

การแบ่งเฟสการเดินสำหรับระบบวัดแรงกดในเท้าเทียมต้นทนต์ต่ำ

Gait phase detection for a low-cost pressure sensor system for residual limb and socket interface

ทินกร ภูสีดิน¹ อาบทิพย์ ชีรวรงค์กิจ^{1*}

¹สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ท่าพระ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9718 โทรสาร 0-2470-9691 *อีเมลล์ arbtip@fibo.kmutt.ac.th

Tinnakorn Phuseedin¹, Arbtip Dheeravongkit^{1*}

¹Institute of Field roBotics, King Mongkut's University of Technology Thonburi,

Thungkru, Bangkok, 10140, Thailand

Tel: 0-2470-9718, Fax: 0-2470-9691, *E-mail: arbtip@fibo.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการแบ่งเฟสการเดินสำหรับระบบวัดแรงกดในเท้าเทียมของผู้พิการ ซึ่งระบบนี้จะสามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดกับช่วงจังหวะการเดินได้ โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดแรงและเซ็นเซอร์ความเร็วเชิงมุม มาใช้ในการวัดแรงในเท้าเทียมและแบ่งช่วงจังหวะการเดินตามลำดับ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการปรับแต่งขาเทียมให้ถูกต้องและเหมาะสมกับผู้พิการแต่ละรายในขั้นตอนการทดลองสวมใส่ขาเทียม

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นสร้างเครื่องมือวัดแรงเพื่อช่วยให้นักกายอุปกรณ์ ออกแบบและปรับแต่งขาเทียมแก่ผู้พิการให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นและยังเป็นการสร้างเครื่องมือวัดแรงในเท้าเทียมที่ใช้ต้นทนต์ต่ำเพื่อใช้ในประเทศ

คณะผู้วิจัยได้จัดสร้างระบบวัดแรงกดในเท้าเทียมต้นทนต์ต่ำนี้ และได้นำไปทดลองแบ่งวงจรการเดินของคนปกติจำนวน 5 คน เพื่อเปรียบเทียบการแบ่งเฟส (Phase) การเดิน 2 วิธี ซึ่งวิธีที่ 1 นั้นจะติด Gyro sensor ไว้ที่ขาท่อนล่าง ส่วนวิธีที่ 2 จะติด Gyro sensor ไว้ที่รองเท้า แล้วสร้างอัลกอริทึมมาแบ่งเฟสการเดินจากสัญญาณทั้งสองเปรียบเทียบกัน ซึ่งทั้งสองวิธีจะสอบเทียบกับการแบ่งเฟสการเดินโดยใช้ Force Sensing Resistors (FSR)

การทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการทดลองหาตำแหน่งในการติดเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมและมีความแม่นยำมากที่สุดเพื่อจะเป็นตำแหน่งอ้างอิงในการทดลองกับผู้พิการต่อไป

1. บทนำ

จากสถิติของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ขณะนี้ประเทศไทยมีผู้พิการขาขาดประมาณ 60,000 คน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนใหญ่เกิดจากอุบัติเหตุทั้งจากการจราจรและการเกษตร และตอนนี้ได้มีมูลนิธิและหน่วยงานต่างๆ ได้เข้ามาช่วยเหลือผู้พิการ โดยได้มีการผลิตขาเทียมให้แก่ผู้พิการเหล่านั้นหลายหน่วยงาน โดยส่วนใหญ่แล้วในขั้นตอนการทดสอบขาเทียมนั้นจะให้ผู้พิการลองสวมใส่และเดิน ซึ่งข้อมูลที่ได้ก็คือคำตอบจากการการสัมภาษณ์ของผู้พิการ ซึ่งถ้าหากมีข้อผิดพลาดของข้อมูลอันเนื่องมาจากความเกรงใจหรือความเร่งรีบของผู้พิการ ก็อาจจะส่งผลทำให้ขาเทียมที่ผู้พิการได้รับไปเป็นขาเทียมที่มีคุณภาพไม่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่อผู้พิการในระยะยาว อาทิเช่น ทุกข์ทรมานจากความเจ็บปวดอันเนื่องมาจากแผลกดทับ การกดทับเส้นประสาท ความเสื่อมของข้อและเนื้อเยื่อร่างกายก่อนเวลาอันสมควร และผลข้างเคียงอื่นๆจากขาเทียมดังกล่าว

ดังนั้นหากออกแบบระบบที่สามารถตรวจวัดแรงกดที่ให้ข้อมูลในเชิงปริมาณออกมา ก็จะทำให้ช่างกายอุปกรณ์สามารถประเมินเท้าเทียมที่ผลิตออกมานั้นได้ง่ายยิ่งขึ้น และจะประเมินได้ว่าต้องปรับปรุงอย่างไร และปริมาณเท่าไร เพื่อให้เป็นไปตามหลักชีวกลศาสตร์ ซึ่งจะส่งผลให้ขั้นตอนในการปรับแก้ขาเทียมมีความถูกต้องและแม่นยำตามหลักการมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพเท้าเทียมที่ผลิตไม่ให้เกิดผลกระทบกับผู้พิการในระยะยาว

สำหรับการแบ่งเฟส การเดินโดยทั่วไปแล้วห้องวิจัยเกี่ยวกับการเดินจะใช้ระบบกล้องในการจับภาพเสียเป็นส่วนใหญ่ และพื้นทางเดินจะติดเซ็นเซอร์ไว้ ซึ่งระบบแบบนี้สามารถใช้วิเคราะห์การเดินได้อย่างสมบูรณ์แบบ [2] แต่จะมีข้อเสียคือราคาแพง ใช้เวลาในการ

ทดลองเก็บข้อมูลนาน ไม่สามารถพกพาไปใช้นอกสถานที่ได้ และส่วนใหญ่จะใช้นานวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงออกแบบและพัฒนาระบบใหม่ โดยเลือกใช้ Gyro sensor เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน อุปกรณ์มีราคาถูกและสามารถพกพาไปใช้งานนอกสถานที่ได้สะดวก ซึ่งแนวทางการพัฒนาแบบนี้จะทำให้ได้เครื่องมือที่มีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อไปสู่การใช้งานได้จริง ระบบมีขนาดเล็ก ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลไม่มากนัก และมีข้อมูลที่เป็นประโยชน์และเพียงพอในการปรับแต่งขาเทียมให้เหมาะสมกับผู้ใช้การแต่ละราย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้พิการอย่างมาก

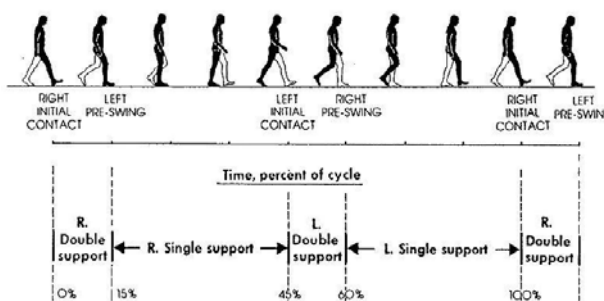
เนื้อหาในบทความนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (ส่วนที่ 2) ภาพรวมของระบบรวมทั้งรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ (ส่วนที่ 3) จากนั้นจะอธิบายการวิเคราะห์สัญญาณ รวมทั้งอัลกอริทึมที่ใช้ในการแบ่งเฟสการเดิน (ส่วนที่ 4) สุดท้ายเป็นส่วนของผลการทดลอง (ส่วนที่ 5) และสรุปผล (ส่วนที่ 6)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรการเดิน (Gait cycle)

ในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงกับรูปแบบการแบ่งช่วงจังหวะการเดินออกเป็น 4 ช่วงดังนี้

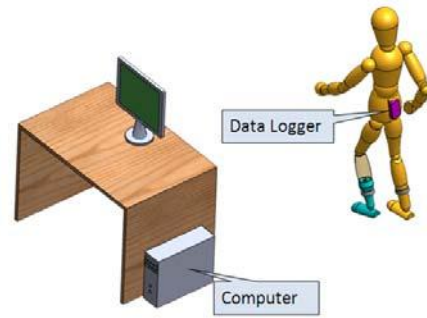
1. **Right double support (RDS)** คือ ช่วงเวลาที่เท้าทั้งสองแตะพื้นในเวลาเดียวกัน โดยที่เท้าขวาอยู่ระหว่างจังหวะ Push off ถึงจังหวะ Toe off ส่วนเท้าซ้ายอยู่ระหว่างจังหวะ Heel strike ถึงจังหวะ Foot flat
2. **Right single support (RSS)** คือ ช่วงเวลาที่เท้าขวาแตะพื้นเพียงด้านเดียวส่วนเท้าซ้ายไม่สัมผัสกับพื้นและอยู่ระหว่างจังหวะ Toe off ถึงจังหวะ Heel strike
3. **Left double support (LDS)** คือ ช่วงเวลาที่เท้าทั้งสองแตะพื้นในเวลาเดียวกัน โดยที่เท้าซ้ายอยู่ระหว่างจังหวะ Push off ถึงจังหวะ Toe off ส่วนเท้าขวาอยู่ระหว่างจังหวะ Heel strike ถึงจังหวะ Foot flat
4. **Left single support (LSS)** คือ ช่วงเวลาที่เท้าซ้ายแตะพื้นเพียงด้านเดียวส่วนเท้าขวาไม่สัมผัสกับพื้นและอยู่ระหว่างจังหวะ Toe off ถึงจังหวะ Heel strike



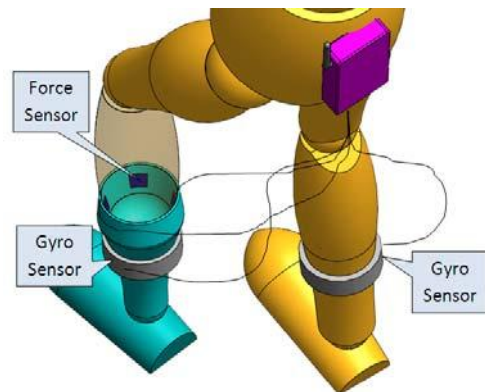
รูปที่ 1 แสดงวงจรการเดินที่แบ่งออกเป็น 4 ช่วงจังหวะการเดิน [3]

3. ภาพรวมและส่วนประกอบของระบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 2 แสดงภาพรวมทั้งหมดของระบบ



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบที่ถูกติดตั้งกับผู้ใช้การ

รายละเอียดและองค์ประกอบโดยรวมของระบบดังรูปที่ 2 และ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย

1. **Computer** จะทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลข้อมูลที่ได้จาก Data logger ซึ่งเป็นค่าแรงและความเร็วเชิงมุม แล้วทำการแบ่งช่วงจังหวะการเดินและแสดงค่าแรงในแต่ละช่วงการเดินออกมา
2. **Data logger** ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าจาก Force sensor ให้เป็นค่าของแรงกด และแปลงสัญญาณไฟฟ้าจาก Gyro sensor ให้เป็นค่าความเร็วเชิงมุม เมื่อแปลงเสร็จแล้วจะส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังคอมพิวเตอร์แบบไร้สายผ่านทางโมดูลบลูทูธ
3. **Force sensor** ทำหน้าที่แปลงจากแรงกดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า
4. **Gyro sensor** ทำหน้าที่แปลงจากความเร็วเชิงมุมให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

การทำงานจะเริ่มจากคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณเพื่อไปสั่งให้ Data logger เริ่มวัดค่าแรงและความเร็วเชิงมุมหลังจากนั้น Data logger ก็จะทำการวัดแล้วส่งค่าเหล่านั้นกลับไปยังคอมพิวเตอร์ ต่อจากนั้นคอมพิวเตอร์จะบันทึกข้อมูลเหล่านั้นเป็นไฟล์ไว้ และเมื่อมีผู้ใช้มาสั่งให้วิเคราะห์ข้อมูล ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นก็ดึงข้อมูลจากไฟล์ขึ้นมาวิเคราะห์และรายงานออกมาในรูปแบบที่ผู้ต้องการ

3.2 Gyroscopes

การทดลองนี้ Gyro Sensor เบอร์ LPY510AL ซึ่งติดตั้งบนบอร์ดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาด กว้าง 0.5 นิ้ว ยาว 1.0 นิ้ว และมีน้ำหนัก 1.2 กรัม ซึ่ง Gyro sensor นี้มีย่านการวัดสองย่านที่สามารถเลือกได้คือ $\pm 100^\circ/\text{s}$ และ $\pm 400^\circ/\text{s}$ โดยในการทดลองนี้ใช้ $\pm 100^\circ/\text{s}$ ซึ่งเพียงพอสำหรับการวัดความเร็วเชิงมุมของขาตอนล่างเวลาเดิน ส่วนความไวของเซ็นเซอร์ คือ $10 \text{ mV}/(^\circ/\text{s})$ และ $2.5 \text{ mV}/(^\circ/\text{s})$ สำหรับการทดลองนี้ใช้ความไวขนาด $10 \text{ mV}/(^\circ/\text{s})$ Gyro Sensor นี้สามารถวัดได้สองแกน คือ Pitch(x) และ Yaw(z) แต่การทดลองนี้จะใช้แกน Yaw(z) เพียงแกนเดียว

3.3 Footswitches

สำหรับการทดลองนี้จะใช้ Footswitches ที่ประกอบด้วย Force Sensing Resistors (FSR) ขนาดวัดแรง 1 lb. ซึ่งเป็นแบบ Piezo Resistive Force Sensor โดยจะติดตั้งตำแหน่ง คือตำแหน่งปลายนิ้ว (FSR_{toe}) และตำแหน่งส้นเท้า (FSR_{heel}) ดังรูปที่ 5 สัญญาณจาก FSR ทั้งสองตัวนี้จะถูกอ่านด้วย Data logger ที่ความถี่ 150 Hz ซึ่งสัญญาณนี้จะใช้ในการแบ่งเฟสการเดิน โดยการทำ Thresholding แล้วหาจังหวะ Heel strike และ Toe off ของขาทั้งสองข้าง หลังจากนั้นก็จะแบ่งเฟสการเดินออกเป็น 4 จังหวะ

