

การศึกษาการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะ
(The Study of DOA finding for Intelligent Microphone)

โดย

นายรัฐศาสตร์ ลายกนก รหัส B5212279

นายศรีณัฐ ท้าขวัญ รหัส B5220335

นายณัฐวุฒิ ชาวไร่ รหัส B5222049

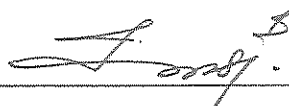
รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 และ 427494 โครงการวิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2555


การศึกษาการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะ

คณะกรรมการสอบโครงการงาน



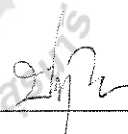
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจอกนอก)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงการวิศวกรรม โทรคมนาคม และรายวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2555

โครงการงาน	การศึกษาการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะ		
โดย	1. นายรัฐศาสตร์	ลายกนก	รหัส B5212279
	2. นายศรัญญู	ทำขวัญ	รหัส B5220335
	3. นายณัฐวุฒิ	ชาวไร่	รหัส B5222049
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. มนต์ทิพย์ภา อูทาสกุล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษา	1/2555 , 2/2555		

บทคัดย่อ

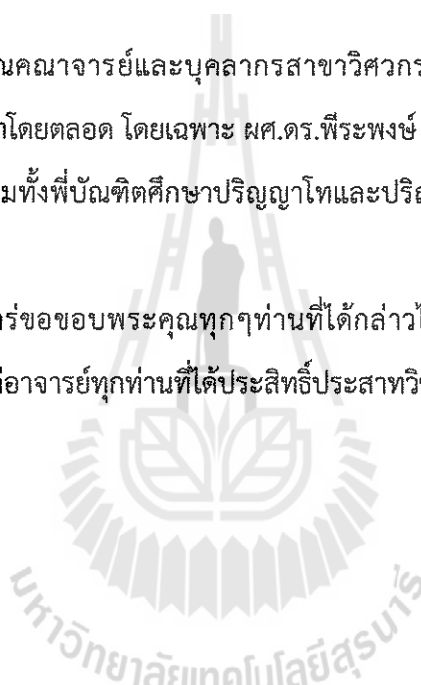
โครงการงานนี้เป็นการศึกษาการระบุทิศทางของเสียงด้วยไมโครโฟน ที่วางเรียงกันเป็นแถวลำดับ การศึกษาจะใช้หลักการพื้นฐานของการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณของสายอากาศแถวลำดับ สัญญาณเสียงที่รับได้จากไมโครโฟน จะถูกนำมาประมวลผลด้วยอัลกอริทึม MUSIC ด้วยโปรแกรม แมทแล็บ เพื่อหาตำแหน่งกำเนิดสัญญาณอยู่ในทิศทางใด

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มนต์ทิพย์ภา อูฑารสกุล ผู้ที่เป็นเจ้าของแนวคิดเริ่มแรกในการศึกษาการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการดูแลเอาใจใส่ติดตามงาน ชี้แนะข้อบกพร่องตลอดจนฝึกฝนและให้การสนับสนุนคณะผู้จัดทำให้มีความสามารถในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด โดยเฉพาะ ผศ.ดร.พีระพงษ์ อูฑารสกุล ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี รวมทั้งพี่บัณฑิตศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ให้คำปรึกษามาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ



นาย รัฐศาสตร์ ลายกนก

นาย ศรัญญู ทำขวัญ

นาย ณัฐวุฒิ ชาวไร่

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครโฟน	3
2.2.1 ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน	3
2.2.2 การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน	3
2.2.3 อิมพีแดนซ์ของไมโครโฟน	4
2.2.4 ทิศทางการรับสัญญาณของไมโครโฟน	5
2.2.4.1 ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้ทิศทางเดียว	5
2.2.4.2 ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้สองทิศทาง	5
2.2.4.3 ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้รอบทิศทาง	6
2.2.4.4 ไมโครโฟนแบบรับเสียงบริเวณด้านหน้ารูปหัวใจ	6
2.2.5 ชนิดของไมโครโฟน	7
2.2.5.1 ไดนามิคไมโครโฟน (dynamic microphone)	7
2.2.5.2 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน(condenser microphone)	7

สารบัญ(ต่อ)

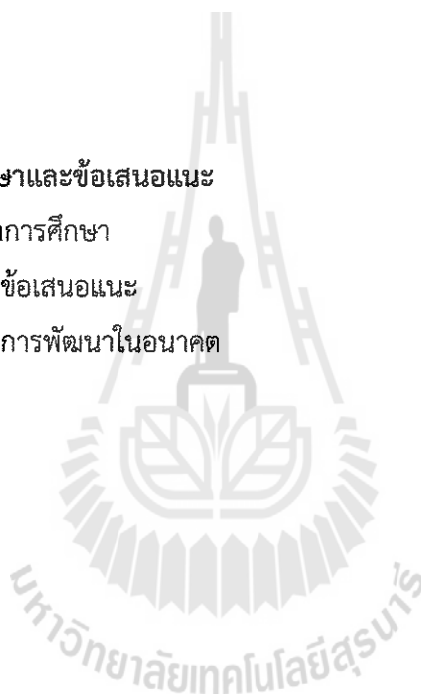
	หน้า
2.2.5.3 คริสตอลไมโครโฟน (crystal microphone)	8
2.2.5.4 คาร์บอนไมโครโฟน (carbon microphone)	8
2.2.5.6 เซรามิกไมโครโฟน (ceramic microphone)	8
2.2.5.7 ริบบอนไมโครโฟน (ribbon microphone)	8
2.3 สายอากาศแถวลำดับ	9
2.3.1 สายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้น	10
2.4 วงจรขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์	13
2.4.1 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ (bipolar transistor)	14
2.4.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (FET or MOSFET transistor)	14
2.4.3 การไบแอสทรานซิสเตอร์	15
2.4.3.1 การไบแอสแบบคงที่ (fixed biasing)	15
2.4.3.2 การไบแอสแบบป้อนกลับ (self biasing)	16
2.4.3.3 การไบแอสแบบสแตบิไลซ์ (stabilize biasing)	17
2.4.4 รูปแบบการต่อใช้งานของทรานซิสเตอร์	18
2.4.4.1 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม C-E (common - emitter)	18
2.4.4.2 วงจรเบสร่วม C-E (common - base)	18
2.4.4.3 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม C-C (Common – Collector)	19
2.5 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	19
2.5.1. การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์	19
2.5.2. การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์	21
2.5.2.1 การสุ่มตัวอย่าง	22
2.5.2.2 การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่าง ๆ	22
2.5.2.3 การเข้ารหัส	23
2.6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	24
2.6.1 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino328	24

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6.2 หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “Arduino Project”	26
2.7 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope	27
2.7.1 หน้าต่าง Oscilloscope	28
2.7.1.1 Amplitude settings	28
2.7.1.2 Timebase	28
2.7.1.3 Trigger	29
2.8 วิธี MULTiple Signal Classification (MUSIC) algorithm	29
2.9 สรุป	34
บทที่ 3 การจำลองผล	
3.1 กล่าวนำ	35
3.2 ทฤษฎีการสร้างสัญญาณ	35
3.2.1 การหามุมของการเลื่อนเฟส	35
3.2.2 การสร้างสัญญาณอินพุต	37
3.3 วิธีการสร้างสัญญาณ	38
3.4 วิธีการจำลองผล	38
3.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองผลในหลายกรณี	42
3.5.1 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนจำนวนไมโครโฟนในระบบ	43
3.5.2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์	48
3.5.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไมโครโฟน	52
3.6 สรุป	57
บทที่ 4 ชุดอุปกรณ์ต้นแบบและผลการทดสอบ	
4.1 กล่าวนำ	58
4.2 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์	58
4.2.1 ไมโครโฟนแก้วลำดับ	59
4.2.2 วงจรขยายสัญญาณ	61

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.3 วงจรรีเลย์สวิตช์	62
4.2.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	63
4.2.5 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope	64
4.2.6 โปรแกรมแมทแลบ	66
4.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองผลและการทดสอบจริง	69
4.4 สรุป	74
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปเนื้อหาการศึกษา	75
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	76
5.3 แนวทางในการพัฒนาในอนาคต	76
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก ก	78
ภาคผนวก ข	84
ภาคผนวก ค	88
ประวัติผู้เขียน	93



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟการตอบสนองความถี่ (frequency response charts) [1]	4
รูปที่ 2.2 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนในทิศทางเดียว [1]	5
รูปที่ 2.3 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนในสองทิศทาง [1]	6
รูปที่ 2.4 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนรอบทิศทาง [1]	6
รูปที่ 2.5 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนในทิศทางเดียวรูปหัวใจ [1]	6
รูปที่ 2.6 ไดนามิคไมโครโฟน [1]	7
รูปที่ 2.7 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน [1]	8
รูปที่ 2.8 ริปบอนไมโครโฟน [1]	9
รูปที่ 2.9 การวางตัวของสายอากาศแบบเชิงเส้นจำนวน $N \times 1$ ต้น [2]	10
รูปที่ 2.10 ทรานซิสเตอร์ (transistor) [2]	13
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ [2]	14
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า ชนิด JFET [2]	15
รูปที่ 2.13 วงจรไบอัสแบบคงที่ [2]	15
รูปที่ 2.14 วงจรไบอัสแบบป้อนกลับ [2]	16
รูปที่ 2.15 วงจรไบอัสแบบสเตบิไลซ์ [2]	17
รูปที่ 2.16 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม [2]	18
รูปที่ 2.17 วงจรเบสร่วม [2]	18
รูปที่ 2.18 วงจรเบสร่วม [2]	19
รูปที่ 2.19 PAM signal ของสัญญาณ 4 ช่อง [2]	20
รูปที่ 2.21 การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่างๆ (quantizing) [2]	22
รูปที่ 2.22 การเข้ารหัส (coding) [2]	24
รูปที่ 2.23 ตำแหน่งขาใช้งานต่างๆในบอร์ด Arduino328 [2]	24
รูปที่ 2.24 ตำแหน่งขาใช้งานต่างๆในบอร์ด Atmega328 [2]	26
รูปที่ 2.25 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope ขณะเปิดทำงานหน้าต่าง Oscilloscope [3]	27
รูปที่ 2.26 แผงทำงานฟังก์ชัน Amplitude setting [3]	28
รูปที่ 2.27 การวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณแบบวิธี MUSIC	32

สารบัญรูป(ต่อ)

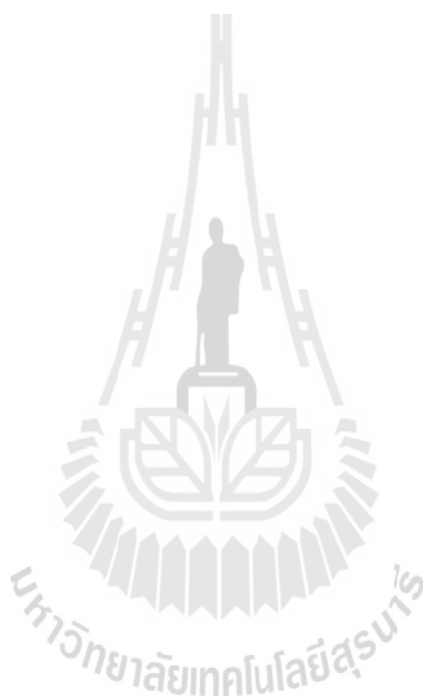
	หน้า
รูปที่ 2.28 (ก) เปรียบเทียบการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณระหว่างวิธี Delay and Sum วิธี Capon's และวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 90 และ 100 องศา	33
รูปที่ 2.28 (ข) เปรียบเทียบการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณระหว่างวิธี Delay and Sum วิธี Capon's และวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 90 และ 95 องศา	33
รูปที่ 3.1 ลักษณะของคลื่นที่เดินทางมาจากแหล่งกำเนิดซึ่งทำมุม θ	35
รูปที่ 3.2 เฟสที่ต่างกันของคลื่นที่มากระทบไมโครโฟนที่ตั้งห่างกันเป็นระยะ d	36
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการรันโปรแกรมแมทแลบเพื่อจำลองผลการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ ด้วยวิธี MUSIC	41
รูปที่ 3.4 การจำลองผลข้อมูลการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m และทำมุม 30° โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$	42
รูปที่ 3.5 การจำลองผลรูปแบบการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$	43
รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของไมโครโฟนแถวลำดับ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 32° ที่จำนวนไมโครโฟน (a) 4 ตัว (b) 6 ตัว (c) 8 ตัว (d) 10 ตัว	45
รูปที่ 3.7 ผลการระบุทิศทางด้วยวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 32° ที่จำนวนไมโครโฟน (a) 2 ตัว (b) 4 ตัว (c) 6 ตัว (d) 8 ตัว (e) 10 ตัว	47
รูปที่ 3.8 การจำลองผลรูปแบบการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ในระบบที่มีไมโครโฟน แถวลำดับ 4 ตัว โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$	48
รูปที่ 3.9 ผลการระบุทิศทางด้วยวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 47° ที่ระยะทางจากแหล่งกำเนิด (a) 0.5 m (b) 1 m (c) 1.4 m (d) 4 m	51
รูปที่ 3.10 การจำลองผลรูปแบบการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m ในระบบที่มีไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว	52
รูปที่ 3.11 การพิจารณาทิศทางที่พหุคลื่นเล็กมีผลต่อการระบุทิศทางการมาถึงของสัญญาณ	54
รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 85° ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (a) 0.25λ (b) 0.5λ (c) 0.75λ (d) λ	55

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 ผลการระบุนทิศทางด้วยวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 85° ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (a) 0.25λ (b) 0.5λ (c) 0.75λ (d) λ	56
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การหาทิศทางโดยไมโครโฟนอัจฉริยะ	58
รูปที่ 4.2 ข้อมูลจำเพาะของไมโครโฟน	59
รูปที่ 4.3 ไมโครโฟนแถวลำดับจำนวน 4 ตัว แต่ละตัวมีระยะห่างระหว่างกัน 8.65 เซนติเมตร	60
รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณ [4]	61
รูปที่ 4.5 ผลการตอบสนองระหว่างอัตราการขยายกับความถี่ [4]	61
รูปที่ 4.6 วงจรรีเลย์สวิตช์จำนวน 4 ช่องสัญญาณอินพุต	63
รูปที่ 4.7 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Atmega328	64
รูปที่ 4.8 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	65
รูปที่ 4.9 การตั้งค่าอัตราการซีกตัวอย่าง 44100 samples/sec	65
รูปที่ 4.10 การตั้งค่าตัวกรองแบบผ่านเพาะความถี่ในช่วงความถี่ 1990 Hz – 2010 Hz	66
รูปที่ 4.11 การแสดงค่าทิศทางที่คำนวณได้ออกทางจอ LCD	66
รูปที่ 4.12 การปรับตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร ที่มุม 90°	67
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ไมโครโฟนรับได้ที่ความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร มุม 90°	67
รูปที่ 4.14 สเปกตรัมกำลังแสดงทิศทางที่โปรแกรมแมทแลบคำนวณได้ของสัญญาณความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร ที่มุม 90°	68
รูปที่ 4.15 การแสดงค่าทิศทางที่โปรแกรมแมทแลบคำนวณได้ของสัญญาณความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร ที่มุม 90° ออกทางจอ LCD	68
รูปที่ 4.16 พื้นที่ทำการทดลองที่รองรับระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์ได้สูงสุด 3.6 เมตร	69
รูปที่ 4.17 การวางตำแหน่งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่อยู่ห่างออกไป 2.4 m ในมุมต่างๆ	70

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.18 การวางตำแหน่งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ ที่อยู่ห่างออกไป 3.6 m ในมุมต่างๆ	72



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนจำนวนไมโครโฟนในระบบ	44
ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์	49
ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไมโครโฟน ที่มุม 85°	53
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบมุมระหว่างการจำลองผลและการปฏิบัติที่ระยะทาง 2.4 เมตร ความถี่ 2 kHz	71
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบมุมระหว่างการจำลองผลและการปฏิบัติที่ระยะทาง 3.6 เมตร ความถี่ 2 kHz	73



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันไมโครโฟนมีมากมายหลายประเภทให้เลือกใช้กัน ในการใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของไมโครโฟนแต่ละประเภท แต่ไมโครโฟนนั้นก็ยังคงมีปัญหาอยู่มาก เช่น ประสิทธิภาพในการรับเสียงได้น้อยและไม่สามารถหาทิศทางของเสียงได้ ต้องวางไว้ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งปัญหาดังกล่าวทำให้ไมโครโฟนมีคุณภาพไม่เต็มที่ ดังนั้นจึงได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าว นั่นคือ การศึกษาการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะ เนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดลำคลื่นหลัก (main beam) ไปยังเสียงพูดได้ วิธีการนี้สามารถทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การศึกษากการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะสามารถทำได้โดยการนำไมโครโฟน 4 ตัววางต่อกันเป็นแถวลำดับ โดยวางเป็นแถวหน้ากระดานด้วยระยะห่างที่เท่าๆกัน ไมโครโฟนทำหน้าที่รับสัญญาณเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรม Soundcard Oscilloscope ซึ่งทำหน้าที่รับและแปลงสัญญาณเสียงในรูปอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัลและส่งต่อไปยังส่วนของการประมวลผลสัญญาณ ส่วนนี้จะทำหน้าที่วิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (Direction of Arrival : DOA) โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาทิศทางการเข้ามาของสัญญาณคือ Multiple Signal Classification (MUSIC) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแล้วยังไม่ซับซ้อนและใช้ในการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและแม่นยำที่สุด

ดังนั้นโครงงานนี้ได้นำเสนอการระบุทิศทางของเสียง โดยใช้ไมโครโฟนวางต่อกันเป็นแถวลำดับ โดยวางเป็นแถวหน้ากระดานด้วยระยะห่างที่เท่ากัน ซึ่งระบบสามารถทำให้เกิดรูปลำคลื่นหลัก (main beam) ไปยังทิศทางของเสียงที่ต้องการได้ จากนั้นรับสัญญาณเสียงมาประมวลผลวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณด้วยวิธี MUSIC แล้วแสดงผลทางโปรแกรมแมทเพล

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบสร้างชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบุทิศทางของสัญญาณเสียง โดยใช้ไมโครโฟนที่เรียงต่อกันเป็นแถวลำดับ

1.3 ขอบเขตงาน

1.3.1 ศึกษาและพัฒนาการใช้ไมโครโฟนรับสัญญาณเสียงเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากไมโครโฟนแต่ละตัว

1.3.2 ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมเพื่อหาทิศทางโดยใช้ DOA ในการคำนวณหาทิศทางของเสียง

1.3.3 ศึกษาและพัฒนา Microcontroller ให้ออกคำสั่งในการเก็บข้อมูลจากไมโครโฟนแต่ละตัวอย่างเป็นลำดับและทำงานอย่างเป็นอัตโนมัติ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบสายอากาศเก่งและหาแนวทางปรับใช้กับระบบไมโครโฟนอัจฉริยะ

1.4.3 ศึกษาการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณเสียง

1.4.4 ศึกษาการใช้โปรแกรมแมทแลปและโปรแกรม Soundcard Oscilloscope

1.4.5 ใช้โปรแกรมแมทแลปในการจำลองผลการระบุทิศทางของสัญญาณเสียงด้วยวิธี MUSIC

1.4.6 ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการระบุทิศทางของสัญญาณเสียง เพื่อนำไปใช้ทดสอบจริง

1.4.7 วิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการจำลองแบบและผลที่ได้จากการวัดจริงของระบบต้นแบบ

1.4.8 สรุปผลการทดลอง เขียนรายงานและนำเสนอโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมแมทแลปและโปรแกรม Soundcard Oscilloscope และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงการได้

1.5.2 มีความรู้เกี่ยวกับ Microcontroller และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกี่ยวข้องกับหัวข้อโครงการได้

1.5.3 มีความรู้เกี่ยวกับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

1.5.4 สามารถนำชุดอุปกรณ์การวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณเสียงได้

1.5.5 สามารถแก้ปัญหาจากการปฏิบัติงานจริง เช่น การแก้ปัญหาต่างๆและการทำงาน

เพิ่มเติม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ชุดอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการระบุทิศทางของสัญญาณเสียง ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ อุปกรณ์ภาครับสัญญาณและตัวประมวลผลสัญญาณ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหน้าที่ของอุปกรณ์แต่ละส่วน เช่น ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครโฟน สายอากาศแถวลำดับ (antenna array) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรม Soundcard Oscilloscope เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีของระบบไมโครโฟนอัจฉริยะ จะเน้นไปในส่วนของการวิเคราะห์หาทิศทางของสัญญาณเสียงโดยใช้วิธี MUSIC และจะได้กล่าวถึงในบทนี้

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับไมโครโฟน

เมื่อทำการซื้อไมโครโฟนจำนวนมาก ส่วนใหญ่มักจะมองข้าม การอ่านสิ่งที่เขียนไว้ว่า ข้อมูลจำเพาะ (spec) ซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญ ในการทำให้ใช้งานไมโครโฟน ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

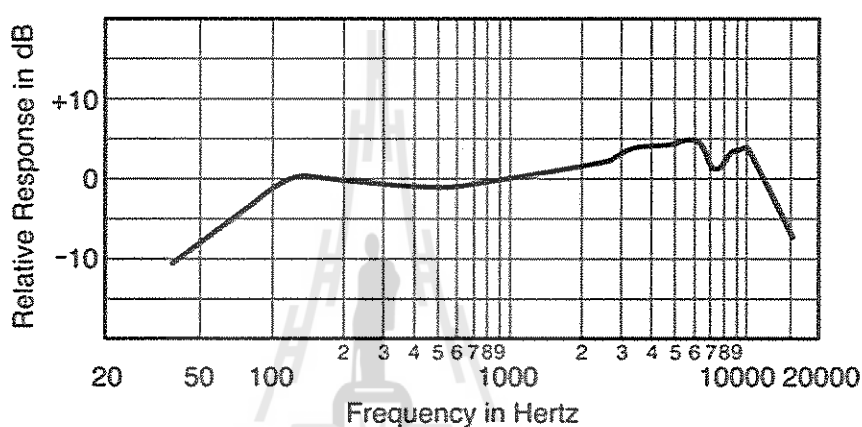
2.2.1 ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน

ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน (sensitivity) คือความสามารถในการรับความแรงของคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงจากระยะ ทางไกลไกลต่าง ๆ กันนั่นเอง ไมโครโฟนที่มีความไวสูง จะสามารถรับเสียงเบาๆ และอยู่ไกลออกไปได้ ไมโครโฟนความไวต่ำต้องป้อนคลื่นเสียงดังๆ และใกล้ๆ มีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel: dB) โดยวัดจากสัญญาณที่ได้ออกจากไมโครโฟนผ่านไปเข้าเครื่องขยายเสียง เช่น -90 dB -60dB -45dB เป็นต้น ค่าติดลบมาก จะมีความไวกว่า ค่าติดลบน้อย เช่น -90dB มีความไวต่ำกว่า -60dB เป็นต้น

2.2.2 การตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน

ผลในการตอบสนองความถี่ของเสียง (frequency response) คือความสามารถของไมโครโฟนในการรับความถี่ของคลื่นเสียงได้กว้างและมีความเรียบมากน้อย ซึ่งไมโครโฟนแต่ละชนิดก็จะออกแบบมาเพื่อใช้ในลักษณะงานต่างๆกัน ฉะนั้น จึงมีความสามารถในการตอบสนองความถี่ต่างๆกัน มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz: Hz) เช่น ไมโครโฟน สำหรับพูดในที่ชุมนุมชน ประกาศ สั่งงาน การเรียนการสอนในห้องเรียน จะใช้ช่วงการตอบสนองความถี่ต่ำๆและแคบๆก็พอ เช่น 300-5,000 เฮิรตซ์ แต่ถ้าต้องการคุณภาพของเสียงเรียบและแยกความถี่ได้กว้างขึ้น ควรอยู่ในช่วง 70-10,000 เฮิรตซ์ ถ้าต้องการคุณภาพของเสียงที่ดีเยี่ยมนอกจากเสียงพูดแล้วยังมีเสียงดนตรีด้วย ควรต้องใช้ไมโครโฟนที่ให้ผลตอบสนองความถี่ที่กว้างและเก็บความถี่ได้ละเอียด ยิ่งขึ้น ควรอยู่ในช่วง 50-

15,000 เฮิรตซ์ แต่ราคาก็จะค่อนข้างแพงตามคุณภาพไปด้วย แต่ในความเป็นจริงไม่มีไมโครโฟนใดสามารถตอบสนองได้ทุกความถี่ ดังนั้นเราจึงพิจารณาไมโครโฟนที่สามารถตอบสนองช่วงความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยินนั่นคือช่วงความถี่ 20 - 20kHz ซึ่งการตอบสนองความถี่ที่ดีนั้นควรตอบสนองได้อย่างสม่ำเสมอเท่ากันทุกความถี่ ในช่วงระยะระหว่างความถี่ 20 - 20kHz โดยที่ไม่มีความถี่ใดถูกลดทอน ไม่ถูกตอบสนอง หรือถูกขยายการตอบสนองให้เกินจริง กราฟแสดงการตอบสนองต่อความถี่ของไมโครโฟนนั้นควรจะเป็นรูปเรียบแบน ในช่วงความถี่ที่เราต้องการ ดังรูปดังรูปที่ 2.1 โดยที่แกนตั้งเป็นการตอบสนองของไมโครโฟนในหน่วยเดซิเบล(dB) ส่วนแกนนอนเป็นค่าความถี่ต่างๆของเสียงมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz: Hz)



Typical Frequency Response

รูปที่ 2.1 ตารางการตอบสนองความถี่ (frequency response charts) [1]

2.2.3 อิมพีแดนซ์ของไมโครโฟน

อิมพีแดนซ์ (impedance) ของไมโครโฟน คือ ความต้านทานของตัวไมโครโฟน โดยจะเป็นความต้านทานที่วัดจากไฟกระแสสลับ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. อิมพีแดนซ์สูง หรือมีค่าความต้านทานสูง (high impedance) จะมีค่าอยู่ในช่วง 5 ,10 ,50 หรืออาจถึง 100 กิโลโอห์ม ($K\Omega$) จะให้กำลังของสัญญาณออกมาต่ำ (low power output) มีเสียงรบกวนได้ง่าย เช่นเสียงฮัม ยิ่งถ้าต่อสายยาวๆ หรือเกินกว่า 25 ฟุต ก็ยิ่งทำให้สูญเสียกำลังของสัญญาณมากขึ้น คุณภาพของเสียงจะลดลงด้วย ใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงโดยต่อที่ช่อง high impedance

