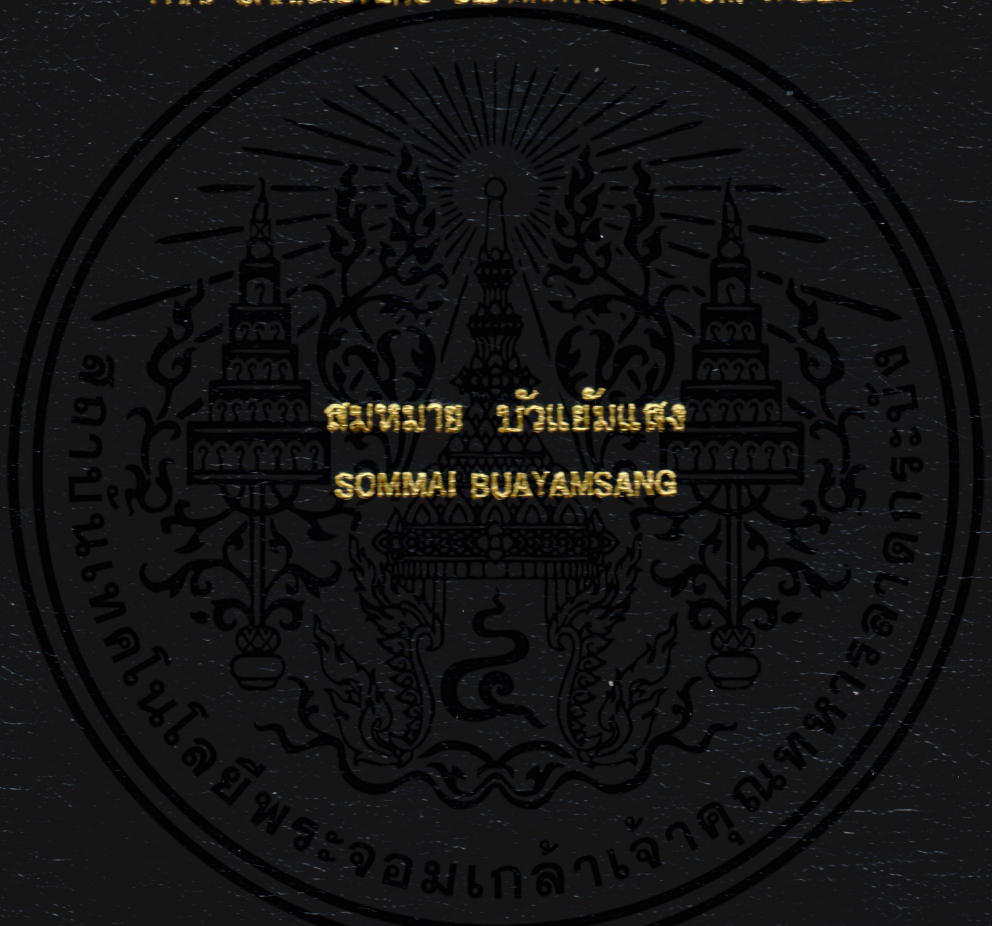
การจดจำตัวพิมพ์อักษรไทยจากตารางโดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร

EDGE SYNTACTIC PATTERN RECOGNITION FOR THAI CHARACTERS SEPARATION FROM TABLE

สมหมาย บัวแย้มแสง
SOMMAI BUAYAMSANG



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-847-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจดจำตัวพิมพ์อักษรไทยจากตารางโดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร

EDGE SYNTACTIC PATTERN RECOGNITION FOR THAI CHARACTERS SEPARATION FROM TABLE

สมหมาย บัวแย้มแสง
SOMMAI BUAYAMSANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-847-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.36303
วัน, เดือน, ปี - 7 ส.ค. 2543

EDGE SYNTACTIC PATTERN RECOGNITION FOR THAI CHARACTERS SEPARATION FROM TABLE

SOMMAI BUAYAMSANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2000

ISBN 974-622-847-1

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจดจำตัวพิมพ์อักษรไทยจากตารางโดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร

EDGE SYNTATIC PATTERN RECOGNITION FOR THAI CHARACTERS SEPARATION FROM TABLE

ชื่อนักศึกษา นายสมหมาย บัวแย้มแสง

รหัสประจำตัว 36061054

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชม กิ้มปาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วิศิษฐ์	หิรัญกิตติ	
ผศ.ดร.บุญธีร์	เครือตราชู	
ผศ.สมศักดิ์	มิตะถา	
รศ.ดร.ชม	กิ้มปาน	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 13 มีนาคม 2543 **ในเวลา** 12.00-13.00 น. **เป็นต้นไป**

สถานที่สอบ ณ ตึก 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 21 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือประโยชน์การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจดจำตัวพิมพ์อักษรไทยจากตารางโดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร
นักศึกษา	นายสมหมาย บัวแย้มแสง
รหัสประจำตัว	36061054
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ชม กิ้มปาน

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการจดจำตัวพิมพ์อักษรไทย โดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างของขอบตัวอักษร ซึ่งจะแตกต่างกันในตัวอักษรแต่ละตัว ข้อมูลที่นำมาประมวลผลไม่จำเป็นต้องเป็นตัวอักษรทั้งหมดอาจจะมีข้อมูลภาพ หรือข้อมูลตารางรวมอยู่ด้วยก็ได้ ขั้นแรกข้อมูลจะถูกนำมาผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพเพื่อให้ได้โครงสร้างของขอบตัวอักษร พิจารณาลักษณะโครงสร้างของขอบตารางและขอบตัวอักษร โดยการติดตามรอยขอบเมื่อเคลื่อนที่ไปแต่ละจุด จะกำหนดทิศโดยใช้รหัสลูกโซ่ในแต่ละครั้งที่เคลื่อนที่ไปจนกว่าจะวนกลับมายังจุดแรก นำรหัสลูกโซ่ที่ได้มาผ่านการวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะเด่นที่สำคัญ ได้แก่ขนาดและทิศทางของเส้น จำนวนและตำแหน่งส่วนหัว จำนวนและตำแหน่งจุดปลาย นำค่าเหล่านี้มารวมกันเป็นรหัสของตัวอักษร แยกรหัสของตารางออกไป นำรหัสของตัวอักษรแต่ละตัวที่หาได้ ไปเปรียบเทียบกับรหัสมาตรฐานที่เก็บไว้เพื่อกำหนดว่าเป็นตัวอักษรใด

จากการทดลองกับตัวอักษรขนาด 12 และ 14 ทั้งหมด 8 รูปแบบได้แก่ รูปแบบ Angsana New, รูปแบบ Browallia New, รูปแบบ Cordia New, รูปแบบ Dillenia UPC, รูปแบบ Eucrosia UPC, รูปแบบ Angsana UPC, รูปแบบ Jasmine UPC, และรูปแบบ Kodchiang UPC จำนวน 4200 ตัวอักษร จดจำได้ถูกต้อง 3959 ตัวอักษร ผิดพลาด 241 ตัวอักษร ความถูกต้อง 94.26 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Edge Syntactic Pattern Recognition for Thai Characters Separation from Table
Student	Mr. Sommai Buayamsang
Student ID.	36061054
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chom Kimpan

ABSTRACT

This thesis presents the edge syntactic pattern recognition for Thai characters by analyzing edges of each character. The data obtained from analysis results in large number of pixels which has formed the edges of many characters. The number of pixels obtained may not result in the required characters only. It also results from table or picture attached to the document. Firstly, the edges of a character's structure will be detected through the edge detection method in a clockwise direction. The structure consists of many lines (edge) which are formed by a number of pixels. The direction in which each pixel has formed the edge of a structure will be detected by contour method to result in a chain code. This chain code will be analyzed for its concentrate feature of the character, which refer to the size and direction of lines, quantity and position of the beginning and end-point. Where by a number of pixels move along the edge of a character's structure, which will result in a code for each character. Any code obtained, which does not related with Thai character, picture and table will be ignored. Each code of character obtained will be compared with the standard code to recognize the character for each code.

This system has been tested with 5 fonts, Angsana New, Browallia New, Cordia New, Dillenia UPC, and Eucrosia UPC, Angsana UPC, Jasmine UPC, Kodchiang UPC about 4200 characters. This method can recognize correctly 3959 characters but wrongly 241 characters. That means it achieves approximately 94.26 % accuracy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะได้รับคำแนะนำเป็นอย่างดีจาก รศ.ดร. ชม กิ้มปาน ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลา เพื่อให้คำแนะนำและปรึกษาแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ แม่ชีจงดี ที่คอยตักเตือน และให้กำลังใจเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ สมพร, น้องสมจิต, น้องแหม่ม และเพื่อน ๆ ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยสยาม ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ในการทำงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้

สมหมาย บัวแย้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....1

1.3 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย.....2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

1.5 โครงร่างของวิทยานิพนธ์.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่นำมาใช้.....4

2.1 การติดตามรอยขอบของภาพ (Contour following).....4

2.2 การแทนขอบตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่.....5

2.3 การหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง.....7

2.4 การแยกตารางออกจากตัวอักษร.....8

2.5 การอธิบายลักษณะโครงสร้างของเส้นโดยใช้ PDL.....9

2.6 การแปลงรหัสขอบเป็นรหัสโครงสร้าง.....11

2.7 ภาษาเชิงแบบ.....22

2.7.1 นิยามคำศัพท์พื้นฐาน.....22

2.7.2 การจำแนกประเภทของไวยากรณ์.....23

2.8 การอธิบายลักษณะโครงสร้างตัวอักษรด้วย PDL.....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การวิเคราะห์โครงสร้างขอบ.....31

3.1 การลดจำนวนรหัสลูกโซ่.....31

3.2 การแยกตัวอักษรที่มีหางออกจากตัวอักษรปกติ.....32

3.3 การหาตำแหน่งจุดปลาย.....32

3.4 การแบ่งกลุ่มตัวอักษรจากตำแหน่งส่วนหัว.....36

3.5 การหาโครงสร้างเส้นตัวอักษร.....38

3.6 การแยกตัวอักษรที่คล้ายกัน.....47

3.6.1 การหาส่วนหยักของตัวอักษร.....47

3.6.2 การหาทิศทางของหัวตัวอักษร.....48

3.7 การกำหนดรหัสมาตรฐานของตัวอักษร.....50

3.8 การเปรียบเทียบรหัสโครงสร้างที่ได้กับรหัสมาตรฐาน.....51

3.9 การเปรียบเทียบชนิดตัวอักษร.....52

บทที่ 4 ผลการทดลองและปัญหาที่พบ.....57

4.1 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....57

4.2 ผลการทดลอง.....58

บทที่ 5 สรุปงานวิจัย.....62

5.1 บทสรุป.....62

5.2 บทวิจารณ์.....62

5.3 ข้อเสนอแนะ.....63

เอกสารอ้างอิง.....64

ประวัติผู้เขียน.....65

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงผลการวิเคราะห์.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ตำแหน่งของจุด P0 ถึง P8 4

2.2 ตัวอักษรที่ผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพ.....5

2.3 รหัสลูกโซ่แสดงทิศทางของเส้น.....5

2.4 ตัวอย่างการใช้รหัสกำหนดทิศแทนขอบของอักษร "ก".....6

2.5 จุดศูนย์ถ่วงของตัวอักษร.....7

2.6 ตัวอย่างข้อมูลตัวอักษรที่อยู่ในตาราง.....8

2.7 ข้อมูลตัวอักษรหลังผ่านการลบขอบตาราง.....9

2.8 การเชื่อมต่อเส้นในลักษณะต่าง ๆ.....9

2.9 ตัวอย่างโครงสร้างของตัวอักษร F และ E 10

2.10 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ก".....11

2.11 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ก".....11

2.12 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "บ".....12

2.13 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "บ".....12

2.14 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "จ".....13

2.15 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "จ".....13

2.16 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ญ".....14

2.17 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ญ".....14

2.18 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ฌ".....15

2.19 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ฌ".....15

2.20 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ท".....16

2.21 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ท".....16

2.22 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ).....17

2.23 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ).....17

2.24 โครงสร้างขอบพื้นฐานของเครื่องหมาย "+".....18

2.25 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของเครื่องหมาย "+".....18

2.26 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ห".....19

2.27 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ห".....19

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.28 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร “ห” (ลักษณะพิเศษ).....20

2.29 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร “ห” (ลักษณะพิเศษ).....20

2.30 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร “ผ”.....20

2.31 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร “ผ”.....21

2.32 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร “ผ” (ลักษณะพิเศษ).....21

2.33 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร “ผ” (ลักษณะพิเศษ).....21

2.34 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ก”.....24

2.35 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “บ”.....25

2.36 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “จ”.....25

2.37 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ญ”.....26

2.38 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ฌ”.....26

2.39 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ท”.....27

2.40 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ท” (ลักษณะพิเศษ).....27

2.41 โครงสร้างต้นไม้ของเครื่องหมาย “+”.....28

2.42 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ห”.....28

2.43 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ห” (ลักษณะพิเศษ).....29

2.44 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ผ”.....29

2.45 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร “ผ” (ลักษณะพิเศษ).....30

3.1 การปรับแต่งข้อมูลในหนึ่งทิศทาง.....31

3.2 ข้อมูลตัวอักษรหลังจากตัดหางออก.....32

3.3 ลักษณะจุดปลายของข้อมูล.....33

3.4 ตำแหน่งของตัวอักษรหลังจากลบขอบนอกออก.....36

3.5 การแบ่งพื้นที่ตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วน.....36

3.6 โครงร่างต้นไม้แสดงการจัดกลุ่มตัวอักษร.....37

3.7 โครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรกลุ่มที่ 1.....37

3.8 โครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรกลุ่มที่ 2.....38

3.9 ลักษณะโครงสร้างขอบของตัวอักษร “ก”.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหาต่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.10 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร “ก”.....40

3.11 ตำแหน่งการประมาณทิศทางของเส้น.....41

3.12 ลักษณะโครงสร้างขอบของสระ “า”.....42

3.13 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของสระ “า”.....42

3.14 ลักษณะโครงสร้างขอบตัวอักษร “ธ”.....43

3.15 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร “ธ”.....44

3.16 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร “บ”.....46

3.17 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร “ง”.....46

3.18 ลักษณะความแตกต่างของตัวอักษร “ด” และ “ต”.....47

3.19 ลักษณะความแตกต่างของตัวอักษร “ม” และ “ฆ”.....48

3.20 ลักษณะความแตกต่างของตัวอักษร “ถ” และ “ภ”.....49

3.21 ลักษณะความแตกต่างของตัวอักษร “ค” และ “ด”.....49

3.22 แผนผังต้นไม้การเปรียบเทียบรหัสตัวอักษร.....51

3.23 ขั้นตอนการจดจำตัวอักษร “ฟ”.....51

4.1 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำตัวอักษรไทยซึ่งเป็นตัวพิมพ์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างมักจะทำการวิเคราะห์หลังจากนำตัวอักษรไปผ่านการทำให้บาง (thinning) [2] เพื่อทำให้ลายเส้นมีความหนาเพียง 1 จุด (pixel) หลังจากนั้นจึงนำโครงสร้างของลายเส้นที่ได้มาวิเคราะห์ ข้อดี คือ เป็นการลดจำนวนข้อมูลลงทำให้วิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น แต่ข้อเสียคือถ้าตัวอักษรมีขนาดใหญ่ถึงใหญ่มากจะเสียเวลานานในการทำตัวอักษรให้บางและหลังจากทำให้บางแล้ว ก็มักจะมีข้อมูลผิดพลาดหรือส่วนเกินต่าง ๆ เช่น มีกิ่งเกิดขึ้นกับบริเวณส่วนโค้ง ซึ่งต้องนำมาแก้ไขก่อนส่งไปวิเคราะห์ต่อไปทำให้ยิ่งต้องใช้เวลามากขึ้น

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งานวิจัยของ สนธยา เมรินทร์ เรื่องการศึกษาการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีซินแทกติก ในขั้นตอนการทำตัวอักษรให้บางจะเกิดปัญหาส่วนหัวของตัวอักษรบางตัวหายไป และเส้นด้านบนของสระ "อือ" ผิดพลาดกลายเป็นสระ "อี" ในงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีขั้นตอนการทำให้บางก็มักจะเกิดปัญหาในลักษณะข้างต้น

สำหรับงานวิจัยนี้อาศัยหลักการที่ว่าก่อนที่จะมีการวิเคราะห์ตัวอักษรใด ๆ จะต้องมีการคัดลอกตัวอักษรนั้น ๆ ออกมาโดยการหาขอบ (edge) ของตัวอักษรให้ได้ก่อน ขอบของตัวอักษรแต่ละตัวจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดังนั้นแทนที่จะนำตัวอักษรไปทำให้บางก่อนแล้วจึงพิจารณาโครงสร้าง เราก็จะพิจารณาโครงสร้างจากขอบของตัวอักษรเลย จากนั้นนำโครงสร้างที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโครงสร้างมาตรฐานของตัวอักษรแต่ละตัวที่เก็บไว้เพื่อจะได้รู้ว่าเป็น ตัวอักษรตัวใด วิธีนี้เมื่อนำไปใช้กับอักษรที่มีโครงสร้างที่ต่อเนื่องไม่ขาดช่วงและไม่มีบางส่วนของลายเส้นที่ติดกันจนทำให้โครงสร้างผิดไป พบว่ามีความผิดพลาดต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 สามารถหารหัสโครงสร้างของขอบภาพจากข้อมูลภาพ 2 ระดับ (binary) ได้

1.2.2 แยกข้อมูลที่เป็นตัวอักษร ตาราง และรูปภาพออกจากกันโดยพิจารณาจากรหัสขอบภาพได้

1.2.3 วิเคราะห์โครงสร้างตัวอักษรจากรหัสขอบตัวอักษรได้

1.2.4 แบ่งกลุ่มตัวอักษรจากการพิจารณาจำนวน และตำแหน่งส่วนหัวของตัวอักษรได้

1.2.5 แยกตัวอักษรที่มีความคล้ายกันเช่น "ค,ด" , "ด,ต" , "ช,ซ" ได้

1.2.6 แก้ปัญหาตัวอักษรที่มีหางยาวติดกับสระบน เช่นคำว่า "ปัญ" , "ฟัง" , "ป้อง" , "ฝ้า" ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.7 สามารถหาข้อมูลโครงสร้างรวมของตัวอักษร จากตำแหน่งส่วนหัว ตำแหน่งจุดปลาย ทิศทางและความยาวของเส้นได้

1.3 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

1.3.1 ทฤษฎีการหาขอบภาพ [1] เป็นกระบวนการทำให้ข้อมูลภาพเหลือเพียงขอบ เพื่อหาโครงสร้างขอบโดยใช้การไต่ขอบ จากนั้นแทนรหัสขอบด้วยรหัสลูกโซ่ (chain code) [1] นำรหัสที่ได้มาผ่านขั้นตอนการลดรูปรหัส และการหาตำแหน่งจุดปลาย

1.3.2 ทฤษฎีการแปลงรหัสขอบเป็นรหัสโครงสร้างตัวอักษรซึ่งเป็นหัวใจหลักของงานวิจัยนี้

1.3.3 ทฤษฎีไวยากรณ์ภาษา [1]ใช้ในการกำหนดไวยากรณ์โครงสร้างตัวอักษร และไวยากรณ์ของรหัสมาตรฐาน

1.3.4 ทฤษฎีออโตเมตา (automata) [1] เพื่อใช้ในกระบวนการจดจำ โดยเป็นการตรวจสอบรหัสโครงสร้างที่หาได้กับรหัสมาตรฐานว่าเป็นตัวอักษรใด

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้กับข้อมูลที่เป็นตัวอักษรไทยซึ่งเป็นตัวพิมพ์เท่านั้น โดยจะมีเฉพาะตัวอักษร หรือตัวอักษรอยู่ภายในตารางก็ได้ [3] ตัวอักษรหมายถึงตัวพยัญชนะตั้งแต่ "ก-ฮ" สระและวรรณยุกต์ทั้งหมด รวมถึงตัวเลขด้วย รูปแบบของตัวอักษรใช้มาตรฐานของไมโครซอฟท์เวิร์ดขนาด 14 ขึ้นไป สำหรับการแก้ปัญหาในกรณีข้อมูลที่จะนำมาประมวลผลไม่สมบูรณ์ เช่นเกิดปัญหาตัวอักษรติดกัน จะแก้ไขเฉพาะกรณีตัวอักษรติดกับสระบนเท่านั้น เช่น คำว่า "ปัญหา" , "ฟัง" , "ฝัน" , "ป้อง" , "ฟ้อง" เป็นต้น

1.5 โครงร่างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่นำมาใช้

2.1 การติดตามรอยขอบของภาพ (Contour following)

2.2 การแทนขอบตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่

2.3 การหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง

2.4 การแยกตารางออกจากตัวอักษร

2.5 การอธิบายลักษณะโครงสร้างของเส้นโดยใช้ PDL

2.6 การแปลงรหัสขอบเป็นรหัสโครงสร้าง

2.7 ภาษาเชิงแบบ

2.7.1 นิยามคำศัพท์พื้นฐาน

2.7.2 การจำแนกประเภทของไวยากรณ์

2.8 การอธิบายลักษณะโครงสร้างตัวอักษรด้วย PDL

บทที่ 3 การวิเคราะห์โครงสร้างขอบ

3.1 การลดจำนวนรหัสลูกโซ่

3.2 การแยกตัวอักษรที่มีหางออกจากตัวอักษรปกติ

3.3 การหาตำแหน่งจุดปลาย

3.4 การแบ่งกลุ่มตัวอักษรจากตำแหน่งส่วนหัว

3.5 การหาโครงสร้างเส้นตัวอักษร

3.6 การแยกตัวอักษรที่คล้ายกัน

3.6.1 การหาส่วนหยักของตัวอักษร

3.6.2 การหาทิศทางของหัวตัวอักษร

3.7 การกำหนดรหัสมาตรฐานของตัวอักษร

3.8 การเปรียบเทียบรหัสโครงสร้างที่ได้กับรหัสมาตรฐาน

บทที่ 4 ผลการทดลองและปัญหาที่พบ

4.1 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปงานวิจัย

5.1 บทสรุป

5.2 บทวิจารณ์

5.3 ข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่นำมาใช้

2.1 การติดตามรอยขอบของภาพ (Contour following)

การติดตามรอยขอบของภาพถูกนำมาใช้เพื่อแยก และคัดลอกส่วนของรูปภาพใด ๆ ออกมาในที่นี้คือรูปของตัวอักษรต่าง ๆ ข้อมูลภาพที่จะนำมาประมวลผลต้องอยู่ในรูปของข้อมูลสองระดับ (binary) คือจะแสดงด้วยตัวเลข 0 กับ 1 เท่านั้นโดยจุดที่มีค่าเป็น 1 แทนส่วนที่เป็นภาพและจุดที่มีค่าเป็น 0 แทนส่วนที่เป็นช่องว่างบนกระดาษหรือพื้นเบื้องหลัง

ก่อนจะทำการติดตามรอยขอบ เรานำข้อมูลภาพมาผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพ เริ่มโดยการกวาดภาพทางแนวนอนจากมุมบนซ้ายไปยังมุมล่างขวา มีเงื่อนไขของจุดที่เป็นขอบว่า จุดนั้นต้องเป็นส่วนหนึ่งของขอบภาพและอย่างน้อย 1 จุดในแนวตั้งหรือแนวนอนต้องไม่ใช่ส่วนของภาพ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการลอจิกได้คือ

$$X=P_0 \bullet (P_1 \bullet P_3 \bullet P_5 \bullet P_7) \bullet (P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8) \quad (2.1)$$

เมื่อ X เป็นจุดที่หาขอบภาพที่อยู่ตำแหน่งเดียวกับจุด P_0 และ P_1 , P_2 ,..., P_8 เป็นจุดที่อยู่โดยรอบ มีตำแหน่งดังรูปที่ 2.1

P_4	P_3	P_2
P_5	P_0	P_1
P_6	P_7	P_8

รูปที่ 2.1 ตำแหน่งของจุด P_0 ถึง P_8

เมื่อใช้สมการกับทุกๆจุดภาพ จะได้ขอบของตัวอักษรถ้าเป็นอักษรที่ไม่มีหัวจะมีเฉพาะขอบนอก แต่ถ้าเป็นอักษรที่มีหัวจะได้ขอบในของหัวตัวอักษรด้วยตัวอย่างดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

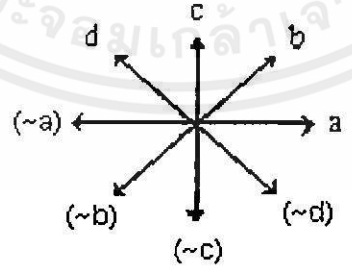
ตารางการแบ่งกลุ่ม

รูปที่ 2.2 ตัวอักษรที่ผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพ

การทำงานของเทคนิคการติดตามรอยขอบของภาพเป็นการเดินไต่ไปตามขอบระหว่างส่วนที่เป็นรูปภาพ (image) กับส่วนที่เป็นพื้นหลัง (back-ground) ซึ่งจะตรวจกวาดไปทุก ๆ จุดภาพโดยจะเริ่มจากจุดมุมซ้ายบนของข้อมูลภาพตรวจกวาดไปในทิศทางจากซ้ายไปขวาและเลื่อนลงมา จากบนลงล่าง เมื่อตรวจกวาดมาพบจุดภาพใด ๆ ที่มีค่าของจุดภาพเป็น 1 ก็จะเปลี่ยนลักษณะการเคลื่อนที่ไปยังจุดภาพจุดถัดไปเสียใหม่ โดยมีเงื่อนไขการเคลื่อนที่ดังนี้ เมื่อจุดที่อยู่ปัจจุบันเป็นจุดภาพหรือมีค่าของจุดภาพเป็น 1 ให้ย้อนกลับมาทางซ้าย 1 ตำแหน่ง จากนั้นเดินวนรอบจุดนั้นในทิศตามเข็มนาฬิกา ถ้าพบจุดที่เป็นพื้นหลังหรือมีค่าเป็น 0 ก็ให้เดินวนตามเข็มไปเรื่อยๆจนกว่าจะพบจุดที่มีค่าเป็น 1 เมื่อพบแล้วให้ย้อนกลับมาทางซ้าย 1 ตำแหน่ง และวนหาจุดภาพต่อไปในลักษณะเดิม การเคลื่อนที่จะสิ้นสุดลงเมื่อจุดที่อยู่ปัจจุบันเป็นจุดเดียวกัน กับจุดเริ่มต้น

2.2 การแทนขอบตัวอักษรด้วยรหัสลูกโซ่

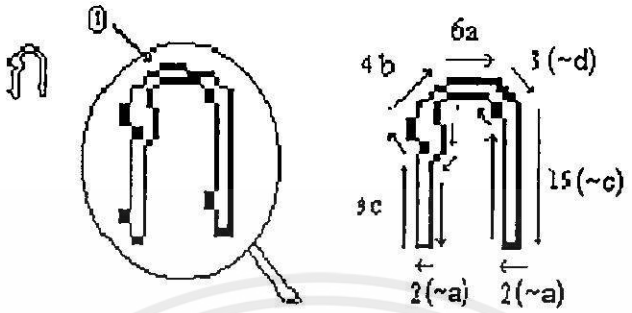
จากการติดตามรอยขอบภาพตัวอักษร เมื่อพบจุดที่เป็นเนื้อตัวอักษรจะทำการจดจำตำแหน่งนั้น ๆ ไว้แล้วเทียบกับจุดเดิมว่ามีทิศไปทางใด โดยใช้รหัสลูกโซ่ (chain code) เป็นรหัสแทนทิศทางของลายเส้นดังรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 รหัสลูกโซ่แสดงทิศทางของ เส้น

โดย a , b , c , d เป็น 4 ทิศอ้างอิงและ (~a) , (~b) , (~c) , (~d) เป็นทิศที่อยู่ตรงกันข้ามตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการใช้รหัสกำหนดทิศแทนขอบของอักษร 'ก'

จากรูปที่ 2.4 สมมุติว่าตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งแรกที่ตรวจกวาดพบ จะเริ่มนำรหัสลูกโซ่ตั้งแต่ตำแหน่งนี้และตำแหน่งต่อ ๆ ไปมาเรียงกันจนวนกลับมายังตำแหน่งเดิมคือตำแหน่งที่ 1 ดังนั้นจะได้รหัสลูกโซ่ของอักษร 'ก' คือ

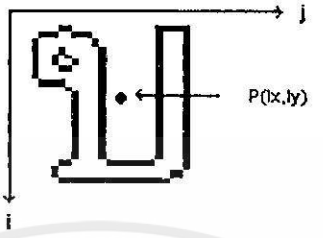
รหัสลูกโซ่'ก' = 3a+(~d)+3a+3(~d)+15(~c)+2(~a)+2c+d +c+b+9c+3d +4(~a)+2(~b)+(~c)+(~d)+2
(~c)+2(~b)+9(~c)+(~b)+d+c+d+ b+7c+(~b)+d+(~a)+2c+4b+a+b

แต่ในการตรวจกวาดข้อมูลภาพไม่จำเป็นต้องพบตำแหน่งที่ 1 เสมอไปเราอาจตรวจพบจุดใดจุดหนึ่งก็ได้ในบริเวณส่วนบนของตัวอักษร ทำให้ได้รหัสเริ่มต้นที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งไม่เป็นปัญหาแต่อย่างใด เพราะในการเก็บข้อมูลขอบตัวอักษร จะเก็บในลักษณะลิงก์ลิสแบบวงกลม คือนำรหัสตัวสุดท้ายมาต่อกับรหัสตัวแรก ดังนั้นรหัสลูกโซ่ที่ได้จะมีค่าเท่ากันเสมอไม่ว่าจะเริ่มตรวจกวาดจากตำแหน่งใด รหัสลูกโซ่ของแต่ละตัวอักษร จะถูกเก็บไว้ใช้ในการวิเคราะห์หารหัสตัวอักษรในขั้นตอนต่อไป จากการวิ่งไต่ขอบตัวอักษรนอกจากจะได้รหัสลูกโซ่ของขอบแล้ว จะนำตำแหน่งของแต่ละจุดมาคำนวณหาค่าความกว้าง ความสูง และค่าจุดศูนย์ถ่วงซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการหาตำแหน่งของตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (Center of gravity)

ในการบอกตำแหน่งของภาพใด ๆ เราสามารถใช้ค่าจุดศูนย์ถ่วง (Center of gravity) เป็นตัวบอกได้



รูปที่ 2.5 จุดศูนย์ถ่วงของตัวอักษร

จากรูปที่ 2.5 แสดงส่วนที่เป็นขอบของตัวอักษร โดยค่า i , j เป็นจำนวนจุดภาพในแถว (row) และแนวสดมภ์ (column) ตามลำดับ ตำแหน่งของแถวและสดมภ์ ที่เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงหาได้จากสมการ

$$I_x = \frac{\sum_i \sum_j j\, f(i,j)}{\sum_i \sum_j f(i,j)}$$

$$I_y = \frac{\sum_i \sum_j i\, f(i,j)}{\sum_i \sum_j f(i,j)} \qquad (2.2)$$

เมื่อ f(i,j) เป็นฟังก์ชันแสดงจุดภาพแบบ 2 ระดับ (binary) ใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การแยกตารางออกจากตัวอักษร

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างข้อมูลตัวอักษรที่อยู่ในตาราง

ในการจดจำตัวอักษรถ้าข้อมูลตัวอักษรอยู่ในตาราง ตัวอย่างดังรูปที่ 2.6 เราจำเป็นต้องแยกตารางและตัวอักษรออกจากกัน โดยใช้การวิเคราะห์โครงสร้างของขอบเป็นหลัก ในกรณีที่เป็นขอบของตารางจะเห็นได้ว่ามีโครงสร้าง หรือทางเดินของขอบเพียงสี่ทิศทางคือ a , c , (~a) , และ (~c) ทางเดินในสี่ทิศนี้จะถูกใช้เป็นตัวตรวจสอบขอบของตาราง

กำหนดให้ E แทนขอบของตาราง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$E = n_1a + n_2c + n_3(\sim a) + n_4(\sim c) \qquad (2.3)$$

เมื่อ E แทนโครงสร้างของขอบตาราง

n_1, n_2, n_3, n_4 แทนระยะทางในแต่ละทิศ โดย $n_1 \approx n_3$ และ $n_2 \approx n_4$

ถ้าไม่ได้โครงสร้างที่มีความสัมพันธ์ตามนี้ จะถือว่าเป็นข้อมูลภาพหรือข้อมูลตัวอักษร เมื่อได้ข้อมูลขอบของตารางแล้ว จะลบทั้งขอบนอกและขอบในออกไป ซึ่งจะเหลือเพียงตัวอักษรเรียงเป็นกลุ่มอยู่ดังรูปที่ 2.7 จากนั้นนำไปเข้าขั้นตอนการหารหัสตัวอักษรต่อไป

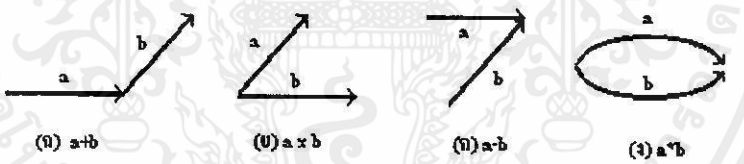
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการแบ่งกลุ่ม
ไม่มีหัว การ
มี 1หัว วงรผบคพ
มี 2หัว นมฒหณฌ

รูปที่ 2.7 ข้อมูลตัวอักษรหลังผ่านการลบขอบตาราง

2.5 การอธิบายลักษณะโครงสร้างของเส้นโดยใช้ PDL

ในการอธิบายลักษณะโครงสร้างของเส้นจะใช้วิธี PDL (Picture description language) ซึ่งเป็นวิธีการอธิบายลักษณะและทิศทางของเส้นด้วยปริมาณเวคเตอร์ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อเส้นในลักษณะต่าง ๆ

โดย a + b มีความหมายเท่ากับ ส่วนหัวของเวกเตอร์ a ต่อกับส่วนหางของเวกเตอร์ b
a x b มีความหมายเท่ากับ ส่วนหางของเวกเตอร์ a ต่อกับส่วนหางของเวกเตอร์ b
a - b มีความหมายเท่ากับ ส่วนหัวของเวกเตอร์ a ต่อกับส่วนหัวของเวกเตอร์ b
a * b มีความหมายเท่ากับ ส่วนหางของเวกเตอร์ a ต่อกับส่วนหางของเวกเตอร์ b และส่วนหัวของเวกเตอร์ a ต่อกับส่วนหัวของเวกเตอร์ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวยากรณ์ที่ใช้สร้างประโยคในระบบ PDL เป็น Context free grammar

โดย $G = (V_N, V_T, P, S)$

$V_N = \{S, M\}$

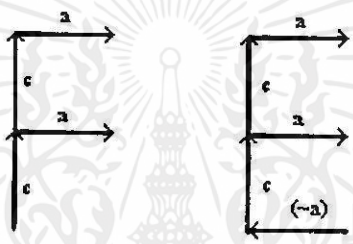
$V_T = \{a, b, c, d, \sim, +, -, x, *\}$

กฎการแปลง P :

1. $S \rightarrow a$ 2. $S \rightarrow b$ 3. $S \rightarrow c$ 4. $S \rightarrow d$

5. $M \rightarrow +$ 6. $M \rightarrow -$ 7. $M \rightarrow x$ 8. $M \rightarrow *$

9. $M \rightarrow \sim$ 10. $S \rightarrow (\sim S)$ 11. $S \rightarrow SMS$ 12. $S \rightarrow (SMS)$



(ก) อักษร F (ข) อักษร E

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโครงสร้างของตัวอักษร F และ E

จากรูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างเส้นของตัวอักษร F และ E ซึ่งสามารถกำหนดรหัสในระบบ PDL ได้ดังนี้

กรณีอักษร "F"

$S \Rightarrow SMS$ (ใช้กฎข้อ 11)

$\Rightarrow c+(SMS)$ (ใช้กฎข้อ 4 , 5 , 12)

$\Rightarrow c+(a\ x\ (SMS))$ (ใช้กฎข้อ 1 , 7 , 12)

$\Rightarrow c+(a\ x\ (c+a))$ (ใช้กฎข้อ 4 , 5 , 1)

กรณีอักษร "E"

$S \Rightarrow SMS$ (ใช้กฎข้อ 11)

$\Rightarrow (\sim S)+(SMS)$ (ใช้กฎข้อ 10 , 5 , 12)

$\Rightarrow (\sim a)+(c+(SMS))$ (ใช้กฎข้อ 1 , 4 , 12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Rightarrow$ (~a)+(c+(a x (SMS))) (ใช้กฎข้อ 1 , 7 , 12)

$\Rightarrow$ (~a)+(c+(a x (c+a))) (ใช้กฎข้อ 4 , 5 , 1)

2.6 การแปลงรหัสขอบเป็นรหัสโครงสร้าง

รหัสขอบที่ได้จากการวิ่งไต่ขอบตัวอักษร จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาโครงสร้างหลัก หรือทิศทางของเส้นที่เป็นส่วนประกอบของตัวอักษร เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้นจะแสดงตัวอย่างลักษณะการแปลงรหัสเริ่มจากกลุ่มอักษรที่มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ จนถึงตัวอักษรที่มีโครงสร้างซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับดังนี้

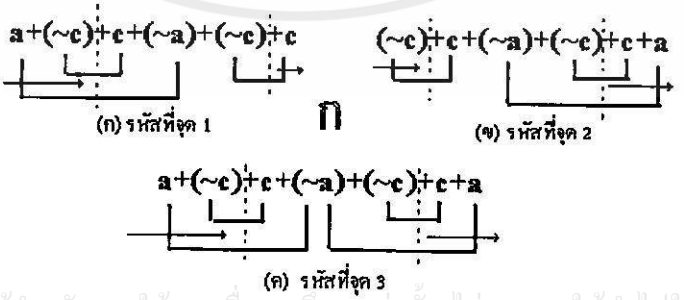
ตัวอย่างที่ 1 อักษร "ก" ลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.10 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้วซึ่งมี 3 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

รูปที่ 2.10 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ก"

รหัส "ก" = a+(~c)+c+(~a)+(~c)+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "ก" = (~c)+c+(~a)+(~c)+c+a (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)

รหัส "ก" = a+(~c)+c+(~a)+(~c)+c+a (รหัสเริ่มต้นที่จุด 3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ก"

จากรูปที่ 2.11 รหัสที่ได้จะถูกจับคู่เพื่อหาจุดปลายเป็นหลัก รหัสที่อยู่ด้านข้างทั้งซ้ายขวาจะจับคู่กันได้พอดี การรวมรหัสให้ถือจุดปลายที่ 2 เป็นหลัก ใช้รหัสด้านขวาของจุดปลายโดยเรียงจากด้านในไปหาด้านนอก ต่อด้วยรหัสของจุดปลายที่ 1 แต่ใช้รหัสด้านซ้ายของจุดปลายโดยเรียงจากด้านนอกมาหาด้านใน

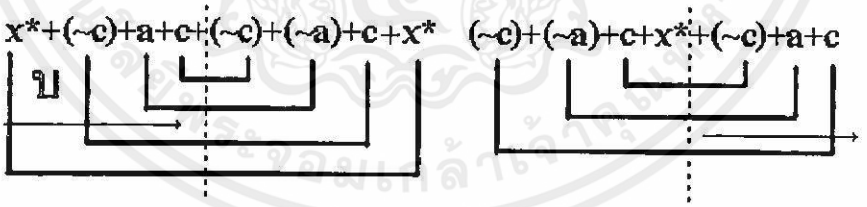
ดังนั้น รหัส "ก" = c+a+(~c) ซึ่งรหัสจะตรงกันไม่ว่าจะเริ่มต้นที่จุดใด

ตัวอย่างที่ 2 อักษร "บ" ลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.12 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้ว ซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

รูปที่ 2.12 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "บ"

รหัส "บ" = x*+(~c)+a+c+(~c)+(~a)+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "บ" = (~c)+(~a)+c+x*+(~c)+a+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)



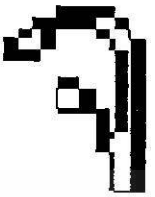
รูปที่ 2.13 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "บ"

กรณีอักษร "บ" เป็นอักษรที่มีหัวซึ่งรหัสที่อยู่บริเวณส่วนหัวแทนด้วย x* เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสให้ถือส่วนหัวหรือตำแหน่ง x* เป็นหลักต่อด้วยรหัสของจุดปลายโดยเรียงจากซ้ายไปขวา

ดังนั้น รหัส "บ" = H*+(~c)+a+c

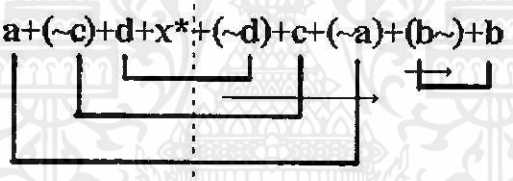
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3 อักษร "จ" ลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "จ"

รหัส "จ" = a+(~c)+d+x*+(~d)+c+(~a)+(b~)+b



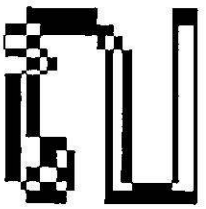
รูปที่ 2.15 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "จ"

กรณีอักษร "จ" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสให้ถือส่วนหัวหรือตำแหน่ง H* เป็นหลักต่อด้วยรหัสของจุดปลายโดยเรียงจากซ้ายไปขวาเช่นเดียวกับอักษร "บ" ต่อด้วยรหัสจากจุดปลายที่ 2 โดยเรียงจากด้านในไปหาด้านนอก ทิศทางจากขวาไปซ้าย

ดังนั้น รหัส "จ" = H*+(~d)+c+(~a)+(~b)

ตัวอย่างที่ 4 อักษร "ญ" ลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.16 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้วซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

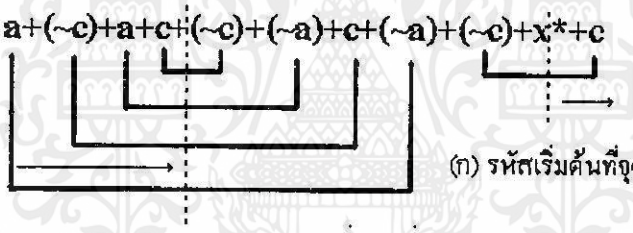
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



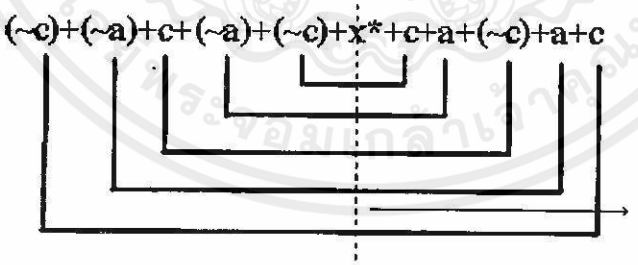
รูปที่ 2.16 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ญ"

รหัส "ญ" = a+(~c)+a+c+(~c)+(~a)+c+(~a)+(~c)+x*+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "ญ" = (~c)+(~a)+c+(~a)+(~c)+x*+c+a+(~c)+a+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)



(ก) รหัสเริ่มต้นที่จุด 1



(ข) รหัสเริ่มต้นที่จุด 2

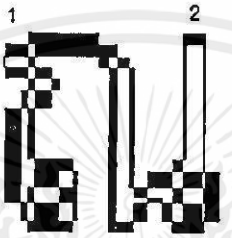
รูปที่ 2.17 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ญ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีอักษร "ญ" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร ซึ่งทั้ง 2 กรณีได้รหัสตรงกัน

ดังนั้น รหัส "ญ" = H*+c+a+(~c)+a+c

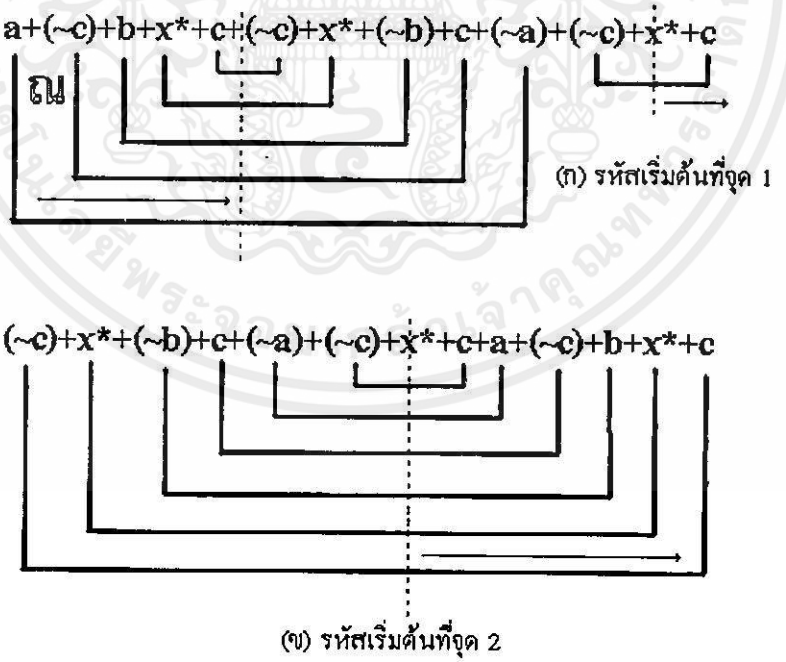
ตัวอย่างที่ 5 อักษร "ณ" ลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.18 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้วซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ



รูปที่ 2.18 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ณ"

รหัส "ณ" = a+(~c)+b+x*+c+(~c)+x*+(~b)+c+(~a)+(~c)+x*+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "ณ" = (~c)+x*+(~b)+c+(~a)+(~c)+x*+c+a+(~c)+b+x*+c (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ณ"

กรณีอักษร "ฌ" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร ซึ่งทั้ง 2 กรณีได้รหัสตรงกัน

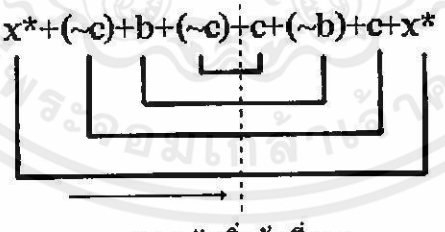
ดังนั้น รหัส "ฌ" $= H^*_1+c+a+(\sim c)+b+H^*_2+c$

ตัวอย่างที่ 6 อักษร "ท" ลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.20 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้ว ซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

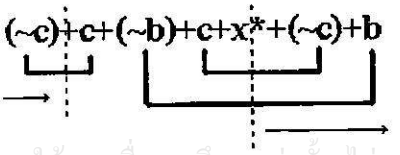
รูปที่ 2.20 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ท"

รหัส "ท" $= x^*+(\sim c)+b+(\sim c)+c+(\sim b)+c+x^*$ (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "ท" $= (\sim c)+c+(\sim b)+c+x^*+(\sim c)+b$ (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)



(ก) รหัสเริ่มต้นที่จุด 1



(ข) รหัสเริ่มต้นที่จุด 2

รูปที่ 2.21 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ท"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กรณีอักษร "ท" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร ซึ่งทั้ง 2 กรณีได้รหัสตรงกัน

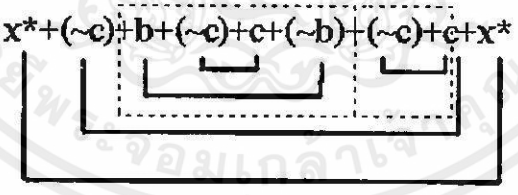
ดังนั้น รหัส "ท" = H*+(~c)+b+(~c)

ตัวอย่างที่ 7 อักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ) มีโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.22 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้วซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

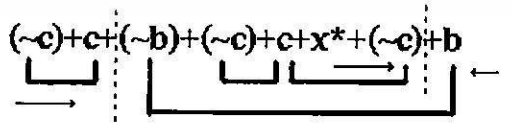
รูปที่ 2.22 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ)

รหัส "ท" = x*+(~c)+b+(~c)+c+(~b)+(~c)+c+x* (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "ท" = (~c)+c+(~b)+(~c)+c+x*+(~c)+b (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)



(ก) รหัสเริ่มต้นที่จุด 1



(ข) รหัสเริ่มต้นที่จุด 2

รูปที่ 2.23 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36303

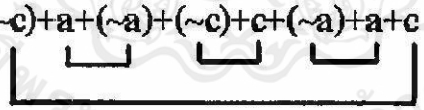
กรณีอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ) เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร ซึ่งทั้ง 2 กรณีได้รหัสตรงกัน

ดังนั้น รหัส "ท" = (H*+(~c)) X (b+(~c)) X (~c)

ตัวอย่างที่ 8 เครื่องหมาย "+" มีลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.24 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้วซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

รูปที่ 2.24 โครงสร้างขอบพื้นฐานของเครื่องหมาย "+"

รหัส "+" = (~c)+a+(~a)+(~c)+c+(~a)+a+c

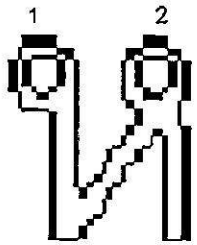


รูปที่ 2.25 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของเครื่องหมาย "+"

ดังนั้น รหัส "+" = (~c) X a X c X (~a)

ตัวอย่างที่ 9 อักษร "ห" มีโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.26 และรหัสที่ผ่านการลดรูปแล้วซึ่งมี 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับจุดที่ตรวจพบ

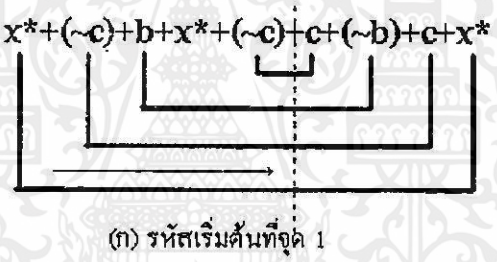
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



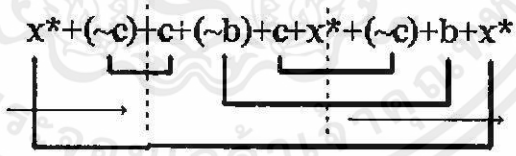
รูปที่ 2.26 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ห"

รหัส "ห" = x*+(~c)+b+x*+(~c)+c+(~b)+c+x* (รหัสเริ่มต้นที่จุด 1)

รหัส "ห" = x*+(~c)+c+(~b)+c+x*+(~c)+b+x* (รหัสเริ่มต้นที่จุด 2)



(ก) รหัสเริ่มต้นที่จุด 1



(ข) รหัสเริ่มต้นที่จุด 2

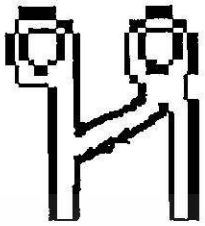
รูปที่ 2.27 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ห"

กรณีอักษร "ห" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร ซึ่งทั้ง 2 กรณีได้รหัสตรงกัน

ดังนั้น รหัส "ห" = H^*_1+(~c)+b+ H^*_2+(~c)

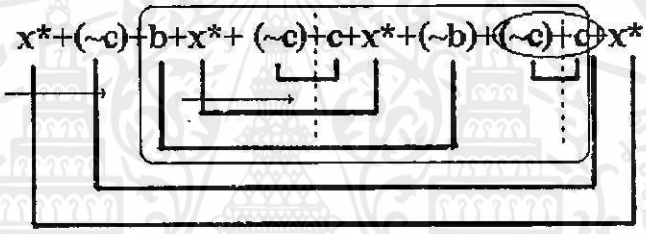
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 10 อักษร "ห" (ลักษณะพิเศษ) มีลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ห" (ลักษณะพิเศษ)

รหัส "ห" = x*+(~c)+b+x*+ (~c)+c+x*+(~b)+(~c)+c+x*

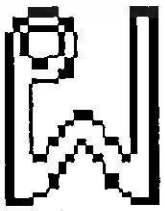


รูปที่ 2.29 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ห" (ลักษณะพิเศษ)

กรณีอักษร "ห" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร

ดังนั้น รหัส "ห" = $(H^*_1+(\sim c))$ X $(b+ H^*_2+(\sim c))$ X $(\sim c)$

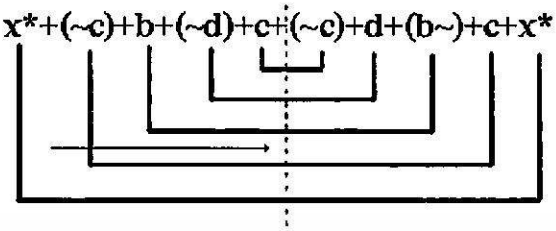
ตัวอย่างที่ 11 อักษร "ผ" มีลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.30 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ผ"

รหัส "ผ" = x*+(~c)+b+(~d)+c+(~c)+d+(b~)+c+x*



รูปที่ 2.31 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ผ"

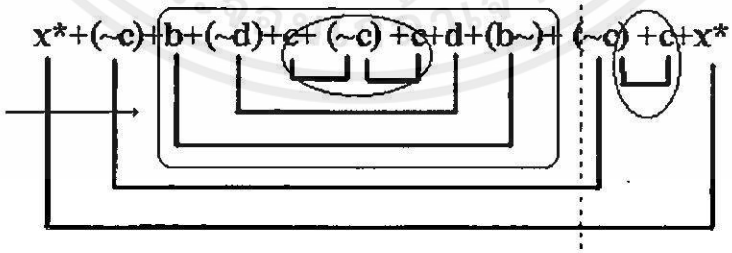
กรณีอักษร "ผ" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร

ดังนั้น รหัส "ผ" = H*+(~c)+b+(~d)+c

ตัวอย่างที่ 12 อักษร "ผ" (ลักษณะพิเศษ) มีลักษณะโครงสร้างขอบพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 2.32

รูปที่ 2.32 โครงสร้างขอบพื้นฐานของตัวอักษร "ผ" (ลักษณะพิเศษ)

รหัส "ผ" = x*+(~c)+b+(~d)+c+(~c)+c+d+(b~)+(~c)+c+x*



รูปที่ 2.33 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของรหัสตัวอักษร "ผ" (ลักษณะพิเศษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีอักษร "ผ" เมื่อจับคู่หาจุดปลายได้ การรวมรหัสจะมีทิศทางตามลูกศร

ดังนั้น รหัส "ผ" = (H*+(~c)) X ((b+ (~d))+(cX(~c))) X (~c)

2.7 ภาษาเชิงแบบ (Formal language)

ภาษาเชิงแบบถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการอธิบายภาษาอื่นหรือภาษาเดียวกัน ภาษาที่ใช้เป็นตัวอธิบายเรียกว่า ภาษาเมตา (Meta language) และภาษาที่ถูกอธิบายเรียกว่า ภาษาเป้าหมาย (Objective language) ภาษาเชิงแบบจะถูกนำมาใช้ในการอธิบายรหัสโครงสร้างของตัวอักษร

2.7.1 นิยามคำศัพท์พื้นฐาน

นิยามที่ 1 อัลฟาเบท (alphabet) คือ เซตจำกัดที่ไม่ใช่เซตว่างของสัญลักษณ์ (symbol) ใด ๆ

นิยามที่ 2 สตริง (string) คือ สัญลักษณ์ใด ๆ หรือการนำสัญลักษณ์ใด ๆ จำนวนจำกัดมาต่อกัน หรือไม่มีสัญลักษณ์ใด ๆ เลยในกรณีนี้เรียกว่า สตริงว่าง (empty string) แทนด้วย λ สตริงว่างมีเอกลักษณ์คือ $x\lambda$ เท่ากับ λx เท่ากับ เมื่อ x เป็นสตริงใด ๆ

นิยามที่ 3 ความยาวของสตริง คือจำนวนสัญลักษณ์ในสตริง กรณีสตริงว่างความยาวจะมีค่าเท่ากับ 0 โดยใช้เครื่องหมาย | | แทนความยาวของสตริง เช่น ถ้า x, y และ z เป็นสัญลักษณ์จะได้ $|x| = 1$ และ $|xyz| = 3$

นิยามที่ 4 สตริงย่อย (substring) คือ สัญลักษณ์ใด ๆ หรือกลุ่มของสัญลักษณ์ใด ๆ ในสตริงที่อยู่ติดกัน เช่น ถ้า abc เป็นสตริง a, b, c, ab, bc, abc เป็นสตริงย่อยแต่ ac ไม่เป็นสตริงย่อย

นิยามที่ 5 สตริงบนเซต A (string over set A) คือ สตริงที่ประกอบด้วยสัญลักษณ์ซึ่งเป็นสมาชิกของเซต A เท่านั้น

นิยามที่ 6 ทรานสิทีฟโคลสเซอร์ของเซต A (transitive closure of set A) คือเซตอนันต์ของสตริงบนเซต A ที่เป็นไปได้ทั้งหมดยกเว้นสตริงว่าง แทนด้วยสัญลักษณ์ A^+

นิยามที่ 7 คลีนโคลสเซอร์ของเซต A (Kleene closure of set A) คือเซตอนันต์ของสตริงบนเซต A ที่เป็นไปได้ทั้งหมดรวมทั้งสตริงว่าง แทนด้วยสัญลักษณ์ A^* นั่นคือ $A^* = \{\lambda\} \cup A^+$

นิยามที่ 8 ภาษาคือเซตย่อย (subset) ของคลีนโคลสเซอร์ของอัลฟาเบท

นิยามที่ 9 เทอร์มินอลอัลฟาเบท (V_T , terminal alphabet) คือเซตจำกัดที่ไม่ใช่เซตว่างของสัญลักษณ์ทั้งหมดในภาษาเป้าหมาย

นิยามที่ 10 นอนเทอร์มินอลอัลฟาเบท (V_N , nonterminal alphabet) คือเซตจำกัดที่ไม่ใช่เซตว่างของสัญลักษณ์ทั้งหมดในภาษาเมตา

นิยามที่ 11 สัญลักษณ์เทอร์มินอล (terminal symbol) คือสมาชิกใด ๆ ของเทอร์มินอลอัลฟาเบท

นิยามที่ 12 สัญลักษณ์นอนเทอร์มินอล (nonterminal symbol) คือสมาชิกใด ๆ ของนอนเทอร์มินอลอัลฟาเบท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 13 โปรดักชัน (production) คือกฎในการเปลี่ยนสตริงย่อยในสตริงใด ๆ สามารถเขียนได้ในรูป $a \longrightarrow b$ เมื่อ a เป็นสตริงซ้ายมือ และ bเป็นสตริงขวามือ กฎดังกล่าวหมายความว่า ให้นำสตริงขวามือไปแทนสตริงย่อยซึ่งเท่ากับสตริงซ้ายมือที่ต้องการเปลี่ยน กรณีมีหลายโปรดักชันที่สตริงทางซ้ายมือมีค่าเท่ากัน สามารถเขียนย่อรวมกันได้โดยใช้เครื่องหมาย | คั่นสตริงขวามือ เช่น $a \longrightarrow b$ และ $a \longrightarrow c$ สามารถเขียนย่อรวมกันเป็น $a \longrightarrow b|c$

นิยามที่ 14 กำหนดไวยากรณ์ (grammar)

$G = (V_N , V_T , P , S)$

เมื่อ S เป็น สัญลักษณ์นอนเทอร์มินอลที่ใช้เป็นสัญลักษณ์เริ่มต้น (starting symbol)

P เป็นเซตของโปรดักชันที่สตริงซ้ายมือ และสตริงขวามือเป็นสตริงบนเซต $(V_N \cup V_T)$ และสตริงซ้ายมือจะต้องมีสัญลักษณ์นอนเทอร์มินอลอย่างน้อยหนึ่งตัวเสมอ และ $(V_N \cap V_T)$ เป็นเซตว่าง

2.7.2 การจำแนกประเภทของไวยากรณ์

นอม คอมสกี้ (Noam chomsky) จำแนกประเภทของไวยากรณ์ออกเป็น 4 ชนิดได้แก่

ชนิด 0 (type 0) เป็นไวยากรณ์ที่ทุก ๆ โปรดักชันไม่มีข้อจำกัดใด ๆ นั่นคือจะมีสตริงเป็นจำนวนเท่าใดก็ได้ทั้งด้านซ้ายและขวาของลูกศร เนื่องจากเป็นไวยากรณ์ที่ไม่มีข้อจำกัดจึงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

ชนิด 1 (type 1) หรือคอนเทกซ์เซนซิทีฟ (Context-sensitive) เป็นไวยากรณ์ที่ทุก ๆ โปรดักชันมีรูปแบบและข้อจำกัดดังนี้

$$\zeta_1 A \zeta_2 \longrightarrow \zeta_1 \beta \zeta_2$$

เมื่อ $A \in V_N , \zeta_1 , \zeta_2 , \beta \in (V_N \cup V_T)^* , \beta \neq \lambda$ และ $|A| \leq |\beta|$

ชนิด 2 (type 2) หรือคอนเทกซ์ฟรี (Context-free) เป็นไวยากรณ์ที่ทุก ๆ โปรดักชันมีรูปแบบและข้อจำกัดดังนี้

$$A \longrightarrow \beta$$

เมื่อ $A \in V_N$ และ $(V_N \cup V_T)+$

ชนิด 3 (type 3) หรือไวยากรณ์สถานะจำกัด (Finite-state , Regular grammar) มีรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งใน 2 รูปแบบเท่านั้นคือ

รูปแบบที่ 1 $A \longrightarrow aB$ หรือ $A \longrightarrow a$ (Right-linear regular)

รูปแบบที่ 2 $A \longrightarrow Ba$ หรือ $A \longrightarrow a$ (Left-linear regular)

เมื่อ $A , B \in V_N$ และ $a \in V_T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การอธิบายลักษณะโครงสร้างตัวอักษรด้วย PDL

จากรหัสที่ได้สามารถอธิบายลักษณะโครงสร้างของเส้นโดยใช้ PDL ซึ่งต้องเพิ่มคำศัพท์ Hd ใน V_T ดังนี้

โดย $G = (V_N, V_T, P, S)$

$V_N = \{S, M\}$

$V_T = \{Hd, a, b, c, d, \sim, +, -, x, *\}$

กฎการแปลง P :

1. $S \rightarrow a$ 2. $S \rightarrow b$ 3. $S \rightarrow c$ 4. $S \rightarrow d$

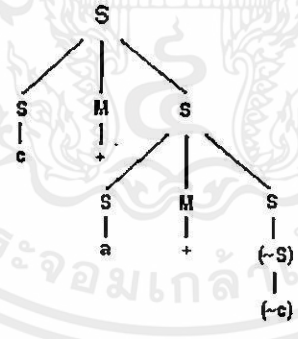
5. $M \rightarrow +$ 6. $M \rightarrow -$ 7. $M \rightarrow x$ 8. $M \rightarrow *$

9. $M \rightarrow \sim$ 10. $S \rightarrow (\sim S)$ 11. $S \rightarrow SMS$ 12. $S \rightarrow (SMS)$

กรณีตัวอักษร "ก"

$S \Rightarrow SMS \Rightarrow c+SMS \Rightarrow c+a+(\sim S) \Rightarrow c+a+(\sim c)$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ก"

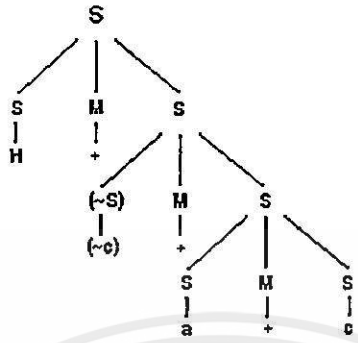
กรณีตัวอักษร "บ"

$S \Rightarrow SMS \Rightarrow H+SMS \Rightarrow H+(\sim S)MS$

$\Rightarrow H+(\sim c)+SMS \Rightarrow H+(\sim c)+a+c$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.35



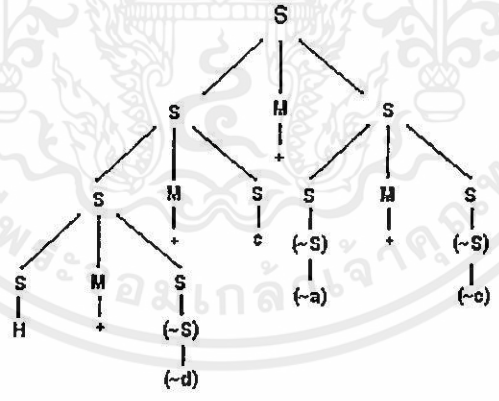
รูปที่ 2.35 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "บ"

กรณีตัวอักษร "จ"

$$S \Longrightarrow SMS \Longrightarrow SMS+SMS \Longrightarrow SMS+c+(\sim S)+(\sim S)$$

$$\Longrightarrow H+(\sim S)+c+(\sim a)+(\sim c) \Longrightarrow H+(\sim d)+c+(\sim a)+(\sim c)$$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "จ"

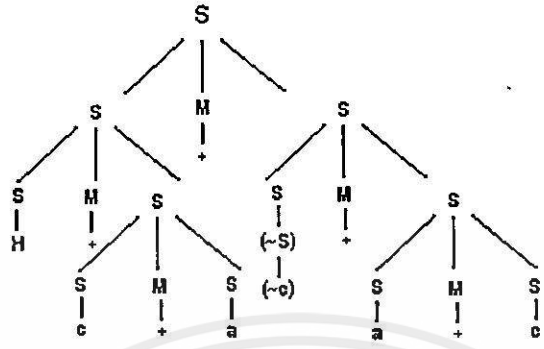
กรณีตัวอักษร "ญ"

$$S \Longrightarrow SMS \Longrightarrow SMS+SMS \Longrightarrow H+SMS+(\sim S)+SMS$$

$$\Longrightarrow H+c+a+(\sim c)+a+c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.37



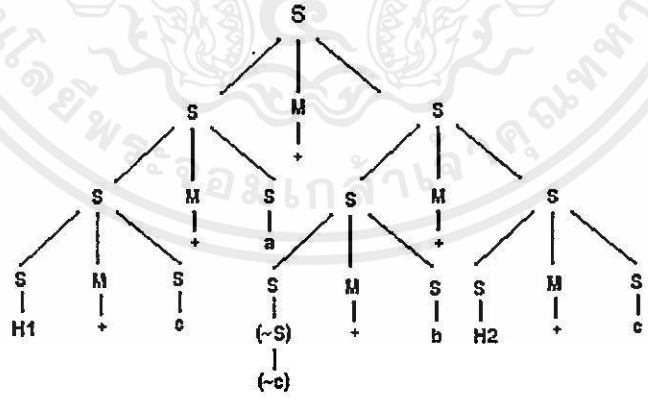
รูปที่ 2.37 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ญ"

กรณีตัวอักษร "ณ"

$$S \Rightarrow SMS \Rightarrow SMS+SMS \Rightarrow SMS+a+SMS+SMS$$

$$\Rightarrow H1+c+a+(\sim S)+b+H2+c \Rightarrow H1+c+a+(\sim c)+b+H2+c$$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ณ"

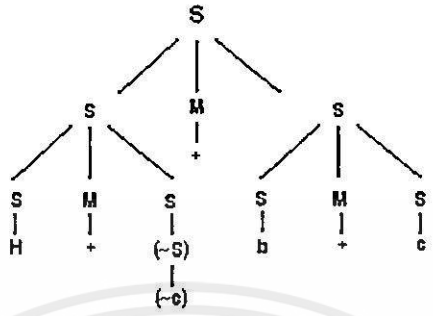
กรณีตัวอักษร "ท"

$$S \Rightarrow SMS \Rightarrow SMS+SMS \Rightarrow H+(\sim S)+b+c$$

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\Longrightarrow$ H+(~c)+b+c

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.39



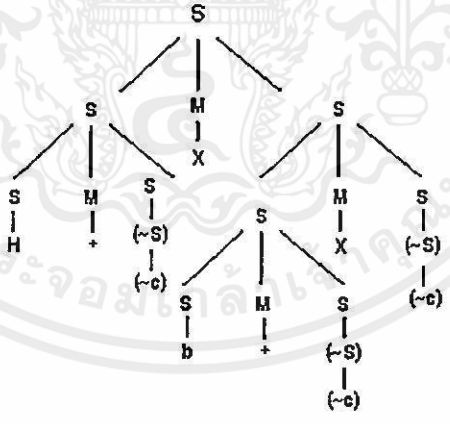
รูปที่ 2.39 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ท"

กรณีตัวอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ)

$S \Longrightarrow SMS \quad \Longrightarrow (SMS) \times SMS \quad \Longrightarrow (H+(\sim S)) \times (SMS) \times (\sim S)$

$\Longrightarrow (H+(\sim c)) \times (b+(\sim S)) \times (\sim c) \quad \Longrightarrow (H+(\sim c)) \times (b+(\sim c)) \times (\sim c)$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ท" (ลักษณะพิเศษ)

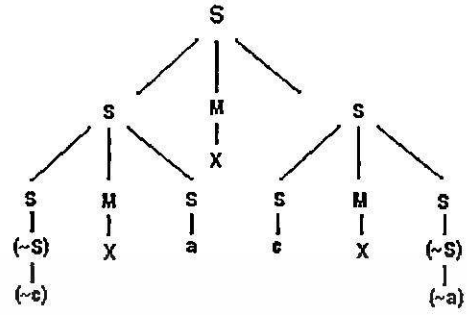
กรณีเครื่องหมาย "+"

$S \Longrightarrow SMS \quad \Longrightarrow SMS \times SMS \quad \Longrightarrow (\sim S) \times a \times c \times (\sim S)$

$\Longrightarrow (\sim c) \times a \times c \times (\sim a)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.41



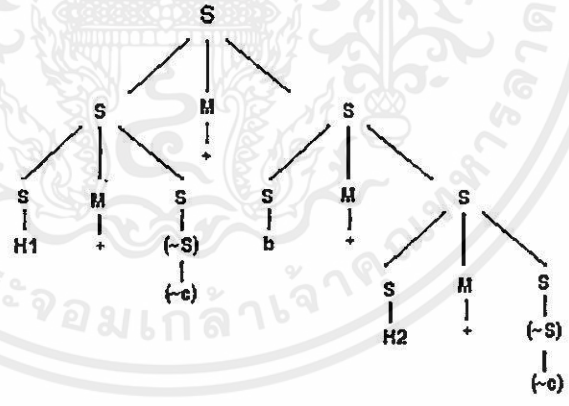
รูปที่ 2.41 โครงสร้างต้นไม้ของเครื่องหมาย "+"

กรณีตัวอักษร "ห"

$S \Rightarrow SMS \quad \Rightarrow SMS \times SMS \quad \Rightarrow H_1+(\sim S)+b+SMS$

$\Rightarrow H_1+(\sim c)+b+ H_2+(\sim S) \quad \Rightarrow H_1+(\sim c)+b+ H_2+(\sim a)$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ห"

กรณีตัวอักษร "ห" (ลักษณะพิเศษ)

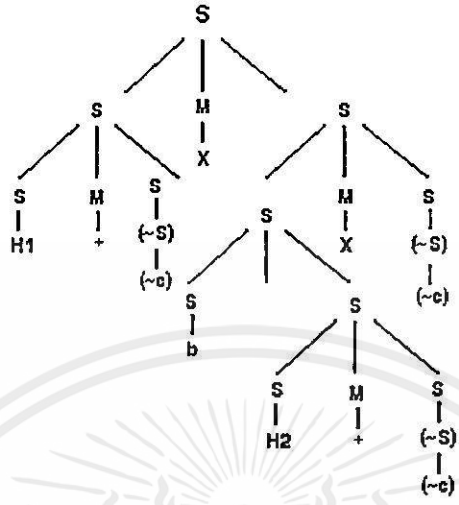
$S \Rightarrow SMS \quad \Rightarrow (SMS) \times SMS \quad \Rightarrow (H_1+(\sim S)) \times (SMS) \times (\sim S)$

$\Rightarrow (H_1+(\sim c)) \times (b+SMS) \times (\sim c) \quad \Rightarrow (H_1+(\sim c)) \times (b+ H_2+(\sim S)) \times (\sim c)$

$\Rightarrow (H_1+(\sim c)) \times (b+ H_2+(\sim c)) \times (\sim c)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.43

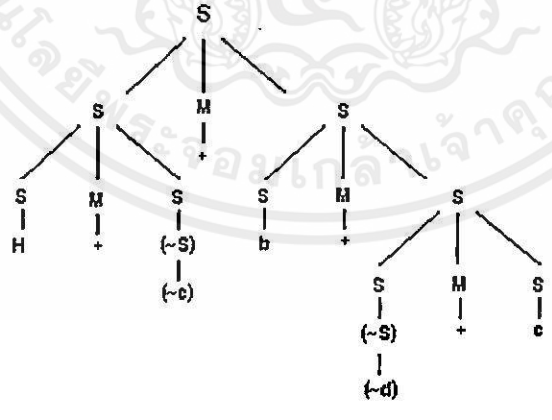


รูปที่ 2.43 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ห" (ลักษณะพิเศษ)

กรณีตัวอักษร "ผ"

$$S \Longrightarrow SMS \Longrightarrow SMS+SMS \Longrightarrow H+(\sim S)+b+SMS$$
$$\Longrightarrow H+(\sim c)+b+(\sim S)+c \Longrightarrow H+(\sim c)+b+(\sim d)+c$$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ผ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

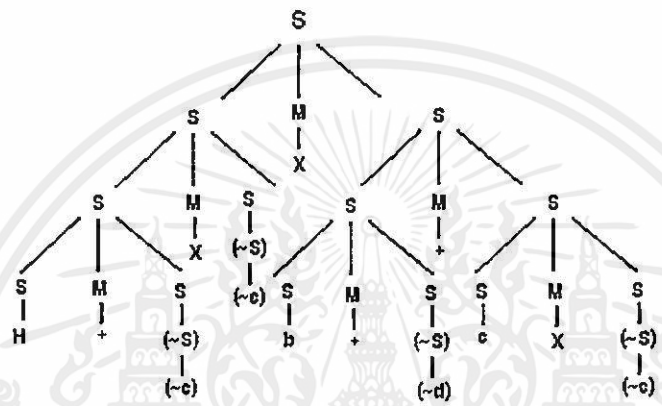
กรณีตัวอักษร "ผ" (ลักษณะพิเศษ)

$$S \Longrightarrow SMS \Longrightarrow SMS \times (SMS) \Longrightarrow (SMS) \times (\sim S) \times ((SMS)+(SMS))$$

$$\Longrightarrow (H+(\sim S)) \times (\sim c) \times ((b+(\sim S))+(c \times (\sim S)))$$

$$\Longrightarrow (H+(\sim c)) \times (\sim c) \times ((b+(\sim d))+(c \times (\sim c)))$$

อธิบายโดยใช้แผนภาพต้นไม้ได้ดังรูปที่ 2.45 (ลักษณะพิเศษ)



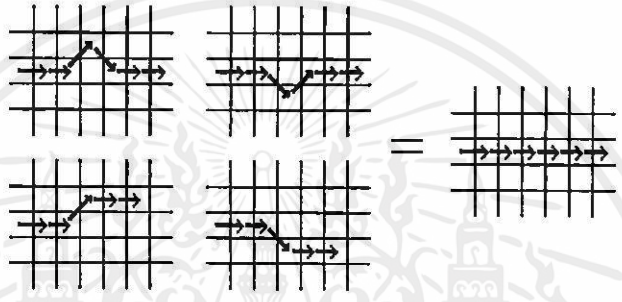
รูปที่ 2.45 โครงสร้างต้นไม้ของตัวอักษร "ผ" (ลักษณะพิเศษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์โครงสร้างขอบ

3.1 การลดจำนวนรหัสลูกโซ่

รหัสลูกโซ่ที่ได้จากการไต่ขอบจะมีปริมาณมาก จำเป็นต้องลดปริมาณข้อมูลให้น้อยลงและเป็นการขจัดข้อผิดพลาดของข้อมูลด้วย รูปที่ 3.1 แสดงการปรับแต่งข้อมูลในหนึ่งทิศทาง



รูปที่ 3.1 การปรับแต่งข้อมูลในหนึ่งทิศทาง

จากรูปที่ 3.1 ลักษณะของการปรับแต่งข้อมูลเป็นดังนี้

ในทิศทาง a

2a+b+(~d)+2a = 2a+(~d)+a+2a = 6a

2a+b+2a = 2a+(~d)+2a = 5a

ในทิศทาง b

2b+a+c+2b = 2b+c+a+2b = 6b

2b+a+2b = 2b+c+2b = 5b

ในทิศทาง c

2c+d+b+2c = 2c+b+d+2c = 6c

2c+d+2c = 2c+b+2c = 5c

ในทิศทาง d

2d+c+(~a)+2d = 2d+(~a)+c+2d = 6d

2d+c+2d = 2d+(~a)+2d = 5d

ในทิศทาง (~a)

2(~a)+d+(~b)+2(~a) = 2(~a)+(~b)+d+2(~a) = 6(~a)

2(~a)+d+2(~a) = 2(~a)+(~b)+2(~a) = 5(~a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทิศทาง (~b)

$$2(\sim b)+(\sim a)+(\sim c)+2(\sim b) = 2(\sim b)+(\sim c)+(\sim a)+2(\sim b) = 6(\sim b)$$

$$2(\sim b)+(\sim a)+2(\sim b) = 2(\sim b)+(\sim c)+2(\sim b) = 5(\sim b)$$

ในทิศทาง (~c)

$$2(\sim c)+(\sim d)+(\sim b)+2(\sim c) = 2(\sim c)+(\sim b)+(\sim d)+2(\sim c) = 6(\sim c)$$

$$2(\sim c)+(\sim d)+2(\sim c) = 2(\sim c)+(\sim b)+2(\sim c) = 5(\sim c)$$

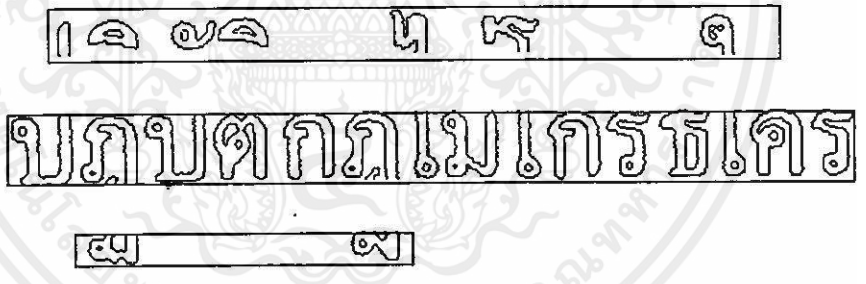
ในทิศทาง (~d)

$$2(\sim d)+a+(\sim c)+2(\sim d) = 2(\sim d)+(\sim c)+a+2(\sim d) = 6(\sim d)$$

$$2(\sim d)+a+2(\sim d) = 2(\sim d)+(\sim c)+2(\sim d) = 5(\sim d)$$

3.2 การแยกตัวอักษรที่มีหางออกจากตัวอักษรปกติ

นำข้อมูลขอบตัวอักษรมาวิเคราะห์ เพื่อแยกตัวอักษรที่มีหางออกมาโดยใช้ค่าความสูงเฉลี่ยของตัวอักษรเป็นตัวตัดสินใจดังรูปที่ 3.2

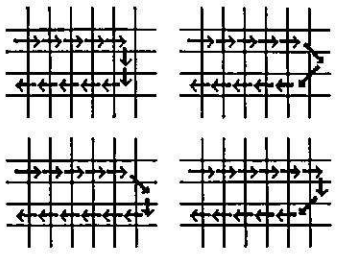


รูปที่ 3.2 ข้อมูลตัวอักษรหลังจากตัดหางออก

3.3 การหาตำแหน่งจุดปลาย

จากข้อมูลที่ได้รับการปรับแต่ง นำมาหาจุดปลายของตัวอักษร โดยการจับคู่รหัสที่มีทิศตรงข้ามกันรวมเป็นรหัสเดียวกัน รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของข้อมูลที่เป็นตำแหน่งจุดปลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลักษณะจุดปลายของข้อมูล

ลักษณะของข้อมูลที่เป็นตำแหน่งจุดปลายเป็นดังนี้

จุดปลายในทิศทาง a

$= k_1a+k_2((\sim c)|c)+k_3(\sim a);$ โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1a+\{(k_2(\sim d)+k_3(\sim b))|(k_2b+k_3d)\}+k_4(\sim a)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1a+\{(k_2(\sim d)+k_3(\sim c))|(k_2c+k_3d)\}+k_4(\sim a)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1a+\{(k_2(\sim c)+k_3(\sim b))|(k_2b+k_3c)\}+k_4(\sim a)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

จุดปลายในทิศทาง b

$= k_1b+k_2((\sim d)|d)+k_3(\sim b)$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1b+\{(k_2a+k_3(\sim c))|(k_2c+k_3(\sim a))\}+k_4(\sim b)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1b+\{(k_2a+k_3(\sim d))|(k_2d+k_3(\sim a))\}+k_4(\sim b)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1b+\{(k_2(\sim d)+k_3(\sim c))|(k_2c+k_3d)\}+k_4(\sim b)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดปลายในทิศทาง c

$= k_1c+k_2(a|(\sim a))+k_3(\sim c)$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1c+\{(k_2b+k_3(\sim d))|(k_2d+k_3(\sim b))\}+k_4(\sim c)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1c+\{(k_2b+k_3a)|(k_2(\sim a)+k_3(\sim b))\}+k_4(\sim c)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1c+\{(k_2a+k_3(\sim d))|(k_2d+k_3(\sim a))\}+k_4(\sim c)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

จุดปลายในทิศทาง d

$= k_1d+k_2((\sim b)|b)+k_3(\sim d)$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1d+\{(k_2(\sim a)+k_3(\sim c))|(k_2c+k_3a)\}+k_4(\sim d)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1d+\{(k_2(\sim a)+k_3(\sim b))|(k_2b+k_3a)\}+k_4(\sim d)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1d+\{(k_2(\sim b)+k_3(\sim c))|(k_2c+k_3b)\}+k_4(\sim d)$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

จุดปลายในทิศทาง (~a)

$= k_1(\sim a)+k_2((\sim c)|c)+k_3a$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1(\sim a)+\{(k_2(\sim b)+k_3(\sim d))|(k_2d+k_3b)\}+k_4a$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim a)+\{(k_2(\sim b)+k_3(\sim c))|(k_2c+k_3b)\}+k_4a$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim a)+\{(k_2(\sim c)+k_3(\sim d))|(k_2d+k_3c)\}+k_4a$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดปลายในทิศทาง (~b)

$= k_1(\sim b)+k_2((\sim d)|d)+k_3 b$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1(\sim b)+\{(k_2(\sim c)+k_3 a)|(k_2(\sim a)+k_3 c)\}+k_4 b$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim b)+\{(k_2(\sim c)+k_3(\sim d))|(k_2 d+k_3 c)\}+k_4 b$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim b)+\{(k_2(\sim d)+k_3 a)|(k_2(\sim a)+k_3 d)\}+k_4 b$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

จุดปลายในทิศทาง (~c)

$= k_1(\sim c)+k_2(a|(\sim a))+k_3 c$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1(\sim c)+\{(k_2(\sim d)+k_3 b)|(k_2(\sim b)+k_3 d)\}+k_4 c$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim c)+\{(k_2(\sim d)+k_3 a)|(k_2(\sim a)+k_3 d)\}+k_4 c$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim c)+\{(k_2 a+k_3 b)|(k_2(\sim b)+k_3(\sim a))\}+k_4 c$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

จุดปลายในทิศทาง (~d)

$= k_1(\sim d)+k_2((\sim b)|b)+k_3 d$; โดย $k_1 \approx k_3$ และ $= k_1, k_3 >> k_2$

$= k_1(\sim d)+\{(k_2(\sim c)+k_3(\sim a))|(k_2 a+k_3 c)\}+k_4 d$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

$= k_1(\sim d)+\{(k_2(\sim c)+k_3(\sim b))|(k_2 b+k_3 c)\}+k_4 d$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

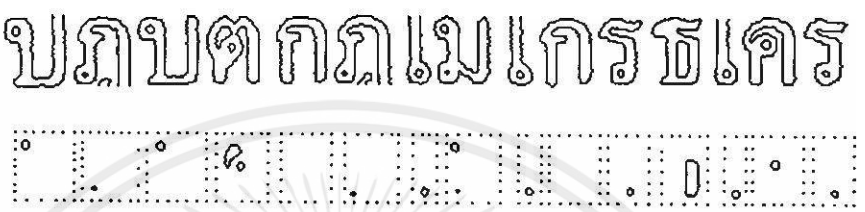
$= k_1(\sim d)+\{(k_2(\sim b)+k_3(\sim a))|(k_2 a+k_3 b)\}+k_4 d$;

โดย $k_1 \approx k_4$ และ $= k_1, k_4 >> k_2, k_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

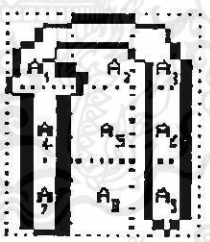
3.4 การแบ่งกลุ่มตัวอักษรจากตำแหน่งส่วนหัว

การหาตำแหน่งหัวของตัวอักษร เริ่มจากนำข้อมูลตัวอักษรมาทำการลบขอบนอกออกจะเหลือเพียงขอบใน พิจารณาว่าขอบในที่ได้เป็นส่วนหัวของตัวอักษรหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบพื้นที่กับค่าพื้นที่อ้างอิง ตัวอย่างตำแหน่งขอบในของตัวอักษร ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งหัวของตัวอักษรหลังการลบขอบนอกออก

จากนั้นทำการแบ่งพื้นที่ตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วน เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของหัวตัวอักษรดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การแบ่งพื้นที่ตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วน

จากตำแหน่งหัวของตัวอักษร สามารถแบ่งตัวอักษรออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 (C1,Class 1) คือกลุ่มที่มี 1 ส่วนหัว เช่นตัวอักษร “ ท บ ผ “

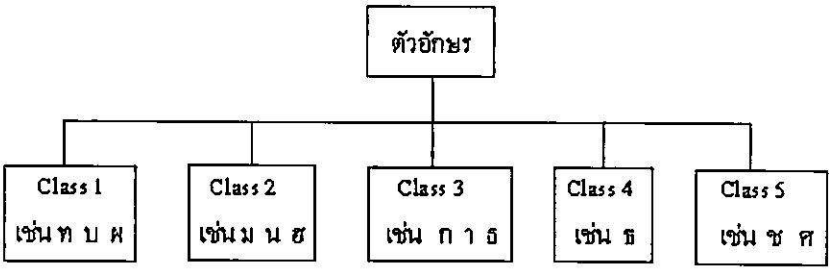
กลุ่มที่ 2 (C2,Class 2) คือกลุ่มที่มี 2 ส่วนหัว เช่นตัวอักษร “ ม น ฮ “

กลุ่มที่ 3 (C3,Class 3) คือกลุ่มที่ไม่มี ส่วนหัวและขอบใน เช่นตัวอักษร “ ก า ธ “

กลุ่มที่ 4 (C4,Class 4) คือกลุ่มที่มี 1 ขอบใน เช่นตัวอักษร “ ธ “

กลุ่มที่ 5 (C5,Class 5) คือกลุ่มที่มี 1 ส่วนหัวและมี 1 ขอบใน เช่นตัวอักษร “ ช ศ “

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทั้งสิ้น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 โครงร่างต้นไม้แสดงการจัดกลุ่มตัวอักษร

ตัวอักษรกลุ่มที่ 1 สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามตำแหน่งหัวตัวอักษรได้ดังนี้

กลุ่มย่อยที่ 1 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A1 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ข ฑ ท บ ผ พ ย"

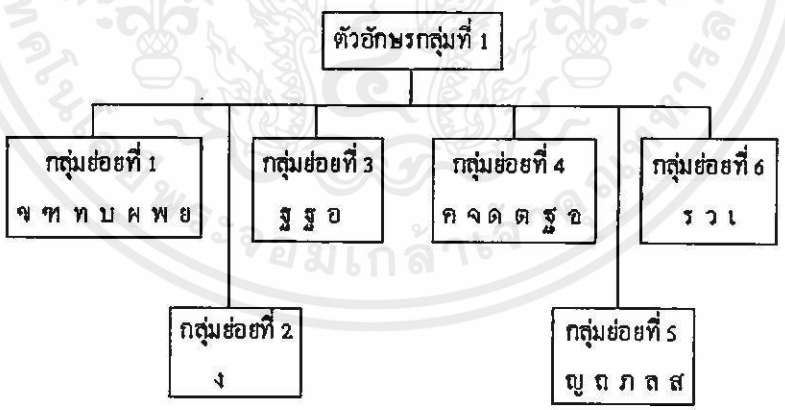
กลุ่มย่อยที่ 2 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A3 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ "ง"

กลุ่มย่อยที่ 3 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A4 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ "ฐ ฐ อ"

กลุ่มย่อยที่ 4 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A5 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ "ค จ ด ต ฐ อ"

กลุ่มย่อยที่ 5 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A7 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ "ญ ถ ภ ล ส"

กลุ่มย่อยที่ 6 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A8|A9 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ "ร ว ไ"



รูปที่ 3.7 โครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรกลุ่มที่ 1

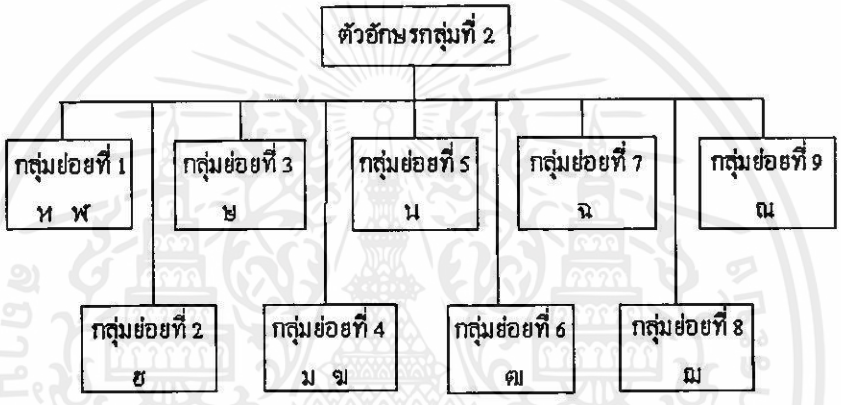
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอักษรกลุ่มที่ 2 สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามตำแหน่งหัวตัวอักษรได้ดังนี้

กลุ่มย่อยที่ 1 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A1 และ A3 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ห พ "

กลุ่มย่อยที่ 2 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A1 และ A4 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ฮ "

กลุ่มย่อยที่ 3 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A1 และ A5 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ษ "
กลุ่มย่อยที่ 4 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A1 และ A7 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ม ฆ "
กลุ่มย่อยที่ 5 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A1 และ A9 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " น "
กลุ่มย่อยที่ 6 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A4 และ A8 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ฒ "
กลุ่มย่อยที่ 7 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A4 และ A9 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ฉ "
กลุ่มย่อยที่ 8 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A7 และ A8 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ฌ "
กลุ่มย่อยที่ 9 พบส่วนหัวที่ตำแหน่ง A7 และ A9 ตัวอักษรที่อาจเป็นไปได้คือ " ณ "



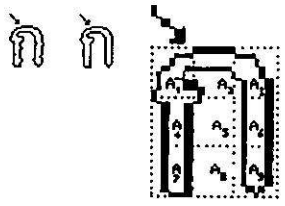
รูปที่ 3.8 โครงร่างต้นไม้ของตัวอักษรกลุ่มที่ 2

3.5 การหาโครงสร้างเส้นตัวอักษร

การหาโครงสร้างเส้นขอบของตัวอักษรมี 2 วิธี วิธีแรกนำรหัสลูกโซ่มาลดข้อมูลจากนั้นหาโครงสร้างเลย วิธีนี้ ถ้าตัวอักษรมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนมาก จะสามารถหารหัสโครงสร้างได้ แต่ถ้าตัวอักษรมีโครงสร้างซับซ้อนวิธีนี้จะมีโอกาสผิดพลาดมาก วิธีที่สองจะทำการแยกตัวอักษรออกเป็น 9 ส่วน ตามพื้นที่ A1 – A9 และแยกหาโครงสร้างเฉพาะของแต่ละพื้นที่ วิธีที่ 2 นี้จะใช้ในกรณีที่เมื่อใช้วิธีที่ 1 แล้วไม่สามารถหาโครงสร้างได้ หรือโครงสร้างที่ได้ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นตัวอักษรใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการหารหัส “ก”



รูปที่ 3.9 ลักษณะโครงสร้างขอบของตัวอักษร “ก”

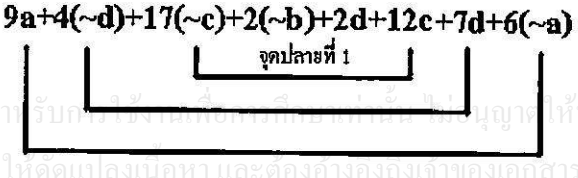
การหาโครงสร้างเส้นด้วยวิธีที่ 1

รหัสลูกโซ่ “ก” = 6a+(~d)+2a+2(~d)+(~c)+(~d)+4(~c)+(~d)+(~c)+(~b)+5(~c)+(~b)+(~d)
+3(~c)+2(~b)+2d+2c+d+b+8c+b+d+3c+3d+6(~a)+2(~b)+(~d)+2a+(~d)
+(~c)+2(~b)+2(~c)+(~d)+(~c)+5(~c)+(~d)+(~c)+(~b)+2(~c)+3(~a)+d+5c
+b+d+7c+(~a)+d+c+b+2c+3b+2a+b

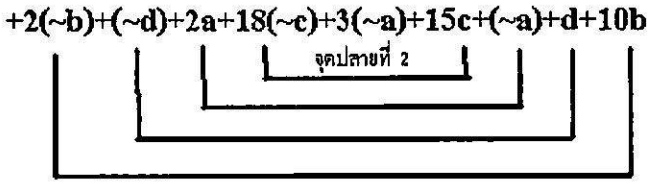
จับกลุ่มเพื่อลดข้อมูล = (6a+(~d)+2a)+(2(~d)+(~c)+(~d))+(4(~c)+(~d)+(~c))+(~b)+(5(~c)+(~b)
+(~d)+3(~c))+2(~b)+2d+(2c+d+b+8c)+b+(d+3c+3d)+6(~a)+2(~b)+(~d)+2a
+(~d)+((~c)+2(~b)+2(~c))+(~d)+((~c)+5(~c)+(~d)+(~c)+(~b)+2(~c))+3(~a)+d
+(5c+b+d+7c)+(~a)+d+c+(b+2c+3b)+2a+b
= 9a+4(~d)+(6(~c)+(~b)+10(~c))+2(~b)+2d+12c+b+7d+6(~a)+2(~b)+(~d)+2a
+(~d)+(5(~c)+(~d)+11(~c))+3(~a)+d+14c+(~a)+d+c+(6b+2a+b)
= 9a+4(~d)+17(~c)+2(~b)+2d+12c+b+7d+6(~a)+2(~b)+(~d)+2a+((~d)+17(~c))
+3(~a)+(d+14c)+(~a)+d+(c+9b)

รหัส “ก” = 9a+4(~d)+17(~c)+2(~b)+2d+12c+b+7d+6(~a)+2(~b)+(~d)+2a+18(~c)+3(~a)
+15c+(~a)+d+10b

จากรหัสลูกโซ่ 'ก' การจับคู่เพื่อหาจุดปลายมีวิธีการดังรูปที่ 3.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร

ถ้าจุดที่เราตรวจกวาดภาพไม่ได้เริ่มจากปลายแรกของตัวอักษร ผลที่ได้จากการจับคู่จะเกิดรหัสมากกว่า 1 ชุดเสมอ เนื่องจากรหัสตัวสุดท้ายจะมาต่อกับตัวแรกในลักษณะวนเป็นวงกลมตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นเราจะใช้จุดปลายของรหัสชุดที่ 2 เป็นหลักได้โครงสร้างหลักคือ

รหัสอักษร "ก" = (~a)p+16c+(~a)+(d+5b)+7a+6(~d)+14(~c)+(~a)p

= (~a)p+16c+6b+7a+6(~d)+14(~c)+(~a)p

วิธีที่ 2

รหัสลูกโซ่ "ก" ที่พื้นที่ A1 = 2(~a)+(3(~b)+2(~c)+(~b)) , 2(~b)+(~d)+a

= 2(~a)+6(~b) , 2(~b)+(~d)+a

= 8(~b) , 2(~b)+(~d)+a

เนื่องจากมีรหัส 2 ชุด หมายความว่ามี 2 เส้นที่แยกจากกัน ให้พิจารณาขนาดของทั้ง 2 เส้น ถ้ามีค่าที่แตกต่างกันมากให้เก็บโครงสร้างเส้นที่มีขนาดน้อยไว้ก่อน ซึ่งอาจต้องนำมาวิเคราะห์ในภายหลัง จากรหัสที่ได้ |8(~b)| มีค่า 8 ส่วน |2(~b)+(~d)+a| มีค่า 4 ดังนั้น

รหัสลูกโซ่ "ก" ที่พื้นที่ A1 = 8(~b) | 8b

ที่พื้นที่ A2 = b+5a , 6a , a+(~d)

= 6a , 6a , a+(~d)

= 6a | 6(~a)

ที่พื้นที่ A3 = ((~d)+2a+2(~d))+((~c)+(~d)+(~c)) , 3(~d)

= 7(~d)+3(~c) , 3(~d)

= 10(~d) | 10d

ที่พื้นที่ A4 = 2(~d)+6(~c) , 6(~c)

= 8(~c) , 6(~c)

= 8(~c) | 8c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่พื้นที่ A5 = (~c)+(~b)

ที่พื้นที่ A6 = 8(~c) , 8(~c)

= 8(~c) | 8c

ที่พื้นที่ A7 = 7(~c)+(~d)+3a+8c (เป็นรหัสของจุดปลาย , Ep)

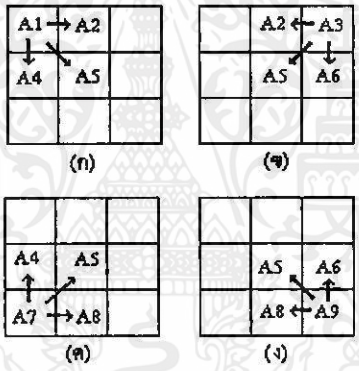
= 7(~c) | 7c

ที่พื้นที่ A8 = 0

ที่พื้นที่ A9 = 6(~c)+2(~d)+2b+6c

= 6(~c) | 6c (เป็นรหัสของจุดปลาย , Ep)

ในการรวมโครงสร้างทั้งหมดเข้าด้วยกัน จะเริ่มที่ตำแหน่งของจุดปลาย ส่วนการเลือกทิศทางของเส้นจะพิจารณาจากตำแหน่งพื้นที่ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการประมาณทิศทางของเส้น

ดังนั้นรหัสรวม "ก" = Ep(A7)+7c(A7)+8c(A4)+8b(A1)+6a(A2)+10(~d)(A3)+8(~c)(A6)
+6(~c)(A9)+Ep(A9)

ถ้าพิจารณาเฉพาะทิศทางโดยไม่คำนึงถึงตำแหน่ง

รหัสรวม "ก" = Ep+7c+8c+8b+6a+10(~d)+8(~c)+6(~c)+(~a)p

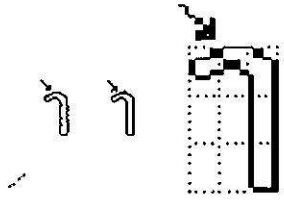
= Ep+15c+8b+6a+10(~d)+14(~c)+Ep (วิธีที่ 2)

รหัสรวม "ก" = Ep+16c+6b+7a+6(~d)+14(~c)+Ep (วิธีที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จากทั้ง 2 วิธีจะมีโครงสร้างที่เหมือนกันแตกต่างเพียงขนาดเท่านั้น

ตัวอย่างการหารหัส "า"



รูปที่ 3.12 ลักษณะโครงสร้างขอบของสระ "า"

วิธีที่ 1

รหัสตัวอักษร "า" = 4a+(~d)+a+2(~d)+4(~c)+(~d)+(~b)+(~d)+(~b)+(~c)+(~d)+(~b)+(~d)+5(~c)
+(~b)+(~c)+3(~a)+d+4c+b+d+2c+b+d+6c+b+d+2c+2d+2(~a)+(~b)+(~a)
+(~b)+(~a)+d+c+b+a+b+a+b

= (4a+(~d)+a)+2(~d)+4(~c)+((~d)+(~b)+(~d)+(~b))+(~c)+((~d)+(~b)+(~d))
+(5(~c)+(~b)+(~c))+3(~a)+d+(4c+b+d+2c)+b+d+(6c+b+d+2c)+2d
+(2(~a)+(~b)+(~a))+(~b)+(~a)+d+c+(b+a+b)+a+b

= 6a+2(~d)+4(~c)+4(~c)+(~c)+3(~d)+7(~c)+3(~a)+d+8c+b+d+10c+2d+4(~a)
+(~b)+(~a)+d+c+3b+a+b

= 6a+2(~d)+(4(~c)+4(~c)+(~c)+3(~d)+7(~c))+3(~a)+(d+8c+b+d+10c)+2d
+(4(~a)+(~b)+(~a))+d+c+(3b+a+b)

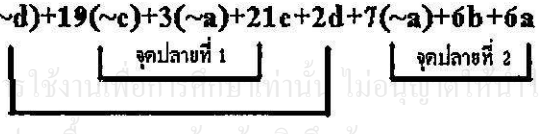
= 6a+2(~d)+19(~c)+3(~a)+21c+2d+(6(~a)+d)+(c+5b)

= 6a+2(~d)+19(~c)+3(~a)+21c+2d+7(~a)+6b

เนื่องจากลักษณะของข้อมูล จะวนตามเข็มนาฬิกานั่นคือข้อมูล 6a จะต่อท้าย 6b และ 7(~a) +6b+6a เป็นข้อมูลของจุดปลายดังนั้นเราจะเลื่อนข้อมูลไปทางซ้าย 1 ข้อมูล ดังนั้น

รหัสตัวอักษร "า" = 2(~d)+19(~c)+3(~a)+21c+2d+7(~a)+6b+6a

ซึ่งสามารถจับคู่เพื่อหาจุดปลายได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของสระ "า"

รหัสสระ "า" = Ep+6a+2(~d)+20(~c)+Ep

วิธีที่ 2

รหัสลูกโซ่ "า" ที่พื้นที่ A1 = ((~b)+(~a)+(~b))+(~c)+(~d)+b

= 3(~b)+(~c)+(~d)+b (เป็นรหัสของจุดปลาย , Ep)

= 2(~b) | 2b

ที่พื้นที่ A2 = b+3a , b+2a+(~d)

= 4a , 4a

= 4a | 4(~a)

ที่พื้นที่ A3 = ((~d)+a+2(~d))+5(~c) , 3(~c)

= 4(~d)+5(~c) | 5c+4d

ที่พื้นที่ A4 = A5 = 0

ที่พื้นที่ A6 = 7(~c) , 7(~c)

= 7(~c) | 7c

ที่พื้นที่ A7 = A8 = 0

ที่พื้นที่ A9 = 6(~c)+(~d)+3a+7c (เป็นรหัสของจุดปลาย , Ep)

= 7(~c) | 7c

ดังนั้นรหัสรวม "า"= Ep(A1)+2b(A1)+4a(A2)+(4(~d)+5(~c))(A3)+7(~c)(A6)+7(~c)(A9)+Ep(A9)

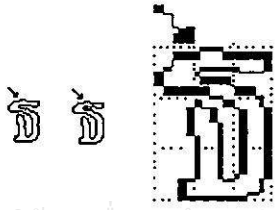
ถ้าพิจารณาเฉพาะทิศทางโดยไม่คำนึงถึงตำแหน่ง

รหัสรวม "า" = Ep+2b+4a+4(~d)+5(~c)+7(~c)+7(~c)+Ep

= Ep+2b+4a+4(~d)+19(~c)+Ep (วิธีที่ 2)

รหัสรวม "า" = Ep+6a+2(~d)+20(~c)+Ep (วิธีที่ 1)

ตัวอย่างการหารหัส "ธ"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ลักษณะโครงสร้างขอบของอักษร "ธ"

วิธีที่ 1

รหัสตัวอักษร "ธ" = 3a+(~d)+7a+2(~c)+(~b)+3(~a)+d+6(~a)+(~b)+(~d)+2a+(~d)+b+2(~d)+2a
+(~d)+a+(~c)+(~d)+4(~c)+(~b)+(~d)+5(~c)+(~b)+(~c)+(~b)+(~a)+(~b)
+10(~a)+d+b+c+a+b+6c+d+4c+b+a+(~d)+a+2(~c)+(~d)+2(~c)+(~b)+(~d)
+4(~c)+(~d)+a+2b+9c+2d+(~a)+d+(~a)+d+7(~a)+d+2c+3b+3a+b

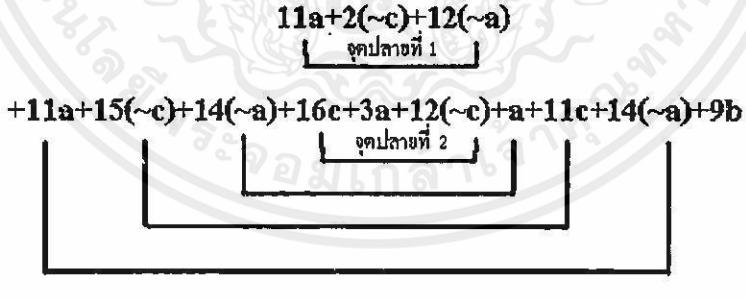
= (3a+(~d)+7a)+2(~c)+(~b)+(3(~a)+d+6(~a))+(~b)+(~d)+2a+((~d)+b+2(~d))
+(2a+(~d)+a)+((~c)+(~d)+4(~c))+(~b)+(~d)+(5(~c)+(~b)+(~c))+((~b)+(~a)
+(~b))+10(~a)+d+b+(c+a+b+6c)+d+4c+b+(a+(~d)+a)+(2(~c)+(~d)+2(~c))
+(~b)+(~d)+4(~c)+(~d)+a+2b+9c+2d+((~a)+d+(~a))+d+7(~a)+d+2c+
(3b+3a+b)

= 11a+2(~c)+((~b)+10(~a)+(~b))+(~d)+(2a+4(~d)+4a)+(6(~c)+(~b)+(~d)
+7(~c))+3(~b)+10(~a)+d+b+(9c+d+4c)+b+3a+(5(~c)+(~b)+(~d)+4(~c))
+(~d)+a+2b+9c+2d+(3(~a)+d+7(~a))+d+2c+7b

= 11a+2(~c)+12(~a)+((~d)+10a)+15(~c)+3(~b)+(10(~a)+d)+(b+14c+b)+3a
+(11(~c)+(~d))+a+(2b+9c)+(2d+11(~a)+d)+(2c+7b)

= 11a+2(~c)+12(~a)+11a+15(~c)+3(~b)+14(~a)+16c+3a+12(~c)+a
+11c+14(~a)+9b

ซึ่งสามารถจับคู่เพื่อหาจุดปลายได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายของอักษร "ธ"

รหัสตัวอักษร "ธ" = Ep+14(~c)+6a+13c+12(~a)+9b+Ep

วิธีที่ 2

รหัสลูกโซ่ "ธ" ที่พื้นที่ A1 = 2(~a)+3(~b)+2(~c)+(~d)+4a

= 2(~a)+3(~b)+2(~c)+5a | 5(~a)+2c+3b+2a

ที่พื้นที่ A2 = b+3a+(~d)+a , (5(~a)+(~b)+(~d)+4a)+(~d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 6a | 6(~a) , 5(~a) | 5a (Ep)

ที่พื้นที่ A3 = (5a+2(~c)+(~b)+3(~a))+d , 2a+(~d)

= 5a | 5(~a) (Ep) , 3a

ที่พื้นที่ A4 = 4(~c) | 4c

ที่พื้นที่ A5 = a+(~d)+a+2(~c)+(~d)+3(~c)

= 3a+6(~d) | 6d+3(~a)

ที่พื้นที่ A6 = 2a+6(~c) , a+5(~c)

= 8(~c) , 6(~c)

= 8(~c) | 8c

ที่พื้นที่ A7 = (~a)+3(~c)+a

= 5(~c) | 5c

ที่พื้นที่ A8 = 4(~c)+(~d)+a , 6a

= 5(~c)+a , 6a

= 5(~c)+a | (~a)+5c, 6a | 6(~a)

ที่พื้นที่ A9 = 4(~c)+2(~b) , (5(~c)+(~b)+(~c))+((~a)+(~b)+(~a))

= 4(~c)+2(~b) | 2b+4c, 7(~c)+3(~a) | 3a+7c

รหัสอักษร "ธ" ที่ได้จากวิธีที่ 2 ไม่สามารถหารหัสรวมได้ ดังนั้นในการเปรียบเทียบข้อมูลจะทำการเปรียบเทียบในแต่ละพื้นที่ ว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ตัวอย่างการหารหัส "บ"

วิธีที่ 1

รหัสลูกโซ่ "บ" = x*+13(~c)+(~d)+6a+b+21c+4a+23(~c)+(~b)+(~a)+(~b)+15(~a)
+d+c+b+a+b+11c+x*

= x*+(13(~c)+(~d))+6a+(b+21c)+4a+23(~c)+((~b)+(~a)+(~b))
+(15(~a)+d)+c+(b+a+b)+11c+x*

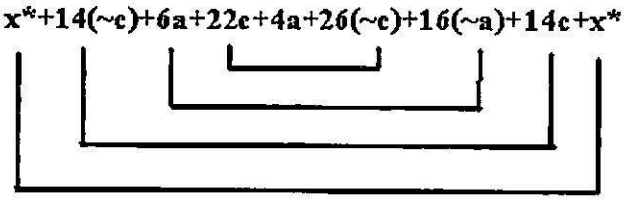
= x*+14(~c)+6a+22c+4a+23(~c)+3(~b)+16(~a)+c+3b+11c+x*

= x*+14(~c)+6a+22c+4a+(23(~c)+3(~b))+16(~a)+c+(3b+11c)+x*

= x*+14(~c)+6a+22c+4a+26(~c)+16(~a)+c+14c+x*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรหัสลูกโซ่ 'บ' การจับคู่เพื่อหาจุดปลายมีวิธีการดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร "บ"

รหัสอักษร "บ" = Hul+14(~c)+11a+24c

ตัวอย่างการหารหัส "ง"

วิธีที่ 1

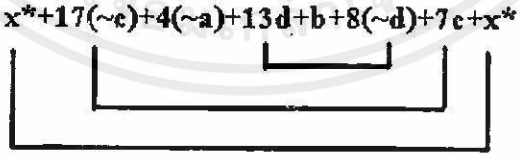
รหัสลูกโซ่ "ง" = x*+17(~c)+4(~a)+4d+c+4d+c+2d+c+b+a+3(~d)+a+3(~d)+b+6c+x*

= x*+17(~c)+4(~a)+(4d+c+4d+c+2d+c)+b+a+(3(~d)+a+3(~d))+(b+6c)+x*

= x*+17(~c)+4(~a)+13d+b+(a+7(~d))+7c+x*

= x*+17(~c)+4(~a)+13d+b+8(~d)+7c+x*

จากรหัสลูกโซ่ 'ง' การจับคู่เพื่อหาจุดปลายมีวิธีการดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การจับคู่เพื่อหาจุดปลายตัวอักษร "ง"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสอักษร "ง" = H+12(~c)+(4(~a))+10d

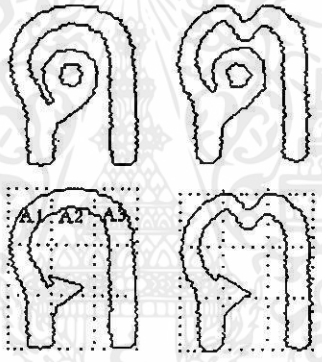
3.6 การแยกตัวอักษรที่คล้ายกัน

จากตำแหน่งส่วนหัว และทิศทางของเส้นของตัวอักษร ยังไม่สามารถแยกตัวอักษรบางตัวออกจากกันได้ เช่น (ด,ต,ถ) , (ม,ฆ) , (ช,ซ) , (ถ,ภ) , (ผ,พ) , (ท,ฑ) จำเป็นต้องหาโครงสร้างอื่นเพิ่มเติมได้แก่ รอยหยักของหัวหรือเส้นและทิศทางการหันของหัวตัวอักษร ดังต่อไปนี้

3.6.1 การหาส่วนหยักของตัวอักษร

กรณี ด , ต

ในกรณีตัวอักษร "ด" และ "ต" ถ้าใช้การวิเคราะห์รหัสตามวิธีที่ 1 อาจพบส่วนที่แตกต่างไม่ชัดเจน จากรูปที่ 3.18 จะเห็นว่าโครงสร้างขอบจะแตกต่างกันเห็นได้ชัดเฉพาะในพื้นที่ A2 ดังนั้นให้นำโครงสร้างขอบในบริเวณพื้นที่ A2 มาพิจารณาอย่างละเอียดอีกครั้งดังนี้



รูปที่ 3.18 ลักษณะความแตกต่างของอักษร "ด" และ "ต"

รหัสอักษร "ด" ในพื้นที่ A2

= 2b+3a+b+8a+(~d)+7a+2(~d)+2a , 3a+2b+2a+b+3a+(~d)+6a+2(~d)

= 2b+(3a+b+8a)+((~d)+7a+2(~d)+2a) , (3a+2b+2a)+b+(3a+(~d)+6a+2(~d))

= 2b+12a+11a , 7a+b+12a

= 25a , 20a

รหัสอักษร "ต" ในพื้นที่ A2

= 5a+2(~d)+(~c)+3(~d)+a+(~d)+(~c)+(~d)+2a+4b+c+5b+2a

, 2a+4(~d)+(~c)+3(~d)+3a+3b+c+4b+a

= 5a+(2(~d)+(~c)+3(~d)+a+(~d)+(~c)+(~d))+2a+(4b+c+5b)+2a

, 2a+(4(~d)+(~c)+3(~d))+3a+(3b+c+4b)+a

= 5a+10(~d)+2a+10b+2a , 2a+8(~d)+3a+8b+a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

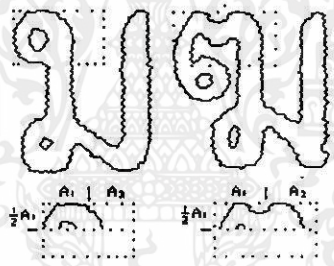
= 5a+(10(~d)+2a+10b)+2a , 2a+(8(~d)+3a+8b)+a

= 5a+L*+2a , 2a+L*+a เมื่อ L* แทนรอยหยักที่เส้น

จากรหัสที่ได้จะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนด้วยวิธีนี้จึงสามารถแยกตัวอักษร "ด" และ "ต" ออกจากกันได้ถึงแม้ในบางครั้งตัวอักษร "ต" จะมีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ คือบริเวณส่วนหัวด้านบนจะติดบริเวณส่วนหยัก ซึ่งต้องวิเคราะห์รหัสจากวิธีที่ 2 เท่านั้น

กรณี (ม,ฆ) , (ช,ซ) , และ (ท,ฑ)

ในกรณีตัวอักษรทั้ง 6 ตัวนี้ลักษณะการวิเคราะห์จะคล้ายกับการวิเคราะห์ ตัวอักษร "ด" และ "ต" แต่ต้องเพิ่มพื้นที่ในการวิเคราะห์เพราะรอยหยักในบริเวณส่วนหัวของตัวอักษร "ฆ" , "ซ" , และ "ฑ" จะครอบคลุมพื้นที่ทั้ง A1 และ A2 ดังนั้นให้นำโครงสร้างขอบในบริเวณครึ่งบนของพื้นที่ A1 และ A2 มาพิจารณาดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ลักษณะความแตกต่างของอักษร "ม" และ "ฆ"

3.6.2 การหาทิศทางของหัวตัวอักษร

ทิศทางของหัวตัวอักษรสามารถแยกออกได้เป็น 4 ลักษณะได้แก่ หัวขวาบน หัวซ้ายบน หัวขวาล่าง และ หัวซ้ายล่าง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

H_{ur} = หัวขวาบน (Up-right head) เช่นอักษร "ผ"

H_{ul} = หัวซ้ายบน (Up-left head) เช่นอักษร "พ"

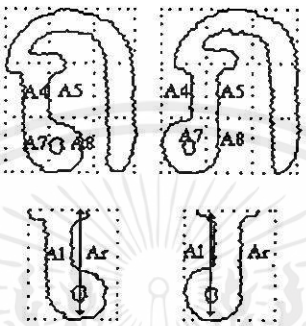
H_{dr} = หัวขวาล่าง (Down-right head) เช่นอักษร "ถ"

H_{dl} = หัวซ้ายล่าง (Down-left head) เช่นอักษร "ภ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี ถ , ภ

ให้นำโครงสร้างขอบในบริเวณพื้นที่ A4 , A5, A7 และ A8 มาพิจารณาดังรูป โดยใช้จุดกึ่งกลางของขอบในเป็นหลัก ลากเส้นแบ่งในแนวตั้ง นำขนาดของข้อมูลในพื้นที่ครึ่งซ้าย (Al) และครึ่งขวา (Ar) มาเปรียบเทียบกัน จะเป็นหัวหันซ้ายถ้า Al มีค่าน้อยกว่า Ar และเป็นหัวหันขวาถ้า Al มีค่ามากกว่า Ar

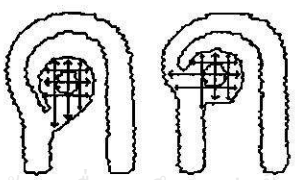


รูปที่ 3.20 ลักษณะความแตกต่างของอักษร "ถ" และ "ภ"

กรณี ค , ด

ในกรณีของตัวอักษร "ค" และ "ด" มีลักษณะการวิเคราะห์ดังนี้ให้ใช้จุดกึ่งกลางขอบในของส่วนหัวเป็นหลัก ลากเส้นแบ่งผ่านจุดกึ่งกลาง 1 เส้น และสัมผัสขอบทั้งสอง 2 เส้น ดังรูปที่ 3.21 มีเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

กำหนดให้	Lv1 , Lv2 , Lv3	แทนขนาดความยาวเส้นในแนวตั้ง	
และ	Lh1 , Lh2 , Lh3	แทนขนาดความยาวเส้นในแนวนอน	
ถ้า	Lv1 + Lv2 + Lv3	> Lh1 + Lh2 + Lh3	จะเป็นตัวอักษร "ด"
ถ้า	Lv1 + Lv2 + Lv3	< Lh1 + Lh2 + Lh3	จะเป็นตัวอักษร "ต"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 ลักษณะความแตกต่างของอักษร "ค" และ "ด"

3.7 การกำหนดรหัสมาตรฐานของตัวอักษร

โครงสร้างต่าง ๆ ของตัวอักษรที่หาได้ทั้งตำแหน่งหัว ทิศทางของเส้น รอยหยักและอื่น ๆ จะถูกนำมารวมกันเพื่อกำหนดเป็นรหัสมาตรฐานไว้สำหรับตรวจสอบว่าเป็นตัวอักษรใด รหัสมาตรฐานจะมี 2 ชุด จะใช้ชุดใดขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการหารหัส ถ้าใช้วิธีที่ 1 รหัสมาตรฐานจะเป็นรหัสรวมทั้งตัวอักษรซึ่งไม่กำหนดตำแหน่งของเส้น แต่กำหนดเฉพาะตำแหน่งของหัวและจุดปลาย ถ้าใช้วิธีที่ 2 รหัสมาตรฐานจะเป็นรหัสที่แยกออกไปในแต่ละพื้นที่ A1 – A9 โดยนำผลการตรวจสอบของทุกพื้นที่มาวิเคราะห์ร่วมกัน ต่อไปจะแสดงตัวอย่างรหัสมาตรฐานที่วิเคราะห์ทั้งตัวอักษร โดยกำหนดให้รหัสที่อยู่ภายในเครื่องหมาย { } เป็นรหัสรองคือจะมีหรือไม่มีก็ได้ ส่วนรหัสที่อยู่ภายนอกเครื่องหมายจะเป็นรหัสหลักหรือต้องตรวจพบจะขาดอันใดอันหนึ่งไม่ได้ โดยใช้ตัวแปร n และ k แทนสัมประสิทธิ์ที่อยู่หน้ารหัสหลัก และรหัสรองตามลำดับ

ตัวอย่างรหัสมาตรฐานที่วิเคราะห์ทั้งตัวอักษร

"ก" = $P_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+P_{A9}$

"ข" = $H_{A1}+\{k_1(b|c)+k_2a+k_3h\}+n_1(\sim c)+\{k_4(\sim a)+P_{A7}\}+n_2a+P_{A3}$

"ค" = $Hur_{A5}+n_1((\sim b)|(\sim c))+n_2c+\{k_1a\}+n_3a+\{k_2(\sim d)\}+n_4(\sim c)+P_{A9}$

"ฆ" = $Hs_{A1}+\{k_1(\sim b)\}+n_1(\sim c)+Hs_{(A7|A8)}+n_2(a|(\sim d))\}+n_3c+P_{A3}$

"ง" = $H_{A3}+n_1(\sim c)+\{k_1(\sim a)\}+n_2d+P_{(A4|A5)}$

"จ" = $H_{A5}+n_1(\sim d)+n_2c+\{k_1d\}+n_3(\sim a)+\{k_2(\sim b)\}+n_4c+P_{A1}$

"ฉ" = $H_{(A1|A2|A4)}+n_1(\sim c)+n_2(a|b)+H_{A9}+n_3c+\{k_1d\}+n_4(\sim a)+\{k_2(\sim b)\}+n_5c+P_{(A1|A2)}$

"ฌ" = $H_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+H_{A8}+n_4(a|(\sim d))+n_5c+P_{A3}$

"ญ" = $H_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+n_4a+n_5c+P_{A3}+I_1$

"ฎ" = $H_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+I_2$

"ฏ" = $H_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+I_3$

"ฑ" = $Hs_{A1}+\{k_1(\sim b)\}+n_1(\sim c)+n_2b+n_3(\sim c)+P_{A9}$

"ฒ" = $H_{(A1|A2|A4)}+n_1((\sim b)|(\sim c))+n_2c+\{k_1a\}+L_s+\{k_2a\}+n_3(\sim c)+H_{A8}+n_4(a|(\sim d))+n_5c+P_{A3}$

"ณ" = $H_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+n_4(a|b)+H_{A9}+n_5c+P_{A3}$

"ด" = $Hul_{A5}+n_1((\sim b)|(\sim c))+n_2c+\{k_1a\}+n_3a+\{k_2(\sim d)\}+n_4(\sim c)+P_{A9}$

"ต" = $Hul_{A5}+n_1((\sim b)|(\sim c))+n_2c+\{k_1a\}+L_s+\{k_2a\}+n_3(\sim c)+P_{A9}$

"ถ" = $H_{A7}+n_1c+\{k_1(a|b)+k_2((\sim a)|d)+k_3b\}+n_2a+\{k_4(\sim d)\}+n_3(\sim c)+P_{A9}$

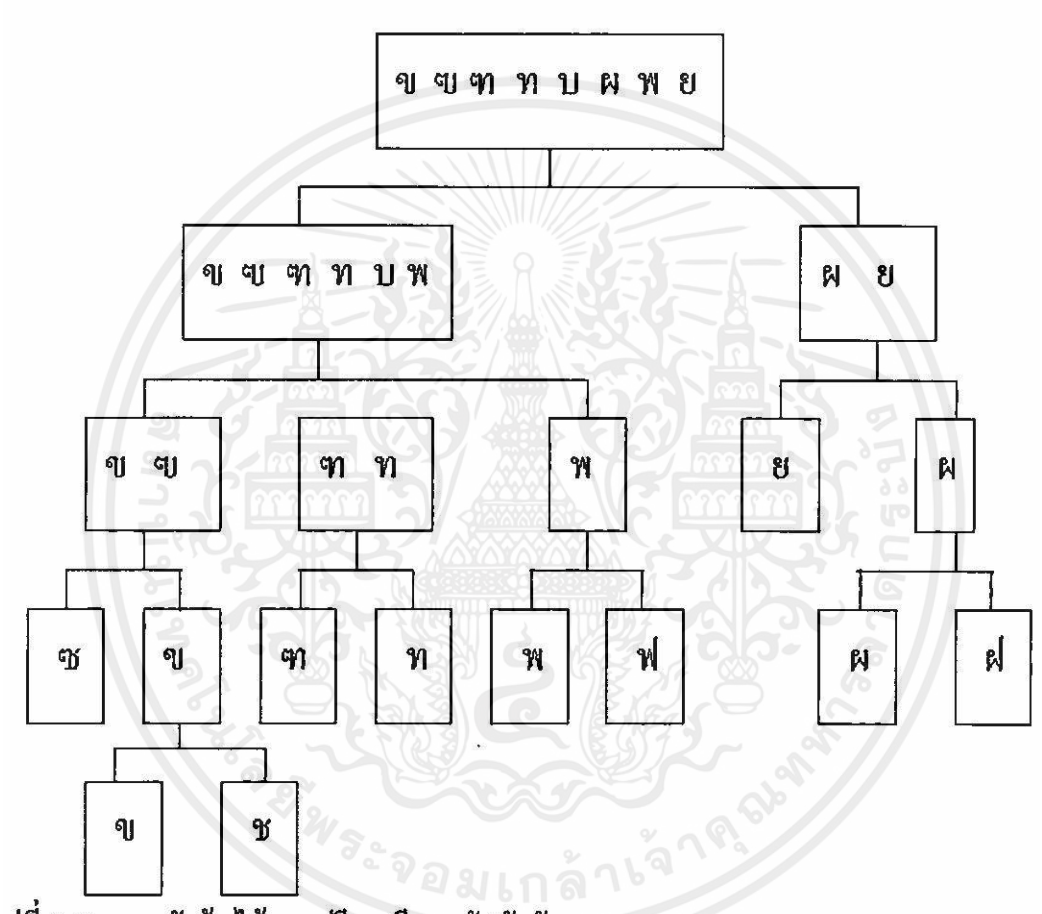
"ท" = $H_{A1}+n_1(\sim c)+n_2(c|b)+\{k,a\}+n_3(\sim c)+P_{A9}$

"น" = $H_{A1}+n_1(\sim c)+n_2(a|b)+H_{A9}+n_3c+P_{A3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การเปรียบเทียบรหัสโครงสร้างที่หาได้กับรหัสมาตรฐาน

ในการเปรียบเทียบรหัสโครงสร้างที่หาได้กับรหัสมาตรฐาน จะเริ่มพิจารณาจากการจัดกลุ่มของตัวอักษรเป็นหลัก เช่น เป็นอักษรกลุ่มที่ 1 คือมี 1 ส่วนหัว เป็นอักษรกลุ่มที่ 2 คือมี 2 ส่วนหัว หรือเป็นอักษรกลุ่มที่ 3 คือมี ไม่มีส่วนหัว จากนั้นจึงพิจารณาโครงสร้างที่อยู่ถัดไป จนถึงโครงสร้างสุดท้าย หรือในบางครั้งก็ไม่จำเป็นต้องถึงโครงสร้างสุดท้าย ก็สามารถบอกได้ว่าเป็นตัวอักษรใด ลักษณะการเปรียบเทียบกรณีพบตัวอักษรที่มี 1 ส่วนหัว อยู่ที่ตำแหน่ง A1 แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แผนผังต้นไม้การเปรียบเทียบรหัสตัวอักษร

ตัวอย่างขั้นตอนการจดจำตัวอักษร "ฟ" ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.23 ขั้นตอนการจดจำตัวอักษร "ฟ"

3.9 การเปรียบเทียบชนิดตัวอักษรโดยใช้พุชดาวน์ออโตเมตอน (Pushdown automaton)

ในขั้นตอนการนำรหัสขอบตัวอักษรที่หาได้ไปเปรียบเทียบกับรหัสมาตรฐาน จะใช้หลักการของพุชดาวน์ ออโตเมตอน [1] เป็นหลัก ก่อนที่จะอธิบายหลักการโดยละเอียดต่อไปจะกล่าวถึงออโตเมตอนแบบสถานะจำกัดดังนี้

3.9.1 ออโตเมตอนแบบสถานะจำกัด (Finite state automaton)

กำหนดให้ A เป็นออโตเมตอนแบบสถานะจำกัด ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$A = (\Sigma , Q , \delta , q_0 , F) \qquad [3.1]$$

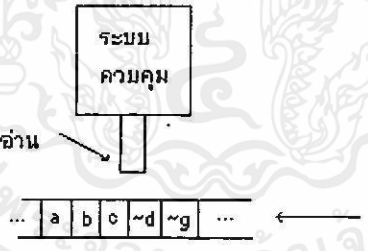
เมื่อ Σ = เซตจำกัดของข้อมูลอินพุท เช่น a, b, c, ~, +, ...

Q = เซตจำกัดของสถานะทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้

q_0 = สถานะเริ่มต้น (initial state) , $q_0 \in Q$

F = เซตจำกัดของสถานะสิ้นสุด (final state) , $F \subseteq Q$

และ δ แทนการเปลี่ยนจากสถานะปัจจุบันไปเป็นสถานะต่อไป เมื่อมีข้อมูลอินพุทเข้ามาอธิบายดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ลักษณะการอ่านข้อมูลของออโตเมตอนแบบสถานะจำกัด

การทำงานของระบบเริ่มจากระบบควบคุม ซึ่งมีสถานะปัจจุบันเป็น Q ทำการอ่านข้อมูลลำดับอินพุททีละตัว ทิศทางจากซ้ายไปขวา โดยข้อมูลอินพุททั้งหมดจะอยู่ใน Σ การอ่านข้อมูลอินพุทแต่ละตัวจะเป็นผลให้สถานะปัจจุบัน (q) เปลี่ยนเป็นสถานะถัดไป (q') ดังนี้

$$\delta(q,a) = q' \text{ , เมื่อ } q, q' \in Q \text{ และ } a \in \Sigma \qquad [3.2]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความหมายดังนี้ เมื่อออโตเมตอน A ได้รับข้อมูลอินพุท a จะเปลี่ยนสถานะจาก q ไปเป็น q' ชุดของสตริง (x) ที่ยอมรับโดย A ถูกนิยามโดย

$$T(A) = \{x \mid \delta(q_0,x) \in F\} \qquad [3.3]$$

ก่อนที่จะนำหลักการของออโตเมตอนไปประยุกต์ใช้ เราจะพิจารณาไวยากรณ์ที่ใช้กับข้อมูลตัวอักษรดังนี้

กำหนดไวยากรณ์ (grammar)

$$G = (V_N, V_T, P, S)$$
$$V_N = \{S, M\}$$
$$V_T = \{Hd, a, b, c, d, \sim, +, -, x, *\} \qquad [3.4]$$

เมื่อ V_T (terminal alphabet) คือเซตจำกัดที่ไม่ใช่เซตว่างของสัญลักษณ์ทั้งหมดในภาษา

V_N (nonterminal alphabet) คือเซตจำกัดที่ไม่ใช่เซตว่างของสัญลักษณ์ทั้งหมดในภาษา

P (production) คือกฎในการเปลี่ยนสตริงย่อยในสตริงใด ๆ สามารถเขียนได้ในรูป $a \longrightarrow b$ เมื่อ a เป็นสตริงซ้ายมือ และ bเป็นสตริงขวามือ กฎดังกล่าวหมายความว่า ให้นำสตริงขวามือไปแทนสตริงย่อยซึ่งเท่ากับสตริงซ้ายมือที่ต้องการเปลี่ยน กรณีมีหลายโปรดักชั่นที่สตริงทางซ้ายมือมีค่าเท่ากัน สามารถเขียนย่อรวมกันได้โดยใช้เครื่องหมาย | คั่นสตริงขวามือ เช่น $a \longrightarrow b$ และ $a \longrightarrow c$ สามารถเขียนย่อรวมกันเป็น $a \longrightarrow b|c$

S เป็น สัญลักษณ์นอนเทอร์มินอลที่ใช้เป็นสัญลักษณ์เริ่มต้น (starting symbol)

กฎการแปลง P :

1. $S \longrightarrow a$	2. $S \longrightarrow b$	3. $S \longrightarrow c$	4. $S \longrightarrow d$
5. $M \longrightarrow +$	6. $M \longrightarrow -$	7. $M \longrightarrow x$	8. $M \longrightarrow *$
9. $M \longrightarrow \sim$	10. $S \longrightarrow (\sim S)$	11. $S \longrightarrow SMS$	12. $S \longrightarrow (SMS)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประยุกต์ใช้กับตัวอักษร "ก"

$S \Rightarrow SMS \quad \Rightarrow c+SMS \quad \Rightarrow c+a+(\sim S) \quad \Rightarrow c+a+(\sim c)$

กำหนดให้ A เป็นออโตเมตอนแบบสถานะจำกัดของตัวอักษร "ก" ดังนี้

$$A = (\Sigma , Q , \delta , q_0 , F) \qquad [3.5]$$

เมื่อ $\Sigma = \{a, c, \sim\}$

$Q = \{ q_0 , q_1 , q_2 , q_3 \}$

q_0 = สถานะเริ่มต้น (initial state)

$F = q_3$

การเปลี่ยนสถานะของ δ เป็นดังนี้

$\delta(q_0,c) = q_1$

$\delta(q_1,a) = q_2$

$\delta(q_2,\sim c) = q_3$

หรืออาจเขียนรวมกันได้ดังนี้ $\delta(q_0,ca\sim c) = q_3$ นั่นคือสตริง $x = ca\sim c$ ถูกยอมรับโดย A

ตัวอย่างกรณีตัวอักษร "จ"

$S \Rightarrow SMS \quad \Rightarrow SMS+SMS \Rightarrow SMS+c+(\sim S)+(\sim S)$

$\Rightarrow H+(\sim S)+c+(\sim a)+(\sim c) \quad \Rightarrow H+(\sim d)+c+(\sim a)+(\sim c)$

$$A = (\Sigma , Q , \delta , q_0 , F) \qquad [3.6]$$

เมื่อ $\Sigma = \{H, a, c, d, \sim\}$

$Q = \{ q_0 , q_1 , q_2 , q_3 , q_4 , q_5 \}$

$F = q_5$

การเปลี่ยนสถานะของ δ เป็นดังนี้

$\delta(q_0,H) = q_1$, $\delta(q_1,\sim d) = q_2$, $\delta(q_2,c) = q_3$,

$\delta(q_3,\sim a) = q_4$, $\delta(q_4,\sim c) = q_5$

หรืออาจเขียนรวมกันได้ดังนี้ $\delta(q_0,H\sim dc\sim a\sim c) = q_5$ นั่นคือสตริง $x = ca\sim c$ ถูกยอมรับโดย A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 พุชดาวน์ออโตเมตา (Pushdown automata)

พุชดาวน์ออโตเมตาถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวจดจำข้อมูล ซึ่งมีลักษณะดังนี้ กำหนดให้ M เป็นพุชดาวน์ออโตเมตอน ซึ่งมีนิยามคือ

$$M = (\Sigma , Q , \Gamma , \delta , q_0 , Z_0 , F) \qquad [3.7]$$

เมื่อ Σ = เซตจำกัดของข้อมูลอินพุท เช่น a, b, c, ~, +, ...

Q = เซตจำกัดของสถานะทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้

Γ = เซตจำกัดของสัญลักษณ์มาตรฐาน

q_0 = สถานะเริ่มต้น (initial state) , $q_0 \in Q$

Z_0 = สัญลักษณ์มาตรฐานเริ่มต้น (initial symbol) , $Z_0 \in \Gamma$

F = เซตจำกัดของสถานะสิ้นสุด (final state) , $F \subseteq Q$

เมื่อประยุกต์ใช้กับตัวอักษร "ก"

$S \Longrightarrow SMS \Longrightarrow c+SMS \Longrightarrow c+a+(\sim S) \Longrightarrow c+a+(\sim c)$

กำหนดให้ M เป็นพุชดาวน์ออโตเมตอน ของตัวอักษร "ก" ดังนี้

$$M = (\Sigma , Q , \Gamma , \delta , q_0 , Z_0 , F) \qquad [3.8]$$

เมื่อ $\Sigma = \{a, b, c, d, e, f, g, h, \sim\}$

$Q = \{ q_0 , q_1 , q_2 , q_3 \}$

$\Gamma = \{a, c, \sim\}$

$Z_0 = c$

$F = q_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนสถานะของ δ เป็นดังนี้

$\delta(q_0,c, c) = \{(q_1 ,a)\}$,

$\delta(q_0,a , c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_0, b, c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_0, g, c) = \{(q_0 ,c)\}$,

$\delta(q_0,d , c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_0,e, c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_0, f, c) = \{(q_0 ,c)\}$,

$\delta(q_1,a, a) = \{(q_2 ,\sim c)\}$,

$\delta(q_1,c , a) = \{(q_1 ,c)\}$, $\delta(q_1, b, a) = \{(q_1 ,c)\}$, $\delta(q_1, g, a) = \{(q_1 ,c)\}$,

$\delta(q_1,d , a) = \{(q_1 ,c)\}$, $\delta(q_1,a, c) = \{(q_1 ,c)\}$, $\delta(q_1, f, a) = \{(q_1 ,c)\}$,

$\delta(q_2,\sim c, \sim c) = q_3$,

$\delta(q_2,a , \sim c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_2, b, \sim c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_2, g, \sim c) = \{(q_0 ,c)\}$,

$\delta(q_2,d , \sim c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_2,e, \sim c) = \{(q_0 ,c)\}$, $\delta(q_2, f, \sim c) = \{(q_0 ,c)\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและปัญหาที่พบ

4.1 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลตัวอักษรไทยที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 โดยเป็นคำกลอนที่มีตัวอักษร สระ และวรรณยุกต์ครบทุกตัว ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของสมาคมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทย รูปแบบของตัวอักษรใช้ของไมโครซอฟท์เวิร์ด ขนาด 14 ทั้งหมด 5 รูปแบบได้แก่ รูปแบบ Angsana New, รูปแบบ Browallia New, รูปแบบ Cordia New, รูปแบบ Dillenia UPC และรูปแบบ Eucrosia UPC โดยสแกนรูปแบบละ 10 ครั้ง รวมจำนวนทดสอบทั้งหมด 50 จำนวนต่อ 1 ตัวอักษร การสแกนใช้โหมดความละเอียด 2400 จุดต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้ได้เพิ่มตารางลงในข้อมูลเพื่อทดสอบ ขั้นตอนการแยกตารางออกจากตัวอักษร ซึ่งจากการทดลองไม่พบปัญหาในขั้นตอนนี้แต่อย่างใด

"เป็นมนุษย์สุดประเสริฐเลิศคุณค่า กว่าบรรดาฝูงสัตว์เดรัจฉาน
จงฝ่าฟันพัฒนาวิชาการ อย่าล้างผลาญฤาเข่นฆ่าบีฑาใคร
ไม่ถือโทษโกรธแช่งซัดฮึดฮัดด่า หัดอภัยเหมือนกีฬาอัชฌาสัย
ปฏิบัติประพฤติกฎกำหนดใจ พูดจาให้ จ๊ะ ๆ จ๋า ๆ น่าฟังเอย"

ตารางการแบ่งกลุ่มตัวอักษร	
กลุ่มที่ 1	ก า ธ
กลุ่มที่ 2	จ บ ผ พ
กลุ่มที่ 3	น ม ณ ฌ

รูปที่ 4.1 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์

ตัวอักษร	จำนวนทดสอบ	ผลการทดสอบ		ลักษณะของการผิดพลาด
		ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
ก	50	49	1	-โครงสร้างเส้นไม่สมบูรณ์
ข	50	48	2	-ส่วนหัวมี 2 ขอบใน
ค	50	47	3	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน
ฆ	50	46	4	-ส่วนหัวมี 2 ขอบใน -รอยหยักไม่ชัดเจน
ง	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
จ	50	48	2	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -พบขอบใน 2 ขอบ
ฉ	50	49	1	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ช	50	48	2	-พบขอบใน 2 ขอบ
ซ	50	46	4	-รอยหยักไม่ชัดเจน -ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่
ฌ	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ญ	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ฎ	50	45	5	-ส่วนหางไม่ชัดเจน -พบขอบในมากกว่า 1 ขอบ ที่บริเวณหาง
ฏ	50	43	7	-ส่วนหางไม่ชัดเจน -พบขอบในมากกว่า 1 ขอบ ที่บริเวณหาง
ฐ	50	46	4	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -พบขอบในมากกว่า 1 ขอบ ที่บริเวณลำตัว
ฑ	50	48	2	-รอยหยักไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอักษร	จำนวนทดสอบ	ผลการทดสอบ		ลักษณะของการผิดพลาด
		ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
ฒ	50	47	3	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน -ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ณ	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ด	50	48	2	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน
ต	50	47	3	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -รอยหยักไม่ชัดเจน -พบขอบใน 2 ขอบ
ถ	50	48	2	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน
ท	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ธ	50	47	3	-ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -พบขอบใน 2 ขอบ
น	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่
บ	50	50	0	-
ป	50	49	1	-ส่วนหางไม่ชัดเจน
ผ	50	48	2	-ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน -รอยหยักไม่ชัดเจน
ฝ	50	48	2	-ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน -รอยหยักไม่ชัดเจน -ส่วนหางไม่ชัดเจน
พ	50	48	2	-ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน -รอยหยักไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอักษร	จำนวนทดสอบ	ผลการทดสอบ		ลักษณะของการผิดพลาด
		ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
ฟ	50	48	2	-ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน -รอยหยักไม่ชัดเจน -ส่วนหางไม่ชัดเจน
ภ	50	48	2	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน
ม	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่
ย	50	48	2	-รอยหยักไม่ชัดเจน -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน
ร	50	47	3	-ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ล	50	48	2	-ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ว	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ศ	50	47	3	-ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน -พบขอบใน 2 ขอบ -ลักษณะการหันของหัวไม่ชัดเจน -ส่วนหางไม่ชัดเจน
ษ	50	46	4	-ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -พบขอบใน 2 ขอบ -ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน
ส	50	47	3	-ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ส่วนหางไม่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวอักษร	จำนวนทดสอบ	ผลการทดสอบ		ลักษณะของการผิดพลาด
		ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
ห	50	48	2	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน --ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่
ฬ	50	46	4	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -ส่วนหางไม่ชัดเจน
อ	50	49	1	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน
ฮ	50	47	3	-ส่วนหัวทึบไม่พบขอบใน -ตำแหน่งของเส้นคลุมหลายพื้นที่ -ส่วนหัวติดกับขอบด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปงานวิจัย

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการจดจำตัวพิมพ์อักษรไทยจากตาราง โดยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างจากขอบตัวอักษร เป็นการนำข้อมูลที่อยู่ในรูปของตารางที่ได้จากเครื่องตรวจกวาดภาพ ผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพ พิจารณาลักษณะโครงสร้างของขอบตารางและขอบตัวอักษร โดยการติดตามรอยขอบเมื่อเคลื่อนที่ไปแต่ละจุด จะกำหนดทิศโดยใช้รหัสลูกโซ่ ในแต่ละครั้งที่เคลื่อนที่ไปจนกว่าจะวนกลับมายังจุดแรก นำรหัสลูกโซ่ที่ได้มาผ่านการวิเคราะห์เพื่อลดจำนวนข้อมูลลง รหัสโครงสร้างขอบของตารางจะแตกต่างกับโครงสร้างขอบของตัวอักษร แยกรหัสของตารางออกไป นำรหัสขอบของตัวอักษรแต่ละตัวที่หาได้มาวิเคราะห์ เริ่มจากการวิเคราะห์หาจำนวนและตำแหน่งส่วนหัวของตัวอักษร เพื่อแบ่งตัวอักษรออกเป็นกลุ่ม ๆ ในการหาตำแหน่งจะทำการแบ่งพื้นที่ตัวอักษรออกเป็น 9 พื้นที่ ลบขอบนอกของตัวอักษรออกไปให้เหลือเพียงขอบในของส่วนหัว ก็จะรู้ตำแหน่งของส่วนหัว

จากนั้นทำการวิ่งไต่ขอบเพื่อหาขนาดและทิศทางของเส้น จำนวนและตำแหน่งจุดปลาย นำค่าเหล่านี้มารวมกันเป็นรหัสของตัวอักษร ตัวอักษรไทยหลายตัวมีลักษณะเป็นแบบปิดคือไม่สามารถวนไต่ขอบได้ครบ ซึ่งจะแก้ปัญหานี้โดยหาโครงสร้างย่อยในแต่ละพื้นที่และเปรียบเทียบเฉพาะพื้นที่เท่านั้น ในการทำงานจริงใช้วิธีหาโครงสร้างรวมทั้งหมดก่อน ถ้าไม่ได้คำตอบถึงจะใช้วิธีการหาโครงสร้างแบบแยกพื้นที่ นำรหัสโครงสร้างตัวอักษรที่หาได้ไปเปรียบเทียบกับรหัสมาตรฐานที่เก็บไว้ เมื่อพบว่าตรงกับตัวอักษรใดจะแสดงผลลัพธ์ออกมาทางจอแสดงผล

5.2 บทวิจารณ์

วิทยานิพนธ์นี้มีข้อดีคือพิจารณาที่โครงสร้างตัวอักษร (syntactic) เป็นหลัก ทำให้การรู้จำมีความถูกต้องมาก ถ้าเป็นวิธีที่ใช้ค่าทางสถิติ (statistic) จะมีความผิดพลาดมากในกรณีที่ตัวอักษรมีความคล้ายกัน และการหาโครงสร้างหลักของตัวอักษรจากโครงสร้างขอบ โดยไม่ต้องนำตัวอักษรไปผ่านกระบวนการทำให้บาง จะทำให้ประหยัดเวลาในการประมวลผล นอกจากนี้ในการแบ่งพื้นที่ตัวอักษรออกเป็นพื้นที่ย่อยเพื่อวิเคราะห์เฉพาะพื้นที่นั้น ๆ จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนข้อเสียคือ เสียเวลาในการวิเคราะห์และลดรูปรหัส ในกรณีที่เป็นตัวอักษรขนาดใหญ่ และความคลุมเครือไม่ชัดเจนของโครงสร้างขอบ รวมถึงโครงสร้างที่ได้จากการตรวจกวาดภาพไม่สมบูรณ์ จะทำให้การประมวลผลมีความผิดพลาดได้ง่าย ตัวอักษรบางตัวที่มีความคล้ายกันมากเช่น "ฎ" และ "ฏ" การหาความแตกต่างจะทำได้ยากและไม่ค่อยแน่นอน

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ความถูกต้องของโครงสร้างขอบของตัวอักษรมีความสำคัญมาก ดังนั้นในการตรวจกวาดภาพควรเลือกที่โหมดความละเอียดสูงพอสมควร เพื่อจะได้โครงสร้างขอบที่สมบูรณ์ และควรเพิ่มการวิเคราะห์ความผิดพลาดในกรณีที่ตัวอักษรติดกัน หรือเพิ่มพจนานุกรมคำศัพท์เพื่อช่วยวิเคราะห์ในกรณีที่ตัวอักษรมีความคล้ายกันมาก ๆ เช่นตัวอักษร "ฎ" และ "ฏ"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. King Sun Fu "**Syntactic Pattern Recognition**" Prentice-Hall 1987 หน้า 32-35 , 57-67
2. สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ "**การจดจำตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยโดยการพิจารณาหัวของตัวอักษร**" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2530 หน้า 25-30
3. สมหมาย บัวแย้มแสง "**การดึงข้อมูลจากตารางโดยใช้วิธีโมเมนต์**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ. 2539 หน้า 210-213
4. สมหมาย บัวแย้มแสง "**การรู้จำตัวพิมพ์อักษรไทยโดยการพิจารณาโครงสร้างของขอบตัวอักษร**" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 22 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2542 หน้า 143-146
5. สนธยา เมรินทร์ "**การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยใช้วิธีซินแทกติก**" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2542 หน้า 8-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาม : สมหมาย บัวแย้มแสง

เกิด : พฤหัส ที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2510 ณ. กรุงเทพมหานครฯ

การศึกษา : อุตสาหกรรมศาตรบัณฑิต (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้