บทที่ 4
ผลการวิจัย

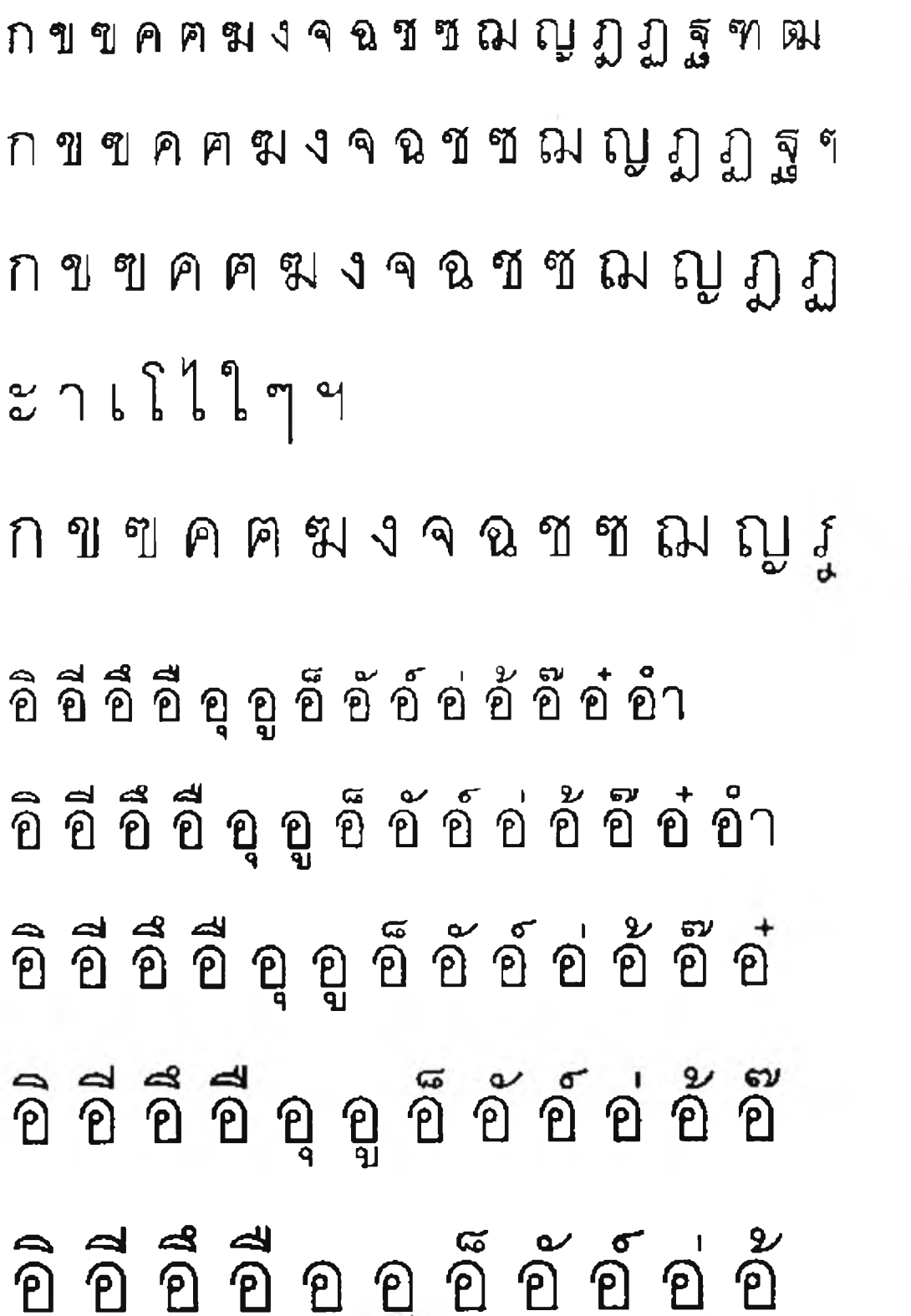
แหล่งที่มาของข้อมูลภาพ

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยเป็นข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล 1 ตัวอักษรต่อหนึ่งแฟ้ม การจัดเก็บข้อมูลภาพของตัวอักษรจัดเก็บโดยใช้วิธีการจัดเก็บแบบ Windows Bitmap (BMP) โดยตัวอักษรที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้รูปแบบของทรูไทป์ที่มีอยู่บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 โดยใช้ 6 รูปแบบคือ AngsanaUPC, BrowaliaUPC, CordiaUPC, DilleniaUPC, EucrosiaUPC, FreesiaUPC โดยแต่ละรูปแบบจะมีตัวอักษรเป็นพยัญชนะ 44 ตัวอักษร สระ 20 ตัวอักษรและวรรณยุกต์ 4 ตัวอักษร รวมเป็น 68 ตัวอักษรต่อหนึ่งรูปแบบ แต่ละรูปแบบของตัวอักษรจะประกอบด้วยตัวอักษรขนาด 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 36 จุด ดังนั้นหนึ่งชุดตัวอักษรจะมีทั้งหมด 3264 ตัวอักษร หรือ 3264 แฟ้มข้อมูล ข้อมูลมีทั้งหมด 3 ชุดดังนี้

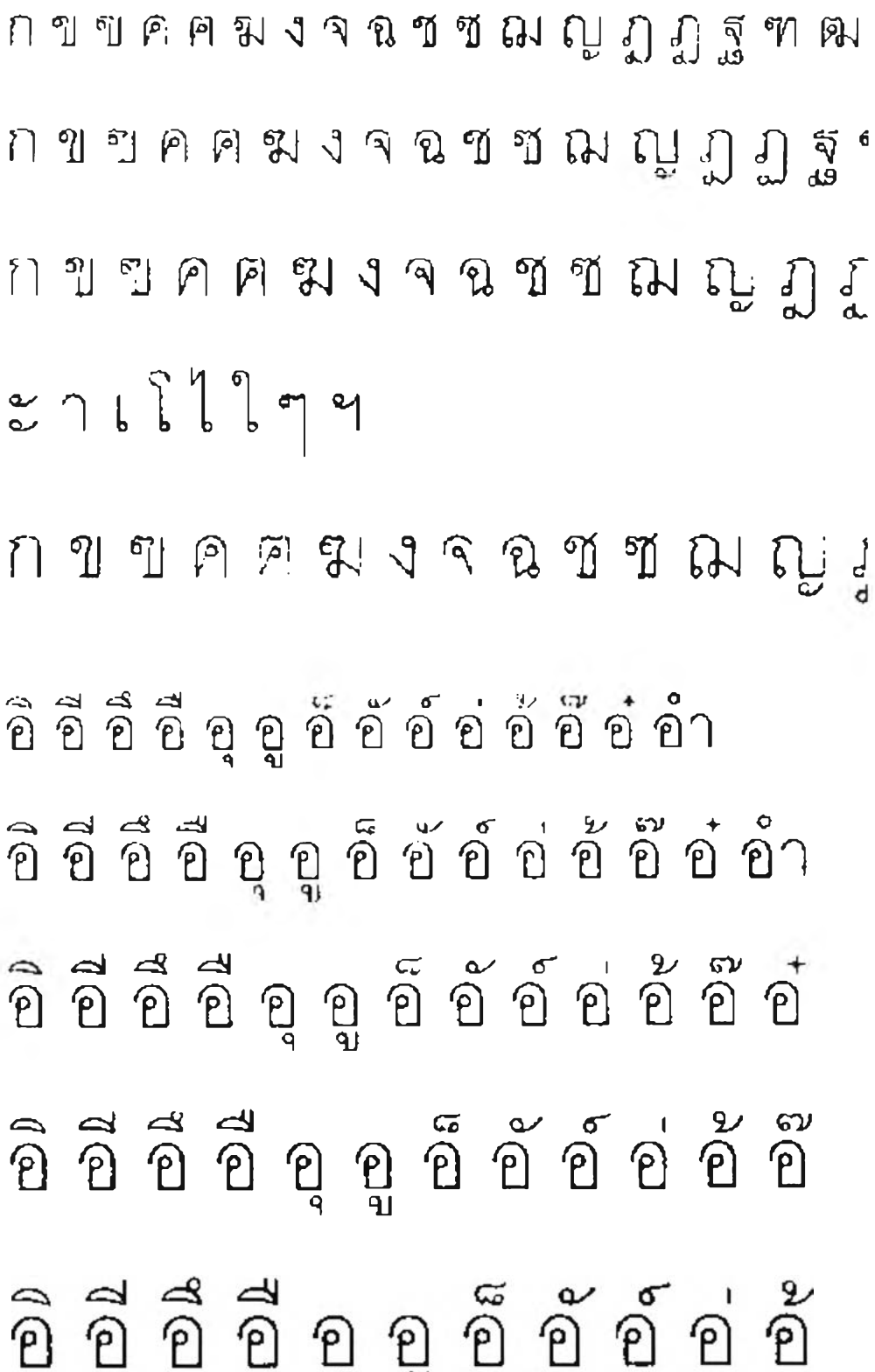
1. ข้อมูลต้นแบบสำหรับใช้สอน ได้มาจากการพิมพ์ตัวอักษรทั้งหมด 3264 ตัวอักษรจากโปรแกรม Microscft Word for Windows 95 version 7.0 ด้วยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ ที่ความละเอียด 600 จุดต่อนิ้ว แล้วนำเอกสารที่ได้ไปทำการอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์โดยใช้ความละเอียด 200 จุดต่อนิ้ว (ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.1) แล้วทำการตัดตัวอักษรเก็บลงแฟ้มข้อมูล 1 แฟ้มต่อหนึ่งตัวอักษร

2. ข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบชุดที่ 1 ได้มาจากการนำเอกสารที่ได้จากข้อ 1. มาทำการถ่ายเอกสารด้วยเครื่องถ่ายเอกสาร โดยปรับให้เครื่องถ่ายเอกสารถ่ายให้จางลง แล้วนำเอกสารที่ได้จากการถ่ายเอกสารไปทำการอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์โดยใช้ความละเอียด 200 จุดต่อนิ้ว (ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.2) แล้วทำการตัดตัวอักษรเก็บลงแฟ้มข้อมูล 1 แฟ้มต่อหนึ่งตัวอักษร

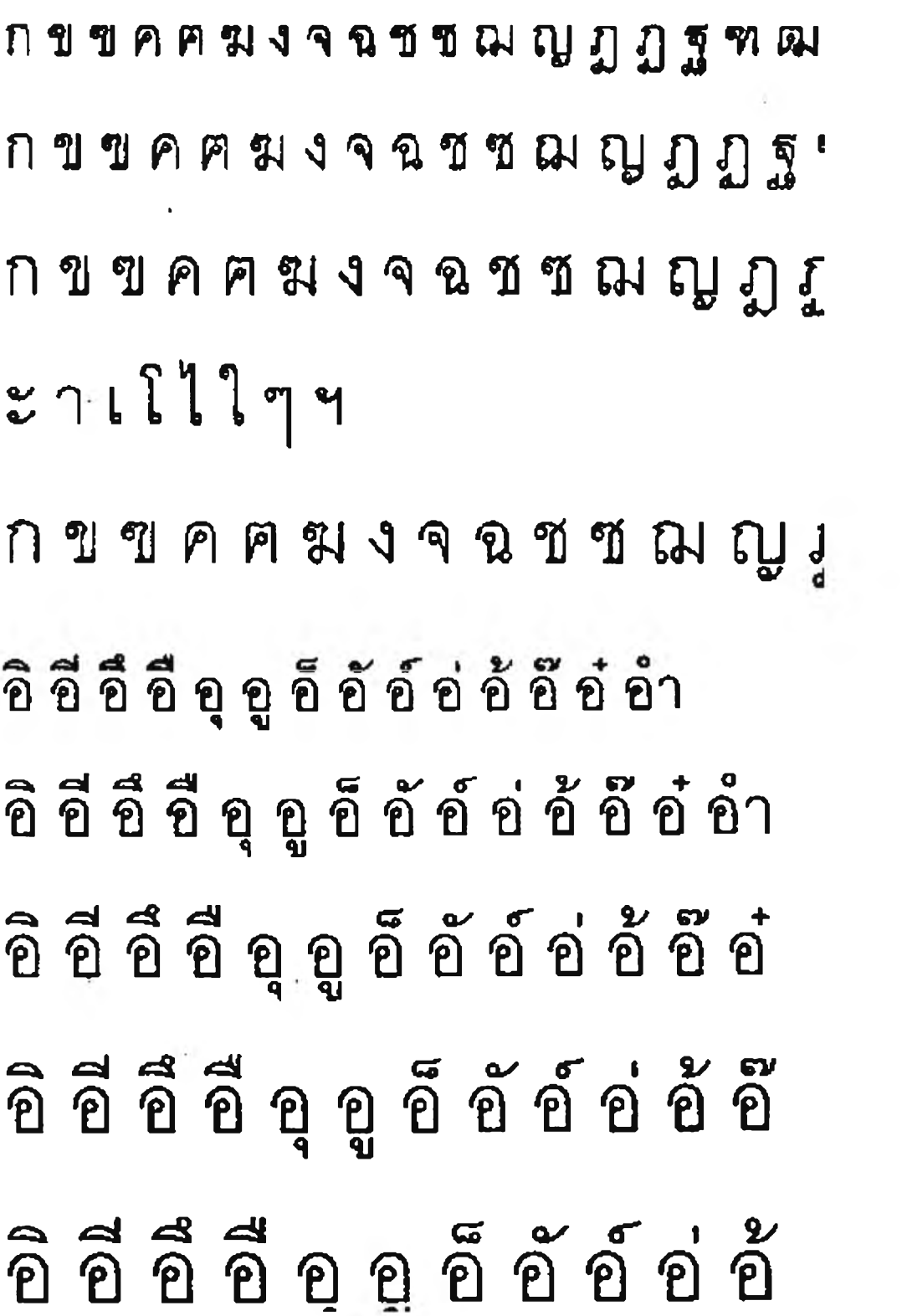
3. ข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบชุดที่ 2 ได้มาจากการนำเอกสารที่ได้จากข้อ 1. มาทำการถ่ายเอกสารด้วยเครื่องถ่ายเอกสาร โดยปรับเครื่องถ่ายเอกสารถ่ายให้เข้มขึ้น แล้วนำเอกสารที่ได้จากการถ่ายเอกสารไปทำการอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์โดยใช้ความละเอียด 200 จุดต่อนิ้ว (ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.3) แล้วทำการตัดตัวอักษรเก็บลงแฟ้มข้อมูล 1 แฟ้มต่อหนึ่งตัวอักษร



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพชุดที่ 1 ที่ได้จากการอ่านเอกสารที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลภาพชุดที่ 2 ที่ได้จากจากการอ่านเอกสารที่ได้จากการถ่ายเอกสารแบบจาง



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลภาพชุดที่ 3 ที่ได้จากการอ่านเอกสารที่ได้จากการถ่ายเอกสารแบบเข้ม

วิธีการทดสอบ

หลังจากที่ได้ทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอักษรต้นแบบแล้วจะได้

1. เมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์เก็บในแฟ้มข้อมูลชื่อ "eig.Finished"
2. เมตริกซ์ค่าเฉลี่ยเก็บในแฟ้มข้อมูลชื่อ "mean.Finished"
3. เมตริกซ์ของค่าน้ำหนักและค่าไบแอสเก็บในแฟ้มข้อมูลชื่อ "Network.Finished"

ขณะทำการหาคุณลักษณะโปรแกรมจะอ่านแฟ้มข้อมูลของเมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์และแฟ้มข้อมูลของเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยและสร้างแฟ้มข้อมูลที่เก็บเวกเตอร์รูปแบบ

ขณะทำการแยกแยะเวกเตอร์รูปแบบด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์กโปรแกรมจะอ่านแฟ้มข้อมูลที่เก็บเวกเตอร์รูปแบบซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการหาคุณลักษณะแล้วทำการแสดงผลลัพธ์การรู้จำพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลลัพธ์เป้าหมาย (Target) ที่ควรจะเป็น

โปรแกรมที่ใช้ทดสอบการรู้จำพัฒนาบน DJGPP รุ่น 2.01[1] พร้อมกับใช้คอมไพเลอร์ GNU gcc รุ่น 2.7.2.1[2] สำหรับนิวรอลเน็ตเวิร์กโปรแกรมสร้างจากตัวสร้างนิวรอลเน็ตเวิร์ก Aspirin / MIGRAINES รุ่น 6.0[3] โดยมีการปรับปรุงในส่วนแสดงผลลัพธ์เล็กน้อย

การทำงานของโปรแกรมหาคุณลักษณะจะทำการอ่านแฟ้มข้อมูลภาพของตัวอักษรที่ใช้ทดสอบแล้วทำการเปลี่ยนขนาดภาพ ปรับกรอบภาพ และทำการแปลงแบบเค-แอล โดยอ่านข้อมูลเมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์จากแฟ้มข้อมูล "eig.Finished" และข้อมูลเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยจากแฟ้มข้อมูล "mean.Finished" แล้วจัดเก็บแฟ้มข้อมูลซึ่งเก็บเวกเตอร์รูปแบบ โปรแกรมนิวรอลเน็ตเวิร์กจะทำการอ่านแฟ้มข้อมูลเมตริกซ์ของค่าน้ำหนักและค่าไบแอสจากแฟ้มข้อมูล "Network.Finished" และอ่านแฟ้มข้อมูลเวกเตอร์รูปแบบที่เป็นผลลัพธ์ของโปรแกรมหาคุณลักษณะ

---

[1] C Library สำหรับ DOS Protected Mode Interface (DPMI) สามารถดาวน์โหลดได้จาก http://www.delorie.com/djgpp/

[2] C Compiler ของ Free Software Foundation สามารถดาวน์โหลดได้จาก http://www.delorie.com/djgpp/

[3] Neural Network Generator ของ Mitre Corporation สามารถดาวน์โหลดได้จาก ftp://pt.cs.cmu.edu/afs/cs/project/connect/code/unsupported/am6.tar.Z

ในแต่ละเวกเตอร์รูปแบบของแต่ละตัวอักษรจะทำให้บัพในชั้นทางออกเพียงบัพใดบัพหนึ่งเท่านั้นที่มีค่าสูง (เป็น 1 หรือมากกว่า 0.5) และบัพที่เหลือในชั้นทางออกจะมีค่าต่ำ (เป็น 0 หรือต่ำกว่า 0.5) สำหรับบางตัวอักษร (ขณะทำการทดสอบการรู้จำ) อาจจะไม่มีบัพใดที่ชั้นทางออกมีค่ามากกว่า 0.5 หรือมีค่าเป็นหนึ่งเลยจะถือว่าบัพที่ให้ค่ามากที่สุดเป็นค่าสูง และบางตัวอักษร (ขณะทำการทดสอบการรู้จำ) อาจมีบัพมากกว่า 1 บัพที่มีค่าสูง (เป็น 1 หรือมากกว่า 0.5) ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถรู้จำได้

ตัวอย่างของผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กที่มีบัพใดบัพหนึ่งมีค่าสูง (มากกว่า 0.5) เท่านั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจากตัวอย่างจะเห็นว่าผลลัพธ์สามารถรู้จำได้และรู้จำถูกต้อง

ค่าสูง (มากกว่า 0.5)

Iteration: 21

black box recog:

Outputs: 0 000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.999999 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001

Output is 174 (ฦ)

Targets: 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 1.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000

Target is 174 (ฦ)

Iteration: 21 - pass

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กที่มีบัพใดบัพหนึ่งเท่านั้นที่มีค่าสูง (มากกว่า 0.5)

ตัวอย่างผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ไม่มีบัพใดบัพหนึ่งเป็นค่าสูง (มากกว่า 0.5) เลย และทำการตัดสินโดยใช้บัพที่มีค่าสูงสุดแทน ดังรูปที่ 4.5 จากตัวอย่างไม่มีบัพใดมีค่าสูง (มากกว่า 0.5) เลย โดยมีบัพที่ 14 มีค่าสูงสุดคือ 0.159217 ดังนั้นโปรแกรมจะถือว่าบัพนี้มีค่าสูง ซึ่งทำให้โปรแกรมตัดสินใจว่ารู้จำได้ ซึ่งผลของการรู้จำคือรู้จำได้ถูกต้อง

Iteration: 22 ค่าสูงสุด

black box recog:

Outputs: 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.159217 0.007519 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001
0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001 0.000001

Output is 174 (ฎ)

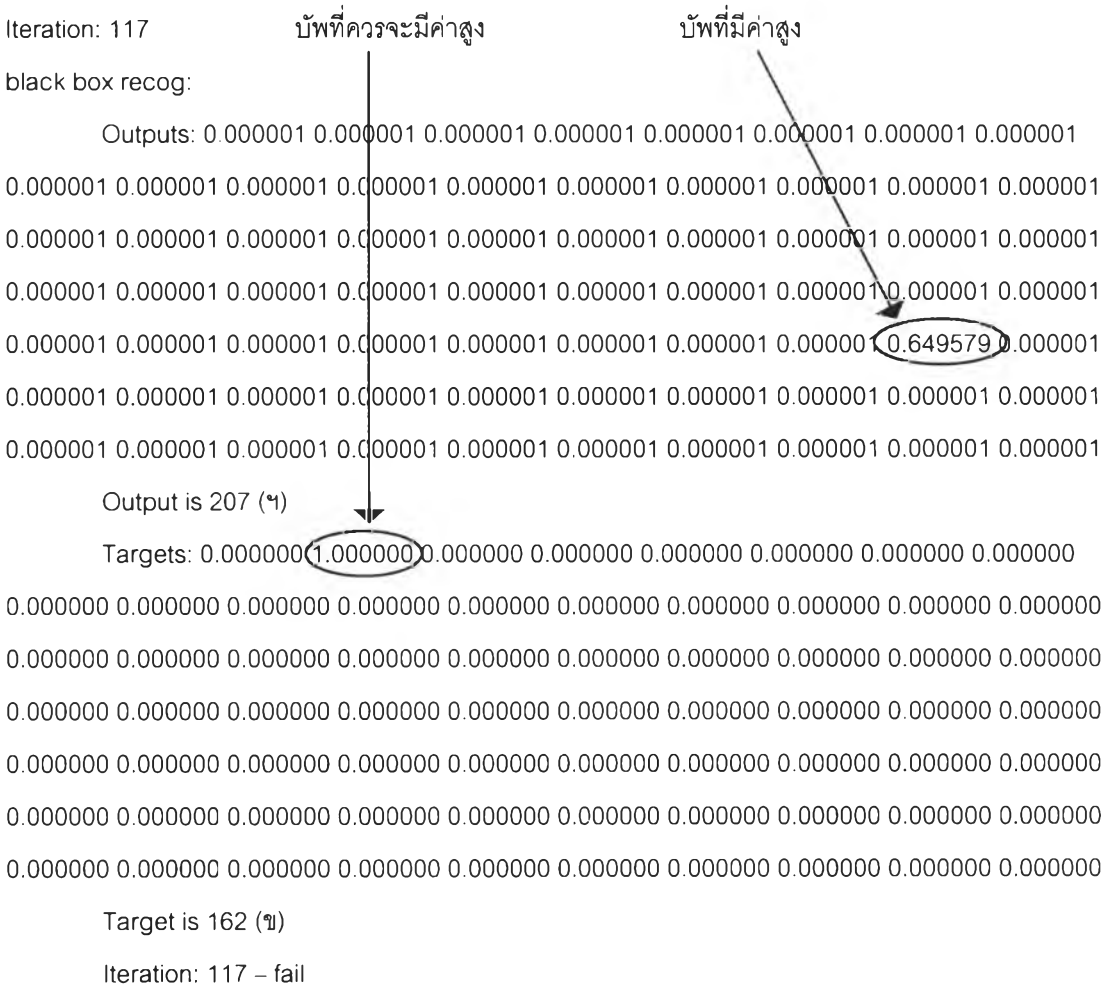
Targets: 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 1.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000

Target is 174 (ฎ)

Iteration: 22 - pass

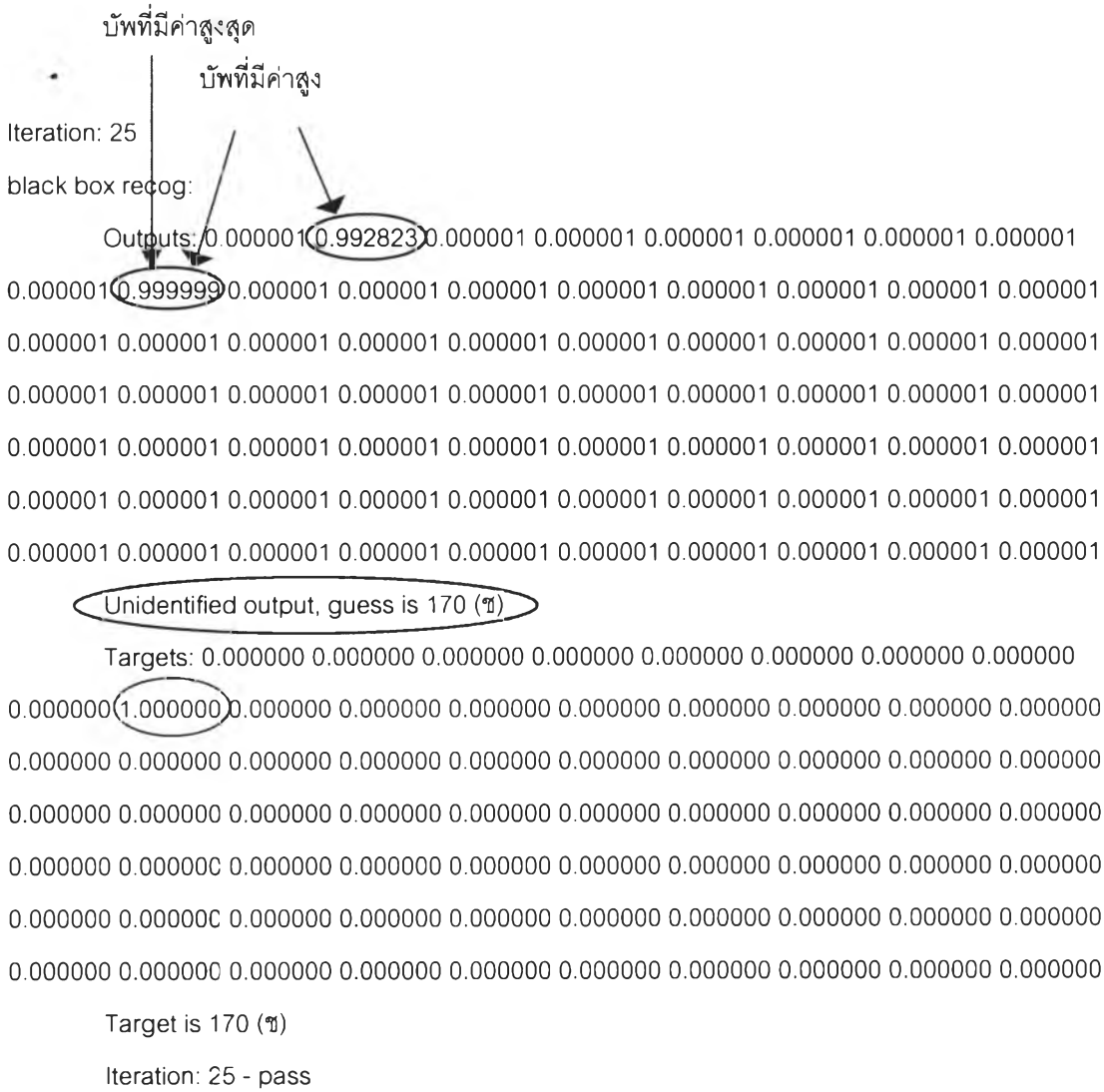
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ไม่มีบัพใดบัพหนึ่งเป็นค่าสูง (มากกว่า 0.5) และใช้บัพที่มีค่าสูงสุดแทน

ตัวอย่างผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กซึ่งมีบัพใดบัพหนึ่งมีค่าสูง (มากกว่า 0.5) ทำให้รู้จำได้แต่รู้จำผิด ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กที่มีบัพที่มีค่าสูง (มากกว่า 0.5) เพียงบัพเดียวแต่รู้จำผิด

ตัวอย่างผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กซึ่งมีบัพที่มีค่าสูง (มากกว่า 0.5) มากกว่า 1 บัพทำให้ใช้ค่าสูงที่สุดเป็นค่าสูงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์จากนิวรอลเน็ตเวิร์กซึ่งมีบัพที่มีค่าสูง (มากกว่า 0.5) มากกว่า 1 บัพ

I19236761

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรู้จำแยกตามรูปแบบตัวอักษร

รูปแบบตัวอักษร / ขนาด		ข้อมูลตัวอักษรชุดที่ 1				ข้อมูลตัวอักษรชุดที่ 2				ข้อมูลตัวอักษรชุดที่ 3			
		จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)
AngsanaUPC	16	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	63	5	92.65
	18	68	68	0	100.00	68	60	8	88.24	68	63	5	92.65
	20	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	67	1	98.53
	22	68	68	0	100.00	68	64	4	94.12	68	67	1	98.53
	24	68	68	0	100.00	68	64	4	94.12	68	67	1	98.53
	26	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00
	28	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	67	1	98.53
	36	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	67	1	98.53
รวม		544	544	0	100.00	544	522	22	95.96	544	529	15	97.24
BrowaliaUPC	16	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	56	12	82.35
	18	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59
	20	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06
	22	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59	68	68	0	100.00
	24	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	68	0	100.00
	26	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53
	28	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00
	36	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	67	1	98.53
รวม		544	544	0	100.00	544	536	8	98.53	544	525	19	96.51
CordiaUPC	16	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	59	9	86.76
	18	68	68	0	100.00	68	58	10	85.29	68	64	4	94.12
	20	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	67	1	98.53
	22	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	68	0	100.00
	24	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	67	1	98.53
	26	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59	68	66	2	97.06
	28	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	66	2	97.06
	36	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	64	4	94.12
รวม		544	544	0	100.00	544	522	22	95.96	544	521	23	95.77

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรู้จำ (ต่อ)

รูปแบบตัวอักษร / ขนาด		ข้อมูลตัวอักษรชุดที่ 1				ข้อมูลตัวอักษรชุดที่ 2				ข้อมูลตัวอักษรชุดที่ 3			
		จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)
DilleniaUPC	16	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59	68	62	6	91.18
	18	68	68	0	100.00	68	60	8	88.24	68	67	1	98.53
	20	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59	68	67	1	98.53
	22	68	68	0	100.00	68	63	5	92.65	68	66	2	97.06
	24	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	68	0	100.00
	26	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	67	1	98.53
	28	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	68	0	100.00
	36	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	65	3	95.59
รวม		544	544	0	100.00	544	518	26	95.22	544	530	14	97.43
EucrosiaUPC	16	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	61	7	92.42
	18	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59	68	66	2	97.06
	20	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06	68	67	1	98.53
	22	68	68	0	100.00	68	65	3	95.59	68	68	0	100.00
	24	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00
	26	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06
	28	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	67	1	98.53
	36	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	66	2	97.06
รวม		544	544	0	100.00	544	534	10	98.16	544	529	15	97.24
FreesiaUPC	16	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	55	13	80.88
	18	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	61	7	89.71
	20	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	64	4	94.12
	22	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	66	2	97.06
	24	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	68	0	100.00
	26	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53	68	68	0	100.00
	28	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	67	1	98.53
	36	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00	68	68	0	100.00
รวม		544	544	0	100.00	544	539	5	99.08	544	517	27	95.04
รวมทุกรูปแบบตัวอักษร		**3264**	**3264**	**0**	**100.00**	**3264**	**3171**	**93**	**97.15**	**3264**	**3151**	**113**	**96.54**

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการรู้จำแยกตามตัวอักษรที่ทดสอบ

ตัวอักษร	ข้อมูลชุดที่ 2				ข้อมูลชุดที่ 3			
	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)
ก	48	48	0	100.00	48	47	1	97.92
ข	48	44	4	91.67	48	44	4	91.67
ฃ	48	44	4	91.67	48	45	3	93.75
ค	48	45	3	93.75	48	45	3	93.75
ฅ	48	48	0	100.00	48	47	1	97.92
ฆ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ง	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
จ	48	48	0	100.00	48	43	5	89.58
ฉ	48	47	1	97.92	48	47	1	97.92
ช	48	44	4	91.67	48	44	4	91.67
ซ	48	41	7	85.42	48	40	8	83.33
ฌ	48	47	1	97.92	48	47	1	97.92
ญ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ฎ	48	43	5	89.58	48	40	8	83.33
ฏ	48	40	8	83.33	48	43	5	89.58
ฐ	48	47	1	97.92	48	48	0	100.00
ฑ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ฒ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ณ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ด	48	47	1	97.92	48	45	3	93.75
ต	48	47	1	97.92	48	44	4	91.67
ถ	48	47	1	97.92	48	46	2	95.83
ท	48	45	3	93.75	48	47	1	97.92
ธ	48	47	1	97.92	48	43	5	89.58
น	48	48	0	100.00	48	47	1	97.92
บ	48	48	0	100.00	48	43	5	89.58
ป	48	48	0	100.00	48	45	3	93.75
ผ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ฝ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการรู้จำแยกตามตัวอักษรที่ทดสอบ (ต่อ)

ตัวอักษร	ข้อมูลชุดที่ 2				ข้อมูลชุดที่ 3			
	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)
พ	48	47	1	97.92	48	48	0	100.00
ฟ	48	46	2	95.83	48	47	1	97.92
ภ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ม	48	48	0	100.00	48	46	2	95.83
ย	48	46	2	95.83	48	46	2	95.83
ร	48	48	0	100.00	48	47	1	97.92
ฤ	48	45	3	93.75	48	48	0	100.00
ล	48	47	1	97.92	48	45	3	93.75
ฦ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ว	48	45	3	93.75	48	48	0	100.00
ศ	48	46	2	95.83	48	48	0	100.00
ษ	48	47	1	97.92	48	48	0	100.00
ส	48	47	1	97.92	48	48	0	100.00
ห	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ฬ	48	46	2	95.83	48	46	2	95.83
อ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ฮ	48	47	1	97.92	48	47	1	97.92
ฯ	48	48	0	100.00	48	45	3	93.75
ะ	48	48	0	100.00	48	47	1	97.92
ั	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
า	48	48	0	100.00	48	44	4	91.67
ำ	48	45	3	93.75	48	48	0	100.00
ิ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
ี	48	45	3	93.75	48	43	5	89.58
ึ	48	43	5	89.58	48	47	1	97.92
ื	48	47	1	97.92	48	45	3	93.75
ุ	48	47	1	97.92	48	48	0	100.00
ู	48	48	0	100.00	48	46	2	95.83
เ	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
โ	48	44	4	91.67	48	45	3	93.75

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการรู้จำแยกตามตัวอักษรที่ทดสอบ (ต่อ)

ตัวอักษร	ข้อมูลชุดที่ 2				ข้อมูลชุดที่ 3			
	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)	จำนวน	รู้จำถูก	รู้จำผิด	ความถูกต้อง (%)
ใ	48	46	2	95.83	48	45	3	93.75
ไ	48	48	0	100.00	48	46	2	95.83
ๆ	48	47	1	97.92	48	46	2	95.83
็	48	46	2	95.83	48	45	3	93.75
่	48	45	3	93.75	48	48	0	100.00
้	48	48	0	100.00	48	48	0	100.00
๊	48	48	0	100.00	48	47	1	97.92
๋	48	46	2	95.83	48	48	0	100.00
์	48	46	2	95.83	48	48	0	100.00
รวม	**3264**	**3171**	**93**	**97.15**	**3264**	**3151**	**113**	**96.54**

การทำการทดสอบทำบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ NCR Globalyst 515 ใช้หน่วยประมวลผลกลาง 80486 ความเร็ว 100 MHz มีหน่วยความจำหลัก 24 MB ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 มีอัตราการรู้จำบนข้อมูลชุดที่ 1 ได้ 100 %, บนข้อมูลชุดที่ 2 ได้ 97.15 % และบนข้อมูลชุดที่ 3 ได้ 96.54 % จากจำนวนข้อมูล 3264 ตัวอักษรในข้อมูลแต่ละชุด

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนของผลการวิจัย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบผลการรู้จำของการวิจัยอื่น ๆ ที่พอหาได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบผลการรู้จำของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กับวิทยานิพนธ์ของเดชา [5]
2. เปรียบเทียบผลการรู้จำของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กับวิทยานิพนธ์ของอภิญญา [7]

โดยแต่ละวิทยานิพนธ์มีเทคนิคที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ กันซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ที่นำมาเปรียบเทียบ

ขั้นตอน	วิทยานิพนธ์ของเดชา[5]	วิทยานิพนธ์ของอภิญญา[7]	วิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ขั้นตอนขั้นต้น	- การทำให้บาง (Thinning) - ปรับกรอบภาพ	- การทำให้บาง (Thinning) - ปรับกรอบภาพ	- เปลี่ยนขนาดภาพ - ปรับกรอบภาพ
การหาคุณลักษณะ	- ทำให้เป็นเวกเตอร์ - แปลงเวกเตอร์ให้เป็นต้นไม้หน่วยสร้างพื้นฐาน (primitive)	- ทำให้เป็นเวกเตอร์ - แปลงเวกเตอร์ให้เป็นต้นไม้หน่วยสร้างพื้นฐาน (primitive)	- ทำการแปลงแบบ เค-แอล
การตัดสินใจแยกแยะ	- เปรียบเทียบโดยวิธีซินแทกติก และการเปรียบเทียบโดยใช้เทคนิคฟัซซีโลจิก	- เปรียบเทียบกับกฎที่ได้จากการเรียบรู้ด้วยโปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย	- ใช้นิวรอลเน็ตเวิร์กเป็นตัวแยกแยะ

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 นั้นทำการทดสอบบนข้อมูลตัวอักษรที่ได้จากการอ่านผ่านเครื่องสแกนเนอร์ที่ความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว และวิทยานิพนธ์ทั้งสองทำการรู้จำบนตัวอักษรเพียง 2 รูปแบบเท่านั้น ได้แก่ ตัวอักษรแบบ CordiaUPC และ ตัวอักษรแบบ EucrosiaUPC ดังนั้นการเปรียบเทียบผลจะใช้เทคนิคที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยข้อมูลภาพเดียวกันกับวิทยานิพนธ์ทั้งสองเปรียบเทียบกับผลในวิทยานิพนธ์ทั้งสอง

ตัวอักษรต้นแบบ คือ ตัวอักษรภาษาไทย 77 ตัวอักษร แบบ CordiaUPC และ EucrosiaUPC ขนาด 20, 22, 24, 28, 32, 36 และ 48 จุด จำนวนรวม 1078 ตัวอักษร พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ ที่ความละเอียดขนาด 300 จุดต่อนิ้ว ใช้สแกนเนอร์อ่านเอกสารที่ได้จากการพิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์เลเซอร์โดยใช้ความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตัวอักษรภาษาไทย 77 ตัวอักษร แบบ CordiaUPC และ EucrosiaUPC ขนาด 20, 22, 24, 28, 32, 36 และ 48 จุด จำนวนรวม 1078 ตัวอักษร พิมพ์จากเครื่องพิมพ์เลเซอร์ ที่ความละเอียดขนาด 300 จุดต่อนิ้ว แล้วนำเอกสารที่ได้ไปถ่ายเอกสาร โดยถ่ายเอกสารให้จางลง และถ่ายเอกสารให้เข้มขึ้น ใช้สแกนเนอร์อ่านเอกสารที่ได้จากการถ่ายเอกสารทั้ง 2 ฉบับโดยใช้ความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว

ผลการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบการรู้จำของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เทียบกับวิทยานิพนธ์ฉบับอื่น ๆ

เทคนิคการรู้จำ	ผลการรู้จำข้อมูลตัวอักษรต้นแบบ (%)	ผลการรู้จำข้อมูลตัวอักษรทดสอบ (%)	หมายเหตุ
ซินแทกติกและพัซซีโลจิก (วิทยานิพนธ์ของเดชา [5])	99.64	87.62	-
โปรแกรมตรรกะเชิงอุปนัย (วิทยานิพนธ์ของอภิญญา[7])	-	87.89	ไม่มีข้อมูลการทดสอบข้อมูลด้วยตัวอักษรต้นแบบ
การวิเคราะห์ตัวประกอบสำคัญและนิวรอลเน็ตเวิร์ก (วิทยานิพนธ์ฉบับนี้)	100[4]	99.41[5]	-

วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการวิจัยจะได้ผลการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยเมื่อทดสอบกับตัวอักษรชุดที่ใช้เรียนรู้ 100 % ตัวอักษรที่ผ่านการถ่ายเอกสารแบบจาง 97.15 % และเมื่อทดสอบกับตัวอักษรที่ผ่านการถ่ายเอกสารแบบเข้ม 96.54 % หรือมีความถูกต้องเฉลี่ย 96.84 % โดยตัวอักษรทั้งหมดถูกอ่านผ่านเครื่องสแกนเนอร์ที่ความละเอียด 200 จุดต่อนิ้ว

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการรู้จำโดยใช้เทคนิคแบบอื่นซึ่งทำการทดสอบกับตัวอักษรที่ถูกอ่านผ่านเครื่องสแกนเนอร์ที่ความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว จะได้ผลการรู้จำเฉลี่ย 99.41 % ซึ่งเทียบกับวิทยานิพนธ์ของเดชา[5] และวิทยานิพนธ์ของอภิญญา[7] จะพบว่าอัตราการรู้จำเมื่อใช้เทคนิค

---

[4] ทดสอบด้วยข้อมูลที่ใช้เรียนรู้ชุดเดียวกันกับวิทยานิพนธ์ของเดชาและวิทยานิพนธ์ของอภิญญา โดยข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์ที่ความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว

[5] ทดสอบด้วยข้อมูลที่ใช้ทดสอบชุดเดียวกันกับวิทยานิพนธ์ของเดชาและวิทยานิพนธ์ของอภิญญา โดยข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่ได้จากการอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์ที่ความละเอียด 300 จุดต่อนิ้ว

ด้านการวิเคราะห์ตัวประกอบสำคัญและนิวรอลเน็ตเวิร์กจะสูงกว่าอัตราการรู้จำที่ได้จากวิทยานิพนธ์ของเดชา[5] (87.62 %) และวิทยานิพนธ์ของอภิญญา[7] (87.89 %)

ปัญหาและข้อจำกัด

1. ปัญหาเรื่องความละเอียดของจุดภาพ

ความละเอียดของจุดภาพที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์มีผลต่อการรู้จำมาก ดังจะเห็นได้จากผลการวิจัย ถ้าความเข้มของตัวอักษรบนเอกสารไม่ชัดเจน การใช้ความละเอียดของจุดภาพสูงขึ้นจะทำให้การขาดหายไปของจุดภาพลดลง ซึ่งจะทำให้สามารถรู้จำได้ด้วยอัตราที่สูงขึ้น

2. ปัญหาเรื่องการหาค่าเมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์

การหาค่าเมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเรียนรู้ตัวอักษรต้นแบบ สำหรับภาพของตัวอักษรที่ผ่านการเปลี่ยนขนาดเป็นขนาด 32x32 จุด หรือเป็นเมตริกซ์ของจุดขนาด 1024x1 ทำให้มีไอเกนเวกเตอร์ขนาด 1024x1 จำนวน 1024 ไอเกนเวกเตอร์ ซึ่งการหาไอเกนเวกเตอร์ขนาดใหญ่เท่านี้จะใช้เวลานานมาก (ใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางรุ่น 80486 ความเร็ว 100 MHz) และใช้หน่วยความจำจำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคสำคัญในการทดลองเปลี่ยนค่าต่าง ๆ เพื่อทดสอบหาค่าที่ทำให้เกิดผลที่ดีที่สุด

ขนาดของไอเกนเวกเตอร์ก็เป็นตัวแปรสำคัญในการใช้ขนาดของภาพตัวอักษร ในการวิจัยนี้ได้ใช้ค่า 32x32 จุด การจะใช้ค่าอื่นที่มากกว่านี้อาจจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องหน่วยความจำและจะทำให้เวลาที่ใช้ในการหาเมตริกซ์ของไอเกนเวกเตอร์นานขึ้น ส่วนการใช้ค่าจำนวนจุดที่น้อยกว่านี้อาจจะมีปัญหากับตัวอักษรขนาดเล็ก โดยเฉพาะตัวอักษรขนาด 16 จุด ซึ่งจะทำให้เสมือนมีสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนขนาดภาพในสัดส่วนที่มาก

3. ปัญหาเรื่องค่าต่าง ๆ ของนิวรอลเน็ตเวิร์ก

นิวรอลเน็ตเวิร์กมีค่าต่าง ๆ ที่ต้องเลือกใช้มาก ซึ่งหลาย ๆ ค่ายังไม่มีกฎในการเลือกค่า มีเฉพาะคำแนะนำที่ได้มาจากการทดลอง หรือความจริงที่ได้จากการทดลอง

(empirical truth) เท่านั้น ทำให้เกิดความยากลำบากในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์กให้คอนเวอร์เจนส์ (convergence) รวมทั้งนิวรอลเน็ตเวิร์กแบบแบคพรอพาเกชันที่ใช้ก็มีโอกาสในการเกิดโลคอลมินิมัม (local minimum) ขณะทำการเรียนรู้ ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและนิวรอลเน็ตเวิร์กไม่คอนเวอร์เจนส์

อีกประการหนึ่งคือการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์กจะใช้เวลาค่อนข้างนาน (ในการวิจัยนี้ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางรุ่น 80486 ความเร็ว 100 MHz) ทำให้เกิดความยากลำบากในการเปลี่ยนค่าที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาจุดที่ทำให้อัตราการรู้จำสูงที่สุด

4. ปัญหาเรื่องการรู้จำผิด

บางตัวอักษรเช่น ตัวอักษร "ฎ" มีอัตราการรู้จำผิดเป็น ตัวอักษร "ฏ" ค่อนข้างสูงกว่าการรู้จำผิดจากตัวอักษรหนึ่งเป็นอีกตัวอักษรหนึ่งของตัวอักษรอื่น ๆ

บางตัวอักษรเมื่อทำการรู้จำแล้วนิวรอลเน็ตเวิร์กมีบัพให้ค่าสูง (มากกว่า 0.5) มากกว่า 1 บัพ ในการวิจัยนี้จะใช้บัพที่ให้ค่าสูงสุดเท่านั้น อย่างไรก็ตามควรมีการทำการวัดค่าความมั่นใจ (confidence) ในการรู้จำตัวอักษรที่มีบัพที่ให้ค่าสูงมากกว่า 1 บัพเป็นตัววัดการที่จะใช้ค่าบัพใดบัพหนึ่ง จะทำให้สามารถลดการรู้จำผิดลงได้