3.4 Subjects

สำหรับการทดลองนี้จะใช้ Subject เป็นกลุ่มคนวัยกลางคนและมีอายุอยู่ระหว่าง 22-35 ปี จำนวน 5 คน โดยในการทดลองเดินจะวัดสัญญาณจาก Gyro sensor และ Footswitches ไปพร้อมๆกันและก่อนที่จะทำการเก็บบันทึกข้อมูล จะให้โอกาส Subject ทดลองเดินเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยกับ Gyro sensor และ Footswitches ที่ติดเข้าไปก่อน โดยจะเดินบนพื้นความยาว 10 เมตรจำนวน 3 รอบ หลังจากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลโดยจะเก็บข้อมูลการเดิน 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะใช้ข้อมูลการเดิน 2 ก้าวมาวิเคราะห์

3.5 Force Sensor

สำหรับการทดลองนี้จะใช้ Force Sensing Resistors (FSR) ขนาดวัดแรง 25 lb. จำนวน 8 ตัวและขนาด 100 lb. จำนวน 2 ตัว ซึ่งเป็นแบบ Piezo resistive force sensor โดยจะติด 8 ตำแหน่ง ซึ่งจะมี 4 ตำแหน่งที่รับแรงมาก และมีอีก 4 ตำแหน่งเป็นตำแหน่งที่ต้องไม่มีแรงกดในจุดนี้(จะเหลือเซ็นเซอร์ 2 ตัวไม่ถูกใช้งานซึ่งมีไว้สำหรับเป็นเซ็นเซอร์สำรอง) สัญญาณจาก FSR ทั้งสิบตัวนี้จะถูกอ่านด้วย Data logger ที่ความถี่ 150 Hz ซึ่งสัญญาณนี้จะบอกขนาดของแรงที่กระทำในจุดต่างๆ



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของ Gyro sensor



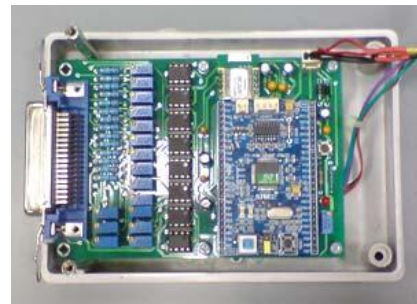
รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งการติด Footswitches



รูปที่ 6 แสดง Force sensor สำหรับวัดแรงในเท้าเทียม

3.6 Data Logger

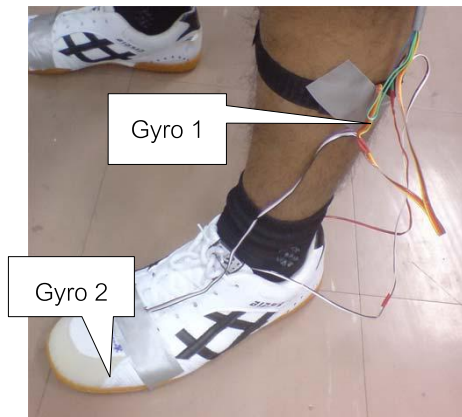
จะเป็นส่วนวัดค่าแรงและความเร็วเชิงมุม แล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ ผ่านระบบไร้สายโดยใช้โมดูลบลูทูธและใช้ Baud rate ที่ 110520 bit/s หน่วยประมวลผลหลักจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arm7 เบอร์ STM32F103 RET6 ของบริษัท ST Microelectronics ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้จะมี Analog to digital conversion ขนาด 12 bits จำนวน 16 ช่องสัญญาณ จะใช้วัดความเร็วเชิงมุม 4 ช่องสัญญาณและวัดแรง 10 ช่องสัญญาณ



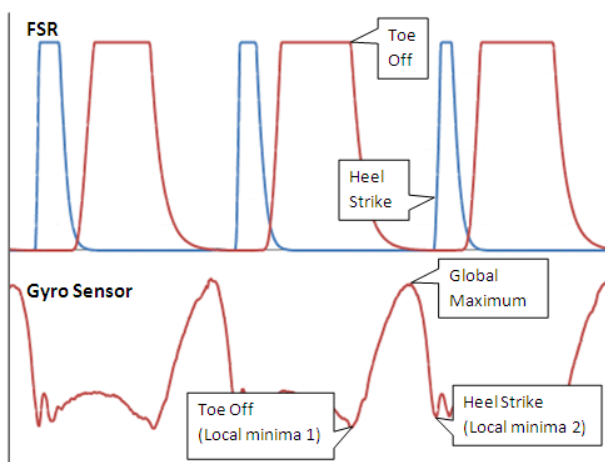
รูปที่ 7 แสดงวงจรและส่วนประกอบของ Data logger

4 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้จะเปรียบเทียบความแม่นยำในการแบ่งเฟสการเดิน 2 วิธี โดยสองวิธีนี้จะติดเซ็นเซอร์ในตำแหน่งที่ต่างกันคือ วิธีที่ 1 นั้นจะติดที่บริเวณขาตอนล่างตรงกลาง ส่วนวิธีที่ 2 นั้นติดบริเวณที่ระยะ 70% ของความยาวของรองเท้าจากส้นเท้าถึงปลายเท้า ดังในรูปที่ 8 โดยทั้งสองวิธีใช้ Gyro sensor เป็นเซ็นเซอร์และสอบเทียบความแม่นยำในการแบ่งเฟสการเดินกับการแบ่งเฟสการเดินโดยใช้สัญญาณจาก FRS การทดลองนี้จะเน้นหาตำแหน่งการติดเซ็นเซอร์ที่ให้ความแม่นยำมากที่สุด



รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งการติด Gyro sensor หมายเลข 1 และ Gyro sensor หมายเลข 2



รูปที่ 9 แสดงสัญญาณจาก Force sensor และ Gyro sensor สำหรับวิธีที่ 1

วิธีที่ 1

อ้างอิงจากสัญญาณที่มาจาก FSR ดังแสดงในรูปที่ 9 การหาจังหวะ Heel Strike นั้นจะตัด Threshold ของสัญญาณที่ 25% แล้วจะค้นหาขอบขาขึ้นของสัญญาณ FSR_{heel} ส่วนการหาจังหวะ Toe off จะหาจังหวะขอบขาลงของสัญญาณ FSR_{toe} ส่วนการหาจังหวะ Heel strike และ Toe off ของสัญญาณจาก Gyro sensor นั้นจะเป็นไปตามอัลกอริทึมตามรูปที่ 10 โดยเริ่มจากการทำ Average filter โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 5 ข้อมูล เพื่อลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนไม่ให้มีผลต่อการวิเคราะห์ หลังจากนั้นหา Global maximum เพื่อคำนวณช่วงเวลาของวงจรการเดินดังสมการที่ (5) ต่อจากนั้นหาจังหวะ Toe off โดยการค้นหาจุด Local minima 1 ซึ่งอยู่ในช่วง $-0.4*gc$ ถึง $-0.1*gc$ ส่วนจังหวะ Heel strike หาโดยการค้นหาจุด Local minima 2 ซึ่งอยู่ในช่วง $0.025*gc$ ถึง $0.325*gc$ การกำหนดช่วงในการค้นหาจังหวะ Toe off นั้นคำนวณตามสมการ (1) และ (2) และเมื่อคำนวณแล้วจะเป็นช่วง $-0.4*gc$ ถึง $-0.1*gc$

$$R_{L1} = T_{L1}/gc \quad (1)$$

$$T_{to} = (A_{to} \pm 3 * \sigma_{to}) * gc \quad (2)$$

เมื่อ

gc คือช่วงเวลาของ Gait cycle

T_{L1} คือ ช่วงเวลาจาก Local minima 1 ถึง Global maximum

T_{to} คือ ช่วงในการค้นหาจังหวะ Toe off

A_{to} คือ ค่าเฉลี่ยของ R_{L1}

σ_{to} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_{L1}

ส่วนการกำหนดช่วงในการค้นหาจังหวะ Heel strike นั้นคำนวณตามสมการ (3) และ (4) และเมื่อคำนวณแล้วจะเป็นช่วง $0.025*gc$ ถึง $0.325*gc$

$$R_{L2} = T_{L2}/gc \quad (3)$$

$$T_{hs} = (A_{hs} \pm 3 * \sigma_{hs}) * gc \quad (4)$$

เมื่อ

T_{L2} คือ ช่วงเวลาจาก Global maximum ถึง Local minima 2

T_{hs} คือ ช่วงในการค้นหาจังหวะ Heel strike

A_{hs} คือ ค่าเฉลี่ยของ R_{L2}

σ_{hs} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ R_{L2}

รูปสัญญาณในรูปที่ 9 นั้นจะเป็นสัญญาณของเท้าขวาเพียงด้านเดียว ส่วนสัญญาณของเท้าซ้ายก็จะมีลักษณะเหมือนกันแต่จะเหลื่อมกับสัญญาณของเท้าขวา การหาจังหวะ Toe off และ Heel strike ของเท้าซ้ายนั้นจะเหมือนกับเท้าขวาดังที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ เมื่อหาจังหวะ Heel strike และ Toe off ของเท้าขวาและซ้ายได้แล้วก็นำไปคำนวณตามสมการ (6) (7) (8) (9) ด้านล่าง

- 1) ช่วงเวลาของวงจรการเดิน

$$gc(i) = p_{hr}(i+1) - p_{hr}(i) \quad 1 \leq i \leq N \quad (5)$$

- 2) ช่วง Left single support

$$LSS(i) = p_{ll}(i) - p_{hl}(i) \quad (6)$$

- 3) ช่วง Right single support

$$RSS(i) = p_{lr}(i) - p_{hr}(i) \quad (7)$$

- 4) ช่วง Left double support

$$LDS(i) = p_{ll}(i) - p_{hr}(i) \quad (8)$$

- 5) ช่วง Right double support

$$RDS(i) = p_{lr}(i) - p_{hl}(i) \quad (9)$$

เมื่อ

i คือลำดับหมายเลขของ Gait cycle

p_{hr} คือจังหวะ Heel strike ของเท้าขวา

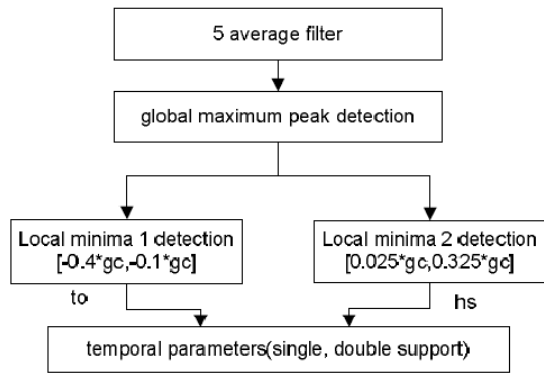
p_{lr} คือจังหวะ Toe off ของเท้าขวา

p_{hl} คือจังหวะ Heel strike ของเท้าซ้าย

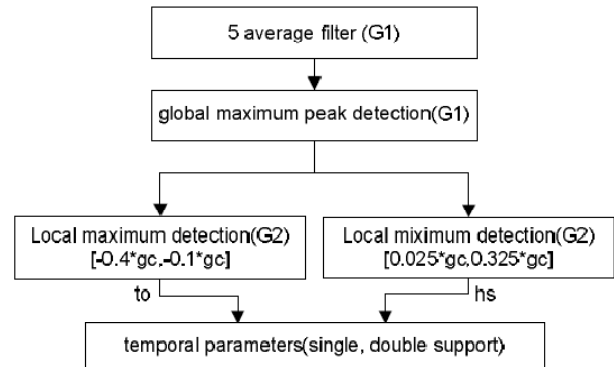
p_{ll} คือจังหวะ Toe off ของเท้าซ้าย

ซึ่งการทดลองจะใช้ข้อมูลจำนวน 6 Gait cycles ของแต่ละ

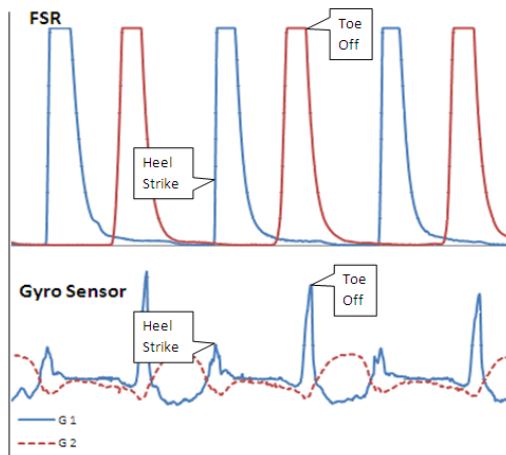
Subject มาวิเคราะห์



รูปที่ 10 แสดงอัลกอริทึมสำหรับการหาจังหวะ Toe off และ Heel strike จากสัญญาณของ Gyro sensor ด้วยวิธีที่ 1



รูปที่ 12 แสดงอัลกอริทึมสำหรับการหาจังหวะ Toe off และ Heel strike จากสัญญาณของ Gyro sensor ด้วยวิธีที่ 2



รูปที่ 11 แสดงสัญญาณจาก Force sensor และ Gyro sensor สำหรับวิธีที่ 2

วิธีที่ 2

อ้างอิงจากสัญญาณที่มาจาก FSR ดังแสดงในรูปที่ 11 การหาจังหวะ Heel strike นั้นจะตัด Threshold ของสัญญาณที่ 25% แล้วจะค้นหาขอบขาขึ้นของสัญญาณ FSR_{heel} ส่วนการหาจังหวะ Toe off จะหาจังหวะขอบขาลงของสัญญาณ FSR_{toe} ส่วนการหาจังหวะ Heel strike และ Toe off ของสัญญาณจาก Gyro sensor นั้นจะเป็นไปตามอัลกอริทึมตามรูปที่ 12 โดยจะใช้สัญญาณสองสัญญาณคือ Gyro sensor ตัวที่ 1 (G1) และ Gyro sensor ตัวที่ 2 (G2) เริ่มจากการทำ Average filter ของสัญญาณ G2 โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลจำนวน 5 ข้อมูล แล้วหา Global maximum เพื่อนำไปคำนวณช่วงเวลาของการเดิน(gc) ดังสมการที่ (5) หลังจากนั้นหาจังหวะ Toe off โดยการค้นหาจุด Local maximum ของสัญญาณ G1 ซึ่งอยู่ในช่วง $-0.4*gc$ ถึง $-0.1*gc$ ส่วนจังหวะ Heel strike จะหาโดยค้นหาจุด Local maximum ของสัญญาณ G1 ซึ่งอยู่ในช่วง $0.025*gc$ ถึง $0.325*gc$ เมื่อหาจังหวะ Heel strike และ Toe off ของเท้าขวาและเท้าซ้ายได้แล้วก็นำมาคำนวณตามสมการ (6) (7) (8) (9) ตามวิธีที่ 1

5. ผลการทดลอง

นำข้อมูลของ Subject ทั้ง 5 คน คนละ 6 Gait Cycle มารวมกัน และวิเคราะห์หา Correlation coefficient (r) ตามสมการ (10)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})(f_i - \bar{f})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2 \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2}} \quad (10)$$

เมื่อ

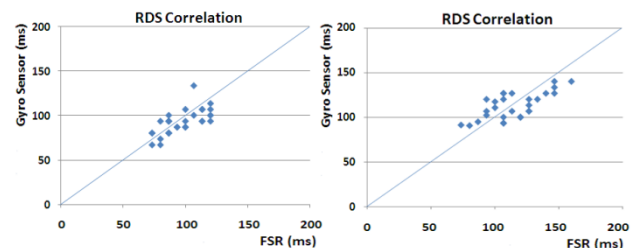
g_i คือช่วงเวลาของเฟสที่สนใจที่แบ่งเฟสโดย Gyro sensor

f_i คือช่วงเวลาของเฟสที่สนใจที่แบ่งเฟสโดย FSR

$\bar{g}$ คือค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของเฟสที่สนใจที่แบ่งเฟสโดย Gyro sensor

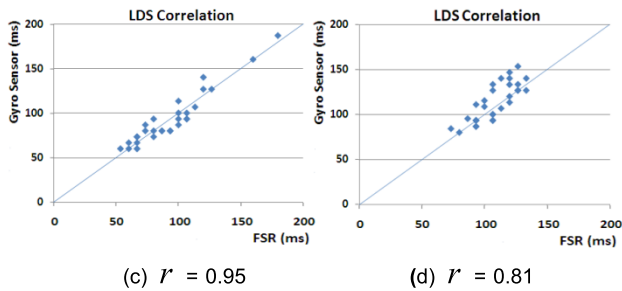
$\bar{f}$ คือค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของเฟสที่สนใจที่แบ่งเฟสโดย FSR

ลักษณะ Correlation และค่า r จะเป็นดังรูปที่ 13 และ 14 โดยฝั่งซ้ายมือจะเป็นของวิธีที่ 1 และฝั่งขวามือจะเป็นของวิธีที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ รูปที่ 13(a) เป็น Correlation ของ RDS ของวิธีที่ 1 รูปที่ 13(b) เป็น Correlation ของ RDS ของวิธีที่ 2 รูปที่ 13(c) เป็น Correlation ของ LDS ของวิธีที่ 1 รูปที่ 13(d) เป็น Correlation ของ LDS ของวิธีที่ 2 ส่วนรูปที่ 14 มีรายละเอียดดังนี้รูป 14(a) เป็น Correlation ของ RSS ของวิธีที่ 1 รูปที่ 14(b) เป็น Correlation ของ RSS ของวิธีที่ 2 รูปที่ 14(c) เป็น Correlation ของ LSS ของวิธีที่ 1 และรูปที่ 14(d) เป็น Correlation ของ LSS ของวิธีที่ 2

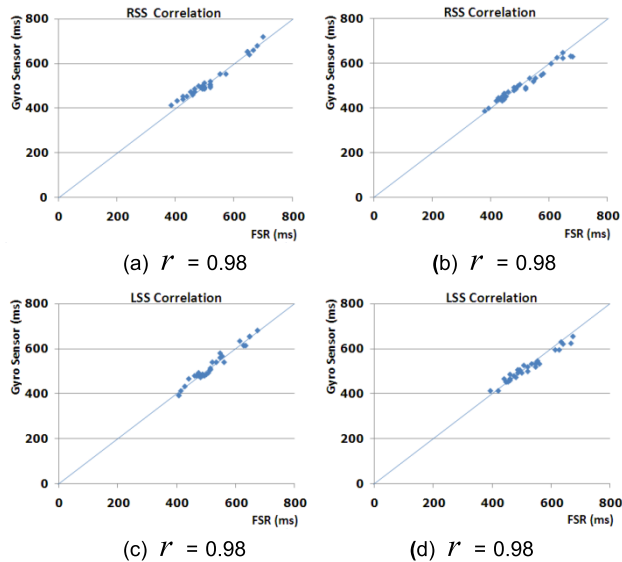


(a) $r = 0.68$

(b) $r = 0.66$



รูปที่ 13 แสดง Correlation ของการแบ่งเฟส Double support ด้วย FSR กับ Gyro sensor ของทั้งสองวิธี



รูปที่ 14 แสดง Correlation ของการแบ่งเฟส Single support ด้วย FSR กับ Gyro sensor ของทั้งสองวิธี

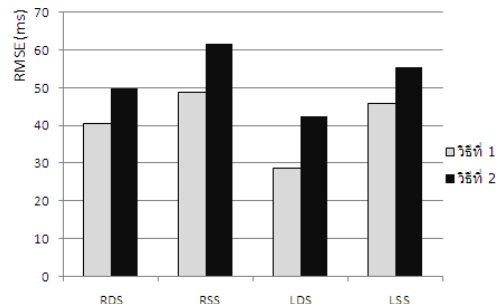
จากผลการทดลองในรูปที่ 14 จะเห็นได้ระบบว่าในเฟส Single support ทั้งสองวิธีมีความแม่นยำไม่แตกต่างกัน ($R = 0.98$) ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีมาก จากรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าค่า Correlation coefficient ของเฟส Right single support นั้นมีค่าต่ำทั้งสองวิธี ($R = 0.68$ และ 0.66) ซึ่งมีสาเหตุมาจากตำแหน่งการติด Gyro sensor ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่า วิธีที่ 1 ข้อมูล RDS ของ Subject หมายเลข 1 3 และ 5 มีผลต่างของเวลาในการแบ่งเฟส RDS ที่แบ่งโดย Gyro sensor กับแบ่งเฟสโดย FSR มีค่าที่สูง ซึ่งทั้งสาม Subject มีค่าผลต่างนี้เป็น 8.67 ms -15.17 ms และ -9.75 ms ตามลำดับ ส่วนวิธีที่ 2 ข้อมูล RDS ของ Subject หมายเลข 1 2 และ 3 มีผลต่างนี้เช่นกัน ซึ่งมีค่า -13 ms -11.92 ms และ -18.42 ms ตามลำดับซึ่งมีผลมาจากตำแหน่งที่ติด Gyro sensor และลักษณะการเดินของแต่ละ Subject ที่แตกต่างกัน

นำข้อมูลมาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน(Root Mean Square error: RMSE) ดังสมการที่ (11) ในการทดลองนี้จะกำหนดให้เฟสการเดินที่แบ่งด้วยสัญญาณจาก FSR คือค่าเฟสการเดินที่เกิดขึ้นจริง

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - g_i)^2}{n}} \quad (11)$$

จากการคำนวณจะได้ผลค่า RMSE ดังนี้ วิธีที่ 1 ช่วง RDS มีค่า 40.37 ms ช่วง RSS มีค่า 48.69 ms ช่วง LDS มีค่า 28.80 ms ช่วง LSS มีค่า 45.70 ms และวิธีที่ 2 ช่วง RDS มีค่า 49.93 ms ช่วง RSS

มีค่า 61.56 ms ช่วง LDS มีค่า 42.36 ms ช่วง LSS มีค่า 55.32 ms ซึ่งแสดงดังกราฟแท่งที่ 1



กราฟที่ 1 เปรียบเทียบค่า RMSE ของการแบ่งเฟสทั้งสองวิธี

6. สรุป

จากการคำนวณหา Correlation coefficient และค่า RMSE ของการแบ่งเฟสทั้งสองวิธีพบว่าวิธีแรกแม่นยำมากกว่าวิธีที่สองโดยค่า R ของวิธีแรกนั้นจะสูงกว่าวิธีที่สองของทุกเฟสการเดิน และค่า RMSE ของวิธีแรกต่ำกว่าวิธีที่สองทุกเฟสการเดินโดยจะต่ำกว่า 11.40 ms โดยเฉลี่ย ระบบที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อแบ่งเฟสการเดินสำหรับระบบวัดแรงกดในเท้าเทียมต้นท่อนั้นสามารถแบ่งเฟส Single support ได้ดีและมีความแม่นยำสูง($R = 0.98$) แต่ในเฟส Double support นั้นความแม่นยำยังไม่ดีนักและไม่มีเสถียรภาพที่ดี (R มีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 ถึง 0.95) เนื่องจากว่าคาบเวลาของช่วง Double support นั้นสั้น [4] (การทดลองนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 103.33 ms) ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจึงมีผลต่อการแบ่งเฟส Double support อย่างมาก และอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลก็คืออัตราการสุ่มสัญญาณของ Data logger ที่มีค่าต่ำเกินไป ดังนั้นถ้าต้องการปรับปรุงความแม่นยำในเฟส Double support สามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราการสุ่มสัญญาณของ Data logger ให้มีความถี่ที่สูงขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aminian, K., K. Rezakhanlou, et al. (1999). "Temporal feature estimation during walking using miniature accelerometers: an analysis of gait improvement after hip arthroplasty." Medical and Biological Engineering and Computing 37(6): 686-691.
- [2] Aminian, K., B. Najafi, et al. (2002). "Spatio-temporal parameters of gait measured by an ambulatory system using miniature gyroscopes." Journal of biomechanics 35(5): 689-699.
- [3] DeLisa, J. A. and C. K. Kerrigan (1998). Gait analysis in the science of rehabilitation, Diane Publishing.
- [4] Whittle, M. (2002). Gait analysis: an introduction, Butterworth-Heinemann Medical.