บทที่ 5

การทดลองและการประเมินผล

ความนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการทดลองการเข้ารหัสเสียงโดยมีทั้งการจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์เพื่อวัดคุณภาพของการเข้ารหัสเสียงและการทำงานตามเวลาจริงเพื่อตรวจสอบการทำงานตามเวลาจริงและประเมินคุณภาพของเสียงจากการเข้ารหัสโดยการฟัง การจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือโปรแกรมที่เขียนด้วย MATLAB และโปรแกรมที่เขียนด้วยแอสเซมบลีของ 'C50 จะทำการเข้ารหัสตัวอย่างเสียงชุดเดียวกัน แล้วทำการประเมินผลเปรียบเทียบคุณภาพในการเข้ารหัสทั้งสองส่วน

5.1 การทดลองบนคอมพิวเตอร์เพื่อวัดคุณภาพของการเข้ารหัสเสียง

จะวางข้อกำหนดสำหรับการทดลองเฉพาะการจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์ไว้ดังนี้

1) ข้อมูลเสียงที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้ความละเอียดของสัญญาณเท่ากับ 16 บิต และอัตราการสุ่มสัญญาณเท่ากับ 8 กิโลเฮิรตซ์

2) ใช้ข้อมูลเสียงตัวอย่างชุดเดียวกันในการจำลองโปรแกรมทั้ง 2 แบบ เมื่อทำการเข้ารหัสเสร็จแล้วจะทำการประเมินคุณภาพของการเข้ารหัสเปรียบเทียบกัน

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ต้องการเปรียบเทียบคุณภาพของการเข้ารหัสแบบจุดตรึง 16 บิตของแอสเซมบลีกับการเข้ารหัสแบบจุดลอย 64 บิตของ MATLAB รวมถึงการวัดผลในการเพิ่มคุณภาพเสียงที่เข้ารหัสแล้วของโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

ขั้นตอนการทดลอง แบ่งเป็น

1. จำลองโปรแกรมบน MATLAB ทำการเข้ารหัสเสียงพูดเป็นคำสั้นๆ การถอดรหัสเสียงพูดออกมาโดยไม่ต้องใช้โพสต์ฟิลเตอร์ที่ด้านขาออก

2. ใช้โพสต์ฟิลเตอร์ที่ด้านขาออกกับเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสบน MATLAB

3. จำลองโปรแกรมแบบแอสเซมบลีบนตัวจำลองโปรแกรม ทำการเข้ารหัสเสียงพูดเป็นคำสั้นๆ ชุดเดียวกับที่ใช้ใน MATLAB การถอดรหัสเสียงพูดออกมาโดยไม่ต้องใช้โพสต์ฟิลเตอร์ที่ด้านขาออก

4. ทำการประเมินผลเปรียบเทียบคุณภาพในการเข้ารหัสระหว่างข้อ 1 และข้อ 3 และเปรียบเทียบผลระหว่างข้อ 1 และข้อ 2 เพื่อตรวจสอบการทำงานของโพสต์ฟิลเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการประเมินผลการทดลอง กระทำได้ 2 วิธีคือ

1) การวัดค่าอัตราส่วนขนาดของสัญญาณต่อเสียงรบกวนหรือ SNR ในเสียงตัวอย่างที่ใช้แต่ละคำ ใช้การคำนวณดังในสมการที่ (2.1) ค่าอัตราส่วนขนาดของสัญญาณต่อเสียงรบกวนจะบอกคุณภาพของการเข้ารหัสว่ามีข้อผิดพลาดมากเท่าใด ค่าอัตราส่วนขนาดของสัญญาณต่อเสียงรบกวนที่สูงแสดงถึงขนาดของเสียงรบกวนที่น้อยแสดงว่าการเข้ารหัสมีแนวโน้มที่จะได้เสียงที่มีคุณภาพดี ใช้ในการเปรียบเทียบผลระหว่างเสียงที่เข้ารหัสบน MATLAB และเสียงที่เข้ารหัสบนแอสเซมบลี

2) การเปรียบเทียบในเชิงความถี่หรือสเปกตรัม เพื่อดูองค์ประกอบของเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ จุดประสงค์หลักเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลระหว่างเสียงที่เข้ารหัสบน MATLAB และเสียงที่เข้ารหัสบน MATLAB แล้วผ่านโพสต์ฟิลเตอร์

ไม่ได้ใช้การรับฟังเป็นหลักสำคัญในการประเมินคุณภาพของเสียงจากการเข้ารหัสแบบแอสเซมบลีเพราะมีความน่าเชื่อถือน้อยอันเนื่องมาจากผู้รับฟังที่ไม่ได้รับการฝึกมาอย่างถูกต้องจะมีความเห็นต่อคุณภาพของเสียงที่แตกต่างกันได้มากมาย ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถทดสอบคุณภาพของเสียงโดยใช้ผู้รับฟังที่ผ่านการฝึกมาโดยเฉพาะมาให้คะแนนคุณภาพของเสียงอย่างเช่นในวิธีการแบบ MOS (ในบทที่ 2) ได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดสอบ รวมถึงการทำงานนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการทำงานตามเวลาจริงโดยมีการทำงานตามมาตรฐานที่ได้รับการตรวจสอบคุณภาพของเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสมาแล้วว่าดีเพียงใด การตรวจสอบคุณภาพของการพัฒนาโปรแกรมตามมาตรฐานนี้ในงานวิจัยของนักวิจัยอื่น ๆ จะใช้เพียงค่า SNR เป็นหลัก[9] โดยเปรียบเทียบกับการเข้ารหัสอ้างอิงซึ่งโดยทั่วไปจะเลือกใช้การเข้ารหัสที่มีการคำนวณแบบจุดลอย ในงานวิจัยนี้จึงเลือกการเข้ารหัสด้วย MATLAB เป็นการเข้ารหัสอ้างอิง ส่วนการรับฟังนั้นจะใช้เพื่อประเมินคุณภาพของเสียงโดยประมาณเท่านั้น

ผลการทดลองบนคอมพิวเตอร์

การเข้ารหัสเสียงในส่วนนี้จะใช้ตัวอย่างเสียงทั้งหมด 14 ตัวอย่าง เป็นคำพูดสั้นๆตั้งแต่พยางค์เดียวไปจนถึง 3 พยางค์ เสียงทุกตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้มีอัตราการสุ่มข้อมูลเท่ากับ 8.0 กิโลเฮิรตซ์หรือ 8,000 ตัวอย่างสุ่มใน 1 วินาที เสียง 1 ตัวอย่างสุ่มเท่ากับเวลา 125 ไมโครวินาที เสียง 1,000 ตัวอย่างสุ่มเท่ากับ 0.125 วินาที คำพูดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ตัวเลข "หนึ่ง" ถึง "สิบ" และคำว่า "เดิน" "ดอกไม้" "วันอาทิตย์" และ "สวัสดีครับ" เสียงสังเคราะห์ที่ได้จากการทดลองจะถูกเปรียบเทียบกับเสียงต้นฉบับโดยวิธีการหาค่าอัตราส่วนของสัญญาณและสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio--SNR) และจากการดูผลตอบเชิงความถี่ในรูปของสเปกตรัมที่ได้จากการนำสัญญาณเสียงที่ได้ไปคำนวณ FFT และสุดท้ายคือการเปรียบเทียบโดยการฟัง

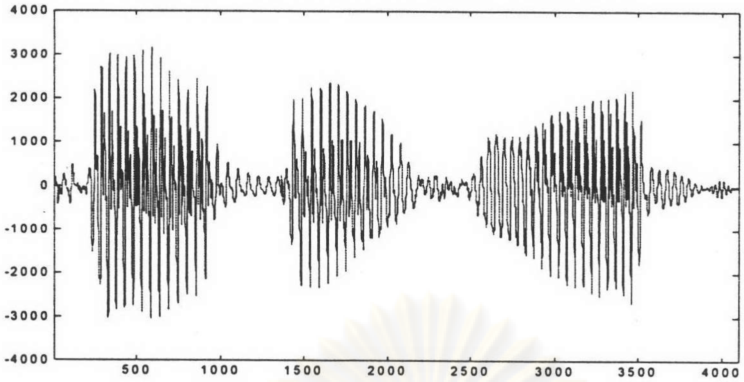
ผลการทดลองแสดงให้เห็นในรูป 5.1 ถึง 5.8 เป็นผลการทดลองส่วนหนึ่งของการทดลองทั้งหมดที่ได้ทำ คือผลการทดลองเข้ารหัสเสียงพูดคำว่า "สวัสดีครับ" รูป 5.1 แสดงรูปร่างของสัญญาณทั้งหมด รูป 5.2 แสดงผลต่างจากสัญญาณเสียงต้นฉบับ รูป 5.3, 5.5 และ 5.7 แสดงรูปร่างของสัญญาณเสียงบางส่วน รูป 5.4, 5.6 และ 5.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเสียงบางส่วน โดยแต่ละรูปจะประกอบด้วย (ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ (ข) สัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสบน MATLAB (ค) สัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสและผ่านโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB และ (ง) สัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสบนตัวจำลองโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี จากการทดลองจะเห็นว่าการเข้ารหัสเสียงบน MATLAB สามารถสังเคราะห์เสียงกลับมาได้ใกล้เคียงเสียงต้นฉบับเมื่อดูจากผลตอบในโดเมนเวลาซึ่งประกอบด้วยรูปร่างของสัญญาณที่ใกล้เคียงกันโดยมีผลต่างเล็กน้อยระหว่างสัญญาณและสัญญาณเสียงต้นฉบับ และจากผลตอบเชิงความถี่เมื่อดูจากสเปกตรัมจะเห็นว่าในส่วนของความถี่หลักมูลและฮาร์มอนิกส์ต้น ๆ สามารถสังเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง แต่ในส่วนความถี่สูง ๆ บริเวณ

3 ถึง 4 กิโลเฮิรตซ์จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยโดยจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาบ้าง เมื่อเปรียบเทียบโดยการฟังพบว่าเสียงที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงสัญญาณเสียงต้นฉบับโดยสามารถรู้สึกได้เล็กน้อยถึงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบ้าง ผลที่ได้บน MATLAB จะมีคุณภาพของการเข้ารหัสที่ดีกว่าบนแอสเซมบลีเล็กน้อยเมื่อดูจากค่า SNR และได้ค่าสเปกตรัมที่ใกล้เคียงกัน สัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสและผ่านโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB จะมีค่า SNR ที่ต่ำกว่าสัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสเมื่อยังไม่ผ่านโพสต์ฟิลเตอร์ แต่เมื่อดูจากสเปกตรัมแล้วพบว่าโพสต์ฟิลเตอร์จะเพิ่มขนาดของผลตอบเชิงความถี่ที่จุดยอดหรือที่ความถี่ที่แสดงค่าคาบของสัญญาณทั้งความถี่หลักมูลและฮาร์โมนิกต่าง ๆ ขึ้นไปและลดขนาดของจุดต่ำสุดระหว่างจุดยอดดังกล่าวลงมาเล็กน้อยดังนั้นคุณภาพของเสียงที่ได้มีแนวโน้มที่จะดีขึ้นและเมื่อฟังดูแล้วไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าคุณภาพของเสียงลดลง แสดงให้เห็นว่าค่า SNR ซึ่งเป็นการวัดเชิงวัตถุนั้นใช้ไม่ได้ในกรณีของโพสต์ฟิลเตอร์เนื่องจากการทำงานของโพสต์ฟิลเตอร์เป็นการเพิ่มคุณภาพของเสียงที่ถูกเข้ารหัสโดยไม่ขึ้นกับลักษณะของสัญญาณเสียงต้นฉบับ ในรูปของผลการทดลองสัญญาณเสียงคำต่อ ๆไปแสดงอยู่ในภาคผนวก ก ส่วนสัญญาณเสียงอื่น ๆที่ใช้ในการทดลองไม่ได้แสดงรูปผลการทดลองแต่มีการคำนวณค่า SNR ของสัญญาณเสียงที่ได้ไว้และนำมาแสดงรวมกันไว้ทั้งหมดในตาราง 5.1

จากการทดลองกับตัวอย่างเสียงส่วนใหญ่จะได้ผลการเข้ารหัสด้วย MATLAB มีค่า SNR สูงกว่าการเข้ารหัสด้วยแอสเซมบลีแต่ก็มีบางตัวอย่างที่ได้ค่า SNR ใกล้เคียงกันซึ่งกรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นในกลุ่มเสียงที่มีค่า SNR ต่ำกว่าตัวอย่างเสียงส่วนใหญ่ เสียงที่ได้ค่า SNR ต่ำอาจจะเป็นเพราะลักษณะเฉพาะของเสียงคำนั้น ๆ เนื่องจากเสียงมีคุณสมบัติควอซายสเตชันนารี (Quasi-stationry) มีค่าทางสถิติที่คงที่ในช่วงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น ถ้าในบางตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของเสียงเกิดขึ้นเร็วมาก การเข้ารหัสอาจจะทำงานไม่ทันการเปลี่ยนแปลงนั้น คุณภาพของเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสจึงต่ำกว่าตัวอย่างเสียงส่วนใหญ่ ทำให้การเข้ารหัสเสียงเหล่านี้ทั้งสองแบบมีค่า SNR ที่ต่ำทั้งคู่และมีค่าใกล้เคียงกัน เสียงเหล่านี้ได้แก่เสียงหมายเลข 3,6,9,12 และ 13 จากตาราง 5.1

เสียงบางตัวอย่างจะมีสัญญาณขนาดเล็กแทรกขึ้นมาในเสียงจากการเข้ารหัสด้วยแอสเซมบลีภายหลังจากคลื่นเสียงต้นฉบับลดขนาดลงไปใกล้ค่าศูนย์ในช่วงสุดท้ายของคำนั้น สาเหตุอาจจะเกิดจากเรื่องความละเอียดที่มีจำกัดของโปรแกรมทำให้เกิด Overflow หรือ Underflow ขึ้นระหว่างการเข้ารหัส การแก้ไขโปรแกรมในเรื่องการปรับรูปแบบการเก็บข้อมูลให้เหมาะสมอาจจะลดปัญหาในเรื่องนี้ได้ ตัวอย่างเสียงที่เกิดปัญหาเหล่านี้ได้แก่เสียงหมายเลข 6,7 และ 8 แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

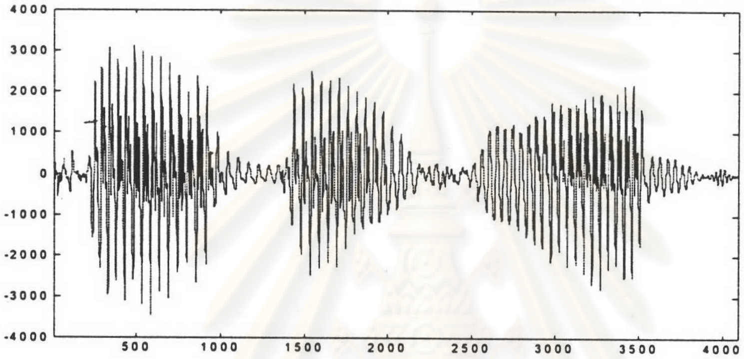
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาด

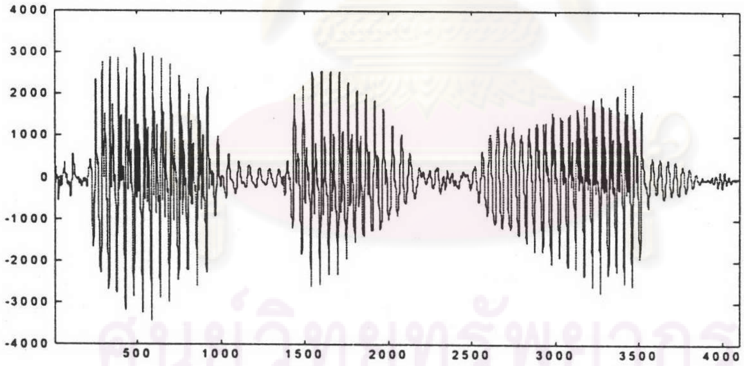
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

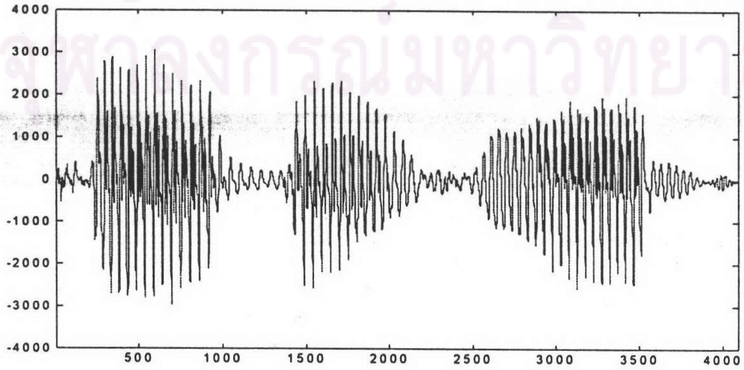
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



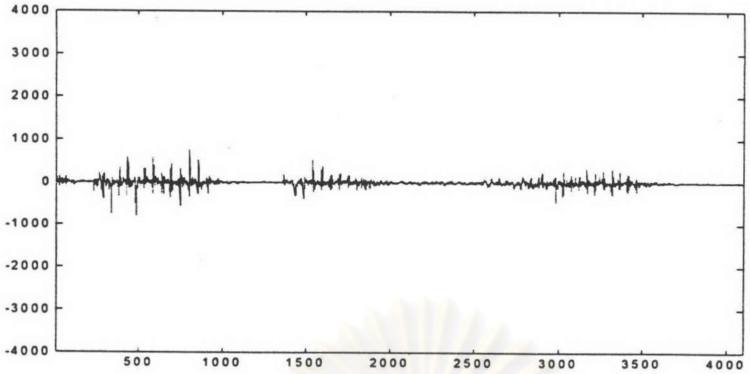
(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

รูป 5.1 สัญญาณเสียงทั้งหมดของเสียงพูดคำว่า “สวัสดีครับ”

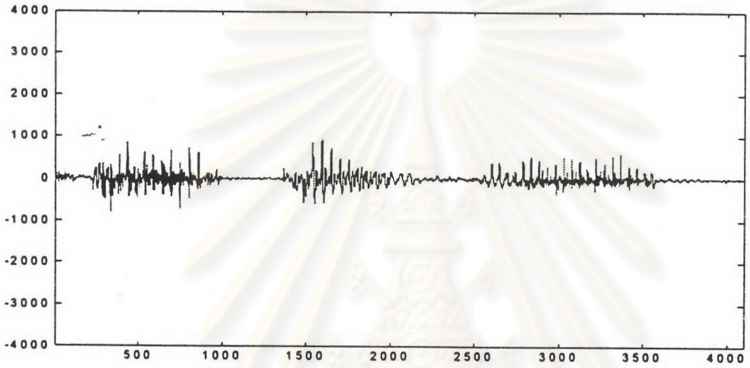
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

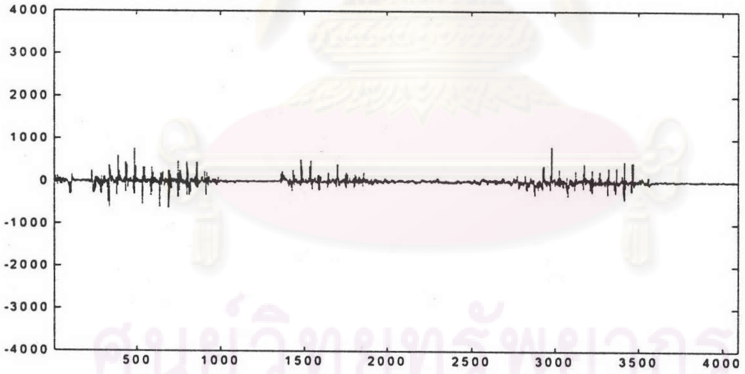
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ข) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ค) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

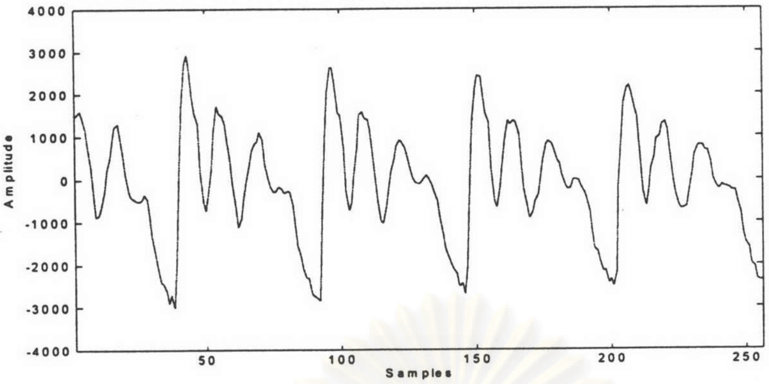
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) SNR =21.4 เดซิเบล

(ข) SNR =16.7 เดซิเบล

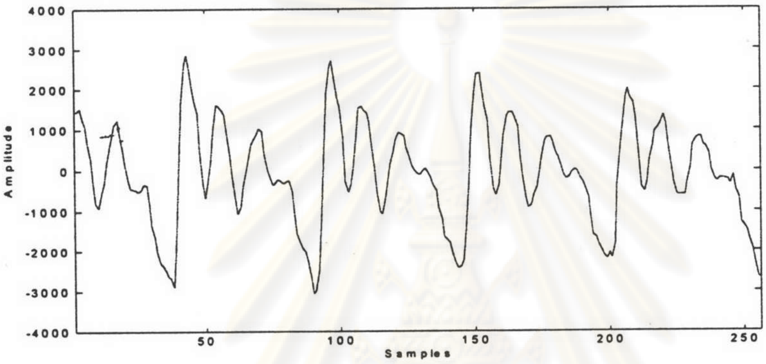
(ค) SNR =20.7 เดซิเบล

รูป 5.2 ผลต่างระหว่างสัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสทั้งหมดกับสัญญาณเสียงต้นฉบับคำว่า “สวัสดีครับ”



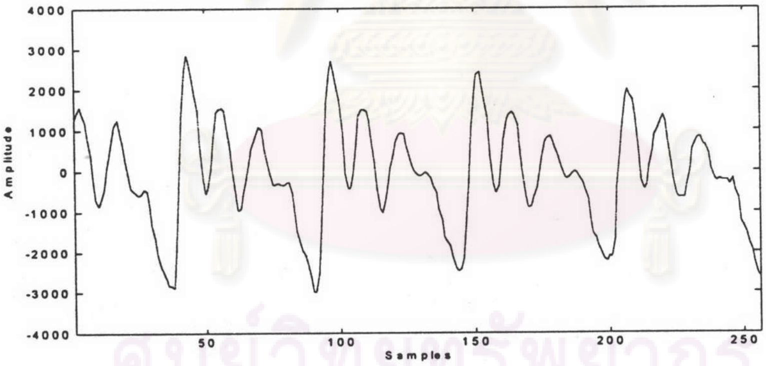
(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาด
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

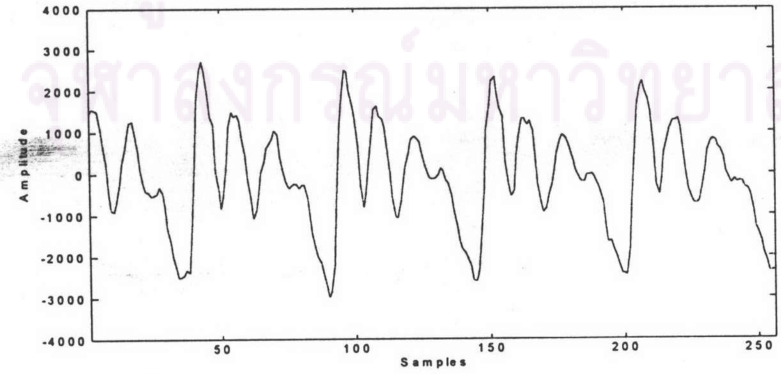
แกนตั้ง = ขนาด
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

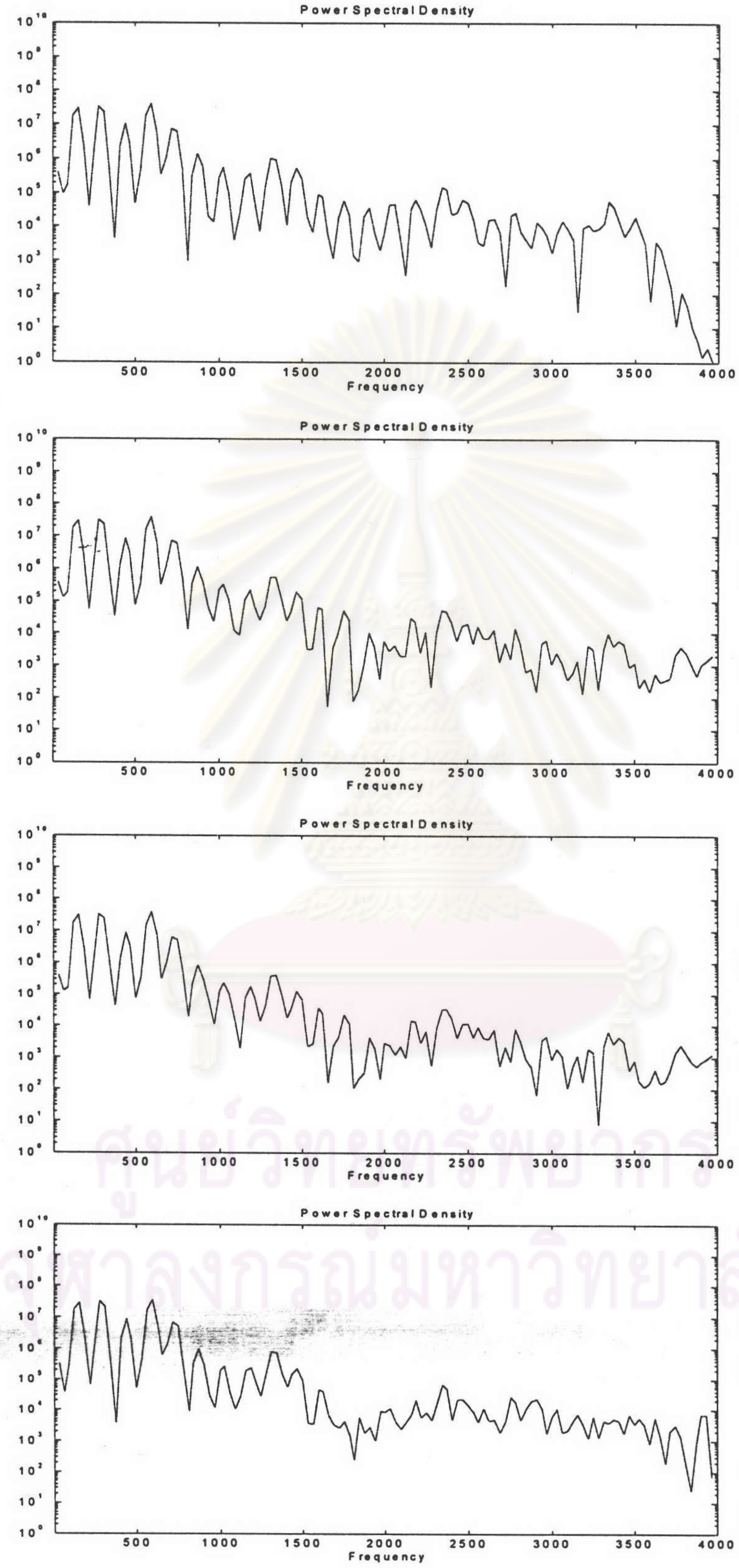
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาด
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

รูป 5.3 สัญญาณเสียงในช่วงตัวอย่างสุ่มที่ 601 ถึง 856 ของเสียงจากรูป 5.1



(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

แกนนอน = ความถี่

(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

แกนนอน = ความถี่

(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

แกนนอน = ความถี่

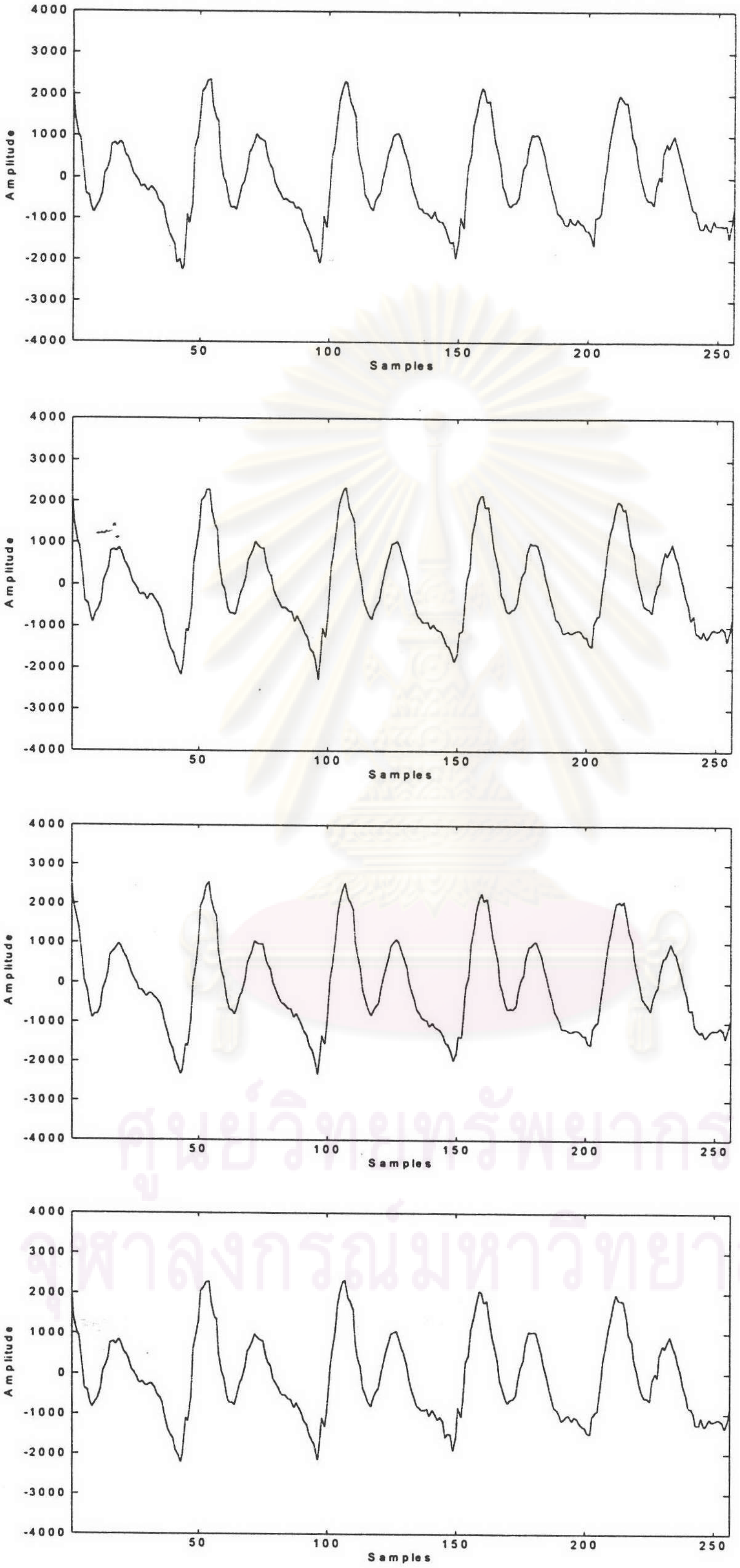
(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

แกนนอน = ความถี่

รูป 5.4 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงในช่วงตัวอย่างสุ่มที่ 601 ถึง 856 ของเสียงจากรูป 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

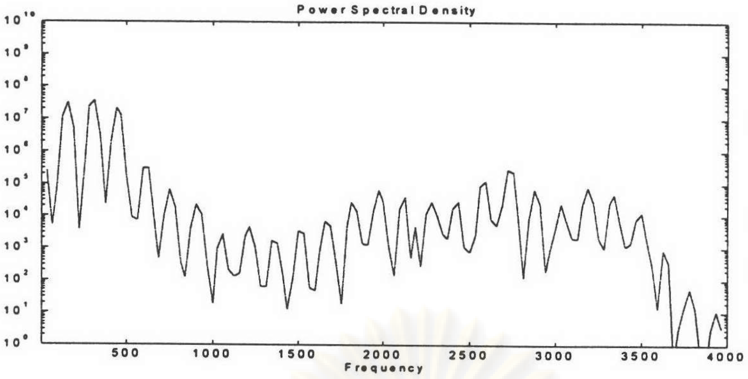
(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

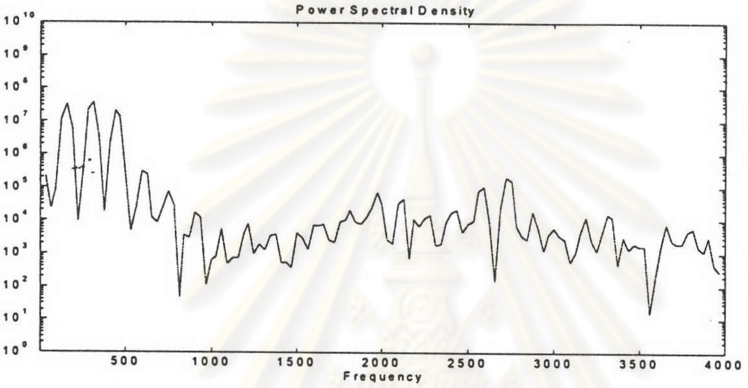
รูป 5.5 สัญญาณเสียงในช่วงตัวอย่างสุ่มที่ 1601 ถึง 1856 ของเสียงจากรูป 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



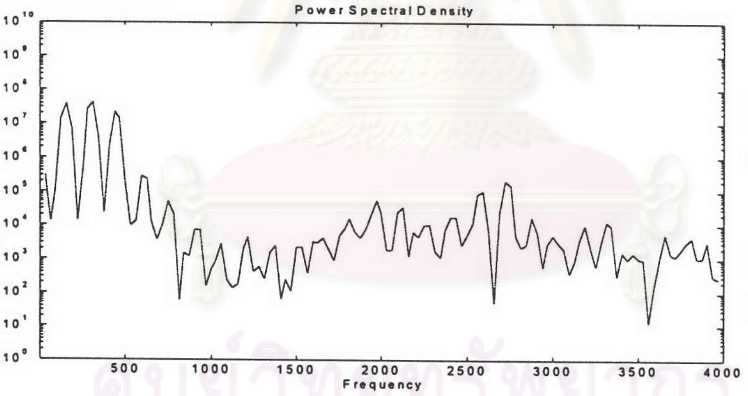
(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม
แกนนอน = ความถี่



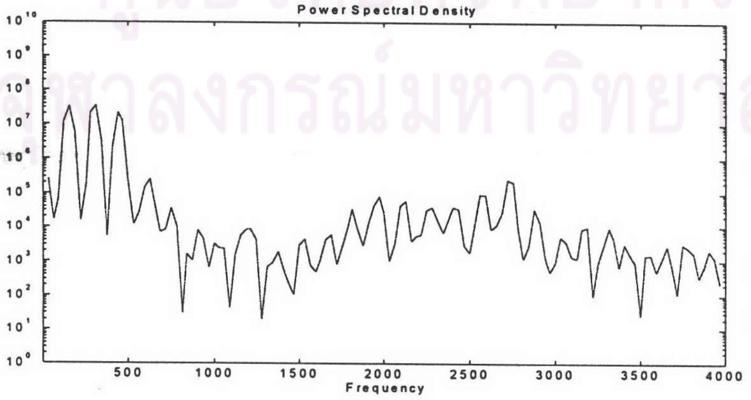
(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม
แกนนอน = ความถี่



(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม
แกนนอน = ความถี่

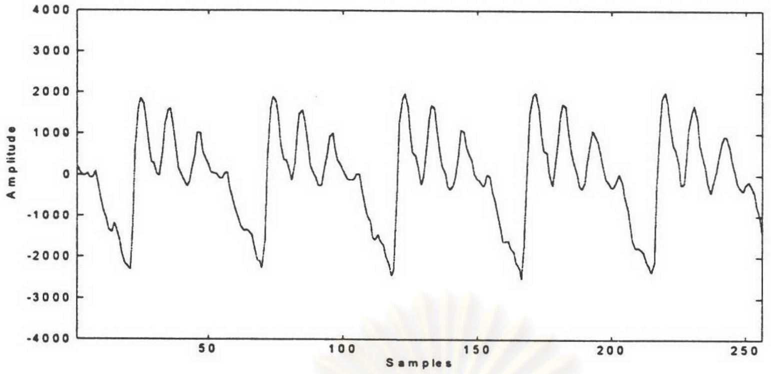


(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม
แกนนอน = ความถี่

รูป 5.6 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงในช่วงตัวอย่างสุ่มที่ 1601 ถึง 1856 ของเสียงจากรูป 5.1

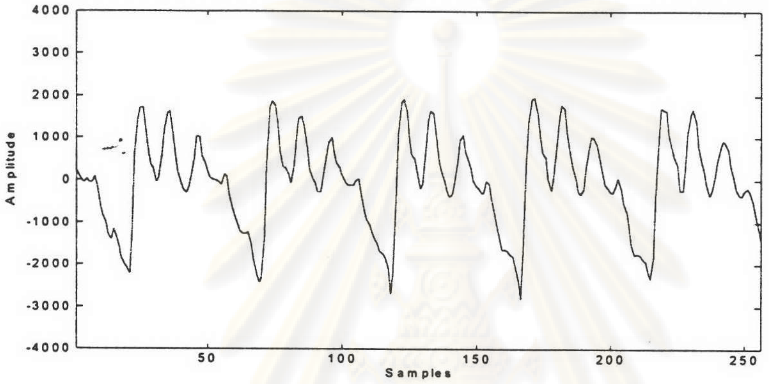
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาด

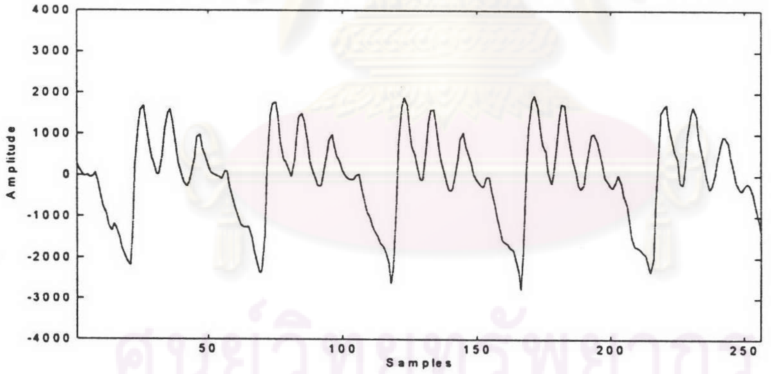
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

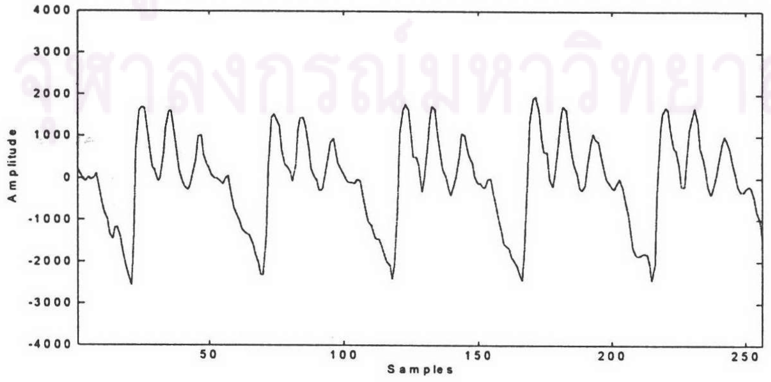
แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม



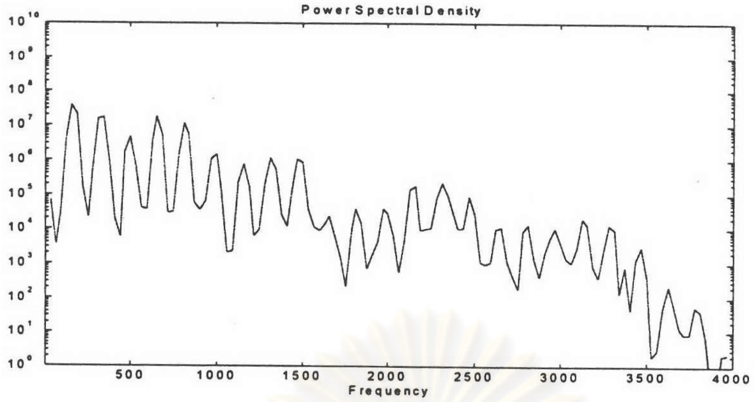
(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาด

แกนนอน = ตัวอย่างสุ่ม

รูป 5.7 สัญญาณเสียงในช่วงตัวอย่างสุ่มที่ 3101 ถึง 3356 ของเสียงจากรูป 5.1

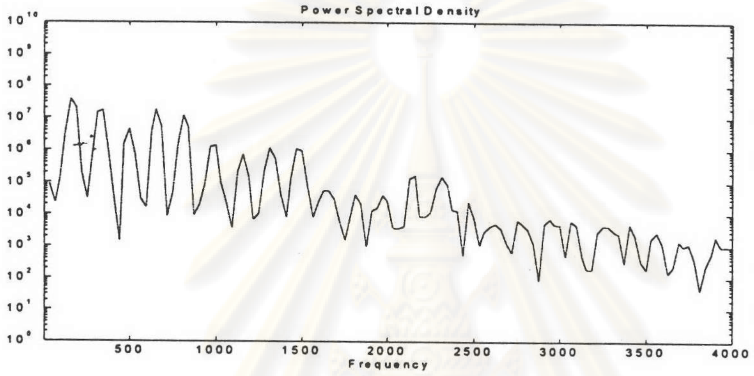
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) สัญญาณเสียงต้นฉบับ

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

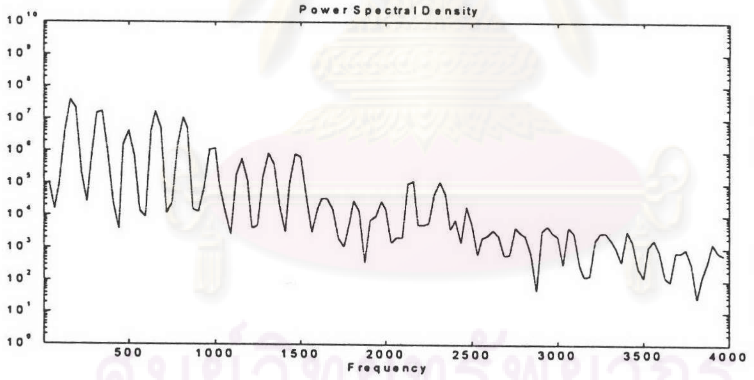
แกนนอน = ความถี่



(ข) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

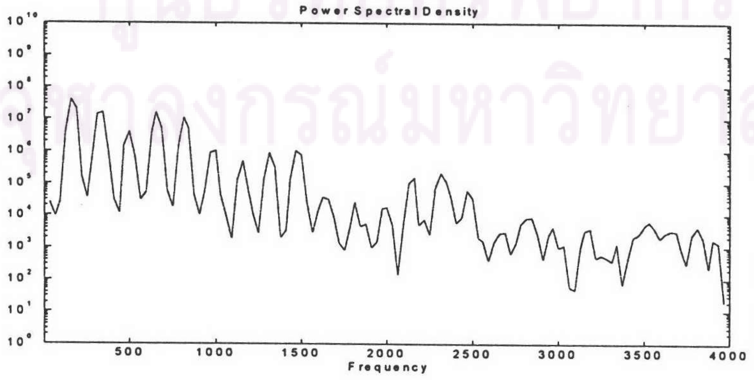
แกนนอน = ความถี่



(ค) สัญญาณเสียงจากโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

แกนนอน = ความถี่



(ง) สัญญาณเสียงจากการเข้ารหัสบนแอสเซมบลี

แกนตั้ง = ขนาดเชิงลอการิธึม

แกนนอน = ความถี่

รูป 5.8 สเปกตรัมของสัญญาณเสียงในช่วงตัวอย่างสุ่มที่ 3101 ถึง 3356 ของเสียงจากรูป 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.1 ผลการทดลองคำนวณค่า SNR ของการเข้ารหัสเสียงตัวอย่างบนคอมพิวเตอร์

ตัวอย่างที่	เสียงต้นฉบับ	ค่า SNR ของเสียงที่เข้ารหัสบน MATLAB (dB)	ค่า SNR ของเสียงที่เข้ารหัสบนแอสเซมบลี(dB)
1	“หนึ่ง”	26.5	26.0
2	“สอง”	22.9	19.3
3	“สาม”	17.4	17.5
4	“สี่”	27.0	25.6
5	“ห้า”	22.6	22.7
6	“หก”	19.0	19.3
7	“เจ็ด”	20.1	18.0
8	“แปด”	20.3	17.4
9	“เก้า”	19.7	20.1
10	“สิบ”	27.7	21.6
11	“เดิน”	24.1	22.9
12	“ดอกไม้”	18.3	17.6
13	“วันอาทิตย์”	18.6	17.2
14	“สวัสดีครับ”	21.4	20.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการเข้ารหัสแบบแอสเซมบลีโดยรวมแล้วมีคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ได้ต่ำกว่าการเข้ารหัสบน MATLAB เพียงเล็กน้อย เมื่อดูจากค่า SNR ของตัวอย่างสัญญาณเสียงที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 14 ตัวอย่าง จะมีอยู่ 4 ตัวอย่างที่ได้ค่า SNR ของการเข้ารหัสแบบแอสเซมบลีเท่ากับหรือใกล้เคียงมากกับการเข้ารหัสบน MATLAB ที่เหลืออีก 10 ตัวอย่างนั้นค่า SNR ของการเข้ารหัสแบบแอสเซมบลีเกือบทั้งหมดจะต่ำกว่าการเข้ารหัสบน MATLAB อยู่เล็กน้อยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2 เดซิเบล และคุณภาพของเสียงจากการรับฟังก็ใกล้เคียงกันโดยการเข้ารหัสแบบแอสเซมบลีจะรู้สึกถึงเสียงรบกวนความถี่สูงที่มีมากกว่าเล็กน้อย สำหรับสัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสและผ่านโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB นั้นเมื่อพิจารณาจากค่า SNR แล้วพบว่าได้ค่าที่ต่ำกว่าสัญญาณเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสเมื่อยังไม่ผ่านโพสต์ฟิลเตอร์ แต่เมื่อดูจากสเปกตรัมจะได้ผลที่ใกล้เคียงกันและจากการฟังดูแล้วไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าคุณ

ภาพของเสียงลดลง การลดลงของค่า SNR เป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการทำงานของโพสต์ฟิลเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้

สรุป การเข้ารหัสเสียงแบบแอสเซมบลีให้คุณภาพของเสียงที่ใกล้เคียงกับการเข้ารหัสเสียงบน MATLAB โดยมีค่า SNR น้อยกว่าประมาณ 2 dB และจากการรับฟังให้คุณภาพของเสียงที่ใกล้เคียงกัน เสียงที่ผ่านโพสต์ฟิลเตอร์บน MATLAB ให้คุณภาพของเสียงที่ใกล้เคียงกันและมีผลตอบสเปกตรัมที่ดีขึ้นในบางตัวอย่าง

5.2 การทดลองเข้ารหัสเสียงตามเวลาจริง

การทดลองบนคอมพิวเตอร์ในหัวข้อ 5.1 เป็นการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมของโปรแกรมในการเข้ารหัสเสียง ในการทำงานไม่มีข้อกำหนดเรื่องเวลาที่ต้องใช้ แต่ในการทำงานตามเวลาจริงสิ่งที่สำคัญที่สุดคือเวลาที่ใช้ในการทำงาน โปรแกรมต้องทำงานให้ทันเวลาเสมอจึงจะได้ผลที่ถูกต้องตรงกับการจำลองโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ การทดลองในส่วนนี้จะไม่ใช้สัญญาณเสียงที่อัดไว้ในแบบดิจิตอลเหมือนในการทดลองที่แล้ว แต่จะใช้สัญญาณอนาลอกจากเทปคาสเซ็ต (Cassette Tape)ทั่วไปแทน เทปคาสเซ็ตที่ใช้มีทั้งเสียงพูดของผู้ประกาศชาย ผู้ประกาศหญิง เสียงเพลง เสียงบรรเลงของเครื่องดนตรีชนิดต่าง ๆ เปิดเทปเสียงเหล่านี้ด้วยเครื่องเล่นวิทยุเทป ต่อสัญญาณจากเครื่องเล่นวิทยุเทปเข้ากับขารับสัญญาณเข้าของ DSK ที่ด้านขาออกของ DSK จะต่อกับลำโพงที่มีส่วนขยายสัญญาณในตัวเพื่อรับฟังเสียงที่ได้จากการเข้ารหัส โดยโปรแกรมที่ใช้ในการเข้ารหัสจะมีการตรวจสอบด้วยตัวเองอยู่เสมอว่าสามารถทำงานได้ทันเวลาหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ตรวจสอบความสามารถในการทำงานตามเวลาจริงและเปรียบเทียบคุณภาพเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสกับเสียงต้นฉบับในการเข้ารหัสเสียงตามเวลาจริง

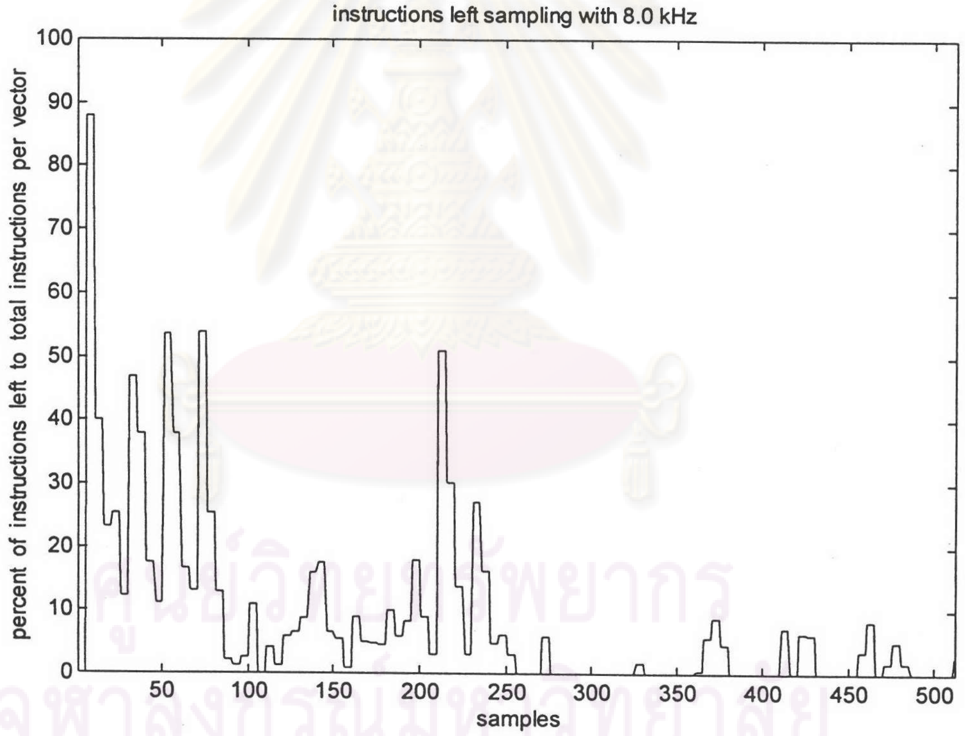
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเข้ารหัสเสียงที่เตรียมไว้เป็นตารางของข้อมูลเสียงสั้น ๆ ที่ใส่ลงไปในหน่วยความจำพร้อม ๆ กับตัวโปรแกรมตัวเข้ารหัส ระหว่างที่โปรแกรมทำงานจะเก็บค่าจำนวนของรอบการทำงานที่เหลือเป็นตารางไว้ในหน่วยความจำ เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จแล้วจะนำผลของจำนวนของรอบการทำงานเหลือที่ได้มาแสดงโดยจะมีการเก็บผลของข้อมูลเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสไว้ด้วยเพื่อตรวจสอบว่าได้ผลถูกต้องเหมือนการจำลองการทำงานบนคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีปัญหาเรื่องเวลาหรือไม่ ถ้าผลที่ได้ต่างกันแสดงว่าเกิดกรณีที่ทำงานได้ไม่ทันเวลาขึ้นมา โดยการเปลี่ยนความถี่ในการสุ่มข้อมูลไปเรื่อย ๆ

2. เป็นการดัดแปลงโปรแกรมเพิ่มจากข้อ 1 ทำการเข้ารหัสเสียงตามเวลาจริงบน DSK โดยใช้ข้อมูลขาเข้าเป็นสัญญาณอนาลอกจากเทปคาสเซ็ตเป็นระยะเวลานาน ๆตั้งแต่ 10 ถึง 30 นาที โดยค่าของจำนวนของรอบการทำงานเหลือจะเก็บไว้เฉพาะค่าต่ำสุดเพียงค่าเดียวตลอดระยะเวลาที่ทำการเข้ารหัสเสียง เสร็จแล้วตรวจสอบโปรแกรมว่าทำงานได้ทันเวลาเสมอหรือไม่โดยการเปลี่ยนความถี่ในการสุ่มข้อมูลไปเรื่อยๆ โดยระหว่างที่ทำการเข้ารหัสนั้นก็รับฟังเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสออกมาและเปรียบเทียบคุณภาพของเสียงเทียบกับต้นฉบับ

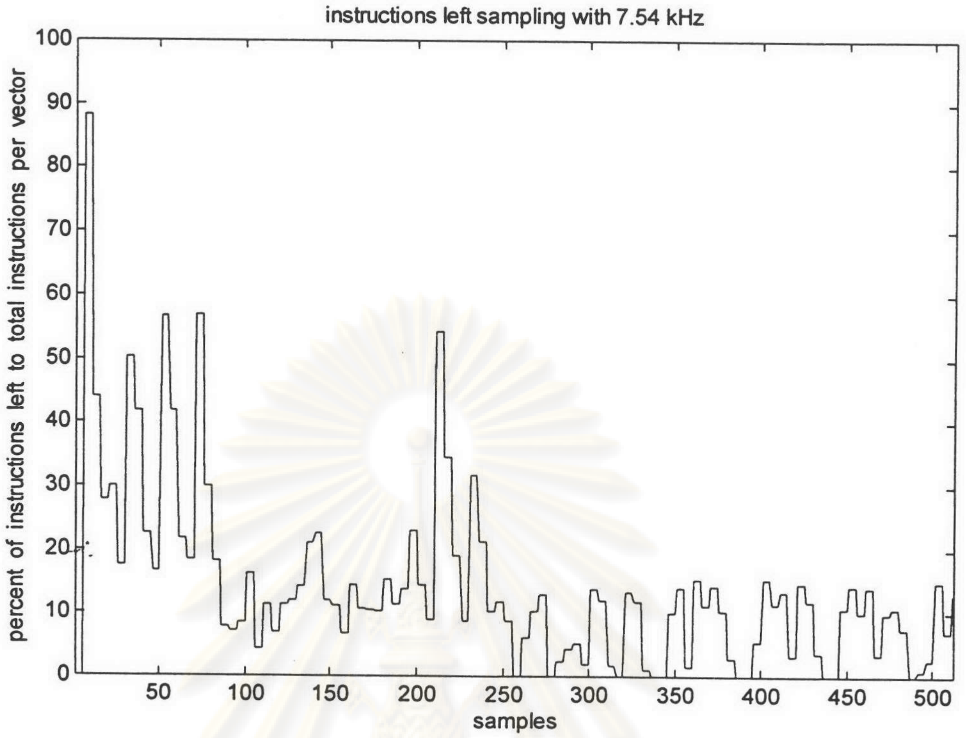
ผลการทดลอง

1. จากการทดลองตอนแรกจะใช้ความถี่ในการสุ่มข้อมูลประมาณ 8.00 , 7.54 และ 7.17 กิโลเฮิรตซ์ตามลำดับ ค่าของจำนวนของรอบการทำงานเหลือจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความถี่ในการสุ่มข้อมูลลดลง ผลที่ได้แสดงว่าที่อัตราการสุ่มข้อมูล 8 กิโลเฮิรตซ์มีรอบการทำงานเหลือน้อยโดยมีช่วงที่ไม่เหลือเวลาในการทำงานอยู่เลยเป็นจำนวนมากและอาจที่จะเกิดกรณีที่ทำงานไม่ทันขึ้นได้ง่าย การที่บางเวกเตอร์ต้องใช้รอบการทำงานเกินค่าสูงสุดจนไม่เหลือเวลาในการทำงานเลยจะยังไม่เกิดผลกระทบต่อการทำงานแต่อย่างใด ตราบใดที่รอบการทำงานเฉลี่ยยังไม่เกินค่าสูงสุดและจำนวนรอบการทำงานส่วนเกินสะสมยังไม่ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ในการทดลองไม่สามารถวัดจำนวนรอบที่เกินไปนี้ได้และจำนวนรอบการทำงานเหลือจะเป็นศูนย์สำหรับเวกเตอร์เหล่านั้น ในกรณีที่เกิดการทำงานไม่ทัน จะเกิดการข้ามเวกเตอร์ไปหนึ่งตัวและจำนวนรอบการทำงานที่เหลือจะได้ค่าสูงมากผิดปกติเกือบถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อัตราการสุ่มข้อมูล 7.17 กิโลเฮิรตซ์จะมีรอบการทำงานเหลืออยู่เสมอ ผลดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 5.9 ถึง 5.11

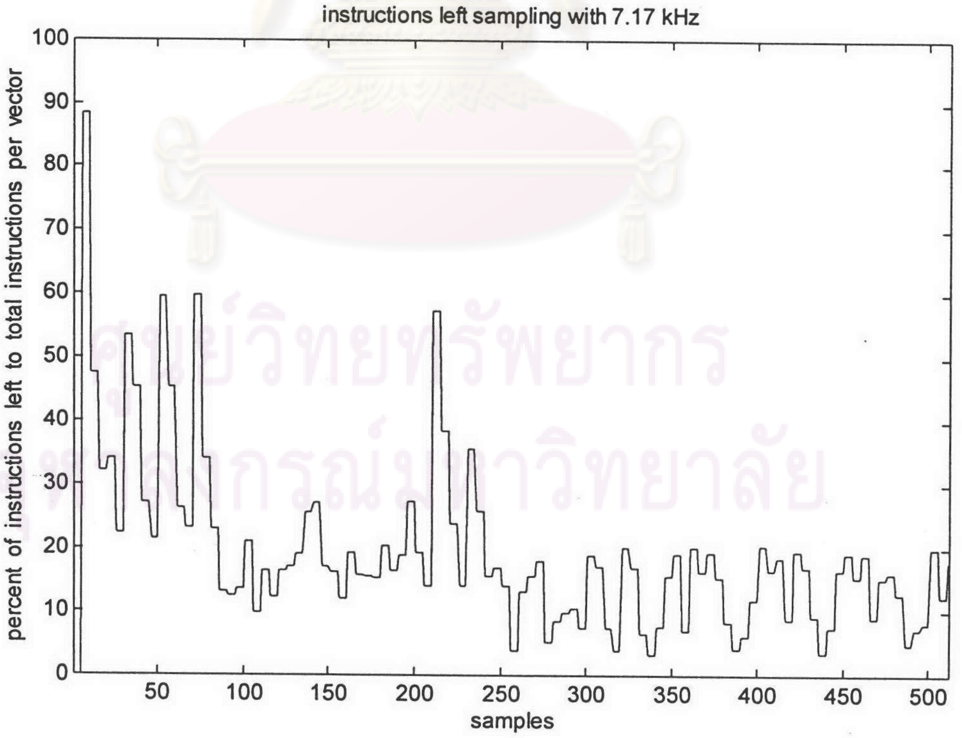


รูป 5.9 จำนวนของรอบการทำงานเหลือเมื่อใช้อัตราสุ่มข้อมูลเท่ากับ 8 กิโลเฮิรตซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5.10 จำนวนของรอบการทำงานเหลือเมื่อใช้อัตราสุ่มข้อมูลเท่ากับ 7.54 กิโลเฮิรตซ์



รูป 5.11 จำนวนของรอบการทำงานเหลือเมื่อใช้อัตราสุ่มข้อมูลเท่ากับ 7.17 กิโลเฮิรตซ์

2. ในการเข้ารหัสเสียงตามเวลาจริงตามข้อมูลเสียงจากเทปคาสเซตเป็นระยะเวลานานตั้งแต่ 10 ถึง 30 นาทีขึ้นไป พบว่าการเข้ารหัสเสียงสามารถทำงานได้ตามเวลาจริงแต่เนื่องมาจากปริมาณการคำนวณที่มีมากทำให้การเข้ารหัสเสียงเมื่อทำงานอัตราการสุ่มข้อมูลประมาณ 8.0 กิโลเฮิรตซ์จะไม่เหลือปริมาณการคำนวณเลยในเวกเตอร์ที่มีการคำนวณมากที่สุด คุณภาพของเสียงที่ได้สามารถสังเคราะห์เสียงคำพูดและเสียงดนตรีได้ดีระดับหนึ่งโดยเฉพาะในเสียงที่มีองค์ประกอบหลักอยู่ในช่วงความถี่ต่ำจะมีคุณภาพดีมากและมีระดับของเสียงรบกวนอยู่บ้างเล็กน้อย เมื่อลดอัตราการสุ่มข้อมูลลงจะทำให้ปริมาณการคำนวณเหลือมีเพิ่มมากขึ้น ที่อัตราการสุ่มข้อมูลประมาณ 7.17 กิโลเฮิรตซ์จะมีปริมาณการคำนวณเหลือน้อยที่สุดประมาณ 100 ถึง 200 คำสั่งและจากการรับฟังคุณภาพของเสียงที่ได้ก็ลดลงไปบ้างเล็กน้อยเนื่องมาจากอัตราการสุ่มข้อมูลที่ลดลงจะทำให้ได้เสียงที่มีแถบความถี่ลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย