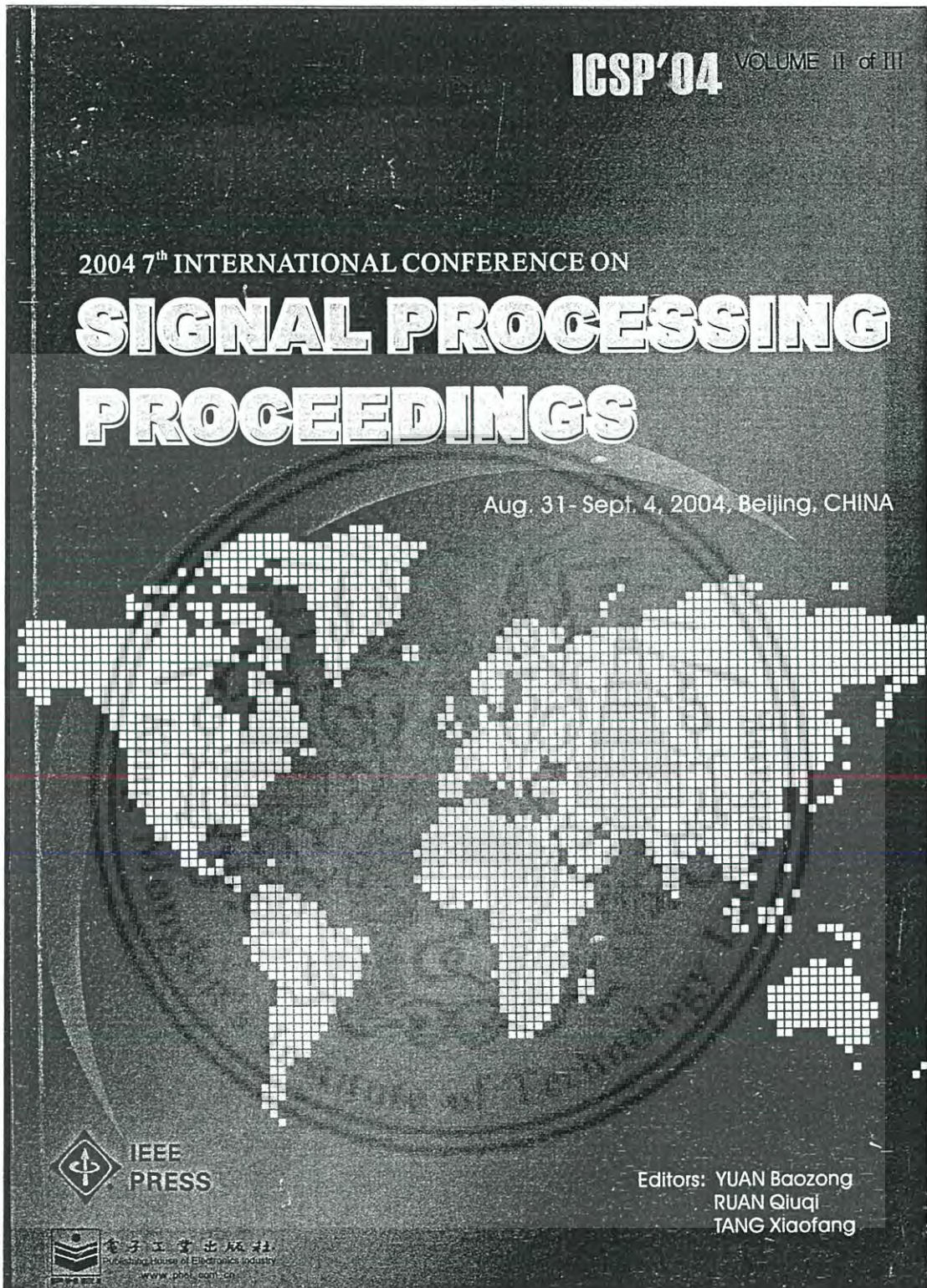
Sincerely yours

YUAN Baozong
Chairman of ICSP'04
PhD, Professor of EE

Sponsor: The Chinese Institute of Electronics (CIE)
Technical Co-sponsor: IEEE Signal Processing Society
Co-sponsors:
IEE
URSI

IEEE Beijing Section
Nat. Natural Sci. Foundation of China
CIE Committee for URSI
IEEE Computer Society Beijing Chapter
IEEE SP Society Beijing Chapter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Location Invariant Features for Relative Hand Position Classification

Surawej Eungprasert and Nopporn Chotikakamthorn

Faculty of Information Technology & Research Center for Communication and Information Technology,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok 10520, Thailand. e-mail: s3067039@kmit.ac.th

ABSTRACT

Hand posture recognition is applied in various research areas such as an automated sign language translation system, and manual-based human-computer interface. One of the problems found in magnetic tracker-based hand posture recognition is caused by change of user body location while using the system. In this paper, by using orientation measures obtained from the 6-DOF location sensing device, a hand posture feature which is invariant to change in a user's absolute body location is derived. This invariance property is achieved by exploiting the constraints imposed by human arm kinematics, as well as by the feasible and typical range of hand postures allowed by most sign languages. Results from the experiment with real measurements are included.

Keywords: Gesture recognition, Sign language translation, Human-computer interaction, Virtual reality

1. INTRODUCTION

There have been many works dealing with localization of various human-body parts (such as a hand). Those studies may be divided into two different approaches, namely the vision-based and instrument-based (using an electromagnetic tracker or alike) methods. Examples of methods using the second approach include those of [1],[2], while the methods in [2], [5] applied the first approach.

Manjula B. Waldron [1] used x, y and z axis values as measured by a 6-DOF electromagnetic tracker to identify a hand location relative to a human body. He divided body location into 10 areas based on the standard as defined in the American Sign Language (ASL). Backpropagation Neural Network was used in [1] for automated classification. Christian Vogler and Dimitris Metaxas [2, 3] used a video camera in combination with a 6-DOF magnetic tracker, to obtain hand position. In their papers, a Hidden Markov Model was used for posture recognition.

One practical problem associated with the hand posture recognition arises when a user changes his body location (e.g., from sitting to standing up or turning the body around). Most research works assume that a user main body position remains fixed throughout the system usage period. This paper addresses this problem, under

the context of a 6-DOF magnetic tracker-based recognition system. A 6-DOF electromagnetic tracker is commonly used to collect 3-D hand positions. Unlike other works using this tracker-based approach, the method described here utilizes certain tracker measures of 6-DOF positional information. The proposed hand posture features are invariant to change in a user's main body vertical position and horizontal orientation, thus avoiding the need for repeating the human body location registration while using the system. Hand orientation information is used to make the invariance possible. Similar concept has been explored before [4-5], under a general full-body motion capture context. An attempt to make sign language translation invariance to signer's body (or a tracking transmitter) movement is described in [6]. However, use of two hand positional information for relative reference in [6] places restriction on the number of supported signs and on the way those signs are performed.

The paper is organized as follows: Brief general information about the hand gesture data acquisition system is described in Section 2. Next, a hand posture feature based on a tracker's localization information is described in Section 3. Experimental result with real measured data is provided in Section 4.

2. HAND GESTURE DATA ACQUISITION

Hand position relative to a human body is important information required by an automated sign language translation system. The same hand posture with the hand position placed at different locations may convey different messages. In this research, a human body is divided into 32 different location areas, as defined by [9]. These areas are abdomen, back, back-of-head, buttock, cheek, chin, chin2, ear, eye, eyebrows, forehead1, forehead2, front-of-face, front-of-trunk, head, hip, left chest, left elbow, left shoulder, mouth1, mouth2, neck, nose, over-head, right chest, right elbow, right shoulder1, right shoulder2, head-beside, trunk-beside, temple, and waist. The classification is performed based on a signer's hand location relative to a user's body. Thus, using this classification criterion, there may be more than one posture at a particular location (e.g., mouth1 and mouth2). Hand location data is obtained from the 6-DOF electromagnetic tracker. Tracker orientation measures corresponding to three angular values, namely the yaw,

pitch and roll angles are used (Here, the yaw is defined by an amount of rotation angle about the z axis. The pitch is defined as an amount of rotation angle about the y axis. And lastly the roll is the amount of rotation angle about the x axis). The acquisition system used employs two sensors, one placed on a user's wrist and the other placed on the upper-arm.

3. HAND RELATIVE POSITION CLASSIFICATION USING ABSOLUTE-LOCATION INVARIANT FEATURES

Because the purpose of this study is to find hand features that are invariant to a user's body movement, orientation values collected from the 6-DOF tracker are used. In addition, relative positional information as obtained from one 6-DOF sensor with respect to another is also utilized. While the first sensor is placed on the upper-arm at the tip of the shoulder, the other sensor is placed on a user's wrist of the same arm. Thereafter, the first sensor is referred to as 'SENSOR#1', while the second sensor is referred to as 'SENSOR#2'.

This paper makes use of two sensors' orientation values, namely the yaw, the pitch and the roll. First to make the data values read from the two sensors invariant to a user's body movement, the sensors' yaw (α), pitch (β) and roll (γ) values are converted to a direction cosine matrix (D) as given by the following equations

$$D = \begin{bmatrix} D_{x,x} & D_{y,x} & D_{z,x} \\ D_{x,y} & D_{y,y} & D_{z,y} \\ D_{x,z} & D_{y,z} & D_{z,z} \end{bmatrix} \tag{1}$$

where

- $D_{x,x} = \cos(\alpha)\cos(\beta)$
- $D_{x,y} = \cos(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma) - \sin(\alpha)\cos(\gamma)$
- $D_{x,z} = \cos(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) + \sin(\alpha)\sin(\gamma)$
- $D_{y,x} = \sin(\alpha)\cos(\beta)$
- $D_{y,y} = \cos(\alpha)\cos(\gamma) + \sin(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma)$
- $D_{y,z} = \sin(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) - \cos(\alpha)\sin(\gamma)$
- $D_{z,x} = -\sin(\beta)$
- $D_{z,y} = \cos(\beta)\sin(\gamma)$
- $D_{z,z} = \cos(\beta)\cos(\gamma)$

In addition, from Eq. (1), $d_x = [D_{x,x} \ D_{x,y} \ D_{x,z}]^T$ is named the direction cosine vector of the sensor's x axis, $d_y = [D_{y,x} \ D_{y,y} \ D_{y,z}]^T$ is the direction cosine vector of the sensor's y axis, and $d_z = [D_{z,x} \ D_{z,y} \ D_{z,z}]^T$ is the direction cosine vector of the sensor's z axis.

The orientation data values, as obtained from SENSOR#1 while the use's hand is at the initial hand position, are first used to calculate the corresponding direction cosine matrix. This reference direction cosine matrix is named the matrix R. For orientation values as obtained from SENSOR#1 and SENSOR#2 at arbitrary i^{th}

hand location with respect to a user's body, their corresponding direction cosine matrices are named $S_{0,i}$ and $S_{1,i}$, respectively.

Next, $S_{1,i}$ and $S_{0,i}$ are compared against R to arrive at the measured angular values which are relative to the initial hand location, rather than the device EM transmitter location. For the case of $S_{0,i}$, the new relative direction cosine is defined by

$$N_{0,i} = [N_{x,x}^{0,i} \ N_{x,y}^{0,i} \ N_{x,z}^{0,i}]^T \tag{2}$$

where

$$N_{x,x}^{0,i} = \frac{(s_x^{0,i})^T \cdot r_x}{|s_x^{0,i}| |r_x|} \tag{3}$$

From Eq. (3), $s_x^{0,i} = [S_{x,x}^{0,i} \ S_{x,y}^{0,i} \ S_{x,z}^{0,i}]^T$ is the direction cosine vector of the SENSOR#1's x-axis, of the i^{th} hand position. In addition, r_x is the direction cosine vector of the SENSOR#1's x-axis, of the initial hand position. However, because both $s_x^{0,i}$ and r_x are a unit vector, Eq. (3) can be simplified to

$$N_{x,x}^{0,i} = (s_x^{0,i})^T \cdot r_x \tag{4}$$

Other elements of $N_{0,i}$ as shown in Eq. (2) can be similarly computed. Also, the relative direction cosine matrix of $S_{1,i}$ are similarly defined by

$$N_{1,i} = [N_{x,x}^{1,i} \ N_{x,y}^{1,i} \ N_{x,z}^{1,i}] \tag{5}$$

Each element of $N_{1,i}$ is similar defined as for the case of $N_{0,i}$.

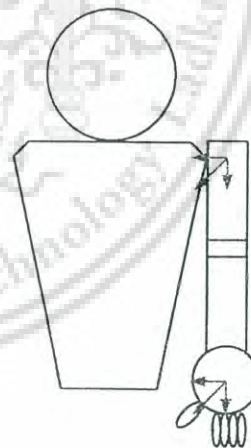


Figure 1: Direction of the x, y, and z axes of the two sensors placed on a signer hand, with respect to a local coordinate.

From the so-obtained direction cosine matrices, only the direction cosine vector corresponding to the sensors' x-axis is used for the following reasons (see Figure 1 for the directions of the three axes with respect to the hand local coordinate):

1. The two sensors are placed such that their x-axes are parallel to natural finger pointing direction.
2. Wrist and upper-arm rotation about the x-axis of the two sensors do not affect meaning of a hand posture in (Thai) sign language.

Under this condition, $N_{0,i}$ and $N_{1,i}$ are used. Based on preliminary statistical analysis of the measured data, the recognition method employed here adopts the multidimensional normal distribution model for the direction cosine measures. The probability density function of the three values is given in the following equation.

$$p(\mathbf{v} | K) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n} |C_K|} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{v}-\mu_K)^T C_K^{-1} (\mathbf{v}-\mu_K)} \quad (6)$$

where $\mathbf{v} \triangleq [N_{0,i}^T \ N_{1,i}^T]^T$. In Eq. (6), $p(\mathbf{v} | K)$ is the probability density function of \mathbf{v} conditioned on K . Here K is a class of hand location areas. The n parameter in Eq. (6) corresponds to the dimension of \mathbf{v} , which is 6 in this case. In the same equation, μ_K is the mean vector of the (concatenated) direction cosine measures corresponding to the K^{th} hand location area, and C_K is the respective covariant matrix. Thus, the probability function of the hand location area K given \mathbf{v} is

$$p(K | \mathbf{v}) = \frac{p(\mathbf{v} | K)}{\sum_{j=1}^k p(\mathbf{v} | K_j) p(K_j)} \quad (7)$$

By complying with the standard convention, the corresponding likelihood function is given by

$$\Lambda(K | \mathbf{v}) = p(\mathbf{v} | K) \quad (8)$$

Classification of the hand position relative to a user's body is obtained by finding K_{max} that maximizes the above likelihood function. The measured data vectors $N_{0,i}$ and $N_{1,i}$ are then classified as being associated with the hand position class $i = K_{\text{max}}$.

4. EXPERIMENTAL RESULT

In our experiment, hand positional and orientation data values were collected under different signer positional conditions. In the first experiment, the signer was asked to turn his body around by 0, 90, 180, 270 degrees, before collecting each set of data. The signer was instructed to put his upper arm in a normal resting position each time he turned his body (the normal resting

position is the position where the upper arm was kept beside the signer body and the arm was aligned vertically in a downward direction). In the second experiment, hand postures with arbitrary signer orientation movement by a small amount of angles was recorded. Instead of asking the signer to bend his body while collecting the data, the transmitter of the 6-DOF tracking system was rotated instead. This approach was chosen to allow the rotation angles to be under control. The method as described here was used to classify the hand position in both experiments. In the third experiment, in addition to the proposed method, a similar maximum likelihood estimator based on all raw orientation and positional information as directly obtained from the 6-DOF tracker, was used for hand position classification. Because the latter estimator requires hand position registration each time the signer moves his body, and that in all experiments hand position registration is allowed only at the beginning of each experiment, only the case where the signer's body is at his initial 0° orientation was used for the comparison.

For each data set in all experiments, the signer was asked to place his hand (with the electronic glove and the 6-DOF EM tracker device [10] attached to it) on each of the 32 pre-defined hand relative positions. For each hand position in each set, the experiment was repeated for 15 times. The results from the three experiments are summarized in Figures 2-4, respectively.

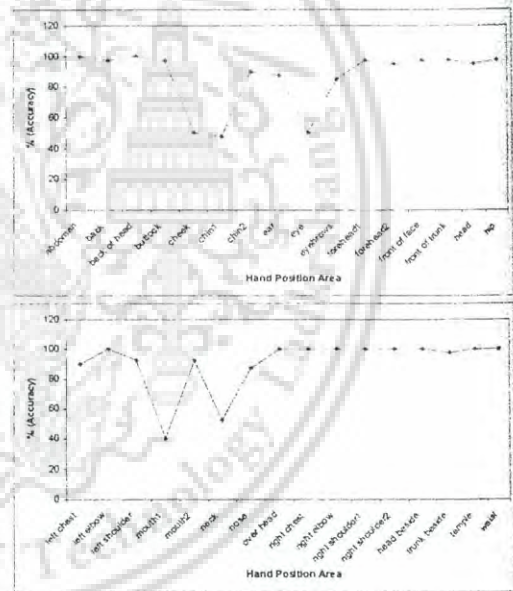


Figure 2: Hand position classification result as obtained from the first experiment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

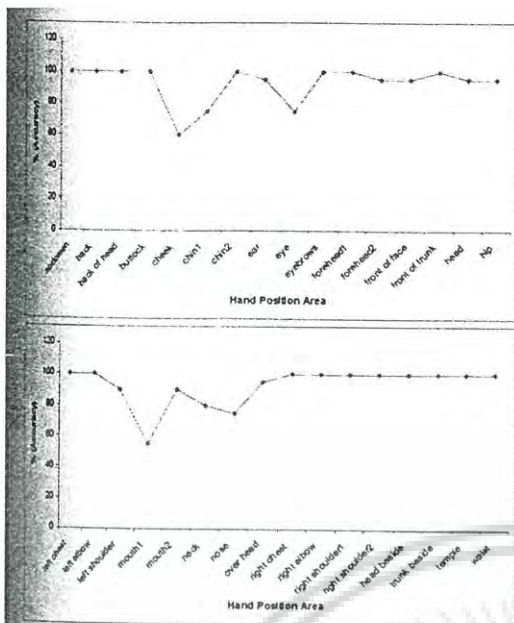


Figure 3: Hand position classification result as obtained from the second experiment

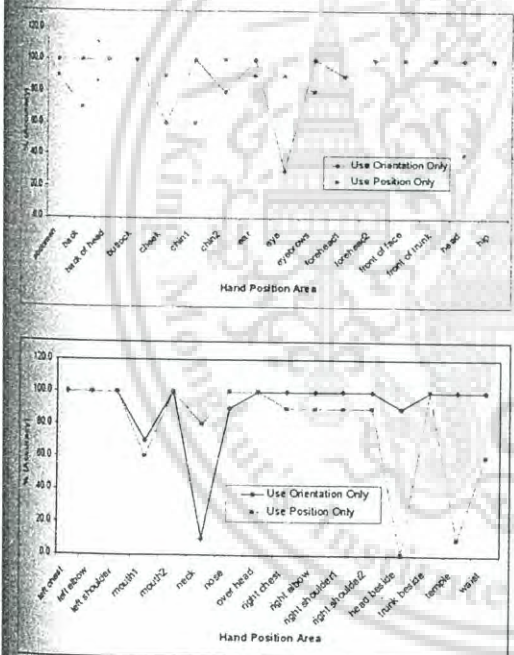


Figure 4: Comparison of hand position classification results obtained by the estimator using all positional and orientation information, and the proposed method, when the signer was at the initial 0° body orientation.

5. CONCLUSION

In this paper, the method for hand position classification has been described. The method makes use of the hand positional and orientation features that are invariant to the body absolute location movement. The invariance property has been verified under the context of the Thai sign language recognition. By imposing a constraint that hand positions must be those that appear in a standard Thai sign language dictionary, as well as a natural constraint imposed by human arm kinematics, it has been shown experimentally that the proposed method can be used under various body movement conditions. However, it has been found that hand positioned around the face area (mouth1, nose etc.) can not be accurately classified by the proposed feature. This problem is a concern for a sign language translation system, when dealing with words containing a posture with the signer's hand placed in such area. For other applications such as gesture-based computer control/ command, appropriate design of hand postures may alleviate this problem.

6. REFERENCE

- [1] Manjula B. Waldron "Isolated ASL Sign Recognition System for Deaf Person" *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*, September 1995, Vol.3, No. 3, pp. 261 – 271.
- [2] Christian Vogler and Dimitris Metaxas "Toward Scalability in ASL Recognition: Breaking Down Sign into Phonemes" *Gesture Workshop' 99*, Gif-sur-Yvette France, March 17-19, 1999.
- [3] Christian Vogler and Dimitris Metaxas "ASL Recognition Based on a Coupling Between HMMs and 3D Motion Analysis" *Proceeding of the International Conference on Computer Vision*, pp. 363 – 369, Mumbai, India, January 4-7, 1998.
- [4] T. Molet, R. Boulic, and D. Thalmann, "Human Motion Capture Driven by Orientation Measurements," *Presence*, MIT, Vol.8, No.2, pp. 187-203., 1999
- [5] A. Rodzevski, J. Forsberg, I. Kruzela, "Sourceless human body motion capture," *Smart Objects Conference*, 2003.
- [6] J. Ma, W. Gao, J. Wu, and C. Wang, "A continuous Chinese sign language recognition system," *4th IEEE Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 2000, pp. 428 – 433.
- [7] M. Suwanarat, V. Rungsrihong, A. Ratanasint, L. Anderson, and O. Wrigley, *The Thai Sign Language Dictionary : Revised and Expanded Edition*, 1990.
- [8] *3SPACE User's Manual* : Polhemus Incorporated, Colchester, Vermont U.S.A. 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายสุรเวช อึ้งประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2519
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม ชลประทาน
สถานที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2542
ประสบการณ์การทำงาน	เมษายน 2543 ถึง เมษายน 2544 ตำแหน่งผู้ช่วย วิทยากร อบรมคอมพิวเตอร์ ศูนย์ปฏิบัติการ คอมพิวเตอร์ สถาบันคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัย รามคำแหง ตุลาคม 2544 ถึง ตุลาคม 2545 ตำแหน่งผู้ช่วย วิทยากร อบรมคอมพิวเตอร์ หลักสูตรพัฒนา บุคลากรคอมพิวเตอร์สำหรับผู้ใช้งาน ของกรม พัฒนาฝีมือแรงงาน บริษัท JC The Club.com มกราคม 2546 – เมษายน 2546 ตำแหน่ง วิทยากรอบรมคอมพิวเตอร์ บริษัท ECC (Thailand) กุมภาพันธ์ 2546 – เมษายน 2546 ตำแหน่ง วิทยากรอบรมคอมพิวเตอร์ บริษัท IEQ (THAILAND) INSTITUTE. พฤศจิกายน 2546 วิทยากรอบรมคอมพิวเตอร์ ให้กับคณาจารย์ จากกรมอาชีวศึกษา พฤศจิกายน 2546 – ตุลาคม 2547 ตำแหน่ง ผู้ช่วยนักวิจัย ประจำห้อง Multimedia and Virtual Research Lab. สำนักวิจัยการสื่อสาร และเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้