2. อิมพีแดนซ์ต่ำ หรือมีค่าความต้านทานต่ำ (low impedance) มีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 200 ถึง 600 โอห์ม ซึ่งมีคุณภาพดีให้กำลังของสัญญาณออกมาสูง (high power output) ไม่มีเสียงรบกวนสามารถใช้กับสายยาวๆได้ แต่จะมีความไวในการรับเสียงต่ำใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงที่ช่อง low impedance

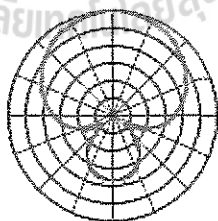
ไม่เพียงแต่ไมโครโฟนเท่านั้นที่มีค่าอิมพีแดนซ์ แต่อุปกรณ์อื่นๆที่ไมโครโฟนไปต่อด้วยก็มีเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น mixer ควรจะดูที่ขั้วด้วยว่า ค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกันหรือไม่ แต่ต้องเข้าใจว่า ค่าอิมพีแดนซ์ของเครื่อง mixer ก็ไม่ได้ใช้ความหมายเดียวกับไมโครโฟน เพราะฉะนั้นไมโครโฟนที่มี อิมพีแดนซ์ต่ำ ควรจะต่อกับเครื่องที่มีค่า อิมพีแดนซ์เท่ากันหรือสูงกว่า จึงจะดี ถ้านำไปต่อกับเครื่องที่มีค่า อิมพีแดนซ์ที่ต่ำกว่า จะทำให้สูญเสียความแรงของสัญญาณลงไป ในบางครั้งก็จะมีการใช้เครื่องที่เรียกว่า line matching transformer ในการแปลงค่าอิมพีแดนซ์ให้ใกล้เคียงกัน หรืออาจจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า D.I. Box ก็ได้

2.2.4 ทิศทางการรับสัญญาณของไมโครโฟน

ทิศทางการรับสัญญาณของไมโครโฟน หมายถึง รูปแบบที่ไมโครโฟนสามารถรับสัญญาณได้ แต่ละแบบมีคุณสมบัติในการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆ คือ

2.2.4.1 ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้ทิศทางเดียว

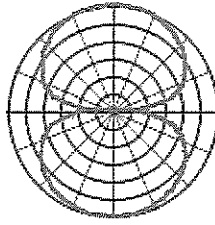
ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้ทิศทางเดียว (unidirectional microphone) รับเสียงได้ทิศทางเดียวคือด้านหน้า มีมุมรับเสียงค่อนข้างแคบ เหมาะที่จะนำไปใช้สำหรับการบรรยาย การบันทึกเสียงวงดนตรี หรือที่ที่ผู้พูดอยู่ด้านหน้าไมโครโฟน ช่วยกันเสียงรบกวนได้เป็นอย่างดี ซึ่งลักษณะการรับแบบนี้ บางแห่งจะใช้ศัพท์เฉพาะอีกว่า Hyper cardioid ตามรูปที่ 2.2 ไมโครโฟนชนิดนี้รับเสียงได้ดีมากในด้านหน้าและแคบ ส่วนด้านข้างและด้านหลังจะรับเสียงไม่ค่อยดี รูปร่างของไมโครโฟนที่มีรูปแบบรับสัญญาณประเภทนี้จะสังเกตได้ง่ายคือ มีความยาวของตัวไมโครโฟนค่อนข้างมาก บางครั้งก็เรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า ไมโครโฟนแบบ shotgun



รูปที่ 2.2 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนในทิศทางเดียว [1]

2.2.4.2 ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้สองทิศทาง

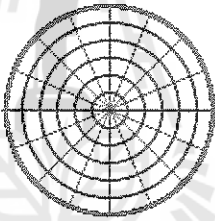
ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้ 2 ทิศทาง (bidirectional microphone) รับเสียงได้ 2 ทิศทางที่อยู่ตรงข้ามกัน บางครั้งจะใช้ศัพท์ว่า figure of eight ตามรูปที่ 2.3 ไมโครโฟนชนิดนี้รับสัญญาณเสียงได้ดีทั้งด้านหน้าและด้านหลังเท่ากัน แต่ด้านข้างจะรับสัญญาณเสียงไม่ค่อยดี



รูปที่ 2.3 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนในสองทิศทาง [1]

2.2.4.3 ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้รอบทิศทาง

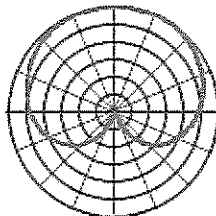
ไมโครโฟนแบบรับเสียงได้รอบทิศทาง (omnidirectional microphone) รับเสียงได้รอบทิศทาง โดยมีความไวในการรับเสียงเท่าๆกัน ตามรูปที่ 2.4 ไมโครโฟนชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในการแสดงบนเวที แต่มีข้อเสียคือ เสียงจะเข้ารอบทิศทาง ป้องกันสัญญาณย้อนกลับ (feed back) ได้ยาก หรือเกิดเสียงหอนได้ง่ายนั่นเอง มักนิยมใช้ในสถานการณ์ที่ต้นกำเนิดของเสียงเคลื่อนที่อยู่เสมอโดยที่ไมโครโฟนอยู่กับที่ มักนิยมใช้ไมโครโฟนประเภทนี้ในการรับเสียงธรรมชาติ สภาพแวดล้อมต่างๆที่อยู่รอบตัว



รูปที่ 2.4 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนรอบทิศทาง [1]

2.2.4.4 ไมโครโฟนแบบรับเสียงบริเวณด้านหน้ารูปหัวใจ

ไมโครโฟนแบบรับเสียงบริเวณด้านหน้ารูปหัวใจ (cardioid microphone) รับเสียงได้ทิศทางเดียว แต่สามารถรับเสียงได้เป็นมุมกว้าง รับสัญญาณเสียงได้ดีในด้านหน้าของไมโครโฟน แต่จะด้อยลงในทางด้านข้าง คล้ายรูปหัวใจหรือโบโลลิ่ง ตามรูปที่ 2.5 นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน สำหรับไมโครโฟนที่ถือด้วยมือ



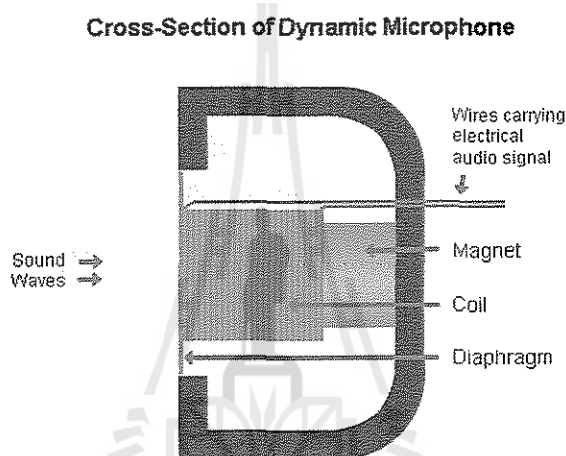
รูปที่ 2.5 รูปแบบการรับสัญญาณของไมโครโฟนในทิศทางเดียวรูปหัวใจ [1]

2.2.5 ชนิดของไมโครโฟน

ไมโครโฟนสามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพได้ 6 ประเภทใหญ่ๆคือ

2.2.5.1 ไดนามิกไมโครโฟน (dynamic microphone)

ไมโครโฟนแบบนี้มีคุณสมบัติทำงานกลับกันกับลำโพงไดนามิก โดยที่เมื่อเสียงกระทบแผ่นไดอะแฟรม แผ่นไดอะแฟรมจะเคลื่อนเข้า-ออก ตรงท้ายไดอะแฟรมมีขดลวดซึ่งค้ำพิททางเทคนิคเรียกว่า Voice Coil ขดลวดนี้จะเคลื่อนที่ติดกับเส้นแรงแม่เหล็กถาวรรูปตัว E ดังรูปที่ 2.6 การที่ขดลวดเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดสัญญาณไฟสลับซึ่ง มีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นเสียงที่กระทบไดอะแฟรม

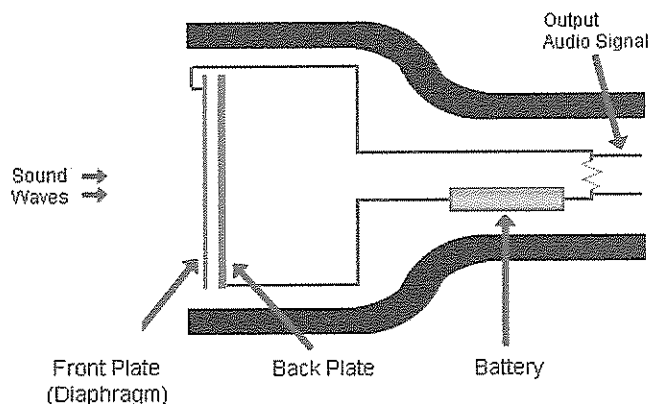


รูปที่ 2.6 ไดนามิกไมโครโฟน [1]

ไมโครโฟนแบบไดนามิกนี้นิยมใช้กันมากและใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีความทนทานพอควร คุณภาพเสียง การตอบสนองความถี่และกำลังออก อยู่ในเกณฑ์ดีการเก็บรักษาไมโครโฟนชนิดนี้จะต้องเก็บไว้ให้ห่างจาก สนามแม่เหล็ก เส้นเทปบันทึกเสียง เครื่องบันทึกเสียง และลำโพง

2.2.5.2 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (condenser microphone)

คอนเดนเซอร์หรือ คาร์ปาซิเตอร์ไมโครโฟน เป็นไมโครโฟนอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้พอกับไดนามิกไมโครโฟน คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนต้องมีไฟเลี้ยงจ่ายให้อยู่ตลอดเวลาที่มีการใช้งานซึ่งอยู่ระหว่าง 9-48 โวลต์ที่มาจากแบตเตอรี่ที่บรรจุเข้าไปในตัวไมโครโฟน หรือจาก มิกเซอร์โดยผ่านทางสายไมโครโฟน ตามรูปที่ 2.7 หลักการทำงานคือ เมื่อมีการเคลื่อนไหวเข้าใกล้และห่างออกจากกันระหว่างไดอะแฟรมกับแบคเพลท (back plate) โดยแบคเพลทจะอยู่กับที่และส่วนที่เป็นไดอะแฟรมจะเคลื่อนไหวตามเสียงที่เข้ามา จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติทางประจุไฟฟ้าและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดเล็กมาก ซึ่งจะถูกนำไปขยายโดยภาคขยายเล็กๆ ซึ่งซ่อนอยู่เพื่อขยายสัญญาณและเพื่อแยกค่าอิมพีแดนซ์ของไมโครโฟนออกจากค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่ำที่ตัวไมโครโฟนต่ออยู่



รูปที่ 2.7 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน [1]

คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนมีคุณสมบัติทางเสียงที่ดีเหมือนธรรมชาติ ใช้กับงานที่ต้องการการตอบสนองชั่วขณะ (transient) เช่น เครื่องดนตรีที่เป็นพวกเครื่องกระทบ (percussion) และนิยมใช้กันมากในห้องบันทึกเสียง และงานทั่วไป ความทนทานจะสู้ไดนามิกไมโครโฟนไม่ได้ วัตถุประสงค์เสียหายเมื่อมีการกระทบของเสียง การกระทบกระเทือนอย่างแรง และสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ราคาจะสูงกว่าไดนามิกไมโครโฟน

2.2.5.3 คริสตัลไมโครโฟน (crystal microphone)

ใช้แร่คริสตัลเป็นตัวสั่นสะเทือน ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ไมโครโฟนชนิดนี้ไม่ทนต่อสภาพของอุณหภูมิและความชื้น ราคาถูก ไมโครโฟนชนิดนี้ให้กำลังไฟฟ้าออกมาสูง และสามารถรักษาสภาพสัญญาณได้ดีจึงไม่ต้องอาศัยหม้อแปลง (transformer) ในตัวของไมโครโฟนช่วยแต่อย่างใด สามารถส่งสัญญาณไปยังเครื่องขยายเสียงได้โดยตรง สามารถใช้สายไมโครโฟนต่อยาวออกไปได้ไม่เกิน 25 ฟุต เพราะถ้าพ่วงสายยาวกว่านี้จะทำให้มีสัญญาณอื่นมารบกวนได้และทำให้สัญญาณจากไมโครโฟนอ่อนลงมาก

2.2.5.4 คาร์บอนไมโครโฟน (carbon microphone)

ทำจากผงถ่าน คุณภาพไม่ค่อยดี นิยมใช้กับเครื่องรับโทรศัพท์

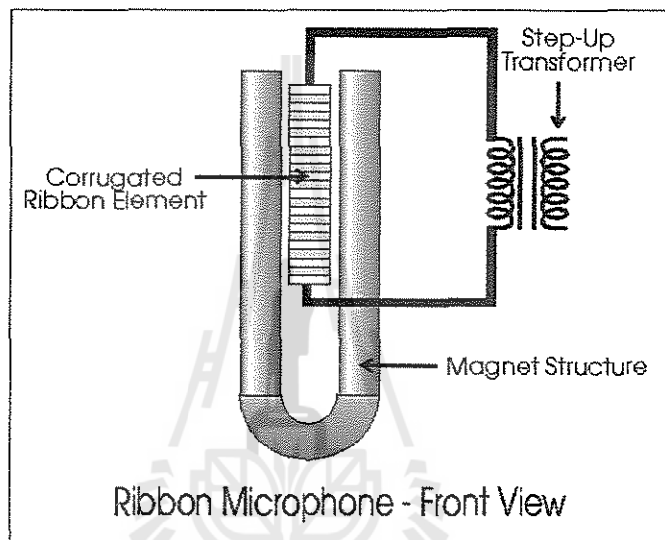
2.2.5.6 เซรามิกไมโครโฟน (ceramic microphone)

คล้ายแบบคริสตัล แต่มีความทนทานสูงกว่า นิยมใช้ติดตั้งกับเครื่องยานพาหนะ

2.2.5.7 ริบบอนไมโครโฟน (ribbon microphone)

ใช้แผ่นอลูมิเนียมเบา บางคล้ายกับริบบิ้น จึงต้องอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวรกำลังสูง เมื่อคลื่นเสียงมากระทบกับแผ่นอลูมิเนียม จะสั่นสะเทือนและเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ตามรูปที่ 2.8 ไมโครโฟนชนิดนี้จะมีราคาแพง มีคุณภาพดีมาก มีความไวสูง เป็นไมโครโฟนที่บอบบาง เสียง่ายไม่มีไดอะแฟรม

การทำงานอาศัยการสั่นสะเทือนของแผ่นริบบอน มีลักษณะบางเบา และขึงตึงอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวรกำลังสูงและจะทำงานทันทีเมื่อได้รับการ สั่นสะเทือนเป็นไมโครโฟนที่มีคุณภาพสูงและควบคุมสัญญาณได้ดีที่สุด (highest fidelity) แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กันมาก เพราะมีข้อเสียคือ ไม่เหมาะต่องานสถานที่ แม้แต่เสียงลมพัดก็จะรับเสียงเอาไว้หมดอาจแก้ไขได้โดยใช้วัสดุกันลม เป็นกระบอกฟองน้ำสวมครอบแต่ก็ไม่ได้ผลนัก นอกจากนี้ยังมีปัญหาอื่นๆ อีก เช่น สัญญาณไฟฟ้าที่ได้ออกมาค่อนข้างต่ำ ต้องใช้เครื่องขยายเสียงที่มีกำลังแรง และ คุณภาพสูง ถ้าพูดใกล้มาก เสียงลมหายใจจะกลบเสียงที่พูด ไมโครโฟนชนิดนี้ไม่นิยมใช้นอกสถานที่ มักพบในสถานีส่งวิทยุ โทรทัศน์และบันทึกเสียง



รูปที่ 2.8 ริบบอนไมโครโฟน [1]

2.3 สายอากาศแถวลำดับ

เนื่องจากไมโครโฟนมีลักษณะการทำงานคล้ายกับสายอากาศในขณะที่ทำงานเป็นภาครับ ทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับจึงสามารถใช้อ้างอิงและอธิบายการทำงานของไมโครโฟนแถวลำดับได้

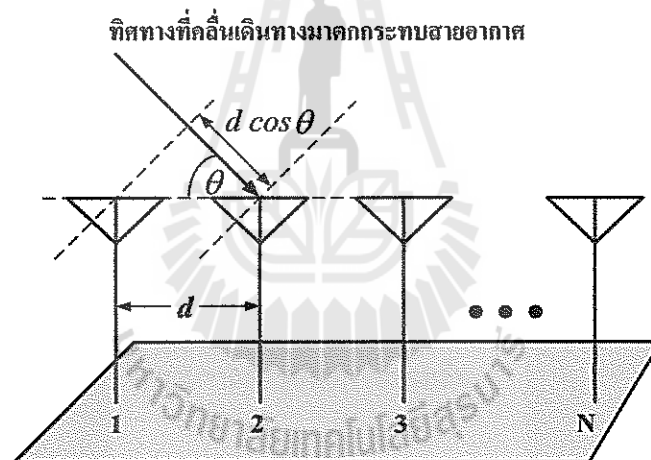
สายอากาศแถวลำดับ คือ การนำสายอากาศมาเรียงตัวกันในรูปแบบต่างๆ โดยมีระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละตัวที่เท่ากันหรือไม่ก็ได้ ซึ่งสายอากาศแต่ละตัวที่นำมาจัดเรียงให้เป็นแถวลำดับนั้น เรียกว่า องค์ประกอบ (element) สายอากาศแถวลำดับนั้นถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากในระบบสายอากาศแก่ที่ทำให้สามารถหันลำคลื่นหลัก (main lobes) ไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ และสามารถหันพู่ข้างหรือจุดศูนย์ (nulls) ไปยังทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ส่งผลให้ระบบสามารถเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าอัตราขยายของสายอากาศได้ โดยทั่วไปการวางตัวของสายอากาศแถวลำดับมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน แต่วิธีที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นก็คือสายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้น (linear arrays) และสายอากาศแถวลำดับแบบเชิงระนาบ (planar arrays) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 สายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้น

สายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้นเป็นสายอากาศแถวลำดับที่มีการเรียงตัวกันของสายอากาศแต่ละต้นเป็นแนวเส้นตรง ซึ่งถือว่าเป็นสายอากาศแถวลำดับแบบพื้นฐาน และมีโครงสร้างที่เรียบง่ายที่สุด การวางตัวสายอากาศของสายอากาศแถวลำดับจำเป็นต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างสายอากาศ (d) ขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบนั้นด้วย เนื่องจากระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบนั้นจะส่งผลต่อการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยทั่วไประยะห่างที่ใช้ของสายอากาศแต่ละต้นจะวางตัวห่างกันเป็นระยะครึ่งความยาวคลื่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) ดังนี้

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (2.1)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่น



รูปที่ 2.9 การวางตัวของสายอากาศแบบเชิงเส้นจำนวน $N \times 1$ ต้น [2]

รูปที่ 2.9 แสดงสายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้นจำนวน N ต้นหรือ $N \times 1$ ต้น กำหนดให้ระยะห่างของสายอากาศแต่ละต้นมีระยะที่เท่ากัน และมีแอมพลิจูดเท่ากัน โดยที่สายอากาศแต่ละต้นที่ถัดมาจากต้นแรกหรือต้นอ้างอิงจะมีค่าเฟสที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นก่อนหน้า รูปแบบดังกล่าวนี้เรียกว่า แถวลำดับสม่ำเสมอ (uniform array) โดยอ้างอิงจากหนังสือของ Frank, B.G., Ph.D. (2005) ซึ่งเราสามารถหาค่าพลังงานของสายอากาศแถวลำดับนี้ได้จากการคูณกันของค่าพลังงานของสายอากาศต้นเดียวที่จุดอ้างอิงกับตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor: AF) ในการหาตัวประกอบแถวลำดับนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$AF = 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.2)$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta)} \quad (2.3)$$

ซึ่งสามารถเขียนได้อีกรูปหนึ่งดังสมการที่ (2.4)

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi} \quad (2.4)$$

เมื่อ $\psi = kd \cos \theta + \beta$ โดยที่ k คือหมายเลขคลื่น (wave number) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{2\pi}{\lambda}$ ค่า d คือระยะห่างระหว่างสายอากาศแต่ละต้น θ คือมุมของคลื่นที่เดินทางมาตกกระทบบนสายอากาศแต่ละต้น และ β คือความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้น หรือแม้กระทั่งในกรณีที่เป็นแถวลำดับไม่สม่ำเสมอ (non-uniform array) นั้น ก็ยังสามารถใช้สมการหาตัวประกอบแถวลำดับที่กล่าวมาข้างต้นได้เช่นกัน และจากสมการ (2.4) เราสามารถลดรูปสมการได้ดังนี้

$$(AF)e^{j\psi} = e^{j\psi} + e^{j2\psi} + e^{j3\psi} + \dots + e^{j\psi(N-1)} + e^{jN\psi} \quad (2.5)$$

แทนสมการ (2.4) ลงใน (2.5) จะสามารถลดรูปสมการลงเหลือ

$$(AF)(e^{j\psi} - 1) = (-1 + e^{jN\psi}) \quad (2.6)$$

ทำการย้ายข้างและจัดรูปสมการจะได้

$$AF = \left[\frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} \right]$$

$$AF = e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[\frac{e^{j(N/2)\psi} - e^{-j(N/2)\psi}}{e^{j(1/2)\psi} - e^{-j(1/2)\psi}} \right]$$

$$AF = e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.7)$$

เมื่อกำหนดให้จุดอ้างอิงอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของสายอากาศแถวลำดับ จะได้ระยะห่างของสายอากาศ $d = 0$ และ $\beta = 0$ จะได้ $\psi = kd\cos\theta + \beta = 0$ ดังนั้นสมการที่ (2.7) จะสามารถลดรูปลงได้เท่ากับ

$$AF = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.8)$$

จะเห็นว่า ψ ถือว่ามีค่าน้อยมากๆ ดังนั้นเราสามารถประมาณค่าสมการได้เท่ากับ

$$AF \cong \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{N}{2}\psi} \right] \quad (2.9)$$

เมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของสมการที่ (2.8) และ (2.9) จะมีค่าเท่ากับ N เพื่อกำหนดให้ค่าสูงสุดของแต่ละสมการมีค่าเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นสมการมาตรฐานของตัวประกอบแถวลำดับคือ

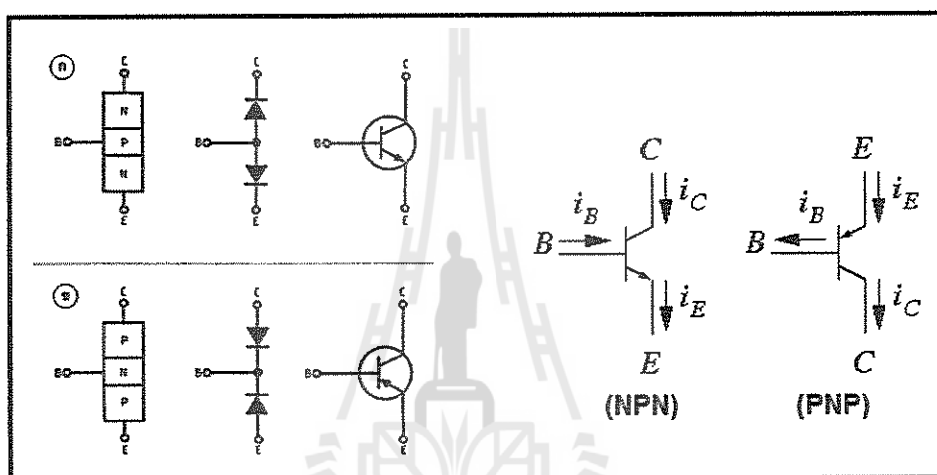
$$(AF)_n \cong \frac{1}{N} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.10)$$

หรือ

$$(AF)_n \cong \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{N}{2}\psi} \right] \quad (2.11)$$

2.4.1 ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์(bipolar transistor)

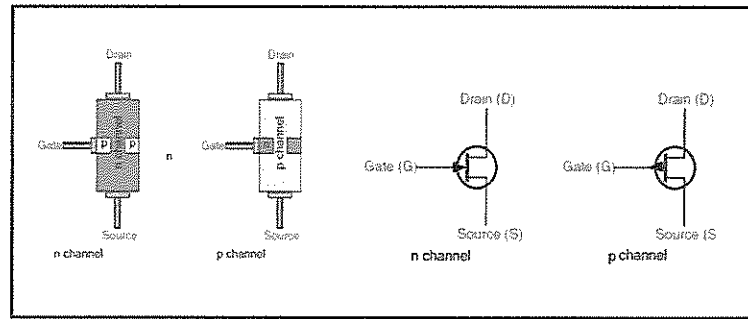
ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะมีโครงสร้าง 2 แบบ คือ แบบ NPN และ PNP การที่เรียกชื่อแบบนี้เพราะโครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์ถูกผลิตขึ้นแบบนี้ ดังนั้นในการเลือกใช้งาน ทรานซิสเตอร์ต้องเลือกใช้งานให้ถูกต้องด้วยขาของทรานซิสเตอร์มี 3 ขา และมีชื่อเรียกคือ ขาเบส (B) ขาคอลเลคเตอร์ (collector: C) และ ขาอีมิเตอร์ (emitter: E) โดยแสดงดังรูปที่ 2.11 พื้นฐานในการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะทำงานได้ ต่อเมื่อมีกระแสไหลเข้ามาที่ขาเบส (base: B) เท่านั้นหากไม่มีกระแสไหลเข้ามาทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ [2]

2.4.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (FET or MOSFET transistor)

ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้ามีการทำงานคล้ายกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ แบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิดคือ JFET (junction FET) และ MOSFET (metal oxide semiconductor FET) แต่ละชนิดยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 แบบ คือ แบบ n-channel และแบบ p-channel สิ่งที่แตกต่างกันกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์คือการจ่ายไบอัสให้วงจรทำงาน ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าจะทำงานได้ ต่อเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเข้ามาที่ขาเกต (gate: G) เท่านั้นหากไม่มีแรงดันไฟฟ้าเข้ามาทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะชนิด JFET แบบ n-channel และแบบ p-channel เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างกับทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.12



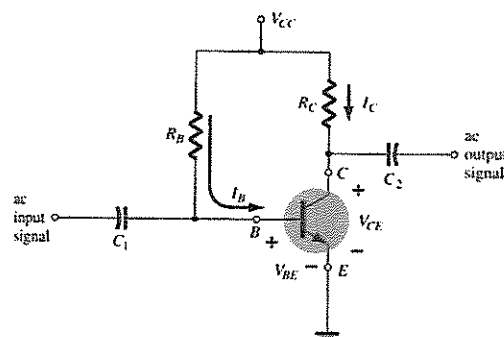
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า ชนิด JFET [2]

