การวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและคลื่นเสียงหัวใจโดยใช้การประมวลผลบน LabView

Electrocardiogram and Phonocardiogram Measurement Based on LabView Processing

วสุ พันไพศาล [1] , ธีติมา ตรีพยัคม์[2], จีรสุดา โกษียาภรณ์[2] , ปราโมทย์ วาดเขียน[2] , ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ[3], อัษฎา ตียพันธ์[4], ศุภวรรณ ตียพันธ์[5]

Wasu Phanphaisarn [1] , Threetima Treepayak[2], Jeerasuda Koseeyaporn[2] , Paramote Wardkein [2], Narongrit Maneejiraprakarn[3], Assada Teeyaphan[4] , Supawan Teeyaphan[5]

บทคัดย่อ

ในบทความนี้เสนอการสร้างเครื่องมือวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ โดยอาศัยการมัลติเพลกซ์สัญญาณแบบ FDM (Frequency Division Multiplex)แล้วทำการส่งสัญญาณเข้าประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยผ่านโมดูล NI USB-6009 ของโปรแกรม LabView ในการแสดงผลสัญญาณ ผลของสัญญาณที่วัดได้จะถูกวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Matlab นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการวิเคราะห์การทำงานของหัวใจเสมือนเป็นระบบทางไฟฟ้าที่มี สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นอินพุตและสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจเป็นเอาท์พุตตามลำดับ เพื่อทำการหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบดังกล่าว ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบที่ได้จะถูกนำไปทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของแอลพีซี (Linear Predictive coding(LPC)) โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะถูกนำไปให้ Neural Network ทำการฝึกฝนและตัดสินว่าหัวใจทำงานผิดปกติหรือไม่ ซึ่งผลของความผิดพลาดในการตรวจสอบความผิดปกติ และปกติของหัวใจด้วยระบบที่นำเสนอพบว่ามีค่าเท่ากับ 7% และ 10% ตามลำดับ จากการทดลองทั้งหมด 25 ตัวอย่าง

คำสำคัญ : สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ , สัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ , มัลติเพลกซ์ , มอดูเลต,แอลพีซี

ABSTRACT

In this paper, measurement system of electrocardiogram(ECG) and phonocardiogram(PCG) is implemented by using the FDM (Frequency Division Multiplex) signal of ECG and PCG which is fed to the computer via NI USB-6009 module. The Labview program is employed to display the measured signal whereas the Matlab program is used to analysis the results. In addition, human heart which is modeled as a system whose input and output signals are ECG and PCG, respectively is analyzed to determine the impulse response ($h(n)$). After that , the system impulse response ($h(n)$) is feature extraction by using Linear Predictive coding(LPC). The LPC coefficients is then fed as the input of neural network to make a decision whether or not heart's patient is normal. The proposed method provides satisfying results where negative and positive false rates approximately are 7% and 10% based on 25 case.

Key Words: ECG , PCG , Multiplex , Modulation, LPC

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Department of Telecommunication, Faculty of Engineer, Mahanakorn University of Technology

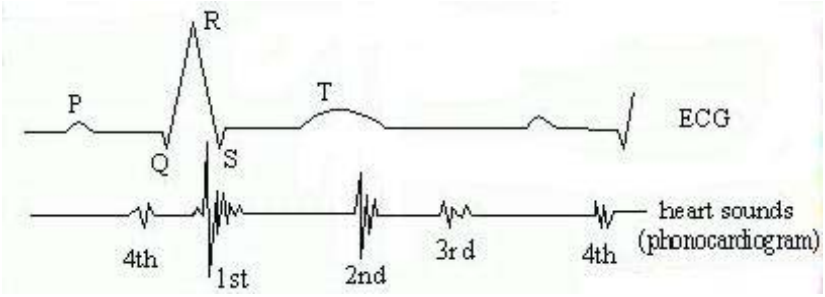
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Department of Telecommunication, Faculty of Engineer, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

[3]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University
[4]โรงพยาบาลชลบุรี จ.ชลบุรี
[5]วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จ.ชลบุรี

1. คำนำ

ในปัจจุบันการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจ มักนิยมใช้การวิเคราะห์จากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 1 [6]



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ กับสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจมาตรฐาน

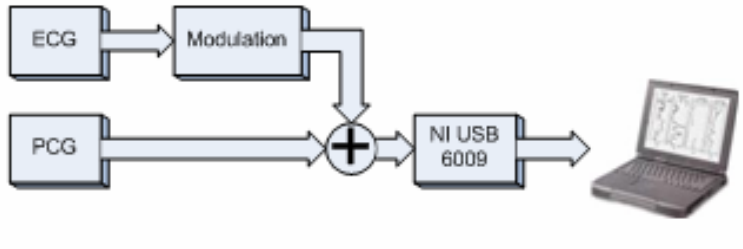
เพราะฉะนั้นการสร้างเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ จึงถือได้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องมือวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเครื่องมือส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องมือที่มีการวัดค่าสัญญาณแล้วแสดงผลสัญญาณผ่านทางเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการติดต่อกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อทำการแสดงผลค่าของสัญญาณนั้นก็มีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่นการติดต่อผ่านทาง Printer Port, Serial Port, USB Port เป็นต้น สำหรับในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และแสดงผลนั้น ก็มีอยู่ด้วยกันหลากหลายโปรแกรม เช่น โปรแกรม Virtual Basic, LabViewเป็นต้น

จากการศึกษาพบว่าโปรแกรม LabView เป็นอีกโปรแกรมหนึ่งที่เริ่มมีการนำมาใช้ในการวิเคราะห์และแสดงผลค่าของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าโปรแกรม LabView เป็นโปรแกรมที่มี Front Panel ที่ใช้สำหรับการออกแบบมากมาย และง่ายต่อการทำไปใช้งาน อีกทั้งยังมีฟังก์ชั่นที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ จึงได้มีงานวิจัยที่นำโปรแกรม LabView มาใช้ในการประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ เช่น Brad Grinsted [2] , Zhenyu Guo [3] Andre E.Aubert [4] เป็นต้น ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการติดต่อกับโปรแกรม LabView โดยผ่านทาง DAQ board NI PCI ซึ่งจะเหมาะกับการนำไปใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เท่านั้น แต่จะไม่สามารถนำไปใช้กับ Laptop Computer ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความยุ่งยากต่อการใช้งานในการที่จะเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไปใช้ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ตามสถานที่ต่างๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ นั้นส่วนใหญ่จะสามารถทำการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจได้พียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้

ดังนั้นในบทความนี้จึงเสนอการสร้างเครื่องมือวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ที่สามารถแสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจได้พร้อมกัน โดยอาศัยการมัลติเพลกซ์สัญญาณเข้าทาง NI USB-6009 ซึ่งจะสามารถติดต่อกับ Laptop Computer ได้โดยผ่านทาง USB Port ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และง่ายต่อการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ และในการที่ทำการมัลติเพลกซ์สัญญาณเข้าด้วยกันยังสามารถช่วยลดจำนวนการใช้ช่องสัญญาณบน NI USB-6009 ซึ่งจะสามารถนำช่องสัญญาณที่เหลือไปใช้รับสัญญาณอื่นๆได้ และโดยใช้โปรแกรม LabView ในการแสดงผลสัญญาณ และโปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์ผล และได้นำเสนอการนำกรอบสัญญาณของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของหัวใจ ซึ่งจะเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากเสียงการหายใจ หรือเสียงจากอวัยวะส่วนต่างๆของร่างกายได้ [5] นอกจากนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การทำงานของหัวใจโดยอาศัย สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจเปรียบเหมือนกับเป็นอินพุตของระบบและให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ โดยที่เปรียบการทำงานของหัวใจเสมือนเป็นระบบๆหนึ่ง และทำการหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ[1] และนำค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบไปทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของ Linear Predictive coding(LPC) เพื่อแยกลักษณะเด่นของระบบออกมา และนำค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวไปเป็นอินพุตของ Neural Network เพื่อทำการฝึกฝนและตัดสินว่าหัวใจทำงานผิดปกติหรือไม่ต่อไป

2. หลักการทำงาน

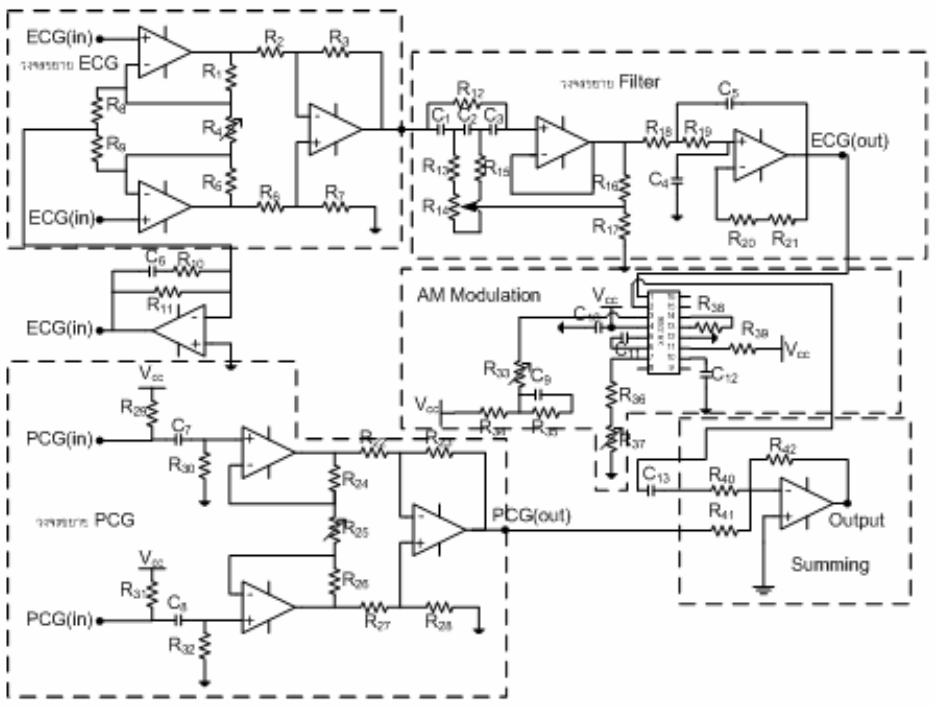
สำหรับหลักการทำงานของเครื่องมือวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ที่ได้นำเสนอในที่นี้ สามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานได้ดังรูปที่ 2 โดยแบ่งเป็นส่วนหลักๆ 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์



รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของฮาร์ดแวร์

2.1 ในส่วนของฮาร์ดแวร์

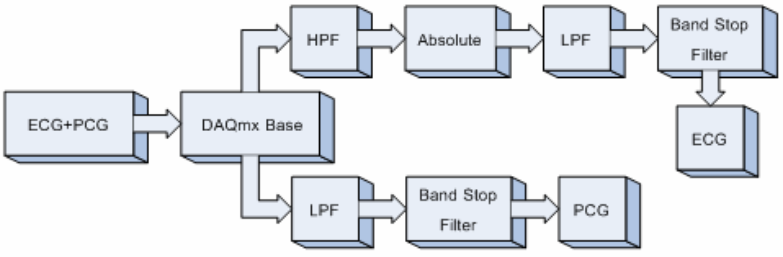
จากรูปที่ 3 ประกอบไปด้วยการนำอิเล็คโตรดซึ่งเป็นตัวตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ส่งผ่านไปยังวงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนเตชั่น เข้าสู่วงจรกำจัดสัญญาณ 50 Hz และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 200 Hz และใช้สเตจโตสโคปที่ได้นำคอนเดนเซอร์ไมค์มาติดที่หูฟังเป็นตัวรับเสียงการเต้นของหัวใจที่ตำแหน่งหูฟังทั้งสองข้าง นำสัญญาณผ่านเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนเตชั่น สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจซึ่งมีความถี่อยู่ที่ประมาณ 0.5-200 Hz จะถูกทำการมอดูเลตทางขนาดด้วยความถี่คลื่นพาห์ 1 kHz ซึ่งจะเป็นการเลื่อนความถี่สเปกตรัมของคลื่นไฟฟ้าหัวใจให้สูงขึ้น เพื่อให้มีความถี่ที่แยกออกจากความถี่ของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจซึ่งมีความถี่อยู่ที่ประมาณ 20-400 Hz จากนั้นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูก มอดูเลตทางขนาดจะถูกนำไปรวมกับสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ซึ่งนำไปเป็นอินพุตให้กับ NI USB-6009 ต่อไป



รูปที่ 3 วงจรเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ

2.2 ในส่วนของซอฟต์แวร์

สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกมอดูเลตทางขนาดที่รวมมากับสัญญาณคลื่นเสียงการหัวใจ จะถูกนำมาเข้าฟังก์ชั่น DAQmx Base ในโปรแกรม LabView เพื่อทำการรับค่าสัญญาณจาก NI USB-6009 หลังจากนั้นสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกมอดูเลตทางขนาดที่รวมมากับสัญญาณคลื่นเสียงการหัวใจ จะถูกนำมาผ่าน LPF และ HPF แบบ Butterworth ในโปรแกรม LabView เพื่อกรองแยกส่วนเอาสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ และคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกมอดูเลตทางขนาด ออกมาตามลำดับ คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกมอดูเลตทางขนาด จะถูกนำมาดีมอดูเลตแบบเอนเวลโลปดีเทกต์เตอร์โดยนำไปผ่านวงจรหาค่าสัมบูรณ์ และนำไปผ่าน LPF เพื่อแยกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และนำไปผ่าน IIR Bandstop Filter เพื่อทำการกำจัดสัญญาณรบกวน 50 Hz ออกจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม LabView ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของซอฟต์แวร์

2.3 การประมวลผลสัญญาณ

เมื่อทำการตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจเรียบร้อยแล้ว เราสามารถทำการแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจให้อยู่ในรูปโดเมนของความถี่ โดยอาศัยสมการ Discrete Fourier Transform ในสมการที่ (1)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \exp(^{-j2\pi kn}/_{N}) \quad (1)$$

จากทฤษฎีคอนโวลูชันของระบบเชิงเส้น และไม่แปรตามเวลา ในสมการที่ (2) เราสามารถหาความสัมพันธ์ของระบบดังนี้

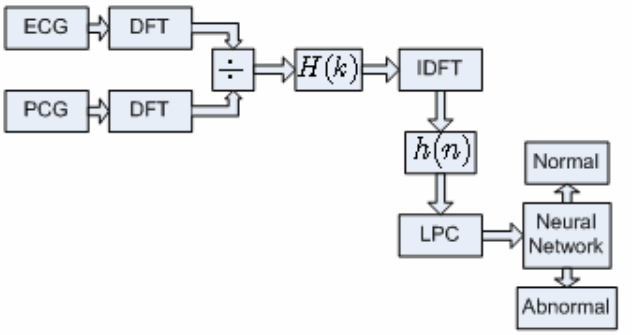
$$y(n) = x(n) * h(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)h(n-m) \quad (2)$$

เพราะฉะนั้นค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ หรือ ผลตอบสนองความถี่ของระบบจึงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$H(k) = \frac{Y(k)}{X(k)} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) จะพบว่าค่า $H(k)$ จะเป็นค่าของผลตอบสนองในโดเมนความถี่ของระบบ และถ้าเราทำการแปลง Invert Discrete Fourier Transform เราก็จะได้ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ

สำหรับระบบการตรวจสอบการทำงานของหัวใจที่ได้นำเสนอในที่นี้สามารถแสดงแผนภูมิการทำงานได้ดังในรูปที่ 5



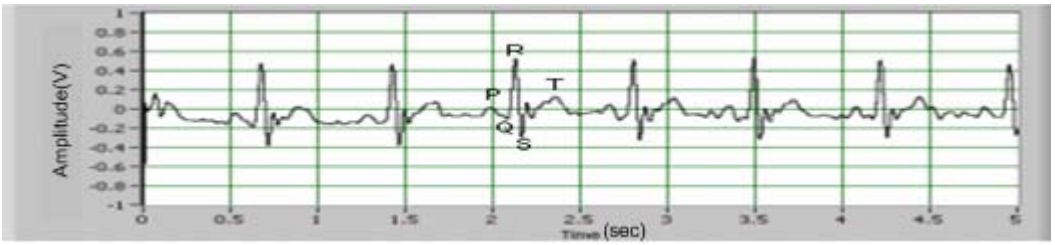
รูปที่ 5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการตรวจสอบการทำงานของหัวใจ

จากรูปที่ 5 จะพบว่าเมื่อทำการตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ผ่านเข้าทาง USB port จากนั้นนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ จากนั้นทำการนอร์มอลไลส์ขนาดของสัญญาณ และทำการหาค่า $H(k)$ โดยการนำสัญญาณ DFT ของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจตั้งและหารด้วย DFT ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะพบว่าเมื่อนำค่า $H(k)$ ไปทำการคำนวณ IDFT จะทำให้ได้ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ($h(n)$) นำค่า $h(n)$ ดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของ Linear Predictive coding(LPC) และนำค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวไปเป็นอินพุตของ Neural Network แบบ single perceptron learning rule เพื่อทำการฝึกฝนและตัดสินว่าหัวใจทำงานผิดปกติหรือไม่

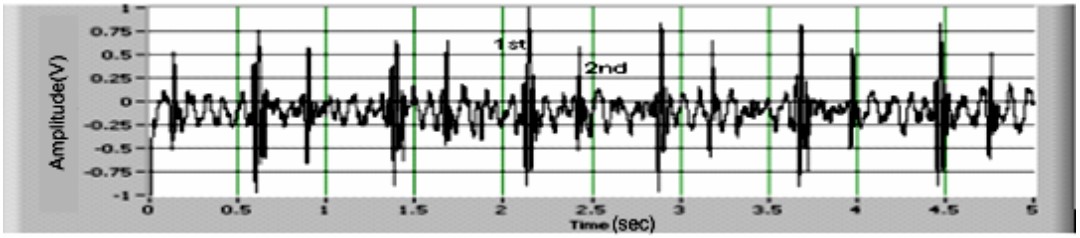
3. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 6,7 และ 8 เป็นการแสดงลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ และกรอบสัญญาณของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ที่ได้จากการทดลองตามลำดับ โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ มีองค์ประกอบของสัญญาณเหมือนกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะประกอบไป

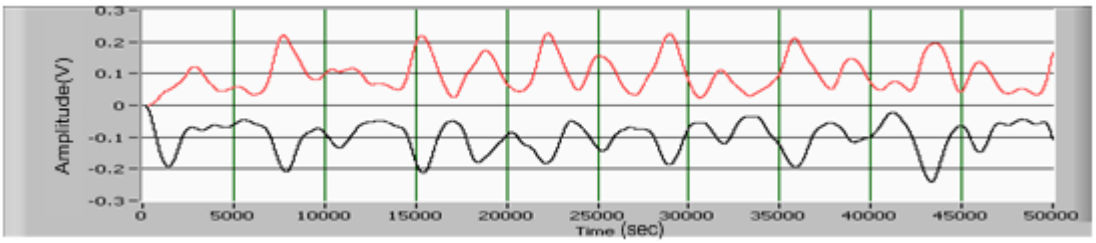
ด้วยช่วงสัญญาณ P wave, Q wave, QRS complex, T wave, และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจจะประกอบไปด้วยช่วงสัญญาณ เสียงที่ 1 และเสียงที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 6 แสดงลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

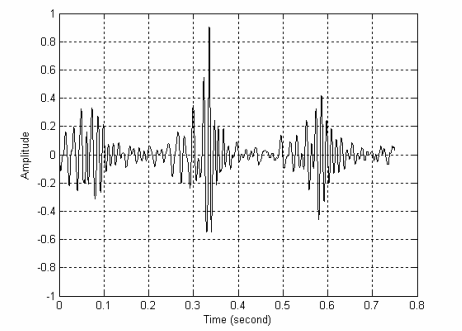


รูปที่ 7 แสดงลักษณะของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ

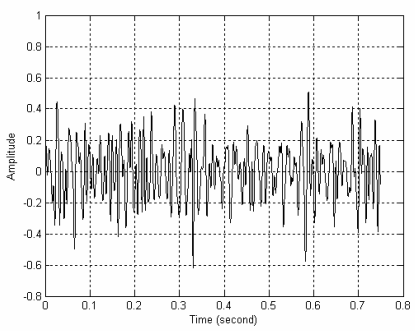


รูปที่ 8 กรอบสัญญาณของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ

จากรูปที่ 9 และ 10 เป็นการแสดงค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ ในภาวะของการทำงานหัวใจที่ปกติ และผิดปกติตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะรูปร่างของสัญญาณทั้งสองมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้นต่อไป โดยในงานวิจัยนี้เป็นการประเมินความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้นเท่านั้น หลังจากนั้นจึงนำผู้ป่วยไปให้แพทย์ทำการวินิจฉัยว่าการทำงานที่ผิดปกติของหัวใจนั้น เกิดจากสาเหตุด้วยการทำงานที่ผิดปกติของหัวใจแบบใด

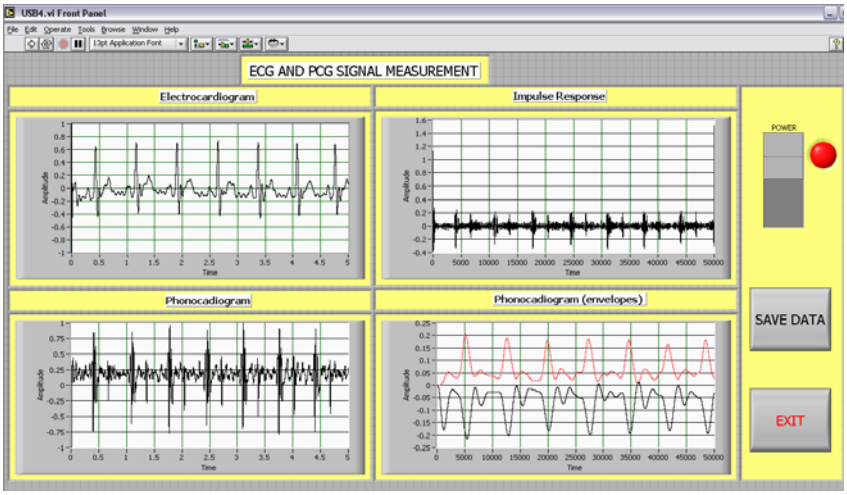


รูปที่ 9 แสดงค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบในภาวะของการทำงานหัวใจที่ปกติ



รูปที่ 10 แสดงค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบในภาวะของการทำงานหัวใจที่ผิดปกติ

จากรูปที่ 11 เป็นการแสดงผลของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจพร้อมกัน บนโปรแกรม LabView ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ กับสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจเป็นไปตามมาตรฐานที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 โดยสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจเสียงที่ 1 จะเกิดขึ้นหลังจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าในช่วง QRS complex สิ้นสุดลง และ สัญญาณคลื่นเสียงหัวใจเสียงที่ 2 จะเกิดขึ้นหลังจากสัญญาณคลื่นไฟฟ้าในช่วง T wave สิ้นสุดลง



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
กับสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ บนโปรแกรม LabView

ตารางที่ 1 ผลของ Neural network จากค่า ค่าสัมประสิทธิ์ของ Linear Predictive coding(LPC)
FR : False Rate

Class of Classes		Predicted Results		
		Normal	Abnormal	FR(%)
Training				
Normal	5	5	0	0
Abnormal	5	0	5	0
Total	10	5	5	0
Test				
Normal	10	9	1	10
Abnormal	15	1	14	7
Total	25	10	15	8

4. สรุปผล

ในการสร้างเครื่องมือวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจสามารถแสดงผลของสัญญาณได้พร้อมกัน บนโปรแกรม LabView ซึ่งแสดงผลของสัญญาณที่ได้ ดังรูปที่ 11 และลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ มีองค์ประกอบของสัญญาณครบถ้วน ดังแสดงได้ในรูปที่ 7 และ 8 นอกจากนั้นในการนำเครื่องวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ติดต่อกับ Laptop Computer โดยผ่านทาง USB Port จะทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน และง่ายต่อการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไปใช้ ตามสถานที่ต่างๆ ได้สะดวกขึ้น และการนำสัญญาณ envelopes ของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของหัวใจ ยังเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากเสียงการหายใจ หรือเสียงจากอวัยวะส่วนต่างๆของร่างกายได้ นอกจากนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์การทำงานของหัวใจโดยอาศัย การหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ และนำค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบไปทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของ Linear Predictive coding(LPC) และนำค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวไปเป็นอินพุตของ Neural Network เพื่อทำการฝึกฝนและตัดสินว่าหัวใจทำงานผิดปกติหรือไม่ ซึ่งผลของความผิดพลาดในการตรวจสอบความผิดปกติ และปกติมีค่าเท่ากับ 6% และ 10% ตามลำดับ จากการทดลองทั้งหมด 25 ตัวอย่าง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัท National Instruments (Thailand) Co., Ltd.ที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] วสุ พันไพศาล, ไกรลาส มาตรมูล, ธงชัย มณีชูเกตุ, ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ, ปราโมทย์ วาดเขียน, “เครื่องมือตรวจจับความผิดปกติการทำงานของหัวใจเบื้องต้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสัญญาณคลื่นเสียงเชิงกลจากการทำงานของหัวใจ”, EECON-27, Nov. 2004,หน้า 534-536

[2] Brad Grinstead, M.E.Parten, “Biomedical Signal Acquisition Using Labview”, Department of Electrical Engineering Texas Tech University

[3] Zhenyo Guo, Chris Moulder, Louis-Gilles Durand, Murray Loew, “DEVELOPMENT OF A VIRTUAL INSTRUMENT FOR DATA ACQUISITION AND ANALYSIS OF THE PHONOCARDIOGRAM”, IEEE Trans, Medicine and Biology Society, Vol.20, No 1, 1998

[4] Andre E. Aubert, Dirk Ramaekers, Frank Beckers, Rik Brecm, “The analysis of heart rate variability in unrestrained rats.Validation of method and results”, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol.60, pp.197-213, 1999

[5] Karpman L, Cage J, Hill C, Forbes AD, Karpman V, Cohn K, “Sound envelope averaging and the differential diagnosis of systolic murmurs”, American Heart Journal, pp.600-606, 1975[2]

[6] Sheila R. Messer , (2001), Signal Processing Techniques for Phonocardiogram De-noising and Analysis , Microelectronics Journal, (32), 931-941