

การปรับค่าคลื่นสัญญาณการเต้นของหัวใจโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Heartbeat Signal Adjustment using Neural Network

ปารย์ ศิริมนพร (Parn Sirimanapron)* และ ศิริปรัชญ์ บุญครอง (Sirapat Boonkrong)**

Received : July 18, 2019

Revised : August 23, 2019

Accepted : May 10, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแนวทางการใช้สัญญาณการเต้นของหัวใจสำหรับงานทางด้านไบโอเมตริกโดยใช้สัญญาณการเต้นหัวใจที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่หนึ่งได้แก่สัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH และส่วนที่สองได้แก่สัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่ โดยทำการแบ่งสัญญาณออกเป็นหนึ่งรอบคลื่น (1 คาบสัญญาณ) จะประกอบไปด้วยคลื่น P-wave, QRS Complex และ T-wave ทำการทดลองด้วยการแบ่งคาบสัญญาณที่ค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิงในตำแหน่งที่แตกต่างกันได้แก่ 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 เพื่อหาค่าตำแหน่งที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจในแต่ละชุดข้อมูลจากนั้นทำการดึงลักษณะเด่นของช่วงสัญญาณด้วยแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform : DWT) โดยลักษณะเด่นที่ได้จะถูกนำมาใช้สำหรับการทดลองด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาประสิทธิภาพความถูกต้องของแต่ละกระบวนการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward Back-Propagation ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation) ทำการฝึกสอนข้อมูลด้วยวิธีการปรับน้ำหนักแบบ Scaled Conjugate Gradient ทำการทดลองหาจำนวนโหนดของนิวรอลและจำนวนชั้นซ่อนที่เหมาะสมกับข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจสถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) หรือค่าผลรวมความคลาดเคลื่อน (Sum Square Error: SSE) ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบและพัฒนาแนวทางการใช้สัญญาณการเต้นของหัวใจสำหรับงานทางด้านไบโอเมตริก

ได้ผลดังนี้ 1) ข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือสัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูลMIT-BIH ทั้งสิ้น 10 สัญญาณ ประกอบไปด้วย Record1 0 0, Record1 0 1, Record1 0 3, Record1 1 3, Record1 1 6, Record1 1 7, Record1 2 3, Record2 0 2, Record2 0 5 และ Record2 0 9 และสัญญาณที่ได้จากการบันทึกจริงด้วยเครื่อง Neulog Ecg Nul-218 usb จำนวน 20 คน มีค่าเฉลี่ยอายุอยู่ระหว่าง 24.8 ปี 2) ผลการหาตำแหน่งของเส้นอ้างอิงค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิงที่ 0.7 นั้นให้ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องที่สูงที่สุดที่ 96.97%ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองกับชุดข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูล MIT-BIH โดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องที่ 93.35% 3) ผลการทดลองหาจำนวนโหนดของนิวรอลพบว่า ที่จำนวนโหนดของนิวรอลที่ 200 โหนดนั้นให้ประสิทธิภาพของค่าความถูกต้องที่สูงที่สุดซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการระบุบุคคลโดยที่สัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 96.68% และการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่จากกลุ่มตัวอย่างนั้นให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 95.29%

คำสำคัญ: การแปลงเวฟเลต สัญญาณการเต้นของหัวใจ การพิสูจน์ตัวตน

Abstract

The purpose of the research was to design and develop guidelines for using heartbeat signals in biometric applications. The heartbeat signals used in the research consist of two parts. The first part was taken from the MIT-BIH database. The second part, which included new heartbeat signals was

* ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Department Information Technology, Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

** ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

** Department Information Technology, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology.

collected by dividing the signals into cycle. Each cycle (1 signal period) comprised of P-wave, QRS complex and T-wave. Experiments were carried out in such a way that different referenced lines at different positions on the signals, namely 0.6, 0.7, 0.8 and 0.9, were used to find the position values that appeared suitable in each data set. The characteristics of the signal were then extracted with the discrete wavelet transform technique (DWT) The characteristics obtained would later be used for experimenting with forward feed-back-propagation artificial neural networks in order to find the correctness of each process. Another method used in the experiments was the reverse leaning (Back-Propagation) together with the Scaled Conjugate Gradient method for training the data. These experiments were carried out to find the number of neural nodes and the number of hidden layers that would be suitable for the heartbeat signals data.

The results showed that: 1) The two parts of the heartbeat signals were: the 10 signals from the MIT-BIH database with Record100, Record101, Record103, Record113, Record116, Record117, Record123, Record202, Record205 and Record209; and the signals collected from the Neulog Ecg Nul-218 usb of twenty users, whose average age were 24.8 years old. 2) The most suitable reference line was found to be at 0.7, because it gave the highest average accuracy of 96.97%. This also corresponded with the experiment done on the MIT-BIH dataset. Which gave the accuracy of 93.35%. 3) The results of the neural node number test showed that 200 neural nodes provided the highest accuracy. This would, therefore, be suitable for identification purposes. The signals from the MIT-BIH database had the highest average of 96.68% and the newly collected heartbeat from that sample gave the highest accuracy rate of 95.29%

Keyword: Wavelet Transform, Heartbeat signal, Authentication.

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนรวมถึง

สถาบันการศึกษาหันมาใช้เทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร การเรียนการสอน การทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือการเข้าสู่ระบบต่าง ๆ ส่งผลทำให้ระบบต่าง ๆ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะรักษาความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการระบุตัวตน (Identification) และการพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ของผู้ใช้งานเพื่อใช้คัดกรองว่าผู้ใช้งานที่มีต้องการจะเข้าสู่ระบบ หรือเข้าถึงข้อมูลนั้น ๆ มีสิทธิ์ที่เข้าถึงข้อมูล และเป็นตัวตนที่แท้จริงซึ่งการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้รหัสผ่าน (Password) นั้นเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งปัญหาหลักของพิสูจน์ตัวตนโดยใช้รหัสผ่านคือการถูกโจมตีรหัสผ่าน (Password attack) และการปลอมแปลง (Impersonation) ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การโจมตีโดยใช้พจนานุกรม (Dictionary attack) การใช้วิธีการแอบมอง (Shoulder surfing) การโจมตีแบบวิศวกรรมสังคม (Social engineering) และการสุ่มรหัสผ่าน (Brute force attack) เป็นต้น เนื่องจากผู้ใช้งานส่วนมากมักเลือกตั้งรหัสผ่านที่สั้นและมีความหมายเกี่ยวข้องกับตนเองเป็นส่วนใหญ่เพื่อให้ง่ายต่อการจดจำส่งผลให้ง่ายต่อการคาดเดา (Guessing) และถูกโจมตีได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามหากผู้ใช้งานตั้งรหัสผ่านที่ซับซ้อนยากต่อการคาดเดา ผู้ใช้ก็จะเกิดปัญหาในเรื่องของการลืมรหัสผ่าน ทำให้ผู้ใช้ส่วนมาก มักใช้วิธีการจดบันทึกรหัสผ่านไว้ หรือใช้รหัสผ่านเดียวกันในทุก ๆ บัญชี จากปัญหาของการถูกโจมตีรหัสผ่านในรูปแบบต่าง ๆ จึงได้มีการวิจัยนำเอาไบโอเมตริก (Biometric) เช่น ลายนิ้วมือ (Fingerprints) ลายม่านตา (Iris) เสียงพูด (Voice) จังหวะในการพิมพ์ (Keystroke Pattern) ลักษณะทางการเดิน (Gait) โครงสร้างของมือ (Hand geometry) และการลงลายมือชื่อ (Signature) เป็นต้น [1] ซึ่งสัญญาณการเต้นของหัวใจก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการระบุตัวตนได้ เนื่องจากสัญญาณการเต้นหัวใจนั้นมีความเป็นเฉพาะ กล่าวคือในแต่ละบุคคลนั้นจะมีสัญญาณการเต้นหัวใจที่ไม่ซ้ำกัน [2] บุคคลที่มีชีวิตจะต้องมีสัญญาณการเต้นของหัวใจ และสามารถตรวจจับสัญญาณตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้เช่น ข้อมือ คอ แขน ขาหนีบ ขมับ เป็นต้น จุดเด่นของสัญญาณการเต้นหัวใจคือผู้ใช้จะไม่สามารถปฏิเสธความเกี่ยวข้องกับข้อมูลได้ (Non-Repudiation) และยากต่อการถูกขโมยหรือปลอมแปลง ซึ่งต่างจากการพิสูจน์ตัวตนด้วยลายนิ้วมือ

ใบหน้า และลายม่านตา ที่สามารถปลอมแปลงได้ เช่น ลายนิ้วมือปลอมแปลงได้ด้วยวิธี “Gummy fingers” [3] ใบหน้าและลายม่านตาปลอมแปลงได้โดยการใช้รูปภาพหรือวิดีโอที่มีความละเอียดสูงเป็นต้น

จะเห็นได้ว่าการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้รหัสผ่าน และใช้ไบโอเมตริกในชนิดต่าง ๆ นั้นยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของการปลอมแปลง และการจารหัสผ่านของผู้ใช้งาน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเสนอการนำเอาสัญญาณการเต้นหัวใจมาทำการปรับค่าคลื่นสัญญาณการเต้นของหัวใจโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเป็นพัฒนาแนวทางในการใช้สัญญาณการเต้นของหัวใจสำหรับงานทางด้านไบโอเมตริก ทำการทดลองหาจำนวนโน้ตของนิรอรลที่ให้ประสิทธิภาพของค่าความถูกต้องที่สูงที่สุด ซึ่งมีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการระบุบุคคล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้มีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยนี้หลายด้านเพื่อใช้ในการอธิบายและชี้ให้เห็นถึงปัญหา รวมถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้จากผลงานการวิจัยของท่านอื่น ๆ ที่สามารถรองรับหลักการและวิธีในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1 ปัญหาของการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้รหัสผ่าน

การพิสูจน์ตัวตนจากสิ่งที่คุณรู้หรือพิสูจน์ตัวตนโดยใช้รหัสผ่านนั้นพบปัญหาหลักคือการถูกโจมตีรหัสผ่าน และการปลอมแปลงด้วยวิธีการต่าง ๆ [4] เป็นต้น ซึ่งจากปัญหาของการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้รหัสผ่านนั้น จึงมีการศึกษาพฤติกรรมการตั้งรหัสผ่านของผู้ใช้ [5] พบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมที่มีความเสี่ยงต่อการใช้งานรหัสผ่าน ผู้ใช้มักเลือกใช้วิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับตนเองในการใช้งานรหัสผ่าน โดยมีการตั้งรหัสผ่านจากข้อมูลใกล้ตัว ทำให้รหัสผ่านเดาได้ง่าย (Weak password)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพิสูจน์ตัวตนด้วยไบโอเมตริกและการพิสูจน์ตัวตนด้วยสัญญาณการเต้นของหัวใจ

ปัจจุบันการพิสูจน์ตัวตนด้วยการใช้รหัสผ่านเพียงอย่างเดียว นั้น อาจไม่เพียงพอต่อการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล จึงได้มีการวิจัยนำเอาไบโอเมตริกเช่น ลายนิ้วมือ ลายม่านตา เสียงพูด โครงสร้างของมือ จังหวะในการพิมพ์

ลักษณะทางการเดิน และการลงลายมือชื่อ เป็นต้น [6] แม้ว่าจะมีการนำเทคโนโลยีไบโอเมตริกเข้ามาช่วยการพิสูจน์ตัวตนแล้วก็ตาม ยังคงพบปัญหาการโจมตีและการปลอมแปลงในรูปแบบต่าง ๆ [7] ซึ่งสัญญาณการเต้นของหัวใจ ถือได้ว่าเป็นไบโอเมตริกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตน ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาอัตราการเต้นของหัวใจมาใช้เป็นรหัสผ่าน อาทิเช่น Heart to Heart (H2H) [8] ซึ่งระบบ H2H ใช้ประโยชน์จากคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ข้อมูลการเต้นของหัวใจ) เป็นกลไกในการตรวจสอบ มีจุดประสงค์ให้เกิดความปลอดภัยต่อการเข้าถึงเครื่องมือทางการแพทย์ที่ฝังอยู่ในร่างกายผู้ป่วย (Implantable Medical Device : IMD) และเพื่อเพิ่มโอกาสในการช่วยเหลือผู้ป่วยในกรณีฉุกเฉิน ผลของการวิจัยสามารถชี้ให้เห็นว่าข้อมูลการเต้นของหัวใจเป็นค่า Physiological value (PV) ที่เหมาะสำหรับการพิสูจน์ตัวตน เนื่องจากแหล่งข้อมูลที่ได้มานั้นเป็นแหล่งข้อมูลที่ได้จากตัวผู้ป่วย จึงเป็นเรื่องยากที่ผู้โจมตีจะคาดเดาและยังสามารถป้องกันการโจมตี Jam attacks และ Replay attacks ได้

นอกจากในทางการแพทย์แล้วยังพบว่ามี การนำสัญญาณการเต้นของหัวใจและเสียงหัวใจมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตนระบบ มีชื่อว่า HeartID [9] โดยจะมีการเก็บสัญญาณการเต้นของหัวใจไปพร้อมกับเสียงหัวใจและทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเสียงหัวใจมาใช้เพื่อเพิ่มความถูกต้องให้แก่ระบบในการรักษาความปลอดภัย มีการใช้ผู้ทดสอบจำนวน 21 คน เก็บเสียงหัวใจโดยใช้ Littmann Electronic Stethoscope Model 4100WS และใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจใน Lead I ใช้เซ็นเซอร์ Vernier2 บันทึกแต่ละครั้งยาว 3 นาที ซึ่งระบบ HeartID มีการลบสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นด้วยการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง และวิเคราะห์สัญญาณการเต้นหัวใจด้วยการหาค่าสูงสุดที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ DWT โดยมีการแบ่งช่วงของคลื่น P, QRS และ T-wave ซึ่งจากการทดลองพบว่าสัญญาณการเต้นหัวใจและเสียงหัวใจนั้นสามารถนำมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตนได้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นหัวใจ

ปัญหาหนึ่งของการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นหัวใจที่พบ คือการจัดการกับความแปรปรวนของอัตราการเต้นหัวใจ ไม่ว่าจะเกิดจากการเคลื่อนไหวร่างกาย การรบกวนของกระแสไฟฟ้าภายในร่างกาย และการรบกวน

จากกิจกรรมของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่งผลให้สัญญาณการเต้นหัวใจนั้นจะมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง (Heart-rate variability: HRV) วิธีการที่ใช้ในการสกัดคุณลักษณะเด่นถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพความถูกต้องของการพิสูจน์ตัวตนทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอถึงวิธีการในการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นของหัวใจซึ่งมีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นได้ว่าวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นของหัวใจที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อค่าความถูกต้องสำหรับวิธีการลดความแปรปรวนของอัตราการเต้นหัวใจการของหัวใจในงานวิจัยครั้งนี้ คือการควบคุมปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อสัญญาณ กล่าวคือ ก่อนทำการเก็บสัญญาณจากผู้ทดสอบผู้ทดสอบจะต้องมีการผ่อนคลายร่างกาย และระหว่างที่ทำการเก็บสัญญาณการเต้นของหัวใจห้ามมิให้ผู้ทดสอบขยับร่างกาย หรือขยับกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อลดการรบกวนของกระแสไฟฟ้าภายในร่างกาย รวมถึงสัญญาณรบกวนที่เกิดจากกิจกรรมของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นของหัวใจด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ตและการหาเส้นตำแหน่งอ้างอิงที่เหมาะสมกับสัญญาณการเต้นของในแต่ละชุดข้อมูลจากนั้นทำการดึงลักษณะเด่นร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่น

Ref.	Authentication with	Feature Extraction	Accuracy	EER
[9]	Heartbeat signal	Discrete wavelet transform	95%	-
	Phonocardiogram	Short-time Fourier Transform (STFT) and Discrete Cosine Transform (DCT)	72%	-
	Heartbeat signal Phonocardiogram	Discrete wavelet transform	97%	-
[10]	Heartbeat signal	Pulse Active Width (PAW)	89%	18%
		VS Temporal, Amplitude and slopes	76%	30%
		VS Temporal Features	74%	31%
[11]	Heartbeat signal	Piecewise-Aligned Morphology	-	1.3%
		VS Heartbeat Shape (HBS)	-	4.6%
		VS Autocorrelation of morphology	-	3.9%
[12]	Heartbeat signal	Autocorrelation and Discrete Cosine Transform (AC/DCT)	97%	-
		Power Spectral Estimation : PSEs	98%	-
[13]	Heartbeat signal	Fourier Transform and Neural network	-	5.3%
[14]	Heartbeat signal	Discrete wavelet transform and ANN	97%	-

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลและการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

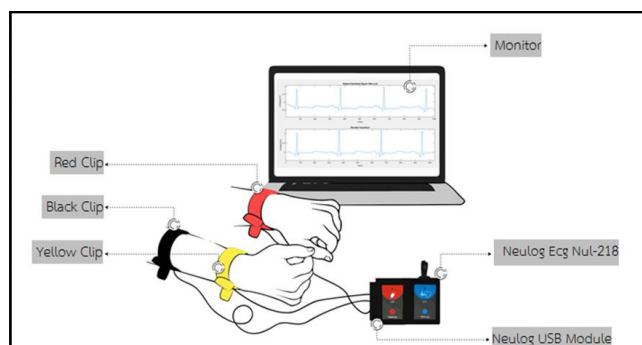
สัญญาณการเต้นหัวใจที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่หนึ่งได้แก่ สัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH และส่วนที่สอง ได้แก่อสัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 สัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH ประกอบไปด้วย Record100, Record101, Record103, Record113, Record116, Record117, Record123, Record202, Record205 และ Record209 รวมทั้งสิ้น 10 สัญญาณ มีลักษณะของสัญญาณการเต้นของหัวใจ Lead II (Modified Limb Lead II: MLII)

3.1.2 สัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่จากกลุ่มตัวอย่าง ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการเต้นของหัวใจ Neulog Ecg Nul-218 และ Neulog USB Module ดังภาพที่ 1 จำนวน 20 คน อยู่ในช่วงอายุ 18-35 ปี มีสภาวะปกติกล่าวคือมีอัตราการเต้นของหัวใจที่ปกติ โดยอยู่ในช่วง 60-100 ครั้งต่อนาที และไม่อยู่สภาวะเหนื่อย โดยหนีบสายบันทึกสัญญาณในรูปแบบ Bipolar Limb Lead ในตำแหน่ง Lead I ดังภาพที่ 2



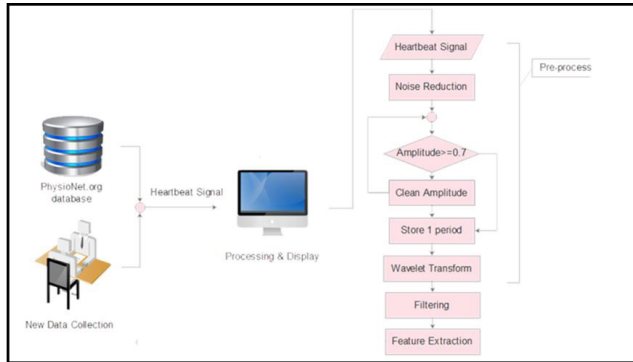
ภาพที่ 1 อุปกรณ์ Neulog Ecg Nul-218 และ Neulog USB Module



ภาพที่ 2 ตำแหน่งที่ใช้หนีบอุปกรณ์ Neulog Ecg Nul-218 เพื่อวัดสัญญาณการเต้นของหัวใจ

3.2 การสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณ

การสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นของหัวใจ นั้นมีภาพรวมของกระบวนการแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้



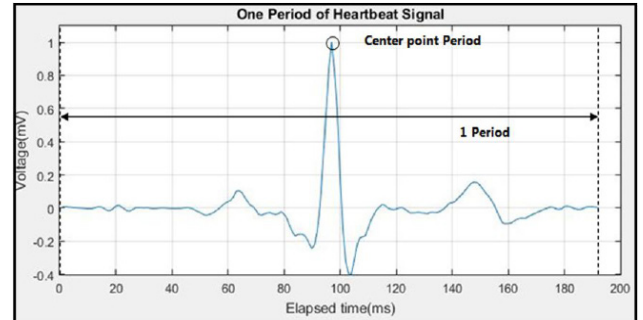
ภาพที่ 3 ภาพรวมของกระบวนการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นของหัวใจ

3.2.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน (De-Noising) เป็นการนำข้อมูลมาผ่านการกรองความถี่ด้วยตัวกรองความถี่แบบบัทเทอร์เวิร์ธ (Butterworth) ซึ่งผลการกรองความถี่ที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่า Order N และค่าความถี่ Cut off Frequency : ω_n ดังภาพที่ 4



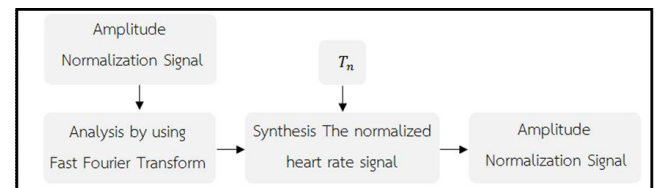
ภาพที่ 4 กระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวน (De-Noising)

3.2.2 การเก็บค่าสัญญาณการเต้นของหัวใจ 1 คาบ สัญญาณโดยนำสัญญาณที่ผ่านการปรับขนาดของสัญญาณ (Amplitude Normalization) ให้มีขนาดสูงสุดเท่ากับ 1 mV มาทำการตรวจจับหาค่าตำแหน่งที่สูงที่สุดในแต่ละรอบคลื่น R-R Interval เพื่อสร้างเส้นอ้างอิงที่มีค่าอยู่เหนือคลื่น T-wave และมีค่าต่ำกว่า R-Peak ของแต่ละรอบคลื่น มาทำการทดลองแบ่งคาบสัญญาณที่ค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิงในตำแหน่งที่แตกต่างกันได้แก่ 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 เพื่อหาค่าตำแหน่งที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจในแต่ละชุดข้อมูลดังภาพที่ 5

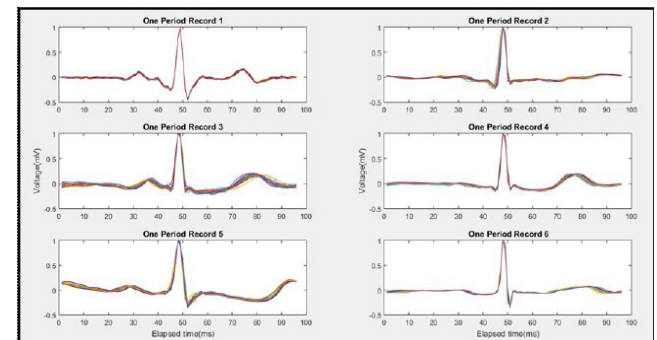


ภาพที่ 5 ตัวอย่างลักษณะของสัญญาณใน 1 คาบ สัญญาณที่ถูกตัดออกมา

3.2.3 การปรับอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Normalization) เพื่อปรับอัตราการของหัวใจของทุกสัญญาณ มีรูปสัญญาณที่ได้มีอัตราการเต้นของหัวใจที่เท่ากัน และมีลักษณะความถี่เดียวกันด้วยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางด้านความถี่ของสัญญาณ โดยใช้การแปลงฟูเรียร์ ซึ่งกระบวนการดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กระบวนการปรับขนาดของสัญญาณ



ภาพที่ 7 ลักษณะของสัญญาณใน 1 คาบสัญญาณที่ผ่านการดึงลักษณะเด่น

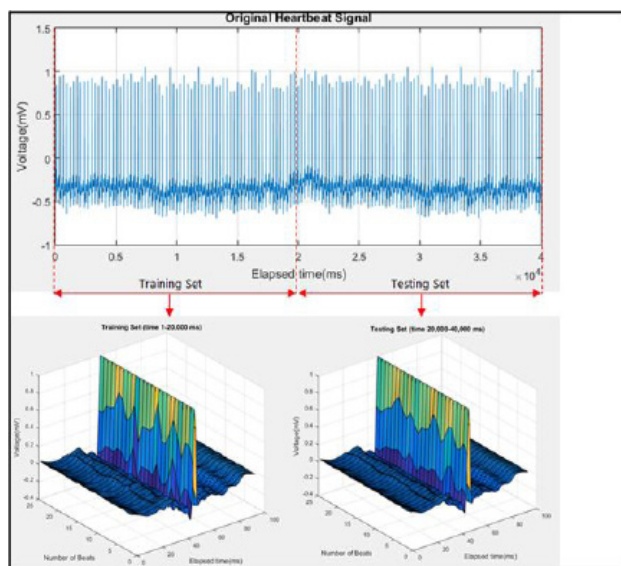
จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าหลังจากข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจได้ผ่านกระบวนการสกัดคุณลักษณะเด่นแล้วจะค่า R-Peak สูงสุดอยู่ที่ 1 mV และค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่เท่ากัน ลักษณะความถี่เดียวกัน

3.3 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

3.3.1 การออกแบบเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการเรียนรู้สัญญาณการเต้นของหัวใจ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward Back-Propagation โดยแบ่งข้อมูลสำหรับจัดทำชุดฝึกสอน (Training Set) และชุดทดสอบ (Testing Set) ดังภาพที่ 8 ขอบเขตของช่วงเวลา 0-15 นาทีแรก เป็นช่วงเวลาสำหรับผ่านกระบวนการหาคาบสัญญาณของชุดฝึกสอน และช่วงเวลาตั้งแต่ 15-30 นาที จะเป็นช่วงเวลาสำหรับผ่านกระบวนการหาคาบสัญญาณของชุดทดสอบความแม่นยำ สำหรับคาบสัญญาณที่นำมาใช้ทดลองนั้น จะมาจากการหา 1 คาบสัญญาณ ด้วยการสุ่มสัญญาณชุดละ 20 คาบสัญญาณและกำหนดค่าตัวแปรดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดตัวแปรของโครงข่ายประสาทเทียม

ตัวแปร	ค่าที่ใช้
Network Type	Feed-Forward Back Prop
Training Function	Train Scale Conjugate Gradient
Transfer Functions	Tansig
Performance Functions	Mean Square Error: MSE
Epochs	1,000
Hidden nodes	2 nodes



ภาพที่ 8 การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับจัดทำชุดฝึกสอนและชุดทดสอบ

3.3.2 การทดลองหาจำนวนโนนคของนิวรอล การทดลองหาจำนวนโนนคของนิวรอล เพื่อทำการทดสอบ

หาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากจำนวนนิวรอลที่ระดับแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนและชุดทดสอบ โดยจะทดลองที่จำนวนโนนคของนิวรอลค่าต่าง ๆ ได้แก่ 20, 50, 100, 150, 200 และ 250 และหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยหรือค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนได้ด้วยสมการ (1) และสมการ (2)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (Y_{d,k(p)} - Y_{k(p)})^2 \quad (1)$$

$$SSE = \sum_{k=1}^N (Y_{d,k(p)} - Y_{k(p)})^2 \quad (2)$$

โดย N คือ จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

p คือ ชุดข้อมูล (Pattern)

k คือ จำนวนโนนค

$Y_{d,k(p)}$ คือ ค่าเอาต์พุตเป้าหมายที่ต้องการ

$Y_{k(p)}$ คือ ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

โดยวัดประสิทธิภาพค่าความถูกต้องได้ด้วยสมการ (3)

$$\text{ค่าความถูกต้อง (\%)} = \frac{\text{จำนวนข้อมูลที่ทำนายถูก}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}} * 100 \quad (3)$$

4. ผลการดำเนินงาน

ผลการออกแบบและพัฒนาแนวทางการใช้สัญญาณการเต้นของหัวใจสำหรับงานทางด้านไบโอเมตริกผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 ข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจ

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ที่เกิดจากการออกแบบกระบวนการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้สัญญาณการเต้นของหัวใจแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือสัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH ทั้งสิ้น 10 สัญญาณ ในตำแหน่ง Lead II ประกอบไปด้วย Record100, Record101, Record103, Record113, Record116, Record117, Record123, Record202, Record205 และ Record209 แต่ละ Record จะมีความยาว 30 นาที และสัญญาณที่ได้จากการบันทึกก็จริงด้วยเครื่อง Neulog Ecg Nul-218 usb จากกลุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็นเพศชาย 10 คน และเพศหญิง 10 คน อยู่ในช่วงอายุ 18-35 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอายุอยู่ระหว่าง 24.8 ปี ในตำแหน่ง Lead I

4.2 ผลการหาตำแหน่งของเส้นอ้างอิง

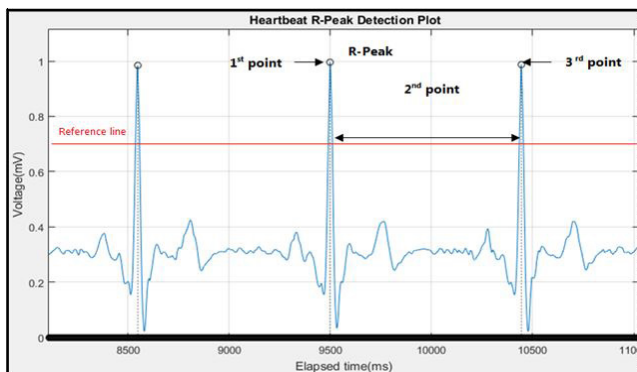
ค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิงที่ 0.7 ดังภาพที่ 9 นั้น ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่สูงที่สุดกับทั้งสองชุดข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจ โดยสัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นใหม่จากกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยของความถูกต้องที่ 96.97% ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองกับชุดข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูล MIT-BIH โดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องที่ 93.35% ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการหาค่าเฉลี่ยความถูกต้องตำแหน่งของเส้นอ้างอิงที่แตกต่างกัน

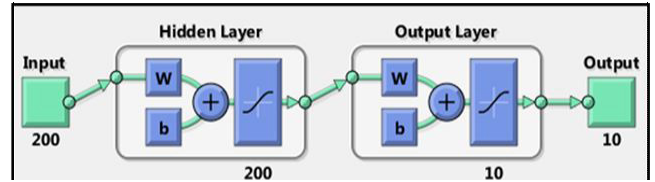
ค่าตำแหน่งเส้นอ้างอิง	ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง	
	สัญญาณจากกลุ่มตัวอย่าง (20 คน)	สัญญาณจากฐานข้อมูล MIT-BIH
เส้นอ้างอิง = 0.6	90.97%	74.80%
เส้นอ้างอิง = 0.7	96.97%	93.35%
เส้นอ้างอิง = 0.8	93.73%	84.06%
เส้นอ้างอิง = 0.9	92.15%	78.20%

4.3 ผลการทดลองหาจำนวนโหนดของนิวรอล

การทดสอบข้อมูลด้วยวิธีการปรับน้ำหนักแบบ Scaled Conjugate Gradient แสดงค่าการฝึกสอนทุก 50 รอบ จำนวนรอบการฝึกสอนมากกว่า 1,000 รอบ โดยจะทดลองที่จำนวนโหนดของนิวรอลที่ค่าต่าง ๆ ได้แก่ 20, 50, 100, 150, 200 และ 250 นิวรอล ผลการวิจัยพบว่าที่จำนวนโหนดของนิวรอลที่ 200 โหนดนั้นให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงที่สุดกับทั้งสองชุดข้อมูล ดังตารางที่ 4 โดยผลจากการทดลองหาค่าจำนวนโหนดของนิวรอลนี้จะใช้เพื่อหาค่าเฉลี่ยความถูกต้องโดยผู้วิจัยทำการทดสอบทั้งหมดจำนวน 4 ครั้ง ดังตารางที่ 5 ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ FeedForward Back-Propagation ดังภาพที่ 10 แล้วนำค่าที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยความถูกต้อง ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6



ภาพที่ 9 การตำแหน่งสัญญาณที่ค่า 0.7 ที่ถูกตรวจจับ



ภาพที่ 10 จำนวนโหนดของนิวรอลที่ 200 โหนด

ตารางที่ 4 สรุปผลการปรับเพิ่มลดจำนวนโหนดของนิวรอล

ชุดข้อมูล	จำนวนโหนดของนิวรอล	ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง(%)	
		สัญญาณจากฐานข้อมูล MIT-BIH	สัญญาณจากกลุ่มตัวอย่าง (20 คน)
ชุดฝึกสอน	20	60.30	57.82
	50	65.66	66.02
	100	97.26	94.11
	150	96.94	95.41
	200	98.22	96.59
	250	91.10	94.50
ชุดทดสอบ	20	55.61	51.44
	50	61.05	63.45
	100	90.79	91.04
	150	91.88	90.06
	200	95.04	93.39
	250	87.54	83.33

ตารางที่ 5 สรุปผลค่าความถูกต้องเฉลี่ยที่จำนวนโหนดของนิวรอล เท่ากับ 200 โหนด ของกลุ่มข้อมูล MIT-BIH (10 Record)

สัญญาณจากฐานข้อมูล MIT-BIH	จำนวนครั้ง				ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	
Record 100	95.28	93.59	93.90	94.32	94.27
Record 101	94.24	93.48	94.83	93.92	94.12
Record 103	97.42	97.83	96.83	97.53	97.40
Record 113	98.35	98.35	97.52	98.22	98.11
Record 116	98.86	98.84	98.42	99.01	98.78
Record 117	97.26	97.73	98.51	98.25	97.94
Record 123	99.12	99.15	99.20	99.01	99.12
Record 202	98.73	98.42	98.53	98.23	98.48
Record 205	93.11	93.31	93.24	94.02	93.42
Record 209	95.72	95.35	94.25	95.24	95.14
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด (10 Record)					96.68

ตารางที่ 6 สรุปผลค่าความถูกต้องเฉลี่ยที่จำนวนโหนดของนิรลอล เท่ากับ 200 โหนด ของกลุ่มข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง (20 คน)

สัญญาณจากกลุ่มตัวอย่าง (20 คน)	จำนวนครั้ง				ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	
Person 1	93.04	93.63	94.73	92.35	93.44
Person 2	94.99	95.35	95.76	95.82	95.48
Person 3	95.94	95.79	95.44	95.85	95.76
Person 4	95.02	94.35	94.32	94.24	94.48
Person 5	97.94	98.33	98.62	98.43	98.33
Person 6	98.17	98.54	97.62	98.86	98.30
Person 7	94.50	95.08	95.50	94.75	94.96
Person 8	95.02	95.89	96.04	95.64	95.65
Person 9	94.65	95.08	94.59	94.57	94.72
Person 10	95.79	95.72	95.6	94.64	95.44
Person 11	95.85	96.03	96.54	95.63	96.01
Person 12	96.37	96.35	95.46	95.92	96.03
Person 13	90.02	90.83	91.01	91.14	90.75
Person 14	89.89	89.03	88.83	89.13	89.22
Person 15	96.03	96.38	97.02	96.63	96.52
Person 16	98.9	98.73	98.35	98.94	98.73
Person 17	97.02	96.83	96.53	96.03	96.60
Person 18	95.67	95.9	96.02	95.73	95.83
Person 19	96.5	97.03	97.94	96.53	97.00
Person 20	92.04	93.33	92.01	92.91	92.57
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด (20 คน)					95.29

5. สรุป

การวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเสนอการนำเอาสัญญาณการเต้นหัวใจมาทำการปรับค่าคลื่นสัญญาณการเต้นของหัวใจโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเป็นพัฒนาแนวทางในการใช้สัญญาณการเต้นของหัวใจสำหรับงานทางด้านไบโอเมตริกซ์ได้นำเสนอถึงความสามารถของการนำเอาสัญญาณการเต้นของหัวใจมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตนโดยสัญญาณการเต้นหัวใจที่นำมาใช้ในการวิจัยซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนที่หนึ่ง ได้แก่ สัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH ใน Lead II และมีลักษณะคลื่นหัวใจตั้งโดยสัญญาณการเต้นของหัวใจที่นำมาใช้ประกอบไปด้วย Record100, Record101, Record103, Record113, Record116, Record117, Record123, Record202, Record205 และ Record209 รวมทั้งสิ้น 10 สัญญาณ และส่วนที่สอง ได้แก่ สัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่จากกลุ่มตัวอย่าง ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ

การเต้นของหัวใจ Neulog Ecg Nul-218 และ Neulog USB Module แบ่งเป็นชาย 10 คน หญิง 10 คน อยู่ในช่วงอายุ 18-35 ปี มีค่าเฉลี่ยอายุอยู่ระหว่าง 24.8 ปี มีสภาวะปกติคือมีอัตราการเต้นของหัวใจปกติที่อยู่ในช่วง 60-100 ครั้งต่อนาที และไม่อยู่สภาวะเหนื่อยโดยหนีบสายบันทึกสัญญาณในรูปแบบ Bipolar Limb Lead ในตำแหน่ง Lead I รวมทั้งสิ้น 20 สัญญาณ ในขั้นตอนของการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณการเต้นของหัวใจจะมีกระบวนการการกำจัดสัญญาณรบกวนปะปนมากับสัญญาณ ด้วยการกรองความถี่ด้วยตัวกรองความถี่แบบพาสเตอร์เวิร์ธ และทำการปรับขนาดของสัญญาณให้มีขนาดสูงสุดเท่ากับ 1 mV ทำการเก็บค่าสัญญาณการเต้นของหัวใจ 1 คาบสัญญาณผู้วิจัยได้ทดลองด้วยการแบ่งคาบสัญญาณที่ค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิงในตำแหน่งที่แตกต่างกันได้แก่ 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 เพื่อหาค่าตำแหน่งที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจในแต่ละชุดข้อมูล ทำการปรับอัตราการเต้นของหัวใจให้เป็นมาตรฐานของทุก ๆ สัญญาณโดยใช้การแปลงฟูเรียร์ และทำการสังเคราะห์สัญญาณการสกัดคุณลักษณะเด่นของสัญญาณ โดยการแปลงเวฟเลตแบบดีสครีท ประสิทธิภาพของค่าความถูกต้องที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่ค่าจำนวนโหนดของนิรลอลที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความถูกต้องดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทดลองเพื่อหาจำนวนโหนดของนิรลอลที่ส่งผลในระดับที่ยอมรับได้ โดยทดลองที่จำนวนโหนดของนิรลอลที่ค่าต่าง ๆ ได้แก่ 20, 50, 100, 150, 200 และ 250 สำหรับผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามกลุ่มสัญญาณที่นำมาใช้ในการวิจัยดังนี้

1) สัญญาณที่นำมาจากฐานข้อมูล MIT-BIH ค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิง 0.7 นั้นให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดกับชุดข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูล MIT-BIH โดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 93.35% ในการทดสอบกลุ่มข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจที่จำนวนโหนดของนิรลอลที่ 200 โหนดนั้นให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 96.68%

2) สัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่ ค่าตำแหน่งของเส้นอ้างอิงที่ 0.7 นั้นให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่สูงที่สุดกับชุดข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจที่ทำการเก็บขึ้นมาใหม่จากกลุ่มตัวอย่างโดยมีค่าเฉลี่ยของความถูกต้องที่ 96.97% ในการทดสอบกลุ่มข้อมูลสัญญาณการเต้นของหัวใจที่จำนวนโหนดของนิรลอลที่ 200 โหนด

นั้นให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 95.29% ซึ่งผลจากการทดลองนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ นที เลขะวิทิตเลิศ [10] การแยกลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ สำหรับใช้ระบุบุคคล โดยการนำเอาค่าที่มีความแตกต่างกันที่เกิดจากกระบวนการหาค่าประมาณสเปกตรัม 2 ประเภท คือ กระบวนการออโตคอสไลน์และการแปลงทางโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (Autocorrelation and Discrete Cosine Transform: AC/DCT) และกระบวนการหาค่าประมาณสเปกตรัมกำลัง (Power Spectral ESTimation: PSEs) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดการดัดแปลงและประยุกต์ใช้เพื่อหาลักษณะเด่น โดยลักษณะเด่นที่ได้จะถูกนำมาใช้สำหรับการทดลองด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม และจากการวิจัยพบว่าทำการวิเคราะห์สัญญาณการเต้นของหัวใจใน Lead II โดยหาค่าของเส้นตำแหน่งอ้างอิงที่ 0.7 ร่วมกับการเก็บค่าตำแหน่งของช่วงระยะ R-R Interval ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยมากกว่าการวิเคราะห์ใน Lead I ซึ่งงานวิจัยของ Palaniappan et al. [11] ได้ทำการแยกรูปแบบของกลุ่มที่ทำการตัดแยกกลุ่มที่มีความเกี่ยวข้องของคลื่นต่าง ๆ เช่น ช่วงระยะ R-R Interval, R-pack และ QRS compact เป็นต้น รวมถึงมีการนำรูปแบบการตัดสินใจแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward Back-Propagation ให้ค่าความถูกต้องที่น้อยกว่าการหาค่าตำแหน่งเส้นอ้างอิงร่วมด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chamnongthai, K. *Security and security of network and computer systems*. Bangkok: Publisher Sukhothai Thammathirat Open University, 2550.
- [2] Phaengchan, C. *Master in Security 2 nd Edition*. Nonthaburi: IDC, 2553.
- [3] Jain, K., Flynn, P. and Ross, A. "Introduction to Biometrics." *Handbook of Biometric Springer*. pp. 1-21, July, 2007.
- [4] Gaw, S. and Felten, E.W. "Password Management Strategies for Online Accounts." *Symposium On Usable Privacy and Security (SOUPS)*. pp. 44-55, July, 2006.
- [5] Udomsukprasert, K. *A study of password setting behavior of working internet users in Thailand*. Special problems Master of Science Information Technology College King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2555.
- [6] Safie, S.I., Soragham, J.J. and Petropoullakis, L. "ECG Biometric Authentication using Pulse Active Width (PAW)." *IEEE Biometric Measurements and Systems for Security and Medical Applications (BIOMS)*. pp. 1-6, 2011.
- [7] Matsumoto, T. et al. "Impact of artificial 'gummy' fingers on fingerprint systems." *ITU-T Workshop on Security*. pp. 1-33, January, 2002.
- [8] Rostami, M. et al. "Heart-to-Heart (H2H): Authentication for Implanted Medical Devices." *CCS'13 Proceeding of the 2013 ACM SIGSAC conference on Computer & communications security*. pp. 1099-1112, 2013.
- [9] Fatemaian, Z.S. et al. "HeartID: Cardiac Biometric Recognition." *Biometrics: Theory Applications and Systems (BTAS), 2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics Compendium*. pp. 1-5, 2010.
- [10] Lekhawijitlert, N. *ECG features extraction for human identification*. (Master of Engineering Thesis), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 2553.
- [11] R. Palaniappan and S. Krishnan, "Identifying individuals using ECG beats," *Signal Processing and Communications, 2004. SPCOM'04. 2004 International Conference On*, pp. 569-572, 11-14 Dec 2004.