



ระบบแสดงผลการตรวจจับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียว An ECG Detection and Display System with Single-board Computer

วรัญญา ชัยรัฐ¹, พงศกร ชาญชัยชูจิต¹, ดุจดาว บุรณะพานิชย์กิจ^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
จังหวัดสงขลา ประเทศไทย 90110

Waraya Chairat¹, Pongsakorn Chanchaichujit¹, Duidow Buranapanichkit^{1*}

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University, Hat-Yai, 90110,
Songkhla, Thailand

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย โดยเฉพาะโรคหลอดเลือดหัวใจหรือภาวะหัวใจอุดตัน ปัจจัยเสี่ยงหลัก ได้แก่ พฤติกรรมการกินที่ไม่ดีต่อสุขภาพ การออกกำลังกายไม่เพียงพอ ความเครียด และพันธุกรรม ซึ่งล้วนส่งผลเสียต่อสุขภาพหัวใจ วิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดวิธีหนึ่งในการลดความเสี่ยงและป้องกันการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและหลอดเลือด คือ การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) ซึ่งการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจสามารถช่วยตรวจพบความผิดปกติของหัวใจในระยะเริ่มต้น ช่วยป้องกันโรคร้ายแรงและลดอัตราการเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ คลื่นไฟฟ้าหัวใจยังมีบทบาทสำคัญในการวินิจฉัยโรคหัวใจอื่น ๆ ทำให้สามารถให้การบำบัดและการรักษาทางการแพทย์ได้ทันเวลาที่ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้ด้วยคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียว ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าหัวใจจะถูกบันทึกผ่านอุปกรณ์รับสัญญาณ แปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล หน่วยประมวลผลจะแสดงสัญญาณแบบเรียลไทม์ผ่านหน้าจอที่เป็นส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิกที่สร้างขึ้น รวมถึงแสดงข้อมูลบางอย่างเพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์สัญญาณ ECG เบื้องต้น ข้อได้เปรียบหลักของระบบนี้คือเป็นเทคโนโลยีราคาไม่แพงที่ผสมผสานเทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งสามารถตรวจจับและบันทึกผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจราคาแพง ระบบของผู้วิจัยนี้ใช้สำหรับอัตราการเต้นของหัวใจในช่วง 30-180 BPM โดยสามารถตรวจวัดช่วงสัญญาณ RR, QRS และ PR ได้อย่างถูกต้อง เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคหัวใจทางการแพทย์ได้

คำสำคัญ: การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ, โรคหลอดเลือดหัวใจ, หน่วยประมวลผล, ส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิก

Abstract

Currently, cardiovascular diseases are one of the leading causes of death in Thailand, particularly coronary artery diseases or heart blockages. Major risk factors include unhealthy dietary habits, insufficient physical activity, stress, and genetic predisposition, all of which negatively affect heart health. One of the most effective ways to reduce the risk and prevent fatalities from cardiovascular diseases is electrocardiogram (ECG) screening. An ECG can help detect heart abnormalities at an early stage, allowing for the prevention of severe conditions and a reduction in mortality rates. Additionally, it plays a crucial role in diagnosing other heart diseases, enabling timely medical intervention and treatment. This research focuses on ECG screening using a single-board computer. The ECG signals are recorded through the data acquisition module, and the data is converted from analog to digital. The processing unit displays the signals in real-time through a GUI screen. It also shows some information that is useful for preliminary ECG signal analysis. The main advantage of this system is that it is affordable technology that incorporates modern technology, capable of detecting and recording ECG results without the need for an expensive ECG machine. This research project is used for heart rates in the range of 30- 180 BPM. It can measure ECG signals accurately for the RR interval, QRS duration and PR interval for medical heart disease diagnosis.

Keywords: Electrocardiogram, Cardiovascular Diseases, Processing Unit, GUI

บทนำ

ตลอดช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน สาเหตุการตายอันดับต้น ๆ ของคนไทย คือ การเสียชีวิตด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยเฉพาะโรคหลอดเลือดหัวใจตีบหรือตัน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยพบว่าอาหารเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากอาหารบริโภคที่เปลี่ยนไปเป็นที่มีไขมันและคาร์โบไฮเดรตสูง ประกอบกับการออกกำลังกายน้อยลง ความเครียดมากขึ้น รวมถึงเรื่องกรรมพันธุ์ด้วย จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization-WHO) ระบุว่าโรคหัวใจและหลอดเลือดเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 1 ของโลก ทั่วโลกพบผู้เสียชีวิตด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดสมองมากกว่า 20 ล้านคนต่อปี และร้อยละ 80 ของการเสียชีวิตสามารถป้องกันได้ โดยในปี 2565 กระทรวงสาธารณสุขประเทศไทยพบการเสียชีวิตของคนไทยด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือดมากถึง 7 หมื่นราย ซึ่งเฉลี่ยชั่วโมงละ 8 คน และคาดว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี

การตรวจคัดกรองโรคหัวใจด้วยการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ Electrocardiography (ECG) เป็นการตรวจเบื้องต้นที่แสดงอัตราการเต้นของหัวใจ จังหวะการเต้นของหัวใจ เพื่อตรวจหาความผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้น หรือได้เกิดขึ้นไปแล้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการวินิจฉัยโรคต่าง ๆ ที่มีผลต่อหัวใจ โดยจะอาศัยหลักการตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากหัวใจ (electrode) ของเครื่องตรวจที่ติดอยู่บริเวณผิวหนังของผู้ป่วย และบันทึกกระแสไฟฟ้า ที่ตรวจจับได้ให้อยู่ในลักษณะของคลื่นบนกระดาษกราฟ และสามารถตรวจหาความเสี่ยงต่อโรคที่มีผลกับการทำงานของหัวใจได้ รวมถึงเทคโนโลยีทางการแพทย์ทางไกลที่มีการผสมรวมเข้ากับ IoT มีวัตถุประสงค์เพื่อนำระบบ IoT

มาใช้ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณหัวใจและตรวจจับภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ โดยประมวลผลสัญญาณ ส่งผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตไปยังญาติผู้ป่วยและแพทย์ อิเล็กทรอนิกส์จะรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) และส่งไปยังชิป AD8232 จากนั้นเชื่อมต่อกับโมดูล ESP32 ข้อมูลผ่านเครือข่าย Wi-Fi และโปรโตคอล MQTT ถูกส่งไปยัง Raspberry Pi ใช้ python และอัลกอริทึม Decision Tree โดยมีความแม่นยำของอัลกอริทึมในการตรวจจับภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ตัวรับจะใช้แอปพลิเคชัน Android และผ่านโปรโตคอล TCP/IP จังหวะการเต้นของหัวใจจะได้รับการแจ้งทางโทรศัพท์มือถือของแพทย์หรือญาติผู้ป่วยและแสดงผลแบบเรียลไทม์

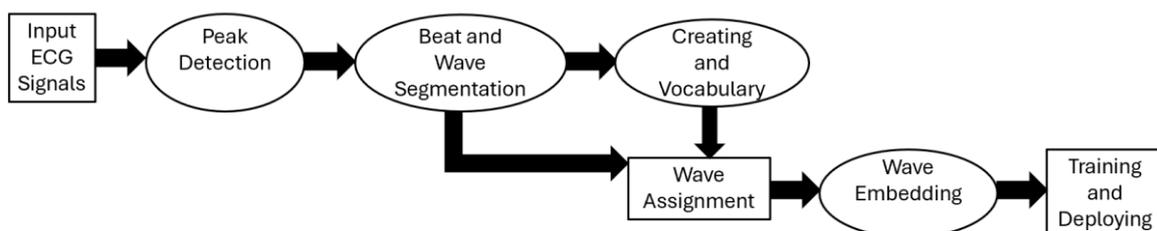
อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีของการการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยอุปกรณ์การบันทึกหัวใจอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องบันทึกโฮลเตอร์ ที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานแล้ว ซึ่งช่วยในการวินิจฉัยและค้นหาลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิดปกติได้ โดยมีการศึกษาพัฒนาเครื่องโฮลเตอร์ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ ในปัจจุบัน การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจจึงมีความจำเป็นในการช่วยป้องกันการเสียชีวิตหากมีความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหัวใจและยังสามารถใช้ในการวินิจฉัยโรคอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นกับหัวใจ และเพื่อลดจำนวนการของผู้เสียชีวิตให้มีจำนวนน้อยลงอีกด้วย คณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์และเล็งเห็นถึงประโยชน์จากการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการทำโครงการสร้างระบบแสดงผลการตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียว ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาค่อนข้างถูกแต่มาพร้อมกับเทคโนโลยีที่มีความทันสมัยเพื่อช่วยในการตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบเรียลไทม์ ที่จะสามารถช่วยป้องกันการเสียชีวิตได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบระบบที่สามารถตรวจวัดและแสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเบื้องต้นสำหรับการวินิจฉัยโรคหัวใจต่อไปได้

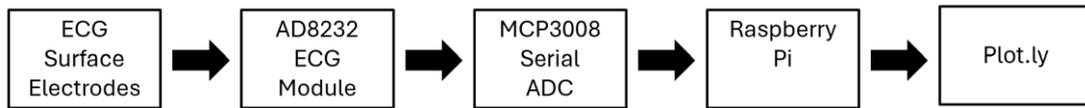
วิธีการวิจัย

งานวิจัยที่ 1: ECG Language processing (ELP): A new technique to analyze ECG signals เป็นการศึกษาการทำงานของหัวใจและวินิจฉัยภาวะผิดปกติหลายอย่าง ประกอบด้วยลำดับของคลื่นที่แตกต่างกันสามหรือสี่คลื่น รวมถึงคลื่น P-wave, QRS complex , T-wave และ U-wave สัญญาณ ECG อาจประกอบด้วยคลื่นแต่ละแบบที่แตกต่างกันหลายแบบ เช่น QRS complex สามารถมีรูปคลื่นลักษณะที่หลากหลาย ด้วยเหตุนี้ สัญญาณ ECG จึงเป็นลำดับของการเต้นของหัวใจที่คล้ายกับประโยคในภาษาธรรมชาติ และการเต้นของหัวใจแต่ละอันประกอบด้วยชุดของคลื่นที่มีรูปร่างแตกต่างกัน



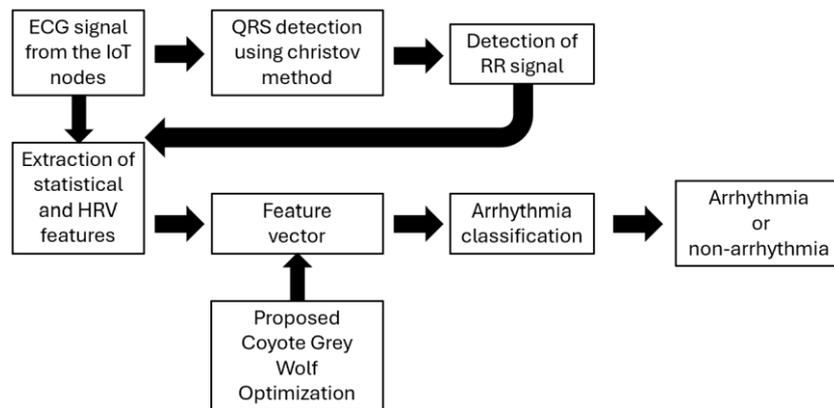
ภาพที่ 1 ไปนไลน์ของการประมวลผลภาษา ECG [1]

งานวิจัยที่ 2: Real time ECG on internet using Raspberry Pi [2] เป็นการนำเสนอบทความเกี่ยวกับระบบการติดตาม ECG ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าของหัวใจ ที่ถูกบันทึกโดยใช้โมดูล AD8232 สัญญาณ ECG เป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกแปลงเป็นดิจิทัลโดยใช้ ADC แบบอนุกรมด้วย MCP3008 และฝังลงในโปรเซสเซอร์ Raspberry Pi Model 3 สัญญาณนี้จะถูกพล็อตบน Plot.ly ซึ่งเป็นเครื่องมือกราฟิกออนไลน์ สัญญาณนี้สามารถดูได้โดยใครก็ได้ที่มีรหัสผู้ใช้ ระบบนี้ถูกออกแบบโดยพิจารณาว่าการศึกษากาภาวะหัวใจเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจสอบและวินิจฉัยโรคหัวใจ



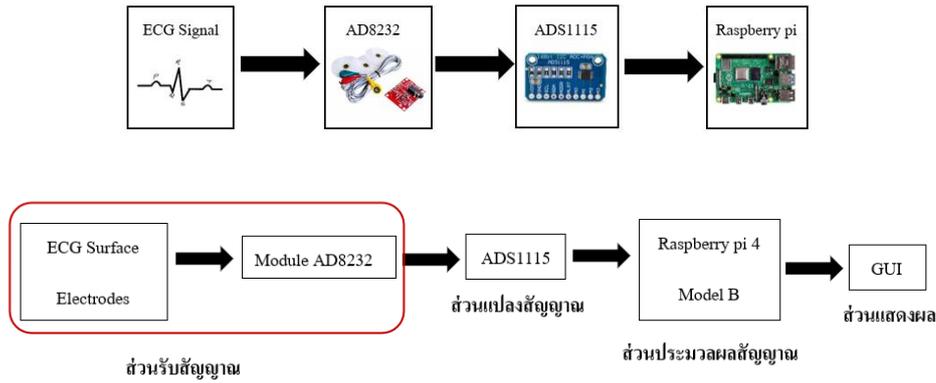
ภาพที่ 2 Block diagram ของระบบ Real time ECG on internet using Raspberry Pi

งานวิจัยที่ 3: IoT-based ECG Monitoring for Arrhythmia Classification using Coyote Grey Wolf Optimization-based Deep Learning CNN Classifier [5] เป็นบทความเกี่ยวกับระบบติดตาม ECG ผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายหรือเครือข่าย IoT โดยระบบจะทำการตรวจจับหาสัญญาณ QRS จากคลื่น PQRST เพื่อหาสัญญาณช่วง RR จากนั้นก็สกัดคุณลักษณะเพื่อทำการแยกแยะสัญญาณหัวใจที่ผิดปกติด้วย Deep CNN



ภาพที่ 3 Block diagram ของระบบ IoT-based ECG Monitoring

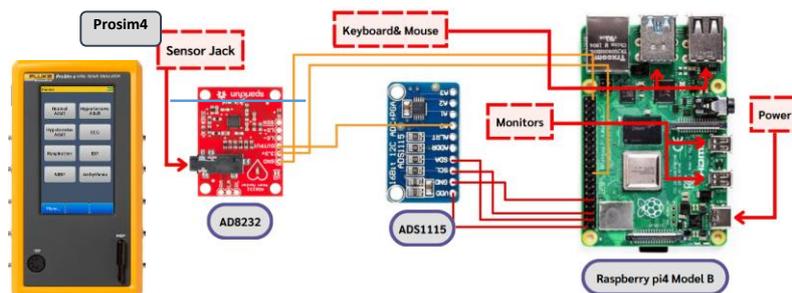
กรอบแนวคิดการวิจัยศึกษาของคณะผู้จัดทำสามารถดูได้จากภาพที่ 4 ซึ่งแสดงถึงภาพรวมการทำงานของระบบ โดยระบบจะเริ่มต้นจากการรับสัญญาณ ECG โดยใช้เซนเซอร์สำหรับการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจรับสัญญาณเข้ามาผ่านการติดต่อเล็กโทรตในจุดที่ต้องการสัญญาณ และต่อเข้ากับตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital Converter หรือ ADC) ที่ความละเอียด 16 บิต ซึ่งหมายความว่ามันสามารถให้ข้อมูลที่แม่นยำและละเอียดมาก มี 4 ช่องสัญญาณ ที่สามารถใช้เพื่อวัดสัญญาณอนาล็อกหลายๆ แหล่งได้พร้อมกัน ต่อเข้ากับราสเบอร์รี่พาย 4 โมเดล B (Raspberry Pi 4 Model B) ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Single-board Computer) หรือ คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก โดยจะเขียนพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน (Python) บนราสเบอร์รี่พาย เพื่อแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่สร้างขึ้นบนหน้าจอ GUI (Graphical User Interface)



ภาพที่ 4 ภาพรวมการทำงานของระบบ

การสร้างระบบแสดงผลการตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) ซึ่งจะเริ่มต้นรับสัญญาณด้วยโมดูล ECG AD8232 เพื่อส่งสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อก จากนั้นสัญญาณจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย ADS1115 ซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ด Raspberry Pi 4 Model B เพื่อประมวลผล [3] และแสดงผลผ่าน GUI โดยใช้ Python, Tkinter, Matplotlib และ SciPy ในการคำนวณและแสดงค่าอัตราการเต้นของหัวใจ หรือ HR (Heart Rate) จาก R peak, ช่วง RR interval, ช่วง QRS Duration และช่วง PR interval ของสัญญาณ ECG การพัฒนาระบบสำหรับตรวจจับและแสดงสัญญาณ ECG แบบเรียลไทม์ จะแสดงให้เห็นถึงการทำงาน 4 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนรับสัญญาณ (Signal Acquisition) ส่วนแปลงสัญญาณ ส่วนประมวลผลสัญญาณ และส่วนแสดงผลสัญญาณ

ส่วนแรกที่เป็นส่วนรับสัญญาณใช้อิเล็กโทรด (Electrodes) และอุปกรณ์รับสัญญาณ Module AD8232 ในการวัดสัญญาณ ECG ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณไฟฟ้าขนาดเล็ก จึงต้องการมีขยายและกรองสัญญาณก่อนการส่งออก โดยในที่นี้สัญญาณ ECG จะสร้างขึ้นมาจากเครื่อง Prosim 4 จำลอง vital signs ได้หลากหลายรูปแบบ อีกทั้งเป็นเครื่องทดสอบแบบพกพาที่หยิบไปใช้งานได้ทันที สามารถเชื่อมต่อสายสัญญาณได้อย่างปลอดภัยและทดสอบได้โดยไม่ยุ่งยาก



ภาพที่ 5 การเชื่อมต่อระบบ

งานวิจัยนี้เลือกใช้ลีดสอง (Lead II) ที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างขาซ้าย (LL) และแขนขวา (RA) สัญญาณที่ได้จะช่วยวัดการทำงานของหัวใจในแนวทแยง ซึ่งเป็นหนึ่งในการวัดแบบลิมลีด Lime Lead ที่เป็นแบบ Bipolar ถัดไปเป็นส่วนแปลงสัญญาณ (Signal Conversion) ที่ใช้ ADS1115 (Analog-to-Digital Converter - ADC) เพื่อแปลงสัญญาณ ECG จากอนาล็อกเป็นดิจิทัล และส่งข้อมูลไปยัง Raspberry pi ผ่าน I²C Protocol โดยมีการตั้งค่า GAIN

ที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้ละเอียดขึ้น โดยคุณสมบัติของ ADS1115 คือ ความละเอียดในการแปลงสัญญาณทำให้สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงที่ละเอียดมากถึง 16-bit resolution และช่องสัญญาณสามารถมีถึง 4 ช่องให้เลือก ซึ่งสามารถใช้เชื่อมต่อกับ AD8232 ได้ทั้ง 4 ช่องเพื่อวัดสัญญาณ ECG ได้มากกว่าหนึ่งลีด โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาเพียง 1 ช่องสัญญาณ

ส่วนที่สามเป็นส่วนประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) โดยเมื่อรับสัญญาณข้อมูล ECG แล้วจะทำการประมวลผลเพื่อตรวจจับ R_{peak} , Q_{peak} , S_{peak} , และ P_{peak} ที่ใช้ในการคำนวณ Heart Rate (HR) โดยใช้สูตรด้านล่างนี้

$$HR = \frac{60}{\text{average } R - R \text{ Interval}}$$

จากนั้นทำการคำนวณช่วง RR Interval ใช้สูตร

$$RR \text{ Interval} = \frac{\text{Distance between } R_{peak}}{\text{Sampling rate}}$$

และทำการคำนวณ QRS Duration สำหรับ QRS Complex ใช้สูตร

$$QRS \text{ Duration} = \frac{(S_{peak}) - (Q_{peak})}{\text{Sampling rate}}$$

คำนวณ P-R Interval ใช้สูตร

$$PR \text{ Interval} = \frac{(R_{peak}) - (P_{peak})}{\text{Sampling rate}}$$

การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ คือ การบันทึกหน้าที่การทำงานของหัวใจ ซึ่งสามารถบันทึกได้ตั้งแต่ก่อนการบีบตัวของหัวใจไปจนถึงการคลายตัวของหัวใจในแต่ละครั้ง กราฟจากการบันทึกจะเกิดเป็นจังหวะ มีความถี่เท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งกราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะประกอบด้วยคลื่นย่อย 3 คลื่นดังภาพที่ 6 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

- คลื่น P (P Wave): ผลรวมทางไฟฟ้าของการเกิดดีโพลาไรเซชันที่หัวใจห้องบนทั้งสองห้อง ซึ่งเกิดขึ้นก่อนหัวใจห้องบนทั้งสองห้องจะบีบตัว และเนื่องจากผนังกล้ามเนื้อหัวใจไม่หนามากนักจึงทำให้คลื่น P มีขนาดสูงไม่เกิน 0.3 มิลลิโวลต์ และใช้เวลาไม่เกิน 0.11 วินาที ในคนปกติ

- คลื่น QRS (QRS Complex): แสดงถึงการเกิดดีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างทั้งสองห้อง ซึ่งเกิดขึ้นก่อนหัวใจห้องล่างทั้งสองห้องจะบีบตัว มีรูปร่างแตกต่างกันในแต่ละสักระยะเวลาของคลื่น QRS ไม่ควรเกิน 0.1 วินาที

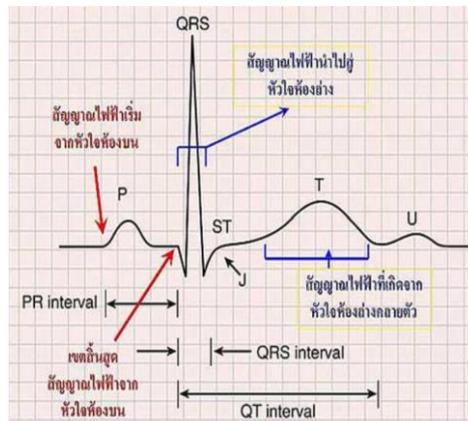
- คลื่น T (T wave): ผลรวมทางไฟฟ้าของการเกิดดีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างทั้งสองห้อง ก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะคลายตัว มีขนาดประมาณ 1/8 ถึง 2/3 เท่าของคลื่น R

นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ในคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งใช้บอกถึงความผิดปกติ ในการทำงานของหัวใจที่สำคัญ ได้แก่