2.4.3 การไบแอสทรานซิสเตอร์

การไบแอส (biasing) หมายถึงการกำหนดค่าแรงดันและกระแสทางไฟฟ้ากระแสตรงให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ทำงานตามต้องการ เมื่อนำเอาทรานซิสเตอร์ไปใช้งานจริงแล้ว จะพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นคือ ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะมีคุณสมบัติและจุดทำงานที่แตกต่างกันออกไป ถ้าให้กระแสมากเกินไปก็อาจทำถึงจุดคัทออฟได้ ปัญหาอีกอย่างหนึ่งคือเวลาใช้งานเมื่อทรานซิสเตอร์แต่ละตัวต้องการกระแสไม่เท่ากันหรือจุดทำงานแตกต่างกันไปแล้วแต่เบอร์ของทรานซิสเตอร์ จึงจำเป็นที่แหล่งจ่ายจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยแต่เวลาใช้งานจริงจะใช้แหล่งจ่ายหลายๆ ภาค ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช้เหตุ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการทำงานให้กับทรานซิสเตอร์หรือเรียกว่า การไบแอสทรานซิสเตอร์ ซึ่งการไบแอสทรานซิสเตอร์แบ่งออกเป็น 3 แบบ

2.4.3.1 การไบแอสแบบคงที่ (fixed biasing)

เป็นการไบแอสแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งเป็นการพิจารณาวงจรไบแอสแบบคงที่ ในขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุตซึ่ง C_1 เป็นตัวเก็บประจุทำหน้าที่คัปปลิงสัญญาณอินพุต เข้ามายังขาเบสของทรานซิสเตอร์ทำให้กระแสเบสแปรไปตามอินพุต และกระแสคอลเลคเตอร์ก็จะแปรผันตามกระแสเบส ทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดใหญ่กว่าอินพุต และจะถูกนำออกไปยังวงจรอื่นโดย C_2 ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรไบแอสแบบคงที่ [2]

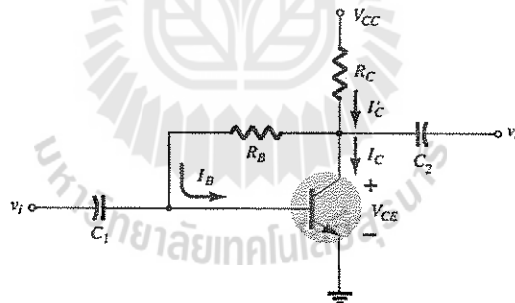
จากรูปที่ 2.13 ความต้านทาน R_B เป็นความต้านทานที่กำหนดค่ากระแส I_B โดยมี แรงดัน V_{CC} จ่ายไปอัสตรงให้กับขา B เทียบกับขา E เมื่อกระแส I_B ไหลจะทำให้กระแส I_C ไหลด้วย ทรานซิสเตอร์เมื่อนำกระแสจะเกิดความร้อน ทำให้ความต้านทานรอยต่อระหว่างขา C และขา E ลดลงกระแส I_C จะไหลมากขึ้น ซึ่งถ้ายังจ่าย V_{BE} เท่าเดิม กระแส I_B จะไหลมากขึ้น นั่นหมายถึงไบอัสที่จ่ายให้ขา B ของทรานซิสเตอร์มากเกินไป R_B ซึ่งถูกกำหนดไบอัสให้ขา B ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ไบอัสถูกจ่ายให้ขา B ของทรานซิสเตอร์มากขึ้นตลอดเวลา กระแส I_C ก็จะไหลมากขึ้นตลอดเวลา ทรานซิสเตอร์จะร้อนมากขึ้นทุกขณะจนชำรุดเสียหายได้ นอกจากนี้ I_{CBO} ยังมีความไวต่ออุณหภูมิสูง เช่น ทรานซิสเตอร์ที่ทำจากเยอรมันเนียม ค่า I_{CBO} จะเพิ่มขึ้นประมาณหนึ่งเท่าตัวทุก ๆ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เป็นผลให้ค่าของกระแส I_C มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ข้อดี ใช้อุปกรณ์น้อย

ข้อเสีย ไม่คงที่ต่ออุณหภูมิ ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบต่อเนื่องได้

2.4.3.2 การไบอัสแบบป้อนกลับ (self biasing)

การไบอัสทรานซิสเตอร์แบบป้อนกลับหรือการไบอัสตัวเอง ในวงจรไบอัสแบบป้อนกลับ ดังรูปที่ 2.14 แทนที่ R_B จะรับกระแสเบสมาจาก V_{CC} เหมือนกับวงจรไบอัสคงที่ กลับนำกระแสเบสมาจากขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.14 วงจรไบอัสแบบป้อนกลับ [2]

จากรูปที่ 2.14 R_B เป็นความต้านทานกำหนดกระแส I_B โดย R_B จะต่อเข้ากับขา C และขา B ของทรานซิสเตอร์ เกิดแรงดัน V_{BE} จ่ายเป็นแรงดันไบอัสเมื่อกระแส I_B ไหลก็จะทำให้กระแส I_C ไหลมากขึ้นทำให้ความต้านทานระหว่างขา C และขา E ของทรานซิสเตอร์ลดลง ทำให้ V_{CE} จะมีแรงดันตกคร่อมลดลงด้วย ทำให้แรงดันที่จ่ายให้ขา B ลดลงด้วย เมื่อแรงดัน V_{BE} ลดลง จะทำให้กระแส I_B ไหล

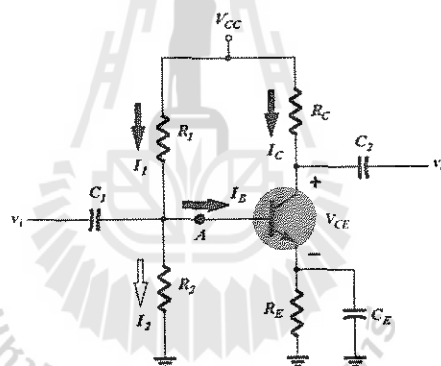
น้อยลง ทรานซิสเตอร์จะทำงานลดลงจนเข้าสู่สภาวะปกติ จะเห็นว่าวงจรไบอัสแบบป้อนกลับมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิดีกว่าการไบอัสแบบคงที่ เพราะมีการป้อนกลับแบบลบของ V_{CE} ซึ่งจะทำให้ I_C เพิ่มขึ้นน้อยกว่าในกรณีที่ต่อ R_B กับ V_{CC} โดยตรง

ข้อดี มีความคงที่ต่ออุณหภูมิ และสัญญาณที่ถูกขยายออกเอาต์พุตมีความเพี้ยนต่ำ

ข้อเสีย มีอัตราขยายต่ำเพราะสัญญาณที่ส่งออกเอาต์พุต มีบางส่วนถูกป้อนกลับมาอินพุต

2.4.3.3 การไบอัสแบบสแตบิไลซ์ (stabilize biasing)

การไบอัสแบบสแตบิไลซ์อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิมิตเตอร์ไบอัส ซึ่งมักจะนิยมจัดวงจรแบบวงจรแบ่งแรงดันทางอินพุต ทำให้บางครั้งการจัดไบอัสแบบนี้ถูกเรียกว่าการไบอัสแบบแบ่งแรงดัน (voltage divider bias) คือการจ่ายแรงดันไบอัสที่ขา B ของทรานซิสเตอร์เป็นแบบไบอัส คงที่ ซึ่งถูกจัดเป็นวงจรแบ่งแรงดัน และใส่ความต้านทานที่ขา E ที่เรียกว่าความต้านทานสแตบิไลซ์ (stabilize resistor) เป็นตัวช่วยปรับการไบอัสให้ขา B ของทรานซิสเตอร์อย่างพอเหมาะให้กับทรานซิสเตอร์ต้องการ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรไบอัสแบบสแตบิไลซ์ [2]

วงจรสแตบิไลซ์ไบอัสมีการป้อนกลับแบบลบโดยใช้ตัวต้านทาน R_E ต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับกราวด์ แรงดันของเบสถูกกำหนดโดยตัวต้านทานแบ่งแรงดัน R_1, R_2 ปกติจะมีกระแสไหลใน R_1, R_2 มากกว่า I_B หลายเท่า ดังนั้นแรงดันที่เบสจึงค่อนข้างคงที่ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ I_C เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันที่ตกคร่อม R_E เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเป็นผลให้ V_{BE} ลดลง จึงทำให้ I_B ไหลน้อยลง ซึ่ง I_B จะเป็นตัวควบคุม I_C ไหลลดลงเข้าสู่สภาวะปกติจากการป้อนกลับแบบลบด้วย และ C_E เป็นการลัดวงจรเมื่อมองวงจรด้วยเงื่อนไขไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อดี มีความคงที่ต่ออุณหภูมิมาก R_E ที่เพิ่มขึ้นมาทำให้กระแส I_C ไหลคงที่

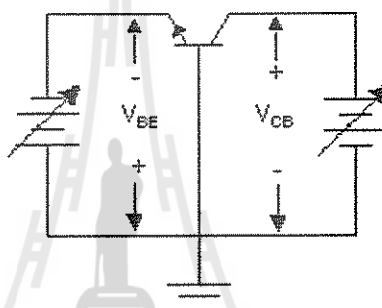
ข้อเสีย ใช้อุปกรณ์ในการต่อวงจรมากค่าใช้จ่ายก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.4.4 รูปแบบการต่อใช้งานของทรานซิสเตอร์

ถึงแม้ว่าทรานซิสเตอร์จะถูกนำไปใช้งานในวงจรต่าง ๆ มากมาย แต่วงจรเหล่านั้นก็ยังสามารถที่จะจัดแยกออกเป็นกลุ่มได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

2.4.4.1 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม C-E (common - emitter)

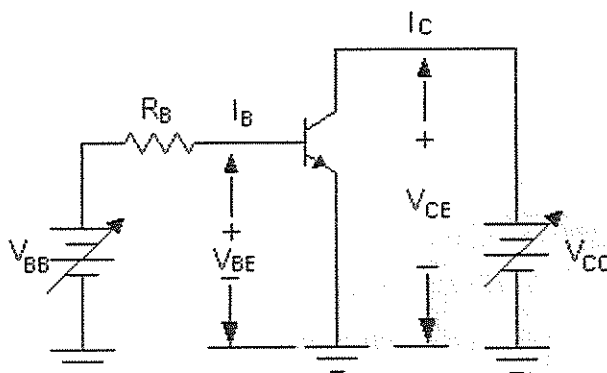
สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาระหว่างขาเบส และขาอิมิตเตอร์ ในขณะที่สัญญาณเอาต์พุตจะปรากฏระหว่างขาคอลเลคเตอร์และขาอิมิตเตอร์ จากการจัดรูปแบบของวงจรในลักษณะนี้ จะเห็นว่าสัญญาณอินพุตจะเป็นตัวควบคุมกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ซึ่งก็จะเป็นการควบคุมกระแสคอลเลคเตอร์ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจรด้วย ส่วนขาอิมิตเตอร์จะขาร่วม (common) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรอิมิตเตอร์ร่วม [2]

2.4.4.2 วงจรเบสร่วม C-E (common - base)

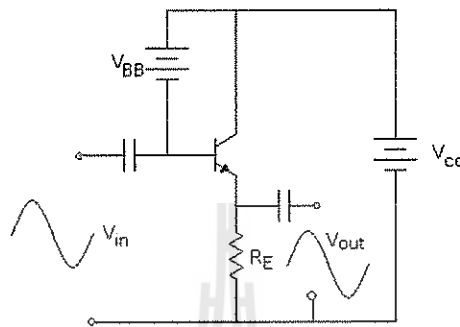
สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าระหว่างขาอิมิตเตอร์และขาเบส โดยสัญญาณเอาต์พุตจะไปปรากฏคร่อมอยู่ระหว่างขาคอลเลคเตอร์และขาเบส ส่วนขาเบสของวงจรรูปแบบนี้จะใช้เป็นขาร่วม (Common) ให้กับทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรเบสร่วม [2]

2.4.4.3 วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม C-C (Common – Collector)

โดยสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาระหว่างขาเบส และขาคอลเลคเตอร์ส่วนสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะไปปรากฏคร่อมขาอีมีเตอร์ และขาคอลเลคเตอร์โดยจะใช้ขาคอลเลคเตอร์เป็นขาร่วม (Common) ของทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรเบสร่วม [2]

2.5 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

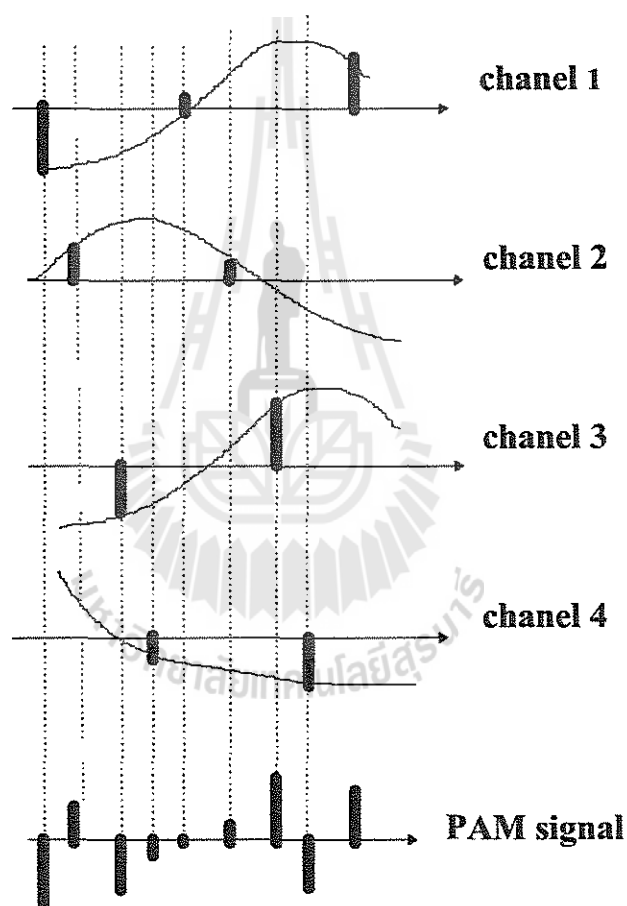
ในกรณีระบบเครือข่ายเป็นแบบดิจิทัลคือ สามารถส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลสู่ช่องทางการสื่อสารดิจิทัลได้โดยตรง เช่น ในระบบเครือข่าย ISDN หรือการส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic mail: E-mail) เป็นต้น เราสามารถที่จะส่งสัญญาณดิจิทัลออกจากคอมพิวเตอร์สู่เครือข่ายได้โดยตรงแบบไม่ต้องผ่านโมเด็ม และในขณะเดียวกันเราก็สามารถที่จะส่งสัญญาณอนาล็อกผ่านเข้าไปในระบบเครือข่ายดิจิทัลได้โดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเสียก่อน โดยใช้อุปกรณ์ที่ทำงานตรงกันข้ามกับโมเด็ม นั่นก็คือ โคเดก (CODEC หรือ coder / decoder) โดยอ้างอิงจากหนังสือของธนวัฒน์ ศรีสอาน, และสุทธิชัย มณีรัตนรุ่งโรจน์. (2542) เทคนิคการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

2.5.1. การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์

เป็นการใช้รูปคลื่นของสัญญาณอนาล็อกมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลโดยการวัดความสูงของลูกคลื่นจากหลายตำแหน่ง เรียกว่า วิธีสุ่มตัวอย่าง (sampling) โดยจะสุ่มตัวอย่างเป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ใช้ $f_s > 2f_m$ เนื่องจากเสียงสนทนาที่มีความถี่สูงสุด 4,000Hz ดังนั้นค่าความถี่ของการสุ่มตัวอย่างจึงเท่ากับ 8,000 ครั้งต่อวินาที แล้วจึงสร้างสัญญาณดิจิทัลจากความสูงที่วัดได้ วิธีการนี้เป็นเทคนิคแบบแรกที่ใช้ในการแปลงเสียงสนทนา (voice) ให้เป็นข้อมูลดิจิทัล เรียกว่า “voice digitization” โดยการมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation: PAM) นั้นจะถูกนำไปใช้กับระบบการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (Pulse Code Modulation: PCM) และ

ถือเป็นการวิธีขั้นแรกของระบบ PCM อีกด้วย ซึ่งสัญญาณโทรศัพท์ที่มีแอมพลิจูดแปรผันต่อเนื่องกันกับเวลาจะถูกสุ่มตัวอย่างทำให้ได้กระบวนของพัลส์ (pulse train) ซึ่งเรียกว่าตัวอย่าง (samples) และแอมพลิจูดของแต่ละตัวอย่างที่สุ่มมาได้นั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดชั่วขณะของสัญญาณที่ต่อเนื่อง ณ เวลาที่ได้มีการสุ่มตัวอย่างนั้น

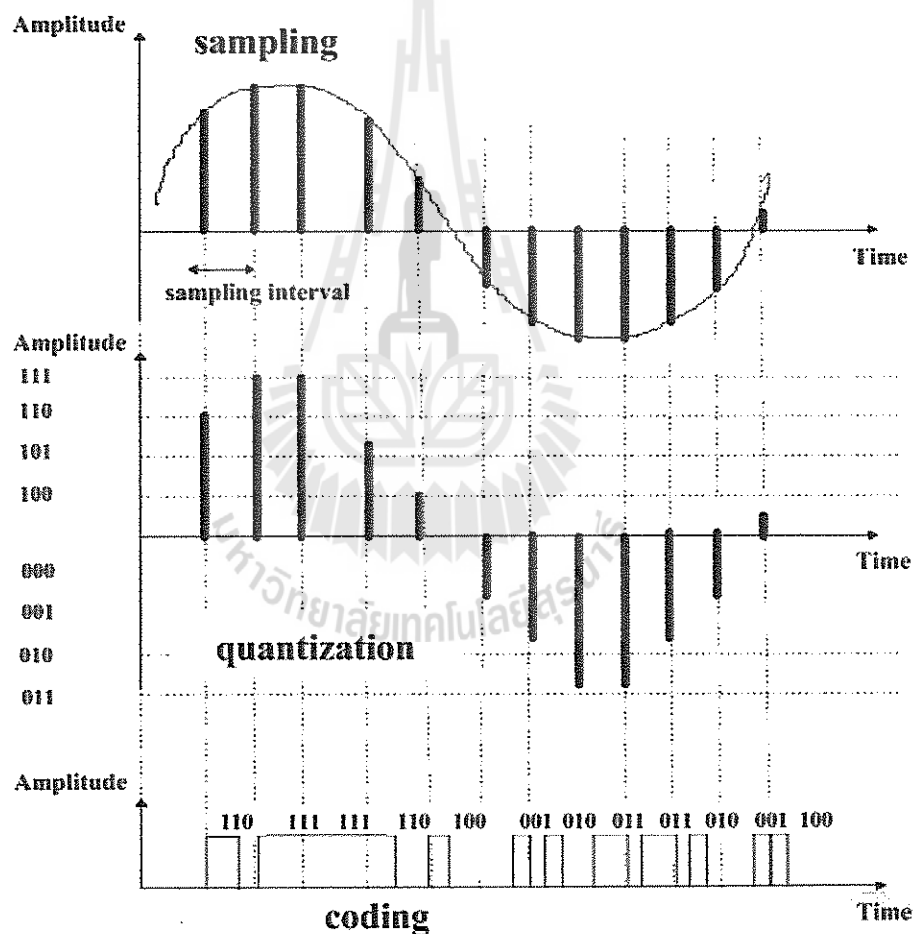
รูปที่ 2.19 แสดง PAM signal ของสัญญาณ 4 ช่อง โดยแต่ละตัวอย่างที่ได้ทำการสุ่มมาของสัญญาณแต่ละช่องนั้น เรียกว่า PAM sample และเมื่อนำ PAM sample ทั้งหมดของทุกสัญญาณมารวมกันจะเรียกว่า PAM signal และช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้งในสัญญาณเดียวกัน เรียกว่า เฟรม (frame)



รูปที่ 2.19 PAM signal ของสัญญาณ 4 ช่อง [2]

2.5.2. การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์

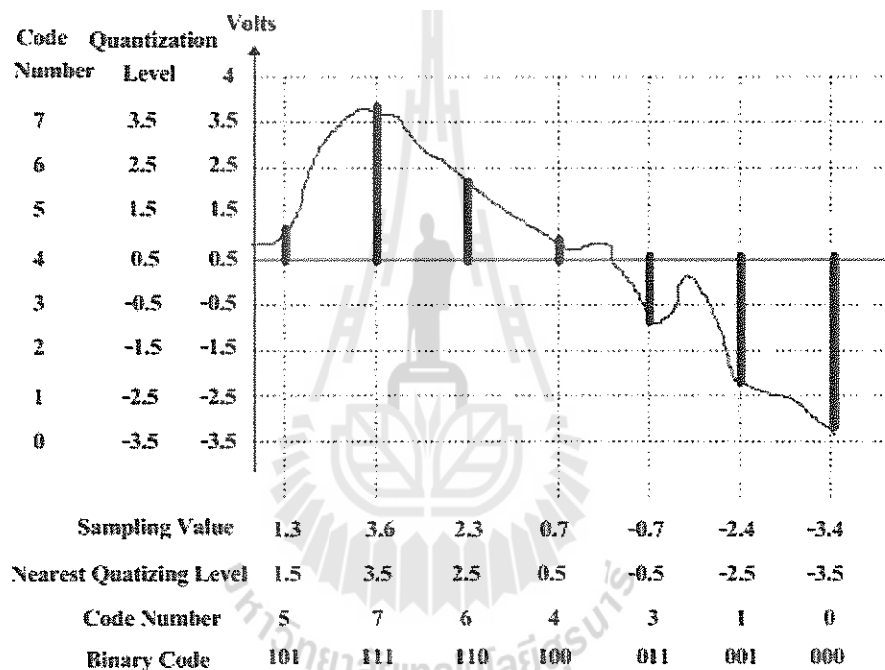
หลักการขั้นต้นของระบบ PCM ก็คือ การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับระบบโทรศัพท์จะเป็นการแปลงสัญญาณโทรศัพท์ไปเป็นกระบวนการพัลส์ ในรูปแบบของรหัสฐานสอง (binary code) แล้วส่งไปในตัวกลางที่ปลายทางฝั่งรับ โดยกระบวนการพัลส์ในรูปแบบของรหัสฐานสองดังกล่าวจะถูกแปลงกลับไปเป็นสัญญาณอนาล็อกดั้งเดิม และการส่งนั้นจะเป็นการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล (digital transmission) ซึ่งมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าการส่งสัญญาณแบบอนาล็อก (analog transmission) ในเรื่องของความปลอดภัยจากสิ่งรบกวนและมีความเพี้ยนของสัญญาณต่ำ โดยอ้างอิงจากหนังสือของ Waggener, and Bill. (1995) ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 และมีหลักการทำงาน 3 ขั้นตอนคือ



รูปที่ 2.20 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลในระบบ PCM [2]

2.5.2.1 การสุ่มตัวอย่าง

การสุ่มตัวอย่าง หมายถึง การเลือกเอาค่าแอมพลิจูดที่จุดใดๆ ของสัญญาณอนาล็อกที่มีช่วงเวลาที่เท่ากัน ตัวอย่างที่สุ่มมาได้ก็คือ กระบวนของพัลส์ หรือเรียกว่า PAM sample และการสุ่มตัวอย่างต่อวินาที เรียกว่า sampling rate ซึ่งจาก sampling theorem ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาล็อกด้วยช่วงเวลาที่มีค่าเสมอในอัตราส่วนอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้นๆ แล้วตัวอย่างที่สุ่มมาได้จะบรรจุข่าวสารของสัญญาณเดิมได้ครบถ้วน และในระบบ PCM สัญญาณโทรศัพท์จะถูกสุ่มตัวอย่างด้วย sampling rate 8000 ครั้งต่อวินาทีหรือถูกสุ่มตัวอย่างทุกๆ 125 ไมโครวินาที ซึ่งเรียกว่า sampling interval ดังแสดงตามรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่างๆ (quantizing) [2]

2.5.2.2 การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่าง ๆ

การสุ่มตัวอย่างสัญญาณโทรศัพท์ในอัตราที่สมำเสมอ นั้นจะทำให้ได้ PAM signal ที่แอมพลิจูดของมันเป็นส่วนหนึ่งของระดับของสัญญาณ ณ เวลาที่ได้ทำการสุ่มนั้น ซึ่งแอมพลิจูดดังกล่าวอาจมีค่าได้มากมายไม่จำกัด การกำหนดรหัสฐานสองให้กับการสุ่มตัวอย่างที่มีค่าแอมพลิจูดมากให้ได้ครบทุกตัวนั้นก็จำเป็นที่จะต้องใช้นับจำนวนบิตในคำรหัส (code word) ตามไปด้วยทำให้ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามการแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่างๆ ด้วยจำนวนที่จำกัด เราก็สามารถที่จะแทนแอมพลิจูดค่าต่างๆ ของสัญญาณที่สุ่มมาด้วยจำนวนจำกัดของระดับที่ได้ทำการแบ่งไว้ ซึ่งอาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปได้บ้าง และการให้รหัสฐานสองก็ควรกำหนดเอาค่าที่ตรงกันหรือใกล้เคียงที่สุด

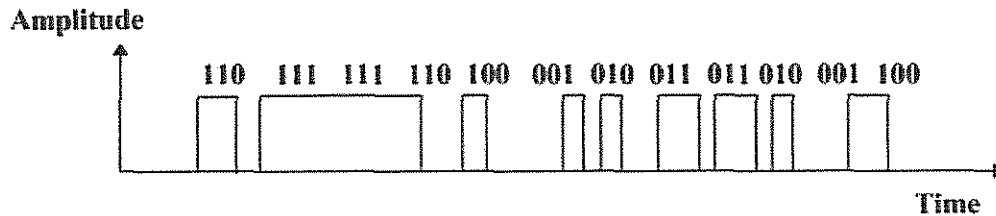
กับระดับที่ได้ทำการแบ่งไว้ วิธีในการแบ่งย่านแอมพลิจูดของตัวอย่างที่สุ่มมาได้ออกเป็นระดับต่างๆ ที่มีจำนวนจำกัดและกำหนดระดับที่แน่นอนให้กับ PAM signal นั้นเรียกว่า quantizing โดยเรียกระดับหนึ่งๆ ที่แบ่งได้ว่า quantizing level และจะเรียกช่วงห่างระหว่าง quantizing level ว่า quantizing interval หรือ quantum step.

รูปที่ 2.22 แสดงสัญญาณที่จะทำการสุ่มตัวอย่างมีย่านแอมพลิจูดอยู่ระหว่าง +4 ถึง -4 โวลต์ โดยสมมติว่าเราแบ่งย่านแอมพลิจูดนี้ออกเป็น 8 ระดับคือ -3.5 -2.5 -1.5 -0.5 0.5 1.5 และ 2.5 โวลต์ (quantizing interval = 1 โวลต์) การสุ่มตัวอย่างครั้งแรกตรงกับแอมพลิจูด 1.3 โวลต์เรากำหนดให้อยู่ใน quantizing level ที่ 1.5 โวลต์ เพราะเป็นระดับที่ใกล้เคียงที่สุด และการสุ่มตัวอย่างครั้งที่สองตรงกับแอมพลิจูด 3.6 โวลต์ เรากำหนดให้อยู่ใน quantizing level ที่ 3.5 โวลต์ (ระดับที่ใกล้เคียงที่สุด) โดยการสุ่มตัวอย่างครั้งต่อไปนั้นก็จะเป็นเช่นเดียวกันจะเห็นได้ว่า quantizing level ที่เรากำหนดให้มันเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงกับค่าของแอมพลิจูดจริงที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งความคลาดเคลื่อนจากการ quantizing ย่อมจะต้องเกิดขึ้นได้บ้างเช่น จากการสุ่มตัวอย่างในครั้งแรก quantizing level ที่กำหนดให้จะคลาดเคลื่อนไป 0.2 โวลต์ เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่แน่นอนและเราเรียกความคลาดเคลื่อนนี้ว่า quantizing error หรือ quantizing noise ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของความเพี้ยน ในขั้นตอนของ quantizing ถ้าทำการเพิ่มจำนวนของ quantizing level ให้มากขึ้น ก็จะทำให้ quantizing noise มีค่าน้อยลงแต่ในการเพิ่มจำนวน quantizing level ให้มากขึ้นนั้นจะทำให้รหัสฐานสองมีจำนวนบิตมากขึ้นตามไปด้วย และเป็นผลทำให้การส่งสัญญาณรหัสฐานสองต้องการแบนด์วิธ (bandwidth) กว้างมากขึ้น ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วเราจำเป็นต้องกำหนดจำนวน quantizing level และจำนวนบิตในกลุ่มรหัสหนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การส่งสัญญาณ binary code ให้ได้ผลเป็นที่พึงพอใจและใช้ bandwidth ให้น้อยที่สุดเป็นหลัก

2.5.2.3 การเข้ารหัส

เมื่อได้ทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาล็อกเรียบร้อยแล้ว เราก็จะได้ PAM signal ที่มีขนาดของแอมพลิจูดที่แตกต่างกันถูกส่งเข้าไปยัง quantizer โดยกำหนดให้ quantizing level ที่ตรงกันหรือใกล้เคียงกันที่สุดกับระดับของแอมพลิจูดที่สุ่มมาได้ ตัวเข้ารหัสก็จะผลิต binary code signal ตรงตาม quantizing level นั้นๆ แล้วจึงจะส่งออกไปในสายส่ง (transmission line) จากรูปที่ 2.20 สมมติว่าเรากำหนดค่าของรหัส (code number) ที่ใช้กับ quantizing Level ที่ระดับต่างๆ คือ -3.5 ถึง 3.5 โวลต์ เป็น 0 ถึง 7 ตามลำดับแล้ว ตัวอย่างที่สุ่มมาได้อันดับแรกคือ 1.3 โวลต์ quantizing level ที่ใกล้เคียงที่สุดของมันคือ 1.5 โวลต์และตรงกับค่าของรหัส 5 ดังนั้นรหัสที่ส่งออกไปเป็น code word ขนาด 3 บิต คือ 101 ตัวอย่างที่สุ่มมาได้อันดับที่สอง คือ 3.6 โวลต์ quantizing level ที่ใกล้เคียง

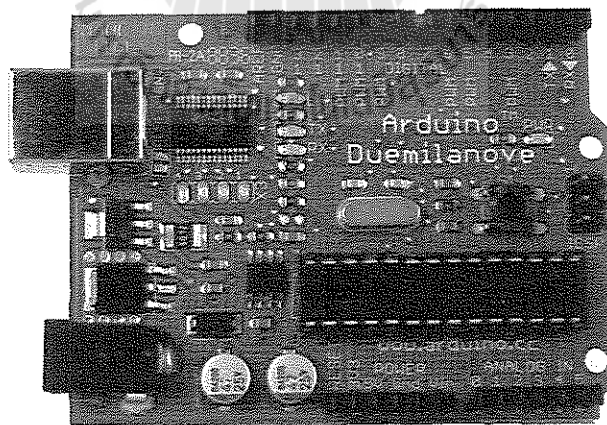
ที่สุดคือ 3.5 โวลต์และตรงกับค่าของรหัส 7 ดังนั้นรหัสที่ส่งออกไปเป็น code word คือ 111 เช่นนี้เป็นต้น ดังแสดงตามรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเข้ารหัส (coding) [2]

2.6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในโครงการนี้มีหน้าที่ควบคุมบอร์ดรีเลย์สวิตช์เพื่อสลับช่องสัญญาณของอินพุตซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือ บอร์ด Arduino รุ่น Arduino328 ซึ่งตัวบอร์ดแสดงดังรูปที่ 2.23 โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR เบอร์ Atmega328P ของ Atmel ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 bit มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 Pins โดยเป็น Digital GPIO จำนวน 14 I/O และ Analog input จำนวน 6 ช่องขนาด 10 bit VRef, 5V, Ground, Vin and Reset, 6-pin standard ICSP header, Auto-reset capability บอร์ด Arduino328 ได้รวบรวมเอาอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆต่อการใช้งาน บรรจุไว้ภายในโครงสร้างของ MCU เพียงตัวเดียว ไม่ว่าจะเป็น ระบบ SPI, I2C, ADC, timer/counter, PWM, UART,.. ฯลฯ

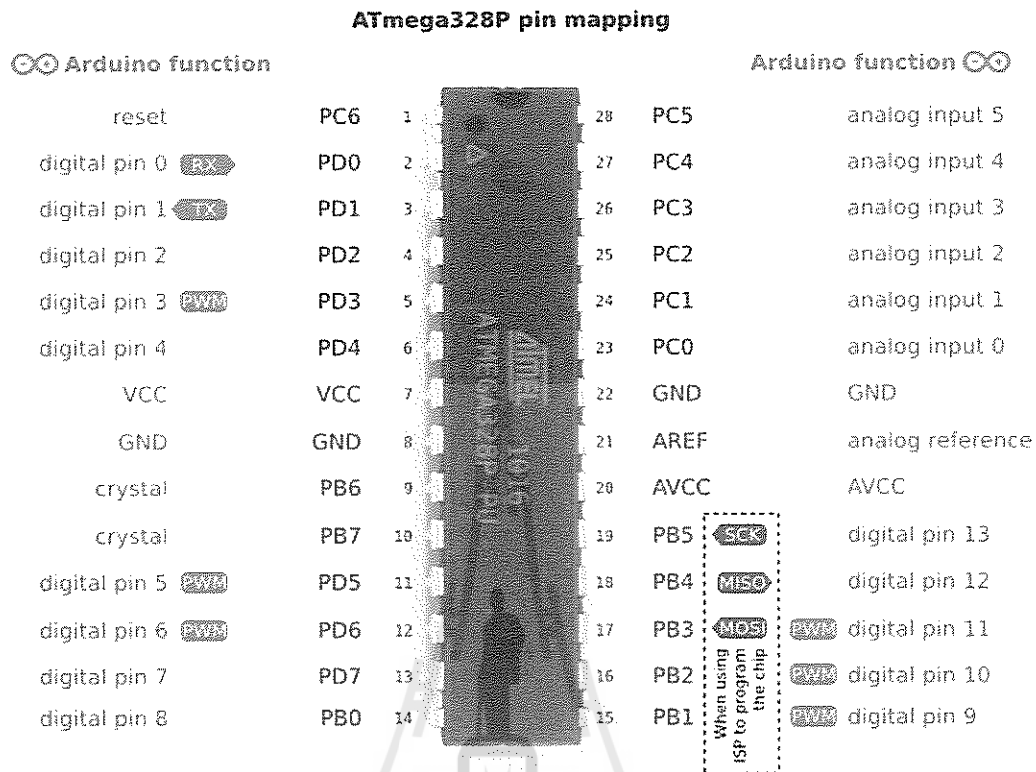


รูปที่ 2.23 ตำแหน่งการใช้งานต่างๆในบอร์ด Arduino328 [3]

2.6.1 คุณสมบัติของบอร์ด Arduino328

1. เลือกใช้ MCU ตระกูล AVR 8 bit เบอร์ ATmega328P ของ ATMEL Run ความถี่ 16.00 MHz
2. มีหน่วยความจำ Flash สำหรับเขียนโปรแกรม 32Kbyte, SRAM 2KByte และ EEPROM ใช้งานขนาด 1KByte
3. มี GPIO ใช้งานจำนวน 22 บิต ดังรูปที่ 2.24
 - Digital GPIO จำนวน 14 บิต (6 Pins PWM 3, 5, 6, 9, 10, 11)
 - Analog Input (ADC) ขนาดความละเอียด 10บิต จำนวน 6 ช่อง
4. ใช้งานกับแรงดันไฟตรงขนาด +12VDC และจากแหล่งจ่าย +5VDC จาก IC regulator ภายในบอร์ดพร้อม LED Power แสดงสถานะของแหล่งจ่าย
5. มีวงจร External Reset แบบ RC Reset และ Switch Reset พร้อมภายในบอร์ด
6. ขั้วต่อใช้งานวางตัวบน Pin Header ระยะห่าง 2.54 mm (100mil)
7. มีขั้วต่อ DB9 สำหรับเชื่อมต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทาง Serial port ของ USB to Serial Converter ในรูปแบบของการสื่อสารอนุกรม RS232 สำหรับใช้งานสื่อสารและ Download Code ให้กับ MCU ในบอร์ด
8. มีขั้ว ICSP แบบ 6PIN สำหรับใช้ Download โปรแกรมให้กับ MCU ภายในบอร์ด
9. มี LED แสดงสถานะ โดยต่อกับ PB5 ของ AVR (Digital-13 ของ Arduino Project) สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองการทำงานอย่างง่าย

2.6.2 หน้าที่ของขาสัญญาณในการใช้งานแบบ “Arduino Project”



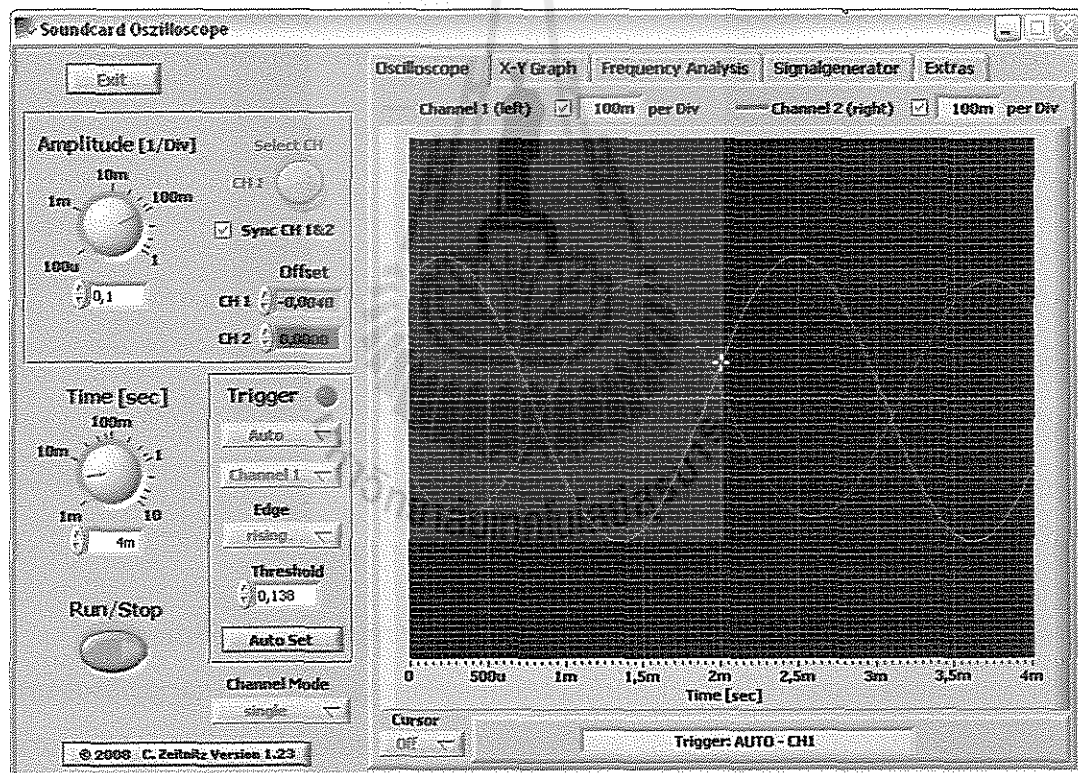
รูปที่ 2.24 ตำแหน่งขาใช้งานต่างๆในบอร์ด Atmega328 [3]

- +5V(+Vin) เป็นขาสำหรับใช้เป็นจุดรับแรงดันขนาด +5VDC จากภายนอกเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด
- +VCC(+5V) เป็นขาแหล่งจ่ายไฟจุดเดียวกันกับที่ป้อนให้กับ +VCC ของ MCU ซึ่งจุดนี้จะรับแรงดันมาจากรับแรงดัน +5V(+Vin) จากขา 28 ของบอร์ด และ จากขา+VUSB(+5V) จากขั้ว USB ของบอร์ด โดยมี Diode ป้องกันการย้อนกลับของแรงดันไว้แล้ว
- +AREF เป็นขาสำหรับรับสัญญาณแรงดันอ้างอิง (Analog Reference) ให้กับวงจร Analog Input ในกรณีที่ต้องการใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก
- RESET# เป็นขาสัญญาณ RESET ของ CPU ทำงานที่ Logic “0”
- Digital[0..13] เป็นขา I/O แบบ Digital สามารถใช้งานเชื่อมต่อกับสัญญาณ Logic TTL (5V) ต่างๆ
- Analog[0..5] เป็นขา Input แบบ Analog สามารถรับ Input แบบ Analog 0..+5V

2.7 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope

Soundcard Oscilloscope เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับแสดงผลและแยกแยะคลื่นเสียง ข้อมูลที่ได้สามารถบันทึกทั้งจาก sound card ได้โดยตรง (ด้วยไมโครโฟน หรือ ไลน์อินพุต) หรือจากแหล่งกำเนิด อาทิเช่น CD หรือ Mediaplayer อินพุตที่เข้าสู่ออสซิลโลสโคปถูกกำหนดโดยหน้าต่าง sound mixer ตามรูปที่ 2.25 ซอฟต์แวร์ที่ได้รับการป้อนข้อมูลสำหรับ sound card ผ่านหน้าต่างประสานงาน มันไม่ได้ติดต่อสื่อสารกับ sound card โดยตรง ดังนั้นปัญหาจาก sound card ควรจะแก้ไขที่ระดับระบบปฏิบัติการ

ส่วนที่ประสานงานกับผู้ใช้ถูกจัดไว้เหมือนกับออสซิลโลสโคปธรรมดา อย่างไรก็ตามในโปรแกรมยังมีหน้าต่าง XY display, frequency analysis และ setting ถูกเตรียมการไว้ด้วย โดยในโครงการเล่มนี้จะขอล่าวเฉพาะส่วนที่ได้ใช้งานในโครงการเท่านั้น



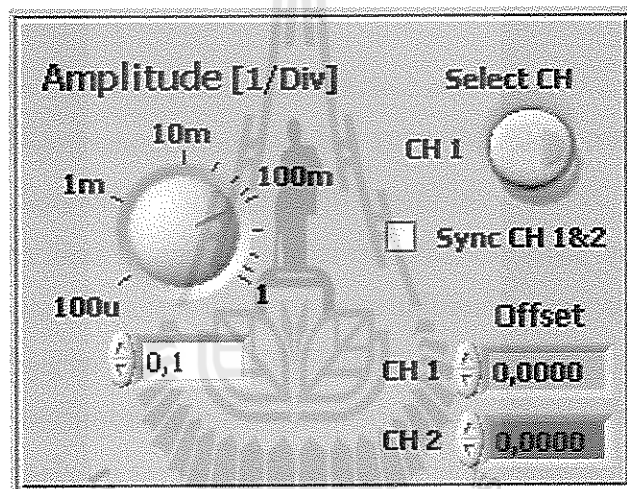
รูปที่ 2.25 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope ขณะเปิดทำงานหน้าต่าง Oscilloscope [4]

2.7.1 หน้าต่าง Oscilloscope

ซอฟต์แวร์จะแสดงช่องสัญญาณซ้ายขวาของ sound card ในหน้าต่าง Oscilloscope ช่องสัญญาณซ้ายมือถูกแสดงด้วยเส้นสีเขียว และช่องสัญญาณขวามือถูกแสดงด้วยเส้นสีแดง ในหน้าต่างประสานงานกับผู้ใช้มีหน้าต่างปุ่มหมุนและหน้าต่างอินพุตสำหรับ 3 ฟังก์ชันต่อไปนี้

2.7.1.1 Amplitude settings

สเกลแอมพลิจูดของ 2 ช่องสัญญาณ สามารถตั้งค่าได้อย่างอิสระต่อกันตลอดจนตั้งค่าให้เกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ ซึ่งจะขึ้นหลังจากเริ่มต้นโปรแกรม และสามารถกดเครื่องหมาย ✓ ออกจากช่อง หน้า “Sync CH 1&2” บนแผงด้านหน้า ในกรณีที่ควบคุมช่องสัญญาณแบบอิสระต่อกัน ช่องที่ทำงานอยู่ต้องถูกเลือกด้วยปุ่ม “Select CH” ตามภาพที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แผงทำงานฟังก์ชัน Amplitude setting [4]

ค่าแอมพลิจูดจะได้รับในหน่วยต่อส่วนของหน้าจอออสซิลโลสโคปและจะแสดงขึ้นสำหรับทั้งสองช่องสัญญาณบนหน้านี้ ค่าแอมพลิจูดสอดคล้องกับระดับเสียงในรูปแบบดิจิทัลโดยแบ่งจากจำนวน 32768 นี้แสดงให้เห็นความละเอียดของข้อมูล 16 bit ซึ่งจะนำมาใช้กับ sound card เนื่องจากการตั้งค่าต่างๆของปริมาณในหน้าต่าง ระดับเสียงที่แน่นอนไม่สามารถกำหนดได้โดยตรง ดังนั้นค่าที่นำเสนอจะเข้าใจได้ในหน่วยนั้นๆที่ปรับไว้

2.7.1.2 Timebase

การตั้งค่าเวลาหมายถึงช่วงที่เป็นขอบเขตแสดงให้เห็นทั้งหมด และไม่เป็นค่าต่อหน่วย เช่นเดียวกับสโคปปกติ ช่วงเริ่มจาก 1 ms ถึง 10,000 ms สามารถหมุนปรับให้ช่วงเวลาเหมาะสมกับความถี่ของคลื่นเสียงที่รับ

2.7.1.3 Trigger

โหมดการตั้งค่า Trigger คือ “off”, “auto”, “normal” และ “single” ซึ่งจะตรงกันกับโหมดมาตรฐานของเครื่องออสซิลเลเตอร์ เกณฑ์เริ่มต้น (threshold) ของ trigger สามารถปรับได้ทั้งในหน้าต่างอินพุตของ trigger หรือโดยการเลื่อนกากบาทสีเหลืองในหน้าต่าง Oscilloscope โดยใช้เมาส์ trigger time สามารถปรับโดยการเลื่อนกากบาทด้วยเมาส์เท่านั้น

ในโหมด single ของ trigger สวิตช์ RUN/stop จะไม่ทำงานโดยอัตโนมัติ ต้องกดใหม่อีกครั้งสำหรับข้อมูลที่รันมาใหม่

ปุ่ม Auto set มีไว้เพื่อประเมินฐานเวลาและระดับการ trigger ที่ดีที่สุด ความถี่หลักในช่อง trigger ถูกใช้เพื่อรองรับฐานเวลา เกณฑ์เริ่มต้นถูกนำมาจากแอมพลิจูดของสัญญาณ ถ้าแอมพลิจูดต่ำเกินไป ปุ่ม Auto set จะไม่มีผล

2.8 วิธี MULTiple Signal Classification (MUSIC) algorithm

วิธี MUSIC ได้ถูกนำเสนอโดย Schmidt ในปี 1979 เพื่อแก้ปัญหาเทคนิคพื้นฐานในการแบ่งประเภทของหลายๆ สัญญาณด้วยรูปแบบของไอเกน (eigen) โดยวิธี MUSIC นั้นจะเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสัญญาณ เช่น จำนวนของสัญญาณที่เกิดขึ้น, ทิศทางการมาถึงของแต่ละสัญญาณ, ความแรงของสัญญาณและความสัมพันธ์กันระหว่างสัญญาณที่เกิดขึ้น รวมไปถึงความแรงของสัญญาณรบกวนอีกด้วย ซึ่งวิธี MUSIC จะมีขั้นตอนและแนวทางการหาทิศทางอย่างละเอียด และให้ความถูกต้องแม่นยำที่สูงมาก ตามที่ได้แสดงในงานวิจัยของ Bo, W. (2006); Hong, Z. (2005) โดยในโครงงานฉบับนี้ยังคงใช้ทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับมาอ้างอิงกับทฤษฎีไมโครโฟนแถวลำดับ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3 ซึ่งวิธี MUSIC นั้นจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์การมาถึงของสัญญาณแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนด้วยกันดังนี้

1. ทำการรวมสัญญาณอินพุต u_k , โดยที่ $k = 0, \dots, T-1$ และวิเคราะห์หาค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณอินพุต (input covariance matrix) ได้ดังนี้

$$\hat{R}_{uu} = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{T-1} u_k u_k^H \quad (2.13)$$

\hat{R}_{uu} : ค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

u_k : สัญญาณอินพุต

u_k^H : การสลับเปลี่ยนสังยุค (conjugate transpose) ของสัญญาณอินพุต

T : จำนวนการสุ่มตัวอย่าง (snapshot)

2. หาค่าไอเกนของค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของสัญญาณอินพุตหรือค่า \hat{R}_{uu} ที่หาได้จากขั้นตอนที่ 1 ได้ดังนี้

$$\hat{R}_{uu} V = V\Lambda \quad (2.14)$$

Λ : eigenvalues $\Lambda = \text{diag}\{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{M-1}\}, \lambda_0 \geq \lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_{M-1}$

V : eigenvectors $V = [q_0 q_1 \dots q_{M-1}]$

จากสมการที่ (2.14) จะทำให้เราได้ค่า eigenvalues และค่า eigenvectors ออกมาก็คือ โดยค่า eigenvalues และค่า eigenvectors ที่ได้นั้นจะต้องทำการเรียงลำดับจากค่ามากไปหาน้อย

3. ทำการวิเคราะห์หาจำนวนของสัญญาณ (\hat{D})

$$\hat{D} = M - K \quad (2.15)$$

\hat{D} : จำนวนสัญญาณ

M : จำนวนสายอากาศ (ในที่นี้เป็นจำนวนไมโครโฟน)

K : จำนวนของสัญญาณที่มาถึง

จำนวนของสัญญาณที่มาถึง สามารถหาได้จากค่า eigenvalues และค่า eigenvectors ที่มีค่ามากกว่าขั้นตอนที่ 2

4. ทำการหาค่าสเปกตรัมแบบวิธี MUSIC ได้ตั้งสมการนี้

$$\hat{P}_{\text{MUSIC}}(\varphi) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\varphi) \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^H \mathbf{a}(\varphi)} \quad (2.16)$$

\hat{P}_{MUSIC} : สเปกตรัมกำลังของสัญญาณมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$\mathbf{a}(\varphi)$: ค่า steering vector $\mathbf{a}(\varphi) = A e^{jkd(M-1)\cos(\varphi)}$

k : หมายเลขคลื่น (wave number) $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

d : ระยะห่างระหว่างสายอากาศ (ในที่นี้คือระยะห่างระหว่างไมโครโฟน)

$\mathbf{a}^H(\varphi)$: การสลับเปลี่ยนสังยุคของค่า steering vector

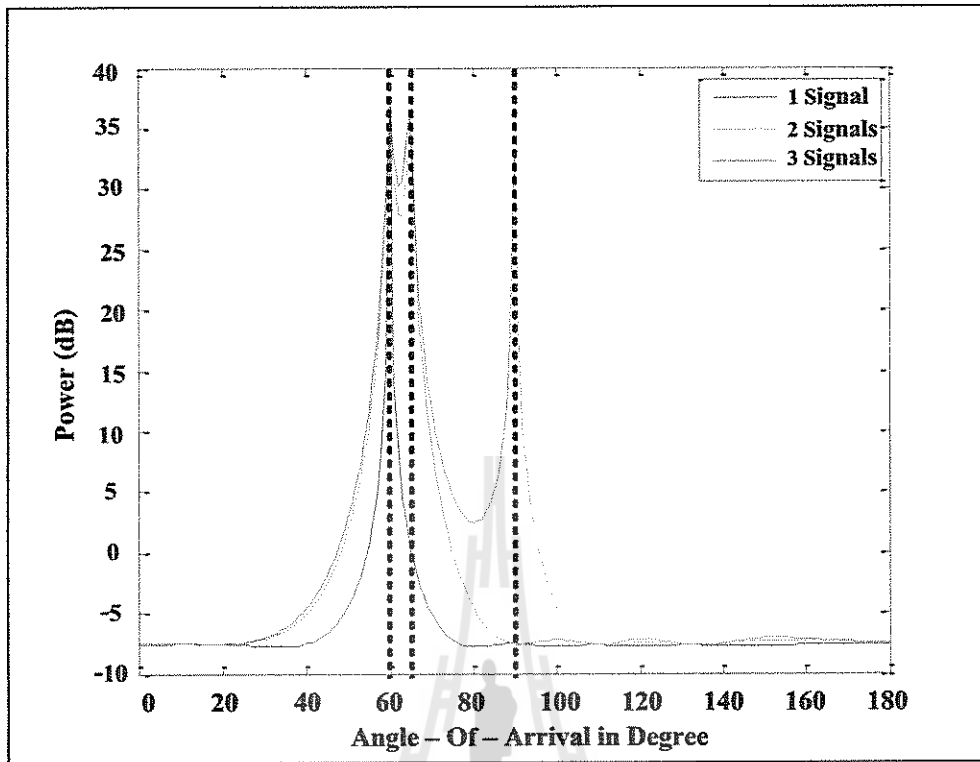
\mathbf{V}_n : eigenvectors คัดค่ามากออกไปให้เหลือเท่ากับจำนวน \hat{D} $\mathbf{V}_n = [\mathbf{q}_D \mathbf{q}_{D+1} \dots \mathbf{q}_{M-1}]$

