บทที่ 3 โครงสร้างการทำงานและการออกแบบระบบ

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของระบบที่ได้ทำการพัฒนาทั้งหมด แบ่งออกเป็นสามหัวข้อหลัก โดยเริ่มต้นที่ภาพรวมองค์ประกอบของระบบทั้งหมด ซึ่งบรรยายถึงระบบฮาร์ดแวร์และวิธีการประยุกต์ใช้งานขั้นตอนวิธีลดมิติข้อมูลกับตัวจำแนกกลุ่มในระบบฝังตัวจริง หัวข้อถัดไปจะอธิบายซอร์ฟแวร์ขั้นตอนวิธีที่ได้ทำการออกแบบ และหัวข้อสุดท้ายจะแสดงรายละเอียดของซอร์ฟแวร์ที่ได้ทำการพัฒนา

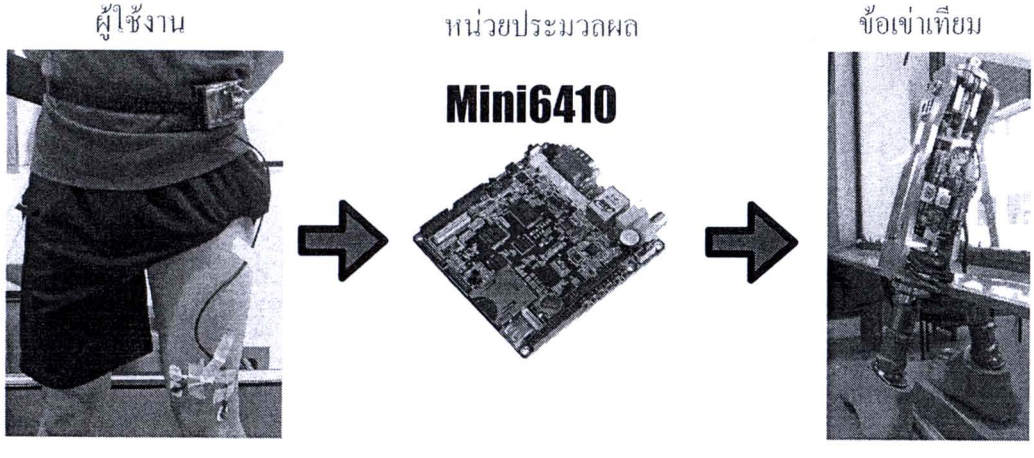
3.1 องค์ประกอบของระบบ

จากเป้าหมายของวิทยานิพนธ์นี้คือหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับลดมิติของข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อเพื่อใช้สำหรับจำแนกกลุ่มลักษณะพื้นผิวการเดินของผู้ใช้และสั่งการขาเทียม ดังนั้นผู้วิจัยถึงได้ทำการออกแบบระบบโดยมีโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์เป็นไปดังรูปที่ 3.1 อันประกอบไปด้วยสามองค์ประกอบคือ

1. ผู้ใช้งาน: หมายถึงคนปกติหรือผู้พิการทางขา ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณกล้ามเนื้อให้กับระบบ

2. หน่วยประมวลผล: เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระบบฝังตัว ทำหน้าที่คำนวณผลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อตามขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบแล้วสั่งการไปยังกายอุปกรณ์เทียม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้งานบอร์ดระบบฝังตัว FriendlyARM Mini6410 (ภาคผนวก ก) ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu

3. ข้อเข่าเทียม: กายอุปกรณ์เทียมที่รับคำสั่งจากหน่วยประมวลผล สามารถทำการปรับเปลี่ยนค่าความหน่วงของข้อเข่าได้เพื่อให้เหมาะสมกับการเดินในสภาวะต่างๆ



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบการควบคุมอุปกรณ์ข้อเข่าเทียมด้วยสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

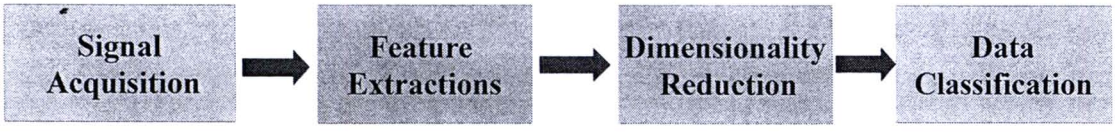
ลำดับการทำงานของระบบเริ่มต้นจากการจับสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ ด้วยอุปกรณ์วัดสัญญาณกล้ามเนื้อ หรือเครื่อง Electromyography ตรงกล้ามเนื้อบริเวณขาของผู้ใช้งานระหว่างการเดินด้วยค่าความถี่เท่ากับ 1500 เฮิร์ซ หลังจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลสัญญาณในรูปแบบดิจิตอลไปยังหน่วยประมวลผล FriendlyARM Mini6410 เพื่อทำการคำนวณลดมิติของข้อมูลง วิเคราะห์ผลสัญญาณและจำแนกกลุ่มที่ได้ออกมาเป็นลักษณะพื้นผิวที่ผู้ใช้งานกำลังเดินอยู่ แล้วส่งข้อมูลดังกล่าวต่อไปให้กับข้อเข่าเทียมซึ่งมีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมปรับค่าความหน่วงให้ข้อเข่ามีความหน่วงที่เหมาะสมกับสภาวะการเดินของผู้ใช้งานในขณะนั้นๆ

แต่ทั้งนี้เนื่องจากระบบข้อเข่าเทียมแบบสามารถปรับค่าความหน่วงได้อัตโนมัติที่สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนามได้พัฒนาขึ้นมานั้นกำลังอยู่ในระหว่างขั้นตอนการปรับปรุงและพัฒนา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะยังไม่ได้บูรณาการกับระบบสั่งการควบคุมข้อเข่าเทียมจริง เพียงแต่ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพว่าเหมาะสมกับการใช้งานจริงหรือไม่เท่านั้น

3.2 ซอร์ฟแวร์ขั้นตอนวิธีการลดมิติข้อมูลและการจำแนกกลุ่มสัญญาณ

ระบบซอร์ฟแวร์ที่ทำหน้าในส่วนประมวลผลนั้นได้ถูกออกแบบให้มีสามมอดูล คือ มอดูลสกัดลักษณะเด่น (Feature Extractions Module) มอดูลลดมิติข้อมูล (Dimensionality Reduction Module) และมอดูลจำแนกกลุ่มสัญญาณ (Data Classification Module) โดยภาษาที่ใช้ในการทดลองและพัฒนามอดูลทั้งหมดคือ C++ ร่วมกับ MATLAB ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Ubuntu

ลำดับการทำงานของระบบทั้งหมดแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.2 เริ่มจากข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อถูกส่งมาจากภาครับสัญญาณ ข้อมูลแต่ละช่องจะถูกนำมาสกัดลักษณะเด่นแล้วส่งต่อไปยังมอดูลลดมิติข้อมูลเพื่อให้เหลือเพียงสองมิติ และท้ายที่สุดมอดูลจำแนกกลุ่มจะนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการจำแนกกลุ่มออกมาเป็นสภาพพื้นผิวการเดิน



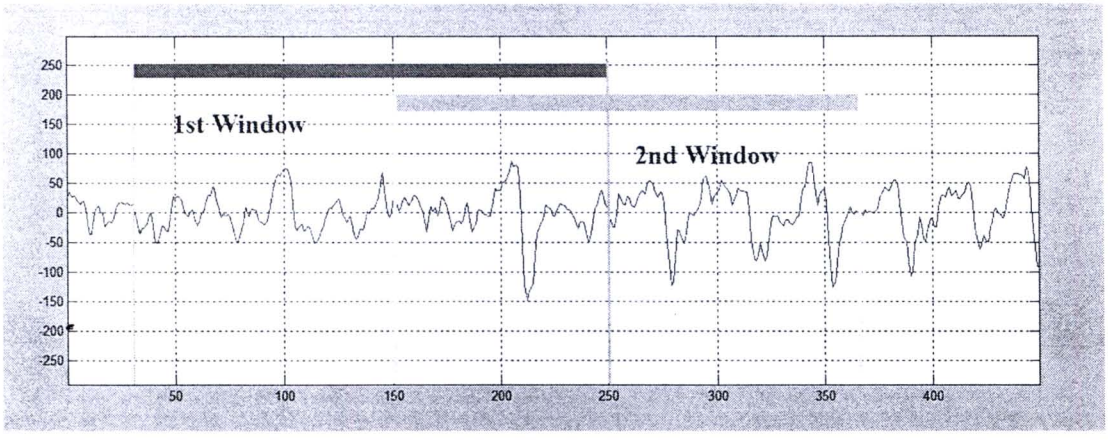
รูปที่ 3.2 แผนภาพบล็อกมอดูลระบบการจำแนกกลุ่มสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

3.2.1 Feature Extractions Module

เนื่องจากการใช้งานข้อมูลดิบของข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อสำหรับระบบรู้จำนั้นทำได้ยาก จึงเป็นเหตุผลให้ระบบต้องทำการสกัดลักษณะเด่นออกเป็นอันดับแรกมาก่อนนำไปพิจารณาในกระบวนการ อื่นต่อไป ในหัวข้อที่ 2.4 และ 2.5 ได้กล่าวถึงการคำนวณลักษณะเด่นของข้อมูลในรูปแบบต่างๆซึ่งจะถูกนำมาพิจารณาทั้งหมดในงานวิจัยนี้ โดยจะสังเกตได้ว่าแต่ละวิธีล้วนแล้วแต่ทำการคำนวณอยู่ภายใต้กรอบหน้าต่างข้อมูลขนาด N ทั้งสิ้น และเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการประมวลผลสูงที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกประยุกต์ใช้แผนการคำนวณที่ Englehart และ Hudgins ได้นำเสนอไว้ใน [2]

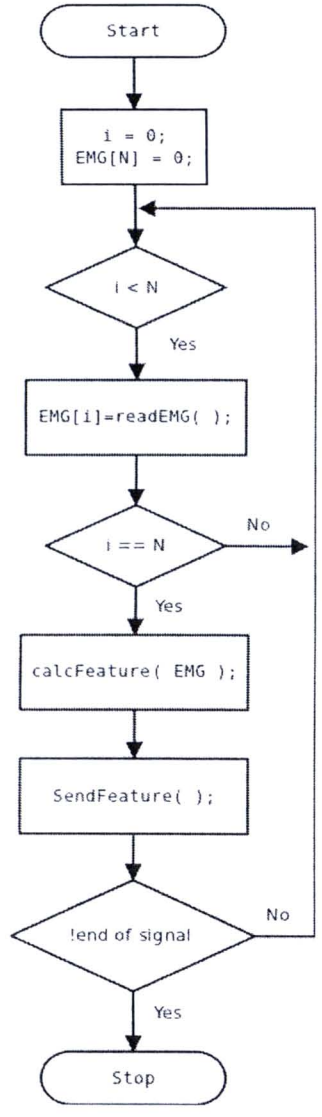
ดังนั้นผู้ใช้โปรแกรมจึงต้องเลือกหาขนาดหน้าต่าง (N) และเวลาเคลื่อนหน้าต่าง (Td) ที่เหมาะสมกับรูปแบบสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในการเดิน และจะต้องกำหนดให้กับระบบด้วยตนเอง ซึ่งจากผลการทดลองใน[2] ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าค่าความแม่นยำของการจำแนกกลุ่มสัญญาณกล้ามเนื้อสำหรับหน้าต่างที่มีขนาดตั้งแต่ 32 ถึง 256 มิลลิวินาที นั้นไม่มีนัยทางความแตกต่าง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้หน้าต่างขนาดดังกล่าวกับระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานโปรแกรม โดยหากเลือกค่าหน้าต่างที่มีขนาดยาวก็จะทำให้ระบบใช้เวลาในการประมวลผลนานและเพิ่มความต้องการการใช้หน่วยความจำของหน่วยประมวลผลเพื่อคำนวณลักณะเด่น

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ขนาดหน้าต่างในการทดสอบระบบเท่ากับ 64 มิลลิวินาที ร่วมกับเวลาในการเคลื่อนหน้าต่างที่ 32 มิลลิวินาที ดังในรูปที่ 3.3 จากเวลาดังกล่าวทำให้เราสามารถคำนวณค่า N จากความถี่บันทึกสัญญาณ 1500 เฮิร์ซ ได้ N = 43 และ Td = 21



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเคลื่อนหน้าต่างในการคำนวณค่าลักษณะเด่น

โปรแกรมการทำงานในส่วนโมดูลนี้ทั้งหมดถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา C++ รวมกับไลบรารี่ FFTW++ สำหรับทำการแปลงฟูเรียร์เพื่อใช้ในการสกัดข้อมูลลักษณะเด่น MNF และ MDF รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิสายงานของการสกัดลักษณะเด่นในโปรแกรม เริ่มตั้งแต่การอ่านค่าสัญญาณขาเข้ามาจากเครื่อง EMG จนถึงการส่งข้อมูลขาออกไปให้กับโมดูลต่อไป



รูปที่ 3.4 แผนภูมิสายงานของการสกัดลักษณะเด่นในโปรแกรม

3.2.2 Dimensionality Reduction Module

จากปัญหาหลักสำคัญในงานวิจัยชิ้นนี้คือขั้นตอนวิธีการลดมิติของข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อลงเพื่อให้การเวลาประมวลผลรวมมีความเร็วและความแม่นยำสูงขึ้น ดังนั้นหน้าที่สำคัญอีกประการของมอดูลนี้คือการทำให้ข้อมูลใหม่ที่ถูกทำให้มีมิติลดลงนั้นมีการกระจายตัวที่เหมาะสมต่อการจำแนกลุ่ม

การทำงานของมอดูลนี้ประกอบไปด้วยสองขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนการสร้างโมเดลการแปลงข้อมูล และขั้นตอนการแปลงหรือฉายข้อมูลไปยังปริภูมิใหม่ จำนวนมิติสุดท้ายของข้อมูลที่ต้องการคือ 2 มิติ

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละวิธีการ มอดูลนี้จะถูกพัฒนาบน MATLAB ซึ่งมี Toolbox ในการลดมิติข้อมูลอยู่ เพื่อวิเคราะห์ว่าวิธีใดคือวิธีที่เหมาะสมที่สุด และหลังจากนั้นจึงนำวิธีที่เหมาะสมดังกล่าวมาสร้างพัฒนาต่อในภาษา C++ เพื่อให้สามารถใช้งานบนบอร์ดระบบฝังตัวได้ วิธีการลดมิติข้อมูลที่นำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย

1). Principle Component Analysis (PCA)

2). Neighborhood Components Analysis (NCA)

3). Maximally Collapsing Metric Learning (MCML)

4). Locality Preserving Projection (LPP)

5). Neighborhood Preserving Embedding (NPE)

6). Gaussian Process Latent Variable Model (GPLVM)

7). Generalized Discriminant Analysis (GDA)

8). Kernel Principle Component Analysis (kPCA)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

โดยใน MATLAB สามารถใช้คำสั่ง

mapped_data = compute_mapping(*data*, *method*, *# of dimensions*, *parameters*);

ตัวแปร *mapped_data* คือข้อมูลลัพธ์ที่ผ่านการลดมิติลงให้เหลือตามจำนวนที่พารามิเตอร์ *# of dimensions* กำหนดเอาไว้

และจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า NCA เป็นวิธีที่ให้ผลดีที่สุด จึงได้ทำการพัฒนาต่อในภาษา C++ โดยปรับปรุงและประยุกต์ใช้ไลบรารี่ NCA ที่ Jonathan Hseu [16]ได้ออกแบบไว้

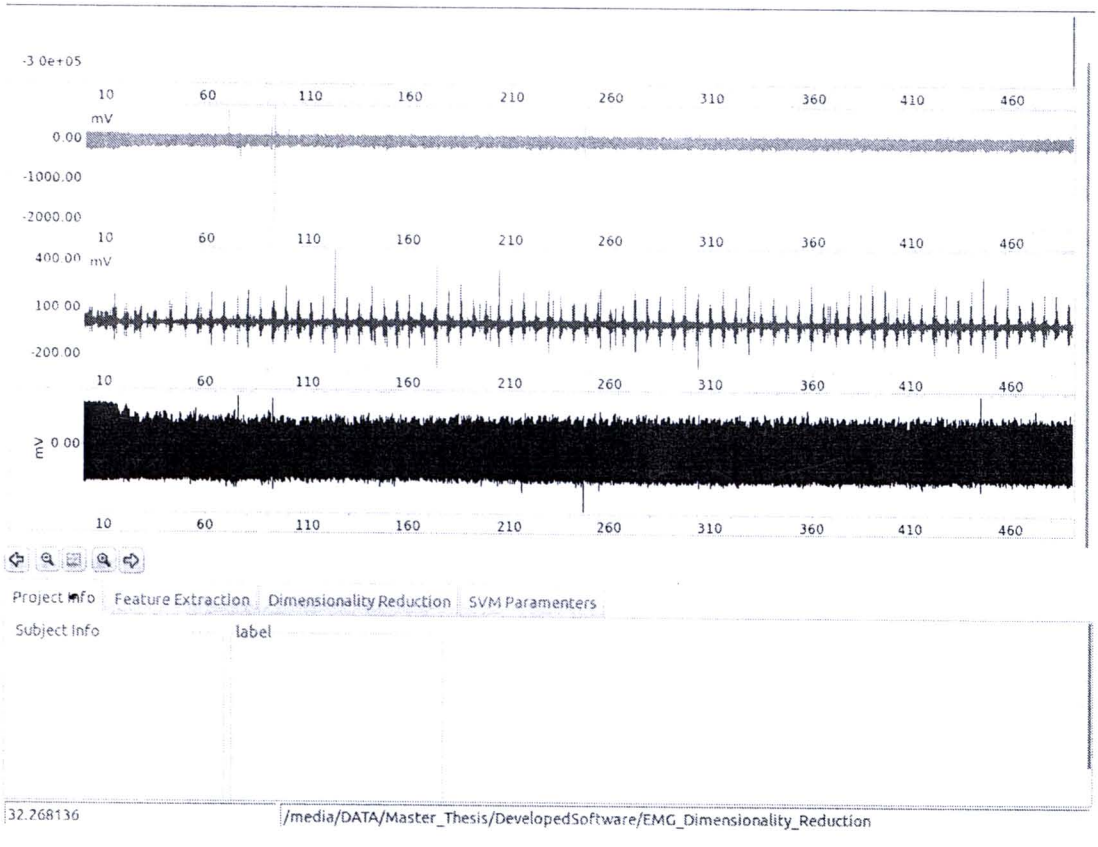
3.2.3 Data Classification Module

ตัวจำแนกกลุ่มที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Support Vector Machine (SVM) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถจัดการกับความไม่เป็นเชิงเส้นและความซับซ้อนของสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อได้ดี ฟังก์ชัน Kernel ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ Redial Basis Function (RBF) ดังสมการที่ 2.45 และกำหนดใช้ค่า γ เท่ากับ 2σ คลังโปรแกรมที่ใช้สำหรับมอดูลนี้คือ LIBSVM ซึ่งพัฒนาโดย Chih-Chung Chang และ Chih-Jen Lin [17] แห่งมหาวิทยาลัยแห่งชาติไต้หวัน

3.3 โปรแกรมส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิก

เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใช้งานได้สะดวกมากขึ้น ส่วนติดต่อผู้ใช้งานแบบกราฟิกจึงถูกสร้างขึ้น โดยซอร์ฟแวร์ที่สร้างขึ้นมานี้ได้จัดทำเป็นโอเพนซอร์สอยู่ใต้ลิขสิทธิ์แบบ GPLv3 ทั้งหมด โปรแกรมนี้ถูกออกแบบให้ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu และ Linux เป็นหลัก โดยไลบรารี่ที่นำมาใช้สำหรับสร้างส่วนกราฟิกคือ wxWidget ความสามารถทั้งหมดของซอร์ฟแวร์นี้คือ

- อ่าน/เขียน ข้อมูลสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อในรูปแบบของ Text File
- แสดงเส้นกราฟสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ
- ปรับแต่งค่าการสกัดลักษณะเด่นและการลดมิติข้อมูลสัญญาณโดยผู้ใช้งานเองได้
- มีฟังก์ชันการสร้างโมเดล SVM
- ส่งออกค่าโมเดล SVM และ การลดมิติข้อมูล เพื่อใช้ในระบบฝังตัว
- แสดงค่าความแม่นยำของระบบที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 3.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

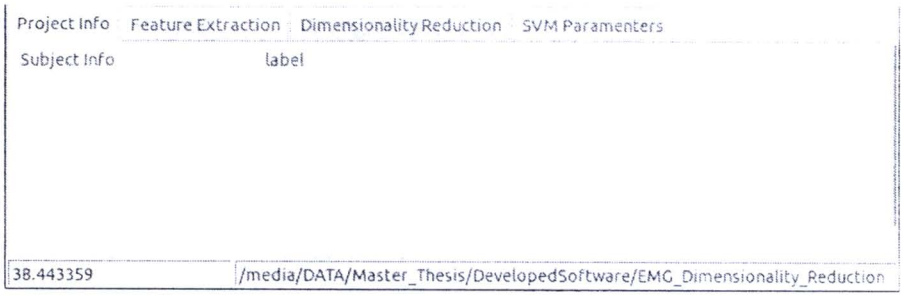
จากรูปที่ 3.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ด้านบนคือหน้าต่างแสดงกราฟสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่อ่านได้จากไฟล์ โดยจะแบ่งแสดงแต่ละช่องสัญญาณออกในแต่ละเส้นกราฟและมีการสลับสีเพื่อให้แยกแยะได้สะดวก ผู้ใช้งานสามารถขยายกราฟเข้า ขยายกราฟออก ขยับไปทางซ้ายและทางขวา โดยกดจากปุ่มที่อยู่ด้านใต้กราฟ ส่วนล่างของหน้าต่างหลักเป็นส่วนปรับแต่งการวิธีการประมวลผลและแสดงข้อมูลของสัญญาณกราฟ มีทั้งหมดสี่แผงดังแสดงในรูปที่ 3.3

Project Into: แสดงรายละเอียดของสัญญาณที่กำลังเปิดอยู่ขณะนั้น

Feature Extraction: แผงปรับแต่งการกำหนดค่าในการสกัดลักษณะเด่นแต่ละวิธี

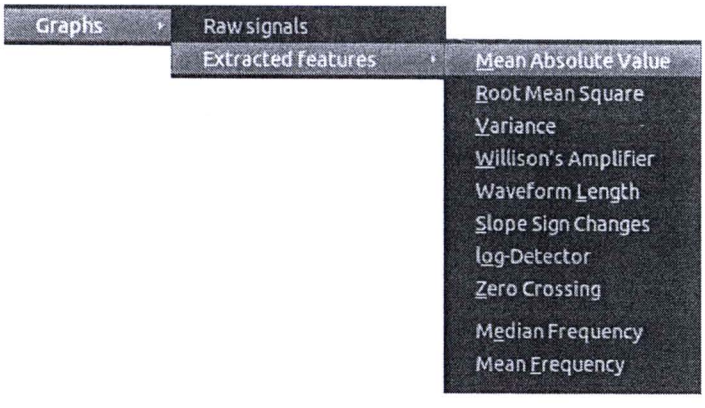
Dimensionality Reduction: แผงปรับแต่งการคำนวณลดมิติข้อมูล

SVM Parameters: แผงปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณ SVM

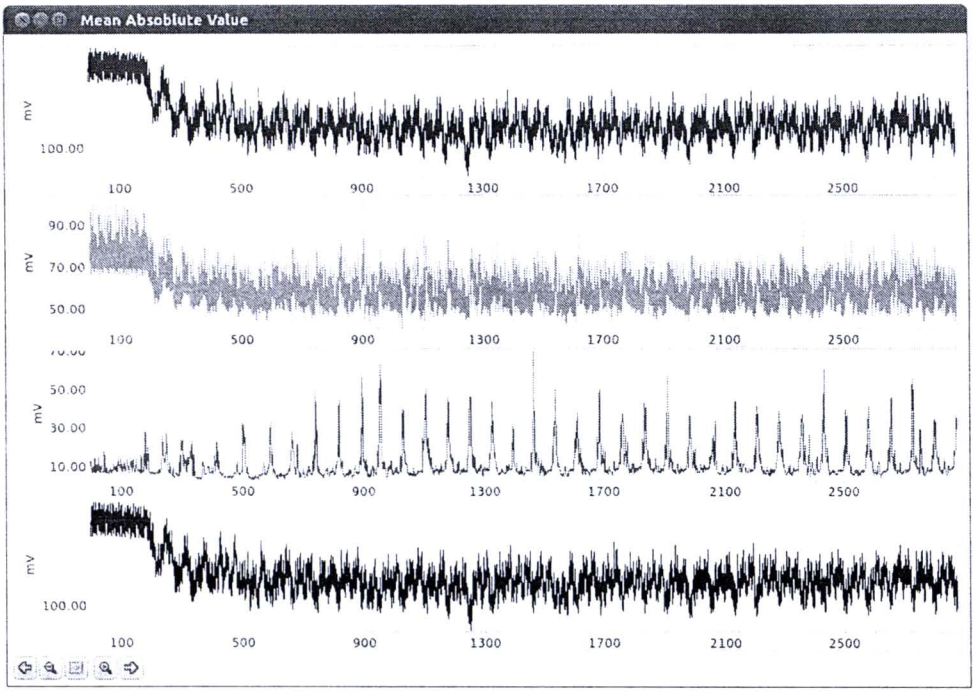


รูปที่ 3.6 แผงปรับแต่งค่าการประมวลผลและข้อมูลสัญญาณ

นอกจากกดจากแผงควบคุมแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเลือกดูกราฟลักษณะเด่นของสัญญาณได้โดยเลือกจากแถบเมนู Graphs → Extracted Features ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.7 เมนูแสดงผลการประมวลผลกราฟลักษณะเด่น



รูปที่ 3.8 ส่วนแสดงผลเส้นกราฟลักษณะเด่นสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อ