บทที่ 6

การทดสอบและผลการทดสอบ

ในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็นสามขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการทดสอบโดยการวัดค่าเชิงวัตถุ โดยใช้การวัดค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Power Signal-to-Noise Ratio (PSNR)) ขั้นตอนที่สองจะเป็นการทดสอบคุณภาพเสียงโดยการฟัง ขั้นตอนที่สามจะเป็นการทดสอบเกี่ยวกับฟังก์ชันในการทำงานและใช้งานของเครื่องบันทึกเสียงพูด

6.1 การทดสอบการวัดค่าอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

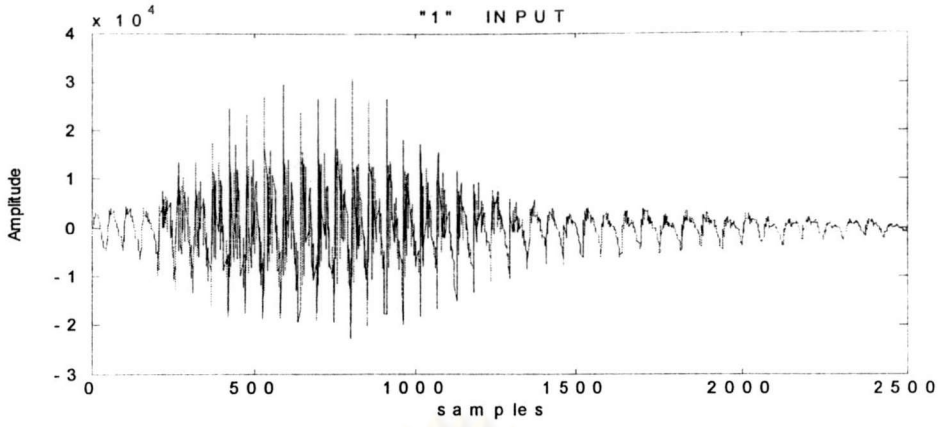
ในการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบค่า PSNR [5],[6],[7],[8] ที่ได้จากการคำนวณการเข้ารหัสและถอดรหัสจากโปรแกรมมาตรฐานของ ITU-T ที่รันบนดอสภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Command prompt) ที่ประมวลผลแบบจุดตรึงบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล กับค่า PSNR ที่ได้จากการคำนวณด้วยดีเอสพี ที่ประมวลผลแบบจุดลอย โดยใช้ไฟล์อินพุตเสียงเดียวกัน โดยเสียงพูดต้นฉบับภาษาไทยนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการบันทึกเสียงพูดของผู้ชายโดยใช้เครื่องมิกเซอร์ในการปรับแต่งเสียงและทำการบันทึกโดยใช้โปรแกรมการบันทึกเสียง Goldwave (โปรแกรม Goldwave เป็นโปรแกรมของบริษัทโกลด์เวฟ ใช้สำหรับในการบันทึกและเล่นเสียง) บนคอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดเสียง โดยใช้ความถี่ในการสุ่มสัญญาณ 8000 เฮิรตซ์ ข้อมูลขนาด 16 บิต แบบคิดเครื่องหมาย (signed) เสียงแบบโมโน มีคำพูด หนึ่ง สอง สาม สี่ ห้า หก เจ็ด แปด เก้า สิบ จากนั้นทำการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้

1. เปิดโปรแกรมดอส (Command prompt) ทำการรันโปรแกรมเข้ารหัสและถอดรหัสบนดอสโดยใช้โปรแกรมจากมาตรฐาน ITU-T(ไฟล์ coder.exe และ decoder.exe โดยใช้คำสั่งดังนี้ C:\...\ coder filein.raw filein.bin และถอดรหัส C:\...\decoder filein.bin fileout.raw) เพื่อทำการเข้ารหัสและถอดรหัสเสียงพูดที่ได้ทำการบันทึกไว้คือ คำพูดตั้งแต่ "หนึ่ง" ถึง "สิบ"
2. หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการเข้ารหัสและถอดรหัสไปคำนวณค่า PSNR ตามสมการที่ 2.1 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการเข้ารหัสโดยใช้ดีเอสพี
3. ทำการรันโปรแกรมเข้ารหัสและถอดรหัสด้วยดีเอสพี โดยใช้เสียงพูดคำว่า "หนึ่ง" ถึง "สิบ" ชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการคำนวณ PSNR จากมาตรฐานของ ITU-T เมื่อเข้ารหัสและถอดรหัสเสร็จ ก็ทำการคำนวณค่า PSNR ตามสมการที่ 2.1

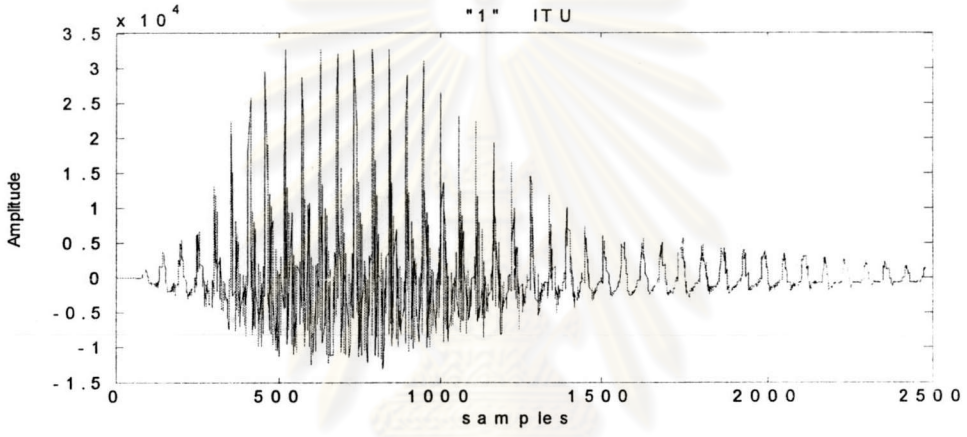
4. รันโปรแกรมเข้ารหัสและถอดรหัสโดยใช้ดีเอสพี โดยที่โปรแกรมการถอดรหัสจะไม่มีการคำนวณ postfilter และใช้สัญญาณเสียงพูด"หนึ่ง" ถึง "สิบ" ชุดเดียวกันกับในขั้นตอนที่ผ่านมา จากนั้นคำนวณค่า PSNR ตามสมการที่ 2.1
5. ผลของการทดสอบและคำนวณค่า PSNR ของการเข้ารหัสตามมาตรฐาน ITU-T G.729 และผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลแสดงดังตารางที่ 6.1 และรูปสัญญาณจากไฟล์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6.1 ถึงรูปที่ 6.12

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองคำนวณค่า PSNR จากไฟล์ที่ทำการบันทึก

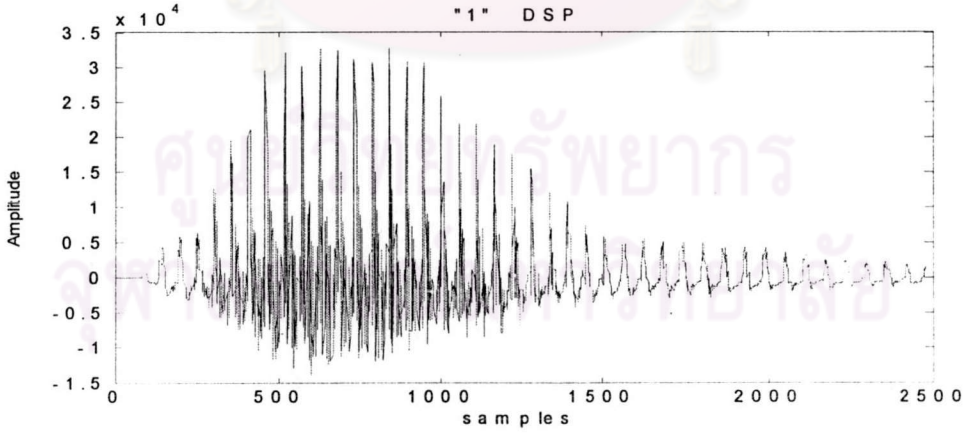
เสียงต้นฉบับ	ค่า PSNR จากมาตรฐาน ITU (dB)	ค่า PSNR จากดีเอสพี (dB)	ผลต่างของค่า PSNR (dB)	ค่า PSNR จากดีเอสพี ที่ไม่ผ่าน postfilter (dB)
"หนึ่ง"	1.574	1.708	> 0.134	1.669
"สอง"	6.181	6.008	< 0.173	5.751
"สาม"	5.188	5.241	> 0.053	5.250
"สี่"	2.070	1.822	< 0.248	1.574
"ห้า"	4.693	4.467	< 0.226	4.587
"หก"	5.079	4.764	< 0.315	4.339
"เจ็ด"	5.391	4.897	< 0.494	5.123
"แปด"	4.897	4.569	< 0.328	4.618
"เก้า"	6.408	6.107	< 0.301	6.463
"สิบ"	2.068	2.183	> 0.115	2.141



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "หนึ่ง"

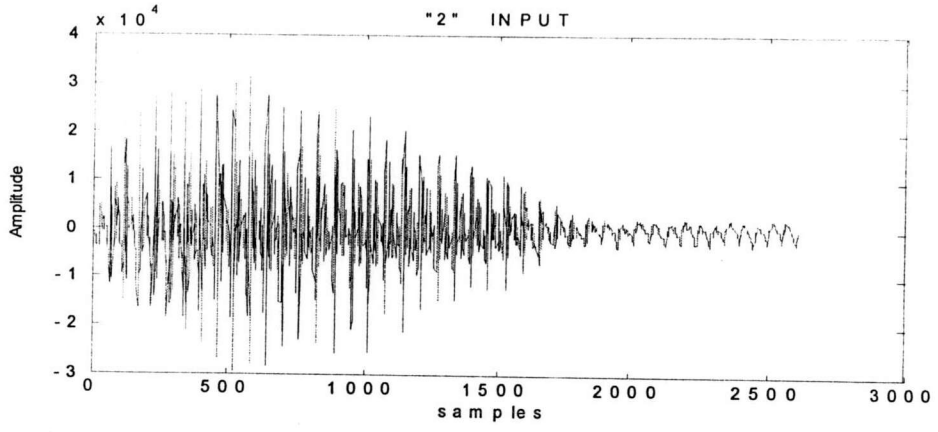


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

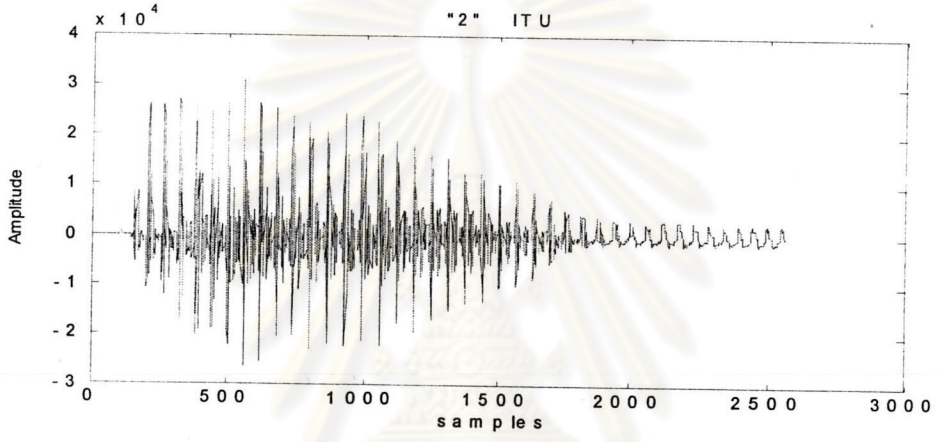


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

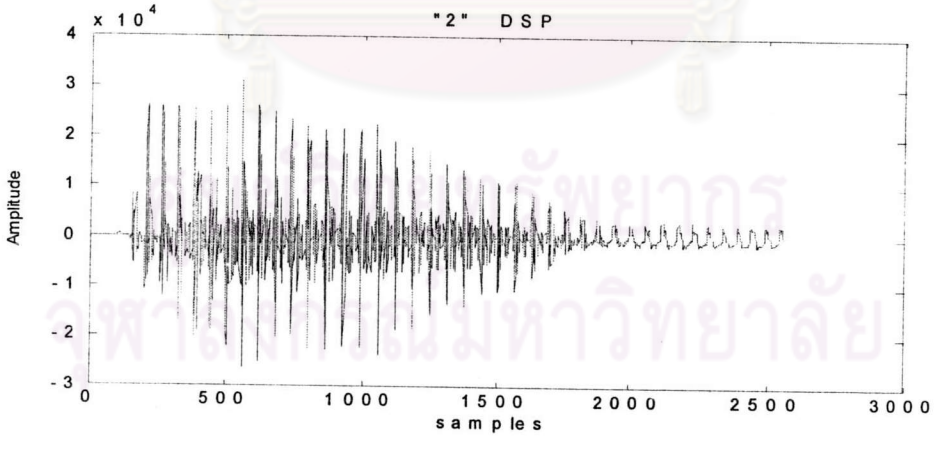
รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “หนึ่ง”



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สอง"

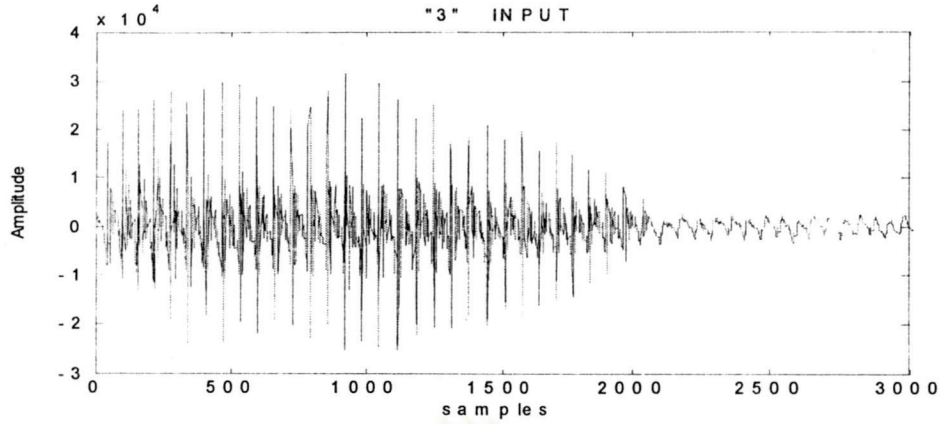


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

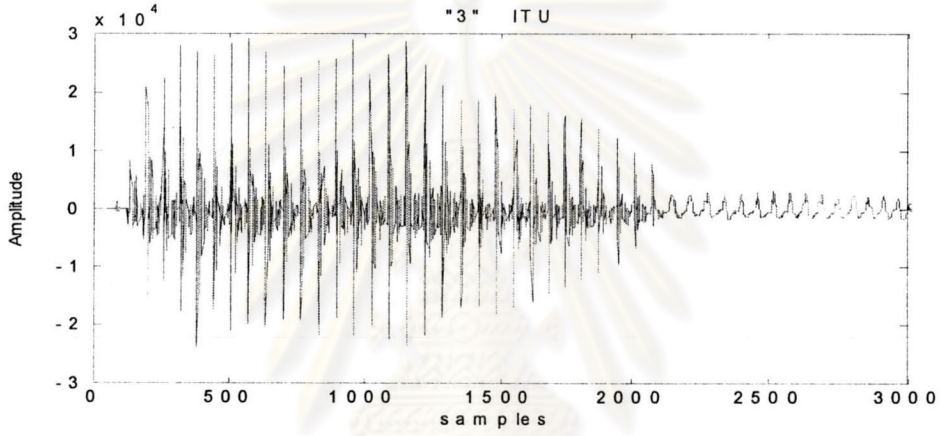


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

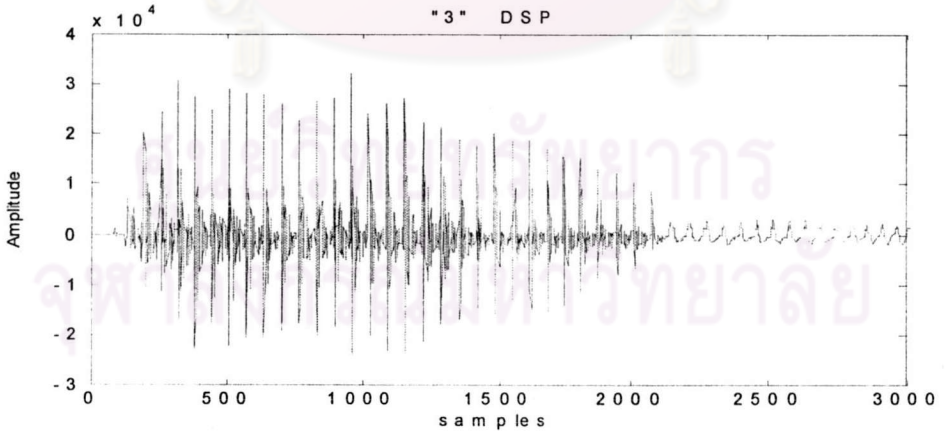
รูปที่ 6.2 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “สอง”



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สาม"

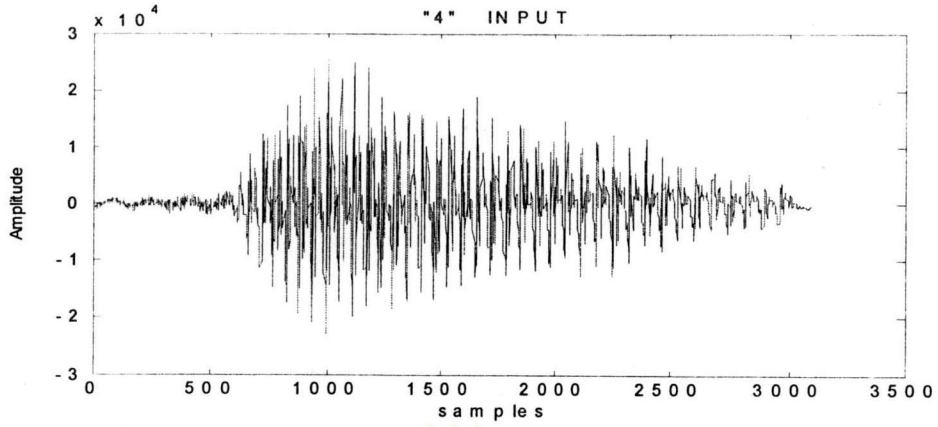


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

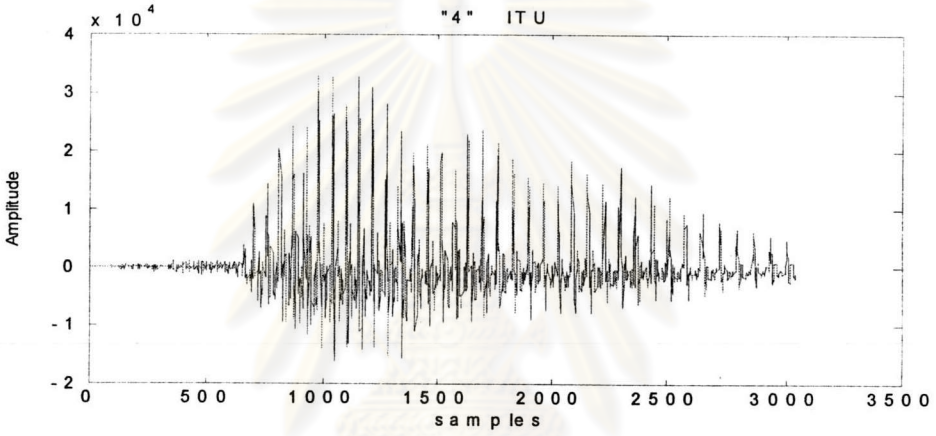


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

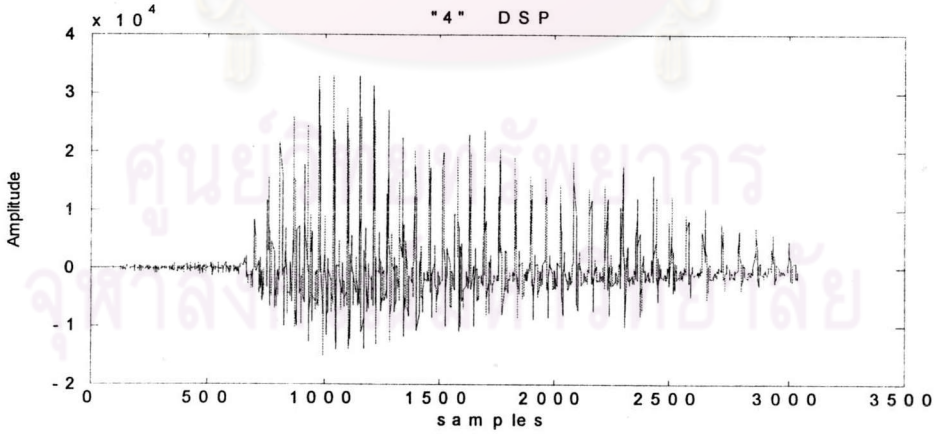
รูปที่ 6.3 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "สาม"



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สี่"

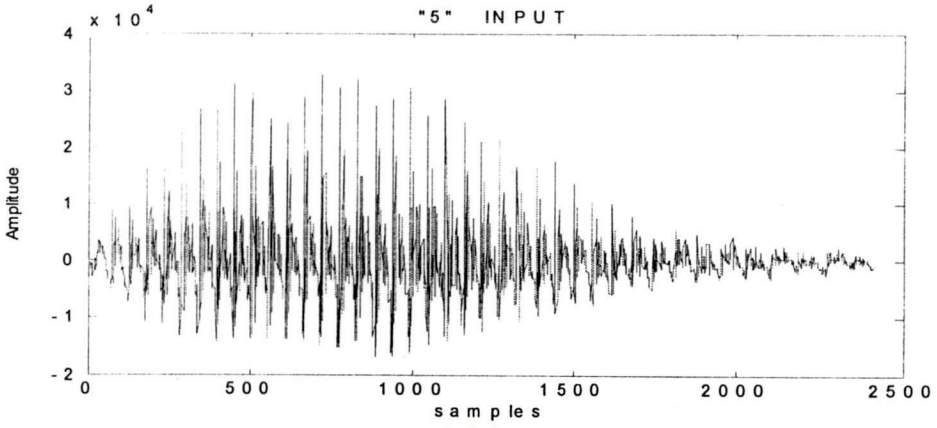


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

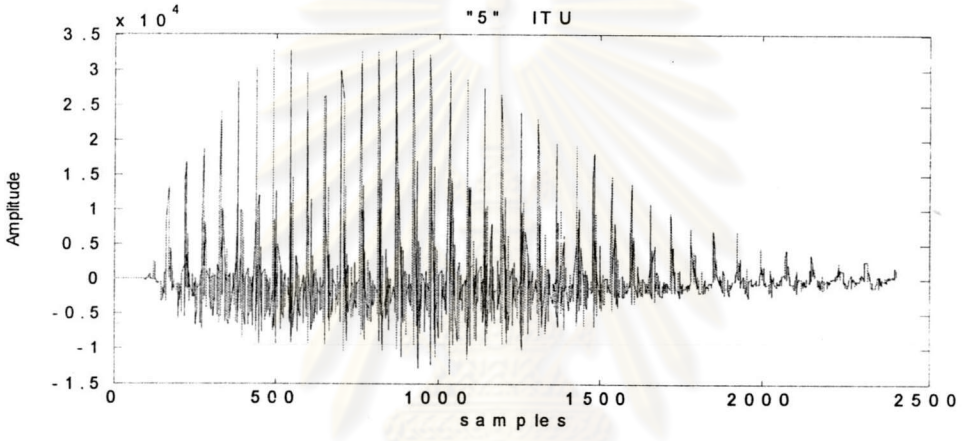


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

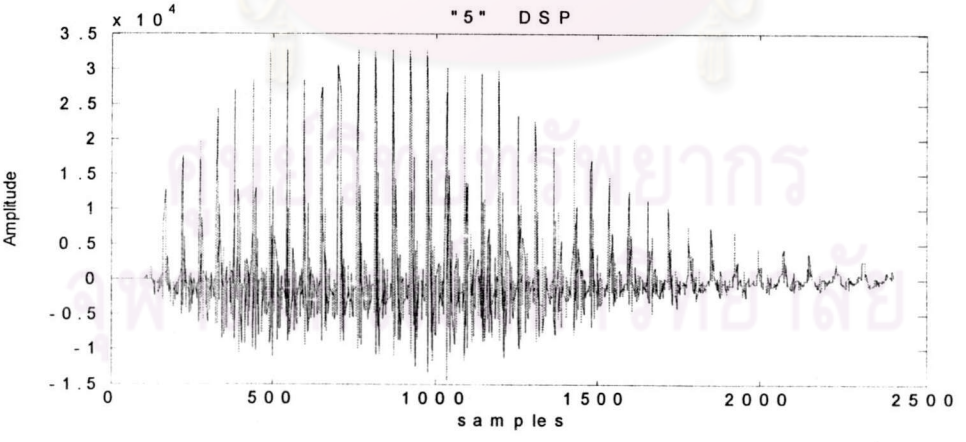
รูปที่ 6.4 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "สี่"



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "ห้า"

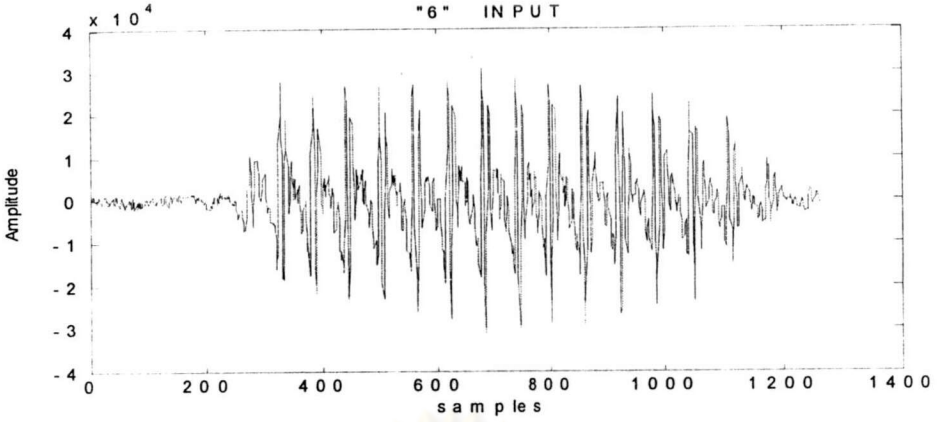


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

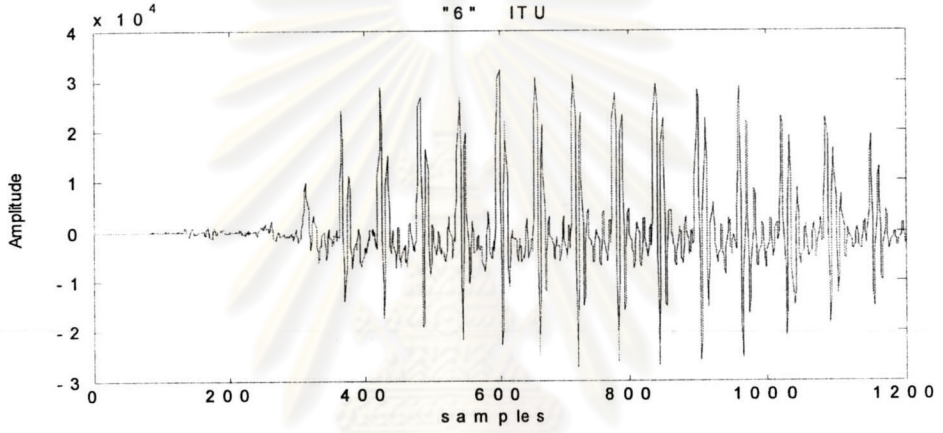


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

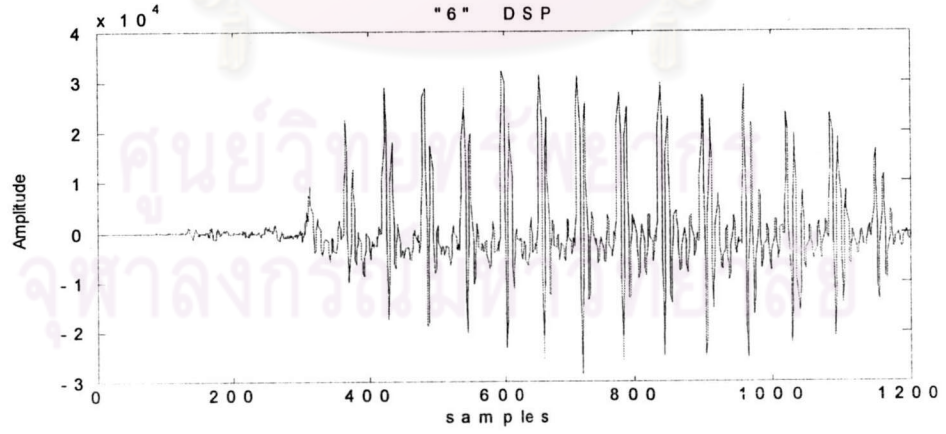
รูปที่ 6.5 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "ห้า"



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า “หก”

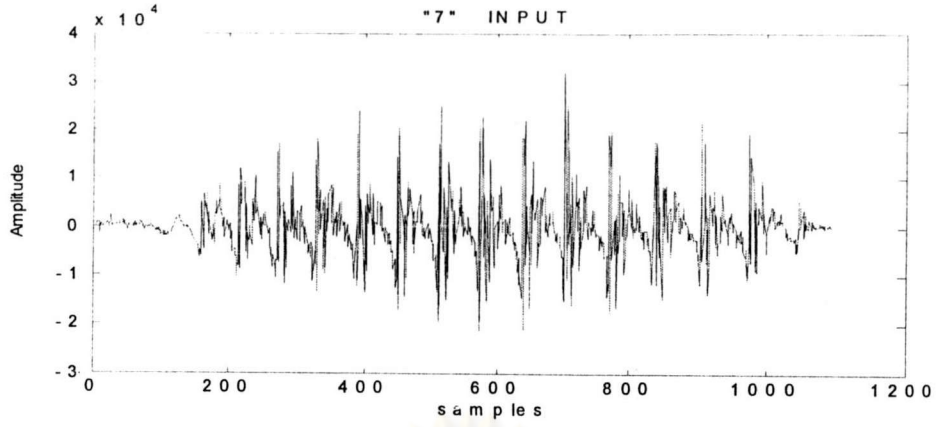


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

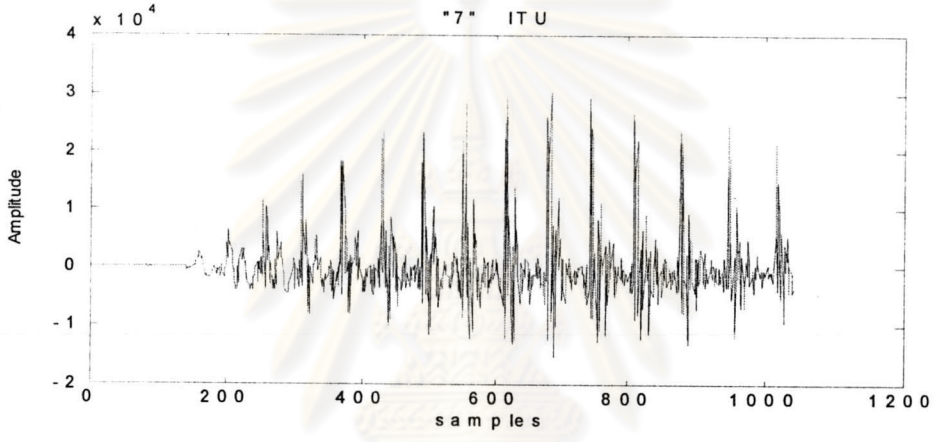


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

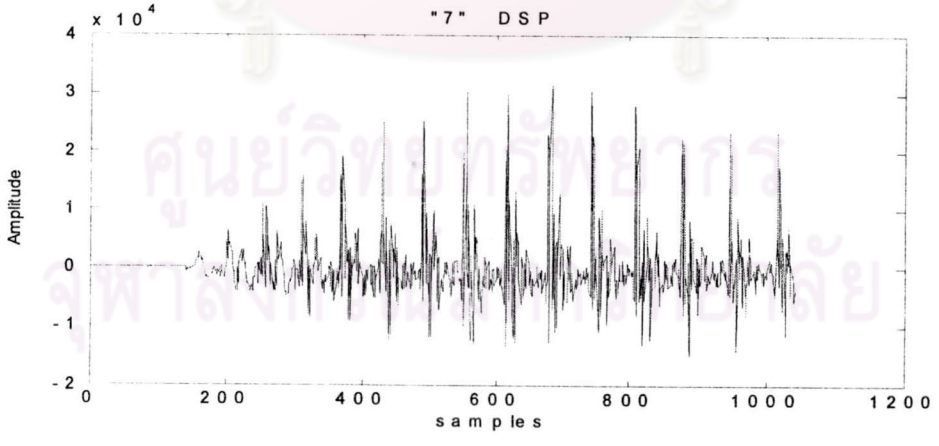
รูปที่ 6.6 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า “หก”



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "เจ็ด"

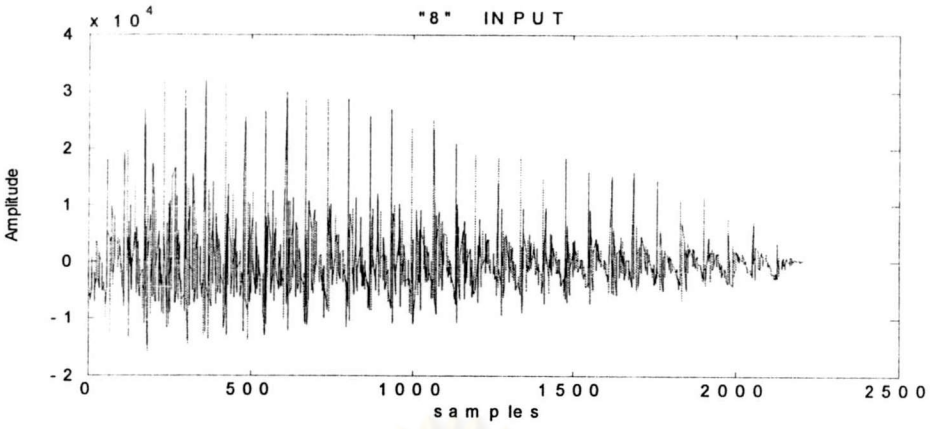


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

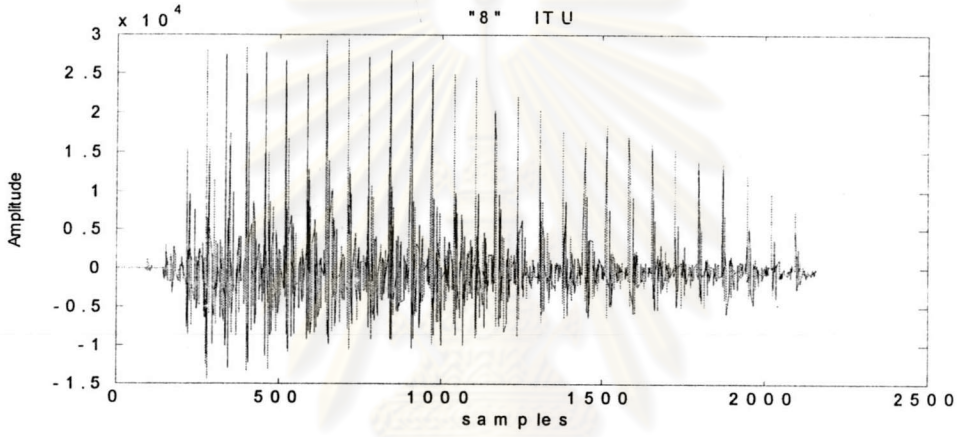


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

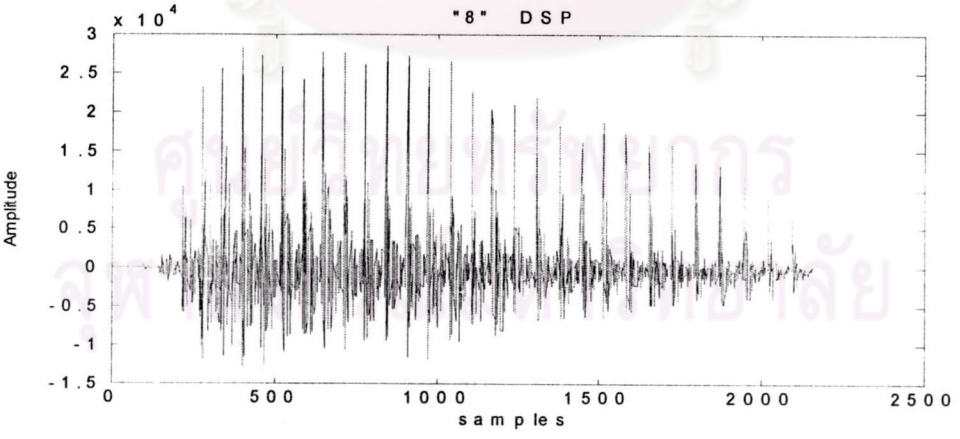
รูปที่ 6.7 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "เจ็ด"



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "แปด"

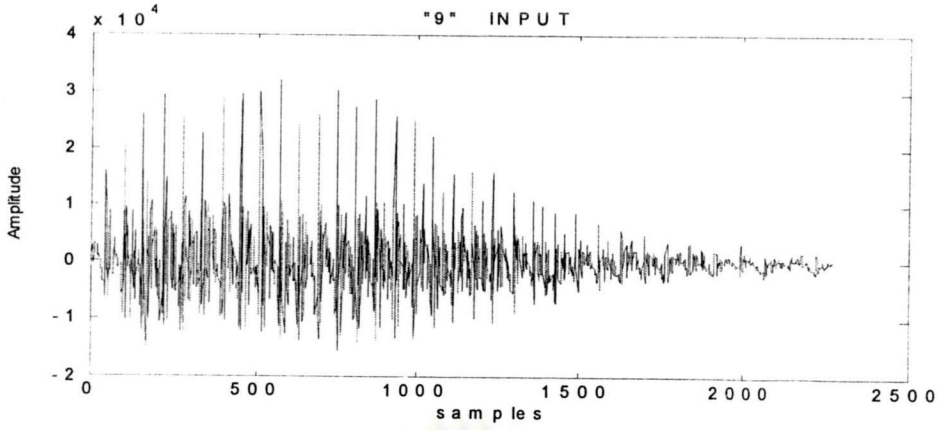


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

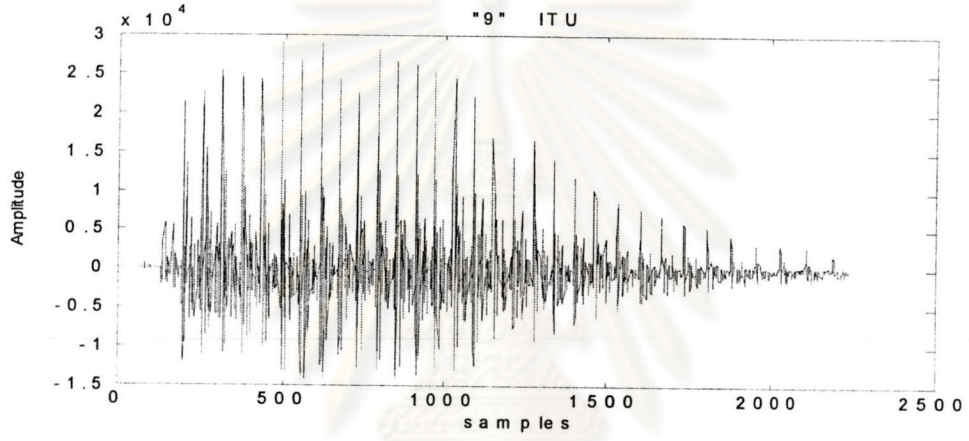


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

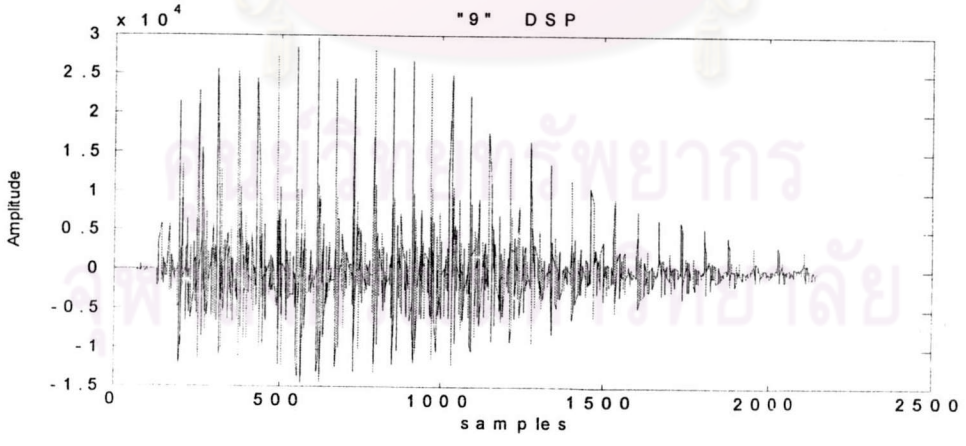
รูปที่ 6.8 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "แปด"



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "เก้า"

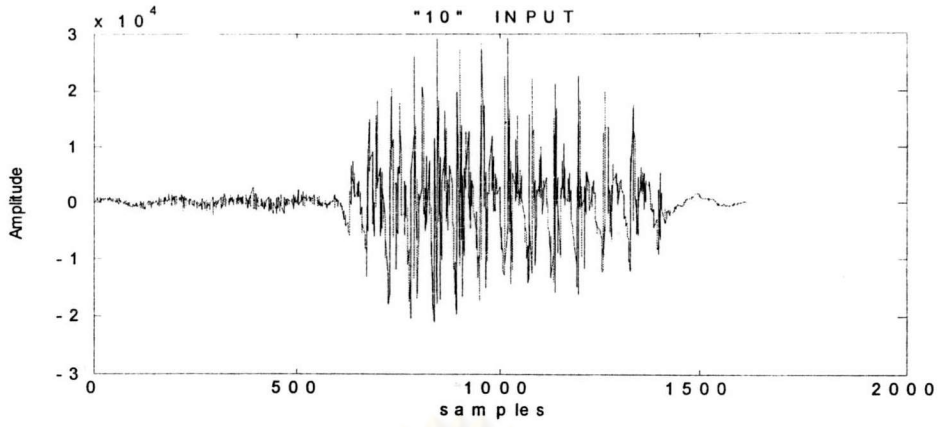


(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU

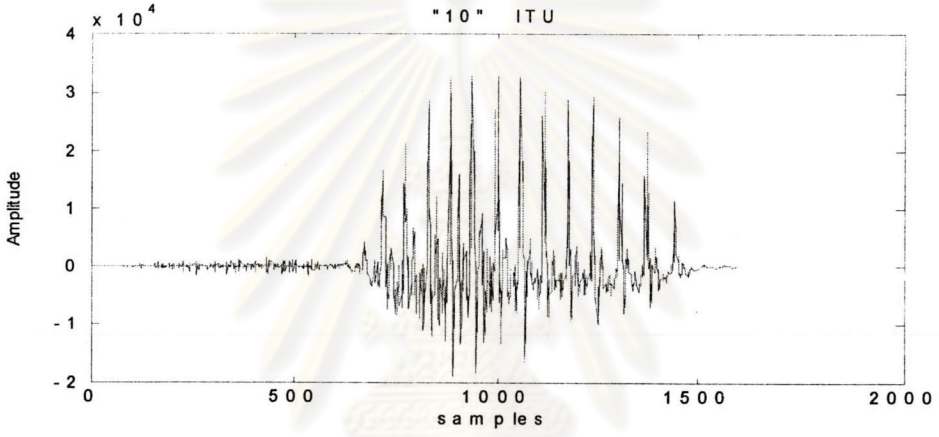


(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

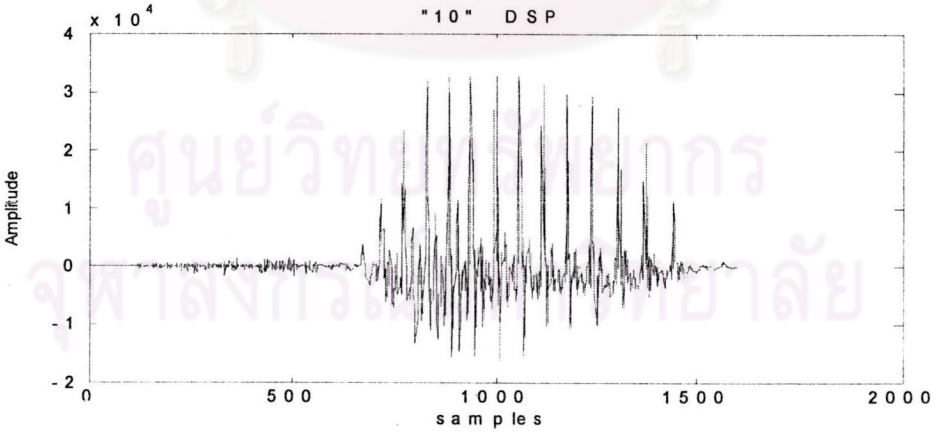
รูปที่ 6.9 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "เก้า"



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "สิบ"



(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU



(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "สิบ"

ผลการคำนวณหาค่า PSNR ที่ผ่านการเข้ารหัสและถอดรหัสจากโปรแกรมมาตรฐานของ ITU-T G.729 ที่ประมวลผลแบบจุดตรึง เปรียบเทียบกับการเข้ารหัสและถอดรหัสที่ใช้ดีเอสพีและประมวลผลแบบจุดลอย จะเห็นว่าค่า PSNR ที่ได้จากการคำนวณด้วยดีเอสพีมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่า PSNR ที่คำนวณได้จากมาตรฐานของ ITU-T G.729

ค่า PSNR แต่ละเสียงพูดที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะมีค่าไม่เท่ากันซึ่งบางไฟล์หรือบางคำพูดจะมีค่าที่สูงแต่บางไฟล์ก็จะมีค่าต่ำ เนื่องมาจากการคำนวณค่า PSNR แล้วได้ค่าต่ำๆ นั้นอาจจะเป็นเพราะลักษณะเฉพาะของเสียงของคำนั้นๆ เนื่องจากเสียงมีคุณสมบัติควอซายสเตชันนารี(Quasi-stationary) มีค่าทางสถิติที่คงที่ในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น ถ้าในบางตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงของเสียงเกิดขึ้นเร็วมาก การเข้ารหัสอาจจะทำงานไม่ทันการเปลี่ยนแปลงนั้นทำให้การเข้ารหัสเสียงตามมาตรฐานของ ITU-T และที่ประมวลผลด้วยดีเอสพีมีค่า PSNR ต่ำทั้งคู่แต่ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ในการคำนวณหาค่า PSNR จากดีเอสพีโดยที่ไม่ผ่าน postfilter นั้นจะเห็นได้ว่าค่า PSNR บางเสียงมีค่าที่สูงขึ้นเนื่องจากว่าการทำงานของ postfilter เป็นการเพิ่มคุณภาพของเสียงที่ถูกเข้ารหัสโดยไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณเสียงต้นฉบับจึงทำให้ค่า PSNR ที่คำนวณได้บางค่ามีค่าที่สูงขึ้น แต่เมื่อฟังเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสโดยผ่านวงจร postfilter จะทำให้คุณภาพเสียงที่ได้จากการฟังรู้สึกดีกว่าไม่ผ่าน postfilter [5]

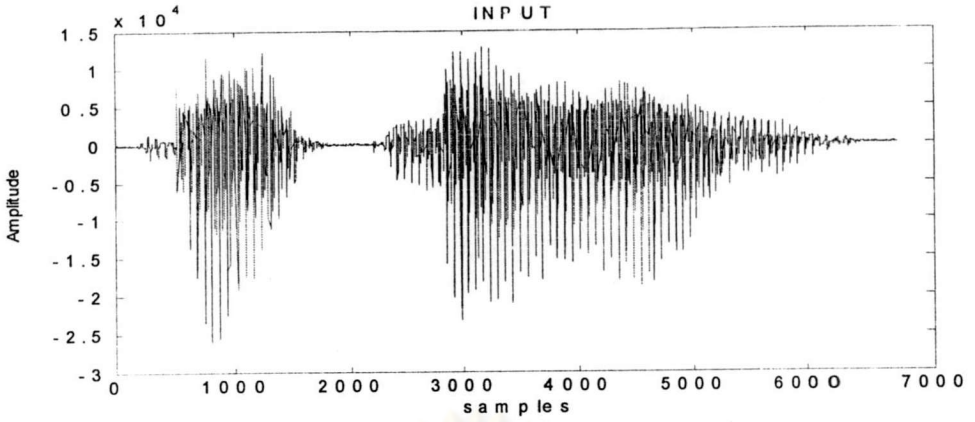
จากการเปรียบเทียบค่า PSNR ของการเข้ารหัสจากมาตรฐานของ ITU-T กับการเข้ารหัสที่ประมวลผลด้วยดีเอสพีนั้น จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดยค่า PSNR ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยดีเอสพีนั้นมีค่าที่แตกต่างสูงสุดจากค่า PSNR ที่คำนวณจากโปรแกรมมาตรฐานของ ITU-T เท่ากับ 0.494 dB และมีค่าเฉลี่ยของผลต่างอยู่ที่ 0.178 dB ซึ่งจากผลการทดลองนี้ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าการประมวลผลด้วยดีเอสพีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้มีคุณภาพการเข้ารหัสเสียงใกล้เคียงกับมาตรฐาน ITU-T

ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการคำนวณหาค่า PSNR แบบหลายพยางค์ ผลการทดลองการคำนวณค่า PSNR ของเสียงพูดที่ได้จากการเข้ารหัสจากมาตรฐานของ ITU-T เปรียบเทียบกับค่า PSNR ที่ได้จากการเข้ารหัสโดยใช้ดีเอสพี ประกอบด้วยเสียงพูดตั้งแต่ตั้งแต่ 2 พยางค์ไปจนถึง 5 พยางค์ คือ ดอกไม้ ข้อมูล ทดสอบ ต้อนรับ ความดี วันอาทิตย์ ดาวพระศุกร์ สวัสดีครับ เครื่องบันทึก เสียงพูดดิจิตอล เสียงทุกตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองมีอัตราสุ่ม 8000 KHz ผลของการคำนวณค่า PSNR แบบหลายพยางค์ แสดงดังตารางที่ 6.2 และรูปสัญญาณเสียงของคำว่า "ดอกไม้" แสดงดังรูปที่ 6.11 จากการเปรียบเทียบการคำนวณค่า PSNR แบบหลายพยางค์ที่คำนวณจากโปรแกรมมาตรฐาน ITU-T กับที่คำนวณโดยใช้ดีเอสพี จะเห็นว่าค่าแตกต่างสูงสุดคือ 0.298 dB และค่าเฉลี่ยความแตกต่างอยู่ที่ 0.12 dB

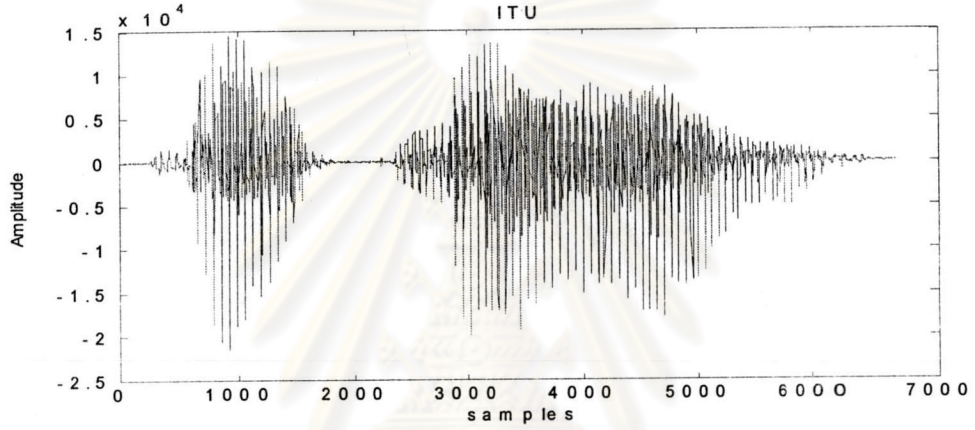
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองคำนวณค่า PSNR แบบคำพูดหลายพยางค์

เสียงต้นฉบับ	ค่า PSNR จากมาตรฐานของ ITU(dB)	ค่า PSNR จากดีเอสพีที่ผ่าน postfilter (dB)	ผลต่างของค่า PSNR เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ITU (dB)	ค่า PSNR จากดีเอสพี ที่ไม่ผ่าน postfilter (dB)
"ดอกไม้"	3.854	3.797	< 0.057	3.789
"ข้อมูล"	3.314	3.200	< 0.114	2.959
"ทดสอบ"	5.613	5.590	< 0.023	5.484
"ต้อนรับ"	6.781	6.733	< 0.048	6.934
"ความดี"	4.281	4.297	> 0.016	4.117
"วันอาทิตย์"	3.149	2.874	< 0.275	2.986
"ดาวพระศุกร์"	6.194	5.896	< 0.298	6.206
"สวัสดีครับ"	4.540	4.624	> 0.084	4.730
"เครื่องบันทึก"	3.033	2.80	< 0.233	2.794
"เสียงพูดดิจิตอล"	4.328	4.075	< 0.253	4.001

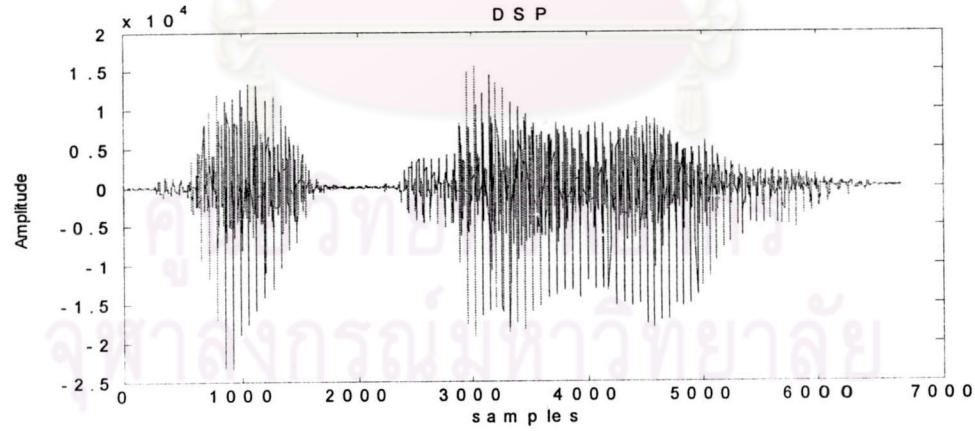
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) สัญญาณเสียงพูดต้นฉบับคำว่า "ดอกไม้"



(ข) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากมาตรฐาน ITU



(ค) สัญญาณที่ผ่านการถอดรหัสจากดีเอสพี

รูปที่ 6.11 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงคำว่า "ดอกไม้"

6.2 การทดสอบคุณภาพเสียงโดยการฟัง

ในขั้นตอนนี้จะทดสอบคุณภาพเสียงโดยใช้ผู้ฟังในการตัดสินใจ โดยเปรียบเทียบคุณภาพเสียงระหว่างเสียงที่เข้ารหัสจากมาตรฐาน ITU G.729 และเสียงที่เข้ารหัสโดยใช้ดีเอสพีกับเสียงต้นฉบับ โดยให้ผู้ทดสอบเลือกว่าเสียงจากการเข้ารหัสแบบไหนมีค่าที่ใกล้เคียงกับเสียงต้นฉบับมากกว่า เสียงพูดที่ใช้ทดสอบในการฟังจะใช้คำพูด "หนึ่ง" ถึง "สิบ" ที่ได้จากขั้นตอนในการทดสอบที่ผ่านมาซึ่งเก็บไว้บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในการเล่นเสียงให้ผู้ทดสอบฟังจะใช้โปรแกรม Goldwave เพราะมีความสะดวกในการควบคุมการเล่นและหยุด ทางผู้วิจัยได้เลือกผู้ทดลองที่ไม่มีจุดบกพร่องในการฟัง มีอายุระหว่าง 23-28 ปี จำนวน 12 คน ในการคัดเลือกผู้ทดสอบนั้น ทางผู้วิจัยจะให้ผู้ทดสอบฟังเสียงพูดต้นฉบับและเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสโดยที่ผู้ทดสอบจะต้องสามารถแยกแยะเสียงต้นฉบับกับเสียงที่เข้ารหัสได้ทุกคำตั้งแต่คำพูด "หนึ่ง" ถึง "สิบ" จึงจะสามารถไปทดสอบในขั้นตอนต่อไปได้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. แจกแบบฟอร์มการฟังให้ผู้ทดสอบและอธิบายขั้นตอนการทดสอบให้ผู้ทดสอบฟัง โดยเริ่มจากให้ผู้ทดสอบฟังเสียงพูดคำว่า "หนึ่ง" ของเสียงผ่านการเข้ารหัสจากมาตรฐาน ITU-T และเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสโดยใช้ดีเอสพี เทียบกับเสียงต้นฉบับ โดยไม่ได้บอกว่าเสียงที่ได้ฟังมีการเข้ารหัสแบบใด ให้ผู้ทดสอบฟังเสียงคำว่า "หนึ่ง" วนไปเรื่อยๆ จนกว่าผู้ทดสอบจะสามารถตัดสินใจได้และทำการเลือกว่า "เสียงที่ 1 มีคุณภาพใกล้เคียงกับต้นฉบับมากกว่า" หรือ "เสียงที่ 2 มีคุณภาพใกล้เคียงกับต้นฉบับมากกว่า" หรือ "มีคุณภาพใกล้เคียงกับต้นฉบับเท่ากัน"
2. หลังจากนั้นก็เปลี่ยนคำพูดเป็น "สอง" และให้ผู้ทดสอบทำการฟังและเลือกเหมือนเดิม การวางลำดับเสียงพูดของแต่ละคำจะมีการสลับตำแหน่งทุกๆ ครั้งเพื่อไม่ให้ผู้ทดสอบเกิดข้อสังเกต ดำเนินการทดสอบเสียงพูดจนกระทั่งถึงเสียงพูด "สิบ" ผลจากการทดสอบการเปรียบเทียบคุณภาพเสียงโดยการฟังแสดงดังตารางที่ 6.3

ผลจากการทดสอบการฟังเสียงที่ผ่านการเข้ารหัสจากมาตรฐาน ITU-T กับเสียงจากการเข้ารหัสด้วยดีเอสพี เทียบกับเสียงต้นฉบับ โดยใช้ผู้ทดสอบ 12 คน ผลรวมของคนที่มีความเห็นว่าคุณภาพของเสียงจากมาตรฐาน ITU ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากกว่ามีจำนวน 20.833 % และผู้ที่มีความเห็นว่าคุณภาพเสียงจากดีเอสพีใกล้เคียงกับต้นฉบับมากกว่า 17.5 % และคนที่มีความเห็นว่าคุณภาพเสียงใกล้เคียงกับต้นฉบับเท่ากันมีจำนวน 61.667 % จะเห็นว่าโดยภาพรวมแล้ว

คุณภาพของเสียงที่ผ่านเข้ารหัสโดยใช้ดีเอสพีมีคุณภาพเสียงที่ใกล้เคียงกับคุณภาพเสียงที่ได้จากการเข้ารหัสตามมาตรฐาน ITU-T

การทดสอบคุณภาพเสียงโดยการฟังด้วยวิธีนี้ผลการทดลองแต่ละครั้งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการฟังของผู้ทดสอบและสภาวะแวดล้อมภายนอกด้วย แต่ค่าที่เปลี่ยนแปลงก็ยังมีแนวโน้มหรือผลลัพธ์ใกล้เคียงเดิม

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบคุณภาพเสียงจากการเข้ารหัสโดยใช้การฟัง

คำพูด	จำนวนผู้ทดสอบที่เลือก		
	คุณภาพเสียงจากมาตรฐาน ITU-T ใกล้เคียงกว่า	คุณภาพเสียงจากดีเอสพี ใกล้เคียงกว่า	คุณภาพเสียงใกล้เคียงกับต้นฉบับเท่ากัน
หนึ่ง	2	2	8
สอง	3	1	8
สาม	2	2	8
สี่	1	1	10
ห้า	3	5	4
หก	1	2	9
เจ็ด	2	3	7
แปด	4	3	5
เก้า	2	1	9
สิบ	5	1	6
รวม	25	21	74
เปอร์เซ็นต์	20.833 %	17.5 %	61.667 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 การทดสอบการใช้งานในการบันทึกและเล่น

การทดสอบในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบฟังก์ชันการทำงานในลักษณะของเครื่องบันทึกเสียง ขั้นตอนการทดสอบนั้นทางผู้วิจัยได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ป้อนสัญญาณเสียงพูดที่ได้ทำการบันทึกเสียงพูดไว้ก่อนแล้วให้กับเครื่องบันทึกเสียง และเริ่มทำการบันทึกเสียงในช่องที่ 1 และจับเวลาการบันทึกโดยสังเกตจาก LED ที่แสดงสถานะการบันทึกที่ด้านหน้าของเครื่อง หลังจากที่ LED เปลี่ยนสถานะก็แสดงว่าสิ้นสุดเวลาการบันทึก หลังจากเสร็จสิ้นจากการบันทึกก็จะทำการเล่นเสียงที่ได้ทำการบันทึกไว้ว่าสามารถรับฟังได้หรือไม่และในขณะเดียวกันก็จะจับเวลาในการเล่นว่าสามารถทำงานได้ตามเวลาหรือไม่ จากนั้นก็จะทำการทดสอบในลักษณะเดียวกันเพียงแต่เปลี่ยนจากช่องที่ 1 เป็นช่องที่ 2 ช่องที่ 3 ช่องที่ 4 ตามลำดับ จากการทดสอบบันทึกและเล่นเสียงในแต่ละช่องปรากฏว่าสามารถบันทึกและเล่นเสียงได้ตามเวลาที่กำหนดไว้ทุกช่องโดยคุณภาพของเสียงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีโดยที่คุณภาพเสียงที่ได้จากการบันทึกและฟังนั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเสียงที่ป้อนให้กับเครื่องบันทึกเสียงด้วย ผลการทดสอบแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองบันทึกเสียงและเล่น

ช่อง/โหมด	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4
บันทึก	ได้ครบ 1 ชม.	ได้ครบ 1ชม.	ได้ครบ 1ชม.	ได้ครบ 1ชม.
เล่นเสียง	ได้ชัดเจน	ได้ชัดเจน	ได้ชัดเจน	ได้ชัดเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย