บทที่ 2

การประมวลผลภาพดิจิทัล

2.1 ลักษณะของพื้นผิวถนนแบบต่าง ๆ

ในการทำการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิคการประมวลภาพดิจิทัลสำหรับการตรวจสอบรอยร้าวบนพื้นผิวถนนนั้น จะเป็นการตรวจสอบร่องรอยและร้อยร้าวบนพื้นผิวถนนโดยที่ลักษณะทางกายภาพของความเสียหายบนพื้นผิวถนนนั้นสามารถที่จะถูกจำแนกได้หลายแบบดังนี้

2.2.1 ความเสียหายของขอบผิวทาง (Edge Deterioration) [1] โดยความหมายของ " ขอบทาง " จะหมายถึงขอบผิวทางตรงรอยต่อระหว่างผิวจราจรและไหล่ทาง ในบางกรณีขอบผิวจราจรอาจจะไม่ปรากฏเด่นชัดหรือไม่เป็นเส้นตรง ให้ประมาณการว่าขอบผิวจราจรที่ก่อสร้างเดิมอยู่ที่ใดแล้วใช้เป็นเส้นขอบผิวจราจร ส่วนความหมายของ " ความเสียหายของขอบผิวจราจร " จะหมายถึงเส้นขอบผิวจราจรสึกกร่อนจากเส้นขอบผิวจราจรเดิมเกินกว่า 150 มม. และอีกความหมายหนึ่งคือเกิดรอยแตกที่กว้างมากกว่า 5 มม. ขนานกับขอบทางและอยู่ห่างจากขอบทาง 150 มม. ถึง 300 มม.

2.2.2 ร่องล้อ (Wheel Track Rutting) [1] ตำแหน่งที่เกิดร่องล้อห่างจากขอบทางระยะเท่าใด ขึ้นอยู่กับความกว้างของผิวจราจร โดยปรกติร่องล้อด้านนอกจะเกิดห่างจากขอบผิวจราจรระหว่าง 0.6 - 1.2 เมตร สำหรับการวัดความลึกร่องล้อให้วัดบริเวณร่องล้อนอกและวัดตรงจุดที่ลึกที่สุด ในส่วนความเสียหายเนื่องจากร่องล้อทั้งซ้ายทางและขวาทาง จะมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งที่ร่องล้อมีความลึกเกิน 25 มม. จากการวัดความลึกทุก 25 ม. ตลอดช่วงย่อยนั้นและทำการนับนั้น จะเรียกตัวเลขนี้ว่า Rut Count ซึ่งต้องไม่มากกว่าค่าความยาวช่วงย่อยหาร 25

2.2.3 ความเสียหายเบาที่ผิวจราจร (Minor Corriageway Deterioration) [1] สามารถที่จะแบ่งได้เป็นย่อยคือ

ก. พื้นที่ที่มีรอยแตกแบบไม่ต่อเนื่อง (ดูรูปที่ A ในภาคผนวก ข.) สำหรับในทางหลวงบางชนิดอาจจะมีรอยแตกเส้นเดียวตามยาวหรือ ตามขวางของทางหลวง ใน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีเช่นนี้ ให้ถือเป็นความเสียหายเบาและพื้นที่ของรอยแตกคำนวนได้โดยใช้ความยาวของรอยแตกคูณด้วย 0.5 ม. ถ้าเป็นรอยแตกขนานห่างกันไม่เกิน 0.5 ม. ให้วัดพื้นที่โดยตีกรอบสี่เหลี่ยมโดยเส้นกรอบสี่เหลี่ยมด้านที่ขนานกับรอยแตกให้ออกจากรอยแตกไปด้านนอกข้างละ 0.25 ม.

ข. พื้นที่ที่มียางซึมขึ้นบนผิวถนน (Bleeding) สังเกตได้โดยการที่มีรอยของยางรถปรากฏอยู่ หรือไม่สามารถเห็นหินปรากฏบนผิวหน้าได้เพราะยางซึมขึ้นปิดหิน หรือสังเกตได้อีกจากการใช้เหรียญ 5 บาท วางลงบนผิวแล้วใช้เท้าเหยียบประมาณ 10 วินาที ถ้ามีรอยวงกลมของเหรียญปรากฏบนผิว ก็ถือว่ายางซึมขึ้น

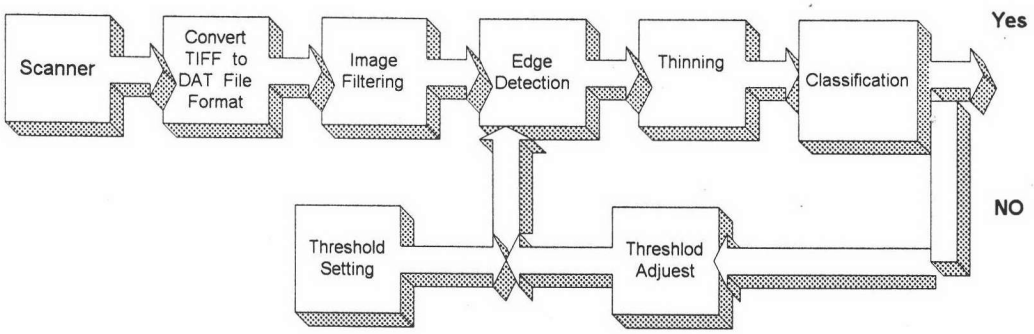
ค. พื้นที่ที่มีหินหลุดล่อนเกินกว่าร้อยละ 20 ในบางกรณี การหลุดลอกนี้อาจเป็นแนวยาวแคบ ๆ พื้นที่ที่วัดควรใช้ความกว้าง 0.5 ม. แต่ถ้ามี 2 แนวใกล้ ๆ กัน ให้วัดแบบวิธีวัดรอยแตกขนานดังข้อ ก.

2.2.4 ความเสียหายหนักที่ผิวจราจร (Major Carriageway Deterioration) [1] ความเสียหายในประเภทนี้จะหมายถึง พื้นที่ที่เกิดเป็นหลุมเป็นบ่อ (Potholing) หรือพื้นที่ที่หินหลุดลอกลึกเกิน 20 มม. ,พื้นที่มีรอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected Cracking) (ดูรูปที่ A ในภาคผนวก ข.) โดยไม่รวมกับพื้นที่เสียหายเบา แต่จะรวมรอยแตกที่ไม่ต่อเนื่องแต่ขนานกันและห่างไม่เกิน 50 มม. , รอยปะ (Patching) ที่สูงกว่าผิวเดิมเกิน 20 มม. และพื้นที่ที่มีการยุบตัว ทำให้พื้นที่ข้างเคียงสูงกว่าระดับผิวทางโดยทั่วไปในข้อนี้ไม่รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากร่องล้อ แต่ถ้าความเสียหายที่เกิดจากร่องล้อลึกเกินกว่า 50 มม. ให้ถือเป็นความเสียหายหนัก

จากที่กล่าวมาดังข้างต้นเป็นลักษณะของพื้นผิวถนนที่มีความเสียหายเนื่องจากร่องรอยต่าง ๆ ในการสำรวจความเสียหายในเบื้องต้นจะใช้บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญและความรู้ไปทำการสำรวจ ซึ่งทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดย การวิเคราะห์ของกรมทางหลวงจะใช้ตามระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) ใช้ลักษณะของพื้นผิวที่ได้รับความเสียหายดังข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวถ้าสามารถพัฒนาให้มีเครื่องมือที่สามารถช่วยในการวิ-เคราะห์ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะชี้ได้ว่าพื้นผิวถนนนี้มีลักษณะใช้งานได้หรือไม่ก็จะช่วยประหยัดเวลาได้ในทางหนึ่ง โดยการใช้ภาพถ่ายซึ่งสามารถถ่ายโดยใครก็ได้ที่ไม่ต้องมีความรู้ทางด้านการสำรวจทางพื้นผิวถนนจากนั้นนำภาพถ่ายมาเข้าสู่ขบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นขบวนการที่ปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยมใช้กันมาก ผลที่ได้หลังจากการประมวลผลจะบอกได้ว่าพื้นผิวถนนที่ทำการทดสอบเป็นอย่างไร ในการประมวลผลภาพดิจิทัลจะใช้วิธีการตรวจสอบสายเส้นหรือร่องรอยบนพื้นผิว ซึ่งร่องรอยดังกล่าวจะอยู่ปะปนกับองค์ประกอบภาพอื่น ๆ มากมายในการที่จะจำแนกร่องรอยเหล่านั้นสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection) สำหรับขบวนการทั้งหมดจะได้กล่าวต่อในหัวข้อถัดไป

2.2 โครงสร้างของระบบการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัล

ในการวิเคราะห์พื้นผิวถนนโดยกรรมวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลนั้น จะต้องใช้กรรมวิธีค่อนข้างจะมากสำหรับคำตอบที่ต้องการดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.1 เป็นภาพที่แสดงโครงสร้างของการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของการประมวลผลภาพดิจิทัล

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของการประมวลผลภาพดิจิทัล พิจารณาโครงสร้างของระบบดังกล่าวสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้คือ ข้อมูลที่เป็นภาพของพื้นผิวถนนจะถูกนำมาถ่ายแบบโดยการใช้เครื่องสแกนเนอร์เพื่อที่จะเปลี่ยนจากภาพถ่ายให้มาอยู่ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลภาพ ในที่นี้เราจะใช้รูปแบบ TIFF (Tagged Image File Format) โดยจุดภาพที่ได้มานั้นจะมีระดับสีเทา 256 ระดับ (ใช้ข้อมูลขนาด 8 บิทต่อหนึ่งจุดภาพ) จากนั้นจุดภาพดังกล่าวจะเข้าสู่ขบวนการกรองสัญญาณภาพ (Image Filtering) ในขบวนการนี้จะเป็นการใช้ตัวกรองความถี่ที่มีคุณสมบัติให้ความถี่ต่ำผ่านได้ โดยจะกรองความถี่ทางด้านสูงทิ้งไป สาเหตุที่ใช้ตัวกรองความถี่สำหรับให้ความถี่ต่ำผ่านนั้น เพราะว่าสัญญาณที่จะทำให้องค์ประกอบของภาพมีความไม่ชัดเจนหรือถูกรบกวนจะมาจากสัญญาณ Noise ซึ่งจะแฝงมากับสัญญาณทางด้านความถี่สูง เมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้วภาพที่ได้จะมีความเหมาะสมสำหรับนำไปประมวลผลในภาคถัดไป ในการที่จะจำแนกหรือตัดสินว่าภาพที่นำมาทดสอบมีลักษณะอย่างไรนั้น จะใช้ร่องรอยและรอยร้าวบนภาพเช่น กลุ่มของหินลอยตัวและกลุ่มรอยร้าว เป็นต้นเป็นหลักในการที่จะพิจารณาตัดสินภาพ ในการเลือกเทคนิคที่จะใช้สำหรับในการตัดสินใจภาพนั้น ขั้นแรกต้องแยกร่องรอยหรือรอยร้าวซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในภาพออกจากองค์ประกอบหลัก เทคนิคที่จะใช้ในขั้นตอนนี้จะใช้การหาขอบของภาพ (Edge Detection) เหตุผลในการที่เลือกใช้เทคนิคการหาขอบของภาพสำหรับแยกองค์ประกอบของภาพ คือภาพถนนที่มีร่องรอยหรือรอยร้าวบนผิวถนนนั้นจะมีความเปลี่ยนแปลงของระดับของภาพระหว่างขอบของภาพกับพื้นของภาพในลักษณะที่เห็นได้ชัดเจนเช่น ในส่วนที่เป็นรอยร้าวจะเห็นได้ชัดเจนซึ่งจะเห็นเป็นสีดำเมื่อเทียบกับสีพื้นที่ค่อนข้างเป็นสีที่สว่าง ซึ่งจุดนี้เองในการนำเทคนิคการหาขอบของภาพมาใช้มีความเหมาะสมเพียงพอ เทคนิคดังกล่าวจะเป็นการใช้การวัดเปลี่ยนแปลงของข้อมูลภาพมาเป็นตัวการสำหรับหาการขอบของภาพ ถ้าใช้ระดับของเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมก็จะสามารถแยกรอยร้าวหรือร่องรอยออกจากองค์ประกอบหลักได้ สาเหตุที่การเลือกระดับของเทรชโฮลด์ในระหว่างการหาขอบของภาพมีผลในการแยก

รอยร้าวหรือร่องรอยเพราะว่าหลังจากที่มีการวัดการเปลี่ยนแปลงแล้วผลที่ได้ออกมายังไม่ใช่ร่องรอยหรือรอยร้าว แต่ข้อมูลภาพที่ได้ออกมาจะเป็นลักษณะของกลุ่มเลขค่าหนึ่งซึ่งจะแสดงอาณาบริเวณของขอบภาพด้วยกลุ่มเลขค่าหนึ่งที่เหมือนกัน ดังนั้นถ้าเราเลือกตัวเลขค่าหนึ่งซึ่งเท่ากับกลุ่มตัวเลขที่แสดงอาณาบริเวณของขอบภาพหรือที่เรียกว่า เทรชโฮลด์มาทำการเปรียบเทียบกันโดยตัดจุดที่มีค่าน้อยกว่าทิ้งไปและ คงค่าที่ มากกว่าหรือเท่ากันไว้ โดยกำหนดไว้ว่าจุดที่ตัดทิ้งมีค่าต่ำสุด ส่วนจุดที่ต้องการมีค่าสูงสุดเราก็จะได้ขอบของภาพซึ่งมีลักษณะสองระดับ ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปจากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่ามีภาคของ Threshold Setting เนื่องจากตอนแรกในการประมวลผลทั้งระบบเราต้องหาค่าของเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมก่อนสำหรับร่องรอยและรอยร้าวก่อน และจะนำค่าของเทรชโฮลด์ที่ได้ดังกล่าวไปไว้ที่ Threshold AdJust สำหรับใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าเทรชโฮลด์ในกรณีที่ในขั้นตอนสุดท้ายไม่สามารถตรวจจับอะไรได้ ในขั้นตอนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์โครงร่างหลังจากได้ทำการลดข้อมูลภาพลงจนเหลือขอบของภาพที่เป็นลักษณะของภาพสองระดับ ขบวนการทำให้บางเป็นการทำให้จุดภาพที่ได้หลังจากการหาขอบของภาพมีลักษณะความกว้างของเส้นเพียงหนึ่งจุดภาพ จากนั้นจะเข้าสู่ขบวนการสุดท้ายคือการตัดสินใจ หลังจากจุดภาพได้ถูกลดจำนวนลงโดยการให้หนึ่งจุดภาพแทนความกว้างของลายเส้นแล้ว ก็จะนำจุดภาพดังกล่าวไปเข้ารหัสเพื่อหาทิศทางของจุดภาพแล้วจึงแปลงให้เป็นเวกเตอร์ โดยนำจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีทิศทางไปทางเดียวกันมารวมเข้าไว้ด้วยกัน เวก -เตอร์เหล่านี้จะถูกนำมาเชื่อมเป็นรูปต้นไม้ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำเวกเตอร์เหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้วที่เป็นเวก-เตอร์ที่ถูกนำมาเชื่อมเป็นต้นไม้เหมือนกัน ถ้าผลที่ได้สามารถที่จะตัดสินใจได้ว่าในจุดภาพเหล่านี้มีลักษณะที่ผิดแปลกไปก็จะแสดงผลที่ได้จากการตรวจจับ แต่ถ้าผลที่ได้ไม่สามารถที่จะตรวจจับได้ก็จะทำการทำซ้ำตั้งแต่ขบวนการหาขอบของภาพและลายเส้น แต่ในขบวนการนี้ค่าของ Threshold Level จะเปลี่ยนไปจากครั้งแรก ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นถึงผลกระทบในการเปลี่ยนแปลงค่าเทรชโฮลด์แล้วขบวนการนี้จะหยุดการทำงานก็ต่อเมื่อหาผลลัพธ์ได้ และถ้าไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้ภายในเวลาที่กำหนด โดยในที่นี้เราจะใช้ค่าเทรชโฮลด์เป็นหลัก หมายความว่าถ้าไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้ภายในช่วงเทรชโฮลด์ที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้คือ ไม่มีสิ่งที่ผิดปรกติบนภาพถ่ายที่นำมาวิเคราะห์

2.3 การจัดการแฟ้มข้อมูลภาพ

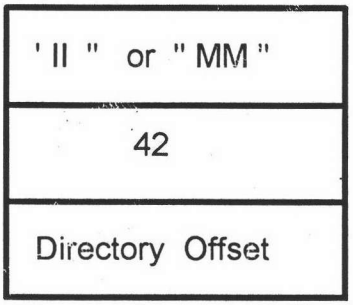
ข้อมูลภาพที่เป็นพื้นผิวถนนที่นำมาใช้ในการศึกษาและทดลองนี้จะได้มาจากเครื่องสแกนเนอร์ โดยการนำเอาภาพถ่ายของพื้นผิวถนนมาทำการถ่ายแบบโดยการใช้เครื่องสแกนเนอร์เพื่อให้ได้เป็นแฟ้มข้อมูลภาพที่เป็นลักษณะของ Tagged Image File Format หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่า TIFF แฟ้มข้อมูลภาพชนิดนี้สามารถที่จะนำไปใช้ในงานต่างๆได้มาก เนื่องจากมีโปรแกรมสำเร็จรูปที่คอยสนับสนุนอยู่มากมายอีกทั้งยังสามารถที่จะนำไปใช้ยังเครื่องต่างตระกูลได้เช่น PC และ Macintosh โดยไม่ต้องทำอะไรเพิ่มเติมกับแฟ้มข้อมูลภาพ และ แฟ้มข้อมูล TIFF นี้ยังมีลักษณะที่สำคัญคือมันสามารถที่จะสนับสนุนภาพได้ทุกขนาดในลักษณะภาพสีเดียว (Monochrome) จนถึงภาพสีที่ใช้ขนาด 24 บิท

ลักษณะของแฟ้มข้อมูลภาพแบบ TIFF สามารถที่จะแสดงได้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นภาพที่แสดงส่วนประกอบส่วนหัวทั้งหมดของแฟ้มข้อมูลภาพแบบ TIFF ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนหัวหรือ Header เป็นส่วนที่บอกว่าโครงสร้างของข้อมูลที่เก็บในแฟ้มข้อมูลนี้เป็นของใครระหว่างอินเทลหรือโมโตโรร่า ถ้าเป็น II จะเป็นของอินเทล ส่วน MM จะเป็นของโมโตโรร่า ซึ่งจะใช้จำนวนสองไบท์ ส่วนกลางเป็นส่วนที่บอกรุ่นของแฟ้ม

ข้อมูลภาพที่ใช้ ซึ่งมีลักษณะเป็นเลขจำนวนจริง (Integer) ขนาดสองไบท์ ซึ่งอาจไม่ใช่ตัวเลข 42 เสมอไป แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวเลขรุ่นเป็น 42 และในส่วนสุดท้ายเป็น Directory Offset ซึ่งเป็นส่วนที่เก็บของ Image File Directory โดยในส่วนนี้ส่วนมากเป็นรายละเอียดที่เกี่ยวกับ Tag ทั้งหมดโดยจะใช้ตัวเลขที่เป็นเลขจำนวนจริงขนาดสี่ไบท์ ซึ่ง Tag ใช้ในการเป็นตัวเก็บที่จะบอกลักษณะของภาพเช่นบอกว่าภาพนี้เป็นภาพสีหรือไม่ และมีการบีบอัดข้อมูลหรือไม่เป็นต้น

จากที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นเป็นลักษณะของแฟ้มข้อมูลภาพแบบ TIFF ในการใช้งานจริงจะต้องทำการถอดรหัสแฟ้มข้อมูลภาพแบบ TIFF ก่อนเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลภาพจริง ๆ ในการทดลองนี้ได้ทำการกำหนดลักษณะของข้อมูลภาพไว้ดังนี้

1. ลักษณะของภาพเป็นภาพระดับสีเทา (Gray - Scale Level) ซึ่งมีระดับของความสว่างแตกต่างกัน 256 ระดับ โดยการใช้ข้อมูลหนึ่งไบท์แทนหนึ่งจุดภาพ
2. ขนาดของภาพที่ใช้มีขนาดความยาว 512 จุดภาพ ความกว้าง 512 จุดภาพ



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบส่วนหัวทั้งหมดของแฟ้มข้อมูลภาพแบบ TIFF

จากนี้จะทำการแปลงรหัสของข้อมูลภาพจากแฟ้มข้อมูลภาพที่เก็บอยู่ในรูปแบบ TIFF ไปเป็นแฟ้มข้อมูลภาพแบบ DAT ซึ่งแฟ้มข้อมูลภาพแบบ DAT เป็นแฟ้มข้อมูลที่ไม่มีส่วนหัว (Header) ใดเพื่อนำไปแสดงผลโดยส่วนแสดงผลของโปรแกรม DIP รุ่น 1.0 ของห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ส่วนขั้นตอนการประมวลผลภาพต่าง ๆ จะถูกพัฒนาและผนวกเข้ากับโปรแกรม DIP รุ่น 1.0 ดังกล่าวไป จุดภาพหนึ่งจุดภาพจะถูกแทนด้วยข้อมูลขนาดหนึ่งไบท์ซึ่งสามารถที่จะแสดงระดับความแตกต่างได้ 256 ระดับสำหรับการแสดงผลแบบระดับสีเทา เพราะฉะนั้นแล้วถ้าใช้การแสดงผลขนาด 512 X 512 ก็หมายความว่าจะต้องใช้จุดภาพตามความยาว 512 จุด และจุดภาพตามความกว้าง 512 จุด จุดภาพเหล่านี้จะถูกนำเข้าไปสู่การประมวลภาพผลภาพทางดิจิทัล ซึ่งจุดภาพเหล่านี้สามารถที่จะนำไปแสดงในรูปของเมตริกได้ดังสมการที่ 2.1

$$i = \begin{bmatrix} i(1,1) & i(1,2) & \dots & i(1,M) \\ i(2,1) & i(2,2) & \dots & i(2,M) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ i(N,1) & i(N,2) & \dots & i(N,M) \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

เมตริกอีลีเมนต์ในที่นี้ก็คือจุดภาพซึ่งเป็นเลขจำนวนเต็มซึ่งมีค่าอยู่ในย่านตั้งแต่ 0 ถึง 255 สำหรับจุดภาพที่มีขนาดหนึ่งไบท์ซึ่งอาจจะเปรียบเสมือนกับอเรย์ขนาดสองมิติก็ได้ในภาษาทางคอมพิวเตอร์ก็ได้

ตัวอย่างของภาพต้นแบบที่มีระดับสีเทา 256 ระดับ แสดงอยู่ในรูปที่ 2.3

2.4 การกรองสัญญาณภาพดิจิทัล

ในการที่จะประมวลผลภาพดิจิทัลให้ได้ความถูกต้องและเที่ยงตรงสูง ในส่วนแรกที่เริ่มทำการประมวลผลจะมีความสำคัญมากเพราะว่าถ้าในการประมวลผลในขั้นแรกมีประสิทธิภาพดีก็จะทำให้การประมวลผลในส่วนต่อ ๆ ไปมีความถูกต้องตามไปด้วย แต่ถ้าเริ่มต้นในส่วนแรกไม่ดีก็จะทำให้การประมวลผลในภาคถัด ๆ ไปมีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย เพราะฉะนั้นแล้วการประมวลผลในส่วนแรกควรจะเป็นการกรองสัญญาณภาพดิจิทัลซึ่งในที่นี้จะเป็นการกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำ (Lowpass Filtering) สาเหตุที่มีการนิยมใช้การกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำผ่านกับงานที่ต้องการหาขอบของภาพเพราะว่า สัญญาณจาก Noise จะเข้ามารบกวนองค์ประกอบของภาพทำให้ภาพไม่มีความคมชัด ซึ่งสัญญาณที่ว่าจะแฝงมาอยู่ในรูปของความถี่ที่สูง [8]จากผลงานที่ผ่าน ๆ มาได้มีการแสดงแล้วว่าฟังก์ชั่นเกาส์เซียนสองมิติ (Two Dimensional Gaussian Function) [2] [3] [8] [15] เป็นฟังก์ชั่นที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการทำการกรองผ่านความถี่ต่ำสัญญาณภาพดิจิทัล อย่างไรก็ดีการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน ทำได้ยากและเสียเวลาในการคำนวนมากไม่ว่าจะเป็นการคำนวนทางด้าน Frequency Domain หรือ Time Domain

ในการใช้งานจริงเราจะใช้วิธีการกรองสัญญาณบนพื้นฐานของมาสก์คอนโวลูชั่นขนาด 3 X 3 ที่ให้ผลการตอบสนองใกล้เคียงกับตัวกรองแบบเกาส์เซียน สามารถที่จะประมวลผลได้รวดเร็วแทนการทำคอนโวลูชันระหว่างภาพดิจิทัลกับค่าสุ่มของฟังก์ชั่นนี้โดยตรง ตัวกรองความถี่แบบไบโนเมียลที่ได้รับการพิสูจน์ว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่ถูกตัด (Truncated Gaussian) เมื่อ n มีค่าใหญ่มาก [16] มีรูปแบบดังสมการที่ 2.2

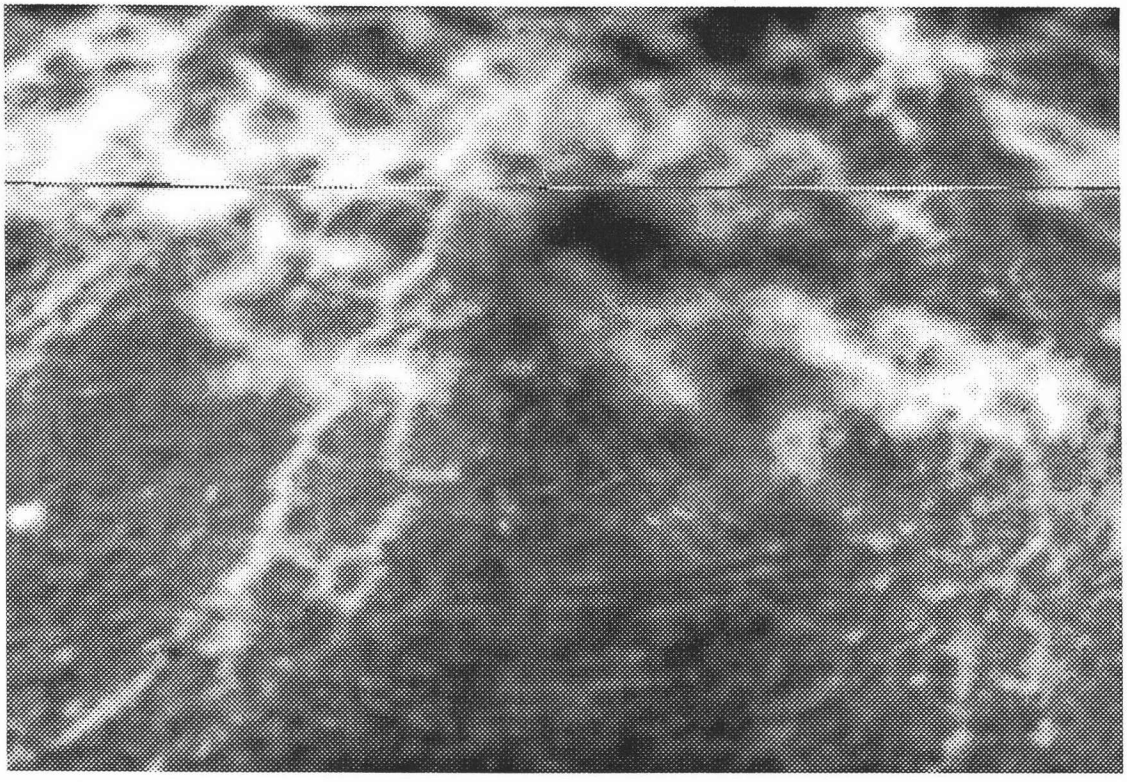
$$f(x,y,n)=\frac{1}{16^n}\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 1\end{bmatrix}^{*n} \qquad (2.2)$$

เมื่อ n เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ σ ในสมการฟังก์ชันเกาส์เซียนได้ดังสมการที่ 2.3

$$\sigma^2 = 0.5n \qquad (2.3)$$

ในการที่จะปรับแบนด์วิธตามความเหมาะสมกับคุณภาพของภาพเริ่มต้นทำได้โดยการนำมาคาสเคดกันเป็นจำนวน n ครั้ง

รูปที่ 2.3 ภาพพื้นผิวถนนก่อนการประมวลผล



รูปที่ 2.4 ภาพพื้นผิวถนนหลังผ่านขบวนการกรองแบบไบโนเมียลด้วย n = 6

ตัวอย่างของภาพที่ผ่านกระบวนการกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำ แสดงในรูปที่ 2.4

จากที่กล่าวไว้ข้างต้น n ที่ใช้ในการคำนวนสำหรับตัวกรองความถี่แบบไบโนเมียล ต้องมีค่าใหญ่มากๆ ถึงจะทำให้ตัวกรองความถี่แบบไบโนเมียลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับตัวกรองแบบเกาส์เซียน ซึ่ง n ต้องมีค่าตั้งแต่ 100 ขึ้นไป [16] แต่ในการวิจัยนี้จะใช้ค่า n ที่ 6 เพราะว่าในการใช้งานจริงต้องใช้เวลาในการคำนวนมาก ถ้าใช้ n มีค่ามากกว่า 100 และอาจทำให้ขอบของภาพสูญเสียรายละเอียดไปด้วย จากการทดลองพบว่าค่า n ที่เหมาะสมสำหรับในการประมวลผลนี้ได้จากการทดลองหาขอบของภาพโดยใช้ค่า n ตั้งแต่ 1 ขึ้นไปทดสอบ โดยใช้ผลที่ได้จากการหาขอบของภาพว่าสามารถแสดงขอบของภาพได้ดีเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ โดยที่ค่า n = 6 เพียงพอต่อการใช้งานและยอมรับค่า Error ที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง

2. 5 การตรวจหาขอบภาพ

ในการตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection) ภายในภาพดิจิทัลเป็นงานประมวลผลขั้นพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นในการที่จะนำไปประยุกต์หลาย ๆ อย่างเช่น การเรียนรู้จำภาพเป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากภาพลายเส้นขอบ (Edge Image) เป็นภาพที่มีข้อมูลภาพลดลงเมื่อเทียบกับข้อมูลภาพเดิม (ซึ่งข้อมูลเดิมเป็นภาพระดับสีเทา (Gray Level Image)) โดยยังรักษาข้อมูลที่จำเป็นสำหรับบรรยายวัตถุต่าง ๆ ที่ปรากฏในภาพได้อย่างสมบูรณ์ คุณภาพของภาพลายเส้นขอบย่อมมีผลโดยตรงต่อการประมวลผลในภาคถัดไปถ้าผลจากการทำการประมวลผลสำหรับหาภาพลายเส้นขอบมีประสิทธิภาพที่สูงก็สามารถที่จะทำให้ผลลัพธ์ที่ต้องการมีความถูกต้องสูงด้วย สำหรับในการวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการของแกรเดียน์เนื่องจากว่า ในการตรวจหาขอบของภาพหรือลายเส้นที่มีความแตกต่างของระดับที่สูงสุดซึ่งอาจเป็นจุดของขอบภาพกับระดับต่ำสุดซึ่งอาจเป็นจุดของพื้นภาพ สามารถที่จะทำได้ง่ายและเร็วกว่าวิธีอื่น เพราะวิธีนี้เป็นการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของจุดภาพที่มีความแตกต่างกัน ถ้าภาพที่นำมาใช้มีความแตกต่างกันมากจะให้ความเที่ยงตรงสูง [6] [7] [15] ภาพถนนที่นำมาใช้ทดสอบภาพของรอยร้าวหรือร่องรอยจะดำสนิท ส่วนที่ไม่ใช่จะมีความสว่างที่เห็นได้ชัด เพราะฉะนั้นวิธีดังกล่าวสามารถที่จะนำมาใช้ได้เพียงพอแก่ความต้องการ

Partial Difference Operators [6] เป็นตัวที่ช่วยในการหาภาพลายเส้นขอบได้ โดยภาพที่นำมาใช้ในการทดลองจะเป็นภาพที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทา ตัวโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์จะเป็นตัวที่จะช่วยในการวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาและค่าของโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์จะมีค่าแปรตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทา ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็นศูนย์บริเวณที่มีค่าคงที่ภายในภาพและจะมีค่า ๆ หนึ่ง ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทา ตัวโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์ มันสามารถที่จะถูกนิยามได้ดังนี้

$$[DX(f)](i,j) = f(i,j) - f(i-1,j) \qquad (2.4)$$

$$[DY(f)](i,j) = f(i,j) - f(i,j-1) \qquad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.5) เป็นนิยามของโอเปอเรอเตอร์ย่อยทางแนวนอนซึ่งจะถูกแทนด้วย $Dx(f)$ และแนวตั้งจะถูกแทนด้วย $Dy(f)$ ตามลำดับ

จากนิยามข้างต้นจะนิยามคำว่าแกรเดียน์ (Gradient) ได้ว่าคืออนุพันธ์ของข้อมูลภาพทั้งแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งจะเห็นได้ว่าให้เพียงข้อมูลภาพเพียงชุดเดียวแต่ผลที่ได้หลังจากการทำของโอเปอเรอเตอร์นี้จะให้ข้อมูลออกมาเป็นสองชุด หรือจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ดิจิทัลแกรเดียน์ (Digital Gradient)

ถ้ากำหนดให้ข้อมูลภาพเป็น f และแกรเดียน์ของข้อมูลภาพ $GRAD(f)$ เขียนเป็นสมการได้

$$GRAD(f) = [DX(f), DY(f)] \qquad (2.6)$$

$GRAD(f)$ เป็นสองเวกเตอร์ซึ่งเป็นองค์ประกอบของข้อมูลภาพ หลาย ๆ นอม (Norms) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้เป็นเวกเตอร์นี้ แต่ละสมการข้างล่างเป็นนอมสำหรับการวัดองศาของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของภาพระดับสีเทาที่จุดภาพถูกคำนวนโดย $GRAD(f)$

กำหนดให้ เวกเตอร์ $= (x, y)$ มีอยู่ 3 แบบพื้นฐานที่จะแสดงนิยามของนอมหรือขนาด (Magnitude) [6] สมการแรกจะเรียกว่า $l_\infty - norm$ ที่มีรูปแบบเป็น

$$\|V\|_\infty = \max\{x, y\} \qquad (2.7)$$

สมการที่ 2 เป็น $l_1 - norm$ ที่มีรูปแบบเป็น

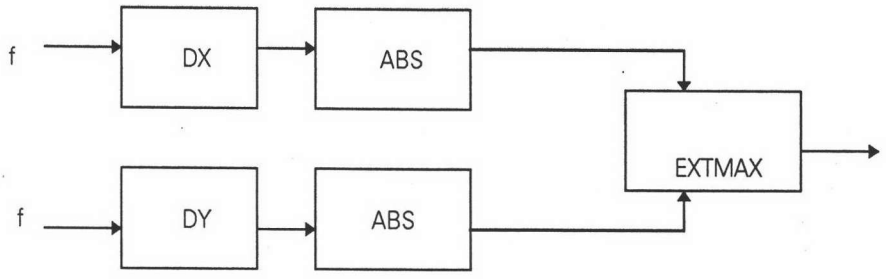
$$\|V\|_1 = |x| + |y| \qquad (2.8)$$

สมการที่ 3 เป็น $l_2 - norm$ หรือที่เรียกว่า Usual Vector Magnitude ที่มีรูปแบบเป็น

$$\|V\|_2 = \left(x^2 + y^2\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (2.9)$$

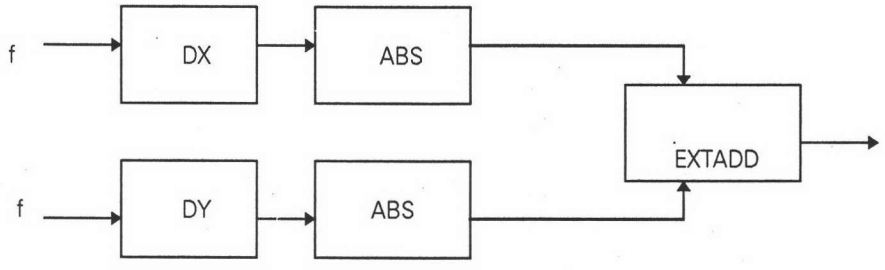
สมการทั้งสามเหล่านี้สามารถที่จะถูกนำไปประยุกต์ในแกรเดียน์เวกเตอร์ ผลคือความแตกต่างของการวัดที่ได้ออกมาจะมีทั้งหมดสามแบบ ซึ่งเป็นความแตกต่างของขนาดหรือระยะขจัดของแกรเดียน์ เพราะฉะนั้นแล้วจะมีผลออกมาเพียงค่าเดียวที่จุดภาพที่กำลังถูกคำนวน

$l_\infty - norm$ หรือสามารถเขียนได้ว่า GRADMAG0 ซึ่งสัญลักษณ์ดังกล่าวเป็นการบอกว่า เป็นขบวนการหนึ่งของการหาขอบของภาพแบบแกรเดียน์ที่ใช้ค่าของนอมที่ได้หลังจากค่า x และ y ผ่านโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์และนำมาเปรียบเทียบหาค่าสูงสุดเพียงค่าเดียว สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดั้งนี้



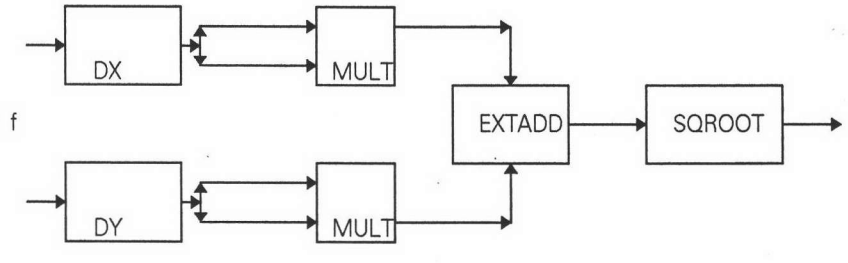
รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของ GRADMAG0

$l_1 - norm$ หรือสามารถเขียนได้ว่า GRADMAG1 ซึ่งสัญลักษณ์ดังกล่าวเป็นการบอกว่า เป็นขบวนการหนึ่งของการหาขอบของภาพแบบแกรเดียน์ที่ใช้ค่าของนอม ที่ได้หลังจากค่า x และ y ผ่านโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์มารวมกันทางเวกเตอร์สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดั้งนี้



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของ GRADMAG1

$l_2 - norm$ หรือสามารถเขียนได้ว่า GRADMAG2 ซึ่งสัญลักษณ์ดังกล่าวเป็นการบอกว่า เป็นขบวนการหนึ่งของการหาขอบของภาพแบบแกรเดียน์ที่ใช้ค่าของนอมที่ได้หลังจากค่า x และ y ผ่านโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์และนำมารวมกันแบบหาค่าเฉลี่ยยกกำลังสอง สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดั้งนี้



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของ GRADMAG2

จากบล็อกไดอะแกรมทั้งสามจะแสดงให้เห็นว่าผลที่ได้ของแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของการประยุกต์ใช้งาน ในแบบแรกเป็นการเปรียบเทียบค่าที่มากที่สุด แบบที่สองเป็นการรวมกันของสองเวกเตอร์และแบบสุดท้ายเป็นการรวมกันแบบเวกเตอร์ยกกำลังแล้วหารากที่สอง ซึ่งในการนำไปใช้งานจะขึ้นอยู่กับค่าของเทรชโฮลด์ที่เลือกนำมาใช้ สำหรับในการวิจัยนี้จะใช้แบบที่หนึ่ง เนื่องจากทั้งสามแบบจะให้ผลที่เหมือนกันหลังจากผ่านขบวนการเปรียบเทียบค่าเทรชโฮลด์ คือเป็นภาพลายเส้นของขอบภาพ แต่ทั้งสามแบบจะมีผลต่อการเลือกค่าของเทรชโฮลด์ ในแบบที่หนึ่งจะใช้ค่าเทรชโฮลด์ที่ไม่สูงมากเหมือนกับแบบที่สามและแบบที่สองทำให้ยังคงรักษารายละเอียดของภาพได้ดีกว่า

สำหรับมาสก์ที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้มาสก์ของปรีวิส (Prewitt) [6] [7] [8] ลองพิจารณามาสก์ดังต่อไปนี้

$$P1=\begin{pmatrix}-1 & 0 & 1\\ -1 & 0 & 1\\ -1 & 0 & 1\end{pmatrix} \qquad (2.10)$$

และ

$$P2=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 0 & 0 & 0\\ -1 & -1 & -1\end{pmatrix} \qquad (2.11)$$

มาสก์อันแรกเป็นโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์ DX มันจะวัดความแตกต่างกับจุดภาพข้างเคียงทั้งสองข้างซึ่งจะมีผลในทิศทางแนว X ส่วนมาสก์อันที่สองเป็นโอเปอเรเตอร์อนุพันธ์ Dy ซึ่งจะเป็นตัววัดการเปลี่ยนแปลงทางด้านทางแนว Y

เพราะฉะนั้นถ้าเป็นแกรเดียนของปรีวิส (Prewitt Gradient) แล้วสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$PREWITT(f)=[FILTER(f:P1),FILTER(f:P2)] \qquad (2.12)$$

จะเห็นได้ว่ามีโอเปอเรเตอร์ตัวใหม่คือ $FILTER$ [6] ซึ่งตัวโอเปอเรเตอร์ดังกล่าวอาจจะถูกเรียกได้อีกแบบหนึ่งว่าเป็นตัวกรอง ในที่นี้การกรองหมายถึงการวัดการเปลี่ยนแปลงในแนวแกน X หรือแนวแกน Y ของจุดภาพแต่จะเรียกทั้งสองตัวนี้ว่าตัวกรองแกรเดียน์ (Gradient Filter)

เราสามารถที่จะเขียนโอเปอเรเตอร์ $FILTER$ ให้อยู่ในรูปคณิตศาสตร์ได้คือ

$$FILTER(f;M)](i,j)=\sum_{(u,v)\in N}[TRAN(M;i,j)](u,v)\times f(u,v) \qquad (2.13)$$

(i,j) เป็นตำแหน่งศูนย์กลางของจุดภาพที่มาสก์จะเข้าไปกระทำกระบวนทางคณิตศาสตร์ตามสมการ และ N เป็น Domain ของมาสก์ที่ถูกการ Translation

โดยที่โอเปอเรเตอร์ $TRAN(M;i,j)$ [6] ก็คือการ Translation ของ Matrix เราสามารถที่จะนิยาม โอเปอเรเตอร์ $TRAN(M;i,j)$ ในรูปของคณิตศาสตร์ได้คือ

$$\left[TRAN\left(M;i,j\right)\right](u,v) = M(u-i,v-j) \qquad (2.14)$$

ถ้านำสมการที่ (2.13) และสมการที่ (2.14) มาพิจารณาในรูปแบบของข้อมูลที่เป็นจุดภาพสามารถที่จะแตกออกมาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\left[FILTER\left(f;P1\right)\right](i,j) = {} & f\left(i+1,j+1\right)+f\left(i+1,j\right)+f\left(i+1,j-1\right)\\ & -f\left(i-1,j+1\right)-f\left(i-1,j\right)-f\left(i-1,j-1\right)\end{aligned} \qquad (2.15)$$

และ

$$\begin{aligned}\left[FILTER\left(f;P2\right)\right](i,j) = {} & f\left(i-1,j+1\right)+f\left(i,j+1\right)+f\left(i+1,j+1\right)\\ & -f\left(i-1,j-1\right)-f\left(i,j-1\right)-f\left(i+1,j-1\right)\end{aligned} \qquad (2.16)$$

หลังจากที่จุดภาพได้ผ่านขบวนการดังกล่าวข้างต้นผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการสามารถที่จะมีได้สามแบบซึ่งเป็น นอม (Norm) จะถูกเรียกว่า PREWMAG0 , PREWMAG1 และ PREWMAG2 ขึ้นอยู่กับ $l_\infty - norm$, $l_1 - norm$ และ $l_2 - norm$ ที่ถูกนำมาใช้

ตัวอย่างที่หนึ่งเป็นการแสดงการคำนวนโดยกำหนดสมการข้อมูลจุดภาพได้ดังนี้

$$f = \begin{bmatrix} - & - & 3 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ - & - & - & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ - & - & - & - & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ - & - & - & - & - & 3 & 4 & 4 & 4 \\ - & - & - & - & - & - & 4 & 4 & 4 \\ - & - & - & - & - & - & - & 4 & 4 \end{bmatrix}_{0,0}$$

$$FILTER\left(f;P1\right) = \begin{bmatrix} * & * & * & * & * & * & * & * & * \\ * & 3 & 8 & 9 & 4 & - & - & - & * \\ * & - & 4 & 8 & 7 & 4 & 1 & - & * \\ * & - & - & 4 & 7 & 8 & 5 & - & * \\ * & - & - & - & 3 & 9 & 8 & 8 & * \\ * & * & * & * & * & * & * & * & * \end{bmatrix}_{0,0}$$

$$FILTER(f;P2)=\begin{bmatrix} * & * & * & * & * & * & * & * & * \\ * & 3 & 7 & 7 & 4 & - & - & - & * \\ * & - & 4 & 8 & 9 & 5 & 1 & - & * \\ * & - & - & 4 & 8 & 8 & 4 & - & * \\ * & - & - & - & 3 & 7 & 7 & 4 & * \\ * & * & * & * & * & * & * & * & * \end{bmatrix}_{0,0}$$

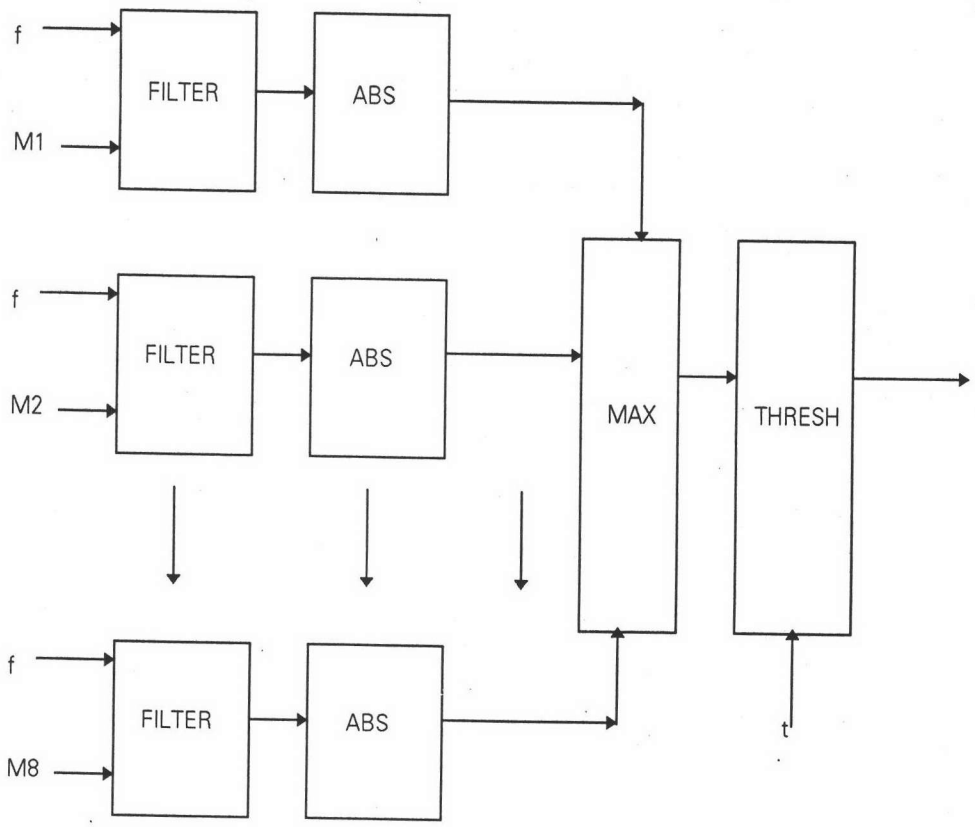
$$PREWMAG0(f)=\begin{bmatrix} 3 & 8 & 9 & 4 & - & - & - \\ - & 4 & 8 & 9 & 5 & 1 & - \\ - & - & 4 & 8 & 8 & 5 & - \\ - & - & - & 3 & 8 & 9 & 4 \end{bmatrix}_{1,-1}$$

$$PREWMAG1(f)=\begin{bmatrix} 6 & 15 & 16 & 8 & - & - & - \\ - & 8 & 16 & 16 & 9 & 2 & - \\ - & - & 8 & 15 & 16 & 9 & - \\ - & - & - & 6 & 15 & 16 & 8 \end{bmatrix}_{1,-1}$$

$$PREWMAG2(f)=\begin{bmatrix} 4.2 & 10.6 & 11.4 & 5.7 & - & - & - \\ - & 5.7 & 11.3 & 11.4 & 6.4 & 1.4 & - \\ - & - & 5.7 & 10.6 & 11.3 & 6.4 & - \\ - & - & - & 4.2 & 10.6 & 11.4 & 5.7 \end{bmatrix}_{1,-1}$$

$$PREWEDGE(f;7)=\begin{bmatrix} - & 1 & 1 & 1 & - & - & - \\ - & - & 1 & 1 & - & - & - \\ - & - & - & 1 & 1 & - & - \\ - & - & - & - & 1 & 1 & - \end{bmatrix}_{1,-1}$$

สำหรับการหาขอบภาพลายเส้นโดยใช้แกรเดียน์โอเปอเรเตอร์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นเป็นการใช้มาสก์ที่แน่นอนสองมาสก์ที่จะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงในทิศทาง - 45 องศาและในทิศทาง +45 ตามลำดับ จะเห็นว่ามาสก์ในแต่ละแบบจะให้ผลตอบสนองที่แตกต่างกัน ถ้าต้องการให้มีการตอบสนองในทิศทางมากกว่านี้จะต้องมีการนำมาสก์มาตอบสนองการเปลี่ยนแปลงในทิศทางล้อมโดยเฉพาะ (Particular Compass Direction) ถ้าต้องการผลตอบสนองใน 8 ทิศทางต้องใช้ 8 มาสก์สำหรับการเปลี่ยนแปลง 45 องศา ผลที่ได้หลังจากประมวลผลด้วย 8 มาสก์จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่มากที่สุดโดยการใช้ค่านอมสูงสุด (Maximum Norm) เพื่อที่จะใช้บอกจุดภาพนี้ว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาอย่างไร ดังนั้นจากรูปที่ 2.8 เราสามารถที่จะเขียนได้ใหม่เมื่อใช้มาสก์จำนวน 8 มาสก์ โดยในบล็อกของ MAX คือเป็นการค่ามากที่สุดหลังจากผ่านขบวนการหาค่าอนุพันธ์และการหาค่าสัมบูรณ์



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมการใช้มาสก์จำนวน 8 มาสก์ในการหาขอบภาพลายเส้น

สำหรับมาสก์ทั้ง 8 ทิศทางสามารถที่จะเขียนได้ดังนี้

$$M1=\begin{pmatrix}-1 & 1 & 1\\ -1 & -2 & 1\\ -1 & 1 & 1\end{pmatrix} \qquad (2.17)$$

$$M2=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ -1 & -2 & 1\\ -1 & -1 & 1\end{pmatrix} \qquad (2.18)$$

$$M3=\begin{pmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & -2 & 1\\ -1 & -1 & -1\end{pmatrix} \qquad (2.19)$$

$$M4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \qquad (2.20)$$

$$M5 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \qquad (2.21)$$

$$M6 = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad (2.22)$$

$$M7 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad (2.23)$$

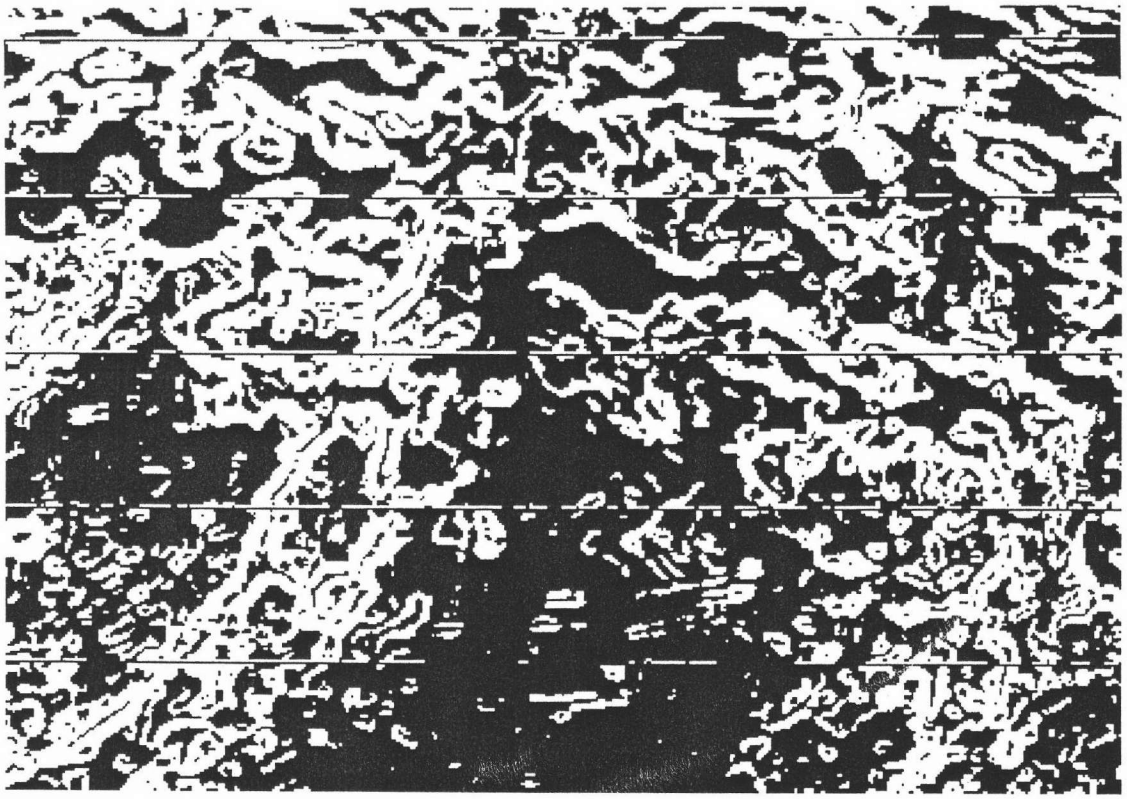
$$M8 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \qquad (2.24)$$

จากสมการที่ 2.17 - 2.24 เป็นมาสก์ของปรีวิส (Prewitt Compass Gradient) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้สมการเหล่านี้ในการช่วยหาภาพลายเส้นขอบ ซึ่งวิธีนี้จะคล้ายกับวิธีของแคนนี่ (Canny) โดยแคนนีจะใช้มาสก์เพียงแค่สองมาสก์และจะใช้วิธีการคำนวนหาจุดสูงสุดเฉพาะถิ่น แต่วิธีของแคนนีจะให้สัญญาณรบกวนมากแต่รายละเอียดของภาพลายเส้นขอบจะครบถ้วนเมื่อใช้ค่าเทรชโฮลด์ต่ำ และจะให้สัญญาณรบกวนน้อยแต่ต้องเสียรายละเอียดของภาพบางส่วนไปเมื่อใช้ค่าของเทรชโฮลด์สูง วิธีการที่ใช้ในการหาภาพเส้นลายขอบในการวิจัยนี้เป็นการใช้มาสก์ให้มากขึ้นเพื่อลดการสูญเสียรายละเอียดของภาพเส้นลายขอบ และไม่ต้องใช้ค่าเทรชโฮลด์ที่สูงมาก ตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้ของทั้งสองวิธี [3] [15]

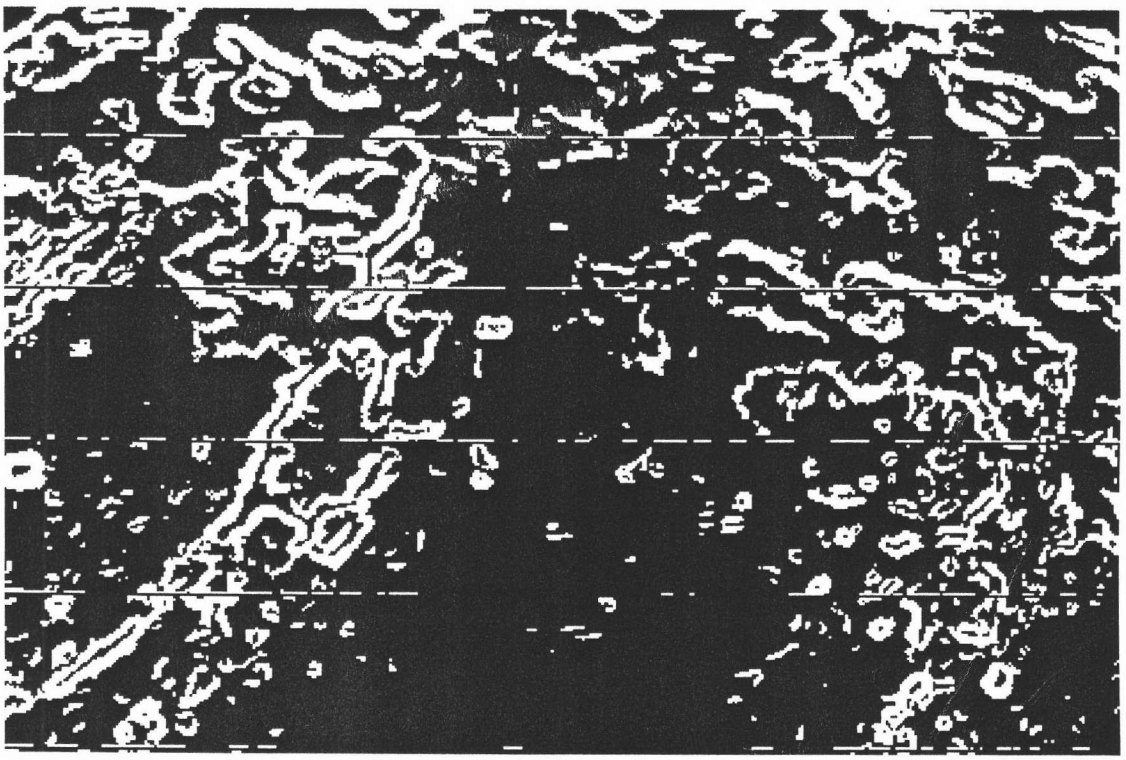
ตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้ของทั้งสองวิธี

	ค่าเทรชโฮลด์	สัญญาณรบกวน	รายละเอียด
แคนนี่	ต่ำ	มาก	ดี
	สูง	น้อย	พอใช้
ปรีวิส	ต่ำ	มาก	พอใช้
	ไม่สูง	น้อย	ดี

รูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 เป็นภาพที่ได้หลังจากผ่านมาสก์ของปรีวิสที่ค่าเทรชโฮลด์ 10 และ 15 จะเห็นว่าภาพที่ได้จะมีรายละเอียดที่ต่างกัน รูปที่ 2.9 ลายเส้นที่ปรากฏขึ้นมาจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ตามมาอีกมากทำให้ภาพลายเส้นที่ได้มีความไม่ชัดเจน รูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าลายเส้นที่ได้มีความชัดเจนมากขึ้นมีความเหมาะสมจะนำไปวิเคราะห์ได้ดีกว่ารูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพลายเส้นขอบเมื่อใช้เทรชโฮลด์ 10 กับมาสก์ของปรีวิส



รูปที่ 2.10 ภาพลายเส้นขอบเมื่อใช้เทรชโฮลด์ 15 กับมาสก์ของปรีวิส

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 การทำให้บาง (Thinning)

ในการวิจัยนี้จะใช้อัลกอริธึมนี้มาช่วยในการทำให้บาง เหตุผลเพราะว่าผลที่ได้หลังจากการหาขอบภาพลายเส้นนั้น ถ้าให้ค่าของเทรชโฮลด์มากเกินไปจะทำให้สูญเสียรายละเอียดของภาพไป ถ้าให้เทรชโฮลด์น้อยเกินไปก็จะทำให้รายละเอียดของภาพมีมากเกินความจำเป็น ซึ่งในการทำให้บางนั้น ในส่วนของการหาขอบภาพลายเส้นสามารถที่จะทำได้เลย แต่ว่าอาจต้องใช้ค่าของเทรชโฮลด์ที่มากน้อยซึ่งอาจทำให้สูญเสียรายละเอียดของภาพได้ ดังนั้นถ้าเปลี่ยนมาใช้ค่าของเทรชโฮลด์ที่คิดว่าพอดีที่จะสามารถรักษารายละเอียดของภาพได้มากที่สุดและนำมาทำให้บางโดยไม่ต้องใช้ค่าเทรชโฮลด์มาเกี่ยวข้อง ก็จะสามารถที่จะรักษาข้อมูลของภาพได้มากที่สุด ทำให้ในการวิเคราะห์โครงร่างมีความถูกต้องและแน่นอนขึ้น

สำหรับอัลกอริธึมที่ใช้เป็นของ Zhang And Suen [8] ซึ่งเป็นอัลกอริธึมที่ใช้สำหรับทำให้บางสำหรับภาพที่มีความแตกต่างสองระดับ เหตุผลที่เลือกใช้อัลกอริธึมนี้เพราะว่าภาพที่ได้หลังจากการหาขอบของภาพนั้นจะเป็นภาพที่มีลักษณะความแตกต่างของจุดภาพเป็น 2 ระดับ (ขาวกับดำ) และเพื่อที่จะรักษาสภาพความต่อเนื่องระหว่างจุดที่เชื่อมเข้าหากันเพื่อแสดงให้เห็นเป็นโครงร่างไม่ให้ขาดช่วง เนื่องจากอัลกอริธึมนี้จะใช้วิธีการกัดเซาะริมขอบของภาพเข้าไปทีละจุด จนกระทั่งเหลือแต่โครงร่างซึ่งหมายถึงหนึ่งจุดภาพจะแทนความกว้างของลายเส้น สำหรับอัลกอริธึมการทำให้บางนั้น สามารถพิจารณาได้ดังนี้ถ้าสมมุติว่าจุดขอบเขตของภาพมีค่าเป็น 1 และพื้นของภาพเป็น 0 (P1 ถึง P8) เป็นวิธีการกำหนดลักษณะของจุดภาพแล้ว และ 8 จุดภาพข้างเคียง (8 Neighborhood) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 แล้วสามารถที่จะเขียนอัลกอริธึมได้ดังนี้

P9	P2	P3
P8	P1	P4
P7	P6	P5

รูปที่ 2.11 แสดงจุดภาพข้างเคียง 8 จุดสำหรับใช้ในอัลกอริธึมทำให้บาง

ขั้นที่หนึ่งจะเป็นการหาจุดและกำหนดจุดที่ต้องการจะลบออกสำหรับจุดรอบจุด $P1$ ถ้า 8 จุดภาพข้างเคียงเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$
\begin{aligned}
&2 \le N(P1) \le 6, \\
&S(P1) = 1, \\
&P2 \bullet P4 \bullet P6 = 0, \\
&P4 \bullet P6 \bullet P8 = 0,
\end{aligned}
\qquad (2.25)
$$

(เครื่องหมาย • เป็นเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ มีความหมายเป็นการคูณ กัน)
เมื่อ $N(P1)$ คือค่าของ Nonzero Neighbors ของ $P1$ นั้นคือ .

$$N(P1) = P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7 + P8 + P9 \qquad (2.26)$$

และตัว $S(P1)$ เป็นตัวเลขของการเปลี่ยนจาก 0 - 1 ตามลำดับของจุดเช่น $P2, P3, .., P8, P9$ จากตัวอย่างดังข้างล่าง

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & P1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

จากตัวอย่างข้างต้นสามารถที่จะคำนวนค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$N(P1) = 4$$
$$S(P1) = 3$$

ขั้นที่ 2 หลังจากทำการลบจุดที่กำหนดไว้หลังจากผ่านขั้นที่ 1 แล้ว ก็จะทำซ้ำตามขั้นที่ 1 อีกแต่จะเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขบ้างขอในสมการที่ 2.25 โดยจะเปลี่ยนสมการสองบรรทัดสุดท้ายของสมการ 2.25 ด้วยสมการที่ 2.27

$$P2 \bullet P4 \bullet P8 = 0,$$
$$P2 \bullet P6 \bullet P8 = 0, \qquad (2.27)$$

ในขั้นที่ 1 เป็นการนำเงื่อนไข (2.25) ไปใช้กับทุกจุดภาพในขอบเขตของภาพสองระดับ ถ้ามีเงื่อนไขหนึ่งเงื่อนไขใดผิดไปจากเงื่อนไข (2.25) ค่าที่จุดทำการทดสอบนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า แต่ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่วางไว้จุดนั้นจะถูกทดไว้ว่าจะต้องถูกลบทิ้ง จุดสำคัญที่ยังไม่ลบจุดดังกล่าวทิ้งเพราะว่าจุดข้างเคียงยังไม่ได้ถูกผ่านขบวนการนี้ทั้งหมด ซึ่งข้อมูลอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ถ้าทำการเปลี่ยนค่าจุดข้างเคียงขณะกำลังประมวลผล หลังจากผ่านขั้นที่ 1 แล้วจุดที่ถูกทดไว้ก็จะถูกลบทิ้งและขั้นที่ 2 ก็จะนำมาใช้ต่อ ซึ่งก็เหมือนกับขั้นตอนที่หนึ่งแต่ว่าเปลี่ยนเงื่อนไขสองข้อล่างเป็น (2.27) จากขบวนการข้างต้นเป็นการกระทำเพียงครั้งเดียว และจะต้องกระทำไปจนกว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจำนวน N ครั้ง จากที่กล่าวมาสามารถเขียนเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

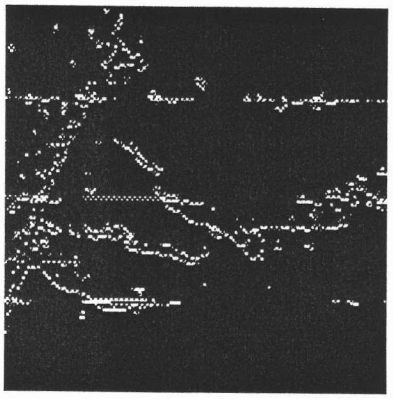
1. ทำการตรวจสอบจุดภาพที่ต้องการว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ เพื่อที่จะทำการลบทิ้งแต่ยังไม่ลบจนกว่าจะทำครบหมดทั้งภาพ
2. ทำการลบจุดภาพที่ถูกทดไว้ว่าจะต้องถูกลบ
3. ทำเหมือนขั้นตอนที่หนึ่งแต่เปลี่ยนเงื่อนไขสองข้อล่างเป็น ไปตามเงื่อนไขในสมการที่ (2.27)

4. ทำการลบจุดภาพที่ถูกทดไว้ว่าจะต้องถูกลบ
5. ตรวจสอบว่าขบวนการมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือไม่
6. ถ้าขบวนการมีการเปลี่ยนแปลงให้เริ่มทำซ้ำข้อหนึ่งไม่
7. ถ้าขบวนการไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยให้จบขบวนการได้

เมื่อทำตามขั้นต้นแล้วจนถึงข้อที่เจ็ด ก็จะได้ภาพที่เป็นลักษณะของจุดภาพหนึ่งจุดแทนความกว้างของภาพซึ่งยังคงไว้โครงร่างเดิมเมื่อนำจุดภาพมารวมกัน

พิจารณาเงื่อนไขสมการ (2.25) ในข้อแรกเงื่อนไขสามารถเป็นเท็จได้ เมื่อจุดรอบ $P1$ ที่มีเพียงหนึ่งหรือเจ็ดจากจุดภาพข้างเคียงทั้งแปดมีค่าเป็นหนึ่ง เช่นถ้าจุดรอบ $P1$ มีเพียงแค่ค่าหนึ่งค่าเดียวนั้นคือ $P1$ เป็นจุดปลายไม่ต้องลบออก แต่ถ้า $P1$ มีค่าเป็นเจ็ดมันจะต้องถูกลบออกไป ในส่วนนี้จะเป็นการกัดเซาะทีละจุด ในข้อสองเงื่อนไขจะเป็นเท็จได้ เมื่อจุดดังกล่าวไปชนกับกลุ่มจุดหนึ่งที่แทนเป็นความหนาของภาพ ในสภาวะเงื่อนไขข้อนี้เป็นการป้องกันการไม่ต่อเนื่องของจุดภาพของเส้นที่เป็นโครงร่าง ขณะขบวนการทำให้บางกำลังประมวลผลอยู่ ในข้อที่สามและสี่เป็นการพิจารณาโดยการจำลองโดยในขั้นแรกคิดที่จุดต่ำสุดก่อน $P4 = 0$ หรือ $P6$ หรือ ($P2 = 0$ และ $P8 = 0$) กับรูปที่ 2.11 ที่เป็นรูปแสดงตำแหน่งจุดข้างเคียงทั้งแปด ถ้าต้องการให้เงื่อนไขเหล่านี้ตรงกับเงื่อนไขในข้อที่หนึ่งและสองนั้นคือเป็นจุดขอบทางทิศตะวันออกหรือทิศใต้หรือเป็นจุดขอบมุมทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ในกรณีจุด $P1$ ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของโครงร่างและควรจะถูกลบออก และในสภาวะตามสมการเงื่อนไข (2.27) สามารถเป็นจริงตามเงื่อนไขได้โดยการจำลองค่าต่ำสุดโดยให้ค่า $P2 = 0$ หรือ $P8 = 0$ หรือ ($P4 = 0$ และ $P6 = 0$) เงื่อนไขเหล่านี้จะตอบสนองขอบทางทิศเหนือและทิศทางตะวันตกหรือจุดขอบทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ จุดมุมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือมี $P2 = 0$ และ $P4 = 0$ ที่ทำให้เงื่อนไขดังกล่าวเป็นจริงสำหรับเงื่อนไขสมการที่ (2.25) และสมการเงื่อนไขที่ (2.27) สำหรับจุดมุมตะวันตกเฉียงใต้มี $P6 = 0$ และ $P8 = 0$ ที่จะทำให้เงื่อนไขสมการเป็นจริง

ตัวอย่างของภาพที่ทำให้เส้นบางแสดงอยู่ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาพของรูปที่ 2.10 เมื่อผ่านขบวนการทำให้บาง

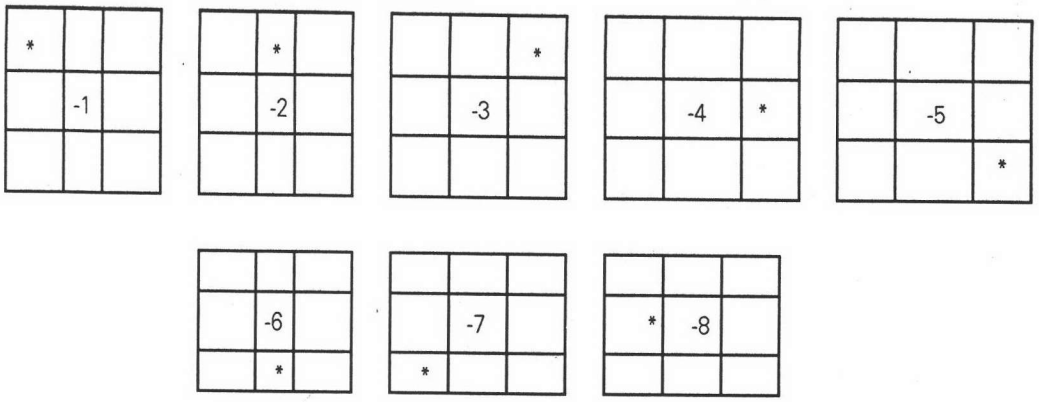
2.7 การแปลงลายเส้นของภาพ 2 ระดับสีเทาให้เป็นเวกเตอร์

ในส่วนสุดท้ายของการประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับในการตรวจหาร่องรอยของพื้นผิวถนนคือเป็นการตัดสินใจและการจำแนก ซึ่งจากการประมวลผลทั้งหมดในข้างต้นเป็นการประมวลผลที่เกี่ยวกับโครงสร้างแต่ยังไม่มีการวิเคราะห์ถึงโครงร่างว่าประกอบด้วยจุดภาพที่มีลักษณะทิศทางอย่างไร หลังจากการประมวลผลที่ทำให้ภาพนั้นบางหรือการทำให้บาง (Thinning) จะได้ข้อมูลภาพที่เป็นจุดภาพของโครงร่างที่เรียงต่อกันไป ขั้นตอนแรกก่อนการตัดสินใจหรือจำแนกคือการนำจุดภาพที่ผ่านขบวนการทำให้บางแล้วมาแปลงให้เป็นเวกเตอร์ จุดประสงค์หลักของการแปลงให้เป็นเวกเตอร์คือ เพื่อให้สามารถเข้าถึงตำแหน่งของภาพที่ต้องการได้รวดเร็วและแน่นอน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์โครงร่าง ขั้นตอนดังกล่าวสามารถกล่าวได้ดังนี้คือ หาทิศทางของจุดภาพที่เรียงต่อเนื่องกันไปโดยการเปลี่ยนจุดภาพให้เป็นรหัสเงื่อนไข แล้วนำไปเปลี่ยนให้เป็นจุดภาพที่มีจุดภาพที่มีทิศทางไปทางเดียวกันให้เป็นส่วนของเส้นตรงหรือเส้นโค้งเรียงต่อเนื่องกันไป โดยวิธีนี้จะเป็นการนำเอาเทคนิคการรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาไทยโดยวิธีซินแทนติกของนาย สนธยา เมรินทร์ [5] ส่วนที่เป็นการแปลงจุดภาพให้เป็นเวกเตอร์มาใช้ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะมีจุดภาพที่เรียงต่อ ๆ กันไปในทิศทางเดียวกันให้อยู่ในรูปของเส้นตรง หรือเปลี่ยนจุดภาพที่มีการวนมาบรรจบกันเป็นวงกลมให้อยู่ในรูปของวงกลม เรียกเส้นตรงหรือวงกลมนี้ว่า เวกเตอร์ โดยเวกเตอร์เหล่านี้มีการเชื่อมต่อกันในรูปแบบต้นไม้เพื่อให้ยังคงลักษณะที่เหมือนกับโครงร่างเดิมมากที่สุด โดยที่แต่ละเวกเตอร์จะยังคงเก็บตำแหน่งเริ่มและปลายของส่วนของเส้นตรงนั้นไว้ เพื่อให้สามารถนำเวกเตอร์เหล่านี้มาปรับปรุงได้ในภายหลังถ้าพบว่ามีส่วนหนึ่งส่วนใดมีลักษณะเป็นส่วนเกินส่วนขาด จากที่กล่าวมาเป็นกระบวนการหนึ่งในการเรียนรู้จำและจะถูกนำมาประยุกต์ในส่วนนี้โดยเพิ่มในส่วนของการเปรียบเทียบโครงสร้างของต้นไม้สำหรับในการตัดสินใจ

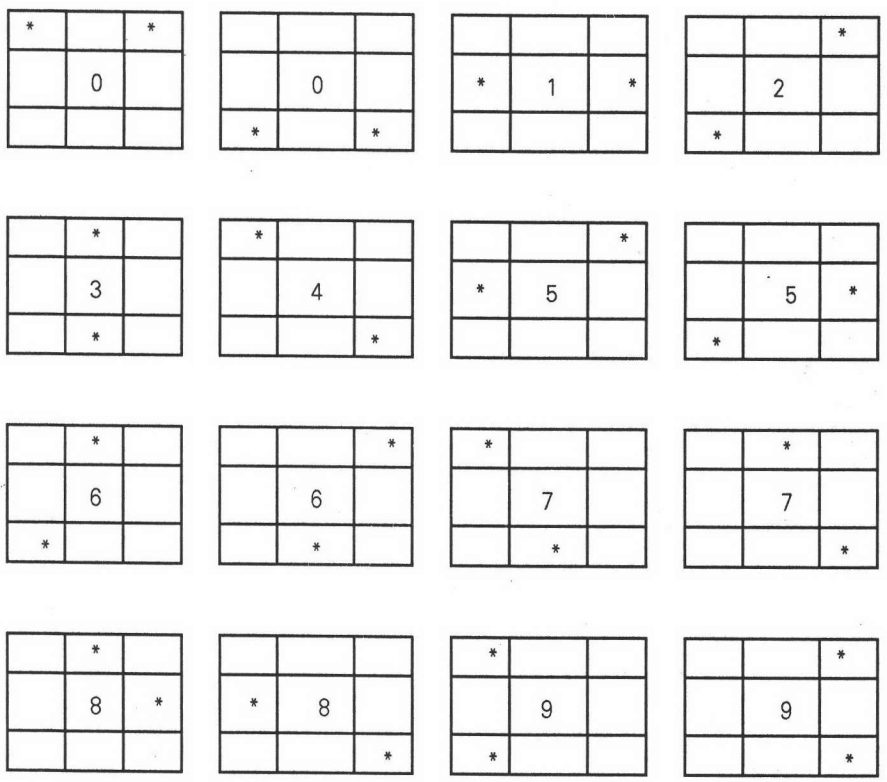
ข้อดีของการเปลี่ยนโครงร่างให้เป็นต้นไม้ของเวกเตอร์มีดังนี้

1 สามารถเข้าถึงตำแหน่งต่างๆของจุดภาพที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว
2 สามารถตรวจสอบหาส่วนต่างๆได้โดยง่าย
3 สามารถตัดส่วนเกินหรือเชื่อมต่อส่วนที่ขาดออกจากกันเข้าด้วยกันได้โดยง่าย
4 ลดจำนวนข้อมูลที่ต้องการเก็บไว้ลง
5 ทำการจำแนกได้รวดเร็วขึ้น

การเข้ารหัสจุดภาพของโครงร่าง การทำจุดภาพของโครงร่างที่ถูกทำให้บางให้เป็นเวกเตอร์นั้น ในขั้นแรกต้องทราบว่าแต่ละจุดภาพมีมุมที่สัมพันธ์กับจุดภาพข้างเคียงอย่างไร และมีจุดปลายและจุดทางแยกอยู่ที่ตำแหน่งใดบ้าง การที่จะหามุมสัมพันธ์ของจุดภาพสามารถที่จะทำได้ง่าย ๆ โดยการแทนค่าแต่ละจุดภาพด้วยรหัสเงื่อนไข (condition code) โดยใช้วิธีของ Lam and Suen [12] โดยการใช้ตารางหน้าต่างขนาด 3 x 3 ตรวจจุดภาพและทำการเปรียบเทียบกับจุดภาพรอบข้างทั้ง 8 จุดภาพในตารางหน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยมีเงื่อนไขการแทนค่าด้วยรหัสเงื่อนไข ดังนี้



ก. รหัสเงื่อนไขที่เป็นเลขลบให้กับจุดภาพที่เป็นจุดปลาย



ข. รหัสเงื่อนไขที่เป็นบวกให้กับจุดภาพที่เป็นจุดต่อเนื่อง

รูปที่ 2.13 ตารางหน้าต่างแสดงเงื่อนไขการเข้ารหัสจุดภาพ

ถ้า X เป็นจุดภาพและมีจุดภาพรอบข้างมากกว่า 2 จุดขึ้นไป แสดงว่าเป็นจุดทางแยกให้แทนจุดนั้นด้วยรหัสเงื่อนไข -9

ถ้า X เป็นจุดภาพและมีจุดภาพรอบข้างเพียง 1 จุด แสดงว่าเป็นจุดปลายของภาพให้แทนด้วยเลขลบตามที่แสดงในรูปที่ 2.13 ในส่วน ก.

ถ้า X เป็นจุดภาพและมีจุดภาพรอบข้างเพียง 2 จุด แสดงว่าจุด X เป็นจุดต่อเนื่อง ให้แทนด้วยรหัสเงื่อนขที่เป็นเลขบวก

ถ้า X ไม่ใช่จุดภาพ หรือเป็นจุดภาพที่มีจุดภาพรอบข้างนอกเหนือจากที่ระบุไว้ให้แทนด้วยรหัสเงื่อนไข -128

รหัสเงื่อนไขที่ไม่ใช่เลข -9 และ -128 สามารถที่จะคำนวนหาตำแหน่งของจุดถัดไปโดยใช้สูตรตามตารางที่ 2.2 ก. สำหรับจุดต่อเนื่องและตาราง 2.2 ข. สำหรับจุดปลาย

ตารางที่ 2.2 แสดงตำแหน่งของจุดภาพถัดไปจากค่ารหัสเงื่อนไขของจุดภาพในตำแหน่งปัจจุบัน

รหัสเงื่อนไขของตำแหน่งปัจจุบัน	ตำแหน่งของจุดถัดไป (ni , nj)
0	(pi , 2j -p)
1	(i , 2j-p)
2,4	(2i-pi , 2j-pj)
3	(2i-pi , j)
5	(1- j+pj, 2j-pj) ; i=pi (i , 2j-pj); กรณีอื่นๆ
6	(2i-pi , j-1+pi) ; j=pj (2i-pi , j); กรณีอื่นๆ
7	(2i-pi , i+1-pi) ; j=pj (2i-pi , j); กรณีอื่นๆ
8	(1+ j-pj, 2j-pj) ; i=pi (i , 2j-pj); กรณีอื่นๆ
9	(2i-pi , pj)

(i ,j) = ตำแหน่งของจุดปัจจุบัน (pi ,pj) = ตำแหน่งของจุดก่อนหน้า

ตารางที่ 2.2 ก. ตำแหน่งของจุดภาพถัดไปจากจุดภาพในตำแหน่งปัจจุบันที่เป็นจุดต่อเนื่อง

รหัสเงื่อนไขของตำแหน่งปัจจุบัน	ตำแหน่งของจุดถัดไป (n_i , n_j)
-1	(i - 1 , j -1)
-2	(i - 1 , j)
-3	(i - 1, j +1)
-4	(i , j +1)
-5	(i +1 , j +1)
-6	(i + 1 , j)
-7	(i + 1 , j -1)
-8	(i , j -1)

(i ,j) = ตำแหน่งของจุดปัจจุบัน

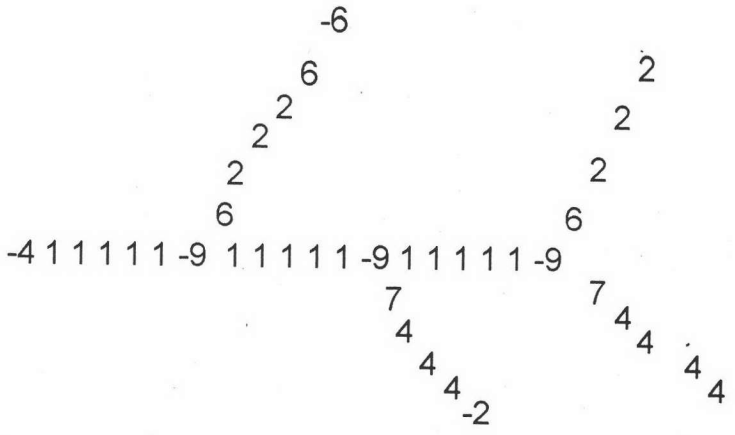
ตารางที่ 2.2 ข. ตำแหน่งของจุดภาพถัดไปจากจุดภาพในตำแหน่งปัจจุบันที่เป็นจุดปลาย

รหัสเงื่อนไขของแต่ละจุดภาพที่เป็นจำนวนบวกมีค่า 1 ถึง 8 แสดงถึงจุดภาพนั้นทำมุมในทิศทางต่างกันดังที่จะได้แสดงในตารางที่ 2.3 รหัส 1 ถึง 4 เรียกว่ารหัสเงื่อนไขหลัก ทำมุมเป็นทวีคูณของมุม 45 องศารหัส 5 ถึง 8 เรียกว่ารหัสเงื่อนไขรอง ทำมุมเป็นทวีคูณของมุม 30 องศา ส่วนรหัสเงื่อนไข 0 ถึง 9 เป็นจุดหักเหของเส้นโครงร่าง

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรหัสเงื่อนไขเดียวกันที่เรียงต่อเนื่องกับค่ามุมองศา

รหัสเงื่อนไข	มุมองศา
1	0
2	45
3	90
4	135
5	30
6	60
7	120
8	150

ตารางที่ 2.3 แสดงถึงจุดภาพที่เป็นรหัสเงื่อนไขเดียวกันเรียงต่อเนื่องกันไป แต่ถ้าเป็นจุดภาพที่มีการเรียงของรหัสเงื่อนไขหลักและรหัสเงื่อนไขรองคละกันไปจะได้มุมของเส้นดังที่จะได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 ข้อมูลภาพของภาพที่เข้ารหัสเงื่อนไข



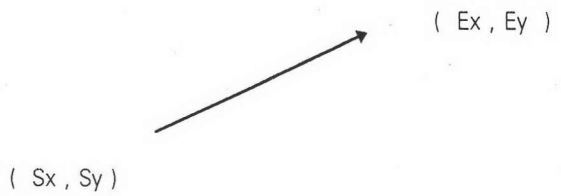
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างข้อมูลภาพที่เข้ารหัสเงื่อนไขแล้ว

ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรหัสเงื่อนไขที่เรียงคละกันกับค่ามุมองศา

รหัสเงื่อนไขที่เรียงต่อเนื่อง	มุมที่ได้ (องศา)
1-5-1	$0 < \theta < 30$
2-5-2	$30 < \theta < 45$
2-6-2	$45 < \theta < 60$
3-6-3	$60 < \theta < 90$
3-7-3	$90 < \theta < 120$
4-7-4	$120 < \theta < 135$
4-8-4	$135 < \theta < 150$
1-8-1	$150 < \theta < 180$

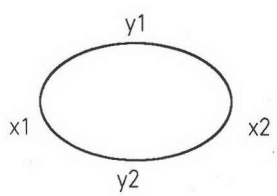
หลังจากที่ได้ข้อมูลของภาพที่ถูกใส่ให้เป็นรหัสเงื่อนไขแล้ว ในขั้นต่อไปก็เป็นการเปลี่ยนรหัสเงื่อนไขเหล่านี้ให้เป็นเวกเตอร์เพื่อที่สามารถจะอ้างถึงตำแหน่งที่ต้องการได้ดี เวกเตอร์มีใช้สามารถแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้สองประเภท

1. เวกเตอร์เส้นตรง ใช้แทนจุดภาพที่มีทิศทางเป็นเส้นตรง เวกเตอร์เส้นตรงประกอบด้วยตำแหน่งของจุดแรกและตำแหน่งของจุดสุดท้าย เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เป็นการแสดงลักษณะของเวกเตอร์เส้นตรง

2. เวกเตอร์วงกลม แทนจุดภาพที่มีตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายวนมาบรรจบกัน เนื่องจากเวกเตอร์วงกลมออกแบบมาสำหรับให้เป็นส่วนหัวของตัวอักษร ได้ถูกนำมาใช้ในการวิจัยเกี่ยวกับการเรียนรู้จำอักษรพิมพ์ไทยโดยวิธีซินแทกติกของ[5] ซึ่งวงกลมเวกเตอร์ถูกกำหนดให้มีจุดต่อเชื่อมเพียง 1 จุดให้สามารถต่อเชื่อมกับเวกเตอร์เส้นตรงได้ 1 เวกเตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยของ [5] วงกลมประกอบด้วยตำแหน่งของจุดขอบซ้ายสุด ขอบขวาสุด ขอบบนสุด ขอบล่างสุด และตำแหน่งของจุดที่เวกเตอร์วงกลมเชื่อมกับเวกเตอร์อื่น สำหรับในงานวิจัยนี้วงกลมที่ได้จะไม่ได้มีจุดขอบเพียงจุดเดียว เนื่องจากหินที่อยู่ในภาพจะเป็นลักษณะของวงกลมที่ไม่สมบูรณ์ คือไม่กลมสนิทอาจมีการผิดรูปทรงไป ดังนั้นจึงใช้ข้อกำหนดที่ว่าจุดเริ่มต้นและจุดที่สิ้นสุดจะวนมาบรรจบกัน ก็จะถือว่าเป็นเวกเตอร์วงกลมเพื่อง่ายต่อการตัดสินใจ รูปที่ 2.16 เป็นลักษณะเวกเตอร์วงกลม



รูปที่ 2.16 เป็นการแสดงลักษณะเวกเตอร์วงกลม

ในการแปลงจุดภาพให้เป็นเวกเตอร์เส้นตรงหลังจากที่จุดภาพได้ถูกเข้ารหัสเงื่อนไขแล้ว เป็นการรวมเอาจุดภาพที่มีเงื่อนไขเหมือนกัน หรือเป็นรหัสเงื่อนไขที่ต่อเนื่องเข้าด้วยกันเป็น 1 เวกเตอร์เส้นตรงตารางที่ 2.5 แสดงรหัสต่อเนื่อง และรหัสไม่ต่อเนื่อง ของรหัสเงื่อนไขที่ใช้ในการแปลงให้เป็นเวกเตอร์

ตารางที่ 2.5 แสดงรหัสต่อเนื่อง และรหัสไม่ต่อเนื่อง ของรหัสเงื่อนไข

รหัสเงื่อนไข	รหัสต่อเนื่อง	รหัสไม่ต่อเนื่อง
1	1,5,8	-
2	2,5,6	9,0
3	3,6,7	-
4	4,7,8	9,0
5	1,2,5,6	0,8,9
6	2,3,5,6	0,7,9
7	3,4,7,8	0,6,9
8	2,4,7,8	0,5,9
9	2,4,5,6,7,8	ทุกรหัส
0	2,4,5,6,7,8	ทุกรหัส

สำหรับในส่วนของการทำให้เป็นเวกเตอร์วงกลมนั้นจะพิจารณาว่า ถ้าจุดทางเดินนั้นสามารถที่จะเดินมาเชื่อมถึงกันได้หรือวนมาชนที่จุดเดิมโดยไม่สนใจรูปร่างแล้วก็จะสามารถเขียนเป็นวงกลมได้เลย เนื่องจากต้องการเพียงรู้ว่าโครงร่างเป็นวงกลมหรือเส้นตรงเพื่อใช้ในการตัดสินใจ

เวกเตอร์ที่ได้จากการแปลงจุดภาพที่เข้ารหัสเงื่อนไข จะต้องนำมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นรูปต้นไม้เพื่อต่อเชื่อมเวกเตอร์ต่างๆ ให้เหมือนกับรูปของโครงร่างตัวอักษรตามเดิม โดยใช้รูปแบบต้นไม้ที่เรียกว่า Binary-Tree of Order 3 ที่มีการเชื่อมโยงระหว่าง node แบบ doubly link list ในการวิจัยของนายสนธยา [5] จะใช้เพียง 3 ลำดับ แต่สำหรับในวิจัยนี้จะกำหนดว่ารอยแยกหรือรอยร้าวบนพื้นถนนถ้ามีรอยแยกมากกว่า 2

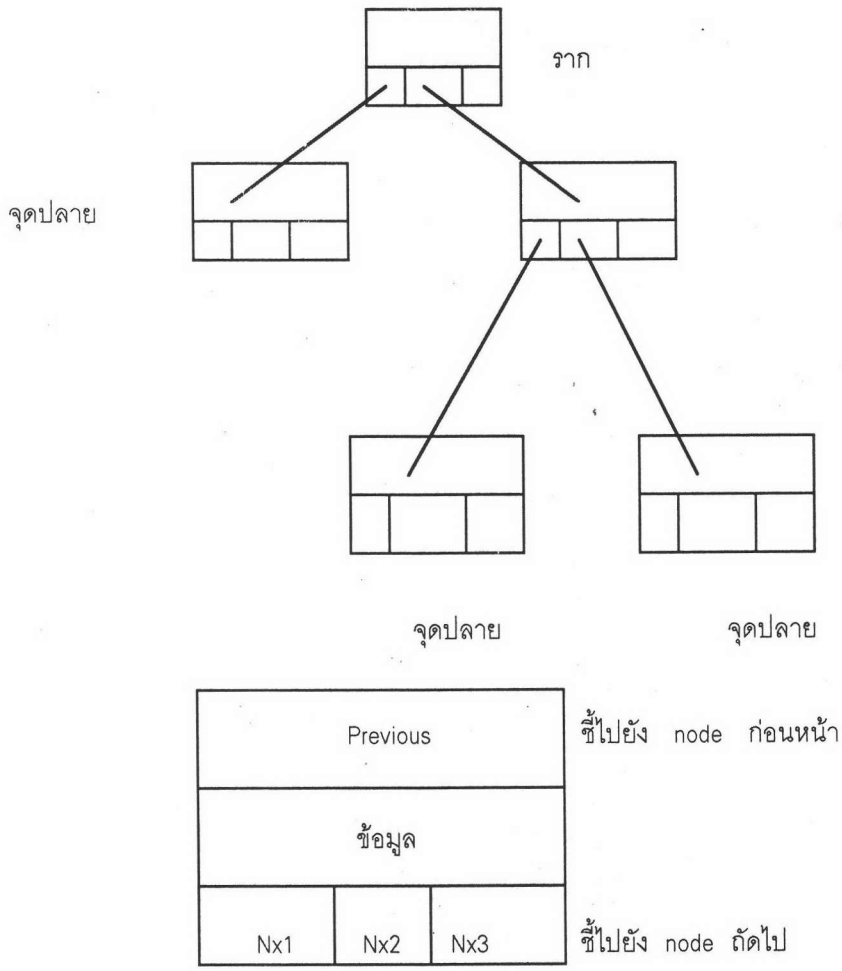
จุดก็ถือว่าเป็นรอยร้าวอยู่ ซึ่งจะใช้ 2 หรือ 3 ลำดับในการทำเป็นต้นไม้ก็จะได้ผลที่เหมือนกัน เนื่องจากจะพิจารณาแต่เพียงโครงร่างของต้นไม้เท่านั้นโดยการเปรียบเทียบกับต้นแบบที่มีอยู่แล้ว

ต้นไม้ประกอบด้วยสมาชิกที่เรียกว่า node ที่นำมาเชื่อมโยงกัน โดยที่แต่ละ node มีรายละเอียดดังนี้

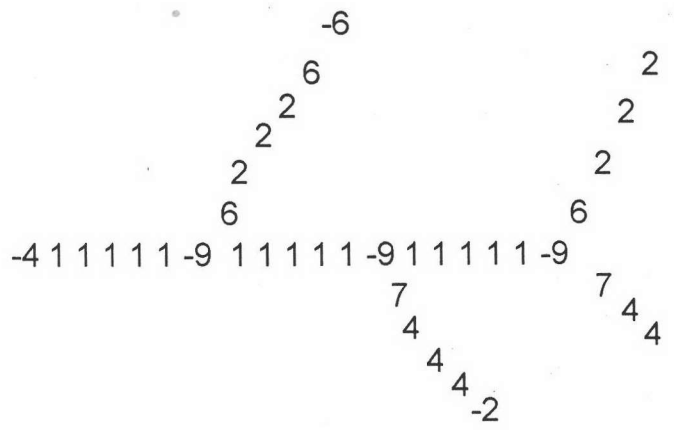
1. ข้อมูลของเวกเตอร์ ระบุประเภท และขนาดของเวกเตอร์

2. ตัวชี้ไปยัง node บน 1 ตัวชี้ เพื่อให้สามารถเดินย้อนขึ้นไปยัง node ต่างๆที่อยู่เหนือขึ้นไปได้ ในกรณีที่เป็นรากของต้นไม้จะไม่มี node บน ดังนั้นตัวชี้ไปยัง node บนของรากจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น -1 เสมอ

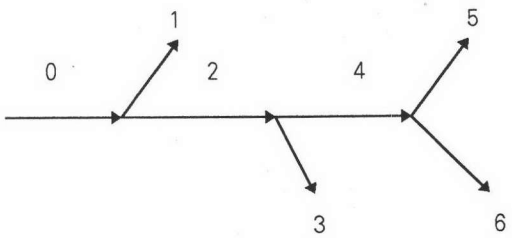
3 ตัวชี้ไปยัง node ล่าง 3 ตัวชี้ เพื่อให้สามารถเดินลงไปยัง node ที่อยู่ต่ำลงไปในกรณีที่ตัวชี้ไปยัง node ล่างตัวใดไม่ได้ถูกใช้งานเนื่องจากไม่มี node ล่างถัดไป ให้กำหนดให้มีค่าเป็น -1 เช่นกัน ดังนั้น ถ้าเป็น node ที่เป็นจุดปลาย ตัวชี้ทั้ง 3 จะมีค่าเป็น -1



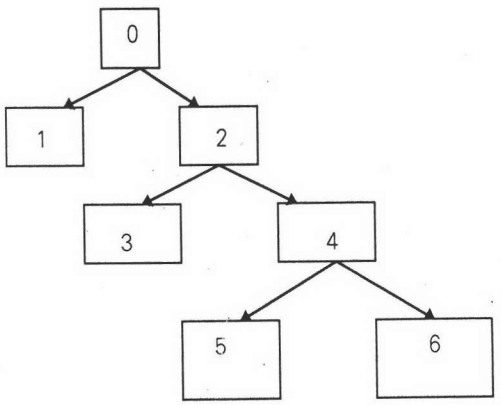
รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของต้นไม้



ก. ข้อมูลภาพที่ถูกเข้ารหัสเงื่อนไขแล้ว



ข. รหัสเงื่อนไขได้ถูกเปลี่ยนมาเป็นเวกเตอร์



ค. ต้นไม้ของเวกเตอร์

รูปที่ 2.18 แสดงการแปลงข้อมูลจากเส้นรอยร้าวเป็นต้นไม้ของเวกเตอร์

ในการเลือก node ที่จะมาเป็นรากของต้นไม้ของเวกเตอร์ ในที่นี้จะใช้จุดปลายทางซ้ายมือเป็นจุดเริ่มต้น ในกรณีการวิจัยนี้ ภาพที่ใช้มีขนาดใหญ่กว่าและข้อมูลของภาพจะมากกว่าในกรณีของการเรียนรู้จำอักษรภาษาไทย แต่จะมีความซับซ้อนของลายเส้นน้อยกว่า คือมีแต่เส้นตรงและวงกลมซึ่งสามารถที่จะใช้วิธีนี้หาต้นไม้ของเวกเตอร์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบได้ง่าย โดยทำการตรวจสอบภาพตั้งแต่ทางซ้ายมือ ถ้าพบรหัสที่บอกเงื่อนไขว่าเป็นจุดปลายก็ทำการหาที่จุดนั้นว่าเป็นเส้นอะไรหรือเป็นข้อมูลที่มารบกวน ถ้ามีแต่จุดปลายและไม่มีความยาวหรือไม่มีจุดแยก ก็จะข้ามในจุดนี้ไปเลยเพื่อไปหาจุดอื่นต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.18

2.8 การจำแนก

ขั้นตอนสุดท้ายสำหรับในการวิจัยนี้เป็นการจำแนกภาพที่ได้หลังจากผ่านขบวนการต่าง ๆ ในข้างต้น คือขั้นตอนในการจำแนก ซึ่งในขั้นตอนนี้จะแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการสร้างหรือหาเงื่อนไขที่จะใช้เป็นแบบอ้างอิงโดยใช้ข้อมูลจากที่มีอยู่ในภาพมาทำการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล เพื่อนำไปใช้ต่อไป ส่วนที่สองจะเป็นกระบวนการในการจำแนก ขบวนการนี้จะไม่สามารถทำงานได้ถ้าไม่มีข้อมูลจากฐานข้อมูลหรือแบบอ้างอิงมาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจ

2.8.1 การสร้างเงื่อนไขในการจำแนก เนื่องจากในการพัฒนาครั้งนี้เป็นการตรวจสอบพื้นผิวถนน ซึ่งสิ่งที่ทำการตรวจสอบได้แก่ ร่องรอยบนพื้นผิวถนนและกลุ่มที่ทำให้เกิดเป็นร่องรอยเช่น หิน ดังนั้นภาพที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลหลักสำหรับในการเปรียบเทียบนั้นจะใช้ภาพที่มีรอยร้าวและกลุ่มของหินลอยตัวประมาณ 20 ภาพ โดยเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลดังนั้นข้อมูลที่จะเก็บจะเป็นต้นไม้ของเวกเตอร์และจำนวนของวงกลมที่ตรวจพบ โดยในแฟ้มนี้จะมีโครงสร้างการเก็บข้อมูลประกอบด้วย (แสดงอยู่ในรูปที่ 2.19)

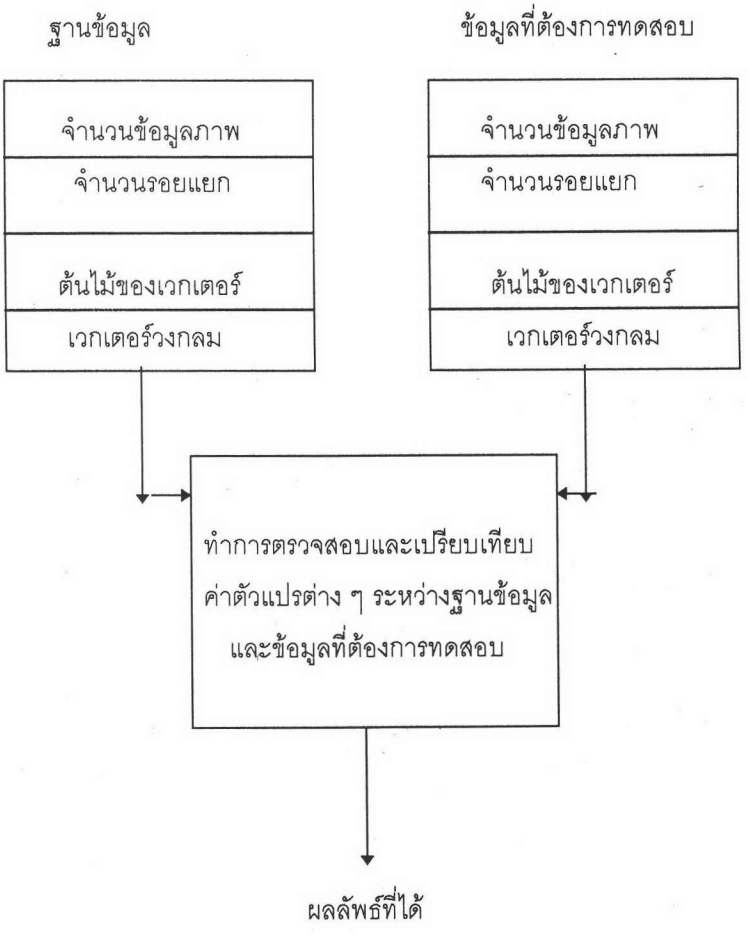
1. ความยาวของข้อมูล ซึ่งจะใช้บอกได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่สามารถแบ่งชนิดของสิ่งที่ตรวจจับได้เพื่อที่สามารถจะใช้อ้างอิงในตอนเปรียบเทียบได้เร็วขึ้น
2. จำนวนจุดแยก ซึ่งก็คือจำนวนของรอยร้าว
3. ต้นไม้ของเวกเตอร์
4. จำนวนเวกเตอร์วงกลม

ฐานข้อมูลดังกล่าวจะใช้เป็นแบบอ้างอิงสำหรับใช้เป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจ

2.8.2 กระบวนการในการจำแนก ในการเปรียบเทียบเพื่อที่จะให้ได้คำตอบนั้น มีวิธีการเปรียบเทียบอยู่ 2 แบบ แบบแรกคือเป็นการวิเคราะห์โครงร่างของลายเส้น โดยวิธีหาค่าระยะระหว่างต้นไม้ของภาพทั้งสอง ได้ผลการเปรียบเทียบที่เรียกว่า ค่าระยะ และอีกวิธีเป็นการเปรียบเทียบทางด้านลักษณะทางโครงสร้าง คือเป็นการนำเอาลักษณะเด่นของภาพมาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะให้คำตอบที่มีความถูกต้องสูง แต่ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแรก ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้การเปรียบเทียบ

แบบแรก ดังแสดงในรูปที่ 2.20 เพื่อลดเวลาในการประมวลผลให้มากที่สุดจึงทำการเปรียบเทียบแค่ค่าต้นไม้ของเวกเตอร์กับแฟ้มฐานข้อมูล โดยถ้ามีรอยแยกเพียงแห่งเดียว จะให้ผลแสดงออกมาทันทีคือ ภาพนี้มีรอยร้าวและไม่ควรใช้พื้นผิวถนนนี้ ส่วนกลุ่มของหินลอยตัวใช้ข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลที่ได้มาจากการกำหนดจำนวนของเวกเตอร์วงกลม โดยข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดจะใช้จากแบบอ้างอิงที่ได้จากการทดลองมาใช้เป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจ

ภาพที่ 2.19 โครงสร้างแฟ้มฐานข้อมูล



ภาพที่ 2.20 แสดงการเปรียบเทียบสำหรับการตัดสินใจ