รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ณัฐกร ทับทอง. การรู้จำคำพูดภาษาไทยโดยใช้ลักษณะบ่งความต่างของหน่วยเสียง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ทวิ ประทุมทาน. การตรวจรู้เสียงพูดภาษาไทยโดยใช้หน่วยพยางค์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

ระพีพัฒน์ เพ็ญศิริ. การรู้จำเสียงตัวเลขภาษาไทยโดยไม่ขึ้นต่อผู้พูด โดยการใช้ไดนามิกไทม์วาร์ปปิง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Ahkuputra, V., Jitapunkul, S., Pornsukchantra, W., and Luksaneeyanawin, S. "Speaker Independent Thai Polysyllabic Word Recognition Using Hidden Markov Model", IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing. (August 1997): 593-599.

Amano, A., Aritsuka, T., Hataoka, N. and Ichikawa, A. "On the Use of Neural Networks and Fuzzy Logic in Speech Recognition", International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Vol 1 (1989): 301-305.

Bourlard, H., and Morgan, N. "Continuous Speech Recognition by Connectionist Statistical Methods", IEEE Transactions on Neural Networks. Vol 4 (November 1993): 893-909.

Carlos, A. R., Carlos, A. G., and Wyllis B. "The Use of Trapezoidal Function in Linguistic Fuzzy Relational Neural Network for Speech Recognition", IEEE International Conference on Neural Networks. Vol 7 (July 1994): 4487-4492.

Furui, S., and Sondhi, M. M., Advances in Speech Signal Processing. New York, Basel and Hong Kong: Marcel Dekker, 1991.

Furui, S., Digital Speech Processing, Synthesis and Recognition. New York and Basel: Marcel Dekker, 1989.

Gurgen, F. S., Aikawa, K., and Shikano, K. "Phoneme Recognition with Neural Networks Using a Novel Fuzzy Training Algorithm", International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Vol 1 (November 1991): 572-577.

Jianxin, J., and Zheng, H. "Application of Neural Network and Fuzzy Inference to Chinese-phoneme Recognition", International Conference on Pattern Recognition Methodology and Systems. Vol 2 (August-September 1992): 426-429.

Jianxin, J., Zheng, H., and Feng, L. "A Hybrid Neural-Fuzzy-Neural Framework for Speech Recognition", International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). Vol 4 (June 1992): 643-648.

Komori, Y. "A Neural Fuzzy Training Approach for Continuous Speech Recognition Improvement", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Vol 1 (1992): 405-408.

Lee, T., Ching, P. C., Chan, L. W., Cheng, Y. H., and Mak, B. "Tone Recognition of Isolated Cantonese Syllables", IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. Vol 3 (May 1995): 204-209.

Lin, C., and Anthony, F. E. "Combining Fuzzy Vector Quantization and Neural Network Classification for Robust Isolated Word Speech Recognition", Proceedings of ICCS. Vol 3 (1994): 884-887.

Liu, L., Li, Z., and Shi, B. "Segment Matrix Vector Quantization and Fuzzy Logic for Isolated-word Speech Recognition", Proceedings 25th International Symposium on Multiple-Valued Logic. (May 1995): 152-156.

Maneenoi, E., Jitapunkul, S., Ahkuputra, V., and Wutiwiwatchai, C. "Modification of BP Algorithm for Thai Speech Recognition", Natural Language Processing Pacific Rim Symposium (NLPRS). (November 1997): 287-291.

Nava, P. A., and Taylor, J. M. "Speaker Independent Voice Recognition with a Fuzzy Neural Network", Proceedings of IEEE 5th International Fuzzy Systems. Vol 3 (September 1996): 2049-2052.

O'Shaughnessy, D. "Linear Predictive Coding", IEEE Potentials. (Febuary 1988): 29-32.

Pal, S. K., and Mitra, S. "Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets and Classification", IEEE Transactions on Neural Networks. Vol 3 (September 1992): 683-697.

Pornsukchantra, W., and Jitapunkul, S. "Speaker Independent Thai Numeral Speech Recognition Using LPC and Back-propagation Neural Network", Electrical Engineering Conference. (November 1996): 977-981.

Rabiner, L. R., and Levinson, S. E. "Isolated and Connected Word Recognition-Theory and Selected Application", IEEE Transaction on Communication. Vol 29 (May 1981): 621-659.

Taur, J. S., and Kung, S. Y. "Fuzzy-decision Neural Networks", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Vol 1 (April 1993): 577-580.

Tsuboka, E., and Nakahashi, J. "On the Fuzzy Vector Quantization Based Hidden Markov Model", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Vol 6 (April 1994): 637-640.

Xydeas, C. S., and Gong, L. "Robust Speech Recognition Using Fuzzy Matrix Quantization and Neural Network", Proceedings of International Conference on Communication Technology (ICCT). Vol 1 (May 1996): 432-435.

Yingyong, Q., and Bobby, R. H. "The Use of Fuzzy Membership in Network Training for Isolated Word Recogniton", IEEE International Conference on Neural Networks. Vol 3 (April 1993): 1823-1828.

Zhou, L., and Imai, S. "Chinese All Syllables Recognition Using Combination of Multiple Classifiers", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Vol 6 (May 1996): 3494-3497.

Lee, C., Soong, F. K., and Paliwal, K. K., Automatic Speech and Speaker Recognition. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1996.

Rao, V. B., and Rao, H. V., C++ Neural Networks and Fuzzy Logic. USA: MIS Press, 1995.

Welstead, S. T., Neural Network and Fuzzy Logic Applications in C/C++. New York: John Wiley & Sons, 1994.

Bengio, Y., Neural Networks for Speech and Sequence Recognition. London: International Thomson Computer Press, 1996.

Ross, T. J., Fuzzy Logic with Engineering Applications. International Edition. USA: McGraw-Hill, 1995.

Oppenheim, A. V., and Schafer, R. W., Discrete-Time Signal Processing. Prentice Hall, 1989.

Schalkoff, R., Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches. Singapore: John Wiley & Sons, 1992.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายการชุดคำศัพท์ที่ใช้ และการแยกกลุ่มคำศัพท์

งานวิจัยนี้ใช้ชุดคำศัพท์ภาษาไทยจำนวน 70 คำศัพท์ ประกอบด้วยคำหนึ่งพยางค์ที่เป็นตัวเลข 10 คำ และคำหนึ่งพยางค์อื่นๆ 20 คำ คำสองพยางค์ 20 คำ และคำสามพยางค์ 20 คำ โดยมีรายละเอียดรวมทั้งรูปเสียง (Phonetic) ดังแสดงในตารางที่ ก.1, ก.2, ก.3 และ ก.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.1 ชุดคำศัพท์ตัวเลข

รหัส	คำศัพท์	รูปเสียง
401	หนึ่ง	/nvng1/
402	สอง	/s@@ng4/
403	สาม	/saam4/
404	สี่	/sii1/
405	ห้า	/haa2/
406	หก	/hok1/
407	เจ็ด	/cet1/
408	แปด	/pxxt1/
409	เก้า	/kaaw2/
410	ศูนย์	/suun4/

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ชุดคำศัพท์หนึ่งพยางค์

รหัส	คำศัพท์	รูปเสียง
101	เดิน	/dqqn0/
102	วิ่ง	/wing2/
103	นอน	/n@@n0/
104	ตา	/taa0/
105	ปาก	/paak1/
106	หู	/huu4/
107	มือ	/mvv0/
108	เทียน	/thiian0/
109	กิน	/kin0/
110	นก	/nok3/
111	เปิด	/pet1/
112	ไก่	/kaj1/
113	กล้วย	/kluuaj2/
114	ส้ม	/som2/
115	โต๊ะ	/to3/
116	เตียง	/tiiang0/
117	นั่ง	/nang2/
118	แก้ว	/kxxw2/
119	น้ำ	/naam3/
120	เสือ	/svva4/

ตารางที่ ก.3 ชุดคำศัพท์สองพยางค์

รหัส	คำศัพท์	รูปเสียง
201	กระโดด	/kra1.doot1/
202	หันซ้าย	/han4.saaj3/
203	หันขวา	/han4.khwaa4/
204	มือซ้าย	/mvv0.saaj3/
205	มือขวา	/mvv0.khwaa4/
206	ขาซ้าย	/khaa4.saaj3/
207	ขาขวา	/khaa4.khwaa4/
208	หัวใจ	/huaa4.caj0/
209	ปากกา	/paak1.kaa0/
210	ยางลบ	/jaang0.lop3/
211	ดินสอ	/din0.s@@4/
212	หลอดไฟ	/l@@t1.faj0/
213	ดอกไม้	/d@@k1.maaj3/
214	ต้นไม้	/ton2.maaj3/
215	หน้าต่าง	/naa2.taang1/
216	แตงโม	/taang0.moo0/
217	วันจันทร์	/wan0.can0/
218	วันศุกร์	/wan0.suk1/
219	วันเสาร์	/wan0.saw4/
220	วันพุธ	/wan0.phut3/

ตารางที่ ก.4 ชุดคำศัพท์สามพยางค์

รหัส	คำศัพท์	รูปเสียง
301	ภาษาไทย	/paa0.saa4.thaj0/
302	ไม้บรรทัด	/maaj3.ban0.that3/
303	ดอกกุหลาบ	/d@@k1.ku1.laap1/
304	นาฬิกา	/naa0.li3.kaa0/
305	มะละกอ	/ma3.la3.k@@0/
306	สับปะรด	/sap1.pa1.rot3/
307	กล้วยน้ำว้า	/kluuaj2.naam3.waa3/
308	รถบรรทุก	/rot3.ban0.thuk3/
309	รถกระบะ	/rot3.kra1.ba1/
310	วันอาทิตย์	/wan0.?aa0.thit3/
311	วันอังคาร	/wan0.?ang0.khaan0/
312	หนังสือเรียน	/nang4.svv4.riian0/
313	กิโลกรัม	/ki1.loo0.kram0/
314	กิโลเมตร	/ki1.loo0.meet3/
315	ไมโครเมตร	/maj0.kroo0.meet3/
316	นาโนเมตร	/naa0.noo0.meet3/
317	ความแม่นยำ	/khwaam0.man2.jam0/
318	งบประมาณ	/ngop3.pra1.maan0/
319	ดาวกระจาย	/daaw0.kra1.caaj0/
320	ดอกกล้วยไม้	/d@@k1.kluuaj2.maaj3/

ในงานวิจัยนี้จะมีการแบ่งชุดคำศัพท์ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรู้จำ และเพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบ โดยอาศัยหลักเกณฑ์ในการแบ่ง 2 วิธีคือ แบ่งตามจำนวนพยางค์ในคำ ซึ่งแบ่งได้เป็นคำที่มี 1, 2 และ 3 พยางค์ และแบ่งตามเสียงวรรณยุกต์ของพยางค์แรกของคำ ซึ่งแบ่งได้เป็น 5 เสียงคือ สามัญ เอก โท ตรี และจัตวา ดังนั้นจะได้กลุ่มคำศัพท์ทั้งหมด 19 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ ก.5

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดกลุ่มคำศัพท์ย่อย

กลุ่มที่	หลักเกณฑ์ที่ใช้แบ่ง	จำนวนคำศัพท์ในกลุ่ม	รหัสของคำศัพท์ที่อยู่ภายในกลุ่ม
1	ตัวเลข	10	คำศัพท์ทุกคำในตารางที่ ก.1
2	คำหนึ่งพยางค์ที่ไม่ใช่ตัวเลข	20	คำศัพท์ทุกคำในตารางที่ ก.2
3	คำหนึ่งพยางค์ (รวมตัวเลข)	30	คำศัพท์ทุกคำในตารางที่ ก.1 และ ก.2
4	คำสองพยางค์	20	คำศัพท์ทุกคำในตารางที่ ก.3
5	คำสามพยางค์	20	คำศัพท์ทุกคำในตารางที่ ก.4
6	คำหนึ่งพยางค์ เสียงสามัญ	7	101, 103, 104, 107, 108, 109, 116
7	คำหนึ่งพยางค์ เสียงเอก	8	401, 404, 406, 407, 408, 105, 111, 112
8	คำหนึ่งพยางค์ เสียงโท	7	405, 409, 102, 113, 114, 117, 118
9	คำหนึ่งพยางค์ เสียงตรี	3	110, 115, 119
10	คำหนึ่งพยางค์ เสียงจัตวา	5	402, 403, 410, 106, 120

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5(ต่อ) รายละเอียดกลุ่มคำศัพท์ย่อย

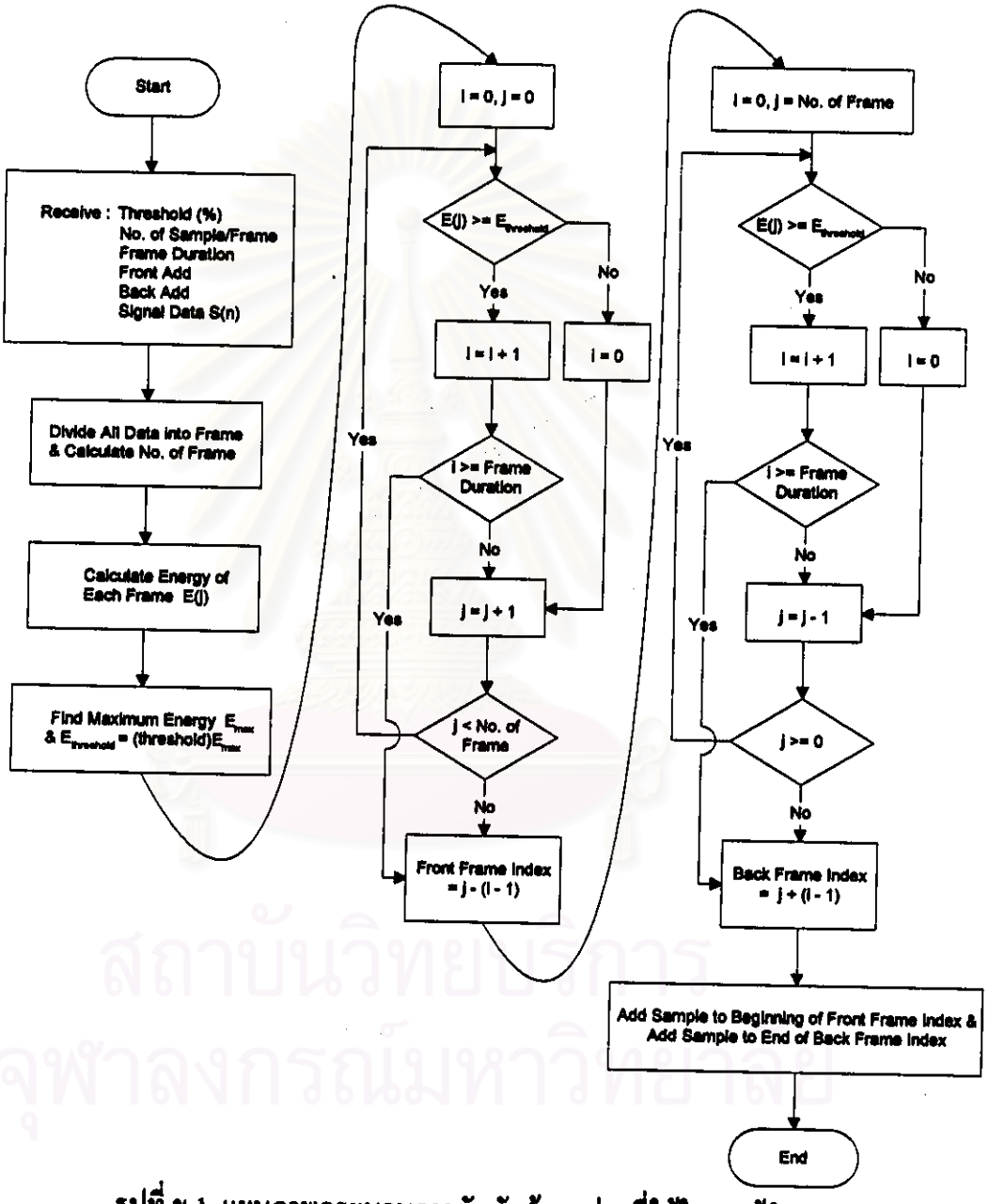
กลุ่มที่	หลักเกณฑ์ที่ใช้แบ่ง	จำนวนคำศัพท์ในกลุ่ม	รหัสของคำศัพท์ที่อยู่ภายในกลุ่ม
11	คำสองพยางค์ เสียงสามัญ	10	204, 205, 209, 210, 211, 216, 217, 218, 219, 220
12	คำสองพยางค์ เสียงเอก	3	201, 212, 213
13	คำสองพยางค์ เสียงโท	2	214, 215
14	คำสองพยางค์ เสียงจัตวา	5	202, 203, 206, 207, 208
15	คำสามพยางค์ เสียงสามัญ	8	301, 304, 310, 311, 315, 316, 317, 319
16	คำสามพยางค์ เสียงเอก	5	303, 306, 313, 314, 320
17	คำสามพยางค์ เสียงโท	1	307
18	คำสามพยางค์ เสียงตรี	5	302, 305, 308, 309, 318
19	คำสามพยางค์ เสียงจัตวา	1	312

หมายเหตุ : คำสอง และสามพยางค์ จะพิจารณาเสียงวรรณยุกต์ของพยางค์แรกในการแบ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภาพขั้นตอนกระบวนการที่สำคัญ

1) กระบวนการตัดหัวท้ายหน่วยที่ใช้ในการรู้จำ (Endpoint Detection)



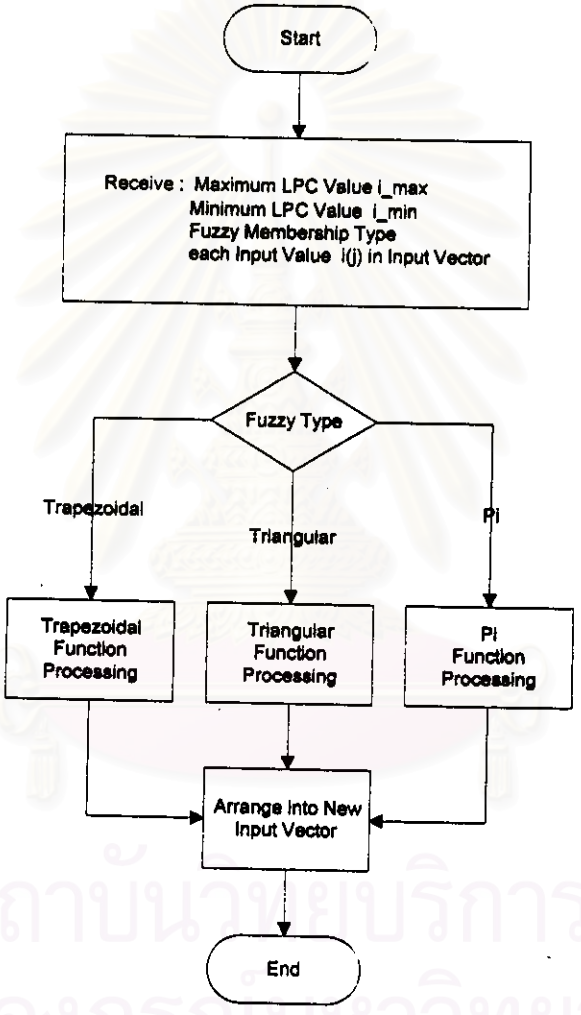
รูปที่ ข.1 แผนภาพกระบวนการตัดหัวท้ายหน่วยที่ใช้ในการรู้จำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) กระบวนการแปลงเป็นค่าสมาชิกภาพแบบฟัซซี (Fuzzification)

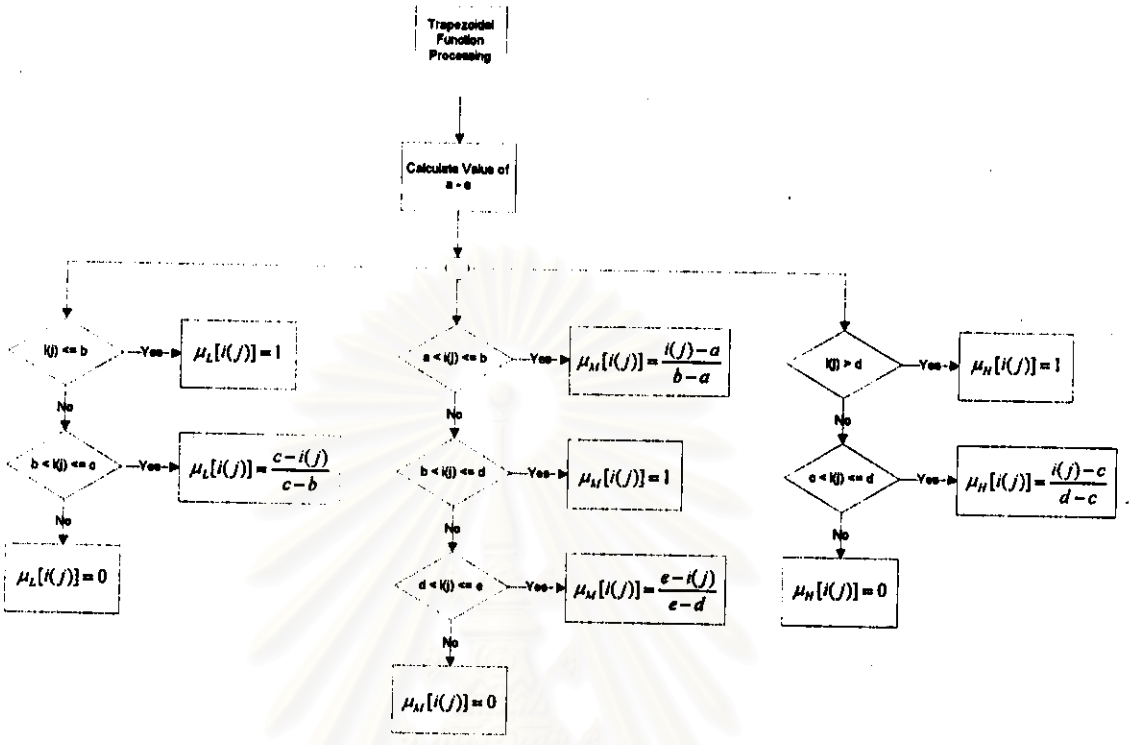
อาศัยฟังก์ชันค่าสมาชิกภาพแบบฟัซซีซึ่งเลือกได้ 3 ชนิดคือ สี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal) สามเหลี่ยม (Triangular) และ Pi ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ ข.2 (ก) ถึง (ง)

รูปที่ ข.2(ก) แผนภาพกระบวนการแปลงเป็นค่าสมาชิกภาพแบบฟัซซี

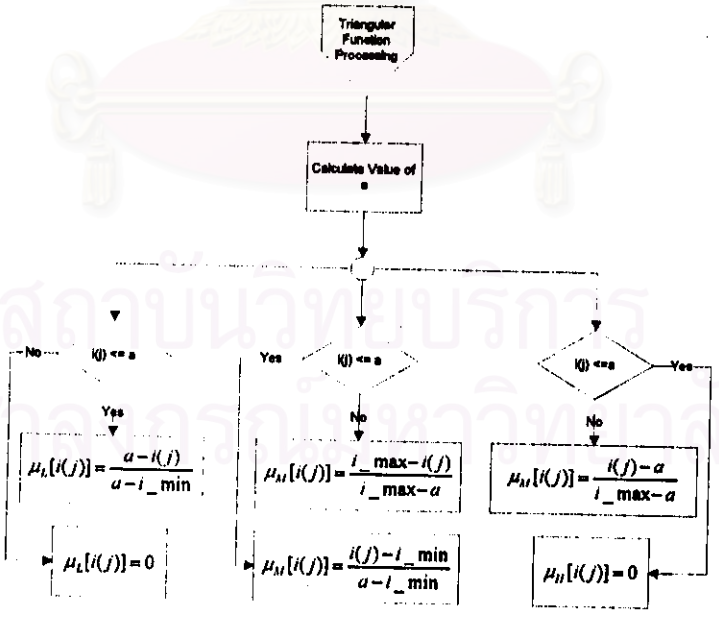


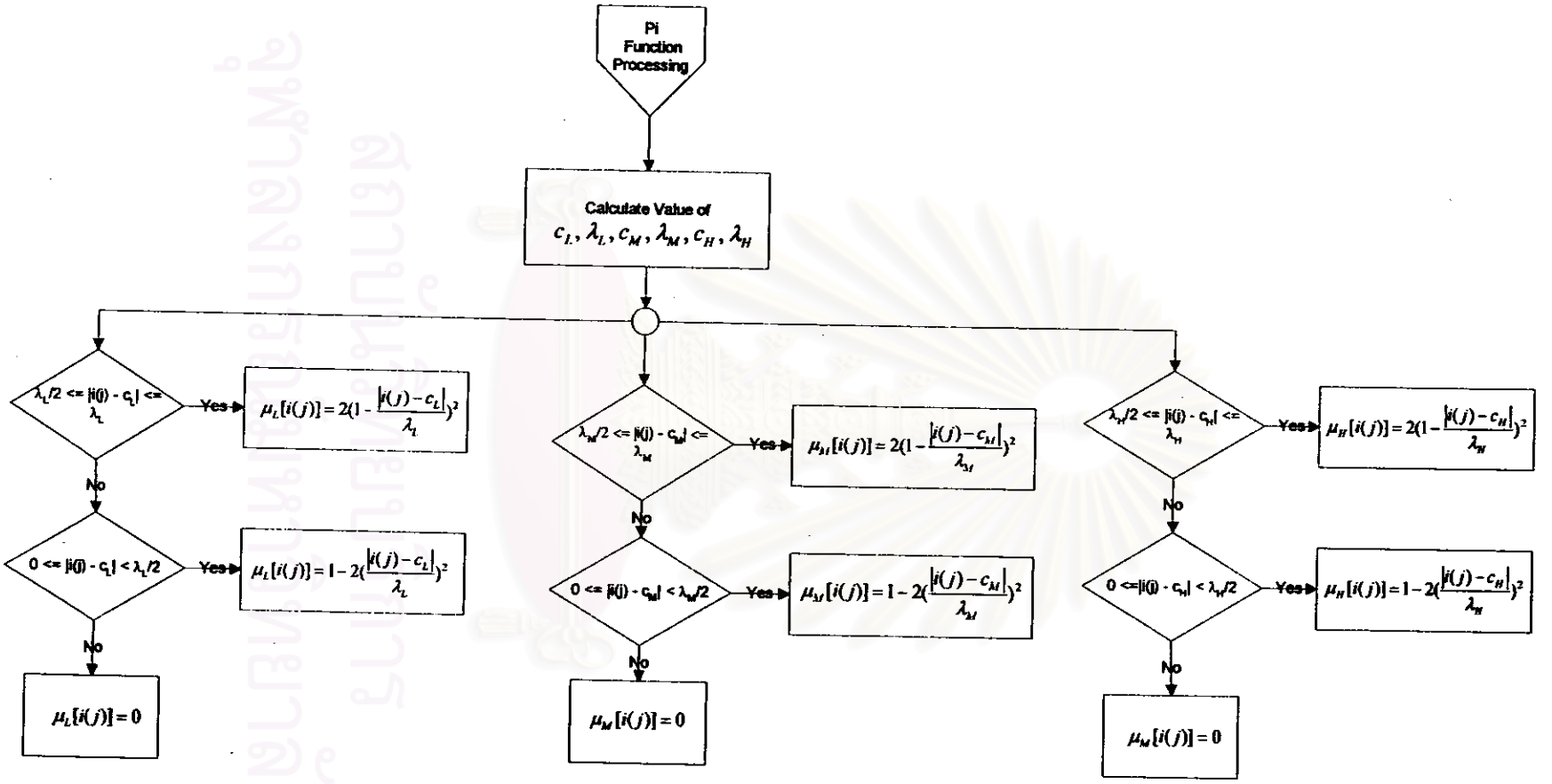
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.2(ข) แผนภาพกระบวนการแปลงเป็นค่าสมาชิกภาพแบบฟัซซีชนิดสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ ข.2(ค) แผนภาพกระบวนการแปลงเป็นค่าสมาชิกภาพแบบฟัซซีชนิดสามเหลี่ยม

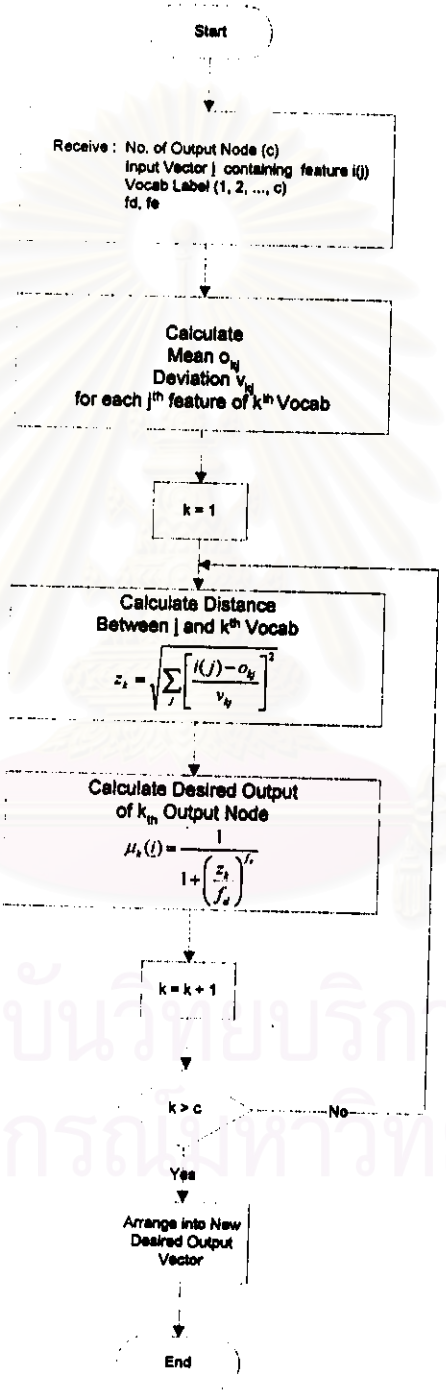




รูปที่ ข.2(ง) แผนภาพกระบวนการแปลงเป็นค่าสมาชิกภาพแบบฟัซซีชนิด Pi

3) กระบวนการสกัดข้อมูลออกที่ต้องการแบบค่าสมาชิกภาพของแต่ละคำศัพท์ (Class Membership Desired Output) มีขั้นตอนดังแผนภาพในรูปที่ ข.3

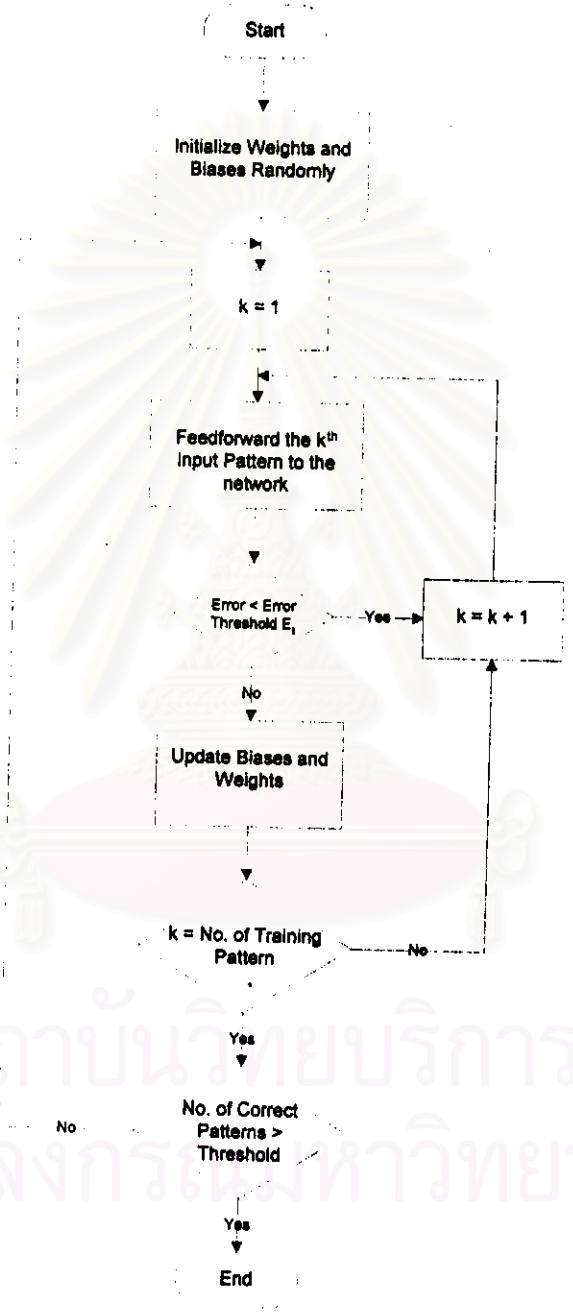
รูปที่ ข.3 แผนภาพกระบวนการสกัดข้อมูลออกแบบค่าสมาชิกภาพของแต่ละคำศัพท์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) กระบวนการฝึกฝนนิวรอลเน็ตเวอร์คแบบ MLP ด้วยวิธีแพร่กระจายย้อนกลับ (Back-propagation) แสดงดังรูปที่ ข.4

รูปที่ ข.4 แผนภาพกระบวนการฝึกฝนนิวรอลเน็ตเวอร์ค



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองเพื่อหาระยะบวกเผื่อที่ต้น และท้ายคำ

ใช้โปรแกรมตัวหัวท้ายคำกับตัวอย่างเสียงพูดคำศัพท์ทั้ง 70 คำ ของผู้พูดจำนวน 5 คนในชุดฝึกฝน โดยไม่มีการบวกเพิ่มที่ต้น และท้ายคำ (Front Add = Back Add = 0) จะได้จุดเริ่มต้น และท้ายคำคือ จุด a_1 และ b_1 หลังจากนั้นพิจารณาจากรูปคลื่นของเสียงก่อนตัดว่า หากจะให้จุดตัวหัวท้ายคำครอบคลุมสัญญาณเสียงพูดทั้งหมด (รวมทั้งเสียงพูดส่วนที่มีแอมปลิจูดต่ำ) ควรต้องบวกจุดข้อมูลก่อนหน้าจุด a_1 และหลังจุด b_1 ไปอีกกี่จุด จุดหัว และท้ายคำหลังจากบวกเผื่อแล้วคือ จุด a_2 และ b_2 ซึ่งจะเป็นจุดตัดจริง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 จำนวนจุดข้อมูลที่ควรบวกเผื่อที่หัว และท้ายคำตัวอย่างจากผู้พูด 5 คน

คำศัพท์	ผู้พูด 1		ผู้พูด 2		ผู้พูด 3		ผู้พูด 4		ผู้พูด 5	
	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add
401	100	1300	600	1200	100	1700	100	900	300	1100
402	1300	1300	300	2400	1000	600	400	200	1200	400
403	1600	500	1400	3000	500	2500	500	100	1900	1200
404	1800	1200	1400	900	0	1200	800	300	1700	800
405	1200	2000	800	600	1100	0	100	400	900	1000
406	1500	100	1100	100	800	100	0	200	900	300
407	400	100	200	200	300	400	200	100	200	200
408	400	1700	100	400	0	100	100	200	700	800
409	1600	2100	300	2200	300	800	300	200	300	900
410	1500	200	1500	1100	600	500	200	200	1700	400

ตารางที่ ค.1(ต่อ) จำนวนจุดข้อมูลที่ควรบวกเผื่อที่หัว และท้ายคำตัวอย่างจากผู้พูด 5 คน

คำศัพท์	ผู้พูด 1		ผู้พูด 2		ผู้พูด 3		ผู้พูด 4		ผู้พูด 5	
	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add
101	100	500	800	1400	1000	1800	100	200	400	1900
102	100	900	200	2000	200	300	200	600	200	800
103	2000	2000	100	1500	500	600	100	200	300	300
104	200	800	200	600	100	1000	200	600	500	1200
105	200	900	200	300	0	300	0	200	100	900
106	2000	2500	300	300	500	200	1100	300	700	800
107	2000	1900	200	1000	100	600	100	200	100	400
108	2000	1500	200	2200	700	2500	1000	200	1100	1100
109	600	700	100	2300	300	2400	100	200	200	1400
110	1600	1500	1200	200	400	100	200	300	100	800
111	1200	1500	100	100	0	100	100	0	100	300
112	2000	1800	300	1300	300	1500	200	400	700	700
113	100	800	300	800	100	400	200	900	200	500
114	1800	900	100	1300	0	1800	300	1500	0	1400
115	400	1100	100	200	100	300	100	100	0	100
116	100	1000	100	1400	100	1200	200	200	100	800
117	1700	1600	400	1400	100	700	100	1200	200	1000
118	2000	1900	400	300	200	800	200	1900	200	300
119	2000	2200	200	1300	600	2000	200	200	500	1400
120	1600	300	1200	300	600	200	700	300	1800	800

ตารางที่ ค.1(ต่อ) จำนวนจุดข้อมูลที่ควรบวกเผื่อที่หัว และท้ายคำตัวอย่างจากผู้พูด 5 คน

คำศัพท์	ผู้พูด 1		ผู้พูด 2		ผู้พูด 3		ผู้พูด 4		ผู้พูด 5	
	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add
201	300	200	100	400	200	100	100	100	500	100
202	200	200	500	0	300	400	500	1600	600	600
203	100	400	700	400	600	500	100	300	500	400
204	100	200	200	400	100	300	100	900	0	300
205	100	400	200	300	100	1100	200	300	100	400
206	1300	400	600	400	1000	500	1000	800	800	200
207	1500	200	900	300	800	300	1700	300	1200	300
208	600	400	100	800	100	1100	100	300	600	900
209	1500	1600	100	1300	100	1100	200	600	100	600
210	200	200	300	100	700	200	100	400	200	100
211	200	500	1200	700	400	2000	300	200	600	800
212	100	900	1600	1000	100	1200	200	600	100	900
213	800	300	1300	1500	700	900	100	800	300	700
214	100	300	300	800	100	400	100	800	100	700
215	200	2500	200	2300	100	1700	200	300	100	1000
216	100	500	100	1200	400	800	100	200	100	600
217	100	400	200	2700	100	2500	100	300	300	700
218	300	600	2300	200	0	200	300	200	100	200
219	1900	2100	200	300	200	1900	100	100	100	900
220	100	400	200	0	100	200	100	500	100	200

ตารางที่ ค.1(ต่อ) จำนวนจุดข้อมูลที่ควรบวกเผื่อที่หัว และท้ายคำตัวอย่างจากผู้พูด 5 คน

คำศัพท์	ผู้พูด 1		ผู้พูด 2		ผู้พูด 3		ผู้พูด 4		ผู้พูด 5	
	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add	Front Add	Back Add
301	0	400	400	1400	400	1200	0	200	300	300
302	200	100	600	200	100	100	100	300	100	200
303	700	700	200	700	500	1000	100	500	400	800
304	100	200	100	1400	0	900	200	200	100	500
305	100	400	200	600	400	800	100	400	0	700
306	1100	100	100	0	700	100	200	200	200	300
307	100	200	200	400	0	200	100	600	200	800
308	400	300	100	200	200	200	300	300	100	300
309	200	1100	200	500	0	300	100	700	200	800
310	100	100	300	200	100	100	200	200	500	500
311	200	500	100	1800	100	1900	100	300	400	1200
312	100	500	300	1600	100	2600	200	200	100	900
313	900	700	100	2400	300	2500	400	200	300	700
314	300	200	300	200	300	100	200	300	400	100
315	200	300	300	100	100	400	300	500	100	300
316	1500	1400	200	100	100	900	0	300	100	200
317	1000	300	300	2500	500	2500	600	300	100	500
318	100	200	800	1600	300	2500	100	500	100	600
319	100	300	900	1700	400	1100	200	200	400	500
320	100	200	800	600	800	900	900	900	500	400

ประวัติผู้เขียน

นายชัย วุฒิวิวัฒน์ชัย เกิดวันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2516 ที่เขตบางรัก จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง เหรียญทองทุนภูมิพล สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2538

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย