

# การตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือ โดยการ วิเคราะห์สัญญาณจากผิวหนัง

สุวลี ชูวานิชย์<sup>1)</sup> เกริกชัย ทองหนู<sup>2)</sup> และ พรชัย พฤษภักทรานนท์<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

<sup>2)</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

<sup>3)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

Email : s4910120090@psu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาการตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือ (Wrist Strap) โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ 50 Hz ที่เกิดขึ้นที่ผิวหนังของผู้สวมใส่เนื่องจากสายส่งไฟฟ้าบริเวณใกล้เคียง ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสัญญาณจากสายรัดข้อมือในสภาวะต่าง ๆ ผู้วิจัยทำการวัดสัญญาณในขณะที่สวมใส่ ไม่สวมใส่ และปลดสายรัดข้อมือออกจากระบบ จากการวิเคราะห์ spectrogram ของสัญญาณโดยใช้วิธีการทาง DSP หลายรูปแบบ พบว่าวิธีการ STFT spectrogram มีความเหมาะสมในการตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือ

**คำสำคัญ :** การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข, ระบบเฝ้าระวังการสวมใส่สายรัดข้อมือ

# Wrist Strap Engagement Detection Using Biosignal From Skin

Suvalae Chuvanish<sup>1)</sup> Kerkchai Thongnoo<sup>2)</sup> and Pornchai Phukpattaranont<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate Student, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University 90112

<sup>2)</sup> Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University 90112

<sup>3)</sup> Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University 90112

Email: s4910120090@psu.ac.th

## ABSTRACT

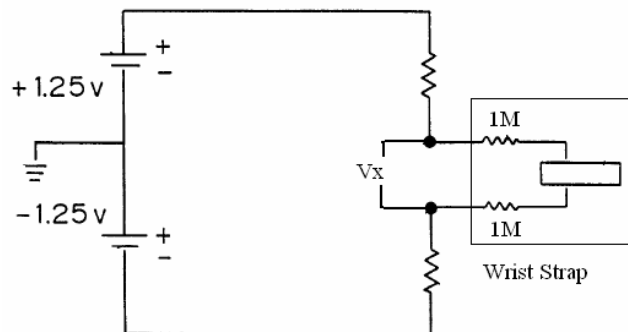
This paper presents the study of wrist strap engagement detection using the 50 Hz artifact from operators' skins as the indicator for wrist strap engagement. This artifact is caused by the power line nearby. The measured signals were selected according to operators' activities which include engagement, disengagement, and disconnecting. Different kinds of DSP algorithms were used to analyze the spectrogram of selected signals. It is found that STFT spectrogram yield excellent results.

**Keywords :** Digital Signal Processing , wrist strap monitoring

## บทนำ

เนื่องจากปรากฏการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge, ESD) ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้มาก จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดประจุไฟฟ้าสถิตในบริเวณที่ปฏิบัติงานและบนตัวผู้ปฏิบัติงาน วิธีการพื้นฐานที่จะควบคุมไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นโดยผู้ปฏิบัติงานก็คือการต่อตัวนำไฟฟ้าจากสายรัดข้อมือ (Wrist strap) ของผู้ปฏิบัติงานลงกราวด์ ในทางปฏิบัติเพื่อให้มั่นใจว่าผู้ปฏิบัติงานสวมใส่สายรัดข้อมือตลอดเวลาและยังใช้การได้ต่ออยู่ ดังนั้นการมีระบบเฝ้าระวังสายรัดข้อมือ (Wrist strap monitoring system) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยระบบเฝ้าระวังจะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับประมวลผลข้อมูลและโปรแกรมสำหรับบันทึกข้อมูลซึ่งจะช่วยให้ผู้ควบคุมสามารถตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือได้ตลอดเวลา

วิธีตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือการป้อนแรงดันให้กับสายรัดข้อมือ โดยแรงดันที่ใช้ตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือมีค่าประมาณ 7-30 โวลต์ (SANCHEZ *et al.*, 1999 ) ซึ่งแรงดันสูงขนาดนี้ สามารถก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ วิธีการตรวจสอบแบบนี้จึงมีความเสี่ยงต่อความเสียหายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่ยังมีวิธีตรวจสอบการสวมใส่สายรัดข้อมือที่ทำให้บนตัวผู้ปฏิบัติงานมีแรงดันใกล้เคียงศูนย์ (รูปที่ 1) (SANCHEZ *et al.*, 1999) ซึ่งอาศัยวิธีการต่อแหล่งจ่ายแรงดันค่าเท่ากัน 2 แหล่งจ่ายแบบอนุกรมโดยจุดกลางต่อกับกราวด์ และผลรวมของความต้านทานทั้ง 2 ด้านของแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากันทำให้เกิดแรงดันที่ตัวผู้ปฏิบัติงานเป็นศูนย์ เมื่อเทียบกับกราวด์ การตรวจสอบการสวมใส่ทำได้โดยการวัดค่าแรงดันตกคร่อมสายรัดข้อมือ  $V_x$  โดย  $V_x$  จะมีค่าต่ำเมื่อมีการสวมใส่ เมื่อไม่มีการสวมใส่สายรัดข้อมือค่าแรงดัน  $V_x$  จะมีค่า 2.5 โวลต์ วิธีการนี้ไม่ก่อให้เกิดแรงดันที่ผู้ปฏิบัติงานภายใต้สมมุติฐานที่ผลรวมของความต้านทานทั้งสองด้านของวงจรมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 1 zero voltage wrist strap monitor

ในบทความนี้ผู้วิจัยเสนอวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดแรงดันเพิ่มบนตัวผู้ปฏิบัติงานโดยการวิเคราะห์สัญญาณจากผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานเพื่อนำมาใช้ในการตัดสินใจว่ามีการสวมใส่สายรัดข้อมือหรือไม่ โดยจะไม่มีภาระเพิ่มแรงดันให้แก่สายรัดข้อมือเพื่อให้มั่นใจว่าวิธีการตรวจสอบไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณที่ได้จากผิวหนังจะถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทาง DSP (Digital Signal Processing) แบบ JTFA (Joint Time Frequency Analysis) ในโปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ วิธีการทดสอบและผลการทดสอบจากการวิเคราะห์สัญญาณจากผิวหนังโดยวิธีต่างๆ เพื่อแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และสรุปผลวิธีการวิเคราะห์สัญญาณที่เหมาะสมสำหรับระบบเฝ้าระวังสายรัดข้อมือ

## ทฤษฎีและหลักการ

### 1. การวัดสัญญาณจากผิวหนัง

สัญญาณจากผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานที่วัดได้จะเป็นสัญญาณที่สัมพันธ์กับการทำงานของเนื้อเยื่อภายในร่างกาย (Bioelectric signals) และสัญญาณที่ถูกเหนี่ยวนำจากสายไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป (สาย main) (Murali *et.al.*, 2006) สัญญาณจากผิวหนังที่วัดได้จะเป็นสัญญาณความถี่ 50 Hz ซึ่งในการวัดทางการแพทย์ถือว่าสัญญาณความถี่ 50 Hz นี้ เป็นสัญญาณรบกวน (TMS International B.V., 2006) แต่ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำสัญญาณความถี่ 50 Hz มาใช้เป็นสัญญาณในการตัดสินใจว่ามีการสวมใส่สายรัดข้อมือหรือไม่ สัญญาณความถี่ 50 Hz จะถูกวิเคราะห์โดยใช้หลักการทาง DSP ในโปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit

### 2. เทคนิคทางด้าน DSP

การวิเคราะห์สัญญาณความถี่ 50 Hz ที่เกิดขึ้นที่ผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานใช้หลักการทาง DSP แบบ JTFA ซึ่งจะวิเคราะห์สัญญาณทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่โดยมี 6 กระบวนการดังนี้

#### 2.1 Short Time Frequency Transform Spectrogram (STFT spectrogram)

STFT (National Instruments Corporation, 2002) เป็นกระบวนการที่ใช้วิธีการแบ่งสัญญาณในโดเมนเวลาออกเป็นหลายส่วนโดยแต่ละส่วนที่อยู่ติดกันมีการซ้อนทับกัน สัญญาณในแต่ละส่วนจะผ่านกระบวนการ FFT เพื่อหาตัวแทนของสัญญาณในแต่ละส่วน ในโดเมนความถี่ STFT จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความถี่เมื่อเวลาเปลี่ยนไป STFT spectrogram คือ การยกกำลังสองขนาดของ STFT

#### 2.2 Wigner-Ville Distribution (WVD)

WVD (National Instruments Corporation, 2002) มีวิธีการที่ง่ายและเร็ว เป็นวิธีที่ได้ผลที่มีความละเอียดสูง นอกจากนี้ยังสามารถหาคุณลักษณะของสัญญาณที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งเทคนิคการ

วิเคราะห์อื่น ๆ ไม่สามารถหาได้ แต่มีข้อเสียคือการรบกวนกันของสัญญาณที่วิเคราะห์ต่างช่วงเวลาและความถี่กัน (crossterm)

### 2.3 Gabor spectrogram

Gabor spectrogram (National Instruments Corporation, 2002) เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการกระจายสัญญาณด้วยวิธี Gabor expansion และนำสัญญาณมารวมกันด้วยการประยุกต์ใช้วิธี WVD ซึ่งสามารถลดการรบกวนกันของสัญญาณในวิธีการ WVD ได้

### 2.4 Cone Shape Distribution (CSD)

CSD (National Instruments Corporation, 2002) เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการลักษณะเดียวกันกับ WVD แต่แก้ไขเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณในวิธีการ WVD

### 2.5 Choi-Williams Distribution (CWD)

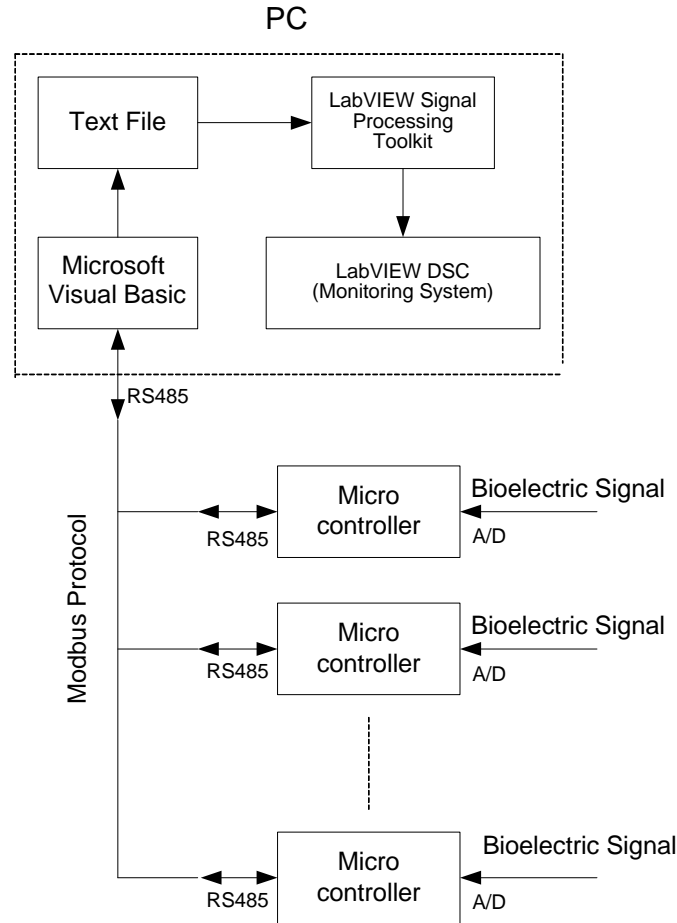
CWD (National Instruments Corporation, 2002) มีวิธีการคล้ายกับ CSD ซึ่งใช้หลักการลักษณะเดียวกันกับ WVD แต่แก้ไขเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณในวิธีการ WVD โดย CWD แตกต่างกับ CSD ที่ kernel function เพราะ CWD มีลักษณะเป็น exponential kernel function

### 2.6 Adaptive spectrogram

Adaptive spectrogram (National Instruments Corporation, 2002) มีวิธีการคล้ายกับ Gabor spectrogram แต่แตกต่างกันที่ Adaptive spectrogram ใช้หลักการกระจายสัญญาณด้วยวิธี Adaptive expansion ก่อนจะประยุกต์ใช้วิธี WVD เพื่อนำสัญญาณมารวมกันเฉพาะองค์ประกอบของสัญญาณโดยไม่สนใจการรบกวนกันของสัญญาณในวิธีการแบบ WVD

## 3. Monitoring System

ระบบ Monitoring System ใช้หลักการเดียวกันกับระบบ SCADA โดย SCADA ย่อมาจากคำว่า Supervisory Control And Data Acquisition (สุทธิพงษ์ เสนาธิ, 2549) ใช้ในการตรวจสอบสถานะตลอดจนควบคุมและบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมและงานวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น งานด้านสื่อสารโทรคมนาคม อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ การขนส่ง เป็นต้น โปรแกรมของส่วน Monitoring System จะรับข้อมูลจากโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณเพื่อนำมาแสดงค่าที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และเก็บบันทึกประวัติข้อมูลที่นำมาแสดงผลโดยกำหนดให้บันทึกลงแฟ้มข้อมูล และมีการแจ้งเตือนในกรณีที่ผู้ปฏิบัติงานไม่สวมใส่สายรัดข้อมือ โปรแกรม Microsoft Visual Basic (VB) ทำหน้าที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับ microcontrollers ที่ทำหน้าที่เสมือนเป็น sensor ในการอ่านข้อมูลและประมวลผลสัญญาณในขั้นต้น โปรแกรม Microsoft Visual Basic ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ได้จาก microcontrollers และบันทึกเป็น text file โปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit จะอ่านข้อมูลจาก text file เพื่อไปประมวลผลอย่างละเอียดและแสดงค่าที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้โปรโตคอลที่ microcontrollers ใช้เชื่อมโยงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์คือโปรโตคอล Modbus และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบ Monitoring System คือ LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (LabVIEW DSC) สถาปัตยกรรมรวมของระบบ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมรวมของระบบ

## วิธีการทดสอบ

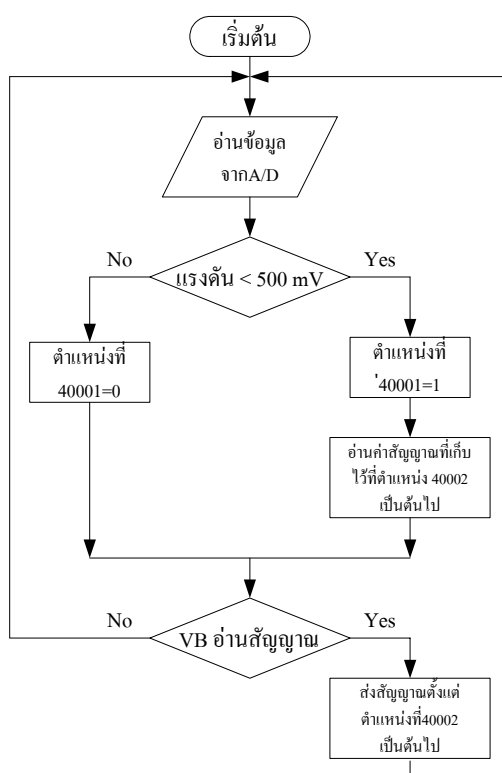
สัญญาณจากผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานจำนวน 5 คนจะถูกบันทึก โดยผู้ปฏิบัติงานทุกคนจะสวมใส่สายรัดข้อมือที่ต่อกับ microcontroller ที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทาง RS-485 โปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit ถูกใช้ในการอ่านข้อมูล (text file) ที่ได้รับการประมวลผลขั้นต้นมาจาก microcontroller และคำนวณสัญญาณอย่างละเอียดโดยใช้เทคนิคทาง DSP แบบ JTFA

สายรัดข้อมือถูกใช้ในการบันทึกสัญญาณภายใต้เงื่อนไขและขั้นตอนต่อไปนี้

1. การวัดสัญญาณจากผิวหนังจะวัดสัญญาณในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานมีการสวมใส่สายรัดข้อมือและขณะไม่สวมใส่สายรัดข้อมือที่ต่อกับ microcontroller เพื่อบันทึกสัญญาณ

2. บันทึกสัญญาณของผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ในเวลาที่ต่างกัน 5 ช่วงเวลาโดยใช้สถานที่เดิม  
บันทึกสัญญาณของผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ในสถานที่ที่ต่างกัน 3 สถานที่ บันทึกสัญญาณของผู้ปฏิบัติงาน  
5 คน ในสถานที่เดียวกัน แต่ต่างช่วงเวลากัน

3. Microcontroller จะทำการประมวลผลสัญญาณจากผิวหนังขั้นต้น โดยมี flowchart การ  
ประมวลผลขั้นต้นของ microcontroller แสดงดังรูปที่ 3

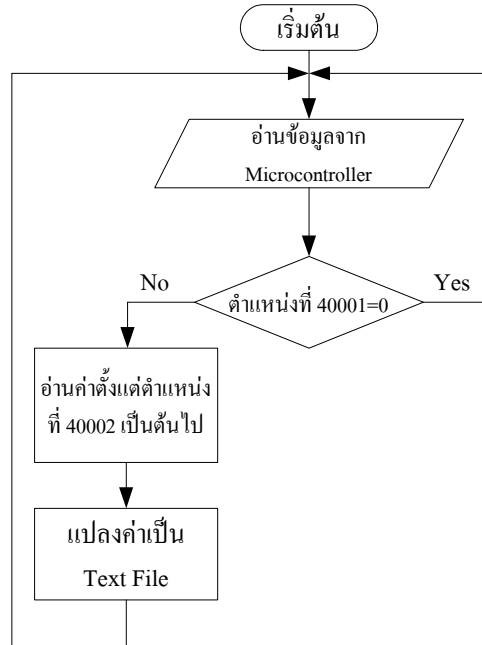


รูปที่ 3 Flowchart การประมวลผลขั้นต้นของ microcontroller

4. โปรแกรม Microsoft Visual Basic ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลขั้นต้นของ microcontroller เป็น text file โดยมี flowchart การทำงานของโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 4

5. นำข้อมูลสัญญาณที่ถูกแปลงเป็น text file แล้วมาคำนวณและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit ซึ่งใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ดังนี้ STFT spectrogram, Gabor spectrogram, WVD, CSD, CWD, Adaptive spectrogram

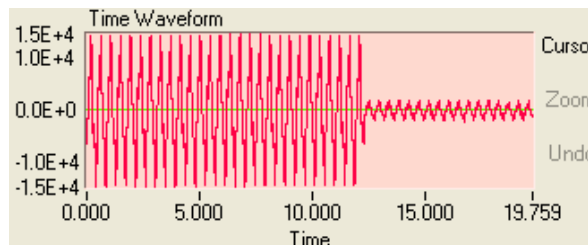
6. เลือกเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์สัญญาณแล้วแสดงผลการวิเคราะห์สถานะการสวมใส่สายรัดข้อมือที่โปรแกรม LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (LabVIEW DSC)



รูปที่ 4 Flowchart การทำงานของโปรแกรม Microsoft Visual Basic

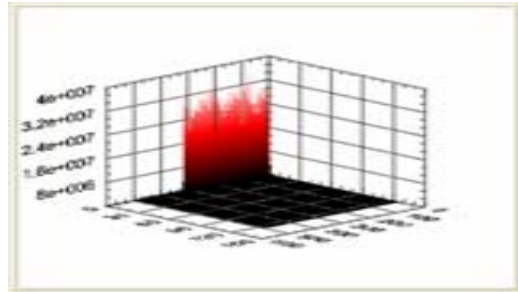
### ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

สัญญาณที่บันทึกได้จากผิวหนังถูกพิจารณาขณะที่มีการสวมใส่สายรัดข้อมือจนไม่มีการสวมใส่สายรัดข้อมือเพื่อแสดงสถานะการสวมใส่สายรัดข้อมือบนหน้าจอบนคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์สัญญาณจากผิวหนังว่ามีการสวมใส่สายรัดข้อมือหรือไม่ ใช้หลักการทาง DSP แบบ JTFA ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit เพื่อแสดง spectrogram ของสัญญาณที่วัด (รูปที่ 5) โดยใช้เทคนิค STFT spectrogram , Gabor spectrogram, WVD , CSD , CWD, Adaptive spectrogram แสดงดังรูปที่ 6-11

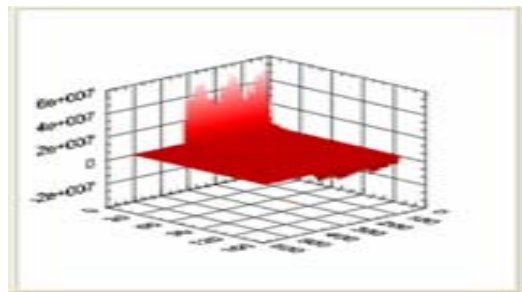


รูปที่ 5 สัญญาณที่วัดขณะสวมใส่สายรัดข้อมือตั้งแต่เวลา 0-12 Sec และขณะไม่สวมใส่สายรัดข้อมือเวลา 12-19.759 Sec

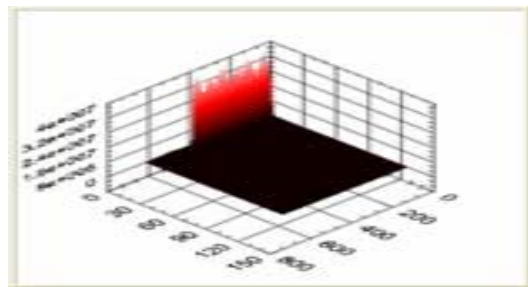




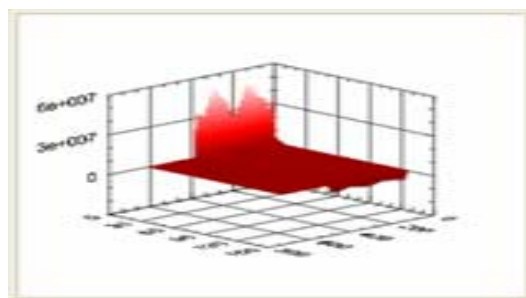
รูปที่ 6 *STFT spectrogram*



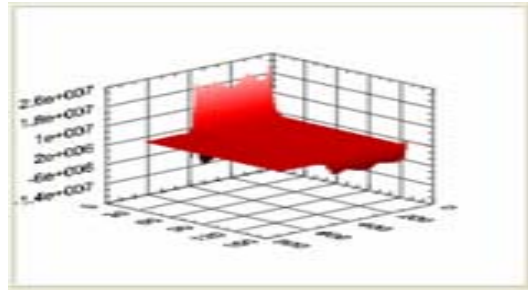
รูปที่ 7 *Wigner-Ville Distribution (WVD)*



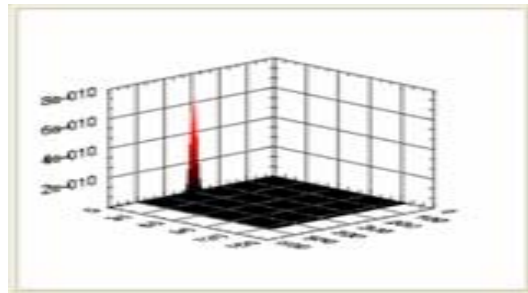
รูปที่ 8 *Gabor spectrogram*



รูปที่ 9 *Cone Shape Distribution (CSD)*



รูปที่ 10 Choi-Williams Distribution (CWD)



รูปที่ 11 Adaptive spectrogram

เทคนิค STFT spectrogram จะให้ผลลัพธ์ที่สามารถบอกสถานะการสวมใส่สายรัดข้อมือได้ ใช้เวลาในการคำนวณเร็วและไม่มีการรบกวนกันของสัญญาณที่ต่างช่วงเวลาและความถี่กัน

เทคนิค WVD แม้จะได้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูงและใช้เวลาในการคำนวณเร็วแต่กลับมีค่าการรบกวนกันของสัญญาณที่วิเคราะห์ต่างช่วงเวลาและความถี่กัน มากกว่าวิธีอื่นๆ

เทคนิค Gabor spectrogram ให้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูงและใช้เวลาในการคำนวณไม่นานมาก แต่ก็ยังมีค่าการรบกวนกันของสัญญาณที่เกิดในวิธีการ WVD ในบางครั้ง

เทคนิค CSD และ CWD ได้ผลลัพธ์ที่มีลักษณะคล้ายกันแต่ใช้เวลาในการคำนวณนาน และเทคนิค Adaptive spectrogram ให้ผลที่ไม่เด่นชัดไม่สามารถบอกสถานะการสวมใส่สายรัดข้อมือได้ ส่วนผลการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาและสถานที่ในการทดลอง ไม่มีนัยสำคัญต่อการวิเคราะห์สัญญาณ

จากการวิเคราะห์สัญญาณผู้วิจัยพบว่าเกือบทุกเทคนิคสามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างการสวมใส่และไม่สวมใส่สายรัดข้อมือได้อย่างชัดเจน ยกเว้นเทคนิค Adaptive spectrogram ที่ให้ผลที่ไม่เด่นชัดและยังใช้ระยะเวลาในการคำนวณสูงอีกด้วย เทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์สัญญาณจากผิวหนังคือวิธี STFT spectrogram เนื่องจากเทคนิคนี้ เป็นเทคนิคที่ใช้เวลาในการคำนวณเร็วและเป็นวิธีที่ไม่มี การรบกวนกันของสัญญาณที่วิเคราะห์ซึ่งต่างช่วงเวลาและความถี่กัน แม้ว่า STFT

spectrogram จะให้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดน้อยกว่าเทคนิค Gabor spectrogram ,WVD , CSD , CWD แต่ก็ให้ผลลัพธ์ที่สามารถใช้ตัดสินใจว่ามีการสวมใส่สายรัดข้อมือหรือไม่สวมใส่สายรัดข้อมือได้อย่างชัดเจน

## สรุป

การวิเคราะห์สัญญาณจากผิวหนังเพื่อแสดงสถานะการสวมใส่สายรัดข้อมือ เป็นวิธีที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้ปฏิบัติงานจะถูกวัดสัญญาณจากผิวหนังโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ 50 Hz ที่เกิดขึ้นที่ผิวหนังของผู้สวมใส่ผ่าน microcontroller เพื่อนำไปประมวลผลอย่างละเอียดโดยโปรแกรม LabVIEW Signal Processing Toolkit ซึ่งทำการวิเคราะห์จากค่า spectrogram ของสัญญาณ เทคนิคที่มีความเหมาะสมที่สุดคือเทคนิค STFT spectrogram ซึ่งให้ความแตกต่างของค่า spectrogram ในขณะที่สวมใส่และไม่สวมใส่ได้อย่างชัดเจนและใช้เวลาในการคำนวณสัญญาณเร็วกว่าวิธีอื่น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในภาคอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD Cluster) สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโท สัญญาหมายเลข HDD-13-001M

## เอกสารอ้างอิง

- สุทธิพงษ์ เสนาธิ. 2549. **เรียนรู้การสร้างระบบ SCADA ด้วย GENESIS32**. บริษัทดีทีเอ อินสตรูเมนต์ แอนด์ซิสเต็มจำกัด: กรุงเทพฯ.
- National Instruments Corporation. 2002. **Signal Processing Toolset User Manual**. [online]. 28 Feb 2007. <http://www.ni.com/pdf/manuals/322192a.pdf>
- SANCHEZ. Michael. Albert. 1999. "Zero voltage wrist strap monitor." **International Application No. PCT/US98/14878**
- S. Murali ,and V.V. Kulish. 2006. "Nullification of Electromagnetic Radiation; 50Hz Artifact During Electroencephalogram Recording " **J.Medical Systems**. 30: 303-307
- TMS International B.V. 2006. **Measuring bioelectricity**. [online].28 Feb 2007. <http://www.tmsi.com/?id=24>.