บทที่ 3

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมเพื่อศึกษาตะกอนแขวนลอย

ดังได้กล่าวในบทที่ 2 แล้วว่า ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมนั้นแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ ๆ 2 ขั้นตอน คือการแยกประเภทข้อมูล และการจำแนกแต่ละขั้นตอนก็มีวิธีการต่าง ๆ มากมาย ในที่นี้เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ จะกล่าวถึงขั้นตอนต่าง ๆ ตามระบบโปรแกรมสำเร็จรูป CU-RECOGX ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ศูนย์ ถึงขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนในการแยกภูมิประเทศเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 ส่วนขั้นตอนในการจำแนกอยู่ในขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 6

<u>ขั้นตอนที่ ศูนย์ การจัดเรียงข้อมูลใหม่</u> (Reformatting)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนพิเศษที่ใช้ในการจัดเรียงข้อมูล ซี.ซี.ที. ใหม่ให้ง่ายแก่การวิเคราะห์ในขั้นตอนอื่น ๆ ต่อไป

โดยปกติ เทป ซี.ซี.ที. 1 ม้วน จะบรรจุข้อมูลดาวเทียมของภาพขนาด 185 x 185 ตารางกิโลเมตร ข้อมูลของภาพในเทป ซี.ซี.ที. จะถูกแบ่งเป็น 4 แถบภาพ (Strip) แต่ละแถบภาพจะถูกบันทึกเป็นข้อมูล 1 แฟ้ม แต่ละแฟ้มประกอบด้วยข้อมูลประมาณ 2 ล้านจุดภาพ หรือประมาณ 2340 บันทัด x 000 สแปน์

เนื่องจากข้อมูลในเทป ซี.ซี.ที. มีรูปแบบ (Format) ที่ไม่สะดวกแก่การใช้งาน จึงมีการจัดเรียงข้อมูลใหม่ โดยเลือกเฉพาะบริเวณที่ต้องการศึกษาเท่านั้น เพื่อเป็นการประหยัดเวลาคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ บริเวณแม่น้ำบางปะกงที่ต้องการศึกษานั้นอยู่ในแถบภาพที่ 3 กล่าวคือ ตั้งแต่บันทัดที่ 1-800 ของข้อมูลเฟรม 731116 และบันทัดที่ 150-950 ของข้อมูลเฟรม 730106

<u>ขั้นตอนที่ 1 การสร้างภาพพิมพ์</u> (Graymap)

ขั้นตอนนี้ใช้ในการสร้างภาพพิมพ์ที่แสดงถึงค่าระดับสีเทาของแต่ละช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภาพพิมพ์ที่ได้จะแสดงถึงการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของประเภทข้อมูลต่าง ๆ ในเขตของภาพพิมพ์นั้น ๆ

การคำนวณเพื่อหาขอบเขตของบริเวณที่ต้องการศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียมนั้น มักจะไม่ได้ขอบเขตที่ถูกต้องในเทปข้อมูลจัดเรียงใหม่ เป็นแต่เพียงการประมาณเท่านั้น ในขั้นแรกของการสร้างภาพพิมพ์จึงใช้ในการกำหนดขอบเขตของบริเวณที่ศึกษาในเทปข้อมูลจัดเรียงใหม่ก่อน แล้วจึงนำขอบเขตที่ได้ไปสร้างภาพพิมพ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป โดยใช้ภาพพิมพ์ที่ได้ไปกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (training area) เพื่อนำไปหาข้อมูลทางสถิติ

ในกรณีที่การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของบริเวณเดียวกันแต่ต่างเวลา ตั้งแต่ 2 เฟรมขึ้นไป ภาพพิมพ์ที่ได้ยังต้องนำไปใช้ในการทำหมุดรังวัด (bench mark) ด้วย โดยนำภาพพิมพ์ของข้อมูลต่างเฟรมและต่างเวลากันนั้นมาพิจารณาดูว่า เส้นใดของข้อมูลเฟรมแรกตรงกับเส้นที่เท่าไรของข้อมูลเฟรมที่ 2 สดมภ์ใดของข้อมูลเฟรมแรกตรงกับสดมภ์ที่เท่าไรของข้อมูลเฟรมที่ 2 จึงจะทำให้ภาพพิมพ์ของทั้งสองเฟรมนั้นแสดงถึงอาณาบริเวณเดียวกัน

ในการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างนั้น จะต้องทราบเสียก่อนว่า ประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนกมีอะไรบ้าง ในที่นี้ต้องการจำแนกออกเป็น 7 ชนิดด้วยกัน คือบริเวณน้ำทะเลที่แสดงถึงตะกอนแขวนลอยที่มีความเข้มข้นสูง ความเข้มข้นปานกลาง ความเข้มข้นต่ำ น้ำใส ป่าชายเลน ป่าจาก และนาข้าว สิ่งที่ใช้ช่วยในการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างบนบกก็คือแผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ที่จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร กองทัพบก การกำหนดพื้นที่ตัวอย่างทำได้โดยนำภาพพิมพ์มาเทียบเคียงกับแผนที่ดูว่า พื้นที่ที่แสดงถึงประเภทข้อมูลที่ต้องการอยู่ในบันทัดที่เท่าไรถึงเท่าไร และคอลัมน์ที่เท่าไรถึงเท่าไร ก็ให้ตีกรอบแสดงว่าเป็นข้อมูลประเภทนั้น ๆ ก็จะได้พื้นที่ตัวอย่างของประเภทข้อมูลนั้น

ส่วนการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างในส่วนของน้ำทะเลนั้นใช้การกำหนดในเชิงสัมพัทธ์ โดยกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของตะกอนแขวนลอยที่มีความเข้มข้นสูงให้เทียบเคียงได้กับบริเวณหาดเลนของกรมแผนที่ทหาร ทั้งนี้ เนื่องจากในเวลาที่น้ำขึ้นสูงสุดนั้น ตะกอนบริเวณหาดเลนจะถูกกวนให้ขุ่นขึ้นมาทำให้มีความเข้มข้นสูง ดังนั้น บริเวณที่แสดงถึงตะกอนแขวนลอยที่มีความเข้มข้นสูง จะหมายถึงบริเวณหาดเลนเมื่อน้ำลงต่ำด้วย

การกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของประเภทข้อมูลที่เป็นน้ำใส กำหนดบริเวณที่อยู่ห่างจากชายฝั่งมาก ๆ ตรงมุมของภาพพิมพ์ และเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาน้อยที่สุด ส่วนความเข้มข้นอื่น ๆ ก็กำหนดตามค่าระดับสีเทาที่ลดหลั่นกันลงไป ถ้าบริเวณที่กำหนดนั้นมีการวิเคราะห์ข้อมูลตะกอนแขวนลอยในภาคสนามในช่วงเวลาที่มีการถ่ายภาพดาวเทียม การกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของพื้นน้ำจะทำได้อย่างถูกต้องมากกว่าการกำหนดโดยใช้ความสัมพัทธ์

ประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนกแต่ละชนิดจะมีพื้นที่ตัวอย่างกี่พื้นที่ก็ได้ ถ้าพื้นที่ตัวอย่างมีมากก็จะทำให้ค่าสถิติมีความเชื่อถือได้สูงขึ้นไปด้วย

ขั้นตอนที่ 2 การหาข้อมูลสถิติ

เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการหาค่าทางสถิติ เพื่อแสดงถึงความเป็นตัวแทนของพื้นที่ตัวอย่างที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 ค่าสถิติที่หา คือค่าเฉลี่ย (mean vector) และค่าความเบี่ยงเบน (covariance matrix) การใช้งานในขั้นตอนนี้อาจมีการประมวลผลหลายครั้ง มีการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างใหม่หลายหน เพื่อให้แน่ใจว่าพื้นที่ตัวอย่างนั้นเป็นพื้นที่ที่แสดงถึงความเป็นตัวแทนของประเภทข้อมูลนั้นจริง ๆ ไม่ได้มีส่วนผสมของประเภทข้อมูลอื่นเข้าไปด้วย

การที่จะบอกว่าพื้นที่ตัวอย่างนั้นแสดงถึงความเป็นตัวแทนแล้วหรือไม่ นอกจากดูจากค่าสถิติแล้ว ในบางครั้งจำเป็นต้องตรวจสอบจนถึงขั้นตอนของการทดลองจำแนกเสียก่อน ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลบางประเภทมีการเปลี่ยนแปลงจากประเภทข้อมูลหนึ่งไปเป็นอีกประเภทหนึ่งได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลนไปเป็นป่าจากในกรณีที่เกิดการทำลายป่าชายเลน ในกรณีเช่นนี้ บริเวณที่แผนที่ระบุไว้ว่าเป็นป่าชายเลน จริง ๆ แล้วอาจถูกบุกรุกทำลายจนกลายเป็นป่าจากไปแล้วก็ได้ ถึงแม้กำหนดให้พื้นที่ตัวอย่างของป่าจากนั้น ๆ เป็นป่าชายเลน ค่าสถิติที่ได้ก็ยังคงเกาะกลุ่มกันอยู่แสดงถึงความเป็นข้อมูลประเภทเดียวกัน จนถึงขั้นตอนของการทดลองจำแนกแล้ว เมื่อมาเทียบเคียงกับแผนที่ที่มีอยู่ จึงจะทราบว่าผิดหรือไม่ ทั้งนี้เพราะประเภทข้อมูลส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับแผนที่ จะมีบางส่วนเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลง

สิ่งที่ช่วยในการตัดสินใจว่า พื้นที่ตัวอย่างนั้นพอจะใช้เป็นตัวแทนเพื่อการทดลองจำแนกต่อไป คือแผนภูมิแท่ง และตาราง เปรียบเทียบรังสีสะท้อน (spectral and co-incident spectral plot) โดยพิจารณาว่า ถ้าพื้นที่ตัวอย่างที่เลือกเป็นตัวแทนของประเภทข้อมูลมีค่ารังสีสะท้อน (co-incident spectral) ในตาราง เปรียบเทียบรังสีสะท้อนของทั้ง 4 แบนด์ ก็แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างนั้นเป็นตัวแทนของข้อมูลประเภทเดียวกัน ถ้าพื้นที่ตัวอย่างที่เลือกมีค่าของรังสีสะท้อนที่มีพิสัยกว้างมาก ควรทดลองย่อยพื้นที่ให้เล็กลง เพราะพื้นที่นั้นอาจมีส่วนผสมของข้อมูลประเภทอื่นปนอยู่ก็ได้

<u>ขั้นตอนที่ 3 การหาค่าความห่าง</u> (Divergence)

ขั้นตอนนี้ใช้ในการคำนวณหาค่าความห่างระหว่างข้อมูลที่ใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่าง และแบนด์ที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อให้ทราบว่าแบนด์ใดที่มีความเหมาะสมที่สุดในการจำแนกประเภทข้อมูลที่ต้องการ ส่วนจำนวนแบนด์ที่จะใช้ในการจำแนก แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้ ถ้าใช้จำนวนแบนด์น้อย ก็จะเป็นการประหยัดเวลาคอมพิวเตอร์ไปด้วย

ในกรณีที่ทราบอยู่แล้วว่า แบนด์ไหนเหมาะสมในการจำแนกประเภทข้อมูลที่ต้องการ ก็อาจข้ามขั้นตอนนี้ไปได้เลย ส่วนการที่จะทราบว่าแบนด์ไหนให้ความเหมาะสมนั้น อาจจะหาดูได้จากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ

ในการจำแนกประเภทข้อมูลในหัวข้อต่อไปได้ใช้แบนด์ 4, 5 และ 7 โดยแบนด์ 7 ใช้ในการจำแนกส่วนที่เป็นพื้นน้ำและพื้นดินได้อย่างชัดเจน และยังใช้ในการแยกป่าจากออกจากนาข้าว และป่าชายเลน ส่วนแบนด์ 4 และ 5 ใช้ในการจำแนกความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยออกเป็นระดับต่าง ๆ และยังใช้ในการแยกนาข้าวออกจากป่าจากและป่าชายเลนด้วย

<u>ขั้นตอนที่ 4 การทดลองจำแนกประเภทข้อมูล</u>

หลังจากผ่านการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนได้ผลที่น่าพอใจแล้ว ก็มาถึงขั้นตอนในการทดลองจำแนก เพื่อดูว่าผลที่ได้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีอยู่มากน้อยเพียงใด ข้อมูลทางสถิติในขั้นตอนที่ 2 จะนำมาใช้ในขั้นตอนนี้ด้วย

ในการทดลองจำแนกนี้ได้แยกออกเป็น 2 วิธี เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

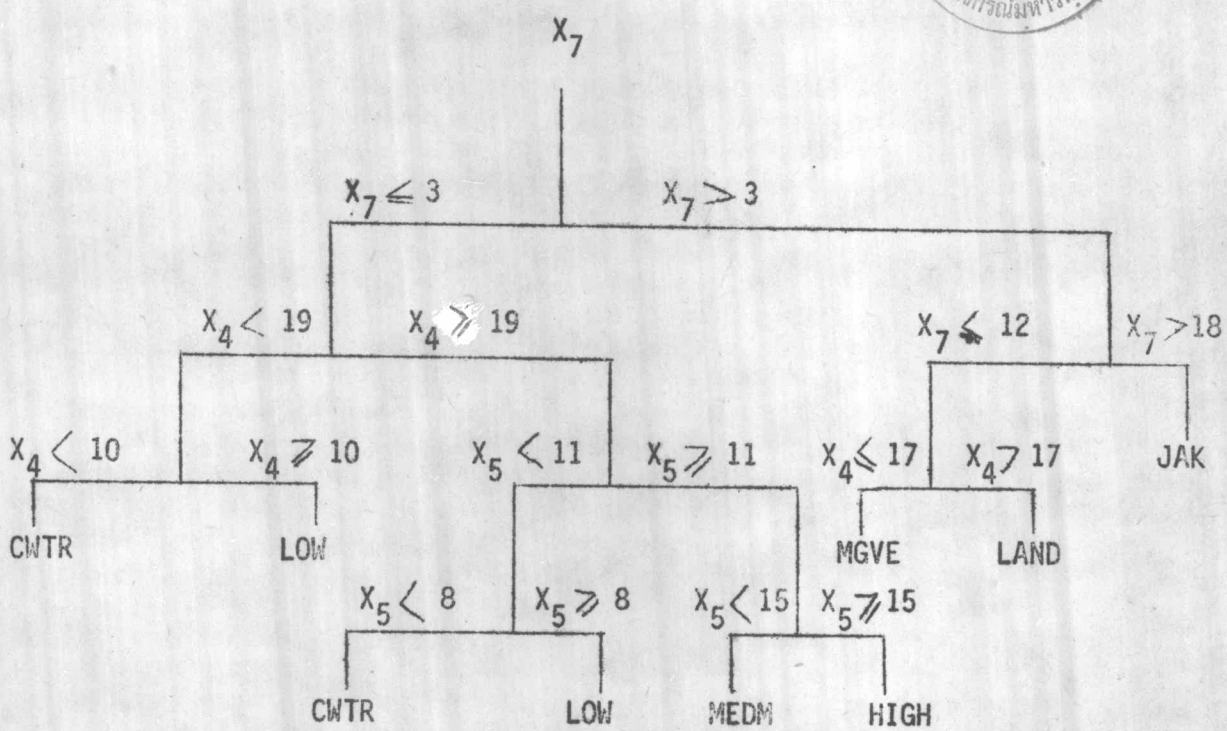
1. <u>วิธี เอ็ม.แอล.อาร์.</u> (MLR-Maximum Likelihood Ratio) การจำแนกวิธีนี้เป็นการนำข้อมูลของค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 มาจำแนกข้อมูลทุกจุดในเขตภาพที่ต้องการ โดยดูว่าจุดภาพแต่ละจุดนั้นมีความน่าจะเป็น (Probability) ที่จะถูกจำแนกเป็นข้อมูลประเภทใดมากที่สุด ก็จะถูกจำแนกให้เป็นประเภทนั้น การที่ทุกจุดภาพถูกจำแนกหมดนั้น ทำให้บางจุดภาพที่ไม่ใช่ประเภทข้อมูลที่ต้องการ ถูกจำแนกไปด้วย เช่น จุดภาพของข้อมูลประเภทถนน (ส่วนของถนน) ซึ่งไม่ใช่ประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนก จะถูกจำแนกเป็นประเภทข้อมูลอื่นไป เช่น อาจถูกจำแนกเป็นป่าจาก ป่าชายเลน หรือนาข้าว แล้วแต่ความน่าจะเป็นของจุดภาพนั้น สิ่งเหล่านี้ทำให้การจำแนกข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้องนัก จึงต้องมีการตัดทอนจุดภาพที่มีค่าความน่าจะเป็นน้อย ๆ ออกไปในขั้นตอนที่ 6 โดยกำหนดค่าดัชนีการตัดทอน (Thresholding Index) แต่อย่างไรก็ตาม ผลการจำแนกที่ได้ในขั้นตอนนี้ก็มีความชัดเจนเพียงพอที่จะบอกได้ว่า ผลการจำแนกจากค่าสถิติที่ใช้นั้นให้ความถูกต้องเพียงพอหรือไม่ จากนั้นค่าสถิติที่ใช้จะถูกนำไปใช้สร้างเทปการจำแนกในขั้นตอนที่ 5 ต่อไป หากผลที่ได้มีความถูกต้องเพียงพอ

2. <u>วิธี ดี.ที.เอ.</u>(DTA-Decision Tree Algorithm) วิธีนี้เป็นการเขียนวิธีการ (Algorithm) เพื่อใช้ในการจำแนกโดยอาศัยความแตกต่างและความเหลื่อมซ้อนของค่ารังสีสะท้อนของประเภทข้อมูลในแต่ละแบนด์ หลังจากเขียนวิธีการแล้ว จะใช้วิธีเลเวลสไลซิ่ง (level slicing) ช่วยในการจำแนกอีกทีหนึ่ง

การเขียนวิธีการเป็นเพียงวิธีในการหาแนวทางเพื่อการจำแนกเท่านั้น ไม่มีหลักหรือกฎเกณฑ์ที่ตายตัวว่าจะต้องทำอย่างไร วิธีการอาจมีได้หลายวิธี แล้วแต่ผู้ใช้ว่าจะใช้อย่างไร ในที่นี้ใช้วิธีเขียนเป็นดีซิชั่นทรี (Decision Tree) โดยดูจากค่ารังสีสะท้อนในตารางเปรียบเทียบรังสีสะท้อนที่ได้ในขั้นตอนที่ 2

จากค่ารังสีสะท้อนในตาราง เปรียบเทียบรังสีสะท้อนของข้อมูลดาว เทียม เฟรม 781118 นำมา เขียน เป็นดีซิชั่นทรีได้ดังรูปที่ 4 ส่วนข้อมูลดาว เทียม เฟรม 730106 ไม่สามารถนำมา เขียน เป็นวิธีการได้ เนื่องจากค่ารังสีสะท้อนของข้อมูลแต่ละประ เภทในตาราง เปรียบ เทียบรังสีสะท้อนไม่มีการเหลื่อมซ้อนกันในส่วนของน้ำทะ เล เลย การถูกจำแนก เป็นข้อมูลแต่ละประ เภทมีค่ารังสีสะท้อน เฉพาะตัวอยู่แล้ว การจำแนกจึงใช้ เฉพาะวิธี เล เวลสไลซิ่ง โดยไม่มีการ เขียนดีซิชั่นทรี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Xi = ค่ารังสีสะท้อนแบนด์ i

รูปที่ 5 Dicision Tree algorithm ที่ใช้ในการจำแนกประ เภทข้อมูล เฟรม 781118

ขั้นตอนที่ 5 <u>การสร้างเทปการจำแนก</u>

หลังจากการจำแนกโดยวิธี เอ็ม.แอล.อาร์. ได้ผลเป็นที่พอใจแล้ว ค่าสถิติจากขั้นตอนที่ 2 ที่นำไปทดลองจำแนกในขั้นตอนที่ 4 จะถูกนำมาใช้ในการสร้างเทปการจำแนก(Classification tape) ในขั้นตอนนี้ ผลที่ได้จะเป็นเทปที่บันทึกการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการตามการจำแนกในขั้นตอนที่ 4 โดยวิธี เอ็ม.แอล.อาร์. ประกอบกับค่าสูงสุดของความเป็นไปได้ของประเภทข้อมูลนั้น ๆ

ขั้นตอนที่ 6 <u>การพิมพ์ภาพจำแนกประเภทข้อมูลและการตัดทอนจุดภาพ</u>

ดังได้กล่าวในขั้นตอนที่ 4 แล้วว่า การจำแนกโดยวิธี เอ็ม.แอล.อาร์. ทำให้บางจุดภาพจำแนกเป็นประเภทข้อมูลที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดทอนจุดภาพที่มีค่าความน่าจะเป็นน้อย ๆ ออกไป แล้วพิมพ์ภาพผลการจำแนกประเภทข้อมูลออกมา

ในการตัดทอนจุดภาพในขั้นตอนนี้ ผู้ใช้ต้องเป็นผู้กำหนดดัชนีการตัดทอน เพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการตัดทอนจุดภาพ ส่วนการกำหนดว่าประเภทข้อมูลชนิดไหนควรใช้ดัชนีการตัดทอนเท่าไรนั้น ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัวขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ของประเภทข้อมูล และรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับประเภทข้อมูลที่มีอยู่

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีทดลองและแก้ไข (Trial and Error) คือทดลองกำหนดค่าดัชนีการตัดทอน แล้วนำผลที่ได้ไปเทียบเคียงกับแผนที่ที่มีอยู่ ถ้าพบว่าประเภทข้อมูลใดมีการตัดทอนมากหรือน้อยเกินไป ก็เปลี่ยนแปลงแก้ไขลดหรือเพิ่มในส่วนของประเภทข้อมูลนั้น ๆ ในส่วนของน้ำทะเลนั้น ใช้ค่าดัชนีที่เมื่อกำหนดแล้วยังคงทำให้น้ำทะเลมีความต่อเนื่องกันอยู่

ทั้ง 6 ขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วนั้น เป็นขั้นตอนที่มีอยู่ในระบบโปรแกรม CU-RECOGX ผลที่ได้ให้ความถูกต้องเพียงพอ แต่เพื่อให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงได้เพิ่มการวิเคราะห์ขึ้นมาอีก 2 ส่วน คือการสร้างขอบเขต (Boundary Detection) และการแยกเกรเดียนท์ (gradient detection)

<u>การสร้างขอบเขต</u>

ขั้นตอนนี้เป็นการนำเทปการจำแนกที่ได้ในขั้นตอนที่ 5 มาใช้ในการสร้างขอบเขต การทำงานของโปรแกรมจะเน้นเฉพาะการบันทึกส่วนที่ต่อเนื่องของประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน แล้วพิมพ์ผลออกมาเป็นภาพพิมพ์โดยไม่มีการคำนวณใด ๆ ทั้งสิ้น ดังแผนผังไหล (flow chart) ที่แสดงในรูปที่ 6

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเป็นการอ่านข้อมูลจากเทปการจำแนก แล้วนำข้อมูลแต่ละจุดภาพมาเปรียบเทียบกับจุดภาพถัดไปในแนวนอนและแนวตั้ง ถ้าผลของการเปรียบเทียบพบว่าจุดภาพนั้นและจุดภาพข้างเคียงถูกจำแนกเป็นข้อมูลประเภทเดียวกัน จุดภาพนั้นจะถูกกำหนดให้เว้นว่างไว้ เพราะแสดงว่าจุดภาพนั้นยังไม่ใช่ขอบเขตของการจำแนก แต่ถ้าผลการเปรียบเทียบพบว่าถูกจำแนกเป็นข้อมูลต่างประเภท จะมีการพิมพ์ทั้งจุดภาพนั้นและจุดที่เปรียบเทียบ เพราะแสดงว่าจุดภาพทั้งสองนั้นเป็นขอบเขตของประเภทข้อมูลนั้นแล้ว จุดภาพถัดไปจะถูกจำแนกเป็นประเภทข้อมูลอีกแบบหนึ่ง คือ

ถ้า $X_{i,j} = X_{i,j+1}$

และ $X_{i,j} = X_{i+1,j}$ โดย $X_{i,j}$ = ประเภทข้อมูลบันทัดที่ i สดมภ์ที่ j

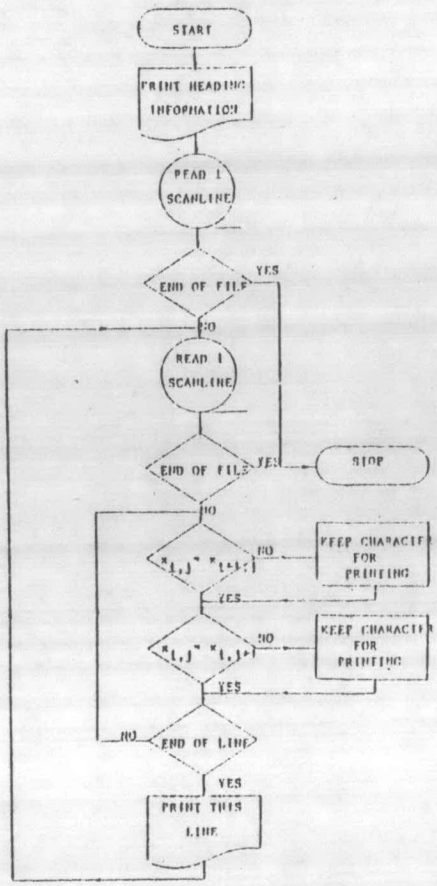
ผล ไม่มีการพิมพ์ที่ตำแหน่ง $X_{i,j}$

ถ้า $X_{i,j} \neq X_{i,j+1}$

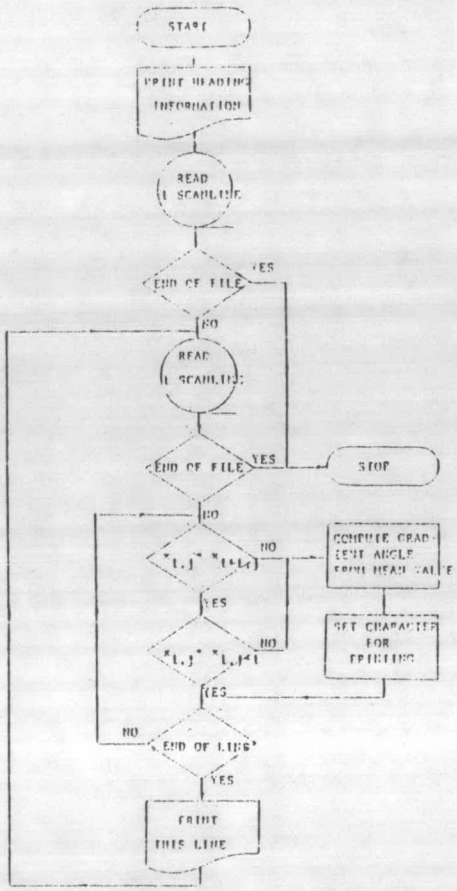
หรือ $X_{i,j} \neq X_{i+1,j}$

ผล พิมพ์ผล $X_{i,j}$ และ $X_{i,j+1}$ หรือ $X_{i+1,j}$ ที่ไม่เท่านั้น

เช่น ถ้าผลการจำแนกในขั้นตอนที่ 4 ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 แผนผังไหลของโปรแกรมการสร้างขอบเขต



รูปที่ 7 แผนผังไหลของโปรแกรมการแยกเกรเดียนท์

A	A	B	B	B
A	A	B	B	B
A	A	A	B	B
A	A	A	B	B
A	A	B	B	B

รูปที่ 8 ตัวอย่างผลการจำแนกที่ได้ในขั้นตอนที่ 4

ผลจากการใช้โปรแกรมการสร้างขอบเขตจะเป็นดังรูปที่ 9

	A	B	
	A	B	
		A	B
		A	B
	A	B	

รูปที่ 9 ตัวอย่างผลการจำแนกโดยใช้โปรแกรมการสร้างขอบเขต

<u>การแยกเกรเดียนท์</u> (gradient detection)

ขั้นตอนนี้คล้ายกับโปรแกรมในการสร้างขอบเขต คือนอกจากจะเป็นการแสดงขอบเขตของแต่ละประเภทข้อมูลแล้ว สัญญลักษณ์ที่กำหนดให้พิมพ์นั้นยังบอกให้ทราบถึงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของแต่ละประเภทข้อมูลตรงส่วนขอบด้วย

การทำงานก็คล้ายกับการทำงานของโปรแกรมในการสร้างขอบเขต คือเป็นการอ่านข้อมูลจากเทปการจำแนก แล้วนำข้อมูลแต่ละจุดภาพไปเปรียบเทียบกับจุดภาพถัดไปทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ถ้าเป็นประเภทข้อมูลเดียวกันก็ให้เว้นว่างไว้ แต่ถ้าเป็นข้อมูลต่างประเภทกัน ก็นำค่าที่ได้กำหนดให้ของข้อมูลนั้น ๆ มาคำนวณตามแผนผังไหล ค่าที่กำหนดนั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยของรังสีสะท้อนที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2 การคำนวณมีสูตรดังนี้

$$k = \frac{X_{i+1,j} - X_{i,j}}{X_{i,j+1} - X_{i,j}}$$

$X_{i,j}$ = ค่ารังสีสะท้อนของข้อมูลบันทัดที่ i, สดมภ์ที่ j

$$\theta = \tan^{-1}|k|$$

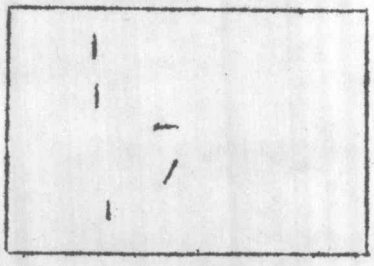
หลังจากคำนวณมุมออกมาแล้วก็กำหนดสัญญลักษณ์ให้พิมพ์ดังนี้

$0 \leq \theta \leq 30$ ให้พิมพ์ —

$30 < \theta \leq 60$ ให้พิมพ์ /

$60 < \theta < 90$ ให้พิมพ์ |

ดังตัวอย่างรูปที่ 8 ถ้าค่าเฉลี่ยรังสีสะท้อนของ A และ B เท่ากับ 2 และ 5 ผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างผลการจำแนกโดยใช้โปรแกรมการแยกเกรเดียนท์

ทั้งโปรแกรมการสร้างขอบเขตและการแยกเกรเดียนท์ มีประโยชน์มากสำหรับประเภทข้อมูลที่อยู่ในน้ำหรือข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่ต่อเนื่องกันนั้น มองดูขอบเขตแต่ละประเภทข้อมูลไม่ชัดนักจากผลการจำแนกในขั้นตอนที่ 6 เมื่อใช้โปรแกรมการสร้างขอบเขต ทำให้เห็นขอบเขตของแต่ละประเภทข้อมูลได้อย่างชัดเจน ส่วนโปรแกรมการแยกเกรเดียนท์ดัดแปลงมาจากสูตรการคำนวณเกรเดียนท์ใน เอกสารอ้างอิงหมายเลข 13 ช่วยให้เห็นถึงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของแต่ละประเภทข้อมูลตรงส่วนที่ต่อเนื่องกันนั้น