

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการโครงการวิจัยปีงบประมาณ 2536

เรื่อง

การลดข้อมูลภาพทฤษฎีกราฟสำหรับระบบโทรศัพท์ภาพ

โดย

รศ.ดร. พุทธศักดิ์ ชีวสุวิทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



RCH
TA
1637
พ/ร/ค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 32236
วัน, เดือน, ปี..... 11 ส.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การลดข้อมูลภาพเป็นเทคนิคในการลดจำนวนของข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง แต่จะพยายามรักษารายละเอียดและความคมชัดของภาพเอาไว้ให้มากที่สุด เทคนิคการลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสพื้นที่ของภาพที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้มีคุณสมบัติเด่นคือ ที่อัตราบิตเรทสูงๆ จะสามารถรักษาความคมชัดของบริเวณที่เป็นขอบของส่วนต่างๆ ไว้ได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับวิธีการของ Discrete Cosine Transform (DCT)

การลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสพื้นที่ของภาพนั้น ภาพที่จะนำมาเข้ารหัสจะต้องทำการแบ่งเป็นพื้นที่ส่วนย่อยที่เรียกว่าการทำชกเมนเตชั่นเสียก่อน วิธีการทำอิมเมจชกเมนเตชั่นที่นำมาใช้เป็นหลักการของการทำชกเมนเตชั่นโดยอาศัยพื้นฐานทางทฤษฎีกราฟ ที่เรียกว่ารีเคอร์ซีฟซีอิต-เทลส์แพนนิ่งทรี (RSST) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ (Global Data) ในการตัดสินใจการแบ่งแยกพื้นที่ภาพ เมื่อได้ภาพจากการทำชกเมนเตชั่นแล้วจึงนำมาเข้ารหัส ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนคือ ตำแหน่งจุดเริ่มต้นของขอบ ค่ารหัสขอบ และค่าความเข้ม (gray level) ของแต่ละส่วน โดยที่ทิศทางของขอบจะเข้ารหัสเป็นรหัสลูกโซ่ของทรีแมน (chain code) และได้ปรับปรุงวิธีการเข้ารหัสขอบให้เหลือรหัสน้อยลงด้วยวิธีการใช้รหัสของความยาว (run length code) จากส่วนสำคัญทั้งสามนี้จะเป็นรายละเอียดของภาพทั้งภาพที่ผ่านการเข้ารหัส และในกรณีที่ต้องการส่งภาพไปในระยะทางไกล ๆ โดยผ่านทางช่องสัญญาณความเร็วต่ำนั้น สามารถที่จะส่งข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสนี้ไปยังปลายทางได้ และข้อมูลภาพนั้นเมื่อทำการแปลงกลับที่ปลายทาง ก็จะได้ภาพชกเมนเตชั่นที่สมบูรณ์ไม่มีข้อมูลส่วนใดผิดพลาดเลย (Error Free) ซึ่งการส่งนี้จะใช้เวลาน้อยกว่าการส่งข้อมูลภาพเดิมมาก

ABSTRACT

Image data compression is the technique to reduce the number of data to become smaller. But it preserves the most detail and the sharpness of the image. Image Data Compression Via Image Segmented Coding is presented in this thesis, it has the advantage to preserve the sharpness of region or the edge of objects more than the Discrete Cosine Transform (DCT) coded at higher bit rate.

Image Data Compression Via Image Segmented Coding, the image is decomposed into several regions by image segmentation algorithm. The method of image segmentation is used recursive shortest spanning tree (RSST) as image segmentation based on graph theory. And the RSST uses global neighbourhoods of data information to separate image regions. When image has been segmented, it will be encoded. The code of segmented image consist of three independent sources, a list of coordinates from which to start tracing the edges, the edge description, and a description of the intensity profile within each region. The edge of regions are coded by Freeman's chain code and run length. Segmented image can transmit to other place over low capacity transmission channels, by use coded image. Which this technique, the transmitting time can be save and error free image can be obtain at the destination side.

(ค)
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
สารบัญ.....	ค
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 หลักการเบื้องต้นของการลดข้อมูลภาพ.....	2
1.2.1 Predictive coding.....	3
1.2.2 Transform coding.....	3
1.2.3 Hybrid coding.....	4
1.2.4 หลักการของการลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสภาพเชกแมนต์.....	5
บทที่ 2. การทำเชกแมนต์เชิงภาพ.....	6
2.1 ทำ image segmentation เพื่ออะไร.....	6
2.2 หลักการของ image segmentation.....	7
2.2.1 Edge detection.....	7
2.2.2 Thresholding.....	7
2.2.3 Region clustering.....	7
2.3 เหตุผลของการใช้ทฤษฎีกราฟ.....	8
2.4 ทฤษฎีกราฟ (Graph Theory).....	8
2.4.1 การแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปของกราฟ.....	10
2.4.2 การหาขีดตัดเสถียรภาพหนึ่งของกราฟ.....	11
2.5 การแบ่งส่วนภาพจากสเปกตรัมหนึ่งของกราฟ.....	12
2.6 การแบ่งส่วนภาพจากรีเคอร์ซีฟขีดตัดเสถียรภาพวิธี RSST.....	14
บทที่ 3. การลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสภาพเชกแมนต์.....	20
3.1 การเข้ารหัสภาพเชกแมนต์.....	20
3.2 การใช้เทคนิค contour coding ในการเข้ารหัสขอบ.....	25
3.3 การถอดรหัสภาพ.....	28
3.4 ผลการทดลอง.....	29
เอกสารอ้างอิง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 บทนำ

ในยุคปัจจุบันคอมพิวเตอร์ (computer) ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อชีวิตความเป็นอยู่แทบจะทุก ๆ ด้านก็ว่าได้ คอมพิวเตอร์จะถูกนำไปใช้ในสาขาวิชาที่ต่าง ๆ เช่น ด้านวิศวกรรมด้านการแพทย์ และงานอุตสาหกรรมแขนงต่าง ๆ โดยเฉพาะงานทางด้านวิศวกรรมนั้น คอมพิวเตอร์จะถูกนำมาใช้แทบทุกสาขาไม่ว่าจะเป็นด้านการสื่อสาร งานด้านการออกแบบโครงสร้าง, งานประมวลผลภาพของ remote sensing, ตลอดจนไปถึงงานเอกสารในสำนักงานที่มีการติดต่อเชื่อมโยงเครือข่ายของข้อมูลเป็นระบบที่เรียกว่า office automation และในปัจจุบันได้เริ่มเข้าสู่ยุคของการแข่งขันทางเทคโนโลยีข่าวสาร ความสามารถของคอมพิวเตอร์ถูกวัดด้วยความเร็วในการประมวลผล และเวลาที่ใช้ในการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างเครื่องและแหล่งข้อมูล

ข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ที่สำคัญนั้นนอกจากจะอยู่ในรูปของเสียง เอกสาร และสัญลักษณ์ต่างแล้ว ข้อมูลอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากันนั้นก็คือภาพ โดยที่ภาพนั้นอาจจะอยู่ในรูปของภาพถ่าย ภาพทางจอโทรทัศน์ และข้อมูลภาพอื่น ๆ ที่แสดงทางจอภาพ (monitor) ข้อมูลภาพเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เป็นต้นว่า ข้อมูลภาพถ่ายทางดาวเทียมได้นำมาใช้ในการพัฒนาและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ สภาพแวดล้อมของโลก และการสำรวจหรือพยากรณ์ในระยะทางไกล (remote sensing) อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำข้อมูลภาพไปใช้ในระบบฐานข้อมูลที่เป็นแฟ้มประวัติบุคคล เพื่อสามารถตรวจสอบได้ทั้งประวัติและหน้าตาของผู้เป็นเจ้าของประวัตินั้น และตัวอย่างการนำภาพมาใช้อีกสาขาหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอยู่ในขณะนี้คือ ระบบโทรศัพท์ที่สามารถเห็นภาพของกลุ่มสนทนา (video phone) ซึ่งอาจจะเข้ามาแทนที่โทรศัพท์ระบบเดิมในอีกไม่ช้าก็เป็นได้ โดยมากภาพที่นำมาใช้ในงานต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะอยู่ในรูปของข้อมูลทางดิจิทัล การที่จะให้ภาพแต่ละภาพมีรายละเอียดหรือความคมชัดเพียงพอต่อการใช้งานนั้น จะต้องใช้หน่วยความจำเป็นจำนวนมากสำหรับการเก็บข้อมูล และในกรณีที่ระบบมีการรับส่งข้อมูลภาพด้วยแล้ว จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาที่ใช้ไปในการรับส่งข้อมูลภาพแต่ละภาพ เนื่องจากข้อมูลมีขนาดใหญ่ จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เทคนิคการลดขนาดข้อมูลภาพ เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการลดขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บภาพ และยังสามารถที่จะลดเวลาที่ต้องสูญเสียไปในการส่งรับข้อมูลภาพเหล่านี้ไปยังปลายทางที่ไกลออกไป โดยผ่านทางช่องการสื่อสารความเร็วต่ำ (low speed communication channel) อย่างเช่น การส่งภาพผ่านทางสายโทรศัพท์ซึ่งเป็นระบบที่มีความเร็วต่ำ เมื่อทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดข้อมูลแล้ว เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลภาพแต่ละภาพก็จะน้อยลงไปด้วย เปรียบเสมือนว่าเป็น การเพิ่มอัตราบิตเรท(bit rat) ในการส่งข้อมูลภาพให้สูงขึ้นเอง

การลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสพื้นที่ของภาพที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถนำไป ประยุกต์ใช้กับการสร้างฐานข้อมูลภาพ และโดยเฉพาะการรับส่งภาพในระยะไกลโดยผ่านโครง ข่ายโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งเมื่อพัฒนาต่อไปทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สนับสนุนการทำงานของ ระบบ สามารถที่จะเป็นต้นแบบของโทรศัพท์เห็นภาพ (video phone) หรือการประชุมระยะ ไกลผ่านทางสาย (video conferencing) ได้

1.2 หลักการเบื้องต้นของการลดข้อมูลภาพ (Principle of Image Data Compression)

สัญญาณภาพโดยธรรมชาติแล้วจะเป็นสัญญาณต่อเนื่อง (analog) ที่มีความกว้างของย่าน ความถี่ที่สูงมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับสัญญาณเสียงแล้วความกว้างของย่านความถี่จะสูงกว่าของสัญญาณ เสียงเป็น 1000 เท่าหรือมากกว่า การนำข้อมูลภาพมาใช้ในการประมวลผลในด้านต่าง ๆ ที่ มีเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลแล้วนั้น สัญญาณภาพจะต้องแปลงให้เป็นสัญญาณที่ เครื่อง สามารถเข้าใจได้เสียก่อนนั่นคือต้องแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งอยู่ในลักษณะที่ไม่ต่อ เนื่อง(discret signal) โดยผ่านการสุ่มและจัดระดับ (sampled and quantised) เมื่อรายละเอียดของภาพ ๆ หนึ่ง ถูกแทนด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล ขนาดของข้อมูลภาพจึงมีจำนวนสูง มากเพื่อที่จะสามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้เพียงพอ ทำให้ต้องใช้ขนาดของหน่วยความจำ ในการเก็บข้อมูลเหล่านี้มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ในกรณีที่มีการรับส่งข้อมูลภาพเหล่านี้ด้วยแล้วจะ ต้องเสียเวลาในการรับส่งเป็นอันมาก

การลดขนาดของข้อมูลภาพ จึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ เพื่อเป็นการประหยัดทาง ด้านเศรษฐกิจในส่วนของจำนวนหน่วยความจำที่ลดลง และในส่วนของเวลาที่ใช้ไปในการรับส่ง ข้อมูลภาพ สิ่งที่เป็นตัวกำหนดว่าข้อมูลของภาพสามารถที่จะลดลงไปได้เท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับงานที่ ใช้ว่าต้องการรายละเอียดมากน้อยเพียงใด เมื่อทำการลดข้อมูลแล้วจึงจะสามารถนำข้อมูลเดิม กลับมา (reconstruct) ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งงานแต่ละอย่างมีความต้องการรายละเอียดของ ภาพที่ไม่เท่ากัน อย่างเช่นถ้านำไปใช้ในการตรวจสอบและจดจำรูปแบบของวัตถุต่าง ๆ โดยใช้ คอมพิวเตอร์แล้ว ภาพที่ใช้จะ เน้นเฉพาะส่วนของขอบวัตถุในภาพนั้น ๆ ก็เพียงพอ โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีรายละเอียดโครงสร้างภายในของภาพ ในขณะที่การลดข้อมูลภาพเพื่อการลดเวลาที่ใช้ไป ในการรับส่งภาพผ่านช่องสัญญาณความเร็วต่ำอย่างเช่นระบบโครงข่ายโทรศัพท์สาธารณะนั้น มีความจำเป็นอย่างที่จะต้องเก็บรายละเอียดต่างๆ ของภาพให้ได้มากที่สุด ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลัก ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หลักการพื้นฐานที่นิยมใช้ในการลดข้อมูลภาพมีอยู่สามหลักการด้วยกันคือ Predictive Coding ซึ่งเป็นการเข้ารหัสใน data domain หลักการที่สองคือ Transform Coding เป็นวิธีที่ประมวลผล (process) ในโดเมนของความถี่ ส่วนหลักการสุดท้ายเป็น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมเอาข้อดีต่างๆ จากสองหลักการแรกเข้าด้วยกัน เรียกว่า Hybrid coding

1.2.1 Predictive Coding

การลดขนาดข้อมูลภาพด้วยวิธี Predictive Coding นี้ เป็นการอาศัยคุณสมบัติของข้อมูลภาพที่มักจะมีค่าซ้ำๆ กัน และเมื่อข้อมูลภาพอินพุตถูกกำหนดค่าให้มีความเกี่ยวพันกันนั้นก็คือ จุดภาพที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้ๆ กัน มักจะมีค่าระดับแอมพลิจูดใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้ค่าของจุดภาพหนึ่งจุดหรือหลายๆ จุด ที่ผ่านมาจากในไลน์(line)นั้น ไลน์ก่อนหน้านั้น หรือในเฟรมที่ผ่านมา เป็นตัวคาดคะเนหรือแทนค่าจุดภาพจุดปัจจุบัน ซึ่งโดยธรรมชาติทางสถิติของข้อมูลภาพ เราสามารถที่จะคาดคะเนค่าของข้อมูลได้ไม่ผิดพลาดมากนัก จากค่าที่ได้จากการคาดคะเนนี้เอาไปลบกับค่าจริงของจุดภาพ จะได้เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่เราคาดคะเนเอาไว้ ซึ่งค่านี้จะมีขนาดเล็ก และค่าผลต่างนี้จะถูกนำไปเข้ารหัสเพื่อที่จะเก็บไว้ใช้ในตอนถอดรหัส พร้อมกับค่าที่เราคาดคะเนเอาไว้ ดังนั้นในการที่จะเก็บไว้ในหน่วยความจำหรือต้องการส่งก็ใช้ค่าสองค่านี้ เมื่อถึงตอนที่ให้นำภาพเดิมกลับมาหรือตอนถอดรหัส จะนำเอาค่าที่เราคาดคะเนไว้ในในตอนแรกบวกกับค่าของผลต่างของจุดภาพนั้นกับค่าคาดคะเน ก็จะได้เป็นค่าของจุดภาพนั้นๆ ค่าผิดพลาดที่ได้ในตอนถอดรหัสเกิดขึ้นได้จากกรณีเดียวเท่านั้นคือ ตอนจัดระดับ (quantised) ค่าความแตกต่างของการเข้ารหัสเท่านั้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายแก่การสร้างระบบ และสามารถลดขนาดของข้อมูลภาพให้เหลือประมาณ 1-2 bit/element [1]

1.2.2 Transform Coding

การลดข้อมูลภาพด้วยวิธีของ Transform Coding นี้เป็นวิธีที่ซับซ้อน และมีขั้นตอนมากกว่าวิธีการลดข้อมูลภาพโดย Predictive Coding หลักการของวิธี Transform Coding จะทำการแปลงข้อมูลอินพุตที่อยู่ในรูปของ data domain ให้อยู่ในรูปของ spectral หรือ frequency domain โดยใช้วิธีการ Transform แบบต่าง ๆ เช่น Fourier Transform แต่ในปัจจุบันนี้มีการใช้การ Transform ตัวอื่น ๆ ที่มีข้อดีและมีประสิทธิภาพในการเข้ารหัสสูง มีการคำนวณที่ง่ายกว่าอย่างเช่น จำนวนเฉพาะค่าจริงเท่านั้น การทำงานของ Transform จะเป็นการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปของ spatial domain ให้อยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ของพลังงานความถี่ โดยค่าความถี่ต่ำๆ จะมีพลังงานสูง ที่ความถี่สูงพลังงานจะลดลงไป การเข้ารหัสจึงใช้จำนวนบิตสำหรับแต่ละช่วงความถี่ไม่เท่ากัน เมื่อต้องการอัตราบิตเรทสูงๆ ค่าของพลังงานความถี่สูงจะถูกตัดทิ้งไปเป็นส่วนใหญ่ เป็นเหตุให้รายละเอียดส่วนที่เป็นขอบในภาพขาดหายไป ทำให้ภาพที่ได้เบลอ ขาดความคมชัด

การ Transform ที่นิยมนำมาใช้ในการลดข้อมูลภาพมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น Fast Fourier Transform, Fast Walsh-Hadamard Transform, Fast Slant Transform, Fast Discrete Cosine Transform, Fast Discrete Sine Transform เป็นต้น ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป การ Transform ที่นิยมใช้กันมากได้แก่ Discrete Cosine Transform เพราะเป็นวิธีที่สามารถคำนวณได้ง่าย เนื่องจากมีการคำนวณเฉพาะค่าจริง ไม่มีค่าจินตภาพ(imaginary)

วิธี Tranform Coding ถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีที่ยุ่งยากแต่ก็สามารถสร้างระบบได้ด้วยอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์(hardware)ดิจิทัลความเร็วสูงได้ง่าย และเป็นระบบที่ยืดหยุ่น (adaptive system) สามารถที่จะลดขนาดของข้อมูลให้อยู่ในอัตราบิตเรทประมาณ 0.5-1.0 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งเป็นช่วงอัตราการลดที่สามารถสร้างภาพเดิมกลับมาได้สมบูรณ์เพียงพอต่อการนำไปใช้งานต่างๆ

1.2.3 Hybrid Coding

Hybrid Coding เป็นเทคนิคที่นำข้อดีของวิธี Predictive Coding และ Transform Coding มาใช้ร่วมกัน ทั้งนี้เพราะบางครั้งการลดขนาดข้อมูลภาพด้วย Transform Coding ไม่อาจจะให้รายละเอียดของภาพเพียงพอ ดังนั้นการเพิ่มรายละเอียดของภาพจึงต้องใช้ความสัมพันธ์ของจุดภาพที่มีอยู่ทั้งทางแนวนอนและทางแนวตั้ง โดยการใช้การ Transform แบบมิติเดียวในทิศทางแกนใดแกนหนึ่งของภาพ เช่น ใช้การ Transform กับข้อมูลภาพในทางแนวนอน ต่อจากนั้นจึงใช้ Predictive Coding กับประสิทธิภาพของการ Transform ที่ได้ เพื่อที่จะใช้ในการคาดคะเนค่าของกลุ่มสัมประสิทธิ์ที่เหมือน ๆ กัน ที่ตามมาในทางแนวนอน ในกรณีนี้ความสัมพันธ์ของข้อมูลในทางแนวตั้งจะเป็นตัวกำหนดผลที่ได้ว่าถูกต้องมากน้อยเพียงใด แต่โดยเฉลี่ยแล้วค่าสัมประสิทธิ์ที่ตามมาจะมีค่าที่เหมือน ๆ กัน ซึ่งเหมือนกับการทำ Predictive ใน data domain นั้นเอง และในกรณีของการ Transform แบบสองมิติสามารถทำได้เร็วขึ้น อาจจะใช้การ Predictive กับค่าสัมประสิทธิ์ของการ Transform ของภาพบริเวณเดียวกันแต่เป็นเฟรมที่แตกต่างกันที่ตามมา การใช้ Hybrid Coding ในลักษณะนี้สามารถใช้สำหรับภาพเคลื่อนไหวได้ ความจริงแล้ววิธีการของ Hybrid Coding นี้สามารถเป็นไปได้อีกลักษณะหนึ่งคือ ใช้การ Predictive ในขั้นตอนแรกก่อนแล้วจึงทำการ Transform แต่ในกรณีนี้ต้องการระบบที่ซับซ้อนมากกว่า

การลดข้อมูลภาพด้วยวิธีของ Hybrid Coding นี้ อาจจะพูดได้ว่ามีคุณสมบัติอยู่ระหว่างวิธีของ Predictive Coding และ Transform Coding ดังนั้นอัตราบิตเรทต่ำสุดของวิธีนี้จึงไม่สามารถที่จะทำให้ได้ต่ำกว่าวิธีของ Transform Coding เพียงแต่สามารถสร้างได้ง่ายกว่า โดยอัตราบิตเรทของระบบจะมีค่าประมาณ 1 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งเป็นอัตราบิตเรทที่สามารถสร้างภาพเดิมกลับมาใหม่(reconstruction) ได้ภาพที่มีคุณภาพดีพอสมควร

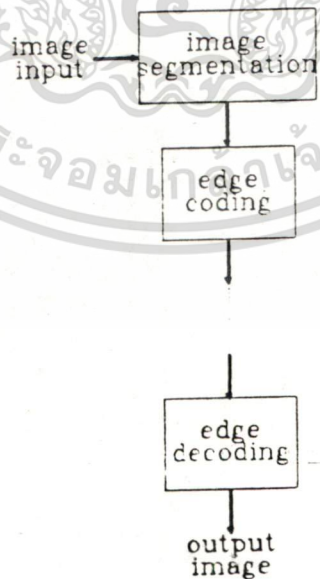
1.2.4 การลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสพื้นที่ของภาพ

วิธีการลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสพื้นที่ของภาพหรือการเข้ารหัสภาพเชกเมนต์เช่น มีหลักเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคล้ายกับการเข้ารหัสแบบ predictive coding กล่าวคืออาศัยคุณสมบัติที่ว่าจุดภาพที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันมักจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งวิธีนี้สามารถที่จะลดขนาดของข้อมูลให้เหลืออัตราบิตเรทที่ต่ำกว่า 0.5 bit/pixel โดยที่ยังคงสามารถรักษาหรือเน้นความคมชัดของขอบภาพ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของภาพที่มีผลต่อการมองเห็นได้ดีกว่าการลดข้อมูลโดยการเข้ารหัส Transform coding

หลักการของการลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสภาพเซกเมนต์ อาศัยเทคนิคของ image processing ที่เรียกกันว่า image segmentation ในขั้นตอนการแบ่งส่วนของภาพเพื่อที่จะเน้นส่วนที่สำคัญในภาพให้เด่นชัดออกมาเป็นส่วน ๆ และใช้ผลที่ได้จากการแบ่งส่วนมาใช้ในการเข้ารหัส และเทคนิคการทำเซกเมนต์ขั้นที่นำมาใช้เป็นวิธีที่ใช้พื้นฐานของทฤษฎีกราฟที่เรียกว่า shortest spanning tree ซึ่งสามารถแบ่งรายละเอียดของภาพแต่ละส่วนให้สอดคล้องกับรายละเอียดของภาพทั้งภาพได้ดี เมื่อได้ภาพหลังจากการทำเซกเมนต์ขั้นแล้วจะนำไปเข้ารหัสส่วนของภาพแต่ละส่วน โดยจะทำการเข้ารหัสและเก็บเฉพาะส่วนที่เป็นขอบ พร้อมทั้งตำแหน่งจุดเริ่มต้นและค่าระดับสีเทาของแต่ละส่วนเท่านั้น รูปที่ 1 เป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบการลดข้อมูลภาพที่เสนอต่อไป

จากรหัสที่เก็บเอาไว้เมื่อต้องการนำภาพเดิมกลับมาหรือการถอดรหัส จะใช้รหัสของขอบ โดยเริ่มจากจุดเริ่มต้น สร้างขอบขึ้นมาก่อนบนอาณาเขตของภาพ แล้วจึงทำการใส่ค่าระดับความเข้มของส่วนที่ได้สร้างขอบขึ้นมาจนครบทุกส่วน รายละเอียดของการทำเซกเมนต์ขั้น การเข้ารหัสและการถอดรหัสนั้นจะกล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรม การลดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสภาพเซกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 การทำเซกเมนต์ภาพ (Image Segmentation)

การนำภาพมาใช้ในงานการประมวลผลทางดิจิทัลนั้น ภาพที่นำมาใช้จะต้องอยู่ในลักษณะของข้อมูลทางดิจิทัล แต่โดยทั่วไปแล้วการเก็บบันทึกภาพจะทำกันในรูปของสัญญาณที่ต่อเนื่อง (analog) อย่างเช่นใช้กล้องทีวี (TV camera) เป็นตัวรับภาพแล้วบันทึกลงบนเทปแม่เหล็ก ดังนั้นการที่จะนำภาพเหล่านี้มาใช้ในการประมวลผลทางดิจิทัลแล้ว จึงจำเป็นต้องมีกรรมวิธีการเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณให้เหมาะสมเสียก่อน โดยอาศัยวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter) จากสัญญาณต่อเนื่องมาเป็นจุดภาพ และจุดภาพเหล่านี้เป็นส่วนที่เล็กที่สุดที่รวมขึ้นมาเป็นภาพ โดยจำนวนของจุดภาพเหล่านี้มีเป็นพันเป็นหมื่นจุด เรียงตัวกันตามเวลาของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา การที่จะแสดง (display) ภาพทางดิจิทัล ส่วนมากแล้วนิยมใช้แสดงออกทางจอทีวี (TV screens) หรือเมื่อก่อนทางมอนิเตอร์ (monitor) โดยอยู่ในรูปของอาร์เรย์สองมิติ (x,y) ซึ่งจะเป็นการกำหนดจำนวนเส้นและจำนวนจุดต่อเส้นของภาพ ตัวอย่างเช่นภาพที่มีความละเอียดขนาด 256 เส้น และเส้นละ 256 จุด เป็นต้น โดยที่จุดภาพแต่ละจุดสามารถแสดงความแตกต่างของระดับสีเทา (gray level) ได้เท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของจำนวนบิตที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยทั่วไปแล้วมักจะกำหนดให้มีความแตกต่างของระดับสีเป็น 256 ระดับ สำหรับภาพขาวดำ ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่เพียงพอในการแสดงภาพ เพราะตาของคนเรานั้นไม่สามารถที่จะแยกความแตกต่างของระดับสีเทาได้มากกว่าช่วง 256 ระดับ

2.1 ทำ Image Segmentation เพื่ออะไร

ลักษณะการมองของมนุษย์นั้น จะรับหรือกลั่นกรองเอาส่วนที่สำคัญของภาพที่รับเข้ามาทางสายตา แล้วส่งส่วนที่สำคัญเหล่านั้นไปยังสมองเพื่อที่จะแปลความหมายของภาพที่รับเข้ามา จุดประสงค์ของการทำเซกเมนต์ภาพก็เป็นลักษณะเดียวกันกล่าวคือ การแยกหรือกลั่นกรองส่วนที่สำคัญของภาพออกมาให้เห็นเด่นชัดขึ้น โดยการรวมส่วนของภาพที่มีค่าระดับความเข้มใกล้เคียงหรือที่เท่ากันให้เป็นส่วนเดียวกัน และแยกส่วนที่มีค่าระดับความเข้มที่ต่างกันมากออกไปเป็นอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งค่าระดับความแตกต่างที่มีค่าน้อยนั้น บางครั้งสายตามนุษย์ไม่สามารถจะแยกแยะได้ แต่เมื่อผ่านการทำเซกเมนต์ความแตกต่างนั้นจะเห็นได้ชัดขึ้น

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้ราคาของหน่วยความจำจะถูกลงมาบ้างแล้วก็ตาม การลดขนาดของข้อมูลภาพก็ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่สำคัญ เพราะว่าภาพหนึ่งไม่เพียงแต่ใช้พื้นที่หน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น แต่ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลภาพผ่านไปในระบบการสื่อสารนั้นยังคงต้องใช้เวลาและความกว้างของแบนด์วิธสำหรับการส่งข้อมูลเป็นจำนวนมาก ภาพเซกเมนต์จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาดังที่กล่าวได้เป็นอย่างดี

2.2 หลักการของ Image Segmentation

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการทำเซกเมนต์บนภาพ เป็นการแยกหรือกลั่นกรองส่วนที่สำคัญของภาพออกมาให้เห็นชัดขึ้น โดยจะทำการแยกส่วน (region) ของวัตถุในภาพออกเป็นส่วนๆ ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อของวัตถุที่เป็นบริเวณเดียวกัน จะมีลักษณะของจุดภาพที่มีคุณสมบัติพื้นฐานที่เหมือนกัน อย่างเช่น สี ความสว่างของภาพ หรือโครงร่างของภาพ จากนั้นจึงทำการแทนค่าของจุดภาพในแต่ละส่วนด้วยค่าเฉลี่ยของจุดภาพในบริเวณนั้น การทำเซกเมนต์บนภาพนั้น เราสามารถใช้หลักการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ได้

2.2.1 Edge Detection

การตรวจหาขอบ (Edge Detection) สามารถที่จะนำมาใช้ในขบวนการของการทำเซกเมนต์บนภาพได้ เพราะว่าวัตถุหรืออาณาบริเวณของวัตถุสามารถที่จะแยกออกจากสิ่งรอบข้างได้ด้วยขอบ เราสามารถที่จะตรวจสอบ (detected) ได้ด้วยความแตกต่างของระดับสีหรือโครงร่างของวัตถุในภาพ ส่วนของภาพ (region) ที่ตรวจได้จะถูกล้อมรอบด้วยขอบ อย่างไรก็ตาม การทำเซกเมนต์บนภาพด้วยการตรวจหาขอบนั้น ส่วนของภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับความคมชัดของขอบ ซึ่งภาพที่เบลอ ภาพที่โฟกัสไม่ดี หรือภาพที่ขอบไม่มีความคมชัด ถ้าหากนำไปทำเซกเมนต์บนภาพได้ด้วยวิธีนี้ จะให้ผลที่ไม่ดี อีกทั้งการทำเซกเมนต์บนภาพด้วยวิธีนี้ เราไม่สามารถที่จะกำหนดจำนวนส่วน (number of region) ของภาพได้

2.2.2 Thresholding

วิธีการของ Thresholding นี้ อาศัยพื้นฐานของฮิสโตแกรม (histogram) ของระดับสีเทาที่กระจายอยู่ในภาพเป็นตัวแบ่งส่วนของภาพ โดยการกำหนดว่าถ้าฮิสโตแกรมแยกออกเป็นหลาย ๆ กลุ่มที่เด่นชัด กลุ่มเหล่านี้จะเป็นตัวแสดงคุณสมบัติที่แตกต่างของภาพนั้น ๆ ค่าธรีชโฮลด์ (threshold) จะถูกเลือกจากตำแหน่งรอยต่อระหว่าง mode ของกลุ่มข้อมูลในฮิสโตแกรม แล้วจึงนำมาใช้ในการแบ่งส่วนของภาพนั้น ซึ่งวิธีนี้ส่วนของภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับการกระจายของ mode ในฮิสโตแกรมของภาพ

2.2.3 Region Clustering

Region Clustering เป็นวิธีการการทำเซกเมนต์บนภาพที่อาศัยคุณสมบัติที่เหมาะสมของจุดภาพในการสร้างส่วนของภาพ โดยที่ภายในบริเวณเดียวกันจะต้องถึงกันและมีค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกัน ในปัจจุบันนี้มีวิธีการที่ใช้หลักการอันนี้หลายวิธีด้วยกัน เช่น split and merge วิธีการนี้จะเริ่มต้นด้วยการเลือกจุดภาพขึ้นมาก่อนหนึ่งจุด ต่อจากนั้นก็ทำการพิจารณาจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียง (neighbours) เพื่อที่จะรวมเข้าเป็นส่วนเดียวกัน จุดภาพที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่ภายใต้เกณฑ์การรวมจะกลายเป็นส่วนของภาพที่เกิดขึ้นในภาพนั้น แต่ถ้าจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงนั้นตรวจสอบแล้วไม่อยู่ภายใต้ของเกณฑ์การรวม จุดภาพนั้นจะไม่ถูกรวมเข้าไปในส่วนนั้นของภาพ แต่จะถูกเลือกให้เป็นจุดเริ่มต้นของส่วนอื่นๆ ต่อไป หลังจากที่จุดภาพทุกจุดได้รวมตัวกันเป็นกลุ่ม (region) การที่จะทำให้ได้ส่วนของภาพสมบูรณ์นั้นก็สามารที่จะเริ่มใหม่โดยการแยกแต่ละส่วนออก แล้วใช้หลักการการรวมกันของจุดภาพที่กล่าวมาแล้วอีกครั้งหนึ่ง วิธีการของ Region clustering จะพยายามหาจุดภาพเริ่มต้นในการสร้าง region เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดในการเริ่มรวมจุดภาพ วิธีการทำเชกเม้นเตชั่นที่ใช้หลักการอันนี้คืออีกวิธีหนึ่งคือ การทำเชกเม้นเตชั่นภาพด้วยการแบ่งแยกและรวมโดยตรง (Directed Split-and-Merge)[6] วิธีการนี้อาศัยโครงสร้าง Quartic Picture Tree ของข้อมูล แต่จะมีข้อเสียในขั้นตอนของการรวมจุดภาพเข้าด้วยกัน เนื่องจากในขั้นตอนดังกล่าวจะขาดความอิสระในการรวมจุดภาพ ดังนั้นจึงได้มีการเสนอวิธีการใหม่คือ วิธีการแบ่งและรวบรวมที่มีการปรับปรุง (Modification of Split-and-Merge) [7] ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะให้ผลดีกว่าสองวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นก็จริง แต่อย่างไรก็ตาม การทำเชกเม้นเตชั่นด้วยหลักการของ region clustering ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ คือไม่สามารถที่จะสร้างส่วนของภาพที่เป็นเส้นที่มีขนาดเล็กในภาพได้ดีพอ

2.3 เหตุผลของการใช้ทฤษฎีกราฟ

เนื่องจากวิธีของทฤษฎีกราฟ เป็นวิธีที่มีการนำเอาข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ(global data) มาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจการแยกและการรวมของ region ด้วย ดังนั้นการทำเชกเม้นเตชั่นโดยใช้วิธีของทฤษฎีกราฟจึงสามารถให้ภาพเชกเม้นเตชั่นที่มีความกลืนของ region ตามลักษณะโครงสร้างของภาพเดิม นอกจากนั้นยังสามารถที่จะกำหนดจำนวนของ region ได้แน่นอนตามที่ต้องการ ดังนั้นรายละเอียดของภาพซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของ region ก็สามารถกำหนดได้เช่นกัน การทำเชกเม้นเตชั่นด้วยวิธีนี้จึงเหมาะในการนำไปใช้ในงาน image understanding และ image data compression จากการศึกษาที่สามารถกำหนดจำนวน region ของพื้นที่ในภาพได้ เมื่อนำมาประยุกต์กับเทคนิคการเข้ารหัสภาพที่จะได้เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ทำให้เราสามารถลดข้อมูลภาพลงได้เป็นจำนวนมาก

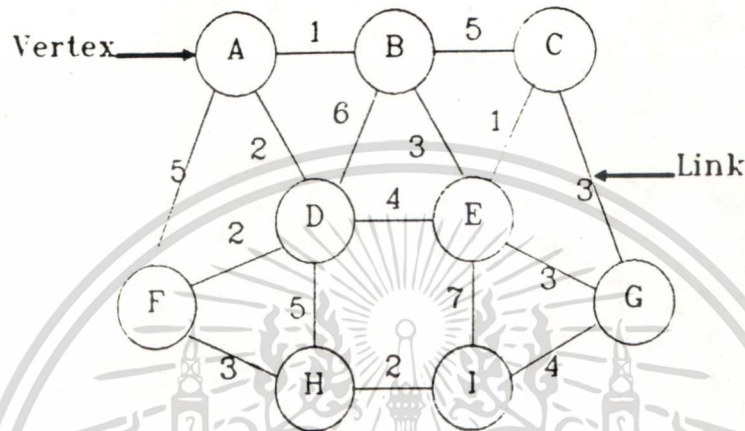
2.4 ทฤษฎีกราฟ (Graph Theory)

ในหัวข้อนี้จะ เป็นการกล่าวถึงความหมายของคำศัพท์ และรายละเอียดของทฤษฎีกราฟที่จำเป็นที่ต้องนำมาใช้ในการทำเชกเม้นเตชั่นภาพ ทฤษฎีกราฟเป็นการศึกษาเกี่ยวกับกราฟและการนำมาประยุกต์ใช้งานของกราฟ โดยให้ $G = (V, E)$ เป็นกราฟที่ประกอบด้วยจุดยอด (vertices) ที่ต่อเชื่อมกับจุดยอดอื่นๆ โดยตัวเชื่อม (Links) E_{ij} จะเชื่อมต่อดจุดยอด V_i และ V_j เข้าด้วยกัน ในขณะที่น้ำหนัก (Weight) จุดยอดของกราฟ V_i คือ v_i และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของตัวเชื่อม (Link Weight) $E_{i,j}$ คือ $e_{i,j}$ จุดยอดแต่ละจุดของกราฟไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับจุดยอดอื่นๆ ทุกจุด แต่ถ้ามีการเชื่อมทุกๆ จุดก็จะเป็นกราฟที่สมบูรณ์

รูปที่ 4.1 เป็นตัวอย่างของกราฟที่ประกอบด้วยจุดยอด 9 จุดคือ A, B, C, D, E, F, G, H, และ I ตามลำดับ พร้อมกันนี้ได้แสดงค่าน้ำหนักของตัวเชื่อมระหว่างจุดยอดแต่ละจุดด้วย



รูปที่ 2.1 แสดงกราฟตัวอย่าง

สำหรับคำศัพท์ที่สำคัญ ๆ ในทฤษฎีกราฟ ที่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการทำความเข้าใจเนื้อหาของภาพ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กราฟย่อย (Partial Graph) เป็นกราฟที่ประกอบด้วยจำนวนจุดยอดเท่ากับกราฟต้นแบบ (Original Graph) แต่จะมีตัวเชื่อมเป็นซับเซต(subset)ของกราฟต้นแบบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2

ลูกโซ่ (Chain) เป็นจำนวนของจุดยอดที่ต่อเนื่องกัน โดยจุดยอดแต่ละจุดจะเชื่อมต่อกับจุดยอดถัด ๆ ไปด้วยตัวเชื่อมภายในกราฟ

ไซเคิล (Cycle) เป็นทางเดินลูกโซ่ ที่มีจุดยอดเริ่มต้นและจุดยอดสุดท้ายเป็นจุดเดียวกัน ดังตัวอย่างของจุดยอด A, B, E, และ D ในรูปที่ 2.1

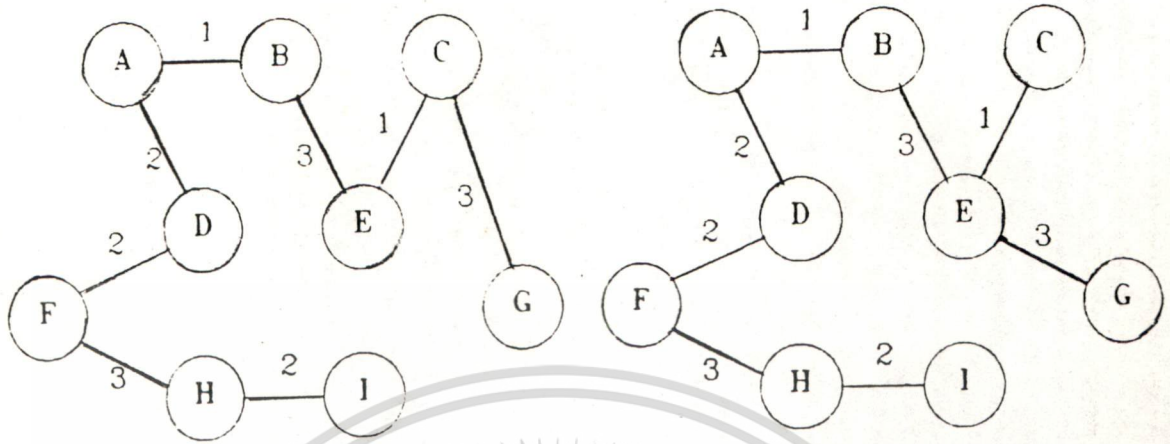
ทรี (Tree) เป็นเซตของลูกโซ่ที่ต่อกันในกราฟ แต่จะไม่ครบวงจรหรือไม่เป็นไซเคิล ดังนั้นทรีที่เชื่อมต่อกับจุดยอด N จุด จะมีตัวเชื่อมทั้งหมดเท่ากับ N-1

สแพนนิ่งทรี (Spanning Tree) คือทรีที่เป็นกราฟย่อย

ซีอตเตสท์สแพนนิ่งทรี (Shortest Spanning Tree) หรือ SST เป็นสแพนนิ่งทรีที่ทำให้ผลรวมของน้ำหนักตัวเชื่อมมีค่าต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นซีอตเตสท์สแพนนิ่งทรีจึงไม่จำเป็นต้องมีเพียงกรณีเดียวดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของกราฟย่อยที่เป็น SST ด้วย

ฟอเรสท์ (Forest) เป็นเซตของทรีที่อยู่ในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟย่อยที่เป็นช็อดเซลล์สแพนนิ่งทรี

จากคำศัพท์ต่าง ๆ ที่กล่าวมา จะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนของการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปของกราฟเพื่อการหาช็อดเซลล์สแพนนิ่งทรีของกราฟ สำหรับการทำให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2.4.1 การแปลงข้อมูลภาพไปเป็นกราฟ

การใช้ทฤษฎีกราฟในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพหรือการทำเซกเมนต์นั้น ข้อมูลเดิมของภาพ (original image) จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกราฟเสียก่อน โดยการแปลงจุดภาพแต่ละจุดให้เป็นจุดยอดของกราฟ และน้ำหนักของจุดยอดบนกราฟขึ้นอยู่กับระดับความเข้มของจุดภาพ

ดังนั้นถ้าความเข้มหรือระดับสีเทาของของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x,y) คือ $f(x,y)$ แล้ว น้ำหนักจุดยอดของกราฟก็คือ

$$v_i = f(x,y) \tag{2.1}$$

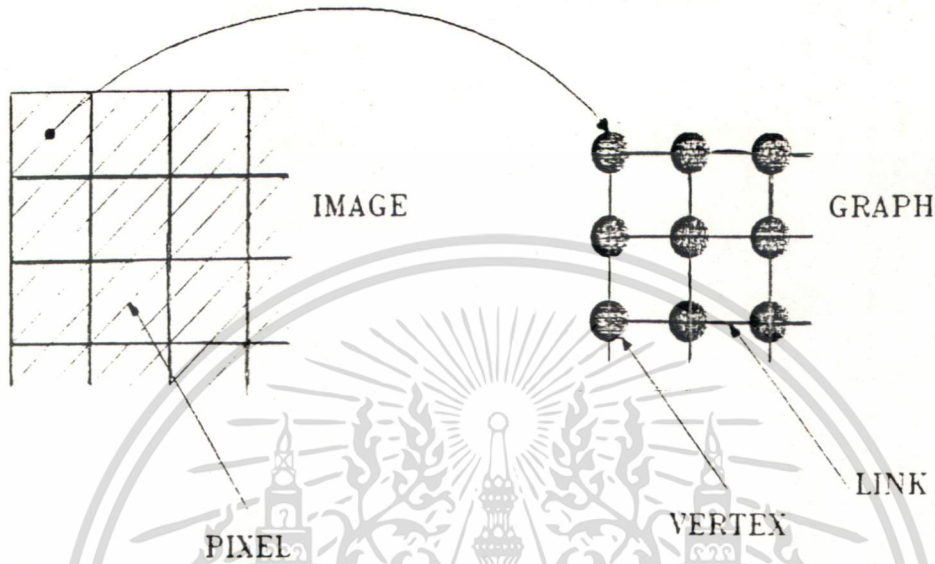
โดยที่ x, y ถูกแปลง (map) ไปเป็น i ในลักษณะ one-to-one mapping หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าน้ำหนักตัวเชื่อมของจุดยอดต่าง ๆ ซึ่งสามารถที่จะกำหนดได้หลายแบบ แต่ในที่นี้จะใช้เป็นค่าสมบูรณ์ (absolute value) ของค่าความแตกต่างระหว่างจุดยอดของกราฟที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งเป็นการวัดความเหมือนหรือความใกล้เคียง (similarity) ของระดับความเข้มระหว่างจุดภาพที่อยู่ใกล้ ๆ กันนั่นเอง จะได้ว่า

$$e_{i,j} = |v_i - v_j| \tag{2.2}$$

จุดยอดของกราฟแต่ละจุดสามารถที่จะเชื่อมกับจุดยอดอื่น ๆ ภายในกราฟ แต่ที่มีประโยชน์และเพื่อลดความยุ่งยาก จะใช้การเชื่อมต่อของจุดยอดเฉพาะจุดยอดที่อยู่ใกล้กันที่สุดเท่านั้น โดยที่สามารถเชื่อมกับจุดใกล้เคียงโดยรอบได้แบบ 4 ทิศทาง และ 8 ทิศทาง แต่ในที่นี้การทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซกเมนต์เช่นเราจะใช้การเชื่อมต่อแบบ 4 ทิศทาง เพื่อความสะดวกและเป็นการลดขนาดของข้อมูลในขั้นตอนประมวลผล(process)จากรูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างการแปลงข้อมูลภาพเดิมให้เป็นกราฟสำหรับนำไปดำเนินการในขั้นต่อไป



รูปที่ 2.3 แสดงการแปลงข้อมูลภาพไปเป็นกราฟ

2.4.2 การหาชุดตัดเสถียรหนึ่งทรีของกราฟ

วิธีการในการคำนวณหาชุดตัดเสถียรหนึ่งทรีของกราฟ มีรูปแบบการคำนวณอยู่หลายวิธี เมื่อภาพถูกแปลงให้อยู่ในรูปของกราฟที่มีความสัมพันธ์แบบ 4 ทิศทาง วิธีการของ Kruskal's Algorithm [8] ถูกนำมาใช้ เวลาในการคำนวณของวิธีนี้จะเป็นสัดส่วนกับจำนวนของตัวเชื่อมคูณด้วยค่าล็อก (log) ของจุดยอด หรือเท่ากับ $E \cdot \log V$ เมื่อ E เป็นจำนวนของตัวเชื่อม และ V เป็นจำนวนจุดยอดในกราฟ วิธีการนี้จะสร้างชุดตัดเสถียรหนึ่งทรีโดยการเชื่อมต่อทรีของพอเรสต์เข้าด้วยกันด้วยตัวเชื่อมที่มีค่าน้ำหนักต่ำที่สุด เริ่มต้นจากจุดยอดทุก ๆ จุด ทำการหาค่าตัวเชื่อมที่มีค่าต่ำสุด แล้วจึงทำการสร้างทรีขึ้นมาจากจุดยอดเหล่านั้น โดยค่อย ๆ เชื่อมจุดยอดของกราฟที่มีค่าน้ำหนักของตัวเชื่อมน้อยที่สุดขึ้นเป็นทรีก่อน แล้วจึงเชื่อมต่อเหล่านั้นเข้าด้วยกันเป็นชุดตัดเสถียรหนึ่งทรีด้วยตัวเชื่อมที่มีค่าน้ำหนักต่ำสุดเช่นกัน จนกระทั่งจุดยอดทุกจุดบนกราฟกลายเป็นสแนพหนึ่งทรีของกราฟ

รายละเอียดของวิธีการหาซื้อเตลต์ทสแชนนิ่งทรีมีดังต่อไปนี้

- (1) จัดเรียงลำดับค่าน้ำหนักตัวเชื่อมของกราฟจากค่าต่ำไปหาค่าสูง
- (2) เริ่มจากพอร์เรลต์ของกราฟที่ยังไม่ลิง
- (3) กระทำซ้ำจากนี้ไป
 - (4) หาตัวเชื่อมที่มีค่าน้ำหนักต่ำสุดต่อไป
 - (5) ถ้าตัวเชื่อม ๆ ต่อกันแล้วไม่ทำให้เกิดเป็นไซเคิล
 - (6) รวมตัวเชื่อมตัวนี้เข้าไปในพอร์เรลต์
 - (7) ถ้าทำให้เกิดไซเคิล
 - (8) ตัดตัวเชื่อมนี้ทิ้งไป
- (9) จนกระทั่งพอร์เรลต์กลายเป็น สแชนนิ่งทรีของกราฟ

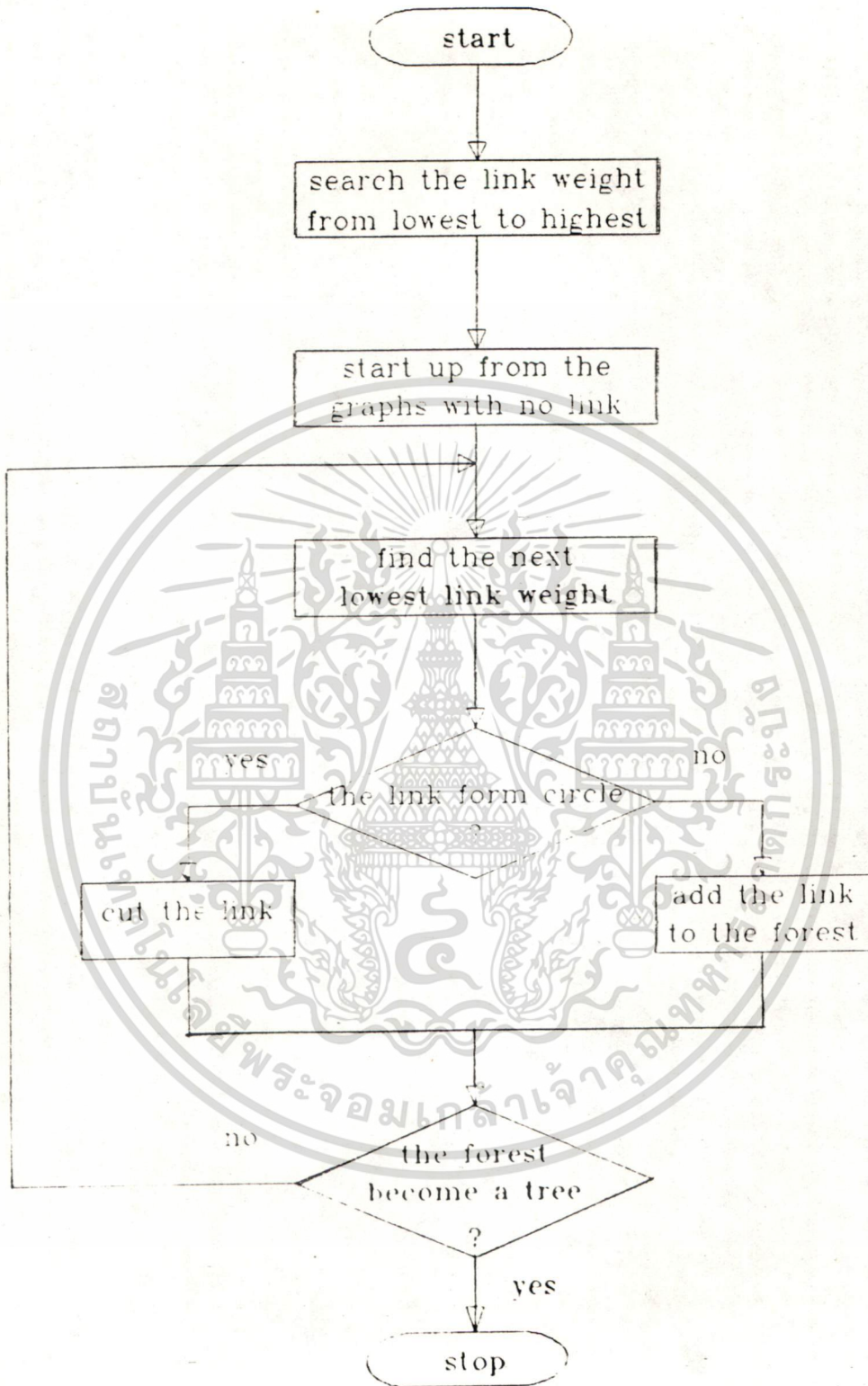
จากลำดับหัวข้อทั้ง 9 สามารถที่จะเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ต (flow chart) ของการหาซื้อเตลต์ทสแชนนิ่งทรีของกราฟได้ดังรูปที่ 2.4

2.5 การแบ่งส่วนภาพจากสแชนนิ่งทรีของกราฟ (Segmentation from Spanning Tree)

เมื่อการทำเซกเมนต์ภาพหมายถึงการแบ่งภาพออกเป็น region ย่อย ๆ ที่ไม่ซ้อนทับกัน และทุก ๆ region ยังคงเป็นส่วนประกอบของภาพอยู่เช่นเดิม ดังนั้นสแชนนิ่งทรีซึ่งเป็นส่วนของกราฟที่ได้มาจากการแปลงข้อมูลภาพ จึงสามารถที่จะนำมาใช้ในการแบ่งส่วนของภาพได้ โดยที่เซกเมนต์แต่ละเซกเมนต์จะได้อาจมาจากการตัดตัวเชื่อมของสแชนนิ่งทรี พอร์เรลต์ของสแชนนิ่งทรีที่โคนตัดจะแทนแต่ละส่วนของภาพ โดยถ้า T เป็นทรีในพอร์เรลต์ ดังนั้น $P(T)$ สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$P(T)_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } V_i \text{ เป็นสมาชิกของ } T \\ 0 & \text{เมื่อเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad (2.3)$$

ถ้ากำหนดให้ $M_{x,y}$ เป็นการแปลง (mapping) จาก (x,y) ไปเป็น T ดังนั้น $P(T)_i$ ของกราฟสามารถแปลงกลับไปเป็นภาพได้ โดยที่ทุก ๆ ตัวของ $P(T)_i$ จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตและจำนวนของจุดภาพในแต่ละเซกเมนต์ของภาพ และแต่ละเซกเมนต์จะมีค่าระดับของความเข้มเป็นค่า ๆ หนึ่ง เมื่อกำหนดให้ $p(T)$ เป็นค่าความเข้มของเซกเมนต์นั้นๆ จะได้ว่า



รูปที่ 2.4 แสดงโฟลว์ชาร์ท การหา SST ของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(T) = \frac{\sum_i P(T)_i \cdot V_i}{\sum_i P(T)_i} \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i \quad (2.4)$$

ในที่นี้ $p(T)$ จึงหมายถึงค่าเฉลี่ยน้ำหนักของจุดยอดของทรี ที่ใช้เป็นค่าความเข้มของเชกเมนต์ในภาพ ส่วนการแปลงจากภาพเดิมไปเป็นภาพเชกเมนต์ชั้น $S_{x,y}$ นั้น สามารถที่จะเขียนได้ดังนี้

$$S_{x,y} = p(M_{x,y}) \quad (2.5)$$

จากกราฟที่เราได้ทำการคำนวณหา SSI ไว้แล้ว สามารถนำมาใช้ในการทำเชกเมนต์ชั้น โดยการตัด SSI ของกราฟตรงตำแหน่งที่มีค่าของตัวเชื่อมที่มีค่าสูงสุด ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละเชกเมนต์ของภาพที่แยกกันนั้นมีค่าความแตกต่างจากบริเวณจุดภาพที่ใกล้เคียงมากที่สุด และยังเป็นตัวยืนยันได้ว่าจุดภาพทุก ๆ จุด ที่อยู่ภายในเชกเมนต์เดียวกัน จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียง ๆ กันในของแต่ละเชกเมนต์ มากกว่าจุดภาพอื่นๆ ที่อยู่ต่างเชกเมนต์ออกไป และเชกเมนต์ต่อ ๆ ไปสามารถหาได้โดยการตัดตัวเชื่อมของ SSI ตัวต่อไป วิธีการในการทำเชกเมนต์ชั้นนี้จาก SSI สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

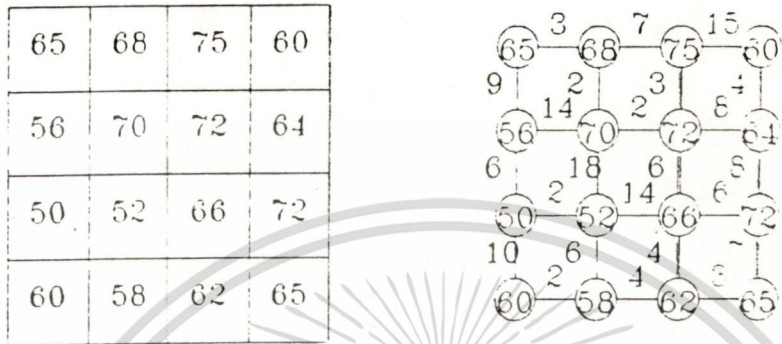
1. ทำการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปของกราฟ
2. ทำการหา SSI ของกราฟ
3. ทำการตัด SSI ของกราฟเป็นจำนวน $N-1$ ครั้ง จะทำให้ได้ภาพที่ประกอบด้วย N เชกเมนต์
4. ทำการแปลงกราฟที่ถูกตัดแล้วซึ่งเรียกว่า พอเรสท กลับเป็นภาพเชกเมนต์

รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างข้อมูลภาพขนาด 4×4 จุดภาพที่นำมาใช้ในการทำเชกเมนต์ชั้นตามวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.6 การแบ่งส่วนภาพจากรีเคอร์ซีฟซีพรีดิกทีฟสแพซนิ่งทรี RSST

เนื่องจากขั้นตอนในการสร้าง SSI ของกราฟนั้น ได้จากการจัดเรียงค่าสิ่งแวดล้อมจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุด ในการจัดเรียงค่าสิ่งแวดล้อมแต่ละครั้งหมายถึงการรวมเอา region ทั้งสองที่ถูกเชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อมนั้นเข้าด้วยกัน ภายหลังจากการรวม region แล้วสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับ region นั้น มิได้มีการปรับเปลี่ยนค่าให้สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของ region ขบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดข้อเสียบางประการกล่าวคือ ประการแรก ถ้าหากเกิดสัญญาณรบกวนในภาพก่อนทำการเชกเมนต์ชั้น จะทำให้จุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนถูกแยกออกมาเป็นเชกเมนต์เล็ก ๆ ซึ่งจะมีผลเสียโดยตรงต่อการลดข้อมูลภาพ ประการสุดท้ายจะเกิดปัญหาเนื่องจากบางครั้งจุดภาพขาวกับจุดภาพดำที่แตกต่างกันมาก อาจถูกนำมารวมอยู่ในเชกเมนต์เดียวกัน ถ้าหากจุดภาพทั้งสองดังกล่าวถูกเชื่อมต่อกับกลุ่มจุดภาพที่มีค่าระดับความเข้มสว่างเรียงไล่กันไป ดังนั้นค่าความแตกต่างของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเข้มสว่างของจุดภาพที่ใกล้กันจะมีค่าแตกต่างกันน้อย ทำให้ค่าสิ่งแวดล้อมที่ได้จากกลุ่มจุดภาพดังกล่าวมีค่าต่ำ ๆ จึงมีผลทำให้ต้องรวมจุดภาพขาวกับจุดภาพดำอยู่ใน region เดียวกัน



image

graph of image



sst

forest of spanning graph

รูปที่ 2.5 แสดงถึงSSTของกราฟและการได้มาของภาพเชกเม้นต์

70	70	70	62
56	70	70	62
60.6	60.6	60.6	60.6
60.6	60.6	60.6	60.6

segment image

รูปที่ 2.6 แสดงถึงภาพเชกเม้นต์จากข้อมูลในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาต่าง ๆ ของวิธี SST นั้นเกิดจากค่าเวทที่ใช้ กล่าวคือไม่ได้มีการปรับเปลี่ยนค่าเวทและค่าลึงเวทให้สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของ region ซึ่งเป็น global information ดังนั้นในการแก้ปัญหาของ SST สามารถทำได้โดยการใช้วิธีของ Recursive Shortest Spanning Tree (RSST) ซึ่งใน RSST นี้จะได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าลึงเวทต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับ region ผลลัพธ์ให้สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของ region (ซึ่งถือเป็นเวทของ region นั้นเอง) ที่ได้จากการกำจัดค่าลึงเวทต่ำสุด อันเป็นการรวมจุดภาพเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของ region นั้นเอง ดังนั้นในการรวมจุดภาพแต่ละครั้งจะมีการปรับปรุงค่าลึงเวทตามค่าเฉลี่ยของ region ใหม่ตลอดเวลา วิธีการแบบนี้จึงถูกเรียกว่า รีเคอร์ซีฟชีพริชต์เตสเพนนิ่งทรี (Recursive Shortest Spanning Tree)

เนื่องจากทุก ๆ จุดภาพในแต่ละ region จะมีค่าระดับสีเทาเท่ากัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าจุดยอดของกราฟจุดหนึ่งสามารถใช้แสดงแทนตลอดทั้ง region ถ้าหากตัด SST ออกเป็นเฟอร์สท์ (เพื่อแบ่งเป็น region ต่าง ๆ) แต่ละหรีจะกลายเป็นจุดยอดจุดหนึ่ง ดังนั้นในการแปลงจากกราฟกลับไปเป็นภาพจะเป็นการแปลงแบบหนึ่งจุดไปยังหลายจุด และแต่ละ partition $P(i)_{x,y}$ ที่ถูกกำหนดโดยจุดยอด V_i ของกราฟจะเป็นไปตามสมการ (2.6)

$$P(i)_{x,y} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } V_i \text{ map ไปเป็น } (x,y) \\ 0 & \text{เมื่อเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad (2.6)$$

และค่าเวทของจุดยอดของกราฟสามารถกำหนดได้จาก

$$V_i = \frac{\sum_{x,y} P(i)_{x,y} \cdot f(x,y)}{\sum_{x,y} P(i)_{x,y}} \quad \text{สำหรับทุก ๆ ค่าของ } x \text{ และ } y \quad (2.7)$$

$f(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ณ ตำแหน่ง x,y

การแปลงข้อมูลภาพไปเป็นกราฟในตอนแรกนั้นเหมือนกับวิธีแรกทีกล่าวมาแล้ว แต่ในขั้นตอนต่อ ๆ ไปโครงสร้างของกราฟจะถูกทำให้เปลี่ยนแปลงตลอดเมื่อมีการคำนวณซ้ำ ๆ (recursion) ในตอนเริ่มต้นจุดภาพแต่ละ จุดจะถูกพิจารณาเป็นส่วนของภาพที่แยกกันเป็นคนละ region จากนั้นจะทำการรวมเอาสอง region เข้าด้วยกัน การรวมจุดยอดจะเริ่มจาก จุดยอด V_i และ V_j ที่มีค่าความแตกต่างน้อยที่สุด จะถูกรวมเข้าด้วยกันได้เป็นจุดยอดใหม่ V_k ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าเฉลี่ยของ region ใหม่ตนเอง โดยที่

$$V_k = \frac{\sum_{x,y} (P(i)_{x,y} \cdot f(x,y) + P(j)_{x,y} \cdot f(x,y))}{\sum_{x,y} (P(i)_{x,y} + P(j)_{x,y})} \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } x,y \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ region ใหม่ที่ได้คือ $P(k)_{x,y}$ ซึ่งเป็นผลจากการรวม region ทั้งสองเข้าด้วยกัน นั่นคือ

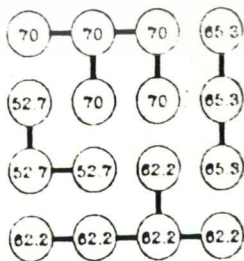
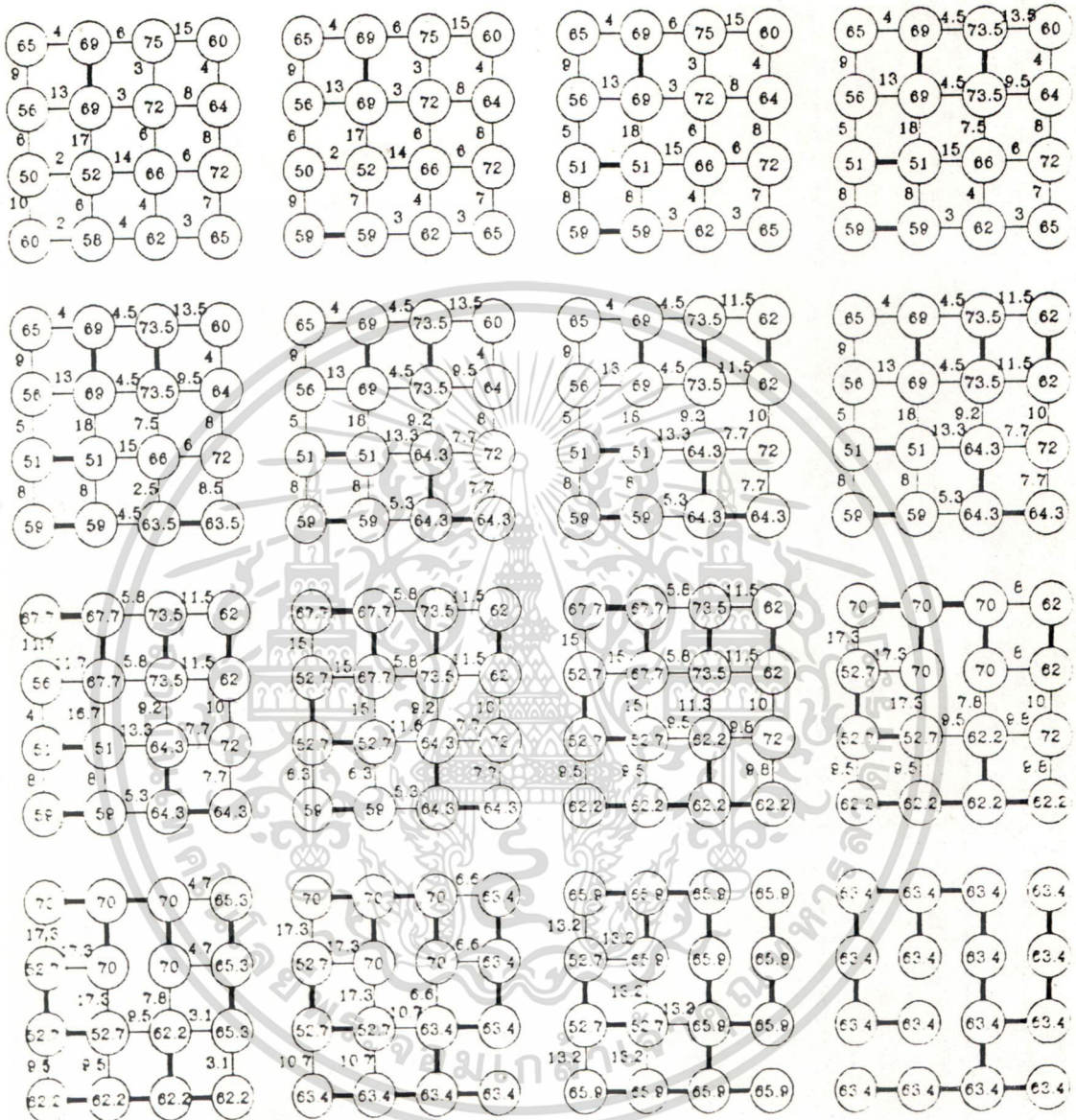
$$P(k)_{x,y} = P(i)_{x,y} + P(j)_{x,y} \quad (2.9)$$

สิ่งๆ ที่เชื่อมต่อกับจุดยอด V_i และ V_j จะถูกตัดออกและเก็บเอาไว้เพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนการแปลงกราฟกลับเป็นภาพ สิ่งอื่นๆ ใดๆ ที่มีจุดยอดใกล้เคียงกับจุดยอด V_i และ V_j จะถูกคำนวณค่าของสิ่งเวทใหม่

ขั้นตอนและวิธีการของการทำ เซกเม้นต์เช่นโดยวิธีรี-เคอร์ซีฟหรือเตลส์สแพนนิ่งทรีของกราฟ มีดังต่อไปนี้

1. แปลงข้อมูลภาพไปอยู่ในรูปจุดยอดของกราฟ
2. ในขณะที่มีจุดยอดของกราฟมากกว่าหนึ่งจุด
 3. หาค่าเวทของสิ่งที่มีค่าต่ำสุดตัวต่อไป
 4. เก็บสิ่งๆ ของตำแหน่งนั้นไว้
 5. รวมจุดยอดทั้งสองที่ต่อกับสิ่งๆ ตัวนี้
 6. คำนวณค่าเวทของจุดยอดและของสิ่งๆ ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับจุดยอดนี้ใหม่
7. สร้างสแพนนิ่งทรีจากสิ่งๆ ที่ได้เก็บเอาไว้แล้ว
8. ทำการตัดสแพนนิ่งทรีของกราฟเป็นจำนวนเท่ากับ region ของภาพที่ต้องการลบหนึ่ง
9. แปลงกราฟกลับเป็นภาพเซกเม้นต์

ลำดับขั้นตอนในการหา RSST ของกราฟ การตัด RSST ของกราฟ และการ แปลงพอเรสท์ของกราฟไปเป็นภาพเซกเม้นต์สามารถแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนรูปที่ 2.8 และ รูปที่ 2.9 เป็นผลของการทำเซกเม้นต์จากภาพขนาด 200x200 จุดภาพ โดยใช้วิธี RSST ของกราฟ แบ่งจำนวนเซกเม้นต์เป็น 20 และ 100 เซกเม้นต์ตามลำดับ



forest of spanning graph

70	70	70	65.3
52.7	70	70	65.3
52.7	52.7	62.2	65.3
62.2	62.2	62.2	62.2

image segment

รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการหา RSST ของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพเซกเมนต์ขนาด 20 เซกเมนต์



รูปที่ 2.9 ภาพเซกเมนต์ขนาด 100 เซกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดขนาดข้อมูลภาพโดยการเข้ารหัสภาพเซกเมนต์ชัน
(Data Compression by Image Segmentation Coding)

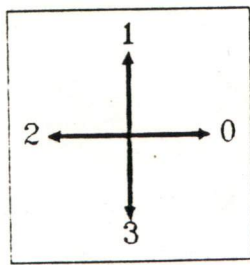
การลดข้อมูลภาพเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้กับข้อมูลภาพดิจิทัลอย่างกว้างขวาง นับแต่อดีต เนื่องจากข้อมูลภาพในระบบดิจิทัลนั้น แต่ละภาพจะมีขนาดใหญ่มาก ตัวอย่างเช่น ภาพขนาด 256×256 จุดภาพ ถ้าหากแต่ละจุดภาพให้ความแตกต่างของระดับสีเทา 256 ระดับ นั่นก็หมายความว่า แต่ละจุดภาพต้องใช้หน่วยความจำถึง 65536 ไบต์ หรือ 64 กิโลไบต์ ขนาดของข้อมูลภาพดังกล่าวไม่เพียงจะก่อให้เกิดปัญหาทางด้านหน่วยความจำเท่านั้น แต่จะยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องแบนด์วิดท์และเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลภาพผ่านไปในระบบการสื่อสารด้วย ปัญหาหลังนี้ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางและถูกให้ความสำคัญสูงมาก ทั้งนี้เพราะระบบสื่อสารที่เราใช้กันอยู่มี capacity จำกัด ดังนั้นถ้าหากเราสามารถลดเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลลงได้ก็เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่ม capacity ให้กับระบบสื่อสารโดยตรง แนวทางในการแก้ปัญหา ก็คือการทำการลดข้อมูลภาพดิจิทัลลง แต่ยังคงรักษาคุณภาพของภาพทางด้านรับให้อยู่ในระดับความพอใจระดับหนึ่ง ในบทนี้จึงขอเสนอวิธีการลดข้อมูลภาพดิจิทัลด้วยการเข้ารหัสภาพเซกเมนต์ชัน ซึ่งได้จากการแบ่งภาพออกเป็นเซกเมนต์ หรือ region จำนวนหนึ่ง โดยแต่ละเวกเมนต์จะประกอบไปด้วยจุดภาพที่มีคุณลักษณะคล้าย ๆ กัน รอยต่อระหว่างเซกเมนต์จะเป็นขอบต่าง ๆ ในภาพนั่นเอง

3.1 การเข้ารหัสภาพเซกเมนต์ชัน (segmentation image coding)

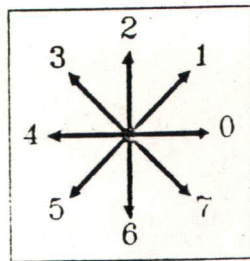
ส่วนสำคัญของภาพเซกเมนต์ชันที่นำมาใช้ในการลดข้อมูลนั้นก็คือ ส่วนที่เป็นขอบของแต่ละเซกเมนต์ โดยที่แต่ละเซกเมนต์จะประกอบไปด้วยจุดภาพจำนวนหนึ่งและเมื่อรวมจุดภาพทั้งหมดของทุก ๆ เซกเมนต์ก็จะมีค่าเท่ากับจุดภาพทั้งหมดของภาพเดิม ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการเข้ารหัสภาพเซกเมนต์ชัน จะขอกล่าวถึงหลักการและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องในการหาขอบของเซกเมนต์ก่อน ทั้งนี้เนื่องจากการเรียงตัวของจุดภาพที่บริเวณขอบของเซกเมนต์สามารถที่จะพิจารณาถึงลักษณะการเชื่อมต่อ (connectivity) ของจุดภาพได้เป็นสองแบบ ดังนั้นการติดตามหาขอบเซกเมนต์ จึงสามารถกำหนดได้ 2 รูปแบบดังนี้

แบบที่ 1 เป็นแบบที่มี 4-Connectivity ซึ่งเราจะพิจารณาในรูปของทิศทางได้ 4 ทิศทาง สามารถแทนค่าตัวเลขให้แก่รหัสทิศทางได้เป็น 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.1

แบบที่ 2 เป็นแบบที่มี 8-Connectivity ซึ่งเราจะพิจารณาในรูปของทิศทางได้ 8 ทิศทาง สามารถแทนค่าตัวเลขให้แก่รหัสทิศทางได้เป็น 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.1



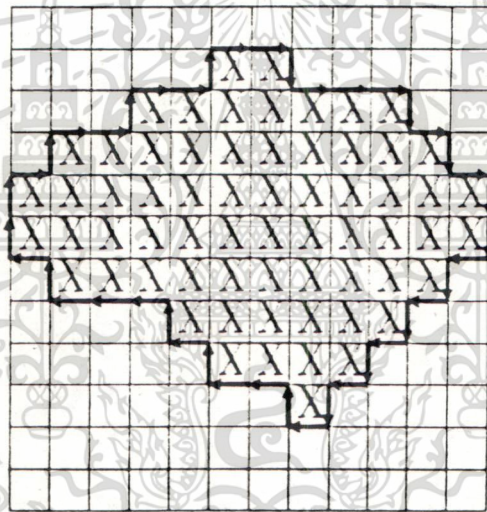
4



8

รูปที่ 3.1 แสดงทิศทางและค่ารหัสแบบ 4 ทิศทางและ 8 ทิศทาง

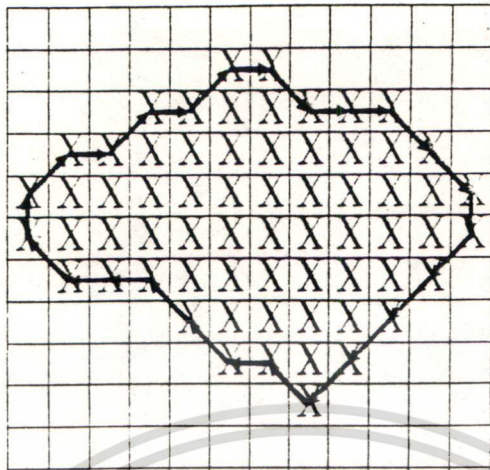
รูปแบบของการหาขอบทั้งแบบ 4 ทิศทาง และ 8 ทิศทาง เมื่อนำไปใช้ในการหาขอบของ
 เซกเมนต์จะให้จำนวนโค็ดที่แตกต่างกันกล่าวคือ แบบ 4 ทิศทางจะมีจำนวนรหัสมากกว่า ดัง
 ตัวอย่างในรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างรหัสลูกโซ่ของเซกเมนต์แบบ 4 ทิศทาง

แสดงการใช้รหัสแบบ 4 ทิศทาง ในการหาขอบของเซกเมนต์ ซึ่งจะได้ค่ารหัสลูกโซ่เป็นดังนี้

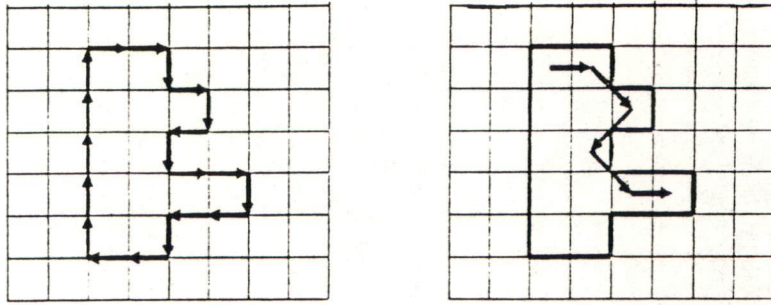
003000333033232323232122121222121101001001



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างรหัสลูกโซ่ของเชกเมนต์แบบ 8 ทิศทาง

แสดงการใช้รหัสแบบ 8 ทิศทาง ในการหาขอบของเชกเมนต์ ซึ่งจะได้ค่ารหัสลูกโซ่เป็นดังนี้
07007765553433443210101

จากรูปที่ 3.2 และ 3.3 จะเห็นว่าจำนวนรหัสของการตามขอบแบบ 8 ทิศทาง จะมีจำนวนน้อยกว่าการใช้รหัสแบบ 4 ทิศทาง และถึงแม้ว่าค่าของรหัสแบบ 8 ทิศทาง สามารถแทนด้วยค่าทางดิจิทัลขนาด 3 บิต ในขณะที่แบบ 4 ทิศทาง แทนด้วยค่าทางดิจิทัลขนาด 2 บิต แต่เมื่อรวมรหัสทั้งหมดการติดตามขอบแบบ 8 ทิศทาง ก็ยังมีจำนวนรหัสน้อยกว่าแบบ 4 ทิศทาง แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การต่อเนื่องของการหาขอบแบบ 4 ทิศทางในการเข้ารหัสขอบของเชกเมนต์ เนื่องจากว่าภาพที่ได้จากการทำเชกเมนต์ขึ้นบางภาพอาจจะให้ภาพที่มีลักษณะที่ไม่สามารถใช้การต่อเนื่องแบบ 8 ทิศทางได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.4 จากรูปจะเห็นว่าในกรณีที่มีภาพที่มีส่วนที่ขึ้นออกมา มีลักษณะ เป็นจุดภาพที่มีความหนาเพียง 1 จุดภาพ การใช้การต่อเนื่องแบบ 8 ทิศทางไม่สามารถที่จะเข้ารหัสให้ครบรอบ(Loop)ได้ ในขณะที่รหัสแบบ 4 ทิศทาง สามารถทำได้ และเมื่อรหัสลูกโซ่ของการติดตามขอบแบบ 4 ทิศทาง หนึ่งตัวสามารถใช้หน่วยความจำในการเก็บแค่เพียง 2 บิต ดังนั้นหน่วยความจำขนาดหนึ่งไบต์จึงสามารถเก็บค่าของรหัสขอบได้ 4 ตัว ส่วนที่สองของรหัสคือค่าจุดเริ่มต้นของขอบที่เริ่มเข้ารหัส ซึ่งค่านี้จะนำไปใช้เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของขอบอีกทีหนึ่งในขั้นตอนของการถอดรหัส โดยที่จุดเริ่มต้นนี้จะเก็บเป็นค่าตำแหน่งของจุดภาพว่าเป็นตำแหน่งที่เท่าไรในอาร์เรย์ของภาพ ค่าตำแหน่งนี้จะใช้หน่วยความจำในการเก็บขนาด 2 ไบต์ และส่วนสุดท้ายของรหัสคือค่าของระดับสีเทา(ระดับความเข้ม)ของแต่ละเชกเมนต์ ซึ่งมีค่าที่เป็นไปได้ 256 ระดับ ซึ่งจะใช้หน่วยความจำเพียงขนาดหนึ่งไบต์สำหรับแต่ละเชกเมนต์



รูปที่ 3.4 แสดงข้อจำกัดของการใช้รหัสแบบ 8 ทิศทาง

เมื่อเราเลือกรูปแบบการติดตามขอบเป็นแบบ 4 ทิศทาง ต่อไปก็มาถึงขั้นตอนในการตัดสินใจของการตรวจสอบหาขอบของแต่ละเชกเมนต์ เนื่องจากภาพหนึ่งๆ มีหลายเชกเมนต์ โดยแต่ละเชกเมนต์ก็จะมีค่าระดับสีเทาค่าหนึ่ง บางครั้งก็อาจจะมีหลายเชกเมนต์ที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากัน แต่เชกเมนต์เหล่านี้จะไม่มีโอกาสอยู่ติดกัน ทั้งนี้เพราะถ้าอยู่ติดกันก็จะถูกรวมเข้าเป็นเชกเมนต์เดียวกันตั้งแต่นั้นตอนของการทำเชกเมนต์ซ้ำภาพ ขั้นตอนในการตรวจสอบหาขอบเชกเมนต์เมื่อใช้การต่อเนื่องแบบ 4 ทิศทาง จะมีการพิจารณาได้เป็น 4 กรณี โดยถ้ากำหนดให้

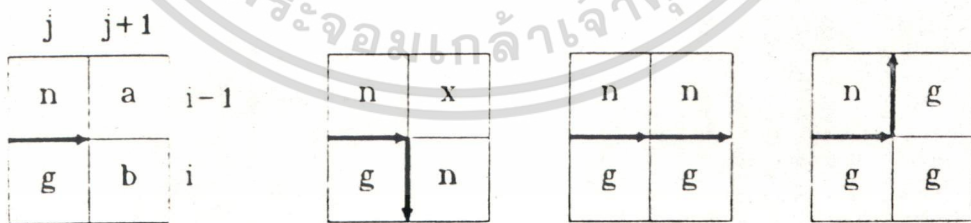
g คือค่าของระดับสีเทาของเชกเมนต์ที่กำลังหาขอบ

n คือค่าของระดับสีเทาของเชกเมนต์อื่น ๆ

x คือค่าที่เราไม่สนใจว่าเป็นค่าอะไร

a, b คือค่าของระดับสีเทาที่เรายังไม่ทราบค่าและจะต้องตรวจสอบ

กรณีที่ 1 เป็นกรณีค่ารหัสก่อนหน้ามีค่าเป็น " 0 " และตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่ (i, j)
กรณีที่ เป็นไปได้ของรหัสตัวต่อไปคือ



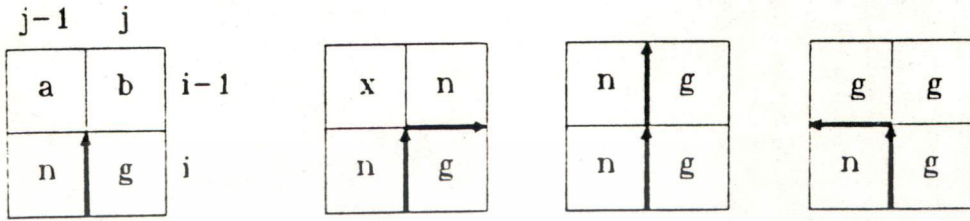
รูปที่ 3.5 แสดงเงื่อนไขการหาขอบกรณีที่ 1

1. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง $(i, j+1)$ ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 3 " ถ้าเท่ากับ g ไปตรวจสอบข้อ 2.

2. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง $(i-1, j+1)$ ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 0 " ถ้าเท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 1 "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

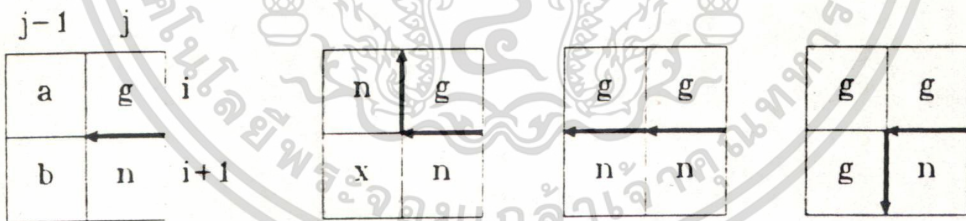
กรณีที 2 เป็นกรณีทีค่ารหัสก่อนหน้ามีค่าเป็น " 1 " และตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่ (i,j)
กรณีทีเป็นไปได้ของรหัสตัวต่อไปคือ



รูปที่ 3.6 แสดงเงื่อนไขการหาขอบกรณีที 2

1. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง (i-1,j) ถ้ามีค่าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 0 " ถ้ามีค่าเท่ากับ g ให้ไปตรวจสอบข้อ 2.
2. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง (i-1,j-1) ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 1 " ถ้าเท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 2 "

กรณีที 3 เป็นกรณีทีค่ารหัสก่อนหน้ามีค่าเป็น " 2 " และตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่ (i,j)
กรณีทีเป็นไปได้ของรหัสตัวต่อไปคือ

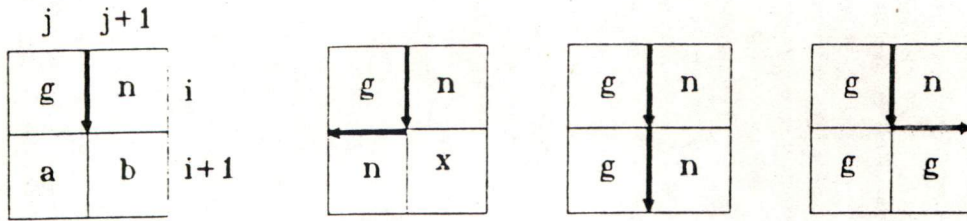


รูปที่ 3.7 แสดงเงื่อนไขการหาขอบกรณีที 3

1. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง (i,j-1) ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 1 " ถ้าเท่ากับ g ไปตรวจสอบข้อ 2.
2. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง (i+1,j-1) ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 2 " ถ้าเท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 3 "

กรณีที 4 เป็นกรณีทีค่ารหัสก่อนหน้ามีค่าเป็น " 3 " และตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่ (i,j)
กรณีทีเป็นไปได้ของรหัสตัวต่อไปคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



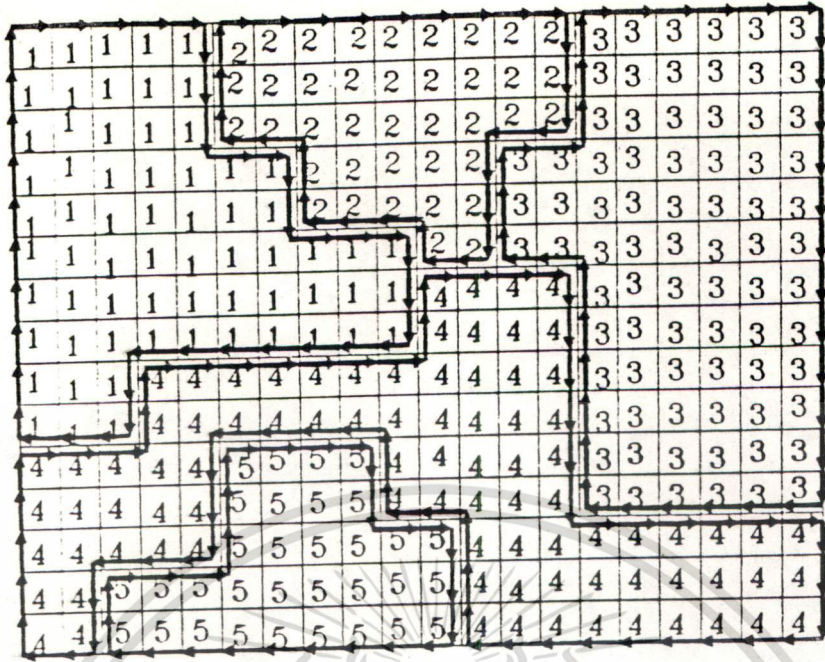
รูปที่ 3.8 แสดงเงื่อนไขการหาขอบกรณีที่ 4

1. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง $(i+1, j)$ ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 2 " ถ้าเท่ากับ g ไปตรวจสอบข้อ 2.
2. ตรวจสอบค่าที่ตำแหน่ง $(i+1, j+1)$ ถ้าไม่เท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 3 " ถ้าเท่ากับ g รหัสตัวต่อไปคือ " 0 "

3.2 การใช้เทคนิค CONTOUR CODING ในการเข้ารหัสขอบ

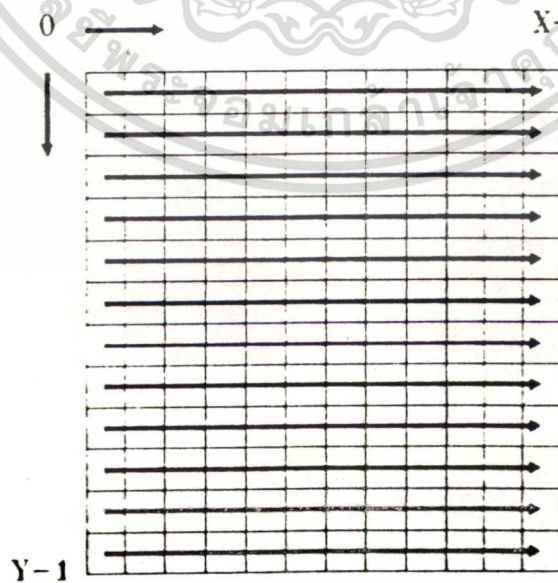
เทคนิค Contour Coding เป็นวิธีการเข้ารหัสขอบของบริเวณจุดภาพที่ค่าระดับสีเทาเป็นค่าเป็นระดับเดียวกัน การเข้ารหัสจะทำการตรวจสอบส่วนขอบของบริเวณหรือ contour ของเชกเมนต์ แล้วเปลี่ยนค่าเป็นรหัสเลขฐานสิบตามทิศทางของขอบ การเข้ารหัสจะเริ่มต้นจากจุดบนสุดของเชกเมนต์ แล้วเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จนกว่าจะมาบรรจบพบกับจุดเริ่มต้นใหม่จากจุดภาพที่อยู่ภายในของเชกเมนต์ ซึ่งถูกเข้ารหัสไว้แล้วนั้น จะถูกกำหนดค่าระดับสีเทาเอาไว้ด้วย โดยค่าระดับสีเทาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 ระดับ ตัวอย่างของการเข้ารหัสของ contour coding ดังแสดงในรูปที่ 3.9

การนำเทคนิคของ contour coding มาใช้ในการเข้ารหัสภาพเชกเมนต์นั้น มีขบวนการคือทำการไหลคภาพลงบนอาร์เรย์ของบัพเฟอร์ภาพ (image buffer) ที่มีขนาดเท่ากับ $X \times Y$ เมื่อ X เป็นจำนวนจุดภาพในหนึ่งสแกนไลน์ (scan line) และ Y เป็นจำนวนของสแกนไลน์ จากนั้นทำการสแกนหาจุดเริ่มต้นของเชกเมนต์ โดยที่จุดเริ่มต้นของเชกเมนต์แรกจะอยู่ที่ตำแหน่ง $X = 0$ และ $Y = 0$ เมื่อได้จุดเริ่มต้นจึงเริ่มหาขอบของเชกเมนต์นั้นตามทิศทางของจุดภาพที่เป็นขอบตามรูปแบบการติดตามขอบ (edge following) ทั้ง 4 กรณีที่กล่าวมาแล้ว โดยที่ค่าของขอบจะอยู่ในลักษณะของรหัสเลขฐานสิบ การเข้ารหัสของขอบจะดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบว่าจุดภาพสุดท้ายของขอบเป็นจุดเดียวกับจุดเริ่มต้น ค่ารหัสของขอบสำหรับเชกเมนต์นี้จึงสมบูรณ์ แต่



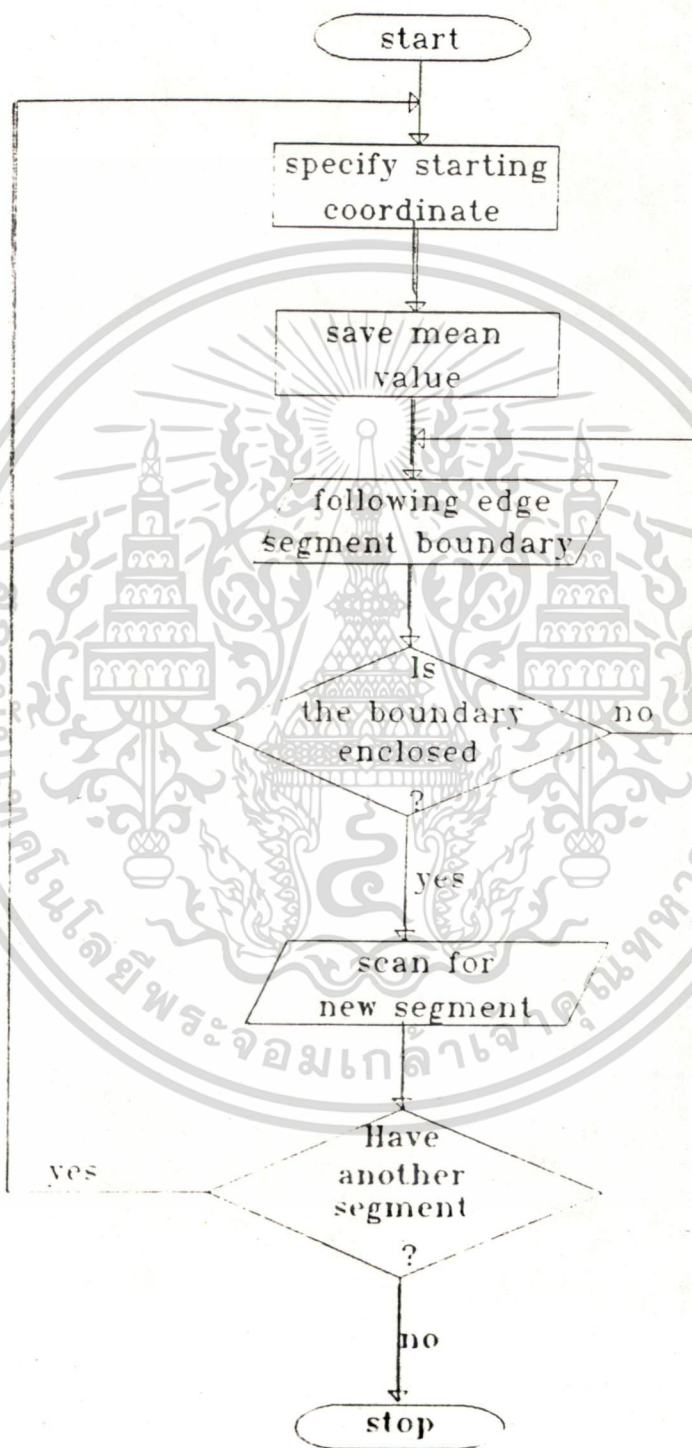
รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการเข้ารหัสของเชกเมนต์

ในหนึ่งเชกเมนต์จะต้องทำการเก็บค่าตำแหน่งเริ่มต้นของขอบและค่าระดับสีเทาด้วย เมื่อการเข้ารหัสของเชกเมนต์แรกเสร็จ จะทำเครื่องหมายหรือมาร์คจุดภาพของเชกเมนต์นั้นเอาไว้ เพื่อป้องกันการกลับมาเข้ารหัสซ้ำของเชกเมนต์เดิม ต่อจากนั้นก็ทำการสแกนหาจุดเริ่มต้นของเชกเมนต์ต่อไป โดยสแกนจากซ้ายไปทางขวาและจากบนลงล่าง แล้วจึงเข้ารหัสในทำนองเดียวกันตลอดจนครบทุกเชกเมนต์ที่มีอยู่ในภาพนั้น รูปที่ 3.10 เป็นลักษณะการสแกนหาจุดเริ่มต้นของเชกเมนต์ ส่วนรูปที่ 3.11 เป็นโพลซาร์ทของการเข้ารหัสภาพเชกเมนต์



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการสแกนหาจุดเริ่มต้นของเชกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงโพลีซาร์ทการเข้ารหัสภาพเซกเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การถอดรหัสภาพ (image decoding)

การสร้างภาพขึ้นมาใหม่ (reconstruction) ในขั้นตอนของการถอดรหัส (decode) นั้น จะนำเอาค่าจากข้อมูลทั้งสามส่วนคือ รหัสของขอบที่อยู่ในรูปของรหัสสลับไขว้ จุดเริ่มต้นของขอบ และค่าระดับความเข้มของเซกเมนต์ที่ได้ในขั้นตอนการเข้ารหัสมาใช้ โดยนำค่าเหล่านี้มาสร้างเป็นภาพลงบนบัฟเฟอร์ที่เตรียมเอาไว้สำหรับการสร้างภาพขึ้นมาใหม่ สำหรับขั้นตอนในการสร้างภาพใหม่มีดังต่อไปนี้

1. นำเอาตำแหน่งจุดเริ่มต้นของเซกเมนต์ โดยเริ่มจากเซกเมนต์แรกคือค่า $x = 0$ และ $y = 0$ แล้วจึงใส่ค่าระดับความเข้มจุดภาพลงบนตำแหน่งนี้ของบัฟเฟอร์
2. นำเอาค่ารหัสขอบของเซกเมนต์มาถอดรหัสให้เป็นค่าของตำแหน่งทิศทาง โดยที่ค่าของรหัส และทิศทางเป็นดังนี้

00	ไปทางขวา
01	ขึ้นข้างบน
10	ไปทางซ้าย
11	ลงข้างล่าง

3. จากค่าของตำแหน่งทิศทางในข้อ 2. นำมาสร้างเป็นขอบของเซกเมนต์ลงบนบัฟเฟอร์ภาพ (image buffer) โดยใส่ขอบลงไปในตำแหน่งที่ต่อจากจุดเริ่มต้นตามทิศทางที่ได้จากรหัส เรื่อยไปจนกระทั่งครบรอบเซกเมนต์ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้น ค่าระดับความเข้มหรือระดับสีเทาของขอบที่ใส่ลงไปในบัฟเฟอร์ จะเป็นค่าเดียวกันกับค่าที่ใส่บนจุดเริ่มต้น ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของเซกเมนต์นั่นเอง
4. เมื่อเซกเมนต์ทั้งเซกเมนต์มีขอบครบสมบูรณ์ตามขั้นตอนในข้อ 3. ต่อไปเป็นการให้ค่าระดับสีเทากับทุก ๆ จุดภาพที่อยู่ภายในขอบนั้น โดยค่าระดับสีเทาเป็นค่าเดียวกันกับค่าระดับสีเทาที่ขอบของเซกเมนต์ ในที่สุดก็จะได้เซกเมนต์ที่สมบูรณ์เหมือนกับเซกเมนต์ในภาพเดิม
5. ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 1. ถึง 4. จนกระทั่งครบทุกเซกเมนต์ที่มีในภาพ เมื่อครบทุกเซกเมนต์ก็จะได้ภาพเดิมที่สมบูรณ์กลับมา

เมื่อทำการถอดรหัสหรือการสร้างภาพขึ้นมาใหม่ได้ เสร็จสมบูรณ์ทั้งภาพ ข้อมูลภาพที่ได้ซึ่งเป็นเอาท์พุทก็จะเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ และพร้อมที่จะนำไปใช้งานได้ต่อไป

3.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้ภาพในรูปที่ 3.12, 3.13, และ 3.14 ซึ่งเป็นภาพต้นแบบที่มีขนาด 200x200 จุด และแต่ละจุดใช้หน่วยความจำขนาด 8 บิต ดังนั้นภาพ ๆ หนึ่งจึงใช้หน่วยความจำขนาด 40000 ไบต์ ภาพทั้ง 3 จะถูกนำมาทำเซกเมนต์ขึ้นเพื่อใช้ในการลดข้อมูล โดยแต่ละภาพจะถูกกำหนดให้มีจำนวนเซกเมนต์เป็น 20, 50, และ 100 ตามลำดับ ผลการลดขนาดของข้อมูลของแต่ละภาพพอสรุปได้ดังตารางที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

รูปที่	5.12(a)	5.12(b)	5.12(c)	5.12(d)
จำนวนเซกเมนต์	ต้นแบบ	20	50	100
จำนวนข้อมูล	40000 Byte	1892 Byte	2904 Byte	4123 Byte
bit/pixel	8	0.378	0.580	0.824

ตารางที่ 1

รูปที่	5.13(a)	5.13(b)	5.13(c)	5.13(d)
จำนวนเซกเมนต์	ต้นแบบ	20	50	100
จำนวนข้อมูล	40000 Byte	2103 Byte	3270 Byte	4168 Byte
bit/pixel	8	0.420	0.654	0.837

ตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	5.14(a)	5.14(b)	5.14(c)	5.14(d)
จำนวน เซกเมนต์	ต้นแบบ	20	50	100
จำนวน ข้อมูล	40000 Byte	2012 Byte	3130 Byte	4319 Byte
bit/pixel	8	0.402	0.626	0.864

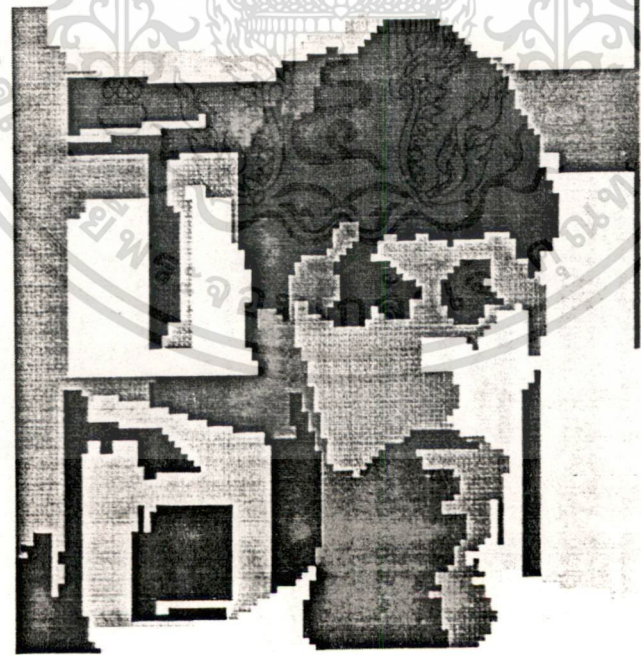
ตารางที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 3.12 แสดงภาพทดสอบ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

รูปที่ 3.12 (ต่อ) แสดงภาพทดสอบ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.13 แสดงภาพทดสอบ 2** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

รูปที่ 3.13 (ต่อ) แสดงภาพทดสอบ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



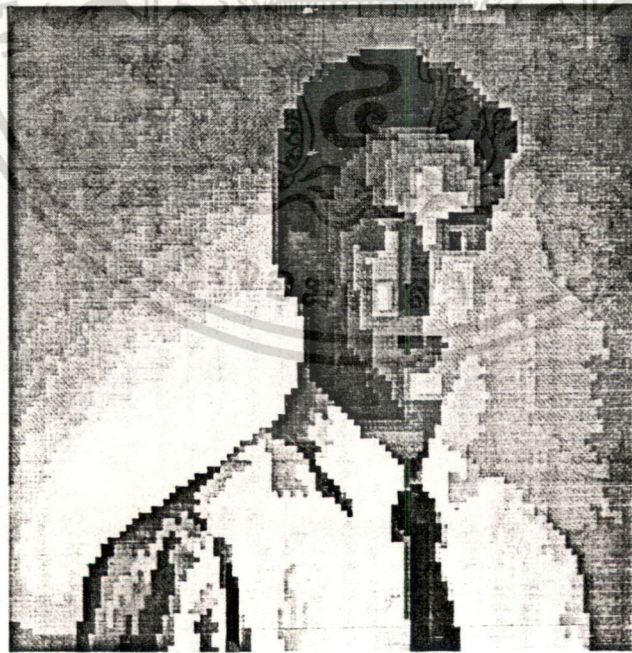
(b)

รูปที่ 3.14 แสดงภาพทดสอบ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. J. CLARKE, Transform Coding of Image, ACADEMIC PRESS Ins. London, 1975.
- [2] N.S.Jayant and Peter Noll, "Digital coding of waveforms", Prentice-Hall, New Jersey, 1984.
- [3] Ho. MingLin and Allan N. Willson, "Median Filters with Adaptive Length.", IEEE Trans. on Circuit and System Vol. CAS-35, No. 6, pp.675-690, June 1988.
- [4] B.I.Justusson, "Median Filtering : Statistical property", in Two-Dimensional Digital Signal Processing Vol.II, T.S. Huang, Ed. New York: Spring Veriag, 1981.
- [5] S.G.Tyan, "Median Filtering : Deterministic property", in Two-Dimension Digital signal Processing Vol.II, T.S. Huang, Ed. New York : Spring-Veriag, 1981.
- [6] N.C.Gallagher, Jr. and G.L. Wise, "A theoretical analysis of the property of median filters", IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-29 pp.1136-1141, December 1981.
- [7] S.L. Horowitz and Pavlidis, "Picture segmentation by a directed split-and-merge procedure", Proc. 2nd International Joidt Conference on PATTERN Recognition, Copenhagen, Aug. 13-15, pp.424-433, 1987.
- [8] Y. Pramotepipop and F. Cheevasuvit, "Modification of split-and-merge algorithm for image segmentation", The 9th Asian Conference on Remote Sensing, Bangkok, Thailand, Nov. 23-29, 1988.
- [9] O.J.Morris and M.de J. Lee, "Graph theory for image analysis : an approach based on the shortest spanning tree", IEE Proceedings, Vol. 133 Pt.F, No.2, April 1986.
- [10] Robert Sedgewick, "Algorithms :Graph Algorithms", ADDISON-WESLEY, New York, 1988.
- [11] Robert Cunningham, "Segmenting Binary Image", in Robotics Age, Hayden Book Company, New Jersey, 1983.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้