การปรับปรุงวิธีจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบ

นายนครินทร์ ตังคะพิภพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4803-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN IMPROVEMENT OF AUTOMATIC ALIGNMENT OF PLANAR MOSAIC IMAGE BY USING COLOR AND EDGE FEATURES

Mr. Nakharin Tangkhapipope

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science

Department of Computer Engineering
Faculty of Computer Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4803-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงวิธีจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบ
โดย	นายนครินทร์ ตังคะพิภพ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย โสวรรณวณิชกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นครินทร์ ตังคะพิภพ : การปรับปรุงวิธีจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบ (AN IMPROVEMENT OF AUTOMATIC ALIGNMENT OF PLANAR MOSAIC IMAGE BY USING COLOR AND EDGE FEATURES) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ.นงลักษณ์ โควาวิสารัช, 147 หน้า. ISBN 974-17-4803-5.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM โดยนำเสนอวิธีการปรับปรุงการทำโมเสกภาพแนวระนาบ 3 ส่วนคือ การปรับปรุงวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น และการปรับปรุงการรวมภาพ โดยเน้นการปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากขึ้นเป็นสำคัญ

การปรับปรุงวิธีการหาขอบนั้นยังคงใช้วิธีการหาขอบด้วยวิธี Sobel แต่เปลี่ยนการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบใหม่โดยใช้ค่าขีดแบ่งที่ทำให้มีจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบขึ้นอยู่กับแต่ละภาพโดยกำหนดให้มีจำนวนเท่ากับร้อยละ 10 ของจุดภาพทั้งหมด การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และกำหนดเกณฑ์การคัดออกด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นนั้นได้เปลี่ยนการเปรียบคู่ขอบจากค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางแบบ 3-4 เป็นใช้ค่าดัชนีความคล้ายแทน โดยใช้การเปรียบคู่ขอบควบคู่ไปกับการเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมสีในทุกลำดับชั้นของการจัดเรียงภาพ และการปรับปรุงการรวมภาพใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่มาใช้กำหนดค่าน้ำหนักในการรวมสีของภาพสองภาพและใช้ในโมเดลสี RGB แทนโมเดลสี HSV

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับชุดภาพนำเข้า 3 ประเภท คือภาพจากการตัดส่วนจากภาพขนาดใหญ่ ภาพจากการสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์และภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลและทำการประเมินผลการทำโมเสกภาพเป็นสองแบบ คือประเมินความถูกต้องของตำแหน่งการจัดเรียงภาพ และประเมินความถูกต้องของการรวมภาพ ผลการทดลองกับชุดภาพ 80 ชุดภาพ สรุปได้ว่าทั้งในด้านตำแหน่งของการจัดเรียงภาพและการรวมภาพนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความถูกต้องมากกว่าวิธี HECM/CM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่อนิสิต**.....
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....
ปีการศึกษา	2546	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

4370344821 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEY WORD: IMAGE MOSAICING/ IMAGE ALIGNMENT/ SIMILARITY INDEX/ HISTOGRAM INTERSECTION/ MULTIRESOLUTION

NAKHARIN TANGKHAPIPOPE : AN IMPROVEMENT OF AUTOMATIC ALIGNMENT OF PLANAR MOSAIC IMAGE BY USING COLOR AND EDGE FEATURES. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH, 147 pp. ISBN 974-17-4803-5.

The purposes of this research are to study and to improve an image mosaicing with Hierarchical Edge-Color Matching and Chamfer Matching methods (HECM/CM). The improvements are composed of three parts which are the improvement of edge detection and edge thresholding, the improvement of matching method and rejection criteria of hierarchical matching technique, and the improvement of blending method. A prime objective is to improve a correctness of image mosaicing.

For the improvement of edge detection, this research still uses Sobel edge detector. However, thresholding of edge value is re-defined to a value that sets edge pixels to 10% of total pixels in an image. For the improvement of matching method and rejection criteria of hierarchical matching technique, this research changes edge matching method from an average of root mean square of edge's 3-4 distance to a similarity index measure. While color matching measure is still color histogram intersection. Both of the edge matching and color matching are applied to all hierarchies. For the improvement of blending method, a bilinear interpolation is utilized to compute color blending weights between two images; moreover, RGB color model is also used in place of HSV color model.

The proposed method have been tested with three types of image sets that are image sets from portions of one large image, image sets from a scanner and image sets from a digital camera. This research uses two evaluation aspects that are a correctness of image alignment and a correctness of image blending. Experimental results of eighty image sets show that both of the correctness of image alignment and the correctness of image blending are better than the results from HECM/CM method.

Department	Computer Engineering	**Student's signature**	.....
Field of study	Computer Science	**Advisor's signature**	.....
Academic year	2003	**Co-advisor's signature**	.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นและแนวทางการวิจัย และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ตลอดจนให้โอกาสและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถกลับมาเริ่มทำวิจัยได้ใหม่อีกครั้ง ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นรวมถึงเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้

ขอขอบคุณน้องเจษฎา แสงพานิชย์ ที่ช่วยให้คำแนะนำแนวทางการวิจัย ช่วยเหลือด้านการเขียนโปรแกรม และตรากตรำทำงานด้วยกันตลอดมา

ขอขอบคุณคุณกำธร สิมมามี สำหรับข้อแนะนำด้านการวิจัยที่มีประโยชน์ รวมทั้งความห่วงใยและการให้กำลังใจที่ดีเสมอ

ขอขอบคุณน้องพิพัฒน์ ประทีปอมรกุล และน้องภัทราภรณ์ อริยะปรีชากุล ที่ช่วยอ่านและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณสมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI เพื่อนร่วมรุ่น CS30 และเพื่อนร่วมรุ่นโรงเรียนพรหมานุสรณ์จังหวัดเพชรบุรี ทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นห่วงผู้วิจัยตลอดการวิจัยและการศึกษาเล่าเรียน

ขอขอบคุณน้องชายและน้องสาวที่น่ารักที่ช่วยให้ความเหน็ดเหนื่อยจากการทำงานผ่อนคลายลง

ขอขอบคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การดูแล อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจและเข้าใจผู้วิจัยในทุก ๆ เรื่อง อยู่เคียงข้างผู้วิจัยยามที่มีปัญหาเสมอ รวมทั้งส่งเสริมให้การศึกษาอย่างต่อเนื่องกับผู้วิจัยตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่
1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 3
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 การทำโมเสกภาพ 4
2.2 การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM 4
2.3 อินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม (Histogram intersection) 9
2.4 การหาขอบของวัตถุในภาพ (Edge detection) 9
2.4.1 การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Sobel 12
2.4.2 การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Canny 12
2.5 ค่าขีดแบ่ง (Threshold) 13
2.6 ดัชนีความคล้าย (Similarity index) 14
2.7 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ (Bilinear interpolation) 15
3 แนวทางการปรับปรุงความถูกต้องของการทำโมเสกภาพ
3.1 การวิเคราะห์การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM 17
3.1.1 ภาพผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงเล็กน้อย 17
3.1.2 ภาพผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก 17
3.1.3 ภาพผลลัพธ์ผิดพลาดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า 19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.2 แนวทางการปรับปรุงความถูกต้องของการทำโมเสกภาพ 21

3.2.1 การปรับปรุงวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ 22

3.2.2 การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น 23

3.2.3 การปรับปรุงการรวมค่าสีในแต่ละจุดของภาพนำเข้า..... 26

4 การทดลองและผลลัพธ์

4.1 รายละเอียดของชุดภาพนำเข้า 29

4.2 รายละเอียดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง 30

4.3 การทดลอง..... 30

4.3.1 การเปรียบเทียบวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ 31

4.3.2 การเปรียบเทียบวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น..... 37

4.3.3 การเปรียบเทียบการรวมค่าสีในแต่ละจุดของภาพนำเข้า 39

4.3.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องในการจัดเรียงภาพ 40

4.3.5 การเปรียบเทียบความเร็วในการจัดเรียงภาพ 42

4.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 43

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 45

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 46

รายการอ้างอิง..... 47

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดชุดภาพที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ..... 49

ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทำโมเสกภาพ..... 53

ภาคผนวก ค

ภาพผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพ 57

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 147

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 การกำหนดเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดความละเอียดแต่ละระดับชั้น 25

3.2 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับภาพนำเข้าลำดับที่ 1 28

3.2 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับภาพนำเข้าลำดับที่ 2 28

4.1 รายละเอียดในการสแกนภาพ 29

4.2 รายละเอียดในการถ่ายภาพ 30

4.3 รายละเอียดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง 30

4.4 เกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นที่จะทดลองเปลี่ยน 38

4.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องของการทำโมเสกภาพระหว่างวิธี HECM/CM กับวิธีในงานวิจัยนี้ 42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างภาพ Polygon 5
2.2 ตัวอย่างภาพระยะทาง 5
2.3 พีระมิดความละเอียด 6
2.4 ลักษณะการซ้อนทับกันของภาพสองภาพ 7
2.5 อินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม 8
2.6 Polygon ที่วางทับลงบนภาพระยะทาง 9
2.7 ความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทารูปแบบต่าง ๆ 11
2.8 หน้ากากขนาด 3 x 3 และแกนอ้างอิงทิศทางสำหรับการหาขอบภาพโดยวิธี Sobel 12
2.9 การซ้อนทับกันของวัตถุในภาพ 2 ภาพ 15
2.10 กริดที่มีด้านเป็นเส้นตรงซึ่งมีจุดอ้างอิง 4 จุดที่จะใช้ประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ 16
3.1 การจัดเรียงชุดภาพที่มีความแตกต่างกันของสีและแสงและผลลัพธ์
หลังจากผ่านการหาขอบ 18
3.2 ภาพผลลัพธ์จากการจัดเรียงที่ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก 19
3.3 การจัดเรียงชุดที่มีความผิดพลาดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า 20
3.4 การจัดเรียงชุดภาพที่มีความแตกต่างของระดับแสง 20
3.5 ภาพผลลัพธ์จากการรวมค่าสีผิดและส่งผลให้การจัดเรียงผิดพลาด 21
3.6 ตัวอย่างภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบในภาพน้อย และภาพที่มีจำนวนจุดในภาพมาก 22
3.7 การเปรียบเทียบการกำหนดค่าขีดแบ่งระหว่างการกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่าเดียว
คือค่า 128 กับการกำหนดให้จำนวนจุดที่เป็นขอบเป็นร้อยละ 20 23
3.8 เกณฑ์การคัดออกสำหรับแต่ละระดับชั้นของพีระมิด 25
3.9 โมเดลสี HSV และโมเดลสี RGB 26
3.10 ลักษณะการซ้อนทับกันของภาพนำเข้า 27
4.1 ตัวอย่างชุดภาพที่เมื่อเปลี่ยนการหาขอบเป็นวิธี Canny แล้วจัดเรียงผิดพลาด 32
4.2 ภาพลักษณ์ฐานสองเปรียบเทียบขอบที่หาได้จากวิธี Sobel และ Canny 33
4.3 ตัวอย่างชุดภาพที่ผิดพลาดเมื่อใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel
และเมื่อเปลี่ยนการหาขอบเป็นวิธี Canny แล้วจัดเรียงถูกต้อง 34
4.4 การเปรียบเทียบภาพขอบที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธี Sobel และวิธี Canny 35
4.5 การเปรียบเทียบวิธีรวมค่าสีของจุดภาพแต่ละคู่ของชุดภาพที่ 074 40

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 การจัดเรียงภาพที่ภาพนำเข้ามีความแตกต่างของระดับแสงด้วยการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ 41

4.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำโมเสกภาพระหว่างวิธี HECM/CM กับวิธีในงานวิจัยนี้ 42

4.8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำโมเสกภาพระหว่างวิธี HECM/CM กับวิธีในงานวิจัยนี้ 43

ค.1 ถึง ค.160 ภาพที่ใช้ทดสอบ 58-147

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำโมเสกภาพ (Image mosaicing) หมายถึงกระบวนการเชื่อมภาพขนาดเล็กตั้งแต่สองภาพขึ้นไปให้เป็นภาพขนาดใหญ่ภาพเดียว โดยภาพขนาดเล็กนั้นต้องมีส่วนเหลื่อมล้ำกัน และทำให้ภาพขนาดเล็กที่มารวมกันนั้นมีความต่อเนื่องเสมือนเป็นภาพเดียวกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อเก็บรายละเอียดทั้งหมดที่ภาพขนาดเล็กภาพเดียวไม่สามารถเก็บได้

การหาตำแหน่งจุดภาพ หรือบริเวณที่สอดคล้องกันระหว่างภาพสองภาพเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดในการทำโมเสกภาพ วิธีการหนึ่งซึ่งใช้แก้ปัญหาดังกล่าวคือการเปรียบคู่ (Matching) โดยใช้ลักษณะเด่นของวัตถุในภาพ (Image features) ซึ่งลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุเป็นลักษณะเด่นที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งสามารถแสดงข้อมูลในภาพได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยเรื่อง *An Image Alignment Technique for Planar Image Mosaicing by Hierarchical Edge-Color Matching and Chamfer Matching Methods [1] และ วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ [2]* ได้เสนอวิธีการทำโมเสกภาพซึ่งเรียกว่าวิธี HECM/CM ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นในการเปรียบคู่ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาวิธีการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM พบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่น่าจะมีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพ ได้แก่

1) วิธีการหาขอบของวัตถุในภาพ เนื่องจากลักษณะเด่นทางด้านขอบของวัตถุในภาพเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการเปรียบคู่ภาพ จำนวนขอบที่มากหรือน้อยเกินไป ซึ่งอาจมีสาเหตุจากสัญญาณรบกวนหรือจากวิธีการหาขอบรวมทั้งค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่ใช้กำหนดความเป็นขอบ มีผลกับความถูกต้องของผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพ

2) วิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออก เนื่องจากเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นใช้เกณฑ์การคัดออกกำจัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจากการเปรียบคู่ในแต่ละระดับของพีระมิด ดังนั้นถ้ากำหนดวิธีการเปรียบคู่หรือเกณฑ์การคัดออกไม่เหมาะสมก็อาจเป็นไปได้ที่ตำแหน่งซึ่งถูกกำจัดออกไปอาจเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง ทำให้ให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ถูกต้อง

งานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ข้างต้นที่มีต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ของการทำโมเสกภาพ และปรับปรุงวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากกว่าวิธี HECM/CM

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ของการทำโมเสกภาพจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่
   1.1 วิธีการหาขอบของวัตถุในภาพ และการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ
   1.2 วิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น
2. ปรับปรุงการทำโมเสกภาพโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากกว่าวิธี HECM/CM

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยของวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพ การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ วิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ เพื่อพัฒนาวิธีดังกล่าวให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากกว่าวิธี HECM/CM
2. พัฒนาโปรแกรมในการสร้างภาพโมเสกแนวระนาบ โดยปรับปรุงด้วยผลจากการศึกษาจากข้อ 1
3. แฟ้มข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัย เป็นภาพดังต่อไปนี้
   3.1 แฟ้มข้อมูลภาพจากการตัดส่วนภาพขนาดใหญ่
   3.2 แฟ้มข้อมูลภาพของส่วนของภาพขนาดใหญ่ที่ได้จากการรับข้อมูลจากสแกนเนอร์ขนาดเล็กหลายครั้งด้วยพารามิเตอร์แบบเดียวกัน
   3.3 แฟ้มข้อมูลภาพถ่ายแนวระนาบ โดยกล้องดิจิทัลที่ใช้ถ่ายจะเลื่อนในแนวขนานกับฉากระนาบ
4. ภาพดิจิทัลในงานวิจัย มีลักษณะดังนี้
   4.1 ภาพทั้งหมดเป็นภาพต่อเนื่องลักษณะสี่เหลี่ยมมุมฉาก และไม่มีการเคลื่อนที่ของวัตถุระหว่างการถ่ายภาพ
   4.2 ภาพทั้งหมดมีการกำหนดลำดับของภาพในการจัดเรียง โดยภาพในลำดับหลังจะต้องมีส่วนที่เหลื่อมกับภาพในลำดับก่อนหน้า
   4.3 ใช้ภาพที่อ้างอิงจากงานวิจัยเรื่อง *วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ* เป็นอย่างน้อย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบด้วยวิธีการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ
2. วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์จากการจัดเรียงภาพ
3. ทำการทดลองเบื้องต้น
4. ศึกษาวิธีการซึ่งสามารถปรับปรุงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์จากการจัดเรียงภาพ
5. พัฒนาโปรแกรม และทดลองประมวลผลภาพจากทฤษฎีที่ได้ศึกษามา
6. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้
7. แก้ไขข้อผิดพลาด
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง
9. จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้วิธีการและโปรแกรมจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติที่สามารถจัดเรียงภาพได้ถูกต้องมากกว่าในวิธี HECM/CM
2. วิธีการที่ได้สามารถนำไปเป็นแนวทาง และปรับใช้ในการจัดเรียงภาพในลักษณะอื่น

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยไว้แล้วในบทที่ 1 สำหรับบทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการและและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ บทที่ 3 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์วิธีการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM และแนวทางการปรับปรุงการทำโมเสกภาพเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากขึ้น

ส่วนบทที่ 4 และ 5 เป็นส่วนของการทดลอง การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ตลอดจนการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำโมเสกภาพ

ความหมายโดยทั่วไปของการทำโมเสกภาพหมายถึงกระบวนการเชื่อมภาพขนาดเล็กตั้งแต่สองภาพขึ้นไปเป็นภาพขนาดใหญ่เพียงภาพเดียว โดยในที่นี้ภาพขนาดเล็กเหล่านั้นต้องมีส่วนที่เหลื่อมล้ำกันด้วย และภาพที่ได้จากการเชื่อมต่อนั้นมีความต่อเนื่องเสมือนเป็นภาพเดียวกันกล่าวคือไม่ควรเห็นร่องรอยการเชื่อมระหว่างภาพ ภาพผลลัพธ์ที่ได้นี้จะเรียกว่า ภาพโมเสก (Mosaic image) [3]

ภาพโมเสกแนวระนาบเป็นรูปแบบหนึ่งของภาพโมเสก โดยภาพชนิดนี้เกิดจากการประกอบกันของภาพที่มีมุมมองในลักษณะเป็นระนาบ (Planar scene) เช่น ภาพเอกสาร ภาพวาดหรือภาพที่ได้จากการนำเข้าด้วยเครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น ในบางครั้งอาจเป็นภาพที่ถ่ายในระยะไกลก็ได้

ขั้นตอนในการทำโมเสกภาพ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การจัดเรียงภาพ (Image alignment) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทำโมเสกภาพ คือเป็นขั้นตอนในการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดในการจัดเรียงภาพ โดยเมื่อทำการเชื่อมต่อภาพ ณ ตำแหน่งดังกล่าว ส่วนที่ทับกันจะมีลักษณะเหมือนกันมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมต่อกันในตำแหน่งอื่น

2. การรวมภาพ (Image integration) เป็นขั้นตอนหลังจากการจัดเรียงภาพแล้วโดยจะทำการเชื่อมภาพเข้าด้วยกันในตำแหน่งที่ได้จากการจัดเรียงภาพ เนื่องจากค่าความเข้มแสงของภาพที่นำเข้าอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีการปรับค่าสีนี้เพื่อให้ภาพสุดท้ายที่ได้จากการทำโมเสกภาพแล้วเสมือนเป็นภาพเดียวโดยจะทำให้แนวของการเชื่อมต่อนั้นไม่สามารถสังเกตได้ กระบวนการนี้เรียกว่าการปรับภาพให้กลมกลืนกัน (Image blending)

2.2 การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM

ขั้นตอนการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM แบ่งเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้ [2]

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมภาพนำเข้า

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมพีระมิดความละเอียดของภาพ Polygon และของภาพระยะทาง

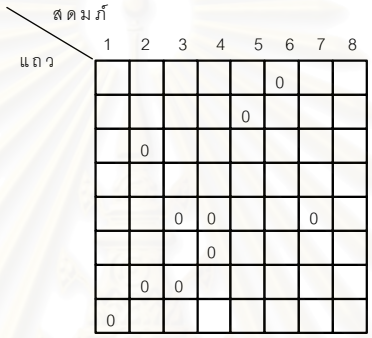
ขั้นตอนที่ 3 การจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด

ขั้นตอนที่ 4 การรวมภาพ

ขั้นตอนที่ 5 การทำโมเสกภาพมากกว่า 2 ภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมภาพนำเข้า

ภาพนำเข้าสองภาพที่จะนำมาทำโมเสกนั้นในเบื้องต้นจะต้องผ่านกระบวนการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทาและการควอนไทซ์เพื่อลดจำนวนสีในภาพก่อน จากนั้นภาพหนึ่งจะถูกทำให้เป็นภาพ Polygon ส่วนอีกภาพหนึ่งจะถูกทำให้เป็นภาพระยะทาง ภาพ Polygon แสดงถึงภาพลักษณ์ฐานสองของขอบของวัตถุในภาพ โดยทำการแยกส่วนจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพและแปลงเป็นรายการของคู่ลำดับ ซึ่งแต่ละคู่ลำดับจะประกอบด้วยแถวและสดมภ์ของขอบของวัตถุในภาพ ตัวอย่างเช่นให้รูปที่ 2.1 แสดงถึงภาพ Polygon ดังนั้นรายการของคู่ลำดับของขอบของวัตถุในภาพมีค่าดังต่อไปนี้ (1,6), (2,5), (3,2), (5,3), (5,4), (5,7), (6,4), (7,2), (7,3) และ (8,1)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างภาพ Polygon

ภาพระยะทางได้จากการนำภาพลักษณ์ฐานสองซึ่งแสดงขอบของวัตถุในภาพไปผ่านกระบวนการแปลงภาพระยะทาง (Distance transformation) กระบวนการนี้แปลงค่าของจุดภาพที่ไม่ใช่ขอบของวัตถุในภาพให้เป็นค่าระยะทางจากจุดภาพนั้นไปยังขอบของวัตถุในภาพที่ใกล้ที่สุด และแปลงค่าของจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในภาพให้มีค่าเท่ากับ 0 โดยใช้การแปลงภาพระยะทางแบบ 3-4 (3-4 Distance transformation)

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(ก)

∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	15	12	9	6	3	0	∞
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

(ข)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพระยะทาง

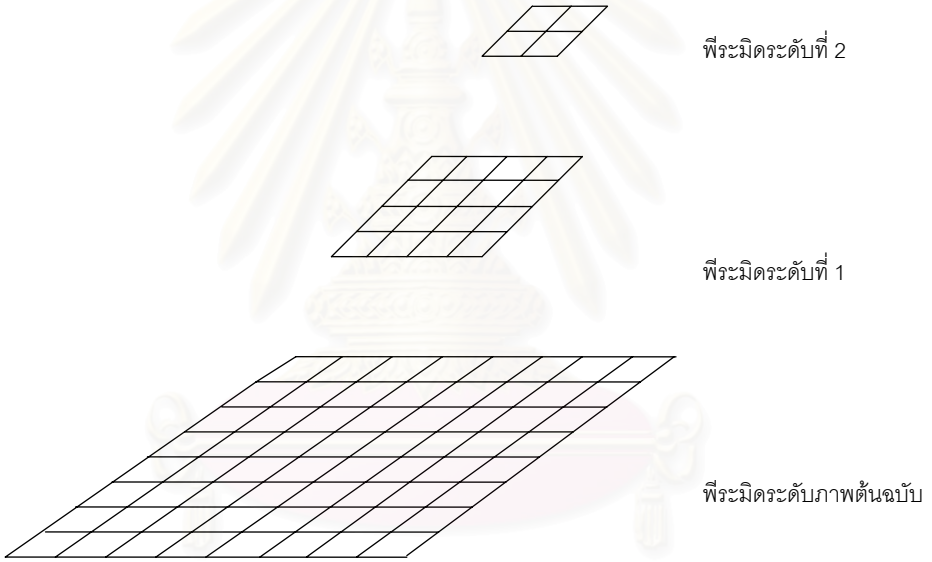
(ก) ภาพที่ถูกกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการหาภาพระยะทาง

(ข) ภาพระยะทางที่ได้หลังจากกระบวนการแปลงภาพระยะทาง

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การเตรียมพีระมิดความละเอียดของภาพ Polygon และของภาพระยะทาง

เทคนิคของพีระมิดความละเอียดถูกนำมาใช้เพื่อให้การค้นหาคำตอบเร็วยิ่งขึ้น โดยมีหลักการคือ เริ่มค้นหาตำแหน่งซ้อนทับกันจากภาพที่มีความละเอียดต่ำและใช้ผลจากการเปรียบคู่ในระดับนี้เป็นตัวบ่งบอกตำแหน่งที่ต้องการค้นหาต่อไปในระดับที่ภาพมีความละเอียดสูงขึ้น

พีระมิดความละเอียดถูกสร้างโดยการนำภาพในระดับต้นฉบับมาเป็นภาพฐานของพีระมิดหรือภาพในระดับที่ 0 ของพีระมิดและภาพในระดับถัดไปหาได้โดยนำจุดภาพ 4 จุดมารวมกันเป็นจุดภาพ 1 จุดในระดับถัดขึ้นไป เนื่องจากภาพนำเข้าเป็นภาพลักษณ์ฐานสองที่แทนค่าขอบของวัตถุในภาพด้วย 0 จึงใช้หลักการของตรรกะออร์ (Logical OR) คือหากในภาพที่มีความละเอียดสูงกว่ามีจุดภาพใดจุดภาพหนึ่งจากทั้งหมด 4 จุดภาพที่จะถูกลดส่วนเป็นขอบของวัตถุในภาพแล้วจุดภาพในภาพที่ความละเอียดต่ำกว่าจะต้องเป็นขอบของวัตถุในภาพด้วย



รูปที่ 2.3 พีระมิดความละเอียด

พีระมิดที่สร้างขึ้นแบ่งเป็น 2 พีระมิด คือ ทำภาพลำดับแรกเป็นพีระมิดของภาพ Polygon และภาพลำดับที่สองเป็นพีระมิดของภาพระยะทาง โดยที่พีระมิดของภาพระยะทางนั้นทำในระดับภาพต้นฉบับเพียงระดับเดียว เนื่องจากการทำโมเสกด้วยวิธี HECM/CM ใช้การเปรียบคู่ขอบของวัตถุในภาพเฉพาะในระดับภาพต้นฉบับเท่านั้น ส่วนในระดับอื่น ๆ ใช้การเปรียบคู่สี

โดยขอบเขตของการค้นหาเป็นการแปลงภาพที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งการทำโมเสกด้วยวิธี HECM/CM ใช้การการเลื่อนภาพ (Translation) ซึ่งมีภาพหนึ่งเป็นภาพอ้างอิงหลักและภาพที่สองจะถูกเลื่อนไปบนภาพอ้างอิงหลักในทุกทิศทุกทาง ซึ่งสามารถแสดงได้สมการที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

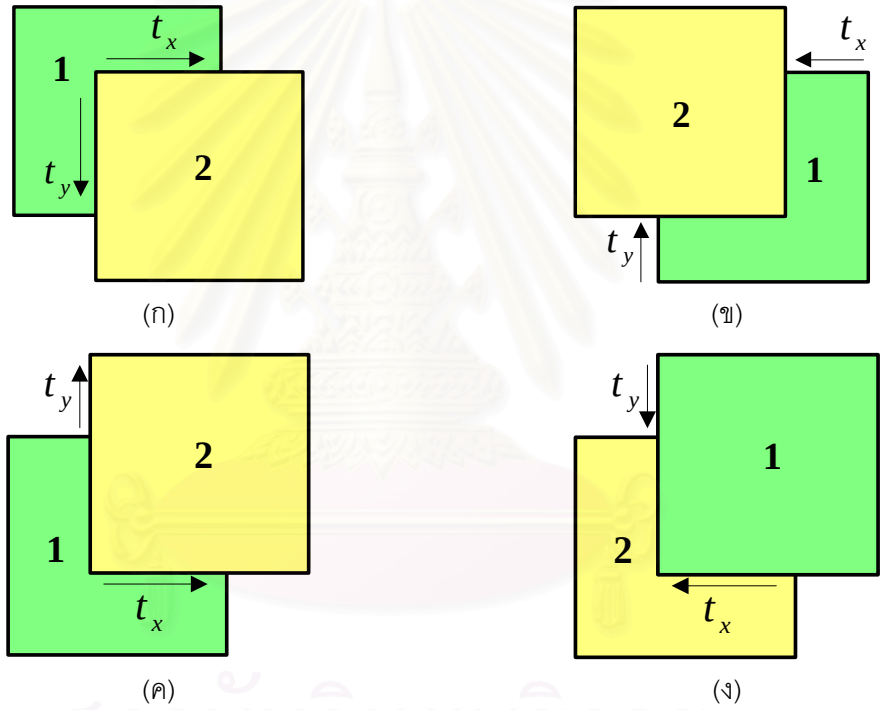
$$X = t_x + x$$
$$Y = t_y + y \qquad \text{... (2.1)}$$

เมื่อ X และ Y = ตำแหน่งบนภาพลำดับที่สอง

x และ y = ตำแหน่งของภาพลำดับแรก

t_x และ t_y = พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนในแกน X และแกน Y