- ช่วงเวลา PR (PR Interval): ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นคลื่น P จนถึงเริ่มต้น QRS ช่วงเวลานี้ไม่ควรเกิน 0.2 วินาที

- ระยะ ST (ST Segment): ช่วงเวลาตั้งแต่การเกิดดีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่างสิ้นสุด จนเริ่มเข้าสู่กระบวนการรีโพลาไรเซชันของหัวใจห้องล่าง สามารถใช้ในการช่วยวินิจฉัยภาวะกลุ่มอาการที่เกิดจากหลอดเลือดหัวใจตีบ หรืออุดตันเฉียบพลัน

- ช่วงเวลา QT (QT Interval): ระยะเวลาในการเกิดดีโพลาไรเซชันและรีโพลาไรเซชันในกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทั้งหมด ซึ่งคลื่นไฟฟ้าหัวใจในเพศชายไม่ควรเกินเวลา 0.44 วินาที และเพศหญิงไม่ควรเกิน 0.46 วินาที



ภาพที่ 6 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG: Electrocardiogram)

การตั้งค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (*Sampling rate*) นั้น คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว หรือ Raspberry Pi สามารถตั้งค่าระยะเวลาในการเก็บข้อมูลได้ เช่น 100Hz, 200Hz, 500Hz เพื่อให้เหมาะสมกับการตรวจวัดสัญญาณ และสุดท้ายในส่วนแสดงผล (Display and User Interface) ใช้ Matplotlib และ Tkinter ในการสร้าง GUI เพื่อแสดงกราฟ ECG แบบเรียลไทม์ มีปุ่ม Start/Stop Recording เพื่อบันทึกข้อมูล ECG ลงในไฟล์ CSV พร้อม Timestamp และแจ้งเตือนค่า HR ที่สูงหรือต่ำเกินไปโดยใช้ Label สีแดง/เขียว

สำหรับฟังก์ชันการทำงาน งานวิจัยนี้ได้ทำการเขียนโค้ดที่พัฒนาขึ้นมีฟังก์ชันหลักดังตารางที่ 1 ในการอ่านค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์ AD8232 ผ่าน ADC (ADS1115) และทำการแปลงค่าที่ได้เป็นโวลต์ พร้อมกับการประมวลผลสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- อ่านค่าจากช่องสัญญาณ: มีการใช้ฟังก์ชัน `read_ecg()` เพื่ออ่านค่าสัญญาณดิจิทัลจากช่องสัญญาณ A0 บน ADS1115 ซึ่งถูกตั้งให้มีความละเอียด 16 บิต

- แปลงค่าดิจิทัลเป็นโวลต์: ใช้ฟังก์ชัน `ConvertVolts()` ในการแปลงค่าดิจิทัลจาก ADS1115 ให้อยู่ในรูปแบบโวลต์ โดยการคูณค่าสัญญาณด้วยค่าที่เหมาะสม และหารด้วยค่าความละเอียดของ ADC เพื่อให้ได้ค่าโวลต์ที่แม่นยำ

- อัปเดตค่าของ ECG แบบเรียลไทม์: ใช้ฟังก์ชันนี้ถูกเรียกใช้ภายใน `update()` เพื่ออัปเดตค่าของ ECG

- คำนวณค่าทางสรีรวิทยา ECG: ใช้ฟังก์ชัน `detect_ecg_features()` ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าที่อ่านได้จาก ECG ได้แก่ Heart Rate (HR) = ค่าการเต้นของหัวใจ (BPM), RR Interval = เวลาระหว่าง R_{peak} , QRS Duration = เวลาของช่วง QRS Complex, PR Interval = เวลาระหว่าง P_{peak} และ R_{peak}

- หา R_{peak} จากสัญญาณ ECG: ใช้ฟังก์ชัน `find_peaks()` จาก SciPy เพื่อค้นหา R_{peak} จากสัญญาณ ECG

- หา Q_{peak} และ S_{peak} : ใช้ `np.argmin()` ในการค้นหามินิกราฟ ECG ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดก่อนและหลัง R_{peak}

- หา P_{peak} : ใช้ `np.argmax()` ในการค้นหามินิกราฟ ECG ซึ่งเป็นจุดสูงสุดก่อน Q_{peak}

- อัปเดตกราฟ ECG: ใช้ฟังก์ชัน `update()` ทำหน้าที่อัปเดตกราฟ ECG และคำนวณค่า HR แบบเรียลไทม์ที่อ่านค่า ECG Sensor ทุก *Sampling rate* (100 Hz) เนื่องจากเป็นค่าที่สูงกว่าความถี่สูงสุดที่พบในสัญญาณ ECG (ประมาณ 40 Hz) ทำให้สามารถบันทึกและวิเคราะห์รายละเอียดของคลื่น ECG ได้อย่างเพียงพอ โดยไม่สูญเสียข้อมูลสำคัญ

- บันทึกค่าที่ได้รับจาก ECG Sensor ลงไฟล์ CSV: ใช้ฟังก์ชัน `save_to_csv()` โดยรับค่าชื่อไฟล์จากช่อง

ป้อนข้อมูล บันทึกข้อมูล ECG เป็นไฟล์ CSV ที่มี Timestamp และมีการแจ้งเตือนผ่าน GUI เมื่อบันทึกข้อมูลสำเร็จ

- ควบคุมการบันทึกข้อมูล ECG: ใช้ฟังก์ชัน `start_record()` และ `stop_record()` เพื่อเริ่มและหยุดบันทึกข้อมูล ECG

ตารางที่ 1 สรุปการทำงานของระบบ

ฟังก์ชัน	หน้าที่
<code>read_ecg()</code>	อ่านค่าจาก ECG Sensor ผ่าน ADS1115
<code>detect_ecg_features()</code>	คำนวณ HR, RR Interval, QRS Duration และ PR Interval
<code>find_peaks()</code>	ค้นหาจุดสูงสุด (Peak) ในสัญญาณ ECG เพื่อระบุจุด R_{peak}
<code>np.argmin()</code>	ค้นหา Q_{peak} และ S_{peak}
<code>np.argmax()</code>	ค้นหา P_{peak}
<code>update()</code>	อัปเดตกราฟและค่า ECG บน GUI
<code>save_to_csv()</code>	บันทึกข้อมูล ECG ลงไฟล์ CSV
<code>start_record()</code>	เริ่มบันทึกข้อมูล ECG
<code>stop_record()</code>	หยุดบันทึกข้อมูล ECG

ระบบสามารถบันทึกข้อมูล ECG ลงไฟล์ CSV ได้โดยมีการเก็บค่า Timestamp และค่าที่อ่านจาก ADC ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ภายหลังได้

- โปรแกรมมีช่องให้ผู้ใช้สามารถตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก
 - ข้อมูลที่บันทึกลงไฟล์ CSV มีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล คือ เวลาในการบันทึก และค่าสัญญาณ ECG
- ดังภาพที่ 7

- เมื่อกดปุ่ม "Stop Record" ระบบจะบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงในไฟล์ CSV และแจ้งเตือนผู้ใช้งานว่า "บันทึกข้อมูล ECG สำเร็จ" ดังภาพที่ 8

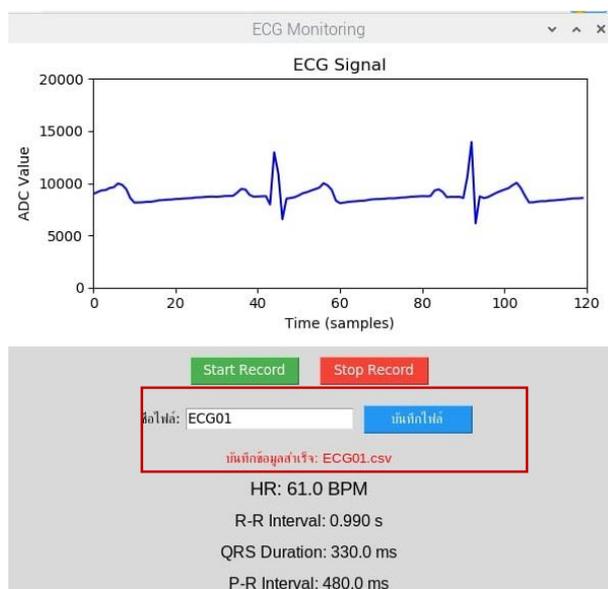
	Timestamp	ECG Value
1	1740468827	8367
2	1740468827	8402
3	1740468827	8428
4	1740468827	8449
5	1740468827	8421
6	1740468827	8479
7	1740468827	8470
8	1740468827	8542
9	1740468827	8580
10	1740468827	8580

ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกลงไฟล์ CSV

การใช้งานผ่านโปรแกรมผ่าน GUI ดังภาพที่ 8 นั้นสามารถอธิบายส่วนโปรแกรมวัดสัญญาณ ECG และคำนวณค่า HR (Heart Rate) ได้รับการพัฒนาให้มี Graphical User Interface (GUI) โดยใช้ Tkinter เพื่อให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับระบบได้อย่างสะดวก ในส่วนนี้จะอธิบายองค์ประกอบของหน้าจอ GUI ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังนี้

1. กราฟแสดงสัญญาณ ECG แบบเรียลไทม์

- แสดงผลค่าที่อ่านจากเซ็นเซอร์ ECG ในรูปแบบของ กราฟเส้น (Line Graph)
- แกน X แสดงเวลา
- แกน Y แสดงค่า ADC จากเซ็นเซอร์ ECG
- กราฟอัปเดตค่าต่อเนื่องตามเวลาจริง



ภาพที่ 8 หน้าจอ GUI ในขณะที่บันทึกข้อมูล ECG

2. ปุ่มควบคุมการบันทึกข้อมูล

- ปุ่ม "Start Record" (สีเขียว): เริ่มบันทึกข้อมูล ECG ลงหน่วยความจำ
- ปุ่ม "Stop Record" (สีแดง): หยุดการบันทึกข้อมูลและบันทึกลงไฟล์ CSV
- ช่องป้อนชื่อไฟล์ CSV: ผู้ใช้สามารถระบุชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก
- ปุ่ม "บันทึกไฟล์" (สีน้ำเงิน): ใช้สำหรับบันทึกข้อมูล ECG ลงไฟล์ CSV

3. ส่วนแสดงค่า HR (Heart Rate) และค่าอื่น ๆ

- แสดงค่า HR เป็นตัวเลข BPM (Beats Per Minute) หรือครั้งต่อนาที
- เปลี่ยนสีข้อความตามค่าที่อ่านได้
 - สีเขียว: ค่าปกติ
 - สีแดง: ค่า HR สูงหรือต่ำผิดปกติ
- มีข้อความแจ้งเตือนสถานะการบันทึก เมื่อผู้ใช้กดบันทึกไฟล์

ผลการศึกษา/ผลการวิจัย และอภิปรายผล

จากการพัฒนาระบบสำหรับตรวจจับและแสดงสัญญาณ ECG แบบเรียลไทม์ สามารถแสดงกราฟสัญญาณ ECG แบบต่อเนื่องตามค่าที่อ่านได้ดังภาพที่ 9 โดยมีรายละเอียดของระบบดังนี้

- โปรแกรมสามารถอ่านค่าสัญญาณ ECG และแสดงผลเป็นกราฟได้อย่างต่อเนื่อง
- ค่า ADC ที่อ่านได้อยู่ในช่วง 0 - 20,000 ซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้ตามการตั้งค่า GAIN ของ ADS1115
- มีการตั้งค่า แกน X เป็น Time (samples) และแกน Y เป็นค่า ADC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสังเกตแนวโน้ม

ของสัญญาณ ECG ได้ชัดเจน

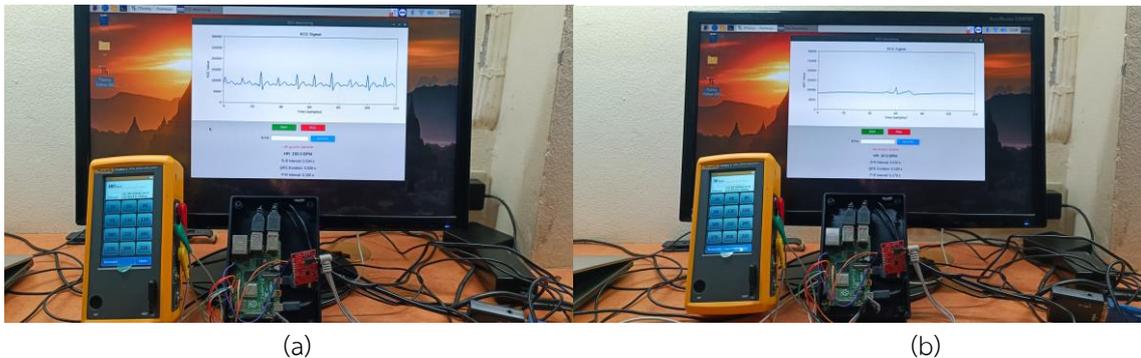
- โปรแกรมสามารถตรวจจับ R peak และคำนวณค่า HR ได้อัตโนมัติ รวมถึงคำนวณ Q_{peak} , S_{peak} , และ P_{peak} เพื่อแสดงผล RR Interval, QRS Duration และ PR Interval โดยใช้ค่าการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) 100 Hz และค่า window_size = 120

- ค่า HR จะแสดงผลบน GUI ทุก ๆ 1 วินาที และมีการเปลี่ยนสีเมื่อคือ HR อยู่มีช่วงผิดปกติ



ภาพที่ 9 ระบบสำหรับตรวจจับและแสดงสัญญาณ ECG ที่หน้าจอ GUI แสดงข้อความ ECG มีค่าปกติ

จากภาพที่ 9 แสดงค่า HR ในช่วงปกติ ซึ่งทำการวัดที่ 90 BPM โดยช่วงปกติของ HR จะอยู่ที่ 60-100 BPM โดยการวิจัยได้ทำการศึกษาทดสอบการตรวจจับและแสดงผลสัญญาณ ECG ของระบบทั้งในช่วงที่ช้าและเร็วกว่าค่าปกติของ HR จากภาพที่ 10 (a) เป็นการแสดงข้อความเมื่อ ECG วัดได้มีค่าสูงกว่าปกติ โดยในภาพทำการวัด ECG ที่ 180 BPM ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าในช่วงปกติที่จะอยู่ในช่วง 60-100 BPM จากภาพที่ 10 (b) เมื่อ ECG วัดได้มีค่าต่ำกว่าปกติ โดยทำการศึกษาวัด ECG ที่ 30 BPM ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าในช่วงปกติที่จะอยู่ในช่วง 60-100 BPM



ภาพที่ 10 ระบบสำหรับตรวจจับและแสดงสัญญาณ ECG ที่หน้าจอ GUI มีข้อความสีแดงแจ้งเตือนเมื่อ ECG มีค่าผิดปกติที่ (a) สูงเกินหรือ (b) ต่ำเกิน

ต่อมาได้ทำการทดลองศึกษาระบบตรวจจับและแสดงสัญญาณ ECG โดยทำการปรับค่า HR ที่แตกต่างกัน ในช่วงตั้งแต่ค่า HR ที่ 30-180 BPM จำนวน 7 ค่า ประกอบด้วย 30, 60, 80, 90, 120, 150, และ 180 ดังตารางที่ 2 โดยค่าที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ค่า HR ที่ตั้งค่าจากเครื่อง Prosim 4 และค่า HR ที่ระบบวัดได้, ช่วง RR Interval, QRS Duration, และ PR Interval ซึ่งจะทำการบันทึกมาทั้งหมดเป็นจำนวน 10 ค่า และทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD (Standard Deviation) หรือ ค่าการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งค่า SD ที่ต่ำแสดงว่าการเดินของหัวใจค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2 การทดลองระบบที่ HR ค่าต่าง ๆ ในช่วง 30-180 BPM

HR (BPM)	Measured HR (BPM)	RR interval (s)	QRS Duration (s)	PR interval (s)
30	30.0 [±0.0]	1.9989 [±0.0088]	0.0953 [±0.0094]	0.1760 [±0.0100]
60	60.3 [±0.5]	0.9947 [±0.0037]	0.0880 [±0.0391]	0.1650 [±0.0106]
80	80.3 [±0.5]	0.7462 [±0.0020]	0.0806 [±0.0352]	0.1609 [±0.0102]
90	90.9 [±0.3]	0.6619 [±0.0014]	0.0709 [±0.0327]	0.1506 [±0.0105]
120	121.0 [±0.0]	0.4955 [±0.0013]	0.0613 [±0.0151]	0.1346 [±0.0068]
150	150.8 [±0.4]	0.3981 [±0.0008]	0.0512 [±0.0185]	0.1174 [±0.0080]
180	181.9 [±0.3]	0.3316 [±0.0005]	0.0340 [±0.0027]	0.1025 [±0.0094]

