พันเอก ดร.ปรัชญา เฉลิมวัฒน์
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
E-mail : prachya@crma.ac.th

ต้นแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกล สำหรับปฏิบัติการข่าว

Remote Sound Sniffer for Intelligence Operation

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคนิคเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการได้ยินนั้นมีมาก่อนยุคประวัติศาสตร์ ในส่วนของอุปกรณ์ค้นหาเสียงนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องดักฟังเสียงของกองทัพต่าง ๆ ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 1 เป็นการชิงความได้เปรียบในการได้ข้อมูลข่าวสาร เพื่อการตัดสินใจ การวางแผน ที่สามารถนำไปสู่ชัยชนะต่อข้าศึกได้ ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการดักฟังเสียงได้พัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ การใช้อุปกรณ์ดักฟังเสียงระยะไกลยังมิได้ถูกนำมาใช้อย่างเป็นรูปธรรมในการปฏิบัติการข่าว ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นมีราคาสูง ส่วนอุปกรณ์ที่มีราคาถูกก็ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งาน ปัญหาสำคัญของการออกแบบระบบนี้คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากคลื่นต่าง ๆ ทั้งในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เองและในบรรยากาศ นอกจากนั้นการใช้ท่อนำเสียงเพื่อบังคับทิศยังทำให้เกิดปัญหาการสะท้อนภายในท่อหรือ pipe resonance โครงการวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบเครื่องดักฟังคลื่นความถี่เสียงในอากาศ โดยใช้วงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถหาได้ตามท้องตลาดทำงานร่วมกับอุปกรณ์บังคับทิศทางของเสียงที่หาได้จากร้านอุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป ทำการค้นคว้าเทคนิคการสร้างระบบฟังเสียงระยะไกล ศึกษาการออกแบบระบบกรองเสียงหรือสัญญาณรบกวนด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และซอฟท์แวร์ ในส่วนการทดสอบประสิทธิภาพ มีการทดสอบผลกระทบของการออกแบบอุปกรณ์ในรูปแบบต่าง ๆ การเลือกใช้วัสดุซับเสียง ไมโครโฟน วงจรขยายเสียง ลำโพง หูฟัง ผลการทดลองในขั้นต้นสามารถสร้างต้นแบบเครื่องดักฟังเสียงอย่างง่าย และมีราคาถูก สามารถลดสัญญาณรบกวนจาก pipe resonance ได้เป็นอย่างดี โดยในการทดสอบข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นใช้ซอฟท์แวร์วิเคราะห์เสียงช่วยในการค้นหารูปแบบของเสียงที่ต้องการและการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคต่าง ๆ

Abstract

Techniques for locating remote sound has been developed long before historical era. Moreover, devices for locating acoustics have been developed in world leader military units since World War I. This is to increase advantages of gaining remote enemy information for decision support and operation planning which could lead to victory of the battle. Modern remote sound sniffing devices have not been used commonly in military intelligence. While very sophisticated and effective devices are very expensive, those low-cost devices are not sufficient for military demands. Major problems of designing such devices are noises from inside electronic circuits, atmosphere, surrounding sources, as well as sound pipe resonance. This research investigates various low-cost techniques and technologies in electronic circuits and sound directing devices to create low-cost prototypes of sound sniffing devices for military intelligence. Electronic circuits, software and materials for sound directing devices are available from common market places. Various tests have been conducted to study effects of sound suppressor materials, types of microphone, amplifiers, speakers and headphones. Initial experimental results exhibit feasibility of constructing effective low-cost sound sniffing devices by reducing noises from various sources including pipe resonance. Sound analyzer software has been utilized in these experiments as to identify drawbacks and limitations of the prototype designs.

Keywords : Remote sound sniffer, Audio Locator, Intelligence operation, Noise reduction, Directional microphone

1. กล่าวนำ

สถานการณ์การก่อการร้ายในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง การปฏิบัติการทางการข่าวอาจไม่ประสบความสำเร็จและไม่สามารถหยุดยั้งการลอบวางระเบิดเจ้าหน้าที่และประชาชนทั่วไปได้ ผู้ปฏิบัติการข่าวลับไม่สามารถเข้าฟังการสนทนาที่อาจเป็นความลับ การดักฟังจากสัญญาณโทรศัพท์มีความจำเป็นต้องทราบเป้าหมาย การดักฟังด้วยเครื่องดักฟังอิเล็กทรอนิกส์มีปัญหาในการส่งสัญญาณวิทยุ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการเข้าวางอุปกรณ์ การได้มาซึ่งข่าวสารจากการดักฟังระยะไกลมีความเป็นไปได้ สัตว์หลายชนิดมีขีดความสามารถพิเศษในการได้ยินเสียงระยะไกลซึ่งเป็นสิ่งที่พิสูจน์ให้เห็นว่าคลื่นเสียงเดินทางไปไกลมาก แต่ขีดความสามารถในการได้ยินของมนุษย์อาจไม่เพียงพอ การเพิ่มขีดความสามารถในการฟังให้สามารถได้ยินในระยะที่ไกลขึ้น และเลือกทิศทางได้จะเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติการข่าวและเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้หาข่าวมากขึ้น ปฏิบัติการข่าวลับมีความสำคัญและจำเป็นต่อการต่อต้านการก่อการร้าย ความสามารถในการฟังได้ไกลทำให้ทราบความเคลื่อนไหวของฝ่ายตรงข้ามโดยไม่รู้ตัว นอกจากนั้นอาจทำให้ทราบการปฏิบัติ แนวความคิด หรือทัศนคติของฝ่ายตรงข้าม ยังผลให้สามารถนำไปประกอบการพิจารณาวางแผนการ หรือปฏิบัติการจิตวิทยาได้เป็นอย่างดี

ความสามารถในการฟังเสียงได้ในระยะไกลเกินกว่าการได้ยินปกติของมนุษย์นั้นสามารถทำได้ด้วยเทคนิคง่ายๆ ซึ่งยังคงใช้ได้คือ การใช้มือช่วยป้องหูให้สามารถได้ยินเสียงที่ชัดเจนขึ้น การแนบหูกับพื้นดินเพื่อฟังเสียงฝีเท้าม้าของอินเดียนแดงเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการฟังเสียงระยะไกลเพื่อช่วงชิงความได้เปรียบในการดำเนินกลยุทธ์ ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 กองทัพของประเทศมหาอำนาจต่างๆ ได้สร้างเครื่องดักฟังเสียงระยะไกล (Acoustic Locator) (1) เพื่อดักฟังการสื่อสารด้วยเสียง หรือการเคลื่อนไหวของยานพาหนะของฝ่ายตรงข้าม เพื่อชิงความได้เปรียบในการได้ข้อมูลข่าวสาร ในการสนับสนุนการตัดสินใจและการวางแผนที่จะสามารถนำไปสู่ชัยชนะต่อข้าศึกได้

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการดักฟังเสียงได้พัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ การใช้อุปกรณ์ดักฟังเสียงระยะไกลยังมิได้ถูกนำมาใช้อย่างจริงจังในการปฏิบัติการข่าว ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นมีราคาสูง ส่วนอุปกรณ์ที่มีราคาถูกก็ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งาน นอกจากนั้นการออกแบบยังมิได้คำนึงถึงความคงทนต่อสภาพการใช้งานในสนาม รวมถึงการประหยัดพลังงานและการนำพาได้สะดวก เครื่องดักฟังเสียงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นสี่กลุ่มหลักคือ แบบใช้จานพาราโบลิกเพื่อเพิ่มความเข้มของสัญญาณเสียงมายังจุดโฟกัส แบบใช้ท่อนำเสียงร่วมกับไมโครโฟนไวเสียง แบบใช้แสงเลเซอร์ร่วมกับซอฟท์แวร์ และแบบวางไมโครโฟนไว้ใกล้เป้าหมายร่วมกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณวิทยุมายังผู้รับ ปัญหาสำคัญของการออกแบบระบบนี้คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากคลื่นต่างๆ ทั้งในวงจรอิเล็กทรอนิกส์เองและในบรรยากาศซึ่งเป็นสื่อนำสัญญาณเสียงมายังอุปกรณ์รับเสียงคือไมโครโฟน สัญญาณรบกวนประเภทอื่น ได้แก่ สัญญาณรบกวนพื้นหลังหรือ background noise สัญญาณรบกวนที่เกิดจาก pipe resonance ในท่อนำเสียง และสัญญาณเสียงรอบข้างผู้ดักฟังซึ่งเป็นเสียงที่ไม่พึงประสงค์

จากปัญหาที่กล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและผลการทดสอบเบื้องต้นของต้นแบบเครื่องดักฟังคลื่นความถี่เสียงในอากาศ

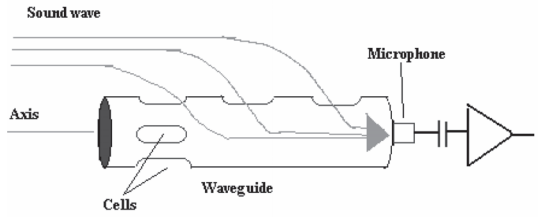
โดยใช้วงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถหาได้ตามท้องตลาด ทำงานร่วมกับอุปกรณ์บังคับทิศทางของเสียงที่หาได้จากร้านอุปกรณ์ก่อสร้างทั่วไป การค้นคว้าเทคนิคการสร้างระบบฟังเสียงระยะไกล ศึกษาการออกแบบระบบกรองเสียงหรือสัญญาณรบกวนด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และซอฟท์แวร์ ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพ มีการทดสอบผลกระทบของการออกแบบอุปกรณ์ในรูปแบบต่างๆ ผลกระทบของการเลือกใช้วัสดุซับเสียง ไมโครโฟน วงจรขยายเสียง ลำโพง หูฟัง โดยการทดลองในขั้นต้นได้สร้างต้นแบบเครื่องดักฟังเสียงอย่างง่าย และที่มีราคาถูก สามารถลดสัญญาณรบกวนจาก pipe resonance ได้ มีการทดสอบข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้น ใช้ซอฟท์แวร์วิเคราะห์เสียงช่วยในการค้นหารูปแบบของเสียงที่ต้องการ และการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเทคนิคต่างๆ

2. ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกล ได้แก่ ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ของคลื่นเสียงและการได้ยิน การวัดระดับความดังของสัญญาณเสียง การเกิดเรโซแนนซ์ในท่อนำเสียง การเลือกรับเฉพาะทิศทางของคลื่นเสียงที่ต้องการ เป็นต้น รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถศึกษาได้จาก (11)(12)(13)(14) เนื่องจากพื้นที่ของเอกสารนี้มีจำกัดเกินที่จะกล่าวได้ทั้งหมด จึงขอกล่าวเฉพาะบางหัวข้อที่จำเป็นดังนี้

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับไมโครโฟน

ไมโครโฟนสำหรับการดักฟังเสียงระยะไกลในทิศทางควบคุมแบ่งเป็น 4 ลักษณะใหญ่ (2) คือ แบบใช้จานสะท้อนพาราโบลิก, แบบ Flat Direct, แบบ Running Wave, และแบบ Gradient เป็นต้น ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะไมโครโฟนแบบ Running Wave ไมโครโฟนแบบนี้รับคลื่นเสียงที่ไม่จำเป็นต้องตั้งฉาก แต่จะรับตามทิศทางของคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนประกอบสำคัญคือ เวฟไกด์ขนาด 10 - 30 ซม. ที่มีช่องพิเศษอยู่ตลอดแนวของเวฟไกด์ ซึ่งเป็นการบวกคลื่นเสียงที่มีเฟสเดียวกัน แต่ถ้าเป็นเฟสที่ไม่ตรงกันจะทำให้สูญเสียพลังงานเสียงนั้น ส่งผลให้คลื่นเสียงที่มาจากด้านหน้าได้รับการบวกเพิ่มความแรงของสัญญาณมากกว่าทางด้านอื่น



รูปที่ 1 ไมโครโฟนแบบใช้การดัก Running Wave ซึ่งใช้ในไมโครโฟนแบบ Shotgun (ภาพจาก (2))

ความยาวของท่อมีตั้งแต่ 15 มม. ถึง 1 ม. ขนาดที่ยาวขึ้นทำให้ไมโครโฟนมีประสิทธิภาพในการรับจากทิศทางข้างหน้าได้มากขึ้น นั่นคือคลื่นเสียงในเฟสเดียวกันมีมากขึ้น ลักษณะของช่องจะแตกต่างกันไปตามการออกแบบ รูปแบบของการออกแบบลักษณะนี้ใช้ในไมโครโฟนประเภท Shotgun (2)

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการคำนวณระยะการได้ยิน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของไมโครโฟนบังคับทิศสามารถทำได้ด้วยการเปรียบเทียบระยะประสิทธิผล R (ระยะที่สามารถได้ยินรู้เรื่อง) โดยทำการวัดผลภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน ระยะ R ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่างคือ 1) *SNR* (Signal-to-Noise Ratio), 2) *Ss* (Spectral Speech

Level) และ 3) *Sn* (Spectral Acoustic Noise Level) โดยที่

$$SNR = Ss - Sn - 20\lg R + G - Sp \quad (1)$$

โดย G คือค่าสัมประสิทธิ์ทิศทางของไมโครโฟน (dB), *Sp* คือ Sensitivity threshold ของไมโครโฟน (dB)

ค่าสัมประสิทธิ์ G สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} F(Q,\varphi) \sin dQ} \quad (2)$$

โดยที่ Q คือมุมของคลื่น φ คือมุมหน่วยเป็นโพลาร์ ค่าของ $F(Q,\varphi)$ คำนวณได้จากสมการ

$$F(Q,\varphi) = \frac{\sin \frac{\pi l}{\lambda} (1-\cos Q)}{\frac{\pi l}{\lambda} (1-\cos Q)} \quad (3)$$

L คือความยาวของเวฟไกด์, l คือความยาวคลื่นเสียง เมื่อ $L = l$ จะได้ G สำหรับไมโครโฟนแบบ Running wave ว่า

$$G = 4L/l \quad (4)$$

ส่วนค่า G ของไมโครโฟนแบบ Flat จะมีค่า

$$G = 4p\ (S/2l) \quad (5)$$

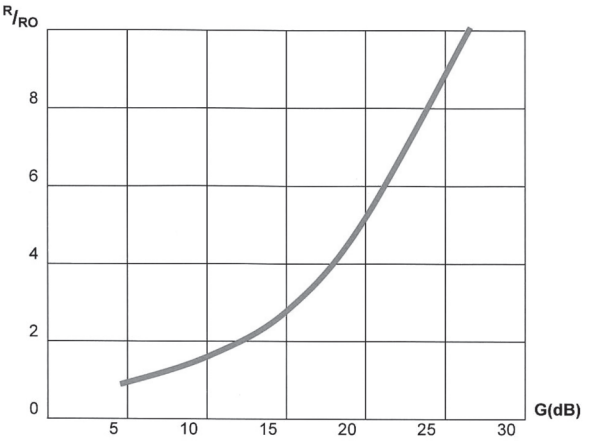
โดยที่ S คือพื้นที่สำหรับ aperture area และ 1 คือความยาวคลื่นของเสียง ส่วนค่า G สำหรับไมโครโฟนแบบ Gradient คือ

$$G = n\ (n + 1) \quad (6)$$

โดยที่ n คือ order ของไมโครโฟน จากนั้นเมื่อทราบค่าของ G แล้วก็สามารถหาค่าของ *SNR* ได้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วการคำนวณเช่นนี้มักให้ผลไม่ตรงกับข้อมูลที่ได้ ในทางปฏิบัติแล้วควรใช้การคำนวณค่าสัมพัทธ์ของระยะทางแบบ non absolute values ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบใกล้เคียงกับการได้ยินของมนุษย์ โดยคำนวณค่า R ได้ดังนี้

$$R = R0 \bullet 10 \bullet 0.05 \bullet (G-G0) - 0.005 \bullet \Delta Sp \quad (7)$$

โดยที่ *R0* คือ ระยะการได้ยินของมนุษย์, R คือระยะการได้ยินเมื่อใช้ไมโครโฟน, *G0* คือค่าสัมประสิทธิ์ของทิศทางการได้ยินของหู, และ ΔSp คือ ความแตกต่างของ sensitivity ระหว่างการได้ยินของหูกับไมโครโฟน



รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ *R/R0* บนแกน G (21)

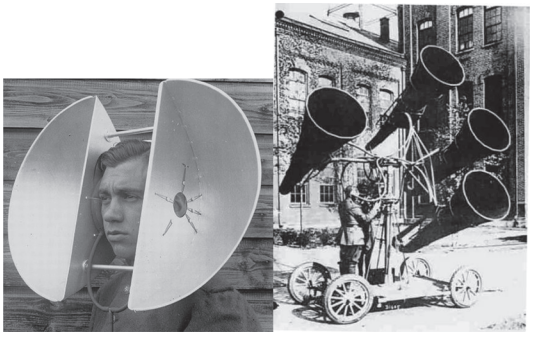
รูปที่ 2 แสดงกราฟของสมการ (7) ซึ่งใช้ในการคำนวณหาระยะประสิทธิผลของไมโครโฟน จะเห็นได้ว่าเมื่อ G = 15 dB (ซึ่งเป็นค่าสำหรับไมโครโฟนที่ดี) แล้วระยะจะประมาณ 3 เท่าของการได้ยินของหู (ที่ G = 5) ในทางปฏิบัติแล้ว ในเขตตัวเมืองที่มีเสียงสัญญาณรบกวนหูมนุษย์จะ

สามารถได้ยินเสียงคนพูดที่ระยะประมาณ 2 - 4 ม. และเมื่อใช้ไมโครโฟนบังคับทิศจะสามารถได้ยินจากระยะ 6 - 12 ม. และในเขตนอกตัวเมืองที่สัญญาณรบกวนต่ำแล้ว หูมนุษย์สามารถได้ยินเสียงคนสนทนาถึงระยะ 10 ม. ในขณะที่ไมโครโฟนบังคับทิศจะได้ระยะมากกว่า 30 ม. ประสิทธิภาพการได้ยินสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการใช้ตัวกรองแบบ digital multichannel หรือใช้เซนเซอร์ที่มี sensitivity สูงขึ้นหรือใช้ขนาดของส่วนดักฟังใหญ่ขึ้นซึ่งอาจทำให้ threshold ถึง -15 dB จะเห็นได้ว่าการใช้ไมโครโฟนบังคับทิศให้สามารถฟังเสียงได้ในระยะ 100 - 200 ม. นั้นเป็นไปได้ยาก ไมโครโฟนบังคับทิศเชิงพาณิชย์สามารถฟังเสียงสนทนา (ที่ 76 dB) ได้ระยะประมาณ 50 ม. (2)

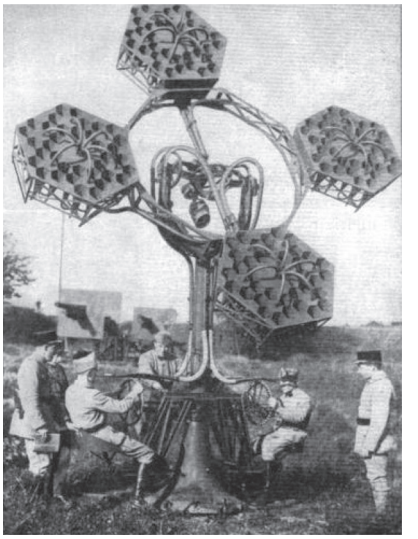
2.3 งานวิจัยและการพัฒนาที่เกี่ยวข้อง

ความพยายามในการฟังเสียงต่างๆ ให้ได้ไกลของกองทัพประเทศมหาอำนาจมีมาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 รูปที่ 3 แสดงสิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่า Acoustic Locator (AL) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการได้ยินระยะไกล ซึ่งจะส่งผลต่อชัยชนะของสงคราม

รูปที่ 4 แสดงเครื่อง AL ของกองทัพฝรั่งเศสปี ค.ศ. 1930 (1) ขนาดของ AL มักมีขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะต้องประจำที่ตั้งที่ปลอดภัย รูปที่ 5 แสดงการปฏิบัติการของทหารกองทัพเยอรมัน ใน ค.ศ. 1940 และ AL ของกองทัพสหรัฐ ใน ค.ศ. 1943 เครื่อง AL ขนาดใหญ่สามารถรับคลื่นเสียงจากระยะไกลได้ ประมาณ 2-5 กม. (1) โดยการสร้างการออกแบบมีลักษณะคล้าย ๆ กัน คือ เป็นกรวยเสียงคล้ายปลายของแตร จากนั้นนำเสียงไปรวมกันด้วยท่อเชิงกล หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ขนาดของกรวยรับเสียงและจำนวนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและ sensitivity ของการได้ยินเป็นอย่างมาก AL ขนาดใหญ่ถูกสร้างขึ้นด้วยคอนกรีต มีลักษณะคล้ายเขื่อนคอนกรีตรูปพาราโบล่า เพื่อรวมสัญญาณเสียง



รูปที่ 3 ความพยายามในการเพิ่มระยะการได้ยิน (ซ้าย) และเครื่อง Acoustic Locator ไม่ทราบสัญชาติ (ขวา)



รูปที่ 4 เครื่อง Acoustic Locator ของกองทัพฝรั่งเศสปี ค.ศ. 1930

รูปที่ 5 เครื่อง Acoustic Locator ของกองทัพเยอรมันประมาณ ค.ศ. 1940 (ซ้าย) และของกองทัพสหรัฐฯ ค.ศ. 1943 (ขวา)

2.4 อุปกรณ์ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์และสิทธิบัตร

อุปกรณ์ดักฟังเสียงแบบควบคุมทิศทางในยุคปัจจุบันมักใช้รูปแบบของไมโครโฟนพิเศษที่เรียกว่า Shotgun ดังแสดงในรูปที่ 6 ไมโครโฟนแบบ Shotgun มักใช้เทคนิคการดัก Running Wave ด้วยการสร้างช่องดักเสียงตามเฟส ซึ่งอุปกรณ์ชั้นดีที่ใช้ในอุตสาหกรรมถ่ายภาพยนตร์หรือภาพกีฬามักมีราคาแพงเกินกว่าที่หน่วยทหารขนาดเล็กจะสามารถจัดหาได้

รูปที่ 6 ไมโครโฟนแบบ Shotgun ซึ่งใช้รับฟังเสียงตามทิศทางที่ชี้และใช้ร่วมกับกล้องวิดีโอ

รูปที่ 7 แสดงการประยุกต์ใช้จานโฟกัสเสียงแบบพาราโบลิกในการฟังเสียงนักกีฬาในสนามแข่งฟุตบอล ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางของเสียงได้ ประสิทธิภาพของการใช้งานอยู่ในขั้นดีแต่มีปัญหาเรื่องการพกพาไปในพื้นที่ภาคสนามที่จำกัด

รูปที่ 7 การประยุกต์ใช้จานพาราโบลิกโฟกัสเสียงตามทิศทางที่ต้องการ

ตัวอย่างรายละเอียดของสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบไมโครโฟนควบคุมทิศทางเสียงสามารถดูได้จาก (5)(6)(7)(8)(9) โดยทั่วไปแล้วเป็นการออกแบบไมโครโฟนแบบ Shotgun ที่ทำการรวมสัญญาณแบบ Running Wave ที่อยู่ในเฟสเดียวกันเพื่อให้สามารถดักฟังเสียงในทิศทางที่ไมโครโฟนชี้ไปได้

2.5 ซอฟท์แวร์ช่วยวิเคราะห์สัญญาณเสียง

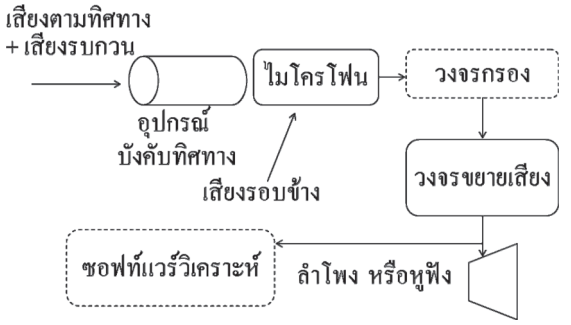
ในการทดลองของงานวิจัยนี้ใช้ซอฟท์แวร์วิเคราะห์เสียง Goldwave(3) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ การกำจัดสัญญาณรบกวน การเลือกความถี่ที่ต้องการ รวมถึงแบบของไฟล์เสียงที่ต้องการบันทึก นอกเหนือจากโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าว ไลบรารี่ของการวิเคราะห์เสียงสามารถใช้ Open Source Audio Library Project (4) เพื่อสร้างโปรแกรมประยุกต์เฉพาะงานได้เช่นกัน

3. การออกแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกล

การออกแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกลสำหรับปฏิบัติการข่าวอยู่บนพื้นฐานของการสร้างอุปกรณ์ที่มีราคาถูกแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานเทียบเท่าหรือดีกว่าอุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ สามารถพกพาได้สะดวก และใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

3.1 การออกแบบต้นแบบ

รูปแบบเชิงหลักการของการออกแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกลแสดงในรูปที่ 8 สัญญาณเสียงที่จะเข้ามายังไมโครโฟนจะมีเสียงตามทิศที่ต้องการรวมกับเสียงรบกวน ผ่านอุปกรณ์บังคับทิศซึ่งอาจเป็นท่อนำเสียงที่ดัก Running Waves หรือเป็นจานพาราโบลิก จากนั้นสัญญาณเสียงจะรับได้ด้วยไมโครโฟน ซึ่งจะได้สัญญาณเสียงจากรอบข้างของผู้ดักฟังด้วย จากนั้นผ่านวงจรกรอง หรือไม่ก็ได้มาเข้าวงจรขยายเสียงแล้วถูกส่งไปยังลำโพงหรือหูฟัง ซึ่งในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงสามารถส่งเข้าไปวิเคราะห์ด้วยซอฟท์แวร์วิเคราะห์เสียงต่อไป



รูปที่ 8 โครงสร้างเชิงหลักการของการออกแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกลและระบบวิเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยซอฟท์แวร์

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของไมโครโฟนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแบ่งเป็น 3 แบบ คือ A, B และ C โดยทั้งสามแบบเป็นไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ คละแบบที่ไม่มีรายละเอียดของบริษัทผู้ผลิต แบบมีรายชื่อผู้ผลิต และแบบ Shotgun ซึ่งเป็นไมโครโฟนสำเร็จรูปใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการรับฟังเสียง

ตารางที่ 1 รายละเอียดของไมโครโฟนที่ใช้ในการทดลอง

แบบ	รายละเอียด	ขนาด	หมายเหตุ
A	คอนเด็นเซอร์[1]	.5 ซม.	Non-Brandname
B	คอนเด็นเซอร์[1]	.5 ซม.	Sony Stereo
C	Shotgun คอนเดนเซอร์[2]	.5 ซม.	HTDZ, HT-81

[1] ไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ติดมากับวงจรขยายเสียง

[2] ไมโครโฟนสำเร็จรูปแบบควบคุมทิศทางแบบของการรับได้

ตารางที่ 2 แสดงรายการของวงจรขยายเสียงที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยวงจรขยายเสียงช่วยฟังราคาถูกใช้ถ่านแบบ D 9 โวลท์ วงจรพรีไมค์ขนาดจิ๋วใช้ถ่าน LR-44 1.5 โวลท์ วงจรช่วยฟังแบบสเตอริโอ และวงจรขยายเฉพาะของไมโครโฟนแบบ HT-81

ตารางที่ 2 รายการของวงจรขยายเสียงที่ใช้ในการทดลอง

แบบ	รายละเอียด	กำลัง	หมายเหตุ
A	วงจรขยายช่วยฟัง		ถ่าน 9 โวลท์
B	วงจรพรีไมค์ขนาดจิ๋ว		ถ่าน LR-44
C	วงจรขยายช่วยฟังแบบสเตอริโอ		ถ่าน 6 โวลท์
D	วงจรขยายเฉพาะ HT-81	N/A	ถ่าน 1.5 โวลท์

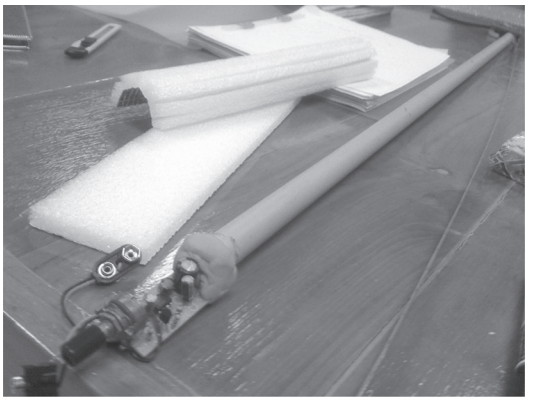
ตารางที่ 3 แสดงรายการแบบของอุปกรณ์ช่วยบังคับทิศทางของเสียงซึ่งประกอบด้วยวัสดุแบบและขนาดต่างๆ แบบ A-C เป็นแบบท่อนำเสียง และแบบ D และ E เป็นแบบจานพารา-โบลิกโฟกัสเสียงซึ่งเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปสำหรับบรรจุอาหาร

ตารางที่ 3 รายการแบบของอุปกรณ์บังคับทิศทางของเสียง

แบบ	รายละเอียด/วัสดุ	ขนาด	ยาว
A	ท่อเหล็กบาง	0.75 นิ้ว	3 ฟุต
B	ท่ออะลูมิเนียม	0.5 นิ้ว	9 นิ้ว
C	ท่อพีวีซีสองชั้น	5/8, 1.5	3 ฟุต
D	จานรวมเสียงพลาสติก	5 นิ้ว	-
E	จานรวมเสียงพลาสติก	9.5 นิ้ว	-

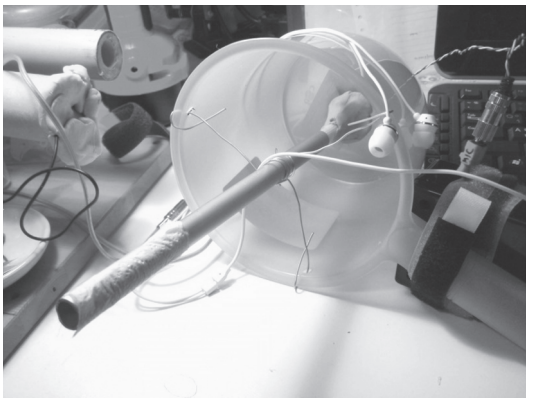
รูปที่ 9 แสดงต้นแบบแรก SS-P01 ของเครื่องดักฟังเสียงแบบใช้ท่อนำเสียง ซึ่งเป็นท่อเหล็กบางขนาด 0.75 นิ้ว ยาว 3 ฟุต และไมโครโฟนแบบ A ต่อเข้ากับวงจรขยายช่วยฟัง A ในการทดสอบเบื้องต้นไม่มีการดัดแปลงท่อแต่อย่างใด วงจรขยายและไมโครโฟนถูกสอดเข้าไปที่ปลายท่อและยึดติดชั่วคราวด้วยดินน้ำมัน เนื่องจากไม่มีการดัดแปลงให้สามารถดัก Running Waves ได้ SS-P01 มีปัญหาสัญญาณรบกวนในท่อ และสัญญาณรบกวนรอบข้าง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราขยายของวงจรขยายที่ใช้

รูปที่ 10 แสดงต้นแบบ SS-P02 ซึ่งทำจากท่อพีวีซีขนาด 0.5 และ 1.5 นิ้วเป็นแบบสองชั้นระหว่างท่อบุด้วยดินน้ำมันเพื่อป้องกันเสียงรอบข้าง ท่อทั้งสองมีความยาว 36 นิ้วและไมโครโฟนแบบ A ทำงานร่วมกับวงจรขยาย A และใช้หูฟังแบบ In-ear

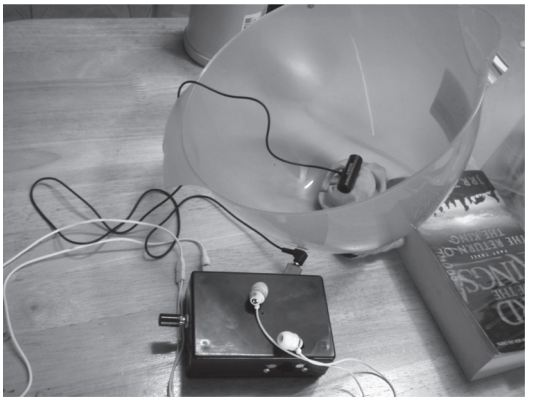


รูปที่ 9 ต้นแบบแรก SS-P01 ของเครื่องดักฟังเสียงแบบใช้ท่อนำเสียง ทำจากท่อเหล็กบางขนาด 0.75 นิ้ว ยาว 3 ฟุต และไมโครโฟนแบบ A

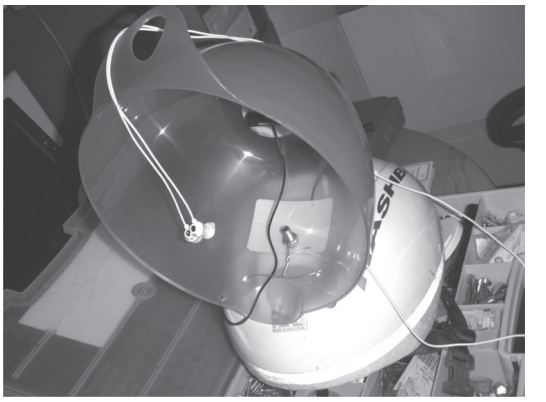
รูปที่ 10 ต้นแบบเครื่องดักฟังเสียง SS-P02 แบบใช้ท่อนำเสียงทำจากท่อพีวีซีขนาด 0.5 นิ้ว และ 1.5 นิ้ว และไมโครโฟนแบบ A



รูปที่ 11 ต้นแบบเครื่องดักฟังเสียง SS-PB01 แบบถ้วยรวมสัญญาณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ร่วมกับใช้ท่อนำเสียงทำจากท่ออะลูมิเนียมบางขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 9 นิ้ว เจาะช่องลด pipe resonance และไมโครโฟนแบบ A



รูปที่ 12 ต้นแบบเครื่องดักฟังเสียง SS-B01 แบบใช้ถ้วยพาราโบลิกรวมสัญญาณขนาด 9.5 นิ้วกับไมโครโฟนแบบ B



รูปที่ 13 ต้นแบบเครื่องดักฟังเสียง SS-B01 ติดตั้งบนหมวกขี่จักรยาน

รูปที่ 11-13 เป็นต้นแบบ SS-PB01, SS-B01 และ SS-B01 ติดตั้งกับหมวกขี่จักรยาน ในกลุ่มของต้นแบบนี้ใช้จานโฟกัสเสียงแบบพาราโบลิกและใช้ไมโครโฟนกับวงจรขยายต่างชนิดกันตามรายละเอียดในตารางที่ 4

3.2 การลดสัญญาณรบกวน

ไมโครโฟนสำหรับการดักฟังเสียงระยะไกลในทิศทางควบคุมไม่สามารถหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนพื้นหลัง หรือ background noise ได้ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวนในท่อนำเสียงที่เกิดจาก pipe resonance สามารถลดลงได้ด้วยเทคนิคง่ายตามที่กล่าวไว้ใน (7) นอกจากนั้นซอฟท์แวร์วิเคราะห์เสียงยังสามารถนำมาลดสัญญาณรบกวนในรูปแบบต่าง ๆ ของเสียงที่บันทึกไว้ อีกทั้งยังสามารถปรับแต่ง เช่น เพิ่มขนาดของสัญญาณให้สามารถได้ยินชัดเจนมากขึ้นได้ สำหรับในการทดลองขั้นต้นนี้ผู้วิจัยยังไม่ได้นำวงจรตัดสัญญาณรบกวนมาใช้สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณจากไมโครโฟนที่ผ่านวงจรขยายเสียงในรูปแบบต่าง ๆ ตามตารางที่ 2

4. ผลการทดลองและบทวิจารณ์

แผนการทดลองขั้นต้นของโครงการวิจัยนี้ทำการทดสอบกับต้นแบบจำนวน 4 แบบและอุปกรณ์ที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ 1 แบบ รายละเอียดของต้นแบบแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 4 ไมโครโฟนแบบ Shotgun (SS-H01) เป็นอุปกรณ์ฟังเสียงสำเร็จรูปที่มีมุมการรับฟังแคบได้ตามทิศทางที่ต้องการ ต้นแบบ SS-P02 สร้างขึ้นจากท่อพีวีซีสองชั้นขนาด 5/8 นิ้ว และขนาด 1.5 นิ้ว ซ้อนกันความยาว 36 นิ้ว โดยดัดแปลงจากการออกแบบใน (2) ช่องว่างระหว่างท่อทั้งสองอัดด้วยดินน้ำมันเพื่อลดการรบกวนของเสียงรอบข้าง

ตารางที่ 4 รายชื่อต้นแบบและรายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้

แบบ	วัสดุบังคับทิศ	ไมโครโฟน	วงจรขยาย
SS-P01[1]	A	A	A
SS-P021	C	A	A
SS-PB01[1,2]	B, D	A	A
SS-B01[2]	E	B	A
SS-H01	-	C	D

[1] รหัส P ใช้ท่อนำเสียงช่วยเลือกทิศทางของเสียง

[2] รหัส B ใช้จานพาราโบลิกโฟกัสเสียงในทิศทางที่ต้องการ

ผลการทดสอบขั้นต้นแสดงในตารางที่ 5 สัญญาณรบกวนแบบ I แสดงว่ามี internal noise ภายในท่อนำเสียง I- มีน้อย ส่วน I+ มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก S คือ surrounding noise เป็นสัญญาณรบกวนจากเสียงรอบข้างของผู้ฟัง S+ มีสัญญาณรบกวนมาก ส่วน S- มีสัญญาณรบกวนน้อยกว่า จากการทดสอบขั้นต้นนั้นแสดงให้เห็นว่าต้นแบบ SS-B01 ซึ่งใช้จานพาราโบลิกช่วยโฟกัสเสียงมีความง่ายในการสร้าง และมีประสิทธิภาพที่ดี อย่างไรก็ตามขนาดของจานโฟกัสเสียงอาจเป็นอุปสรรคต่อผู้ใช้ในสนาม

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบต้นแบบชนิดต่างๆ โดยใช้ต้นกำเนิดเสียงจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์

แบบ	สัญญาณรบกวน	ระยะ 20 ม.	ระยะ 40 ม.	ระยะ 80 ม.	ระยะ 160 ม.
SS-P01	I, S+	Ok+[2]	Ok[2]	N/A[4]	N/A
SS-P02	I, S+	Exc[1]	Ok	Poor[3]	N/A
SS-PB01	I, S+	Exc	Ok	Poor	N/A
SS-B01	I-, S-	Exc	Ok+	Ok	Poor
SS-H01	I+, S+	Exc	Ok	Poor	Poor

[1] Exc = excellent สามารถรับฟังเสียงได้ชัดเจนดีมากกว่าปกติ

[2] Ok = สามารถรับฟังเสียงได้ชัดเจนพอจับใจความได้

[3] Poor = สามารถรับฟังเสียงได้บ้างแต่จับใจความไม่ได้

[4] N/A = ไม่สามารถรับฟังเสียงได้

ผลการทดสอบในขั้นต้นได้ข้อสรุปว่าคุณภาพของไมโครโฟนและวงจรขยายมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการได้ยินเป็นอย่างมาก การบังคับทิศทางของเสียงด้วยจานโฟกัสเสียงมีประสิทธิภาพดีในการรับฟัง การใช้ท่อนำเสียงอาจก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนภายในท่อ การใช้หูฟังแบบ In-ear ดีกว่าการใช้หูฟังแบบอื่นๆ หรือการฟังจากลำโพงซึ่งอาจทำให้เกิดเสียงหอนหรือ Feedback ได้ การใช้จานสะท้อนแบบ พาราโบลิกช่วยเพิ่มคุณภาพของการได้ยินตามขนาดของจานและความยาวของท่อเสียงช่วยเพิ่มความเข้มของสัญญาณ Running Wave.

5. สรุป

โครงการวิจัยนี้นำเสนอข้อมูลทางเทคนิคและต้นแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกลซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในภาคสนามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองในขั้นต้นสามารถสรุปได้ดังนี้ 1) พบว่า

การใช้หูฟังแบบ In-ear นั้นมีประสิทธิภาพในการรับฟังที่ดีและมีราคาถูก โดยไม่ต้องใช้เครื่องขยายเสียงเพิ่มเติม 2) การควบคุมทิศทางของเสียงด้วยการใช้ท่อนำเสียงร่วมกับจานพาราโบลิก ช่วยเพิ่มระยะในการรับฟังได้อย่างน้อย 20 เมตร 3) วงจรขยายเสียงราคาถูกสามารถนำมาใช้งานได้ดีด้วยการดัดแปลงบางส่วนให้สามารถปรับเปลี่ยนส่วนประกอบได้ง่าย โครงการนี้อยู่ในระหว่างดำเนินการ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองในขั้นต้นแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการพัฒนาต้นแบบไปสู่อุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้ในปฏิบัติการข่าว การระวังป้องกัน รวมถึงการบันทึกหลักฐานการสนทนา สำหรับหน่วยปฏิบัติได้จริง ปัญหาสัญญาณรบกวนจากการดักฟังเวลากลางคืนหรือในที่ไม่ปกติยังอยู่ในระหว่างการวิเคราะห์หนทางแก้ไข ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนของเสียงแมลงในเวลากลางคืน เช่น เสียงจิ้งหรีด จักจั่น และเสียงรบกวนจากฝนตก เป็นต้น งานวิจัยในอนาคตจะทำการทดสอบเพิ่มเติมกับไมโครโฟนประเภทอื่น วงจรขยายแบบสเตอริโอ ออกแบบท่อนำเสียงเพิ่มเติม ทดสอบวงจรอัดเสียงสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการออกแบบแต่ละประเภท

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อสนับสนุนการวิจัย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ต้นฉบับของเอกสารนี้และรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้ (10)

เอกสารอ้างอิง

(1) Anonymous, *Acoustic Location and Sound Mirrors:* The Bacon experiments, http:// www.dself.dsl.pipex.com/MUSEUM/COMMS/ear/ear.htm

(2) Anonymous, *Long Range Directional Microphone Myth and Reality,* URL: http://www.scienceprog.com/long-range-directional-microphones-myth-and-reality

(3) *GoldWave,* โปรแกรมปรับแต่งเสียง (shareware), URL: http://www.goldwave.com

(4) *Open Source Audio Library Project,* URL: http://sourceforge.net/projects/osalp

(5) Takeo Kanamori et al, (1994) Stereo *ultradirectional microphone apparatus* (US patent), URL: http://www.google.com/patents? id=0DwbAAAAEBAJ&dq=shotgun+microphone

(6) Hiroshi Akino, (1998) *Narrow directional microphone* (US patent), URL: http://www.google.com/patents?id=iJs2A AAAEBAJ&dq=pipe+microphone

(7) Alan H. Purdy, (1999) *Acoustically Non-Resonant Pipe* (US Patent), URL: http://www.google.com/patents? id=gx4JAAAAEBAJ&dq=Acoustically+non-resonant+pipe

(8) Lee Hagey, (1983) *Directional Microphone* (US patent), URL: http://www.google.com/patents?id=BWU0AAAAEBAJ&dq=directional+microphone

(9) Schroeder et al., (1968) *Directional Microphone* (US patent), URL: http://www.google.com/patents? id=4EJ1AAAAEBAJ&dq=directional+microphone

(10) เว็บไซต์ของ *SoundSniffer,* URL: http://research.crma.ac.th

(11) David Mills-Hube และ Philip Williams, 1998, *Professional Microphone Techniques* (Mix Pro Audio Series), Hal Leonard ArtistPro

(12) John Eargle, (2005) *The Microphone Book,* Second Edition: From mono to stereo to surround - a guide to microphone design and application, Focal Press

(13) Wolfgang Herbordt, (2005) Sound *Capture for Human / Machine Interfaces:* Practical Aspects of Microphone Array Signal Processing (Lecture Notes in Control and Information Sciences), Springer

(14) George S.K. Wong และ Tony F.W. Embleton, (1995) *AIP Handbook of Condenser Microphones:* Theory, Calibration and Measurements (Modern Acoustics and Signal Processing), AIP Press