บทที่ 3

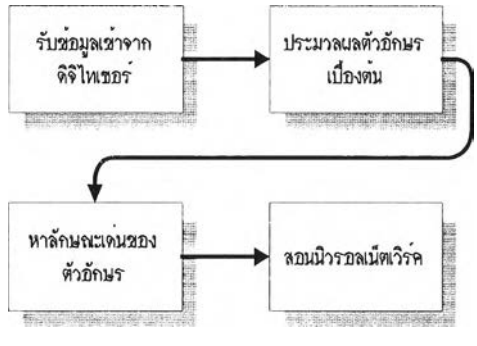
กรรมวิธีการเรียนรู้ลายมือเขียนอักษรภาษาไทย

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบงานอย่างกว้าง ๆ แล้วจึงอธิบายในรายละเอียดในแต่ละส่วน ซึ่งประกอบด้วย การประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น การหาลักษณะเด่นของตัวอักษร การสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค และการรู้จำลายมือเขียนภาษาไทย

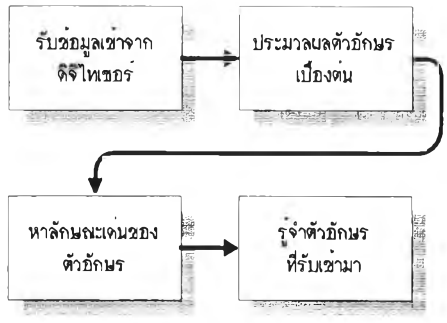
กรรมวิธีการเรียนรู้ลายมือเขียนอักษรภาษาไทย สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การรับข้อมูลจากอุปกรณ์นำเข้า ในที่นี้คือดิจิไทเซอร์
2. การประมวลผลตัวอักษรเบื้องต้น และการหาลักษณะเด่นของตัวอักษรลายมือเขียน
3. การสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค และนำผลที่ได้จากการสอนนี้ไปใช้ในการรู้จำตัวอักษรลายมือเขียน

จากขั้นตอนข้างบน สามารถเขียนเป็นขั้นตอนย่อยเรียงตามลำดับของการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โดยที่ในรูปที่ 3.1 จะเป็นการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์คโดยใช้ข้อมูลที่รับเข้ามาจากดิจิไทเซอร์ แล้วทำการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น และหาลักษณะเด่นของตัวอักษรลายมือเขียน ข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค ผลลัพธ์ที่ได้จากการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค จะได้นิวรอลเน็ตเวิร์คที่สามารถรู้จำตัวอักษรลายมือเขียนได้ และนำไปใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในรูปที่ 3.2 นั่นเอง



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนของการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค

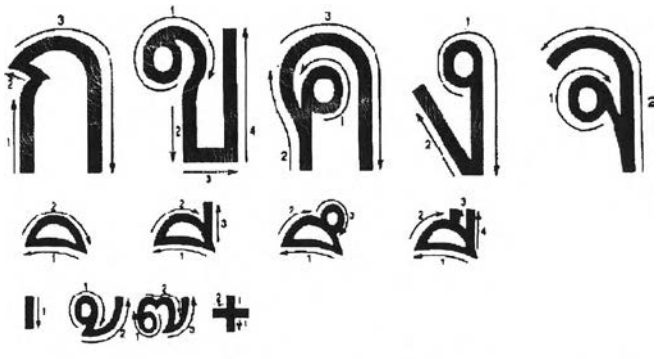


รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนของการนำเอานิวรอลเน็ตเวิร์คที่ได้รับการสอนแล้วมาใช้งาน

รายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนของการรับข้อมูลเข้าจากดิจิไทเซอร์

การรับข้อมูลเข้ามาจากอุปกรณ์นำข้อมูลเข้า ในการวิจัยนี้จะใช้ดิจิไทเซอร์เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน และมีปากกาหรือสไตลัส (Stylus) ในการเขียนตัวอักษร ซึ่งดิจิไทเซอร์นี้สามารถที่จะจำลองเป็นเมาส์ในสภาวะแวดล้อมแบบวินโดวส์ได้ ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้จะเป็นพิกัดของจุดที่อยู่บนเส้นของลายมือเขียน ในงานวิจัยนี้จะรับข้อมูลของลายมือเขียนได้สองสโตรค ตามตัวอย่างวิธีการเขียนดังรูปที่ 3.3 [6]



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างขั้นตอนการเขียนตัวอักษรภาษาไทย

ในงานวิจัยนี้ จะรับตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยได้ทั้งหมด 67 ตัวอักษร ดังที่ปรากฏ ในภาคผนวก ก ซึ่งแบ่งออกเป็นสี่กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มพยัญชนะ กลุ่มสระ กลุ่มวรรณยุกต์ และกลุ่มอักขระพิเศษ นอกจากนี้การเขียนตัวอักษรภาษาไทยสามารถเขียนได้หลายลักษณะ ดังนั้นเพื่อให้ลักษณะของการเขียนเป็นไปในลักษณะเดียวกัน จึงใช้ "แบบฝึกหัดคัดไทย" ของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) เป็นหลักในการเขียนตัวอักษรภาษาไทย นอกจากนี้ ตัวอักษรภาษาไทยบางตัวต้องเขียนมากกว่า 1 สโตรค เช่น อักษร ส อักษร ษ อักษร ฐ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบโปรแกรมให้รองรับการเขียนได้ไม่เกิน 2 สโตรค ซึ่งสามารถทำงานได้กับตัวอักษรทั้ง 67 ตัวดังที่ได้

กล่าวไปแล้วในตอนต้น ในระหว่างการเขียนสโตรคที่หนึ่งกับสโตรคที่สอง จะมีการหน่วงเวลาไว้ 0.5 วินาที (ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่านี้ได้ตามที่ต้องการจากเมนูของโปรแกรม) นั่นหมายความว่า ถ้าผู้ใช้ไม่มีการเขียนสโตรคที่สองภายหลังจากการเขียนสโตรคแรกไปแล้วภายในระยะเวลา 0.5 วินาที โปรแกรมจะถือว่าการเขียนตัวอักษรนั้นมีเพียงสโตรคเดียวเท่านั้น

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือพิกัดของจุดทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นตัวอักษรลายมือเขียนที่เขียนลงบนดิจิไทเซอร์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างพิกัดของจุดสำหรับอักษร ก

พิกัดในแนวระนาบ	พิกัดในแนวตั้ง
1441.115	1395.918
1441.115	1414.286
1441.115	1432.653
1441.115	1451.02
1441.115	1469.388
1441.115	1487.755
1441.115	1506.122
1441.115	1561.224
...	...
1778.397	1395.918
1778.397	1377.551
1778.397	1359.184
1778.397	1377.551

จากตารางที่ 3.1 คอลัมน์แรกจะเป็นพิกัดของจุดในแนวระนาบ และคอลัมน์ที่สองจะเป็นพิกัดของจุดในแนวตั้ง ซึ่งจำนวนของจุดที่เกิดขึ้นนี้ จะมีจำนวนที่ไม่แน่นอน เพราะการเขียนด้วยลายมือแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกัน และตำแหน่งเริ่มต้นของการเขียนก็ไม่แน่นอนอีกด้วย ดังนั้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจึงออกแบบให้รับลายมือเขียนภาษาไทยได้โดยสามารถเขียนที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ ภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมที่กำหนด ไม่ว่าตัวอักษรนั้นจะเป็นสระบนหรือล่างก็ตาม

3.2 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น (Data Pre-processing) และการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร (Feature extraction)

3.2.1 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรเบื้องต้น (Data Pre-processing)

ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับแต่งข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการรับข้อมูลเข้าจากดิจิไทเซอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลในขั้นต่อไป นั่นคือ การย้ายตำแหน่งกรอบของตัวอักษรลายมือเขียนไปยังจุดกำเนิด (origin) และการปรับขนาดของตัวอักษร ซึ่งได้ทดลองทำการปรับขนาดของตัวอักษรสองวิธีด้วยกันคือ การปรับให้ทุกตัวอักษรมีขนาดเท่ากันหมด และวิธีที่สองคือปรับให้อัตราส่วนของตัวอักษรนั้นคงเดิม จากการทดลองพบว่าการปรับตัวอักษรให้มีอัตราส่วนคงเดิมจะให้ผลต่อการรู้จำดีกว่าวิธีแรก ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการปรับตัวอักษรให้มีอัตราส่วนคงเดิม

เนื่องจากว่าการเขียนตัวอักษรลายมือเขียนในการวิจัยนี้ สามารถเขียนที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ภายในกรอบสี่เหลี่ยมที่กำหนด ดังนั้นก่อนที่จะทำการประมวลผลข้อมูลจึงต้องมีการย้ายตัวอักษรลายมือเขียนไปยังจุดกำเนิดเสมอ วิธีการย้ายตัวอักษรทำได้โดยการหาตำแหน่งพิกัดของมุมล่างซ้ายของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมตัวอักษรลายมือเขียนนั้น ดังรูปที่ 3.4 (ก) จากนั้นจึงเอาค่าพิกัด x ที่จุดนี้ไปลบออกจากค่าพิกัด x ของจุดทุกจุด และนำค่าพิกัด y ที่จุดมุมล่างซ้ายนี้ไปลบออกจากค่าพิกัด y ของจุดทุกจุดเช่นเดียวกัน ผลลัพธ์ของการย้ายนี้แสดงในรูปที่ 3.4 (ข)

(ก) พิกัดมุมล่างซ้าย (ข) ผลลัพธ์หลังจากการย้ายตัวอักษรลายมือเขียน

รูปที่ 3.4 การย้ายตำแหน่งตัวอักษรลายมือเขียน

การปรับขนาดของตัวอักษรมีขั้นตอนดังนี้คือ อันดับแรกต้องหาความกว้างและความสูงของตัวอักษรลายมือเขียนจากขั้นตอนที่ 3.1 จากนั้นก็ทำการคำนวณหาอัตราส่วนของความสูงใหม่เทียบกับความสูงเดิม

$$r = \frac{h_n}{h_o} \tag{18}$$

ในที่นี้ r คืออัตราส่วนของความสูงใหม่เทียบกับความสูงเดิม h_n คือ ความสูงใหม่ของตัวอักษรลายมือเขียน และ h_o คือ ความสูงเดิมของตัวอักษรลายมือเขียน เมื่อได้อัตราส่วนนี้มาแล้วก็ทำการคำนวณหาค่าพิกัดตามแนวระนาบและแนวตั้งใหม่ได้จากการนำเอาอัตราส่วนนี้คูณกับค่าพิกัดตามแนวแกน x และแนวแกน y สมมุติให้ความกว้างของตัวอักษรเป็น 400 หน่วยความสูงเป็น 200 หน่วย ต้องการให้ความสูงหลังจากการปรับขนาดแล้วเป็น 100 หน่วย นั่นคือ

$$w_o = 400$$
$$h_o = 200$$
$$h_n = 100$$

โดยที่ w_o คือ ความกว้างของตัวอักษร

ดังนั้นอัตราส่วนความสูงใหม่เทียบกับความสูงเดิมเป็น 100 หารด้วย 200 คือ 0.5

$$r = \frac{h_n}{h_o} = \frac{100}{200} = 0.5$$

จากนั้นก็ทำการคำนวณหาพิกัดของจุดในแนวระนาบหรือแนวแกน x ได้จาก x ใหม่ เท่ากับ 0.5 คูณด้วยค่าของจุดพิกัด x เดิม และค่าพิกัดของจุดในแนวตั้งหรือแนวแกน y ใหม่จะเท่ากับ 0.5 คูณด้วยค่าของจุดพิกัดของ y เดิม เช่น ถ้าลำดับพิกัดของจุดห้าจุดแรกของการเขียนเป็น

พิกัดเดิมลำดับที่ 1 (24,12)

พิกัดเดิมลำดับที่ 2 (24, 24)

พิกัดเดิมลำดับที่ 3 (32, 28)

พิกัดเดิมลำดับที่ 4 (24, 32)

พิกัดเดิมลำดับที่ 5 (40, 48)

ดังนั้นพิกัดใหม่ของแต่ละจุดจะเป็น

พิกัดใหม่ลำดับที่ 1 (12, 6)

พิกัดใหม่ลำดับที่ 2 (12, 12)

พิกัดใหม่ลำดับที่ 3 (16, 14)

พิกัดใหม่ลำดับที่ 4 (12, 16)

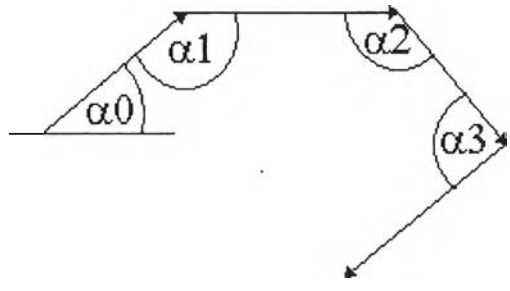
พิกัดใหม่ลำดับที่ 5 (20, 24)

ความสูงของตัวอักษรที่ใช้ในการวิจัยนี้ (h_n) กำหนดให้มีค่าเป็น 600 จุด (pixel)

3.2.2 ขั้นตอนของการหาลักษณะเด่นของตัวอักษร (Feature extraction)

หลังจากที่ได้ข้อมูลที่ได้รับการปรับแต่งเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการหาลักษณะเด่นของลายมือเขียนนั้น ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้ได้แก่ การหาจุดเด่น (Dominant point) และการหาลักษณะเด่นของรูปแบบตามรหัสลูกโซ่ของฟรีแมน (Freeman's Chain Code) [10]

ในการหาจุดเด่นของตัวอักษรนั้น เริ่มจากการหาค่ามุมของจุดทุกจุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.1 จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยใช้ฟังก์ชันแทนเจนต์ดังสมการที่ 12 ในบทที่ 2 หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่าผลต่างของมุมทุกมุม โดยผลต่างของค่ามุมที่ได้จะถูกนำมาทำการม็อดดูโลด้วยค่า 360 ตามสมการที่ 14 ในบทที่ 2



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างค่าของมุมที่จุดต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.5 ผลต่างของค่ามุมจะเป็น

$$\Delta\alpha 1 = (\alpha 1 - \alpha 0) \bmod 360°$$

$$\Delta\alpha 2 = (\alpha 2 - \alpha 1) \bmod 360°$$

$$\Delta\alpha 3 = (\alpha 3 - \alpha 2) \bmod 360°$$

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการกรองสัญญาณรบกวนโดยการคูณผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ผ่านมานั่นคือลำดับของค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงกับฟังก์ชันเกาซเซียน (Gaussian function) สองครั้ง โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\Delta\alpha_l^* = \frac{1}{W}\sum_{s=l-16}^{l+16} w_s \Delta\alpha_s \tag{19}$$

เมื่อ

$\Delta\alpha_s$ คือ ลำดับค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงที่ยังไม่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวน

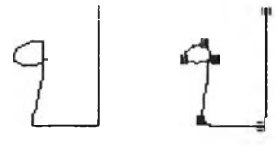
$\Delta\alpha_l^*$ คือ ลำดับค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้ว

$$w_s = e^{-[.2(s-l)]^2} \tag{20}$$

$$W = \sum_{s=l-16}^{l+16} w_s \tag{21}$$

เมื่อได้ลำดับค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้ว จากนั้นนำลำดับของค่ามุมนี้ไปคำนวณหาค่าความเข้มของสัญญาณ นั่นคือค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ของผลต่างของค่ามุมที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาแล้ว โดยใช้สมการที่ 16 ในบทที่ 2

ขั้นตอนต่อไปจะคำนวณหาค่าค่าขีดแบ่งของความเข้มของสัญญาณโดยนำค่าความเข้มของสัญญาณที่คำนวณได้มาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของความชันและบวกเข้ากับค่าต่ำสุดของค่าขีดแบ่งตามสมการที่ 17 ในบทที่ 2 ในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของความชันเป็นค่าคงที่และมีค่าเป็น 0.25 และค่าต่ำสุดของค่าขีดแบ่งเป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน และกำหนดให้มีค่าเป็น 1.5 หลังจากได้ค่าขีดแบ่งนี้แล้ว ก็สามารถทราบได้ว่าจุดใดคือจุดเด่นในสโตรค โดยที่ถ้าที่จุดใดมีค่าผลต่างของค่ามุมที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้วน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าลบของค่าขีดแบ่ง แสดงว่าที่จุดนั้นเป็นจุดต่ำสุดของส่วนโค้ง และถ้าที่จุดใดมีค่าผลต่างของค่ามุมที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนแล้วมากกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง แสดงว่าที่จุดนั้นเป็นจุดสูงสุดของส่วนโค้ง ตัวอย่างของจุดเด่นในสโตรคแสดงไว้ในรูปที่ 3.6

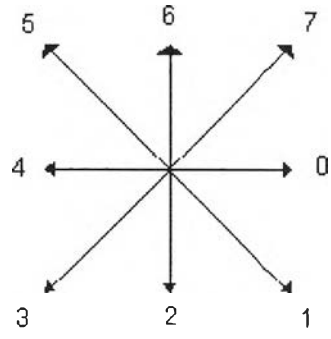


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างอักษร ป และจุดเด่นทั้ง 6 จุด

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ นอกจากจะประกอบด้วยข้อมูลเช่นเดียวกับผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 3.2.1 แล้ว ยังมีเครื่องหมาย (flag) เพื่อที่จะบอกด้วยว่าจุดใดในสโตรคเป็นจุดเด่นบ้าง

หลังจากที่ได้จุดเด่นในสโตรคทุกจุดแล้ว ต่อไปจะเป็นการหาลักษณะเด่นของรูปแบบตามรหัสลูกโซ่ของฟรีแมน ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 0 ถึง 8 เพื่อใช้แทนทิศทางดังรูปที่ 3.7 โดยจะแบ่งทิศทางออกทีละ 45 องศา เริ่มจาก 0 องศา 45 องศา 90 องศา เรื่อยไปจนกระทั่งถึง 315 องศา ตามลำดับ การแทนทิศทางด้วยรหัสลูกโซ่นี้เริ่มต้นจากการหาค่ามุมของจุดเด่นในสโตรคจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจนครบทุกจุดโดยใช้ฟังก์ชันแทนเจนต์ แล้วแทนค่ารหัสทิศทางตามค่ามุมที่คำนวณได้จนครบทุกจุด ดังนั้นในรูปที่ 3.6 สามารถแทนรหัสทิศทางของจุดเด่นในสโตรคได้เป็น 47206

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 รหัสทิศทางลูกโซ่ของฟรีแมน

3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสอนและรู้จำของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการสอน และทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์คประกอบด้วย

1. อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของตัวอักษร
2. รหัสทิศทาง
3. ค่าแสดงว่าเป็นจุดปลาย มีค่าเป็น -1 เมื่อเป็นจุดปลาย หรือเป็น 0 ถ้าหากไม่ใช่จุดปลาย
4. เขตเริ่มต้นของหน่วยสร้างพื้นฐาน
5. เขตสิ้นสุดของหน่วยสร้างพื้นฐาน
6. ลำดับของค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง

โดยที่องค์ประกอบที่ 1 จะมีเพียงค่าเดียวสำหรับแต่ละตัวอักษร องค์ประกอบที่ 2 ถึง 5 จะเป็นข้อมูลของเส้นตรงระหว่างจุดเด่นหนึ่งไปยังอีกจุดเด่นอีกจุดหนึ่ง ซึ่งแต่ละตัวอักษรจะประกอบด้วยจุดเด่นได้หลายจุด ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีจุดเด่นในสโตรคได้ไม่เกิน 21 จุด ซึ่งเพียงพอสำหรับอักษรไทยทุกตัว สำหรับองค์ประกอบที่ 6 จะเป็นค่าของมุมที่เปลี่ยนไประหว่างแต่ละจุดของทุกจุดในสโตรค

3.3.1 การเปลี่ยนเวคเตอร์ให้เป็นหน่วยพื้นฐาน

ข้อมูลที่เป็นรหัสทิศทางที่ใช้เป็นข้อมูลในการสอนและรู้จำของนิวรอลเน็ตเวิร์ค ได้มาจากขั้นตอนที่ 3.2.2 คือ เราทราบอยู่ว่ามีจุดเด่นในสโตรคอยู่ที่ตำแหน่งใดบ้าง ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนเวคเตอร์ของจุดเด่นในสโตรคจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ให้อยู่ในรูปของหน่วยสร้างพื้นฐาน โดยอาศัยรหัสทิศทางลูกโซ่ของฟรีแมนดังรูปที่ 3.7

รหัสทิศทางลูกโซ่ของฟรีแมนจะประกอบด้วยตัวเลข 0 ถึง 8 เพื่อใช้แทนทิศทาง โดยจะแบ่งทิศทางออกทีละ 45 องศา เริ่มจาก 0 องศา 45 องศา 90 องศา เรื่อยไปจนกระทั่งถึง 315 องศา ตามลำดับ

ดังนั้น ในรูปที่ 3.6 สามารถแทนเวคเตอร์ของจุดเด่นในสโตรคเป็นหน่วยพื้นฐาน หรือรหัสลูกโซ่ของฟรีแมนได้เป็น 47206

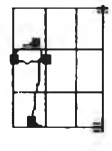
3.3.2 การแบ่งเขตย่อยของตัวอักษร

ข้อมูลที่เป็นเขตเริ่มต้นของหน่วยสร้างพื้นฐาน และเขตสิ้นสุดของหน่วยสร้างพื้นฐาน สามารถหาได้จากการนำเอาข้อมูลจากขั้นตอนที่ 3.2.2 มาทำการแบ่งเป็นเขตย่อยจำนวน 9 เขต โดยการแบ่งความกว้างและความสูงของตัวอักษรลายมือเขียนออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ดังรูปที่ 3.8 จากนั้นจึงมาพิจารณาเวคเตอร์ของจุดเด่นแต่ละอันว่า มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่เขตย่อยใด และมีจุดสิ้นสุดที่เขตย่อยใด จนครบทุกเวคเตอร์ หมายเลขประจำเขตย่อยแสดงในรูปที่ 3.8

6	7	8
3	4	5
0	1	2

รูปที่ 3.8 รหัสประจำเขตย่อยของตัวอักษร

ดังนั้น จากตัวอย่างอักษร ป ในรูปที่ 3.6 จะนำมาพิจารณาเพื่อที่จะได้รหัสประจำเขตย่อยของจุดเด่นแต่ละจุดได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอักษร ป ภายในเขตย่อยของตัวอักษร

จากรูปที่ 3.9 เวคเตอร์ที่ 1 มีจุดเริ่มต้นที่เขตย่อยที่ 4 สิ้นสุดที่เขตย่อยที่ 3
เวคเตอร์ที่ 2 มีจุดเริ่มต้นที่เขตย่อยที่ 3 สิ้นสุดที่เขตย่อยที่ 6
เวคเตอร์ที่ 3 มีจุดเริ่มต้นที่เขตย่อยที่ 6 สิ้นสุดที่เขตย่อยที่ 0
เวคเตอร์ที่ 4 มีจุดเริ่มต้นที่เขตย่อยที่ 0 สิ้นสุดที่เขตย่อยที่ 2

เวคเตอร์ที่ 5 มีจุดเริ่มต้นที่เขตย่อยที่ 2 สิ้นสุดที่เขตย่อยที่ 8

3.3.3 ลำดับของค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง

ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์คอีกอย่างคือ ลำดับของค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง ในการเขียนตัวอักษรแต่ละสโตรค จะประกอบไปด้วยจุดมากมาย ค่าของมุมที่เปลี่ยน แปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในสโตรค ได้ถูกนำมาใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์คด้วย การคำนวณหาค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงนี้จะใช้สมการที่ 12 ในบทที่ 2 และใช้กับข้อมูลที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการทำการประมวลผลเบื้องต้นเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้นิวรอลเน็ตเวิร์คจะมีจำนวนโหนดในชั้นรับข้อมูลเข้า 281 โหนด และได้จำกัดจำนวนของจุดเด่นไว้ไม่ให้เกิน 21 จุด ส่วนลำดับของค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงจะมีได้ไม่เกิน 200 ค่า ถ้าจำนวนของลำดับค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงนี้มีจำนวนน้อยกว่า หรือมากกว่า 200 ค่า ก็จะมีการปรับให้เป็น 200 ค่าเสมอ โดยการนำเอาลำดับค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงมาเขียนเป็นกราฟ โดยแกนนอนเป็นลำดับที่ของข้อมูล ส่วนแกนตั้งเป็นค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง ถ้าข้อมูลบนแกนนอนมีค่าน้อยกว่า 200 ค่า ก็จะยืดกราฟนี้ให้มีขนาด 200 ตามแนวแกนนอน แต่ถ้าข้อมูลบนแกนนอนมีค่ามากกว่า 200 ค่า ก็จะบีบกราฟให้มีขนาด 200 ตามแนวแกนนอน โดยที่ข้อมูลใหม่ของค่าบนแกนตั้ง จะนำมาจากค่าข้อมูลเดิมที่ลำดับบนแกนนอนใหม่ใกล้กับลำดับบนแกนนอนเดิมมากที่สุด ตัวอย่างของข้อมูลที่ใช้ในการสอนและรู้จำของนิวรอลเน็ตเวิร์คแสดงในตารางที่ 3.2

ข้อมูลตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้สอนนิวรอลเน็ตเวิร์คของอักษร ป

โหนดที่	ตัวอย่างค่าของข้อมูล				คำอธิบาย
1	0.7565				อัตราส่วนความกว้างต่อความสูง
2 - 5	4	-1	8	4	ข้อมูลพื้นฐานชุดที่ 1
6 - 9	7	0	3	6	ข้อมูลพื้นฐานชุดที่ 2
10 - 13	2	0	6	0	ข้อมูลพื้นฐานชุดที่ 3
14 - 17	0	0	0	2	ข้อมูลพื้นฐานชุดที่ 4
18 - 21	6	-1	2	8	ข้อมูลพื้นฐานชุดที่ 5
22 - 25	0	0	0	0	เติมค่าด้วย 0

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้สอนนิวรอลเน็ตเวิร์คของอักษร ป

โหนดที่	ตัวอย่างค่าของข้อมูล				คำอธิบาย
...	...				เติมค่าด้วย 0
78 - 81	0	0	0	0	เติมค่าด้วย 0
82	-1.909				ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง
83	-2.954				ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง
84	-1.827				ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง
85	-2.234				ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง
...	...				ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง
281	...				ค่ามุมที่เปลี่ยนแปลง

3.4 ขั้นตอนการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของตัวอักษรจะถูกนำมาป้อนเป็นข้อมูลเข้าในขั้นตอนนี้ นั่นคือจะทำการสอน (Train) นิวรอลเน็ตเวิร์คโดยอาศัยเครื่องมือทางด้านนี้ เช่น นิวรอลเน็ตเวิร์คจำลองของมหาวิทยาลัยสตุทการ์ท (Neural Network Simulator of Stuttgart University) [11]

สำหรับรูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ใช้เป็นดังนี้

ตารางที่ 3.3 รูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์ค

รูปแบบของนิวรอลเน็ตเวิร์ค	Backpropagation
จำนวนชั้น	3
จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า	281
จำนวนโหนดในชั้นแอบแฝง	400
จำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์	67

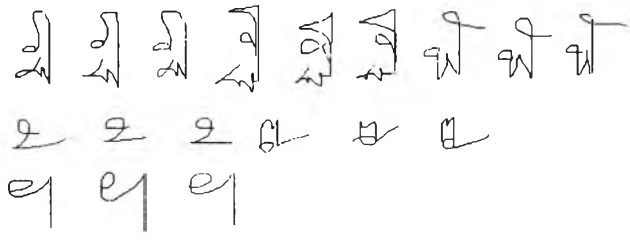
ตารางที่ 3.4 จำนวนตัวอักษรที่ใช้สอน ทดสอบ และรู้จำ

จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค	2680 ตัวอักษร
จำนวนตัวอักษรที่ใช้ในการทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์ค	536 ตัวอักษร
จำนวนตัวอักษรลายมือเขียนที่ใช้ทดสอบอัตราการรู้จำ	1340 ตัวอักษร

จากตารางที่ 3.3 ข้อมูลที่อยู่ในชั้นผลลัพธ์จะมีรูปแบบเป็นดังเลข 0 หรือ 1 โดยใช้แทนตัวอักษรทั้ง 67 ตัว เช่น ก แทนด้วย 1000000000...0 ข แทนด้วย 0100000000...0 ค แทนด้วย 0010000000...0 เป็นต้น นอกจากนี้ ในตารางที่ 3.4 ข้อมูลที่ใช้สอนนิวรอลเน็ตเวิร์คมีทั้งสิ้น 2680 ตัวอักษร ซึ่งได้จากการเขียนตัวอักษรทั้ง 67 ตัว ตัวละ 40 ครั้ง ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ 536 ตัวอักษร ได้จากการเขียนตัวอักษรทั้ง 67 ตัว ตัวละ 8 ครั้ง และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบอัตราการรู้จำ 1340 ตัว ได้จากการเขียนตัวอักษรทั้ง 67 ตัว ตัวละ 20 ครั้ง ลำดับของข้อมูลที่ใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค จะจัดลำดับแบบสุ่ม (randomize) ซึ่งอาศัยการทำงานของโปรแกรม SNNS เอง

3.5 ขั้นตอนการรู้จำตัวอักษร

เป็นการรู้จำของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยการนำเอานิวรอลเน็ตเวิร์คที่ได้รับการสอนแล้วมาใช้งาน ซึ่งข้อมูลเข้าของโปรแกรมนี้คือการรับข้อมูลจากดิจิไทเซอร์ และทำการประมวลผลตัวอักษรในเบื้องต้น จากนั้นจึงหาลักษณะเด่นของตัวอักษรนั้น แล้วจึงส่งค่าที่ได้ให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์คที่ได้รับการสอนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือการรู้จำตัวอักษรนั้น ๆ รูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นตัวอย่างของลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์คในการวิจัยนี้



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างของลายมือเขียนตัวอักษรภาษาไทยที่ใช้ในการสอนนิวรอลเน็ตเวิร์ค