หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาระบบรับรู้ลายมือเขียนอักษรไทย

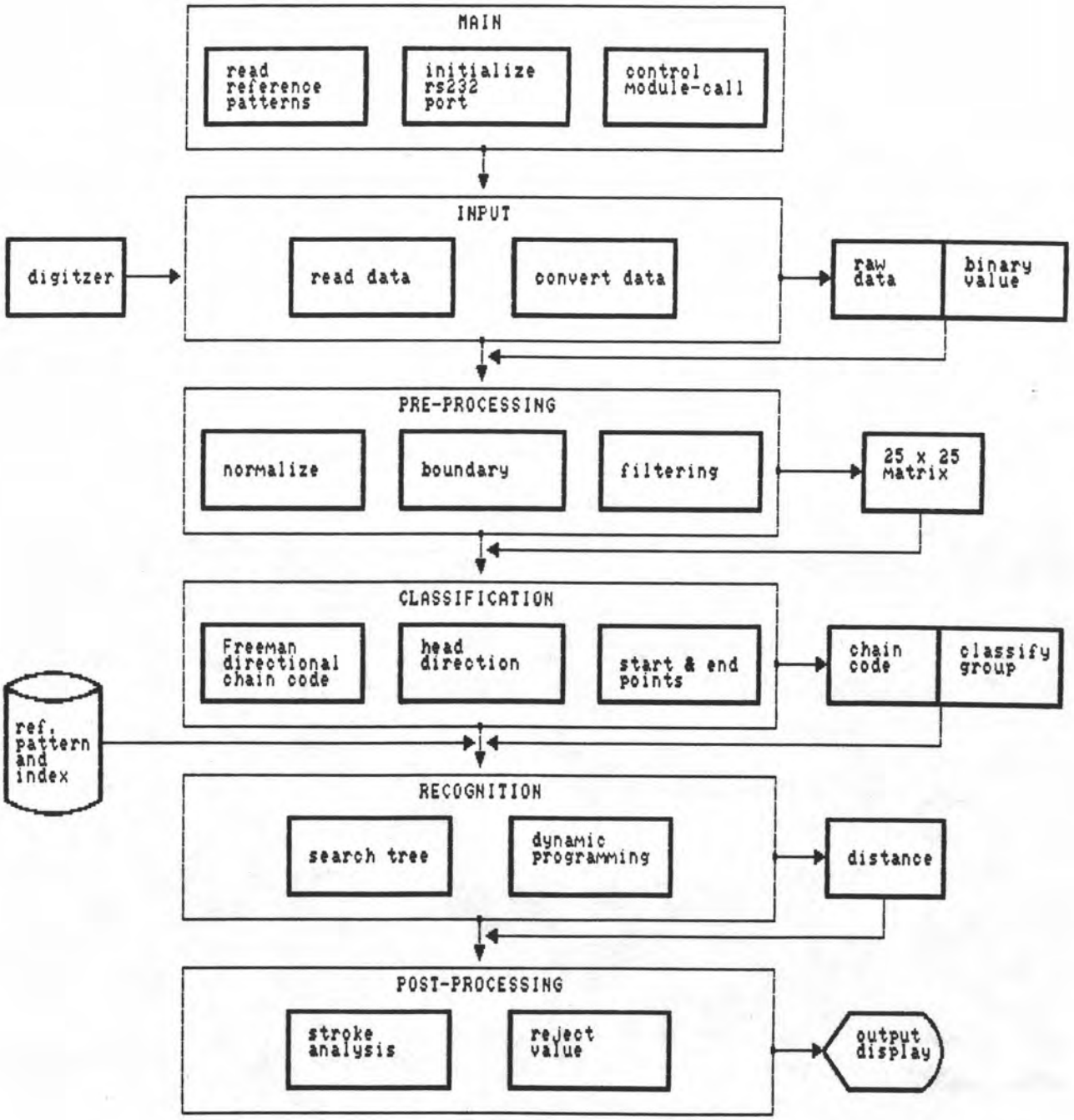
การออกแบบ

การออกแบบ และพัฒนาระบบรับรู้ลายมือเขียนแบบออนไลย์ เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับข้อมูลดิจิไตเซอร์และเครื่องไมรโครคอมพิวเตอร์ เพื่อจะได้มีการรับข้อมูลลายมือเขียนจากดิจิไตเซอร์ และแสดงผลลัพธ์ทางจอภาพในขณะนั้น ได้เลือกการเชื่อมต่อแบบอนุกรม กำหนดให้มีการส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็ว 4800 BAUD สามารถสุ่มข้อมูลสัญญาณหนึ่งชุดทุกๆ 45.5 ในพันของวินาที โดยเฉลี่ยในการเขียนแต่ละครั้งจะสามารถสุ่มตัวอย่างได้ 50 จุด โดยมีการเตรียมตารางแยกย่อยกลุ่ม และพจนานุกรมรูปแบบอ้างอิงไว้ล่วงหน้า หลังการวิเคราะห์ลักษณะเด่นของรูปแบบ สามารถตรวจหาในตารางแยกย่อยกลุ่มเพื่อจำกัดวงรูปแบบอ้างอิงเป็นกลุ่มย่อยในการนำเสนอต่อไป รูปแบบที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความแตกต่างของรูปแบบนั้นอยู่ในรูปของรหัสทิศทาง ได้ประยุกต์ทฤษฎีไดนามิคโปรแกรมมิ่งเพื่อความยืดหยุ่นในการคำนวณหาค่าความแตกต่างของรูปแบบ ตามรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างระบบรับรู้รูปแบบลายมือเขียน

การออกแบบโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน

1 โปรแกรมจัดการรับข้อมูล
2 โปรแกรมวิเคราะห์รูปแบบลายมือเขียน
3 โปรแกรมหารหัสทิศทาง และจัดการพจนานุกรม
4 โปรแกรมการรับรู้รูปแบบ

รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบรับรู้รูปแบบลายมือเขียน



โปรแกรมรับข้อมูล

โปรแกรมรับข้อมูลออกแบบให้เป็นเอกเทศน์ ทั้งนี้เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของข้อตกลงในการรับส่งข้อมูลสัญญาณ

โปรแกรมส่วนนี้ออกแบบ และพัฒนาขึ้นเพื่อ

1 จัดการพอร์ตแบบ RS-232

2 รับข้อมูลทางดิจิไตเซอร์

3 แปลงค่าคู่ลำดับ

โปรแกรมจัดการพอร์ตอนุกรม RS-232

โปรแกรมจัดการพอร์ตแบบ RS-232 เพื่อให้พร้อมในการรับส่งสัญญาณกับดิจิไตเซอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม อัตราความเร็วในการรับส่งสัญญาณที่ 4800 BAUD มีข้อมูลขนาด 8 บิท และบิทท้าย 2 บิท ตามรูปที่ 3.2 ผังงานแสดงการจัดการพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น

1 การกำหนดความเร็วในการรับส่งที่ 4800 BAUD และขนาดข้อมูล 8 บิท พร้อมบิทท้าย 2 บิท ด้วยการกำหนดค่าเลขฐานสิบหก 18 ไปที่หน่วยความจำ 3f8

2 หน่วยความจำ 3fb เป็นตัวควบคุมความสมบูรณ์ในการรับสัญญาณ

3 หน่วยความจำ 3f8 เป็นที่พักข้อมูลสัญญาณรับส่งในแต่ละครั้งที่เกิดสัญญาณ และคงสภาพอยู่จนกว่าจะมีสัญญาณข้อมูลใหม่

โปรแกรมรับข้อมูลที่สุ่มได้จากดิจิไตเซอร์

การรับข้อมูลจากดิจิไตเซอร์นั้นถือเป็นส่วนเพิ่มเติมจากการรับข้อมูลทางแป้นพิมพ์ ดังนั้นจึงคงสภาพการรับข้อมูลทางแป้นพิมพ์อยู่ ระบบรับรู้รูปแบบลายมือเขียนแบบออนไลน์นั้นจะคอยรับสัญญาณจากดิจิไตเซอร์ตลอดเวลา พร้อมทั้งต้องกำหนดช่วงเวลาในการพักการรับสัญญาณเพื่อทำการประมวลผล ทุกครั้งที่มีการยกปากกาจากแผ่นสัมผัสของดิจิไตเซอร์ประ

มาณ 0.5 วินาที จะพักการรับสัญญาณจากดิจิไตเซอร์ชั่วขณะ และทำการประมวลผล ตามรูปที่ 3.3 ผังงานแสดงการรับข้อมูลสัญญาณผ่านพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 สามารถแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น

1 ตรวจสอบสถานะของแป้นพิมพ์ ด้วยฟังก์ชั่น 11h ของอินเทอร์รัพท์ 21h ช่วงระหว่างการรอสัญญาณ

2 ตรวจสอบสถานะของพอร์ตอนุกรมทางตัวควบคุม 3fd

3 รับข้อมูลผ่านหน่วยความจำตำแหน่ง 3f8

4 ตรวจสอบข้อมูลเพื่อหาจุดเริ่มต้นของชุดข้อมูล โดยที่ค่า ASCII 'T' จะเป็นไบต์แรกของชุดข้อมูลเสมอ

5 รับข้อมูลคู่ลำดับจำนวน 12 ไบต์ ไบต์ที่ 1 และ 7 จะเป็นเครื่อง '+' หรือ '-' ที่เหลือเป็นค่า ASCII ตัวเลข 0 - 9

6 ตรวจสอบ 2 ไบต์สุดท้ายของชุดข้อมูล เป็นค่า ASCII บอกถึงการขึ้นบรรทัดใหม่

<u>การแปลงค่าคู่ลำดับ</u>

ข้อมูลที่ได้รับจากดิจิไตเซอร์อยู่ในรูปของรหัส ASCII ทั้งสิ้น จึงเป็นข้อมูลดิบที่ไม่พร้อมจะนำไปใช้ในการคำนวณ จำเป็นที่จะต้องการทำแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบไบนารี เพื่อที่จะสามารถนำไปประมวลผลต่อได้ ตามรูปที่ 3.4 ผังงานแสดงการแปลงค่าคู่ลำดับให้อยู่ในรูปของไบนารี สามารถแบ่งขั้นตอนการประมวลผลออกเป็น

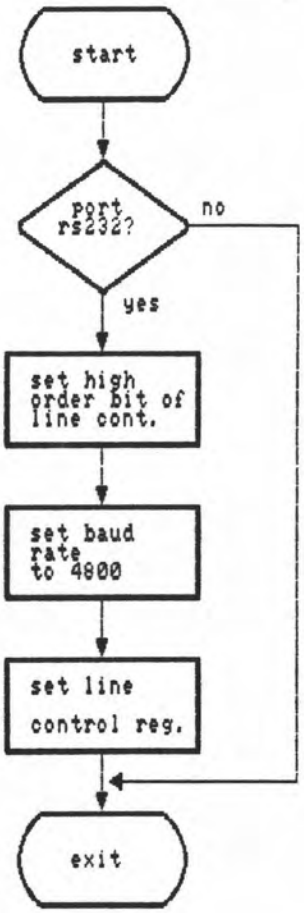
1 ตรวจสอบความสมบูรณ์ของชุดข้อมูล ซึ่งจะต้องมีเพียงค่าของคู่ลำดับพร้อมเครื่องหมายเท่านั้น

2 ตรวจหาค่าเครื่องหมาย ซึ่งจะบอกถึงการเริ่มของข้อมูลชุดใหม่

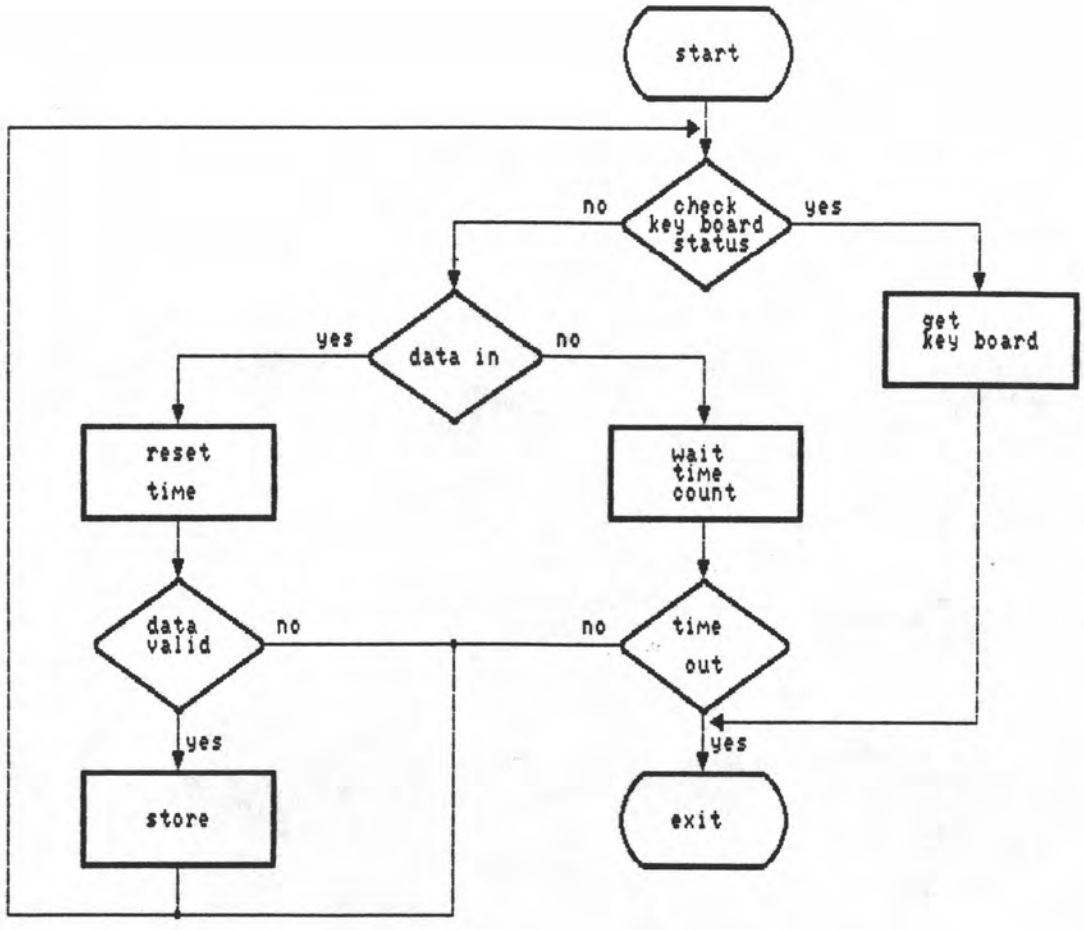
3 แปลงค่ารหัส ASCII ของตัวเลขแต่ละตำแหน่งให้อยู่ในรูปของไบนารี

4 รวมชุดข้อมูลที่แปลงได้เป็นค่าไบนารีขนาด 2 ไบต์

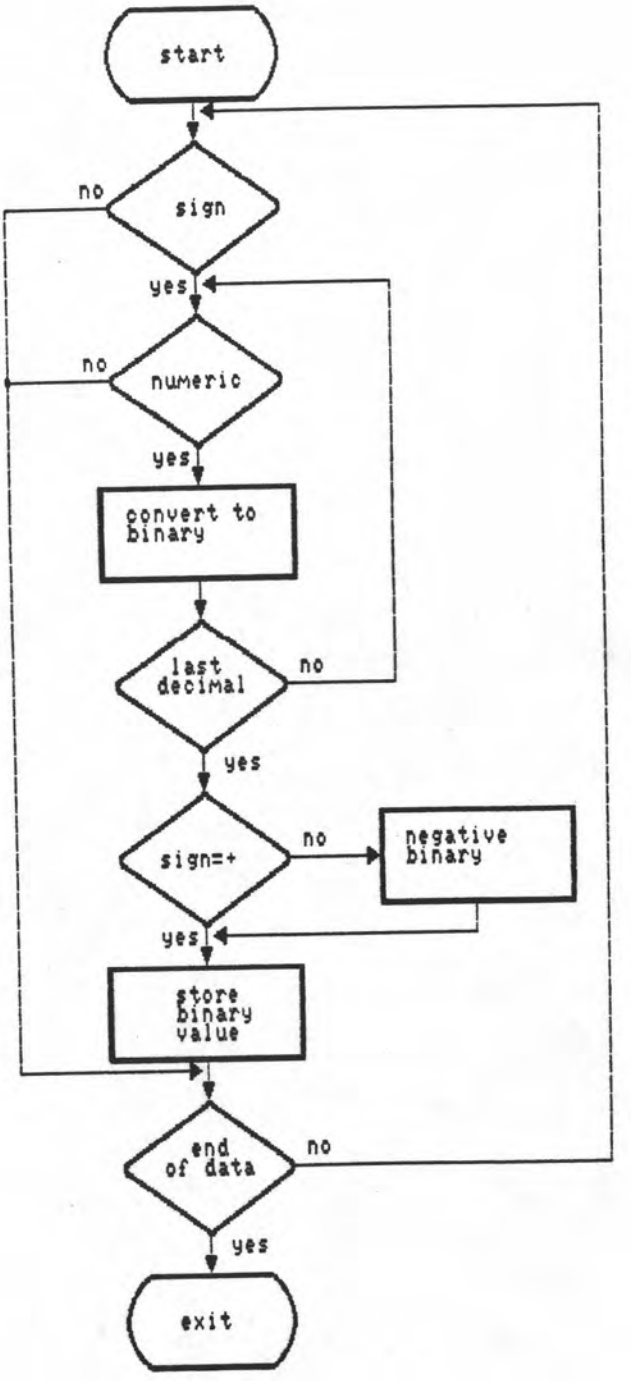
รูปที่ 3.2 ผังงานแสดงการจัดการพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232



รูปที่ 3.3 ผังงานแสดงการรับสัญญาณข้อมูลจากดิจิไตเซอร์



รูปที่ 3.4 ผังงานแสดงการแปลงค่าคู่ลำดับ

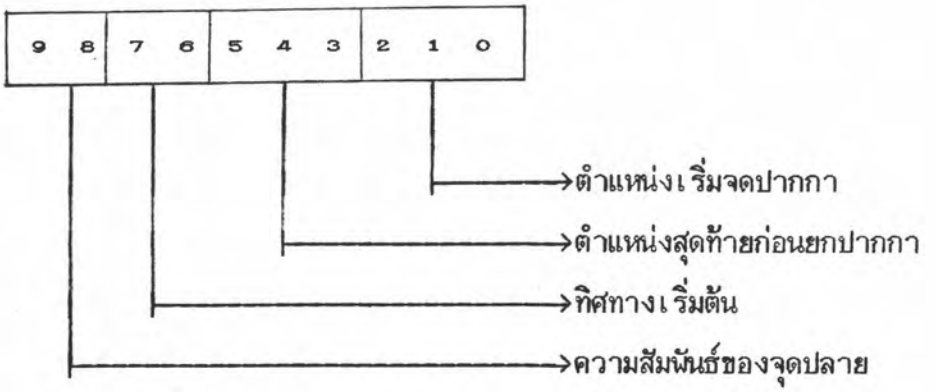


โปรแกรมวิเคราะห์ลักษณะเด่นอักษร

โปรแกรมวิเคราะห์ลักษณะเด่นอักษรนี้จะทำการวิเคราะห์ จากการกระจายของคู่ลำดับที่สุ่มได้ และทิศทางการลากเส้น โดยจะใช้หน่วยความจำขนาด 9 บิท เพื่อเก็บข้อมูลแทนลักษณะเด่นของรูปแบบข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ตามรูปที่ 3.5 แสดงข้อมูลแทนลักษณะเด่นของรูปแบบ โดยมีการกำหนดค่าใช้แทนลักษณะเด่นตามตารางที่ 3.1 ตามรูปที่ 3.6 ผังงานแสดงการควบคุมการวิเคราะห์ลักษณะเด่นอักษร การวิเคราะห์สามารถแบ่งออกได้เป็นส่วน

1 โปรแกรมการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล
2 โปรแกรมการสร้างรูปแบบบรรทัดฐาน
3 โปรแกรมการวิเคราะห์ทิศทางเริ่มต้น

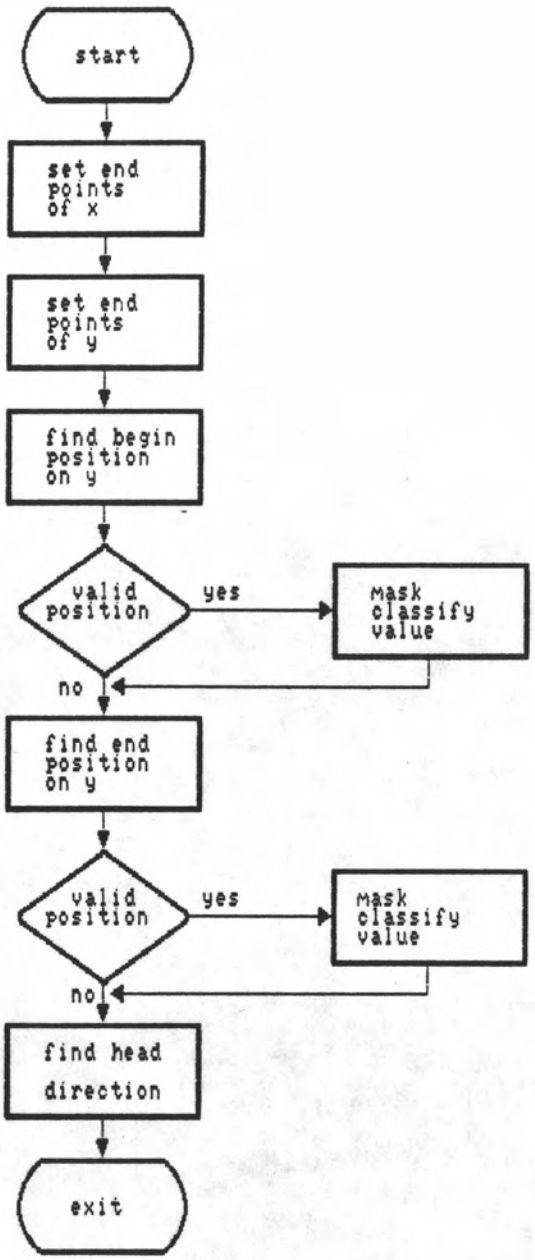
รูปที่ 3.5 ข้อมูลแทนลักษณะเด่นของรูปแบบ



ตารางที่ 3.1 ค่าแทนลักษณะเด่นของอักษร

บิทที่	ค่าแทนลักษณะเด่น	
0 - 2 และ 3 - 5	010	ตำแหน่งระดับบน
	011	ตำแหน่งบนระดับกลาง
	100	ตำแหน่งระดับล่าง
	101	ตำแหน่งล่างระดับกลาง
	111	ตำแหน่งกลางระดับกลาง
6 - 7	00	ทิศทางตรง
	01	ทิศทางตามเข็มนาฬิกา
	10	ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
8 - 9	00	หลังล่าง
	01	หลังบน
	10	หน้าล่าง
	11	หน้าบน

รูปที่ 3.6 ผังงานแสดงการวิเคราะห์ลักษณะเด่นอักษร



โปรแกรมวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล

การวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลนั้น เพื่อที่จะควบคุมการกระจาย และตรวจสอบลักษณะเด่นของข้อมูล ซึ่งสามารถแยกย่อยกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเด่นคล้ายคลึงกันอันจะเป็นประโยชน์ในการนำเสนอรูปแบบอ้างอิงที่จะใช้เทียบกับรูปแบบทดสอบ โปรแกรมวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลสามารถแยกการประมวลผลออกได้เป็น

1 โปรแกรมกรองสัญญาณรบกวน

เพื่อให้ได้ข้อมูลคู่ลำดับที่สมบูรณ์ การกรองข้อมูลจะช่วยลดการรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้ และเพิ่มความแม่นยำในการประมวล ตามรูปที่ 3.7 ผังงานแสดงการกรองสัญญาณรบกวน สามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น

1.1 การตรวจสอบระยะห่างระหว่างคู่ลำดับที่สุ่มได้
1.2 การคำนวณหาคู่ลำดับทดแทน จากการให้น้ำหนักคู่ลำดับก่อนหน้า
1.3 การลดคู่ลำดับที่อยู่ในขอบเขตเดียวกัน

2 โปรแกรมหาขอบเขตของอักษร

เป็นการตรวจสอบคู่ลำดับที่สุ่มได้หลังผ่านการกรองจุดรบกวน โดยจะตรวจหาคู่ลำดับที่อยู่นอกสุดทั้งสี่ด้าน ตามรูปที่ 3.8 แสดงถึงผังงานการหาขอบทั้ง 4 ด้านคือ

2.1 จุดขอบบน
2.2 จุดขอบล่าง
2.3 จุดขอบซ้าย
2.4 จุดขอบขวา

การประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น

2.1 ตรวจหาขอบทั้งสี่ด้าน

2.2 คำนวณหาความสูง และกว้างของตัวอักษร

3 โปรแกรมวิเคราะห์จุดปลาย

หลังจากที่ได้ทราบค่าของจุดปลายทั้งสองแล้ว จะนำจุดปลายทั้งสองมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะบางประการของอักษรที่เขียน ตามรูปที่ 3.9 ผังงานแสดงการแทนค่าจุดปลาย โดยที่คุณลักษณะของจุดปลายจะสามารถนำมาแยกอักษรออกได้เป็นกลุ่มต่อไป

การแทนค่าบิทที่ 8 ด้วย

0 เมื่อค่า X เริ่มต้นมีค่ามากกว่า ค่า X สุดท้าย

1 เมื่อค่า X เริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า ค่า X สุดท้าย

การแทนค่าบิทที่ 9 ด้วย

0 เมื่อค่า Y เริ่มต้นมีค่ามากกว่า ค่า Y สุดท้าย

1 เมื่อค่า Y เริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า ค่า Y สุดท้าย

การประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น

3.1 คำนวณหาความแตกต่างระหว่างปลายทั้งสองตามแนวนอน

3.2 คำนวณหาความแตกต่างระหว่างปลายทั้งสองตามแนวตั้ง

3.3 แทนค่าความสัมพันธ์ระหว่างจุดปลายที่บิทที่ 8 และ 9 ของข้อมูลแทนลักษณะเด่นอักษร

4 การกระจายของจุดตามอัตราส่วนระดับการเขียน

ตามข้อจำกัดการเขียนซึ่งจัดให้มีความต่างระดับ 3 ระดับ ตามการเขียนอักษรไทยทั่วไปนั้น สามารถที่จะทำการตรวจสอบการกระจายของจุดบนระดับที่ต่างกัน และ

สามารถตรวจหาตำแหน่งของจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายของการเขียนได้ จากรูปที่ 3.10 ผังงานแสดงการวิเคราะห์อัตราส่วนต่างระดับ ซึ่งระดับแต่ละระดับสามารถแทนค่าได้ด้วยกลุ่มของบิท โดยจะมีกลุ่มของบิทจำนวนสองกลุ่ม เพื่อแทนการกระจายของจุดเริ่มต้น และการกระจายของจุดสุดท้ายของการลากเส้น ซึ่งใช้ในการแยกกลุ่มคุณสมบัติของอักษรที่เขียนต่อไป

บิทที่ 0 มีค่าเป็น 1 แสดงถึงการเริ่มเขียนในระดับต่ำสุด
บิทที่ 1 มีค่าเป็น 1 แสดงถึงการเริ่มเขียนในระดับกลาง
บิทที่ 2 มีค่าเป็น 1 แสดงถึงการเริ่มเขียนในระดับบนสุด
บิทที่ 3 มีค่าเป็น 1 แสดงถึงการสิ้นสุดการเขียนที่ระดับต่ำสุด
บิทที่ 4 มีค่าเป็น 1 แสดงถึงการสิ้นสุดการเขียนที่ระดับกลาง
บิทที่ 5 มีค่าเป็น 1 แสดงถึงการสิ้นสุดการเขียนที่ระดับบนสุด

โดยจะมีเพียงบิทสองบิทเท่านั้นที่จะมีค่าเป็น 1 ในแต่ละครั้ง การประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น

4.1 ตรวจหาตำแหน่งสัมพันธ์ตามแนวระดับของคู่ลำดับเริ่มต้น
4.2 ตรวจหาตำแหน่งสัมพันธ์ตามแนวระดับของคู่ลำดับท้าย
4.3 แทนค่าความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ที่บิทที่ 0 - 5 ของข้อมูลแทนลักษณะเด่นของอักษร

<u>การสร้างรูปแบบบรรทัดฐาน</u>

การเขียนนั้นสามารถที่จะเขียนตัวอักษรที่ตำแหน่งใดก็ได้ตามแนวระดับ ซึ่งค่าของคู่ลำดับที่ได้จากการลากเส้นแต่ละครั้ง จะรวมถึงความแตกต่างของตำแหน่งที่เขียนด้วย การลดความแตกต่างของตำแหน่งสัมพันธ์ในการลากเส้น สามารถทำได้โดยการจำลองรูปแบบเสมือนบนตารางจุดขนาด กว้าง 25 จุด สูง 25 จุด มาใช้แทนรูปแบบที่สุ่มได้จากการลากเส้นในการประมวลผล เพื่อการรับรู้รูปแบบลายมือเขียน

การลดรูปลงเหลือเพียงขนาดตาราง 25 จุด คูณ 25 จุด อาจทำให้เกิดการ

รวมกลุ่ม หรือเกิดการซ้อนของข้อมูลในรูปแบบบรรทัดฐาน จึงจำเป็นต้องทำการลดความหนาแน่นของข้อมูล ตามรูปที่ 3.11 แสดงถึงผังงานการสร้างรูปแบบบรรทัดฐาน การประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น

1 ตรวจหาขนาดตามความกว้าง และสูงของข้อมูลที่สุ่มได้
2 คำนวณหาอัตราส่วนในการย่อขนาด
3 ลดรูปคู่ลำดับลงในตารางขนาด 25 X 25
4 ลดความหนาแน่นของตาราง

<u>โปรแกรมวิเคราะห์ลักษณะทิศทางเริ่มต้น</u>

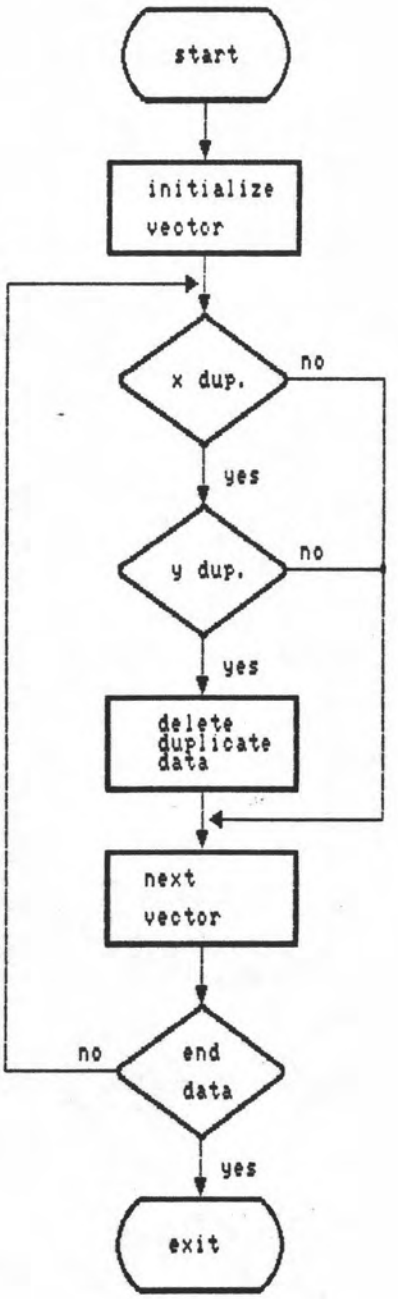
เป็นการวิเคราะห์เฉพาะส่วนเริ่มต้นของเส้นที่ลาก โดยมีการกำหนดขนาดของระยะเส้น หรือจำนวนจุดที่สุ่มได้เพื่อการวิเคราะห์ไว้ล่วงหน้า ตามรูปที่ 3.12 ผังงานแสดงการหาทิศทางเริ่มต้น โดยจะเป็นการติดตามการเคลื่อนไปของทิศทาง พร้อมทั้งแทนค่าที่วิเคราะห์ได้ในบิทที่ 6 และ 7 ของข้อมูลแทนลักษณะเด่นอักษรดังนี้

ทั้งบิทที่ 6 และ 7 มีค่าเป็น 0 การเริ่มลากเส้นไปแนวเส้นตรง
บิทที่ 6 มีค่าเป็น 1 การเริ่มลากเส้นไปตามทิศทางตามเข็มนาฬิกา
บิทที่ 7 มีค่าเป็น 1 การเริ่มลากเส้นไปตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

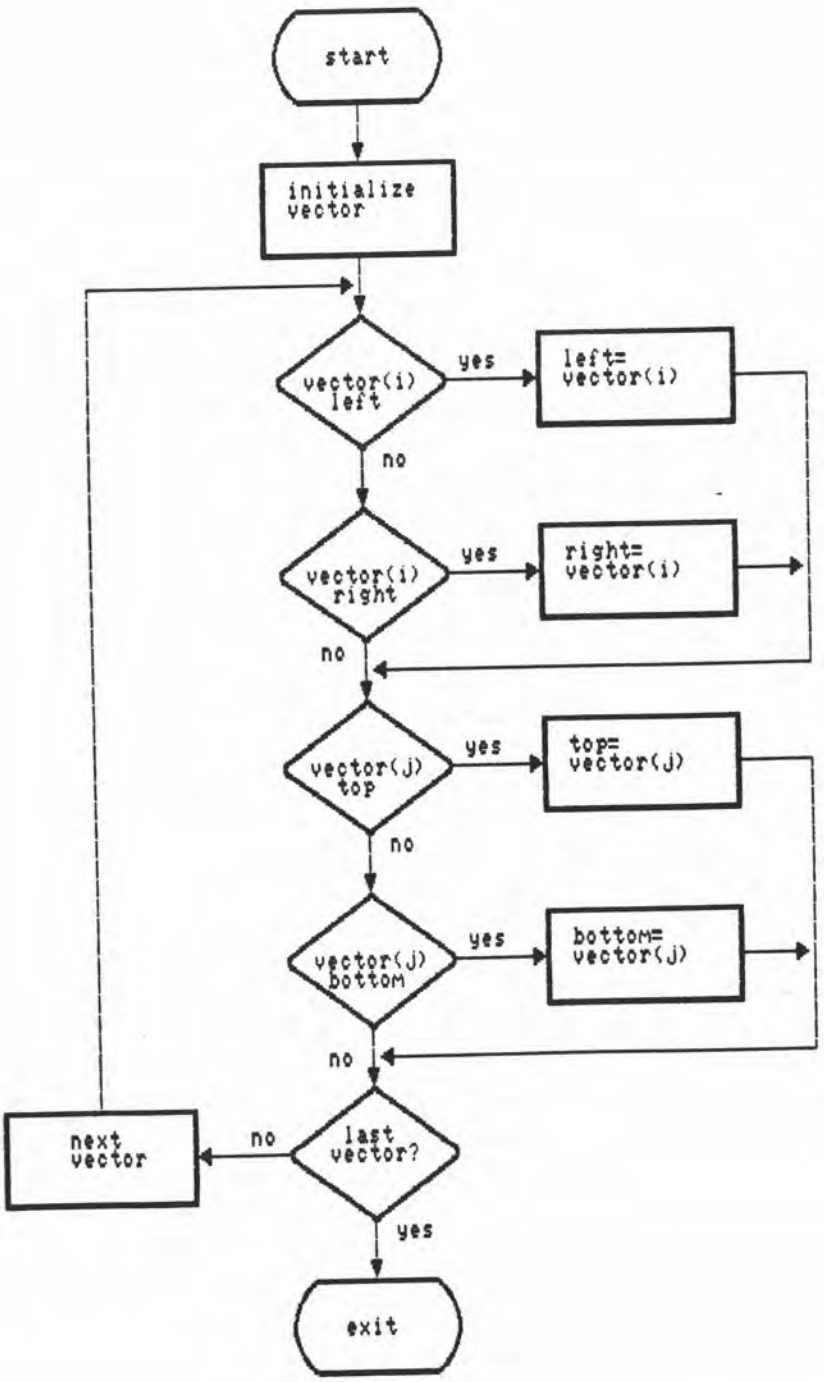
การประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น

1 คำนวณหาขอบเขตในการติดตามทิศทาง
2 คำนวณหาการเคลื่อนของทิศทาง
3 คำนวณหาความแตกต่างจากการเคลื่อนของทิศทาง เปรียบเทียบกับการเคลื่อนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
4 คำนวณหาความแตกต่างจากการเคลื่อนของทิศทาง เปรียบเทียบกับการเคลื่อนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
5 เปรียบเทียบความหักเหของทิศทางรวม
6 แทนค่าที่วิเคราะห์ได้ที่บิทที่ 6 และ 7 ของข้อมูลแทนลักษณะเด่นอักษร

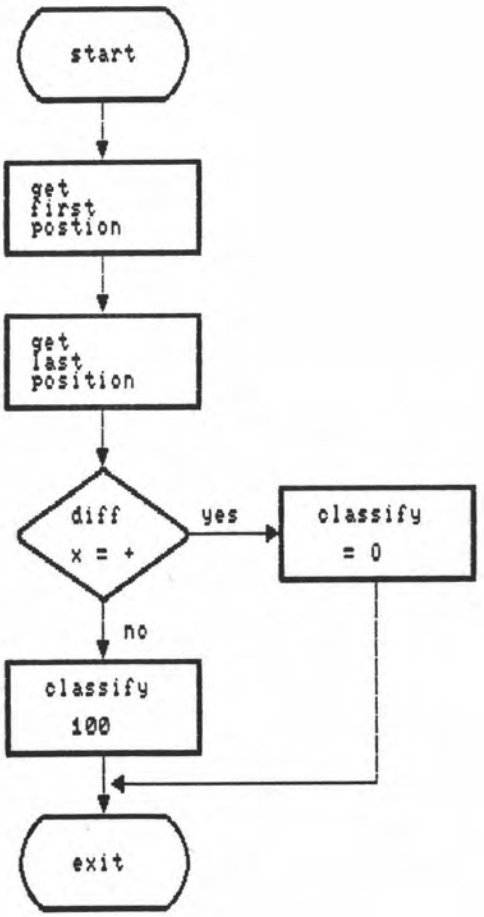
รูปที่ 3.7 ผังงานแสดงการกรองสัญญาณรบกวน



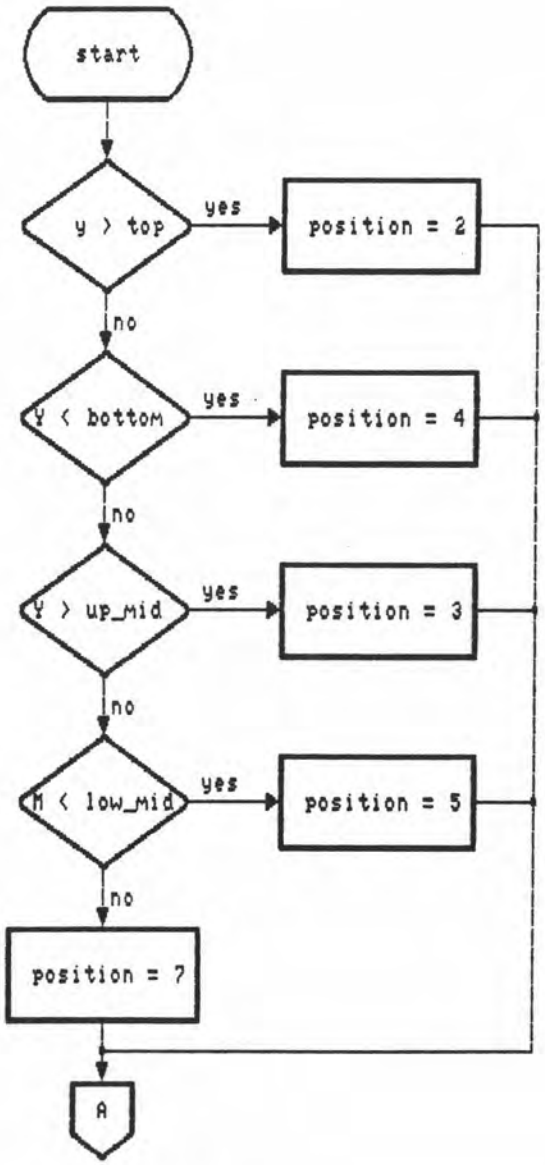
รูปที่ 3.8 ผังงานแสดงการหาขอบของรูปแบบ



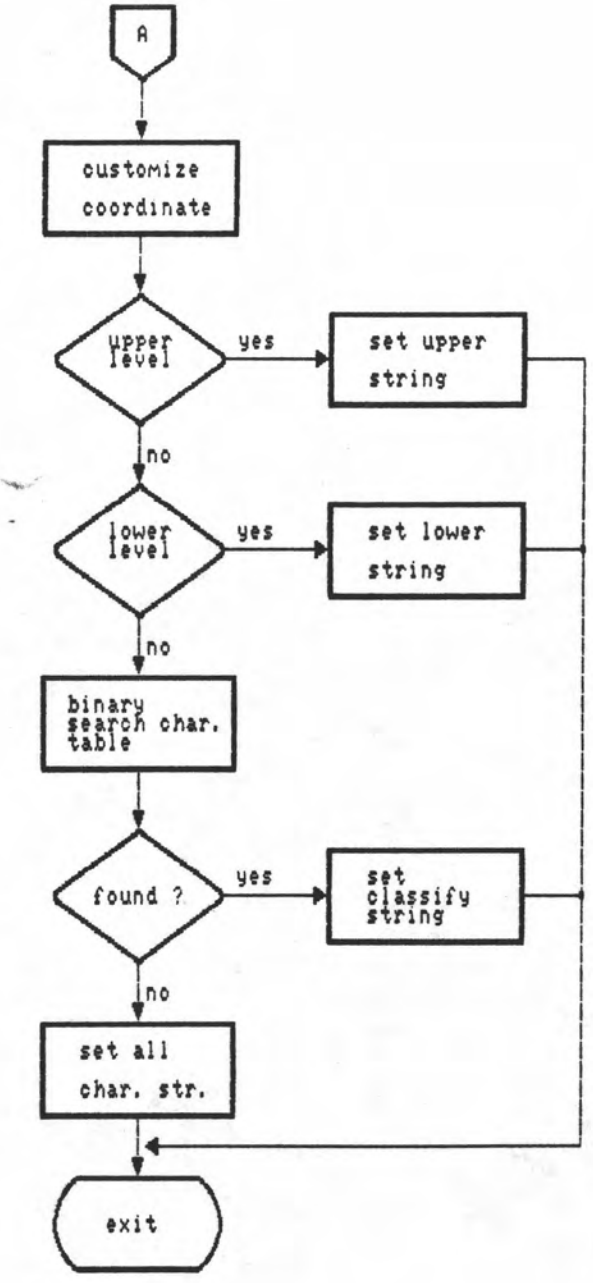
รูปที่ 3.9 ผังงานแสดงการแทนค่าจุดปลาย



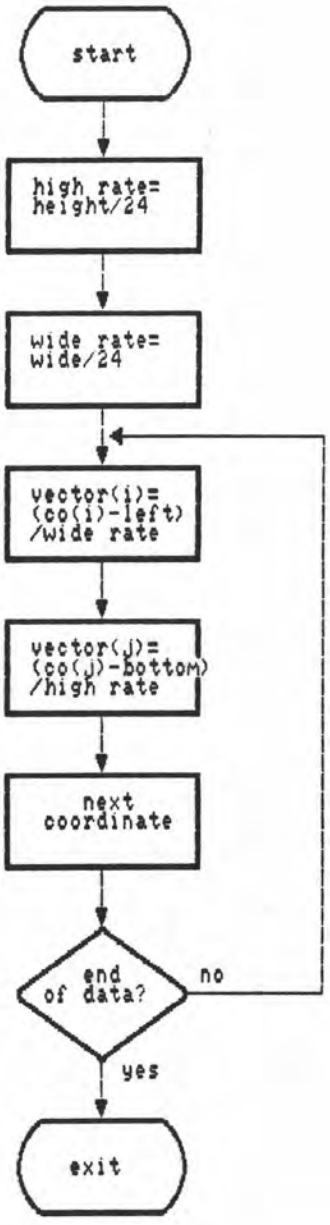
รูปที่ 3.10 ผังงานแสดงการวิเคราะห์อัตราส่วนต่างระดับ



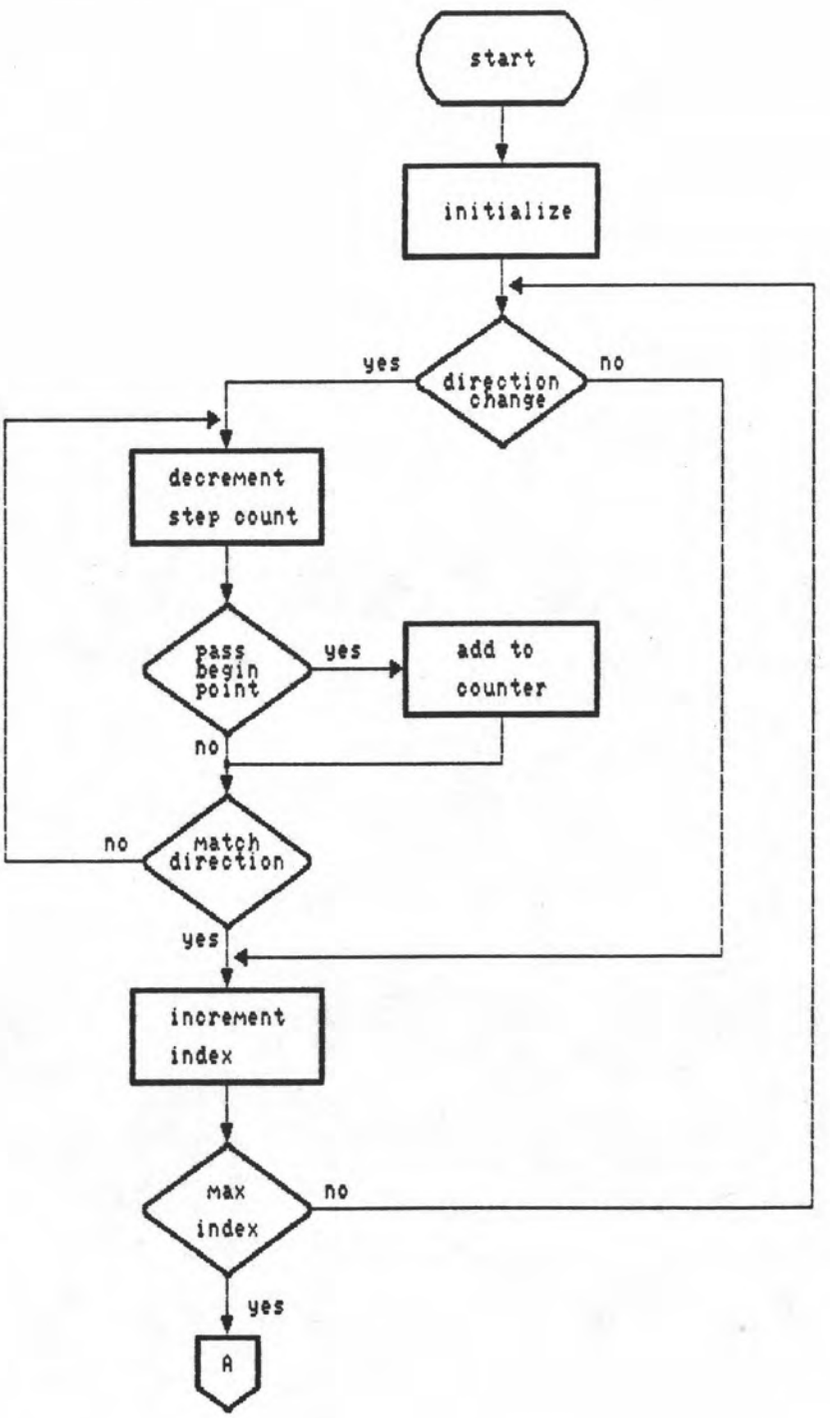
รูปที่ 3.10 ต่อ


A
customize coordinate
upper level
yes
set upper string
no
lower level
yes
set lower string
no
binary search char. table
found ?
yes
set classify string
no
set all char. str.
exit

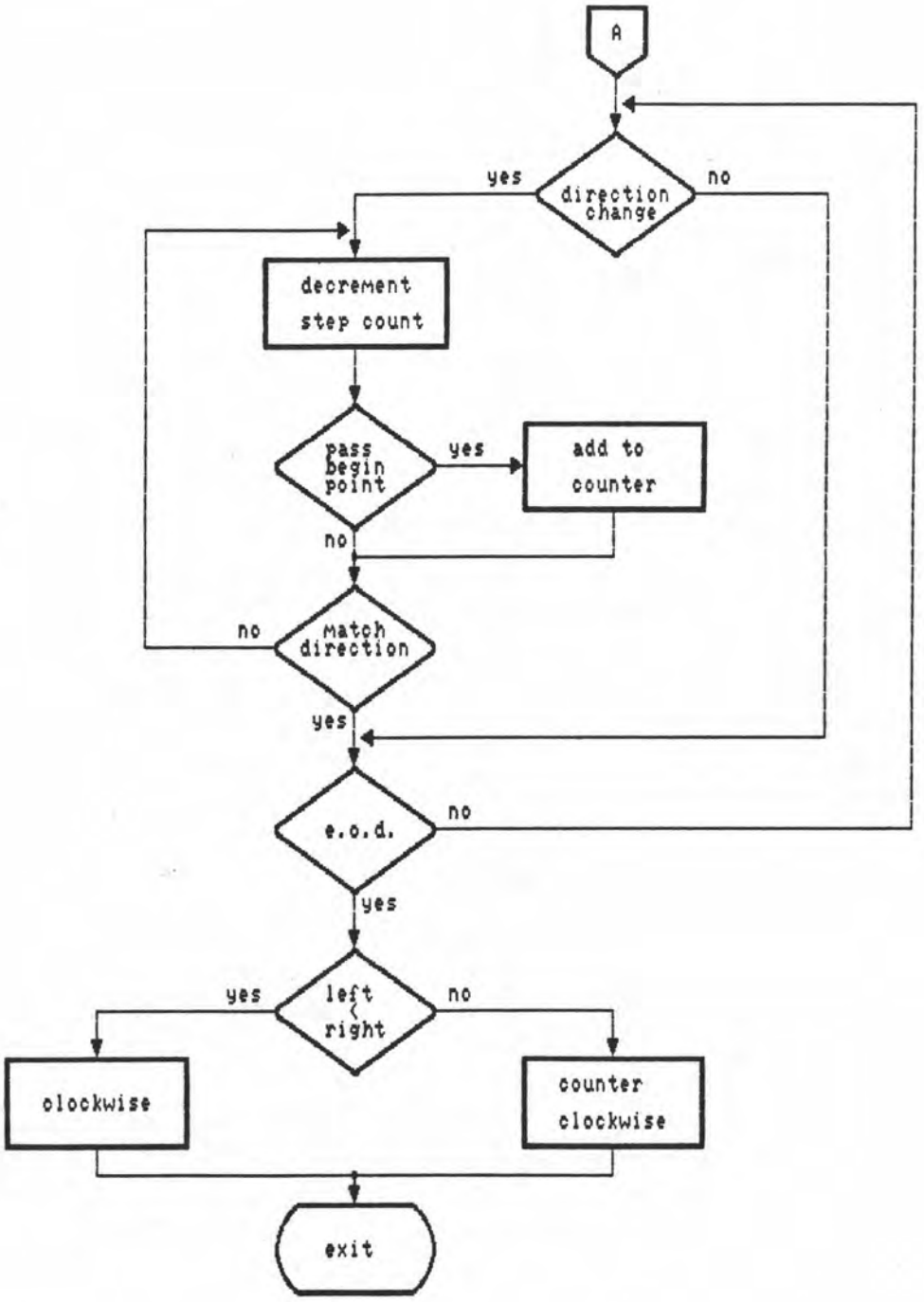
รูปที่ 3.11 ผังงานแสดงการสร้างรูปแบบบรรทัดฐาน



รูปที่ 3.12 ผังงานแสดงการวิเคราะห์ทิศทางเริ่มต้น



รูปที่ 3.12 ต่อ


A
direction change
yes
no
decrement step count
pass begin point
yes
add to counter
no
match direction
no
yes
e.o.d.
no
yes
left right
yes
no
clockwise
counter clockwise
exit

โปรแกรมหารหัสทิศทาง และจัดการพจนานุกรม

โปรแกรมส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สร้างรูปแบบทดแทนข้อมูลที่สุ่มได้ รูปแบบจะอยู่ในรูปของรหัสทิศทาง พร้อมทั้งส่วนจัดการพจนานุกรมรูปแบบอ้างอิง เพื่อให้รวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลรูปแบบ สามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น

1 การหารหัสทิศทาง
2 โครงสร้างพจนานุกรม
3 การจัดการพจนานุกรม
4 ตารางการแยกย่อยกลุ่ม

การสร้างรหัสทิศทางรูปแบบอ้างอิง

ส่วนประกอบที่สำคัญในการคำนวณหาความแตกต่างของรูปแบบคือ ความหักเหของทิศทางตามแนวการลากเส้น ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยรหัสทิศทาง ความแตกต่างนั้นได้มาจากความแตกต่างทิศทางที่เคลื่อนไปของพิกัดที่สุ่มได้ โดยใช้รหัสทิศทางของฟรีแมนแทนทิศทางที่เคลื่อนไปของพิกัดหนึ่งไปยังอีกพิกัดหนึ่ง ตามรูปที่ 3.13 ผังงานแสดงการหารหัสทิศทาง สามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น

1 หาทิศทางเริ่มต้นของรูปแบบ
2 หาทิศทางที่หักเห
3 รวบรวมรหัสทิศทางเข้าเป็นรูปแบบ

โครงสร้างพจนานุกรม

การจัดโครงสร้างพจนานุกรมรูปแบบอ้างอิงนั้น มีวิธีการจัดการโดยใช้โครงสร้างแบบไบนารีทรี เพื่อความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลของแต่ละรูปแบบ การจัดการจะรวมไปถึงการค้นหา เนื่องจากระบบรับรู้รูปแบบนี้เป็นระบบออนไลย์ โครงสร้างการเก็บข้อมูลจะต้องเอื้ออำนวยในการจัดเก็บ และค้นหาเพื่อรอรับการเพิ่มเติมของข้อมูลรูปแบบอ้าง

อิง จากโครงสร้างการเก็บข้อมูลแบบไบนารีทรี ตามรูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลรูปแบบอักษรไทย จะเห็นว่าสามารถค้นหาอักษรไทยใดๆ ได้ภายใน 7 ระดับภายใต้โครงสร้างไบนารีทรีสมดุลย์ รายละเอียดโครงสร้างแบ่งออกเป็นดัชนีย่อยที่ชี้ไปที่ข้อมูล ตามรูปที่ 3.15 แสดงดัชนีของโครงสร้างพจนานุกรม โครงสร้างพจนานุกรมสามารถแบ่งออกได้เป็นส่วนๆ ดังนี้

1 ส่วนดัชนีอักษรจะเก็บข้อมูล 4 ประเภท

1.1 รหัสอักษรไทย

1.2 ตำแหน่งสัมพันธ์ของส่วนบ่งขอบเขตข้อมูล เมื่อต้องการข้อมูลรูปแบบของรหัสอักษรนั้น

1.3 ตำแหน่งสัมพันธ์ของดัชนีอักษร เมื่อรหัสอักษรที่ต้องการมีค่าน้อยกว่าอักษรในดัชนีอักษรตำแหน่งปัจจุบัน

1.4 ตำแหน่งสัมพันธ์ของดัชนี เมื่อรหัสอักษรที่ต้องการมีค่ามากกว่าอักษรในดัชนีอักษรตำแหน่งปัจจุบัน

2 ส่วนบ่งขอบเขตข้อมูล จะรวบรวมข้อมูล 3 ประเภทเข้าด้วยกัน

2.1 ตำแหน่งสัมพันธ์ในส่วนข้อมูลรูปแบบจะชี้ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูลเสมอ

2.2 ขนาดรูปแบบ จะเป็นจำนวนของรหัสทิศทางที่ได้จากการประมวลผลความหักเหของการลากเส้น

2.3 ตำแหน่งสัมพันธ์ถัดไป จะชี้ไปที่ตำแหน่งสัมพันธ์ในส่วนบ่งขอบเขตข้อมูล สำหรับข้อมูลรูปแบบในชุดรหัสเดียวกัน ตำแหน่งสัมพันธ์นี้จะเป็นศูนย์เมื่อไม่มีรูปแบบในชุดเดียวกัน

3 ส่วนข้อมูลรูปแบบเป็นศูนย์รวมของข้อมูลรหัสทิศทางของแต่ละรูปแบบอ้างอิงรวมต่อกัน

การค้นหา จะเริ่มทำการค้นหาจากส่วนดัชนีอักษร โดยการเปรียบเทียบรหัส

อักษรไทยตรงตามที่ต้องการหรือไม่ เมื่อพบรหัสอักษรที่ต้องการจะนำข้อมูลตำแหน่งสัมพันธ์ส่วนบ่งชอบเซตข้อมูล เพื่อไปอ่านข้อมูลชุดที่ต้องการ ซึ่งอาจประกอบด้วยรูปแบบต้นแบบมากกว่าหนึ่งรูปแบบ

การเข้าถึงข้อมูลในพจนานุกรม

ตามที่โครงสร้างพจนานุกรมเป็นแบบไบนารีทรีนั้น ทำให้การเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็ว และมีวิธีการแน่นอน ข้อมูลทั้งพจนานุกรม และดัชนีจะเก็บในหน่วยความจำสำรองด้วย เมื่อต้องการใช้จะอ่านทั้งหมดเข้ามาอยู่ในหน่วยความจำ ตามรูปที่ 3.16 ผังงานแสดงการเข้าถึงข้อมูล สามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น

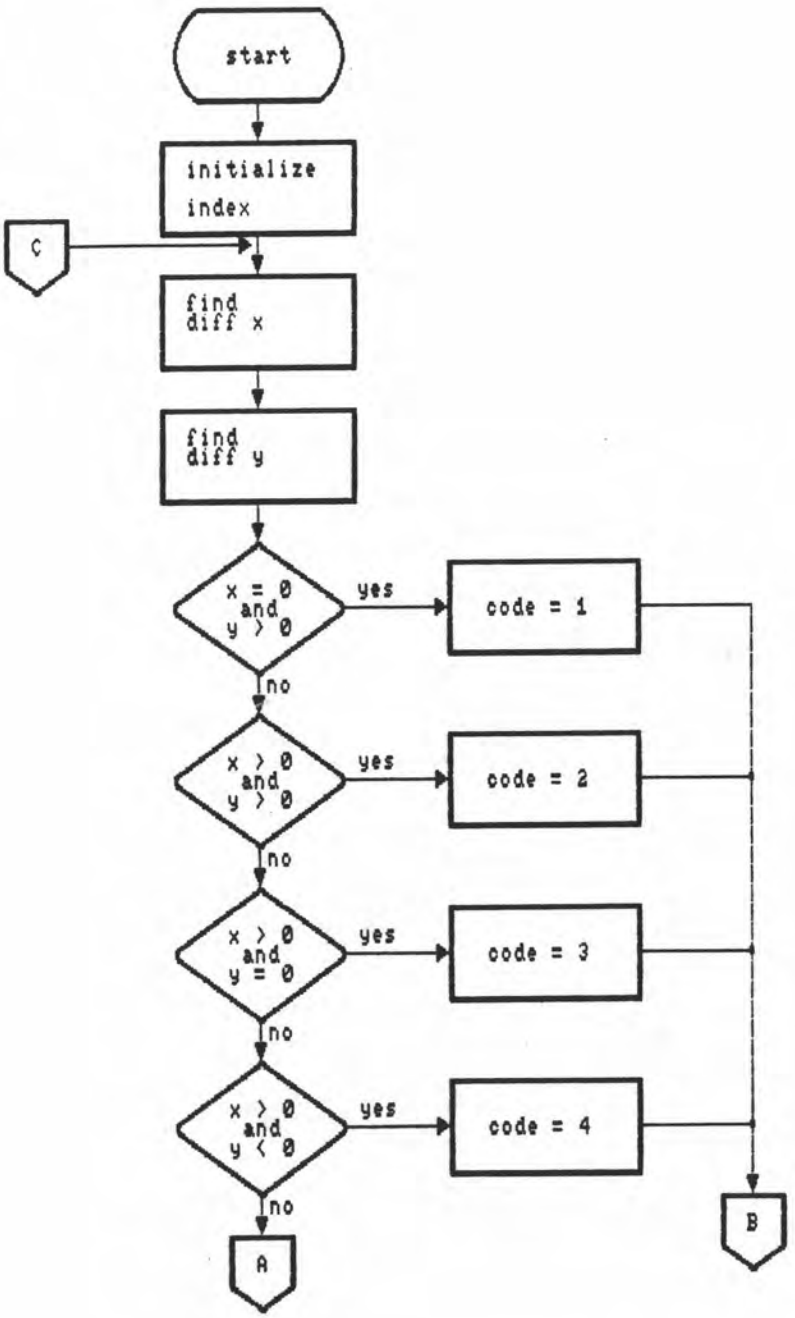
1 อ่านข้อมูลรูปแบบอ้างอิงแฟ้ม PATTERN.REF รวมเป็นพจนานุกรม
2 อ่านข้อมูลดัชนีแฟ้ม INDEX.REF รวมเป็นดัชนีข้อมูล
3 การกวาดตามไบนารีทรี เพื่อหาข้อมูล
4 การสร้างรูปแบบอักษรใหม่
5 การเพิ่มรูปแบบของอักษรที่มีอยู่
6 การดึงข้อมูลรูปแบบจากพจนานุกรม

การสร้างตารางแยกย่อยกลุ่ม

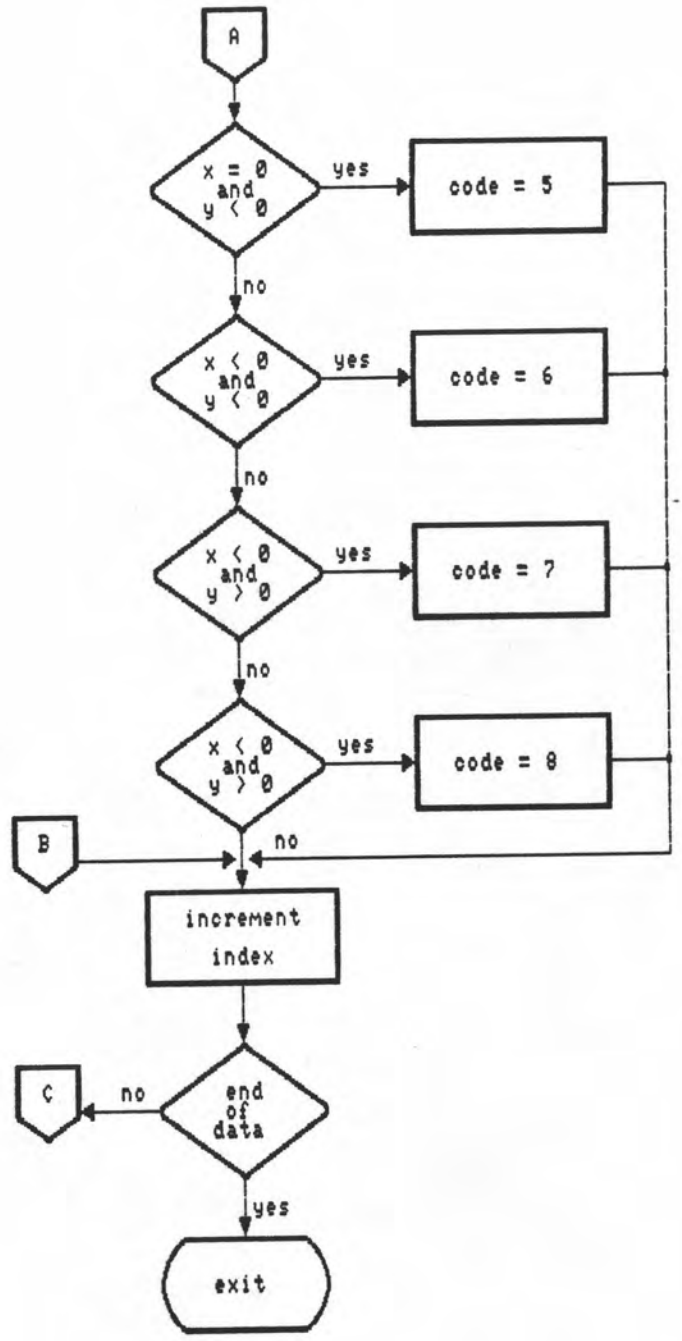
การรวบรวมรูปแบบอักษรเข้าเป็นกลุ่มย่อยที่มีลักษณะคล้ายคลึง เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์รูปแบบว่าอยู่ภายใต้กลุ่มย่อยรูปแบบใด เป็นการจำกัดขอบเขตของรูปแบบที่จะนำเสนอให้ลดลง ตามตารางที่ 3.2 แสดงกลุ่มข้อมูลอักษรไทยที่คล้ายคลึงกัน สามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น

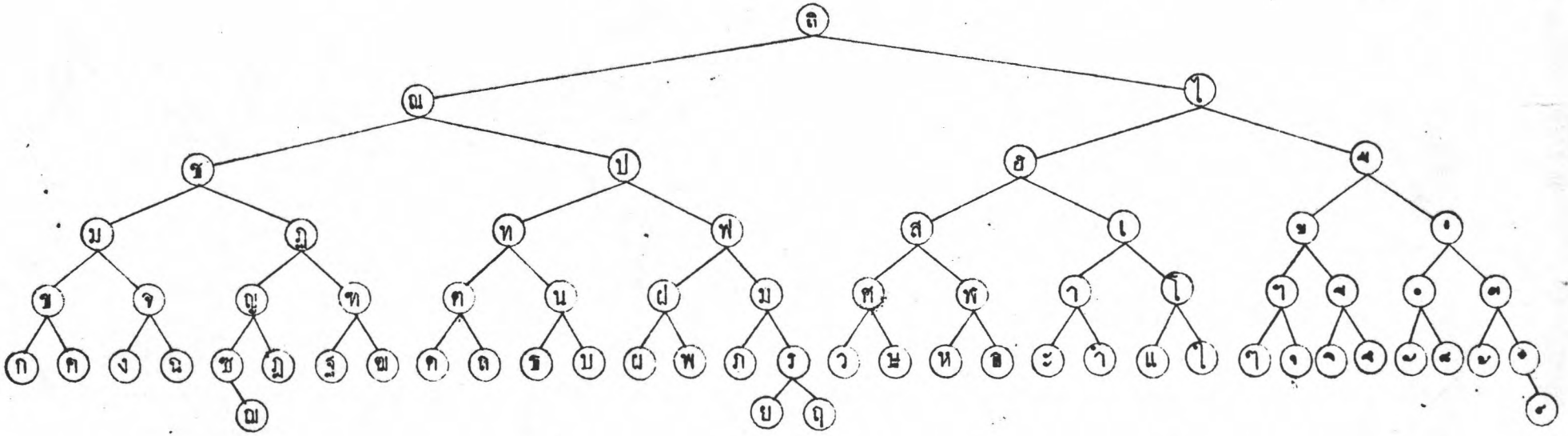
1 การหาข้อมูลแทนลักษณะเด่นรูปแบบ
2 การหากลุ่มย่อยรูปแบบ
3 ควบคุมการนำเสนอ

รูปที่ 3.13 ผังงานแสดงการหารหัสทิศทาง



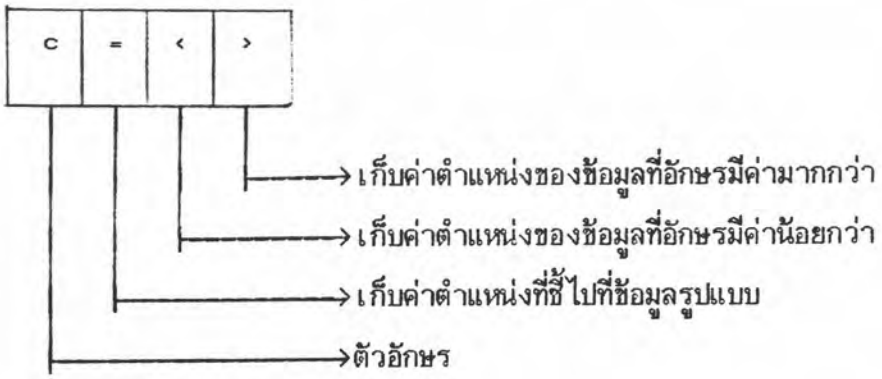
รูปที่ 3.13 ต่อ


A
x = 0 and y < 0
yes
code = 5
no
x < 0 and y < 0
yes
code = 6
no
x < 0 and y > 0
yes
code = 7
no
x < 0 and y > 0
yes
code = 8
B
no
increment index
C
no
end of data
yes
exit

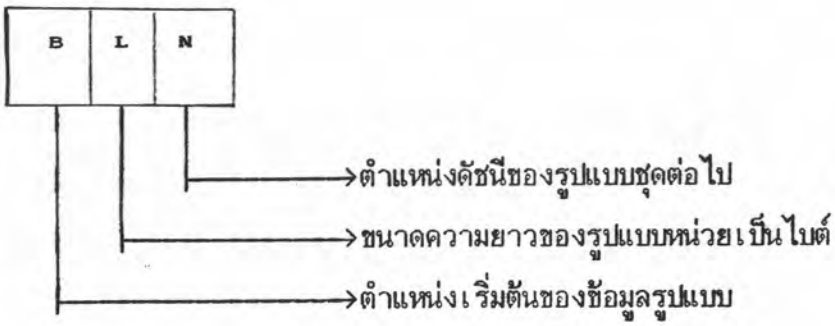


รูปที่ 3.14 โครงสร้างไบนารีทรีที่ใช้เก็บรูปแบบอักษรไทย

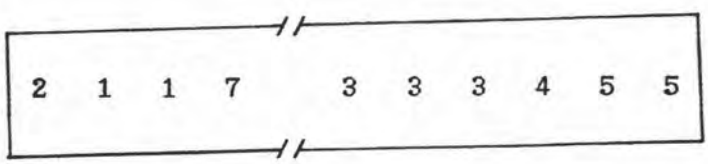
รูปที่ 3.15 โครงสร้างดัชนีของพจนานุกรม



(ก) โครงสร้างดัชนีอักษร



(ข) โครงสร้างดัชนีข้อมูล



(ค) ชุดข้อมูล

รูปที่ 3.15 ต่อ

ตำแหน่งเริ่มต้น

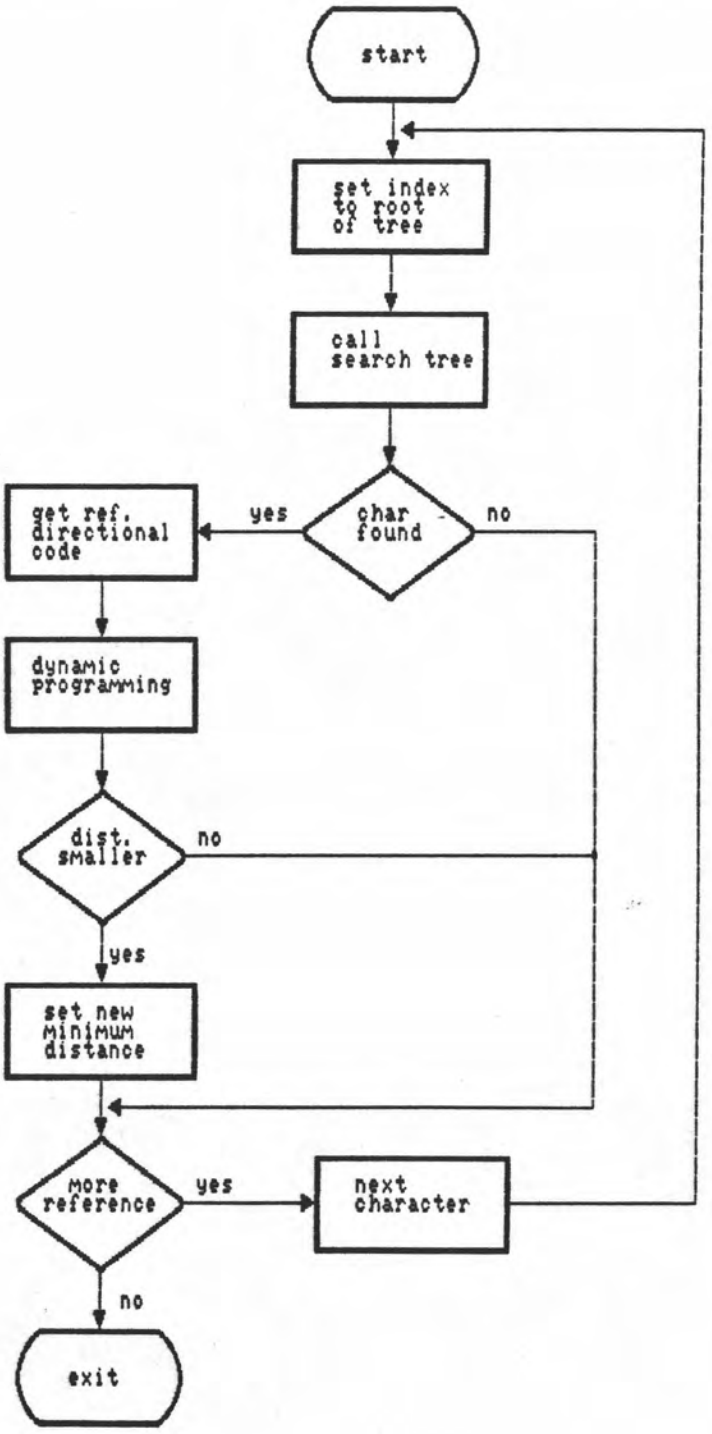
1	ล	1	2	3
2	ณ	2	4	6
3	ไ	3	5	7
4	ช			
5	บ			
.				
.				
.				

1	1		3
2	2		
3	155		
4			
5			
.			
.			
.			

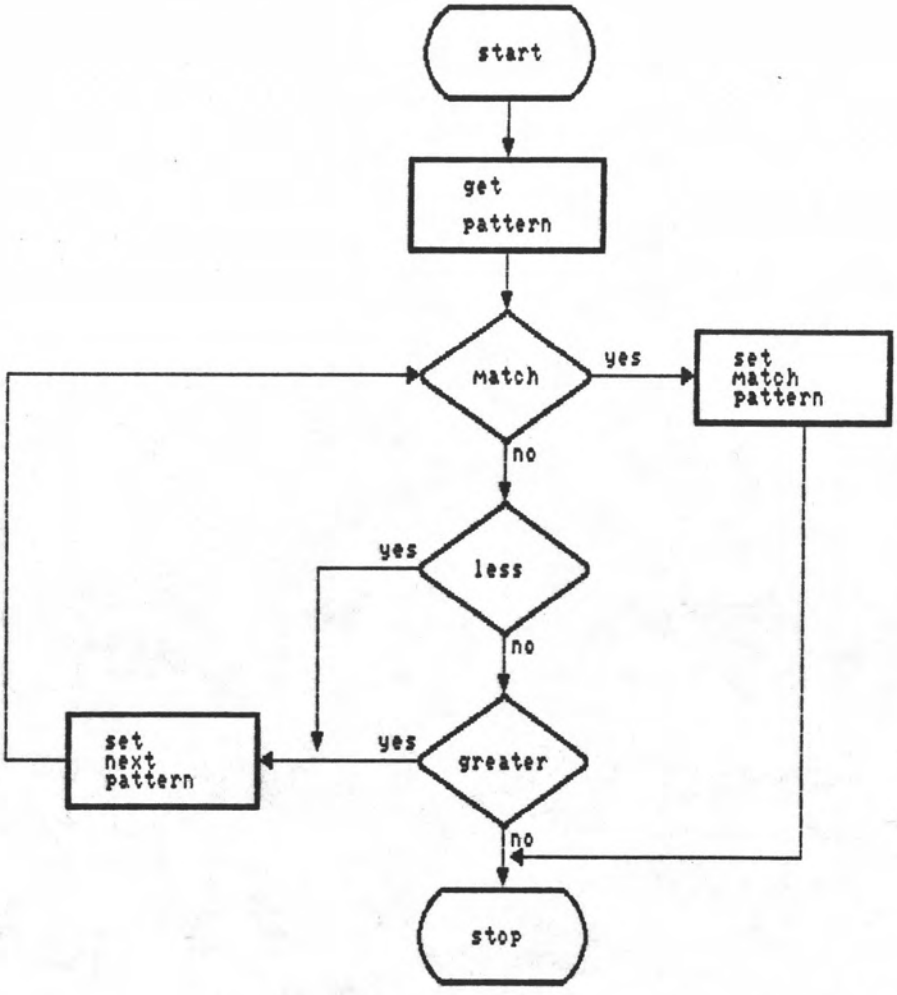
1	2
2	1
3	1
155	7
.	
.	
.	

(ค) โครงสร้างรวมของพจนานุกรม

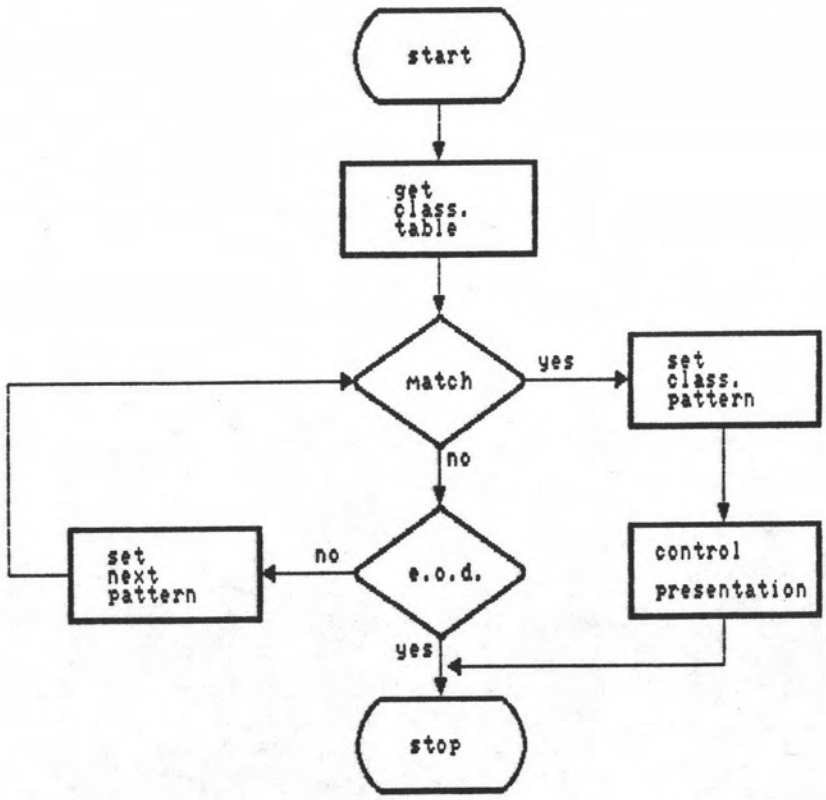
รูปที่ 3.16 ผังงานแสดงการค้นหาข้อมูลในพจนานุกรมรูปแบบอ้างอิง



รูปที่ 3.16 ต่อ


start
get
pattern
match
yes
set
match
pattern
no
less
yes
no
greater
yes
set
next
pattern
no
stop

รูปที่ 3.17 ผังงานแสดงการค้นหาด้วยตารางการแยกย่อยกลุ่มอักษร



ตารางที่ 3.2 แสดงกลุ่มตัวอักษรที่มีลักษณะคล้ายกัน

ลำดับ	กลุ่ม	อักษรในกลุ่ม	ลักษณะอักษร
1	55	ไ ใ	เส้นล่างขึ้นบน หัวหมุนตาม ระดับบน
2	5D	ล เ แ	เส้นล่างขึ้นบน หัวหมุนตาม
3	5F	จ ฉ	เส้นกลางขึ้นบน หัวหมุนตาม
4	7B	ง	เส้นบนลงล่าง หัวหมุนตาม
5	7D	ล	เส้นล่างขึ้นกลาง หัวหมุนตาม
6	7F	จ ฉ	เส้นกลางจบกลาง หัวหมุนตาม
7	9D	ว	เส้นล่างขึ้นกลาง หัวหมุนทวน
8	9F	อ	เส้นกลางขึ้นบน หัวหมุนทวน
9	BD	ว	เส้นล่างขึ้นบน หัวหมุนทวน
10	BF	อ ว	เส้นล่างขึ้นกลาง หัวหมุนทวน
11	153	ช ซ ป ฟ ฬ	เส้นบนขึ้นบน หัวหมุนตาม ระดับบน
12	155	ส โ	เส้นล่างขึ้นบน หัวหมุนตาม ระดับบน
13	157	ศ	เส้นกลางขึ้นบน หัวหมุนทวน ระดับบน
14	15B	ข ธ น บ พ ม ษ ฆ	เส้นบนจบบน หัวหมุนตาม
15	15D	ณ ญ ฌ เ แ	เส้นล่างขึ้นบน หัวหมุนตาม
16	15B	ฐ ฒ	เส้นกล่างขึ้นบน หัวหมุนตาม
17	165	ญ ฤ	เส้นล่างลงล่าง หัวหมุนตาม ระดับล่าง
18	167	ฐ	เส้นกลางขึ้นบน หัวหมุนตาม ระดับล่าง
19	16B	ฑ ท ห า ๆ	เส้นบนลงล่าง หัวหมุนตาม
20	16D	ก ถ	เส้นล่างจบล่าง
21	16F	ด ต า ๆ	เส้นกลางลงล่าง
22	17B	ษ	เส้นบนจบบน หัวหมุนตาม
23	193	ฝ	เส้นบนขึ้นบน หัวหมุนทวน ระดับบน
24	197	ฮ ศ	เส้นกลางขึ้นบน หัวหมุนทวน ระดับบน
25	19B	ผ ย ะ	เส้นบนจบบน หัวหมุนทวน
26	19D	ร	เส้นล่างขึ้นบน หัวหมุนทวน
27	19F	ธ	เส้นกลางขึ้นบน ไม่หมุนหัว
28	1A5	ฏ ฏ	เส้นล่างไปล่าง หัวหมุนทวน ระดับล่าง
29	1AA	ะ	เส้นกลางจบกลาง
30	1AD	ภ ก	เส้นล่างจบล่าง
31	1AF	ค ฯ	เส้นกลางลงล่าง หัวหมุนทวน

โปรแกรมการรับรู้รูปแบบลายมือเขียน

การรับรู้รูปแบบลายมือเขียนได้ประยุกต์ไดนามิคโปรแกรมมิ่ง เพื่อการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างรูปแบบทดสอบ และรูปแบบอ้างอิงในพจนานุกรม รวมถึงการประมวลผลภาคจัดการผลลัพธ์ สำหรับการจัดรูปแบบที่มีการเขียนแบบยกปากกา รูปแบบคล้ายคลึง รวมถึงการตรวจสอบอัตราความแตกต่างของรูปแบบ

โปรแกรมไดนามิคโปรแกรมมิ่ง

การประยุกต์ทฤษฎีไดนามิคโปรแกรมมิ่งในการหาความแตกต่างระหว่างรูปแบบทดสอบ และรูปแบบอ้างอิง ตามรูปที่ 3.18 ผังงานแสดงการประมวลผลรูปแบบด้วยไดนามิคโปรแกรมมิ่ง โดยแบ่งการประมวลผลออกเป็น

1 ค่าความแตกต่างระหว่างทิศทางที่เปลี่ยนไปของรหัสทิศทางสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1 โดยจะเป็นค่าสมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่ารหัสทิศทาง a_i และ b_j ซึ่งค่าผลต่างจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4

$$d(c) = d(i,j) = | a_i - b_j | \qquad (3.1)$$

2 การคำนวณหาค่าความแตกต่างตามฟังก์ชั่นแวร์ปปิ้งที่มีการกำหนดขอบเขตขนาดความชันให้เท่ากับ 1 ตามสมการที่ 3.2

$$P = n / m = 1 \qquad (3.2)$$

กำหนดขอบเขตความชันในการหาความแตกต่างของอักษรลายมือเขียนที่มีขนาดการลากเส้นต่างกันได้ สมการที่ 3.3 จะใช้ในการคำนวณหาค่าความแตกต่างสะสมตามฟังก์ชั่นแวร์ปปิ้ง

$$g(i,j) = \min \begin{cases} g(i-1,j-2) + 2d(i,j-1) + d(i,j) \\ g(i-1,j-1) + 2d(i,j) \\ g(i-2,j-1) + 2d(i-1,j) + d(i,j) \end{cases} \quad (3.3)$$

3 การชดเชยค่าความแตกต่างสะสม ด้วยการให้น้ำหนักค่าความแตกต่างตามจำนวนเวกเตอร์ของรูปแบบ

4 เลือกรูปแบบที่มีความแตกต่างสะสมน้อยที่สุด เพื่อนำเสนอในภาคจัดการผลลัพธ์

ภาคจัดการผลลัพธ์

โปรแกรมส่วนสุดท้ายของวงจรระบบรับรู้รูปแบบ ซึ่งจะเป็นการนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้ โดยทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าความแตกต่าง เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการรับรู้รูปแบบกลุ่มพิเศษ โดยสามารถแยกการตรวจสอบออกเป็น

1 การตรวจการเขียนอักษรยกปากกา

เนื่องจากอักษรไทยบางตัวอักษรประกอบด้วยเส้นมากกว่าหนึ่งเส้นในการเขียน จึงต้องทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ให้ถูกต้อง อักษรบางตัวของอักษรเส้นเดียวมีลักษณะคล้ายอักษรที่ประกอบด้วยหลายเส้น เพราะฉนั้นเมื่อผลลัพธ์ที่ได้เป็นอักษรที่คล้ายอักษรที่ประกอบด้วยเส้นมากกว่าหนึ่งก็จะทำการตรวจสอบทวน ตามรูปที่ 3.4.2 แสดงผังงานของการประมวลผลตรวจสอบรูปแบบ ล บ ค ี เ

2 การตรวจสอบอัตราส่วนขนาด

เป็นข้อยกเว้นสำหรับอักษรบ้างอักษรที่มีลักษณะคล้ายกันแต่มีความแตกต่างกันในส่วนของอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง อักษรเหล่านี้ได้แก่ ข ย ช ช บ ป ผ ฝ ฟ พ โดยจะมีการกำหนดอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงไว้ล่วงหน้าสำหรับอักษรเหล่านั้น เมื่อผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้เป็นรูปแบบอักษรที่กล่าวมาแล้ว แต่มิได้สัดส่วนตามอัตราส่วนที่กำหนดก็จะทำการประมวลผลสำหรับรูปแบบคล้ายคลึง เพื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนและความแตกต่างตามขอบเขตที่กำหนดไว้

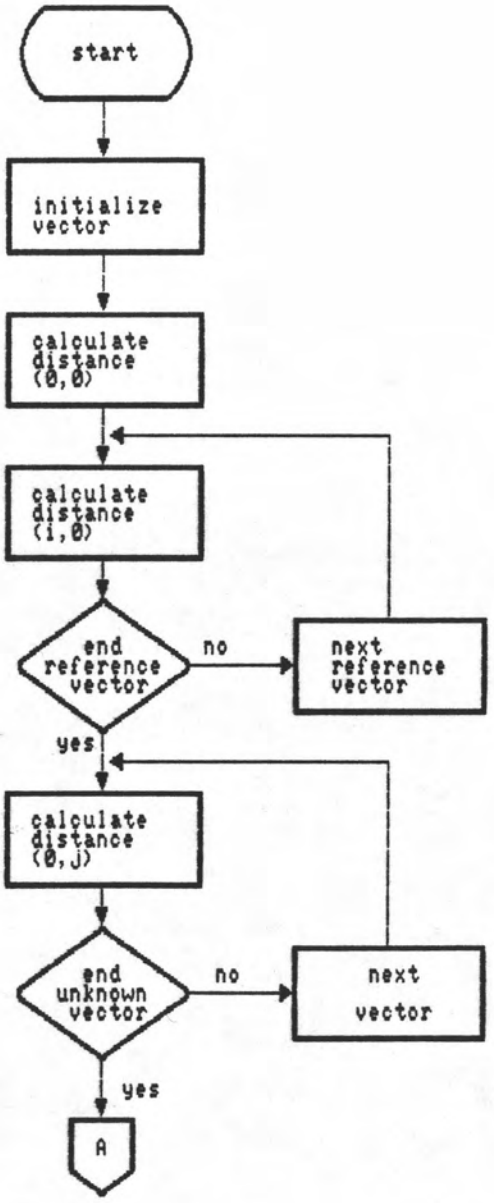
3 ตรวจสอบค่าความแตกต่าง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณความแตกต่าง จะเป็นค่าน้อยที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบอ้างอิงอื่นๆ ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอนว่าเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ จึงมีการกำหนดค่าความแตกต่างมากที่สุดที่จะยอมรับได้ ถ้าผลลัพธ์ที่ได้สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ จะถือว่ารูปแบบที่ประกอบขึ้นผ่านทางดิจิไตเซอร์นั้นมีความแตกต่างจากรูปแบบอ้างอิงจนไม่สามารถตรวจรู้ได้

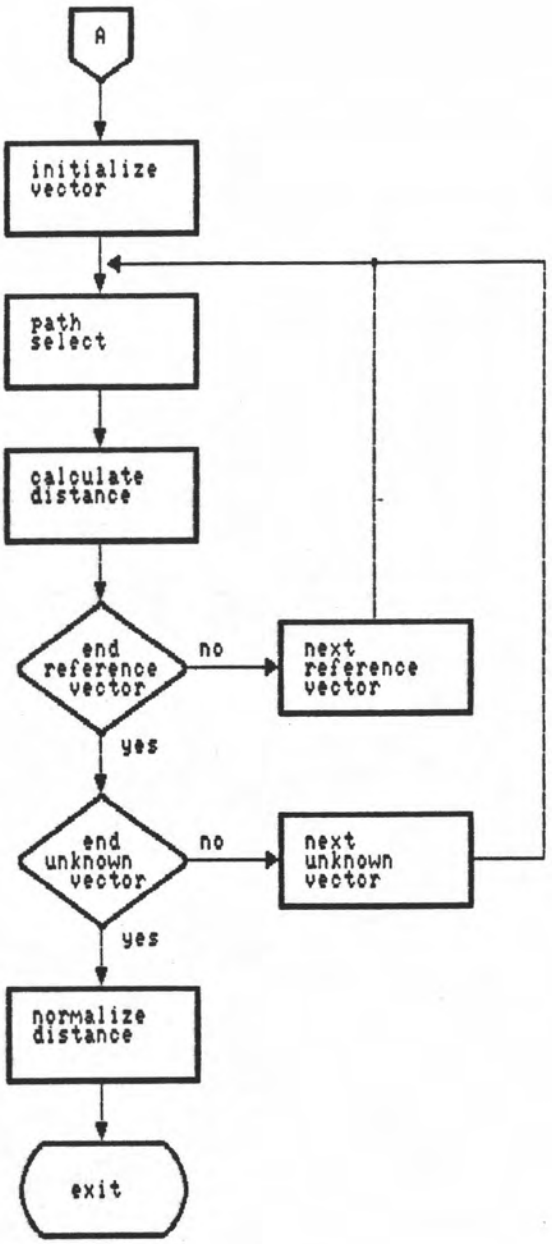
4 การนำเสนอผลลัพธ์

หลังจากที่ผ่านการประมวลผลจนสามารถทราบถึงความคล้ายคลึงของรูปแบบทดสอบต่อรูปแบบอ้างอิง ผลลัพธ์จะแสดงที่จอภาพพร้อมค่าความแตกต่าง

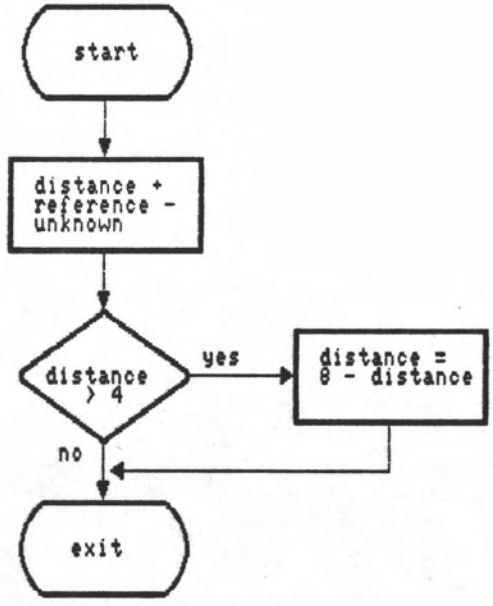
รูปที่ 3.18 ผังงานแสดงส่วนควบคุมของไดนามิคโปรแกรมมิ่ง



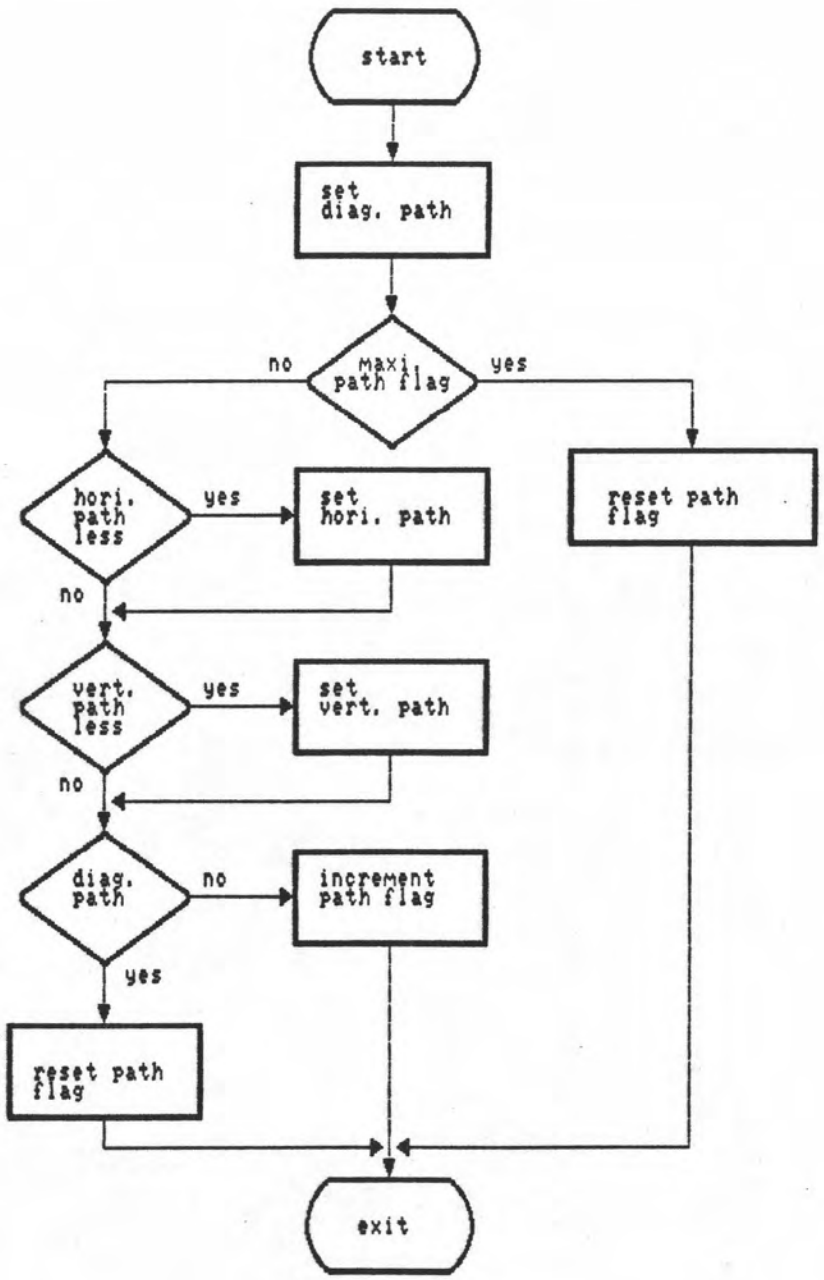
รูปที่ 3.18 ต่อ


A
initialize vector
path select
calculate distance
end reference vector
no
next reference vector
yes
end unknown vector
no
next unknown vector
yes
normalize distance
exit

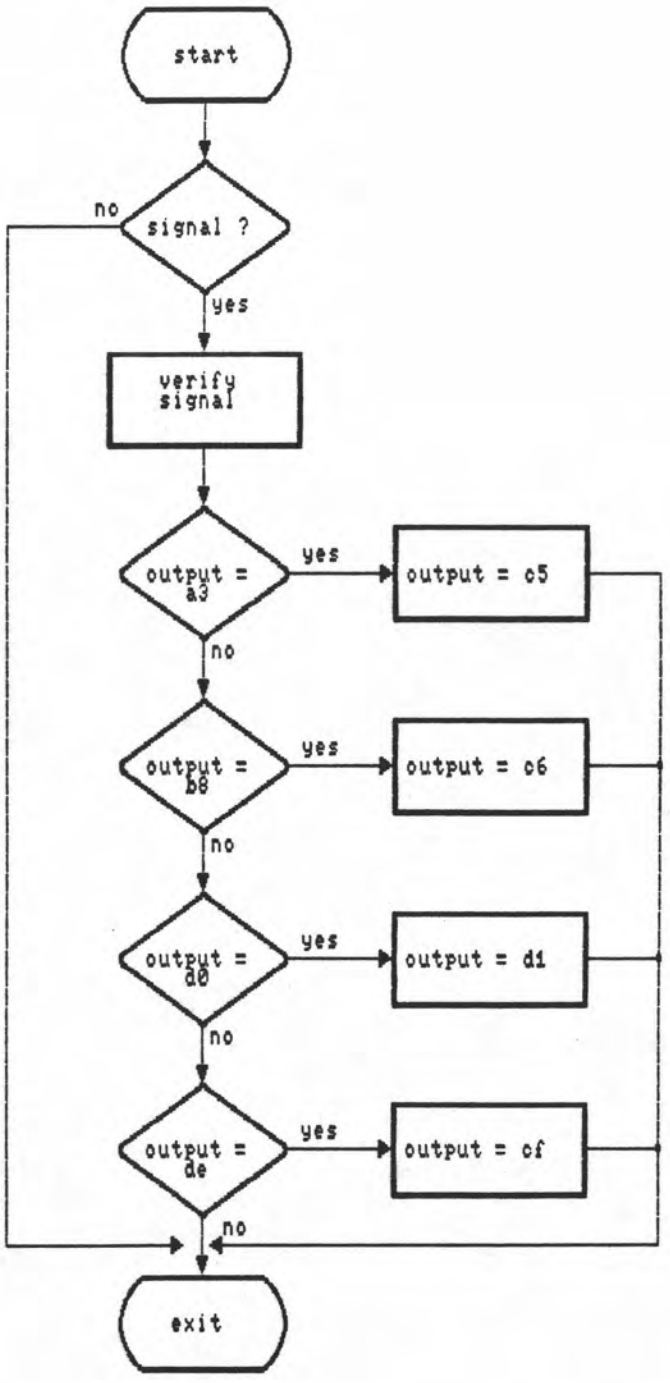
รูปที่ 3.19 ผังงานแสดงการคำนวณหาความแตกต่างของรหัสทิศทาง



รูปที่ 3.20 ผังงานแสดงการควบคุมการเคลื่อนไปของทิศทาง



รูปที่ 3.21 ผังงานแสดงการตรวจสอบการเขียนแบบยกปากกา



รูปที่ 3.22 ผังงานแสดงการกำหนดขอบเขตค่าความแตกต่างสูงสุด