พารามิเตอร์ในสมการนี้สามารถแบ่งเป็น 4 กรณีด้วยกัน ซึ่งลักษณะการซ้อนทับกันของภาพทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 โดยภาพหมายเลข 1 หมายถึงภาพนำเข้าลำดับแรก และภาพหมายเลข 2 หมายถึงภาพนำเข้าลำดับที่สอง



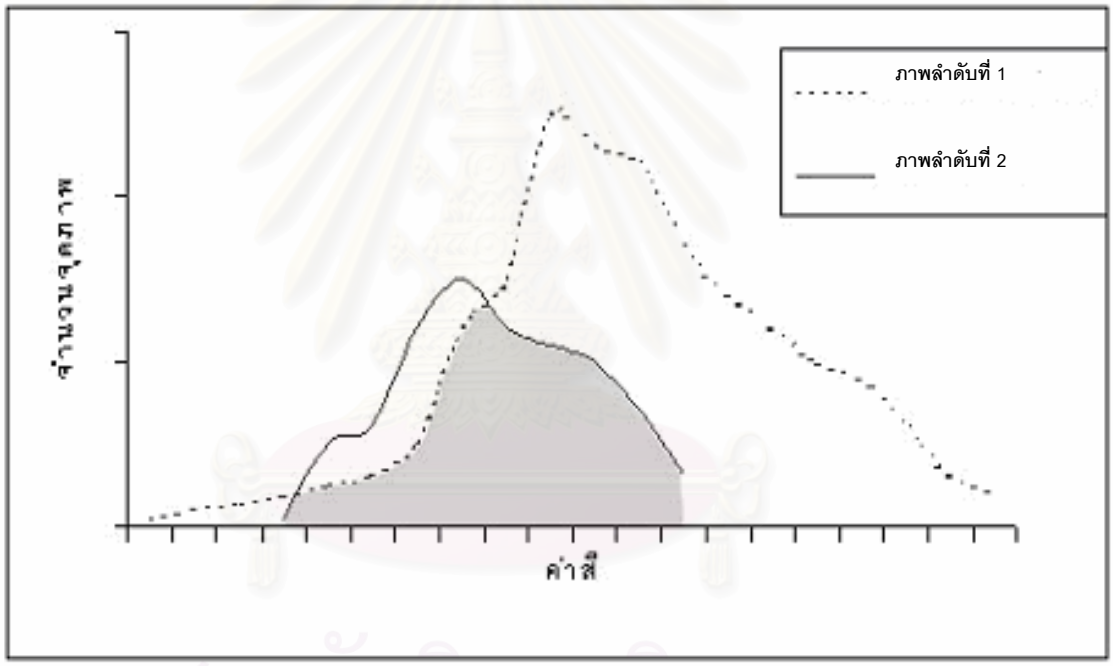
รูปที่ 2.4 ลักษณะการซ้อนทับกันของภาพสองภาพ
ก) ค่า t_x และ t_y เป็นบวกทั้งคู่ ข) ค่า t_x และ t_y เป็นลบทั้งคู่
ค) ค่า t_x เป็นบวก และ t_y เป็นลบ ง) ค่า t_x เป็นลบ และ t_y เป็นบวก

ขั้นตอนที่ 3 การจัดเรียงภาพในแต่ละระดับของพีระมิด

หลังจากเตรียมพีระมิดเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนการจัดเรียงจะเริ่มจากภาพที่มีความละเอียดต่ำที่สุดก่อน โดยใช้การเลื่อนภาพ Polygon มาวางทับลงบนภาพระยะทางในทุกทิศทุกทางที่เป็นไปได้ โดยในพีระมิดที่ไม่ใช่ระดับต้นฉบับ การเลื่อน Polygon แต่ละครั้งจะคำนวณค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชัน ซึ่งจะคำนวณจากฮิสโทแกรมสีจากระดับภาพต้นฉบับเฉพาะตำแหน่งคู่ลำดับใน Polygon ที่ตรงกับตำแหน่ง

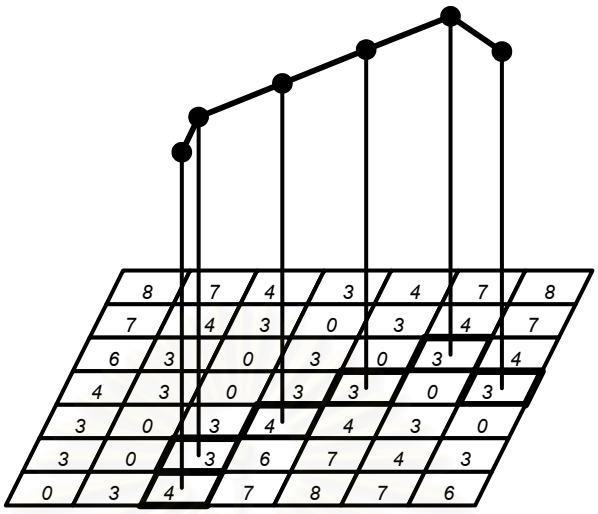
ของจุดภาพในภาพระยะทางที่ถูกเลื่อนมาวางทับ และทำเช่นนี้กับทุกตำแหน่งคู่ลำดับใน Polygon ในบริเวณที่ภาพทั้งสองซ้อนทับกัน เก็บค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันของทุกตำแหน่งของการแปลงภาพที่เป็นไปได้ไว้เพื่อใช้คำนวณเกณฑ์การคัดออกหรือค่าขีดแบ่ง เพื่อลดจำนวนจุดที่จะถูกคำนวณในระดับชั้นถัดไปของพีระมิด

เมื่อคำนวณค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมในการจัดเรียงภาพแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าฮิสโทแกรมอินเตอร์เซกชันที่ได้ในแต่ละตำแหน่ง หากมีค่าต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง ตำแหน่งนั้นจะไม่ถูกนำไปพิจารณาในการจัดเรียงในภาพที่มีความละเอียดสูงขึ้น ส่วนตำแหน่งที่มีค่าที่ได้จากตัววัดสูงกว่าค่าขีดแบ่งนี้ ตำแหน่งนั้นจะถูกขยายเป็น 4 ตำแหน่งและนำไปพิจารณาในระดับถัดไป กระบวนนี้จะทำซ้ำไปทุกระดับของพีระมิดยกเว้นในระดับภาพต้นฉบับ



รูปที่ 2.5 อินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม

การจัดเรียงภาพในระดับภาพต้นฉบับจะใช้การเปรียบคู่ขอบของวัตถุในภาพ โดยเลื่อนภาพในทุกทิศทางที่เป็นไปได้เช่นเดียวกันกับพีระมิดในระดับชั้นอื่น ๆ แต่ในการเลื่อน Polygon แต่ละครั้ง จะเปรียบคู่ขอบโดยวัดความตรงกันของขอบของวัตถุในภาพในบริเวณที่ซ้อนทับกันด้วยค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางแบบ 3-4 โดยหลังจากคำนวณค่าเฉลี่ย r.m.s.ของระยะทางแบบ 3-4 ในทุกตำแหน่งที่เหลือแล้ว จะหาตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางแบบ 3-4 ที่ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่ได้จะเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ใช้ในการจัดเรียงภาพ



รูปที่ 2.6 Polygon ที่วางทับลงบนภาพระยะทาง

เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย r.m.s.ของระยะทางขอบแบบ 3-4

ขั้นตอนที่ 4 การรวมภาพ

ภาพผลลัพธ์จากการรวมภาพสามารถสร้างได้จากการวางภาพซ้อนทับกันในตำแหน่งที่มีค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางแบบ 3-4 ในระดับภาพต้นฉบับที่น้อยที่สุด โดยในบริเวณที่ซ้อนทับกันนั้นค่าสีจะได้จากการเฉลี่ยค่าสีของจุดภาพที่ซ้อนทับกันทีละคู่ในแต่ละแกนในโมเดลสี HSV

ขั้นตอนที่ 5 การเชื่อมภาพมากกว่า 2 ภาพ

หากมีภาพนำเข้ามากกว่า 2 ภาพ เมื่อเชื่อมภาพในลำดับก่อนหน้าแล้ว จะเชื่อมภาพในลำดับต่อมาเข้ากับภาพผลลัพธ์ โดยทำขั้นตอนซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งภาพทั้งหมดรวมเข้าด้วยกัน

2.3 **อินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม** (Histogram intersection)

อินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมใช้ในการทำดัชนีภาพสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยจะใช้เปรียบคู่ภาพในฐานข้อมูลและภาพจำลองที่มีอยู่ หลักการที่สำคัญของอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมคือใช้ฮิสโทแกรมสีเข้ามาช่วยในการเปรียบคู่โดยวัดการซ้อนทับกันของฮิสโทแกรมสี กล่าวคือพิจารณาว่าฮิสโทแกรมของภาพจำลองเป็นส่วนหนึ่งของฮิสโทแกรมของภาพในฐานข้อมูลมากน้อยเพียงใด ถ้าซ้อนทับกันมากก็แสดงว่ามีความเป็นไปได้สูงที่ภาพจำลองนั้นเป็นส่วนหนึ่งของภาพในฐานข้อมูลนั้นมาก การเปรียบเทียบฮิสโทแกรมสีของภาพจำลองกับฮิสโทแกรมสีของภาพในฐานข้อมูล สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2 [4]

$$H' = \sum_{j=1}^{n} \min(I_j, M_j) \qquad \ldots(2.2)$$

โดยที่ H' คืออินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม

I คือฮิสโทแกรมของภาพในฐานข้อมูล

M คือฮิสโทแกรมของภาพจำลอง

n คือจำนวนสีในฮิสโทแกรม

j คือช่วงของแต่ละสีในฮิสโทแกรม

ผลลัพธ์ของอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมของภาพจำลองและภาพในฐานข้อมูลหมายถึงจำนวนจุดภาพจากภาพจำลองที่มีค่าสีเหมือนกันในฮิสโทแกรมของภาพในฐานข้อมูล และหากต้องการทำค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมค่าอื่นที่ได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 โดยค่าที่ได้นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

$$H(I,M) = \frac{H'}{\sum_{j=1}^{n} M_j} \qquad \ldots(2.3)$$

โดยที่ $H(I,M)$ คือค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน

2.4 การหาขอบของวัตถุในภาพ (Edge detection)

ขอบ (Edge) คือตำแหน่งในภาพซึ่งมีความไม่ต่อเนื่องของสีหรือความเข้มแสงที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันต่าง ๆ ในภาพเช่นค่าความเข้มแสงของจุดภาพ ค่าระดับเทา หรือลักษณะทางกายภาพของวัตถุในภาพ [5] เช่น ลักษณะของพื้นผิวหรือรูปทรงของวัตถุซึ่งเกิดขึ้นได้ในหลายรูปแบบดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.7

จากรูปที่ 2.7(ก) แสดงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาแบบทันทีทันใด ขอบลักษณะนี้จะเป็นขอบในอุดมคติ ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงและมีการแปรเปลี่ยนอย่างไม่สม่ำเสมอเนื่องจากสัญญาณรบกวนและความไม่ชัดเจนของจุดภาพบางจุด ลักษณะเส้นแสดงความเปลี่ยนแปลงจึงไม่เรียบดังรูปที่ 2.7(ข)

รูปที่ 2.7(ค) แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะหนึ่งแล้วจึงกลับมาที่ค่าระดับเทาค่าเดิม ซึ่งอาจเป็นลักษณะของเส้น หรือวัตถุที่มีลักษณะคล้ายเส้นในภาพ และรูปที่ 2.7(ง) เป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาในภาพที่มีเส้นเป็นแนวแบ่งความแตกต่างของค่าระดับเทาสองค่า

การพิจารณาความเปลี่ยนแปลงหรือความไม่ต่อเนื่องของค่าระดับเทานั้นที่ตำแหน่ง *(x,y)* ใด ๆ ในภาพนั้น โดยฟังก์ชัน *f(x,y)* เป็นค่าระดับเทาของจุดภาพ และหาขอบของวัตถุในภาพได้โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน *f(x,y)* นั่นเอง

รูปที่ 2.7 ความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทารูปแบบต่าง ๆ

(ก) ลักษณะความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาของขอบที่สมบูรณ์

(ข) ลักษณะความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาของขอบซึ่งมีสัญญาณรบกวนและมีความไม่คมชัด

(ค) ลักษณะความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาแบบชั่วขณะซึ่งอาจเป็นลักษณะขอบของเส้น หรือวัตถุที่มีลักษณะคล้ายเส้นในภาพ

(ง) ลักษณะความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาของขอบซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นแบ่งค่าระดับเทาสองค่า

การเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน *f(x,y)* สามารถหาได้จากอนุพันธ์อันดับต่าง ๆ ของ *f(x,y)* ดังเช่น หากต้องการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ *f(x,y)* ก็สามารถทำได้โดยแทนด้วย ∇f (*Gradient* ของ *f* ที่ตำแหน่ง *(x,y)* ดังสมการที่ 2.4

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \qquad \ldots(2.4)$$

หรือเขียนในรูปของเวคเตอร์ได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x} \\ \\ \dfrac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \qquad \ldots(2.5)$$

ซึ่งสามารถหา Magnitude ของเวคเตอร์ได้ดังนี้

$$|\nabla f| = mag(\nabla f) = [G_X^2 + G_Y^2]^{1/2} \qquad \ldots(2.6)$$

แต่ในทางปฏิบัติการประมาณค่า Gradient สามารถประมาณได้จากการใช้ค่าสัมบูรณ์ ดังแสดงในสมการที่ 2.7

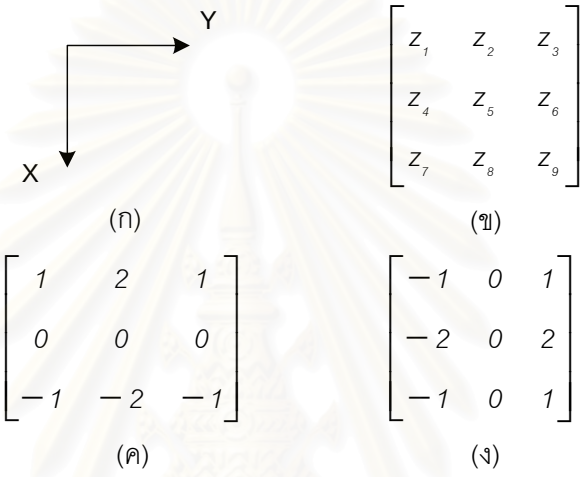
$$|\nabla f| \approx |G_x| + |G_y| \qquad \ldots(2.7)$$

ในการหาขอบบางวิธีอาจพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน *f(x,y)* สองครั้งนั่นคือใช้การหาอนุพันธ์อันดับที่สองของ *f(x,y)* ซึ่งแทนด้วย $\nabla^2 f$ ดังสมการที่ 2.8

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \qquad \ldots(2.8)$$

2.4.1 การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Sobel

การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Sobel นิยมใช้หาขอบของวัตถุในภาพ เพราะมีความง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้โดยหน้ากาก (Mask) ขนาด 3 x 3 ในทิศทางแกน X และในทิศทางแกน Y ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.8 และสามารถแสดงเป็นดังสมการที่ 2.9 และ 2.10



$$\begin{bmatrix} z_1 & z_2 & z_3 \\ z_4 & z_5 & z_6 \\ z_7 & z_8 & z_9 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2.8 หน้ากากขนาด 3 x 3 และแกนอ้างอิงทิศทางสำหรับการหาขอบภาพโดยวิธี Sobel

(ก) ทิศทางของแกน X และ แกน Y (ข) หน้ากากอ้างอิงตำแหน่ง

(ค) หน้ากากสำหรับการคำนวณ G_x ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้ากาก หรือหน้ากากในทิศทางแกน X

(ง) หน้ากากสำหรับการคำนวณ G_y ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้ากาก หรือหน้ากากในทิศทางแกน Y

$$G_x = (z_1 + 2z_2 + z_3) - (z_7 + 2z_8 + z_9) \qquad \ldots(2.9)$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \qquad \ldots(2.10)$$

โดยที่ z_i คือค่าระดับเทาของจุดภาพที่ซ้อนทับลงบนหน้ากาก ณ ตำแหน่งใด ๆ บนภาพ

2.4.2 การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Canny

การหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Canny นั้นมีหลักเบื้องต้นคือต้องการคิดค้นวิธีการที่สามารถหาขอบของวัตถุในภาพได้อย่างมีคุณภาพ โดยขอบที่ได้จากวิธี Canny นั้นมีคุณสมบัติเด่นคือ มีอัตราสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) มาก ขอบภาพที่หาได้เป็นขอบภาพที่มีอยู่จริง และสัญญาณรบกวนควรถูกแสดงออกมาว่าเป็นขอบน้อยที่สุด

โดยขั้นตอนวิธีในการหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธี Canny มีดังนี้ [6]

1) การขจัดสัญญาณรบกวน

ภาพนำเข้า f ที่จะนำมาหาขอบของวัตถุในภาพจะต้องผ่านการขจัดสัญญาณรบกวนก่อน โดยใช้ตัวกรองแบบ Gaussian (G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ σ ผลที่ได้จากการขจัดสัญญาณรบกวนคือ f_g จากนั้นจึงคำนวณ Gradient หรือความเป็นขอบของภาพตามแนวแกน x และ y (G_x และ G_y) ในแต่ละจุดภาพที่ (x, y) โดยประมาณค่าขนาดของขอบภาพดังสมการที่ 2.11 และประมาณค่าทิศทางตั้งฉากกับขอบภาพด้วยสมการที่ 2.12 ผลที่ได้คือภาพ Gradient E_s จากค่าของ $|\nabla f_G(x,y)|$ และภาพทิศทาง E_0 จากค่าของ $\alpha(x,y)$

$$|\nabla f_G(x,y)| = \sqrt{G_x^{\,2} + G_y^{\,2}} \qquad ...(2.11)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \qquad ...(2.12)$$

2) การขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maximum Suppression)

เมื่อพิจารณาทิศทาง 4 ทิศทางคือ $d_1 \ldots d_4$ ซึ่งกำหนดโดย 0^0 45^0 90^0 และ 135^0 ในแต่ละจุดภาพ (x, y) หาทิศทาง $\hat{d}_k$ ซึ่งใกล้เคียงกับ $E_0(x,y)$ ที่สุด ถ้า $E_s(x,y)$ มีค่าน้อยกว่าค่าใดค่าหนึ่งของจุดภาพ 2 จุดระหว่างทิศทางของ $\hat{d}_k$ ให้กำหนด $I_N(x,y) = 0$ แต่ในทางตรงกันข้ามกำหนดให้ $I_N(x,y) = E_s(x,y)$

ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ $I_N(x,y)$ ซึ่งคือภาพ $E_s(x,y)$ หลังจากขจัดจุดของขอบภาพที่ไม่มากที่สุดออกไปแล้ว

3) การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

กำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า τ_l และ τ_h โดย $\tau_l < \tau_h$ สำหรับทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพใน I_N กำหนดให้จุดภาพที่ $I_N(x,y) > \tau_h$ เป็นขอบภาพใหม่ และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ จุดภาพที่ $I_N(x,y) > \tau_l$ และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่นั้นถือว่าเป็นขอบภาพเช่นกัน

ผลลัพธ์ที่ได้คือขอบภาพใหม่ซึ่งเป็นภาพลักษณ์ฐานสองที่ได้จากวิธี Canny

2.5 ค่าขีดแบ่ง (Threshold)

ค่าขีดแบ่งใช้สำหรับกำจัดข้อมูลในภาพที่ไม่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่นถ้ามีภาพ f ซึ่งมีค่าระดับเทาอยู่ในช่วง $[z_1, z_k]$ และ t เป็นจำนวนใด ๆ ที่อยู่ระหว่าง z_1 และ z_k ผลจากการกำหนดค่าขีดแบ่งของ f ที่ t คือภาพ f_t ซึ่งมีค่าสองค่าดังสมการที่ 2.11 หรือสมการที่ 2.12 [7]

$$f_t(x,y)=\begin{cases}1 & if\ \ f(x,y)\geq t\\ 0 & if\ \ f(x,y)<t\end{cases} \quad \text{... (2.13)}$$

หรือ

$$f_t(x,y)=\begin{cases}1 & if\ \ f(x,y)\leq t\\ 0 & if\ \ f(x,y)>t\end{cases} \quad \text{... (2.14)}$$

การดำเนินการหาค่าขีดแบ่งอาจพิจารณาในรูปแบบของการจัดให้ค่าระดับเทาที่อยู่ในช่วงที่ต้องการ (u ถึง v) มีค่าเป็น 1 และค่าระดับเทาที่อยู่นอกเหนือช่วงที่ต้องการมีค่าเป็น 0 ดังสมการที่ 2.155

$$f_{[u,v]}(x,y)=\begin{cases}1 & u\leq f(x,y)\leq v\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad \text{... (2.15)}$$

ถ้า Z เป็นเซตของค่าระดับเทา โดย $Z \subseteq [z_1,z_k]$ การดำเนินการหาขีดแบ่งโดยจัดให้ค่าระดับเทาที่อยู่ใน Z มีค่าเป็น 1 และค่าระดับเทาที่ไม่อยู่ใน Z มีค่าเป็น 0 แสดงดังสมการที่ 2.16

$$f_z(x,y)=\begin{cases}1 & if\ \ f(x,y)\in Z\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad \text{... (2.16)}$$

2.6 **ดัชนีความคล้าย** (Similarity index)

ดัชนีความคล้ายใช้เปรียบเทียบภาพ 2 ภาพว่ามีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงทุก ๆ ส่วนของภาพทั้งบริเวณที่เหมือนและแตกต่าง สมมติว่ามีภาพ A และภาพ B ดัชนีความคล้าย S ของภาพ A กับภาพ B นิยามดังสมการที่ 2.17 [8]

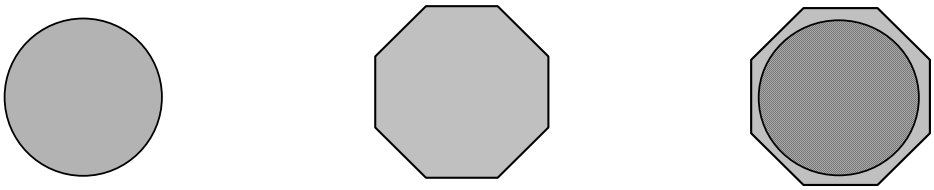
$$S=\frac{2n\{A\cap B\}}{n\{A\}+n\{B\}} \quad \text{... (2.17)}$$

โดยที่ $n\{A\cap B\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่เป็นวัตถุที่ภาพ A และ B ซ้อนทับกัน

$n\{A\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่เป็นวัตถุของภาพ A

$n\{B\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่เป็นวัตถุของภาพ B

ดัชนีความคล้าย S จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ถ้า S มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงบริเวณที่เป็นวัตถุของทั้ง 2 ภาพไม่มีส่วนซ้อนทับกันเลย ถ้า S มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงบริเวณที่เป็นวัตถุของทั้งสองภาพซ้อนทับกันสนิทพอดี ดังนั้นยิ่งภาพมีความคล้ายกันค่า S จะมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงตัวอย่างการซ้อนทับกันของวัตถุในภาพสองภาพได้ดังรูปที่ 2.9



(ก) *(ข)* *(ค)*

รูปที่ 2.9 การซ้อนทับกันของวัตถุในภาพ 2 ภาพ

(ก) วัตถุในภาพ A (ข) วัตถุในภาพ B (ค) การซ้อนทับของวัตถุในภาพ 2 ภาพ โดยที่

คือบริเวณที่วัตถุในภาพ A และวัตถุในภาพ B ซ้อนทับกัน

คือบริเวณที่วัตถุในภาพ A และวัตถุในภาพ B ไม่ซ้อนทับกัน

2.7 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ (Bilinear interpolation)

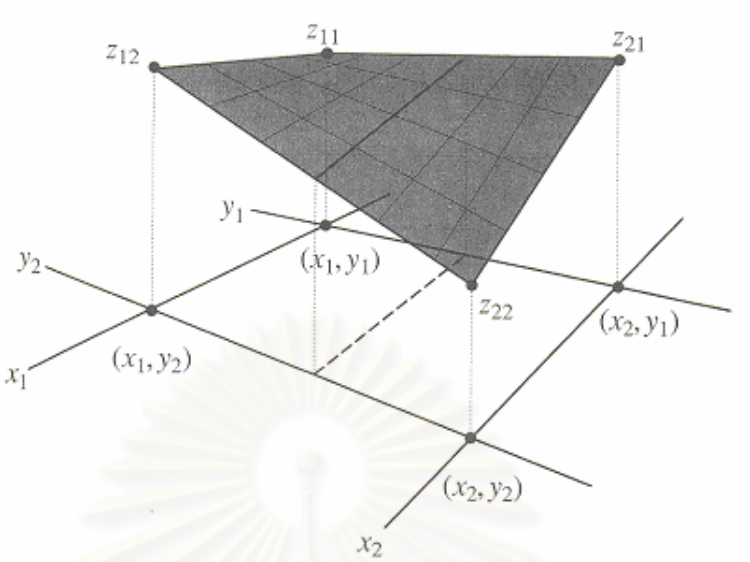
การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่เป็นวิธีอย่างง่ายที่ใช้ประมาณค่าของจุดซึ่งอยู่ระหว่างกริดที่มีด้านเป็นเส้นตรง (Rectilinear grid) ซึ่งมีจุดอ้างอิง 4 จุด [9] ตามสมการที่ 2.18 ซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นคู่

$$f(x,y) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy \qquad \ldots(2.18)$$

โดยที่ $f(x,y)$ คือค่าของจุด (x,y) ใด ๆ

a_1 a_2 a_3 และ a_4 คือ สัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้นคู่

หากต้องการประมาณค่าจุด (x,y) ใดๆ ในช่วงของกริดที่มีจุดอ้างอิง 4 จุดที่อยู่ในตำแหน่งมุมของกริดดังรูปที่ 2.9 จุดอ้างอิงได้แก่ (x_1,y_1) (x_1,y_2) (x_2,y_1) และ (x_2,y_2) โดยแต่ละจุดมีค่าเท่ากับ z_{11} z_{12} z_{21} และ z_{22} ตามลำดับสัมประสิทธิ์ของการประมาณค่าเชิงเส้นคู่จะคำนวณได้ด้วยการแทนค่าของจุดอ้างอิงแต่ละจุดเข้าในสมการที่ 2.18 แสดงได้ดังสมการที่ 2.19 ถึง 2.22



รูปที่ 2.10 กริดที่มีด้านเป็นเส้นตรงซึ่งมีจุดอ้างอิง 4 จุดที่จะใช้ประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่

$$z_{11} = a_1 + a_2x_1 + a_3y_1 + a_4x_1y_1 \quad \text{...(2.19)}$$

$$z_{12} = a_1 + a_2x_1 + a_3y_2 + a_4x_1y_2 \quad \text{...(2.20)}$$

$$z_{21} = a_1 + a_2x_2 + a_3y_1 + a_4x_2y_1 \quad \text{...(2.21)}$$

$$z_{22} = a_1 + a_2x_2 + a_3y_2 + a_4x_2y_2 \quad \text{...(2.22)}$$

จากนั้นทำการแก้สมการหาค่าสัมประสิทธิ์ a_1 a_2 a_3 และ a_4 ได้ดังสมการที่ 2.23 ถึง 2.26

$$a_1 = \frac{-x_2y_2z_{11} + x_2y_1z_{12} + x_1y_2z_{21} - x_1y_1z_{22}}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \quad \text{...(2.23)}$$

$$a_2 = \frac{-y_2z_{11} + y_1z_{12} + y_2z_{21} - y_1z_{22}}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \quad \text{...(2.24)}$$

$$a_3 = \frac{-x_2z_{11} + x_2z_{12} + x_2z_{21} - x_1z_{22}}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \quad \text{...(2.25)}$$

$$a_4 = \frac{z_{11} - z_{12} - z_{21} + z_{22}}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} \quad \text{...(2.26)}$$

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้นคู่แล้วก็จะสามารถประมาณค่าของจุด (x,y) ได้ด้วยการแทนค่าในสมการที่ 2.18

บทที่ 3

แนวทางการปรับปรุงความถูกต้องของการทำโมเสกภาพ

3.1 การวิเคราะห์การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM

จากการวิเคราะห์การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM พบว่าผลลัพธ์ของการจัดเรียงที่ผิดพลาดแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

3.1.1 ภาพผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงเล็กน้อย

การจัดเรียงภาพซึ่งได้ผลลัพธ์ลักษณะดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.1 โดยตั้งสมมติฐานของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพให้ค่าที่ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการเปรียบคู่ คือขอบที่หาได้อาจมีจำนวนมากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากในวิธี HECM/CM ใช้การหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธี Sobel และใช้ค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบที่ 128 ซึ่งเมื่อใช้กับภาพนำเข้าชุดเดียวกันแต่มีลักษณะไม่เป็นแนวระนาบอย่างสมบูรณ์ มีความแตกต่างของมุม หรือมีความแตกต่างของสีและแสงเล็กน้อย ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.1(ก) และ 3.1(ข) การใช้ค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบเป็นค่าตายตัวค่าใดค่าหนึ่งนั้น จะทำให้ขอบที่หาได้จากภาพลักษณะดังกล่าวอาจขาดหายไปหรือเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลไปสู่การจัดเรียงภาพที่ผิดพลาดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1(ช)

3.1.2 ภาพผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก

การจัดเรียงภาพซึ่งได้ผลลัพธ์ลักษณะดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.2 โดยตั้งสมมติฐานของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากวิธีการเปรียบคู่สีและการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น ซึ่งในที่นี้คือการเปรียบคู่สีซึ่งใช้การทำอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมของจุดที่เป็นขอบในภาพ เนื่องจากชุดภาพที่ผลลัพธ์จากการจัดเรียงที่มีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมากนั้นมีลักษณะร่วมกันคือ มีจำนวนสีในภาพน้อยและมีสีที่คล้ายกันในทุกบริเวณของภาพ ดังนั้นค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมจึงมีค่าใกล้เคียงกันทั้งภาพด้วย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ตำแหน่งของการจัดเรียงที่ถูกต้องมีค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมสีน้อยกว่าตำแหน่งอื่น ๆ และถูกคัดออกไปด้วยกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น นั่นคือถูกคัดออกไปในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำด้วยการเปรียบคู่สีก่อนที่จะทำการเปรียบคู่ขอบในพีระมิดระดับต้นฉบับ ซึ่งสิ่งที่ยืนยันสมมติฐานนี้คือหากทำการจัดเรียงภาพลักษณะนี้ด้วยการเปรียบคู่ขอบเพียงอย่างเดียวจะจัดเรียงได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

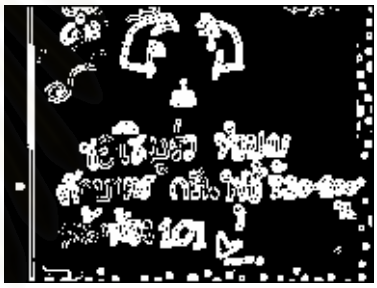
(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)



(ฉ)

(ช)

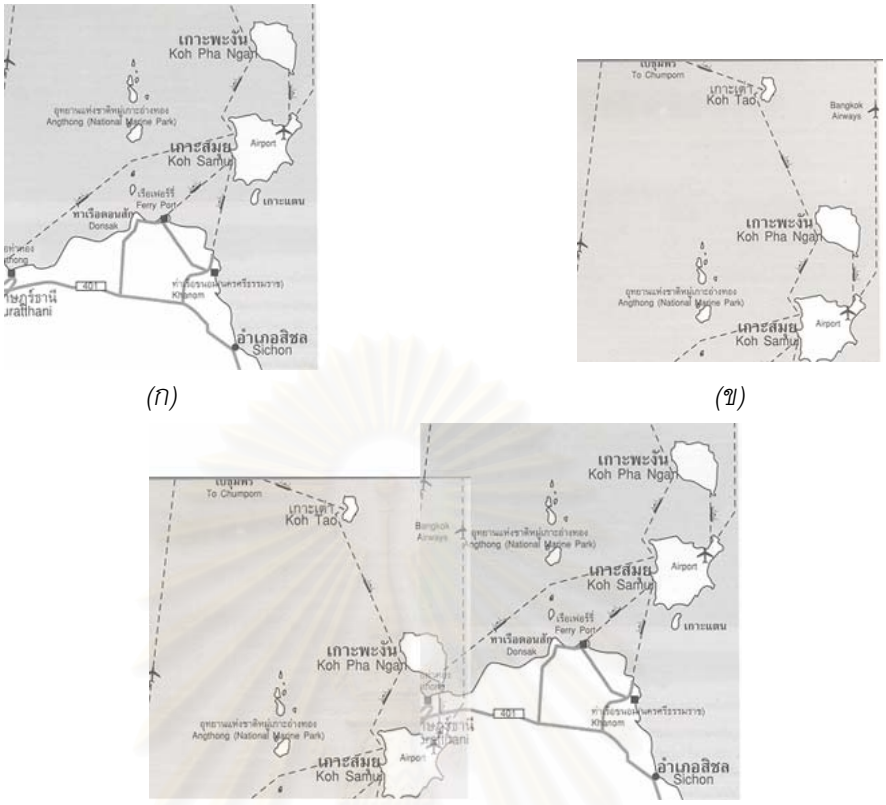
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการทำโมเสกชุดภาพที่มีความแตกต่างกันของสีและแสง และผลลัพธ์หลังจากผ่านการหาขอบ

(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2

(ค) และ (ง) ภาพระดับเทาหลังจากผ่านการหาขอบด้วยวิธี Sobel

(จ) และ (ฉ) ภาพลักษณ์ฐานสองหลังจากใช้ค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบที่ 128 ซึ่งทำให้จุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุบริเวณเดียวกันมีจำนวนไม่เท่ากัน

(ช) ภาพผลลัพธ์ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการจัดเรียงเล็กน้อย



(ก) *(ข)*

(ค)

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการทำโมเสกชุดภาพที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก
(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2
(ค) ภาพผลลัพธ์ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการจัดเรียงมาก

3.1.3 ภาพผลลัพธ์ผิดพลาดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า

ความผิดพลาดลักษณะนี้ไม่ได้เกิดจากการเปรียบคู่หาตำแหน่ง แต่เกิดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้าในแต่ละแกนของโมเดลสี HSV ซึ่งเป็นขั้นตอนหลังจากทำการเปรียบคู่หาตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว โดยแบ่งความผิดพลาดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้าได้เป็น 2 รูปแบบตามสาเหตุของความผิดพลาด คือ

1) เกิดความผิดพลาดที่การเฉลี่ยค่ารงค์ (Hue) ในโมเดลสี HSV ดังแสดงในรูปที่ 3.3
2) ภาพนำเข้ามีความแตกต่างกันของค่าสีหรือแสงซึ่งเกิดจากกระบวนการรับภาพนำเข้าด้วยสแกนเนอร์หรือกล้องดิจิทัล ทำให้เมื่อรวมค่าสีของแต่ละจุดภาพของทั้งสองภาพเข้าด้วยกันจึงเกิดเป็นขั้นรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 3.4

หากเกิดความผิดพลาดจากการรวมค่าสีกรณีใดกรณีหนึ่งข้างต้นขึ้นในการรวมภาพครั้งแรกแล้วอาจส่งผลให้การจัดเรียงภาพในลำดับถัดไปในกรณีที่ภาพนำเข้ามีมากกว่า 2 ภาพผิดพลาดไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.5

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการทำโมเสกชุดภาพที่มีความผิดพลาดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า (ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2 (ค) ภาพผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาดจากการรวมค่าสี สังเกตได้จากบริเวณด้านล่างของตัวอักษร P และ J ในภาพ

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการทำโมเสกชุดภาพที่มีความแตกต่างของระดับแสง

(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2

(ค) ภาพผลลัพธ์เกิดเป็นชั้นรอยต่อไม่กลมกลืนกันเป็นภาพเดียว

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการทำโมเสกชุดภาพที่รวมค่าสีผิดและส่งผลให้การจัดเรียงลำดับถัดไปผิดพลาด
(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2 (ค) ภาพนำเข้าลำดับที่3
(ง) ภาพผลลัพธ์ของการจัดเรียงภาพนำเข้าลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2 ซึ่งรวมค่าสีผิดพลาด
(จ) เมื่อนำภาพนำเข้าลำดับถัดไปมาทำโมเสกภาพ จะได้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาด

3.2 แนวทางการปรับปรุงความถูกต้องของการทำโมเสกภาพ

จากการวิเคราะห์ความผิดพลาดทั้ง 3 ลักษณะที่มีผลต่อความถูกต้องในการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM แนวทางในการปรับปรุงวิธีดังกล่าวให้มีความถูกต้องมากขึ้นจึงได้กำหนดขึ้น โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การปรับปรุงวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น และการปรับปรุงการรวมภาพด้วยการเฉลี่ยค่าสีในโมเดลสี HSV

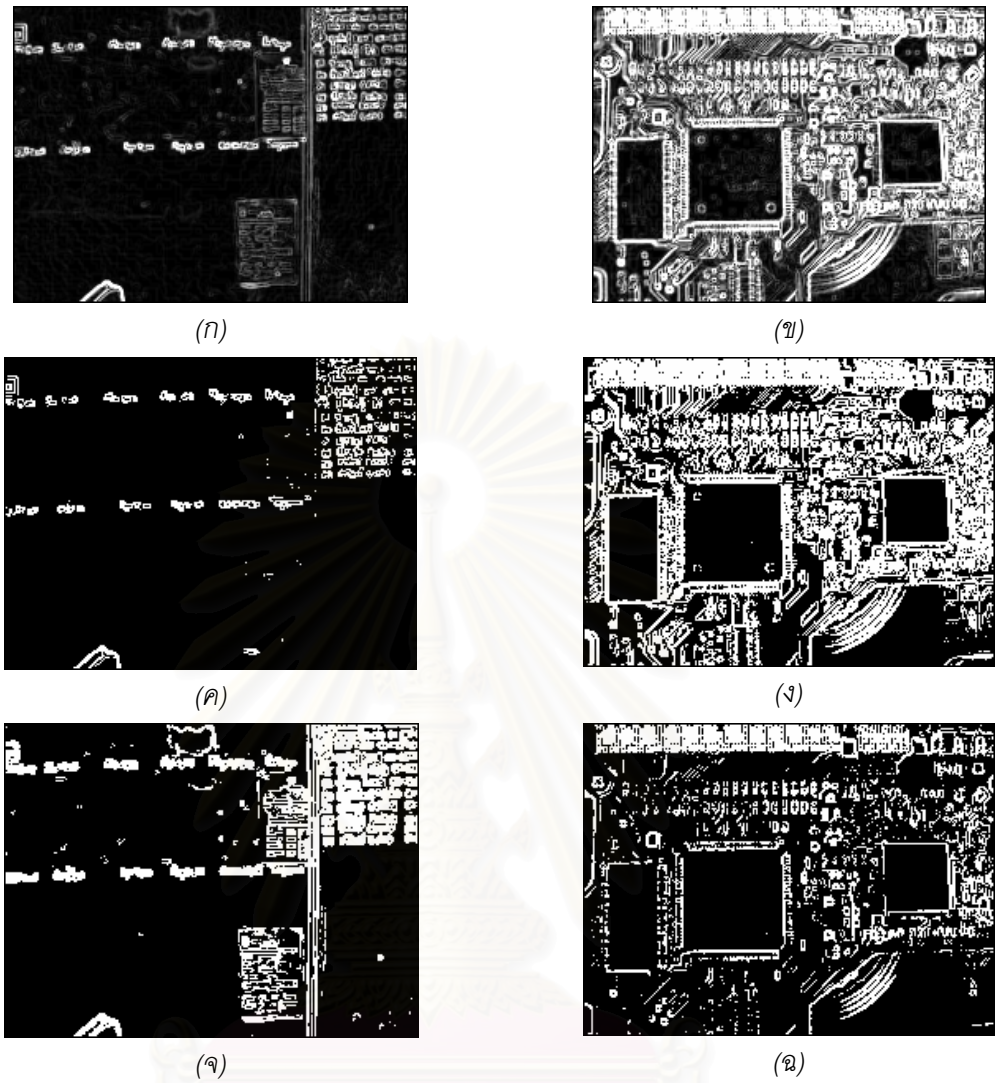
3.2.1 การปรับปรุงวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ

การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM ใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel และใช้ค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบที่กำหนดไว้ล่วงหน้าคือ 128 สำหรับทุกภาพที่จะนำมาทำการจัดเรียง ซึ่งการกำหนดค่าแบบนี้อาจไม่เหมาะกับภาพบางประเภทเช่น ภาพที่มีขอบจำนวนมาก เมื่อหาขอบด้วยวิธีดังกล่าวแล้วจะทำให้เกือบทุกจุดในภาพมีความเป็นขอบซึ่งส่งผลให้การเปรียบคู่มีความผิดพลาดได้ ในขณะเดียวกันภาพที่มีขอบจำนวนน้อย หรือมีลักษณะขอบที่ไม่ชัดเจน เมื่อหาขอบด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ขอบที่ได้มีจำนวนน้อยเกินไป การเปรียบคู่ก็อาจมีความผิดพลาดได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เนื่องจากวิธีการหาขอบแต่ละวิธีมีลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมกับภาพแต่ละชนิด รวมทั้งค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบนั้นควรเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะภาพเช่นเดียวกัน แนวคิดในการปรับปรุงการทำโมเสกภาพในปัจจัยของวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ คือใช้วิธีการหาขอบของวัตถุในภาพโดยวิธี Canny ซึ่งขอบที่ได้มีความบาง และมีสัญญาณรบกวนน้อยจึงเป็นตัวแทนของวัตถุในภาพได้ดี อีกทั้งการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบของวิธี Canny นั้นใช้การกำหนดเป็นค่าร้อยละของจำนวนจุดที่มีความเป็นขอบทั้งหมดในภาพ ซึ่งเหมาะสมกับภาพที่มีจำนวนขอบในภาพหลายลักษณะมากกว่า ดังแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบการกำหนดค่าขีดแบ่งระหว่างการกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่าเดียวกับการกำหนดเป็นค่าร้อยละในรูปที่ 3.7 การกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่าเดียวกันคือ 128 สำหรับทั้งภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบมากและภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบน้อย แสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 3.7(ค) และ 3.7(ง) เห็นได้ว่าภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบน้อยภาพขอบที่ได้จะได้จุดที่เป็นขอบไม่ครบถ้วนขาดขอบของวัตถุบางชิ้นไป ส่วนภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบมากก็จะมีจำนวนจุดที่เป็นขอบเป็นส่วนใหญ่เกือบจะทุกจุดของภาพ ในขณะที่การกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่าร้อยละแสดงในรูปที่ 3.7(จ) และ 3.7(ฉ) โดยในที่นี้ใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel เหมือนกันแต่ใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดให้จำนวนจุดที่เป็นขอบเป็นร้อยละ 20 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด จะเห็นว่าได้ภาพขอบที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบที่เหมาะสม โดยภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบน้อยคำนวณค่าขีดแบ่งได้ 44 ส่วนภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบมากคำนวณค่าขีดแบ่งได้ 246

(ก) *(ข)*

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบในภาพน้อย และภาพที่มีจำนวนจุดในภาพมาก
(ก) ภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบในภาพน้อย (ข) ภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบในภาพมาก



(ก) *(ข)*

(ค) *(ง)*

(จ) *(ฉ)*

รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบการกำหนดค่าขีดแบ่งระหว่างการกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่าเดียวคือค่า 128 กับการกำหนดให้มีจำนวนจุดที่เป็นขอบเป็นร้อยละ 20

(ก) และ (ข) ภาพระดับเทาของรูปที่ 3.6(ก) และ 3.6(ข) หลังจากผ่านหน้ากาก 3x3 ของ Sobel
(ค) และ (ง) ภาพลักษณ์ฐานสองหลังจากการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ 128
(จ) และ (ฉ) ภาพลักษณ์ฐานสองหลังจากการกำหนดค่าขีดแบ่งให้จำนวนจุดที่เป็นขอบเป็นร้อยละ 20 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด ซึ่งเท่ากับค่าที่ 44 และ 246 ตามลำดับ

3.2.2 การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น

จากการวิเคราะห์การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM ในด้านการเปรียบคู่นั้น พบว่าวิธีการเปรียบคู่สีซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบพีระมิดระดับชั้นที่ถูกลดความละเอียดนั้น ใช้การวัดความคล้ายกันของฮิสโทแกรมสีในภาพต้นฉบับบริเวณที่อ้างอิงมาจากจุดที่เป็นขอบของภาพในระดับต่ำที่คำนวณอยู่ โดยจุดประสงค์ของการเปรียบคู่สีของขอบวิธีดังกล่าวคือ เพื่อคัดบริเวณที่สีไม่คล้ายกันออกก่อนแล้วจึงวัด

ความคล้ายกันด้วยลักษณะเด่นทางด้านขอบของวัตถุในภาพในระดับภาพต้นฉบับต่อไป

การวัดความคล้ายกันของฮิสโทแกรมของสีในภาพต้นฉบับเฉพาะบริเวณที่อ้างอิงมาจากจุดที่เป็นขอบของภาพนั้น อาจไม่ใช่สิ่งที่เหมาะสมในการวัดความคล้ายกันของภาพ เนื่องจากบริเวณที่เป็นขอบของภาพเป็นบริเวณที่ข้อมูลต่างๆ ในภาพเปลี่ยนแปลงเช่น ความเข้มแสง หรือความอิ่มตัวของสี ทำให้ไม่ควรนำข้อมูลเฉพาะบริเวณดังกล่าวมาวัดความคล้ายกัน อีกทั้งเมื่อสังเกตผลลัพธ์จากการจัดเรียงภาพด้วยวิธี HECM/CM พบว่าชุดภาพที่มีความคล้ายกันของสีในทุกบริเวณของภาพจะเกิดความผิดพลาดของตำแหน่งในการจัดเรียงได้

แนวคิดในการปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่สีคือ ใช้วิธีการเปรียบคู่ชนิดอื่นมาประยุกต์รวมกันด้วย ได้แก่ ดัชนีความคล้าย (Similarity index) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เปรียบเทียบภาพ 2 ภาพว่ามีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด โดยคำนึงถึงทุก ๆ ส่วนของภาพทั้งบริเวณที่เหมือนและแตกต่าง โดยดัชนีความคล้ายนี้เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและมีความแม่นยำสูง อีกทั้งเวลาที่ใช้ประมวลผลก็น้อยกว่าวิธีการเปรียบคู่ขอบแบบคิดค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางขอบแบบ 3-4 ที่ใช้ในวิธี HECM/CM อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้ใช้การเปรียบคู่ขอบร่วมกับการเปรียบคู่สีในทุกระดับชั้นของพีระมิด โดยมีการให้น้ำหนักของการเปรียบคู่ทั้งสองวิธี โดยให้ความสำคัญกับการเปรียบคู่ขอบด้วยดัชนีวัดความคล้ายมากกว่าการเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดค่า w เท่ากับ 0.8 ดังสมการที่ 3.1

$$Score = w \times S + (1\text{-}w) \times H \qquad \ldots(3.1)$$

โดยที่ $Score$ คือผลรวมของค่าจากการเปรียบคู่ขอบและเปรียบคู่สีแบบมีการถ่วงน้ำหนัก

S คือค่าดัชนีความคล้าย

H คือค่าอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรม

w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

เกณฑ์การคัดออกเป็นค่าที่ใช้ในการคัดตำแหน่งที่มีคะแนนการเปรียบคู่ต่ำในแต่ละระดับของพีระมิดความละเอียดออกไม่นำไปพิจารณาในระดับชั้นถัดไปของพีระมิดความละเอียด โดยจะใช้เมื่อทำการเลื่อนภาพและเปรียบคู่ครบทุกตำแหน่งการซ้อนทับของภาพนำเข้าสองภาพแล้ว โดยแบ่งเกณฑ์การคัดออกเป็น 3 ค่าตามระดับชั้นของพีระมิด ได้แก่เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดต่ำที่สุด เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลาง และเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูง ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งเกณฑ์การคัดออกในแต่ละค่าจะกำหนดเป็นค่าร้อยละของคะแนนการเปรียบคู่แต่ละตำแหน่ง

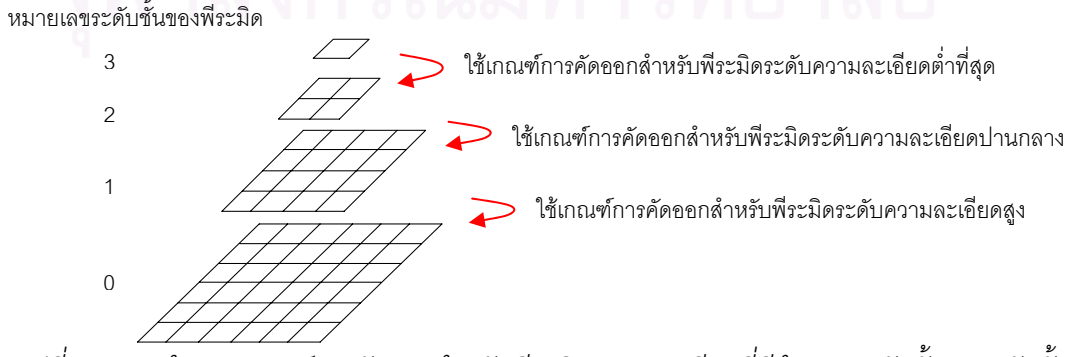
สำหรับพีระมิดความละเอียดใดๆ ซึ่งมีจำนวนระดับชั้น n ระดับชั้น หมายเลขประจำระดับชั้นสำหรับพีระมิดระดับภาพต้นฉบับคือ 0 ส่วนหมายเลขประจำระดับชั้นสำหรับพีระมิดระดับที่ถูกลดความละเอียดคือ 1 2 3 จนถึง n-1 ตามลำดับความละเอียดจากความละเอียดสูงไปต่ำ โดยกำหนดเกณฑ์การ

คัดออกสำหรับแต่ละระดับชั้นดังตารางที่ 3.1 และแสดงตัวอย่างการกำหนดเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดความละเอียดที่มีจำนวนระดับชั้น 4 ระดับชั้น ได้ดังรูปที่ 3.8

การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM ซึ่งใช้การเปรียบคู่สีเพียงอย่างเดียวในพีระมิดระดับที่ถูกลดความละเอียด กำหนดเกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำสุดคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 30 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลางคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 40 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก และเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูงคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 50 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก ส่วนในงานวิจัยนี้ในเบื้องต้นได้กำหนดเกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำสุดคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 70 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลางคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 80 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก และเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูงคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 90 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก ซึ่งคะแนนการเปรียบคู่ในงานวิจัยนี้คือผลรวมของค่าจากการเปรียบคู่ขอบ(ดัชนีความคล้าย)และเปรียบคู่สี(อินเตอร์เซกชันของฮิส-โทแกรม)ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การเปรียบคู่แบบนี้มีความแม่นยำสูงกว่าการใช้การเปรียบคู่ในวิธี HECM/CM เกณฑ์การคัดออกในงานวิจัยนี้จึงสามารถกำหนดเป็นค่าสูง ๆ ได้ นั่นคือในแต่ละชั้นของพีระมิดสามารถคัดตำแหน่งที่จะไม่นำไปคำนวณต่อในระดับถัดไปออกได้มากกว่า ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลง

ตารางที่ 3.1 การกำหนดเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดความละเอียดแต่ละระดับชั้น

หมายเลขระดับชั้นของพีระมิดความละเอียด (i)	**เกณฑ์การคัดออกที่ใช้**
i = num of pyramid - 1	เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดต่ำที่สุด
i ≥ num of pyramid / 2	เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลาง
i < num of pyramid / 2	เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูง



รูปที่ 3.8 การกำหนดเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดความละเอียดที่มีจำนวนระดับชั้น 4 ระดับชั้น

3.2.3 การปรับปรุงการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า

ในหัวข้อนี้จะทำการปรับปรุงความผิดพลาดจากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้าในแต่ละแกนในโมเดลสี HSV ซึ่งเป็นขั้นตอนหลังจากทำการเปรียบคู่หาตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว โดยแบ่งการแก้ไขเป็น 2 รูปแบบตามสาเหตุของความผิดพลาด คือ

1) การแก้ไขความผิดพลาดของการเฉลี่ยค่ารงค์ (Hue) ในโมเดลสี HSV

การทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM ใช้การเฉลี่ยค่าสีของจุดภาพแต่ละคู่ในแต่ละแกนของโมเดลสี HSV ซึ่งพบว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นกับการเฉลี่ยค่าในแกน H เมื่อค่าสีของสองจุดภาพมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงสีแดงโดยค่าหนึ่งมากกว่า 0 ส่วนอีกค่าหนึ่งมีค่าเข้าสู่ 359 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของแกน H ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ก) ทำให้เมื่อเฉลี่ยค่าสีของสองจุดภาพดังกล่าวจึงได้เป็นสีใหม่ที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าสีเดิมของทั้งสองจุดภาพ การแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวทำได้โดยปรับการเฉลี่ยค่าสีใหม่ให้ถูกต้อง หรืออาจเปลี่ยนโมเดลสีที่ใช้ในการเฉลี่ยค่าสี ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกการเปลี่ยนเป็นการเฉลี่ยค่าสีในโมเดลสี RGB แทนโดยทำการเฉลี่ยค่าสีในแต่ละแกน R G และ B โดยแต่ละแกนมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ดังแสดงในรูปที่ 3.9(ข) ซึ่งการเฉลี่ยค่าสีในโมเดลสี RGB นี้ไม่มีปัญหากรณีที่ค่าสีของจุดภาพสองจุดเป็นสีใกล้เคียงกันแต่เมื่อเฉลี่ยแล้วกลายเป็นค่าสีใหม่ที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าสีเดิม

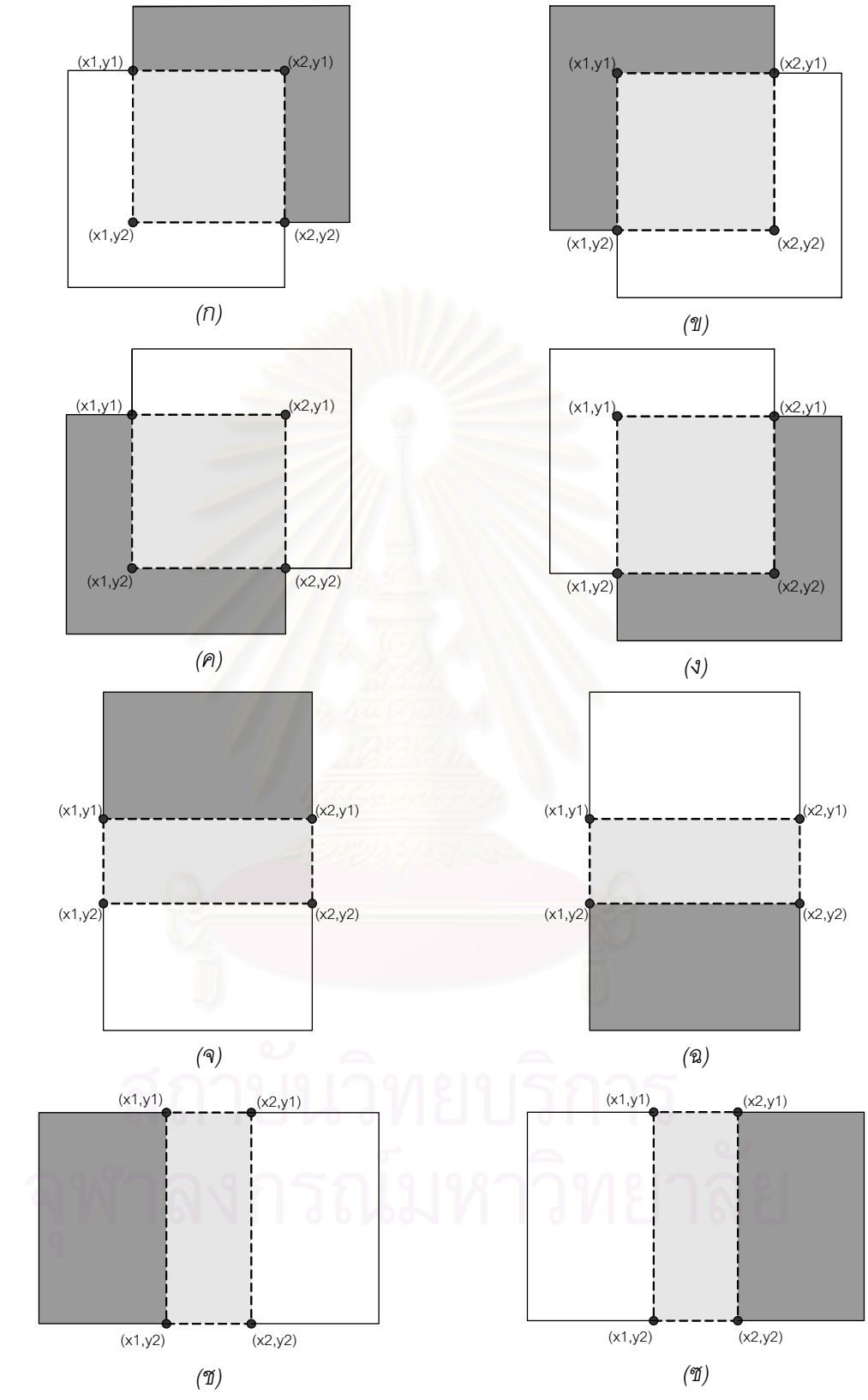
(ก) *(ข)*

รูปที่ 3.9 โมเดลสี HSV และโมเดลสี RGB [10]

(ก) โมเดลสี HSV (ข) โมเดลสี RGB

2) การแก้ไขความผิดพลาดจากการที่ภาพนำเข้ามีความแตกต่างกันของค่าสีหรือแสง

ความผิดพลาดลักษณะนี้ทำให้เมื่อรวมค่าสีของแต่ละจุดภาพของทั้งสองภาพเข้าด้วยกันแล้วภาพผลลัพธ์เกิดเป็นชั้นรอยต่อขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้นำการให้ค่าน้ำหนักมาใช้ในการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดภาพ โดยหากจุดภาพที่จะทำการรวมอยู่ใกล้ตำแหน่งของภาพนำเข้าใดก็จะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของค่าสีของภาพนำเข้านั้นมากกว่าตามสมการของการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ โดยแบ่งการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตามลักษณะการซ้อนทับของภาพนำเข้าได้ 8 รูปแบบดังรูปที่ 3.10 และแสดงค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับจุดอ้างอิง 4 จุดของภาพนำเข้าลำดับที่1 ได้ดังตารางที่ 3.2 และแสดงการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับจุดอ้างอิง 4 จุดของภาพนำเข้าลำดับที่2 ได้ดังตารางที่ 3.3 และแสดงการรวมค่าสีแบบให้ค่าน้ำหนักดังสมการที่ 3.2



รูปที่ 3.10 ลักษณะการซ้อนทับกันของภาพนำเข้า

ตารางที่ 3.2 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับภาพนำเข้าลำดับที่ 1

ลักษณะการซ้อนทับของรูปที่	ค่าถ่วงน้ำหนักของจุดมุมของบริเวณที่ซ้อนทับกันของภาพ			
	(x1,y1)	(x1,y2)	(x2,y2)	(x2,y1)
3.9 (ก)	0.5	0	0.5	1
3.9 (ข)	1	0.5	0	0.5
3.9 (ค)	0.5	1	0.5	0
3.9 (ง)	0	0.5	1	0.5
3.9 (จ)	1	0	0	1
3.9 (ฉ)	0	1	1	0
3.9 (ช)	1	1	0	0
3.9 (ซ)	0	0	1	1

ตารางที่ 3.3 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับภาพนำเข้าลำดับที่ 2

ลักษณะการซ้อนทับของรูปที่	ค่าถ่วงน้ำหนักของจุดมุมของบริเวณที่ซ้อนทับกันของภาพ			
	(x1,y1)	(x1,y2)	(x2,y2)	(x2,y1)
3.9 (ก)	0.5	1	0.5	0
3.9 (ข)	0	0.5	1	0.5
3.9 (ค)	0.5	0	0.5	1
3.9 (ง)	1	0.5	0	0.5
3.9 (จ)	0	1	1	0
3.9 (ฉ)	1	0	0	1
3.9 (ช)	0	0	1	1
3.9 (ซ)	1	1	0	0

$$C = (w_1 \times C_1) + (w_2 \times C_2) \qquad \ldots(3.2)$$

โดยที่ C คือค่าสีของภาพผลลัพธ์

C_1 คือค่าสีของภาพนำเข้าลำดับที่ 1

C_2 คือค่าสีของภาพนำเข้าลำดับที่ 2

w_1 คือค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับภาพนำเข้าลำดับที่1

w_2 คือค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับภาพนำเข้าลำดับที่2

บทที่ 4

การทดลองและผลลัพธ์

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอวิธีการทดลองและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการจัดเรียงภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง โดยชุดภาพที่ใช้ในการทดลองทั้งสองนี้มี 3 ประเภท และผลลัพธ์ที่ได้จากชุดภาพทั้งหมดจะนำมาประเมินและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ในลำดับต่อไป

4.1 รายละเอียดของชุดภาพนำเข้า

ประเภทของชุดภาพนำเข้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากงานวิจัยเรื่อง *วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ [2]* โดยแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ชุดภาพจากการตัดส่วนภาพขนาดใหญ่ ชุดภาพที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์ และชุดภาพจากกล้องดิจิทัล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ชุดภาพจากการตัดส่วนภาพขนาดใหญ่

ชุดภาพประเภทนี้ได้มาจากการนำภาพขนาดใหญ่มาตัดส่วนเป็นภาพขนาดเล็กจำนวนหลายภาพ ดังนั้นภาพประเภทนี้จะไม่มีความแปรปรวนจากการรับข้อมูลเข้า

ชุดภาพจากเครื่องสแกนเนอร์

ชุดภาพประเภทนี้ภาพอ้างอิงได้มาจากการสแกนภาพจากเครื่องสแกน Hewlett Packard รุ่น Scanjet 6200c ส่วนภาพที่เพิ่มเติมได้จากเครื่องสแกน Hewlett Packard รุ่น Scanjet 2400 รายละเอียดของการสแกนภาพแสดงในตารางที่ 4.1 ลักษณะภาพประเภทนี้มีสัญญาณรบกวนจากการสแกนภาพ และบางครั้งภาพในชุดภาพเดียวกันซึ่งได้มาจากการสแกนแต่ละครั้งมีโทนสีไม่เหมือนกัน รวมทั้งอาจมีการเอียงของภาพได้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดในการสแกนภาพ

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ประเภทของผลลัพธ์ (Output type)	ภาพสีจริง (True color)
ระดับความชัด (Sharpen level)	สูง (High)
ความคมชัด (Output resolution)	100 dpi

ชุดภาพจากกล้องดิจิทัล

ชุดภาพประเภทนี้ภาพอ้างอิงได้มาจากการถ่ายภาพจากกล้องดิจิทัล Sony รุ่น Digital Mavica ส่วนภาพเพิ่มเติมได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล Nikon รุ่น coolpix 4300 รายละเอียดของการถ่ายภาพสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ลักษณะของภาพประเภทนี้คือชุดภาพเดียวกันอาจจะมีโทนสีและความสว่างไม่เท่ากัน และมีความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดความไม่เป็นระนาบของภาพได้

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดในการถ่ายภาพ

พารามิเตอร์	**กล้องดิจิทัล Sony**	**กล้องดิจิทัล Nikon**
ระดับของแฟลช (Flash level)	ปกติ (Normal)	ไม่ใช้แฟลช
โฟกัส (Focus)	อัตโนมัติ (Auto)	อัตโนมัติ (Auto)
โหมดบันทึก (Rec. mode)	ปกติ (Normal)	ปกติ (Normal)
คุณภาพของการแปลงภาพเป็น JPEG	ดี (Fine)	ดี (Fine)

โดยชุดภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองมี 80 ชุดภาพ รายละเอียดของแต่ละชุดภาพแสดงในภาคผนวก ก

4.2 รายละเอียดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลองในงานวิจัยนี้คือ เครื่อง Compaq รุ่น Evo โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการทดลอง

อุปกรณ์	**รายละเอียด**
หน่วยประมวลผลกลาง (CPU)	Intel pentium4 2.4 GHz
หน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม (RAM)	DDR 1024 MB PC 2700
จานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk)	40 GB ATA 100 ความเร็วในการหมุน 7200 รอบต่อนาที

4.3 การทดลอง

ในหัวข้อนี้จะทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกในงานวิจัยนี้กับวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกด้วยวิธี HECM/CM โดยแบ่งเป็น 5 ส่วนได้แก่

- การเปรียบเทียบวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ
- การเปรียบเทียบวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น
- การเปรียบเทียบวิธีการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า
- การเปรียบเทียบความถูกต้องของการทำโมเสกภาพ
- การเปรียบเทียบความเร็วของการทำโมเสกภาพ

4.3.1 การเปรียบเทียบวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ

การทดลองนี้จัดทำขึ้นเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าจำนวนขอบภาพที่ไม่เหมาะสมมีผลต่อการจัดเรียงภาพ ซึ่งขอบภาพที่หาได้จะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ วิธีการหาขอบ และการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ ในหัวข้อนี้จึงแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ การเปรียบเทียบวิธีการหาขอบ และการเปรียบเทียบวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ

4.3.1.1 การเปรียบเทียบวิธีการหาขอบ

การทดลองนี้จัดทำขึ้นเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าจำนวนขอบภาพที่ไม่เหมาะสมมีผลต่อการจัดเรียงภาพ โดยในลำดับแรกได้ทดลองใช้การหาขอบวิธีอื่นได้แก่ วิธี Canny ซึ่งคุณสมบัติของวิธีการหาขอบแบบนี้คือ ขอบที่ได้จะเป็นตัวแทนที่ดีของวัตถุในภาพ โดยเลือกเฉพาะขอบที่มีคุณภาพดีและเป็นสัญญาณรบกวนน้อย รวมทั้งค่าขีดแบ่งที่ใช้กำหนดความเป็นขอบก็ใช้การกำหนดเป็นร้อยละจากจำนวนขอบทั้งหมดซึ่งน่าจะเหมาะสมกับลักษณะภาพหลายชนิดมากกว่าการกำหนดค่าขีดแบ่งค่าเดียว

จากการทดลองพบว่าจากชุดภาพจำนวน 80 ชุดภาพที่นำมาทำการทดลองนั้น วิธี HECM/CM จัดเรียงผิดพลาด 18 ชุดภาพ โดยนับเฉพาะความผิดพลาดที่ตำแหน่งของการจัดเรียงไม่รวมถึงความผิดพลาดจากการรวมสีในแต่ละคู่จุด เมื่อเปลี่ยนการหาขอบเป็นวิธี Canny แล้วกลับเกิดความผิดพลาดจากการจัดเรียงมากขึ้นคือจัดเรียงภาพผิดพลาด 27 ชุดภาพ

เมื่อสังเกตชุดภาพที่เปลี่ยนการหาขอบเป็นวิธี Canny แล้วการจัดเรียงภาพผิดพลาดดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าขอบของวัตถุในภาพบางส่วนเป็นขอบที่ไม่ชัดเจน การหาขอบด้วยวิธี Canny จึงไม่จัดว่าจุดดังกล่าวเป็นขอบดังแสดงในรูปที่ 4.2 เนื่องด้วยการหาขอบด้วยวิธี Canny มีขั้นตอนการขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด(Non-maximum Suppression) ซึ่งเป็นการเลือกจุดที่ค่าความเป็นขอบมากที่สุดไว้จุดเดียวเมื่อเปรียบเทียบจากจุดข้างเคียงตามแนวตั้งฉากกับเกรเดียนต์ของขอบภาพ ทำให้บางครั้งจุดภาพที่มีความเป็นขอบสูงพอที่จะนำมาเปรียบคู่ได้ถูกขจัดทิ้งไป พิจารณาได้จากรูปที่ 4.2(ค) จะเห็นได้ว่าภาพที่หาขอบด้วยวิธี Canny มีจุดที่เป็นขอบในภาพจำนวนน้อยกว่าภาพที่หาขอบด้วยวิธี Sobel ประกอบกับค่าสีของภาพทุกบริเวณมีความคล้ายคลึงกัน ทำให้การจัดเรียงภาพเกิดความผิดพลาดขึ้น

แต่ข้อดีของการจัดเรียงภาพโดยใช้การหาขอบด้วยวิธี Canny คือสามารถแก้ปัญหาการจัดเรียงภาพที่วัตถุในภาพมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นขอบมากซึ่งหากใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel จะทำให้จุดภาพเกือบทุกจุดของวัตถุนั้นเป็นขอบและเกิดความผิดพลาดในการจัดเรียงภาพขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

การทดลองนี้สรุปผลได้ว่าการเปลี่ยนวิธีการหาขอบเป็นวิธี Canny นั้นไม่เหมาะสมกับการจัดเรียงภาพที่มีจำนวนขอบในภาพไม่ชัดเจน ดังนั้นควรจะมีวิธีซึ่งสามารถหาขอบของวัตถุได้เหมาะสมสำหรับภาพทุกลักษณะเพื่อเป็นข้อมูลที่ดีสำหรับการจัดเรียงภาพ

เมื่อศึกษาการหาขอบวิธีอื่น ๆ พบว่าต้องมีการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบเหมือนกันทุกวิธี ดังนั้นหากต้องการวิธีการหาขอบที่เหมาะสมกับภาพทุกลักษณะจึงน่าจะปรับปรุงการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ โดยจะนำวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งแบบร้อยละของการหาขอบวิธี Canny ไปประยุกต์ใช้กับการหาขอบด้วยวิธี Sobel ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

(ก)

(ข)

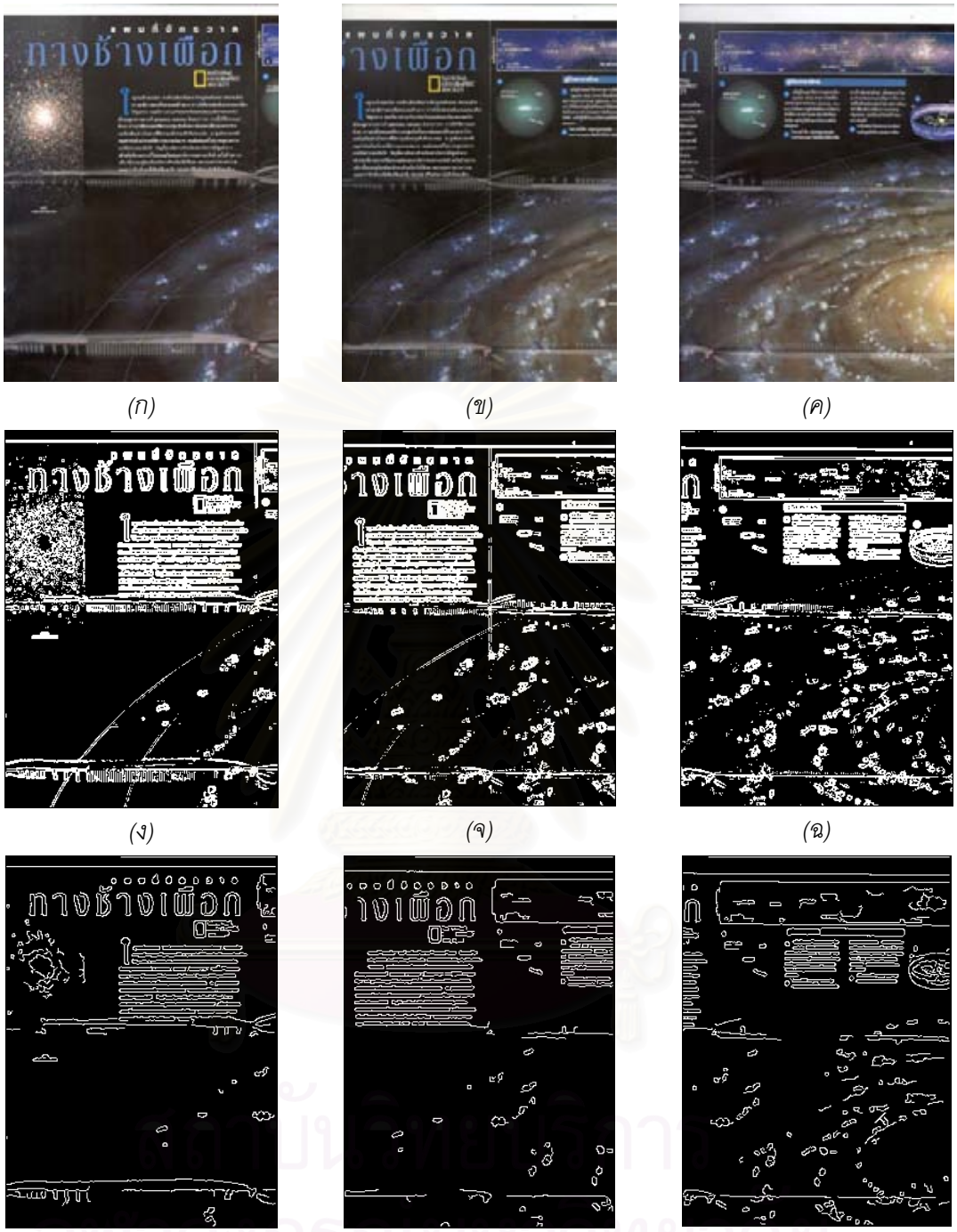
(ค)

(ง)

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างชุดภาพที่เมื่อเปลี่ยนการหาขอบเป็นวิธี Canny แล้วจัดเรียงผิดพลาด

(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2 (ค) ภาพนำเข้าลำดับที่ 3

(ง) ภาพผลลัพธ์



รูปที่ 4.2 ภาพลักษณ์ฐานสองเปรียบเทียบขอบที่หาได้จากวิธี Sobel และ Canny

(ก) ถึง (ค) ภาพนำเข้า (ง) ถึง (ฉ) ภาพลักษณ์ฐานสองหลังจากผ่านการหาขอบด้วยวิธี Sobel (ช)ถึง (ฌ) ภาพลักษณ์ฐานสองหลังจากผ่านการหาขอบด้วยวิธี Canny ซึ่งจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนน้อยและลักษณะขอบมีความบางกว่าการหาขอบด้วยวิธี Sobel

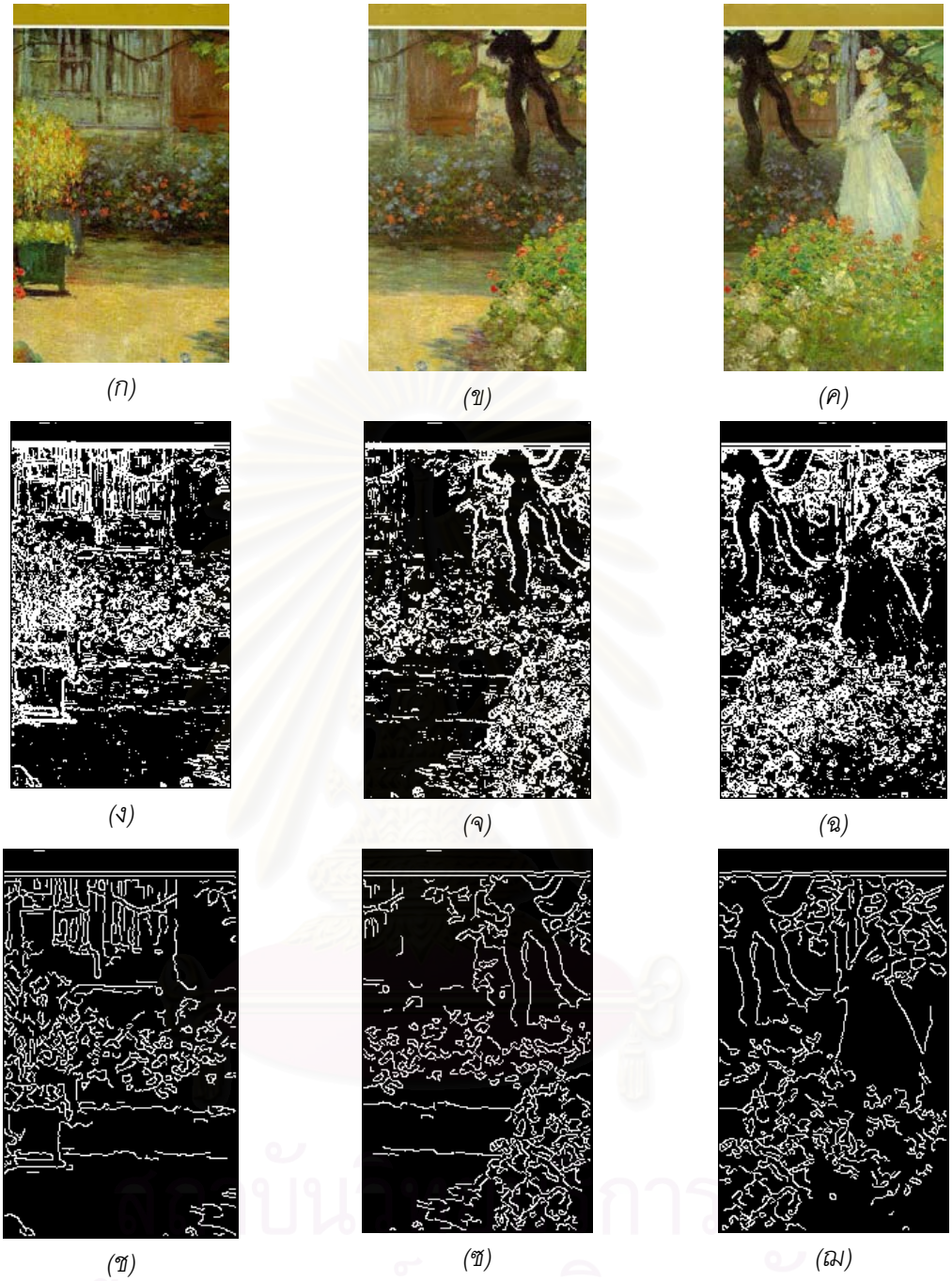
(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ)

(ฉ)

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างชุดภาพที่จัดเรียงผิดพลาดเมื่อใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel และเมื่อเปลี่ยนการหาขอบเป็นวิธี Canny แล้วจัดเรียงถูกต้อง

(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2 (ค) ภาพนำเข้าลำดับที่ 3 (ง) ภาพนำเข้าลำดับที่ 4 (จ) ภาพนำเข้าลำดับที่ 5 (ฉ) ภาพผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM โดยใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel ซึ่งเกิดความผิดพลาดของตำแหน่งการจัดเรียง



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ) (ฉ)

(ช) (ซ) (ฌ)

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบภาพขอบที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธี Sobel และวิธี Canny

(ก) ถึง (ค) ภาพต้นฉบับ (ง) ถึง (ฉ) ภาพขอบที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธี Sobel ซึ่งขอบของวัตถุในภาพบางชิ้นมีความหนาแน่นของจุดที่เป็นขอบมากจนเกือบทุกจุดภาพเป็นจุดที่เป็นขอบ

(ช) ถึง (ฌ) ภาพขอบที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธี Canny ซึ่งทำให้ขอบของวัตถุในภาพมีความหนาแน่นของจุดที่เป็นขอบลดลง

4.3.1.2 การเปรียบเทียบการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ

การทดลองนี้ได้เปลี่ยนการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบโดยใช้การ*กำหนดเป็นร้อยละของจำนวนจุดภาพทั้งหมด*หลังจากผ่านการแปลงภาพด้วยหน้ากาก Sobel ขนาด 3x3 แทนการกำหนดด้วยค่าเดียวคือ 128 ส่วนขั้นตอนการทำโมเสกภาพอื่นๆ ยังคงใช้วิธี HECM/CM โดยตั้งสมมติฐานว่าขอบภาพที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปเปรียบคู่นั้นควรจะมีความชัดเจน นั่นคือจุดภาพที่เป็นขอบนั้นควรมีค่าเกรเดียนต์สูง ซึ่งจากการสังเกตการทดลองพบว่าจุดภาพดังกล่าวมีจำนวนไม่มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ 4 ค่าคือกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 20 15 10 และ 5 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด

1) การทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 20

ผลลัพธ์จากการจัดเรียงภาพด้วยวิธี HECM/CM ซึ่งกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่า 128 ค่าเดียวนั้นมีการจัดเรียงภาพผิดพลาด 18 ชุดภาพ จาก 80 ชุดภาพโดยนับเฉพาะความผิดพลาดที่ตำแหน่งของการจัดเรียงโดยไม่รวมถึงความผิดพลาดจากการรวมสีในแต่ละคู่จุด เมื่อเปลี่ยนเป็นกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 20 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดพบว่าการจัดเรียงภาพผิดพลาดน้อยลงคือผิดพลาด 14 ชุดภาพ ชุดภาพที่แก้ไขความผิดพลาดได้ 4 ชุดภาพประกอบด้วยชุดภาพที่ 044 063 070 และ 079 โดยชุดภาพที่ 044 063 และ 079 เป็นชุดภาพที่ผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงเล็กน้อยและมีลักษณะภาพคล้ายกันคือเมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่า 128 ภาพขอบที่ได้จะมีจำนวนจุดที่เป็นขอบน้อยมากจนขอบของวัตถุบางชิ้นในภาพหายไป ส่วนชุดภาพที่ 070 เป็นชุดภาพที่ผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก ชุดภาพนี้เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่า 128 จะมีจำนวนจุดที่เป็นขอบมากเกินไปจนเกือบทุกจุดในภาพเป็นจุดที่เป็นขอบทำให้การจัดเรียงผิดพลาด

2) การทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 15 10 และ 5

หลังจากการทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 20 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดและพบว่าสามารถแก้ไขความผิดพลาดจากการจัดเรียงภาพบางลักษณะได้ ผู้วิจัยจึงทำการทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละอื่น ๆ อีก 3 ค่าได้แก่ ร้อยละ 15 10 และ 5

การทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 15 ได้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างจากกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 20 แต่เวลาที่ใช้ประมวลผลน้อยลงในบางชุดภาพ

การทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ10 สามารถแก้ไขความผิดพลาดจากการจัดเรียงภาพเพิ่มขึ้นได้อีก 2 ชุดภาพคือชุดภาพที่ 067 และ 072 ซึ่งเป็นชุดภาพที่ผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงมาก อีกทั้งใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่ากำหนดให้

จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 20 และ 15 ด้วย

การทดลองกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 5 ได้ผลลัพธ์จากการจัดเรียงมีความผิดพลาดมากกว่ากำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 10 เนื่องจากมี 2 ชุดภาพที่ใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบเป็นค่าที่ร้อยละอื่น ๆ แล้วจัดเรียงภาพได้ถูกต้อง แต่เมื่อใช้กำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 5 แล้วผลลัพธ์จากการจัดเรียงคลาดเคลื่อน ได้แก่ชุดภาพที่ 024 และ 059 ซึ่งน่าจะเกิดจากจำนวนจุดที่เป็นขอบหลังจากผ่านการกำหนดค่าขีดแบ่งเหลือน้อยเกินไปทำให้การจัดเรียงผิดพลาด

สรุปผลจากการทดลองเปลี่ยนค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบได้ว่า การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละของจำนวนจุดภาพทั้งหมดนั้นมีผลลัพธ์ของการจัดเรียงภาพถูกต้องกว่าการกำหนดค่าขีดแบ่งเป็นค่าเดียวคือ 128 และจากการเปรียบเทียบค่าร้อยละต่าง ๆ 4 ค่าพบว่าการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบที่ให้ผลลัพธ์จากการจัดเรียงถูกต้องที่สุดคือค่าที่ร้อยละ 10

4.3.2 การเปรียบเทียบวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น

การทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น ซึ่งวิธี HECM/CM ใช้การเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซก-ชันของฮิสโทแกรมในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำและใช้การเปรียบคู่ขอบด้วยค่าเฉลี่ย r.m.s. ของระยะทางแบบ 3-4 ในพีระมิดระดับต้นฉบับหรือระดับ 0 ซึ่งหลังจากวิเคราะห์ได้ว่าวิธีดังกล่าวทำให้การเรียงภาพที่มีสีคล้ายกันในทุกบริเวณของภาพผิดพลาด จึงได้ทำการเปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของภาพ โดยใช้ดัชนีวัดความคล้ายเป็นตัวเปรียบคู่ขอบควบคู่ไปกับอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมเป็นตัวเปรียบคู่สี โดยแบ่งการทดลองเป็นสองส่วนคือ การเปรียบเทียบวิธีการเปรียบคู่และการเปรียบเทียบการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น

4.3.2.1 การเปรียบเทียบวิธีการเปรียบคู่

ผลลัพธ์จากการจัดเรียงภาพจากชุดภาพทั้งหมด 80 ชุดภาพ การจัดเรียงภาพด้วยวิธี HECM/CM มีการจัดเรียงภาพผิดพลาดซึ่งนับเฉพาะความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งการจัดเรียงไม่รวมถึงความผิดพลาดจากการรวมสีในแต่ละคู่จุดจำนวน 18 ชุดภาพ เมื่อเปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่เป็นใช้ดัชนีวัดความคล้ายควบคู่ไปกับอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมสามารถแก้ไขภาพที่ผิดพลาดได้ถึง 17 ชุดภาพ และมีชุดภาพที่ใช้เวลาในการประมวลผลนานผิดปกติ 4 ชุดภาพได้แก่ ชุดภาพที่ 002 004 014 และ 016 ซึ่งเป็นชุดภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบในภาพมาก วิธีการเปรียบคู่ขอบโดยใช้ดัชนีวัดความคล้ายต้องทำการเปรียบคู่ทุกจุดภาพที่เป็นขอบซึ่งต่างจากการเปรียบคู่ด้วยวิธี HECM/CM ที่ทำการเปรียบคู่

แบบสุ่มตัวอย่าง(Sampling) ดังนั้นเมื่อใช้การเปรียบคู่ด้วยวิธีที่นำเสนอไปนี้ทำโมเสกภาพที่มีจำนวนจุดที่เป็นขอบมากจึงใช้เวลาประมวลผลนานมาก การแก้ปัญหาคือใช้การกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นหรือการกำหนดให้จำนวนจุดที่จะถูกนำมาเปรียบคู่มีน้อยลงด้วยเกณฑ์การคัดออกในแต่ละชั้นของพีระมิดนั่นเอง ดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.3.2.2 การเปรียบเทียบการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น

ในเบื้องต้นเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ดังนี้ เกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำสุดคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 70 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลางคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 80 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก และเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูงคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 90 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก ซึ่งแม้จะเป็นค่าที่สามารถคัดจุดภาพที่จะไม่นำไปพิจารณาในระดับชั้นต่อไปของพีระมิดออกไปได้มากแล้ว แต่เนื่องจากภาพที่ใช้ทำการทดลองบางชุดภาพมีขนาดใหญ่ หรือมีจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบในภาพมากทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลนาน

ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการทดลองเปลี่ยนเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นให้สามารถคัดจุดภาพที่จะไม่พิจารณาในระดับชั้นต่อไปของพีระมิดออกไปได้มากขึ้น และเปรียบเทียบความถูกต้องจากการจัดเรียงภาพเมื่อเปลี่ยนเกณฑ์การคัดออกเป็นค่าต่าง ๆ โดยทดลองเปลี่ยนเกณฑ์การคัดออก 2 ชุด ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นที่จะทดลองเปลี่ยน

การทดลองที่	พีระมิดระดับความละเอียดต่ำสุด	พีระมิดระดับความละเอียดปานกลาง	พีระมิดระดับความละเอียดสูง
1	75	85	95
2	85	90	95

การทดลองที่1 จากการจัดเรียงภาพ 4 ชุดภาพที่ใช้เวลาในการประมวลผลนานผิดปกตินั้น เมื่อทำโมเสกภาพโดยใช้เกณฑ์การคัดออกที่ปรับลดลงในการทดลองนี้พบว่ามี 2 ชุดภาพ คือชุดภาพที่ 002 และ 004 ใช้เวลาในการประมวลผลลดลง แต่อีก 2 ชุดภาพยังคงใช้เวลานานมากเช่นเดิม เนื่องจากชุดภาพดังกล่าวมีจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบในภาพมาก อีกทั้งสีของวัตถุในภาพยังคล้ายกันทั้งภาพอีกด้วย ส่วนในด้านความถูกต้องของการจัดเรียงนั้นพบว่าทุกชุดภาพยังคงมีผลลัพธ์จากการจัดเรียงถูกต้อง

เหมือนเดิม

<u>การทดลองที่2</u> จากการจัดเรียงภาพ 4 ชุดภาพที่ใช้เวลาในการประมวลผลนานผิดปกตินั้น เมื่อทำโมเสกภาพโดยใช้เกณฑ์การคัดออกที่ปรับลดลงในการทดลองนี้พบว่าทุกชุดภาพใช้เวลาประมวลผลลดลงและไม่มีชุดภาพใดที่ใช้เวลาในการประมวลผลนานผิดปกติ และในด้านความถูกต้องของการจัดเรียงนั้นพบว่าทุกชุดภาพที่ประมวลผลมีผลลัพธ์จากการจัดเรียงถูกต้องเหมือนเดิม

สรุปผลจากการทดลองเปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับขั้นได้ว่าการเปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่เป็นใช้การเปรียบคู่ขอบด้วยดัชนีความคล้ายควบคู่ไปกับการเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมนั้นได้ผลลัพธ์จากการจัดเรียงภาพมีความถูกต้องของตำแหน่งในการจัดเรียงมากกว่าวิธี HECM/CM และเกณฑ์การคัดออกที่เหมาะสมกับการเปรียบคู่ในงานวิจัยนี้คือ เกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำสุดคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 85 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลางคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 90 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก และเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูงคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 95 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก

4.3.3 การเปรียบเทียบการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้า

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพนำเข้าโดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่การเปลี่ยนการเฉลี่ยค่าสีเป็นการเฉลี่ยในแต่ละแกนของโมเดลสี RGB และการใช้การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่

1) การเปลี่ยนการเฉลี่ยค่าสีเป็นการเฉลี่ยในแต่ละแกนของโมเดลสี RGB

จากการทดลองจัดเรียงชุดภาพ 80 ชุดภาพพบว่าการรวมค่าสีในวิธี HECM/CM เกิดความผิดพลาดจากการรวมค่าสีทั้งหมด 9 ชุดภาพ ได้แก่ชุดภาพที่ 013 019 029 037 046 061 064 066 และ 074 โดยเมื่อทดลองเปลี่ยนวิธีการรวมสีในโมเดลสี HSV เป็นเฉลี่ยค่าสีในแต่ละแกนของโมเดลสี RGB ปรากฏว่าสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทั้งหมดดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.5

2) การใช้การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่

เมื่อนำการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่มาประยุกต์ใช้กับการรวมค่าสีของจุดภาพพบว่าผลลัพธ์จากการรวมภาพมีความกลมกลืนขึ้นมาก ไม่ปรากฏชั้นรอยต่ออันเนื่องจากความแตกต่างของค่าสีหรือแสงในภาพนำเข้า 2 ภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.6 ส่วนผลกระทบต่อความถูกต้องของตำแหน่งในการจัดเรียงภาพนั้น การรวมภาพแบบใช้การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่นั้นก็ไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดใด ๆ ขึ้นกับตำแหน่งของการจัดเรียงภาพลำดับถัดไปในกรณีของการจัดเรียงชุดภาพซึ่งมีภาพนำเข้ามากกว่า 2 ภาพ ซึ่งชุด

ภาพที่สามารถปรับปรุงความเป็นชั้นรอยต่อในภาพผลลัพธ์ได้มี 7 ชุดภาพ ได้แก่ชุดภาพที่ 025 056 057 059 068 071 และ 073

(ก) (ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบวิธีรวมค่าสีของจุดภาพแต่ละคู่ของชุดภาพที่ 074

(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่2

(ค) ภาพผลลัพธ์จากการเฉลี่ยค่าสีในโมเดล HSV ซึ่งมีความผิดพลาดของการเฉลี่ยค่าสี

(ง) ภาพผลลัพธ์จากการเฉลี่ยค่าสีในโมเดล RGB ซึ่งเฉลี่ยค่าสีได้ถูกต้อง

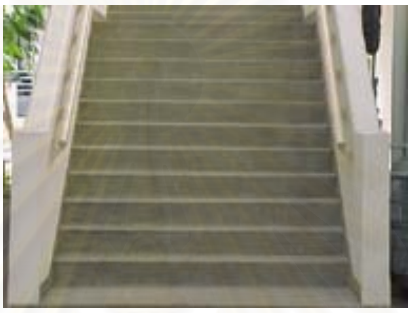
4.3.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องในการจัดเรียงภาพ

ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบความถูกต้องในการจัดเรียงภาพโดยรวมการปรับปรุงทุกส่วนในหัวข้อที่ผ่านมา ได้แก่การใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดให้จำนวนจุดที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด การใช้การเปรียบคู่ขอบด้วยดัชนีความคล้ายควบคู่ไปกับการเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมในทุกระดับชั้นของพีระมิด การกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นเป็น 85 90 และ 95 ตามลำดับความละเอียดของภาพตั้งแต่ความละเอียดต่ำสุด ความละเอียดปานกลาง และความละเอียดสูง และใช้การรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดด้วยการเฉลี่ยค่าสีในโมเดล RGB และใช้การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและการประมาณค่าในช่วงแบบ

เชิงเส้นคู่ โดยเปรียบเทียบกับการจัดเรียงภาพด้วยวิธี HECM/CM

(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการทำโมเสกชุดภาพซึ่งมีความแตกต่างของระดับแสงด้วยการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่

(ก) ภาพนำเข้าลำดับที่ 1 (ข) ภาพนำเข้าลำดับที่ 2 (ค) ภาพนำเข้าลำดับที่ 3

(ง) ภาพผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM ซึ่งเกิดเป็นชั้นรอยต่อ

(จ) ภาพผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพด้วยวิธีในงานวิจัยนี้ซึ่งมีความกลมกลืนกันเป็นภาพเดียวมากกว่า

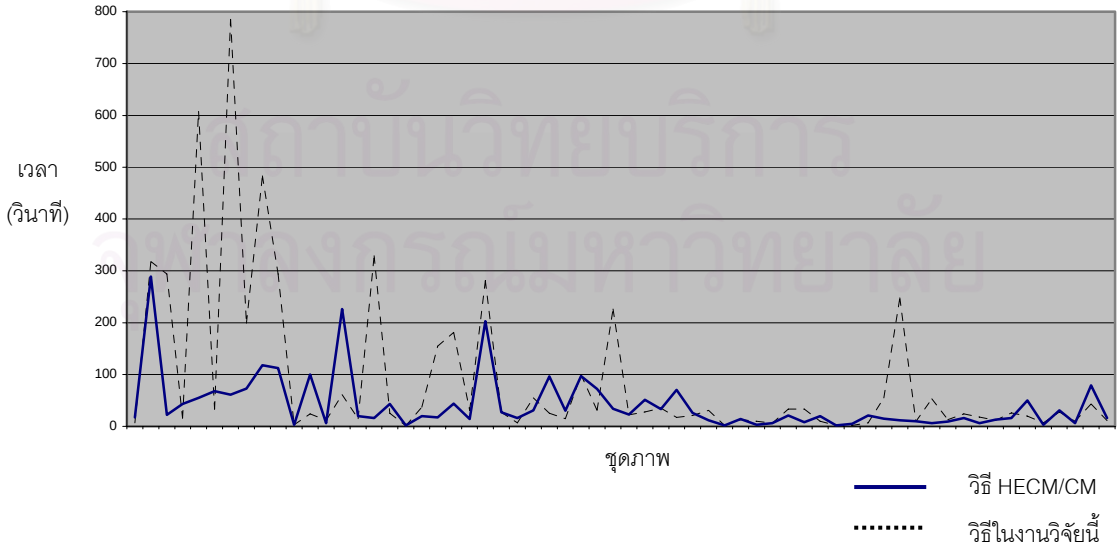
ผลการทดลองจากชุดภาพทั้งหมด 80 ชุดภาพแสดงดังตารางที่ 4.5 วิธี HECM/CM ทำโมเสกภาพได้ถูกต้อง 47 ชุดภาพ ผิดพลาด 34 ชุดภาพ โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นความผิดพลาดจากการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการจัดเรียง 18 ชุดภาพ และความผิดพลาดจากการรวมภาพ 16 ชุดภาพ ส่วนวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำโมเสกภาพได้ถูกต้อง 79 ชุดภาพ ผิดพลาด 1 ชุดภาพ ซึ่งเป็นความผิดพลาดจากการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในการจัดเรียง ผลการทดลองและภาพผลลัพธ์จากการจัดเรียงแสดงในภาคผนวก ข และภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องของการทำโมเสกภาพระหว่างวิธี HECM/CM กับวิธีในงานวิจัยนี้ ใช้ชุดภาพในการเปรียบเทียบ 80 ชุดภาพ

วิธีการทำโมเสกภาพ	ผลลัพธ์ถูกต้อง (ชุดภาพ)	ตำแหน่งการจัดเรียงผิดพลาด (ชุดภาพ)	รวมภาพผิดพลาด (ชุดภาพ)
HECM/CM	47	18	15
วิธีในงานวิจัยนี้	79	1	0

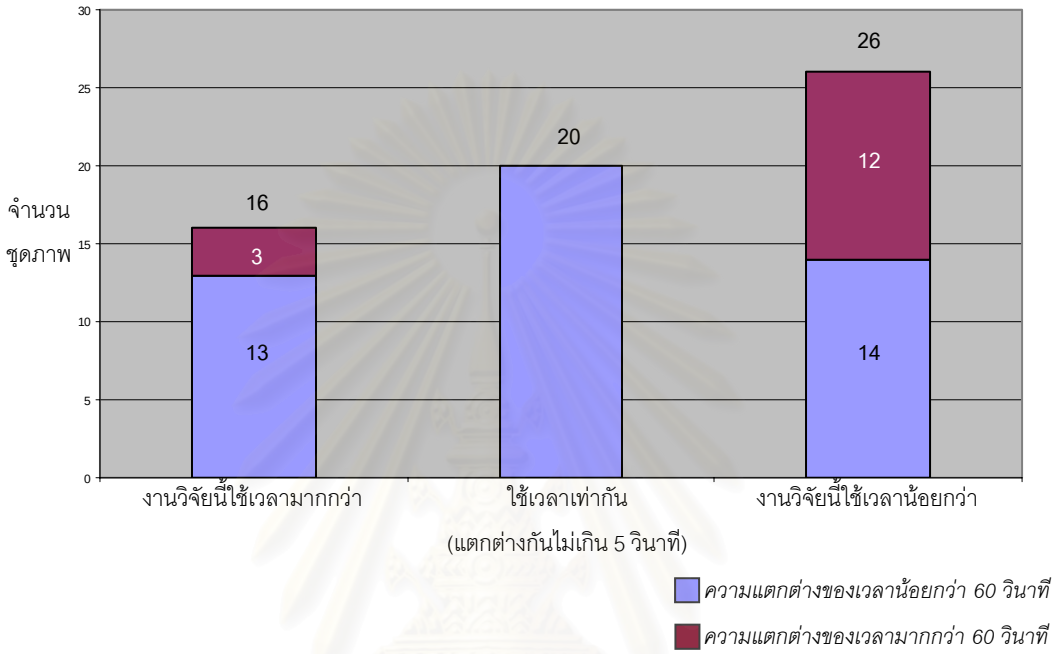
4.3.5 การเปรียบเทียบความเร็วในการทำโมเสกภาพ

ชุดภาพที่นำมาทดลองเปรียบเทียบความเร็วนั้นใช้เฉพาะชุดภาพที่ผลลัพธ์จากการจัดเรียงตำแหน่งถูกต้องเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย 62 ชุดภาพ โดยเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำโมเสกภาพระหว่างวิธี HECM/CM กับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งผลการเปรียบเทียบพบว่ามีทั้งชุดภาพซึ่งวิธีในงานวิจัยนี้ใช้เวลาน้อยกว่าและใช้เวลามากกว่า รวมถึงชุดภาพที่ใช้เวลาเท่ากันหรือแตกต่างกันไม่เกิน 5 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำโมเสกภาพ ระหว่างวิธี HECM/CM กับวิธีในงานวิจัยนี้

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าชุดภาพที่งานวิจัยนี้ใช้เวลาน้อยกว่ามี 26 ชุดภาพ โดย 12 ชุดภาพใช้เวลาน้อยกว่าเกิน 60 วินาทีขึ้นไป ในขณะที่ชุดภาพที่งานวิจัยนี้ใช้เวลามากกว่านั้นส่วนใหญ่คือ 13 ชุดภาพจาก 16 ชุดภาพ ใช้เวลามากกว่าไม่เกิน 60 วินาที



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการทำโมเสกภาพ ด้วยวิธี HECM/CM เปรียบเทียบกับวิธีในงานวิจัยนี้

สรุปการเปรียบเทียบความเร็วในการทำโมเสกภาพได้ว่า*วิธีในงานวิจัยนี้สามารถลดเวลาที่ใช้ในการทำโมเสกภาพลงได้มากเมื่อเทียบกับวิธี HECM/CM และชุดภาพที่งานวิจัยนี้ใช้เวลาในการทำโมเสกภาพมากกว่านั้นเป็นการใช้เวลามากกว่าเพียงเล็กน้อย*

4.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมดในบทนี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบภาพที่มากหรือน้อยเกินไปมีผลต่อความถูกต้องของการจัดเรียงภาพ ซึ่งการที่จะได้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบที่เหมาะสมนั้นต้องใช้ทั้งวิธีการหาขอบที่ดีและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบที่ดีประกอบกัน

2) งานวิจัยนี้ได้ทดลองเปลี่ยนวิธีการหาขอบ และเปลี่ยนการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบและพบข้อสังเกตว่าลักษณะขอบที่เหมาะสมกับการจัดเรียงภาพโมเสกนั้นควรจะมีความหนาและมีจำนวนไม่น้อยเกินไป ซึ่งเป็นลักษณะขอบที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธี Sobel แต่การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบนั้นควรจำกัดให้ขอบที่ได้มามีจำนวนไม่มากเกินไปด้วย เพราะจะส่งผลให้การ

ทำโมเสกภาพผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การหาขอบด้วยวิธี Sobel และใช้การกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดให้จำนวนจุดที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด

3) การเปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่เป็นใช้การเปรียบคู่ขอบด้วยดัชนีความคล้ายร่วมกับการเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมทำให้ความแม่นยำของการเปรียบคู่เพิ่มขึ้นมาก

4) วิธีการทำโมเสกภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับภาพหลายลักษณะมากกว่าโดยมีความถูกต้องและเวลาที่ใช้พอ ๆ กันสำหรับทุกลักษณะของชุดภาพ ในขณะที่วิธี HECM/CM จะเหมาะสมกับการจัดเรียงชุดภาพที่มีจำนวนสีในภาพมาก ส่วนภาพที่มีจำนวนสีในภาพน้อยจะมีความถูกต้องของการจัดเรียงภาพต่ำและใช้เวลานาน

5) การรวมภาพที่นำเสนอในงานวิจัยนี้รวมภาพได้ถูกต้องและไม่ทำให้การจัดเรียงตำแหน่งในภาพนำเข้าลำดับถัดไปผิดพลาด รวมทั้งภาพผลลัพธ์มีความกลมกลืนดูเป็นภาพเดียวกันมากขึ้น

6) จากการปรับปรุงวิธีการทำโมเสกภาพในด้านต่าง ๆ ที่ผ่านมาทั้งหมดทำให้ได้วิธีการทำโมเสกภาพแนวระนาบโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบวิธีใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นทั้งในด้านความถูกต้องและความเร็วในการจัดเรียงภาพ โดยในด้านความถูกต้องของการจัดเรียงนั้นวิธีการในงานวิจัยนี้สามารถจัดเรียงตำแหน่งภาพที่นำมาทดลอง 80 ชุดภาพได้ถูกต้อง 79 ชุดภาพ คิดเป็นร้อยละ 98.75 ในขณะที่วิธี HECM/CM จัดเรียงตำแหน่งภาพได้ถูกต้อง 62 ชุดภาพคิดเป็นร้อยละ 77.50 และในด้านความถูกต้องของการรวมภาพนั้นงานวิจัยนี้รวมภาพได้ถูกต้องทั้ง 79 ชุดภาพที่จัดเรียงตำแหน่งได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 100 ในขณะที่วิธี HECM/CM รวมภาพได้ถูกต้อง 47 ชุดภาพจาก 62 ชุดภาพที่จัดเรียงตำแหน่งได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 75.81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ผ่านมา สามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวิธีการทำโมเสกภาพด้วยวิธี HECM/CM โดยเน้นถึงกระบวนการจัดเรียงภาพให้มีผลลัพธ์ถูกต้องมากขึ้นเป็นสำคัญ วิธีการปรับปรุงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ การปรับปรุงวิธีการหาขอบและการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบ การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้น และการปรับปรุงการรวมภาพ โดยหลักการอื่น ๆ ของการทำโมเสกภาพอ้างอิงจากวิธี HECM/CM

การปรับปรุงวิธีการหาขอบเป็นการหาขอบด้วยวิธี Canny นั้นผลปรากฏว่าการจัดเรียงภาพมีความถูกต้องลดน้อยลงจากเดิม งานวิจัยนี้จึงยังคงใช้การหาขอบภาพด้วยวิธี Sobel แต่เปลี่ยนการกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบโดยกำหนดให้จำนวนจุดภาพที่เป็นขอบมีจำนวนเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนจุดภาพทั้งหมด

การปรับปรุงวิธีการเปรียบคู่และการกำหนดเกณฑ์การคัดออกในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคการเปรียบคู่เชิงลำดับชั้นในงานวิจัยนี้ได้เปลี่ยนวิธีการเปรียบคู่เป็นการใช้ดัชนีความคล้าย โดยใช้ควบคู่ไปกับการเปรียบคู่สีด้วยอินเตอร์เซกชันของฮิสโทแกรมในทุกระดับชั้นของพีระมิดความละเอียด โดยให้ความสำคัญกับการเปรียบคู่ขอบมากกว่าโดยกำหนดอัตราส่วนของการคิดคะแนนการเปรียบคู่ระหว่างการเปรียบคู่ขอบและคะแนนการเปรียบคู่สีเป็น 80:20 และกำหนดเกณฑ์การคัดออกในแต่ละระดับชั้นของพีระมิดดังนี้ เกณฑ์การคัดออกในพีระมิดระดับความละเอียดต่ำสุดคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 85 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก เกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดปานกลางคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 90 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก และเกณฑ์การคัดออกสำหรับพีระมิดระดับความละเอียดสูงคะแนนการเปรียบคู่ที่ต่ำกว่าค่าที่ร้อยละ 95 ของคะแนนการเปรียบคู่สูงสุดในระดับชั้นของพีระมิดจะถูกคัดออก การปรับปรุงการรวมภาพในงานวิจัยนี้ได้เปลี่ยนโมเดลสีที่ใช้เฉลี่ยค่าสีของคู่จุดภาพเป็นโมเดลสี RGB และใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่เพื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักใน

การรวมภาพ

วิธีการทำโมเสกภาพที่เสนอขึ้นมานี้ได้นำมาทดสอบกับชุดภาพ 80 ชุดภาพ ซึ่งประกอบด้วยชุดภาพที่เกิดจากการตัดส่วนจากภาพขนาดใหญ่ และภาพจริงที่ได้มาจากการรับข้อมูลโดยผ่านทางสแกนเนอร์และกล้องดิจิทัล การประเมินผลของการทำโมเสกภาพนี้มีการประเมินผล 2 ส่วน คือความถูกต้องของตำแหน่งการจัดเรียง และความถูกต้องของการรวมภาพ

ผลจากการประเมินสรุปได้ว่าวิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบซึ่งนำเสนอในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องมากกว่าวิธี HECM/CM โดยในด้านความถูกต้องของตำแหน่งการจัดเรียงสามารถจัดเรียงภาพได้ถูกต้อง 79 ชุดภาพ จาก 80 ชุดภาพคิดเป็นร้อยละ 98.75 ส่วนในด้านความถูกต้องของการรวมภาพนั้นงานวิจัยนี้รวมภาพได้ถูกต้องทั้ง 79 ชุดภาพที่มีการจัดเรียงภาพได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 100

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ยังมีส่วนที่ควรปรับปรุงหรือพัฒนาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. วิธีการจัดเรียงภาพในงานวิจัยนี้ยังคงมีปัญหาเรื่องเวลาที่ใช้ในการประมวลผลชุดภาพที่มีจำนวนขอบในภาพมาก การปรับปรุงอาจทำได้ด้วยการพัฒนาในด้านวิธีการเปรียบคู่ หรือวิธีการหาขอบและกำหนดค่าขีดแบ่งเพื่อกำหนดความเป็นขอบเพื่อให้เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงภาพลักษณะดังกล่าวลดลง

2. ปรับปรุงการควอนไทซ์สีให้เหมาะสมกับความแปรปรวนของแสงหรือสีที่เกิดจากกระบวนการรับข้อมูลซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของการจัดเรียงภาพ

3. พัฒนาวิธีการปรับภาพให้กลมกลืนขึ้น อาจใช้การเฉลี่ยค่าสีรวมทั้งชุดภาพ เพื่อให้ภาพผลลัพธ์มีความเหมือนจริงมากขึ้น

4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีการจัดเรียงภาพกับชุดภาพประเภทอื่น ๆ เช่นภาพที่มีการแปลงภาพโดยการหมุน ภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพโดยการหมุนกล้อง หรือภาพที่มีการเคลื่อนไหวภายในภาพ เพื่อสามารถสร้างภาพโมเสกได้จากภาพนำเข้าในลักษณะอื่น ๆ ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. N. Covavisaruch and P. Dhanaraks. An Image Alignment Technique for Planar Mosaicing by Hierarchical Edge-Color Matching and Chamfer Matching Methods. To appear, The 2004 International Conference on Imaging Science, System and Technology, U.S.A., 2004.
2. ปิยฉัตร ธนารักษ์. วิธีการจัดเรียงภาพโมเสกแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.
3. D. Milgram. Computer Methods for Creating Photomosaics. IEEE Transactions on Computers, 1975: 1113-1119.
4. M. J. Swain and D. H. Ballard. Indexing via Color Histograms. Third International Conference on Computer Vision, 1990: 390-393.
5. R.C.Gonzalez and R.E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.: Addison-Wesley, 1993.
6. M. Petrou and P. Bosdogianni. Image Processing. Great Britain : John Wiley & Sons. 1999.
7. L.G.Brown, A Survey of Image Registration Techniques, ACM Computing Surveys, vol. 24, 1992: 325-376.
8. A.P.Zijdenbos, B.M. Dawant, R.A. Margolin, and A.C.Palmer. Morphometric Analysis of White Matter Lesions in MR Images: Method and Validation. IEEE Transactions on Medical Imaging 13, 1994: 716-724.
9. R. Jain, R. Kasturi and B. G. Schunck. Machine Vision. Singapore: McGraw-Hill, Inc.,1995.
10. G. Otto, Graphics Short Course I: Color Theory and 2D Image Representation,
< http://viz.aset.psu.edu/gho/sem_notes/color_2d/html/primary_systems.html >, 2000.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของชุดภาพที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ

ชุดภาพที่	ประเภทของชุดภาพ	จำนวนภาพ	ขนาดของชุดภาพตามลำดับที่ 1, 2 , … , n (จุดภาพ x จุดภาพ)
001	ตัดส่วน	2	172 x 406 , 172 x 421
002	ตัดส่วน	4	156 x 200 , 140 x 208, 156 x 187, 145 x 173
003	ตัดส่วน	4	224 x 153 , 199 x 203, 198 x 202, 240 x 215
004	ตัดส่วน	5	170 x 279, 168 x 279, 168 x 279, 168 x 279, 168 x 279
005	ตัดส่วน	3	640 x 202, 640 x 218, 640 x 257
006	ตัดส่วน	3	341 x 188, 341 x 188, 341 x188
007	ตัดส่วน	5	213 x 270, 213 x 270, 213 x 270, 213 x 270, 532 x 199
008	ตัดส่วน	4	250 x 230, 250 x 230, 250 x 230, 250 x 230
009	ตัดส่วน	3	229 x 353, 250 x 230, 250 x 230
010	ตัดส่วน	4	227 x 296, 227 x 296, 227 x 296, 227 x 296
011	สแกน	4	238 x 309, 238 x 311, 238 x 328, 176 x 314
012	สแกน	2	381 x 415, 381 x 408
013	สแกน	3	338 x 288, 333 x 290, 288 x 294
014	สแกน	3	208 x 256, 208 x 277, 169 x 414
015	สแกน	3	226 x 226, 223 x 224, 337 x 194
016	สแกน	4	190 x 313, 216 x 313, 206 x 313, 185 x 313
017	สแกน	3	242 x 145, 243 x 145, 263 x 145
018	สแกน	3	179 x 246, 178 x 243, 175 x 241
019	สแกน	4	364 x 225, 364 x 250, 364 x 209, 364 x 209
020	สแกน	2	151 x 150, 158 x 151
021	สแกน	4	236 x 274, 236 x 234, 292 x 234, 292 x 261

ชุดภาพที่	ประเภทของชุดภาพ	จำนวนภาพ	ขนาดของชุดภาพตามลำดับที่ 1, 2 , ... , n (จุดภาพ x จุดภาพ)
022	สแกน	3	250 x 246, 152 x 249, 160 x 249
023	สแกน	3	203 x 239, 176 x 240, 160 x 238
024	สแกน	2	225 x 351, 225 x 351
025	สแกน	2	170 x 234, 170 x 234
026	สแกน	6	254 x 307, 250 x 286, 254 x 291, 255 x 246, 252 x 239, 251 x 253
027	สแกน	3	360 x 271, 269 x 271, 365 x 271
028	สแกน	3	251 x 255, 251 x 257, 254 x257
029	สแกน	2	248 x 232, 250 x 232
030	สแกน	2	274 x 451, 262 x 450
031	สแกน	2	467 x 326, 467 x 330
032	สแกน	3	199 x 281, 199 x 281, 199 x 281
033	สแกน	4	250 x 301 , 250 x 301, 250 x 278, 250 x 279
034	สแกน	4	237 x 239, 237 x 239, 237 x 239, 237 x 239
035	สแกน	2	274 x 292, 257 x 293
036	สแกน	3	222 x 310, 222 x 310, 222 x 310
037	สแกน	3	250 x 256, 253 x 248, 253 x 235
038	สแกน	2	262 x 375, 262 x 375
039	สแกน	2	374 x 321, 372 x 309
040	สแกน	3	370 x 179, 369 x 252, 369 x 168
041	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
042	กล้องดิจิทัล	2	192 x 144, 192 x 144
043	กล้องดิจิทัล	4	144 x 192, 144 x 192, 144 x 192, 144 x 192
044	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
045	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
046	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
047	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
048	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
029	กล้องดิจิทัล	4	186 x 97, 191 x 106, 277 x 106, 91 x 104

ชุดภาพที่	ประเภทของชุดภาพ	จำนวนภาพ	ขนาดของชุดภาพตามลำดับที่ 1, 2 , ... , n (จุดภาพ x จุดภาพ)
049	กล้องดิจิทัล	4	186 x 97, 191 x 106, 277 x 106, 91 x 104
050	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 106 x 135
051	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
052	กล้องดิจิทัล	2	192 x 144, 192 x 144
053	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144
054	กล้องดิจิทัล	2	144 x 192, 144 x 192
055	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
056	กล้องดิจิทัล	4	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
057	กล้องดิจิทัล	5	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
058	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
059	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
060	กล้องดิจิทัล	3	192 x 144, 192 x 144, 192 x 144
061	กล้องดิจิทัล	2	250 x 188, 250 x 188
062	กล้องดิจิทัล	3	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
063	กล้องดิจิทัล	4	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
064	กล้องดิจิทัล	2	250 x 188, 250 x 188
065	กล้องดิจิทัล	2	250 x 188, 250 x 188
066	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
067	กล้องดิจิทัล	3	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
068	กล้องดิจิทัล	3	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
069	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
070	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
071	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
072	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
073	กล้องดิจิทัล	4	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
074	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
075	กล้องดิจิทัล	3	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
076	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250

ชุดภาพที่	ประเภทของชุดภาพ	จำนวนภาพ	ขนาดของชุดภาพตามลำดับที่ 1, 2 , ... , n (จุดภาพ x จุดภาพ)
077	กล้องดิจิทัล	4	250 x 188, 250 x 188, 250 x 188, 250 x 188
078	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
079	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250
080	กล้องดิจิทัล	2	188 x 250, 188 x 250

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทำโมเสกภาพ

หัวข้อนี้แสดงตารางการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพแนวระนาบอย่างอัตโนมัติ โดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพระหว่างวิธีการ HECM/CM กับวิธีการในงานวิจัยนี้ โดยแบ่งเป็นการเปรียบเทียบ 3 ปัจจัยคือ ความถูกต้องของตำแหน่งในการจัดเรียงภาพ ความถูกต้องในการรวมค่าสีในแต่ละคู่จุดของภาพที่จัดเรียง และเวลาที่ใช้ในการจัดเรียงซึ่งมีหน่วยเป็นนาที โดยหากชุดภาพใดมีการจัดเรียงตำแหน่งไม่ถูกต้องจะไม่คำนึงถึงผลลัพธ์ของการรวมภาพ ภาพที่ใช้เปรียบเทียบมีทั้งหมด 80 ชุดภาพ จากภาพนำเข้า 3 ประเภทคือภาพจากการตัดส่วนจากภาพใหญ่ ภาพจากเครื่องสแกนเนอร์ และภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดภาพที่	วิธี HECM/CM			วิธีการของงานวิจัยนี้		
	การจัดเรียง	การรวมภาพ	เวลา(นาที)	การจัดเรียง	การรวมภาพ	เวลา(นาที)
001	✓	✓	0.07	✓	✓	0.17
002	✓	✓	5.18	✓	✓	4.49
003	✓	✓	4.54	✓	✓	0.22
004	✗	-	1.47	✓	✓	1.53
005	✓	✓	0.16	✓	✓	0.43
006	✓	✓	10.08	✓	✓	0.55
007	✓	✓	0.33	✓	✓	1.08
008	✓	✓	13.05	✓	✓	1.01
009	✓	✓	3.19	✓	✓	1.13
010	✓	✓	8.03	✓	✓	1.58
011	✓	✓	4.54	✓	✓	1.52
012	✓	✓	0.03	✓	✓	0.03
013	✓	✗	0.24	✓	✓	1.40
014	✗	-	37.40	✓	✓	4.01
015	✓	✓	0.11	✓	✓	0.06
016	✓	✓	1.01	✓	✓	3.46
017	✓	✓	0.15	✓	✓	0.21
018	✓	✓	5.29	✓	✓	0.16
019	✓	✗	0.25	✓	✓	0.43
020	✓	✓	0.01	✓	✓	0.02
021	✗	-	4.04	✓	✓	0.46
022	✓	✓	0.37	✓	✓	0.20
023	✓	✓	2.35	✓	✓	0.17
024	✓	✓	3.01	✓	✓	0.44
025	✓	✗	0.31	✓	✓	0.14
026	✓	✓	4.41	✓	✓	3.23
027	✗	-	13.47	✓	✓	2.42
028	✓	✓	0.27	✓	✓	0.27
029	✓	✗	0.07	✓	✓	0.16
030	✓	✓	0.55	✓	✓	0.31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดภาพที่	วิธี HECM/CM			วิธีการของงานวิจัยนี้		
	การจัดเรียง	การรวมภาพ	เวลา(นาที)	การจัดเรียง	การรวมภาพ	เวลา(นาที)
031	✓	✓	0.25	✓	✓	0.27
032	✓	✓	0.15	✓	✓	0.16
033	✓	✓	7.57	✓	✓	0.31
034	✓	✓	0.31	✓	✓	1.36
035	✓	✓	3.46	✓	✓	0.30
036	✓	✓	0.22	✓	✓	1.37
037	✓	✗	0.28	✓	✓	1.12
038	✓	✓	0.35	✓	✓	0.34
039	✓	✓	0.17	✓	✓	0.23
040	✓	✓	0.21	✓	✓	0.51
041	✓	✓	0.31	✓	✓	0.33
042	✓	✓	0.02	✓	✓	1.10
043	✓	✓	0.13	✓	✓	0.29
044	✗	-	0.52	✓	✓	0.12
045	✓	✓	0.10	✓	✓	0.02
046	✓	✗	0.06	✓	✓	0.14
047	✓	✓	0.33	✓	✓	0.09
048	✗	-	3.47	✓	✓	0.03
049	✗	-	0.03	✗	-	0.06
050	✓	✓	0.33	✓	✓	0.21
051	✓	✓	0.10	✓	✓	0.22
052	✓	✓	0.02	✓	✓	0.05
053	✗	✓	0.13	✓	✓	0.08
054	✓	✓	0.02	✓	✓	0.20
055	✓	✓	0.07	✓	✓	0.02
056	✓	✗	0.55	✓	✓	0.20
057	✓	✗	4.08	✓	✓	0.05
058	✓	✓	0.09	✓	✓	0.13
059	✓	✗	0.53	✓	✓	0.15
060	✓	✓	0.13	✓	✓	0.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดภาพที่	วิธี HECM/CM			วิธีการของงานวิจัยนี้		
	การจัดเรียง	การรวมภาพ	เวลา(นาที)	การจัดเรียง	การรวมภาพ	เวลา(นาที)
061	✓	✗	0.24	✓	✓	0.16
062	✗	-	0.21	✓	✓	0.34
063	✗	-	0.18	✓	✓	0.25
064	✓	✗	0.18	✓	✓	0.06
065	✗	-	0.19	✓	✓	0.09
066	✓	✗	0.12	✓	✓	0.13
067	✗	-	0.34	✓	✓	0.21
068	✓	✗	0.26	✓	✓	0.16
069	✓	✓	0.20	✓	✓	0.50
070	✗	-	0.23	✓	✓	0.55
071	✓	✗	0.07	✓	✓	0.06
072	✗	-	0.14	✓	✓	0.11
073	✓	✗	0.28	✓	✓	0.31
074	✓	✗	0.10	✓	✓	0.06
075	✗	-	0.20	✓	✓	0.23
076	✗	-	0.36	✓	✓	0.25
077	✓	✓	0.43	✓	✓	1.19
078	✓	✓	0.11	✓	✓	0.19
079	✗	-	0.11	✓	✓	0.08
080	✗	-	0.08	✓	✓	0.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ภาพผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพ

หัวข้อนี้แสดงภาพผลลัพธ์จากการทำโมเสกภาพแนวระนาบอย่างอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะเด่นทางด้านสีและขอบของวัตถุในภาพ โดยเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ระหว่างวิธีการ HECM/CM กับวิธีการในงานวิจัยนี้

ภาพที่ใช้ทดสอบมีทั้งหมด 80 ชุดภาพ จากภาพนำเข้า 3 ประเภทคือภาพจากการตัดส่วนจากภาพใหญ่ ภาพจากเครื่องสแกนเนอร์ และภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล โดยแสดงชุดภาพเดียวกันด้วยวิธีการสองวิธีดังกล่าว โดยภาพลำดับแรกเป็นภาพผลลัพธ์ของวิธี HECM/CM และภาพลำดับถัดไปเป็นภาพผลลัพธ์ของวิธีการในงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.1 การจัดเรียงชุดภาพที่ 001 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.2 การจัดเรียงชุดภาพที่ 001 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ค.3 การจัดเรียงชุดภาพที่ 002 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

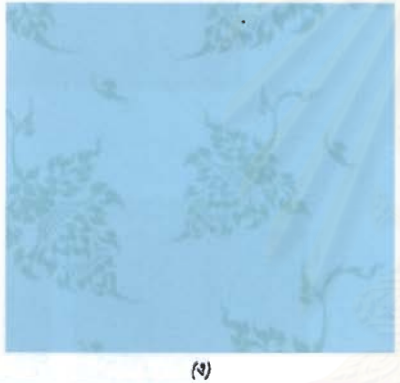
รูปที่ ค.4 การจัดเรียงชุดภาพที่ 002 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

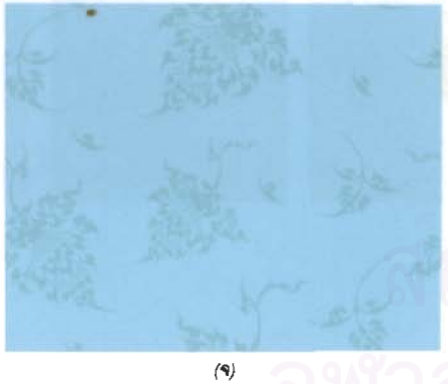
(ก)

(ข)

(ค)



(ง)



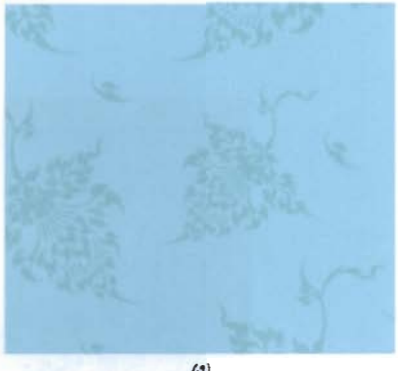
(จ)

รูปที่ ค.5 การจัดเรียงชุดภาพที่ 003 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

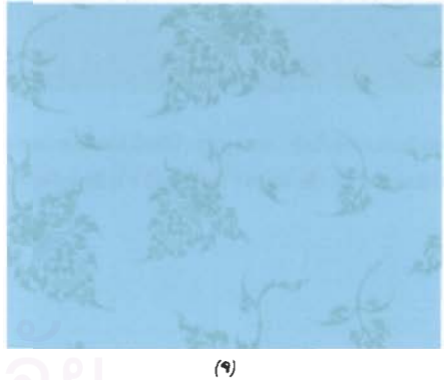
(ก)

(ข)

(ค)



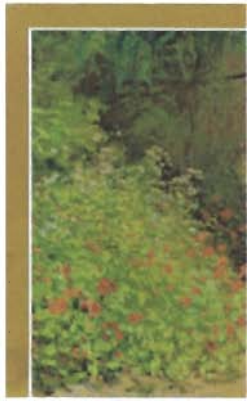
(ง)



(จ)

รูปที่ ค.6 การจัดเรียงชุดภาพที่ 003 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

(ข)

(ค)

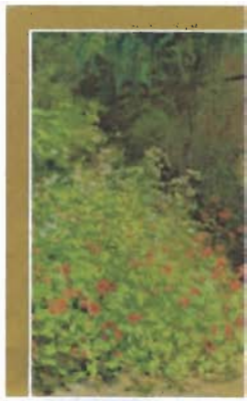
(ง)

(จ)

(ฉ)

รูปที่ ค.7 การจัดเรียงชุดภาพที่ 004 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



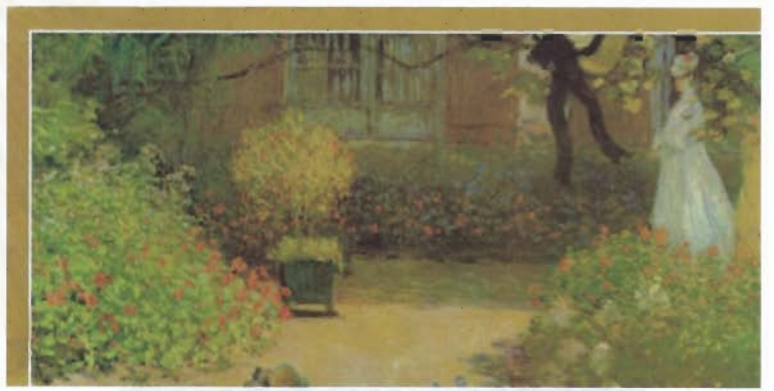
(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)



(ฉ)

รูปที่ ค.8 การจัดเรียงภาพที่ 004 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.9 การจัดเรียงภาพที่ 005 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

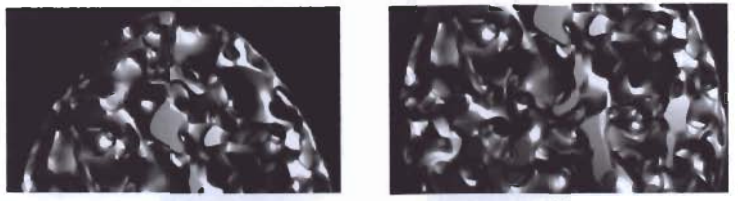
(ก)

(ข)

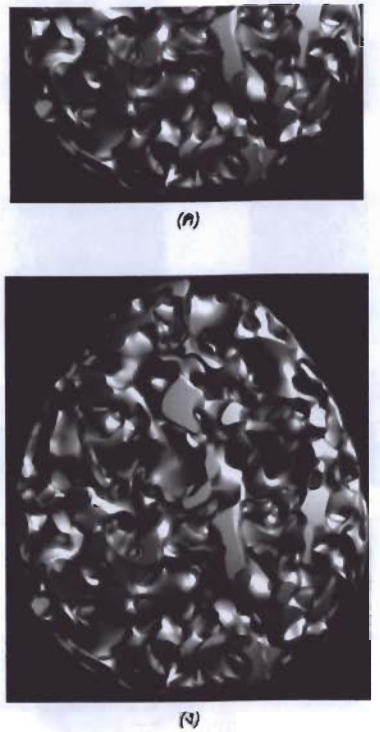
(ค)

(ง)

รูปที่ ค.10 การจัดเรียงภาพที่ 005 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



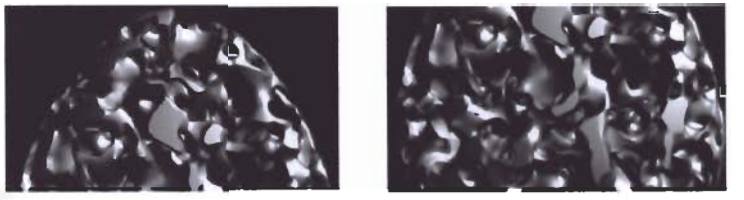
(ก) (ข)



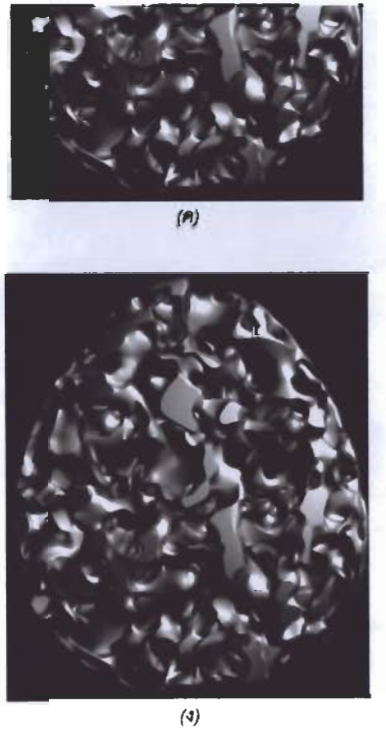
(ค)

(ง)

รูปที่ ค.11 การจัดเรียงภาพที่ 006 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ ค.12 การจัดเรียงภาพที่ 006 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

รูปที่ ค.13 การจัดเรียงชุดภาพที่ 007 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

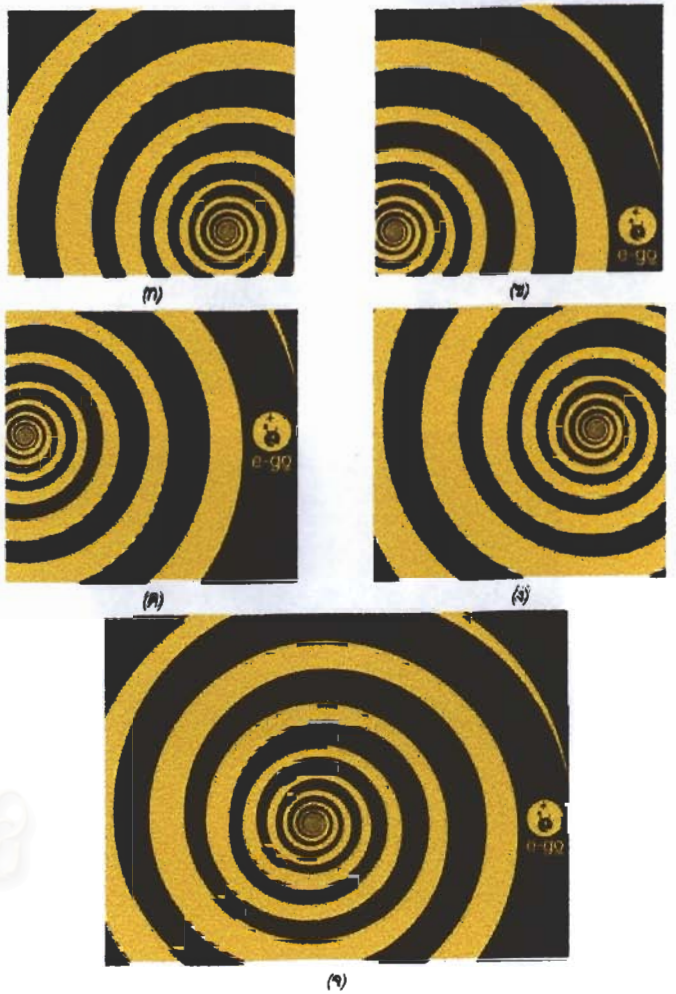
(ฉ)

รูปที่ ค.14 การจัดเรียงชุดภาพที่ 007 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ค.15 การจัดเรียงชุดภาพที่ 008 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ค.16 การจัดเรียงชุดภาพที่ 008 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

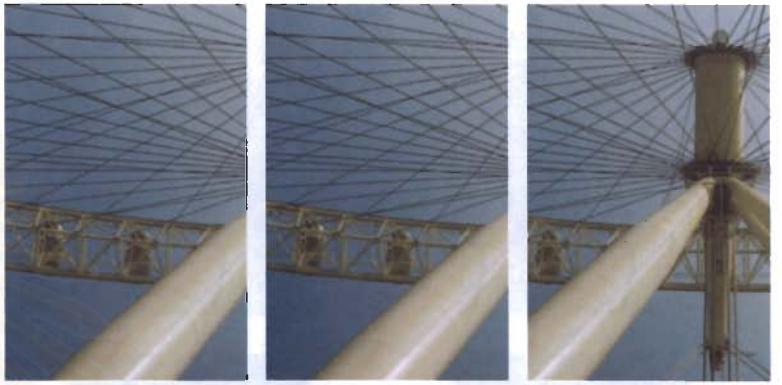
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ค.17 การจัดเรียงชุดภาพที่ 009 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ค.18 การจัดเรียงชุดภาพที่ 009 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

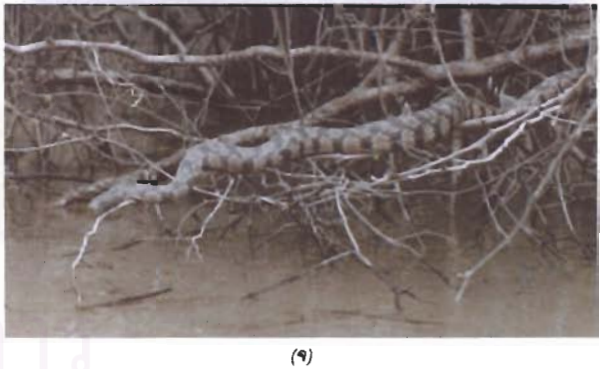
รูปที่ค.19 การจัดเรียงชุดภาพที่ 010 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ค.20 การจัดเรียงชุดภาพที่ 010 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

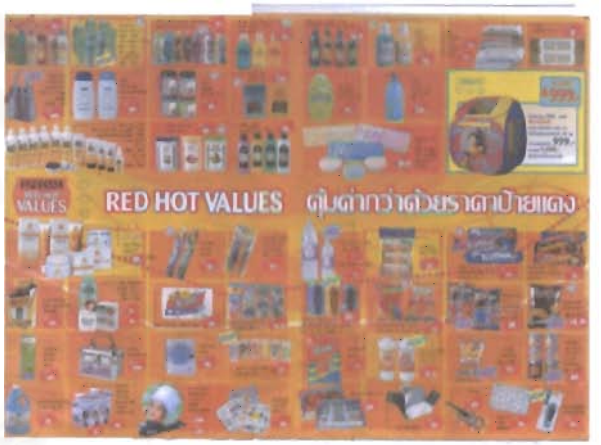
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ ค.21 การจัดเรียงชุดภาพที่ 011 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ ค.22 การจัดเรียงชุดภาพที่ 011 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.23 การจัดเรียงชุดภาพที่ 012 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

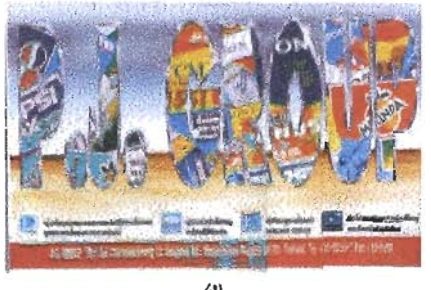
รูปที่ ค.24 การจัดเรียงชุดภาพที่ 012 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

รูปที่ ค.25 การจัดเรียงชุดภาพที่ 013 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.26 การจัดเรียงชุดภาพที่ 013 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.27 การจัดเรียงชุดภาพที่ 014 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด (ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.28 การจัดเรียงชุดภาพที่ 014 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.29 การจัดเรียงชุดภาพที่ 015 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

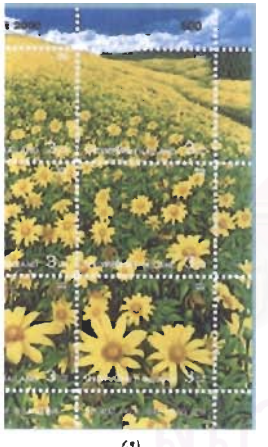
รูปที่ ค.30 การจัดเรียงชุดภาพที่ 015 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

(จ)

รูปที่ ค.31 การจัดเรียงชุดภาพที่ 016 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ ค.32 การจัดเรียงชุดภาพที่ 016 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.33 การจัดเรียงชุดภาพที่ 017 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.34 การจัดเรียงชุดภาพที่ 017 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.35 การจัดเรียงชุดภาพที่ 018 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

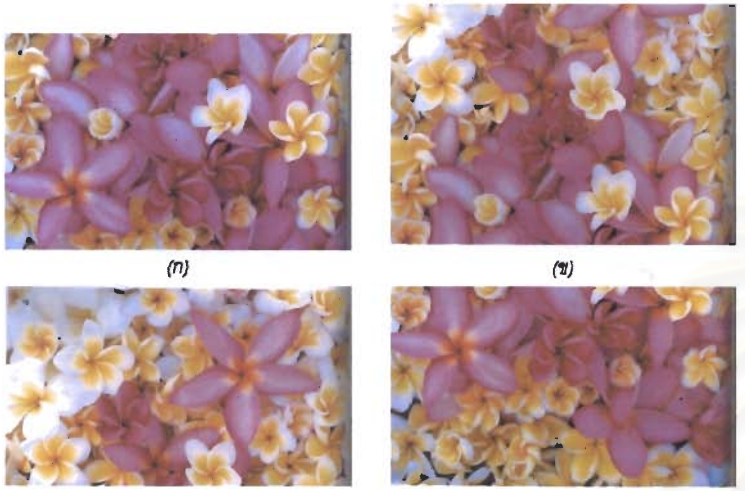
(ค)

(ง)

รูปที่ ค.36 การจัดเรียงชุดภาพที่ 018 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

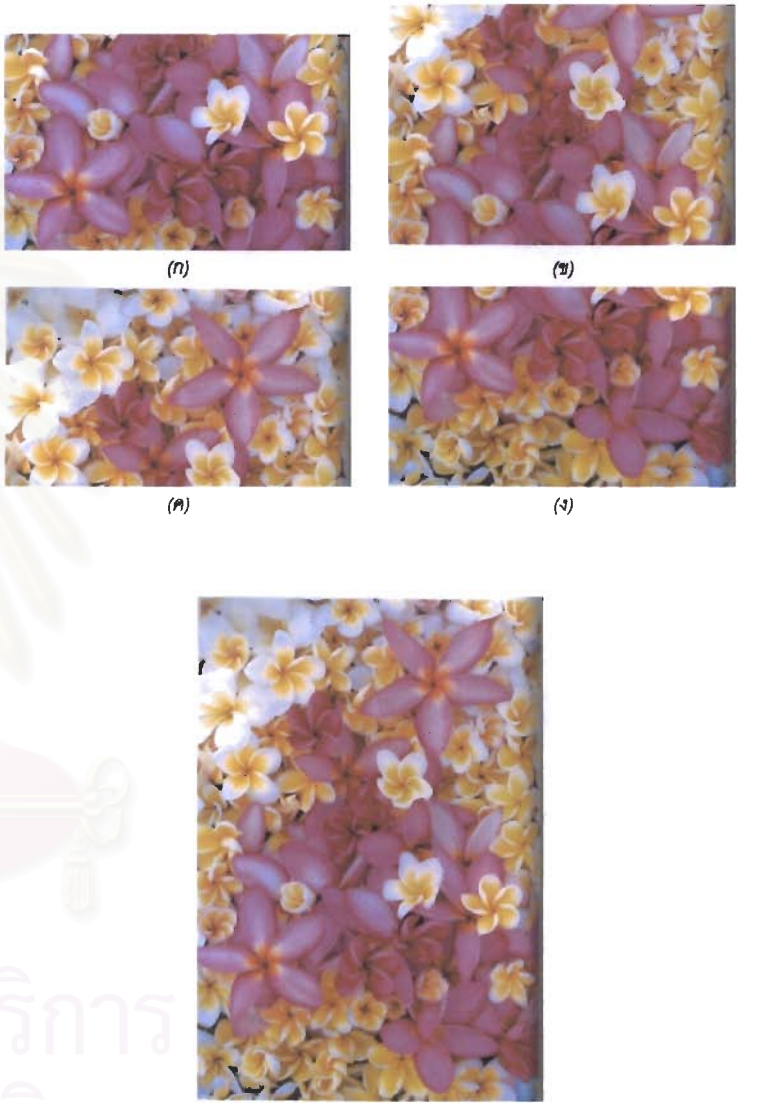
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง)

(จ)

รูปที่ ค.37 การจัดเรียงชุดภาพที่ 019 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข) (ค) (ง)

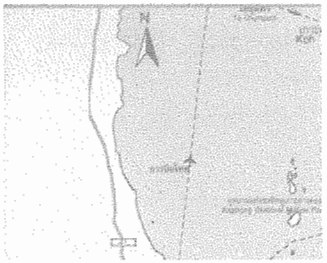
(จ)

รูปที่ ค.38 การจัดเรียงชุดภาพที่ 019 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

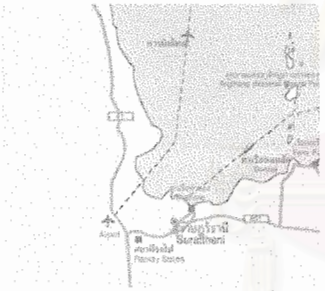
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

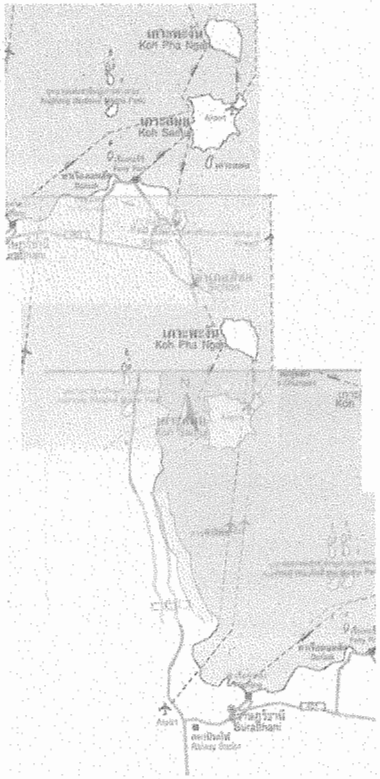
(ข)



(ค)



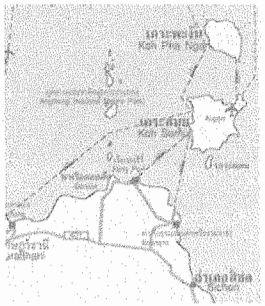
(ง)



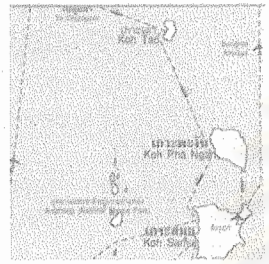
(จ)

รูปที่ ค.41 การจัดเรียงชุดภาพที่ 021 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

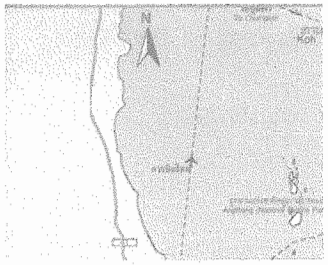
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



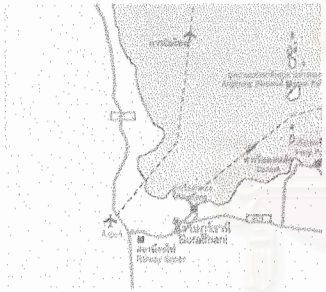
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

(จ)

รูปที่ ค.42 การจัดเรียงชุดภาพที่ 021 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ ค.43 การจัดเรียงชุดภาพที่ 022 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ ค.44 การจัดเรียงชุดภาพที่ 022 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

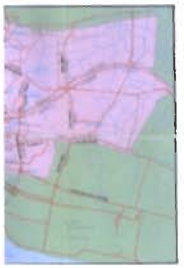
(ค)

(ง)

รูปที่ ค.45 การจัดเรียงชุดภาพที่ 023 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ ค.46 การจัดเรียงชุดภาพที่ 023 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.47 การจัดเรียงชุดภาพที่ 024 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.48 การจัดเรียงชุดภาพที่ 024 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

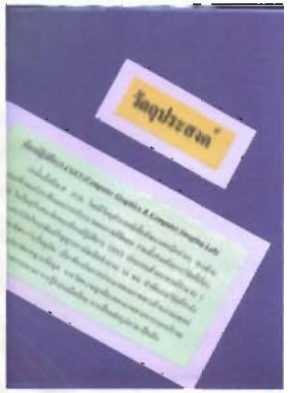
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.49 การจัดเรียงชุดภาพที่ 025 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.50 การจัดเรียงชุดภาพที่ 025 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

(ช)

รูปที่ ค.51 การจัดเรียงชุดภาพที่ 026 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ฉ) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 6 ตามลำดับ (ช) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

(ฉ)

(ช)

รูปที่ ค.52 การจัดเรียงชุดภาพที่ 026 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ฉ) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 6 ตามลำดับ (ช) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.39 การจัดเรียงชุดภาพที่ 020 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.40 การจัดเรียงชุดภาพที่ 020 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.53 การจัดเรียงชุดภาพที่ 027 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.54 การจัดเรียงชุดภาพที่ 027 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.55 การจัดเรียงชุดภาพที่ 028 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

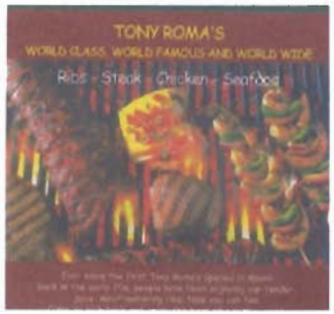
(ข)

(ค)

(ง)

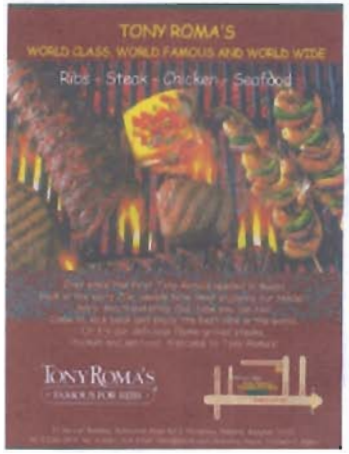
รูปที่ ค.56 การจัดเรียงชุดภาพที่ 028 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



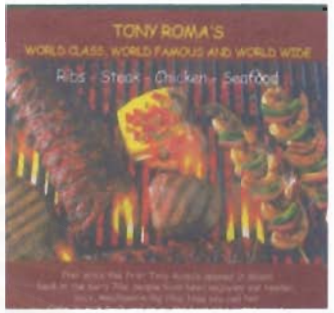
(ก)

(ข)



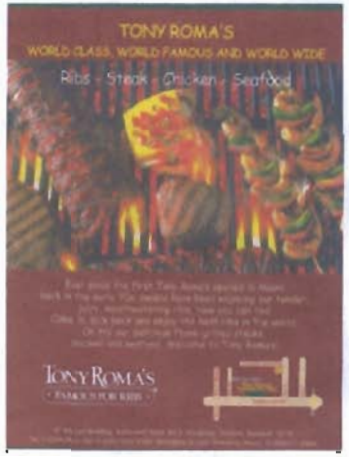
(ค)

รูปที่ ค.57 การจัดเรียงชุดภาพที่ 029 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ ค.58 การจัดเรียงชุดภาพที่ 029 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

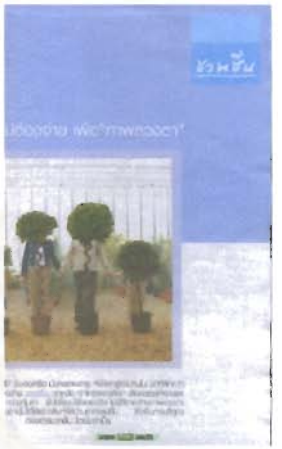
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

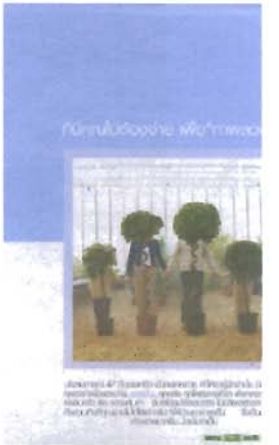
(ข)

(ค)

รูปที่ ค.59 การจัดเรียงชุดภาพที่ 030 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)

(ค)

รูปที่ ค.60 การจัดเรียงชุดภาพที่ 030 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.61 การจัดเรียงชุดภาพที่ 031 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.62 การจัดเรียงชุดภาพที่ 031 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ ค.63 การจัดเรียงชุดภาพที่ 032 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ ค.64 การจัดเรียงชุดภาพที่ 032 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ ค.65 การจัดเรียงชุดภาพที่ 033 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ ค.66 การจัดเรียงชุดภาพที่ 033 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.67 การจัดเรียงชุดภาพที่ 034 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.68 การจัดเรียงชุดภาพที่ 034 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง ('ง แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.69 การจัดเรียงชุดภาพที่ 035 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.70 การจัดเรียงชุดภาพที่ 035 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค)

(ง)

รูปที่ ค.71 การจัดเรียงชุดภาพที่ 036 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข) (ค)

(ง)

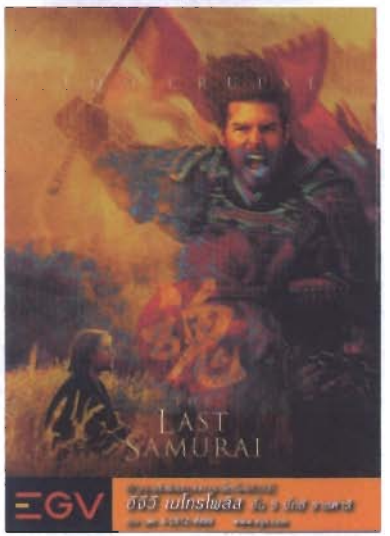
รูปที่ ค.72 การจัดเรียงชุดภาพที่ 036 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)



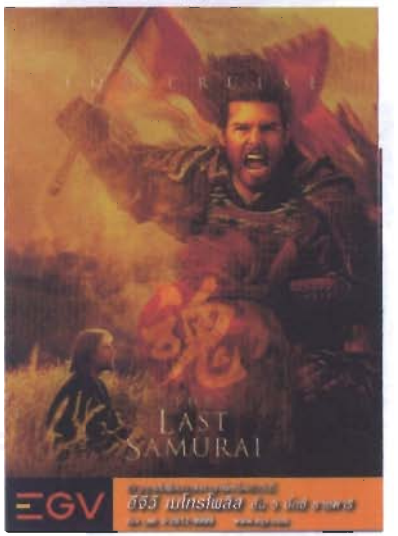
(ง)

รูปที่ ค.73 การจัดเรียงชุดภาพที่ 037 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

รูปที่ ค.74 การจัดเรียงชุดภาพที่ 037 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

(ค)

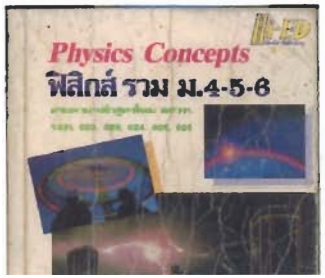
รูปที่ ค.75 การจัดเรียงชุดภาพที่ 038 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข)

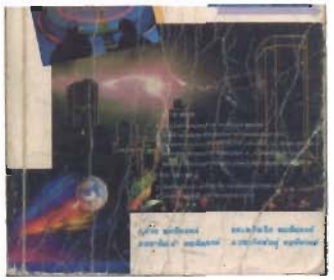
(ค)

รูปที่ ค.76 การจัดเรียงชุดภาพที่ 038 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

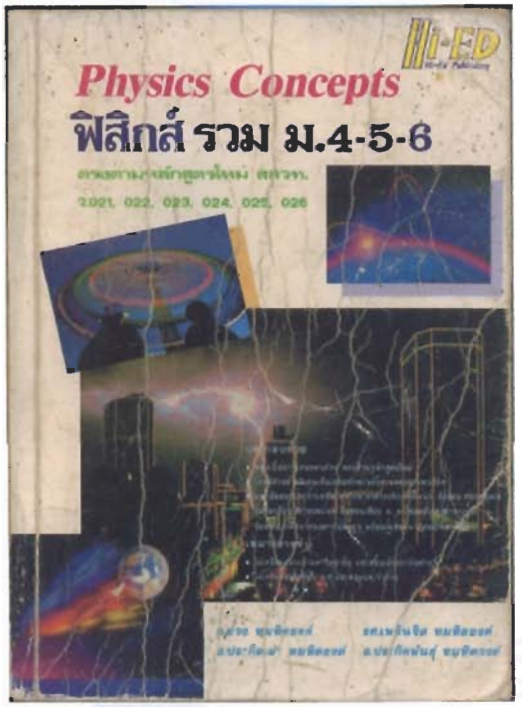
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

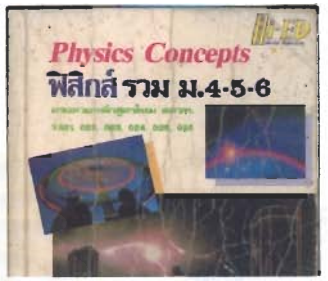


(ข)

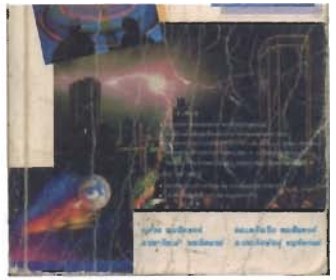


(ค)

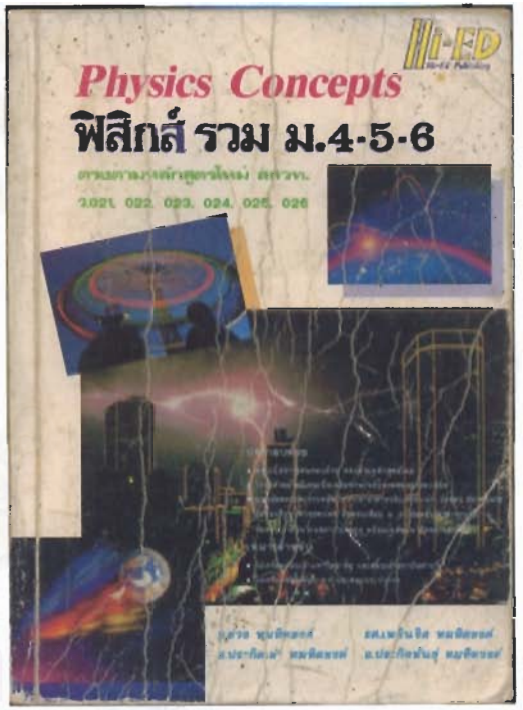
รูปที่ ค.77 การจัดเรียงชุดภาพที่ 039 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ค.78 การจัดเรียงชุดภาพที่ 039 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

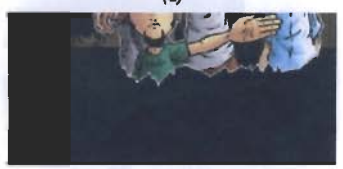
(ค)

(ง)

รูปที่ ค.79 การจัดเรียงชุดภาพที่ 040 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

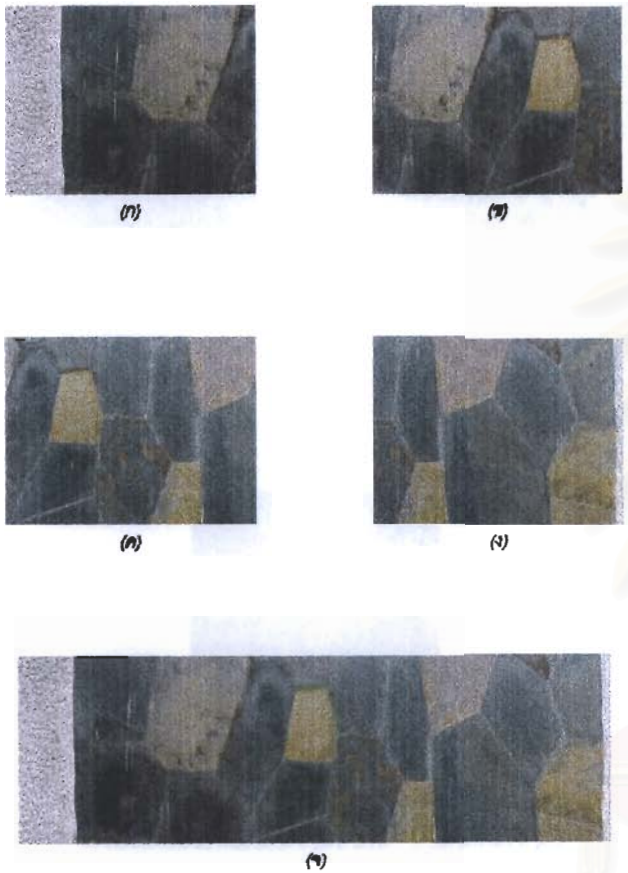


(ค)

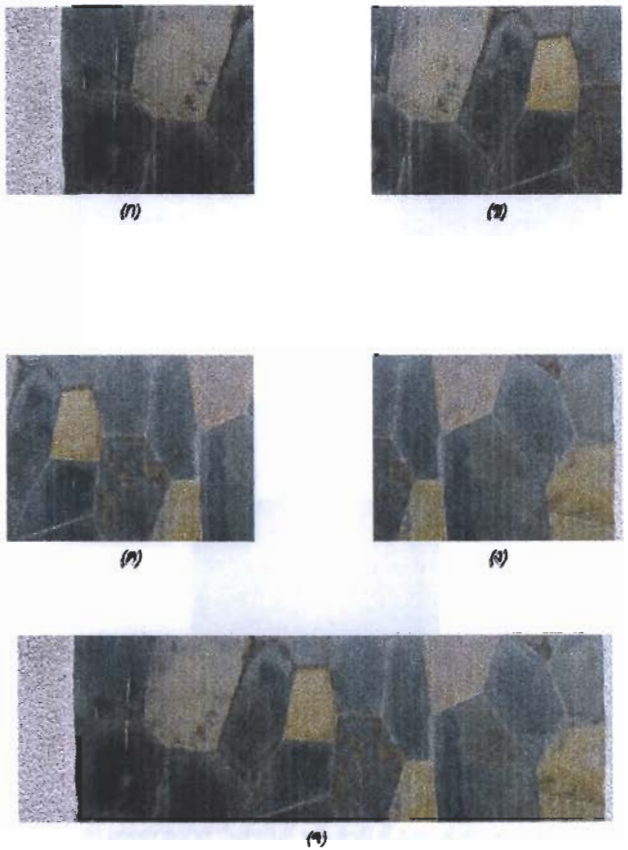
(ง)

รูปที่ ค.80 การจัดเรียงชุดภาพที่ 040 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.81 การจัดเรียงชุดภาพที่ 041 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



รูปที่ ค.82 การจัดเรียงชุดภาพที่ 041 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.83 การจัดเรียงชุดภาพที่ 042 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

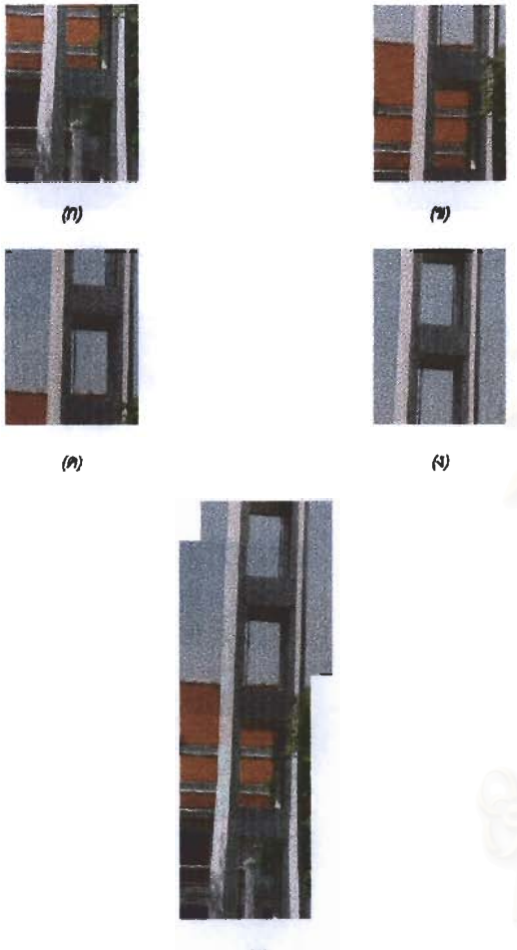
(ก)

(ข)

(ค)

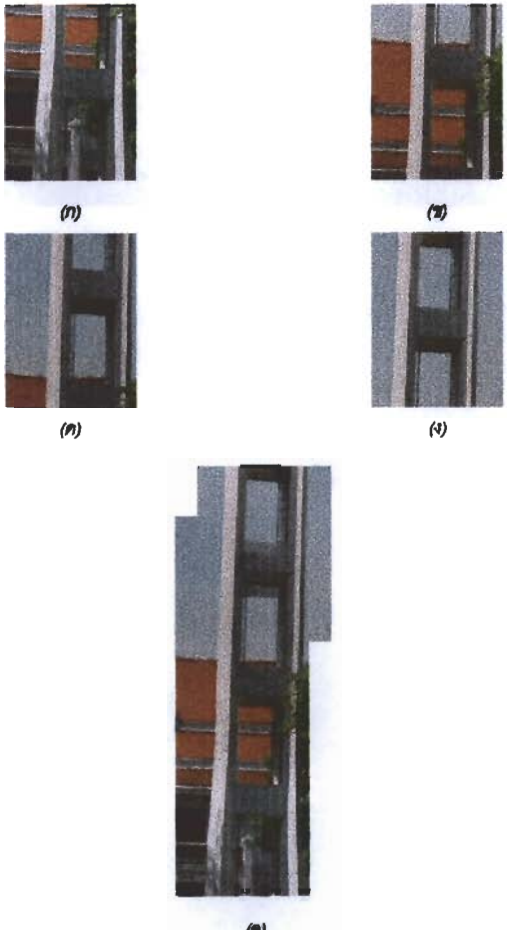
รูปที่ ค.84 การจัดเรียงชุดภาพที่ 042 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

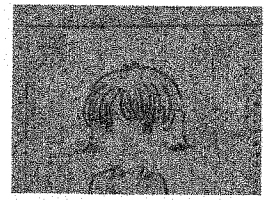
รูปที่ ค.85 การจัดเรียงชุดภาพที่ 043 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



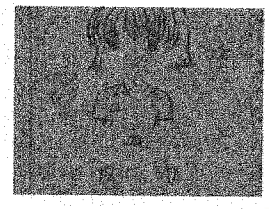
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.86 การจัดเรียงชุดภาพที่ 043 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

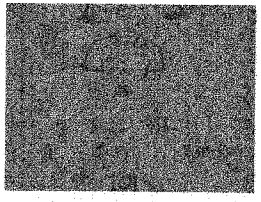
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



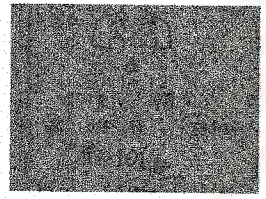
(ก)



(ข)



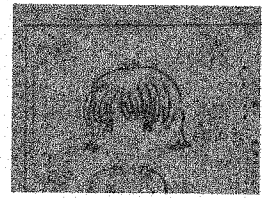
(ค)



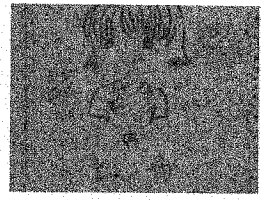
(ง)

(จ)

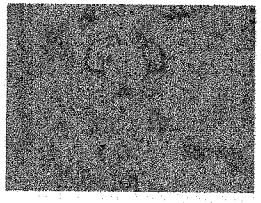
รูปที่ ค.87 การจัดเรียงชุดภาพที่ 044 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



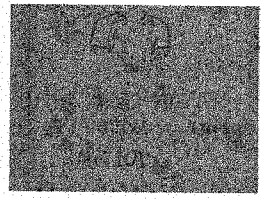
(ก)



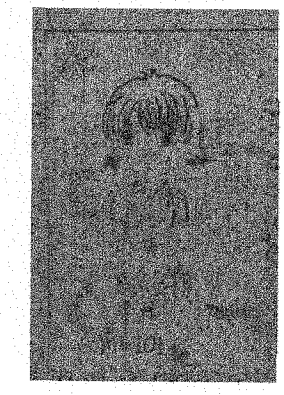
(ข)



(ค)



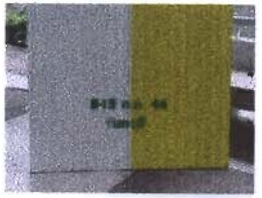
(ง)



(จ)

รูปที่ ค.88 การจัดเรียงชุดภาพที่ 044 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



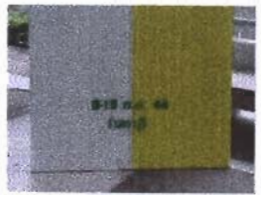
(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.89 การจัดเรียงชุดภาพที่ 045 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.90 การจัดเรียงชุดภาพที่ 045 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.91 การจัดเรียงชุดภาพที่ 046 ด้วยวิธี HECMACM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

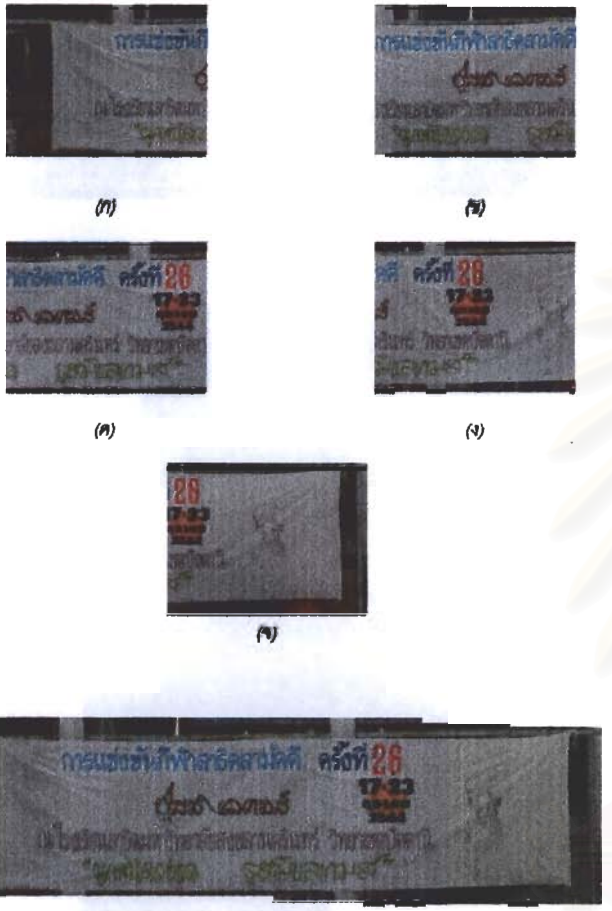
(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.92 การจัดเรียงชุดภาพที่ 046 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ ค.93 การจัดเรียงชุดภาพที่ 047 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ ค.94 การจัดเรียงชุดภาพที่ 047 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (จ) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 5 ตามลำดับ (ฉ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.95 การจัดเรียงชุดภาพที่ 048 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.96 การจัดเรียงชุดภาพที่ 048 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.97 การจัดเรียงชุดภาพที่ 049 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

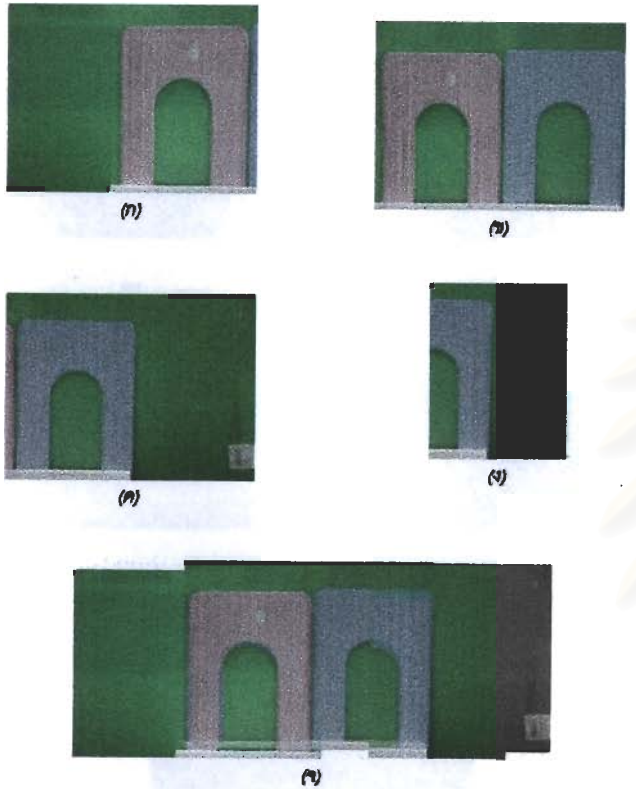
(ข)

(ค)

(ง)

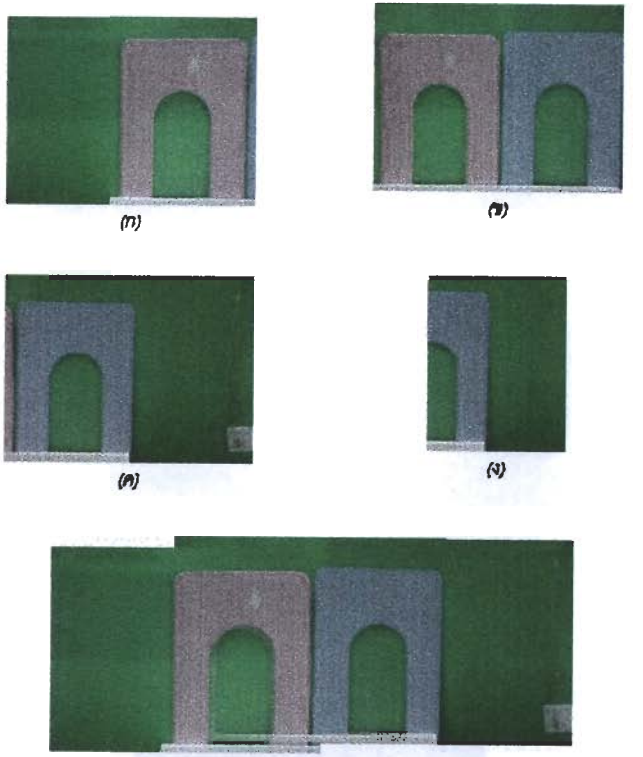
รูปที่ ค.98 การจัดเรียงชุดภาพที่ 049 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

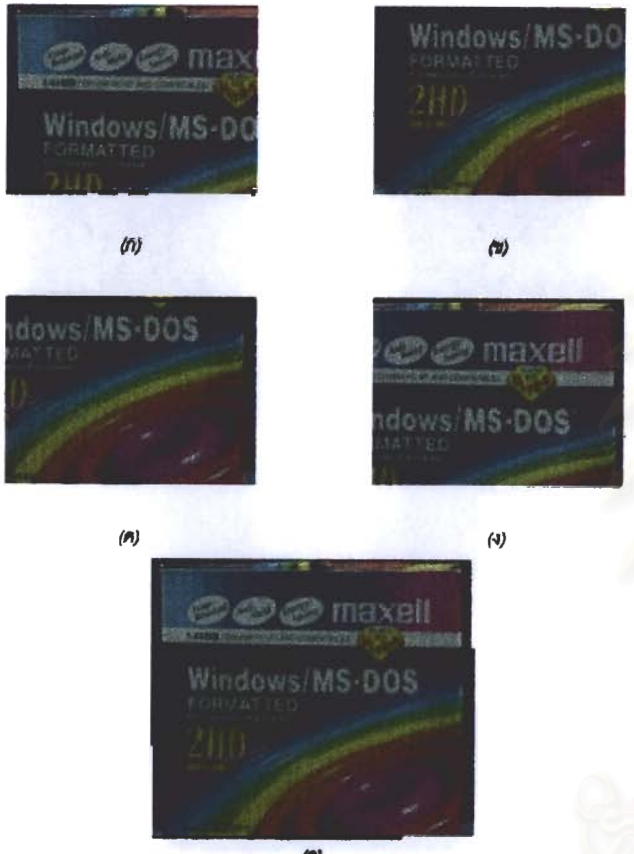
รูปที่ ค.99 การจัดเรียงชุดภาพที่ 050 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



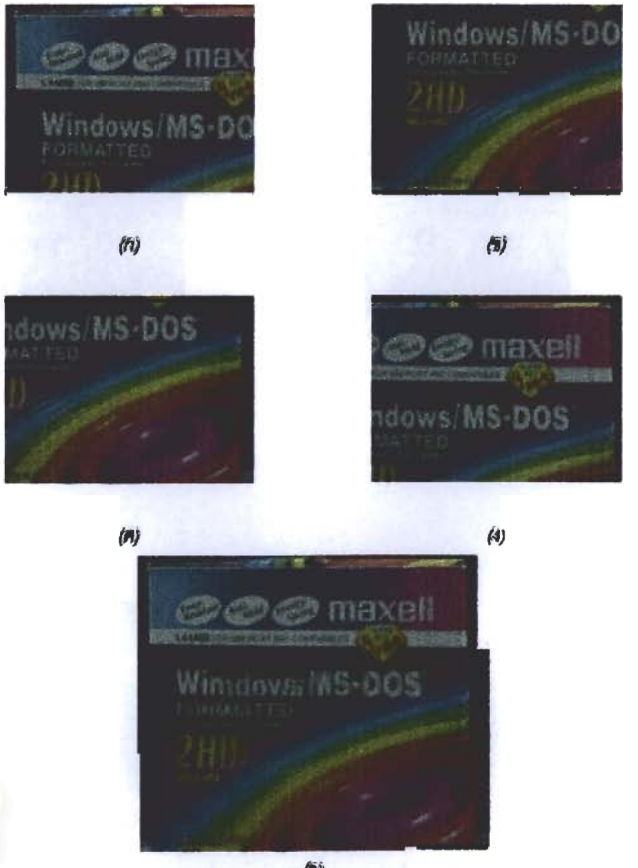
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.100 การจัดเรียงชุดภาพที่ 050 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.101 การจัดเรียงชุดภาพที่ 051 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



รูปที่ ค.102 การจัดเรียงชุดภาพที่ 051 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.103 การจัดเรียงชุดภาพที่ 052 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

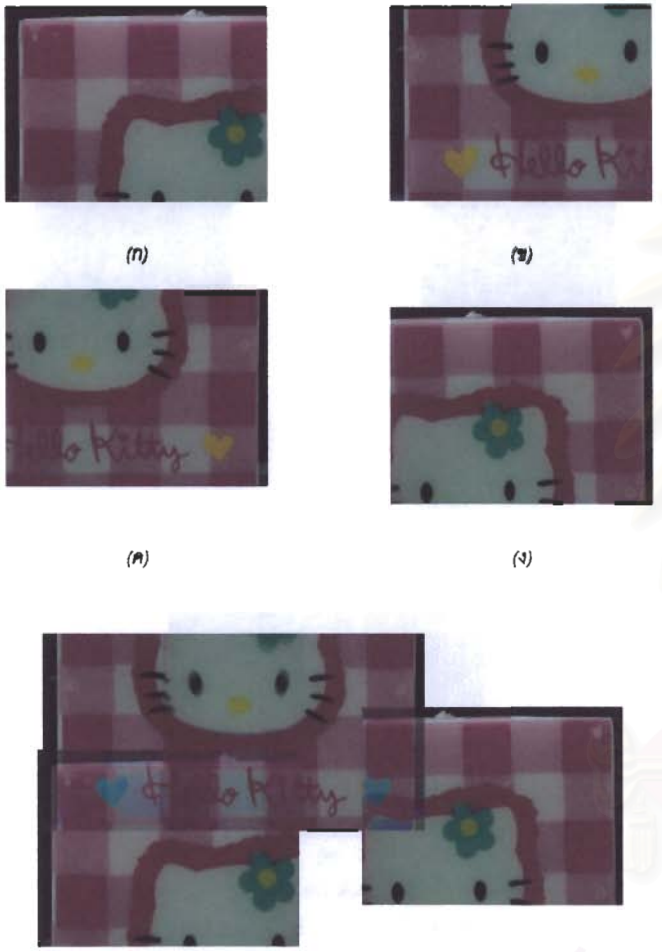
(ก)

(ข)

(ค)

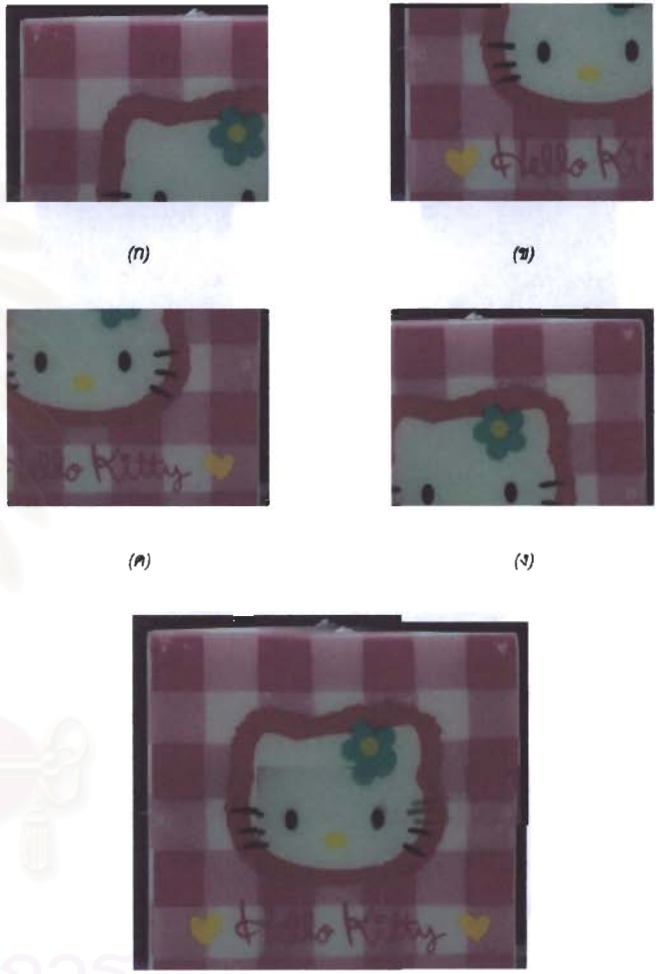
รูปที่ ค.104 การจัดเรียงชุดภาพที่ 052 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.105 การจัดเรียงชุดภาพที่ 053 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.106 การจัดเรียงชุดภาพที่ 053 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.107 การจัดเรียงชุดภาพที่ 054 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.108 การจัดเรียงชุดภาพที่ 054 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.109 การจัดเรียงชุดภาพที่ 055 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.110 การจัดเรียงชุดภาพที่ 055 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

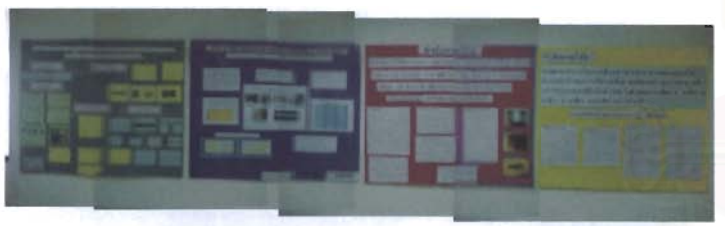
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ ค.111 การจัดเรียงชุดภาพที่ 056 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

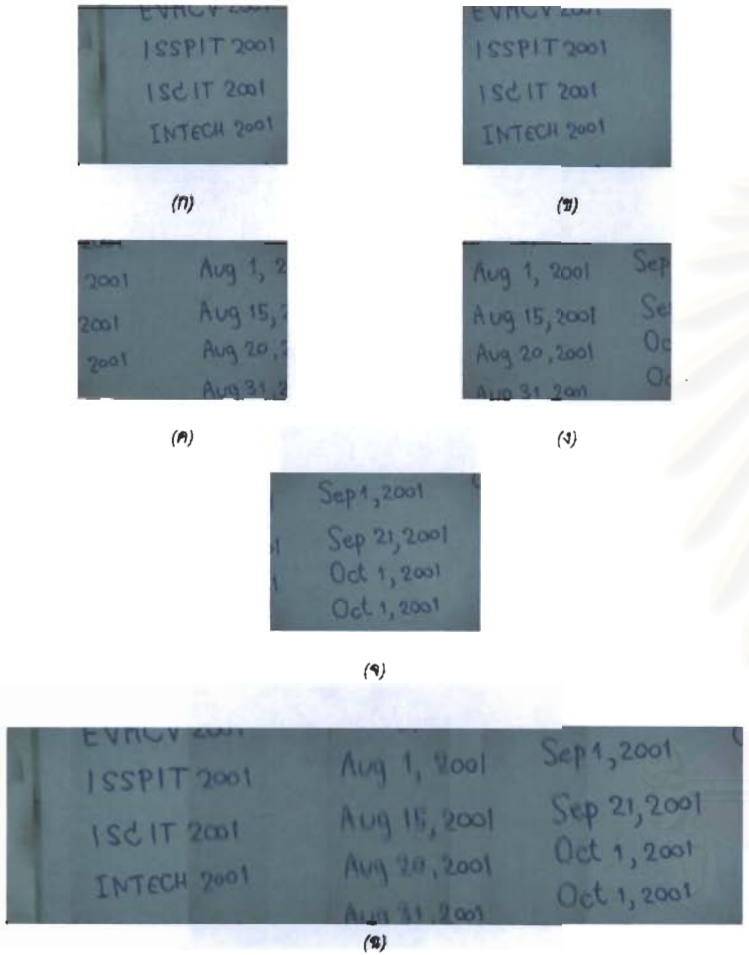
(ค)

(ง)

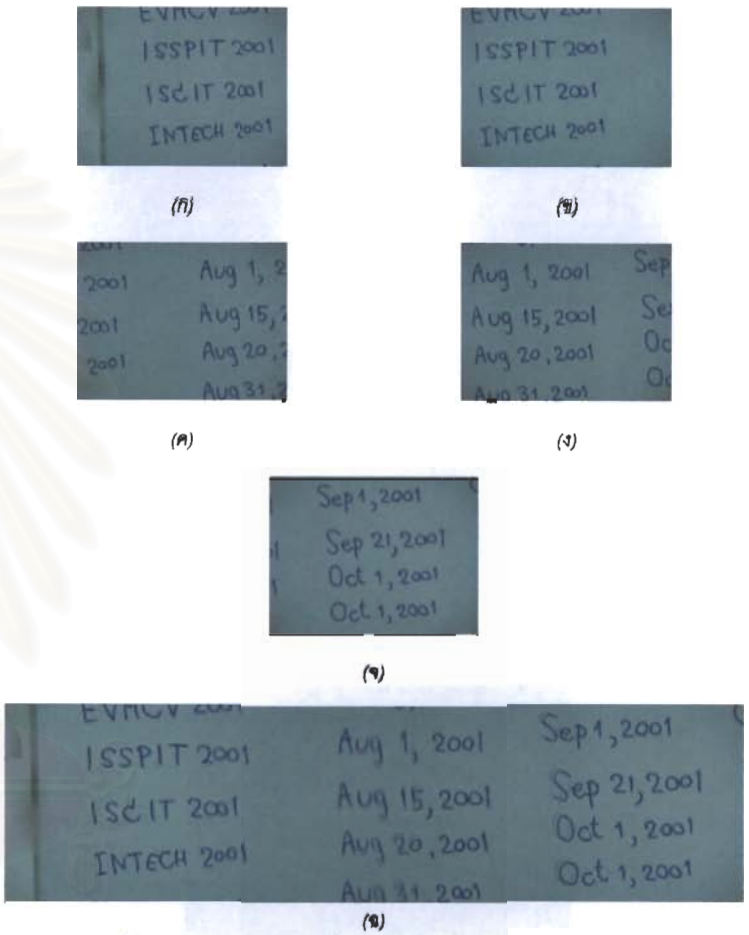
(จ)

รูปที่ ค.112 การจัดเรียงชุดภาพที่ 056 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.113 การจัดเรียงชุดภาพที่ 057 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



รูปที่ ค.114 การจัดเรียงชุดภาพที่ 057 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.115 การจัดเรียงชุดภาพที่ 058 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.116 การจัดเรียงชุดภาพที่ 058 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.117 การจัดเรียงชุดภาพที่ 059 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.118 การจัดเรียงชุดภาพที่ 059 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.119 การจัดเรียงชุดภาพที่ 060 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

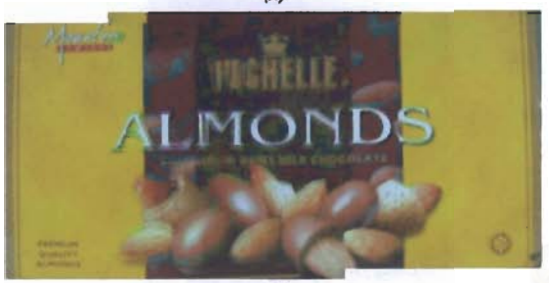
(ง)

รูปที่ ค.120 การจัดเรียงชุดภาพที่ 060 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

(ค)



(ง)

รูปที่ ค.121 การจัดเรียงชุดภาพที่ 061 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.122 การจัดเรียงชุดภาพที่ 061 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง

(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.123 การจัดเรียงชุดภาพที่ 062 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

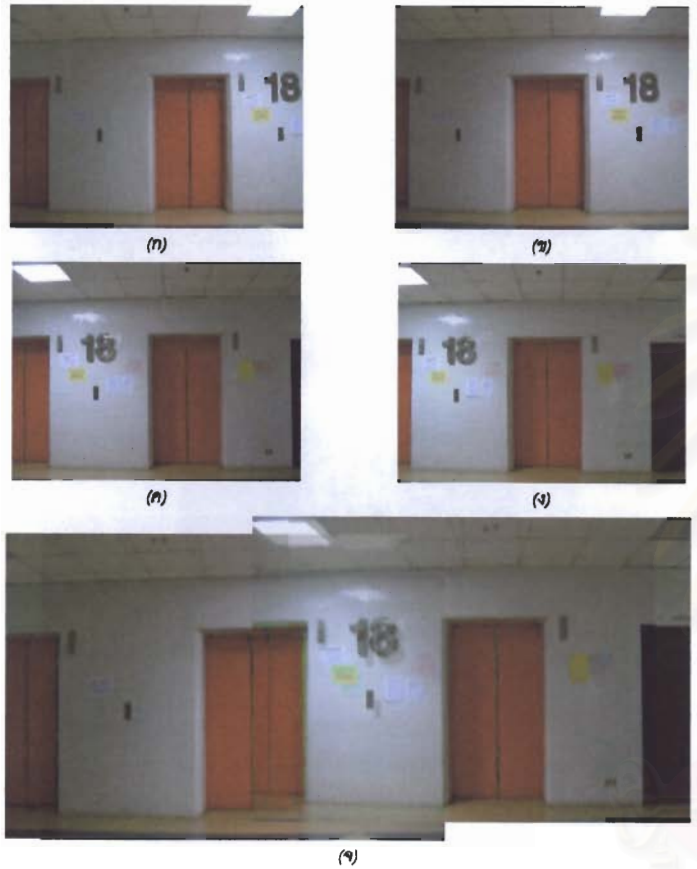
(ก) (ข)

(ค)

(ง)

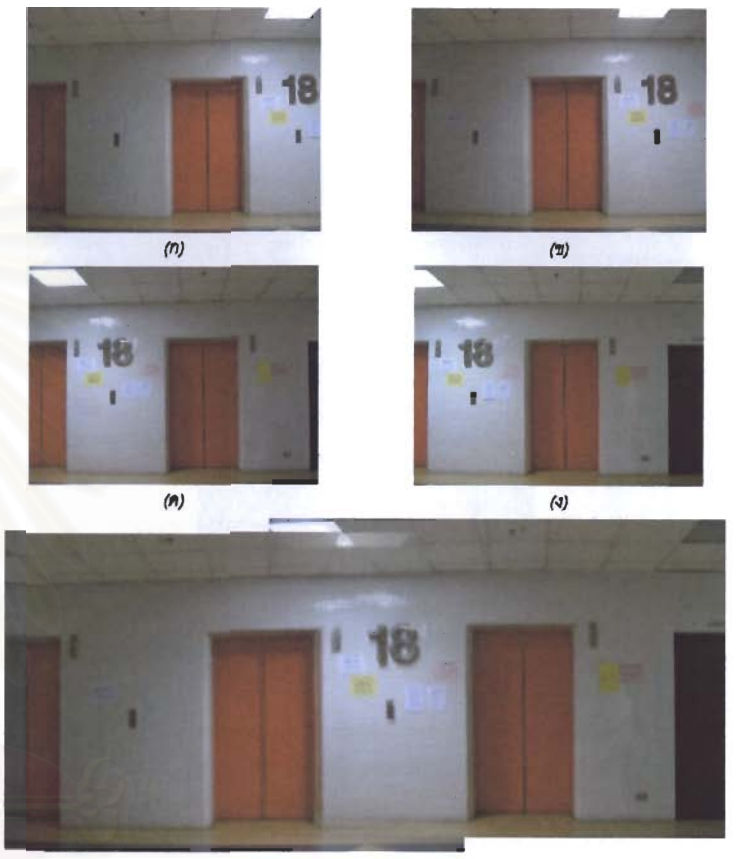
รูปที่ ค.124 การจัดเรียงชุดภาพที่ 062 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.125 การจัดเรียงชุดภาพที่ 063 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.126 การจัดเรียงชุดภาพที่ 063 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.127 การจัดเรียงชุดภาพที่ 064 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.128 การจัดเรียงชุดภาพที่ 064 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.129 การจัดเรียงชุดภาพที่ 065 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.130 การจัดเรียงชุดภาพที่ 065 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.131 การจัดเรียงชุดภาพที่ 066 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.132 การจัดเรียงชุดภาพที่ 066 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.133 การจัดเรียงชุดภาพที่ 067 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.134 การจัดเรียงชุดภาพที่ 067 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.135 การจัดเรียงชุดภาพที่ 068 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

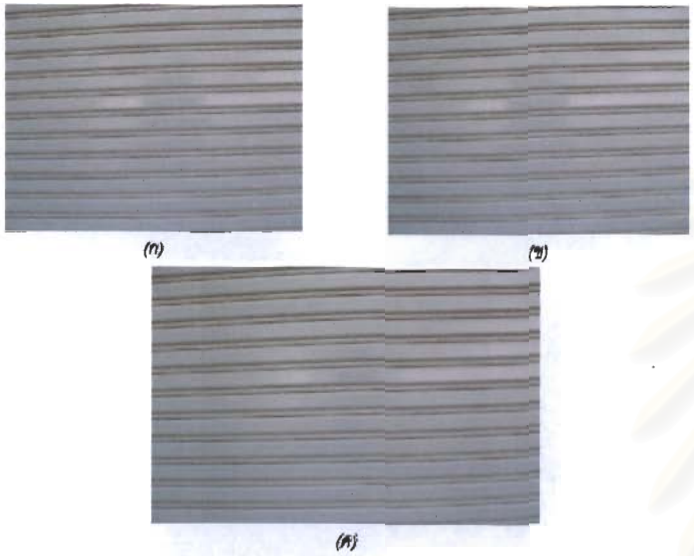
(ข)

(ค)

(ง)

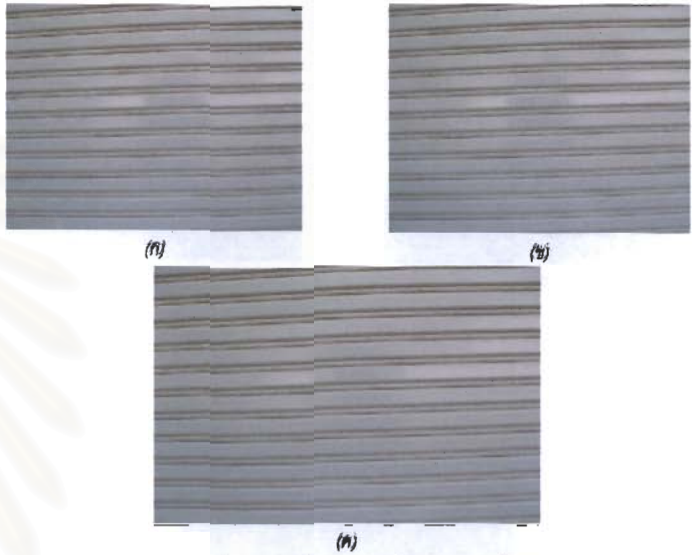
รูปที่ ค.136 การจัดเรียงชุดภาพที่ 068 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ ค.137 การจัดเรียงชุดภาพที่ 069 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



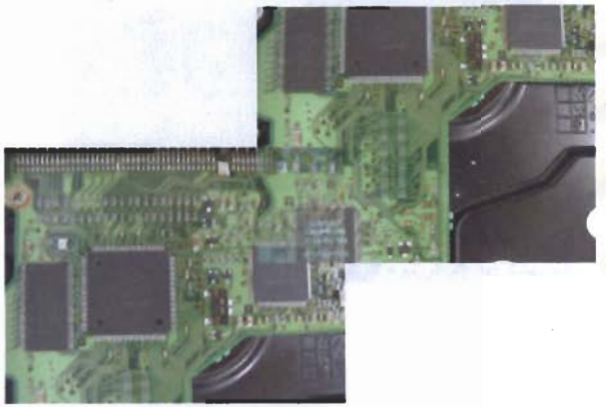
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ ค.138 การจัดเรียงชุดภาพที่ 069 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

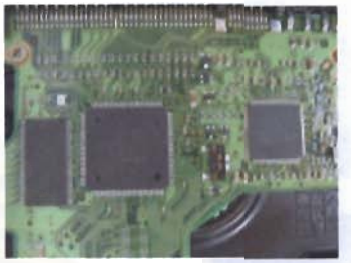
(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ ค.139 การจัดเรียงชุดภาพที่ 070 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



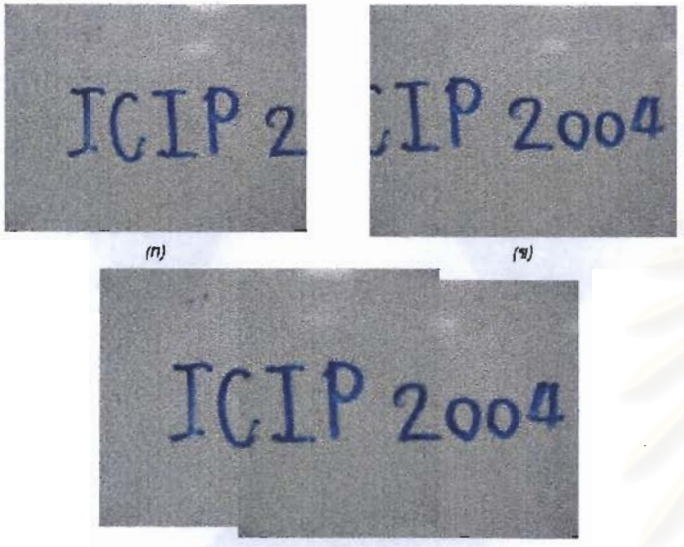
(ก)

(ข)

(ค)

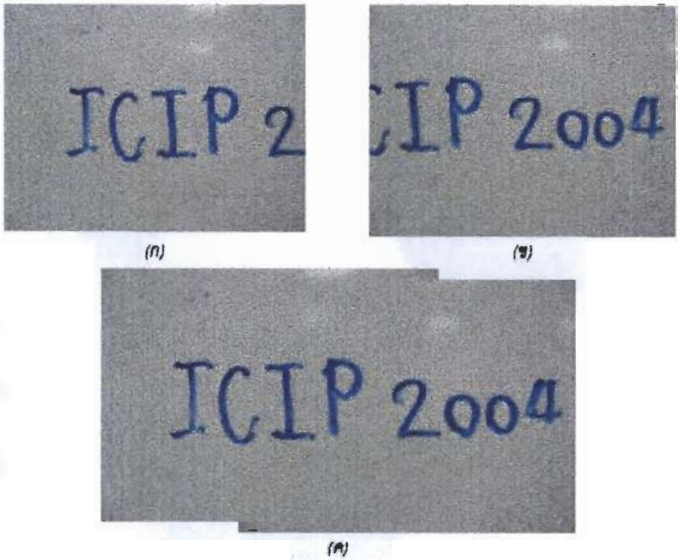
รูปที่ ค.140 การจัดเรียงชุดภาพที่ 070 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ ค.141 การจัดเรียงชุดภาพที่ 071 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ ค.142 การจัดเรียงชุดภาพที่ 071 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ ค.143 การจัดเรียงชุดภาพที่ 072 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ ค.144 การจัดเรียงชุดภาพที่ 072 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ ค.145 การจัดเรียงชุดภาพที่ 073 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ ค.146 การจัดเรียงชุดภาพที่ 073 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.147 การจัดเรียงชุดภาพที่ 074 ด้วยวิธี HECM/CM - รวมภาพผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.148 การจัดเรียงชุดภาพที่ 074 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ ค.149 การจัดเรียงชุดภาพที่ 075 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ค) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 3 ตามลำดับ (ง) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

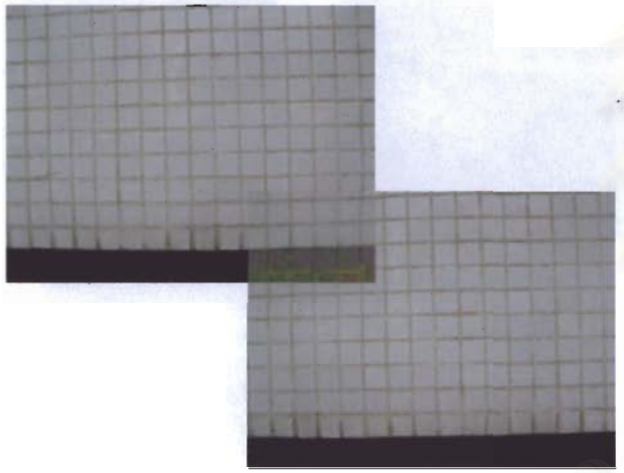
(ง)

รูปที่ ค.150 การจัดเรียงชุดภาพที่ 075 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

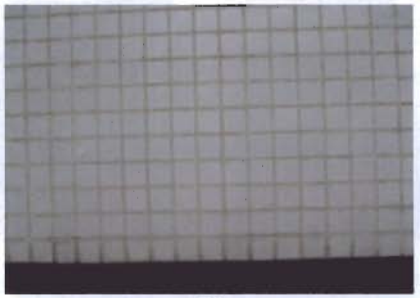


(ค)

รูปที่ ค.151 การจัดเรียงชุดภาพที่ 076 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

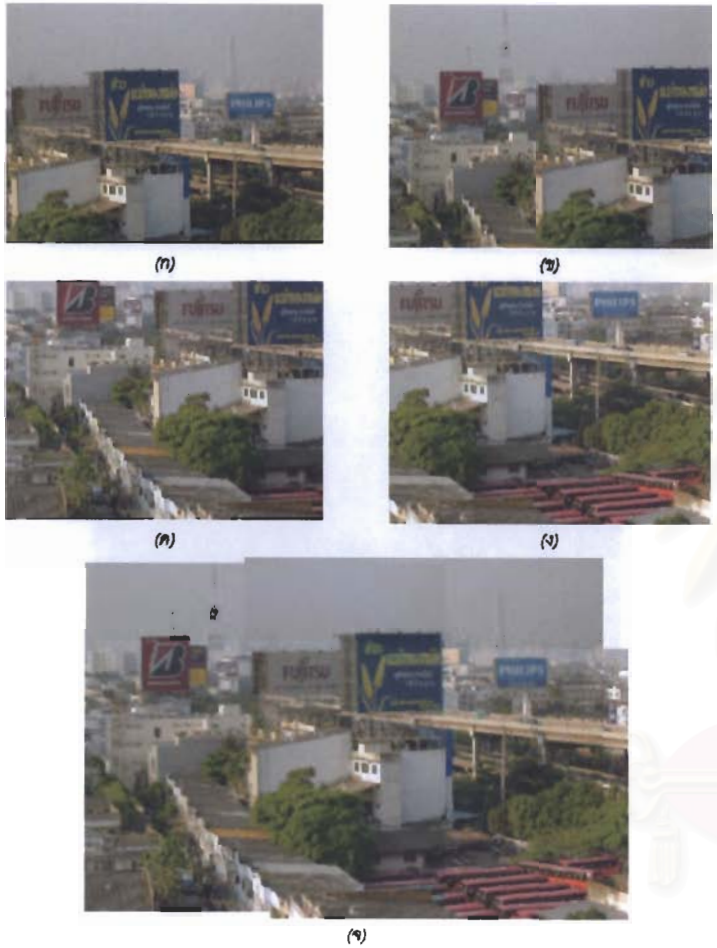
(ข)



(ค)

รูปที่ ค.152 การจัดเรียงชุดภาพที่ 076 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.153 การจัดเรียงชุดภาพที่ 077 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ ค.154 การจัดเรียงชุดภาพที่ 077 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ง) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 4 ตามลำดับ (จ) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.155 การจัดเรียงชุดภาพที่ 078 ด้วยวิธี HECM/CM - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.156 การจัดเรียงชุดภาพที่ 078 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.157 การจัดเรียงชุดภาพที่ 079 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ ค.158 การจัดเรียงชุดภาพที่ 079 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ ค.159 การจัดเรียงชุดภาพที่ 080 ด้วยวิธี HECM/CM - จัดเรียงตำแหน่งผิดพลาด
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ ค.160 การจัดเรียงชุดภาพที่ 080 ด้วยวิธีของงานวิจัยนี้ - ผลลัพธ์ถูกต้อง
(ก) ถึง (ข) แสดงภาพนำเข้าในลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 2 ตามลำดับ (ค) ภาพผลลัพธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนครินทร์ ตังคะพิภพ เกิดวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย