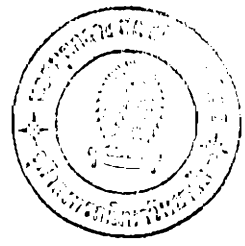


รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤษดา เรเยส. 2530. ต้นแบบเครื่องสังเคราะห์เสียงพูดด้วยวิธีเข้ารหัสแบบลิเนียร์พรีดิกทีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กาญจนา นาคสกุล. 2524. ระบบเสียงภาษาไทย. กรุงเทพ ฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยฉัตร ปานโรจน์. 2534. ลักษณะเชิงกลสัทศาสตร์ของวรรณยุกต์ในภาษาไทยกรุงเทพ ฯ : การแปรตามกลุ่มอายุ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาภาษาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยืน ภู่วรวรรณและคณะ. 2527. การสังเคราะห์เสียงพูดภาษาไทย. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์. 2535. การศึกษาลักษณะเฉพาะเชิงสวนสัทศาสตร์ของสระ ี, -า, -. ในภาษาไทยและประโยชน์ในการบ่งชี้ผู้พูด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเชียร แซ่โล้ว. 2539. อ่านคำไทยพยางค์เดี่ยวแบบปรับความเร็วได้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุดาพร ลักษณียนาวิน. 2529. สัทศาสตร์และภาษาศาสตร์. พระนคร : ห้างหุ้นส่วนเทคเพรสเซอร์วิส.

สุดาพร ลักษณียนาวิน. 2534. ปัญหาของระบบการสังเคราะห์เสียงจากข้อความภาษาไทย. บทความเสนอในการประชุมทางวิชาการโครงการวิจัยและพัฒนาอิเล็กทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์ (เล่มที่ 1). ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน.

สุดาพร ลักษณียนาวิน. 2535. คอมพิวเตอร์อ่านออกเสียงไทย. บทความเสนอในการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 4. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. หน้า 65-78

อาทร นันทิยกุล. 2533. การสังเคราะห์เสียงพูดจากข้อความภาษาไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Charpentier, F. and Moulines, E. 1989. Pitch synchronous waveform processing technique for text-to-speech synthesis using diphones. Eurospech '89. European Conference on Speech Communication and Technology. Paris. Volume I. 013-019.

Deller, J.R., Proakis, J.G., and Hansen, J.H.L. 1993. Discrete-Time Processing of Speech Signals. New York: Mcmillan Publishing Company.

Flanagan, J.L. 1972. Speech Analysis Synthesis and Perception. 2nd ed. New York : Springer-Verlag.

Kreyszig, E. 1988. Advance Engineering Mathmematics. John Wieley & Sons, Inc.

Ladefoged, P. 1962. Elements of Acoustic Phonetics. Chicago: The University of Chicago Press.

Luksaneeyanawin, Sudaporn. 1989. A Thai text to spech system. Proceedings of The Regional Workshop on Computer Processing of Asian Language (CPAL). Asian Institute of Technology. 305-15

Luksaneeyanawin, Sudaporn. 1992. Three-dimensional phonology : a historical implication In Pan-Asiatic Linguistics : Proceedings of the 3rd International Symposium on Language and Linguistics. Chulalongkorn University Bangkok. 75-90.

Luksaneeyanawin, Sudaporn. 1993. Speech computing and speech technology in Thailand : Proceedings of the Symposium on Natural Language Processing in Thailand. Bangkok : Chulalongkorn University Press. pp. 276-321.

Luksaneeyanawin, Sudaporn. 1995. Tone Transformation : Proceedings SNLP '95 : The 2nd Symposium on Natural Language Processing. Kasetsart University Bangkok. pp.345-353.

O'Shaughnessy, D. 1987. Speech Communication Human and Machine. Addison-Wesley Publishing Company.

Rabiner, L. R. and Schafer R. W. 1978. Digital Processing of Speech Signals. Prentice-Hall Inc.

Saravari, Chatchavalit and Satoshi Imai (1983). A demisyllable approach to speech synthesis of Thai - A tone language. Journal of the Acoustic Society of Japan. 4.2. 97-106.

ภาคผนวก ก.

การนำหน่วยเสียงอนุภาคไปใช้กับเครื่องอ่านคำไทยพยางค์เดียวแบบปรับความเร็วได้

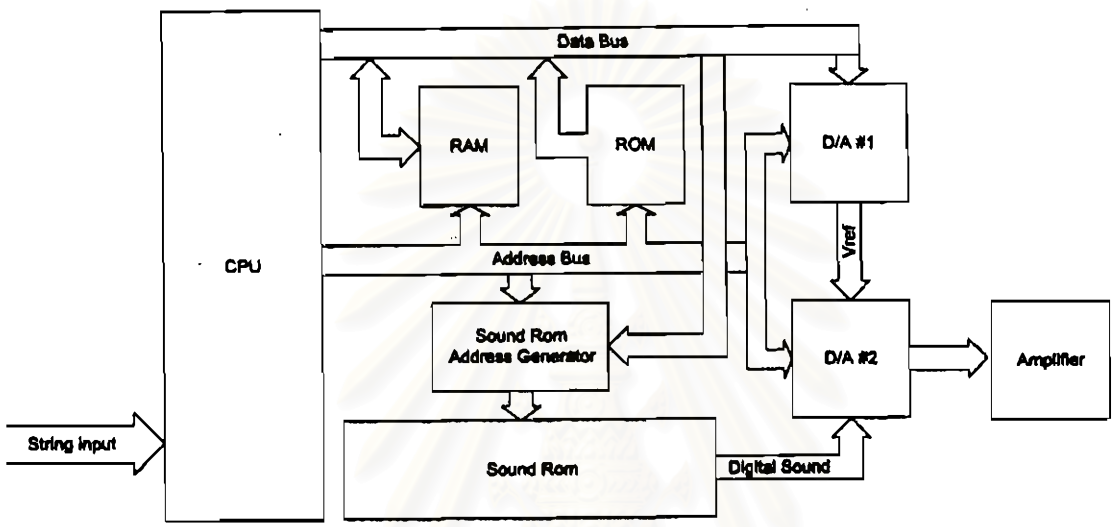
เครื่องอ่านคำไทยพยางค์เดียวแบบปรับความเร็วได้หรือเครื่อง CU-TALK เป็นเครื่องสังเคราะห์เสียงจากข้อความที่ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบเชิงเลขได้วิจัยขึ้น สังเคราะห์เสียงโดยใช้หน่วยเสียงแบบหน่วยคู่เสียง ทำงานโดยที่หน่วยประมวลผลกลางจะแปลงข้อความที่รับเข้ามาทางพอร์ตอนุกรมเป็นสัทอักษรและแปลงสัทอักษรเป็นหน่วยคู่เสียง แล้วนำฐานข้อมูลเสียงแบบหน่วยคู่เสียงซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยเสียงพยัญชนะต้นหน่วยเสียงสระและวรรณยุกต์และหน่วยเสียงตัวสะกดประกอบขึ้นเป็นพยางค์ที่ต้องการ ส่งออกไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลด้วยความถี่ 16 กิโลเฮิรตซ์ เป็นการส่งข้อมูลจากหน่วยความจำออกไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลโดยตรง

งานวิจัยเรื่องการสังเคราะห์เสียงสระและวรรณยุกต์ในพยางค์เปิดภาษาไทยด้วยหน่วยเสียงอนุภาค จะใช้หน่วยเสียงคล้ายกับเครื่อง CU-TALK ต่างกันตรงที่ในหน่วยเสียงสระและวรรณยุกต์จะไม่ได้เก็บไว้เต็มหน่วยเสียง จะเก็บเพียงส่วนหนึ่งของหน่วยเสียงเพื่อเป็นตัวแทนและจะนำมาสังเคราะห์กลับให้เป็นสระและวรรณยุกต์ที่ต้องการในภายหลัง โดยในการสังเคราะห์กลับจะใช้หน่วยเสียงอนุภาคของสระและพารามิเตอร์ 2 ตัวร่วมด้วยคือกรอบคลื่นแอมปลิจูดและทางเดินความถี่หลักมูล เพื่อสังเคราะห์สระที่มีวรรณยุกต์ที่ต้องการและนำไปเชื่อมต่อกับพยัญชนะต้น

จุดที่ต้องพัฒนาจากงานวิจัยนี้ไปยังเครื่อง CU-TALK คือส่วนของการสังเคราะห์เสียงสระและวรรณยุกต์ ในงานวิจัยนี้ใช้การเปลี่ยนความถี่ชักตัวอย่างของหน่วยเสียงอนุภาคให้เป็นไปตามรูปแบบของความถี่หลักมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำ นำมาเชื่อมต่อกันจนเป็นสระที่มีวรรณยุกต์ที่ต้องการ แล้วจึงส่งออกไปที่การ์ดเสียงด้วยความถี่คงที่เพราะได้มีการเปลี่ยนแปลงความถี่หลักมูลมาก่อนแล้ว แต่ในเครื่อง CU-TALK ใช้ CPU ที่มีขีดจำกัด การที่จะเปลี่ยนความถี่ในการชักตัวอย่างอาจทำได้ไม่ทัน แต่สามารถที่จะเปลี่ยนความถี่ในการส่งข้อมูลมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลได้ และสามารถที่จะปรับแอมปลิจูดของเสียงได้เช่นกันโดยการเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอล เครื่อง CU-TALK เก็บข้อมูลหน่วยเสียงโดยใช้หน่วยคู่เสียงซึ่งประกอบไปด้วยพยัญชนะ สระและวรรณยุกต์และตัวสะกด แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้หน่วยเสียงสองชนิดคือ หน่วยเสียงพยัญชนะ หน่วยเสียงอนุภาคและพารามิเตอร์ 2 ตัวคือทางเดินความถี่หลักมูลและกรอบคลื่นแอมปลิจูดหรือพลังงานของเสียงเพื่อจะสังเคราะห์เสียงวรรณยุกต์ วิธีการที่จะให้ CU-TALK เปลี่ยนความถี่หลักมูลทำได้โดยใช้ความสามารถของฮาร์ดแวร์โดยการเปลี่ยนความถี่ในการส่งข้อมูลไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอล ในการสังเคราะห์เสียงวรรณยุกต์จะทำโดยส่งข้อมูลของหน่วยเสียงอนุภาคของสระที่ต้องการมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลและเปลี่ยนค่าความถี่ในการส่งข้อมูลนี้ให้สัมพันธ์กับค่าความถี่หลักมูลของ

วรรณยุกต์ และในแต่ละวรรณยุกต์จะมีรูปแบบพลังงานที่ไม่เหมือนกันซึ่งสามารถที่จะปรับสัญญาณที่ออกมาจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เป็นไปตามรูปแบบเหล่านี้ได้โดยปรับได้โดยปรับค่าแรงดันอ้างอิง V_{Ref} ของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอล

หลักการทำงานของเครื่อง CU-TALK



รูปที่ ก.1 แผนผังโครงสร้างของเครื่อง CU-TALK

โครงสร้างเครื่อง CU-TALK เป็นดังรูปที่ ก.1 ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำข้อมูล หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำหน่วยเสียง ตัวถอดรหัสตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่ออยู่กับหน่วยประมวลผลกลาง ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอล 2 ตัว และภาคขยายเสียง ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลจะมี 2 ตัว ซึ่งตัวแรกจะเป็นตัวที่จะปรับแรงดันอ้างอิงให้กับตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สอง ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สองจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากหน่วยความจำที่เก็บหน่วยเสียงซึ่งเป็นสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกเพื่อส่งออกไปยังภาคขยายเสียง ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวแรกนี้ได้ออกแบบไว้เพื่อที่จะทำให้เครื่อง CU-TALK ออกเสียงหนักเบาได้ แต่ปัจจุบันยังไม่ได้ใช้ขณะนี้ใช้ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่ 2 เพียงตัวเดียว ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลที่ใช้เป็นแบบ 8 บิต และหน่วยเสียงที่เก็บไว้บันทึกด้วยความละเอียด 8 บิตด้วยความถี่ในการชักตัวอย่าง 16 กิโลเฮิรตซ์

การทำงานคร่าว ๆ ของเครื่อง CU-TALK เป็นดังนี้ หน่วยประมวลผลกลางจะรับข้อความที่เป็นรหัสแอสกี้ผ่านเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม และจะทำการแปลข้อความที่รับเข้ามาให้เป็นสัทอักษรสากลซึ่งในขั้นตอนการแปลนี้จะเป็นไปตามกฎทางภาษาไทย เพื่อที่จะแยกพยางค์ต่าง ๆ ออกมาจาก

ข้อความได้อย่างถูกต้อง แล้วนำสัทอักษรที่แปลแล้วนี้มาหาว่าหน่วยเสียงที่ตรงกับสัทอักษรอยู่ที่ตำแหน่งไหนของหน่วยความจำหน่วยเสียง เพื่อเตรียมจะส่งข้อมูลของหน่วยเสียงออกไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สอง เมื่อพบหน่วยเสียงที่ต้องการแล้วหน่วยประมวลผลกลางจะถูกอินเทอร์รัปต์เพื่อให้ส่งข้อมูลหน่วยเสียงไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลด้วยความถี่ 16 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อเสร็จสิ้นการส่งข้อมูลหน่วยประมวลผลกลางจะรับข้อความถัดไปนำมาแปลเป็นสัทอักษรและหาหน่วยเสียงเพื่อสังเคราะห์เสียงพยางค์ถัดไป ทำซ้ำเช่นนี้จนสิ้นสุดข้อความ

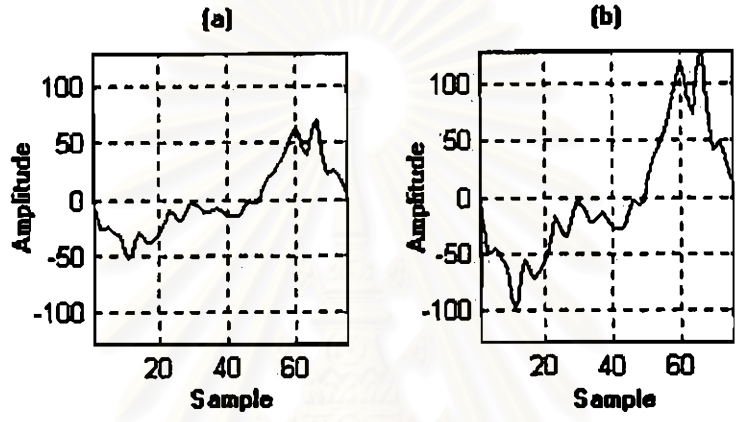
ในการนำหน่วยเสียงอนุภาคมาใช้ในเครื่อง CU-TALK หน่วยเสียงที่เก็บจะแตกต่างออกไปเล็กน้อย จากเดิมเก็บเป็นหน่วยคู่เสียงคือมีหน่วยคู่เสียงพยัญชนะ หน่วยคู่เสียงสระและวรรณยุกต์และหน่วยคู่เสียงตัวสะกด ในที่นี้จะตัดหน่วยเสียงตัวสะกดและสระประสมออกไปเนื่องจากในการใช้หน่วยเสียงอนุภาคยังไม่สามารถสังเคราะห์เสียงเหล่านี้ได้ หน่วยคู่เสียงพยัญชนะจะเก็บเหมือนกันแต่หน่วยเสียงสระจะไม่ได้เก็บเป็นเสียงเต็ม ๆ จะเก็บเพียงพิทช์เดียวของเสียงสระ รวมทั้งค่าความถี่หลักมูลและค่าแอมปลิจูด

การเปลี่ยนแอมปลิจูดของหน่วยเสียงอนุภาค

คลื่นเสียงจะมีพลังงานที่เปลี่ยนไปตามเวลาเป็นตัวทำให้เสียงมีน้ำหนักที่แตกต่างกันไป เนื่องจากหน่วยเสียงอนุภาคหนึ่งหน่วยเสียงมีขนาดของพลังงานที่คงที่ ดังนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนพลังงานนี้โดยหน่วยเสียงอนุภาคนำมาคูณเข้ากับกรอบคลื่นแอมปลิจูด กรอบคลื่นแอมปลิจูดนี้เป็นรูปแบบของพลังงานที่เปลี่ยนไปตามเวลาซึ่งจะนำไปปรับเปลี่ยนพลังงานของหน่วยเสียงอนุภาค ในงานวิจัยเรื่องการสังเคราะห์เสียงจากหน่วยเสียงอนุภาคได้เก็บค่าของกรอบคลื่นแอมปลิจูดเป็นค่าทศนิยมที่มีความละเอียด 32 บิต ซึ่งใช้เนื้อที่มากเกินไปถ้าจะนำมาใช้กับเครื่อง CU-TALK โดยตรงเพราะฉะนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการเก็บค่ากรอบคลื่นแอมปลิจูดเสียใหม่ และต้องกำหนดวิธีการที่จะนำกรอบคลื่นแอมปลิจูดนี้มาเปลี่ยนแปลงค่าแอมปลิจูดของหน่วยเสียงอนุภาคด้วย

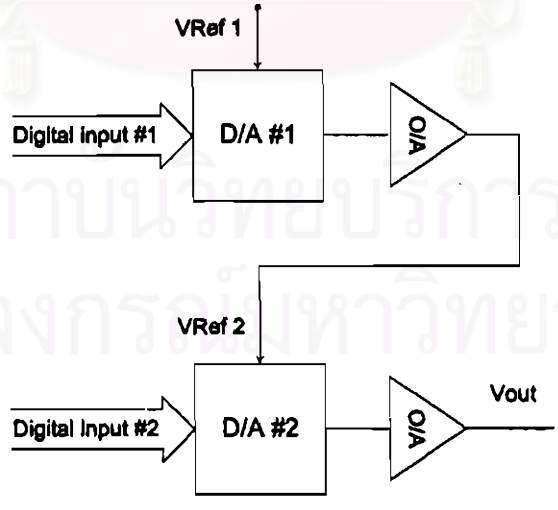
ในการเก็บค่ากรอบคลื่นแอมปลิจูดในเครื่อง CU-TALK จะต้องเก็บโดยใช้เนื้อที่ให้ประหยัดที่สุดและให้มีการคำนวณน้อยที่สุดเนื่องจากเครื่อง CU-TALK มีทรัพยากรจำกัด จากเดิมค่ากรอบคลื่นแอมปลิจูดและหน่วยเสียงอนุภาคจะเก็บโดยใช้ความละเอียด 32 บิต เมื่อจะนำมาใช้ในเครื่อง CU-TALK อาจจะต้องบันทึกเสียงใหม่หรือนำเสียงต้นแบบเดิมมาเปลี่ยนให้เป็น 8 บิตแล้วหาหน่วยเสียงอนุภาคและกรอบคลื่นแอมปลิจูดเสียใหม่เพื่อให้ฐานข้อมูลเป็นแบบ 8 บิตเสียก่อน แล้วจึงนำหน่วยเสียงนี้มาใช้เป็นฐานข้อมูล แต่ถ้านำหน่วยเสียงอนุภาคนี้มาใช้ทันทีอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากอาจจะทำให้มีการคำนวณเพิ่มขึ้นผู้วิจัยจึงเสนอวิธีจัดการหน่วยเสียงอนุภาคดังนี้ หน่วยเสียงอนุภาคจะถูกนำมาสเกลใหม่ให้เต็มช่วงของค่า 8 บิตเสียก่อนซึ่งแทนค่าสัญญาณได้ 256 ระดับ กรอบคลื่นแอมปลิจูดจะถูกวิเคราะห์หาใหม่จากเสียงที่บันทึกด้วยความละเอียด 8 บิตดังนั้นกรอบคลื่นแอมปลิจูดจะมีค่าได้

256 ระดับเช่นกัน เมื่อเริ่มสังเคราะห์เสียงหน่วยเสียงอนุภาคจะถูกส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สอง ในขณะที่ส่งค่าแอมปลิจูดไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวแรกเพื่อกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สอง เป็นผลให้แรงดันขาออกที่ส่งไปยังภาคขยายเสียงมีค่าตามที่ต้องการ ด้วยวิธีนี้ทำให้ไม่ต้องมีการคำนวณหาผลต่างของแอมปลิจูดเพื่อนำมาปรับค่าแรงดันอ้างอิงเลย เพียงแต่ส่งหน่วยเสียงอนุภาคและกรอบคลื่นแอมปลิจูดมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลให้สอดคล้องกันเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่นมีหน่วยเสียงอนุภาคต้นแบบหนึ่งตัวซึ่งอาจมีแอมปลิจูดเท่าไรก็ได้แต่จะนำมาปรับใหม่ให้เต็มค่าในช่วง 8 บิตดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงหน่วยเสียงอนุภาคที่ถูกปรับแอมปลิจูดให้เต็มช่วง

จากรูปที่ ก.2 (a) เป็นสัญญาณต้นแบบ และรูปที่ ก.2 (b) เป็นสัญญาณที่ได้ปรับเปลี่ยนแอมปลิจูดแล้ว ในเครื่อง CU-TALK ได้ต่อวงจรของส่วนแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 แสดงส่วนของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอล

แรงดันเอาท์พุทที่ออกจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลทั้งสองตัว มีค่าเป็นไปตามสมการข้างล่างนี้

$$V_{Out} = \frac{V_{Ref}(Digital.Input)}{256}$$

จากสมการค่าแรงดันที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 โวลท์ถึง $V_{Ref} - 1/256$ โวลท์ แต่เนื่องจากว่าต้องการแรงดันที่ออกจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สองให้มีค่าอยู่ระหว่าง $-V_{Ref}$ ถึง $+V_{Ref}$ ดังนั้นอาจจะต้องดัดแปลงวงจรที่ต่อกับตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สองเล็กน้อยเพื่อให้แรงดันที่ได้มีค่าตามสมการข้างล่าง ซึ่งแรงดันจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวแรก จะมาเป็นแรงดันอ้างอิงของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สอง

$$V_{Out} = \frac{V_{Ref}(Digital.Input - 128)}{128}$$

การที่เก็บกรอบคลื่นแอมปลิจูดไว้ก็เพื่อประโยชน์ที่สามารถนำค่านี้มากำหนดว่าสัญญาณที่ออกมาได้ว่าจะให้มีขนาดของแอมปลิจูดเท่าไร และเหตุที่ต้องสเกลหน่วยเสียงอนุภาคให้เต็มช่วงเพราะว่าสามารถบังคับแอมปลิจูดได้โดยตรงจากแรงดันอ้างอิงที่ได้จากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวแรก ซึ่งแรงดันอ้างอิงจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวแรกจะถูกบังคับจากค่าของกรอบคลื่นแอมปลิจูดอีกต่อหนึ่ง จากรูปที่ ก.3 สมมติให้ค่าแรงดันของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง –1 ถึง 1 โวลท์ ให้ VRef1 มีค่า 2 โวลท์ และค่าดิจิตอลของกรอบคลื่นแอมปลิจูดมีค่าเป็น 64_{10} ซึ่งแทนค่าแรงดันเท่ากับ 0.5 โวลท์จะทำให้แรงดันที่ออกจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวแรกมีค่าเป็น 0.5 โวลท์ ดังนั้นแรงดันอ้างอิง VRef2 จะมีค่าเท่ากับ 0.5 โวลท์ ซึ่งทำให้เอาท์พุทของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สองมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง -0.5 โวลท์ ถึง $0.5 - 1/128$ โวลท์ แต่หน่วยเสียงอนุภาคได้ถูกสเกลเสียใหม่ให้เต็มช่วง ดังนั้นเมื่อมีการส่งหน่วยเสียงอนุภาคมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลตัวที่สอง จะทำให้จุดที่หน่วยเสียงอนุภาคมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับค่าแรงดันอ้างอิงด้วยเช่นกัน ซึ่งจะมีแรงดันใกล้เคียงกับค่าที่กรอบคลื่นแอมปลิจูดได้กำหนดไว้ ด้วยวิธีนี้จะสามารถทำให้เครื่อง CU-TALK สามารถเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูดได้โดยไม่ต้องคำนวณหาค่าความต่าง เพียงแต่ใช้ค่าที่ได้คำนวณและเก็บไว้แล้วคือหน่วยเสียงอนุภาคและกรอบคลื่นแอมปลิจูดส่งมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลให้เหมาะสมเท่านั้น และค่าทั้งสองนี้สามารถเก็บด้วยความละเอียด 8 บิตได้ ทำให้ใช้เนื้อที่เก็บไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่หลักมูลของหน่วยเสียงอนุภาค

จากความสัมพันธ์ $F0 = \frac{Fs}{N}$ โดยที่ $F0$ คือค่าความถี่หลักมูล Fs คือค่าความถี่ในการส่งข้อมูล และ N คือจำนวนตัวอย่างของหน่วยเสียงอนุภาคซึ่งมีค่าคงที่ เมื่อต้องการจะเปลี่ยนค่าความถี่หลักมูลสามารถที่จะเปลี่ยนได้โดยเปลี่ยนค่า Fs ซึ่งถ้าค่า Fs มีค่ามากจะทำให้ค่าความถี่หลักมูลมีค่ามากตามไปด้วยและในทางกลับกันถ้า Fs มีค่าน้อยค่าความถี่หลักมูลก็จะน้อยเช่นกัน

การเปลี่ยนค่าความถี่หลักมูลในเครื่อง CU-TALK นี้ จะทำโดยเปลี่ยนค่าความถี่ในการส่งข้อมูลหน่วยเสียงอนุภาคมายังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเพื่อให้ส่งเร็วหรือช้าแทน ซึ่งในการส่งข้อมูลนี้เครื่อง CU-TALK ใช้การอินเทอร์รัปต์จากตัวตั้งเวลา (Timer) ในตัวประมวลผลกลางตระกูล MCS51 ที่เครื่อง CU-TALK ได้ใช้อยู่นี้มีตัวตั้งเวลาอยู่ 2 ตัว (หรือมากกว่าซึ่งแล้วแต่เบอร์ของหน่วยประมวลผลกลาง) ซึ่งสามารถตั้งให้ตั้งเวลาได้หลายโหมด แต่มีบางโหมดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้คือโหมด 0 ซึ่งจะเป็นตั้งเวลาโดยนับค่าจากรีจิสเตอร์ 2 ตัวซึ่งมีขนาดรวมกันเป็น 13 บิต ทำให้สามารถหารสัญญาณนาฬิกาได้ในช่วงกว้าง ในโหมดนี้ตัวตั้งเวลาจะนับค่าเริ่มต้นที่เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์และลดค่าลงจนเป็น 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณอินเทอร์รัปต์ไปให้หน่วยประมวลผลกลาง ดังนั้นเราสามารถที่จะตั้งค่าในรีจิสเตอร์ขนาด 13 บิตนี้ให้เหมาะสมกับความถี่ที่จะส่งหน่วยเสียงไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลได้ เมื่อตัวตั้งเวลานับค่าเสร็จจะส่งสัญญาณอินเทอร์รัปต์ออกมาซึ่งเราจะนำสัญญาณอินเทอร์รัปต์นี้ไปเป็นตัวบอกให้ส่งข้อมูลเสียง

เนื่องจากเครื่อง CU-TALK ใช้สัญญาณนาฬิกา 24 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่ที่ถูกป้อนเข้าตัวตั้งเวลาจะมีค่าเท่ากับค่าสัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 คือ 2 เมกะเฮิรตซ์ จากความสัมพันธ์ข้างบนที่ว่าค่าความถี่หลักมูลเท่ากับค่าความถี่ในการส่งข้อมูลหารด้วยจำนวนของข้อมูล ค่าความถี่ในการส่งข้อมูลที่ได้จากการใช้ตัวตั้งเวลาที่มีความถี่ 2 เมกะเฮิรตซ์ป้อนเข้ามา จะต้องถูกหารด้วย 181 เพื่อที่จะเล่นเสียงที่ถูกชักตัวอย่างด้วยความถี่ 11 กิโลเฮิรตซ์ได้ ค่า 181 นี้คือค่าที่จะต้องโหลดเข้าสู่รีจิสเตอร์ขนาด 13 บิตของตัวตั้งเวลา ดังนั้นค่า Fs ข้างบนจะหาได้จาก $Fs = \frac{2\times10^6}{x}$ โดยที่ค่า x คือค่าที่จะโหลดให้รีจิสเตอร์ขนาด 13 บิต ดังนั้นค่าความถี่หลักมูลจะหาได้จาก $F0 = \frac{2\times10^6}{xN}$ หรือจะหาค่าที่จะโหลดสู่รีจิสเตอร์จากค่าความถี่หลักมูลที่รู้แล้วจาก $x = \frac{2\times10^6}{F0\cdot N}$ ซึ่งในการหาค่า x นี้จะหาจากคอมพิวเตอร์ก่อนแล้วจึงค่อยนำไปบันทึกบนหน่วยความจำของเครื่อง CU-TALK ในภายหลัง ค่าความถี่หลักมูลที่อยู่ในรูปค่าที่จะต้องนำไปโหลดให้รีจิสเตอร์นี้ อาจจะต้องเก็บด้วยขนาด 16 บิตเนื่องจากค่าที่ใช้มีค่าเกิน 255 ซึ่งมากกว่าเนื้อที่ขนาด 8 บิตจะรองรับได้ เช่นในเสียงพูดของผู้หญิงจะมีค่าความถี่หลักมูลอยู่ระหว่างประมาณ 180 เฮิรตซ์ถึง 320 เฮิรตซ์ ถ้าบันทึกด้วยค่าความถี่ในการชักตัวอย่าง 11 กิโลเฮิรตซ์ ในหนึ่งคาบจะมีจำนวนตัวอย่างเสียงอยู่ประมาณ 34 ถึง 61 ตัวอย่างเสียง ซึ่ง

ค่าที่จะโหลดให้กับรีจิสเตอร์ของตัวตั้งเวลาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 102 และ 327 ค่าความละเอียดของความถี่ที่เปลี่ยนไปได้จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.32 เฮิรตซ์ถึง 1.8 เฮิรตซ์ ที่ค่าความถี่หลักมูลที่มีค่ามากจะมีช่วงความละเอียดน้อยกว่าค่าความถี่หลักมูลที่ค่าต่ำ

ความถี่ในการชักตัวอย่างของหน่วยเสียงที่ถูกบันทึกเดิมใช้ค่า 16 กิโลเฮิรตซ์ แต่เนื่องจากการใช้หน่วยเสียงอนุภาคนี้จะมีการเปลี่ยนค่าความถี่มูลฐานให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง ที่ความถี่ 16 กิโลเฮิรตซ์นี้ไม่สามารถจะเพิ่มได้แล้วเพราะเครื่อง CU-TALK อาจจะทำงานไม่ทัน ดังนั้นอาจจะต้องมีการลดค่าความถี่ในการชักตัวอย่างของเสียงลงมาเหลือ 11 กิโลเฮิรตซ์หรือ 8 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อให้มีการเพิ่มหรือลดค่าความถี่ในการส่งข้อมูลไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลได้โดยที่เครื่อง CU-TALK ยังสามารถทำงานได้ทัน ข้อมูลที่ส่งไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลจะถูกแบ่งเป็นชุด ๆ ซึ่งแต่ละชุดจะมีความถี่หลักมูลและแอมปลิจูดที่เหมาะสม การสังเคราะห์เสียงจะทำโดยส่งหน่วยเสียงพยัญชนะออกมาก่อน เนื่องจากหน่วยเสียงพยัญชนะได้เก็บไว้ตายตัวไม่มีการปรับแต่ง จึงต้องส่งข้อมูลหน่วยเสียงพยัญชนะออกมาด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่งที่ตรงกับความถี่ที่ได้บันทึกไว้ และส่งหน่วยเสียงอนุภาคออกมาด้วยความถี่ที่เหมาะสมกับหน่วยเสียงอนุภาคแต่ละชุด ปรับแอมปลิจูดของความถี่หลักมูลที่ผ่านตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลนั้นให้เท่ากับค่าแอมปลิจูดที่เหมาะสมกับหน่วยเสียงอนุภาคแต่ละชุด ทำเช่นนี้จนครบความยาวเสียงก็จะได้เสียงพยางค์ที่ต้องการ งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมไปถึงพยางค์ที่มีตัวสะกดดังนั้นการพัฒนาไปใช้กับเครื่อง CU-TALK จึงทำได้แค่สังเคราะห์เสียงพยางค์เปิดเสียงยาวและพยางค์เปิดเสียงสั้นเท่านั้น

เมื่อพิจารณาเนื้อที่ที่จะใช้ในการเก็บหน่วยเสียง เปรียบเทียบระหว่างเก็บโดยใช้หน่วยคู่เสียงและเก็บโดยใช้หน่วยเสียงอนุภาคโดยใช้หน่วยเสียงที่ถูกชักตัวอย่างด้วยความถี่ 11 กิโลเฮิรตซ์ความละเอียด 8 บิตเป็นดังนี้ หน่วยคู่เสียงจะมีจำนวนหน่วยเสียงจำนวน 387 หน่วย และใช้เนื้อที่เก็บหน่วยเสียงประมาณ 1 เมกะไบต์ ถ้าใช้หน่วยเสียงอนุภาคจะมีจำนวนหน่วยเสียง 432 หน่วย ใช้เนื้อที่เก็บหน่วยเสียงอนุภาคประมาณ 0.6 เมกะไบต์

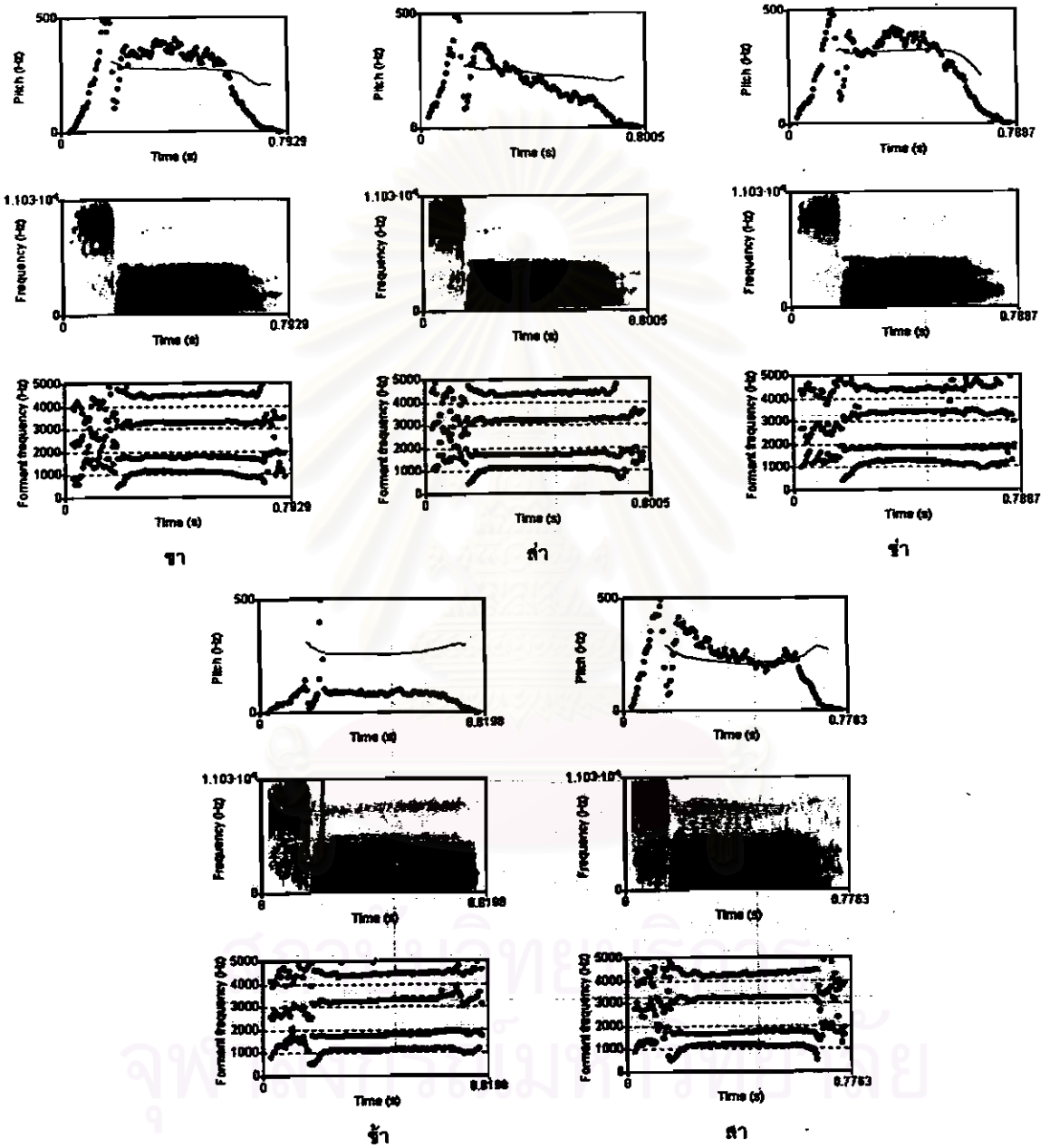
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

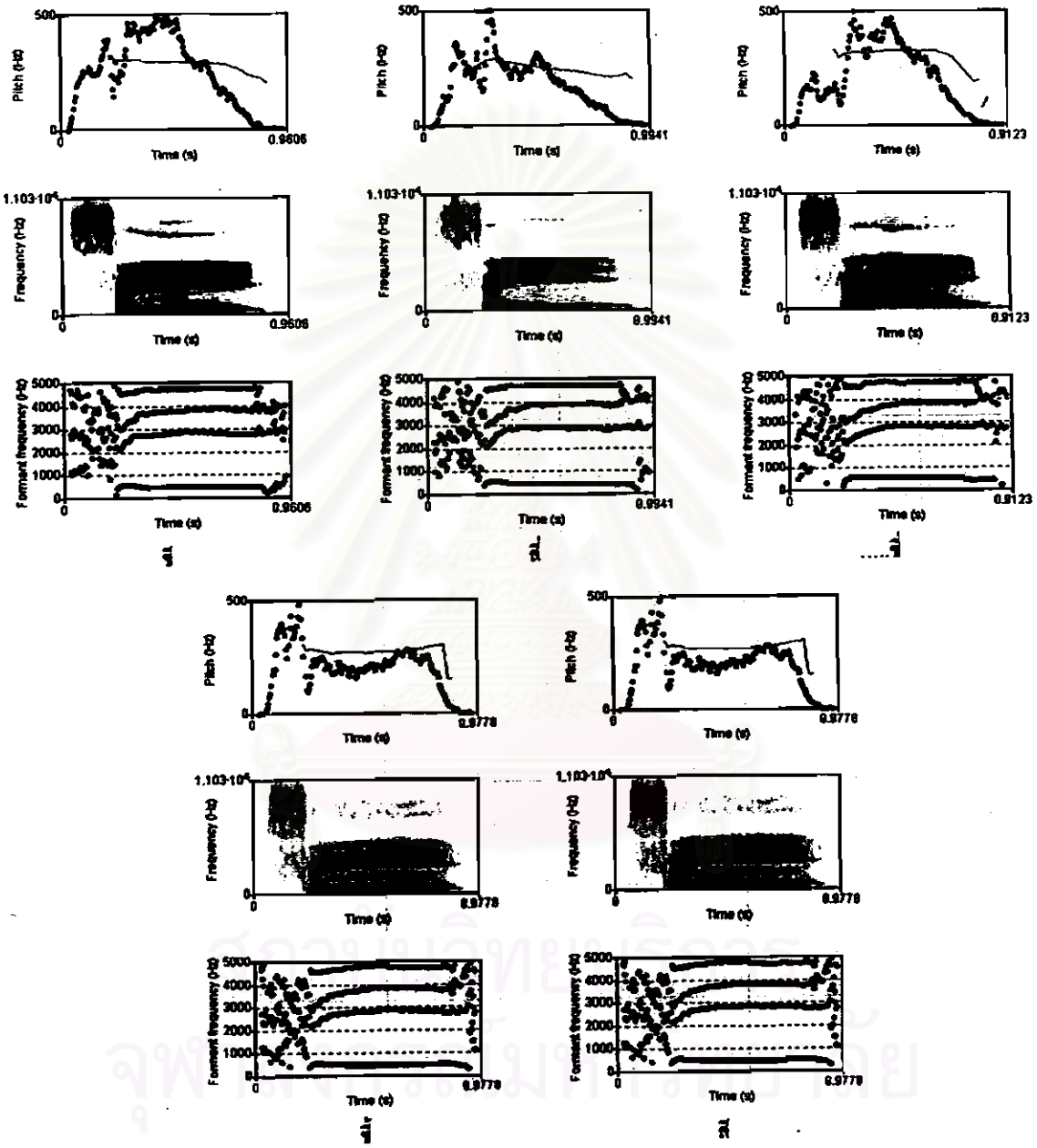
แผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบและเสียงสังเคราะห์

ภาคผนวก ข. แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงสระเสียงยาวและสระเสียงสั้นของพยางค์ต่าง ๆ แบ่งเป็นแผ่นภาพคลื่นเสียงจากเสียงต้นแบบ แผ่นภาพคลื่นเสียงจากการสังเคราะห์สระเสียงยาว และแผ่นภาพคลื่นเสียงจากการสังเคราะห์สระเสียงสั้นตามลำดับ

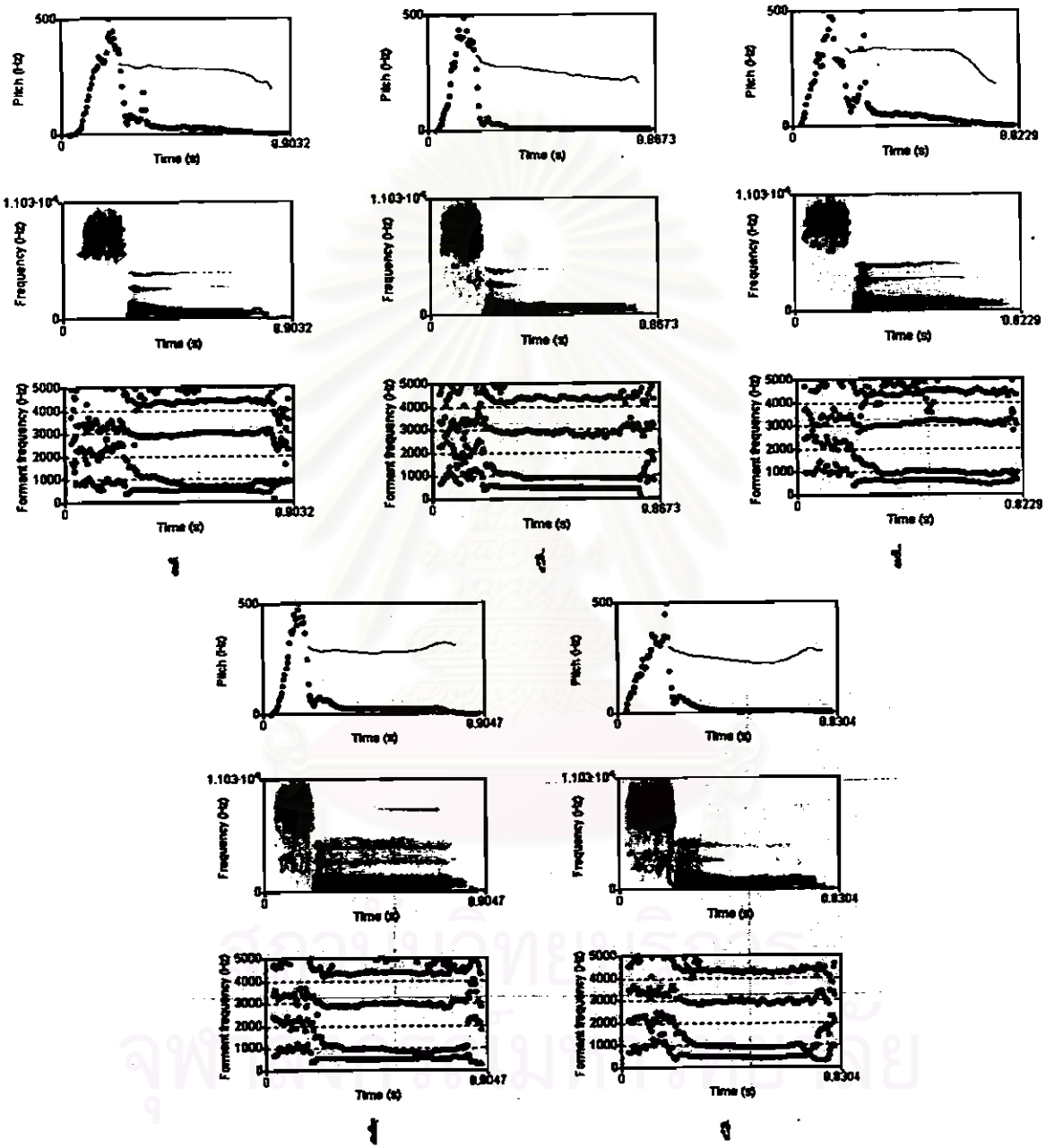
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



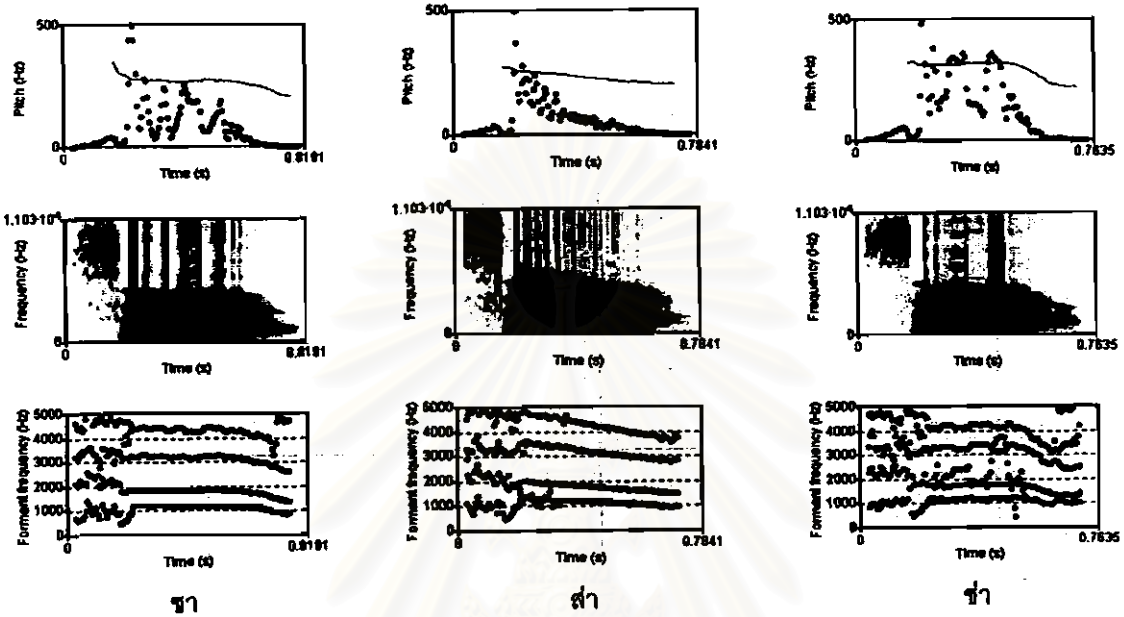
รูปที่ ข.1 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบ ขา สำ ช่า ช้า และสา



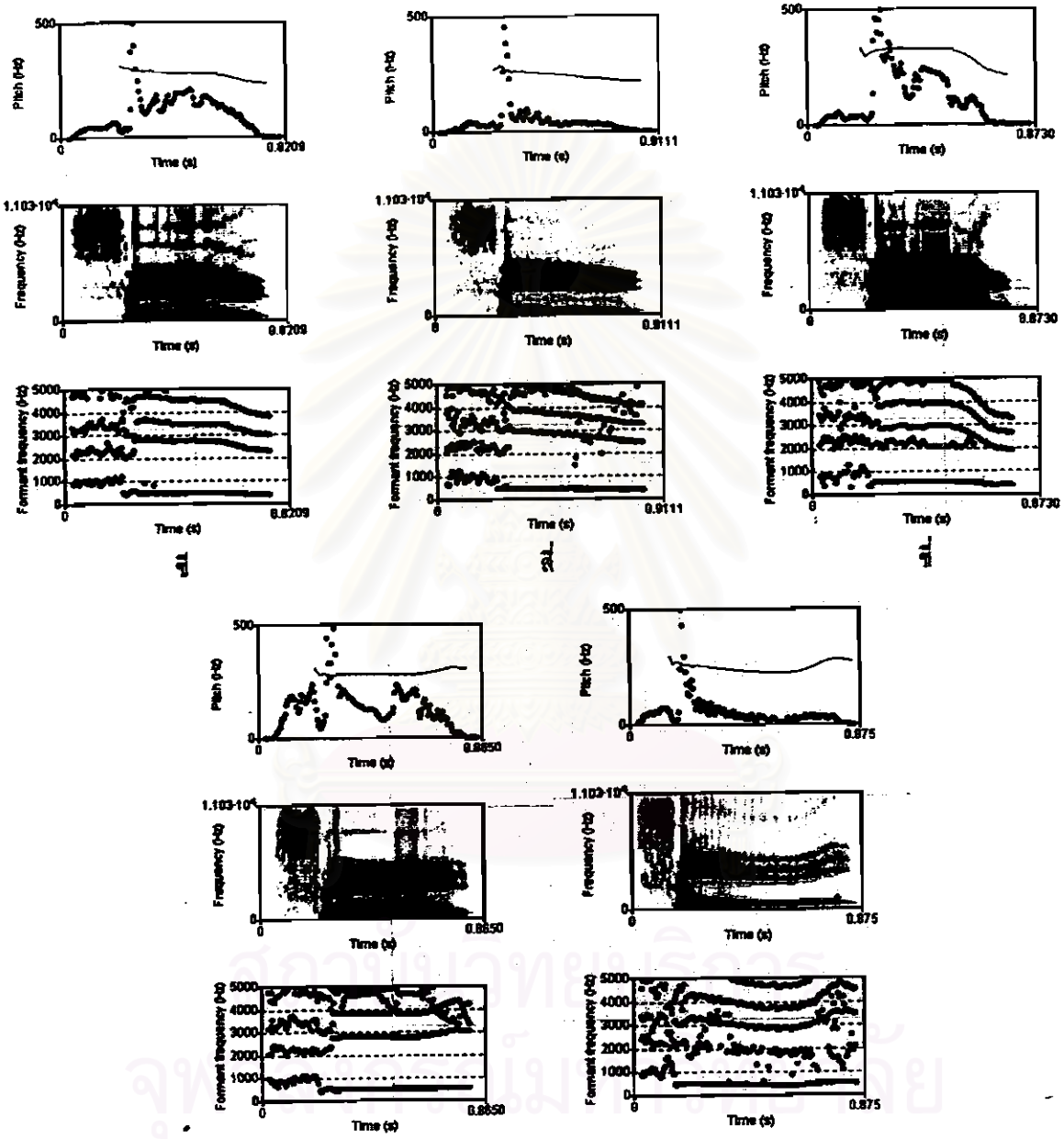
รูปที่ ข.2 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบ ซี ลี ซี่ ซี้ และลี



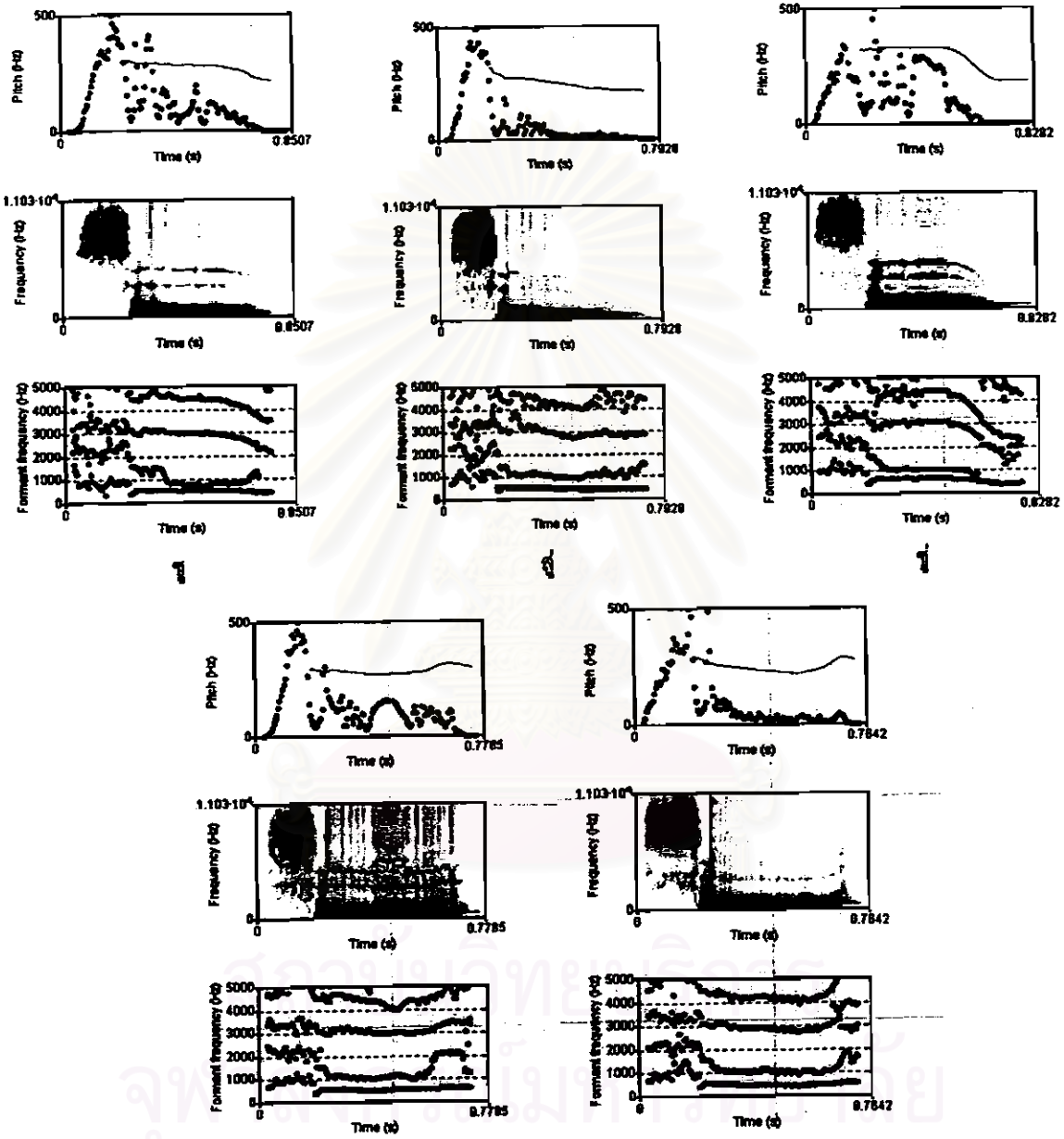
รูปที่ ข.3 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบ ขู ข่ ข้ และ ข



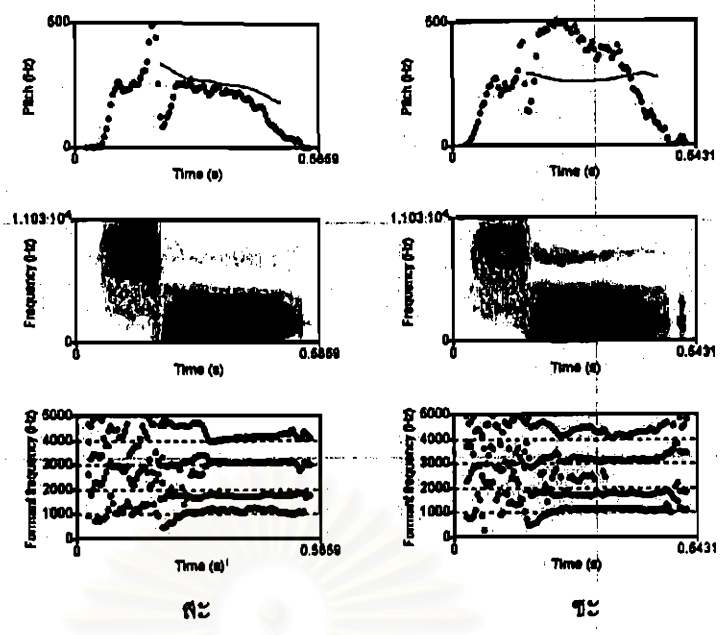
รูปที่ ข.4 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงสังเคราะห์ ขา ส่า ข่า ข้า และสา



รูปที่ ข.5 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงสังเคราะห์ ซี ซี่ ชี่ ชี้ และสี

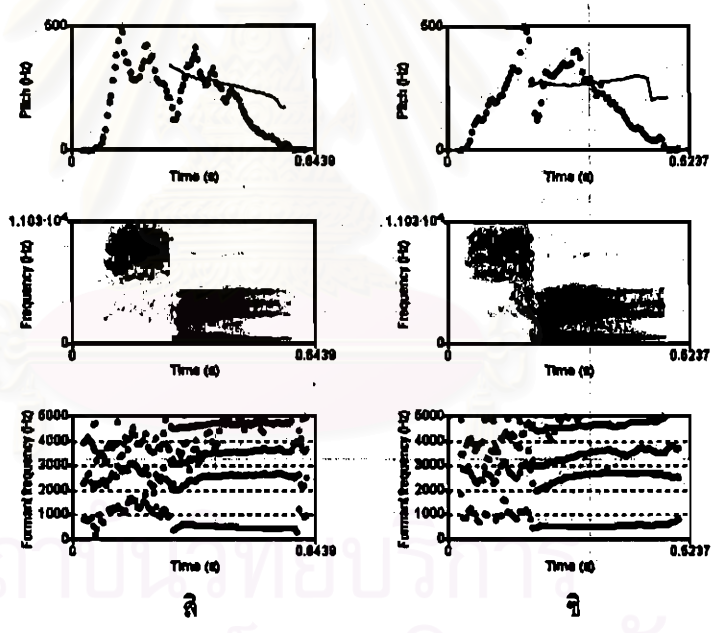


รูปที่ ข.6 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงสังเคราะห์ ฃ ค ฅ ฆ และ ง



สะ ขะ

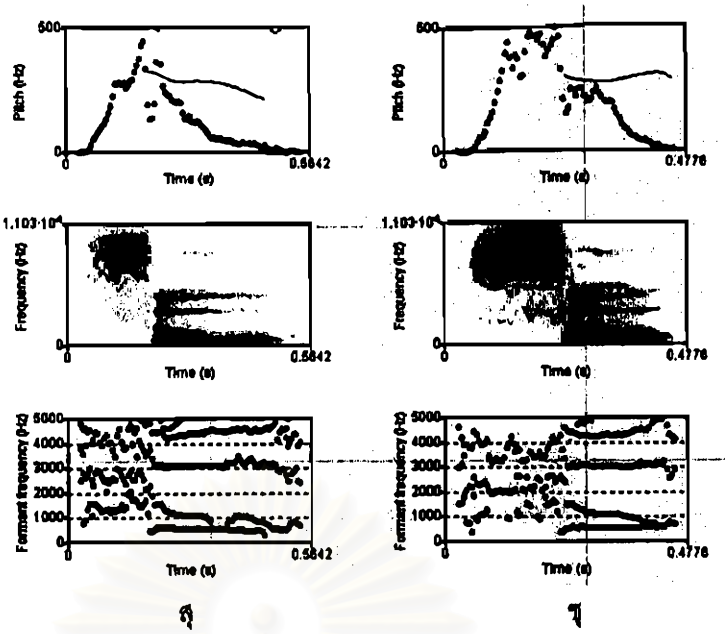
รูปที่ ข.7 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบ สะ และขะ



สิ ชิ

รูปที่ ข.8 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบ สิ และชิ

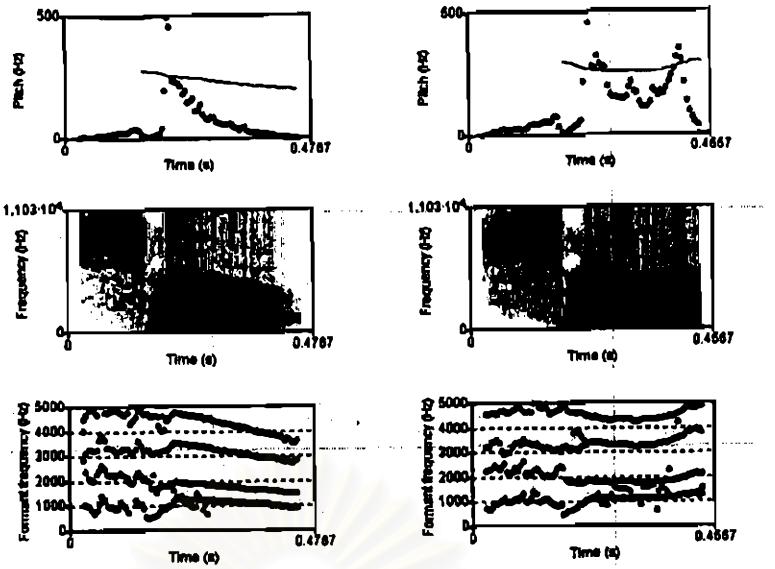
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ฐ ฑ

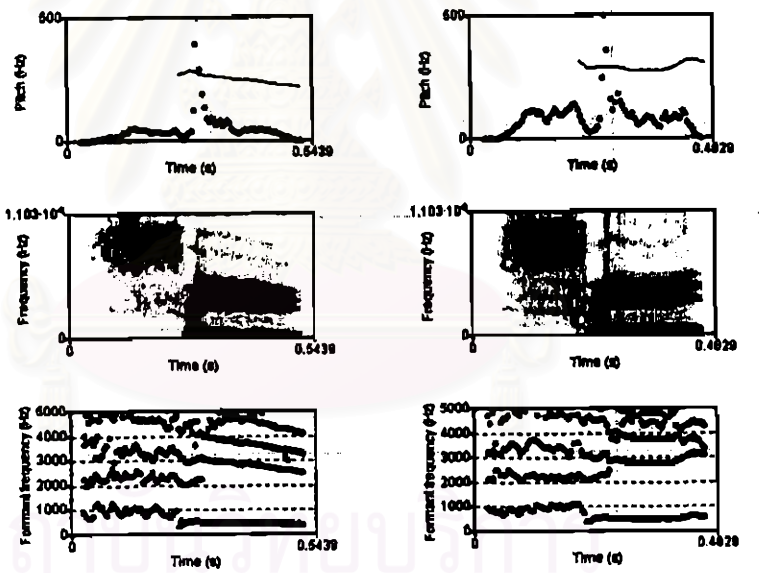
รูปที่ ข.9 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงต้นแบบ ฐ และ ฑ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



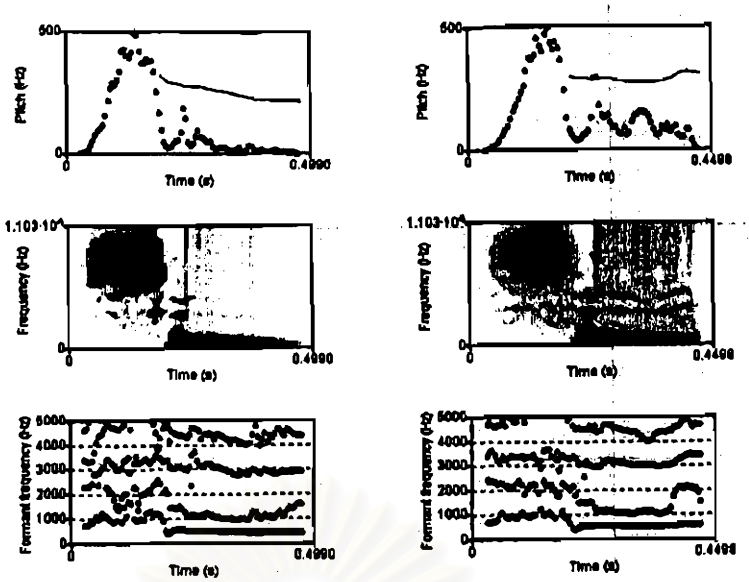
สะ ชะ

รูปที่ ข.10 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงสังเคราะห์ สะ และชะ



สิ ชิ

รูปที่ ข.11 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงสังเคราะห์ สิ และชิ



ฤ ฦ

รูปที่ ข.12 แสดงแผ่นภาพคลื่นเสียงของเสียงสังเคราะห์ ฤ และฦ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ค่าทางสถิติของคะแนนดิบที่ได้จากการทำการทดสอบทัศนคติของกลุ่มตัวอย่างต่อคุณภาพเสียง

ค่าทางสถิติของคะแนนดิบที่ได้จากการทำการทดสอบทัศนคติของกลุ่มตัวอย่างต่อคุณภาพเสียงจากการทดสอบการรับฟังครั้งที่ 1 ของเสียง "ซา", "ซี", "ซู", "สะ", "สิ", "สุ"

	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
พยางค์	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
ซา	สามัญ	สามัญ	สามัญ	3.9	4	2	5	0.85
ซา	สามัญ	สามัญ	เอก	3.6	3	2	5	1.02
ซา	สามัญ	สามัญ	โท	3.4	3	2	5	0.88
ซา	สามัญ	สามัญ	ตรี	3.3	3	1	5	1.05
ซา	สามัญ	สามัญ	จัตวา	3.6	4	1	5	0.87
ส่า	เอก	เอก	สามัญ	3.4	3	1	5	1.12
ส่า	เอก	เอก	เอก	3.4	4	1	5	1.10
ส่า	เอก	เอก	โท	2.7	2	1	5	1.21
ส่า	เอก	เอก	ตรี	3.0	2	1	5	1.11
ส่า	เอก	เอก	จัตวา	3.3	4	1	5	0.96
ซ่า	โท	โท	สามัญ	3.4	3	1	5	0.86
ซ่า	โท	โท	เอก	2.8	3	1	4	0.95
ซ่า	โท	โท	โท	3.6	4	1	5	1.00
ซ่า	โท	โท	ตรี	3.7	4	2	5	1.05
ซ่า	โท	โท	จัตวา	2.8	2	1	5	1.02
ซ้า	ตรี	ตรี	สามัญ	3.6	4	2	5	0.86
ซ้า	ตรี	ตรี	เอก	3.9	5	1	5	1.04
ซ้า	ตรี	ตรี	โท	3.6	4	1	5	1.08
ซ้า	ตรี	ตรี	ตรี	4.1	3	2	5	0.95
ซ้า	ตรี	ตรี	จัตวา	4.0	4	2	5	0.97
สา	จัตวา	จัตวา	สามัญ	3.7	4	2	5	1.01
สา	จัตวา	จัตวา	เอก	3.7	3	2	5	1.06
สา	จัตวา	จัตวา	โท	2.8	2	1	5	1.13
สา	จัตวา	จัตวา	ตรี	2.9	3	1	5	1.08
สา	จัตวา	จัตวา	จัตวา	3.7	3	1	5	1.09

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "ซา" ในการทดสอบครั้งที่ 1

พยางค์	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
ซี	สามัญ	สามัญ	สามัญ	2.3	2	1	5	1.02
ซี	สามัญ	สามัญ	เอก	2.3	2	1	4	0.88
ซี	สามัญ	สามัญ	โท	2.7	3	1	5	1.07
ซี	สามัญ	สามัญ	ตรี	1.8	2	1	4	0.74
ซี	สามัญ	สามัญ	จัตวา	2.0	2	1	4	0.91
ลี	เอก	เอก	สามัญ	2.0	2	1	4	0.82
ลี	เอก	เอก	เอก	2.8	3	1	5	0.96
ลี	เอก	เอก	โท	2.7	2	1	5	1.02
ลี	เอก	เอก	ตรี	2.8	3	1	5	0.95
ลี	เอก	เอก	จัตวา	2.4	2	1	5	1.04
ลี	โท	โท	สามัญ	1.4	1	1	5	0.68
ลี	โท	โท	เอก	2.0	2	1	4	0.76
ลี	โท	โท	โท	1.9	2	1	5	0.75
ลี	โท	โท	ตรี	1.5	1	1	5	0.81
ลี	โท	โท	จัตวา	1.5	1	1	5	0.83
ลี้	ตรี	ตรี	สามัญ	3.5	4	1	5	0.92
ลี้	ตรี	ตรี	เอก	3.7	4	2	5	0.86
ลี้	ตรี	ตรี	โท	3.7	4	1	5	0.86
ลี้	ตรี	ตรี	ตรี	3.7	3	1	5	0.99
ลี้	ตรี	ตรี	จัตวา	3.5	3	1	5	1.04
ลี	จัตวา	จัตวา	สามัญ	2.1	2	1	5	0.93
ลี	จัตวา	จัตวา	เอก	2.3	2	1	5	0.91
ลี	จัตวา	จัตวา	โท	2.2	2	1	5	0.91
ลี	จัตวา	จัตวา	ตรี	2.5	2	1	5	1.09
ลี	จัตวา	จัตวา	จัตวา	1.8	2	1	4	0.80

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "ซี" ในการทดสอบครั้งที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พยางค์	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
ฐ	สามัญ	สามัญ	สามัญ	3.1	3	1	5	1.02
ฐ	สามัญ	สามัญ	เอก	3.1	3	1	5	0.86
ฐ	สามัญ	สามัญ	โท	2.5	3	1	5	0.82
ฐ	สามัญ	สามัญ	ตรี	3.3	3	1	5	1.07
ฐ	สามัญ	สามัญ	จัตวา	3.3	3	1	5	0.96
ฐ	เอก	เอก	สามัญ	3.4	4	1	5	1.15
ฐ	เอก	เอก	เอก	3.5	4	2	5	0.94
ฐ	เอก	เอก	โท	2.7	2	1	5	1.09
ฐ	เอก	เอก	ตรี	2.8	3	1	5	1.06
ฐ	เอก	เอก	จัตวา	3.2	3	1	5	0.96
ฐ	โท	โท	สามัญ	2.6	3	1	5	1.01
ฐ	โท	โท	เอก	2.6	3	1	5	1.10
ฐ	โท	โท	โท	2.6	2	1	5	1.04
ฐ	โท	โท	ตรี	3.3	4	1	5	1.04
ฐ	โท	โท	จัตวา	2.6	3	1	5	1.00
ฐ	ตรี	ตรี	สามัญ	2.8	3	1	5	0.97
ฐ	ตรี	ตรี	เอก	3.3	3	2	5	0.88
ฐ	ตรี	ตรี	โท	2.9	3	1	5	0.88
ฐ	ตรี	ตรี	ตรี	3.0	3	1	5	0.90
ฐ	ตรี	ตรี	จัตวา	3.1	3	1	5	0.87
ฐ	จัตวา	จัตวา	สามัญ	3.5	4	1	5	0.96
ฐ	จัตวา	จัตวา	เอก	3.3	3	1	5	1.02
ฐ	จัตวา	จัตวา	โท	3.0	2	1	5	1.06
ฐ	จัตวา	จัตวา	ตรี	2.9	3	1	5	1.01
ฐ	จัตวา	จัตวา	จัตวา	3.2	3	1	5	0.98

ตารางที่ ค.3 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "ฐ" ในการทดสอบครั้งที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พยางค์	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
สะ	เอก	เอก	เอก	3.8	4	1	5	0.98
สะ	เอก	เอก	ตรี	3.2	3	1	5	0.94
ฆะ	ตรี	ตรี	ตรี	3.9	5	1	5	1.03
ฆะ	ตรี	ตรี	เอก	3.7	4	1	5	1.09
สิ	เอก	เอก	เอก	2.6	3	1	5	0.90
สิ	เอก	เอก	ตรี	2.6	3	1	5	0.92
ชิ	ตรี	ตรี	ตรี	3.8	4	1	5	1.07
ชิ	ตรี	ตรี	เอก	3.8	4	2	5	0.92
สุ	เอก	เอก	เอก	3.2	4	1	5	1.08
สุ	เอก	เอก	ตรี	3.1	3	1	5	1.08
ฆุ	ตรี	ตรี	ตรี	3.4	3	1	5	1.08
ฆุ	ตรี	ตรี	เอก	3.7	5	1	5	1.13

ตารางที่ ค.4 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "สะ", "สิ", "สุ" ในการทดสอบครั้งที่ 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าทางสถิติของคะแนนดิบที่ได้จากการทำการทดสอบทัศนคติของกลุ่มตัวอย่างต่อคุณภาพเสียงจากการทดสอบการรับฟังครั้งที่ 2 ของเสียง "ขา", "ขี", "ขู", "สะ", "สิ", "สุ"

	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
พยางค์	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
ขา	สามัญ	สามัญ	สามัญ	4.0	4	2	5	0.81
ส่า	สามัญ	เอก	เอก	2.5	2	1	5	0.97
ข่า	สามัญ	โท	โท	3.8	4	1	5	1.05
ข้า	สามัญ	ตรี	ตรี	4.0	4	1	5	0.85
สา	สามัญ	จัตวา	จัตวา	2.6	2	1	5	1.18
ขา	เอก	สามัญ	สามัญ	3.3	4	1	5	0.99
ส่า	เอก	เอก	เอก	3.5	3	1	5	1.00
ข่า	เอก	โท	โท	2.7	2	1	5	0.87
ข้า	เอก	ตรี	ตรี	3.5	3	1	5	0.99
สา	เอก	จัตวา	จัตวา	3.9	4	1	5	0.95
ขา	โท	สามัญ	สามัญ	3.1	3	1	5	0.96
ส่า	โท	เอก	เอก	2.4	2	1	5	1.00
ข่า	โท	โท	โท	3.8	3	1	5	0.98
ข้า	โท	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	0.97
สา	โท	จัตวา	จัตวา	2.7	3	1	5	1.13
ขา	ตรี	สามัญ	สามัญ	3.3	3	1	5	0.88
ส่า	ตรี	เอก	เอก	2.9	3	1	5	0.96
ข่า	ตรี	โท	โท	3.3	3	1	5	1.06
ข้า	ตรี	ตรี	ตรี	4.2	4	1	5	0.85
สา	ตรี	จัตวา	จัตวา	2.8	2	1	5	1.12
ขา	จัตวา	สามัญ	สามัญ	3.2	3	1	5	1.12
ส่า	จัตวา	เอก	เอก	3.8	4	1	5	0.91
ข่า	จัตวา	โท	โท	3.1	2	1	5	1.20
ข้า	จัตวา	ตรี	ตรี	3.5	3	1	5	1.10
สา	จัตวา	จัตวา	จัตวา	3.8	4	1	5	0.91

ตารางที่ ค.5 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "ขา" ในการทดสอบครั้งที่ 2

	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
พยางค์	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
ขี	สามัญ	สามัญ	สามัญ	2.1	2	1	4	0.90
ลี	สามัญ	เอก	เอก	1.5	1	1	5	0.76
ขี	สามัญ	โท	โท	1.6	1	1	4	0.70
ขี้	สามัญ	ตรี	ตรี	3.1	3	1	5	0.94
ลี	สามัญ	จัตวา	จัตวา	1.5	1	1	5	0.73
ขี	เอก	สามัญ	สามัญ	2.4	2	1	5	1.00
ลี	เอก	เอก	เอก	2.4	2	1	5	1.01
ขี	เอก	โท	โท	1.6	1	1	5	0.84
ขี้	เอก	ตรี	ตรี	2.6	3	1	5	0.94
ลี	เอก	จัตวา	จัตวา	2.6	2	1	5	0.94
ขี	โท	สามัญ	สามัญ	1.6	1	1	4	0.75
ลี	โท	เอก	เอก	1.3	1	1	5	0.75
ขี	โท	โท	โท	1.5	1	1	4	0.64
ขี้	โท	ตรี	ตรี	2.8	3	1	5	0.94
ลี	โท	จัตวา	จัตวา	1.3	1	1	5	0.69
ขี	ตรี	สามัญ	สามัญ	2.4	2	1	5	0.90
ลี	ตรี	เอก	เอก	2.0	1	1	5	1.09
ขี	ตรี	โท	โท	1.5	1	1	4	0.76
ขี้	ตรี	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	1.00
ลี	ตรี	จัตวา	จัตวา	1.9	2	1	5	0.85
ขี	จัตวา	สามัญ	สามัญ	3.5	3	1	5	0.94
ลี	จัตวา	เอก	เอก	3.3	3	1	5	1.01
ขี	จัตวา	โท	โท	1.6	1	1	4	0.76
ขี้	จัตวา	ตรี	ตรี	2.5	2	1	5	1.11
ลี	จัตวา	จัตวา	จัตวา	2.6	2	1	5	1.04

ตารางที่ ค.6 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "ขี" ในการทดสอบครั้งที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
พยางค์	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
ซู	สามัญ	สามัญ	สามัญ	3.3	3	1	5	1.01
ซู่	สามัญ	เอก	เอก	2.8	3	1	5	1.02
ซู่	สามัญ	โท	โท	3.5	4	1	5	1.03
ซู้	สามัญ	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	1.08
ซู	สามัญ	จัตวา	จัตวา	3.1	3	1	5	1.01
ซู	เอก	สามัญ	สามัญ	3.0	3	1	5	1.01
ซู่	เอก	เอก	เอก	3.4	3	1	5	0.92
ซู่	เอก	โท	โท	3.3	3	1	5	0.99
ซู้	เอก	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	0.91
ซู	เอก	จัตวา	จัตวา	3.5	4	1	5	0.96
ซู	โท	สามัญ	สามัญ	2.8	2	1	5	1.02
ซู่	โท	เอก	เอก	2.3	2	1	5	0.96
ซู่	โท	โท	โท	3.8	4	2	5	0.93
ซู้	โท	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	1.06
ซู	โท	จัตวา	จัตวา	3.1	3	1	5	1.14
ซู	ตรี	สามัญ	สามัญ	3.5	3	1	5	1.05
ซู่	ตรี	เอก	เอก	3.1	3	1	5	1.04
ซู่	ตรี	โท	โท	3.6	4	1	5	1.11
ซู้	ตรี	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	0.92
ซู	ตรี	จัตวา	จัตวา	2.9	3	1	5	0.97
ซู	จัตวา	สามัญ	สามัญ	3.6	4	1	5	0.98
ซู่	จัตวา	เอก	เอก	3.6	4	1	5	0.97
ซู่	จัตวา	โท	โท	3.7	4	1	5	1.09
ซู้	จัตวา	ตรี	ตรี	3.4	3	1	5	1.04
ซู	จัตวา	จัตวา	จัตวา	3.5	3	1	5	1.04

ตารางที่ ค.7 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "ซู" ในการทดสอบครั้งที่ 2

พยางค์	องค์ประกอบของหน่วยเสียง			ค่าทางสถิติ				
	หน่วยเสียงอนุภาค	ความถี่หลักมูล	แอมปลิจูด	Average	Mode	Min	Max	SD
สะ	เอก	เอก	เอก	4.0	5	1	5	1.10
ซะ	เอก	ตรี	ตรี	3.5	4	1	5	0.96
สะ	ตรี	เอก	เอก	3.1	3	1	5	1.09
ซะ	ตรี	ตรี	ตรี	4.0	4	1	5	1.02
สิ	เอก	เอก	เอก	1.7	1	1	4	0.80
ซิ	เอก	ตรี	ตรี	4.0	4	1	5	0.99
สิ	ตรี	เอก	เอก	1.7	2	1	4	0.70
ซิ	ตรี	ตรี	ตรี	3.6	4	1	5	1.10
สุ	เอก	เอก	เอก	3.5	3	1	5	1.06
ซุ	เอก	ตรี	ตรี	3.3	3	1	5	1.07
สุ	ตรี	เอก	เอก	3.0	2	1	5	1.12
ซุ	ตรี	ตรี	ตรี	3.6	4	1	5	1.08

ตารางที่ ค.8 แสดงค่าทางสถิติของเสียง "สะ", "สิ", "สุ" ในการทดสอบครั้งที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายเอกพล อนุสุเรนทร์ เกิดวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ.2516 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ภาควิชาวิศวกรรมอิเลคทรอนิคส์ ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (แขนงวิชาระบบเชิงเลข) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย