# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ 2546
# โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 4 เรื่อง
# การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
# (A Study of ECG Signal Modeling Techniques Comparision)

1. **ผู้รับผิดชอบโครงการ** รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

2. **วัตถุประสงค์ของโครงการ**
   2.1 เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบต่าง ๆ
   2.2 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

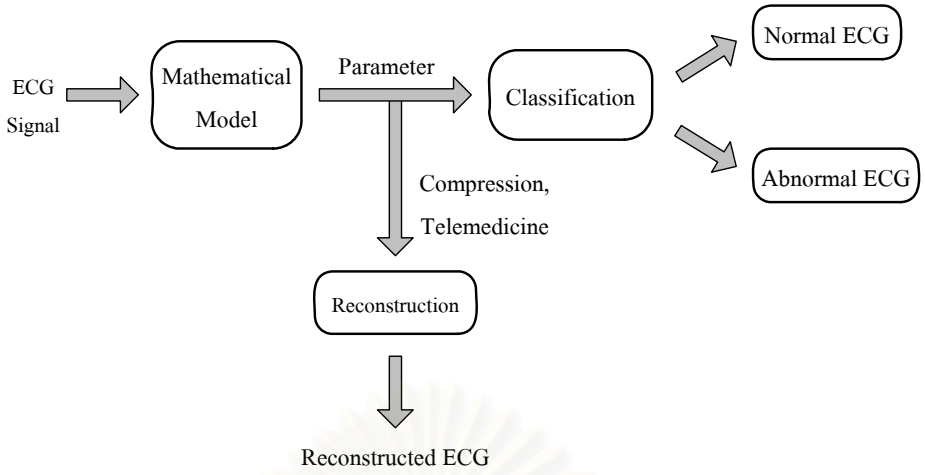
3. **ขอบเขตหรือเป้าหมายของโครงการ**

   เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสร้างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าขึ้นใหม่หัวใจระหว่างสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiquadric กับฟังก์ชันเกาส์เซียน ในด้านความสามารถของการบีบอัดข้อมูล ความถูกต้องของการสร้างคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่

4. **แนวเหตุผลและความเป็นมา**

   ปัจจุบันนี้คลื่นไฟฟ้าหัวใจมีบทบาทอย่างมากในทางการแพทย์ เนื่องจากมีประชากรที่ป่วยด้วยโรคหัวใจเป็นจำนวนมาก ถึงแม้ว่าผู้ที่ป่วยเป็นโรคหัวใจส่วนใหญ่มักมีการแสดงอาการของการเป็นโรคหัวใจที่คล้ายคลึงกัน แต่สาเหตุของการเกิดโรคหัวใจ และวิธีการรักษาของผู้ป่วยแต่ละคนอาจจะแตกต่างกันไป โดยแพทย์จะวินิจฉัยสาเหตุของการเกิดโรคหัวใจจากการตรวจร่างกายหลาย ๆ ด้าน เช่น การฟังเสียงการเต้นของหัวใจ กาตรวจเสียงสะท้อนหัวใจ (Echocardiography) การตรวจดูสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiography) และอื่น ๆ โดยที่การวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขณะทดสอบสมรรถภาพการทำงานของหัวใจด้วยการออกกำลังกาย (Exercise Stress Test) เป็นการวิเคราะห์ที่ง่ายและมีความเสี่ยงน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ การวิเคราะห์สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะแสดงให้เห็นถึงการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจในส่วนต่าง ๆ

   คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram, ECG หรือ EKG) คือ ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทำงานของหัวใจโดยการนำแผ่น electrode มาวางตามตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย หัวใจของมนุษย์ประกอบด้วยห้อง 4 ห้อง คือ หัวใจห้องขวาบน, หัวใจห้องขวาล่าง, หัวใจห้องซ้ายบน และหัวใจห้องซ้ายล่าง หัวใจแต่ละห้องมีหน้าที่ต่างกัน และการเต้นของหัวใจแต่ละครั้งหัวใจจะเกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น ซึ่งสามารถแสดงการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของหัวใจโดยอยู่ในรูปของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และโดยทั่วไปการวินิจฉัยอาการจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้นทำโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ทำการวินิจฉัยโรค ได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์หาอาการผิดปกติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจในขั้นต้น เมื่อพบอาการผิดปกติของคลื่นไฟฟ้าหัวใจแพทย์จะทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดต่อไป อุปกรณ์วิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ดังกล่าวสามารถจะตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ ได้ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการประยุกต์ใช้แบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ**

เนื่องจากมีงานวิจัยด้านการสร้างแบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อการบีบอัดข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์ในการจัดเก็บข้อมูลของคลื่นไฟฟ้าหัวใจและนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองมาวินิจฉัยเบื้องต้นได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการต่าง ๆ มีแบบจำลองหลายแบบจำลองด้วยกัน ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และนำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ ของแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่สร้างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบต่าง ๆ

ในโครงงานนี้ศึกษาและเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าระหว่างแบบจำลองฟังก์ชันเกาส์เซียน และแบบจำลอง Multiquadric ในด้านความสามารถของการบีบอัดข้อมูล ความถูกต้องของการสร้างคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่ เพื่อเป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความถูกต้องในการสร้างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่และมีความสามารถการบีบอัดข้อมูลได้ดี

## 5. การสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.1 การสร้างแบบจำลองด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน

โทมัส ชิมมิง (Thomas Schimming) ได้นำเสนอการนำฟังก์ชันเกาส์เซียนมาสร้างแบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เนื่องจากฟังก์ชันเกาส์เซียนมีรูปร่างเป็นทรงระฆังคว่ำคล้ายกับรูปร่างของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยนำฟังก์ชันเกาส์เซียน ดังสมการ (1) มาสร้างแบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจดังนี้

$$x(t) = e^{-\left(\frac{(t-t_1)}{T}\right)^2} \qquad (1)$$

แต่เนื่องจากรูปร่างของคลื่นไฟฟ้าหัวใจไม่สมมาตร จึงต้องมีฟังก์ชันมอดูเลชันคูณกับฟังก์ชันเกาส์เซียนเพื่อทำให้แบบจำลองมีรูปร่างคล้ายกับคลื่นไฟฟ้าหัวใจต้นแบบมากขึ้น ฟังก์ชันมอดูเลชันมีรูปแบบดังนี้

$$f_{mod} = cos\left(\omega\left(t - t_0\right)\right) \qquad \textbf{(2)}$$

สรุปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยฟังก์ชันเกาส์เซียนเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$x(t) = c_i e^{-\left(\frac{(t-t_i)}{T}\right)^2} \sum_{k=0}^{K} cos\left(\omega_k (t - t_k)\right) \quad (3)$$

โดย $x(t)$ คือ คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่สร้างขึ้นใหม่จากแบบจำลอง

$c_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของคลื่นแต่ละส่วน

$T$ คือ $1/2$ ของความกว้างของคลื่นแต่ละส่วน

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนนั้นต้องทำการแยกสร้างแบบคลื่นไฟฟ้าหัวใจทีละส่วน โดยแยกพิจารณาทั้งหมด 5 ส่วน คือ P, Q, R, S และ T นอกจากนั้นส่วนของเส้นฐานซึ่งต้องแยกส่วนกับคลื่นแต่ละส่วนด้วย และเมื่อได้พารามิเตอร์ของแบบจำลองของคลื่นแต่ละส่วนและเส้นฐานแล้วจึงนำแบบจำลองที่ได้ทั้งหมดมารวมกันเป็นสัญญาณเส้นเดียวกันโดยใช้ทฤษฎีการซ้อนทับ

5.2 การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiquadric

ปัจจุบันแบบจำลอง Multiquadric (MQ)เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณหาพื้นผิวและเนื้อที่ของพื้นผิวโลกสำหรับการสร้างแบบจำลองแบบ 3 มิติ และสามารถสร้างแบบจำลองแบบ 3 มิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความซับซ้อนของขั้นตอนการคำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่มากนัก ในกรณีของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณที่มีเพียง 2 มิติ ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าต้นแบบที่เป็นแบบ 3 มิติและเนื่องจากแบบจำลอง MQ ยังไม่เคยถูกนำมาประยุกต์ใช้กับคลื่นไฟฟ้าหัวใจมาก่อน ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้นำเสนอการนำแบบจำลอง MQ มาประยุกต์ใช้กับคลื่นไฟฟ้าหัวใจทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีและไม่มีความซับซ้อนในการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากแบบจำลอง MQ

การสร้างแบบจำลองจาก MQ คือ การเลือกจุดต่าง ๆ ที่เป็นจุดสำคัญ (significant point) จากต้นแบบมาจำนวนหนึ่งซึ่งข้อกำหนดและเกณฑ์การเลือกจุดสำคัญจะกล่าวต่อไปในเนื้อหาต่อจากนี้ จากนั้นทำการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ระหว่างจุดแล้วนำเส้นตรงที่ได้มารวมกันแบบอนุกรม การสร้างแบบจำลอง 2 มิติ โดยใช้แบบจำลอง MQ คือ การสร้างแบบจำลองจากการคำนวณฟังก์ชันการประมาณค่าการรวมกันแบบเชิงเส้น (linear combination) ของรากที่สองของฟังก์ชัน quadric ของส่วนย่อยของสัญญาณซึ่งส่วนย่อยดังกล่าวนั้นได้ถูกแบ่งตามตำแหน่งของจุดสำคัญที่ถูกเลือกที่ได้ โดยแต่ละส่วนของสัญญาณต้นแบบนั้นนำมารวมกันแบบอนุกรม จะได้เป็นแบบจำลองสัญญาณหนึ่งเส้น และแบบจำลองสัญญาณที่ได้จากฟังก์ชันการประมาณค่าการรวมกันแบบเชิงเส้น $H(X)$ แสดงดังสมการ (4)

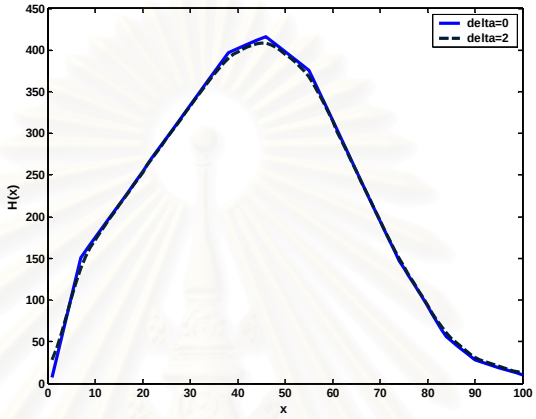
$$\begin{aligned} H(X) &= \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \left[(X - X_j)^2\right]^{1/2} \\ &= \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \left|X - X_j\right| \end{aligned} \quad (4)$$

โดย $X_j$ คือ จุดสำคัญที่ถูกเลือกจากต้นแบบโดยตำแหน่งของจุดทุกจุดของสัญญาณต้นแบบระบุตามตำแหน่งบนแกน $X$ และ $\alpha_j$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของจุด $X_j$

จากสัญญาณต้นแบบเดียวกันแบบจำลองที่ได้จากฟังก์ชันของ $H(X)$ จากสมการ (4) อาจทำให้มีลักษณะต่างกันได้ โดยการเพิ่มพารามิเตอร์เพื่อปรับค่าให้บริเวณจุดต่อของแบบจำลอง $X_j$ มีความโค้งมนมากหรือน้อยได้ ดังนี้

$$H_i = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \left[ (X_i - X_j)^2 + \Delta^2 \right]^{1/2} \quad ; \; i = 1, 2, \ldots, n \qquad (5)$$

โดย $\Delta$ คือ ค่า Arbitrary constant เพื่อปรับให้แบบจำลองของสัญญาณมีความโค้งมนใกล้เคียงกับสัญญาณต้นแบบและสวยงาม




รูปที่ 2 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองแบบ MQ โดยกำหนดให้ค่า $\Delta = 0$ และ $\Delta = 2$

การเลือกจุดสำคัญสำหรับการสร้างแบบจำลอง MQ จะเลือกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันโดยดูจากภาพรวมของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เช่น จุดที่มีการเปลี่ยนความชันที่มีค่าบวกเป็นค่าลบ เปลี่ยนความชันจากค่าลบเป็นค่าบวก โดยรายละเอียดของข้อกำหนดในการเลือกจุดสำคัญจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของสัญญาณ เช่น ระหว่างสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนมากกับสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนน้อยก็จะมีรายละเอียดของข้อกำหนดการเลือกจุดสำคัญต่างกัน เป็นต้น โดยตัวอย่างของรายละเอียดของการเลือกจุดสำคัญจุดต่าง ๆ ของสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนน้อย ดังนี้

ก. เลือกจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ข. เลือกจุดที่มีค่าสูงสุดของคลื่นไฟฟ้าหัวใจแต่ละส่วน ได้แก่ ค่าสูงสุดของคลื่น P QRS Complex และ คลื่น T ของแต่ละคาบ

ค. เลือกจุดที่มีค่าต่ำสุดของคลื่นไฟฟ้าหัวใจแต่ละส่วน ได้แก่ ค่าต่ำสุดของคลื่น P QRS Complex และ คลื่น T ของแต่ละคาบ

ง. เลือกจุดเริ่มต้นของคลื่นไฟฟ้าหัวใจสำหรับช่วงที่มีค่าความชันเป็นศูนย์เป็นช่วงยาวติดกันอย่างน้อย 5 จุดตามแนวของแกน $X$

จ. เลือกจุดเริ่มต้นของช่วงของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีการเปลี่ยนค่าความชันจากศูนย์เป็นค่าบวกหรือจากศูนย์เป็นค่าลบ โดยช่วงของค่าบวกหรือค่าลบที่ถัดจากค่าความชันเป็นศูนย์ต้องเป็นช่วงยาวติดกันอย่างน้อย 3-5 จุดตามแนวของแกน $X$

ฉ.เลือกจุดเริ่มต้นของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีการเปลี่ยนค่าความชันจากค่าบวกหรือค่าลบเป็นศูนย์ โดยมีค่าลบเป็นช่วงยาวติดกันอย่างน้อย 3-5 จุดตามแนวของแกน $X$

ช. เลือกจุดเริ่มต้นของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีการเปลี่ยนค่าความชันจากค่าบวกเป็นค่าลบ โดยมีค่าบวกหรือค่าลบเป็นช่วงยาวติดกันอย่างน้อย 3-5 จุดตามแนวของแกน $X$

ซ. เลือกจุดเริ่มต้นของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มีการเปลี่ยนค่าความชันจากค่าลบเป็นค่าบวก โดยมีค่าบวกเป็นช่วงยาวติดกันอย่างน้อย 3-5 จุดตามแนวของแกน $X$

ฌ. กรณีขนาดของค่าความชันมีค่าน้อยกว่า 20 ถ้าขนาดของค่าความชันของระหว่างจุดใด ๆ กับจุดก่อนหน้ามีค่ามากกว่า 15 และขนาดของค่าความชันของจุดนั้นกับจุดถัดไปมีค่าน้อยกว่า 10 และค่าความชันทั้ง 2 ค่า ต่างกันอย่างน้อยเท่ากับ 10 ให้เลือกจุดจุดนั้น โดยใช้ได้กับทั้งค่าความชันที่เป็นบวกและค่าความชันที่เป็นลบ

ญ. กรณีขนาดของค่าความชันมีค่าน้อยกว่า 20 ถ้าขนาดของค่าความชันของระหว่างจุดใด ๆ กับจุดก่อนหน้ามีค่าน้อยกว่า 10 และขนาดของค่าความชันของจุดนั้นกับจุดถัดไปมีค่ามากกว่า 15 และค่าความชันทั้ง 2 ค่า ต่างกันอย่างน้อยเท่ากับ 10 ให้เลือกจุดจุดนั้น โดยใช้ได้กับทั้งค่าความชันที่เป็นบวกและค่าความชันที่เป็นลบ

ฎ. กรณีขนาดของค่าความชันมีค่ามากกว่า 20 ถ้าค่าความชันมีค่าบวกต่อเนื่อง หรือค่าลบต่อเนื่อง และขนาดของค่าความชันของระหว่างจุดใด ๆ กับจุดก่อนหน้ามีค่ามากกว่า 20 และมีค่าต่างกับขนาดของค่าความชันของจุดนั้นกับจุดถัดไปมีค่ามากกว่า 40 ให้เลือกจุดจุดนั้น โดยใช้ได้กับทั้งค่าความชันที่เป็นบวกและค่าความชันที่เป็นลบ

จากวิธีการเลือกจุดสำคัญสำหรับการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ เราสามารถนำค่าแอมพลิจูดและตำแหน่งบนแกน $X$ จากจุดสำคัญที่เลือกได้มาใช้กับแบบจำลอง MQ โดยจากสมการ (4) และกำหนดให้ $Q_{ij} = \left|X - X_j\right|$ จะได้

$$\left[H_j\right] = \left[\alpha_j\right]\left[Q_{ij}\right] \tag{6}$$

โดยที่กำหนดให้ค่าแอมพลิจูดของจุดสำคัญ คือ $H_j$ และตำแหน่งของจุดสำคัญบนแกน $X$ แทนค่า $X_j$ จากสมการ (4) และนำค่า $X_j$ มาหาค่า $Q_{ij}$ โดย $X$ ค่าตำแหน่งของจุดทุกจุดบนแกน $X$ เมื่อเราทราบค่าของเมตริกซ์ $H_j$ และ $Q_{ij}$ แล้ว สามารถหาเมตริกซ์ $\alpha_j$ ได้จากสมการ (7)

$$\left[\alpha_j\right] = \left[Q_{ij}\right]^{-1}\left[H_j\right] \tag{7}$$

ดังนั้นจากการเลือกจุดสำคัญ และสมการ (6) และ (7) จะได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง MQ คือ $X_j$ และ $\alpha_j$ ดังนั้น ถ้าจุดสำคัญของสัญญาณใด ๆ มีจำนวน $n$ จุด นั่นคือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้จะเท่ากับ $2\times n$ คือ $X$ จำนวน $n$ ตัวและ $\alpha_j$ อีกจำนวน $n$ ตัว

สำหรับค่าคงที่ $\Delta$ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำหรับการปรับให้แบบจำลองของสัญญาณมีความโค้งมน เมื่อนำมาใช้กับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าค่า $\Delta$ ที่เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีค่าอยู่ในช่วง $0.3 \le \Delta \le 0.7$ เนื่องจากถ้ากำหนดค่า $\Delta < 0.3$ บริเวณจุดต่อของแบบจำลองที่ได้จะมีลักษณะเหลี่ยมเกินไป แต่ถ้าค่า $\Delta > 0.7$ บริเวณจุดต่อของแบบจำลองที่ได้จะโค้งมนมากเกินไปจนเป็นผลให้ขนาดของค่าแอมพลิจูดที่บริเวณจุดต่อลดลงจากสัญญาณต้นแบบมากเกินไป และเมื่อนำค่า $\Delta$ ที่อยู่ในช่วงดังกล่าวมาทดลองเพื่อหาค่า PRD จากการสร้างแบบจำลองพบว่าค่า $\Delta$ มีผลต่อค่าความผิดพลาดในการสร้างแบบจำลองน้อยกว่าร้อยละ 0.01 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก ๆ ดังนั้นในโครงงานนี้จะเลือกค่า $\Delta = 0.3$ เพื่อแบบจำลองที่ได้จะยังคงรักษาค่าแอมพลิจูดบริเวณจุดต่อได้ใกล้เคียงกับสัญญาณต้นแบบมากที่สุด

**6. ผลการทดลอง**

โครงงานนี้ทำการทดลองการสร้างสัญญาณขึ้นใหม่โดยใช้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตัวอย่างจากฐานข้อมูลของ MIT-BIH โรค Malignant Ventricular Arrhythmia ซึ่งมีอัตราการ sampling เท่ากับ 250 เฮิร์ซ และ Arrhythmia ซึ่งมีอัตราการ sampling เท่ากับ 360 เฮิร์ซ แต่ได้ทำการ sampling ใหม่ให้มีซึ่งมีอัตราการ sampling เท่ากับ 250 เฮิร์ซ เช่นเดียวกับ Malignant Ventricular Arrhythmia เป็นสัญญาณต้นแบบ

6.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการบีบอัดข้อมูล

ประโยชน์ของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ คือ ทำให้เกิดการบีบอัดข้อมูลเพื่อการจัดเก็บข้อมูลหรือการส่งข้อมูลของการแพทย์ระยะไกล (Telemedicine) เนื่องจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่ละแบบจะมีการเก็บข้อมูลเป็นพารามิเตอร์ที่ต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของการบีบอัดข้อมูลในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเปรียบเทียบจากค่าของอัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression Ratio) ดังสมการ (8)

$$CR = \frac{N}{n} \tag{8}$$

เมื่อ $N$ คือ จำนวนข้อมูลของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกไว้ (Sampled ECG)

$n$ คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ทั้งหมดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการทดลองการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 2 วิธีกับสัญญาณ ได้ผลการทดลองดังนี้ อัตราการบีบอัดข้อมูลจากการสร้างคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่ด้วยวิธี MQ ส่วนมากมีค่าประมาณอยู่ในช่วง 4-8 และอัตราการบีบอัดข้อมูลจากฟังก์ชันเกาส์เซียนส่วนมากมีค่าประมาณอยู่ในช่วง 3-4

ตารางที่ 1 แสดงส่วนหนึ่งของผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MQ และฟังก์ชันเกาส์เซียน ด้านความสามารถการบีบอัดข้อมูล

| File No. | Signal | MQ | Gaussian |
|---|---|---|---|
| 418 | 0 | 5.9524 | 4.6296 |
| | 1 | 6.5789 | 4 |
| 419 | 0 | 6.0976 | 4.4248 |
| | 1 | 5.4348 | 4.902 |
| 421 | 0 | 5.9524 | 3.8462 |
| | 1 | 7.5758 | 4.4248 |
| 424 | 0 | 4.1667 | 3.2895 |
| | 1 | 4.3103 | 3.5714 |

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าอัตราการบีบอัดข้อมูลระหว่างแบบจำลอง MQ และฟังก์ชันเกาส์เซียน

6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่

การเปรียบเทียบความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะพิจารณาจากการแยกส่วนต่าง ๆ ของคลื่นและระบุตำแหน่งของคลื่นส่วนต่าง ๆ ได้ถูกต้อง ค่าความถูกต้องของแบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยหาค่า PRD (Percent Root Mean square Difference)

$$PRD = 100 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[\tilde{x}(i) - x(i)]^2}{\sum_{i=1}^{n} x(i)^2}} \qquad (9)$$

โดย $x$ คือ สัญญาณต้นแบบ

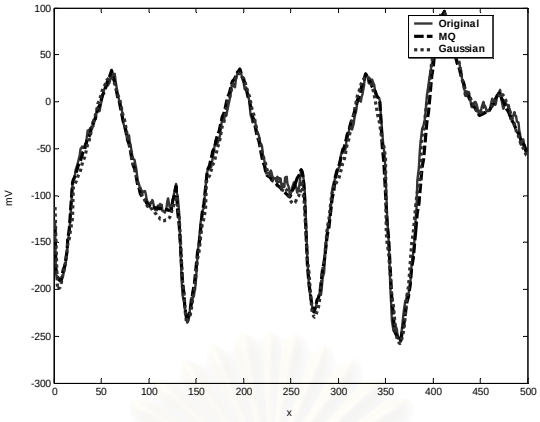
$\tilde{x}$ คือ สัญญาณที่สร้างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการทดลองการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 2 วิธีกับสัญญาณ ได้ผลการทดลองดังนี้ ค่าความผิดพลาด (PRD) จากการสร้างคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่ด้วยวิธี MQ ส่วนมากมีค่าประมาณอยู่ในช่วง 1-9 เปอร์เซนต์ และอัตราการบีบอัดข้อมูลจากฟังก์ชันเกาส์เซียนส่วนมากมีค่าประมาณอยู่ในช่วง 5-12 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2 แสดงส่วนหนึ่งของผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MQ และฟังก์ชันเกาส์เซียน ประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่

| File No. | Signal | MQ | Gaussian |
|---|---|---|---|
| 418 | 0 | 5.7773 | 8.4727 |
| | 1 | 9.6888 | 10.3857 |
| 419 | 0 | 6.2174 | 7.7055 |
| | 1 | 6.0434 | 8.1151 |
| 421 | 0 | 16.4158 | 15.7174 |
| | 1 | 9.1452 | 10.1953 |
| 424 | 0 | 9.5647 | 9.7741 |
| | 1 | 5.0635 | 5.3075 |

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาด (PRD) ระหว่างแบบจำลอง MQ และฟังก์ชันเกาส์เซียน




รูปที่ 3 เปรียบเทียบสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ด้วยวิธี MQ และฟังก์ชันเกาส์เซียนกับสัญญาณต้นแบบ

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยวิธี MQ และฟังก์ชันเกาส์เซียนกับสัญญาณต้นแบบ ซึ่งเป็นสัญญาณของโรค Malignant Ventricular Arrhythmia file 418 signal 0 โดยค่าศักย์ไฟฟ้าของคลื่นไฟฟ้าหัวใจมีหน่วยเป็น $mV$

**7. สรุปและข้อเสนอแนะ**

การสร้างคลื่นไฟฟ้าหัวใจขึ้นใหม่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี MQ มีประสิทธภาพดีกว่าฟังก์ชันเกาส์เซียนทั้งด้านการบีบอัดข้อมูลและด้านความถูกต้องของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ และกระบวนการของการหาพารามิเตอร์ของสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ด้วยวิธี MQ ง่ายกว่าฟังก์ชันเกาส์เซียนอีกด้วย

ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการนำฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์มาเป็นแบบจำลองของคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการสร้างสัญญาณขึ้นใหม่นั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถสร้างสัญญาณรบกวนขึ้นมาให้เหมือนกับสัญญาณต้นแบบได้ซึ่งเป็นผลดี นั่นคือเหมือนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนขึ้นอีกชั้นหนึ่งนอกเหนือจากตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (lowpass filter) และไม่มีผลต่อข้อมูลทางการแพทย์ที่สำคัญสำหรับการวินิจฉัยโรคของแพทย์

ผลที่ได้จากโครงงานนี้สามารถนำไปพัฒนาสำหรับการจำแนกอาการผิดปกติของหัวใจเบื้องต้นก่อนจะนำไปให้แพทย์วินิจฉัย และการบีบอัดข้อมูลสามารถนำไปใช้กับการจัดเก็บและส่งข้อมูลสำหรับการแพทย์ระยะไกลได้อีกด้วย

**8. ผลิตผลและหรือความสัมฤทธิผลของโครงการ**

6.1 P. Boonyaves, P. Paisalsing, P. Totarong and S. Jitapunkul, “ECG Signal Compression by Using Multiquadric Interpolation,” *Proc. of IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering: CCECE 2004,* Niagara Falls, Canada, 2-5 May, 2004, pp. 0947-0950.