\mathbf{V}_n^H : การสลับเปลี่ยนสังยุคของค่า eigenvectors

ค่า steering vector จะทำการกวาดมุมค้นหาสัญญาณจริงในเมทริกซ์ \mathbf{V}_n ไปทุกๆ มุมตั้งแต่ 0-180 องศา ถ้ามุมจากการกวาดไปตรงกับมุมใดของสัญญาณจริงในเมทริกซ์ \mathbf{V}_n ค่าที่ได้นั้นก็จะเป็นค่าสเปคตรัมสูงสุด

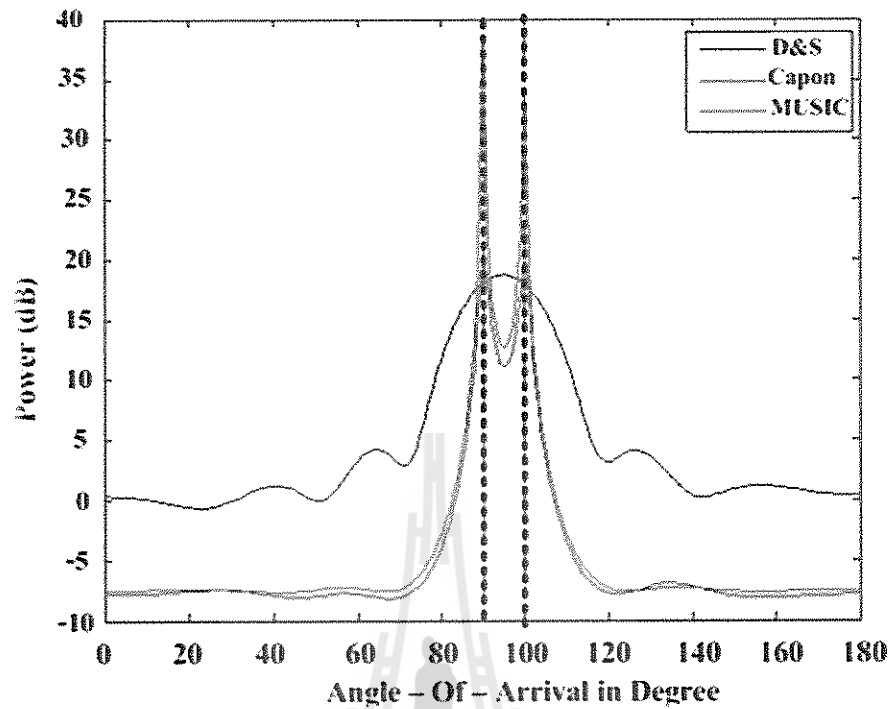
5. ทำการหาค่ากำลังของสัญญาณที่มีค่าสเปคตรัมสูงสุดจากขั้นตอนที่ 4 แล้วนำมาพล็อตกราฟก็ได้กราฟออกมาดังรูปที่ 2.27 ดังนั้นกราฟที่ได้จึงแสดงผลออกมาเป็นกำลังของสัญญาณที่มีหน่วยเป็น dB

รูปที่ 2.27 แสดงการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณแบบวิธี MUSIC เมื่อกำหนดให้ระบบใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้นจำนวน 6 ดันและมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในระบบเท่ากับ 20dB โดยกราฟเส้นสีดำแสดงการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณเมื่อมี 1 สัญญาณเข้ามาในทิศทาง 60 องศา ในขณะที่เดียวกันเมื่อมี 2 สัญญาณเข้ามาในทิศทางที่ 60 และ 65 องศาจะแสดงการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณด้วยกราฟเส้นสีน้ำเงิน และสุดท้ายกราฟเส้นสีแดงจะแสดงการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณเมื่อมี 3 สัญญาณเข้ามาในทิศทางที่ 60 65 และ 90 องศา จะเห็นได้ว่าวิธี MUSIC นั้นสามารถวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้อย่างถูกต้องและแม่นยำไม่ว่าจะมีสัญญาณเข้ามาในระบบเพียง 1 ทิศทางหรือในหลายๆ ทิศทางพร้อมกันก็ตาม

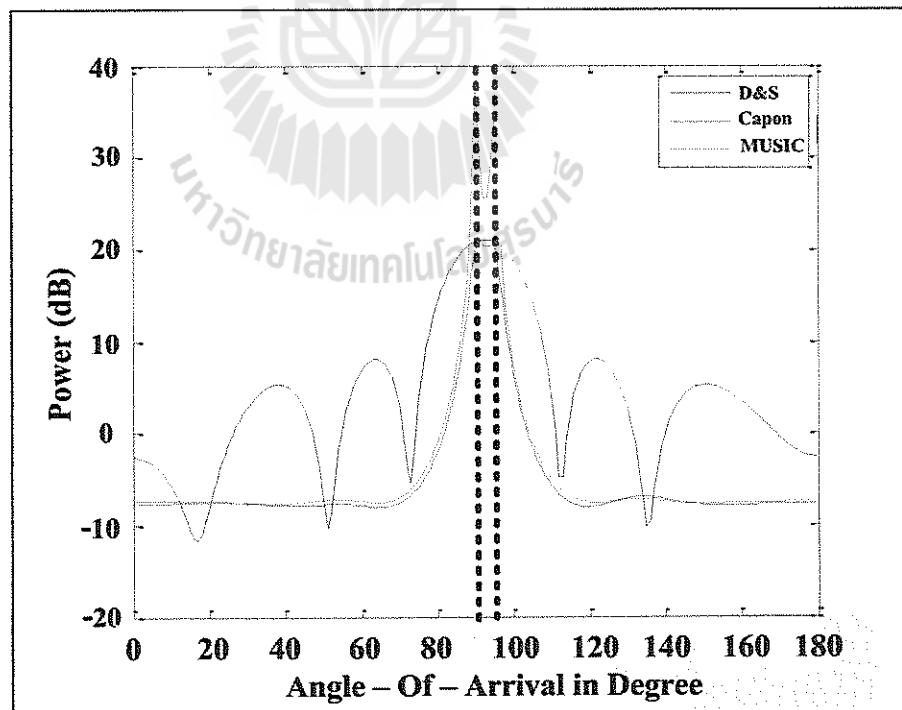


รูปที่ 2.27 การวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณแบบวิธี MUSIC [2]

และรูปที่ 2.28 แสดงการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณแบบวิธี MUSIC เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธี Delay and Sum และวิธี Capon's ซึ่งแสดงแทนด้วยกราฟเส้นสีน้ำเงิน สีดำ และสีแดงตามลำดับ โดยกำหนดให้ระบบใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเชิงเส้นจำนวน 6 ต้นและมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในระบบเท่ากับ 20 dB จากรูปที่ 2.28(ก) เมื่อกำหนดให้มีสัญญาณเข้ามาในทิศทาง 90 และ 100 องศา จะเห็นได้ว่า เมื่อระบบมีสัญญาณเข้ามามากกว่า 1 ทิศทาง วิธี Delay and Sum นั้นจะไม่สามารถวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้ แต่ในขณะเดียวกันวิธี Capon's และวิธี MUSIC นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์หาทิศทางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ และจากรูปที่ 2.28(ข) เมื่อกำหนดให้มีสัญญาณเข้ามาในทิศทาง 90 และ 95 องศา จะเห็นได้ว่า เมื่อระบบมีสัญญาณเข้ามาในทิศทางที่ใกล้เคียงกันมากๆ วิธี Capon's นั้นจะไม่สามารถวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้ แต่ในขณะเดียวกันวิธี MUSIC นั้นยังคงสามารถวิเคราะห์หาทิศทางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำอีกเช่นเคย ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธี MUSIC นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์หาทิศทางได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ไม่ว่าจะในสถานการณ์ที่มีสัญญาณเข้ามาในระบบมากกว่า 1 ทิศทางหรือเมื่อระบบมีสัญญาณเข้ามาในทิศทางที่ใกล้กันมากๆ ดังนั้นในโครงการฉบับนี้จึงได้เลือกที่จะนำเสนอวิธี MUSIC มาใช้งานร่วมกับแนวคิดที่จะได้นำเสนอในส่วนถัดไป



รูปที่ 2.28 (ก) เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทิศทางทางการมาถึงของสัญญาณระหว่างวิธี Delay and Sum วิธี Capon's และวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 90 และ 100 องศา [2]



รูปที่ 2.28 (ข) เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทิศทางทางการมาถึงของสัญญาณระหว่างวิธี Delay and Sum วิธี Capon's และวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 90 และ 95 องศา [2]

2.9 สรุป

ในการทำโครงการการศึกษาการระบุทิศทางของไมโครโฟนอัจฉริยะ มีการนำทฤษฎีสายอากาศแถวลำดับมาประยุกต์ใช้กับไมโครโฟนแถวลำดับ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดอุปกรณ์ภาครับซึ่งประกอบไปด้วย ไมโครโฟนแถวลำดับ วงจรขยายสัญญาณ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Soundcard Oscilloscope เพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัล โดยระบบจะทำการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณเสียงด้วยวิธี MUSIC ผ่านโปรแกรม MATLAB ซึ่งก่อนที่จะทำการออกแบบและประกอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบ จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องดังกล่าวให้มีความเข้าใจเป็นอย่างดี เพราะอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นจะต้องนำมาประกอบเป็นส่วนเดียวกัน และทำการสื่อสารติดต่อกันได้ เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของโครงการ



บทที่ 3 การจำลองผล

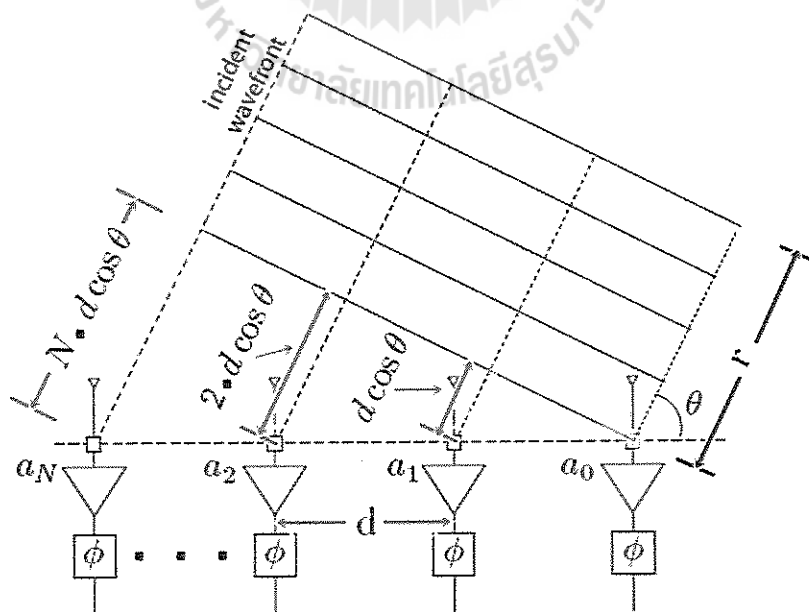
3.1 กล่าวนำ

ความสำคัญของการจำลองผลนั้นอาจแบ่งได้เป็น 2 มุมมองใหญ่ๆ ประการแรกคือมุมมองก่อนการทำชุดอุปกรณ์ต้นแบบ ซึ่งก็คือ การหาความเหมาะสมในค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สามารถกำหนดได้ตอนทำอุปกรณ์ต้นแบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งชุดอุปกรณ์ที่มีความสมบูรณ์พร้อมในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้การจำลองผลในการตรวจสอบประสิทธิภาพของส่วนประมวลผลข้อมูล ประการที่สองคือมุมมองหลังทำชุดอุปกรณ์ต้นแบบแล้ว ซึ่งก็คือ ทำให้รู้ขีดความสามารถที่นอกเหนือจากระบบต้นแบบ เพราะสามารถที่จะเพิ่มหรือลดองค์ประกอบบางอย่างเพื่อเปรียบเทียบข้อเด่นข้อด้อยกับชุดอุปกรณ์ต้นแบบได้ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในภายภาคหน้า

3.2 ทฤษฎีการสร้างสัญญาณ

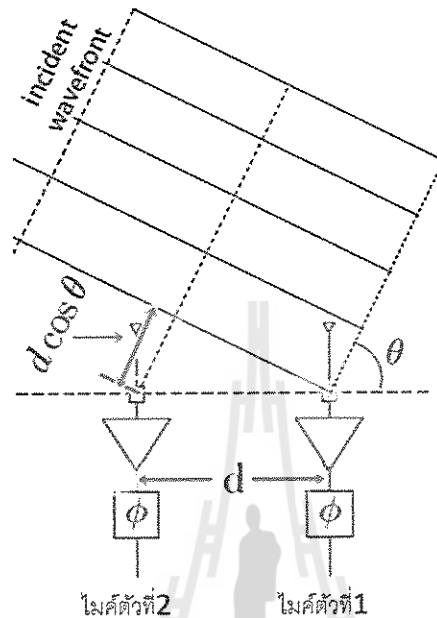
จุดเริ่มต้นของการจำลองผลคือการสร้างสัญญาณขาเข้าหรือที่เรียกว่าสัญญาณอินพุตในกรณีต่างๆที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

3.2.1 การหามุมของการเลื่อนเฟส



รูปที่ 3.1 ลักษณะของคลื่นที่เดินทางมาจากแหล่งกำเนิดซึ่งทำมุม θ

จากรูปที่ 3.1 หน้าคลื่นที่มาตกกระทบบนไมโครโฟนตัวแรกจะมีเฟสต่างกับหน้าคลื่นที่มาตกกระทบบนไมโครโฟนตัวถัดไปเนื่องจากระยะทางที่คลื่นเดินทางมาจากแหล่งกำเนิดไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถนำมาวาดภาพขึ้นใหม่ให้สอดคล้องกับหลักการทางตรีโกณมิติตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เฟสที่ต่างกันของคลื่นที่มากระทบบนไมโครโฟนที่ตั้งห่างกันเป็นระยะ d

จากรูปที่ 3.2 ทิศทางการมาถึงของสัญญาณทำมุม θ กับชุดอุปกรณ์ภาครับ เป็นผลให้ระยะทางที่สัญญาณเดินทางมาถึงต่างกันอยู่ $d \cos(\theta)$ และตำแหน่งที่หน้าคลื่นตกกระทบบนไมโครโฟนตัวแรกมีเฟสต่างกับหน้าคลื่นที่ตกกระทบบนไมโครโฟนตัวถัดไปขนาด ϕ ซึ่งค่าเฟสที่ต่างกันนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) ซึ่งมาจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์ดังนี้

จาก ระยะทางเปลี่ยนไป 1 ความยาวคลื่น (1λ) มุมเปลี่ยนไป 360°

ถ้า ระยะทางเปลี่ยนไป $d \cos(\theta)$ จะได้มุมเปลี่ยนไป

$$\phi = \frac{d \cos \theta \cdot 360^\circ}{\lambda} \quad (3.1)$$

ϕ : มุมของการเลื่อนเฟส (degree)

θ : ทิศทางการมาถึงของสัญญาณ (degree)

d : ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (m)

λ : ความยาวคลื่น (m)

3.2.2 การสร้างสัญญาณอินพุต

หากจะสร้างสัญญาณอินพุตอย่างง่ายโดยไม่พิจารณาถึงผลกระทบจากระยะทาง จะได้สมการของสัญญาณอินพุตคือ

$$\text{Data}_{N+1} = A \sin(2\pi ft - (N + 1)\phi) \quad (3.2)$$

A : แอมพลิจูดของสัญญาณ

N : หมายเลขประจำไมโครโฟนแต่ละตัว $N=0, 1, 2, 3, \dots$

การสูญเสียในอากาศว่าง (free space loss : FSL) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สัญญาณของภาครับจะรับสัญญาณที่มีกำลังน้อยกว่าสัญญาณที่ส่งออกมา เนื่องจากการเดินทางของคลื่นในอากาศพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะลดลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ไป ดังสมการที่ (3.3)

$$\text{FSL} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \quad (3.3)$$

r : ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงไมโครโฟน (m)

ตามปกติออสซิลโลสโคปจะรับสัญญาณและแสดงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า การสูญเสียในอากาศว่างจึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปแรงดันเช่นกัน จากสมการที่ (3.3)

$$\begin{aligned} \text{FSL}_{\text{dB}} &= 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right) \\ \text{VFSL} &= 10^{20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)/20} \\ \text{VFSL} &= \frac{\lambda}{4\pi r} \end{aligned} \quad (3.4)$$

จากสมการที่ (3.2) หากพิจารณาการสูญเสียในอากาศว่างจากสมการที่ (3.4) จะได้สมการของสัญญาณอินพุตรูปแบบใหม่คือ

$$\text{Data}_{N+1} = A \left(\frac{\lambda}{4\pi(r+Nd\cos\theta)}\right) \sin(2\pi ft - (N + 1)\phi) \quad (3.5)$$

3.3 วิธีการสร้างสัญญาณ

ในการสร้างสัญญาณเพื่อใช้ในโครงการนี้จะสร้างด้วยโปรแกรมแมทแลปโดยอ้างอิงจากสมการในหัวข้อที่ 3.2 เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปจำลองผลในกรณีต่างๆ

สมมติกรณีที่ใกล้เคียงกับชุดอุปกรณ์ต้นแบบซึ่งมีไมโครโฟน 4 ตัว จากสมการที่ (3.5) นำมาเขียนเป็นโค้ดแมทแลปได้ว่า

```
f = input('The Signal Frequency : '); %ความถี่ของสัญญาณอินพุต
T1 = 1/f; %คาบเวลา
t1 = 0:1/44100:10*T1; %เวลาsampling เมื่อ data format = 44100 samples/s
lamp = 346/f; %ความยาวคลื่น
r = input('Distance from the source : '); %ระยะทางจากแหล่งกำเนิด
dd = input('Distance between the elements = ?lambda. such as 1,0.75,0.5,0.25 : ');
d = dd*lamp; %ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน
angP = input('The Signal Arrival Phase Angle : '); %ทิศทางการมาถึงของสัญญาณ
angR = d*cos(angP*pi/180)*360/lamp; %มุมเฟสจิปท์

%สัญญาณอินพุตที่เข้าไมโครโฟนทั้ง 4 ตัว และมีอัตราขยาย 25 เท่า
Data_port1=25*(lamp/(4*pi*(r+0*d*cos(angP*pi/180))))*sin(2*pi*f*t1-1*(angR*pi/180));
Data_port2=25*(lamp/(4*pi*(r+1*d*cos(angP*pi/180))))*sin(2*pi*f*t1-2*(angR*pi/180));
Data_port3=25*(lamp/(4*pi*(r+2*d*cos(angP*pi/180))))*sin(2*pi*f*t1-3*(angR*pi/180));
Data_port4=25*(lamp/(4*pi*(r+3*d*cos(angP*pi/180))))*sin(2*pi*f*t1-4*(angR*pi/180));
```

3.4 วิธีการจำลองผล

นำโค้ดแมทแลปที่ได้ในหัวข้อที่ 3.3 มาต่อด้วยโค้ดของส่วนประมวลผลดังต่อไปนี้

```
Dat = [Data_port1(1:length(Data_port4));
Data_port2(1:length(Data_port4));
Data_port3(1:length(Data_port4));
Data_port4(1:length(Data_port4))];
err1 = randerr(1,length(Data_port4)).*max(Dat(1,:));
err2 = randerr(2,length(Data_port4)).*max(Dat(2,:));
```

```

err3 = randerr(3,length(Data_port4)).*max(Dat(3,:));
err4 = randerr(4,length(Data_port4)).*max(Dat(4,:));
err = [ err1( 1:length(Data_port4 ) ); err2( 1:length( Data_port4 ) ); err3( 1:length(
Data_port4 ) ); err4( 1:length( Data_port4 ) ) ] ;
Data = Dat+err ;
ttsamp = 1/((9600)/4);
tt = 0:ttsamp:(300-1)*ttsamp;
clear u;
uu(1,:) = (Data(1,:)-(max(Data(1,:))-(max(Data(1,:))-min(Data(1,:)))/2));
uu(2,:) = (Data(2,:)-(max(Data(2,:))-(max(Data(2,:))-min(Data(2,:)))/2));
uu(3,:) = (Data(3,:)-(max(Data(3,:))-(max(Data(3,:))-min(Data(3,:)))/2));
uu(4,:) = (Data(4,:)-(max(Data(4,:))-(max(Data(4,:))-min(Data(4,:)))/2));
if uu(1,1)>uu(1,3)
    phi1 = acos(uu(1,1)/max(uu(1,:)));
elseif uu(1,1)<uu(1,3)
    phi1 = (2*pi)-acos(uu(1,1)/max(uu(1,:)));
end
if uu(2,1)>=uu(2,3)
    phi2 = acos(uu(2,1)/max(uu(2,:)));
elseif uu(2,1)<uu(2,3)
    phi2 = (2*pi)-acos(uu(2,1)/max(uu(2,:)));
end
if uu(3,1)>=uu(3,3)
    phi3 = acos(uu(3,1)/max(uu(3,:)));
elseif uu(3,1)<uu(3,3)
    phi3 = (2*pi)-acos(uu(3,1)/max(uu(3,:)));
end
if uu(4,1)>=uu(4,3)
    phi4 = acos(uu(4,1)/max(uu(4,:)));
elseif uu(4,1)<uu(4,3)
    phi4 = (2*pi)-acos(uu(4,1)/max(uu(4,:)));

```

```

end
clear u_new;
u_new(1,:) = max(uu(1,:)).*exp(-sqrt(-1)*(2*pi*50*tt+phi1));
u_new(2,:) = max(uu(2,:)).*exp(-sqrt(-1)*(2*pi*50*tt+phi2));
u_new(3,:) = max(uu(3,:)).*exp(-sqrt(-1)*(2*pi*50*tt+phi3));
u_new(4,:) = max(uu(4,:)).*exp(-sqrt(-1)*(2*pi*50*tt+phi4));
clear uk;
uk = u_new;
uk_H = uk';
T = size(u_new,2);
Ruu = uk*uk_H;
Ruu_cov = Ruu/T;

%%%%%%%%%%%%%% eigenvalues & eigenvectors %%%%%%%%%%%%%%%
[V,D] = eig(Ruu_cov);
[DD,ind] = sort(diag(D),'descend');
clear V2;
for i2=1:length(ind)
    V2(:,i2)=V(:,ind(i2));
end
snapshot=100;
clear snap;
snap=1:length(snapshot);
Vn = V2(:,2:end);
Vn_H = Vn';
V_total = Vn*Vn_H;
clear Pmusic;
phase = 0:0.1:180;
phase_rad = (phase*pi)/180;
N = 4;
for n = 1:N;

```

```

a(n,:) = 1*exp(sqrt(-1)*pi*cos(phase_rad)*(n-1));
end
a_H = a';
for p = 1:length(phase);
    Pmusic(:,p) = 1/(a_H(p,:)*V_total*a(:,p));
end

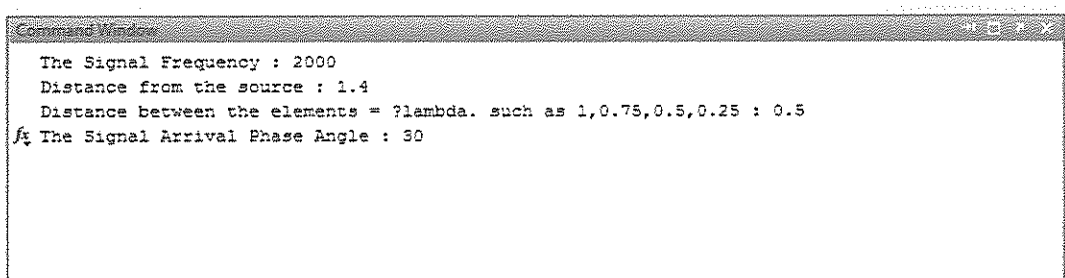
Pmusic_abs = abs(Pmusic);
Pmusic_dB = 10*log10(Pmusic_abs);

q1 = max(Pmusic_dB);
index = find(Pmusic_dB==q1);
angle(snap) = phase(index)
power2(snap) = max(Pmusic_dB);

figure;
plot(phase,Pmusic_dB)
grid on;
xlabel('DoA(degree)');
ylabel('Amplitude(dB)');

```

ซึ่งผลจากการรันโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่าง Command Window ให้พิมพ์ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 3.3



```

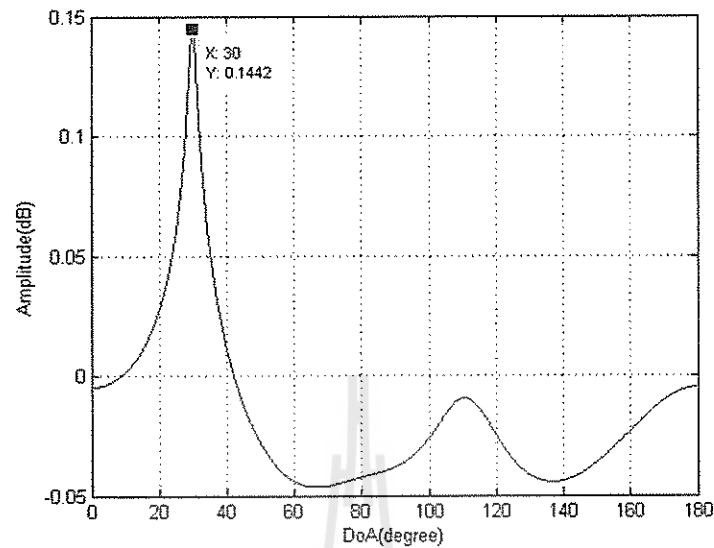
Command Window
The Signal Frequency : 2000
Distance from the source : 1.4
Distance between the elements = ?lambda. such as 1,0.75,0.5,0.25 : 0.5
The Signal Arrival Phase Angle : 30

```

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการรันโปรแกรมแมทแล็บเพื่อจำลองผลการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณด้วยวิธี

MUSIC

จากรูปที่ 3.3 เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วกดปุ่ม Enter ที่คีย์บอร์ดจะได้ผลการรันดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การจำลองผลข้อมูลการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m และทำมุม 30° โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

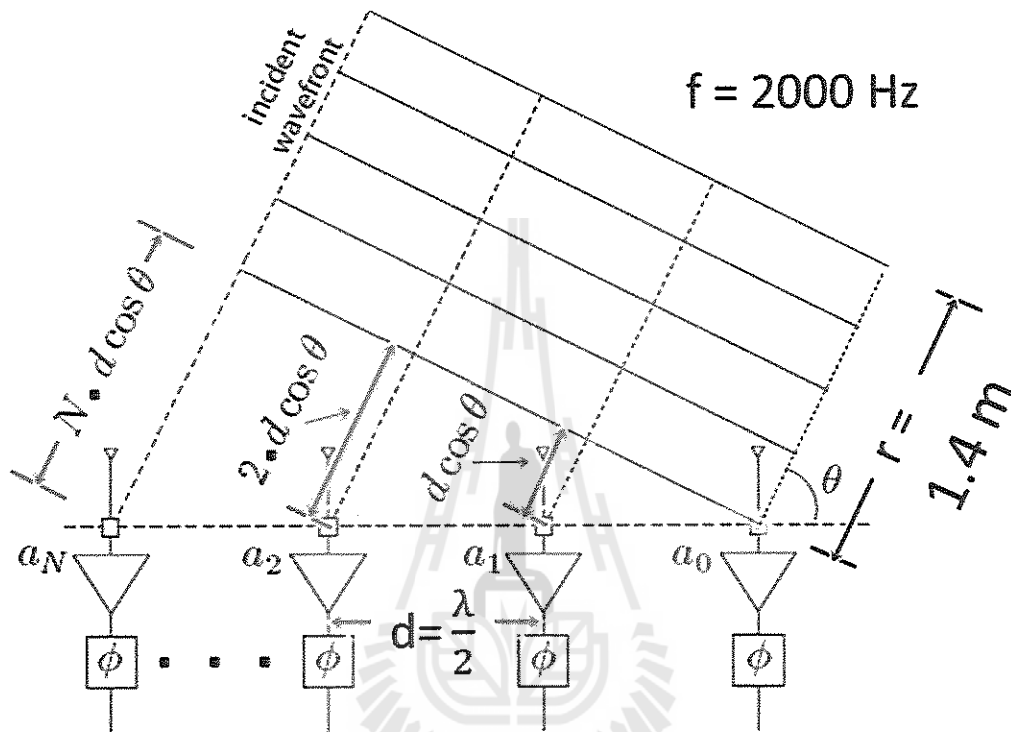
จากรูปที่ 3.4 สัญญาณที่ถูกจำลองผลให้ความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m และทำมุม 30° โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$ เมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลด้วยโปรแกรมแมทแลป โดยใช้วิธี MUSIC แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถประมวลผลหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้อย่างแม่นยำ ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลสัญญาณจริง

3.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองผลในหลายกรณี

ผลกระทบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบมีอยู่หลายประการ แต่ที่จะนำมาพิจารณาในการจำลองผลได้แก่ จำนวนไมโครโฟนแถวลำดับ ระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์ และระยะห่างระหว่างไมโครโฟน ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

3.5.1 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนจำนวนไมโครโฟนในระบบ

ทำการคงค่าความถี่ของสัญญาณ 2000 Hz ระยะทางจากแหล่งกำเนิด 1.4 m ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน 0.5λ ดังรูปที่ 3.5



กำหนดจำนวนไมโครโฟนแถวลำดับ

รูปที่ 3.5 การจำลองผลรูปแบบการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่มุมต่างๆ ของระบบที่ทำการเพิ่มจำนวนไมโครโฟนแถวลำดับตั้งแต่ 2 ตัว 4 ตัว 6 ตัว 8 ตัว และ 10 ตัว โดยบันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 3.1

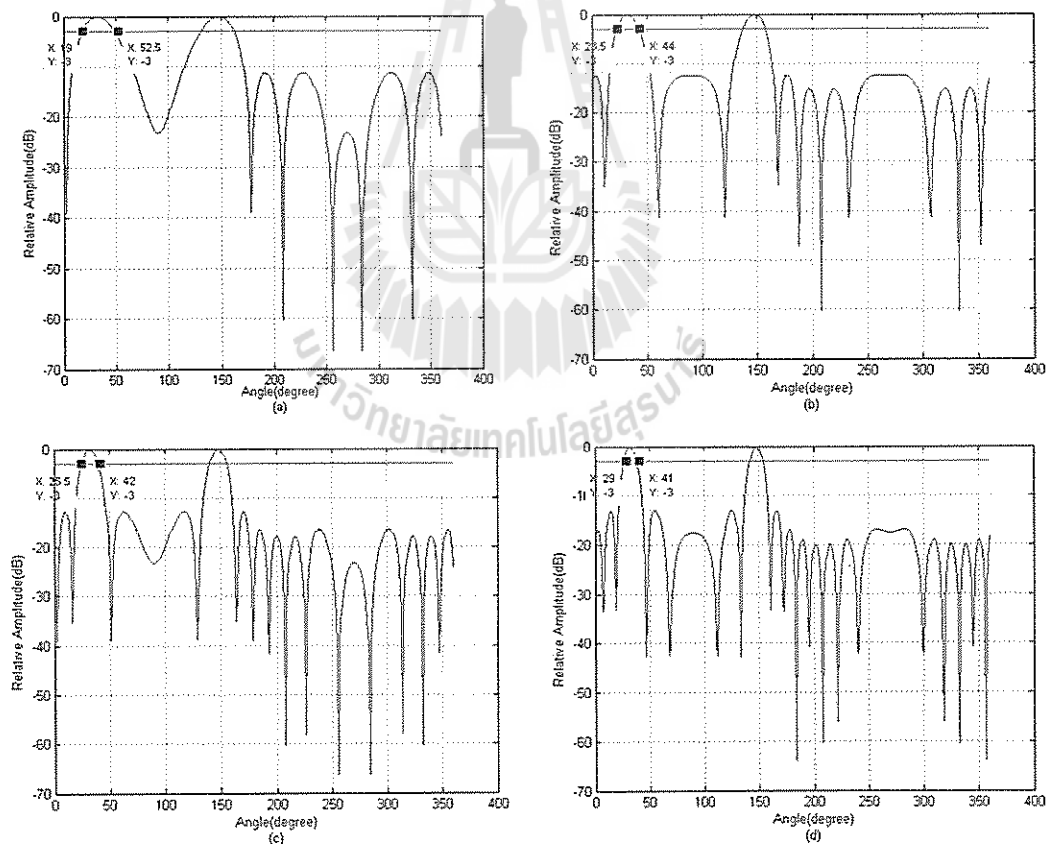
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนจำนวนไมโครโฟนในระบบ

มุม		15°	37°	75°	135°	170°
ไมค์	X_1	145.5° (0.0233dB)	164.3° (0.1259dB)	77.8° (0.4906dB)	135.9° (0.6177dB)	169.9° (0.0676dB)
	X_2	159.5° (1.0028dB)	33.1° (0.6364dB)	77° (0.5956dB)	122.3° (0.0268dB)	170° (0.0694dB)
	X_3	7.8° (0.2342dB)	22° (0.0350dB)	75° (0.0065dB)	135° (0.0391dB)	162.5° (0.3042dB)
	\bar{X}	104.27° (0.4408dB)	73.13° (0.2739dB)	76.6° (0.3717dB)	131.07° (0.2367dB)	167.5° (0.1485dB)
2 ตัว	X_1	16.2° (1.2827dB)	26.7° (1.3580dB)	78.1° (1.2935dB)	141.2° (1.5914dB)	166.8° (0.1559dB)
	X_2	11.6° (0.6279dB)	36.8° (1.0215dB)	76.7° (1.0658dB)	134.1° (1.4616dB)	169.1° (0.3359dB)
	X_3	18.1° (1.2337dB)	36.7° (1.1833dB)	75.1° (1.1231dB)	133.5° (1.5474dB)	168.5° (1.2995dB)
	\bar{X}	15.3° (1.0581dB)	33.4° (1.1898dB)	76.63° (1.1619dB)	136.27° (1.5338dB)	168.13° (0.6268dB)
4 ตัว	X_1	14.9° (1.592dB)	37.2° (1.5625dB)	77° (0.4132dB)	135.2° (1.5970dB)	169.9° (1.2837dB)
	X_2	14.9° (0.8349dB)	39.6° (-0.4530dB)	71.6° (1.2961dB)	132° (1.5831dB)	167.8° (1.5920dB)
	X_3	12.2° (1.3583dB)	37.5° (1.1744dB)	76° (1.1231dB)	132.5° (1.3093dB)	171.4° (1.5795dB)
	\bar{X}	14° (1.2731dB)	38.1° (0.8451dB)	74.87° (0.9606dB)	133.23° (1.4985dB)	169.7° (1.4874dB)
6 ตัว	X_1	14.1° (0.9771dB)	37° (1.4266dB)	75.6° (1.4080dB)	131° (0.5844dB)	169.1° (0.0244dB)
	X_2	13.8° (1.5791dB)	36.5° (1.5330dB)	74.5° (-0.0662dB)	133.6° (1.4493dB)	167.9° (1.0744dB)
	X_3	13.8° (1.5846dB)	36.9° (1.2056dB)	75° (1.4635dB)	136.1° (0.4842dB)	170.1° (1.0562dB)
	\bar{X}	13.9° (1.3714dB)	36.8° (1.3905dB)	75.03° (0.9904dB)	135.57° (0.8614dB)	169.03° (0.8084dB)
8 ตัว	X_1	10.6° (-1.7073dB)	35.8° (0.1411dB)	75.1° (0.0992dB)	134.4° (-3.9527dB)	172.6° (-0.8086dB)
	X_2	11.1° (0.4221dB)	35.8° (0.6889dB)	74.9° (1.2517dB)	134.2° (-26.5367dB)	170.4° (-5.7036dB)
	X_3	13.4° (-9.4262dB)	35.4° (-2.4279dB)	75.2° (1.4527dB)	134.1° (-1.7218dB)	169.1° (1.4348dB)
	\bar{X}	11.7° (-2.0040dB)	35.67° (-0.3360dB)	75.07° (0.9742dB)	134.23° (-4.4475dB)	170.7° (-0.8083dB)
10 ตัว	X_1	10.6° (-1.7073dB)	35.8° (0.1411dB)	75.1° (0.0992dB)	134.4° (-3.9527dB)	172.6° (-0.8086dB)
	X_2	11.1° (0.4221dB)	35.8° (0.6889dB)	74.9° (1.2517dB)	134.2° (-26.5367dB)	170.4° (-5.7036dB)
	X_3	13.4° (-9.4262dB)	35.4° (-2.4279dB)	75.2° (1.4527dB)	134.1° (-1.7218dB)	169.1° (1.4348dB)
	\bar{X}	11.7° (-2.0040dB)	35.67° (-0.3360dB)	75.07° (0.9742dB)	134.23° (-4.4475dB)	170.7° (-0.8083dB)

โดยกำหนดให้

- X_1 : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 1
- X_2 : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 2
- X_3 : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 3
- \bar{X} : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากระบบที่มีไมโครโฟน 2 ตัว มีความผิดเพี้ยนสูงมาก เนื่องจากสัญญาณรบกวน และการสูญเสียจากระยะทาง เมื่อเพิ่มจำนวนไมโครโฟนขึ้นทำให้ผลที่ได้ผิดเพี้ยนน้อยลง เพราะว่าเมื่อเพิ่มจำนวนไมโครโฟนมากขึ้นจะส่งผลให้มีค่าสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (maximum directivity) มากขึ้นตามไปด้วยทำให้ระบุทิศทางได้แม่นยำขึ้น อีกทั้งความกว้างลำคริ่งกำลังยังแคบลงด้วยตามภาพที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของไมโครโฟนแถวลำดับ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 32° ที่จำนวนไมโครโฟน (a) 4 ตัว (b) 6 ตัว (c) 8 ตัว (d) 10 ตัว

แต่ผลของการสูญเสียจากระยะทางยังคงอยู่ และยิ่งเพิ่มจำนวนไมโครโฟน ผลของการสูญเสียจากระยะทางยิ่งเด่นชัดขึ้น ดังภาพที่ 3.5 ระบบที่มีไมโครโฟน 10 ตัว มีระยะทางที่สัญญาณเดินทางมาถึง $r + 9d\cos\theta$ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำมาก จึงให้ผลการระบุนทิศทางผิดเพี้ยนในมุมที่อยู่ใกล้ระนาบแนวนอน ยกตัวอย่างเช่นที่ $\theta = 15^\circ$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$d = \frac{\lambda}{2}$$

เปรียบเทียบค่า เมื่อกำหนดให้ α เป็นจำนวนเท่า ดังสมการที่ (3.6)

$$Nd\cos\theta = \alpha\lambda \quad (3.6)$$

$$9\frac{\lambda}{2}\cos 15^\circ = \alpha\lambda$$

$$\alpha = 4.3467 \text{ เท่า}$$

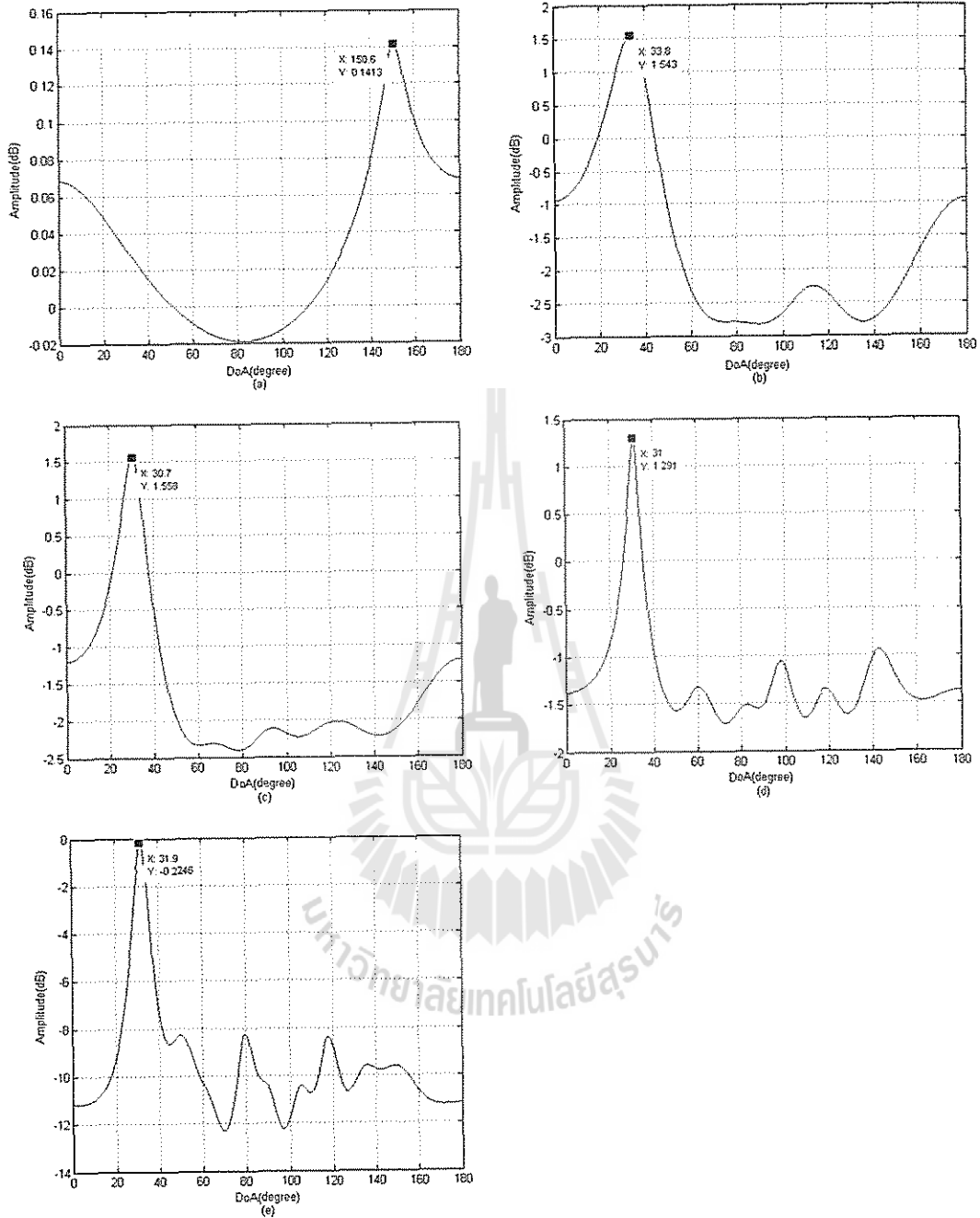
ดังนั้นที่ระบบที่มีไมโครโฟน 10 ตัว ระยะทางที่สัญญาณเดินทางมาถึงชุดอุปกรณ์จะมีค่ามากถึง $r + 4.3467\lambda$ ส่งผลให้ผลการระบุนทิศทางที่ผิดเพี้ยนมากกว่าระบบที่มีจำนวนไมโครโฟน 8 ตัว 6 ตัว และ 4 ตัว ในมุมเดียวกัน รวมถึงผิดเพี้ยนมากกว่าในมุมอื่นๆที่อยู่ห่างจากระนาบแนวนอนมากกว่าที่ระบบมีไมโครโฟน 10 ตัวเท่ากัน ยกตัวอย่างที่ $\theta = 170^\circ$

$$9\frac{\lambda}{2}\cos 170^\circ = \alpha\lambda$$

$$\alpha = -4.4316 \text{ เท่า}$$

ดังนั้นระยะทางที่สัญญาณเดินทางมาถึงชุดอุปกรณ์จะมีค่าลดลงเหลือ $r - 4.4316\lambda$ ส่งผลให้ผลการระบุนทิศทางที่ต่ำกว่าที่ $\theta = 15^\circ$

และเพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ตามภาพที่ 3.7

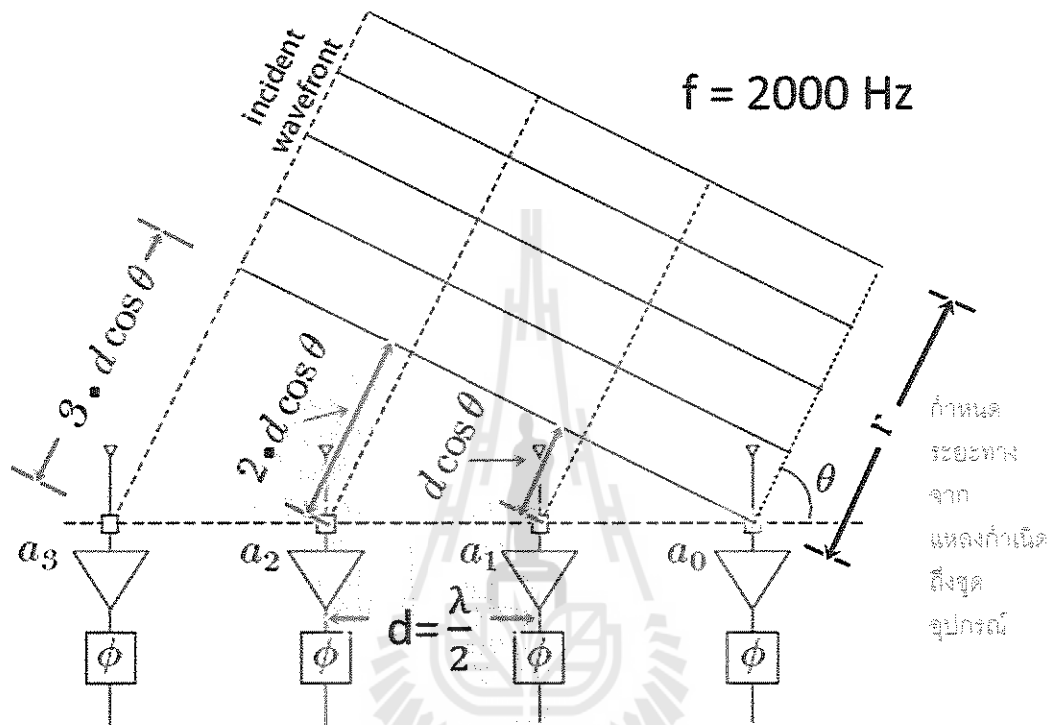


รูปที่ 3.7 ผลการระบุทิศทางด้วยวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 32° ที่จำนวนไมโครโฟน

(a) 2 ตัว (b) 4 ตัว (c) 6 ตัว (d) 8 ตัว (e) 10 ตัว

3.5.2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์

ทำการคงค่าความถี่ของสัญญาณ 2000 Hz ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน 0.5λ ในระบบที่มีไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว ดังภาพที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การจำลองผลรูปแบบการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ในระบบที่มีไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว โดยไมโครโฟนแต่ละตัวอยู่ห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่มุมต่างๆ ของระบบที่ทำกรเพิ่มระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์ตั้งแต่ 0.5 m 1 m 1.4 m และ 4 m โดยบันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะทางจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์

ระยะ mm		ระยะ			
		0.5 m	1 m	1.4 m	4 m
30°	X ₁	29.8° (0.9311dB)	27.9° (0.8107dB)	40.2° (1.1842dB)	30.1° (1.5065dB)
	X ₂	30.1° (0.8799dB)	30.5° (1.3239dB)	28.3° (0.7978dB)	41.9° (1.5948dB)
	X ₃	29.6° (0.5504dB)	30° (0.2096dB)	20.9° (1.5901dB)	32° (1.4802dB)
	\bar{X}	29.83° (0.7902dB)	29.47° (0.8052dB)	29.8° (1.2027dB)	34.67° (1.5274dB)
60°	X ₁	60.2° (1.3997dB)	61.7° (0.5388dB)	58.2° (-0.3931dB)	61.9° (0.1963dB)
	X ₂	59.6° (1.1710dB)	59.7° (0.7758dB)	63.5° (1.2405dB)	62.6° (-0.1773dB)
	X ₃	59.9° (1.5779dB)	58.9° (0.7766dB)	63.1° (0.4086dB)	61.5° (1.5428dB)
	\bar{X}	59.9° (1.3561dB)	60.1° (0.6985dB)	61.6° (0.3388dB)	62° (0.5844dB)
130°	X ₁	123.6° (1.1525dB)	133.5° (1.3954dB)	126.5° (0.6896dB)	132.9° (1.1045dB)
	X ₂	131.6° (1.1287dB)	129.9° (0.4142dB)	129.9° (0.3242dB)	129.9° (0.0354dB)
	X ₃	153.4° (1.5588dB)	121.6° (1.0797dB)	122.4° (1.2930dB)	129.6° (1.0257dB)
	\bar{X}	136.2° (1.2845dB)	128.3° (0.9821dB)	126.3° (0.7874dB)	130.8° (0.7484dB)
160°	X ₁	155.5° (1.5719dB)	157° (0.8534dB)	156° (1.5358dB)	160° (0.0450dB)
	X ₂	159.2° (1.2161dB)	161.3° (1.2926dB)	160.7° (0.5181dB)	164.2° (1.5421dB)
	X ₃	159.8° (1.5315dB)	159.5° (1.4596dB)	157.6° (1.3801dB)	156° (1.5714dB)
	\bar{X}	158.17° (1.4428dB)	158.17° (1.2102dB)	158.1° (1.1672dB)	161.73° (1.1089dB)

โดยกำหนดให้

- X₁ : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 1
 X₂ : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 2
 X₃ : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 3
 \bar{X} : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้

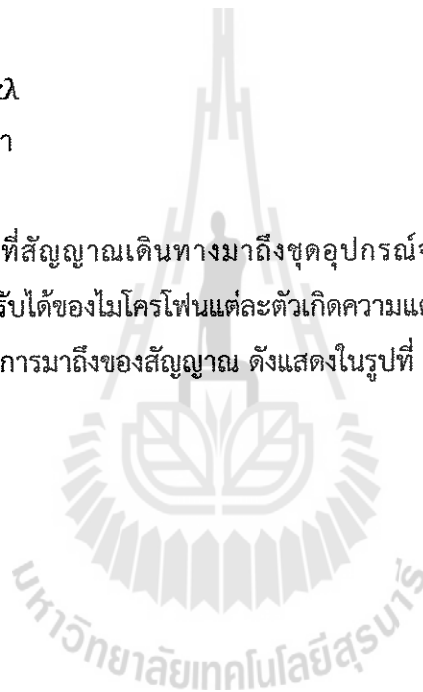
จากตารางที่ 3.2 ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดถึงชุดอุปกรณ์ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียจากระยะทาง ตามสมการที่ (3.3) ยิ่งระยะห่างไกลมากยิ่งขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียจากระยะทางมากขึ้น จะเห็นได้ชัดเมื่อทิศทางของแหล่งกำเนิดทำมุมใกล้เคียงแนวนอนกับชุดอุปกรณ์ซึ่งไมโครโฟนแต่ละตัว จะมีระยะห่างจากแหล่งกำเนิด $r + Nd\cos\theta$ เมื่อ N คือ ไมโครโฟนตัวที่ $N + 1$ หรือมีระยะทางที่สัญญาณต้องเดินทางมากระทบไมโครโฟนไกลมาก ตามรูปที่ 3.8 ไมโครโฟนตัวที่ 4 มีระยะห่างจากแหล่งกำเนิดมากถึง $r + 3d\cos\theta$ การสูญเสียก็มากตามไปด้วย ยกตัวอย่างที่ $\theta = 30^\circ$ ตามสมการที่ (3.6)

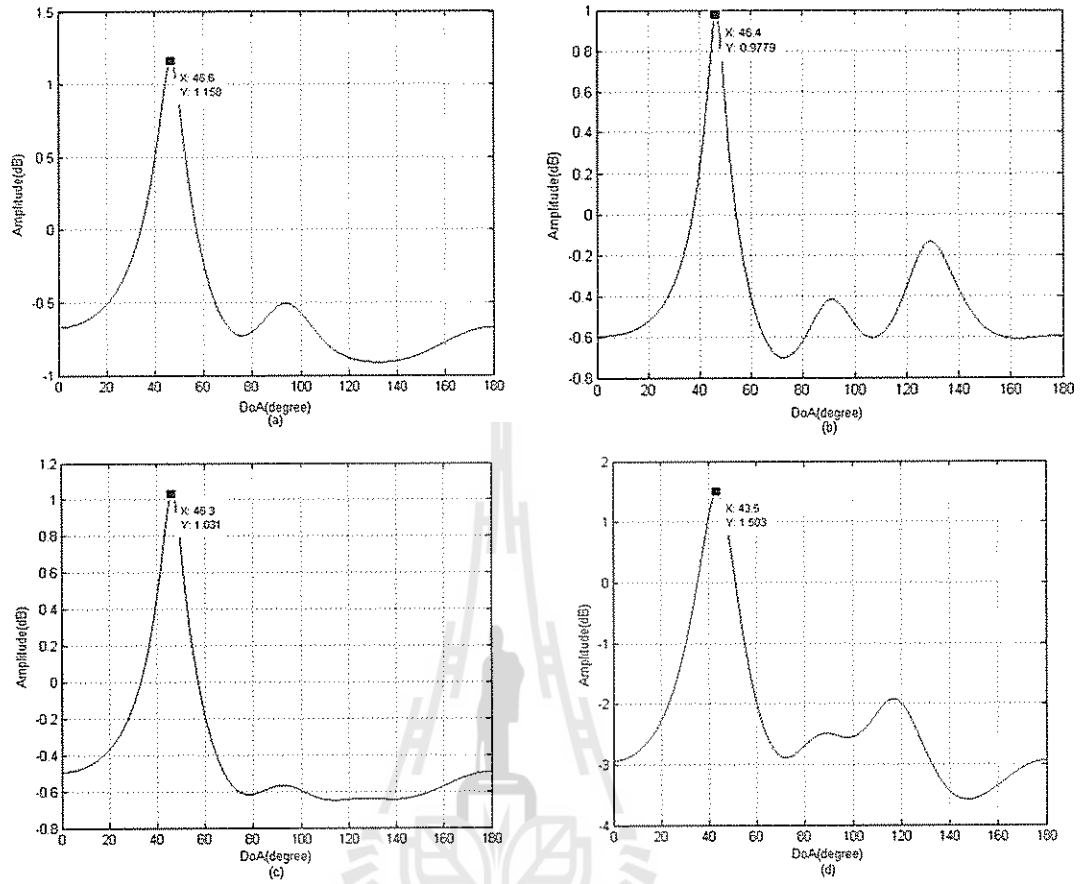
$$Nd\cos\theta = \alpha\lambda \quad (3.6)$$

$$3\frac{\lambda}{2}\cos 30^\circ = \alpha\lambda$$

$$\alpha = 1.2990 \text{ เท่า}$$

ดังนั้นระยะทางที่สัญญาณเดินทางมาถึงชุดอุปกรณ์จะมีค่ามากถึง $r + 1.2990\lambda$ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ของไมโครโฟนแต่ละตัวเกิดความแตกต่างกันมากจนส่งผลเสียต่อการประมวลผลการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

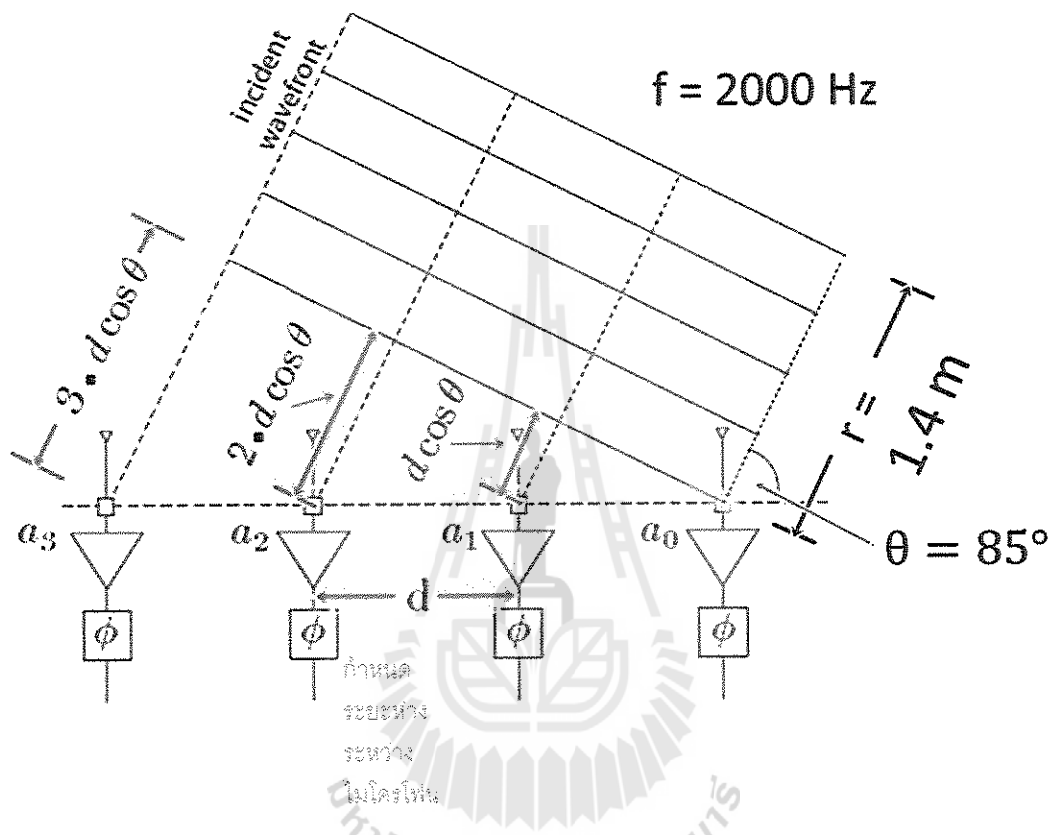




รูปที่ 3.9 ผลการระบุทิศทางด้วยวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 47° ที่ระยะทางจากแหล่งกำเนิด
(a) 0.5 m (b) 1 m (c) 1.4 m (d) 4 m

3.5.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไมโครโฟน

ทำการคงค่าความถี่ของสัญญาณ 2000 Hz ระยะทางจากแหล่งกำเนิด 1.4 m ในระบบที่มีไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว ดังภาพที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การจำลองผลรูปแบบการมาถึงของสัญญาณความถี่ 2 kHz ที่อยู่ห่างออกไป 1.4 m ในระบบที่มีไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว

แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณที่มุม 85° ของระบบที่ทำการเพิ่มระยะห่างระหว่างไมโครโฟนตั้งแต่ 0.25λ 0.5λ 0.75λ และ λ โดยบันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 3.3

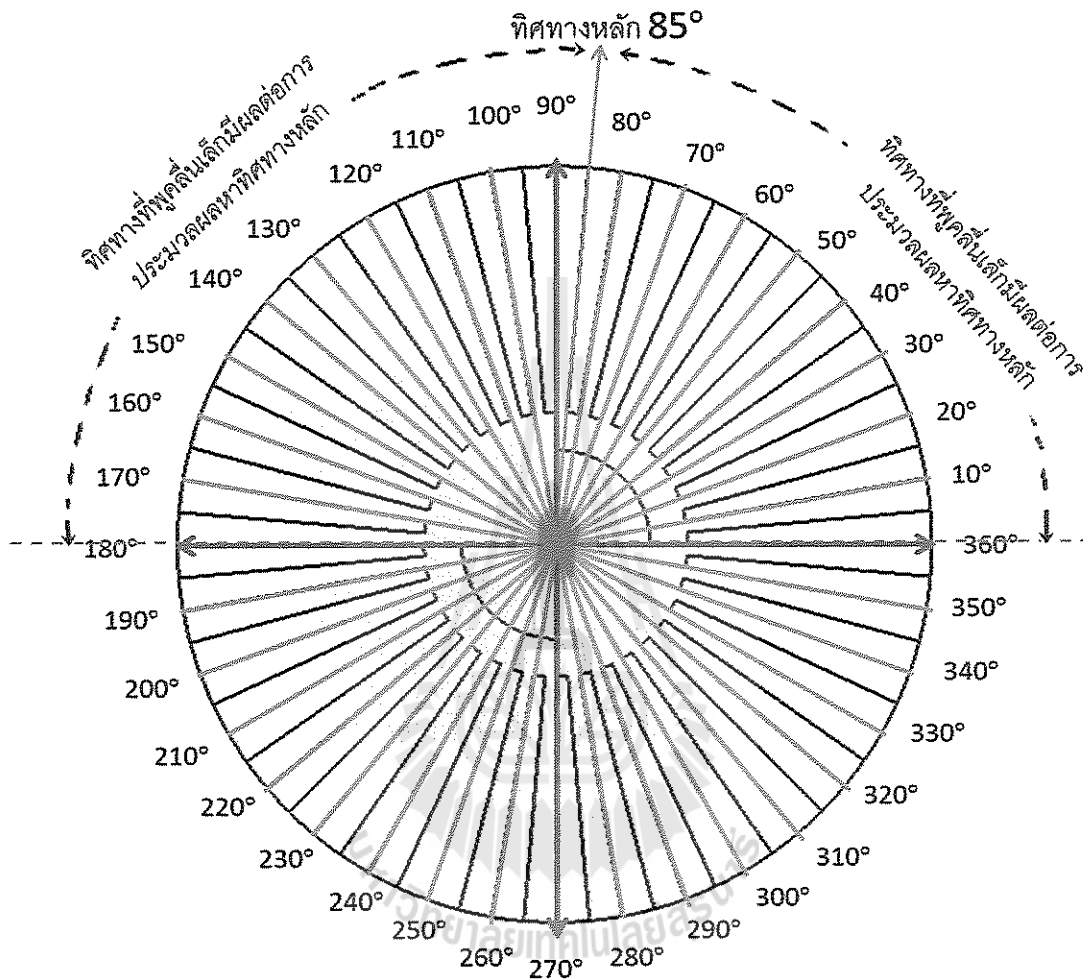
ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างไมโครโฟน ที่มุม 85°

ระยะห่างระหว่างไมค์		มุม
0.25λ	X ₁	87.1° (0.6810dB)
	X ₂	89.4° (0.9418dB)
	X ₃	87.2° (0.7085dB)
	\bar{X}	87.9° (0.7787dB)
0.5λ	X ₁	86° (0.6266dB)
	X ₂	86.9° (0.9808dB)
	X ₃	83.5° (1.2515dB)
	\bar{X}	85.47° (0.9605dB)
0.75λ	X ₁	84.4° (1.3384dB)
	X ₂	83.9° (1.2916dB)
	X ₃	82.6° (0.0703dB)
	\bar{X}	83.63° (0.9384dB)
λ	X ₁	81.1° (0.9209dB)
	X ₂	80.1° (0.0994dB)
	X ₃	79.7° (1.1366dB)
	\bar{X}	80.3° (0.7415dB)

โดยกำหนดให้

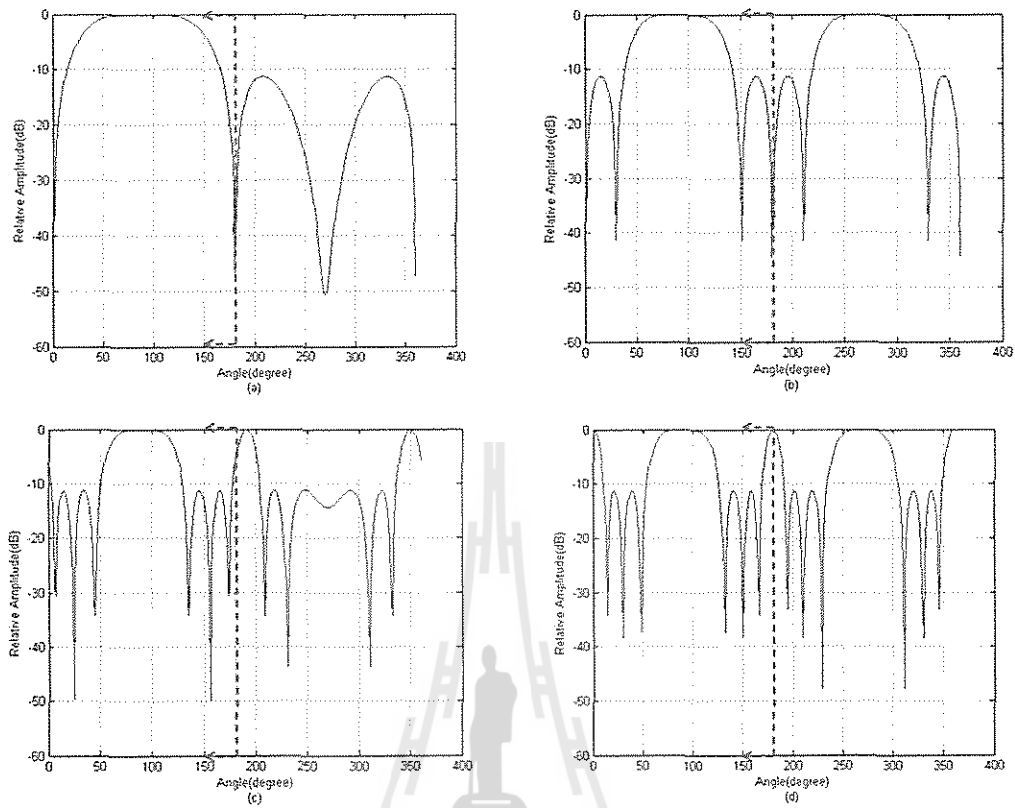
- X₁ : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 1
 X₂ : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 2
 X₃ : การเก็บข้อมูลครั้งที่ 3
 \bar{X} : ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้

จากการที่ไม่โครโฟนแถวลำดับเชิงเส้นเป็นระบบที่ทำการรับสัญญาณเฉพาะด้านหน้าของชุดอุปกรณ์ หรือก็คือจะทำการวิเคราะห์หาทิศทางการมาถึงของสัญญาณเฉพาะตั้งแต่ที่ 0° ถึง 180° เท่านั้น ดังภาพที่ 3.11



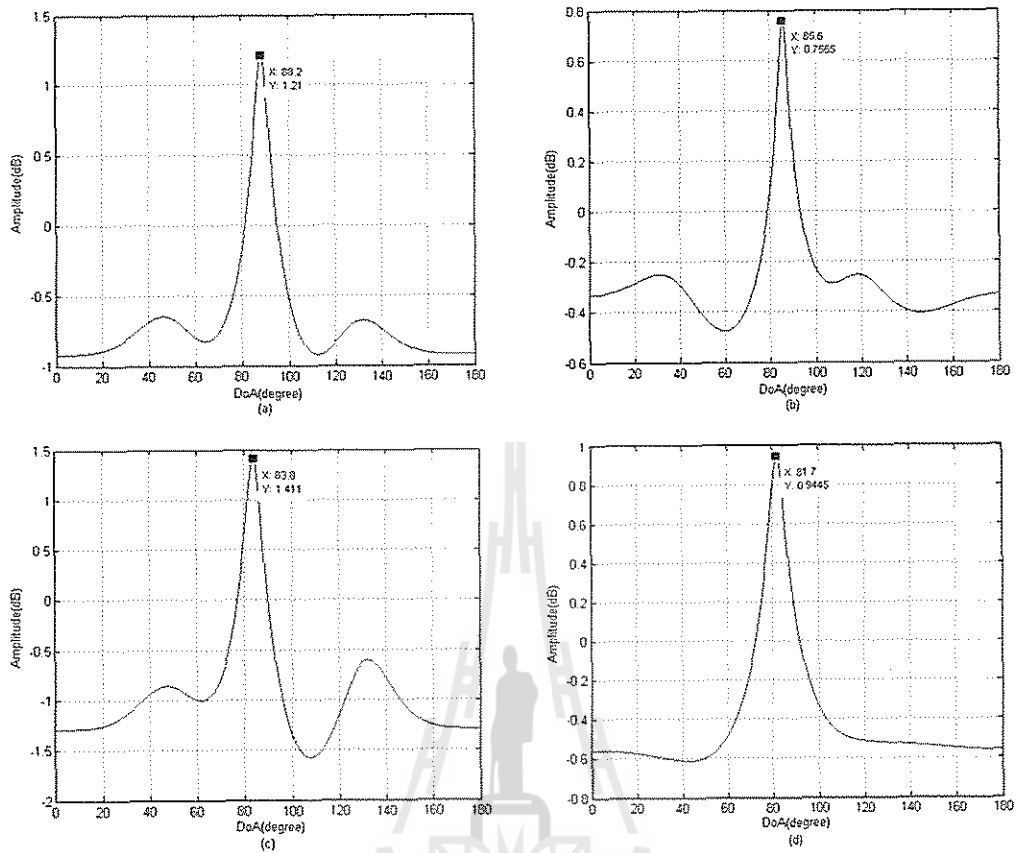
รูปที่ 3.11 การพิจารณาทิศทางที่พู่คลื่นเล็กมีผลต่อการระบุทิศทางการมาถึงของสัญญาณ

จากตารางที่ 3.3 เมื่อพิจารณาพู่คลื่นที่อยู่ในทิศทางที่จะมีผลต่อการประมวลผลตามภาพที่ 3.11 จะเห็นว่าระยะห่างระหว่างไมโครโฟน $d = \frac{\lambda}{2}$ นั้นให้แบบรูปการแผ่กำลังที่ดีที่สุด เนื่องจากให้ความกว้างลำคลื่นกำลังแคบกว่าแถวลำดับที่มีระยะ $d = \frac{\lambda}{4}$ และมีพู่คลื่นเล็กไม่สูงจำนวนมาก ในขณะที่แถวลำดับที่มีระยะ $d = \frac{3\lambda}{4}$ และ $d = \lambda$ อาจจะมีขนาดของความเร็วกำลังแคบกว่าก็ตาม แต่ก็เกิดพู่คลื่นค่อนข้างสูงและมีจำนวนมาก ดังแสดงในภาพที่ 3.12 ซึ่งส่งผลเสียต่อการประมวลผลการหาทิศทางการมาถึงของสัญญาณ



รูปที่ 3.12 แบบรูปการแผ่พลังงานของไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 85° ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (a) 0.25λ (b) 0.5λ (c) 0.75λ (d) λ

จึงสรุปได้ว่าไมโครโฟนแถวลำดับที่ดีที่สุดควรมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟน $d = \frac{\lambda}{2}$ เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้ตามภาพที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ผลการระบุทิศทางด้วยวิธี MUSIC เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ 85° ที่ระยะห่างระหว่างไมโครโฟน (a) 0.25λ (b) 0.5λ (c) 0.75λ (d) λ

3.6 สรุป

การจำลองผลเสมือนเป็นการนำผลการทางทฤษฎีมาผนวกกับการปฏิบัติจริงอย่างละครั้ง ซึ่งเหมือนเป็นการสร้างแนวทางในการทำชุดอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพและหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในบางกรณี โดยที่ไม่ต้องเสียเวลาไปกับการแก้ไขระบบมากนัก ซึ่งในบทนี้สามารถสรุปได้ว่า จำนวนไมโครโฟนแถวลำดับที่มากขึ้นจะช่วยลดความผิดเพี้ยนจากสัญญาณรบกวนได้เนื่องด้วยค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่สูงขึ้น ซึ่งในโครงการนี้จะทำการสร้างชุดอุปกรณ์ที่มีไมโครโฟน 4 ตัว เนื่องจากไมโครโฟนแถวลำดับ 4 ตัว ก็เพียงพอต่อการศึกษาระบุทิศทางการมาถึงของสัญญาณได้โดยให้ผลที่ไม่ผิดเพี้ยนมากนัก อีกทั้งยังไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและมีความยุ่งยากในการทำชุดอุปกรณ์มากจนเกินไป แต่หากมีจำนวนไมโครโฟนแถวลำดับมากไป ผลกระทบจากระยะทางจะเด่นชัดขึ้น เรียกว่า “การสูญเสียในอากาศว่าง” แต่ไม่ได้สรุปว่าระยะทางยิ่งไกลยิ่งดี ระยะทางที่สั้นมากๆ จะไม่สามารถประมาณได้ว่าสัญญาณเดินทางมาถึงไมโครโฟนแต่ละตัวในทิศทางที่ขนานกัน จะทำให้ไมโครโฟนแต่ละตัวรับข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์กัน รวมไปถึงสัญญาณอาจรบกวนกันเอง ทำให้ได้ผลการหาทิศทางของสัญญาณที่ผิดเพี้ยนไป ไมโครโฟนแถวลำดับที่ดีที่สุดควรมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟน $d = \frac{\lambda}{2}$ เพราะจะได้ความกว้างลำคลื่นกำลังแคบ และเกิดพูคลื่นเล็กที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อย จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำไปประกอบกับการสร้างชุดอุปกรณ์ต้นแบบและวัดผลจริงได้ดังที่จะนำเสนอในบทที่ 4 ต่อไป



บทที่ 4

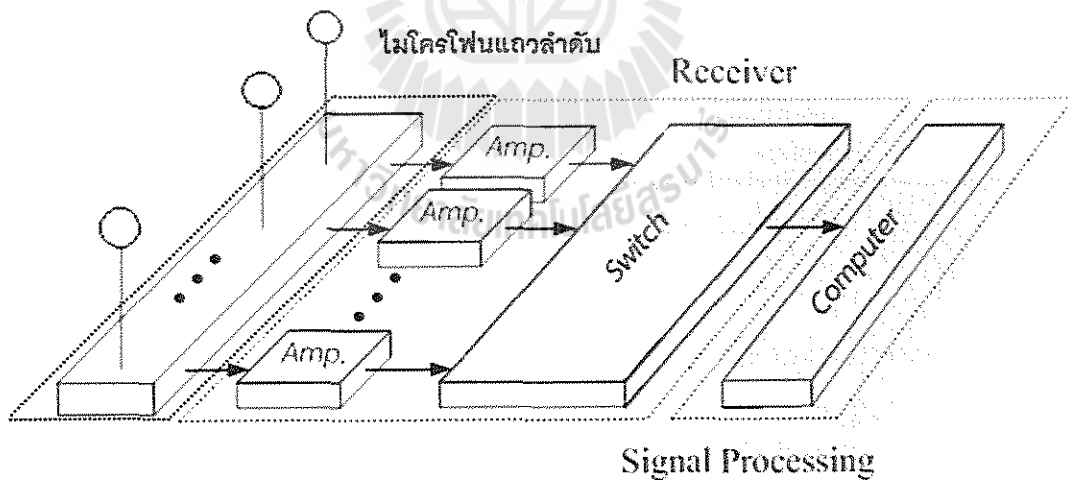
ชุดอุปกรณ์ต้นแบบและผลการทดสอบ

4.1 กล่าวนำ

ในเนื้อหาบทนี้กล่าวถึงการออกแบบชุดอุปกรณ์การหาทิศทางด้วยไมโครโฟนอัจฉริยะ โดยส่วนประกอบของชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนการทำงานหลักคือ ชุดอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ และ ส่วนของตัวประมวลผลสัญญาณที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แล้วทำการหาทิศทางด้วยโปรแกรมแมทแลบ

4.2 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์

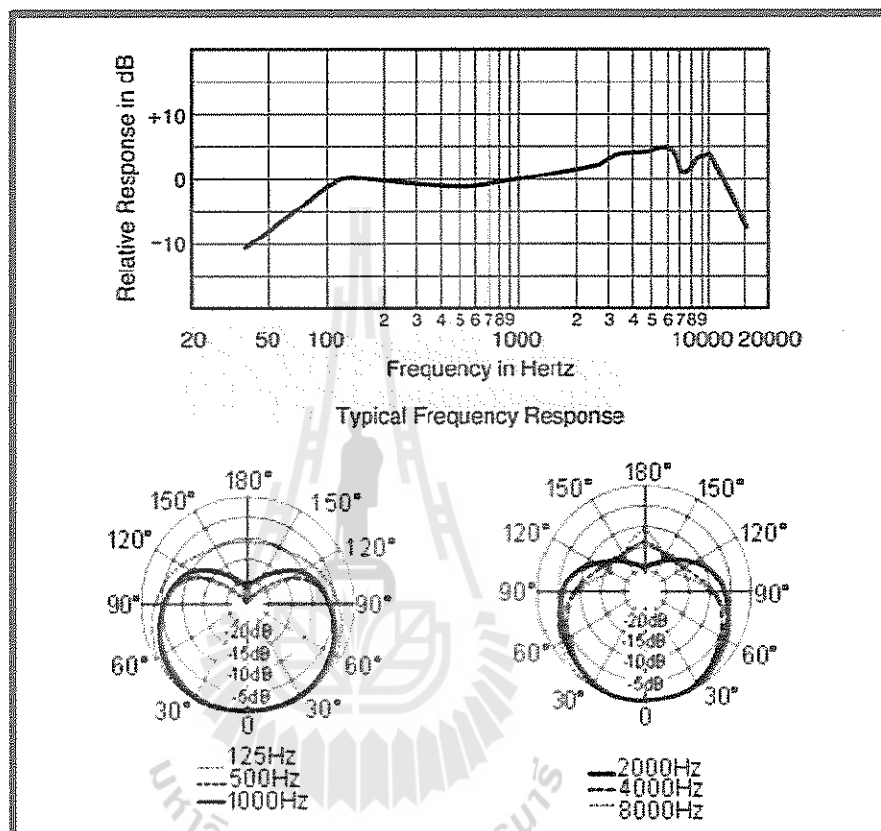
ชุดอุปกรณ์หาทิศทางด้วยไมโครโฟนอัจฉริยะประกอบไปด้วย ไดนามิคไมโครโฟน วงจรขยายสัญญาณ วงจรรีเลย์สวิตซ์ที่ทำงานควบคู่กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนประมวลผลคือคอมพิวเตอร์ ซึ่งในคอมพิวเตอร์จะมีโปรแกรม Soundcard Oscilloscope ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วบันทึกค่าจากไมโครโฟนแต่ละตัวแล้วนำเข้าสู่อุปกรณ์แมทแลบเพื่อหาทิศทางของสัญญาณ ดังภาพที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การหาทิศทางด้วยไมโครโฟนอัจฉริยะ

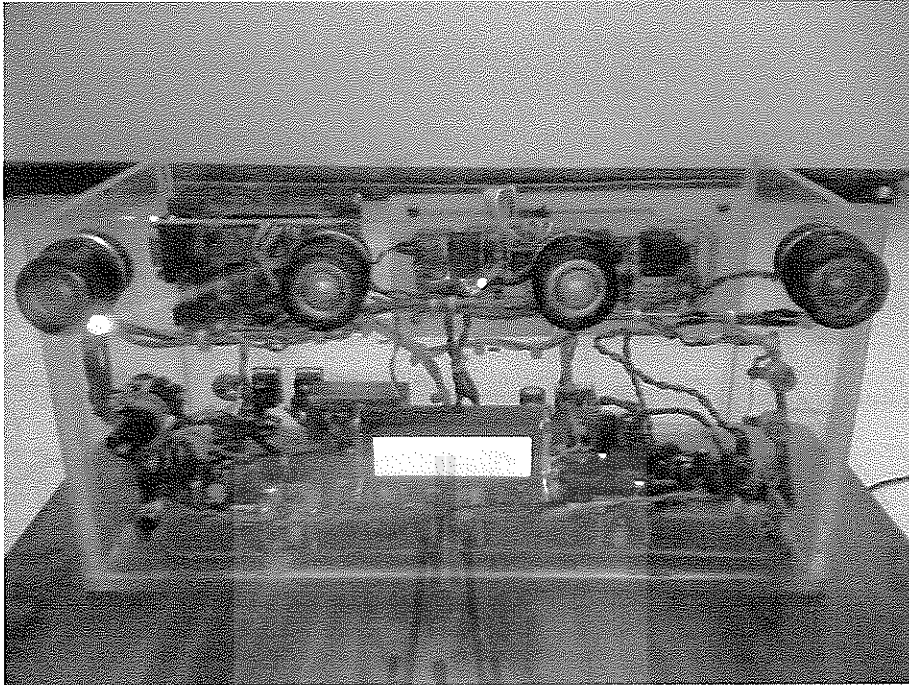
4.2.1 ไมโครโฟนแถวลำดับ

ไมโครโฟนที่ใช้ในที่นี่เลือกใช้ไมโครโฟนแบบทิศทางเดียว(Unidirectional microphone) มีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม มีความไว -54 3dB ในการรับสัญญาณ ใช้งานในย่านความถี่ตั้งแต่ 50Hz – 15kHz โดยที่ในการทดลองใช้ความถี่ 2 kHz ซึ่งแสดงข้อมูลจำเพาะดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลจำเพาะของไมโครโฟน [5]

ดังนั้น ไมโครโฟนดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการทดลองได้เมื่อพิจารณาจากข้อมูลจำเพาะ ไมโครโฟนที่ใช้ในโครงการนี้มีจำนวน 4 ตัวเรียงกันเป็นอาร์เรย์ และทำการติดตั้งไมโครโฟนให้มีระยะห่างระหว่างกัน $d = \frac{\lambda}{2}$ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ไมโครโฟนแถวลำดับจำนวน 4 ตัว แต่ละตัวมีระยะห่างระหว่างกัน 8.65 เซนติเมตร

เราสามารถคำนวณหาระยะห่างระหว่างไมโครโฟนที่ความถี่ 2,000 Hz เนื่องจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ใช้ทำการทดสอบนั้นตอบสนองที่ความถี่นี้ ทำให้สัญญาณที่ได้มีความสมบูรณ์มากที่สุด ส่วนความเร็วเสียงในอากาศที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ 346 m/s ที่อุณหภูมิห้องหรือ 25°C จำนวนความยาวคลื่นได้จากสมการที่ (4.2) และระยะห่างไมโครโฟนแต่ละตัวได้จากสมการที่ (4.3)

$$v = f\lambda \quad (4.1)$$

ความยาวคลื่นสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (4.2)$$

โดยระยะห่างระหว่างไมโครโฟน

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (4.3)$$

ความยาวคลื่น

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{346}{2000}$$

$$\therefore \lambda = 17.3 \text{ เซนติเมตร}$$

หาระยะห่างระหว่างไมโครโฟน
หาระยะห่างระหว่างไมโครโฟน

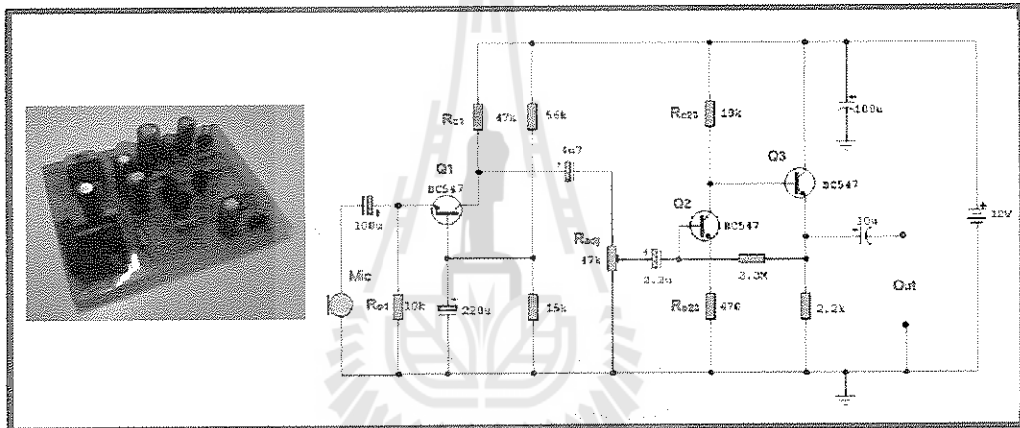
$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{17.3}{2}$$

∴ d = 8.65 เซนติเมตร

ดังนั้นระยะห่างของสายอากาศเท่ากับ 8.65 เซนติเมตร

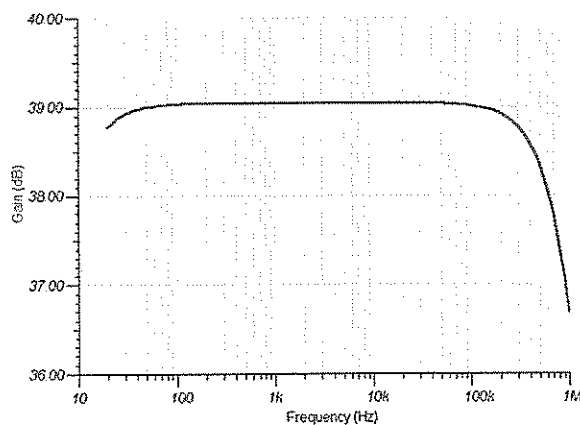
4.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

สัญญาณที่รับมาได้จากไมโครโฟนนั้นมีกำลังต่ำมาก และมีสัญญาณรบกวนปะปนมากับสัญญาณ ดังนั้นระบบจึงจำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ในการขยายกำลังของสัญญาณที่รับได้จากไดนามิกไมโครโฟน ในการทดลองนี้มีวงจรขยายสัญญาณดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรขยายสัญญาณ [5]

โดยรูปที่ 4.5 แสดงผลการตอบสนองระหว่างอัตราขยายกับความถี่



รูปที่ 4.5 ผลการตอบสนองระหว่างอัตราขยายกับความถี่ [5]

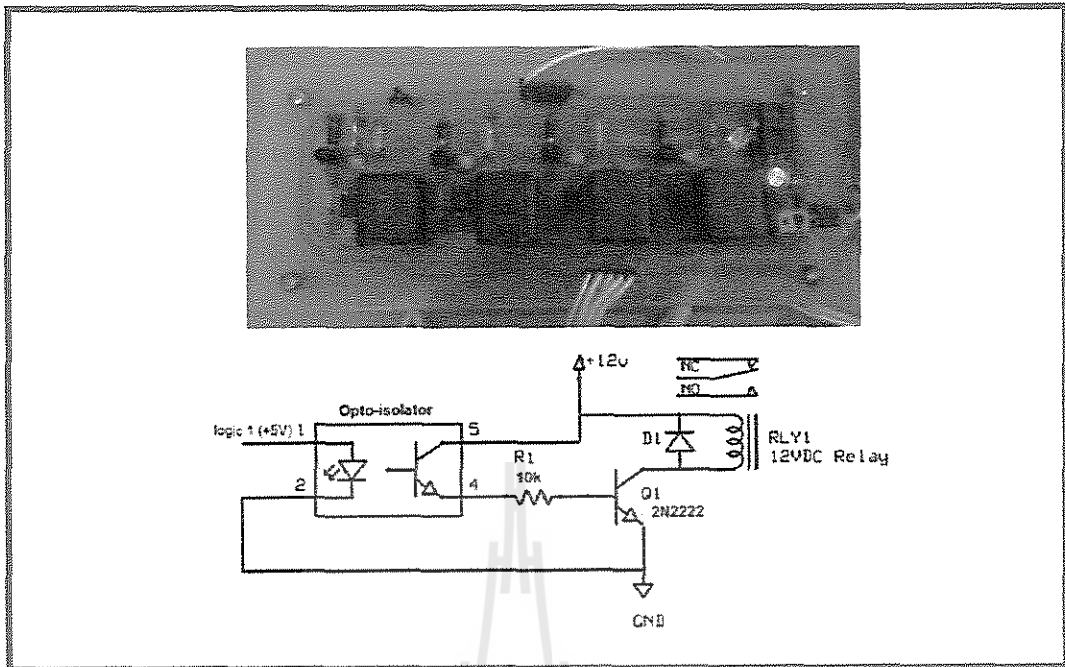
จากรูปที่ 4.5 กราฟผลการตอบสนองความถี่ของวงจรขยายสัญญาณที่ใช้สามารถให้อัตราการขยายสัญญาณได้สูงสุดที่ 39dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 30 Hz ถึง 100 kHz โดยที่อัตราขยายสัญญาณยังคงที่ ความถี่ที่ใช้ในการทดสอบคือ 2,000 Hz ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ที่ให้อัตราการขยายสัญญาณได้สูงสุด ซึ่งอัตราขยายสัญญาณสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Gain, } Q_1 &= \frac{R_{c1}}{R_{e1}} = \frac{47 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \\
 &= 4.7 \\
 \text{Gain, } Q_2\&Q_3 &= \frac{R_{c23}}{R_{e23}} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{470 \Omega} \\
 &= 21.28 \cong 21 \\
 \text{Gain, Total} &= 4.7 \times 21 = 98.7 \cong 98 \\
 \text{ดังนั้นอัตราขยายสูงสุดคือ } &20 \log(98) \cong 39 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

สาเหตุที่ทำให้การประมาณค่าต่ำกว่าค่าจริงเนื่องจากในทางปฏิบัติมีการสูญเสียภายในตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจากวงจรในรูปที่ 4.4 สามารถปรับเพิ่มลดอัตราขยายสัญญาณได้โดยปรับที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_{adj})

4.2.3 วงจรรีเลย์สวิตช์

วงจรรีเลย์สวิตช์เป็นอุปกรณ์ช่วยในการสลับช่องสัญญาณเพื่อที่จะสามารถรับสัญญาณได้หลายช่อง โดยที่การสลับสวิตช์รับสัญญาณแต่ละครั้งจะรับครั้งละช่องสัญญาณ เนื่องจากโปรแกรม Soundcard scope ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะรับสัญญาณได้เพียงครั้งละช่องสัญญาณเท่านั้น โดยโครงงานนี้ใช้ไมโครโฟนที่มีการวางเรียงกันเป็นแถวลำดับ 4 ตัว จึงมีทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณและทำการสลับรับสัญญาณทีละช่องจนครบ 4 ช่องสัญญาณ ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 4.6

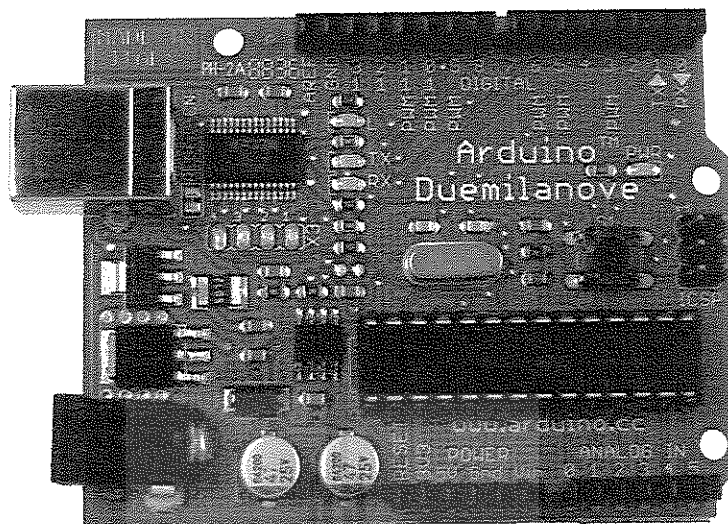


รูปที่ 4.6 วงจรรีเลย์สวิตช์จำนวน 4 ช่องสัญญาณอินพุต [5]

วงจรรีเลย์สวิตช์ที่ใช้ออกแบบให้มีอินพุตได้ 4 อินพุต ออก 1 เอาต์พุต โดยใช้ Opto-isolator ไปจ่ายกระแสให้ทรานซิสเตอร์ไปขับรีเลย์สวิตช์เลือกรับอินพุตที่ละอินพุต

4.2.4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

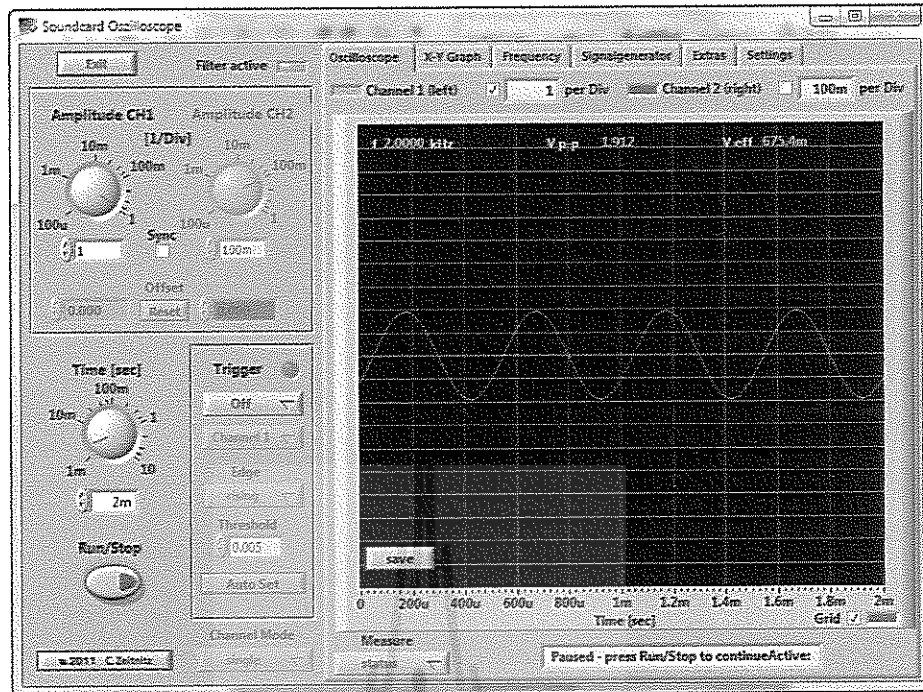
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Atmega328 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมวงจรรีเลย์สวิตช์ โดยรูปแบบการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา C++ Arduino ดังแสดงในภาคผนวก ก.(1) โปรแกรมนั้นจะถูกเขียนและคอมไพล์อยู่บนเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมที่ชื่อว่า Arduino IDE ซึ่งจะทำการตรวจสอบว่าโปรแกรมที่เขียนไปนั้นมีข้อผิดพลาดตรงไหนหรือไม่ ก่อนที่จะทำการโปรแกรมลงในชิป Atmega328 ที่อยู่ในบอร์ด Arduino Atmega328 ซึ่งมีขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก.(2) และภาคผนวก ก.(3) ตามลำดับ



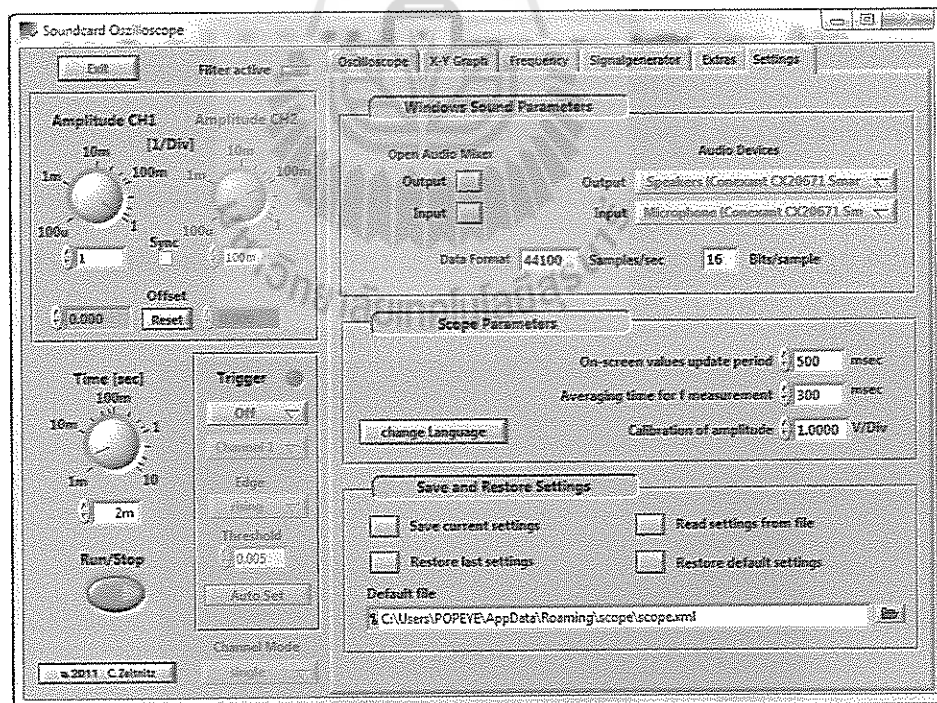
รูปที่ 4.7 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino Atmega328 [3]

4.2.5 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope

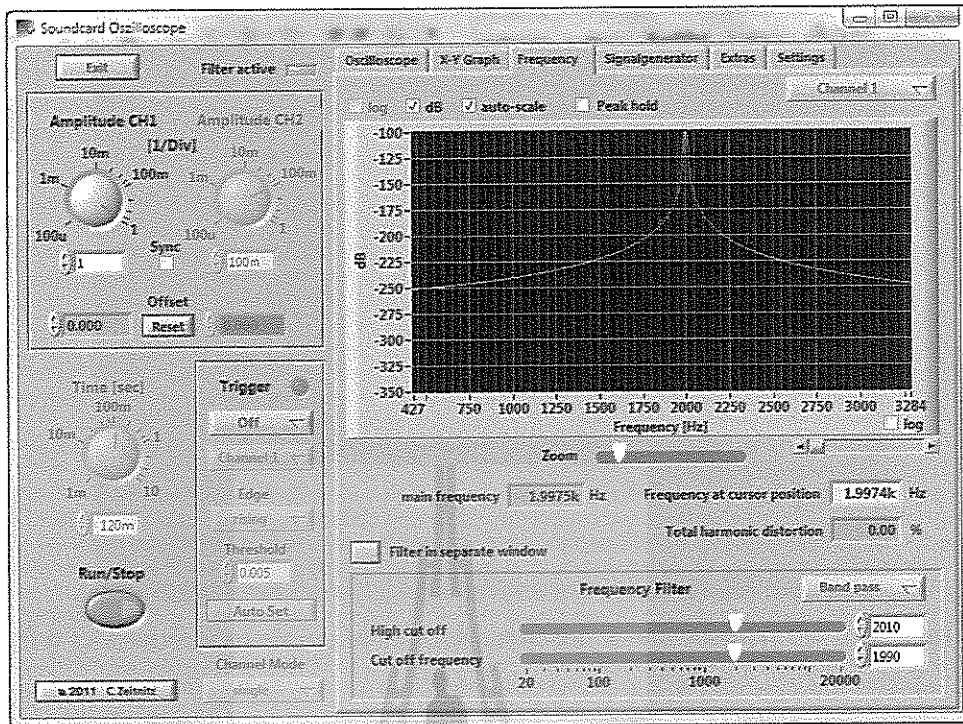
ขณะที่วงจรีเลย์สวิตซ์ทำหน้าที่สลับช่องสัญญาณแต่ละครั้งโปรแกรม Soundcard Oscilloscope จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลดังรูปที่ 4.8 แล้วบันทึกค่าไว้เป็นไฟล์นามสกุล *.csv โดยมีการตั้งค่าโปรแกรมให้มีอัตราการซิกตัวอย่าง 44100 samples/sec จำนวนเข้ารหัส 16 bit มีตัวกรองแบบแถบผ่านที่ช่วงความถี่ 1990 Hz – 2010 Hz ซึ่งแสดงการตั้งค่าได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ เมื่อทำการบันทึกค่าเสร็จแล้วจึงนำไปทำการประมวลผลหาทิศทางของสัญญาณในโปรแกรมแมทแลบต่อไป



รูปที่ 4.8 โปรแกรม Soundcard Oscilloscope ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล



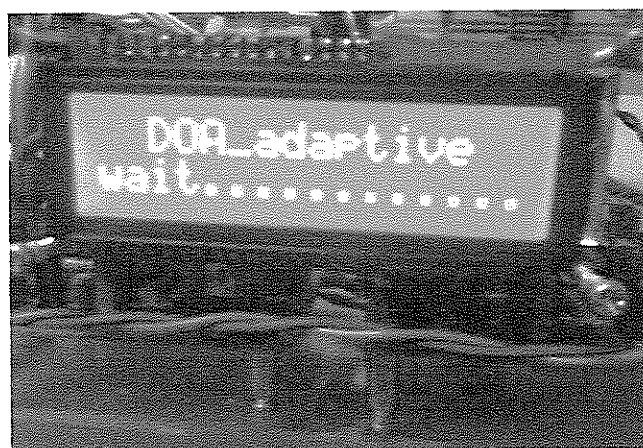
รูปที่ 4.9 การตั้งค่าอัตราการซิกตัวอย่าง 44100 samples/sec



รูปที่ 4.10 การตั้งค่าตัวกรองแบบแถบผ่านที่ช่วงความถี่ 1990 Hz – 2010 Hz

4.2.6 โปรแกรมแมทแลบ

code โปรแกรมแมทแลบที่ได้เขียนไว้ตั้งแสดงในภาคผนวก ค จะนำข้อมูลจากไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกไว้โดยโปรแกรม Soundcard Oscilloscope มาประมวลผลเพื่อหาทิศทางของสัญญาณ จากนั้นทำการแสดงผลโดยผ่านโปรแกรมแมทแลบและแสดงผลทางจอ LCD ดังรูป 4.11 โดยผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

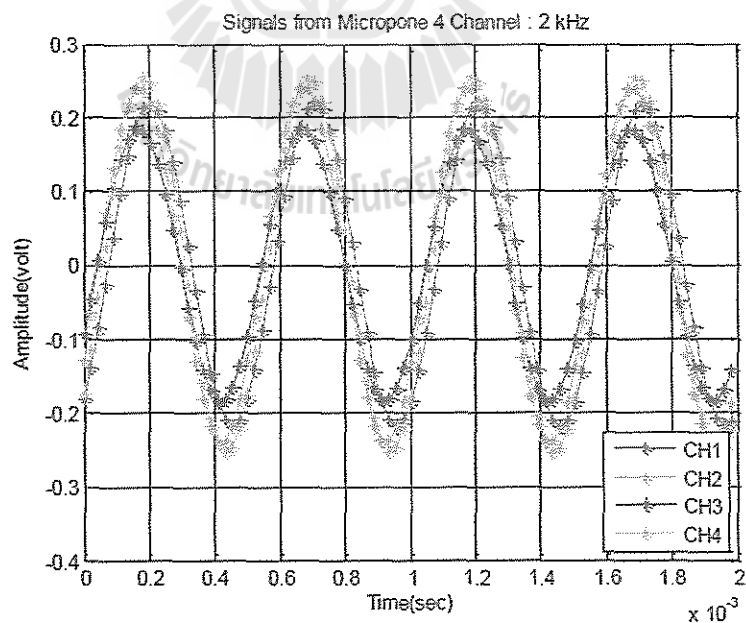


รูปที่ 4.11 การแสดงค่าทิศทางที่คำนวณได้ออกทางจอ LCD



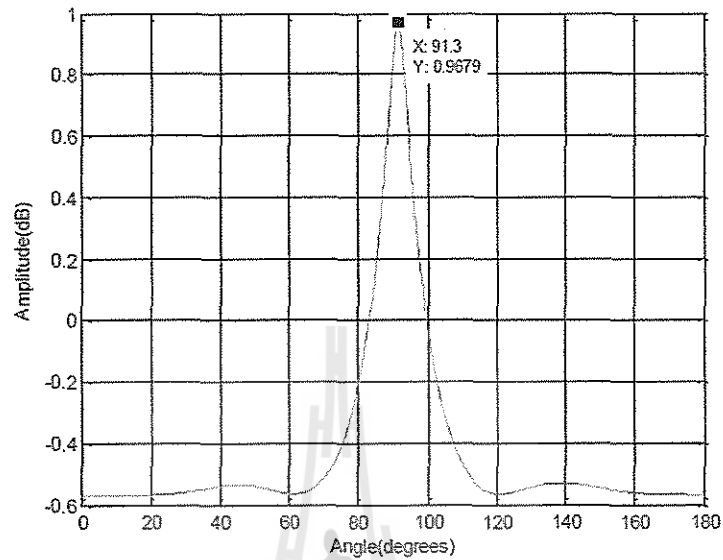
รูปที่ 4.12 การปรับตำแหน่งแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร ที่มุม 90°

เมื่อทำการบันทึกค่าสัญญาณความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร ที่มุม 90° องศา รูปที่ 4.12 เป็นไฟล์นามสกุล *.csv เรียบร้อยแล้ว ใช้โปรแกรมแมทแลบพล็อตรูปสัญญาณทั้ง 4 จากข้อมูลที่บันทึกได้แสดงดังรูป 4.13

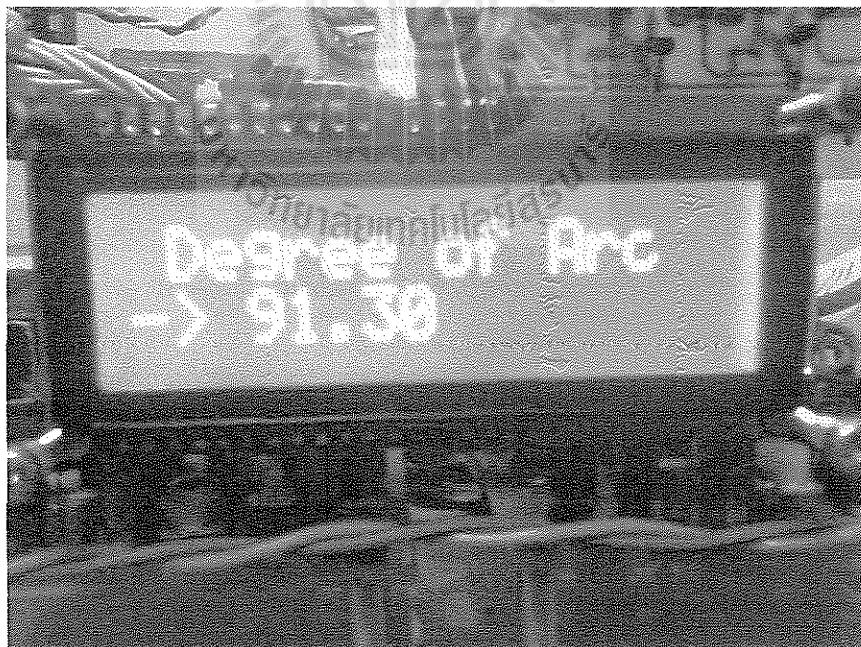


รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ไมโครโฟนรับได้ที่ความถี่ 2 kHz ระยะทาง 2.4 เมตร มุม 90°

หลังจากนั้นใช้โปรแกรมแมทแลบไปวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวเพื่อหาทิศทางของสัญญาณ ได้
 ดังรูปที่ 4.14 แล้วแสดงออกทางจอ LCD ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมกำลังแสดงทิศทางที่โปรแกรมแมทแลบคำนวณได้ของสัญญาณความถี่ 2 kHz
 ระยะทาง 2.4 เมตร ที่มุม 90°



รูปที่ 4.15 การแสดงค่าทิศทางที่โปรแกรมแมทแลบคำนวณได้ของสัญญาณความถี่ 2 kHz ระยะทาง
 2.4 เมตร ที่มุม 90° ออกทางจอ LCD















































