ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249353

ระบบนิเทศการสอนด้วยวิธีโมเดล

นายสุริยะ เทพประทานชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และระบบอัตโนมัติ
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00253824

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249353

ระบบวิเคราะห์การเดินด้วยวีรีโมต

นายสาธิต เทพประทานกิจ วท.บ. (คณิตศาสตร์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์
(รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.ปราการเกียรติ ยังคง)

..... กรรมการ
(นพ.ปิยวิทย์ สรไชยเมธา)

..... กรรมการ
(ดร.สุจินต์ สุวรรณะ)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร. ปราการเกียรติ ยังคง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้แรงบันดาลใจ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนโอกาสในการแสวงหาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ขอขอบคุณ รศ.ดร. สยาม เจริญเสียง ที่ช่วยแนะนำอุปกรณ์วีรีโมตให้กับผู้วิจัยและให้คำปรึกษาทางด้านการพัฒนาโปรแกรม ขอขอบคุณ นพ. ปิยะวิทย์ สรไชยเมธา และ ผศ.นพ. ภาริส วงศ์แพทย์ สำหรับคำแนะนำทางด้านการแพทย์และความเอื้อเฟื้อในการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ขอขอบคุณ ดร. สุจินต์ สุวรรณะ สำหรับคำปรึกษาทางด้านแบบจำลองคณิตศาสตร์และการเขียนบทความวิจัย ขอขอบคุณผู้ทดลองทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นผู้ทดลองให้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคคลากรทุกท่านของสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม สำหรับความเอื้อเฟื้อในด้านสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของศูนย์สิรินธรเพื่อการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการแพทย์แห่งชาติ ขอขอบคุณโครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากรทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิกส์ไดร์ฟ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เป็นอย่างยิ่งสำหรับทุนในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทั้งทางด้านทุนทรัพย์และกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ญ
รายการสัญลักษณ์	ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**2**
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.2.1 การวิเคราะห์การเดิน	12
2.2.2 มาตรความเร่ง (Accelerometer)	14
2.2.3 ไจโรสโคบ (Gyroscope)	15
2.2.4 วีรีโมต และอุปกรณ์เสริมวีโมชั่นพลัส	15
3. โครงสร้างการทำงานของระบบ	**18**
3.1 ภาพรวมของระบบ	18
3.2 ภาพรวมของโปรแกรม	19
3.2.1 ส่วนประมวลผลสัญญาณ	19

3.2.2 ส่วนวิเคราะห์การเดิน 20
3.2.3 ส่วนแสดงผล 22

4. ระเบียบวิธีวิจัย 23
4.1 การอ่านค่าจากวีรีโมต 23
4.1.1 มาตรความเร่ง (Accelerometer) 23
4.1.2 ไจโรสโคบ (Gyro sensor) 24
4.2 การกำหนดทิศทางของเซ็นเซอร์ และการติดตั้งวีรีโมต 25
4.2.1 การกำหนดทิศของแกนในมาตรความเร่ง 25
4.2.2 การกำหนดทิศของแกนในไจโรสโคบ 26
4.2.3 การติดตั้งวีรีโมต 26
4.3 การกรองสัญญาณ 27
4.4 การคำนวณหาเหตุการณ์ท่าเดิน (Gait Event) 28
4.4.1 การหาค่าประมาณคาบของรอบการเดินด้วยค่าประมาณตัวคลาดเคลื่อนของสัมประสิทธ์อัตสหสัมพันธ์ 28
4.4.2 การคำนวณหาเหตุการณ์ MS 28
4.4.3 การคำนวณหาเหตุการณ์ TO HS และ FF 29
4.5 การคำนวณหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา 30
4.6 การคำนวณทิศทาง (Orientation) 31
4.6.1 คำนวณมุมเงย และมุมเอียง จากความเร่งเชิงเส้น 31
4.6.2 การคำนวณมุมเงย มุมเอียง และมุมหันจากความเร็วเชิงมุม 32
4.6.3 การแก้ไขความผิดพลาดด้วยความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น 32
4.6.4 การคำนวณหามุมข้อเข่า 34
4.7 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระยะทาง 35
4.8 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 36
4.8.1 โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล 36
4.8.2 โปรแกรมสำหรับเลือกรอบการเดิน 40
4.8.3 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์รอบการเดินเชิงสถิติ 41
4.8.4 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม 42
4.8.5 ความต้องการขั้นต่ำสำหรับใช้งานโปรแกรม 42

5. การทดลองและผลการทดลอง **43**

5.1 การทดลองหาสภาวะการทำซ้ำของระบบ 43

5.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาและระยะทาง 43

5.1.2 มุมของข้อเข่า 46

5.2 ทดสอบค่าความผิดพลาดของระบบเมื่อเทียบกับระบบอื่น 47

5.2.1 เปรียบเทียบกับระบบ VICON 48

5.2.2 เปรียบเทียบกับการเดินบนกระดาษด้วยเท้าที่จุ่มสี 48

6. สรุปและข้อเสนอแนะ **50**

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 50

6.1.1 สภาวะการทำซ้ำของระบบ 50

6.1.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกับระบบอื่นๆ 51

6.2 สรุป 53

6.3 ข้อเสนอแนะ 53

6.4 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานจริง 54

6.4.1 การติดตั้ง 54

6.4.2 การใช้งานโปรแกรม 54

6.4.3 ประสิทธิภาพของโปรแกรม 54

6.4.4 การทดลองในผู้ป่วยหลอดเลือดสมองแตก 55

เอกสารอ้างอิง **56**

ภาคผนวก

ก ผลการทดลองหาสภาวะการทำซ้ำของระบบอย่างละเอียด **60**

ข ขั้นตอนการติดตั้งวีรีโมตสำหรับการทดลอง **67**

ประวัติผู้วิจัย **70**

รายการตาราง

ตาราง หน้า

2.1 เปรียบเทียบค่าของสัญญาณที่ได้จากไจโรสโคบและสัญญาณที่ได้จากระบบ VICON [3] 3
2.2 แสดงค่า RMS ระหว่างทั้งสองระบบในงานของ Dejnabadi [12] 10
4.1 แสดงตำแหน่งของข้อมูลที่ส่งมาจากวีโมชันพลัส [28] 24
4.2 ลักษณะการติดตั้งวีรีโมตสำหรับแต่ละแบบจำลอง 38
5.1 แสดงจำนวนการทดลองและรอบการเดินของผู้ทดลองที่ 1 44
5.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผู้ทดลองที่ 1 44
5.3 แสดงจำนวนการทดลองและรอบการเดินของผู้ทดลองที่ 2 44
5.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผู้ทดลองที่ 2 45
5.5 แสดงจำนวนการทดลองและรอบการเดินของผู้ทดลองที่ 3 46
5.6 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของผู้ทดลองที่ 3 45
5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้องของมุมข้อเข่า 46
5.8 เปรียบเทียบค่าจากระบบ VICON และวีรีโมต ครั้งที่ 1 47
5.9 เปรียบเทียบค่าจากระบบ VICON และวีรีโมต ครั้งที่ 2 47
5.10 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีรีโมตของผู้ทดลองที่ 1 48
5.11 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีรีโมตของผู้ทดลองที่ 2 48
5.12 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีรีโมตของผู้ทดลองที่ 3 49
5.13 เปรียบเทียบค่าจากการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสีและวีรีโมตของผู้ทดลองที่ 4 49
5.14 ค่าความผิดพลาดของวีรีโมตเทียบกับการเดินบนกระดาษด้วยเท้าจุ่มสี 49
ก.1 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 1 ที่ความเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 61
ก.2 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 1 ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 61
ก.3 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 1 ที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 62
ก.4 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 1 บนพื้นแข็งระยะ 7 เมตร 62
ก.5 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 2 ที่ความเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 63
ก.6 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 2 ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 63
ก.7 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 2 ที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 64
ก.8 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 3 ที่ความเร็ว 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 64
ก.9 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 3 ที่ความเร็ว 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 65
ก.10 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 3 ที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 65

ก.11 ค่าพารามิเตอร์การเดินของผู้ทดลองที่ 3 บนพื้นแข็งระยะ 7 เมตร 66

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ตำแหน่งที่ติดตั้งไจโรสโคบของงานวิจัย Kaiyu [3]	2
2.2	แสดงตำแหน่งของยอดแหลมต่างๆในสัญญาณของความเร็วเชิงมุม [4]	3
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมและค่าตัวแปรทางการเดินที่ขึ้นอยู่กับเวลา [4]	3
2.4	แสดงตำแหน่งที่วางมาตรความเร่งและไจโรสโคบของ Mayagoitia [5]	4
2.5	เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองระบบโดยเส้นทึบแทนระบบ VICON และเส้นประแทนระบบที่ใช้อุปกรณ์รับรู้ของ Mayagoitia [5]	5
2.6	แสดงค่าความเร่งในแนวตั้งของลำตัวเปรียบเทียบในแต่ละวิธีของ Moe-Nilssen [6]	6
2.7	แสดงระยะระหว่างเฟสศูนย์กับจุดยอดแรกที่อยู่ติดกัน [6]	6
2.8	ตำแหน่งที่ติดตั้งชุดตรวจจับ ของ J. Favre [10]	8
2.9	แสดงภาพรวมของระบบของ J. Favre [10]	8
2.10	แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวตรวจวัด โดยวงกลมแทนตำแหน่งที่ติดมาร์คเกอร์ และ สี่เหลี่ยมแทนตำแหน่งที่ติดอุปกรณ์รับรู้ ในงานของ Dejnabadi [12]	9
2.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวตรวจวัดจริง กับ ตัวตรวจวัดเสมือน [12]	9
2.12	เปรียบเทียบชุดมาตรความเร่งกับสวิตช์เท้าเหยียบในงานของ Jung-Ah Lee [13]	10
2.13	แสดงภาพรวมของระบบของ Jung-Ah Lee [13]	11
2.14	เปรียบเทียบค่าที่ได้จากสวิตช์เท้าเหยียบและมาตรความเร่งในงานของ Jung-Ah Lee [13]	11
2.15	แสดงช่วงการเดิน [16]	13
2.16	การทำงานของมาตรความเร่งแกนเดี่ยวอย่างง่าย [17]	14
2.17	มาตรความเร่งที่สร้างแบบ MEMS [19] (ซ้าย) และหลักการทำงาน [20] (ขวา)	14
2.19	แสดงไจโรสโคบอย่างง่าย [21]	15
2.20	แสดงภายนอกวีรีโมต [23] (ซ้าย) แสดงภายในของวีรีโมต [24] (ขวา)	16
2.21	แสดงตำแหน่งมาตรความเร่งในวีรีโมต [25] (ขวา) และมาตรความเร่งสามแกน [26] (ซ้าย)	17
2.22	แสดงอุปกรณ์เสริม วีโมชันพลัส (ซ้าย) และ ตำแหน่งของไจโรสโคบ (ขวา) [27]	17
3.1	แสดงภาพรวมของระบบ	18
3.2	แสดงแผนผังการไหลของข้อมูล	19
3.3	แผนผังการทำงานของส่วนประมวลผลสัญญาณ	20
3.4	แผนผังการทำงานของส่วนวิเคราะห์การเดิน	20
3.5	แผนผังการทำงานของส่วนคำนวณทิศทาง	21
3.6	แผนผังการทำงานของส่วนคำนวณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับระยะทาง	22

4.1 แสดงการกำหนดทิศของแกนในมาตรความเร่ง [29] 25
4.2 แสดงการกำหนดทิศทางของแกนในไจโรสโคบ [30] 26
4.3 แสดงตัวอย่างการติดตั้งวีรีโมตกับขาส่วนล่าง 26
4.4 ผ้ายึดกระชับกล้ามเนื้อ 27
4.5 แสดงการติดตั้งและกำหนดแกนของวีรีโมต 27
4.6 แสดงตำแหน่งของจุด MS ในความเร็วเชิงมุมรอบแกน X 29
4.7 แสดงจุด TO จุด MS และ HS ตามลำดับ 30
4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับเวลาต่างๆเทียบกับเวลาขณะเดิน 31
4.9 แสดงข้อมูลก่อนการแก้ไขความผิดพลาด โดยแสดงจุดข้อมูลที่ควรจะเป็น ณ เหตุการณ์ FF (ซ้าย) และการสร้างเส้นตรงของค่าความผิดพลาด (ขวา) 33
4.10 เปรียบเทียบข้อมูลก่อน-หลัง ได้รับการแก้ไขค่าความผิดพลาด 33
4.11 แสดงมุมของวีรีโมตที่ติดตั้งอยู่ที่แข้งและต้นขา (ซ้าย) มุมของข้อเข่า (ขวา) 34
4.12 แสดงการติดตั้งวีรีโมตเพื่อวัดมุมของข้อเข่า 34
4.13 แสดงทิศทางความเร่งในทิศทางการเคลื่อนที่ 35
4.14 โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล 37
4.15 โปรแกรมสำหรับสร้างและแก้ไขโปรไฟล์ของผู้ใช้ 37
4.16 โปรแกรมสำหรับควบคุมวีรีโมต 38
4.17 โปรแกรมสำหรับเปิดการใช้งานวีโมชั่นพลัส 39
4.18 โปรแกรมสำหรับการเทียบมาตรฐานมาตรความเร่ง 39
4.19 โปรแกรมสำหรับแสดงผลข้อมูลและบันทึกข้อมูลดิบ 40
4.20 โปรแกรมสำหรับเลือกรอบการเดิน 41
4.21 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์รอบการเดินเชิงสถิติ 41
4.22 แสดงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม 42
6.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์การเดิน 50
6.2 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้องของมุมข้อเข่า 51
6.3 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดเทียบกับระบบ VICON 52
6.4 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระบบเทียบกับการเดินด้วยเท้าจุ่มสี 52
ข.1 ผ้ายึดกระชับกล้ามเนื้อ (ซ้าย) และอุปกรณ์วีรีโมต (ขวา) 68
ข.2 ท่านั่งสำหรับติดตั้งวีรีโมต 68
ข.3 การสวมผ้ากระชับกล้ามเนื้อ (ซ้าย) และการใส่วีรีโมต (ขวา) 68
ข.4 ผ้ากระชับกล้ามเนื้อและวีรีโมตหลังการติดตั้งเสร็จสิ้น 69

รายการสัญลักษณ์

a_f	=	ความเร่งเชิงเส้นตามแนวการเคลื่อนที่ทิศทางด้านหน้า-หลัง
a_l	=	ความเร่งเชิงเส้นตามแนวการเคลื่อนที่ทิศทางด้านซ้าย-ขาว
a_v	=	ความเร่งเชิงเส้นตามแนวการเคลื่อนที่ทิศทางด้านบน-ล่าง
a_x	=	ความเร่งเชิงเส้นตามแนวแกน x
a_y	=	ความเร่งเชิงเส้นตามแนวแกน y
a_z	=	ความเร่งเชิงเส้นตามแนวแกน z
g	=	ความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง
β	=	มุม Roll
θ	=	มุม Pitch
ϕ	=	มุม Yaw
ω_x	=	ความเร็วเชิงมุมรอบแนวแกน x
ω_y	=	ความเร็วเชิงมุมรอบแนวแกน y
ω_z	=	ความเร็วเชิงมุมรอบแนวแกน z

ประมวลศัพท์และคำย่อ

CCC	=	Concordance Correlation Coefficient
CV	=	Covariance of Variation
DOF	=	Degree Of Freedom
DST	=	Double Support Time
FF	=	Foot Flat
HS	=	Heel Strike
ICC	=	Intra-class Correlation Coefficient
IMU	=	Inertial Measurement Unit
MEMS	=	Micro-Electro-Mechanical Systems
MS	=	Mid Swing
SD	=	Standard Deviation
SL	=	Stride Length
SpL	=	Step Length
SpT	=	Step Time
SST	=	Single Support Time
ST	=	Stride Time
StP	=	Stance Phase
StT	=	Stance Time
SwT	=	Swing Time
SwP	=	Swing Phase
TO	=	Toe Off