สารบัญ

หน้า

หน้าอนุมัติ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ ฉ
รายการตาราง ญ
รายการรูปประกอบ ฎ

บทที่

1. บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย 4

2. การทบทวนวรรณกรรม 5
2.1 เทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามสุขภาพ และเทคโนโลยีสำหรับการจดจำท่าทางของมนุษย์ 5
2.1.1 ก่อนปี 2005 5
2.1.2 ช่วงปี 2005 6
2.1.3 ช่วงปี 2006 - 2008 6
2.1.4 ช่วงปี 2009 7
2.1.5 ช่วงปี 2010 8
2.1.6 ช่วงปี 2011 10
2.1.7 ช่วงปี 2012 14
2.1.8 ช่วงปี 2013 18
2.1.9 ข้อสรุปเรื่องเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามสุขภาพ 19

หน้า

2.2 กล้อง Kinect 21
2.2.1 เวอร์ชันของกล้อง Kinect 21
2.2.2 ส่วนประกอบและความสามารถของกล้อง Kinect 22
2.2.3 ชุดเครื่องมือพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับ Kinect 23
2.2.4 การประมวลผลภาพของกล้อง Kinect โดย Microsoft SDK 24
2.2.5 คุณสมบัติพิเศษใน Microsoft SDK 27
2.3 โรคคนทำงานออฟฟิศและการยศาสตร์ 29
2.3.1 โรคคนทำงานออฟฟิศ 29
2.3.2 การยศาสตร์ 35
2.3.3 ข้อสรุปเรื่องโรคคนทำงานออฟฟิศและการยศาสตร์ 39

3. ขั้นตอนการทำวิจัย 40
3.1 ข้อมูลทั่วไปของงานวิจัย 40
3.1.1 ภาพรวมของงานวิจัย 40
3.1.2 การติดตั้งระบบ 40
3.1.3 การตั้งค่าในแอพพลิเคชั่น 42
3.1.4 ประเด็นอื่นๆของระบบ 43
3.2 การตรวจจับการนั่งนิ่ง 44
3.2.1 การเก็บข้อมูลตัวอย่าง 44
3.2.2 การทำ Normalization 46
3.2.3 การเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) 48
3.2.4 วิธีการจำแนก (Classification Methods) 49
3.3 การตรวจจับท่าทางที่ไม่ถูกหลักการยศาสตร์ 50
3.3.1 ทฤษฎีบททางคณิตศาสตร์เพื่อการอ่านองศาร่างกาย 50
3.3.2 การอ่านองศาร่างกายกับกล้อง Kinect 54
3.3.3 การตรวจจับท่าทาง 55
3.3.4 การกรองสัญญาณรบกวน 59
3.3.5 การวัดผลการตรวจจับท่าทาง 61
3.4 การให้ผลตอบกลับและการออกรายงาน 62
3.4.1 ระดับความเสี่ยงทางสุขภาพ (Health Risk Level) 62

หน้า

3.4.2 คะแนนความเสี่ยงโดยรวม (Total Risk Score) และระดับความเสี่ยงทางสุขภาพโดยรวม (Total Health Risk Level) 64
3.4.3 การให้ผลตอบกลับแบบเรียลไทม์(Real-Time Feedback) 66
3.4.4 การออกรายงานสุขภาพ (Summary Report) 69

4. ผลการวิจัย 76
4.1 การตรวจจับการนั่งนิ่ง 76
4.1.1 การเลือกคุณลักษณะ 76
4.1.2 การจำแนก 78
4.2 การตรวจจับท่าทาง 82
4.3 การใช้งาน และระดับการยอมรับ 84
4.4 อภิปรายผล 85
4.4.1 ข้อจำกัดด้านทัศวิสัย 85
4.4.2 อิทธิพลของท่าทางเริ่มต้น 86
4.4.3 ความอ่อนไหวต่อแกน Z (Sensitivity to Z-Axis) 86
4.4.4 การประเมินผลการสร้างมโนภาพ 86
4.5 การประเมินระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ 89
4.5.1 ประเด็นทั่วไป 89
4.5.2 การประเมินผลการสร้างมโนภาพ 89
4.5.3 คะแนนและระดับความเสี่ยงทางสุขภาพโดยรวม 90
4.5.4 ความเห็นเรื่องการกรองสัญญาณรบกวน 90
4.5.5 การวัดความผิดพลาดเชิงบวกและเชิงลบของโมเดล 90

5. สรุปผลการวิจัย 91
5.1 ผลสรุป 91
5.2 แนวทางการวิจัยในอนาคต 92
5.2.1 การขยายขีดจำกัดในการตรวจจับ 93
5.2.2 การลดต้นทุนของระบบ และการเปลี่ยนไปใช้เทคโนโลยีอื่นๆ 93
5.2.3 การประเมิน “การติดตั้งระบบที่แนะนำ” 94
5.2.4 แนวทางการประเมินผลการสร้างมโนภาพ 96
5.2.5 การกำจัด Buffer Time ในการกรองสัญญาณรบกวน 97

หน้า

เอกสารอ้างอิง **98**

ภาคผนวก **115**

ก. เทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามสุขภาพ และเทคโนโลยีสำหรับการจดจำท่าทางของมนุษย์ 115

ข. เครื่องแจ้งเตือน 121

ค. การปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อรับการประเมินและขอความเห็นเกี่ยวกับระบบ 123

ประวัติผู้วิจัย **127**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1	ตาราง Unusual Event	9
2.2	เปรียบเทียบเทคโนโลยีการติดตามสุขภาพ	15
2.3	เปรียบเทียบระบบตรวจจับการล้มแบบต่างๆ	17
2.4	ความสามารถของกล้อง Kinect	23
2.5	พารามิเตอร์ 5 ค่า ของ Smoothing	28
3.1	การติดตั้งที่แนะนำ	41
3.2	พารามิเตอร์ในการปรับ Smoothing	42
4.1	อัตราความแม่นยำในการจำแนก เพื่อตรวจจับการนั่งนิ่ง ที่อาศัยจุดบนร่างกาย { Head_Dist_Avg, ElbowLeft_Dist_Avg, ElbowRight_Dist_Avg}	79
4.2	ข้อมูลความถูกต้องและความผิดพลาดในการตรวจจับการนั่งนิ่ง	80
4.3	อัตราความแม่นยำในการตรวจจับท่าทาง	82
4.4	อัตราความแม่นยำในการตรวจจับท่าทาง ที่ถูกแปลงรูป	83
4.5	ค่าความผิดพลาดอย่างมีนัยยะสำคัญ จากการใช้ Independent Samples T-test หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	84
4.6	ข้อมูลเรื่องการใช้งาน และระดับการยอมรับ	84
4.7	สัดส่วนการคำนวณความเสี่ยงทางสุขภาพโดยรวม	90
5.1	ความแม่นยำและการนำไปใช้ ของการติดตั้งระบบแบบต่างๆ	95
ก.1	เปรียบเทียบเทคโนโลยีการติดตามสุขภาพผู้ที่นั่งทำงาน	119
ก.2	เปรียบเทียบเทคโนโลยีการติดตามสุขภาพผู้ที่นั่งทำงาน (ต่อ)	120

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 4
2.1 เทคโนโลยีการตรวจวัดความลึก 6
2.2 การตรวจจับท่านั่งขณะทำงาน 6
2.3 แอพพลิเคชั่น Milo & Kate 7
2.4 การเปรียบเทียบข้อมูลที่อ่านได้กับข้อมูลตัวอย่าง 8
2.5 ระบบ Voodoo Tracking 9
2.6 การตรวจจับการล้ม 9
2.7 เก้าอี้การยศาสตร์ 10
2.8 การจำแนกท่าทางของมนุษย์โดยใช้ Accelerometer ในมือถือ 10
2.9 ห้องลองเสื้อผ้าเสมือน 11
2.10 นักบำบัดเสมือน SimSensei 11
2.11 การควบคุม Humanoid Robot ผ่านทางกล้อง Kinect 11
2.12 การติดตามพฤติกรรมก้าวร้าวในเด็ก 12
2.13 การตรวจจับท่าทางของมนุษย์ 12
2.14 ระบบควบคุมรูปภาพ โดยปราศจากการสัมผัส 13
2.15 เก้าอี้อัจฉริยะ 13
2.16 Super Mirror เพื่อฝึกสอนการเต้นรำแก่นักเต้นบัลเล่ย์ 14
2.17 การติดตั้งกล้อง Kinect หลายตัวเพื่อประกอบโครงร่างมนุษย์ 15
2.18 เทคโนโลยีการติดตามสุขภาพ 16
2.19 SEPTIMU 17
2.20 การตรวจจับใบหน้าด้วยกล้อง Logitech Webcam 18
2.21 การใช้ Fast Mocap สร้างกราฟฟิค 3 มิติ 18
2.22 หุ่นยนต์ที่ใช้ข้อมูลจากกล้อง Kinect เพื่อคาดคะเนพฤติกรรมในอนาคตของมนุษย์ 19
2.23 การติดตามท่าทางขณะนั่งทำงาน 19
2.24 Project Natal ในงานสัมมนา E3 2009 Microsoft 21
2.25 Kinect for Xbox360 21
2.26 Kinect for Windows 22
2.27 Kinect 2.0 22

รูป **หน้า**

2.28 ส่วนประกอบของกล้อง Kinect 23

2.29 การทำงานของกล้อง Kinect 24

2.30 ข้อมูลความลึก 25

2.31 ข้อมูลโครงร่าง 25

2.32 พิกัดของ Kinect 26

2.33 โลกแห่งความเป็นจริง และข้อมูลโครงร่าง: ผู้ใช้ยกแขนขวา 26
ข้อมูลภาพสี RGB และข้อมูลความลึกที่ออกมา: ผู้ใช้ยกแขนซ้าย

2.34 ข้อมูลความลึก และข้อมูลภาพสีที่จับได้จากกล้อง Kinect ในห้องที่ปิดไฟ 27

2.35 Default Mode และ Seated Mode 27

2.36 ท่านั่งที่เหมาะสม 37

2.37 ท่านั่งที่เหมาะสม และท่านั่งที่ไม่เหมาะสม 37

2.38 องศาคอที่ถือว่าอยู่ในระดับปกติ ตามหลัก RULA 38

2.39 องศาการบิดตัวที่ถือว่าอยู่ในระดับปกติ ตามหลักของ Keyserling et al. (ภาพซ้าย) 38

3.1 ภาพรวมของงานวิจัย 40

3.2 การติดตั้งที่แนะนำ 41

3.3 ภาพที่เห็นจากกล้อง Kinect 42

3.4 ขั้นตอนการสร้างตัวจำแนก เพื่อการตรวจจับการนั่งนิ่ง 44

3.5 คุณลักษณะ (Feature) ต่างๆของฟีด 45

3.6 การหา Euclidian Distance ของจุดหัว 46

3.7 การหา Normalized Euclidian Distance ของจุดหัว 47

3.8 การเปลี่ยน Feed เป็น Training Data Set 47

3.9 คุณลักษณะต่างๆ ของชุดข้อมูลฝึกฝน 48

3.10 ระบบพิกัดรูปทรงกลมบนพิกัดของกล้อง Kinect 51

3.11 สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่สร้างจากจุด 2 จุด บนพิกัด X, Y, Z 52

3.12 สามเหลี่ยมกับกฎของโคไซน์ 52

3.13 การใช้กฎของโคไซน์ หามุมต่างๆของสามเหลี่ยม 53

3.14 สามเหลี่ยมมุมฉาก และสมบัติของมุม 54

3.15 เมื่อแทนค่า α ในสมการองศาด้วยแกนต่างๆ 54

3.16 การวัดองศาคอของผู้ใช้ 55

3.17 การคำนวณองศาคอบนพิกัด 3 มิติ 56

รูป **หน้า**

3.18 การวัดองศาการหันของผู้ใช้ 57
3.19 การคำนวณองศาการหันบนพิกัด 3 มิติ 57
3.20 ความสูง (*Y*) ของ *Head* และ *ShoulderCenter* ระหว่างการนั่งกับการยืน 58
3.21 การเปลี่ยนแปลงสถานะที่สำเร็จ 60
3.22 การเปลี่ยนแปลงสถานะที่ไม่สำเร็จ (การกรองสัญญาณรบกวน) 60
3.23 การคำนวณคะแนนความเสี่ยงโดยรวม 64
3.24 ระดับความเสี่ยงทางสุขภาพของการนั่งนิ่ง การก้มหน้า และการบิดตัว 65
3.25 ความเป็นสมาชิกของระดับความเสี่ยงทางสุขภาพโดยรวม 65
3.26 สีชาดสด (Vivid Vermilion) [239, 64, 0] ที่ได้จากการผสมสี 66
3.27 แอพพลิเคชั่นสำหรับการติดตามโรคคนทำงานออฟฟิศ 67
3.28 หน้าจอมอนิเตอร์ที่แสดงผลการตรวจจับ 67
3.29 เครื่องแจ้งเตือน Pos-Monitor 68
3.30 รายงานสุขภาพประจำวัน ที่มีช่วงของเฟรมเวลาต่างๆ 69
3.31 รายงานสรุปแบบละเอียด ที่มีช่วงของเฟรมเวลาเท่ากับ 5 นาที 70
3.32 การนำเมาส์ไปชี้ เพื่อดูรายละเอียดเพิ่มเติม 70
3.33 รายงานสรุปแบบละเอียด แบบแนวนอน 71
3.34 “การนั่งนิ่ง” ของ Vector Man 72
3.35 “การก้มหน้า” ของ Vector Man 72
3.36 “การบิดตัว” ของ Vector Man 72
3.37 ท่าทางอื่นๆ ของ Vector Man 72
3.38 รายงานสรุปแบบย่อด้วยไอคอนแบบปกติ 73
3.39 รายงานสรุปแบบย่อด้วยไอคอนแบบเล็ก 73
3.40 รายงานสรุปท่าทาง 74
3.41 แผนภูมิวงกลม ที่สรุปปริมาณเวลาของท่าทางต่างๆ 74
3.42 แผนภูมิวงกลม ที่สรุประดับความเสี่ยงทางสุขภาพของการนั่งนิ่ง 75
3.43 แนวโน้มความเสี่ยงทางสุขภาพ ในระยะเวลา 15 วัน 75
4.1 Independent Samples T-test ในโปรแกรม SAS Enterprise Guide 76
4.2 D-Tree ที่สร้างจากคุณลักษณะทั้งหมด 77
4.3 Normalized Importance ที่ได้จากการสร้างโมเดลด้วย Neural Network ในโปรแกรม SPSS 77

รูป **หน้า**

4.4 Boxplot ที่แสดงผลต่างใน *ElbowLeft_Dist_Avg* ระหว่างข้อมูล 2 ประเภท 78

4.5 สายงานที่ได้ตัวจำแนกที่น่าพอใจที่สุด (Optimal Workflow) 81

4.6 ตัวจำแนกที่น่าพอใจที่สุด (Optimal Classifier) 81

4.7 การบิดตัว 83

4.8 กราฟจุดที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 84

4.9 การมองเห็นของกล้อง กับการบิดตัวของผู้ใช้ 85

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ กับความแม่นยำ และการรองรับสถานที่ทำงาน 96

5.2 Production–Possibility Frontier 96
โดยใช้ข้อมูลระยะ ความแม่นยำ และการรองรับสถานที่ทำงาน

5.3 การกรองสัญญาณรบกวนแบบเขียนข้อมูลแบบย้อนกลับ 97

ก.1 เทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามสุขภาพ และเทคโนโลยีสำหรับการจดจำท่าทางของมนุษย์ 116

ก.2 การจำแนกประเภทเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามสุขภาพ 117
และเทคโนโลยีสำหรับการจดจำท่าทางของมนุษย์

ก.3 ข้อดี-ข้อเสียของเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามสุขภาพ 122
และเทคโนโลยีสำหรับการจดจำท่าทางของมนุษย์ แบบต่างๆ

ข.1 วงจรของ Pos-Monitor 124