จากการทดลองของอัตราการเต้นของหัวใจโดยทำการวัดจากเครื่องจำลองสัญญาณ Prosim 4 ในช่วงอัตราการเต้นที่ 30-180 BPM พบว่า ค่า HR ที่ได้อยู่ในช่วงของความแม่นยำที่ถูกต้อง เนื่องจากค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงความผิดพลาดน้อยกว่า ± 0.5 ซึ่งเป็นไปตาม Rate Accuracy ของเครื่องที่มีค่าอยู่ที่ ± 1 % of setting ส่วนช่วง RR interval, ช่วง QRS complex, และช่วง PR interval มีค่าเป็นไปตามหลักทางสรีระวิทยา คือ เมื่อค่า HR มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ช่วงต่าง ๆ มีค่าน้อยลง ซึ่งจากผลที่ทำการบันทึกพบว่าค่าตามๆที่ได้เป็นไปตามหลักการ ผลจากการวิจัยนี้สามารถเปรียบเทียบกับ พบว่า ระบบดังกล่าวสามารถแสดงผลของคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้หลายช่วงอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่า และค่ารายละเอียดต่าง ๆ ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจทั้งช่วงเวลาของ RR, QRS และ PR เพื่อการแปลผลในการนำไปวิเคราะห์โรคได้สะดวกรวดเร็วมมากขึ้น

ในช่วงที่ HR อยู่ในช่วงปกติคือ 60-100 BPM ช่วง QRS complex จะอยู่ในช่วง 0.06-0.12 วินาที ซึ่งจากผลการทดลองค่าที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าวที่ 0.07-0.09 วินาที ของ HR 60-100 BPM และช่วง PR interval ค่าปกติจะอยู่ในช่วง 0.12-0.20 วินาที ซึ่งจากผลการทดลองค่าที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าวที่ 0.15 – 0.17 วินาที เป็นไปตามหลักสรีระวิทยา ในการคำนวณค่าต่างๆที่แสดงในหน้าต่างของ GUI ยังมีความผิดพลาดในการคำนวณในบางครั้ง ทำให้ค่าที่แสดงเป็นค่าที่ยังไม่ถูกต้องและเรียลไทม์ตามการแสดงผลกราฟของ ECG ดังนั้น การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการค้นหาจุดต่าง ๆ เพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เพื่อให้การคำนวณค่าต่าง ๆ มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นเป็นสิ่งที่ยังสามารถพัฒนาต่อไปในอนาคต อีกทั้งการตรวจวัดสัญญาณ ECG ได้เพิ่มมากขึ้นเช่น lead v5 เป็นต้น เพื่อทำให้การวินิจฉัยโรคหัวใจที่ดียิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ระบบตรวจจับและแสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยراسเบอร์รี่พาย 4 Model B ที่สร้างขึ้นนั้น สามารถตรวจวัดสัญญาณ ECG และนำสัญญาณไปประมวลผลบนراسเบอร์รี่พาย รวมถึงแสดงผลสัญญาณผ่านหน้าจอ GUI ได้ ซึ่งสัญญาณที่ได้นั้นมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ตามรูปแบบสัญญาณของ ECG ส่วนการคำนวณและแสดงค่าของ ECG ยังพบข้อจำกัดในช่วงอัตราการเต้นของหัวใจที่ 30-180 BPM และมีการแสดงค่าที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้างในช่วงที่มากกว่า ซึ่งต้องทำการปรับปรุงพัฒนาต่อยอดต่อไปในอนาคต ส่วนหน้าจอ GUI ที่สร้างขึ้นมีการใช้งานที่ง่าย และสามารถบันทึกไฟล์เป็น CSV เพื่อนำข้อมูล ECG ไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2566). กรมควบคุมโรค ร่วมรณรงค์วันหัวใจโลก 2566 เผยปีที่แล้วคนไทย เสียชีวิตโรคหัวใจและหลอดเลือดมากถึง 7 หมื่นราย ย้ำโรคนี้สามารถป้องกันได้
- คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG), http://www.ox-thai.com/ox/knowledge/knowledge_ecg.html
- จิรยุทธ เพชรเครือ, สุปรียา ปราสาท อะติกาธิ์, ไพจิตร บุญตา (2563). Comparison of using RCAT and conventional method for EKG interpretation.
- ทองทิพย์ ดำรงวัฒน์ และ นางลักษณ์ อินทรโยธา (1966). “การบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องบันทึกโฮลเตอร์” Rama Nurse Journal, vol.2, no.1, pp.95-103.
- โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ อินเตอร์เนชั่นแนล, การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG)-หัวใจ
- ศาสตราจารย์คลินิกเกียรติคุณ นายแพทย์ พนัส เฉลิมแสนยากร (30 July 2022). หัวใจ: กายวิภาคหัวใจ (Heart anatomy)/สรีรวิทยาของหัวใจ (Heart physiology).
- Mousavi, S., Afghah, F., Khadem, F., & Acharya, U. R. (2021). ECG Language processing (ELP): A new technique to analyze ECG signals. *Computer methods and programs in biomedicine*, 202, 105959.
- Safdar, M. F., Nowak, R. M., & Patka, P. (2024). Pre-Processing techniques and artificial intelligence algorithms for electrocardiogram (ECG) signals analysis: A comprehensive review. *Computers in Biology and Medicine*, 170, 107908.
- Birnbaum, Y., Wilson, J. M., Fiol, M., de Luna, A. B., Eskola, M., & Nikus, K. (2014). ECG diagnosis and classification of acute coronary syndromes. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 19(1), 4-14.
- Kumar, A., Kumar, S., Dutt, V., Dubey, A. K., & Garcia-Diaz, V. (2022). IoT-based ECG monitoring for arrhythmia classification using Coyote Grey Wolf optimization-based deep learning CNN classifier. *Biomedical Signal Processing and Control*, 76, 103638.
- Patil, P., & Bhole, K. (2018, February). Real time ECG on internet using Raspberry Pi. In 2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT) (pp. 267-270). IEEE.
- Siavashi, A., & Majidi, M. (2021, May). Sensing, wireless transmission, and smart processing of heart signals. In 2021 5th International Conference on Internet of Things and Applications (IoT) (pp. 1-6). IEEE.