เครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลบนพื้นฐาน TMS320C6000 โดยใช้การเข้ารหัสแบบ G.729

นายวิเชียร อูปแก้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3780-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21227263

TMS320C6000 BASED DIGITAL SPEECH RECORDER USING G.729 CODING

Mr. Wichian Ooppakaew

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 974-17-3780-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลบนพื้นฐาน TMS320C6000 โดยใช้การเข้ารหัสแบบ G.729
โดย	นาย วิเชียร อูปแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเชียร อูปแก้ว : เครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลบนพื้นฐาน TMS320C6000 โดยใช้การเข้ารหัสแบบ G.729. (TMS320C6000 BASED DIGITAL SPEECH RECORDER USING G.729 CODING) อ. ที่ปรึกษา : รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.สุวิทย์ นาคพีระยุทธ 109 หน้า. ISBN 974-17-3780-7.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลที่สามารถบันทึกและเล่นเสียงพูดได้แบบเวลาจริง โดยใช้การเข้ารหัสและถอดรหัสแบบ CS-ACELP ตามมาตรฐาน ITU-T G.729 ที่มีอัตราการเข้ารหัสต่ำคือ 8 kbits/s ซึ่งต่ำกว่าแบบ ADPCM ที่มีอัตราการเข้ารหัสที่ 32 kbits/s จึงทำให้ใช้หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลน้อยกว่า โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพของเสียงได้ใกล้เคียงกับแบบ ADPCM ในโครงงานนี้ใช้การเขียนโปรแกรมโดยภาษาระดับสูงจึงทำให้สะดวกและง่ายต่อการพัฒนา และเลือกตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเป็นแบบจุดลอยที่มีความเร็วสูง จึงทำให้ผลของการคำนวณมีความถูกต้องสูงและสามารถทำงานแบบเวลาจริงได้ทัน ผลของการเข้ารหัสและถอดรหัสด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลถูกนำไปเปรียบเทียบคุณภาพของเสียงจากมาตรฐานของ ITU-T G.729 จากการทดสอบบันทึกและเล่นเสียงพูดสามารถทำการบันทึกและฟังเสียงที่บันทึกได้ โดยมีคุณภาพใกล้เคียงกับเสียงที่ได้จากมาตรฐาน ITU-T G.729

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

4470537721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : SPEECH CODING / CS-ACELP / G.729 / TMS320C6000

WICHIAN OOPPAKAEW : TMS320C6000 BASED DIGITAL SPEECH RECORDER USING G.729 CODING. THESIS ADVISOR : KRISADA VISAVATEERANON, ASSOC.PROF., THESIS COADVISOR : SUVIT NAKPEERAYUTH 109 pp. ISBN 974-17-3780-7.

This thesis presents an implementation of digital speech recorder which can record and playback on real-time by using CS-ACELP speech coding algorithm according to ITU-T G.729 recommendation. While ADPCM algorithm provides coding of speech at 32 kbits/s , CS-ACELP algorithm provides coding of speech at 8 kbits/s lower bitrate than 32 kbits/s of ADPCM. This leads to less memory usage with equivalent speech quality. In this project high speech digital signal processor and high level language programming are employed which offer realtime processing with high accurate computation and ease of developing program. From the experiment, the digital speech recorder can produce same quality speech compared to standard ITU-T G.729 recommendation.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Electrical Engineering	Student's signature	
Field of study	Electrical Engineering	Advisor's signature	
Academic year	2003	Co-advisor's signature	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุวิทย์ นาคพีระยุทธ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยด้วยดีตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล และ อาจารย์ ดร. อาภรณ์ ธีรมงคลรัศมี ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ที่ได้ให้ทุนในการศึกษาต่อและทำวิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ขอบคุณ คุณสุภัทรชัย ชมพันธุ์ นิสิตปริญญาเอก สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิตอล ที่ได้ให้ข้อมูล คำแนะนำในการทำวิจัย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นสถานที่ที่ทำการวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและพี่น้องทุกคนที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาไทย..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1.บทนำ..... 1

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 การเข้ารหัสเสียงแบบต่างๆ 4

2.2 การวัดสมรรถนะของการเข้ารหัสเสียงพูด..... 4

2.2.1 การวัดคุณภาพด้วยอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน..... 6

2.2.2 การวัดคุณภาพเสียงโดยใช้วิธี MOS..... 6

บทที่

3. การเข้ารหัสเสียงตามมาตรฐาน ITU-T G.729 CS-ACELP..... 8

3.1 หลักการโดยรวมของตัวเข้ารหัส CS-ACELP..... 8

3.2 หลักการโดยรวมของตัวถอดรหัส CS-ACELP..... 11

3.3 รายละเอียดการทำงานของตัวเข้ารหัส CS-ACELP..... 12

3.3.1 Pre-processing..... 12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

3.3.2 การวิเคราะห์การทำนายเชิงเส้นและการควอนไทซ์ 13
3.3.2.1 วิธีการหน้าต่างและการคำนวณอัตสหสัมพันธ์ 13
3.3.2.2 อัลกอริทึม Levison-Durbin 15
3.3.2.3 การเปลี่ยนสัมประสิทธิ์ LP เป็น LSP 15
3.3.2.4 การควอนไทซ์สัมประสิทธิ์ LSP 17
3.3.2.5 การประมาณค่าในช่วงสัมประสิทธิ์ LSP 19
3.3.2.6 การเปลี่ยนสัมประสิทธิ์ LSP เป็น LP 19
3.3.3 Perceptual weighting 20
3.3.4 การวิเคราะห์หาพิตช์ใน Open-loop 21
3.3.5 การคำนวณหาการตอบสนองอิมพัลส์ 22
3.3.6 การคำนวณหาสัญญาณเป้าหมาย 23
3.3.7 การค้นหา Adaptive-codebook 23
3.3.7.1 การสร้างเวกเตอร์ adaptive-codebook 25
3.3.7.2 การเข้ารหัสค่าการประวิงเวลาของ adaptive-codebook 26
3.3.7.3 การคำนวณหาอัตราขยายของ adaptive-codebook 26
3.3.8 โครงสร้างและการค้นหา fixed-codebook 27
3.3.8.1 ขั้นตอนการค้นหา fixed-codebook 28
3.3.8.2 การคำนวณการเข้ารหัสของ fixed-codebook 30
3.3.9 การควอนไทซ์อัตราขยาย 30
3.3.9.1 การทำนายอัตราขยาย 31
3.3.9.2 การค้นหา codebook สำหรับการควอนไทซ์อัตราขยาย 32
3.3.10 การปรับให้ทันกาลในหน่วยความจำ 33
3.4 รายละเอียดการทำงานของตัวถอดรหัส CS-ACELP 34
3.4.1 ขั้นตอนการถอดรหัสพารามิเตอร์ 34
3.4.1.1 การถอดรหัสพารามิเตอร์ของวงจรกรองสัญญาณ LP 34
3.4.1.2 การคำนวณหาพาริตี้บิต 34
3.4.1.3 การถอดรหัสเวกเตอร์ adaptive-codebook 35

บทที่ หน้า

3.4.1.4 การถอดรหัสเวกเตอร์ fixed-codebook..... 36

3.4.1.5 การถอดรหัสอัตราขยายของ adaptive-codebook และ fixed-codebook 36

3.4.1.6 การสังเคราะห์สัญญาณเสียง..... 37

3.4.2 Post-processing..... 38

3.4.2.1 Long-term postfilter..... 38

3.4.2.2 Short-term postfilter..... 40

3.4.2.3 Tilt compensation..... 40

3.4.2.4 การควบคุมอัตราขยายแบบปรับค่าได้..... 40

3.4.2.5 การกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านและปรับขยายขนาด..... 41

บทที่

4. การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล..... 42

4.1 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอล..... 42

4.1.1 คุณสมบัติของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอล TMS320C6711..... 43

4.1.2 การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำและอุปกรณ์ภายนอก..... 45

4.1.3 การสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก..... 46

4.2 วงจรเชื่อมต่อแอนาลอก..... 48

4.3 บอร์ดทดลอง TMS320C6711 DSK..... 49

4.4 โปรแกรม Code Composer Studio..... 51

บทที่

5. เครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอล..... 54

5.1 การพัฒนาโปรแกรมการเข้ารหัสและถอดรหัส..... 54

5.1.1 การพัฒนาโปรแกรมเข้ารหัสและถอดรหัสโดยใช้การจำลองโปรแกรม CCS.. 54

5.1.2 การพัฒนาโปรแกรมเข้ารหัสและถอดรหัสแบบเวลาจริง..... 59

5.2 การสร้างเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอล..... 67

5.2.1 โครงสร้างทางซอฟต์แวร์..... 67

5.2.2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์..... 69

5.2.3 การโปรแกรมหน่วยความจำแบบแฟลช..... 75

บทที่ หน้า

5.2.4 ฟังก์ชันการทำงาน..... 76

6 การทดสอบและผลการทดสอบ..... 78

6.1 การทดสอบการวัดค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน... 78

6.2 การทดสอบคุณภาพเสียงโดยการฟัง..... 93

6.3 การทดสอบการใช้งานในการบันทึกและเล่น..... 95

บทที่

7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..... 96

7.1 สรุปผล..... 96

7.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ..... 97

รายการอ้างอิง..... 100

ภาคผนวก..... 101

บทความทางวิชาการของผู้วิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์..... 102

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการเข้ารหัสเสียงพูดแบบต่างๆ 4

ตารางที่ 2.2 ระดับคะแนนในการวัด MOS..... 7

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า MOS ของคุณภาพเสียงในระดับต่างๆ..... 7

ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดบิตการเข้ารหัสแบบ CS-ACELP ตามมาตรฐาน G.729..... 9

ตารางที่ 3.2 โครงสร้างของ Fixed-codebook..... 27

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ได้จากการถอดรหัส..... 37

ตารางที่ 4.1 ผังการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำของ TMS320C6711..... 46

ตารางที่ 5.1 การกำหนดหน่วยความจำของเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอล..... 70

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองคำนวณค่า PSNR จากไฟล์ที่ทำการบันทึก..... 79

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองคำนวณค่า PSNR แบบคำพูดหลายพยางค์..... 91

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบคุณภาพเสียงจากการเข้ารหัสโดยการฟัง..... 94

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองบันทึกเสียงและเล่น..... 95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการสังเคราะห์สัญญาณเสียงด้วยวิธี CELP..... 9

รูปที่ 3.2 หลักการเข้ารหัสของตัวเข้ารหัสแบบ CS-ACELP..... 10

รูปที่ 3.3 บล็อกการทำงานของตัวถอดรหัส..... 12

รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวเข้ารหัสแบบ CS-ACELP..... 14

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวถอดรหัสแบบ CS-ACELP..... 35

รูปที่ 4.1 วิวัฒนาการของดีเอสพีตระกูล TMS320x..... 43

รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมของ TMS320C6711..... 45

รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมของพอร์ตอนุกรม..... 47

รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรม TLC320AD535 49

รูปที่ 4.5 บอร์ดทดลอง TMS320C6711 DSK 50

รูปที่ 4.6 หน้าต่างของโปรแกรม CCS..... 52

รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการพัฒนาโดยใช้โปรแกรม CCS..... 53

รูปที่ 5.1 โฟล์วชาร์ตการทำงานของตัวเข้ารหัสและถอดรหัสโดยใช้การจำลองโปรแกรม CCS 55

รูปที่ 5.2 ชุดของสัญญาณสุ่มที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวทำนายเชิงเส้น..... 56

รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง..... 60

รูปที่ 5.4 การกำหนดขอบเขตของหน่วยความจำในส่วนของ MEMORY..... 61

รูปที่ 5.5 การกำหนดขอบเขตของหน่วยความจำในส่วนของ SECTIONS..... 61

รูปที่ 5.6 การเลือกการคอมไพล์ในการทำงานแบบเวลาจริง..... 62

รูปที่ 5.7 โฟล์วชาร์ตการทำงานของการเข้ารหัสแบบเวลาจริง..... 64

รูปที่ 5.8 โฟล์วชาร์ตการทำงานของการถอดรหัสแบบเวลาจริง..... 65

รูปที่ 5.9 โฟล์วชาร์ตการทำงานของการเข้ารหัสถอดรหัสแบบเวลาจริง..... 67

รูปที่ 5.10 โฟล์วชาร์ตการทำงานของเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอล..... 68

รูปที่ 5.11 บล็อกการทำงานของเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอล..... 70

รูปที่ 5.12 วงจรสวิตช์ควบคุมการทำงาน..... 71

รูปที่ 5.13 วงจรแอลอีดีแสดงสถานะการทำงาน..... 71

รูปที่ 5.14 วงจรขยายสัญญาณไมโครโฟน..... 72

รูปที่ 5.15 วงจรขยายสัญญาณเสียงสำหรับขับลำโพง..... 73

บทที่ หน้า
รูปที่ 5.16 เครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลต้นแบบ 74
รูปที่ 5.17 ลักษณะภายในของเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลต้นแบบ 74
รูปที่ 5.18 ด้านหน้าเครื่องบันทึกเสียงพูดดิจิตอลต้นแบบ 76
รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “หนึ่ง” 80
(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "หนึ่ง" 80
(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU 80
(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี 80
รูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “สอง” 81
(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สอง" 81
(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU 81
(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี 81
รูปที่ 6.3 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “สาม” 82
(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สาม" 82
(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU 82
(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี 82
รูปที่ 6.4 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “สี่” 83
(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สี่" 83
(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU 83
(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี 83
รูปที่ 6.5 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “ห้า” 84
(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "ห้า" 84
(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU 84
(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี 84
รูปที่ 6.6 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “หก” 85
(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "หก" 85
(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU 85
(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี 85
รูปที่ 6.7 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “เจ็ด” 86

บทที่ หน้า

(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "เจ็ด"..... 86

(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU..... 86

(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี..... 86

รูปที่ 6.8 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “แปด”..... 87

(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "แปด"..... 87

(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU..... 87

(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี..... 87

รูปที่ 6.9 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “เก้า”..... 88

(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "เก้า"..... 88

(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU..... 88

(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี..... 88

รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “สิบ”..... 89

(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สิบ"..... 89

(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU..... 89

(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี..... 89

รูปที่ 6.11 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “ดอกไม้”..... 92

(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "ดอกไม้"..... 92

(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU..... 92

(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี..... 92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย