บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด

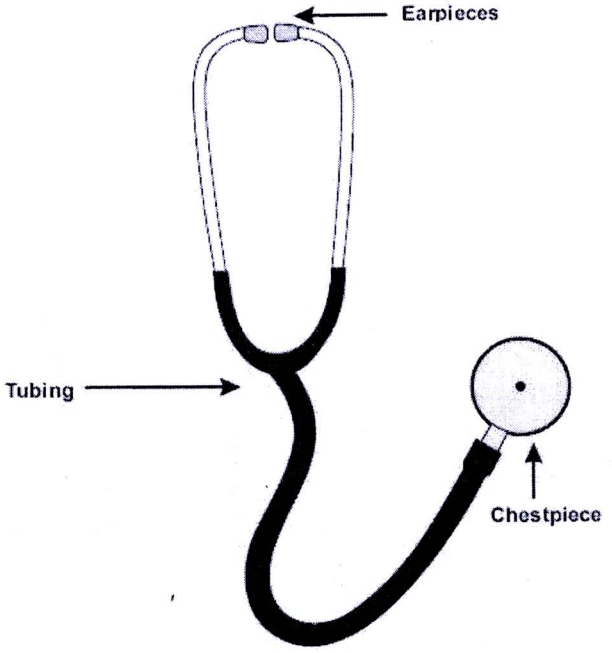
โครงการนี้มีแนวคิดจะพัฒนาหูฟังแพทย์ต้นแบบ ที่มีความสามารถในการลดเสียงรบกวนภายนอกที่เกิดขึ้น และกรองความถี่เสียงให้อยู่ในช่วงที่ใช้ในการตรวจฟัง โดยใช้การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing) ร่วมกับการลดเสียงรบกวนโดยตัวกรองแบบปรับได้ (Adaptive Noise Cancellation) พร้อมระบบไร้สาย

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 หูฟังแพทย์ (Stethoscope)

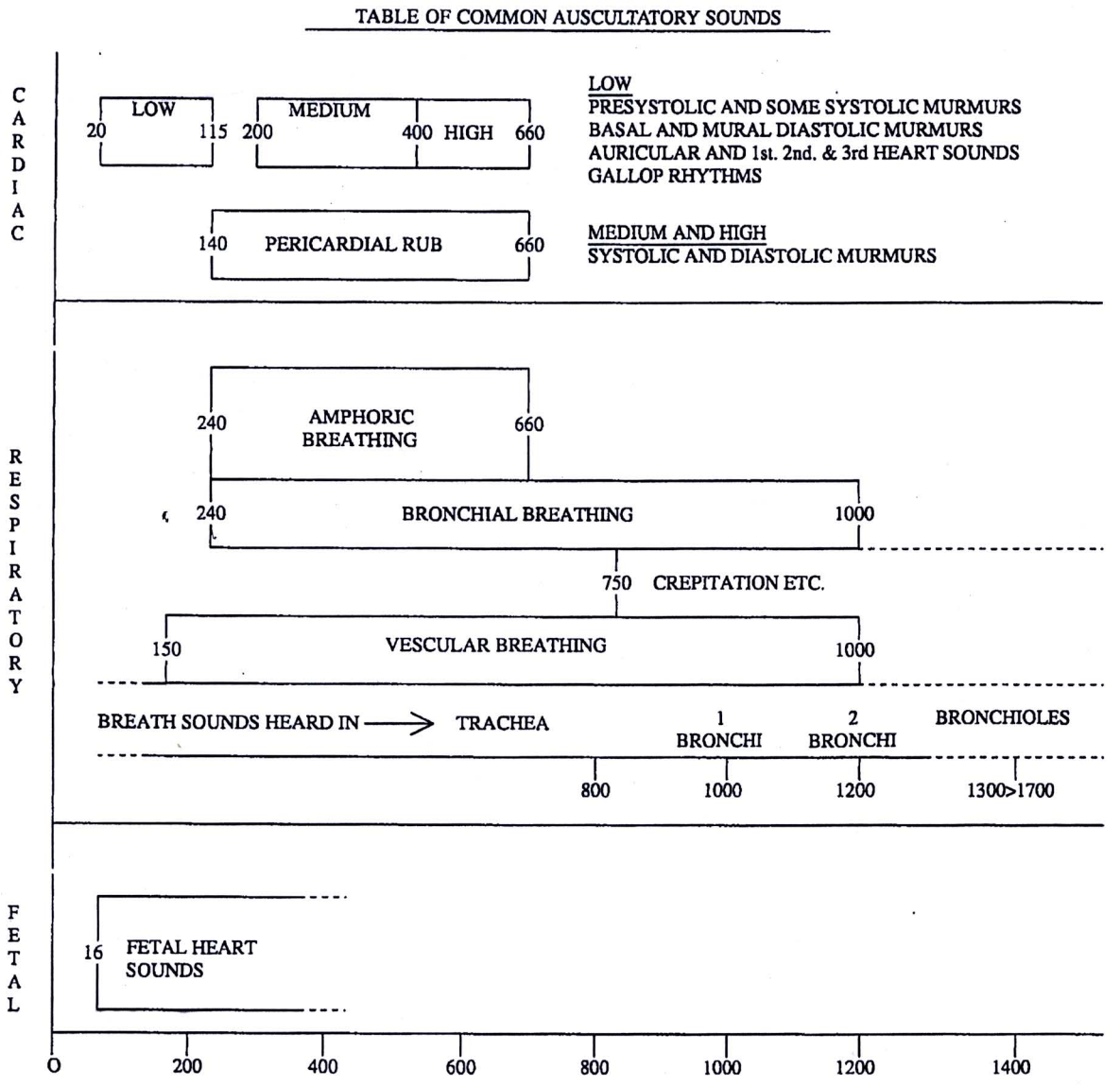
หูฟังแพทย์ (stethoscope) มาจากภาษากรีก "stethos" (ทรวงอก) และ "skopein" (มองดู) [14] ส่วนประกอบของหูฟังแพทย์โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1

- Earpiece ใช้ใส่หูเพื่อฟัง ควรมีขนาดเหมาะสมกับรูหู
- Chestpiece ใช้วางแนบตรงตำแหน่งที่จะตรวจฟัง มี 2 ด้าน คือ ด้าน bell ใช้ฟังเสียงความถี่ต่ำ และด้าน diaphragm ใช้ฟังเสียงความถี่สูง
- Tubing เป็นท่อนำเสียงจากส่วน Chestpiece ไปถึงส่วน Earpieces



รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของหูฟังแแพทย์ [19]

หูฟังแพทย์(1) เป็นอุปกรณ์เบื้องต้นในที่แพทย์ใช้เพื่อตรวจวินิจฉัยอาการของผู้ป่วย โดยจุดประสงค์หลักคือ ใช้ตรวจฟัง (auscultation) เสียงการทำงานของอวัยวะต่างๆ เช่นหัวใจ หรือ ปอด โดยการประเมินคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการ ได้แก่ ระยะเวลาที่เกิดเสียง (timing), ความถี่ของเสียง (frequency), ความต่อเนื่องของเสียง (duration), ความดังของเสียง (intensity) และ รูปร่างของเสียง (shape) จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเสียงที่เกี่ยวกับระบบหัวใจ (cardiac sounds) ได้แก่ เสียงต่ำของหัวใจ (low heart sounds) มีความถี่อยู่ในช่วง 20-115 Hz เสียงกลางและเสียงสูงของหัวใจ (medium and high heart sounds) มีความถี่อยู่ในช่วง 200-660 Hz จะได้ว่าเสียงที่เกี่ยวกับหัวใจมีความถี่อยู่ในช่วง 20 -660 Hz ส่วนเสียงที่เกี่ยวกับระบบการหายใจ (respiratory sounds) ได้แก่ เสียงปอด (vescular breathing) มีความถี่อยู่ในช่วง 150-1000 Hz และเสียงหลอดลม (bronch ial breathing) มีความถี่อยู่ในช่วง 240-1000 Hz จะได้ว่าเสียงที่เกี่ยวกับปอดและการหายใจมีความถี่อยู่ในช่วง 150-1000 Hz ดังนั้นเสียงที่ใช้ในการตรวจฟังส่วนใหญ่มีความถี่อยู่ในช่วง 20-1000 Hz



รูปที่ 2 ช่วงความถี่เสียงของเสียง(Hz) ที่ใช้ในการตรวจฟังโดยทั่วไป [8]

2.2.2 หูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Stethoscope)

จากการใช้หูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม ปัจจุบันเริ่มมีหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Stethoscope) ที่สามารถปรับปรุงข้อจำกัดหูฟังแพทย์แบบดั้งเดิม คือเสียงค่อย รวมทั้งเรื่องคุณภาพเสียงที่ลดลงจากการที่เสียงต้องเดินทางผ่านท่อนำเสียง (tubing) นอกจากนี้การที่เสียงถูกส่งผ่านในรูปของสัญญาณไฟฟ้าในกรณีของหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลเสียง ส่งข้อมูลไร้สาย ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณเสียง และสามารถแสดงผลสัญญาณเสียงในรูปแบบของภาพและเสียงซึ่งอาจเป็นประโยชน์เพิ่มเติมใน

การวินิจฉัยตรวจโรคของแพทย์ได้ ด้วยข้อดีต่างๆของหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ในปัจจุบันเริ่มมีบริษัทผลิตหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมา และเป็นที่คาดกันว่า หูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์จะเข้ามาแทนที่หูฟังแพทย์แบบดั้งเดิมมากขึ้นเรื่อยๆ

แม้ว่าหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์จะมีข้อดีต่างๆ ดังกล่าว แต่ปัญหาที่พบบ่อยในหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ คือ ปัญหาเสียงรบกวนต่างๆ เสียงรบกวนที่เกิดจากการตรวจฟังโดยใช้หูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถแบ่งได้ดังนี้

- เสียงรบกวนภายนอก เช่น เสียงพูด เสียงจากอุปกรณ์การแพทย์อื่นๆ เสียงรบกวนภายนอกส่วนใหญ่จะมีความถี่สูงกว่าเสียงที่จะใช้ตรวจฟัง เนื่องจากที่ความเข้มเสียง (Sound intensity) เดียวกันมนุษย์จะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงได้ดีกว่าความถี่ต่ำ เมื่อแพทย์ตรวจฟังเสียงหัวใจคนซึ่งมีความถี่ประมาณ 100 เฮิรตซ์ ในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงรบกวนภายนอกซึ่งมีความถี่ประมาณ 1000 เฮิรตซ์ ถ้าเสียงทั้งสองมีความเข้มเสียงเท่ากันก็อาจจะทำให้ได้ยินเสียงรบกวนนี้ดังกว่าเสียงหัวใจได้ถึง 100 เท่า
- เสียงจากอวัยวะข้างเคียง เช่น เมื่อแพทย์ตรวจฟังเสียงหัวใจ จะสามารถได้ยินเสียงจากระบบหายใจ และเสียงจากระบบย่อยอาหารของผู้ป่วยด้วย เป็นต้น ซึ่งเสียงเหล่านี้เป็นเสียงรบกวนเนื่องจากเป็นเสียงที่นอกเหนือจากเสียงที่สนใจจะตรวจฟัง
- เสียงจากการเคลื่อนที่ของผู้ป่วยหรือผู้ตรวจฟัง เช่น การสั่นของมือผู้ตรวจฟังทำให้การเปลี่ยนแปลงความดันของช่องอากาศที่อยู่ระหว่างไมโครโฟนและร่างกายของผู้ป่วย ด้วยความไวของไมโครโฟนจะรับรู้ได้ถึงการเปลี่ยนแปลงความดัน และทำให้เกิดเสียงก้องที่มีความถี่ต่ำ

เนื่องจากหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์มีปัญหาจากเสียงรบกวนต่างๆ เหล่านี้ ทำให้คุณภาพของเสียงลดลงซึ่งอาจจะทำให้การวินิจฉัยโรคผิดพลาดได้ ในปัจจุบันพบว่าหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปจะใช้แนวทางการลดเสียงรบกวนผ่านระบบกรองความถี่เสียง (filter) โดยออกแบบให้อยู่ในช่วงที่ใช้ตรวจฟังการทำงานของอวัยวะนั้น เช่น เมื่อตรวจฟังเสียงหัวใจก็จะกรองความถี่เสียงให้อยู่ในช่วง 30-200 เฮิรตซ์ (Hz) เพื่อตัดเสียงรบกวนที่มีความถี่ไม่อยู่ในช่วงความถี่เสียงหัวใจออก ซึ่งวิธีนี้สามารถตัดเสียงรบกวนออกได้แค่บางส่วน เพราะยังมีมีเสียงรบกวนบางส่วนที่มีช่วงความถี่เดียวกับเสียงเล็ดลอดเข้าสู่ระบบด้วย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 สิทธิบัตรของหูฟังแพทย์อิเล็กทรอนิกส์

สิทธิบัตรยุคแรกๆเป็นหูฟังแพทย์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบอนาลอก หรือเป็นระบบฝังตัว (embedded system) เช่น US4783813 (1988) WO9413206A1 (1997) และ WO2007013711A1(2007) ที่เน้นเรื่อง

กำลังขยายเพื่อเพิ่มความดังเป็นหลัก ต่อเนื่องไปถึงการพัฒนาฟังก์ชั่นที่ใช้ในการคัดกรองความถี่แบบตายตัวเพื่อเพิ่มคุณภาพของสัญญาณที่วัดได้ เช่น EP0671895B1 (1998) US5602924 (1997) หรือปรับช่วงความถี่โดยการเลือกเพื่อให้เหมาะแก่การวัดสำหรับลักษณะการใช้งานต่างๆกัน เช่นเลือกเบลล์ (Bell) หรือ ไดอาแฟรม (diaphragm) ซึ่งจะมีย่านความถี่ในการวัดแตกต่างต่างกัน (เบลล์ 20-100Hz และ ไดอาแฟรม 200-500Hz) ดังใน EP0863721B1 (2000)

ในส่วนสิทธิบัตรระยะหลังพบแนวทางของการมุ่งเน้นคือ

• ก ารเพิ่มระบบไร้สาย เช่น EP2110080A1(2009) ที่ใช้บลูทูท (Bluetooth) เพื่อการใช้งานเช่น สำหรับการเรียนการสอนของนักศึกษาแพทย์

• การมุ่งเน้นการพัฒนาส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง เช่นใช้ตัวจับสัญญาณประเภทเปียโซอิเล็กทริกโพลิเมอร์ (piezoelectric polymer sensor) US20080137876A1(2008), การออกแบบหน้าสัมผัสรวมถึงวัสดุที่ใช้ US20060227979A1 (2006), การใช้ไมโครโฟนแบบสัมผัสประเภทเปียโซอิเล็กทริเคิลฟิล์ม (Piezo-Electrical Film contact microphone) US20050157888A1 (2005), การใช้วัสดุเพื่อลดเสียงจากการเสียดสี US2008/0093157A1 หรือการออกแบบเชิงโครงสร้างเพื่อลดเสียงรบกวน US2006/0285696A1 เป็นต้น

• การเพิ่มฟังก์ชั่นช่วยวินิจฉัยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด เช่น ในการวิเคราะห์โรคในวัว (Bovine Diseases) WO2010053656A1(2010)

• ทำงานร่วมกับตัวจับสัญญาณประเภทอื่นๆ เพื่อการเฝ้าระวังผู้ป่วย เช่นใน US2008/0013747A1

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการลดเสียงรบกวนของหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

[9] ได้นำเสนอวิธีการลดเสียงรบกวนในการบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจ ผ่านการประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ ทำการบันทึกเสียงผ่านสองช่องทาง ไมโครโฟนตัวที่ 1 ถูกบรรจุในส่วน chestpiece ของหูฟังแพทย์เพื่อรับสัญญาณเสียงหัวใจ และ ไมโครโฟนตัวที่ 2 ถูกวางไว้ด้านนอกเพื่อรับสัญญาณเสียงรบกวนภายนอก แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกทั้ง 2 มาแปลงเป็นสัญญาณเสียงดิจิตอล ที่อัตราสุ่ม 2 k Hz แล้วจึงทำการลดเสียงรบกวนภายนอกโดยการทำ Adaptive Noise Cancellation Filter (ANC) คือ นำสัญญาณเสียงรบกวนภายนอกจากไมโครโฟนตัวที่ 2 มาหักล้างกับสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 1 แล้วส่งผ่านสัญญาณเสียงหัวใจที่ถูกลดสัญญาณเสียงรบกวนไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีซอฟต์แวร์ที่สามารถวิเคราะห์หาอัตราการเต้นของหัวใจ ระยะเวลาของช่วง systole และ diastole ผลการทดลอง ผู้ทำวิจัยได้ทดสอบแล้วพบว่าสามารถลดเสียงรบกวนในการบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจได้ประมาณ 16 dB และลดเสียงรบกวนได้ดีในช่วงความถี่ 200-2000 Hz

[16] ได้นำเสนอวิธีการลดเสียงรบกวนในการบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจ ผ่านการประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำการบันทึกเสียงผ่านสองช่องทาง ไมโครโฟนตัวที่ 1 ถูกบรรจุในส่วน chestpiece ของหูฟังแพทย์เพื่อบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจ และ ไมโครโฟนตัวที่ 2 ถูกวางไว้ด้านนอกเพื่อบันทึกสัญญาณเสียงรบกวนภายนอก แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกทั้ง 2 มาแปลงเป็นสัญญาณเสียงดิจิตอล ที่อัตราสุ่ม 11025 Hz และนำสัญญาณเสียงทั้ง 2 มาทำการแยกย่านความถี่ย่อยโดยการแปลงเวฟเลตถึงระดับที่ 9 แล้วจึงทำการลดเสียงรบกวนภายนอกโดยการทำ Wavelet-Based Adaptive Noise Cancellation Filter คือ นำสัญญาณเสียงรบกวนภายนอกในแต่ละย่านที่บันทึกได้จากไมโครโฟนตัวที่ 2 มาหักล้างกับสัญญาณเสียงที่บันทึกจากไมโครโฟนตัวที่ 1 แล้วจึงรวมย่านความถี่ย่อยโดยการแปลงกลับเวฟเลตและกรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 35-200 Hz โดยการทำ Bandpass Filter ผลการทดลอง ผู้ทำวิจัยได้ประเมินผลกราฟสัญญาณเสียงหัวใจในโดเมนเวลา พบว่าวิธีการลดเสียงรบกวนในงานวิจัยนี้ ให้ผลที่ดีกว่าการทำ Bandpass Filter อย่างเดียวมาก นอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินเชิงอัตวิสัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหัวใจฟัง พบว่าคุณภาพของเสียงหลังผ่านวิธีการลดเสียงรบกวน ถูกปรับปรุงขึ้นมาอย่างมาก

[22] ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาหูฟังแพทย์แบบไฟฟ้าเพื่อใช้ตรวจฟังเสียงหัวใจ ผ่านการประมวลบนบอร์ด DSP ทำการบันทึกเสียงผ่านสองช่องทาง ไมโครโฟนตัวที่ 1 ถูกบรรจุในส่วน chestpiece ของหูฟังแพทย์เพื่อบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจ และ ไมโครโฟนตัวที่ 2 ถูกวางไว้ด้านนอกเพื่อบันทึกสัญญาณเสียงรบกวนภายนอก แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกทั้ง 2 มาแปลงเป็นสัญญาณเสียงดิจิตอล ที่อัตราสุ่ม 8 kHz แล้วจึงทำการลดเสียงรบกวนภายนอกโดยการทำ Adaptive Noise Cancellation Filter (ANC) คือ นำสัญญาณเสียงรบกวนภายนอกจากไมโครโฟนตัวที่ 2 มาหักล้างกับสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 1 ก็จะสามารถลดเสียงรบกวนภายนอกได้ และ กรองเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 25-500 Hz เพื่อใช้ตรวจฟังเสียงหัวใจ โดยการทำ Bandpass Filter แล้วแสดงผลในรูปแบบของเสียงผ่านทางลำโพง และในรูปแบบของภาพสัญญาณเสียงหัวใจ นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกสัญญาณเสียงลงในหน่วยความจำได้ ผู้ทำวิจัยได้ทำออกแบบส่วนประสานกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงกราฟสัญญาณเสียงหัวใจ ในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ เปรียบเทียบก่อนและหลังการลดเสียงรบกวน พบว่าเสียงหัวใจถูกกรองให้อยู่ในช่วงความถี่ 25-500 Hz และสามารถลดเสียงรบกวนได้

[12] ได้นำเสนอหูฟังแพทย์แบบไฟฟ้าโดย ผ่านการประมวลบนบอร์ด DSP โดยรับเสียงของอวัยวะที่ต้องการจะตรวจฟังผ่านทางไมโครโฟน แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกมาแปลงเป็นสัญญาณเสียงดิจิตอล ที่อัตราสุ่ม 8 kHz แล้วนำมาผ่านแผงตัวกรองเพื่อ (filterbank) เพื่อแยกย่านความถี่ย่อยออกเป็น 16 ย่าน ย่านละ 250 Hz ทำให้สามารถปรับระดับเสียงในแต่ละย่านได้อิสระ เพื่อให้ได้ยินเสียงในช่วงความถี่ที่สนใจจะตรวจฟัง

ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยแบ่งช่วงความถี่ดังนี้ คือ ช่วง bell (0-500 Hz) ช่วง diaphragm (0-1000 Hz) และช่วง extend (0-1500 Hz) นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกเสียงลงในหน่วยความจำและสามารถแสดงผลของเสียงในอัตราความเร็วปกติและความเร็วลดลงครึ่งหนึ่งได้ ผู้ทำวิจัยได้ทดสอบแล้วพบว่า หูฟังแพทย์มี dynamic range ที่ประมาณ 75 dB และการขยายเสียงโดย DSP ในแต่ละช่วงความถี่มีค่าประมาณ 21 dB

[21] ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาหูฟังแพทย์แบบไฟฟ้า โดยผ่านบอร์ด AVR MCU โดยรับเสียงของอวัยวะที่ต้องการจะตรวจฟังผ่านทางไมโครโฟน แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกมาผ่านวงจรแผงตัวกรองเพื่อทำการแบ่งช่วงความถี่ที่ใช้ตรวจฟังดังนี้ คือ เสียงหัวใจ (30-500 Hz) เสียงปอด (100-1000 Hz) และเสียงหัวใจ-ปอด (30-1000 Hz) แล้วแสดงผลของเสียงผ่านทางหูฟัง หรือทำการแปลงสัญญาณเสียงแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณเสียงดิจิตอลแล้วส่งสัญญาณเสียงผ่านทางบลูทูทไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยมีซอฟต์แวร์ที่สามารถวิเคราะห์หาอัตราการเต้นของหัวใจ ผู้ทำวิจัยได้ทดสอบแล้วพบว่า หูฟังแพทย์สามารถแสดงผลภาพสัญญาณเสียงหัวใจบนคอมพิวเตอร์ได้แบบ real time ผ่านการส่งข้อมูลเสียงทางบลูทูท

[13] ได้นำเสนอได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาหูฟังแพทย์แบบไฟฟ้าไร้สาย โดยรับเสียงของอวัยวะที่ต้องการจะตรวจฟังผ่านทางไมโครโฟน แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกมาผ่านวงจรขยายเสียง และวงจรกรองสัญญาณเสียงให้อยู่ในช่วงความถี่ 25-1500 Hz เพื่อใช้ในการตรวจฟังเสียงหัวใจและปอด แล้วนำสัญญาณเสียงแอนะล็อกมาแปลงเป็นสัญญาณเสียงดิจิตอล ที่อัตราสุ่ม 8 kHz ก่อนจะถูกเข้ารหัส (encode) แบบ PCM (Pulse Code Modulation) แล้วส่งสัญญาณเสียงผ่านทางบลูทุธ เมื่อส่งเสร็จฝั่งรับจะทำการถอดรหัส (decode) และขยายสัญญาณเสียง แล้วแสดงผลของเสียงผ่านทางหูฟัง ผู้ทำวิจัยได้ทดสอบแล้วพบว่าสัญญาณเสียงที่ได้พบว่าผิดเพี้ยนพอสมควรเนื่องจากวงจรกรอง

[14] ได้นำเสนอวิธีการแยกย่านความถี่ย่อยเพื่อลดเสียงรบกวนโดยวิธี Subband Adaptive Noise Cancellation คือ แยกย่านควาทถี่ย่อยก่อนแล้วนำแต่ละย่านความถี่มาลดเสียงรบกวนโดยตัวกรองแบบปรับได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการโทรคมนาคม เช่น การรู้จำเสียงพูดผ่านมือถือ ในสภาวะแวดล้อมที่เต็มไปด้วยเสียงรบกวน ผู้ทำวิจัยได้ทดสอบแล้วพบว่า สามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 10 dB จากการทดสอบกับเสียงรบกวนชนิดต่างๆ แต่ก็ทำให้สัญญาณเสียงพูดผิดเพี้ยนไปเล็กน้อย และมีการลู่เข้าที่เร็วกว่าการประมวลผลแบบเต็มย่าน