


การจัดตั้งสัญญาณเสียงสะท้อนในสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก



นายณตพร อธิธิโสภณกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

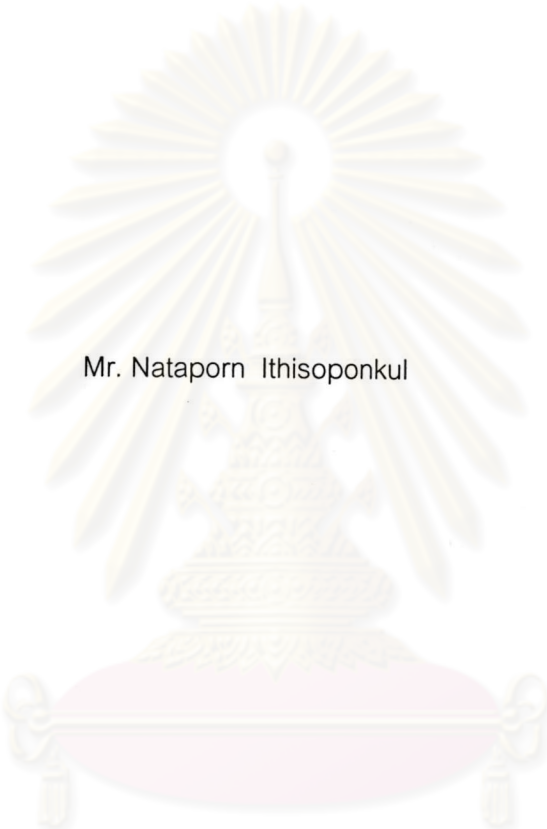
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4386-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACOUSTIC ECHO CANCELLATION IN A DOUBLE-TALK SITUATION



Mr. Nataporn Ithisoponkul

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4386-6



ฉัตรพร อธิธิโสภณกุล : การขจัดสัญญาณเสียงสะท้อนในสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก  
(ACOUSTIC ECHO CANCELLATION IN A DOUBLE TALK SITUATION)

อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.นิศาชล ตั้งแสงี่ยมวิสัย, 81 หน้า. ISBN 974-17-4386-6.

สัญญาณเสียงสะท้อนเป็นปัญหาที่น่าท้าทายในระบบการสื่อสารทางเสียงแบบไม่ใช้มือ ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อ (coupling) ระหว่างไมโครโฟนและลำโพง วิธีหนึ่งในการขจัดสัญญาณเสียงสะท้อน (Acoustic Echo Cancellation, AEC) สามารถทำได้โดยใช้วงจรกรองแบบปรับตัวชนิดผลตอบสนองต่ออิมพัลส์จำกัด โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาระบบ AEC ในขณะที่เกิด สถานการณ์ดับเบิลทอล์ก (Double-talk, DT) ซึ่งเป็นกรณีที่มีสัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องใกล้เคียงกันพร้อมกันกับผู้พูดในห้องไกล เนื่องจากสัญญาณเสียงของผู้พูดในห้องใกล้เคียงจะกระทำตัวเป็นสัญญาณรบกวนที่มีระดับพลังงานสูง ส่งผลให้เกิดการรบกวนการทำงานของวงจรกรองแบบปรับตัว ทำให้เกิดการลู่ออกจากสถานะอยู่ตัวอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ตัวตรวจวัดสถานการณ์ DT (Double-Talk Detector, DTD) จึงเป็นส่วนสำคัญในระบบ AEC DTD ควรจะมีคุณสมบัติพื้นฐานในการตรวจวัดการเกิดสถานการณ์ DT ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้ DTD ควรจะมีความสามารถในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงวิถีสะท้อนทางเสียง (Acoustic Echo Path Change, AEPC) และติดตามการเปลี่ยนแปลงวิถีสะท้อนทางเสียงได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ DTD ควรจะมีการประวิงเวลาในการตัดสินใจที่ไม่มากนักเพื่อป้องกันการตัดสินใจผิดพลาดของ DTD

วิทยานิพนธ์นี้เสนอ DTD ที่ใช้ในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจากสถานการณ์ AEPC โดยจะใช้พฤติกรรมสหสัมพันธ์ (correlation behaviour) ของเวกเตอร์เกรเดียนท์ นอกจากนี้ DTD อีกตัวหนึ่งได้ถูกเสนอเพื่อใช้ในการแยกแยะสถานการณ์ DT ออกจากสถานะอยู่ตัว โดย DTD ทั้ง 2 ตัวจะทำการควบคุมอัตราการปรับตัว (adaptation gain) ของระเบียบวิธี Normalized Least Mean Square (NLMS) ส่งผลให้ระเบียบวิธี NLMS มีอัตราการลู่เข้าที่เร็วเมื่อเกิดสถานการณ์ AEPC และมีอัตราการลู่เข้าที่ช้าลงเมื่ออยู่ในช่วงที่เกิดสถานการณ์ DT

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2546



## 4470697421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ACOUSTIC ECHO CANCELLATION/ DOUBLE-TALK/ TELECONFERENCING/  
ADAPTIVE FILTER/ STEP-SIZE

NATAPORN ITHISOPONKUL : ACOUSTIC ECHO CANCELLATION IN A DOUBLE-TALK SITUATION. THESIS ADVISOR : NISACHON TANGSANGIUMVISAI, Ph.D.,  
81 pp. ISBN 974-17-4386-6.

Acoustic echo are a challenging problem in hands-free voice communication systems. It is caused by acoustic coupling between the microphone and loudspeaker. One possible way to eliminate the acoustic echo, is called Acoustic Echo Cancellation (AEC), is by using adaptive filter with Finite Impulse Response (FIR) structure. In this thesis, an AEC system in a Double-Talk (DT) situation is considered. The DT situation is described when there exists the near-end speaker's signal and the far-end speaker's signal simultaneously. The DT signal acts as a very large interference to the adaptive filter and will result in its divergence. Therefore, Double talk detector (DTD) is very important part in a practical AEC system. The basic requirement for a DTD is that it should detect the DT situation quickly and accurately. Besides, it should also have the ability to distinguish the DT situation from Acoustic Echo Path Change (AEPC) and quickly track variations in the echo path. In addition, the decision delay of the DTD should be as short as possible in order to prevent a false detection of the DT situation.

In this thesis, a DTD has been proposed which aims to distinguish between the DT and the AEPC situations by employing the correlation behaviour of the gradient vectors. In addition, another DTD is suggested to be used to discriminate the DT situation from the steady-state (SS). These two detectors control the adaptation gain of the Normalized Least Mean Square (NLMS) algorithm so that it results in fast convergent rate when there is an AEPC situation and slow convergent rate during the DT situation.

Department ...Electrical Engineering...  
Field of study Electrical Engineering  
Academic year.....2003

Student's signature.....

Advisor's signature.....*Nisachon Tangsangiiumvisai*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี กระผมใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งแรงกระตุ้นและแรงบันดาลใจในการทำวิจัย มาด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษาในการนำไปใช้เกี่ยวกับงานวิจัย  
นี้

ขอขอบคุณโครงการวิจัยร่วมเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้า และภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา ในการใช้ห้องบันทึกเสียงเกี่ยวกับการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อน ๆ และคนรอบตัวผู้วิจัยทุก ๆ คน ในห้องปฏิบัติการวิจัย การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทุก ๆ คน สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิจัยตลอด มา ขอขอบคุณที่ทำให้วันและเวลาของผู้วิจัยผ่านไปอย่างมีความหมาย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติ ๆ ทุกคนที่เป็น กำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บัญชีคำศัพท์.....	ฒ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผล .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ .....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. หลักการและระเบียบวิธีที่สำคัญ.....	5
2.1 การขจัดสัญญาณเสียงสะท้อน.....	5
2.2 การแสดงตัวของระบบ.....	6
2.3 ระเบียบวิธีที่ใช้กับวงจรกรองแบบปรับตัว .....	8
2.3.1 ระเบียบวิธี Least Mean Square (LMS).....	8
2.3.2 ระเบียบวิธี Normalized Least Mean Square (NLMS) .....	11
2.3.3 ระเบียบวิธี Recursive Least squares (RLS).....	12
2.3.4 ระเบียบวิธี Affine Projection (AP) .....	15
3. สถานการณ์ดับเบิลทอล์กและตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก.....	21
3.1 สถานการณ์ DT .....	21
3.2 ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก (Double-Talk Detector) แบบต่างๆ.....	26
3.3 ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์กที่จะนำเสนอสำหรับการขจัด สัญญาณสะท้อนทางเสียง .....	27
3.3.1. ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์กที่อาศัยทฤษฎีความถี่ความถี่.....	28
3.3.2 ระเบียบวิธี PC-VSS .....	34



บทที่	หน้า
3.4 เกณฑ์การทำงานสำหรับตัวตรวจวัดที่นำเสนอ .....	37
3.4.1 ตัวตรวจวัดสถานการณ์ DT ที่นำเสนอ .....	37
3.5 Flow Chart แสดงการทำงานของ DTD ที่นำเสนอ .....	42
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล .....	43
4.1 ผลการทดลองเมื่อใช้ DTD ที่นำเสนอ .....	43
4.1.1 สัญญาณเข้าและสัญญาณ DT เป็นสัญญาณรบกวนสีขาว .....	43
4.2 จุดเริ่มเปลี่ยนแปลงแบบปรับตัว .....	51
4.3 ผลการทดลองเมื่อใช้ DTD ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแปลงแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา .....	53
4.3.1 สัญญาณเข้าและสัญญาณ DT เป็นสัญญาณรบกวนสีขาว .....	53
4.4 ผลการทดลองเมื่อใช้ DTD ที่นำเสนอมาทดสอบกับระเบียบวิธี AP .....	61
4.4.1 สัญญาณเข้าและสัญญาณ DT เป็นสัญญาณรบกวนสีขาว .....	61
4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้ DTD ที่นำเสนอที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแปลงแบบคงที่เมื่อสัญญาณเข้า และสัญญาณ DT เป็นสัญญาณเสียงพูด .....	65
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	69
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต .....	71
รายการอ้างอิง .....	72
ภาคผนวก .....	74
บทความที่ได้รับการเผยแพร่ .....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	81



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความซับซ้อนในการคำนวณของระเบียบวิธี LMS .....	17
ตารางที่ 2.2 ความซับซ้อนในการคำนวณของระเบียบวิธี NLMS.....	17
ตารางที่ 2.3 ความซับซ้อนในการคำนวณของระเบียบวิธี RLS .....	18
ตารางที่ 2.4 ความซับซ้อนในการคำนวณของระเบียบวิธี AP .....	18
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบความซับซ้อนในการคำนวณระหว่างระเบียบวิธี AP และระเบียบวิธี LMS .....	19
ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบความซับซ้อนในการคำนวณระหว่างระเบียบวิธี AP และระเบียบวิธี NLMS.....	19
ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบความซับซ้อนในการคำนวณระหว่างระเบียบวิธี AP และระเบียบวิธี RLS .....	20
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการทำงานระหว่าง DTD ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่และ DTDที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB .....	56
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่าง DTD ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่และ DTDที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 6 dB .....	60
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการทำงานระหว่าง DTD ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่และ DTDที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 6 dB เมื่อทำการทดสอบกับระเบียบวิธี AP .....	64

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 แบบจำลองห้องโกลและห้องใกล้ในระบบสัมมนาทางไกล .....	2
รูปที่ 1.2 การนำวงจรกรองแบบปรับตัวมาใช้ประโยชน์เกี่ยวกับระบบ AEC .....	2
รูปที่ 2.1 ระบบการขจัดสัญญาณเสียงสะท้อน .....	5
รูปที่ 2.2 แผนภาพการแสดงเอกลักษณ์ของระบบ .....	6
รูปที่ 3.1 แผนภาพสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก .....	21
รูปที่ 3.2 สัญญาณเสียงพูด .....	22
รูปที่ 3.3 สัญญาณดับเบิลทอล์ก .....	23
รูปที่ 3.4 ลักษณะวิถีสะท้อนทางเสียง AEP ในห้องใกล้ .....	23
รูปที่ 3.5 สมรรถนะของระเบียบวิธี NLMS เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำ รอบที่ 12000-17000 เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด มีจำนวนซีกตัวอย่าง เท่ากับ 29696 ค่า และ DTFR = 6 dB เมื่อใช้ $\mu = 0.7$ ทั้งสองกรณี .....	24
รูปที่ 3.6 สมรรถนะของระเบียบวิธี NLMS เมื่อเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำ รอบที่ 12000-17000 เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด มีจำนวนซีกตัวอย่าง เท่ากับ 29696 ค่า และ DTFR = 0 dB เมื่อใช้ $\mu = 0.7$ ทั้งสองกรณี .....	25
รูปที่ 3.7 โครงสร้างพื้นฐานการขจัดสัญญาณเสียงสะท้อน .....	28
รูปที่ 3.8 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิด AEPC ณ จำนวนการวนซ้ำรอบที่ 15,000 .....	31
รูปที่ 3.9 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 .....	32
รูปที่ 3.10 ตัวนับ (counter) ของ DTD ที่ใช้ทฤษฎีความตั้งฉาก เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณ เสียงพูดและเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 .....	32
รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ไขว้ ACC(n) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 .....	33
รูปที่ 3.12 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิด AEPC ณ จำนวนการวนซ้ำรอบที่ 17,000 .....	35
รูปที่ 3.13 Weight Error Vector Norm (WEVN) เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 .....	35

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.14 ค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงได้ $\mu(n)$ เมื่อสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณเสียงพูด และเกิดสถานการณ์ DT ในช่วงจำนวนการวนซ้ำรอบที่ 12,000-17,000 .....	36
รูปที่ 3.15 แนววิถีของการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ 2 ตัวแรกของวงจรรองแบบปรับตัวของระบบ AEC เมื่อเกิด (a) สถานการณ์ AEPC (b) สถานการณ์ DT ที่เกิดขึ้น เมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว .....	38
รูปที่ 3.16 Flow Chart การทำงานของ DTD ที่นำเสนอ .....	42
รูปที่ 4.1 ลักษณะวิถีสะท้อนทางเสียง AEP ในห้องใกล้ .....	43
รูปที่ 4.2 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ AEC ที่ใช้ DTD ประเภทต่างๆ ในกรณี DTFR = 0 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	44
รูปที่ 4.3 การตัดสินใจสถานการณ์ DT ของ (a) ตัวตรวจวัดที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉากและ (b) ตัวตรวจวัดที่นำเสนอในกรณี DTFR = 0 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	45
รูปที่ 4.4 DTD $g_1(n)$ และ $g_2(n)$ ของ DTD ที่นำเสนอในกรณี DTFR = 0 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	45
รูปที่ 4.5 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ AEC ที่มี DTD ประเภทต่างๆ ในกรณี DTFR = -6 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	47
รูปที่ 4.6 การตัดสินใจสถานการณ์ DT ของ (a) ตัวตรวจวัดที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉากและ (b) ตัวตรวจวัดที่นำเสนอในกรณี DTFR = -6 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	47
รูปที่ 4.7 DTD $g_1(n)$ และ $g_2(n)$ ของ DTD ที่นำเสนอในกรณี DTFR = -6 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 0,000 .....	48



ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.8 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ AEC ที่มี DTD ประเภทต่างๆ ในกรณี DTFR = 6 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	49
รูปที่ 4.9 การตัดสินใจสถานการณ์ DT ของ (a) ตัวตรวจวัดที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉากและ (b) ตัวตรวจวัดที่นำเสนอในกรณี DTFR = 6 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4)000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DTจากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000 .....	50
รูปที่ 4.10 DTD $g_1(n)$ และ $g_2(n)$ ของ DTD ที่นำเสนอในกรณี DTFR = 6 dB เมื่อกำหนดให้เกิดสถานการณ์ AEPC ณ การวนซ้ำรอบที่ 4,000 และสมมติให้เกิดสถานการณ์ DT จากการวนซ้ำรอบที่ 8,000 - 10,000.....	50
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบลักษณะของ $g_1(n)$ , $g_2(n)$ และสัญญาณ $e^2(n)$ .....	52
รูปที่ 4.12 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ AEC ที่มีการใช้ (1) DTD ที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก (2) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ และ (3) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	53
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการทำงานของ DTD ระหว่าง (a) DTD ที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก (b) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ และ (c) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB .....	54
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบ DTD $g_1(n)$ ระหว่าง (a) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ (b) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	54
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบ DTD $g_2(n)$ ระหว่าง (a) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ (b) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	55
รูปที่ 4.16 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ AEC ที่มีการใช้ (1) DTD ที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก (2) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ และ (3) DTD ที่นำเสนอโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 6 dB.....	57



ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบการทำงานของ DTD ระหว่าง (a) DTD ที่อาศัยทฤษฎีความตั้งฉาก (b) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ และ (c) DTD ที่นำเสนอด โดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 6 dB .....	58
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบ DTD $g_1(n)$ ระหว่าง (a) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยน แบบคงที่ (b) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 6 dB.....	58
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบ DTD $g_2(n)$ ระหว่าง (a) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยน แบบคงที่ (b) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 6 dB.....	59
รูปที่ 4.20 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ AEC ที่มีการใช้ (1) DTD ที่นำเสนอด โดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ และ (2) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบ เปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	62
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบการทำงานของ DTD ระหว่าง (1) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยน แบบคงที่ และ (2) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	62
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบ DTD $g_1(n)$ ระหว่าง (a) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ (b) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	63
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบ DTD $g_2(n)$ ระหว่าง (a) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ (b) DTD ที่นำเสนอดโดยใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา กรณี DTFR = 0 dB.....	63
รูปที่ 4.24 สัญญาณเสียงพูดและสัญญาณ DT.....	66
รูปที่ 4.25 ค่า WEVN เปรียบเทียบสมรรถนะของ (1) ระบบ AEC ที่ใช้ระเบียบวิธี NLMS เมื่อไม่มี DTD ใด ๆ (2) ระบบ AEC ที่ใช้ระเบียบวิธี AP เมื่อไม่มี DTD ใด ๆ และ (3) ระบบ AEC ที่ใช้ระเบียบวิธี AP เมื่อมี DTD ที่นำเสนอดที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยน แบบคงที่ เมื่อสัญญาณเข้าและสัญญาณ DT เป็นสัญญาณเสียงพูด กรณี DTFR = 0 dB.....	66

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 4.26 การทำงานของ DTD ที่นำเสนอที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ในระบบ AEC ที่ใช้ระเบียบวิธี AP เมื่อสัญญาณเข้าและสัญญาณ DT เป็นสัญญาณเสียงพูด กรณี DTFR = 0 dB.....	67
รูปที่ 4.27 DTD $g_1(n)$ และ $g_2(n)$ ระบบ AEC ที่ใช้ระเบียบวิธี AP เมื่อมี DTD ที่นำเสนอ ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนแบบคงที่ เมื่อสัญญาณเข้าและสัญญาณ DT เป็นสัญญาณเสียงพูด กรณี DTFR = 0 dB.....	67



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ดัชนีคำศัพท์

acoustic echo cancellation	การขจัดสัญญาณเสียงสะท้อน
acoustic echo path	วิถีสะท้อนทางเสียง
acoustic echo path change	การเปลี่ยนแปลงวิถีสะท้อนทางเสียง
activity	พฤติกรรม
adaptive threshold	จุดเริ่มเปลี่ยนแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา
algorithm	ระเบียบวิธี
auto-correlation	อัตสหสัมพันธ์
block processing	การประมวลผลข้อมูลที่เป็นบล็อก
channel equalization	การปรับเท่าของสัญญาณ
characteristic	ลักษณะเฉพาะ
convergence rate	อัตราการลู่เข้า
convex function	ฟังก์ชันคอนเวกซ์
convolution sum	ผลบวกคอนโวลูชัน
cost function	ฟังก์ชันต้นทุน
counter	ตัวนับ
coupling	การเชื่อมต่อ
cross-correlation	สหสัมพันธ์ข้าม
delay	การประวิงเวลา
directivity	แนววิถี
double-talk detector	ตัวตรวจวัดสถานการณ์ดับเบิลทอล์ก
double-talk system	สถานการณ์ดับเบิลทอล์ก
echo	เสียงสะท้อน
eigenvalue	ค่าเฉพาะ
ensemble average	ค่าเฉลี่ยทั้งชุดเชิงสถิติ
false detection	การตัดสินใจผิดพลาด
far-end	ผู้พูดในห้องไกล
far-end room	ห้องไกล
feedback	การป้อนกลับ

finite impulse response	ผลตอบสนองของอิมพัลส์จำกัด
freeze	การยับยั้ง
hands-free voice communication system	ระบบการสื่อสารทางเสียงที่ไม่ต้องใช้มือ
identity matrix	เมตริกซ์เอกลักษณ์
iteration	การวนซ้ำ
linear time-invariant system	ระบบเชิงเส้นและไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
matrix algebra	พีชคณิตเชิงเมตริกซ์
minimum	น้อยที่สุด
misadjustment	การเบี่ยงเบนของคำตอบ
mobile phone system	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
near-end	ผู้พูดในห้องใกล้
near-end room	ห้องใกล้
nonsingularity matrix	เมตริกซ์ไม่เอกฐาน
operator	ตัวดำเนินการ
optimum	เหมาะสม
order	อันดับ
orthogonality theorem	ทฤษฎีความตั้งฉาก
posteri error	ความผิดพลาดค่าหลัง
priori error	ความผิดพลาดค่าก่อนหน้า
pseudo-inverse matrix	เมตริกซ์ผกผันเทียม
regularization matrix	เมตริกซ์เรกกูลาไรเซชัน
robust performance	สมรรถนะที่ทนทาน
single-talk situation	สถานการณ์ซึ่งเกิดทอล์ก
smart antenna	สายอากาศเก่ง
steady state	สภาวะอยู่ตัว
step-size	ค่าชวงก้าว
system identification	การแสดงเอกลักษณ์ของระบบ
teleconferencing system	ระบบสัมมนาทางไกล



time average

ค่าเฉลี่ยทางเวลา

tracking

การติดตาม

transient

ทรานเซียนท์

update equation

สมการปรับให้เป็นปัจจุบัน

variable step-size

ค่าช่วงก้าวที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย