

วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพโดยการใช้วิธีวัดเชิงคุณภาพและวิธีวัดเชิงปริมาณร่วมกัน



นางสาวนันทนา อินรุ่งโรจน์

สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0433-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN IMAGE SEGMENTATION VALIDATION APPROACH USING A COMBINATION OF QUALITATIVE
AND QUANTITATIVE METHODS



Miss Nantana Tinroongroj

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0433-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพโดยการใช้วิธีวัดเชิงคุณภาพและวิธีวัดเชิงปริมาณร่วมกัน
โดย	นางสาวนันทนา ชินรุ่งโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โค้ววิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โค้ววิสารัช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธราทิพย์ สุวรรณศาสตร์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญธีร์ เครือตราฐ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นันทนา อินรุ่งโรจน์: วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพโดยการใช้วิธีวัดเชิงคุณภาพและวิธีวัดเชิงปริมาณร่วมกัน (AN IMAGE SEGMENTATION VALIDATION APPROACH USING A COMBINATION OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE METHODS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.นงลักษณ์ ไควาวิสารัช, 110 หน้า. ISBN 974-03-0433-8.

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีใหม่เพื่อใช้วัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนคือ วิธีวัดผสมผสานเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งรวบรวมข้อดีของวิธีวัดเชิงคุณภาพโดยให้ผู้วัดมีส่วนร่วมให้เห็นในการวัด และข้อดีของวิธีวัดเชิงปริมาณโดยวัดความถูกต้องของภาพที่ประเมินจากทั้งบริเวณและขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ร่วมกัน ลักษณะสำคัญของวิธีวัดผสมผสานเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณคือการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในภาพตามความเห็นของผู้วัดโดยการใช้ค่าน้ำหนักแตกต่างกันตามระดับความสำคัญและการใช้วิธีวัดเชิงปริมาณทั้งแบบค่านิ่งถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักและแบบค่านิ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักร่วมกัน ซึ่งผู้วัดต้องกำหนดด้วยว่าวิธีวัดแบบใดสำคัญกว่า วิธีวัดที่นำเสนอสามารถนำไปใช้วัดความถูกต้องของภาพที่แบ่งส่วนได้ที่มีหลายวัตถุ โดยสามารถวัดได้ทั้งแบบรวมวัตถุหรือแยกวัตถุก็ได้ ผลการวัดเป็นเลขผสมผสานที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยที่ค่า 1 หมายถึงถูกต้องสมบูรณ์ ส่วนค่า 0 หมายถึงไม่มีความถูกต้อง ร่วมกับตัวอธิบายภาพต่าง ๆ ได้แก่ ซิกเนเจอร์ของบริเวณส่วนขาดและส่วนเกิน ช่องโหว่ในภาพ เปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ซ้อนทับ เปอร์เซ็นต์ของส่วนเกินและเปอร์เซ็นต์ของส่วนขาด เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมให้แก่ผู้วัด

งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมสถิติวิธีวัดที่นำเสนอเพื่อทดสอบการนำไปใช้งาน จากการทดลองพบว่าผลของวิธีวัดที่นำเสนอสามารถแสดงความถูกต้องของภาพได้ชัดเจนกว่าผลของวิธีวัดเชิงปริมาณวิธีใด ๆ และมีค่าสอดคล้องในทำนองเดียวกับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงคุณภาพ นอกจากนี้วิธีวัดที่นำเสนอที่มีการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยนั้นให้ผลการวัดที่ชัดเจนกว่าไม่มีการกำหนด และเมื่อกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณแตกต่างกัน ผลของวิธีวัดที่นำเสนอจะมีค่าต่างกันด้วย อีกทั้งการวัดแบบแยกวัตถุทำให้ผู้วัดสามารถวิเคราะห์ภาพได้ละเอียดกว่าการวัดแบบรวมวัตถุ และแม้ว่าวิธีวัดที่นำเสนอจะมีลักษณะของวิธีวัดเชิงคุณภาพรวมอยู่ ผลการวัดก็ไม่แปรปรวนเท่าวิธีวัดเชิงคุณภาพ

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4270380221 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: SEGMENTATION/ VALIDATION METHOD/ QUALITATIVE/QUANTITATIVE/WEIGHT

NANTANA TINROONGROJ : AN IMAGE SEGMENTATION VALIDATION APPROACH
USING A COMBINATION OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE METHODS. THESIS
ADVISOR : ASST. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH, 110 pp. ISBN 974-03-0433-8.

This research presents a new segmentation validation method, namely, "Qualitative and Quantitative Methods for Segmentation Validation Approach". This method combines the advantage of qualitative methods in that it allows users to blend their opinion in the segmentation validation process, and the advantage of quantitative methods in that it evaluates the image from both region and boundary of segmented areas. The main characteristics of this method are as follows: defining different weights to different sub-regions depending upon level of importance, and applying one region-based quantitative method and one boundary-based quantitative method in the process. Besides, users have to define which quantitative method is more important. The proposed method can be used with the images that consist of several segmented areas either by comparing segmented areas in groups or by comparing all areas at once. The result is a "combined number" which ranges from 0, totally incorrect, to 1, perfectly correct. Apart from the combined number, many image descriptors are provided to give more validation details. These descriptors are signatures of exceeding areas and missing areas, holes, and percentages of intersecting areas, missing areas and exceeding areas.

In this research, a demonstrative program is also developed for testing the proposed method. The experiments reveal that the results from the proposed method yield clearer correctness than those from other existing quantitative methods. The results also correspond to those from the existing qualitative method. Moreover, it has been found that, when using weights in sub-regions, the proposed method gives more obvious results. Different priorities of quantitative methods expose different results. Results from comparing in groups of segmented areas provide more details than those from comparing all areas at once. Lastly, the results from the proposed method are found to be accurate even though it adopts the character of qualitative method.

Department	Computer Engineering	Student's signature
Field of study	Computer Engineering	Advisor's signature
Academic year	2001	Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.นงลักษณ์ ไควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นและแนวทางในการวิจัยตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาของท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ เสนอข้อคิดเห็นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการ CGCI ทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะพี่อุรวิรัฐ วัฒนชนม์ พี่สุภาพร บุญญฤทธิ และพี่ศพล ธนะทิพานนท์ ซึ่งแม้จะเรียนจบแล้วแต่ก็ยังให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ ด้วยดี นอกจากนี้คือ พี่กันตา กิตยานันท์ พี่ปิยฉัตร ธนารักษ์ และรัตนา แสงผ่องแผ้ว ที่ฟันฝ่าอุปสรรคมาพร้อมกัน รวมถึงชาตฉกรรจ์ ไพบูลย์สิริกุล และน้องกำธร สิมมามี ซึ่งแม้จะมีงานยุ่ง แต่ก็ยังปลื้มเวลามาให้คำแนะนำ กำลังใจ และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้

ขอขอบคุณรชา โรจนตรีคุณสำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกท่านซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้ลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำลังใจ ความเข้าใจและความอบอุ่นแก่ผู้วิจัยตลอดมา

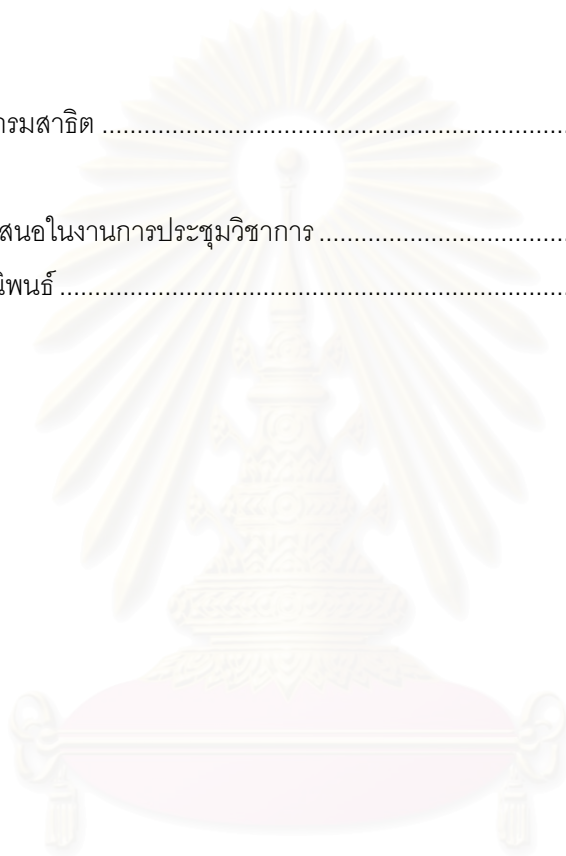
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 วิธีวัดในปัจจุบัน ปัญหาที่พบและแนวคิดในการแก้ปัญหา	
2.1 วิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน.....	5
2.1.1 วิธีวัดเชิงคุณภาพที่ให้ผลการวัดเป็นเกณฑ์ความถูกต้อง.....	5
2.2 วิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน.....	6
2.2.1 ค่าความแตกต่างของพารามิเตอร์.....	7
2.2.2 ดัชนีการซ้อนทับ.....	8
2.2.3 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง.....	8
2.2.4 ดัชนีความคล้าย.....	9
2.2.5 ค่าความถูกต้องจากการแบ่งส่วน.....	9
2.2.6 ค่าความผิดพลาดของขอบที่ได้จากการแบ่งส่วนแบบใช้ค่าน้ำหนัก.....	10
2.2.7 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบมาตรฐาน.....	11
2.2.8 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบบางส่วน.....	12
2.2.9 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบก้นกรอง.....	13
2.2.10 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบปรับปรุง.....	14
2.3 ปัญหาที่พบจากวิธีวัดในปัจจุบัน.....	14
2.4 แนวคิดในการแก้ปัญหา.....	15

3	การออกแบบวิธีวัดผสมผสานเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ	
3.1	การผสมผสานวิธีวัดเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ	16
3.1.1	การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย	16
3.1.2	การใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธีร่วมกัน	17
3.1.3	ผลการวัดแบบเลขผสมผสาน	19
3.2	การใช้ตัวอธิบายภาพเพื่อให้อ้อมมูลเพิ่มเติมแก่ผู้วัด	21
3.2.1	ซิกเนเจอร์	21
3.2.2	ตัวอธิบายภาพอื่น ๆ	23
4	การทดลองใช้วิธีวัด Q&Q และผลการทดลอง	
4.1	การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน	25
4.1.1	รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	25
4.1.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	26
4.2	การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน	28
4.2.1	รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	28
4.2.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	33
4.3	การทดลองเพื่อทดสอบการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย	36
4.3.1	รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	36
4.3.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	41
4.4	การทดลองเพื่อทดสอบการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ	52
4.4.1	รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	52
4.4.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	52
4.5	การทดลองวัดความถูกต้องของภาพเมื่อมีวัตถุในภาพหลายวัตถุ	54
4.5.1	รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	54
4.5.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	55
4.6	สรุป	56
5	โปรแกรมสถิติวิธีวัด Q&Q	
5.1	ภาพรวมของโปรแกรม	57
5.2	ส่วนประกอบของโปรแกรม	58
5.2.1	ส่วนรับข้อมูลเข้าของโปรแกรม	58
5.2.2	ส่วนวัดผลด้วยวิธีวัด Q&Q	64
5.2.3	ส่วนแสดงผลการวัด	67

5.3 การทดลองใช้โปรแกรมสถิติ.....	69
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	
คู่มือการใช้โปรแกรมสถิติ.....	77
ภาคผนวก ข	
บทความที่ได้นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	110



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่

2.1	เกณฑ์การประเมินของตัวอย่างวิธีวัดเชิงคุณภาพ.....	6
4.1	ผลการวัดของ TI ในชุดภาพวงกลม.....	26
4.2	การเปรียบเทียบวิธีวัด Q&Q กับวิธีวัดเชิงคุณภาพ	33
4.3	ผลการวัดของชุดภาพสมอที่ 1	34
4.4	ผลการวัดของชุดภาพสมอที่ 2	35
4.5	ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพแมว.....	41
4.6	ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1.....	42
4.7	ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 2.....	42
4.8	ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1.....	42
4.9	ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1.....	43
4.10	ผลการวัดของ TI ที่ 4 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1.....	43
4.11	ผลการวัดของ TI ที่ 5 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1.....	43
4.12	ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร “E”	44
4.13	ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร “E”	44
4.14	ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร “E”	45
4.15	ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร “E”	45
4.16	ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร “R”	45
4.17	ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร “R”	46
4.18	ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร “R”	46
4.19	ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร “R”	46
4.20	ผลการวัดของ TI ที่ 4 ของชุดภาพตัวอักษร “R”	47
4.21	ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร “G”	47
4.22	ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร “G”	48
4.23	ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร “G”	48
4.24	ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร “G”	48
4.25	ผลการวัดของ TI ที่ 4 ของชุดภาพตัวอักษร “G”	49
4.26	ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร “g”	49
4.27	ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร “g”	50

4.28	ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร “g”.....	50
4.29	ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร “g”.....	50
4.30	ผลการทดลองการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ	53
4.31	ผลการวัดของภาพนอตและแป้นเกลียวเมื่อกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุ	55
4.32	ผลการวัดของภาพนอตและแป้นเกลียวเมื่อกำหนดกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม	55



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		
1.1	บริเวณสมองที่แบ่งส่วนได้จากภาพเอ็มอาร์ไอสมอง (บริเวณสีดำ).....	2
1.2	ภาพเอสเออาร์ของพื้นที่การเกษตร	2
2.1	ส่วนที่ซ้อนทับ ส่วนขาดและส่วนเกิน	8
2.2	การหาระยะห่าง $\min_{t \in T} \ g - t\ $ ของจุดภาพใด ๆ ใน GT.....	12
2.3	การหาระยะห่าง $P_{g \in G}^{\text{th}} \min_{t \in T} \ g - t\ $ ของจุดภาพใด ๆ ใน GT เมื่อค่า $P = 0.5$	13
3.1	ภาพแนวเมื่อแบ่งส่วนแล้วบริเวณที่สำคัญมากกว่าบริเวณอื่น	17
3.2	การเลื่อนตำแหน่งของ TI เพื่อให้มีระยะห่างระหว่างกันที่มากที่สุด	18
3.3	การคำนวณผลการวัดของวิธี Q&Q.....	20
3.4	ตัวอย่างของซิกเนเจอร์.....	21
3.5	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบซิกเนเจอร์ของภาพ	22
3.6	ช่องโหว่ในภาพจำนวน 3 ช่องซึ่งมีขนาด 89, 75 และ 165 จุดภาพจากซ้ายไปขวาและบนลงล่างตามลำดับ.....	23
3.7	บริเวณที่ซ้อนทับ บริเวณส่วนเกิน และบริเวณส่วนขาด	24
4.1	ชุดภาพวงกลม	26
4.2	ซิกเนเจอร์ของ TI ของชุดภาพวงกลม	27
4.3	TI ของชุดภาพสมองชุดที่ 1	29
4.4	GT ของชุดภาพสมองชุดที่ 1	30
4.5	TI ของชุดภาพสมองชุดที่ 2	31
4.6	GT ของชุดภาพสมองชุดที่ 2	32
4.7	ซิกเนเจอร์ส่วนขาดและซิกเนเจอร์ส่วนเกินของ TI ลำดับที่ 10 ในชุดภาพที่ 1	33
4.8	GT และ TI ของชุดภาพแมว	37
4.9	GT และ TI ของชุดภาพตัวอักษร "E"	38
4.10	GT และ TI ของชุดภาพตัวอักษร "R"	39
4.11	GT และ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "G"	40
4.12	GT และ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "g"	41
4.13	ภาพนอตและแป้นเกลียว	54
4.14	กลุ่มวัตถุเมื่อกำหนดกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม	54

5.1	แผนผังภาพรวมของโปรแกรม.....	57
5.2	หน้าจอนำเข้า GT และ TI	58
5.3	GT และ TI ที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน.....	59
5.4	ตัวอย่างกรณีที่มีวัตถุใน GT 2 วัตถุและวัตถุใน TI 4 วัตถุ การกำหนดกลุ่มแบบอัตโนมัติจัดได้ 2 กลุ่มและเหลืออีก 2 วัตถุให้ผู้วัดกำหนดกลุ่มเอง	60
5.5	ตัวอย่างการกำหนดกลุ่มแบบกึ่งอัตโนมัติ เมื่อมีวัตถุของ TI 1 วัตถุซ้อนกับวัตถุของ GT 2 วัตถุ	60
5.6	หน้าจอการกำหนดกลุ่มวัตถุแบบกึ่งอัตโนมัติ.....	61
5.7	ตัวอย่างการกำหนดกลุ่มแบบรวมทุกวัตถุเมื่อมีวัตถุใน GT 2 วัตถุและวัตถุใน TI 4 วัตถุ.....	61
5.8	หน้าจอการกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องวิธีวัดเชิงปริมาณ.....	62
5.9	หน้าจอการกำหนดความสำคัญให้บริเวณย่อย	63
5.10	หน้าจอการกำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย	63
5.11	ผลการวัดรวมของภาพเมื่อมีกลุ่มวัตถุ n กลุ่ม	64
5.12	ขั้นตอนการคำนวณผลการวัด	64
5.13	การแบ่งส่วนเกินด้วยเส้นแบ่งที่เกิดจากการประมาณเส้นตามรอยต่อระหว่างบริเวณที่ติดกัน	65
5.14	หน้าจอแสดงผลการวัดรวมของภาพ	67
5.15	หน้าจอแสดงผลการวัดของกลุ่มวัตถุ.....	68
5.16	รายละเอียดของซิกเนเจอร์ของภาพทั้งภาพ	69
ก.1	หน้าจอการกำหนด GT และ TI.....	78
ก.2	ตัวอย่างข้อความเตือนเพื่อให้เลือกใช้ภาพชนิดบิตแมปเท่านั้น.....	79
ก.3	กล่องโต้ตอบจางานสี	79
ก.4	แผ่นกำหนดวิธีวัดเชิงปริมาณ	80
ก.5	หน้าต่างอธิบายวิธีวัด S	80
ก.6	แผ่นกำหนดการใช้ค่าน้ำหนัก	81
ก.7	หน้าต่างกำหนดค่าน้ำหนัก.....	82
ก.8	ข้อความเตือนเมื่อผลรวมของค่าน้ำหนักมีค่าไม่เท่ากับ 1.....	82
ก.9	หน้าจอคำนวณผลการวัด.....	83
ก.10	ข้อความเตือนเมื่อคำนวณผลการวัดเสร็จ.....	83
ก.11	หน้าจอแสดงผลการวัดโดยรวม	84
ก.12	หน้าจอแสดงรายละเอียดของช่องโหว่.....	85
ก.13	หน้าจอแสดงผลการวัดของแต่ละวัตถุ	85

ก.14	การเลือกวิธีแสดงภาพที่ซ้อนทับกันของ TI กับ GT	86
ก.15	รายงานแสดงซิกเนเจอร์โดยละเอียด	87
ก.16	หน้าจอกำหนดกลุ่มวัตถุ	88
ก.17	หน้าจอแสดงการแบ่งวัตถุของ TI	89
ก.18	ข้อความแสดงการแบ่งกลุ่มวัตถุ	89
ก.19	หน้าต่างช่วยเหลือ	90



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การแบ่งส่วนภาพ (Image segmentation) เป็นขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัลที่สำคัญก่อนการวิเคราะห์ภาพ ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานมากมายในหลายสาขาที่ได้นำการแบ่งส่วนภาพไปประยุกต์ใช้อาทิเช่น การสร้างภาพสามมิติของสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอ [1] การค้นหาภาพที่ต้องการจากฐานข้อมูลภาพ [2] เป็นต้น เทคนิคการแบ่งส่วนภาพมีอยู่มากมาย การวัดจึงมีความสำคัญเนื่องจากเป็นสิ่งที่บ่งชี้ได้ว่าเทคนิคใดมีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ โดยทำได้หลายลักษณะ เช่น วัดความเร็วในการประมวลผล วัดความทนทานต่อสิ่งรบกวน และการวัดความถูกต้องของภาพผลลัพธ์โดยพิจารณาจากส่วนต่าง ๆ ภายในภาพ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้มุ่งประเด็นไปยังการวัดความถูกต้องของภาพผลลัพธ์ ซึ่งจากการสำรวจวิธีวัดความถูกต้องของภาพผลลัพธ์พบว่า ส่วนใหญ่จะใช้ภาพที่ผู้เชี่ยวชาญด้านนั้น ๆ แบ่งส่วนด้วยมือเป็นภาพที่แบ่งส่วนถูกต้องจริง (Ground truth: GT) เพื่อเป็นหลักในการเปรียบเทียบสำหรับวัดความถูกต้อง เช่น ภาพเอ็มอาร์ไอของสมองซึ่งแสดงในรูปที่ 1.1 แต่ในบางงานที่ไม่สามารถหา GT ได้ มักจะวัดความถูกต้องจากความเป็นเนื้อเดียวกันของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ (SAR - Synthetic Aperture Radar) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 สำหรับงานวิจัยนี้ได้จำกัดไว้เฉพาะวิธีวัดแบบที่ใช้ GT ซึ่งวิธีวัดแบบที่ใช้ GT นี้แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ **วิธีวัดเชิงคุณภาพ** ซึ่งอาศัยการประเมินความถูกต้องจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ และ **วิธีวัดเชิงปริมาณ** ซึ่งอาศัยการประเมินความถูกต้องจากค่าตัวเลขที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางสถิติ จึงทำให้วิธีวัดเชิงปริมาณให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีวัดเชิงคุณภาพ

จากงานวิจัย “การศึกษาเบื้องต้นวิธีการวัดผลความถูกต้องจากการแยกบริเวณ” [3] ซึ่งได้ทดลองวัดความถูกต้องโดยใช้วิธีวัดเชิงปริมาณ คือ ดัชนีความคล้าย (Similarity index) [4, 5] เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีวัดเชิงคุณภาพและจากการศึกษาวิธีวัดต่าง ๆ พบว่า วิธีวัดเชิงปริมาณที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีได้ถูกออกแบบให้วัดความถูกต้องของภาพในลักษณะที่แตกต่างกันเช่น พิจารณาความถูกต้องของขอบภาพเป็นสำคัญ หรือพิจารณาความถูกต้องของบริเวณเป็นสำคัญ เป็นต้น ซึ่งก็มักจะเป็นการพิจารณา

อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว และผู้วิจัยได้พบอีกว่า ผลการวัดของวิธีวัดเชิงปริมาณบอกความถูกต้องของภาพได้ไม่ชัดเจนนัก เช่น ตัวเลขผลการวัดเพียงตัวเดียว ไม่สามารถสื่อความหมายถึงตำแหน่งความผิดพลาดได้ เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะหาวิธีวัดรูปแบบใหม่ที่สามารถกำจัดหรือลดปัญหาเหล่านี้ โดยใช้หลักการของวิธีวัดทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพผสมผสานกันไปเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการวัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วน



รูปที่ 1.1 บริเวณสมองที่แบ่งส่วนได้จากภาพเอ็มอาร์ไอสมอง (บริเวณสีดํา) [5]

(ก) GT และ (ข) บริเวณที่แบ่งส่วนได้ด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1.2 ภาพเอสเออาร์ของพื้นที่การเกษตร [6]

(ก) ภาพก่อนการแบ่งส่วน และ (ข) ผลที่ได้จากการแบ่งส่วนด้วยคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาริธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพให้มีประสิทธิภาพ และสามารถกำจัดหรือลดปัญหาของวิธีวัดในปัจจุบันได้ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์จากการแบ่งส่วน
2. พัฒนาโปรแกรมสถิติที่ใช้วัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ปัญหาของวิธีวัดในปัจจุบันที่งานวิจัยนี้มุ่งที่จะลดหรือขจัด มีด้วยกัน 2 ประการได้แก่

1.1. การใช้วิธีวัดเพียงวิธีเดียวไม่สามารถครอบคลุมคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างของภาพได้เพราะแต่ละวิธีวัดจะพิจารณาความถูกต้องจากคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

1.2. ผลการวัดของวิธีวัดเชิงปริมาณที่มีอยู่ยังไม่สามารถสื่อความหมายของค่าความถูกต้องได้อย่างชัดเจนนัก กล่าวคือ ค่าที่วัดได้บอกเพียงว่าความถูกต้องมากหรือน้อยเมื่อเทียบกับค่าความถูกต้องสูงสุด เช่น ผลการวัดเป็น 0.9 เทียบกับ 1 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด หมายถึงความถูกต้องมาก เป็นต้น แต่ไม่สามารถสื่อได้ว่าความถูกต้องหรือความผิดพลาดเป็นอย่างไรและอยู่ที่บริเวณใดในภาพ

2. ภาพที่นำมาใช้วัด ซึ่งงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า ภาพทดสอบ (Test image: TI) ต้องเป็นภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนซึ่งมีลักษณะเป็นภาพที่ประกอบด้วยบริเวณที่แบ่งส่วนได้และบริเวณพื้นหลัง โดย TI และ GT นั้นต้องได้จากการแบ่งส่วนภาพต้นฉบับภาพเดียวกัน

3. ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นตัวเลขแสดงความถูกต้องร่วมกับคำอธิบายรายละเอียดความถูกต้องของบริเวณย่อยภายในภาพทั้งตำแหน่งและลักษณะรูปร่างของบริเวณที่ผิดพลาด เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมให้ผู้วัด

4. โปรแกรมสถิติที่ใช้วัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพนี้ จะมีลักษณะการวัดที่ผสมผสานจากทั้งวิธีวัดเชิงปริมาณและวิธีวัดเชิงคุณภาพซึ่งก็คือ การใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธีร่วมกัน และใช้ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันของบริเวณย่อยในภาพในการคำนวณผลการวัด ซึ่งการกำหนดค่าน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับความเห็นของผู้วัด

5. วิธีวัดเชิงปริมาณที่มีให้เลือกใช้ในเครื่องมือนี้ จะต้องมีจำนวนอย่างน้อย 5 วิธี โดยผู้วัดต้องเลือกอย่างน้อย 2 วิธี ซึ่งวิธีหนึ่งเป็นวิธีที่ค่านิ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก และอีกวิธีหนึ่งเป็นวิธีที่ค่านิ่งถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าวิธีวัดที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทฤษฎีด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก และการประมวลผลภาพดิจิทัล
2. ออกแบบและพัฒนาวิธีวัด
3. ทดลองวัดความถูกต้องของภาพตัวอย่างหลาย ๆ ลักษณะ
4. วิเคราะห์ผลที่ได้
5. พัฒนาโปรแกรมสถิติ
6. สรุปและวิจารณ์ผล
7. จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้วัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วน และสามารถเปรียบเทียบความถูกต้องของภาพที่ได้จากเทคนิคการแบ่งส่วนหลาย ๆ เทคนิคได้ โดยสามารถใช้ได้กับภาพจากงานลักษณะต่าง ๆ ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วิธีวัดในปัจจุบัน ปัญหาที่พบและแนวคิดในการแก้ปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีวัดความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพต่าง ๆ ในปัจจุบัน ซึ่งแต่ละวิธีมีรูปแบบการวัดที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถทำการแบ่งกลุ่มวิธีวัดออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกัน [7, 8] ได้แก่ วิธีวัดเชิงคุณภาพและวิธีวัดเชิงปริมาณ นอกจากนี้ จะกล่าวถึงปัญหาที่พบจากการศึกษาวิจัยวิธีวัดต่าง ๆ เหล่า นั้น และสุดท้ายคือแนวคิดในการแก้ปัญหา

2.1 วิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน

วิธีวัดเชิงคุณภาพเป็นการประเมินความถูกต้องจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้น ๆ ผลที่ได้มีความแปรปรวนสูงเพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ความรู้ ประสบการณ์เดิมของผู้เชี่ยวชาญ ความเหนื่อยล้าจากการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน อารมณ์ รวมทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น สถานที่ทำงาน แสงสว่าง เป็นต้น ทำให้วิธีวัดนี้มีความแม่นยำค่อนข้างน้อย แต่ถึงแม้ว่าวิธีนี้ได้ผลที่มีความแปรปรวนสูงและทำให้ผลจากการวัดมีโอกาสแตกต่างกันมาก งานวิจัยจำนวนมากก็ยังเลือกใช้วิธีวัดเชิงคุณภาพ [7, 9] ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้วัดเชื่อมั่นในผู้เชี่ยวชาญที่ทำการวัด จากงานวิจัยที่พบโดยมากมักไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของการวัดเชิงคุณภาพ อาจเนื่องจากการวัดเกิดจากกระบวนการคิดของผู้เชี่ยวชาญโดยตรง แต่ในงานวิจัยนี้ได้พบวิธีวัดเชิงคุณภาพวิธีหนึ่งที่ได้อธิบายหลักการประเมินความถูกต้องไว้อย่างชัดเจนคือ วิธีวัดเชิงคุณภาพที่ให้ผลการวัดเป็นเกณฑ์ความถูกต้อง [10]

2.1.1 วิธีวัดเชิงคุณภาพที่ให้ผลการวัดเป็นเกณฑ์ความถูกต้อง

วิธีวัดเชิงคุณภาพนี้พบในงานวิจัยของภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์ เรื่อง “การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ” [10] ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำการแบ่งส่วนบริเวณสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอ วิธีวัดนี้ให้แพทย์เป็นผู้ประเมินความถูกต้องของบริเวณต่าง ๆ ในภาพโดยพิจารณาแยกเป็นส่วนต่าง ๆ 4 ส่วนคือ ความถูกต้องของขอบสมอง บริเวณส่วนเกิน บริเวณส่วนขาด และความถูกต้องโดยรวม และการประเมินในแต่ละส่วนจะพิจารณาตามเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องซึ่งแพทย์เป็นผู้ประมาณด้วยสายตา และให้ผลการวัดเป็นระดับคะแนนจำนวน 5 ระดับตั้งแต่ A ถึง E ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การประเมินของตัวอย่างวิธีวัดเชิงคุณภาพ [10]

สิ่งที่ประเมิน	ระดับ (%)				
	A	B	C	D	E
ความถูกต้องของขอบสมอง (%)	91-100	81-90	71-80	61-70	< 60
บริเวณส่วนเกิน (%)	0	1-10	11-20	> 20	
บริเวณส่วนขาด (%)	0	1-10	11-20	> 20	
ความถูกต้องโดยรวม	กำหนดโดยผู้ประเมิน				

2.2 วิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน

วิธีวัดเชิงปริมาณเป็นการประเมินความถูกต้องโดยใช้ค่าทางคณิตศาสตร์หรือค่าทางสถิติ ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขและมีค่าเหมือนกันทุกครั้งที่วัด ฉะนั้นผลการวัดจึงมีความแปรปรวนน้อยกว่าและทำให้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีวัดเชิงคุณภาพ จากการสำรวจของ Huang และ Dom [8] พบว่า วิธีวัดเชิงปริมาณนี้แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. **กลุ่มที่คำนึงถึงพารามิเตอร์ในภาพเป็นหลัก (Parameter-based method)** พิจารณาความถูกต้องจากค่าพารามิเตอร์ของภาพซึ่งอาจเป็นค่าอย่างง่าย เช่น ค่าระดับเทาของภาพ [8] เป็นต้น หรือค่าที่ซับซ้อน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามซึ่งใช้ในการประมาณพื้นผิวความเข้มแสงของบริเวณ [8] (The coefficients of a polynomial function approximation the intensity surface of the region) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่อธิบายถึงลักษณะรูปร่างของขอบภาพแบบปิด (Fourier coefficients describing the shape of the closed boundary of the region) เป็นต้น

2. **กลุ่มที่คำนึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก (Boundary-based method)** พิจารณาความถูกต้องจากลักษณะของขอบ ตัวอย่างของวิธีวัดในกลุ่มนี้ เช่น ซิกเนเจอร์การกระจายของระยะห่าง (Distance distribution signatures) [8], ค่าความผิดพลาดของขอบที่ได้จากการแบ่งส่วนแบบใช้ค่าน้ำหนัก (Weighted boundary segmentation error rates) [8], ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบมาตรฐาน (Standard Hausdorff distance) [11, 12, 13], ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบบางส่วน (Partial Hausdorff distance) [11, 14], ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบกลั่นกรอง (Censored Hausdorff distance) [15], ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบปรับปรุง (Modified Hausdorff distance) [15] เป็นต้น

3. **กลุ่มที่คำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก (Region-based method)** พิจารณาความถูกต้องจากลักษณะบริเวณ ตัวอย่างวิธีวัดในกลุ่มนี้ เช่น ดัชนีการซ้อนทับ (Overlap index) [16], เปอร์เซ็นต์

ความแตกต่าง (Percentage of difference) [17], ดัชนีความคล้าย (Similarity index), ค่าความแม่นยำจากการแบ่งส่วน (Segmentation accuracy) [18], การวัดประสิทธิภาพโดยรวม (Overall performance measure) [8], ค่าความผิดพลาดของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ (Region segmentation error rates) [8], ความถูกต้องของการแบ่งส่วน (Correctness of segmentation) [7] เป็นต้น

จากวิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ที่สำรวจพบนั้น ในงานวิจัยนี้ขอเสนอตัวอย่างทั้งหมด 10 วิธีด้วยกัน ซึ่งทุกวิธีต่างก็ใช้ GT ในการคำนวณ โดยสามารถแยกตัวอย่างตามกลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่คำนึงถึงพารามิเตอร์ในภาพเป็นหลัก ได้แก่ ค่าความแตกต่างของพารามิเตอร์ กลุ่มที่คำนึงถึงบริเวณในภาพเป็นหลัก ได้แก่ ดัชนีการซ้อนทับ เพอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ดัชนีความคล้าย และค่าความถูกต้องจากการแบ่งส่วน สุดท้ายคือกลุ่มที่คำนึงถึงขอบของภาพเป็นหลัก ได้แก่ ค่าความผิดพลาดของขอบที่ได้จากการแบ่งส่วนแบบใช้ค่าน้ำหนัก ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบมาตรฐาน ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบบางส่วน ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบกลั่นกรอง และระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบปรับปรุง ซึ่งผลการวัดอาจแปรตามหรือแปรผกผันกับค่าความถูกต้อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีวัดแต่ละวิธี

2.2.1 ค่าความแตกต่างของพารามิเตอร์ [8]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “ค่าความแตกต่าง δ ” และจากที่กล่าวข้างต้นว่า พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการวัดความถูกต้องนั้นอาจเป็นได้หลายอย่างนั้น เช่น ค่าระดับเทาของภาพ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามซึ่งใช้ในการประมาณพื้นผิวความเข้มแสงของบริเวณ หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์ที่อธิบายถึงลักษณะรูปร่างของขอบภาพแบบปิด ในการวัดทำได้โดยคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้วัด ซึ่งอาจใช้พารามิเตอร์ 1 ตัวหรือมากกว่า 1 ตัวก็ได้ ค่าความแตกต่าง δ สามารถหาได้ตามนิยามในสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$\delta(G^P, T) = \{\delta(g^{P_i}, t_i) \mid 1 \leq i \leq k\} \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ

$$\delta(g^{P_i}, t_i) = |g^{P_i} - t_i| \quad \dots (2.2)$$

โดยที่ $G^P = \{g^{P_1}, g^{P_2}, \dots, g^{P_k}\}$ ซึ่งก็คือค่าพารามิเตอร์ของ GT

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ ซึ่งก็คือ ค่าพารามิเตอร์ของ TI

$\delta(G^P, T)$ คือ ค่าความแตกต่างของพารามิเตอร์ระหว่าง GT และ TI

k คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้

ถ้าผลที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าภาพทั้งสองมีความใกล้เคียงกันมาก ฉะนั้นค่าความถูกต้องจะแปรผกผันกับ δ

2.2.2 ดัชนีการซ้อนทับ [16]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “วิธีวัด v ” ซึ่งเป็นวิธีวัดความถูกต้องอย่างง่ายที่พิจารณาเฉพาะบริเวณที่ซ้อนทับกันเท่านั้น ซึ่งในรูปที่ 2.1 จะแสดงส่วนที่ซ้อนทับของ GT และ TI นิยามของวิธีวัด v แสดงในสมการที่ 2.3

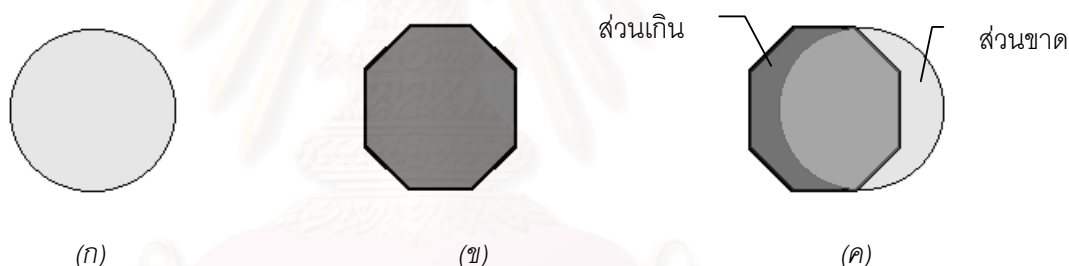
$$v = \frac{n\{G \cap T\}}{n\{G \cup T\}} \quad \dots (2.3)$$

โดยที่ G และ T คือ บริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT และ TI ตามลำดับ

$n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับกันซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้อง

$n\{G \cup T\}$ คือ จำนวนจุดภาพรวมของส่วนที่ซ้อนทับกันและไม่ซ้อนทับกันของ GT และ TI

ค่า v นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยมีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อภาพมีความถูกต้องมากซึ่งก็คือมีส่วนที่ซ้อนทับกันมาก และมีค่าน้อยลงเมื่อส่วนที่ซ้อนทับกันมีน้อย นั่นคือ ค่าความถูกต้องแปรตามค่า v



รูปที่ 2.1 ส่วนที่ซ้อนทับ ส่วนขาดและส่วนเกิน

(ก) GT (ข) TI และ (ค) TI และ GT ซ้อนทับกัน

2.2.3 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง [17]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “วิธีวัด P ” ซึ่งเป็นวิธีวัดความถูกต้องอย่างง่ายอีกวิธีหนึ่งที่พิจารณาเพียงบริเวณที่ TI ผิดพลาดไปเมื่อเทียบกับ GT ซึ่งก็คือบริเวณส่วนเกินและส่วนขาดนั่นเอง ลักษณะของบริเวณส่วนเกินและส่วนขาดแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 โดยวิธีวัดนี้มีนิยามดังสมการที่ 2.4

$$P = \frac{n\{G \cup T\} - n\{G \cap T\}}{n\{G\}} \times 100 \quad \dots (2.4)$$

โดยที่ G และ T คือ บริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT และ TI ตามลำดับ

$n\{G \cup T\}$ คือ จำนวนจุดภาพรวมของส่วนที่ซ้อนทับกันและไม่ซ้อนทับกันของ GT และ TI

$n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับกันซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้อง

$n\{G\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT

ค่า P นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 100]$ โดยมีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อภาพมีความถูกต้องมาก นั่นคือส่วนที่เกินหรือส่วนที่ขาดมีน้อย ดังนั้นค่าความถูกต้องแปรผกผันกับค่า P

2.2.4 ดัชนีความคล้าย [4]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า "วิธีวัด S" ซึ่งเป็นวิธีวัดความถูกต้องที่คำนึงถึงทุก ๆ ส่วนของภาพ นั่นคือ **บริเวณส่วนขาด บริเวณส่วนเกิน และบริเวณที่ถูกต้อง**ของ TI เทียบกับ GT ดังแสดงในรูปที่ 2.1 วิธีวัด S จะมีนิยามแสดงในสมการที่ 2.5

$$S = \frac{2n\{G \cap T\}}{n\{G\} + n\{T\}} \quad \dots (2.5)$$

โดยที่ G และ T คือ บริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT และ TI ตามลำดับ

$n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับกันซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้อง

$n\{G\}$ คือ จำนวนจุดภาพใน GT ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้องรวมกับบริเวณส่วนขาด

$n\{T\}$ คือ จำนวนจุดภาพใน TI ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้องรวมกับบริเวณส่วนเกิน

ค่า S จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยค่า S เท่ากับ 1 หมายถึงบริเวณทั้งสองเหมือนกันทั้งหมด ค่า S เท่ากับ 0 หมายถึงบริเวณทั้งสองไม่มีส่วนซ้อนทับกันเลย ดังนั้น S ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าบริเวณทั้งสองคล้ายคลึงกันมาก ค่าความถูกต้องจึงแปรตามค่า S

2.2.5 ค่าความถูกต้องจากการแบ่งส่วน [18]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า "วิธีวัด SA" ซึ่งเป็นวิธีวัดความถูกต้องที่ใช้ในระบบ ATR (Automatic Target Recognition) โดยคำนวณจากพื้นที่ **บริเวณส่วนขาด บริเวณส่วนเกิน และบริเวณที่ถูกต้อง**เช่นเดียวกับ S โดยมีนิยามแสดงในสมการที่ 2.6 ถึงสมการที่ 2.9

$$SA = SA_S(1 - SA_E)(1 - SA_L) \quad \dots (2.6)$$

เมื่อ

$$SA_E = \frac{n\{T\} - n\{G \cap T\}}{n\{G \cup T\}} \quad \dots (2.7)$$

$$SA_L = \frac{n\{G\} - n\{G \cap T\}}{n\{G \cup T\}} \quad \dots (2.8)$$

$$SA_S = \frac{n\{G \cap T\}}{n\{G \cup T\}} \quad \dots (2.9)$$

โดยที่ G และ T คือ บริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT และ TI ตามลำดับ

$n\{G\}$ คือ จำนวนจุดภาพใน GT ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้องรวมกับบริเวณส่วนขาด

$n\{T\}$ คือ จำนวนจุดภาพใน TI ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้องรวมกับบริเวณส่วนเกิน

$n\{T\} - n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่อยู่ใน TI แต่ไม่อยู่ใน GT ซึ่งหมายถึงบริเวณส่วนเกิน

$n\{G\} - n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT แต่ไม่อยู่ใน TI ซึ่งหมายถึงบริเวณส่วนขาด

$n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับกันซึ่งหมายถึงบริเวณที่ถูกต้อง

$n\{G \cup T\}$ คือ จำนวนจุดภาพรวมของส่วนที่ซ้อนทับกันและไม่ซ้อนทับกันของ GT และ TI

ผลรวมของ SA_E , SA_L และ SA_S มีค่าเท่ากับ 1 และค่า SA จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ค่า SA ที่เท่ากับ 1 หมายถึง TI แบ่งส่วนมาได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ และมีค่าเป็น 0 เมื่อบริเวณของ TI และ GT ไม่มีส่วนซ้อนทับกันเลย ฉะนั้นค่าความถูกต้องจึงแปรตามค่า SA

2.2.6 ค่าความผิดพลาดของขอบที่ได้จากการแบ่งส่วนแบบใช้ค่าน้ำหนัก [8]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “วิธีวัด WBE” วิธีวัดนี้เป็นวิธีที่คำนึงถึงจำนวนจุดขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน TI ที่ผิดพลาดไปจากขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT ทั้งส่วนขาดและส่วนเกินโดยจะแยกคำนวณเป็น 2 ส่วนคือ (e_B^m, w_B^m) ที่แสดงความผิดพลาดในบริเวณส่วนขาด และ (e_B^f, w_B^f) ที่แสดงความผิดพลาดในบริเวณส่วนเกิน โดย e_B^m และ e_B^f สื่อว่าผิดพลาดไปเล็กน้อยเพียงใดตั้งนิยามในสมการที่ 2.10 และ 2.11 ในขณะที่ w_B^m และ w_B^f สื่อว่าส่วนที่ผิดพลาดนั้นอยู่ห่างจาก GT เท่าใด ค่า e_B^m และ e_B^f สื่อถึงความผิดพลาดโดยมีนิยามคือระยะห่างเฉลี่ยจากจุดขอบที่ผิดพลาดไปยังจุดขอบใน GT

$$e_B^m = \frac{n\{G\} - n\{G \cap T\}}{n\{G\}} \quad \dots (2.10)$$

$$e_B^f = \frac{n\{T\} - n\{G \cap T\}}{n\{T\}} \quad \dots (2.11)$$

โดยที่ G และ T คือ บริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT และ TI ตามลำดับ

$n\{G\} - n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT แต่ไม่อยู่ใน TI ซึ่งหมายถึงบริเวณส่วนขาด

$n\{T\} - n\{G \cap T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่อยู่ใน TI แต่ไม่อยู่ใน GT ซึ่งหมายถึงบริเวณส่วนเกิน

$n\{G\}$ และ $n\{T\}$ คือ จำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT และ จำนวนจุดภาพใน TI ตามลำดับ

ถ้า e_B^m และ e_B^f มีค่ามากหมายถึง TI มีความถูกต้องน้อย และถ้า w_B^m และ w_B^f มีค่ามากหมายถึง ความถูกต้องก็น้อยลงเช่นกัน นั่นคือ วิธีวัด WBE ให้ผลการวัดที่แปรผกผันกับค่าความถูกต้อง

2.2.7 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบมาตรฐาน [11]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “วิธีวัด SH” ซึ่งเป็นวิธีวัดที่พิจารณาเฉพาะบริเวณที่เป็นขอบเท่านั้น โดยเป็นการวัดระยะห่างระหว่างขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน TI และ GT ซึ่งวิธี SH คำนวณได้ตามนิยามดัง สมการที่ 2.12 ถึง 2.14

$$SH(G,T) = \max (h(G,T), h(T, G)) \quad \dots (2.12)$$

เมื่อ
$$h(G,T) = \max_{g \in G} \min_{t \in T} \|g - t\| \quad \dots (2.13)$$

และ
$$h(T,G) = \max_{t \in T} \min_{g \in G} \|t - g\| \quad \dots (2.14)$$

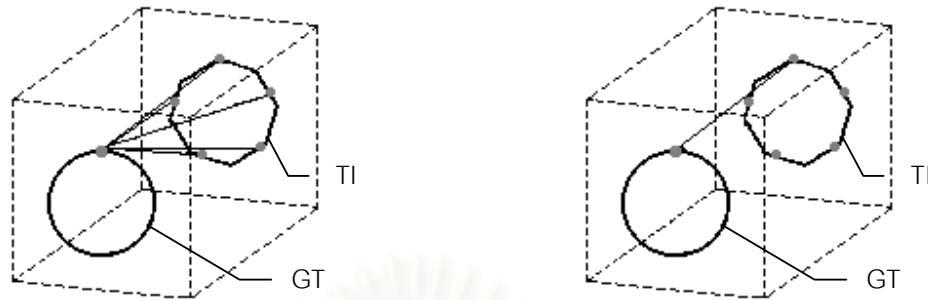
โดยที่ G คือ $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ ซึ่งหมายถึงเซตของจุดภาพที่เป็นขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT มีสมาชิก n ตัว

T คือ $\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ ซึ่งหมายถึงเซตของจุดภาพที่เป็นขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน TI มีสมาชิก m ตัว

$\|g - t\|$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ g ไปยังจุดภาพ t ซึ่งในที่นี้ใช้การวัดระยะห่างแบบ Euclidean distance

$\|t - g\|$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ t ไปยังจุดภาพ g ซึ่งในที่นี้ใช้การวัดระยะห่างแบบ Euclidean distance

การหา $h(G,T)$ ทำได้โดยหาค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดของจุดขอบใน G ไปยังจุดขอบใด ๆ ใน T ซึ่งแสดงการคำนวณดังรูปที่ 2.2 โดยคำนวณจุดขอบทุก ๆ จุดของ G แล้วเลือกค่าที่มากที่สุดเป็น $h(G,T)$ และทำในทำนองเดียวกันนี้กับการหาระยะห่างจาก TI ไปยัง GT จะได้ค่า $h(T,G)$ แล้วเลือกค่าที่มากที่สุดระหว่าง $h(G,T)$ กับ $h(T,G)$ เป็นค่า SH จะเห็นว่า วิธีวัด SH เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดขอบทุกจุดใน GT และ TI จึงทำให้มีความแม่นยำมาก ค่าของ SH นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, \infty)$ ถ้าค่า SH เท่ากับ 0 หมายถึง ค่าระยะห่างระหว่างขอบเป็น 0 นั่นคือ ขอบของ GT และ TI ทับกันสนิท โดยค่า SH ที่มากขึ้นจะแสดงถึงความถูกต้องที่ลดลง ฉะนั้นค่าความถูกต้องจึงแปรผกผันกับค่า SH



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.2 การหาระยะห่าง $\min_{t \in T} \|g - t\|$ ของจุดขอบใด ๆ ใน GT

(ก) ระยะห่างจากจุดขอบ 1 จุดใน GT ไปยังทุกจุดขอบใน TI และ

(ข) ค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดจากจุดขอบใน GT ไปยัง TI

2.2.8 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบบางส่วน [14]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “วิธีวัด PH” ซึ่งเป็นวิธีวัดที่พิจารณาเฉพาะ *ส่วนที่เป็นขอบของภาพ* และเป็นการหาระยะห่างระหว่างขอบที่ปรับปรุงจากวิธีวัด SH เพื่อให้มีความทนทานต่อสิ่งรบกวนมากขึ้น โดยเปลี่ยนจากการใช้ค่ามากที่สุดของเซตระยะห่างที่น้อยที่สุด เป็นการเลือกค่าอื่นในเซตโดยให้ผู้วัดกำหนดเอง ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ 2.15 ถึง 2.17

$$PH(G, T) = \max (h_p(G, T), h_p(T, G)) \quad \dots (2.15)$$

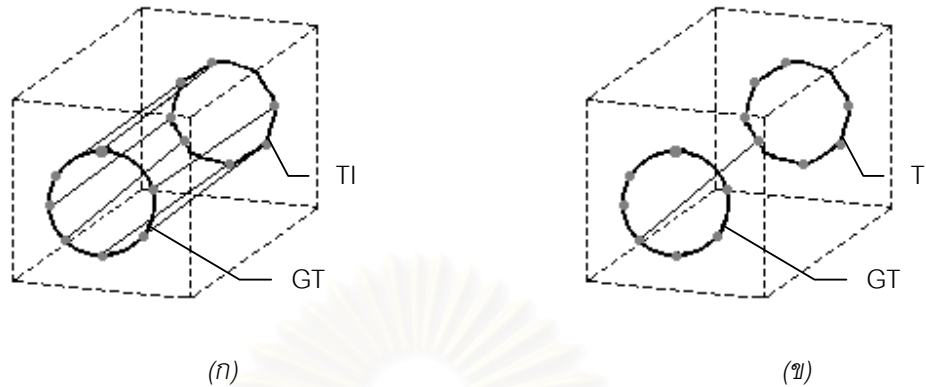
เมื่อ
$$h_p(G, T) = P_{g \in G}^{th} \min_{t \in T} \|g - t\| \quad \dots (2.16)$$

และ
$$h_p(T, G) = P_{t \in T}^{th} \min_{g \in G} \|t - g\| \quad \dots (2.17)$$

โดยที่ $P_{g \in G}^{th}$ คือ ค่าลำดับ (Rank) ที่ P ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ในเซตของระยะห่าง $\min_{t \in T} \|g - t\|$ ซึ่งเรียงลำดับจากน้อยไปมาก

ค่า P นี้ผู้วัดสามารถเลือกได้เอง ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยถ้าค่า P เท่ากับ 0 แล้ว $h_p(G, T)$ จะเป็นค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดในเซต ถ้าค่า P มีค่าเท่ากับ 0.5 ทำให้ $h_p(G, T)$ เป็นค่าระยะห่างมัธยฐานของเซต และถ้าค่า P มีค่าเท่ากับ 1 นั้น $h_p(G, T)$ จะเป็นระยะห่างที่มากที่สุดซึ่งก็คือวิธีวัด SH นั้นเอง ตัวอย่างของการหาค่า $h_p(G, T)$ เมื่อกำหนดให้ P มีค่าเท่ากับ 0.5 เป็นดังรูปที่ 2.3

ฉะนั้นถ้าค่า PH เท่ากับ 0 หมายถึง ค่าระยะห่างระหว่างขอบเป็น 0 นั่นคือ ขอบของ GT และ TI ทับกันสนิท โดยค่า PH ที่มากขึ้นจะแสดงถึงความถูกต้องที่ลดลง ฉะนั้นค่าความถูกต้องจึงแปรผกผันกับค่า PH



รูปที่ 2.3 การหาระยะห่าง $P_{g \in G}^{th} \min_{t \in T} \|g - t\|$ ของจุดขอบใด ๆ ใน GT เมื่อค่า $P = 0.5$

- (ก) ค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดของทุกจุดขอบใน GT ไปยัง TI และ
 (ข) ค่ามัธยฐานของเซตระยะห่างที่น้อยที่สุด เนื่องจากค่า $P = 0.5$

2.2.9 ระยะห่างแฮสส์ดอร์ฟแบบก้านกรอง [15]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า "วิธีวัด CH" ซึ่งเป็นวิธีวัดที่พิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็นขอบภาพเท่านั้น และเป็นการหาระยะห่างระหว่างขอบซึ่งปรับปรุงจากวิธีวัด SH เพื่อเพิ่มความทนทานต่อสิ่งรบกวนเช่นกัน โดยจะมีนิยามคล้ายกับ PH แต่จะมีความยืดหยุ่นมากขึ้นจากการเปลี่ยนการใช้ค่าน้อยที่สุด ($\min_{t \in T} \|g - t\|$) เป็นการเลือกค่าอื่นในเซตซึ่งกำหนดโดยใช้พารามิเตอร์ Q ดังสมการที่ 2.18 ถึง 2.20

$$CH(G, T) = \max (h_P(G, T), h_P(T, G)) \quad \dots (2.18)$$

เมื่อ $h_C(G, T) = P_{g \in G}^{th} Q_{t \in T}^{th} \|g - t\| \quad \dots (2.19)$

และ $h_C(T, G) = P_{t \in T}^{th} Q_{g \in G}^{th} \|t - g\| \quad \dots (2.20)$

โดยที่ $Q_{t \in T}^{th} \|g - t\|$ คือ ค่าลำดับ (Rank) ที่ Q ในเซตของระยะห่าง $\|g - t\|$ ซึ่งเรียงลำดับจากน้อยไปมาก

$P_{g \in G}^{th}$ คือ ค่าลำดับ (Rank) ที่ P ในเซตของระยะห่าง $Q_{t \in T}^{th} \|g - t\|$ ซึ่งเรียงลำดับจากน้อยไปมาก เช่นเดียวกับในนิยามของวิธีวัด PH

ค่า Q นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ถ้าค่า Q เท่ากับ 0 หมายถึงการเลือกระยะห่างที่น้อยที่สุดในเซต ถ้าค่า Q เท่ากับ 0.5 หมายถึงการเลือกระยะห่างมัธยฐานของเซต และค่า Q เท่ากับ 1 ก็คือการเลือกระยะห่างที่มากที่สุด

ฉะนั้น ถ้าค่า P เท่ากับ 1 และค่า Q เท่ากับ 0 วิธีวัด CH ก็คือวิธีวัด SH นั่นเอง ฉะนั้นค่า CH เท่ากับ 0 หมายถึง ค่าระยะห่างระหว่างขอบเป็น 0 นั่นคือ ขอบของ GT และ TI ทับกันสนิท โดยค่า CH ที่มากขึ้นแสดงถึงความถูกต้องที่ลดลง ฉะนั้นค่าความถูกต้องจึงแปรผกผันกับค่า CH

ค่า P และ Q ที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับ GT และ TI จากในงานวิจัยของ Dong-Gyu และคณะ [15] ค่า P ที่เหมาะสมนั้นควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.80 ถึง 0.90 และค่า Q ที่เหมาะสมนั้นควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.05

2.2.10 ระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบปรับปรุง [15]

ในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า “วิธีวัด MH” ซึ่งเป็นวิธีวัดที่พิจารณา *ขอบเพียงอย่างเดียว* อีกวิธีหนึ่งที่เป็น การหาระยะห่างระหว่างขอบ ซึ่งปรับปรุงจากวิธี SH เช่นกัน เพื่อให้ทนทานต่อสิ่งรบกวน วิธีวัด MH นี้จะมีความแตกต่างกับวิธีวัด PH และ CH ที่ไม่ต้องการกำหนดพารามิเตอร์แต่ใช้ค่าเฉลี่ยของระยะห่างที่น้อยที่สุดแทน ดังนิยามในสมการที่ 2.21 ถึง 2.23

$$MH(G, T) = \max (h_M (G, T), h_M (T, G)) \quad \dots (2.21)$$

$$\text{เมื่อ} \quad h_M (G, T) = \frac{1}{N_G} \sum_{g \in G} \min_{t \in T} \|g - t\| \quad \dots (2.22)$$

$$\text{และ} \quad h_M (T, G) = \frac{1}{N_T} \sum_{t \in T} \min_{g \in G} \|t - g\| \quad \dots (2.23)$$

โดยที่ N_G และ N_T คือ จำนวนจุดขอบใน GT และ TI ตามลำดับ

เนื่องจากวิธีนี้เป็นการใช้ค่าเฉลี่ยจึงมีข้อดีที่ไม่ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ และผลการวัดก็ได้จากการคำนวณสมาชิกทุกตัวในเซตระยะห่างที่น้อยที่สุด แต่ในบางภาพอาจให้ผลที่ไม่ดีนัก เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยนั้นก็ยังสามารถจะเป็นผลรวมของระยะห่างที่ได้จากสิ่งรบกวนด้วย และจากที่วิธีวัด MH พัฒนามาจากวิธีวัด SH ฉะนั้นค่า MH เท่ากับ 0 หมายถึง ค่าระยะห่างระหว่างขอบเป็น 0 นั่นคือ ขอบของ GT และ TI ทับกันสนิท โดยค่า MH ที่มากขึ้นจะแสดงถึงความถูกต้องที่ลดลง ฉะนั้นค่าความถูกต้องจึงแปรผกผันกับค่า MH

2.3 ปัญหาที่พบจากวิธีวัดในปัจจุบัน

จากการศึกษาวิธีวัดในปัจจุบัน ได้พบปัญหาของวิธีวัดเหล่านี้ ดังนี้

1. แม้ว่าวิธีวัดเชิงปริมาณนั้นจะมีอยู่หลายวิธี แต่ทั้งนี้แต่ละวิธีมีการพิจารณาความถูกต้องของภาพโดยใช้คุณลักษณะ (Feature) ของภาพเพียงแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เช่น พารามิเตอร์ของภาพ หรือขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ หรือบริเวณที่แบ่งส่วนได้ ฉะนั้นการใช้วิธีวัดเพียงวิธีเดียวจึงไม่สามารถครอบคลุมคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างของภาพได้

2. ผลการวัดของวิธีวัดเชิงปริมาณที่มีอยู่ยังไม่สามารถสื่อความหมายของค่าความถูกต้องได้อย่างชัดเจนนัก เนื่องจากไม่สามารถบอกรายละเอียดของความถูกต้องหลาย ๆ อย่างรวมอยู่ในค่าตัวเลขเพียงตัวเดียวได้ เช่น ตำแหน่งที่ผิดพลาดอยู่ส่วนใดของภาพ หรือการแปลความหมายของค่าตัวเลขยังไม่ชัดเจน เช่น วิธีวัด SH มีค่ามากที่สุดเป็น ∞ ฉะนั้น ค่าตัวเลขที่มากนั้นยังไม่สามารถตีความได้ว่าผิดพลาดมากหรือน้อยเพียงใด เป็นต้น

2.4 แนวคิดในการแก้ปัญหา

จากปัญหาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดเพื่อใช้แก้ปัญหา โดยแบ่งได้เป็น 3 แนว คือ

1. การนำแนวความคิดของวิธีวัดเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณมาใช้ร่วมกัน เพื่อให้ได้วิธีวัดที่น่าเชื่อถือ และผู้วัดได้เข้ามามีส่วนร่วมในการวัด ทำให้การวัดเป็นไปตามความต้องการของผู้วัดและนำไปใช้งานกับภาพหลาย ๆ แบบได้

2. การใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลาย ๆ วิธีร่วมกันในการวัดความถูกต้อง เพื่อให้สามารถวัดได้ครอบคลุมคุณลักษณะต่าง ๆ ของภาพได้ เช่น การใช้ทั้งวิธีวัดที่คำนึงถึงขอบและวิธีวัดที่คำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้การวัดมีความสมบูรณ์มากขึ้น

3. พัฒนาผลการวัดให้สื่อความหมายได้มากขึ้น เพื่อให้ผู้วัดตีความง่ายขึ้นและมีข้อมูลเพิ่มเติมให้กับผู้วัด

บทที่ 3

การออกแบบวิธีวัดผสมผสานเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

จากแนวคิดในการแก้ปัญหาที่พบในวิธีวัดในปัจจุบันที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 2 จึงนำมาสู่การออกแบบวิธีวัดรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นวิธีวัดที่รวมทั้งข้อดีของวิธีวัดเชิงคุณภาพและวิธีวัดเชิงปริมาณเข้าด้วยกัน และมีรายละเอียดเพิ่มเติมในการวัดเพื่อให้ผู้วัดได้ทราบถึงผลการวัดที่ละเอียดมากขึ้น ฉะนั้นวิธีวัดรูปแบบใหม่จึงมีชื่อว่า “วิธีวัดผสมผสานเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Qualitative and Quantitative Methods for Segmentation Validation Approach: วิธีวัด Q&Q)” การออกแบบวิธีวัดที่นำเสนอมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 การผสมผสานวิธีวัดเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

แม้ว่าวิธีวัดเชิงปริมาณจะให้ผลการวัดเป็นตัวเลขซึ่งทำให้ผลการวัดที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีวัดเชิงคุณภาพ แต่วิธีวัดเชิงคุณภาพก็ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยหลายงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การที่ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ทำการวัดนั้นก็เป็นสิ่งที่เหมาะสมกับการวัดในงานวิจัยบางงาน ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงสร้าง วิธีวัด Q&Q ที่รวบรวมข้อดีของทั้งวิธีวัดเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเข้าด้วยกัน กล่าวคือ นำความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้วัดเข้ามาใช้ร่วมกับวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน เพื่อให้เหมาะสมกับภาพในงานวิจัยต่าง ๆ ได้ การผสมผสานวิธีวัดทั้งสองแบบประกอบด้วย การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในภาพซึ่งจะเป็นไปตามความเห็นของผู้วัดที่มีต่อภาพลักษณะต่าง ๆ ผ่านการใช้ค่าน้ำหนัก และการใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธีร่วมกัน โดยให้ผลการวัดเป็นค่าตัวเลขที่เกิดจากผสมผสานค่าน้ำหนักและผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณ

3.1.1 การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย

วิธีวัด Q&Q นี้จะให้ผู้วัดหรือผู้เชี่ยวชาญเข้ามามีส่วนร่วมในการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยใน GT เช่นเดียวกับลักษณะของวิธีวัดเชิงคุณภาพที่วัดความถูกต้องตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณย่อยอาจมีความสำคัญแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งานขั้นต่อไปหลังจากแบ่งส่วนภาพแล้ว นั่นคือบริเวณย่อยใดที่จำเป็นมากในการนำไปใช้งานต่อไปย่อมมีความสำคัญมากกว่าบริเวณย่อยอื่น หรือบริเวณย่อยใดที่ต้องการความถูกต้องมากก็จะมีสำคัญมากกว่าบริเวณย่อยอื่น ดัง

ตัวอย่างในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นภาพแมว โดยที่บริเวณหูแมวสีขาวให้รู้ว่าเป็นภาพแมวได้มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนนี้จึงมีความสำคัญมากกว่าบริเวณอื่น ๆ



รูปที่ 3.1 ภาพแมวเมื่อแบ่งส่วนแล้วบริเวณหูสำคัญมากกว่าบริเวณอื่น

การให้ความสำคัญกับบริเวณย่อยจะอยู่ในรูปของค่าน้ำหนัก บริเวณที่มีความสำคัญมากกว่าจะมีค่าน้ำหนักมากกว่าบริเวณที่มีความสำคัญน้อย และค่าน้ำหนักจากบริเวณย่อยทั้งหมดต้องมีค่ารวมกันเท่ากับ 1 ซึ่งค่าน้ำหนักเหล่านี้จะถูกนำไปคำนวณร่วมกับผลการวัดของวิธีวัดเชิงปริมาณดังจะกล่าวต่อไป

3.1.2 การใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธีร่วมกัน

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีวิธีวัดเชิงปริมาณใดที่ใช้เป็นมาตรฐาน และวิธีวัดแต่ละวิธีมักวัดเฉพาะขอบหรือบริเวณอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเพื่อให้การวัดครอบคลุมคุณลักษณะของภาพหลาย ๆ อย่าง วิธีวัด Q&Q จึงได้นำเอาวิธีวัดเชิงปริมาณมาใช้ทั้ง 2 กลุ่ม นั่นคือ วิธีวัดที่อยู่ในกลุ่มที่ค่าน้ำหนักถึง **บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก และกลุ่มที่ค่าน้ำหนักถึง **ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก โดยจะเลือกใช้กลุ่มละ 1 วิธีวัด ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณที่ซ้ำซ้อนเพราะวิธีวัดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม จากการที่วิธีวัดของทั้งสองกลุ่มนี้มีอยู่หลายวิธี วิธีวัดใหม่ที่เสนอนี้จึงเปิดโอกาสให้ผู้วัดสามารถเลือกวิธีวัดในแต่ละกลุ่ม ๆ ละ 1 วิธี แต่เพื่อการทดลองและการวิเคราะห์วิธีวัด Q&Q งานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกวิธีวัดจำนวนหนึ่งมาให้ผู้วัดเลือกใช้ โดยวิธีวัดเชิงปริมาณที่เลือกมานั้นเป็นวิธีวัดที่นำทุกส่วนของภาพ ได้แก่ บริเวณที่ซ้อนทับ บริเวณที่ขาด และบริเวณที่เกินมาคำนวณด้วยซึ่งจะดีกว่าวิธีวัดที่นำเฉพาะบางส่วนมาคำนวณเท่านั้น และผู้วัดต้องกำหนดว่าวิธีวัดเชิงปริมาณที่คัดเลือกมาใช้กลุ่มใดมีความสำคัญมากหรือน้อยกว่ากันเพียงใดโดยการใช้ค่าน้ำหนักเช่นเดียวกับการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย ผลรวมของค่าน้ำหนักต้องมีค่าเท่ากับ 1

วิธีวัดที่ค่าน้ำหนักถึง **บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักที่ได้คัดเลือกมา ได้แก่ วิธีวัด S และวิธีวัด SA เนื่องจากเป็นวิธีวัดที่พิจารณาความถูกต้องจากทุกจุดภาพทั้งในบริเวณส่วนขาด ส่วนเกิน และส่วนที่ซ้อนทับกัน ส่วนกลุ่มที่ค่าน้ำหนักถึง **ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก วิธีวัดที่ได้คัดเลือกมา คือ วิธีวัด SH วิธีวัด PH วิธีวัด CH และวิธีวัด MH เนื่องจากเป็นวิธีวัดที่พิจารณาความถูกต้องของภาพจากทุกจุดขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้

การทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization)

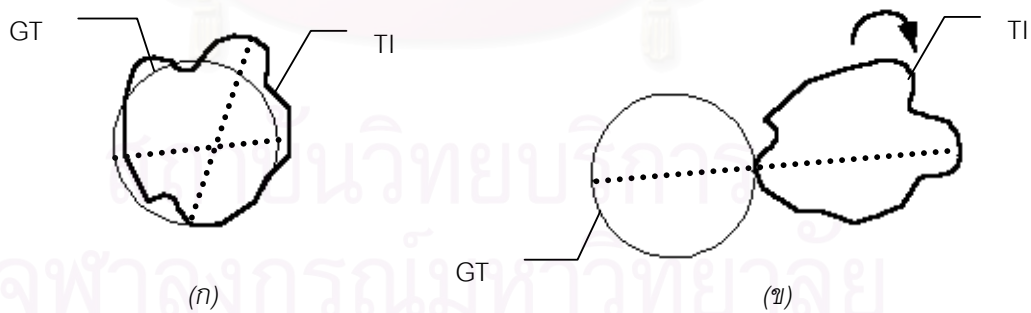
จากนิยามของวิธีวัดที่คัดเลือกมาเหล่านี้ซึ่งกล่าวไปแล้วในบทที่ 2 พบว่าวิธีวัด S และวิธีวัด SA นั้นค่าที่ได้จากการวัดจะแปรตามค่าความถูกต้องโดยอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ส่วนวิธีวัด SH วิธีวัด PH วิธีวัด CH และวิธีวัด MH ซึ่งอยู่ในกลุ่มระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟนั้น ค่าที่ได้จากการวัดจะแปรผกผันกับค่าความถูกต้องโดยอยู่ในช่วง $[0, \infty)$ ฉะนั้นเพื่อให้วิธีวัดทั้งหมดนี้มีค่าความถูกต้องสอดคล้องไปในทำนองเดียวกันและสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้จึงต้องทำให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน (Normalize) โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าที่ได้จากการวัด **แปรตาม** ค่าความถูกต้องและอยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยค่า 0 หมายถึงไม่มีความถูกต้อง และ 1 หมายถึงถูกต้องสมบูรณ์ ฉะนั้นวิธีวัดที่ต้องนำมาปรับให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน ได้แก่ วิธีวัด SH วิธีวัด PH วิธีวัด CH และวิธีวัด MH ดังสมการที่ 3.1

$$M_{\text{norm}} = 1.0 - \frac{M}{M_{\text{max}}} \quad \dots (3.1)$$

โดยที่ M และ M_{norm} คือ ผลการวัดก่อนและหลังจากการทำให้เป็นบรรทัดฐานตามลำดับ

M_{max} คือ ผลการวัดก่อนการทำให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามนิยามของวิธีวัดแต่ละวิธี

เนื่องจากสมการของวิธีวัด SH วิธีวัด PH วิธีวัด CH และวิธีวัด MH นั้น M_{max} มีค่าเป็น ∞ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในสมการที่ 3.1 ได้ ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดค่า M_{max} ของแต่ละวิธีวัดไว้เป็นค่าที่คำนวณได้จากกรณีที่ GT และ TI ไม่มีส่วนที่ซ้อนทับกันเลยและมีขอบชิดกันเนื่องจากต้องการให้ M_{norm} มีลักษณะความถูกต้องเหมือนกับผลการวัดของ S และ SA ที่มีค่าเป็น 0 ในกรณีนี้



รูปที่ 3.2 การเลื่อนตำแหน่งของ TI เพื่อให้มีระยะห่างระหว่างกันที่มากที่สุด

(ก) ตำแหน่งของ GT และ TI

(ข) ตำแหน่งของ TI สมมติหลังจากเลื่อนตำแหน่งและหมุนภาพ

ฉะนั้นในการทำให้เป็นบรรทัดฐานจึงต้องสร้างภาพสมมติของ TI ให้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่ซ้อนทับกับ GT โดยให้เป็นกรณีที่ขอบชิดกันและให้เส้นตรงที่เป็นระยะห่างที่ยาวที่สุดของแต่ละภาพอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งการหาตำแหน่งของ TI จะทำได้โดยการเลื่อนตำแหน่ง (Translation) หรือหมุนภาพ (Rotation) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แล้วคำนวณค่าผลการวัดของ TI สมมติที่อยู่ในตำแหน่งดังกล่าว ซึ่งค่าที่ได้ก็จะเป็นค่า M_{\max} นั่นเอง

3.1.3 ผลการวัดแบบเลขผสมผสาน

ผลการวัดของวิธีวัด Q&Q นี้เรียกว่า “เลขผสมผสาน” เกิดจากการคำนวณร่วมกันระหว่างค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของบริเวณย่อย ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณของบริเวณย่อย และค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ โดยเริ่มจากการคำนวณค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของบริเวณย่อยกับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณของบริเวณย่อยก่อนโดยใช้สมการที่ 3.2 ผลจากการคำนวณจะเป็นตัวเลข 2 ตัว ตัวหนึ่งคือผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก (M_R) และอีกตัวหนึ่งคือผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก (M_B)

$$M_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i m_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \dots (3.2)$$

เมื่อ M_w คือ ผลของวิธีวัดเชิงปริมาณวิธีใดวิธีหนึ่งของภาพที่มีการแบ่งบริเวณย่อยตามความสำคัญออกเป็น n ส่วน ซึ่งก็คือ M_R หรือ M_B

w_i คือ ค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยที่ i

m_i คือ ค่าจากการวัดด้วยวิธีวัดเชิงปริมาณหนึ่งที่บริเวณย่อยที่ i

เมื่อได้ M_R และ M_B แล้วจึงนำค่าทั้งสองนี้ไปคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณโดยใช้สมการที่ 3.3 ผลที่ได้คือ **เลขผสมผสาน**นั่นเอง แผนภาพแสดงการคำนวณหาเลขผสมผสานนี้อยู่ในรูปที่ 3.3

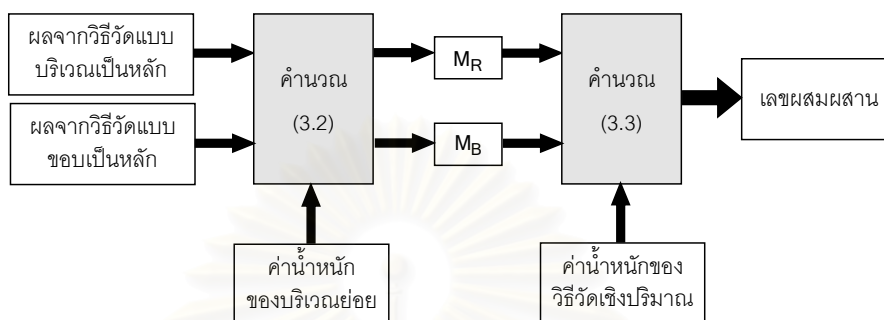
$$M = w_R M_R + w_B M_B \quad \dots (3.3)$$

เมื่อ M คือ เลขผสมผสาน

w_R คือ ค่าน้ำหนักของวิธีวัดแบบค่าน้ำหนักถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก

w_B คือ ค่าน้ำหนักของวิธีวัดแบบค่าน้ำหนักถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก

เลขผสมผสมมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยค่า 0 หมายถึง TI ไม่มีความถูกต้อง และค่า 1 หมายถึงถูกต้องสมบูรณ์ ค่าที่มากขึ้นแสดงถึงความถูกต้องที่มากขึ้น ฉะนั้นเลขผสมผสมแปรตามค่าความถูกต้อง



รูปที่ 3.3 การคำนวณผลการวัดของวิธีวัด Q&Q

เนื่องจากว่า GT และ TI ที่นำมาวัดความถูกต้องอาจมีบริเวณที่แบ่งส่วนได้หลายบริเวณในภาพ ซึ่งในงานวิจัยนี้ขอเรียกบริเวณดังกล่าวว่า “วัตถุ” ทำให้การวัดความถูกต้องสามารถทำได้ทั้งแบบวัดความถูกต้องของภาพทั้งภาพหรือแยกเป็นกลุ่มวัตถุ ซึ่งกลุ่มวัตถุอาจประกอบด้วยวัตถุใน TI มากกว่าหรือเท่ากับ 1 วัตถุ และวัตถุใน GT มากกว่าหรือเท่ากับ 1 วัตถุก็ได้ ถ้าผู้วัดเลือกวิธีการวัดแบบแยกเป็นกลุ่มวัตถุ การคำนวณหาผลการวัดต้องแยกคำนวณตามกลุ่มวัตถุ แล้วจึงนำผลการวัดของแต่ละกลุ่มวัตถุมาคำนวณรวมกันเป็นผลการวัดรวมของภาพ

การคำนวณผลการวัดรวมของภาพทำได้โดยการเฉลี่ยผลการวัดของกลุ่มวัตถุโดยให้จำนวนจุดภาพของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT หรือจำนวนจุดขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT มีผลต่อผลการวัดรวมด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการที่ผู้วัดเลือกให้วิธีวัดแบบใดมีความสำคัญมากกว่ากัน ถ้าผู้วัดเลือกใช้วิธีวัดแบบคำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก จะนำจำนวนจุดภาพของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT ไปใช้ในการคำนวณ แต่ถ้าผู้วัดเลือกใช้วิธีวัดแบบคำนึงถึงขอบบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก จะนำจำนวนจุดขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ใน GT ไปใช้ในการคำนวณ นั่นคือ ผลการวัดของกลุ่มวัตถุขนาดใหญ่จะมีผลต่อผลการวัดรวมมากกว่าผลของกลุ่มวัตถุขนาดเล็ก ดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$M_{\text{total}} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n a_i m_i}{\sum_{i=1}^n a_i} & ; w_R > w_B \\ \frac{\sum_{i=1}^n b_i m_i}{\sum_{i=1}^n b_i} & ; w_R \leq w_B \end{cases} \quad \dots (3.4)$$

โดยที่ M_{total} คือ เลขผสมผสานรวม

a_i และ b_i คือ จำนวนจุดภาพใน GT ของกลุ่มที่ i และจำนวนจุดขอบของ GT ของกลุ่มที่ i ตามลำดับ

m_i คือ เลขผสมผสานของกลุ่มวัตถุที่ i

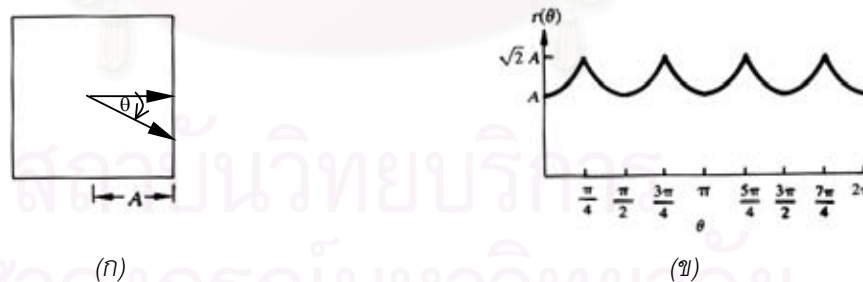
n คือ จำนวนกลุ่มวัตถุ

3.2 การใช้ตัวอธิบายภาพเพื่อให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่ผู้วัด

วิธีวัด Q&Q ได้ออกแบบให้มีการเพิ่มรายละเอียดเพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมให้แก่ผู้วัดนอกเหนือไปจากการวัดแบบเลขผสมผสานซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1.3 นั่นคือ การใช้ตัวอธิบายภาพ (Image descriptor) ที่เรียกว่า “ซิกเนเจอร์ (Signature)” [19, 20] เป็นหลักเพื่อใช้อธิบายรูปร่างและตำแหน่งของส่วนที่ผิดปกติใน TI นอกจากนี้จะใช้ตัวอธิบายอื่น ๆ เพื่อประกอบกับผลการวัด ได้แก่ จำนวนและขนาดของช่องโหว่ในภาพ ซึ่งหมายถึงบริเวณที่เป็นส่วนขาดและไม่ติดกับขอบภาพ เปรอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับ เปรอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนขาดและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนเกินเมื่อเทียบกับจำนวนจุดภาพใน GT

3.2.1 ซิกเนเจอร์

ซิกเนเจอร์เป็นการแสดงความสัมพันธ์แบบ 1 มิติของจุดขอบภาพ วิธีสร้างซิกเนเจอร์มีหลายวิธีด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้จะสร้างโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากจุดศูนย์กลางถ่วงของภาพไปยังจุดขอบภาพ (r) เมื่อมุม (θ) เปลี่ยนไปตั้งแต่ 0 ถึง 359 องศา ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของซิกเนเจอร์ [17]

(ก) ภาพสี่เหลี่ยม และ (ข) ซิกเนเจอร์ของภาพสี่เหลี่ยม

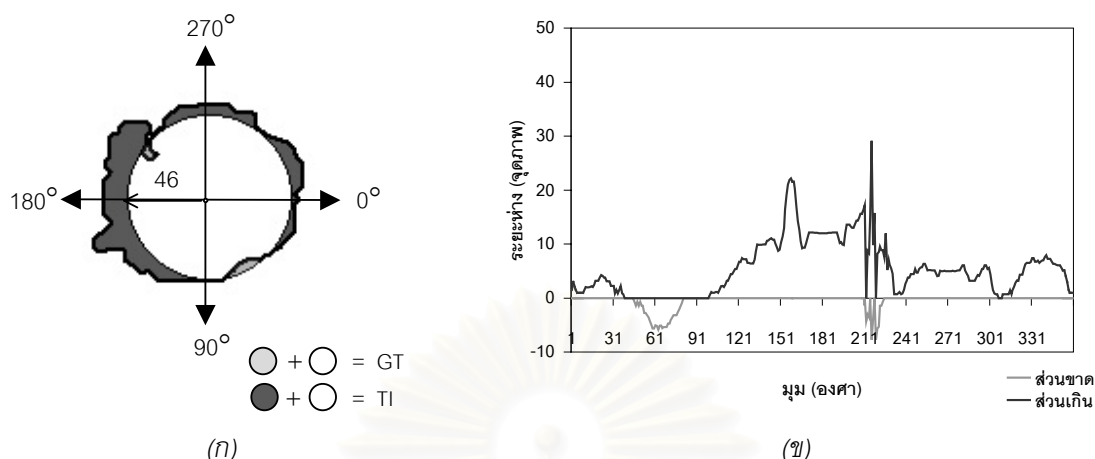
การสร้างซิกเนเจอร์ทำได้โดยหาระยะห่าง (r) จากจุดขอบไปยังจุดศูนย์กลางถ่วง (Centroid) ของภาพ แล้วเก็บไว้ในเซตจำนวน 360 เซต (R_0 ถึง R_{359}) โดยแบ่งตามมุมตั้งแต่ 0 องศาถึง 359 องศาในทิศทางตามนาฬิกา จำนวนสมาชิกภายในแต่ละเซตอาจมีจำนวนมากกว่า 1 จุดภาพเนื่องจากอาจมีจุดขอบอยู่ในแนวเส้น

องศาแนวเดียวกันหลายจุดภาพ นั่นคือ $R_i = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ เมื่อ i คือ มุมใด ๆ และ n คือจำนวนสมาชิกในเซต แต่ในบางกรณีเซต R อาจไม่มีสมาชิกเลยก็ได้เนื่องจากไม่มีจุดขอบที่อยู่ในแนวเส้นองศา ซึ่งในกรณีนี้จะใช้วิธีเฉลี่ยค่าของสมาชิกในเซตที่อยู่ติดกัน

การนำซิกเนเจอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบ GT กับ TI ทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมคือตำแหน่งที่ผิดพลาดและลักษณะรูปร่างของส่วนที่ผิดพลาด ซึ่งทำได้โดยนำซิกเนเจอร์ของ GT และ TI มาหาผลต่างแล้วสร้างเป็นซิกเนเจอร์ส่วนเกินและซิกเนเจอร์ส่วนขาด โดยซิกเนเจอร์ของทั้ง GT และ TI ต้องใช้จุดศูนย์ถ่วงเดียวกันในการคำนวณคือจุดศูนย์ถ่วงของ GT การหาผลต่างต้องทำทุก ๆ เซต R ตั้งแต่ R_0 ถึง R_{359} ขั้นตอนการคำนวณผลต่างเป็นดังนี้

1. พิจารณาเซต R_i ของ GT และ TI โดยเริ่มจาก i เท่ากับ 0
2. สำหรับ r แต่ละค่าในเซต R_i ของ TI หา r_{\min} โดยเลือกจาก r ใด ๆ ในเซต R_i ของ GT ที่ทำให้มีผลต่างสัมบูรณ์น้อยที่สุด แล้วนำมาคำนวณค่าผลต่าง ($d = r - r_{\min}$)
3. เก็บค่า d ไว้ในเซต ซึ่งมีอยู่ 2 เซตด้วยกันคือ เซตส่วนเกิน (R_{exceed}) และเซตส่วนขาด (R_{miss}) ถ้าค่า d มีค่าเป็นบวก ให้เก็บในเซต R_{exceed} แต่ถ้า d มีค่าเป็นลบ ให้เก็บในเซต R_{miss}
4. เลือกตัวแทนของเซต R_{exceed} และตัวแทนของเซต R_{miss} เนื่องจากเซตทั้งสองนี้อาจจะมีสมาชิกหลายตัว
5. ทำซ้ำทุกเซตโดย $0 \leq i \leq 359$
6. ตัวแทนทั้งสองแต่ละเซต R_i ทั้ง 360 เซต จะนำไปสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะห่างส่วนเกินและส่วนขาดที่มุมต่าง ๆ เรียกว่า “ซิกเนเจอร์ส่วนเกิน” และ “ซิกเนเจอร์ส่วนขาด”

ในงานวิจัยนี้ได้จัดเตรียมค่าตัวแทนของเซต R_{exceed} และ R_{miss} ให้เลือก 2 ค่า คือ **ค่าเฉลี่ย** หรือใช้ **ค่าที่มีค่าสัมบูรณ์มากที่สุด** ในเซต ตัวอย่างของซิกเนเจอร์แสดงอยู่ในรูปที่ 3.5 โดย GT จะเป็นบริเวณที่มีเส้นขอบบางมีรัศมีเท่ากับ 46 จุดภาพ และ TI จะเป็นบริเวณที่มีเส้นขอบหนา ซิกเนเจอร์ที่ได้จะมีทั้งซิกเนเจอร์ส่วนขาดและซิกเนเจอร์ส่วนเกินโดยเลือกใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทน เมื่อพิจารณาองศาที่ 219 ในรูปนั้น R_{219} ของ GT ประกอบด้วย {41.95} และ R_{219} ของ TI ประกอบด้วย {57.63, 42.63, 36.24} จากขั้นตอนการคำนวณที่กล่าวไว้ข้างต้นจะได้ว่า เซต R_{exceed} มีสมาชิก 2 ตัวคือ {15.68, 0.68} และเซต R_{miss} มีสมาชิก 1 ตัวคือ {5.71} และตัวแทนที่เป็นค่าเฉลี่ยของเซตทั้งสองเป็น 15.71 และ 5.71 ตามลำดับ ซึ่งซิกเนเจอร์ส่วนเกินและซิกเนเจอร์ส่วนขาดนี้สามารถบอกถึงตำแหน่งที่ผิดพลาดใน TI และลักษณะรูปร่างของส่วนที่ผิดพลาดด้วย เช่น เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่ผิดพลาดจะพบว่า TI นี้มีส่วนเกินทั่วทั้งภาพ และมีส่วนขาดอยู่เล็กน้อย บริเวณที่มีทั้งส่วนขาดและส่วนเกินอยู่ประมาณตำแหน่งที่ 210 ถึง 230 องศา เป็นต้น



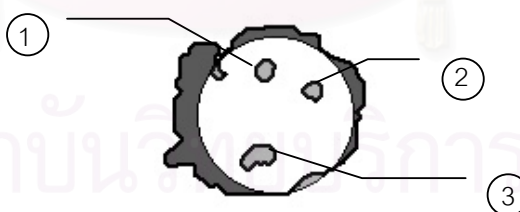
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการเปรียบเทียบซิกเนเจอร์ของภาพ
 (ก) ลักษณะการซ้อนทับของ GT (เส้นขอบบาง) และ TI (เส้นขอบหนา)
 (ข) ซิกเนเจอร์ส่วนเกินและส่วนขาด

3.2.2 ตัวอย่างภาพอื่น ๆ

นอกจากซิกเนเจอร์แล้ว ยังมีตัวอย่างภาพอื่น ๆ ที่ใช้อธิบายประกอบผลการวัด ได้แก่

ช่องโหว่ในภาพ

ช่องโหว่ในภาพเป็นตัวอย่างถึงบริเวณภายในของ TI ที่ซิกเนเจอร์อธิบายได้ไม่ชัดเจนนัก โดยช่องโหว่ในภาพจะเป็นบริเวณที่เป็นส่วนขาดและไม่อยู่ติดกับขอบภาพ ซึ่งวิธีวัด Q&Q ให้ข้อมูลทั้งจำนวนและขนาดของช่องโหว่ในภาพ โดยตัวอย่างของช่องโหว่ในภาพแสดงอยู่รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ช่องโหว่ในภาพจำนวน 3 ช่องซึ่งมีขนาด 89, 75 และ 165 จุดภาพ
 จากซ้ายไปขวาและบนลงล่างตามลำดับ

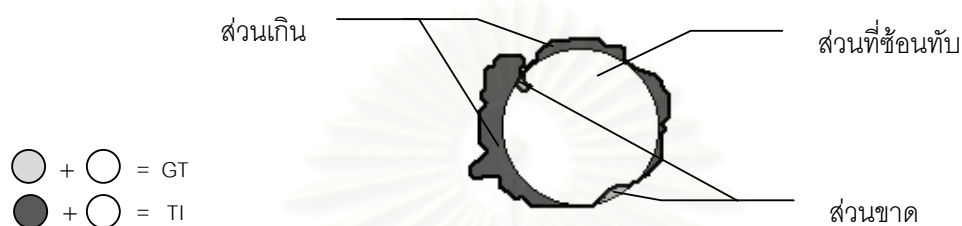
เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับ

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับใช้แสดงว่า TI มีจำนวนจุดภาพซ้อนทับกับ GT เป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพใน GT ซึ่งบริเวณที่ซ้อนทับของ TI และ GT แสดงดังรูปที่ 3.7 เมื่อ GT คือวงกลมเส้นขอบบาง และ TI คือรูปทรงเส้นขอบหนา ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ 3.5

$$P_i = \frac{a_i}{a_{GT}} \times 100 \quad \dots (3.5)$$

โดยที่ P_i คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับ

a_i และ a_{GT} คือ จำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับของ TI และ GT และจำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 บริเวณที่ซ้อนทับ บริเวณส่วนเกิน และบริเวณส่วนขาด

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนขาด

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนขาดใช้บอกว่า TI มีจำนวนจุดภาพที่ขาดไปจาก GT ก็ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพใน GT ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ 3.6 บริเวณส่วนขาดของ TI และ GT แสดงดังรูปที่ 3.7 เมื่อ GT คือวงกลมเส้นขอบบาง และ TI คือรูปทรงเส้นขอบหนา

$$P_m = \frac{a_m}{a_{GT}} \times 100 \quad \dots (3.6)$$

โดยที่ P_m คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ขาด

a_m และ a_{GT} คือ จำนวนจุดภาพที่ขาดของ TI และจำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนเกิน

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนเกิน จะใช้บอกว่า TI มีจำนวนจุดภาพที่เกินไปจาก GT ก็ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพใน GT ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ 3.7 บริเวณส่วนเกินของ TI และ GT แสดงดังรูปที่ 3.7 เมื่อ GT คือวงกลมเส้นขอบบาง และ TI คือรูปทรงเส้นขอบหนา

$$P_e = \frac{a_e}{a_{GT}} \times 100 \quad \dots (3.7)$$

โดยที่ P_e คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เกิน

a_e และ a_{GT} คือ จำนวนจุดภาพที่เกินของ TI และจำนวนจุดภาพที่อยู่ใน GT ตามลำดับ

บทที่ 4

การทดลองใช้วิธีวัด Q&Q และผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอการทดลองใช้วิธีวัด Q&Q โดยนำไปวัดความถูกต้องของภาพลักษณะต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของวิธีวัด Q&Q การทดลองแบ่งเป็น 5 ส่วน คือ การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน การทดลองกำหนดสำคัญให้แก่บริเวณย่อย การทดลองกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ สุดท้ายคือการทดลองวัดความถูกต้องของภาพเมื่อมีวัตถุในภาพหลายวัตถุ ซึ่งผลการทดลองต่าง ๆ และการวิเคราะห์ผลจะรวมอยู่ในบทนี้ด้วย

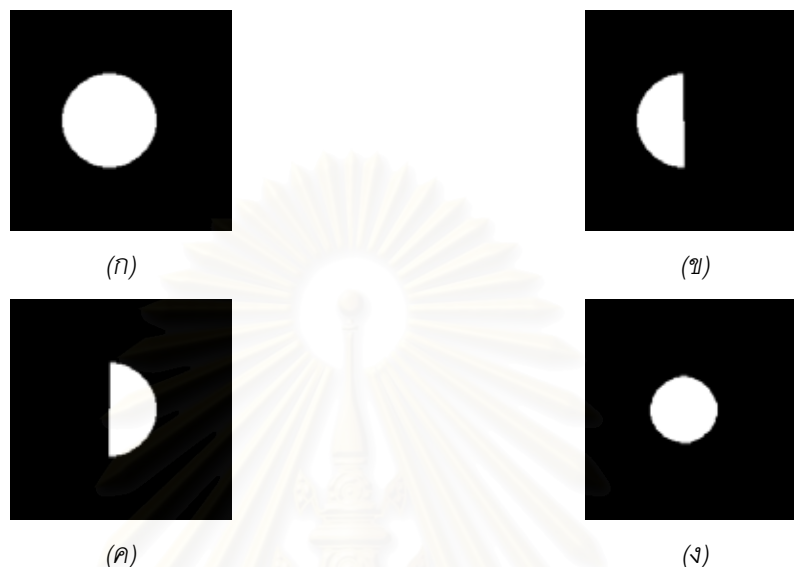
4.1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน

การทดลองนี้สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัด Q&Q กับวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน โดยในงานวิจัยนี้มีสมมติฐานว่า วิธีวัด Q&Q น่าจะสื่อให้เห็นผลการวัดได้ชัดเจนกว่าวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบัน กล่าวคือ ในบางกรณีวิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบันไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ วิธีวัด Q&Q จะสามารถบอกความแตกต่างได้

4.1.1 รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

วิธีวัด Q&Q ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีการกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยและวิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือ วิธีวัด S และวิธีวัด SH ซึ่งจะทดลองกำหนดความสำคัญให้กับวิธีวัดเชิงปริมาณเป็น 3 แบบ คือ แบบที่ 1 กำหนดให้วิธีวัดแบบค้ำถึงถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** โดยให้ค้ำน้ำหนักของวิธีวัดแบบค้ำถึงถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก (w_R) มีค่าเท่ากับ 0.8 และค้ำน้ำหนักของวิธีวัดแบบค้ำถึงถึง**ขอบ**ของ**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก (w_B) มีค่าเท่ากับ 0.2 แบบที่ 2 กำหนดให้วิธีวัดแบบค้ำถึงถึง**ขอบ**ของ**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** โดยให้ w_R มีค่าเท่ากับ 0.2 และ w_B มีค่าเท่ากับ 0.8 และแบบสุดท้ายกำหนดให้วิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสอง**สำคัญเท่ากัน** โดยให้ w_R มีค่าเท่ากับ 0.5 และ w_B มีค่าเท่ากับ 0.5

ภาพที่นำมาทดลองวัดความถูกต้องเป็นชุดภาพวงกลมที่สร้างขึ้นซึ่งประกอบด้วย GT 1 ภาพ และ TI จำนวน 3 ภาพที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน และมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของ GT ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ชุดภาพวงกลม

(ก) GT (ข) TI ที่ 1 (ค) TI ที่ 2 และ (ง) TI ที่ 3

4.1.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

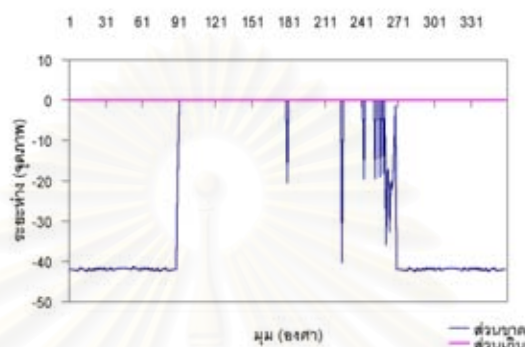
ผลการวัดจากวิธีวัด Q&Q ของ TI ทั้งสามซึ่งอยู่ในตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบกับผลจากวิธีวัดเชิงปริมาณจำนวน 4 วิธี ซึ่งได้แก่ วิธีวัด S วิธีวัด SA วิธีวัด SH และวิธีวัด MH นอกจากนี้ซิกเนเจอร์ของ TI ของแต่ละภาพมีแสดงไว้ในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดของ TI ในชุดภาพวงกลม

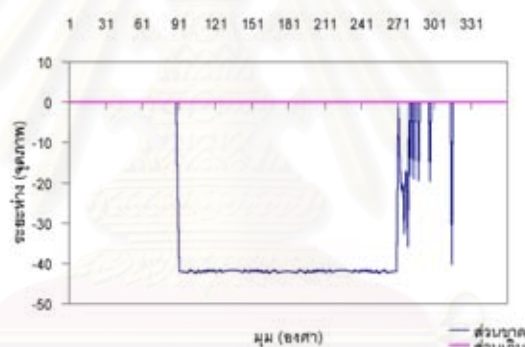
TI ที่	ผลการจากวิธีวัดเชิงปริมาณ				เลขผสมผสาน		
	S	SA	SH	MH	บริเวณ สำคัญกว่า	สำคัญ เท่ากัน	ขอบ สำคัญกว่า
1	0.6667	0.2500	0.5040	0.8431	0.6341	0.5853	0.5365
2	0.6667	0.2500	0.5040	0.8431	0.6341	0.5853	0.5365
3	0.6667	0.2500	0.8481	0.8579	0.7030	0.7574	0.8118

จากการทดลองพบว่า วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านิ่งถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก คือ วิธีวัด S และวิธีวัด SA และวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านิ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก ซึ่งคือ วิธีวัด SH และวิธีวัด

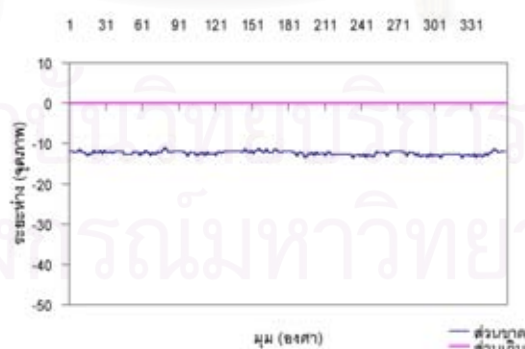
MH **ไม่สามารถบอกความแตกต่าง**ของ TI ที่ 1 และ TI ที่ 2 เนื่องจากจำนวนจุดภาพในบริเวณที่ซ้อนทับบริเวณส่วนเกินและบริเวณส่วนขาดของ TI ทั้งสองมีค่าเท่ากัน และตำแหน่งของจุดขอบใน TI ทั้งสองก็มีระยะห่างจาก GT เท่ากัน เมื่อพิจารณาผลการทดลองของวิธีวัด Q&Q พบว่า เลขผสมผสาน**ไม่สามารถบอกความแตกต่าง**ของภาพทั้งสองได้เช่นกัน แต่ซิกเนเจอร์ซึ่งคือตัวอธิบายภาพสามารถ**บอกความแตกต่าง**ได้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ซิกเนเจอร์ของ TI ของชุดภาพวงกลม

(ก) ซิกเนเจอร์ของ TI ที่ 1 (ข) ซิกเนเจอร์ของ TI ที่ 2 และ (ค) ซิกเนเจอร์ของ TI ที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบผลการวัดของ TI ที่ 1 กับ TI ที่ 3 หรือผลการวัดของ TI ที่ 2 กับ TI ที่ 3 พบว่า วิธีวัด S และ วิธีวัด SA **ไม่สามารถบอกความแตกต่าง**ของภาพทั้งสองได้เนื่องจากจำนวนจุดภาพของบริเวณที่ซ้อนทับ บริเวณส่วนเกินและบริเวณส่วนขาดของ TI ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ในขณะที่วิธีวัด Q&Q **สามารถบอกความแตกต่าง**ของภาพทั้งสองได้ เนื่องจากในการคำนวณได้คำนึงถึงทั้งขอบและบริเวณ

ดังนั้น จะเห็นว่าวิธีวัด Q&Q สามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ดีกว่าวิธีวัดเชิงปริมาณวิธีใดวิธีหนึ่งไม่ว่าจะกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นแบบใด ซึ่งการกำหนดความสำคัญที่ต่างกันนั้น จะทำให้ผลการวัดแตกต่างกันด้วยซึ่งแสดงให้เห็นในผลการทดลอง เช่น ในผลการทดลองของ TI ที่ 3 นั้นในกรณีที่กำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึงขอบสำคัญกว่า วิธีวัด Q&Q จะให้ผลการวัดที่ชัดเจนมากขึ้น โดยการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของภาพที่ผู้วัดสนใจซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามความต้องการของผู้วัด

4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน

ในการทดลองนี้ เป็นการวัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนจากภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง ในงานวิจัยของภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์ เรื่อง “การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ” [10] เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจากวิธีวัดเชิงคุณภาพที่อยู่ในงานวิจัยนี้ โดยมีสมมติฐานว่าผลการวัดจากวิธีวัด Q&Q น่าจะให้ผลการวัดในทำนองเดียวกับวิธีวัดเชิงคุณภาพ

4.2.1 รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

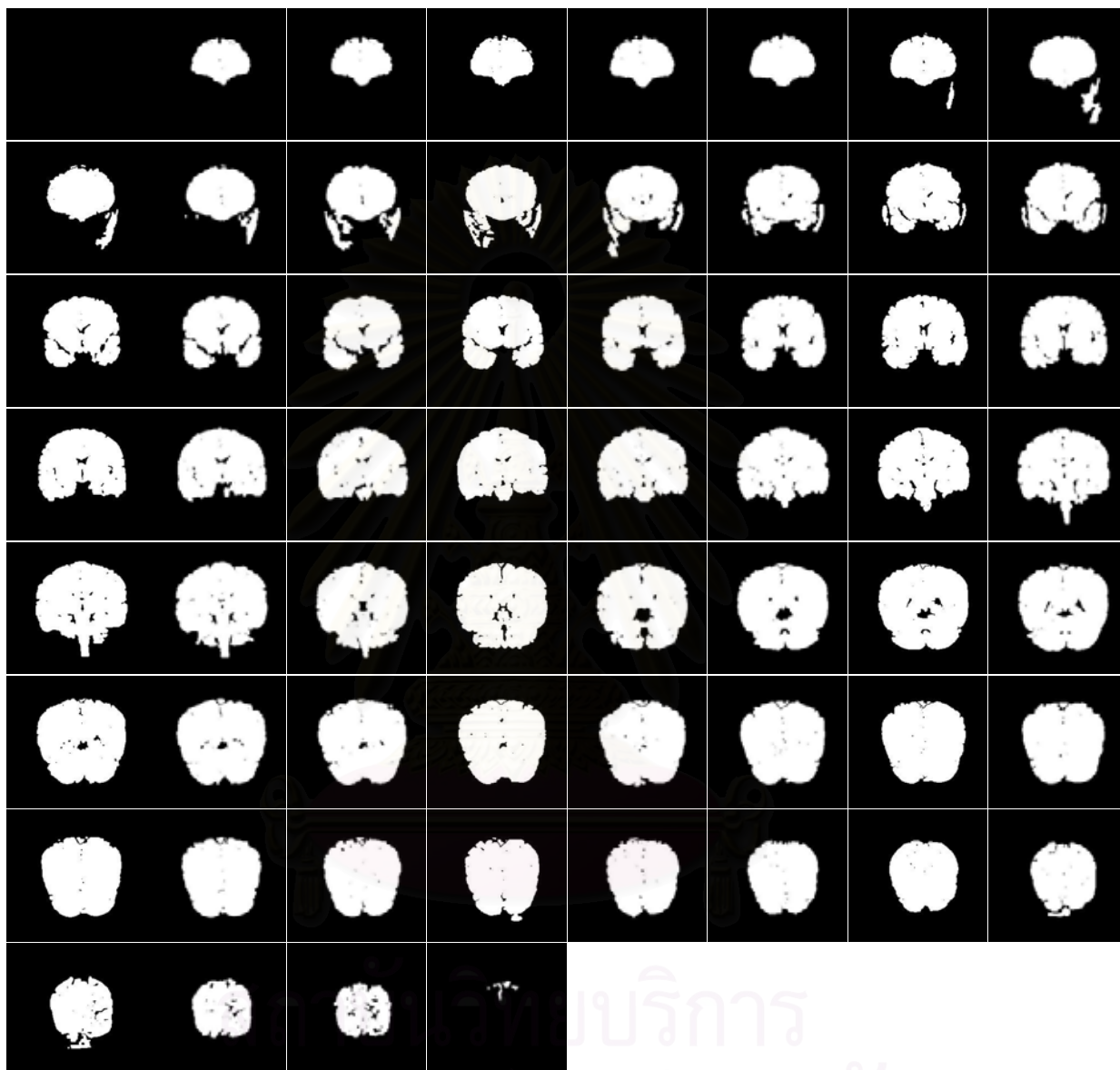
วิธีวัด Q&Q ที่นำมาใช้ทดลองไม่มีการกำหนดความสำคัญให้บริเวณย่อย เลือกใช้วิธีวัด S และวิธีวัด SH ส่วนการกำหนดความสำคัญให้กับวิธีวัดเชิงปริมาณจะทำทั้ง 3 แบบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1

ชุดภาพที่นำมาใช้มีด้วยกัน 2 ชุดภาพ ๆ ละ 60 ภาพ [10] ดังรูปที่ 4.3 และ 4.5 ส่วน GT ที่นำมาใช้จะเป็นภาพที่แบ่งส่วนโดยแพทย์ [10] ดังรูปที่ 4.4 และ 4.6 โดยคำนวณผลการวัดของภาพแต่ละภาพโดยใช้ ผลการวัดของภาพแต่ละภาพจะนำมาเฉลี่ยเพื่อหาผลการวัดรวมของทั้งชุดภาพซึ่งใช้วิธีคำนวณในทำนองเดียวกับการคำนวณหาผลการวัดรวมของกลุ่มวัตถุที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 แต่ไม่นำขนาดของวัตถุในภาพมาพิจารณาเนื่องจากถือว่าภาพทุกภาพมีผลต่อผลการวัดรวมเท่ากันหมดดังในสมการที่ 4.1

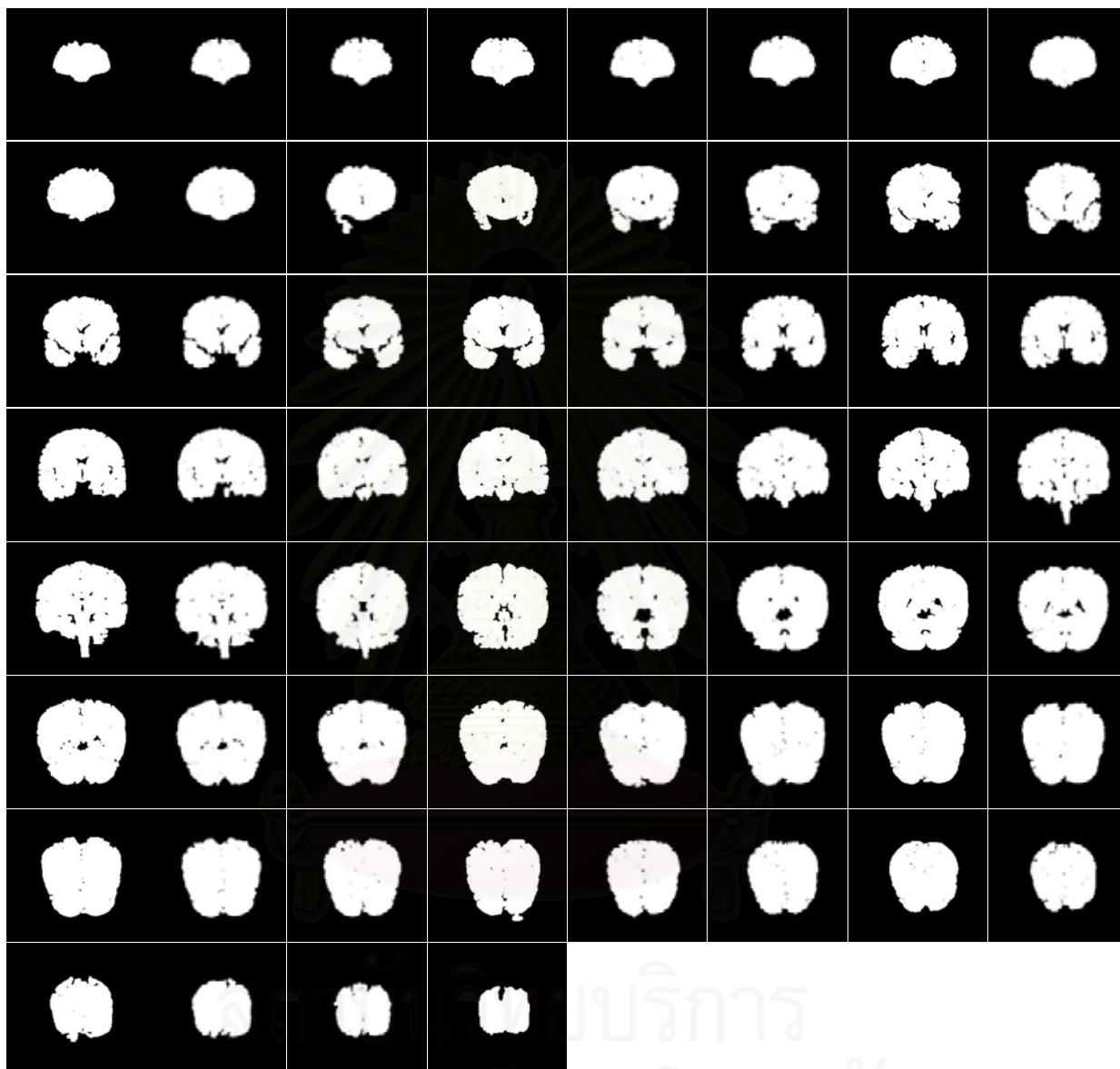
$$M_{\text{series}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad \dots (4.1)$$

โดยที่ M_{series} คือเลขผสมผสานเฉลี่ยของชุดภาพ

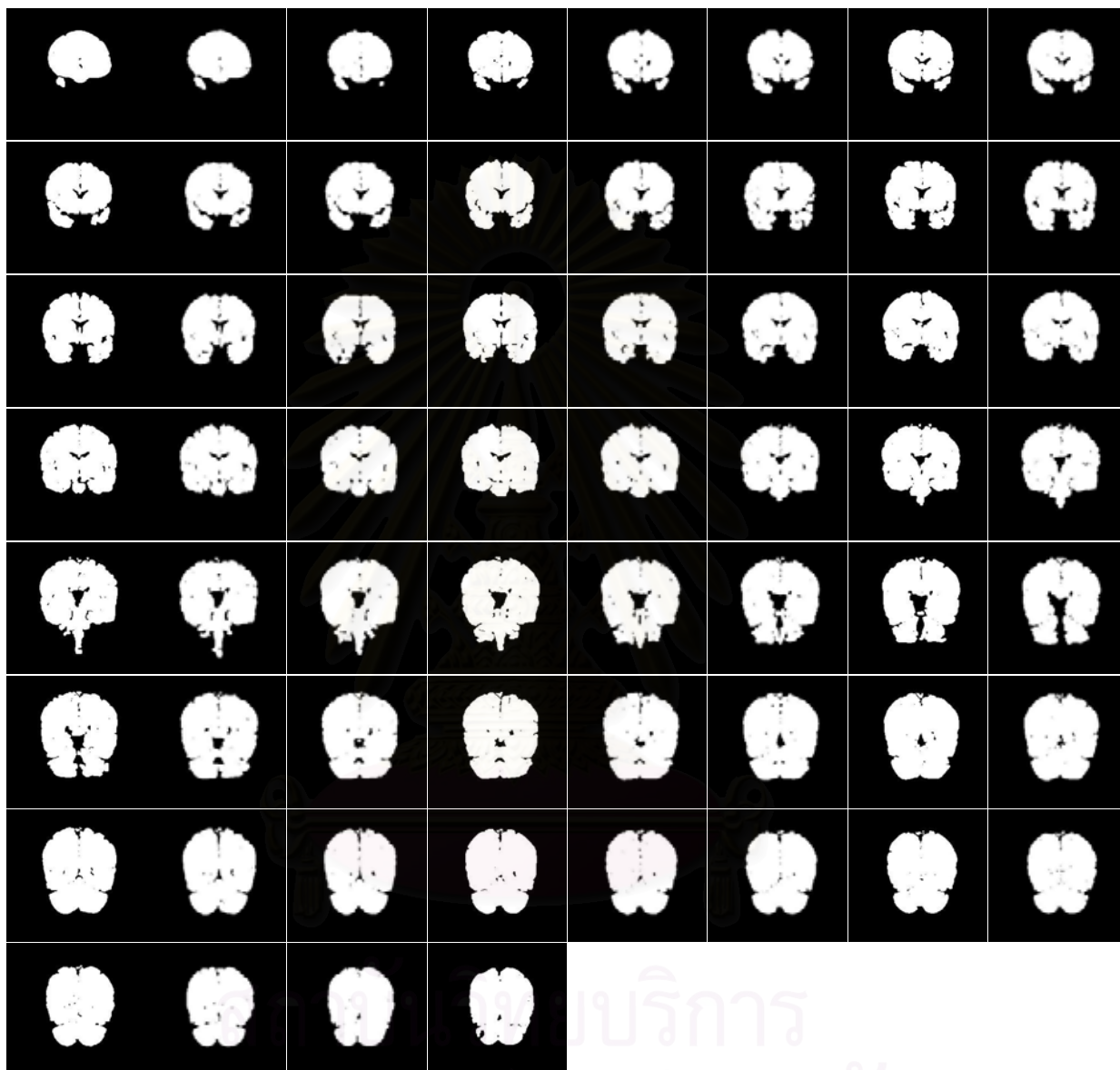
m_i คือ เลขผสมผสานของภาพลำดับที่ i และ n คือ จำนวนภาพในชุดภาพซึ่งในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 60



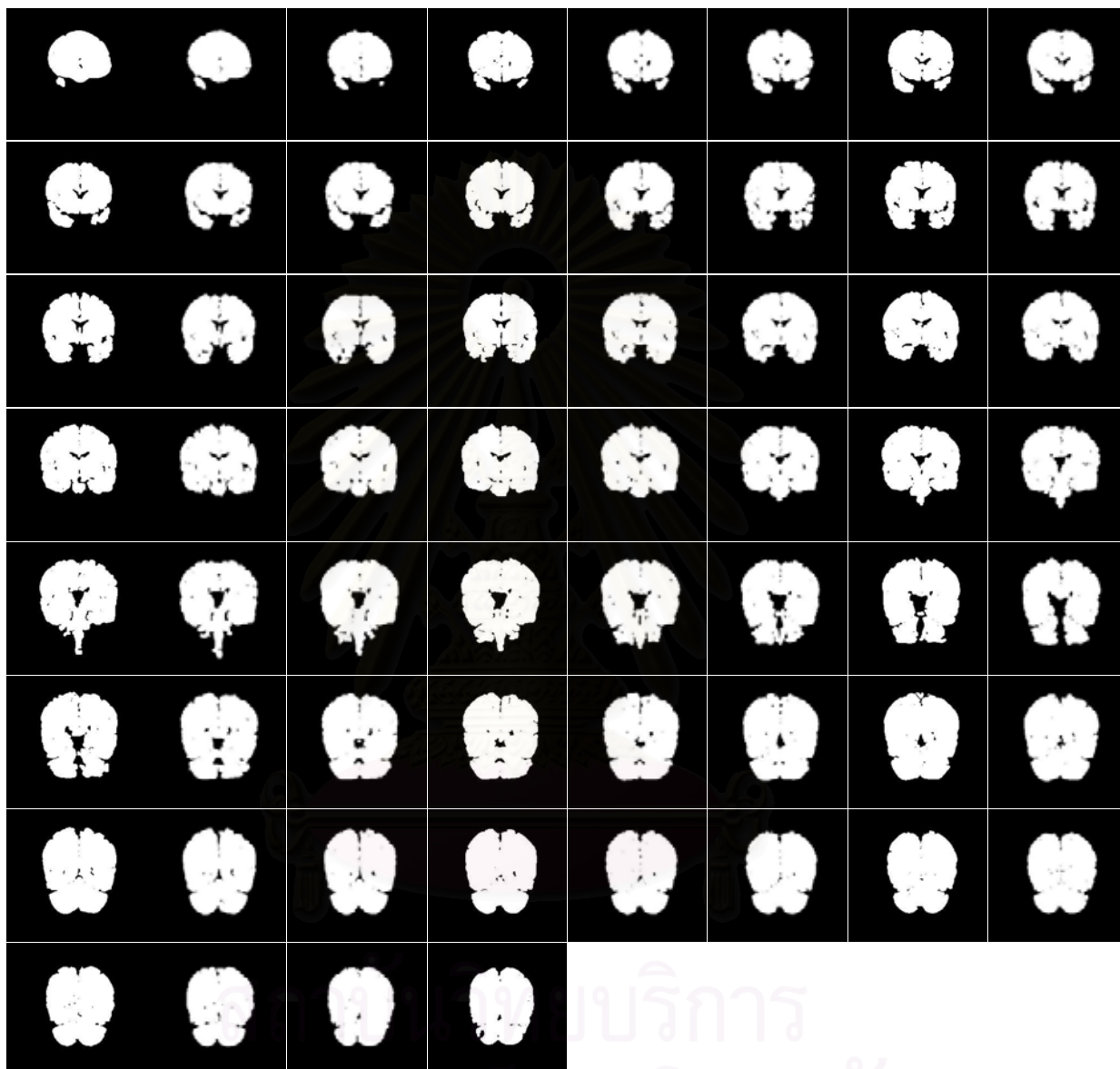
รูปที่ 4.3 T1 ของชุดภาพสมองชุดที่ 1



รูปที่ 4.4 GT ของชุดภาพสมองชุดที่ 1



รูปที่ 4.5 T1 ของชุดภาพสมองชุดที่ 2



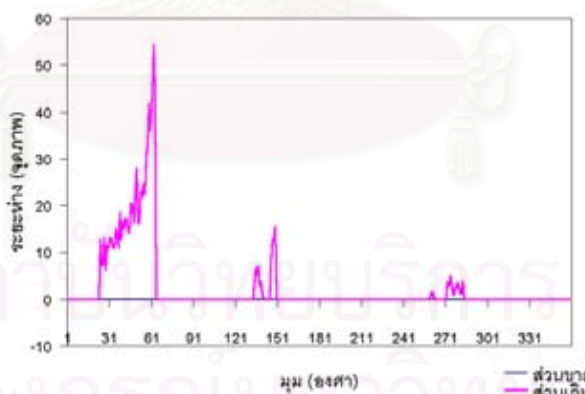
รูปที่ 4.6 GT ของชุดภาพสมองชุดที่ 2

4.2.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การเปรียบเทียบผลการวัดจากวิธีวัด Q&Q ของชุดภาพกับค่าเชิงคุณภาพที่แพทย์เป็นผู้ประเมินตามเกณฑ์การประเมินในบทที่ 2 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 โดยวิธีวัด Q&Q ที่ให้ขอบสำคัญกว่าบริเวณเทียบได้กับวิธีวัดเชิงคุณภาพที่พิจารณาขอบสมอง ส่วนวิธีวัด Q&Q ที่ให้บริเวณสำคัญกว่าขอบเทียบได้กับวิธีที่ประเมินจากบริเวณส่วนเกินและบริเวณส่วนขาดในวิธีวัดเชิงคุณภาพ ส่วนการประเมินในวิธีวัดเชิงคุณภาพที่ดูความถูกต้องโดยรวมเทียบได้กับการให้ขอบและบริเวณมีความสำคัญเท่ากันในวิธีวัด Q&Q ส่วนผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของแต่ละภาพในชุดภาพทั้งสองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ และซิกเนเจอร์ของภาพลำดับที่ 10 ในชุดภาพที่ 1 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 เพื่อเป็นตัวอย่างของซิกเนเจอร์ของชุดภาพสมอง

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบวิธีวัด Q&Q กับวิธีวัดเชิงคุณภาพ

สิ่งประเมินของ วิธีวัดเชิงคุณภาพ	ชุดภาพที่		วิธีวัด Q&Q	ชุดภาพที่	
	1	2		1	2
ความถูกต้องของขอบสมอง	B	A	ขอบสำคัญ	0.9054	0.9822
บริเวณส่วนเกิน	C	B	บริเวณสำคัญ	0.9436	0.9949
บริเวณส่วนขาด	B	A			
ความถูกต้องโดยรวม	B	A	สำคัญเท่ากัน	0.9246	0.9885



รูปที่ 4.7 ซิกเนเจอร์ส่วนขาดและซิกเนเจอร์ส่วนเกินของ TI ลำดับที่ 10 ในชุดภาพที่ 1

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า วิธีวัด Q&Q เมื่อกำหนดให้วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้**สำคัญเท่ากับ**แบบค่านึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ ให้ผลการวัดเฉลี่ยไปในการทำงานองเดียวกับการประเมินความถูกต้อง**โดยรวม**จากวิธีวัดเชิงคุณภาพ นั่นคือ ชุดภาพที่ 1 มีผลการวัดถูกต้องน้อยกว่าชุดภาพที่

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดของชุดภาพสมองที่ 1

ภาพลำดับที่	เลขผสมผสาน			ภาพลำดับที่	เลขผสมผสาน		
	ขอบสำคัญ	บริเวณสำคัญ	สำคัญเท่ากัน		ขอบสำคัญ	บริเวณสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
1	0.0000	0.0000	0.0000	31	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000	32	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000	33	1.0000	1.0000	1.0000
4	0.9636	0.9879	0.9758	34	1.0000	1.0000	1.0000
5	0.9585	0.9872	0.9729	35	1.0000	1.0000	1.0000
6	0.9797	0.9939	0.9868	36	0.9656	0.9906	0.9781
7	0.6830	0.9043	0.7937	37	0.9629	0.9898	0.9763
8	0.6031	0.8456	0.7243	38	0.9596	0.9881	0.9739
9	0.6766	0.8753	0.7759	39	0.9720	0.9918	0.9819
10	0.6904	0.8830	0.7867	40	0.9579	0.9878	0.9728
11	0.7292	0.8644	0.7968	41	0.9752	0.9930	0.9841
12	0.8228	0.9025	0.8627	42	0.9492	0.9850	0.9671
13	0.7761	0.9016	0.8388	43	0.9661	0.9897	0.9779
14	0.9037	0.9559	0.9298	44	0.9639	0.9893	0.9766
15	0.9231	0.9666	0.9449	45	0.9465	0.9833	0.9710
16	0.9387	0.9742	0.9564	46	0.9436	0.9824	0.9630
17	1.0000	1.0000	1.0000	47	0.9530	0.9857	0.9694
18	1.0000	1.0000	1.0000	48	0.9501	0.9845	0.9673
19	1.0000	1.0000	1.0000	49	0.9554	0.9861	0.9708
20	1.0000	1.0000	1.0000	50	0.9416	0.9823	0.9620
21	1.0000	1.0000	1.0000	51	0.9489	0.9847	0.9668
22	1.0000	1.0000	1.0000	52	0.9599	0.9877	0.9738
23	1.0000	1.0000	1.0000	53	0.9766	0.9922	0.9844
24	1.0000	1.0000	1.0000	54	0.9873	0.9964	0.9919
25	1.0000	1.0000	1.0000	55	0.9879	0.9964	0.9922
26	1.0000	1.0000	1.0000	56	0.9057	0.9653	0.9355
27	1.0000	1.0000	1.0000	57	0.8129	0.9319	0.8724
28	1.0000	1.0000	1.0000	58	0.7288	0.9238	0.8263
29	1.0000	1.0000	1.0000	59	0.7866	0.9283	0.8575
30	1.0000	1.0000	1.0000	60	0.2195	0.0549	0.1372
				เฉลี่ย	0.9054	0.9436	0.9246

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดของชุดภาพสมองที่ 2

ภาพลำดับที่	เลขผสมผสาน			ภาพลำดับที่	เลขผสมผสาน		
	ขอบสำคัญ	บริเวณสำคัญ	สำคัญเท่ากัน		ขอบสำคัญ	บริเวณสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
1	1.0000	1.0000	1.0000	31	0.9660	0.9902	0.9781
2	1.0000	1.0000	1.0000	32	0.9629	0.9895	0.9762
3	1.0000	1.0000	1.0000	33	0.9644	0.9893	0.9768
4	1.0000	1.0000	1.0000	34	0.9643	0.9903	0.9773
5	1.0000	1.0000	1.0000	35	0.9743	0.9929	0.9836
6	1.0000	1.0000	1.0000	36	0.9633	0.9898	0.9765
7	1.0000	1.0000	1.0000	37	0.9673	0.9909	0.9791
8	1.0000	1.0000	1.0000	38	0.9517	0.9861	0.9689
9	1.0000	1.0000	1.0000	39	0.9536	0.9874	0.9705
10	1.0000	1.0000	1.0000	40	0.9503	0.9848	0.9675
11	1.0000	1.0000	1.0000	41	0.9644	0.9901	0.9772
12	1.0000	1.0000	1.0000	42	0.9611	0.9891	0.9751
13	1.0000	1.0000	1.0000	43	0.9537	0.9862	0.9700
14	1.0000	1.0000	1.0000	44	0.9539	0.9870	0.9705
15	1.0000	1.0000	1.0000	45	0.9667	0.9909	0.9788
16	1.0000	1.0000	1.0000	46	0.9587	0.9879	0.9733
17	1.0000	1.0000	1.0000	47	0.9899	0.9968	0.9933
18	1.0000	1.0000	1.0000	48	0.9688	0.9910	0.9799
19	1.0000	1.0000	1.0000	49	0.9645	0.9900	0.9773
20	1.0000	1.0000	1.0000	50	0.9652	0.9900	0.9776
21	1.0000	1.0000	1.0000	51	0.9730	0.9922	0.9826
22	1.0000	1.0000	1.0000	52	0.9673	0.9908	0.9790
23	1.0000	1.0000	1.0000	53	0.9531	0.9871	0.9701
24	1.0000	1.0000	1.0000	54	0.9609	0.9888	0.9748
25	1.0000	1.0000	1.0000	55	0.9556	0.9874	0.9715
26	1.0000	1.0000	1.0000	56	0.9629	0.9891	0.9760
27	1.0000	1.0000	1.0000	57	0.9715	0.9919	0.9817
28	0.9774	0.9941	0.9857	58	1.0000	1.0000	1.0000
29	0.9762	0.9938	0.9850	59	1.0000	1.0000	1.0000
30	0.9672	0.9909	0.9790	60	1.0000	1.0000	1.0000
				เฉลี่ย	0.9822	0.9949	0.9885

นอกจากนี้ เมื่อแยกพิจารณาผลการวัดที่กำหนดความสำคัญให้แก่วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านิ่งถึง **ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักกับการประเมินความถูกต้องของ**ขอบสมอง**จากวิธีวัดเชิงคุณภาพ พบว่า ชุดภาพที่ 1 มีเลขผสมผสานเฉลี่ยน้อยกว่าชุดภาพที่ 2 ซึ่งตรงกับที่แพทย์ประเมินไว้

ในทำนองเดียวกัน เมื่อแยกพิจารณาผลการวัดที่กำหนดความสำคัญให้แก่วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านิ่งถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักกับการประเมิน**บริเวณส่วนเกินและส่วนขาด** พบว่า ชุดภาพที่ 1 มีเลขผสมผสานเฉลี่ยน้อยกว่าชุดภาพที่ 2 ซึ่งตรงกับที่แพทย์ประเมินไว้เช่นกัน

อย่างไรก็ตาม ผลการวัดจากวิธีวัด Q&Q ของชุดภาพทั้งสองก็ยังแตกต่างกันไม่ชัดเจนนัก อาจเป็นเพราะวิธีวัด Q&Q ที่นำมาทดลองนี้ไม่มีการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย และมีความเป็นไปได้ว่ากระบวนการคิดของแพทย์เมื่อประเมินความถูกต้องนั้น อาจให้ความสำคัญแก่บริเวณย่อยไม่เท่ากัน แต่ทั้งนี้วิธีวัด Q&Q ก็ยัง**ให้ผลการวัดเป็นซิกเนเจอร์และตัวอธิบายภาพอื่น ๆ** ซึ่งผู้วัดสามารถใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อประกอบการพิจารณาความถูกต้องของผู้วัดด้วย ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาซิกเนเจอร์ของภาพลำดับที่ 10 ในชุดภาพที่ 1 (รูปที่ 4.7) ทำให้ทราบว่า ในภาพ TI มีบริเวณส่วนเกินเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีบริเวณส่วนขาดเนื่องจากกราฟที่แสดงมีบริเวณส่วนเกินอยู่เป็นบางตำแหน่งในภาพ และบริเวณส่วนขาดมีค่าเป็น 0 ทุกตำแหน่ง นอกจากนี้ยังทำให้ผู้วัดทราบว่าส่วนเกินมีลักษณะยื่นห่างไปจาก GT มากหรือน้อยเพียงใด เช่น ส่วนเกินที่มุมประมาณ 30 ถึง 60 องศา มีลักษณะยื่นห่างมากกว่าส่วนเกินที่ตำแหน่งอื่น ๆ โดยที่มุม 60 องศายื่นห่างไปมากที่สุด เป็นต้น

4.3 การทดลองเพื่อทดสอบการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยโดยการใช้น้ำหนักกับการไม่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่า การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยให้ผลการวัดที่ชัดเจนมากกว่าการไม่กำหนดและทดสอบการกำหนดขอบเขตของบริเวณย่อยว่ามีผลอย่างไรต่อผลการวัด

4.3.1 รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

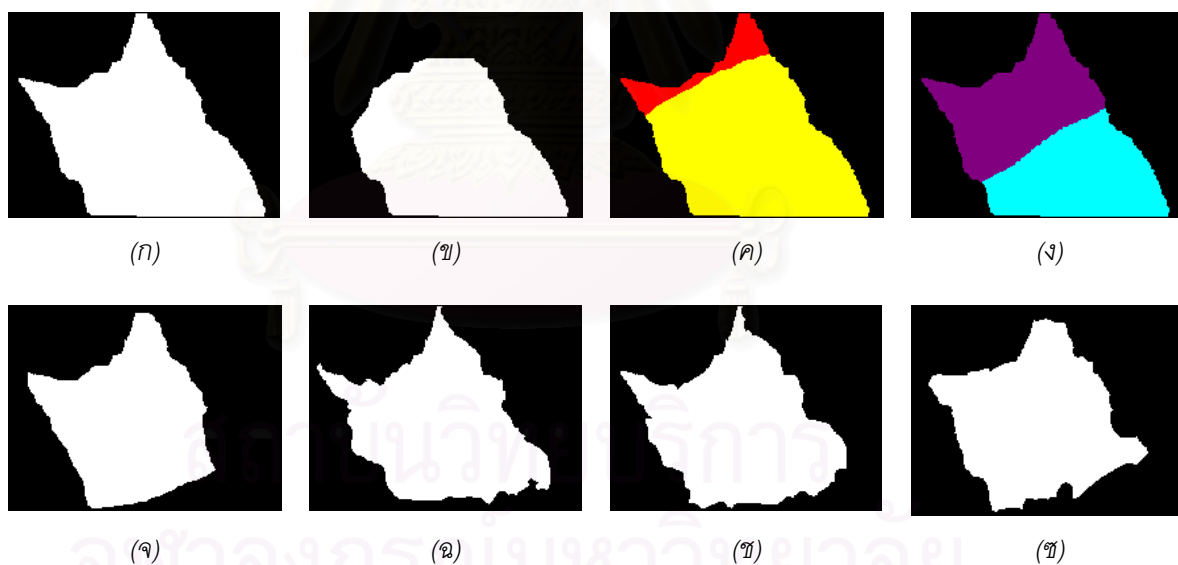
งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีวัด Q&Q ที่มีการใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธีและกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณหลายแบบสำหรับวัดความถูกต้องของชุดภาพต่าง ๆ

ชุดภาพที่นำมาใช้เป็นชุดภาพที่สร้างขึ้นจำนวน 5 ชุด คือ ชุดภาพแมว ชุดภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษ "E", "R", "G" และ "g" ซึ่งแต่ละชุดมีการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของภาพ โดยการทดลองของชุดภาพแต่ละชุดจะกล่าวโดยละเอียดดังนี้

การทดลองของชุดภาพแมว

ชุดภาพแมวนี้ประกอบด้วย GT จำนวน 1 ภาพ GT ที่มีการกำหนดสีตามความสำคัญของบริเวณย่อย จำนวน 2 ภาพ และ TI จำนวน 5 ภาพ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.8 วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือวิธีวัด S และวิธีวัด SH โดยทดลองทั้งแบบที่กำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.8 และ w_B เท่ากับ 0.2) กำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.2 และ w_B เท่ากับ 0.8) และกำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**บริเวณ**และแบบค่านึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญเท่ากัน** (w_R เท่ากับ 0.5 และ w_B เท่ากับ 0.5)

การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในชุดภาพนี้แบ่งเป็น 2 บริเวณย่อย คือ บริเวณหู และบริเวณอื่นที่ไม่ใช่หู เนื่องจากบริเวณหูเป็นส่วนที่สามารถบ่งชี้ว่าเป็นภาพของแมวได้มากกว่าบริเวณตัว โดยภาพ GT ที่กำหนดบริเวณย่อย 2 ภาพนี้จะกำหนดขอบเขตของบริเวณย่อยต่างกั้แสดงในรูปที่ 4.8 และกำหนดค่าน้ำหนักเป็น 3 แบบด้วยกัน คือ บริเวณหูมีค่าเป็น 0.8, 0.7 และ 0.6 คู่กับบริเวณตัวที่มีค่าเป็น 0.2, 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 GT และ TI ของชุดภาพแมว

(ก) GT (ข) TI ที่ 1 (ค) GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยแบบที่ 1 (ง) GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยแบบที่ 2 (จ) TI ที่ 2 (ฉ) TI ที่ 3 (ช) TI ที่ 4 และ (ฌ) TI ที่ 5

การทดลองของชุดภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษ “E”

ชุดภาพ “E” นี้ประกอบด้วย GT จำนวน 1 ภาพ GT ที่มีการกำหนดสีตามความสำคัญของบริเวณย่อย จำนวน 1 ภาพ และ TI จำนวน 3 ภาพ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.9 วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือวิธีวัด SA และวิธีวัด MH โดยทดลองทั้งแบบที่กำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.8 และ w_B เท่ากับ 0.2) กำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.2 และ w_B เท่ากับ 0.8) และกำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึง**บริเวณ**และแบบคำนึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญเท่ากัน** (w_R เท่ากับ 0.5 และ w_B เท่ากับ 0.5)

การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในชุดภาพนี้จะแบ่งเป็น 2 บริเวณย่อย คือ บริเวณฐาน และ บริเวณตัว โดยให้บริเวณฐานมีความสำคัญมากกว่าเนื่องจากบริเวณฐานเป็นส่วนสำคัญที่ใช้แยกความแตกต่างระหว่าง E และ F ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยกำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยเป็น 3 แบบ คือ บริเวณฐานมีค่าเป็น 0.8, 0.7 และ 0.6 คู่กับบริเวณตัวที่มีค่าเป็น 0.2, 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 GT และ TI ของชุดภาพตัวอักษร “E”

(ก) GT (ข) GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย (ค) TI ที่ 1

(ง) TI ที่ 2 และ (จ) TI ที่ 3

การทดลองของชุดภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษ “R”

ชุดภาพ “R” นี้จะประกอบด้วย GT จำนวน 1 ภาพ GT ที่มีการกำหนดสีตามความสำคัญของบริเวณย่อยจำนวน 1 ภาพ และ TI จำนวน 4 ภาพ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.10 วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือวิธีวัด S และวิธีวัด SH โดยทดลองทั้งแบบที่กำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.8 และ w_B เท่ากับ 0.2) กำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วน

ได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.2 และ w_B เท่ากับ 0.8) และกำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**บริเวณ**และแบบค่านึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญเท่ากัน** (w_R เท่ากับ 0.5 และ w_B เท่ากับ 0.5)

การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในชุดภาพนี้แบ่งเป็น 3 บริเวณย่อย คือ บริเวณด้านซ้าย บริเวณส่วนโค้ง และบริเวณขาของตัว “R” โดยให้บริเวณขามีความสำคัญมากที่สุด บริเวณส่วนโค้งและบริเวณด้านซ้ายมีความสำคัญรองลงมาตามลำดับ เนื่องจากบริเวณขาเป็นส่วนที่แยกความแตกต่างระหว่าง R กับ P และ B ได้ดีกว่าบริเวณอื่นและบริเวณส่วนโค้งเป็นส่วนที่แยกความแตกต่างระหว่าง R กับ K, M, N และอื่น ๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 การกำหนดค่าน้ำหนักให้กับบริเวณขาเป็น 0.7, 0.6 และ 0.5 บริเวณส่วนโค้งเป็น 0.2, 0.3 และ 0.3 และบริเวณด้านซ้ายเป็น 0.1, 0.1 และ 0.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 GT และ TI ของชุดภาพตัวอักษร “R”

(ก) GT (ข) GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย (ค) TI ที่ 1
(ง) TI ที่ 2 (จ) TI ที่ 3 และ (ฉ) TI ที่ 4

การทดลองของชุดภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษ “G”

ชุดภาพ “G” ประกอบด้วย GT จำนวน 1 ภาพ GT ที่มีการกำหนดสีตามความสำคัญของบริเวณย่อย จำนวน 1 ภาพ และ TI จำนวน 4 ภาพ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.11 วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือวิธีวัด S และวิธีวัด SH โดยทดลองทั้งแบบที่กำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.8 และ w_B เท่ากับ 0.2) กำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.2 และ w_B เท่ากับ 0.8) และกำหนดให้วิธีวัดแบบค่านึงถึง**บริเวณ**และแบบค่านึงถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญเท่ากัน** (w_R เท่ากับ 0.5 และ w_B เท่ากับ 0.5)

การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในชุดภาพนี้แบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณซีกกลางลำตัว และ บริเวณตัว โดยให้บริเวณซีกกลางลำตัวมีความสำคัญมากกว่าเนื่องจากบริเวณซีกกลางลำตัวเป็นส่วนสำคัญที่แยกความแตกต่างระหว่าง G, O และ Q ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยกำหนดค่าน้ำหนักเป็น 3 แบบ คือ บริเวณซีกกลางลำตัวมีค่าเป็น 0.8, 0.7 และ 0.6 คู่กับบริเวณตัวที่มีค่าเป็น 0.2, 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 GT และ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร “G”

(ก) GT (ข) GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย (ค) TI ที่ 1
(ง) TI ที่ 2 (จ) TI ที่ 3 และ (ฉ) TI ที่ 4

การทดลองของชุดภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษ “g”

ชุดภาพ “g” นี้จะประกอบด้วย GT จำนวน 1 ภาพ GT ที่มีการกำหนดสีตามความสำคัญของบริเวณย่อยจำนวน 1 ภาพ และ TI จำนวน 3 ภาพซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4.12 วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือ วิธีวัด S และวิธีวัด SH โดยทดลองทั้งแบบที่กำหนดให้วิธีวัดแบบค่านิ่งถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.8 และ w_B เท่ากับ 0.2) กำหนดให้วิธีวัดแบบค่านิ่งถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** (w_R เท่ากับ 0.2 และ w_B เท่ากับ 0.8) และกำหนดให้วิธีวัดแบบค่านิ่งถึง**บริเวณ**และแบบค่านิ่งถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญเท่ากัน** (w_R เท่ากับ 0.5 และ w_B เท่ากับ 0.5)

การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยในชุดภาพนี้แบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณหาง และบริเวณตัว โดยให้บริเวณหางมีความสำคัญมากกว่าเนื่องจากบริเวณหางเป็นส่วนสำคัญที่แยกความแตกต่างระหว่าง g, a, c และ d ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยกำหนดค่าน้ำหนักเป็น 3 แบบ คือ บริเวณหางมีค่าเป็น 0.8, 0.7 และ 0.6 คู่กับบริเวณตัวที่มีค่าเป็น 0.2, 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 GT และ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "g"

(ก) GT (ข) GT ที่กำหนดบริเวณย่อยที่แตกต่างตามความสำคัญของบริเวณย่อย (ค) TI ที่ 1
(ง) TI ที่ 2 และ (จ) TI ที่ 3

4.3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ชุดภาพแมว

ตารางแสดงผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้ง 2 วิธีของบริเวณย่อยก่อนการคำนวณด้วยค่าน้ำหนักของชุดภาพแมวแสดงอยู่ในตารางที่ 4.5 และผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของ TI ที่ 1 เมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1 และแบบที่ 2 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของ TI ที่ 2 ถึง 5 เมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.8 ถึง 4.11

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพแมว

ชุดภาพแมว TI ที่	ผลการวัดจากวิธีวัด S		ผลการวัดจากวิธีวัด SH	
	หุ	อื่น ๆ	หุ	อื่น ๆ
1	0.8325	0.9289	0.7944	0.8270
2	0.9690	0.8642	0.9385	0.7374
3	0.9030	0.8883	0.8598	0.9187
4	0.8325	0.9289	0.7944	0.8270
5	0.8467	0.8755	0.9113	0.7516

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หู	อื่น ๆ	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.9480	0.8098	0.9203	0.8374	0.8798
0.8	0.2	0.4729	0.7054	0.5194	0.6589	0.5892
0.7	0.3	0.5379	0.7355	0.5775	0.6960	0.6367
0.6	0.4	0.6029	0.7657	0.6355	0.7331	0.6843

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 2

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หู	อื่น ๆ	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.9480	0.8098	0.9203	0.8374	0.8798
0.8	0.2	0.9153	0.7684	0.8859	0.7978	0.8419
0.7	0.3	0.9259	0.7974	0.9002	0.8231	0.8616
0.6	0.4	0.9365	0.8263	0.9145	0.8483	0.8814

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หู	อื่น ๆ	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8766	0.7742	0.8562	0.7947	0.8254
0.8	0.2	0.9480	0.8983	0.9381	0.9082	0.9231
0.7	0.3	0.9376	0.8782	0.9257	0.8900	0.9097
0.6	0.4	0.9271	0.8581	0.9133	0.8719	0.8926

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หู	อื่น ๆ	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.9125	0.9038	0.9107	0.9055	0.9081
0.8	0.2	0.8716	0.9001	0.8773	0.8944	0.8858
0.7	0.3	0.8775	0.8986	0.8817	0.8944	0.8880
0.6	0.4	0.8834	0.8971	0.8861	0.8944	0.8903

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดของ TI ที่ 4 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หู	อื่น ๆ	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.9192	0.8513	0.9056	0.8649	0.8853
0.8	0.2	0.8517	0.8010	0.8416	0.8111	0.8264
0.7	0.3	0.9058	0.8915	0.8500	0.8157	0.8328
0.6	0.4	0.9085	0.8785	0.8583	0.8202	0.8393

ตารางที่ 4.11 ผลการวัดของ TI ที่ 5 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หู	อื่น ๆ	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8719	0.7860	0.8547	0.8032	0.8290
0.8	0.2	0.8524	0.8793	0.8578	0.8740	0.8659
0.7	0.3	0.8553	0.8634	0.8569	0.8618	0.8593
0.6	0.4	0.8582	0.8474	0.8560	0.8496	0.8528

จากผลการทดลองของชุดภาพแมวพบว่า TI ที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่สำคัญมากซึ่งได้แก่ TI ที่ 1 เมื่อวัดผลโดยใช้ GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยแบบที่ 1 มีค่าเลขผสมผสานน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก แต่เมื่อวัดผลโดยใช้ GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยแบบที่ 2 นั้น ผลการวัดที่ได้ไม่แตกต่างกันไปจากเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนักเลย ส่วน TI ที่ 2 ซึ่งมีความถูกต้องในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก มีเลขผสมผสานมากกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ในขณะที่ TI ที่ 3 ถึง 5 มีเลขผสมผสานที่ไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้ค่าน้ำหนัก กล่าวคือ TI ที่ 3 มีผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสองวิธีของแต่ละบริเวณย่อยเท่า ๆ กัน เลขผสมผสานที่ได้เมื่อใช้ค่าน้ำหนักไม่แตกต่างกันไปจากเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนักเลยไม่ว่าจะกำหนดค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นเท่าใด TI ที่ 4 ให้เลขผสมผสานไม่แตกต่างจากการไม่ใช้ค่าน้ำหนักเฉพาะกรณีที่กำหนดให้มีความสำคัญของวิธีวัดแบบค่านึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักสำคัญว่าเนื่องจากผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบนี้มีค่าใกล้เคียงกันทุกบริเวณย่อย และ TI ที่ 5 ให้เลขผสมผสานไม่แตกต่างจากการไม่ใช้ค่าน้ำหนักเฉพาะกรณีที่กำหนดให้มีความสำคัญของวิธีวัดแบบค่านึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักสำคัญว่าเนื่องจากผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบนี้มีค่าใกล้เคียงกันทุกบริเวณย่อย

ชุดภาพตัวอักษร "E"

ตารางแสดงผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้ง 2 วิธีของบริเวณย่อยก่อนการคำนวณด้วยค่าน้ำหนักของชุดภาพตัวอักษร "E" แสดงอยู่ในตารางที่ 4.12 และผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของ TI ที่ 1 ถึง 3 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.13 ถึง 4.15

ตารางที่ 4.12 ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร "E"

ชุดภาพ "E" TI ที่	ผลการวัดจากวิธีวัด SA		ผลการวัดจากวิธีวัด MH	
	ฐาน	ตัว	ฐาน	ตัว
1	0.8325	0.9289	0.7944	0.8270
2	0.9690	0.8642	0.9385	0.7374
3	0.8467	0.8755	0.9113	0.7516

ตารางที่ 4.13 ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "E"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ฐาน	ตัว	วิธีวัด SA (M_R)	วิธีวัด MH (M_B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.5813	0.9559	0.6562	0.8809	0.7686
0.8	0.2	0.2677	0.7778	0.3697	0.6757	0.5227
0.7	0.3	0.3592	0.8055	0.4485	0.7163	0.5824
0.6	0.4	0.4508	0.8333	0.5373	0.6420	0.7568

ตารางที่ 4.14 ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร "E"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ฐาน	ตัว	วิธีวัด SA (M _R)	วิธีวัด MH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.5113	0.9762	0.6043	0.8832	0.7438
0.8	0.2	0.3807	0.9574	0.4960	0.8420	0.6690
0.7	0.3	0.4142	0.9601	0.5233	0.8509	0.6871
0.6	0.4	0.4476	0.9627	0.5506	0.8597	0.7052

ตารางที่ 4.15 ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร "E"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ฐาน	ตัว	วิธีวัด SA (M _R)	วิธีวัด MH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.5523	0.9668	0.6352	0.8839	0.7595
0.8	0.2	0.8185	0.9855	0.8519	0.9521	0.9020
0.7	0.3	0.7664	0.9800	0.8091	0.9373	0.8732
0.6	0.4	0.7142	0.9744	0.7663	0.9224	0.8443

จากผลการทดลองของชุดภาพตัวอักษร "E" พบว่า TI ที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ซึ่งได้แก่ TI ที่ 1 และ TI ที่ 2 ได้เลขผสมผสานมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ส่วน TI ที่ 3 ซึ่งมีความถูกต้องในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ได้เลขผสมผสานมากกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก

ชุดภาพตัวอักษร "R"

ตารางแสดงผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้ง 2 วิธีของบริเวณย่อยก่อนการคำนวณด้วยค่าน้ำหนักของชุดภาพตัวอักษร "R" แสดงอยู่ในตารางที่ 4.16 และผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของ TI ที่ 1 ถึง 4 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.17 ถึง 4.20

ตารางที่ 4.16 ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร "R"

ชุดภาพ "R" TI ที่	ผลการวัดจากวิธีวัด S			ผลการวัดจากวิธีวัด SH		
	ส่วนโค้ง	ส่วนด้านซ้าย	ส่วนขา	ส่วน 1	ส่วน 2	ส่วน 3
1	0.9831	0.9711	0.2300	0.9440	0.9255	0.2674
2	0.6169	0.6218	0.9412	0.7691	0.7614	0.9170
3	0.6477	0.8014	0.7606	0.7935	0.7862	0.8419
4	0.7908	0.8942	0.7171	0.8748	0.9209	0.7764

ตารางที่ 4.17 ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "R"

ค่าน้ำหนัก			ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ส่วน 1*	ส่วน 2*	ส่วน 3*	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	-	0.8923	0.6787	0.8496	0.7214	0.7855
0.2	0.1	0.7	0.4685	0.4547	0.4575	0.4657	0.4616
0.3	0.1	0.6	0.5300	0.5362	0.5313	0.5349	0.5331
0.3	0.2	0.5	0.6042	0.6020	0.6037	0.6024	0.6031

* ส่วน 1 หมายถึง บริเวณส่วนโค้ง ส่วน 2 หมายถึง บริเวณด้านซ้ายและส่วน 3 หมายถึง บริเวณขา

ตารางที่ 4.18 ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร "R"

ค่าน้ำหนัก			ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ส่วน 1*	ส่วน 2*	ส่วน 3*	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	-	0.6941	0.8390	0.7231	0.8101	0.7666
0.2	0.1	0.7	0.8444	0.8718	0.8499	0.8663	0.8581
0.3	0.1	0.6	0.8119	0.8570	0.8210	0.8480	0.8345
0.3	0.2	0.5	0.7800	0.8415	0.7923	0.8292	0.8107

* ส่วน 1 หมายถึง บริเวณส่วนโค้ง ส่วน 2 หมายถึง บริเวณด้านซ้ายและส่วน 3 หมายถึง บริเวณขา

ตารางที่ 4.19 ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร "R"

ค่าน้ำหนัก			ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ส่วน 1*	ส่วน 2*	ส่วน 3*	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	-	0.7261	0.8613	0.7531	0.8343	0.7937
0.2	0.1	0.7	0.7421	0.8269	0.7590	0.8100	0.7845
0.3	0.1	0.6	0.7308	0.8221	0.7490	0.8038	0.7764
0.3	0.2	0.5	0.7349	0.8168	0.7513	0.8004	0.7758

* ส่วน 1 หมายถึง บริเวณส่วนโค้ง ส่วน 2 หมายถึง บริเวณด้านซ้ายและส่วน 3 หมายถึง บริเวณขา

ตารางที่ 4.20 ผลการวัดของ TI ที่ 4 ของชุดภาพตัวอักษร “R”

ค่าน้ำหนัก			ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
ส่วน 1*	ส่วน 2*	ส่วน 3*	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	-	0.7702	0.8796	0.7921	0.8577	0.8249
0.2	0.1	0.7	0.7496	0.8105	0.7618	0.7983	0.7803
0.3	0.1	0.6	0.7569	0.8204	0.7969	0.8077	0.7886
0.3	0.2	0.5	0.7764	0.8348	0.7867	0.8228	0.8047

* ส่วน 1 หมายถึง บริเวณส่วนโค้ง ส่วน 2 หมายถึง บริเวณด้านซ้ายและส่วน 3 หมายถึง บริเวณขา

จากผลการทดลองของชุดภาพตัวอักษร “R” พบว่า TI ที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ซึ่งได้แก่ TI ที่ 1 ได้เลขผสมผสานน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ส่วน TI ที่ 2 ซึ่งมีความถูกต้องในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ได้เลขผสมผสานมากกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ในขณะที่ TI ที่ 3 และ 4 มีเลขผสมผสานที่ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้ค่าน้ำหนัก กล่าวคือ TI ที่ 3 มีผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสองวิธีของบริเวณย่อยแต่ละบริเวณเท่า ๆ กัน เลขผสมผสานที่ได้เมื่อใช้ค่าน้ำหนักไม่แตกต่างกันไปจากเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนักเลยไม่ว่าจะกำหนดค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นเท่าใด และ TI ที่ 4 ให้เลขผสมผสานไม่แตกต่างกันจากการไม่ใช้ค่าน้ำหนักเฉพาะกรณีที่กำหนดให้ความสำคัญของวิธีวัดแบบคำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้ เป็นหลักสำคัญว่าเนื่องจากผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบนี้มีค่าใกล้เคียงกันทุกบริเวณย่อย

ชุดภาพตัวอักษร “G”

ตารางแสดงผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้ง 2 วิธีของบริเวณย่อยก่อนการคำนวณด้วยค่าน้ำหนักของชุดภาพตัวอักษร “G” แสดงอยู่ในตารางที่ 4.21 และผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของ TI ที่ 1 ถึง 4 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.22 ถึง 4.25

ตารางที่ 4.21 ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร “G”

ชุดภาพ “G” TI ที่	ผลการวัดจากวิธีวัด S		ผลการวัดจากวิธีวัด SH	
	กลางลำตัว	ตัว	กลางลำตัว	ตัว
1	0.9567	0.5312	0.9702	0.4150
2	0.8603	0.9261	0.7056	0.8415
3	0.7175	0.8409	0.8808	0.8879
4	0.8372	0.8090	0.9171	0.7738

ตารางที่ 4.22 ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "G"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
กลางลำตัว	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8580	0.7119	0.8434	0.7849	0.7411
0.8	0.2	0.6163	0.5260	0.6072	0.5441	0.5711
0.7	0.3	0.6588	0.5815	0.6511	0.5970	0.6202
0.6	0.4	0.7014	0.6371	0.6949	0.6499	0.6692

ตารางที่ 4.23 ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร "G"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
กลางลำตัว	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8813	0.7147	0.8480	0.7480	0.7980
0.8	0.2	0.9130	0.8143	0.8933	0.8341	0.8637
0.7	0.3	0.9064	0.8007	0.8853	0.8219	0.8536
0.6	0.4	0.8998	0.7871	0.8773	0.8097	0.8435

ตารางที่ 4.24 ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร "G"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
กลางลำตัว	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.7562	0.8906	0.7830	0.8637	0.8234
0.8	0.2	0.8162	0.8865	0.8303	0.8724	0.8513
0.7	0.3	0.8039	0.8858	0.8202	0.8694	0.8448
0.6	0.4	0.7915	0.8851	0.8102	0.8664	0.8383

ตารางที่ 4.25 ผลการวัดของ TI ที่ 4 ของชุดภาพตัวอักษร “G”

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
กลางลำตัว	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8283	0.8657	0.8358	0.8582	0.8470
0.8	0.2	0.8146	0.8024	0.8122	0.8049	0.8085
0.7	0.3	0.8175	0.8168	0.8173	0.8169	0.8171
0.6	0.4	0.8203	0.8311	0.8224	0.8289	0.8257

จากผลการทดลองของชุดภาพตัวอักษร “G” พบว่า TI ที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ซึ่งได้แก่ TI ที่ 1 ได้เลขผสมผสานน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ส่วน TI ที่ 2 ซึ่งมีความถูกต้องในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ได้เลขผสมผสานมากกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ในขณะที่ TI ที่ 3 และ 4 มีเลขผสมผสานไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดเมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้ค่าน้ำหนัก กล่าวคือ TI ที่ 3 ให้เลขผสมผสานไม่แตกต่างจากการไม่ใช้ค่าน้ำหนักเฉพาะกรณีที่กำหนดให้ ความสำคัญของวิธีวัดแบบคำนึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักสำคัญว่าเนื่องจากผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบนี้มีค่าใกล้เคียงกันทุกบริเวณย่อย และ TI ที่ 4 ให้เลขผสมผสานไม่แตกต่างจากการไม่ใช้ค่าน้ำหนักเฉพาะกรณีที่กำหนดให้ ความสำคัญของวิธีวัดแบบคำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักสำคัญว่าเนื่องจากผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบนี้มีค่าใกล้เคียงกันทุกบริเวณย่อย

ชุดภาพตัวอักษร “g”

ตารางแสดงผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้ง 2 วิธีของบริเวณย่อยก่อนการคำนวณด้วยค่าน้ำหนักของชุดภาพตัวอักษร “g” แสดงอยู่ในตารางที่ 4.26 และผลการวัดที่เป็นเลขผสมผสานของ TI ที่ 1 ถึง 3 แสดงอยู่ในตารางที่ 4.27 ถึง 4.29

ตารางที่ 4.26 ผลการวัดของบริเวณย่อยของชุดภาพตัวอักษร “g”

ชุดภาพ “g” TI ที่	ผลการวัดจากวิธีวัด S		ผลการวัดจากวิธีวัด SH	
	หาง	ตัว	หาง	ตัว
1	0.9993	0.1749	0.9679	0.1986
2	0.7352	0.2206	0.7380	0.2671
3	0.8623	0.9270	0.7938	0.9306

ตารางที่ 4.27 ผลการวัดของ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "g"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หาง	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8699	0.7376	0.8435	0.7641	0.8038
0.8	0.2	0.3398	0.3525	0.3423	0.3499	0.3461
0.7	0.3	0.4222	0.4294	0.4237	0.4279	0.4258
0.6	0.4	0.5047	0.5063	0.5050	0.5060	0.5055

ตารางที่ 4.28 ผลการวัดของ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร "g"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หาง	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.6565	0.7349	0.6722	0.7192	0.6957
0.8	0.2	0.3236	0.3616	0.3311	0.3537	0.3424
0.7	0.3	0.3750	0.4084	0.3817	0.4017	0.3917
0.6	0.4	0.4265	0.4555	0.4323	0.4497	0.4410

ตารางที่ 4.29 ผลการวัดของ TI ที่ 3 ของชุดภาพตัวอักษร "g"

ค่าน้ำหนัก		ผลการวัดหลังการคำนวณ ร่วมกับค่าน้ำหนัก		เลขผสมผสาน		
หาง	ตัว	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	บริเวณสำคัญ	ขอบสำคัญ	สำคัญเท่ากัน
-	-	0.8539	0.8324	0.8496	0.8367	0.8432
0.8	0.2	0.9069	0.9032	0.9062	0.9040	0.9051
0.7	0.3	0.8968	0.8895	0.8954	0.8910	0.8932
0.6	0.4	0.8867	0.8759	0.8846	0.8780	0.8813

จากผลการทดลองของชุดภาพตัวอักษร “g” พบว่า TI ที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ซึ่งได้แก่ TI ที่ 1 และ 2 ได้เลขผสมผสานน้อยกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ส่วน TI ที่ 3 ซึ่งมีความถูกต้องในบริเวณย่อยที่สำคัญมาก ได้เลขผสมผสานมากกว่าเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก

จากผลการทดลองของชุดภาพต่าง ๆ นั้น สามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

การใช้ค่าน้ำหนักเพื่อกำหนดความสำคัญให้แก่บริเวณย่อยในภาพนั้น ทำให้วิธีวัด Q&Q สามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ดีกว่าการไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ซึ่งการใช้วิธีวัดเชิงปริมาณที่ต่างกันหรือการกำหนดจำนวนบริเวณย่อยไม่เท่ากันก็ให้ผลในการทำงานของเดียวกัน แบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ภาพมีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่มีความสำคัญมาก และกรณีที่ภาพมีความถูกต้องมากในบริเวณย่อยที่มีความสำคัญมาก จะมีเลขผสมผสานต่างไปจากกรณีที่ไม่ใช้ค่าน้ำหนัก

นอกจากนี้พบว่า การกำหนดค่าน้ำหนักให้แตกต่างกันมาก จะทำให้วิธีวัด Q&Q บอกความแตกต่างของภาพได้ดีกว่าการกำหนดค่าน้ำหนักให้แตกต่างกันน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าน้ำหนักแตกต่างกันน้อยทำให้ผลการวัดของบริเวณย่อยที่สำคัญน้อยกว่ามีผลกระทบต่อเลขผสมผสานมากขึ้น เช่น TI ที่ 1 ของชุดภาพแมว ชุดภาพตัวอักษร “R” และ “G” เมื่อกำหนดค่าน้ำหนักให้แตกต่างกันน้อย เลขผสมผสานที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับเลขผสมผสานเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนักมากขึ้น เป็นต้น

การกำหนดขอบเขตของบริเวณย่อยใน GT ที่กำหนดบริเวณย่อยก็มีผลต่อการวัดเช่นกัน ดังเช่นภาพที่ 1 ของชุดภาพแมวเมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 1 ในการวัดนั้น เลขผสมผสานที่ได้ให้ผลการวัดที่ชัดเจนกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเลขผสมผสานที่ไม่ใช้ค่าน้ำหนักในการวัด แต่เมื่อใช้ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแบบที่ 2 นั้น เลขผสมผสานที่ได้ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างการใช้หรือไม่ใช้ค่าน้ำหนักในการวัดได้เลย นั่นคือในการกำหนดขอบเขตของบริเวณย่อย ควรกำหนดบริเวณที่สำคัญมากให้ชัดเจนแยกออกบริเวณที่สำคัญน้อยกว่าเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อผลการวัด

อย่างไรก็ดี ในงานวิจัยนี้พบว่า ในภาพบางภาพนั้น การใช้ค่าน้ำหนักให้ผลการวัดไม่แตกต่างกับการไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ซึ่งมีสาเหตุ 3 ประการคือ

1. ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณของแต่ละบริเวณย่อยมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งแบบค่านึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักและแบบที่ค่านึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก ซึ่งทำให้เมื่อนำมาคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนักแล้วค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ไม่ว่าจะกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นแบบใดก็ตาม

2. ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักของแต่ละบริเวณย่อยมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อกำหนดให้ความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นแบบวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักสำคัญกว่า แม้ว่าผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่านึงถึง

บริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักของแต่ละบริเวณย่อยมีค่าแตกต่างกันก็ตาม เนื่องจากผลการวัดจะขึ้นอยู่กับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค้ำนึ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักมากกว่า

3. ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค้ำนึ่งถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักของบริเวณย่อยแต่ละบริเวณมีค่า**ใกล้เคียง**กัน เมื่อกำหนดให้ความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นแบบวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค้ำนึ่งถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า** แม้ว่าผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค้ำนึ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักของแต่ละบริเวณย่อยมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากผลการวัดจะขึ้นอยู่กับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค้ำนึ่งถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักมากกว่า

4.4 การทดลองเพื่อทดสอบการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อทดสอบการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณว่ามีผลอย่างไรต่อผลการวัดของวิธีวัด Q&Q โดยทดลองกำหนดความสำคัญหลายแบบแล้วนำเลขผสมผสานที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

4.4.1 รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

วิธีวัด Q&Q ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ใช้วิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธีและกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณโดยการใช้ค้ำน้ำหนักโดยเริ่มจากกำหนด w_R ให้มีค่าเท่ากับ 1.0 และ w_B มีค่าเท่ากับ 0.0 จากนั้นจึงเปลี่ยนค้ำน้ำหนักโดยลด w_R และเพิ่ม w_B ครั้งละ 0.1 ซึ่งแบบสุดท้ายคือ w_R ให้มีค่าเท่ากับ 0.0 และ w_B มีค่าเท่ากับ 1.0 ในการทดลองนี้ไม่มีการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยเพื่อให้เลขผสมผสานขึ้นอยู่กับความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณเพียงอย่างเดียว

ภาพที่นำมาใช้ในการทดลองมีจำนวน 3 ภาพซึ่งเป็นภาพที่ใช้ในการทดลองการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยด้วย ได้แก่ TI ที่ 2 ของชุดภาพตัวอักษร "E" TI ที่ 4 ของชุดภาพตัวอักษร "G" และ TI ที่ 1 ของชุดภาพตัวอักษร "g" ในรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

4.4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบเลขผสมผสานเมื่อมีการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณแตกต่างกันแสดงอยู่ในตารางที่ 4.30 โดยเลขผสมผสานจะมีค่าเท่ากับผลการวัดจากวิธีวัดแบบค้ำนึ่งถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักเมื่อ w_R มีค่าเท่ากับ 1.0 และ w_B มีค่าเท่ากับ 0.0 และเลขผสมผสานจะมีค่าเท่ากับผลการวัดจากวิธีวัดแบบค้ำนึ่งถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักเมื่อ w_R มีค่าเท่ากับ 0.0 และ w_B มีค่าเท่ากับ 1.0 นอกเหนือจากนี้ เลขผสมผสานจะมีค่าอยู่ในช่วงของผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสอง

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ

ค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณ		เลขผสมผสาน		
W_B	W_R	TI ที่ 2 ของ ชุดภาพ "E"	TI ที่ 4 ของ ชุดภาพ "G"	TI ที่ 1 ของ ชุดภาพ "g"
0.0	1.0	0.5113 (= M_R)	0.8283 (= M_R)	0.8699 (= M_R)
0.1	0.9	0.5578	0.8321	0.8567
0.2	0.8	0.6043	0.8358	0.8435
0.3	0.7	0.6508	0.8395	0.8302
0.4	0.6	0.6973	0.8433	0.8170
0.5	0.5	0.7438	0.8470	0.8038
0.6	0.4	0.7903	0.8507	0.7905
0.7	0.3	0.8367	0.8545	0.7773
0.8	0.2	0.8832	0.8582	0.7641
0.9	0.1	0.9297	0.8620	0.7508
1.0	0.0	0.9762 (= M_B)	0.8657 (= M_B)	0.7376 (= M_B)

M_R หมายถึง ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักหลังคำนวณรวมกับค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย

M_B หมายถึง ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักหลังคำนวณรวมกับค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย

จากผลการทดลองทั้งสามชุดภาพในตารางที่ 4.30 พบว่า การกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณให้แตกต่างกันทำให้เลขผสมผสานมีค่าเปลี่ยนไป โดยถ้ากำหนดให้วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า**นั้น เลขผสมผสานที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำหนดให้วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก**สำคัญกว่า**นั้น เลขผสมผสานที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก และถ้ากำหนดให้**ความสำคัญ**ของวิธีวัดเชิงปริมาณเท่ากัน เลขผสมผสานก็จะเป็นค่า**เฉลี่ย**ของผลการวัดของวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสอง

อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่า ในกรณีที่ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**บริเวณ**ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักมีค่าเท่า ๆ กับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึง**ขอบ**ของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักนั้น การกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณจะไม่มีผลต่อค่าของเลขผสมผสาน ดังจะเห็นจากผลการทดลองของ TI ที่ 4 ของชุดภาพตัวอักษร "G" ซึ่งมีค่า M_R และ M_B เป็น 0.8283 และ 0.8657 ตามลำดับ เลขผสมผสานที่ได้เมื่อกำหนดค่าน้ำหนักต่าง ๆ กัน ก็มีค่าเท่า ๆ กันทั้งหมด

4.5 การทดลองวัดความถูกต้องของภาพเมื่อมีวัตถุในภาพหลายวัตถุ

การทดลองทำขึ้นเพื่อทดสอบการวัดความถูกต้องของภาพของภาพที่มีวัตถุมากกว่า 1 วัตถุ การวัดทำได้เป็น 2 ลักษณะคือ การวัดแบบรวมวัตถุ และการวัดแบบแยกวัตถุ โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดทั้งสองลักษณะ

4.5.1 รายละเอียดของวิธีวัด Q&Q และข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ในวิธีวัด Q&Q คือ วิธีวัด S และ วิธีวัด SH และไม่มีกำหนดความสำคัญให้แก่บริเวณย่อยในภาพ และการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณเป็นแบบกำหนดให้วิธีวัดแบบคำนึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้สำคัญกว่า โดยมีค่าน้ำหนัก w_R เท่ากับ 0.8 และ w_B เท่ากับ 0.2 เนื่องจากการทดลองมุ่งประเด็นไปที่การวัดแบบแยกหรือรวมวัตถุ จึงไม่เน้นที่การเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้หลากหลาย

ภาพที่นำมาทดลองคือภาพนอตและแป้นเกลียว โดยมี GT จำนวน 1 ภาพ และ TI จำนวน 1 ภาพ แสดงดังรูปที่ 4.13 โดยมีวัตถุใน GT จำนวน 2 วัตถุและวัตถุใน TI จำนวน 4 วัตถุ การวัดแบบรวมวัตถุคือนำทุกวัตถุใน TI วัดกับทุกวัตถุใน GT ส่วนการวัดแบบแยกวัตถุจะแบ่งกลุ่มวัตถุเป็น 2 กลุ่มดังในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ภาพนอตและแป้นเกลียว

(ก) GT และ (ข) TI



รูปที่ 4.14 กลุ่มวัตถุเมื่อกำหนดกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม

(ก) กลุ่มที่ 1 และ (ข) กลุ่มที่ 2

4.5.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองของ TI นอตและแป้นเกลียวเมื่อกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุและแบบแยกวัตถุแสดง อยู่ในตารางที่ 4.31 และ 4.32 ตามลำดับ โดยมีการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพในส่วนต่าง ๆ เทียบกับจำนวนจุดภาพในบริเวณที่แบ่งส่วนได้ของ GT แสดงอยู่ด้วย

ตารางที่ 4.31 ผลการวัดของภาพนอตและแป้นเกลียวเมื่อกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุ

กลุ่มวัตถุ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่เทียบกับพื้นที่ของ GT (%)				ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณ		เลขผสมผสาน
	วัตถุ GT	ส่วนที่ซ้อนทับ	ส่วนขาด	ส่วนเกิน	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	
รวม	100.00	90.37	9.63	4.63	0.9269	0.9335	0.9282

ตารางที่ 4.32 ผลการวัดของภาพนอตและแป้นเกลียวเมื่อกำหนดกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มวัตถุ	เปอร์เซ็นต์พื้นที่เทียบกับพื้นที่ของ GT (%)				ผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณ		เลขผสมผสาน
	วัตถุ GT	ส่วนที่ซ้อนทับ	ส่วนขาด	ส่วนเกิน	วิธีวัด S (M _R)	วิธีวัด SH (M _B)	
1	71.90	90.93	9.07	1.64	0.9444	0.9750	0.9505
2	28.10	88.93	11.07	12.28	0.8840	0.8471	0.8766
เลขผสมผสานรวม							0.9297

จากผลการทดลองพบว่า การกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุจะให้ผลแตกต่างกับการกำหนดกลุ่มแบบแยกวัตถุ เนื่องจากการกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุจะคำนวณผลการวัดเป็นผลการวัดโดยรวมของภาพทั้งภาพ ในขณะที่การกำหนดกลุ่มแบบแยกวัตถุจะคำนวณผลแยกตามกลุ่มวัตถุ แล้วนำมาคำนวณเป็นผลการวัดรวม ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของ GT ในกลุ่มวัตถุด้วย โดยผลการวัดของกลุ่มวัตถุที่มีขนาดใหญ่มีผลต่อผลการวัดรวมมากกว่าผลของกลุ่มที่มีขนาดเล็ก ฉะนั้นถ้ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่ถูกต้องมากจะทำให้ผลการวัดรวมของภาพถูกต้องมากด้วย และถ้ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่ผิดมากก็จะทำให้ผลการวัดรวมของภาพผิดมากด้วย ในการทดลองกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มีความถูกต้องมาก จึงทำให้ผลการวัดรวมถูกต้องมาก เมื่อเทียบกับการกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุอาจไม่ต่างกันมากนักแต่การกำหนดกลุ่มแบบแยกวัตถุสามารถทำให้ผู้วัดได้เห็นความผิดพลาดของภาพและวิเคราะห์ภาพได้ละเอียดกว่าการกำหนดกลุ่มแบบรวมวัตถุซึ่งเป็นการวัดโดยรวมเท่านั้น ซึ่งการเลือกให้มีการกำหนดกลุ่มแบบใดก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้วัด

4.6 สรุป

จากการทดลองนำวิธีวัด Q&Q ไปใช้กับ TI หลาย ๆ ลักษณะ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบวิธีวัด Q&Q ที่ไม่มีการใช้ค่าน้ำหนักกับวิธีวัดเชิงปริมาณนั้น วิธีวัด Q&Q สามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ชัดเจนกว่าวิธีวัดเชิงปริมาณวิธีใดวิธีหนึ่งเนื่องจากเป็นวิธีแบบผสมผสานที่ใช้ทั้งวิธีวัดเชิงปริมาณแบบค่าน้ำหนักถึงบริเวณเป็นหลักและขอบเป็นหลัก สามารถวัดผลโดยครอบคลุมคุณลักษณะของภาพได้หลายแบบ ได้แก่ ขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ และบริเวณที่แบ่งส่วนได้ทั้งบริเวณที่ขาด เกิน และถูกต้องเมื่อเทียบกับ GT และยังมีตัวอธิบายภาพคือ ชิกเนเจอร์ ที่สามารถใช้อธิบายตำแหน่งและลักษณะของบริเวณที่ผิดพลาด

เมื่อนำวิธีวัด Q&Q ไปเปรียบเทียบกับผลจากวิธีวัดเชิงคุณภาพซึ่งในที่นี้คือการประเมินความถูกต้องจากแพทย์ ปรากฏว่า วิธีวัด Q&Q ให้ผลในการทำงานเดียวกันและยังมีผลการวัดเพิ่มเติมเป็นชิกเนเจอร์และตัวอธิบายภาพอื่น ๆ อีก ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อประกอบการพิจารณาความถูกต้องของผู้วัดด้วย

การกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยทำให้วิธีวัด Q&Q บอกความแตกต่างของภาพได้ดีกว่าการไม่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย นอกจากนี้พบว่า การกำหนดค่าน้ำหนักและภาพ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยแล้วเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลการวัดจากวิธีวัด Q&Q เปลี่ยนแปลงไปด้วย นั่นคือการกำหนดค่าน้ำหนักให้แตกต่างกันทำให้ผลการวัดชัดเจนมาก และภาพ GT ที่กำหนดบริเวณย่อยให้บริเวณที่สำคัญแยกจากบริเวณที่ไม่สำคัญอย่างชัดเจนสามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ดี อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีที่ผลการวัดเชิงปริมาณของบริเวณย่อยมีค่าใกล้เคียงกันมาก ทำให้การกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยไม่แตกต่างจากการไม่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย

การกำหนดความสำคัญให้แก่วิธีวัดเชิงปริมาณ ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้เลขผสมผสานเปลี่ยนแปลงได้ กล่าวคือ ถ้ากำหนดให้วิธีวัดเชิงปริมาณแบบใดสำคัญมากกว่า เลขผสมผสานจะมีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณนั้น และถ้ากำหนดให้วิธีวัดเชิงปริมาณมีความสำคัญเท่ากัน เลขผสมผสานจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสอง แต่ถ้าผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน การกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณจะไม่มีผลต่อเลขผสมผสาน

อย่างไรก็ดี จะเห็นว่าวิธีวัด Q&Q นี้มีลักษณะผสมผสานในเชิงคุณภาพ แต่ผลการวัดที่ได้มีความแม่นยำกว่าวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน กล่าวคือ ถ้าผู้วัดกำหนดพารามิเตอร์ในการวัดในวิธีวัด Q&Q เหมือนเดิม ผลการวัดของภาพเดียวกันจะเหมือนกันทุกครั้งที่ทำการวัด ในขณะที่การประเมินความถูกต้องตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญของวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบันไม่สามารถควบคุมให้มีหลักการที่แน่นอนเหมือนกันได้ทุกครั้ง ซึ่งทำให้ผลการวัดของวิธีวัดเชิงคุณภาพอาจมีเปลี่ยนแปลงได้ทุกครั้งทำการวัด

บทที่ 5

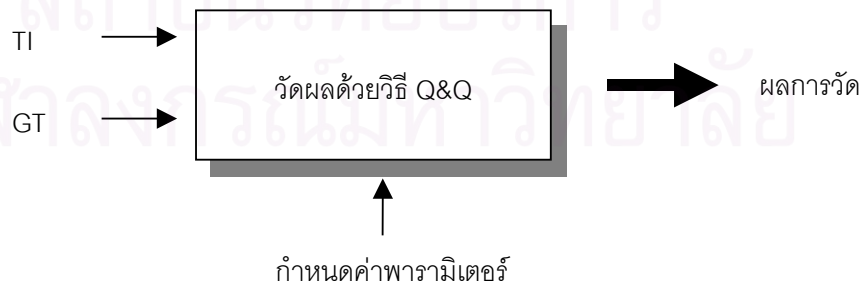
โปรแกรมสถิติวิธีวัด Q&Q

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำวิธีวัด Q&Q ที่ได้ทดลองและวิเคราะห์ลักษณะการทำงานแล้ว มาพัฒนาเป็นโปรแกรมสถิติ โดยอธิบายถึงลักษณะภาพรวมของโปรแกรม ส่วนประกอบของโปรแกรม การทำงานและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วนตามลำดับ นอกจากนี้ตอนท้ายจะกล่าวถึงสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสถิติ วิธีใช้โปรแกรมสถิติจะอยู่ในภาคผนวก ก

5.1 ภาพรวมของโปรแกรม

โปรแกรมสถิติเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่วัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนโดยเปรียบเทียบกับ GT ฉะนั้นข้อมูลเข้าของโปรแกรมประกอบด้วยภาพ 2 ภาพ คือ GT และ TI และผู้วัดจะต้องกำหนดพารามิเตอร์ในการวัด ซึ่งได้แก่พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับวิธีวัดเชิงปริมาณ คือ การกำหนดวิธีวัดเชิงปริมาณและความสำคัญของแต่ละวิธีที่จะนำมาใช้ และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการให้ความสำคัญของบริเวณในภาพซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้วัดว่าต้องการกำหนดหรือไม่ก็ได้ จากนั้น TI จะถูกวัดด้วยวิธีวัด Q&Q ส่วนข้อมูลออก คือ ผลการวัดที่ได้จะแสดงในรูปเลขผสมผสานประกอบด้วยซิกเนเจอร์และตัวอธิบายภาพอื่น ๆ ซึ่งคือ ช่องโหว่ในภาพ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนที่ซ้อนทับ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนที่ขาด และ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เป็นส่วนที่เกิน โดยภาพรวมของโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังแผนผังในรูปที่

5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังภาพรวมของโปรแกรม

5.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม

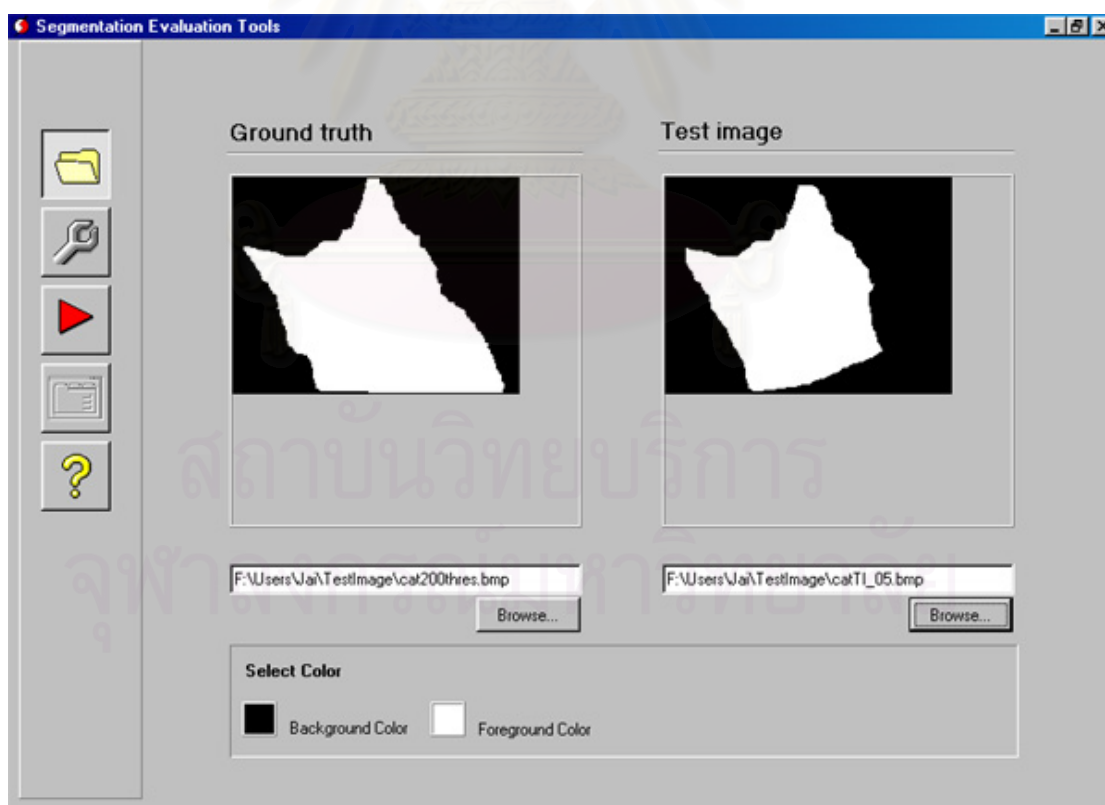
จากภาพรวมของโปรแกรมจะเห็นว่า โปรแกรมประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนรับข้อมูลเข้า ซึ่งก็คือ GT และ TI รวมถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัด ส่วนวัดผลด้วยวิธีวัด Q&Q และส่วนแสดงผลการวัด ซึ่งแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 ส่วนรับข้อมูลเข้าของโปรแกรม

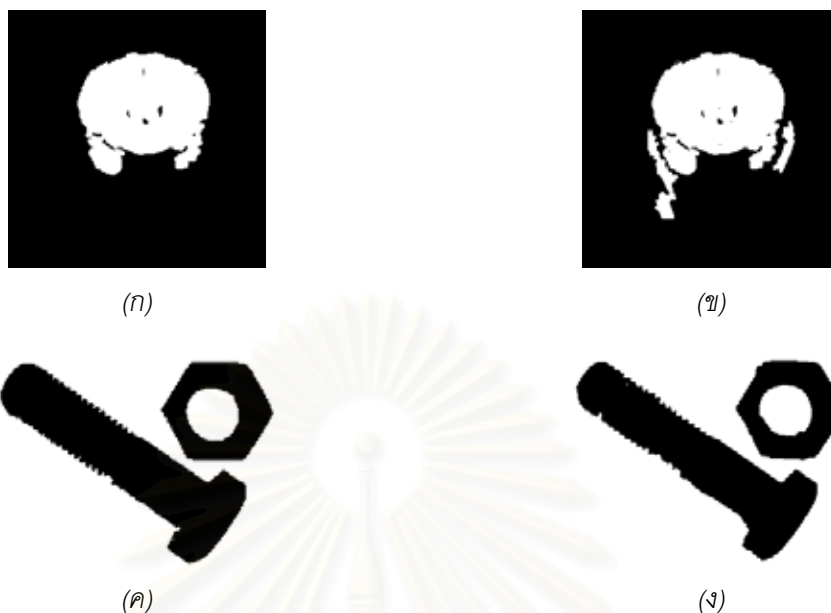
ข้อมูลเข้าของโปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ GT และ TI รวมถึงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ การกำหนดกลุ่มของวัตถุในภาพ พารามิเตอร์เกี่ยวกับวิธีวัดเชิงปริมาณ และพารามิเตอร์เกี่ยวกับการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย ดังนี้

GT และ TI

ภาพ GT และ TI นี้ต้องเป็นภาพที่มีขนาดเท่ากันและเป็นภาพที่มี 2 สี โดยสีหนึ่งแสดงบริเวณที่ได้จากการแบ่งส่วน และอีกสีหนึ่งแสดงพื้นหลัง (Background) ดังแสดงด้วยหน้าจอของโปรแกรมสาธิตในรูปที่ 5.2 ภาพทั้งสองนี้อาจมีวัตถุหลายวัตถุในภาพก็ได้ ดังตัวอย่างของภาพลักษณะต่าง ๆ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 หน้าจอหน้าเข้า GT และ TI



รูปที่ 5.3 GT และ TI ที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน

(ก) และ (ข) GT มี 1 วัตถุ แต่ TI มีมากกว่า 1 วัตถุตามลำดับโดย GT มีวัตถุน้อยกว่า TI

(ค) และ (ง) ทั้ง GT และ TI มีมากกว่า 1 วัตถุโดย GT มีวัตถุมากกว่า TI

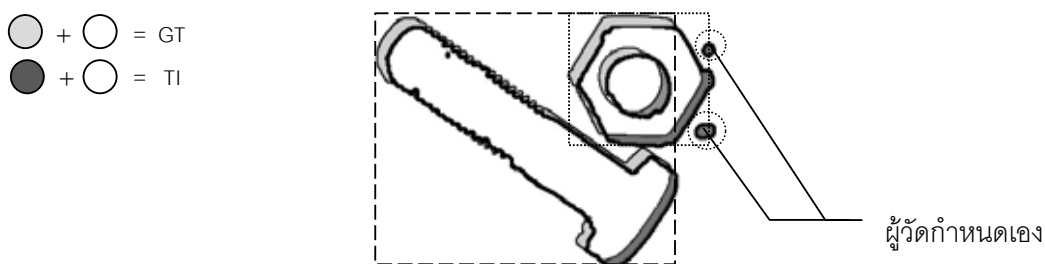
การกำหนดกลุ่มของวัตถุในภาพ

จากที่กล่าวมาแล้วว่าภายใน GT และ TI มีวัตถุจากการแบ่งส่วนภาพได้มากกว่า 1 วัตถุ ทำให้การวัดอาจทำได้ครั้งละวัตถุหรือครั้งละหลาย ๆ วัตถุก็ได้ ดังนั้นโปรแกรมสถิติจึงจัดเตรียมให้ผู้วัดเลือกกำหนดกลุ่มที่ใช้ในการวัดไว้ 3 รูปแบบด้วยกันตามต้องการ โดยในการวัด 1 ครั้งผู้วัดสามารถเลือกได้ 1 รูปแบบ ดังนี้

- **รูปแบบที่ 1 การกำหนดกลุ่มแบบอัตโนมัติ**

ในรูปแบบนี้ โปรแกรมจะกำหนดกลุ่มวัตถุในการวัดผลให้โดยอัตโนมัติโดยพิจารณาจากการซ้อนทับของวัตถุใน GT และ TI ซึ่งการซ้อนทับกันอาจเป็นแบบวัตถุใน GT 1 วัตถุซ้อนทับกับวัตถุใน TI 1 วัตถุ (1:1) หรือวัตถุใน GT 1 วัตถุซ้อนทับกับวัตถุใน TI หลายวัตถุก็ได้ (1:M) และในทำนองกลับกัน การซ้อนทับกันอาจเป็นแบบวัตถุใน GT หลายวัตถุซ้อนทับกับวัตถุใน TI 1 วัตถุ (M:1) หรือวัตถุใน GT หลายวัตถุซ้อนทับกับวัตถุใน TI หลายวัตถุก็ได้ (M:N)

ในการจัดกลุ่มรูปแบบนี้ จะไม่สามารถจัดกลุ่มให้กับวัตถุใน TI ที่ไม่ซ้อนทับกับวัตถุใด ๆ ใน GT ได้ ในกรณีนี้โปรแกรมมีทางเลือกให้ผู้วัดเป็นผู้กำหนดเอง 2 แบบ คือ เลือกนำวัตถุนั้นไปอยู่ในกลุ่มที่มีอยู่แล้วหรือเลือกไม่วัดวัตถุที่ไม่ซ้อนทับนั้นก็ได้ ตัวอย่างการกำหนดกลุ่มอัตโนมัติแสดงในรูปที่ 5.4

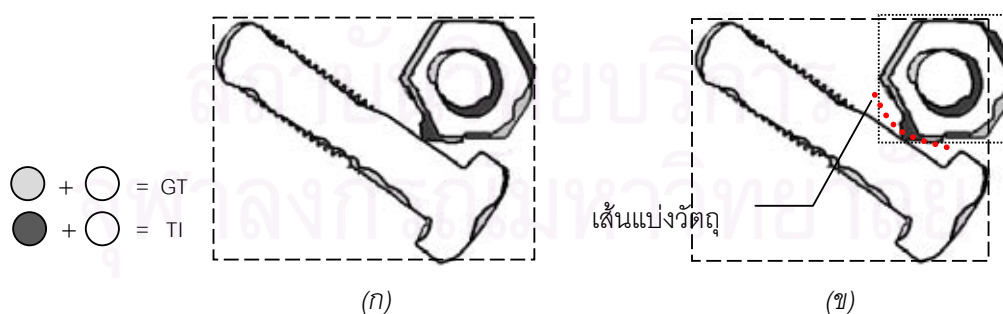


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างกรณีที่มีวัตถุใน GT 2 วัตถุและวัตถุใน TI 4 วัตถุ การกำหนดกลุ่มแบบอัตโนมัติจัดได้ 2 กลุ่มและเหลืออีก 2 วัตถุให้ผู้วัดกำหนดกลุ่มเอง

• รูปแบบที่ 2 การกำหนดกลุ่มแบบกึ่งอัตโนมัติ

ในรูปแบบนี้ โปรแกรมจะกำหนดกลุ่มให้กับผู้วัดโดยอัตโนมัติเป็นบางส่วนเท่านั้น กล่าวคือ จะกำหนดกลุ่มให้เฉพาะวัตถุใน GT และ TI ที่ซ้อนทับกันแบบ 1:1 เท่านั้น ส่วนวัตถุอื่นที่เหลือนั้น ผู้วัดจะต้องกำหนดกลุ่มเองตามต้องการ ซึ่งอาจกำหนดให้เป็นกลุ่มเดียวหรือหลายกลุ่มก็ได้ โดยอาจเกิดจากการนำวัตถุไปรวมกับกลุ่มที่มีอยู่แล้วหรือกำหนดเป็นกลุ่มใหม่ก็ได้ ทั้งนี้ใน 1 กลุ่มอาจจะมีวัตถุใน TI มากกว่าหรือเท่ากับ 1 วัตถุและวัตถุใน GT มากกว่าหรือเท่ากับ 1 วัตถุก็ได้ ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบนี้แสดงในรูปที่ 5.5 ก

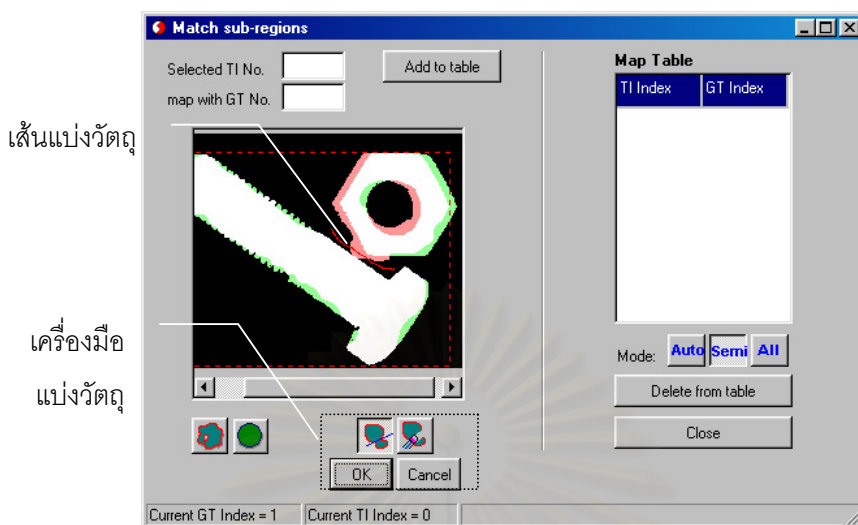
นอกจากนี้ ในกรณีที่วัตถุใน TI 1 วัตถุซ้อนทับกับวัตถุ GT มากกว่า 1 วัตถุ ผู้วัดสามารถกำหนดกลุ่มวัตถุเป็นกลุ่มเดียวหรือหลายกลุ่มได้โดยใช้เครื่องมือแบ่งวัตถุที่โปรแกรมได้จัดเตรียมไว้ ซึ่งใช้สำหรับแบ่งวัตถุใน TI 1 วัตถุออกเป็นส่วนย่อยได้หลาย ๆ ส่วน เพื่อให้ผู้วัดกำหนดกลุ่มให้กับ TI นั้นเป็นหลายกลุ่มได้ ตัวอย่างการแบ่งวัตถุแสดงในรูปที่ 5.5 ข และถ้าผู้วัดเปลี่ยนใจไม่ต้องการแบ่งวัตถุ โปรแกรมจะมีเครื่องมือที่ใช้รวมส่วนย่อยกลับเป็นวัตถุเดิมได้ด้วย โดยในรูปที่ 5.6 แสดงหน้าจอการกำหนดกลุ่มวัตถุและเครื่องมือแบ่งวัตถุซึ่งรายละเอียดวิธีใช้งานเครื่องมือแบ่งวัตถุนี้อยู่ในภาคผนวก ก



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการกำหนดกลุ่มแบบกึ่งอัตโนมัติ เมื่อมีวัตถุของ TI 1 วัตถุซ้อนกับวัตถุของ GT 2 วัตถุ

(ก) การกำหนดเป็นกลุ่มวัตถุกลุ่มเดียว และ

(ข) การกำหนดเป็นกลุ่มวัตถุ 2 กลุ่มจากการแบ่ง TI ออกเป็นส่วนย่อย 2 ส่วน



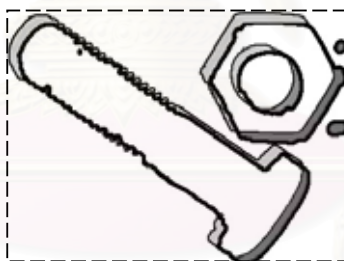
รูปที่ 5.6 หน้าจอการกำหนดกลุ่มวัตถุแบบกึ่งอัตโนมัติ

- รูปแบบที่ 3 การกำหนดกลุ่มแบบรวมทุกวัตถุ

ในรูปแบบนี้ โปรแกรมจะกำหนดกลุ่มวัตถุเป็นกลุ่มเดียวโดยการนำทุก ๆ วัตถุของ GT และ TI มาอยู่ในกลุ่มเดียวกันไม่ว่าใน GT และ TI จะมีกี่วัตถุก็ตาม ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.7

$$\text{○} + \text{○} = \text{GT}$$

$$\text{●} + \text{○} = \text{TI}$$



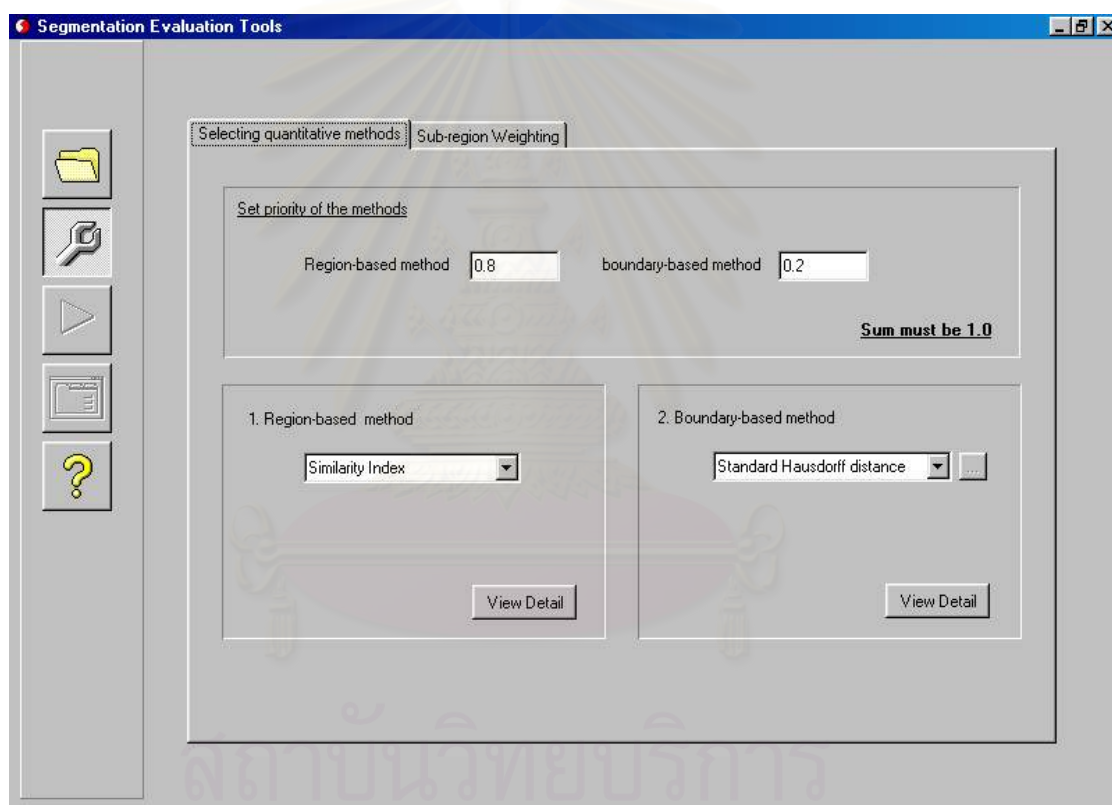
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการกำหนดกลุ่มแบบรวมทุกวัตถุเมื่อมีวัตถุใน GT 2 วัตถุและวัตถุใน TI 4 วัตถุ

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีวัดเชิงปริมาณ ได้แก่ การกำหนดวิธีวัดเชิงปริมาณที่นำมาใช้ในการวัด และการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ อีกส่วนหนึ่งคือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย ได้แก่ GT ที่กำหนดสีให้บริเวณย่อยตามความสำคัญและค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้วัดต้องการกำหนดหรือไม่ก็ได้

- พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีวัดเชิงปริมาณ

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีวัดเชิงปริมาณ ได้แก่ วิธีวัดเชิงปริมาณแบบค้ำนึ่งถึงบริเวณเป็นหลัก 1 วิธี และแบบค้ำนึ่งถึงขอบเป็นหลัก 1 วิธี และการกำหนดความสำคัญให้กับวิธีวัดเชิงปริมาณ ซึ่งผู้วัดสามารถเลือกได้จากวิธีวัดเชิงปริมาณที่โปรแกรมกำหนดไว้ให้จำนวน 6 วิธีแบ่งเป็นวิธีวัดแบบค้ำนึ่งถึงขอบเป็นหลัก 4 วิธี ได้แก่ วิธีวัด SH วิธีวัด PH วิธีวัด CH และวิธีวัด MH และวิธีวัดแบบค้ำนึ่งถึงบริเวณเป็นหลัก 2 วิธี ได้แก่ วิธีวัด S และวิธีวัด SA โดยสูตรการค้ำนวนของวิธีวัดแต่ละวิธีได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ส่วนการกำหนดความสำคัญให้กับวิธีวัดเชิงปริมาณนั้น ผู้วัดต้องกำหนดด้วยค้ำน้ำหนักซึ่งต้องมีผลรวมเป็น 1 โดยหน้าจอกำหนดพารามิเตอร์เกี่ยวกับวิธีวัดเชิงปริมาณของโปรแกรมสาธิตแสดงอยู่ในรูปที่ 5.8

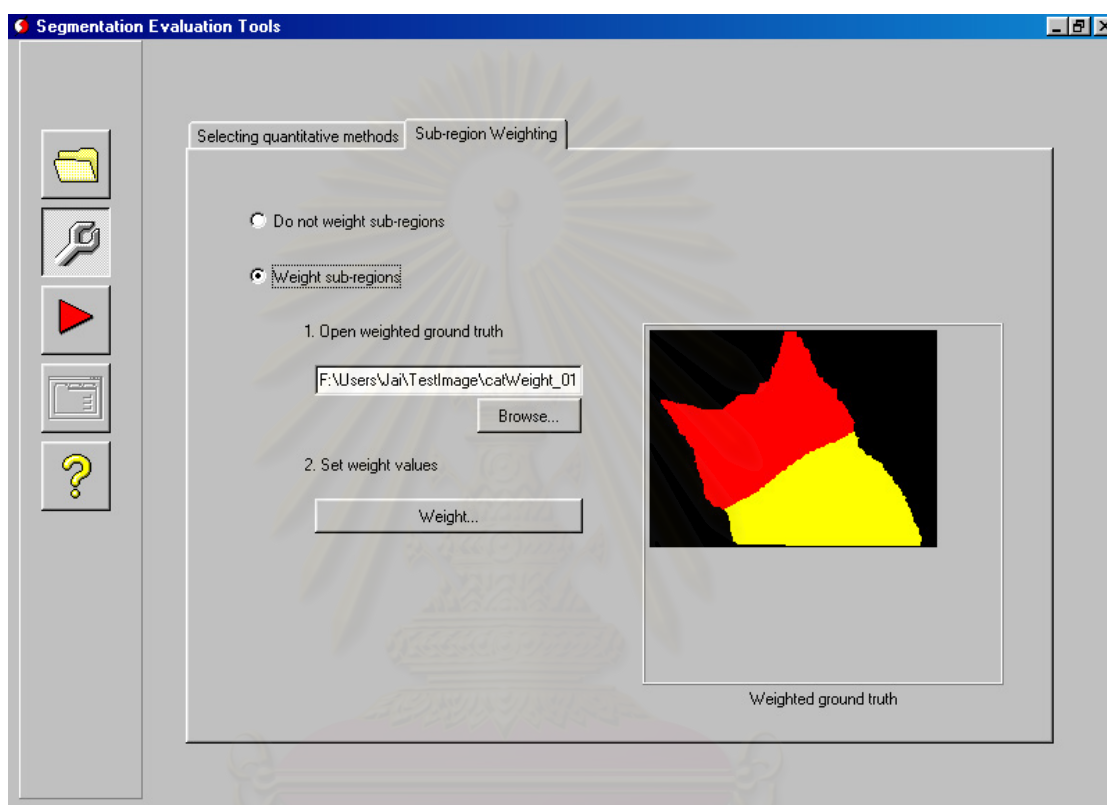


รูปที่ 5.8 หน้าจอกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีวัดเชิงปริมาณ

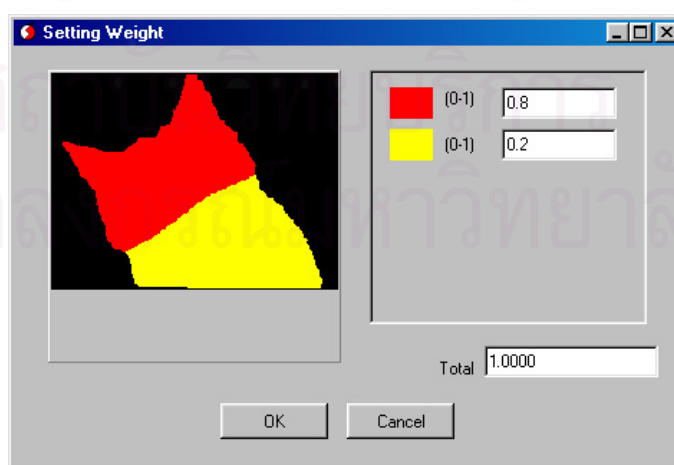
- พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดความสำคัญให้บริเวณย่อย

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดความสำคัญให้บริเวณย่อยจะขึ้นอยู่กับผู้วัดว่าต้องการกำหนดความสำคัญของบริเวณหรือไม่ ถ้าต้องการกำหนด ผู้วัดจะต้องนำเข้าภาพ GT ที่กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยด้วยสีที่แตกต่างกันมาแล้วโดยใช้โปรแกรมแก้ไขภาพทั่วไป แล้วจึงกำหนดค้ำน้ำหนักของบริเวณย่อยด้วยโปรแกรมสาธิตนี้ ซึ่งบริเวณย่อยที่มีความสำคัญเท่ากันควรมีสีเดียวกันและต้องกำหนดให้มี

ค่าน้ำหนักเท่ากัน และบริเวณย่อยที่มีความสำคัญมากกว่าจะมีค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยนั้นมากกว่า บริเวณย่อยที่มีความสำคัญน้อยกว่า และผลรวมของค่าน้ำหนักต้องมีค่าเท่ากับ 1 โดยตัวอย่างหน้าจอการเลือกใช้ค่าน้ำหนักหรือไม่ใช้ค่าน้ำหนักและเลือก GT ที่กำหนดสีตามความสำคัญของบริเวณย่อยแล้วแสดงในรูปที่ 5.9 และหน้าจอกำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยแสดงในรูปที่ 5.10



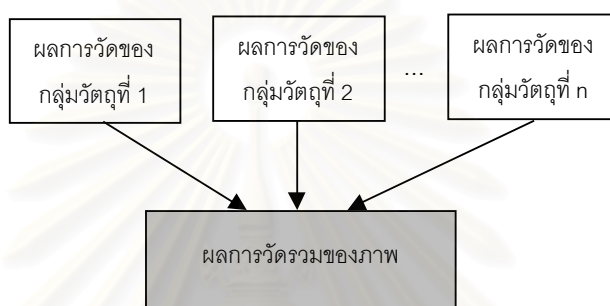
รูปที่ 5.9 หน้าจอการกำหนดความสำคัญให้บริเวณย่อย



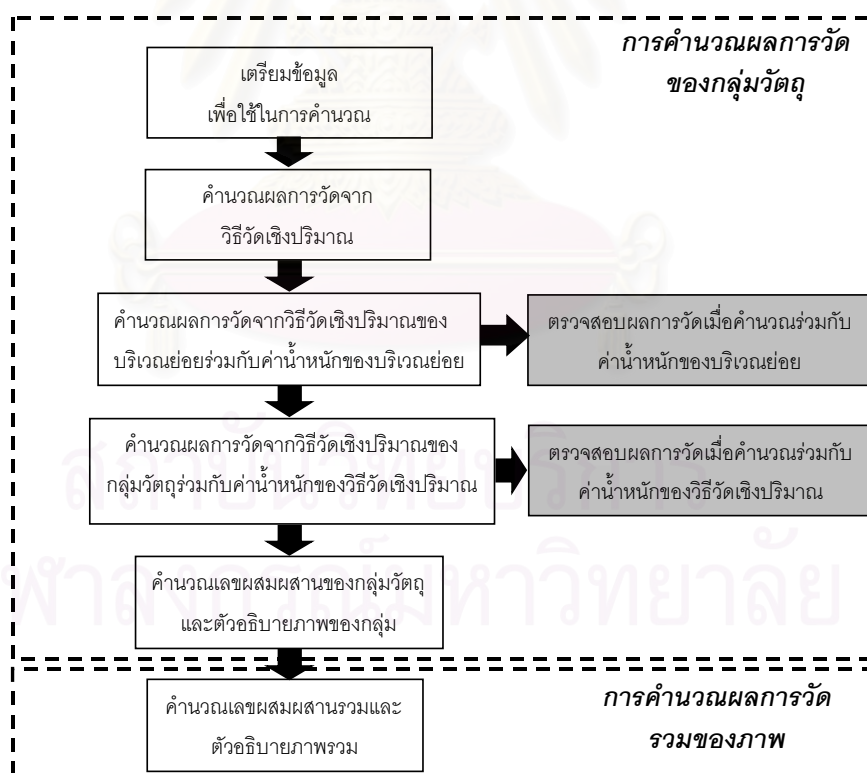
รูปที่ 5.10 หน้าจอการกำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย

5.2.2 ส่วนวัดผลด้วยวิธีวัด Q&Q

ส่วนวัดผลด้วยวิธีวัด Q&Q แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วนย่อยคือ การคำนวณ "ผลการวัดของกลุ่มวัตถุ" และการคำนวณ "ผลการวัดรวมของ TI" ซึ่งการคำนวณผลการวัดของกลุ่มวัตถุจะทำไปทุก ๆ กลุ่มวัตถุที่ผู้วัดกำหนด และเมื่อได้ผลการวัดของทุกกลุ่มมาแล้วจึงนำไปคำนวณรวมกันเป็นผลการวัดของ TI ทั้งภาพดังแผนผังในรูปที่ 5.11 และขั้นตอนการคำนวณผลการวัดของกลุ่มวัตถุและผลการวัดรวมของ TI จะแสดงเป็นแผนผังดังรูปที่ 5.12 ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้



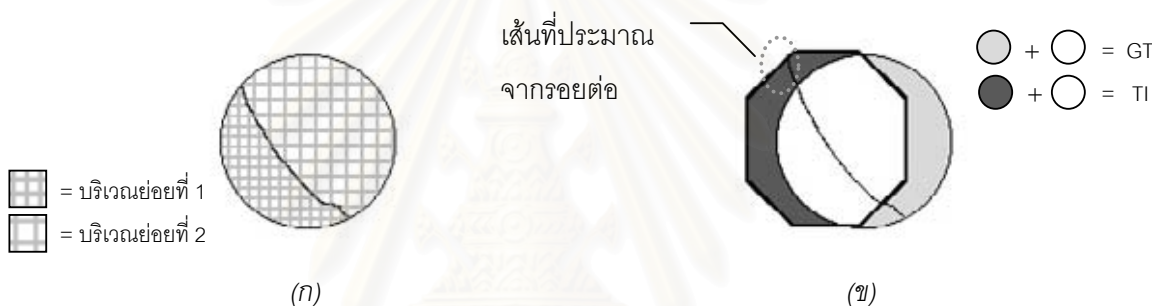
รูปที่ 5.11 ผลการวัดรวมของภาพเมื่อมีกลุ่มวัตถุ n กลุ่ม



รูปที่ 5.12 ขั้นตอนการคำนวณผลการวัด

การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณผลการวัด

เนื่องจากว่าวิธีวัดเชิงปริมาณที่นำมาใช้เป็นแบบค่านิ่งถึงขอบเป็นหลักและแบบค่านิ่งถึงบริเวณเป็นหลัก ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาคำนวณ ได้แก่ จุดขอบภาพของ GT และ TI และจำนวนจุดภาพของส่วนที่ซ้อนทับ ส่วนขาด และส่วนเกิน ถ้าเป็นกรณีที่ไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ข้อมูลในการคำนวณจะเป็นของกลุ่มวัตถุทั้งกลุ่ม แต่ถ้าเป็นกรณีที่มีการใช้ค่าน้ำหนัก ข้อมูลในการคำนวณจะแยกไปตามบริเวณย่อย ซึ่งโปรแกรมต้องกำหนดค่าน้ำหนักให้กับจุดภาพในบริเวณย่อยต่าง ๆ แต่เนื่องจากว่าบริเวณที่เป็นส่วนเกินใน TI นั้นไม่สามารถอ้างอิงค่าน้ำหนักจาก GT ได้ฉะนั้นโปรแกรมจะกำหนดจากบริเวณรอบข้างที่มีค่าน้ำหนัก นอกจากนี้เมื่อบริเวณส่วนเกินอยู่ติดกับบริเวณหลายบริเวณที่มีค่าน้ำหนักต่างกัน โปรแกรมจะต้องแบ่งบริเวณส่วนเกินนั้นเพื่อให้ติดกับบริเวณใดบริเวณหนึ่งเท่านั้นโดยใช้เส้นประมาณตามแนวรอยต่อตามหลักการของ Bezier curve [21] ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การแบ่งส่วนเกินด้วยเส้นแบ่งที่เกิดจากการประมาณเส้นตามรอยต่อระหว่างบริเวณที่ติดกัน

(ก) GT ที่แบ่งบริเวณย่อยเป็น 2 ส่วน และ (ข) ภาพการซ้อนทับ

การคำนวณผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณ

ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย กล่าวคือ ถ้ามีการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย การคำนวณต้องทำแยกตามบริเวณย่อย แต่ถ้าไม่กำหนด การคำนวณจะทำการรวมเป็นผลการวัดของกลุ่มวัตถุ โดยคำนวณผลการวัดของวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งแบบที่ค่านิ่งถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักและแบบที่ค่านิ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณของวิธีวัดต่าง ๆ กล่าวอยู่ในบทที่ 2

การคำนวณผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณของบริเวณย่อยร่วมกับค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย

ขั้นตอนนี้จะใช้เมื่อผู้วัดเลือกกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยเท่านั้น โดยนำผลการวัดของแต่ละบริเวณย่อยมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.2 ผลที่ได้คือผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณแบบที่ค่านิ่งถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักและแบบที่ค่านิ่งถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลักของกลุ่มวัตถุ

คำนวณผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณของกลุ่มวัตถุร่วมกับค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณ

ขั้นตอนนี้เป็น การคำนวณผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณของกลุ่มวัตถุร่วมกับค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณ ผลที่ได้คือ เลขผสมผสาน ซึ่งใช้สมการที่ 3.3 ในการคำนวณ

การคำนวณตัวอธิบายภาพของกลุ่มวัตถุ

ขั้นตอนนี้ทำเพื่อคำนวณตัวอธิบายภาพซึ่งได้แก่ ซิกเนเจอร์ ช่องโหว่ในภาพ เปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ซ้อนทับ เปอร์เซ็นต์ส่วนที่ขาด และเปอร์เซ็นต์ส่วนที่เกิน ซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลที่เป็นจุดขอบและจุดภาพส่วนที่ซ้อนทับ ส่วนที่ขาด และส่วนที่เกิน โดยหลักในการคำนวณได้แสดงไว้ในบทที่ 3

การคำนวณเลขผสมผสานรวมและตัวอธิบายภาพรวม

หลังจากคำนวณผลการวัดของแต่ละกลุ่มวัตถุเสร็จแล้วนั้น จะนำผลการวัดต่าง ๆ มาคำนวณรวมกัน เพื่อเป็นผลการวัดรวมของภาพ เลขผสมผสานสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.4 และตัวอธิบายภาพรวมสามารถคำนวณได้โดยใช้หลักในการคำนวณที่แสดงไว้ในบทที่ 3

การตรวจสอบผลการวัดเมื่อคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย

การตรวจสอบนี้จะทำเมื่อผู้วัดเลือกกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยเท่านั้น ขั้นตอนนี้เป็นส่วนการให้ข้อมูลเพิ่มเติมให้กับผู้วัด โดยจากการทดลองและวิเคราะห์ผลในบทที่ 4 พบว่าเมื่อผู้วัดเลือกกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยนั้น มีบางกรณีที่มีการกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยให้ผล *ไม่แตกต่าง* จากการไม่กำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยแม้ว่าจะกำหนดค่าน้ำหนักเป็นเท่าใดก็ตาม ฉะนั้นเมื่อผู้วัดเลือกกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อย โปรแกรมจะคำนวณเลขผสมผสานจากวิธีวัด Q&Q เมื่อ *ไม่กำหนด* ความสำคัญของบริเวณย่อยไว้ด้วยการเปรียบเทียบเลขผสมผสานเมื่อ *กำหนดความสำคัญ* ของบริเวณย่อยโดยอัตโนมัติ ถ้ามีค่าไม่แตกต่างกันแสดงว่าการกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยไม่แตกต่างไปจากการไม่กำหนด โปรแกรมจะมีข้อความเตือนแสดงให้กับผู้วัดด้วย

การตรวจสอบผลการวัดเมื่อคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณ

การตรวจสอบนี้ทำเพื่อให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่ผู้วัดเช่นกัน จากที่พบข้อสังเกตอย่างหนึ่งในการทดลองและการวิเคราะห์ผลในบทที่ 4 นั่นคือ การให้ค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณที่แตกต่างกันจะทำให้เลขผสมผสานเปลี่ยนแปลงได้ แต่ถ้าผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสองวิธีหลังคำนวณร่วมกับค่าน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกัน เลขผสมผสานจะ *ไม่เปลี่ยนแปลง* แม้จะเปลี่ยนค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณก็ตาม ฉะนั้นโปรแกรมจะเปรียบเทียบว่าผลการวัดทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่โดยอัตโนมัติ และถ้ามีค่าใกล้เคียง โปรแกรมจะมีข้อความเตือนแสดงให้กับผู้วัดด้วย

5.2.3 ส่วนแสดงผลการวัด

โปรแกรมจะแสดงผลการวัดรวมของภาพ ได้แก่ เลขผสมผสาน จำนวนช่องโหว่และขนาดของช่องโหว่ ในภาพ เปรอร์เซ็นต์ส่วนที่ซ้อนทับ เปรอร์เซ็นต์ส่วนที่ขาด และเปอร์เซ็นต์ส่วนที่เกิน พร้อมกับแสดงภาพการซ้อนทับของ GT และ TI ด้วย นอกจากนี้ผู้วัดสามารถเลือกดูข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดประกอบกับผลการวัดด้วย คือ วิธีวัดเชิงปริมาณที่ใช้ ค่าน้ำหนักที่ใช้กำหนดความสำคัญของวิธีวัดและของบริเวณย่อย จำนวนวัตถุใน GT จำนวนวัตถุใน TI และการกำหนดกลุ่มวัตถุซึ่งรวมถึงบอกด้วยว่าวัตถุใดไม่ได้นำไปวัด ดังตัวอย่างหน้าจอในรูปที่ 5.14

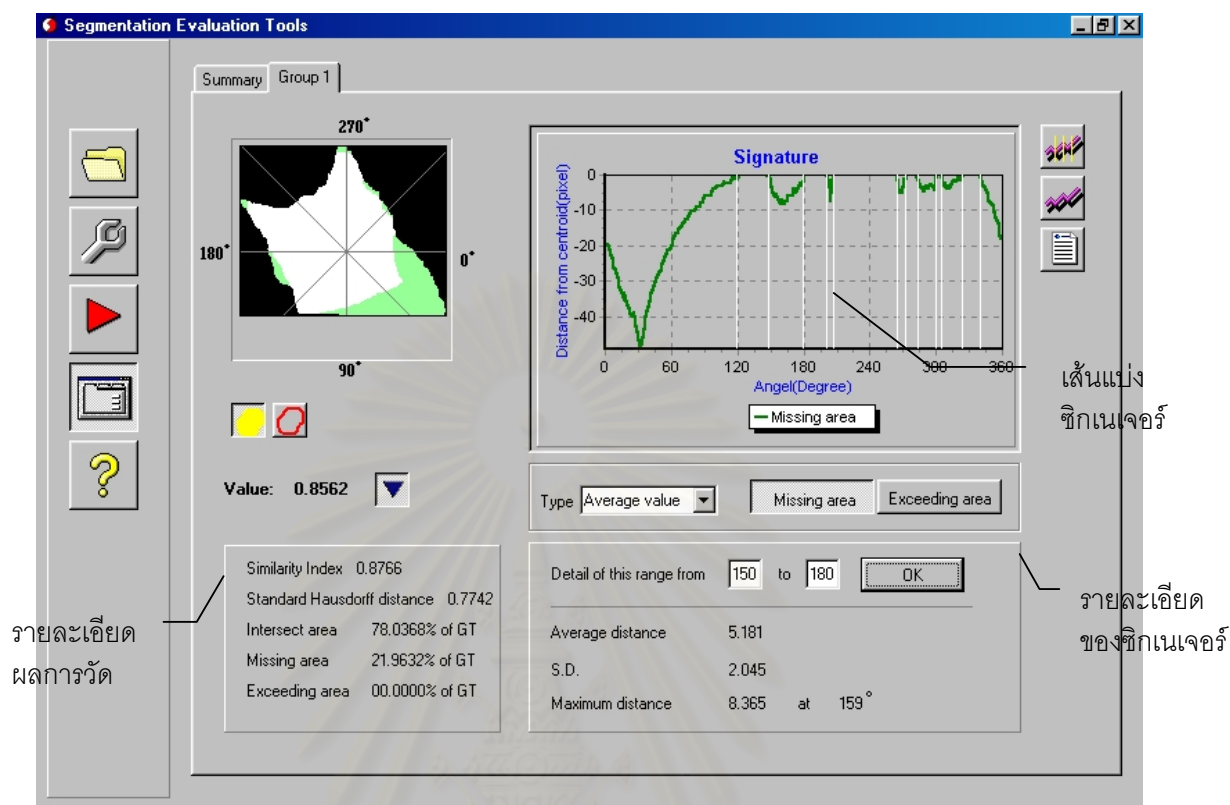
นอกจากนี้โปรแกรมจะแสดงผลการวัดแยกตามกลุ่มของวัตถุ ซึ่งผู้วัดสามารถเลือกให้แสดงหรือไม่ก็ได้ โดยแต่ละกลุ่มก็จะมีผลการวัดประกอบด้วย เลขผสมผสาน ซิกเนเจอร์ส่วนเกินและส่วนขาดซึ่งแสดงอยู่ในรูปกราฟและตัวอธิบายภาพอื่น ๆ นอกจากนี้โปรแกรมจะแสดงมีภาพการซ้อนทับของ GT และ TI ของกลุ่มวัตถุ นั้นเพื่อประกอบการพิจารณาซิกเนเจอร์ด้วย การแสดงผลการวัดของกลุ่มวัตถุยังมีรายละเอียดย่อยที่เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณเลขผสมผสานและตัวอธิบายภาพอื่น ๆ ซึ่งผู้วัดสามารถเลือกให้โปรแกรมแสดงหรือไม่ก็ได้เช่นกัน ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลการวัดของกลุ่มวัตถุอยู่ในรูปที่ 5.15

The screenshot shows the 'Segmentation Evaluation Tools' window. It features a central image of a segmented object (a white shape on a black background with green and red outlines). To the right, there are 'Parameters' and 'Result' sections. The 'Parameters' section includes settings for 'Methods' (Region-based 0.8, Boundary-based 0.2), 'Region-based method' (Similarity Index), 'Boundary-based method' (Standard Hausdorff distance), 'Using weight' (No), 'A number of GT' (1 Ignore: 0), 'A number of TI' (1 Ignore: 0), and 'Matching mode' (Semi-automatic). The 'Result' section displays the following data:

Group	%GT area	Value
1	100.00%	0.8562

Additional result metrics shown are: Value: 0.8562, Intersect area: 78.04% of GT, Missing area: 21.96% of GT, Exceeding area: 00.00% of GT, and Hole: 0.

รูปที่ 5.14 หน้าจอแสดงผลการวัดรวมของภาพ



รูปที่ 5.15 หน้าจอแสดงผลการวัดของกลุ่มวัตถุ

ในส่วนของซิกเนเจอร์ส่วนเกินและซิกเนเจอร์ส่วนขาดนั้น นอกจากแสดงเป็นกราฟแล้ว โปรแกรมได้วิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่าย เพื่อให้ผู้วัดสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ว่า บริเวณส่วนเกินและส่วนขาดมีรูปร่างอย่างไร อยู่ที่ตำแหน่งใดและผิดพลาดไปมากหรือน้อยเพียงใด โดยแยกวิเคราะห์กราฟเป็นช่วงโดยอัตโนมัติ หรือผู้วัดสามารถแบ่งช่วงได้เองตามต้องการ โปรแกรมจะคำนวณรายละเอียดแต่ละช่วงแล้วแสดงผลซึ่งอาจเป็นรายละเอียดของช่วงใดช่วงหนึ่งหรือรายละเอียดของซิกเนเจอร์ทั้งหมดก็ได้ โดยรายละเอียดประกอบด้วย มุมที่เริ่มต้น และมุมสุดท้ายของช่วง ค่าเฉลี่ยของระยะห่าง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่าง และค่าระยะห่างที่มากที่สุดและมุมที่มีค่าระยะห่างที่มากที่สุดในช่วง ตัวอย่างในรูปที่ 5.15 แสดงรายละเอียดของซิกเนเจอร์ช่วงองศาที่ 150 ถึง 180 และรูปที่ 5.16 แสดงตัวอย่างรายละเอียดของซิกเนเจอร์ทั้งหมดซึ่งสามารถเลือกดูได้ในโปรแกรมนี้ด้วย

No.	θ (°)		Distance from centroid			
	range from	to	Average	S.D.	Maximum at θ	
1	119	148	0.107	0.313	1.365	120
2	148	179	4.996	2.256	8.365	159
3	179	201	0.130	0.458	2.000	179
4	201	206	3.001	2.780	7.402	205
5	206	265	0.041	0.317	2.456	206
6	265	272	3.253	2.055	5.018	267
7	272	282	0.184	0.602	1.999	272
8	282	300	2.904	1.290	4.750	289
9	300	305	0.228	0.558	1.368	300
10	305	311	0.000	1.100	0.000	311

รูปที่ 5.16 รายละเอียดของซิกเนเจอร์ของภาพทั้งภาพ

5.3 การทดลองใช้โปรแกรมสาธิต

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสาธิตทดสอบวัดความถูกต้องของภาพซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 โปรแกรมสาธิตพัฒนาโดยใช้ Borland C++ Builder เวอร์ชัน 4 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องเพนเทียม III 450 เมกะเฮิร์ตซ์ หน่วยความจำขนาด 128 เมกะไบต์ เวลาในการประมวลผลแตกต่างกันไปตามขนาดของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ ลักษณะของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ และการกำหนดพารามิเตอร์ในโปรแกรม เช่น ชุดภาพแมวมีบริเวณที่แบ่งส่วนได้ขนาดใหญ่ เมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยของชุดภาพแมวเท่ากับ 2.06 วินาที และเมื่อใช้ค่าน้ำหนัก เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเท่ากับ 2.11 วินาที ชุดภาพสมองมีบริเวณที่แบ่งส่วนได้ขนาดเล็กเมื่อไม่ใช้ค่าน้ำหนัก เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 วินาที เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีวัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนโดยใช้ GT ในการเปรียบเทียบที่มีชื่อว่า วิธีวัด Q&Q ซึ่งเป็นวิธีที่ผสมผสานวิธีวัดเชิงคุณภาพและวิธีวัดเชิงปริมาณเข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีวัดเชิงปริมาณ 2 วิธี โดยที่ค่าหนึ่งถึงขอบเป็นหลัก 1 วิธีและค่าหนึ่งถึงบริเวณเป็นหลักอีก 1 วิธี เพื่อให้การวัดครอบคลุมคุณลักษณะของภาพได้ทั้งสองอย่าง โดยเปิดโอกาสให้ผู้วัดเป็นผู้เลือกวิธีวัดได้เองจากวิธีวัด 6 วิธีด้วยกัน คือ วิธีวัดดัชนีความคล้าย วิธีวัดค่าความถูกต้องจากการแบ่งส่วน วิธีวัดระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบมาตรฐาน วิธีวัดระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบบางส่วน วิธีวัดระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบก้นกรอก และวิธีวัดระยะห่างเฮาส์ดอร์ฟแบบปรับปรุง โดยผู้วัดสามารถกำหนดว่าวิธีวัดแบบใดสำคัญกว่าและสำคัญมากหรือน้อยเพียงใดโดยใช้ค่าน้ำหนัก ในวิธีวัด Q&Q นี้ ผู้วัดสามารถมีส่วนร่วมให้ความเห็นในการวัดได้โดยการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยแตกต่างกันด้วยการกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่บริเวณย่อย ผลการวัดของวิธีวัด Q&Q นี้ได้จากการนำผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณทั้งสองค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยและค่าน้ำหนักของวิธีวัดเชิงปริมาณมาคำนวณร่วมกันเป็น “เลขผสมผสาน” ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยค่า 0 หมายถึงไม่ถูกต้อง และค่า 1 หมายถึงถูกต้องสมบูรณ์ นอกจากเลขผสมผสานแล้ว ผลการวัดของวิธีวัด Q&Q ยังประกอบด้วยซิกเนเจอร์ซึ่งแสดงรูปร่างและตำแหน่งของบริเวณที่ผิดพลาด ช่องโหว่ในภาพ เปอร์เซ็นต์บริเวณส่วนที่ซ้อนทับ เปอร์เซ็นต์บริเวณส่วนที่ขาด และเปอร์เซ็นต์บริเวณส่วนที่เกินอีกด้วย

นอกจากนี้ งานวิจัยได้พัฒนาโปรแกรมสถิติเพื่อนำเอาหลักการของวิธีวัด Q&Q มาใช้วัดความถูกต้องจริง โดยส่วนประกอบของโปรแกรมแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนข้อมูลเข้าซึ่งประกอบด้วย GT และ TI รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ผู้วัดกำหนด ซึ่งทั้ง GT และ TI อาจมีวัตถุในภาพได้มากกว่า 1 วัตถุ ส่วนการคำนวณผลการวัดซึ่งคำนวณผลการวัดได้เป็นกลุ่มวัตถุและคำนวณหาผลการวัดรวมของทั้งภาพ สุดท้ายคือส่วนแสดงผลซึ่งสามารถแสดงผลการวัดรวมของภาพทั้งภาพ ตัวอย่างภาพต่าง ๆ ภาพการซ้อนทับระหว่าง GT และ

TI และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดต่าง ๆ พร้อมกันเพื่อให้ความสะดวกแก่ผู้วัด นอกจากนี้ผู้วัดสามารถเลือกให้โปรแกรมแสดงผลการวัดแยกไปตามกลุ่มวัตถุและรายละเอียดอื่น ๆ ได้

จากการทดลองและวิเคราะห์การนำวิธี Q&Q ไปใช้กับ TI ในลักษณะต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบวิธีวัด Q&Q ที่ไม่มีการใช้ค่าน้ำหนักกับวิธีวัดเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพในปัจจุบัน พบว่าวิธีวัด Q&Q นี้สามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ในขณะที่วิธีวัดเชิงปริมาณในปัจจุบันเพียงวิธีใดวิธีหนึ่งไม่สามารถบอกได้ เนื่องจากวิธีวัด Q&Q ให้ผลการวัดที่พิจารณาจากคุณลักษณะทั้งขอบและบริเวณ ในขณะที่วิธีวัดผลเชิงปริมาณในปัจจุบันจะพิจารณาคุณลักษณะของภาพแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น และวิธีวัด Q&Q ให้ผลการวัดไปในทำนองเดียวกับวิธีวัดเชิงคุณภาพ โดยในกรณีที่วิธีวัดเชิงคุณภาพให้ผลการวัดมีค่าน้อย วิธีวัด Q&Q ก็ให้ผลการวัดมีค่าน้อยด้วย และในกรณีที่วิธีวัดเชิงคุณภาพให้ผลการวัดมีค่ามาก วิธีวัด Q&Q ก็ให้ผลการวัดมีค่ามากด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีวัด Q&Q ที่ใช้ค่าน้ำหนักสามารถบอกความถูกต้องของภาพได้ชัดเจนกว่าการไม่ใช้ค่าน้ำหนัก โดยสามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ในขณะที่วิธีวัด Q&Q ที่ไม่ใช้ค่าน้ำหนักไม่สามารถบอกได้ และการกำหนดความสำคัญของวิธีวัดเชิงปริมาณที่ต่างกักันก็ทำให้ผลการวัดมีค่าต่างกักัน จากการทดลองยังพบอีกว่า การกำหนดกลุ่มแบบแยกวัตถุทำให้ผู้วัดวิเคราะห์ภาพได้ละเอียดกว่าแบบรวมวัตถุอีกด้วย

แม้ว่าวิธีวัด Q&Q นี้จะมีลักษณะผสมผสานในเชิงคุณภาพก็ตาม ผลการวัดที่ได้ก็ไม่มี ความแปรปรวนมากเท่ากับ การวัดของวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบัน กล่าวคือ ถ้าผู้วัดกำหนดพารามิเตอร์ในการวัดในวิธีวัด Q&Q เหมือนเดิม ผลการวัดของภาพเดียวกันจะเหมือนกันทุกครั้ง ที่วัด ในขณะที่การประเมินความถูกต้องตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญของวิธีวัดเชิงคุณภาพในปัจจุบันไม่สามารถควบคุมให้มีหลักการที่แน่นอน เหมือนกัน ได้ทุกครั้ง ซึ่งทำให้ผลการวัดของวิธีวัดเชิงคุณภาพอาจมีเปลี่ยนแปลงได้ทุกครั้ง ที่วัด อย่างไรก็ตาม ผู้วัดจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิธีวัดเชิงปริมาณ และการกำหนดค่าน้ำหนัก เพื่อให้สามารถใช้งานวิธีวัด Q&Q ให้ได้ตรงตามความต้องการมากที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าวิธีวัด Q&Q นี้จะให้ผลตรงตามต้องการ แต่ในส่วนของ การออกแบบวิธีวัด Q&Q นั้นก็สามารถพัฒนาปรับปรุงได้ดังนี้

1. ปรับปรุงการกำหนดค่าน้ำหนักจากเดิมที่ให้ค่าน้ำหนักของจุดภาพทุกจุดในบริเวณย่อยมีค่าน้ำหนักเดียวกันหมด เป็นการกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่จุดภาพในบริเวณย่อยแบบมีการกระจายของค่าน้ำหนักจากกึ่งกลางของบริเวณย่อยไปยังขอบ โดยให้บริเวณที่ใกล้กับกึ่งกลางมีค่าน้ำหนักตามที่ผู้วัดกำหนด แต่บริเวณที่ใกล้ขอบมีค่าน้ำหนักจากการเฉลี่ยค่าน้ำหนักของบริเวณที่ติดกัน เนื่องจากการกำหนดขอบเขตของบริเวณย่อย ผู้วัดอาจไม่สามารถแบ่งได้ชัดเจนนัก

2. ปรับปรุงคำนวณผลการวัดโดยใช้ค่าน้ำหนัก อาจนำขนาดหรือขอบของบริเวณย่อยมาใช้ในการคำนวณด้วย โดยบริเวณย่อยที่ใหญ่กว่า อาจมีผลต่อผลการวัดรวมมากกว่าบริเวณย่อยที่มีขนาดเล็ก

นอกจากนี้ โปรแกรมสถิติก็สามารถปรับปรุงได้อีกเพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งานของผู้วัด ดังนี้

1. มีวิธีวัดเชิงปริมาณที่มีให้ผู้วัดได้เลือกใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากต่อไปอาจมีวิธีเพิ่มขึ้นอีก
2. แสดงกราฟของซิกเนเจอร์โดยให้ค่าระยะห่างในแกน Y เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของระยะห่างที่เทียบกับระยะห่างของ GT เพื่อให้สื่อความหมายได้ชัดเจนขึ้น
3. พัฒนาโปรแกรมสถิตินี้โดยการเพิ่มเติมคำแนะนำในการเลือกใช้วิธีวัดเชิงปริมาณที่เหมาะสมกับภาพให้แก่ผู้วัด รวมทั้งคำแนะนำในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับภาพหลาย ๆ ลักษณะให้ผู้วัด
4. พัฒนาโปรแกรมสถิติให้สามารถรับภาพ GT และ TI ได้เป็นชุดภาพพร้อมกัน และจัดทำออกมาเป็นรายงานให้แก่ผู้วัดได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. W. Paiboonrattanakorn, N. Bandithwong, M. sangworasil, and P. Kusirivanitchakorn, Three Planes Contour Technique for 3-D Medical Image Rendering. Proceedings of ISPACS (1999): 681-684.
2. J. R. Smith and S. Chang. Tools and Techniques for Color Image Retrieval. IS&T/SPIE Proceedings of Storage & Retrieval for Image and Video Databases IV (1996): 1-12.
3. นันทนา อินรุ่งโรจน์ภานุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์ และนางลักษณ โคควาวิสารัช. การศึกษาเบื้องต้นวิธีการวัดผลความถูกต้องจากการแยกบริเวณ. การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 38 ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2542): 40-48.
4. 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 Transaction on Medical Imaging, vol. 13, (1994): 716-724.
5. M. S. Atkins, and B. T. Mackiewich. Fully automatic segmentation of the brain in MRI. IEEE Transaction on Medical Imaging, vol. 17, no. 1, (1998): 98-107.
6. M.I Preston, and S. Quegan. Validation of Segmentation Techniques for SAR Images. IEEE Proceedings of Remote Sensing-A scientific Vision for Sustainable Development, vol. 2, (1997): 770-772.
7. N. de Graaf, A. S. Koster, K. L. Vincken, and M. A. Viergever. A Methodology for The Validation of Image Segmentation Methods. Fifth Annual IEEE Symposium Proceedings on Computer-Based Medical Systems, (1992): 17-24.
8. Q. Huang and B. Dom. Quantitative Methods of Evaluating Image Segmentation. Proceedings of International Conference on Image Processing, vol. 3, (1995): 53 -56.
9. L. Verard, J. Fadili, S. Ruan, and D. Bloyet. 3D MRI Segmentation of Brain Structures. Proceedings of 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, (1996): 1081-1082.

10. ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์. การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
11. D.P. Huttenlocher, G.A. Klanderman, and W.J. Rucklidge. Comparing Images Using the Hausdorff Distance. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15, no. 9, (1993): 850-863.
12. C. Robertson, and J. A. Robinson. Page similarity and the Hausdorff distance. The 7th Conference on Image Processing and Its Applications (1999): 755-759.
13. J. You, E. Pissaloux, J. L. Hellec, and P. A. Bonnin. A guided image matching approach using Hausdorff distance with interesting points detection. IEEE Proceeding on Image Processing, vol. 1, (1994): 968-972.
14. M. Dubuisson, and A. K. Jain. A modified Hausdorff Distance for Object Matching. IEEE Proceeding on Computer Vision & Image Processing, vol. 1, (1994): 566-568.
15. D. G. Sim, O. K. Kwon, and R. H. Park. Object matching algorithms using robust Hausdorff distance measures. IEEE Transaction on Image Processing, vol. 8, no. 3, (1999): 425-429.
16. M. E. Brummer, R. M. Mersereau, R. L. Eisner, and R.J. Lewine. Automatic Detection of Brain Contours in MRI Data Sets. IEEE Transactions o Medical Imaging, vol. 12, no. 2, (1993): 153-166.
17. W. M. Wells, W. L. Grimson, R. Fifinis, and F. A. Jolesz. Adaptive Segmentation of MRI Data. IEEE Transactions o Medical Imaging, vol. 15, no. 4, (1996): 429-442.
18. C. Zhou, G. Zhang, and J. Pen. A general evaluation method for segmentation algorithm based on experimental design methodology. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Intelligent Systems for the 21st Century (1995): 258-262.
19. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.: Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
20. R. M. Haralick and L. G. Shapiro. Computer and Robot Vision Volume II. U.S.A.: Addison-Wesley Publishing Company, 1993.

21. R. Stephens. Visual Basic Graphics Programming. U.S.A.: Wiley Computer Publishing, 1999.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้โปรแกรมสาธิต

ภาคผนวก ก นี้อธิบายการใช้โปรแกรมสาธิตเพื่อใช้วัดความถูกต้องของภาพที่ได้จากการแบ่งส่วน เพื่อให้ผู้วัดเข้าใจและสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะประกอบด้วย เงื่อนไขของการใช้โปรแกรมสาธิตที่ผู้วัดต้องทำความเข้าใจก่อนวัดความถูกต้องของภาพ โครงสร้างของหน้าจอหลักและขั้นตอนในการใช้โปรแกรม

ก.1 เงื่อนไขของโปรแกรม

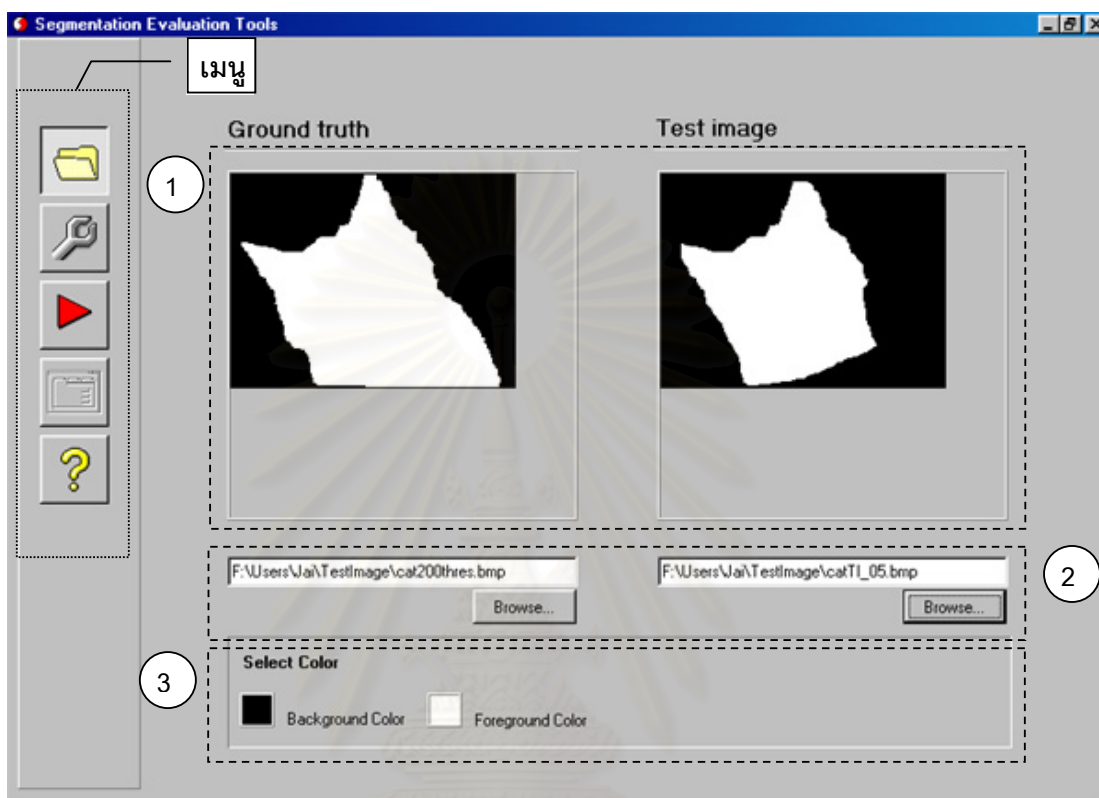
เงื่อนไขในการใช้โปรแกรมสาธิตมีดังนี้

1. GT และ TI ที่ผู้วัดนำมาวัดต้องเป็นภาพที่มีขนาดเท่ากันและมีสีในภาพเพียง 2 สีเท่านั้น โดยสีหนึ่งแสดงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้ และอีกสีหนึ่งแสดงถึงพื้นหลัง ภาพทั้งสองต้องเป็นชนิดบิตแมป (Bitmap) 24 บิต และถ้าผู้วัดต้องการวัดโดยใช้ค่าน้ำหนัก ต้องนำเข้าภาพที่มีการกำหนดสีที่แตกต่างไปจากสี 2 สีนี้ ซึ่งสามารถทำได้จากโปรแกรมแก้ไขภาพทั่วไป
2. ผู้วัดควรมีความเข้าใจวิธีวัดเชิงปริมาณที่มีให้เลือก โดยสามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้ในโปรแกรม (Help)
3. เครื่องมือวัดนี้ใช้ได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ 98

ก.2 โครงสร้างหน้าจอและการใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมสาธิตจะประกอบด้วยเมนู หน้าจอหลักและหน้าจอย่อย เมนูอยู่ด้านซ้ายของหน้าจอซึ่งประกอบด้วยปุ่มกดเพื่อเลือกให้แสดงหน้าจอหลักต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ ก.1 ส่วนหน้าจอหลักใช้เพื่อให้ผู้วัดกำหนดข้อมูลเข้าและใช้แสดงผลการวัด มีจำนวน 4 หน้าจอด้วยกัน คือ หน้าจอกำหนด GT และ TI หน้าจอกำหนดพารามิเตอร์ หน้าจอคำนวณผลการวัด และหน้าจอแสดงผล สุดท้ายคือหน้าจอย่อยจำนวน 1 หน้าจอเพื่อใช้กำหนดกลุ่มวัตถุ แต่ละหน้าจอก็มีรายละเอียดดังนี้

- หน้าจอกำหนด GT และ TI มีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนแสดงภาพ ส่วนกำหนดเลือกภาพ และส่วนกำหนดสี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

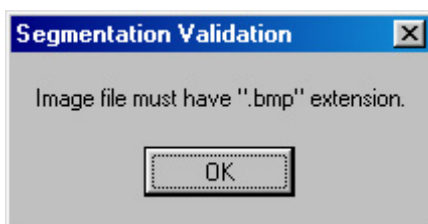


รูปที่ ก.1 หน้าจอการกำหนด GT และ TI

หมายเลข 1 ส่วนแสดงภาพ เป็นส่วนแสดง GT และ TI โดยกรอบทางด้านซ้ายเป็นกรอบแสดง GT และทางด้านขวาเป็นกรอบแสดง TI

หมายเลข 2 ส่วนเลือกภาพ เป็นส่วนที่ใช้ในการเลือกภาพที่เป็น GT และ TI ตามลำดับ โดยจะแสดงภาพที่ถูกเลือกบนส่วนแสดงภาพ ซึ่งสามารถเลือกไฟล์ภาพได้โดยการกดปุ่ม Browse... เพื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการหรือสามารถกำหนดชื่อไฟล์ของภาพโดยการพิมพ์ลงในแถบข้อความได้เช่นกัน ทั้งนี้หากผู้วัดเลือกภาพที่ไม่ใช่ชนิดบิตแมปหรือไม่ตรงตามเงื่อนไขของโปรแกรม จะมีข้อความเตือนขึ้นมาบอกผู้วัดให้ทราบ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ ก.2

หมายเลข 3 ส่วนกำหนดสี เป็นส่วนให้ผู้วัดกำหนดสีของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ (Foreground color) และบริเวณพื้นหลัง (Background color) จากการกดคลิกคลิก (Double-click) ที่บริเวณสี แล้วจะปรากฏกล่องโต้ตอบ (Dialog box) ที่เป็นจานสี (palette) ให้ผู้วัดเลือกสีได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ ก.3 ซึ่งสีโดยปริยายของบริเวณที่แบ่งส่วนได้และบริเวณพื้นหลังจะเป็นสีขาวและสีดำตามลำดับ



รูปที่ ก.2 ตัวอย่างข้อความเตือนเพื่อให้เลือกใช้ภาพชนิดบิตแมปเท่านั้น



รูปที่ ก.3 กล่องโต้ตอบจานสี

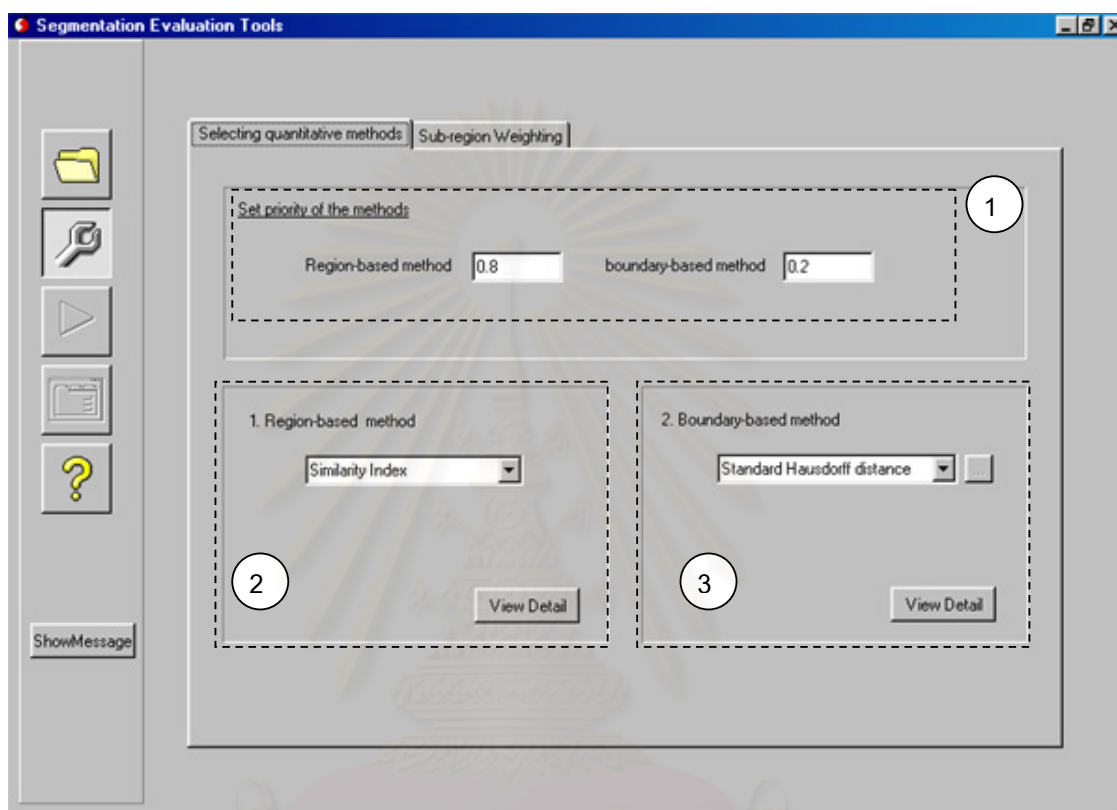
- หน้าจอกำหนดพารามิเตอร์ ประกอบด้วยแผ่นงานจำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นที่ 1 ใช้สำหรับกำหนดพารามิเตอร์ของวิธีวัดเชิงปริมาณ และแผ่นที่ 2 ใช้กำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย

1. **แผ่นกำหนดวิธีวัดเชิงปริมาณ** ใช้กำหนดวิธีวัดเชิงปริมาณและความสำคัญของแต่ละวิธีวัด ดังแสดงในรูปที่ ก.4 โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ นี้

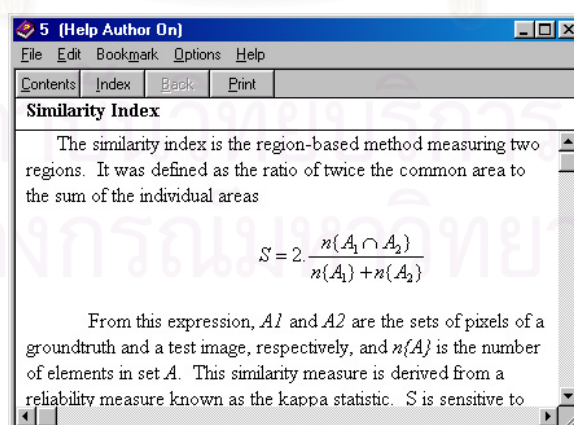
ส่วนกำหนดความสำคัญของวิธีวัด ผู้วัดสามารถกำหนดความสำคัญผ่านค่าน้ำหนัก โดยวิธีวัดเชิงปริมาณแบบใดมีความสำคัญกว่าจะมีค่าน้ำหนักมากกว่า โดยผลรวมต้องมีค่าเท่ากับ 1

ส่วนกำหนดวิธีวัดแบบคำนึงถึงบริเวณเป็นหลัก ผู้วัดสามารถเลือกวิธีวัดแบบนี้ได้ 2 วิธี คือ วิธีวัด S และวิธีวัด SA นอกจากนี้ผู้วัดสามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงคำอธิบายของวิธีวัดแต่ละวิธีวัดโดยการกดปุ่ม View Detail ซึ่งจะปรากฏเป็นหน้าต่างดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ ก.5

ส่วนกำหนดวิธีวัดแบบค่านึงถึงขอบเป็นหลัก ผู้วัดสามารถเลือกวิธีวัดแบบนี้ได้ 4 วิธี คือ วิธีวัด SH วิธีวัด MH วิธีวัด PH และวิธีวัด CH นอกจากนี้ผู้วัดสามารถสั่งให้โปรแกรมแสดงคำอธิบายของวิธีวัดแต่ละวิธีวัดโดยการกดปุ่ม *View Detail* เช่นเดียวกับส่วนกำหนดวิธีวัดแบบค่านึงถึงบริเวณเป็นหลัก

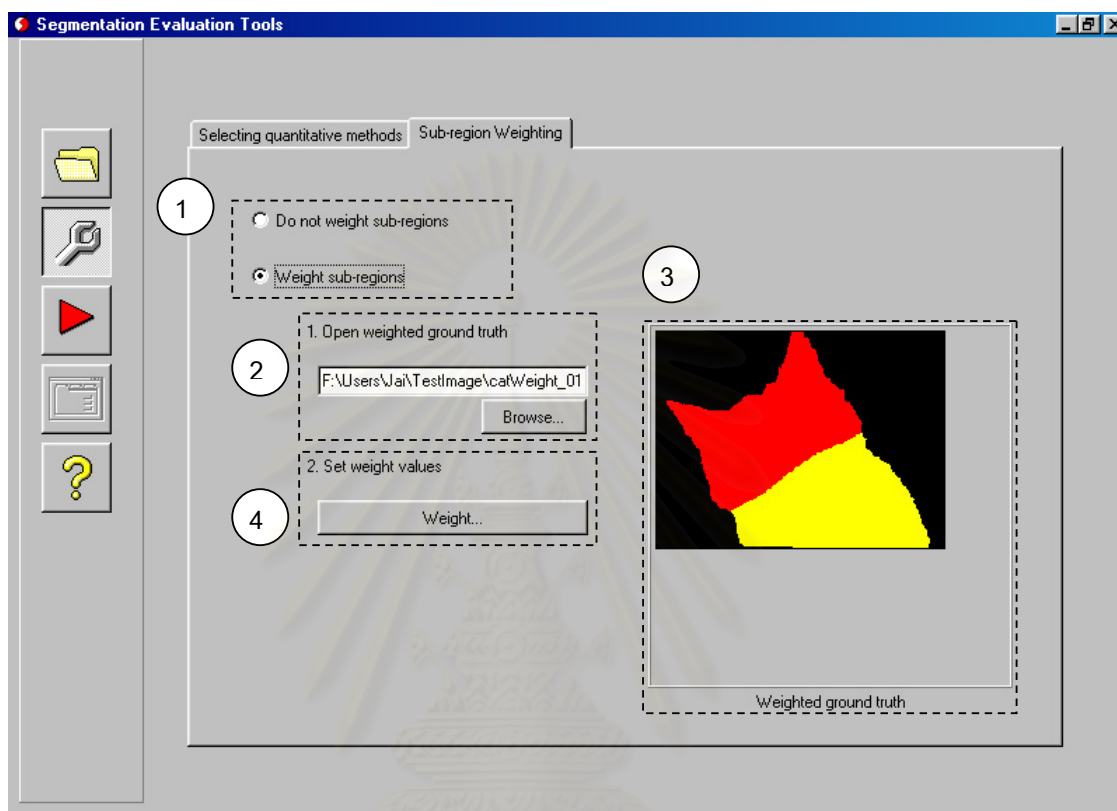


รูปที่ ก.4 แผ่นกำหนดวิธีวัดเชิงปริมาณ



รูปที่ ก.5 หน้าต่างอธิบายวิธีวัด S

2. **แผ่นกำหนดการใช้ค่าน้ำหนัก** ใช้กำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยของ GT ดังแสดงในรูปที่ ก.6 โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ นี้



รูปที่ ก.6 แผ่นกำหนดการใช้ค่าน้ำหนัก

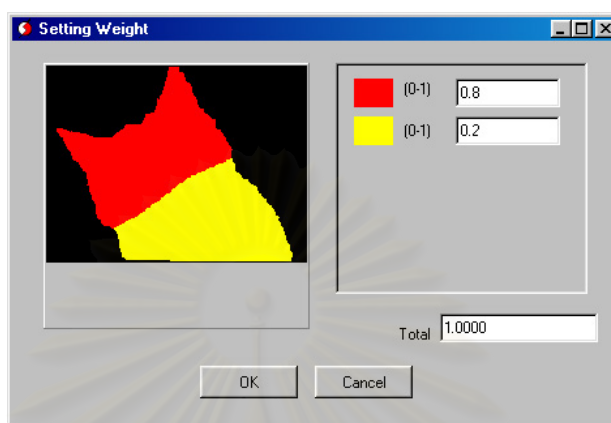
หมายเลข 1 ส่วนเลือกใช้หรือไม่ใช้ค่าน้ำหนัก ผู้วัดสามารถเลือกได้ว่าต้องการกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยหรือไม่ จากตัวเลือก *Do not weight sub-regions* และ *Weight sub-regions*

หมายเลข 2 ส่วนเลือกภาพที่กำหนดสีแล้ว ส่วนนี้สามารถใช้งานได้เมื่อผู้วัดเลือกกำหนดความสำคัญของบริเวณย่อย ผู้วัดต้องเลือกภาพที่กำหนดสีต่าง ๆ ตามความสำคัญของบริเวณย่อยจากการกดปุ่ม *Browse...* แล้วเลือกไฟล์หรือใส่ชื่อไฟล์โดยตรงก็ได้

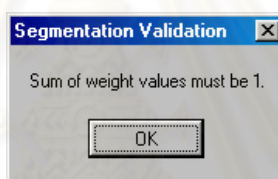
หมายเลข 3 ส่วนแสดงภาพที่กำหนดสีแล้ว ภาพที่แสดงคือภาพที่กำหนดสีแล้วซึ่งจะปรากฏเมื่อผู้วัดเลือกไฟล์ที่ต้องการจากหมายเลข 2

หมายเลข 4 ส่วนกำหนดค่าน้ำหนัก ใช้กำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยต่าง ๆ ในภาพ โดยการกดปุ่ม *Weight...* จะมีหน้าต่างที่ใช้ในการกำหนดค่าน้ำหนักปรากฏขึ้นมาดังแสดงในรูป ก.7 ซึ่งผู้วัดกำหนดค่าน้ำ-

หนักในแถบข้อความ ผลรวมของค่าน้ำหนักต้องมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าผู้วัดกำหนดไม่เท่ากับ 1 นั้นโปรแกรมจะมีข้อความเตือนดังแสดงในรูป ก.8



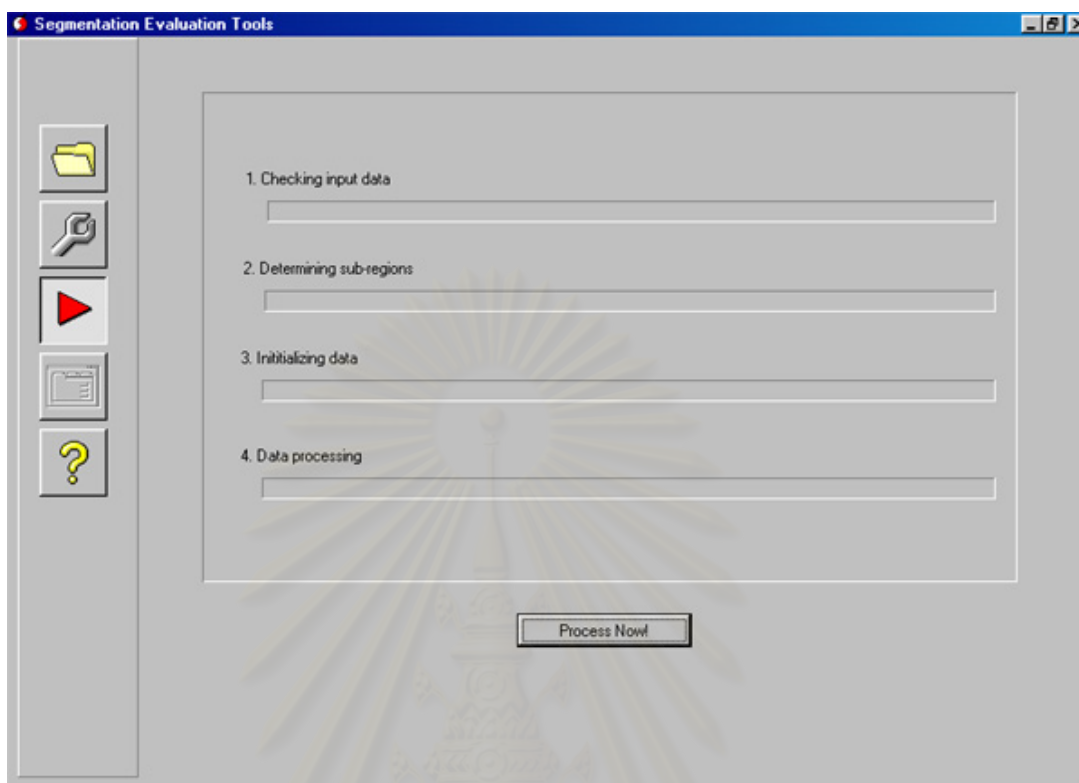
รูปที่ ก.7 หน้าต่างกำหนดค่าน้ำหนัก



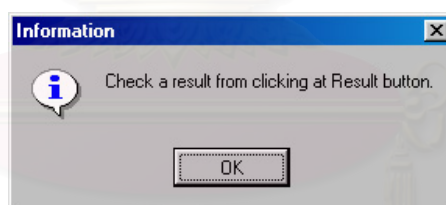
รูปที่ ก.8 ข้อความเตือนเมื่อผลรวมของค่าน้ำหนักมีค่าไม่เท่ากับ 1

• หน้าจอคำนวณผลการวัด เป็นหน้าจอให้ผู้วัดสั่งประมวลผลโดยการกดปุ่ม *Process Now!* ซึ่งโปรแกรมจะแสดงความก้าวหน้าของขั้นตอนต่าง ๆ ขณะกำลังประมวลผล ดังแสดงในรูป ก.9 ขั้นตอนต่าง ๆ คือ

1. การตรวจสอบข้อมูลเข้า (Checking input data) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลเข้าที่กำหนดให้ว่าถูกต้องหรือไม่
2. การหาบริเวณย่อย (Determining sub-regions) เป็นขั้นตอนการจำแนกบริเวณย่อยจากสีของภาพเพื่อหาส่วนที่ซ้อนทับ ส่วนที่ขาดและส่วนที่เกินของบริเวณย่อยต่าง ๆ
3. การตั้งค่าเริ่มต้นตัวแปร (Initializing data) เป็นขั้นตอนการตั้งค่าเริ่มต้นให้แก่ตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในขั้นตอนการประมวลผล
4. การประมวลผล (Process) เป็นขั้นตอนการประมวลผลวัดความถูกต้องของ TI ทั้งนี้เมื่อประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะมีข้อความแสดงขึ้นมาเพื่อเตือนให้ผู้วัดดูผลลัพธ์จากการเลือกเมนูแสดงผลดังแสดงในรูปที่ ก.10



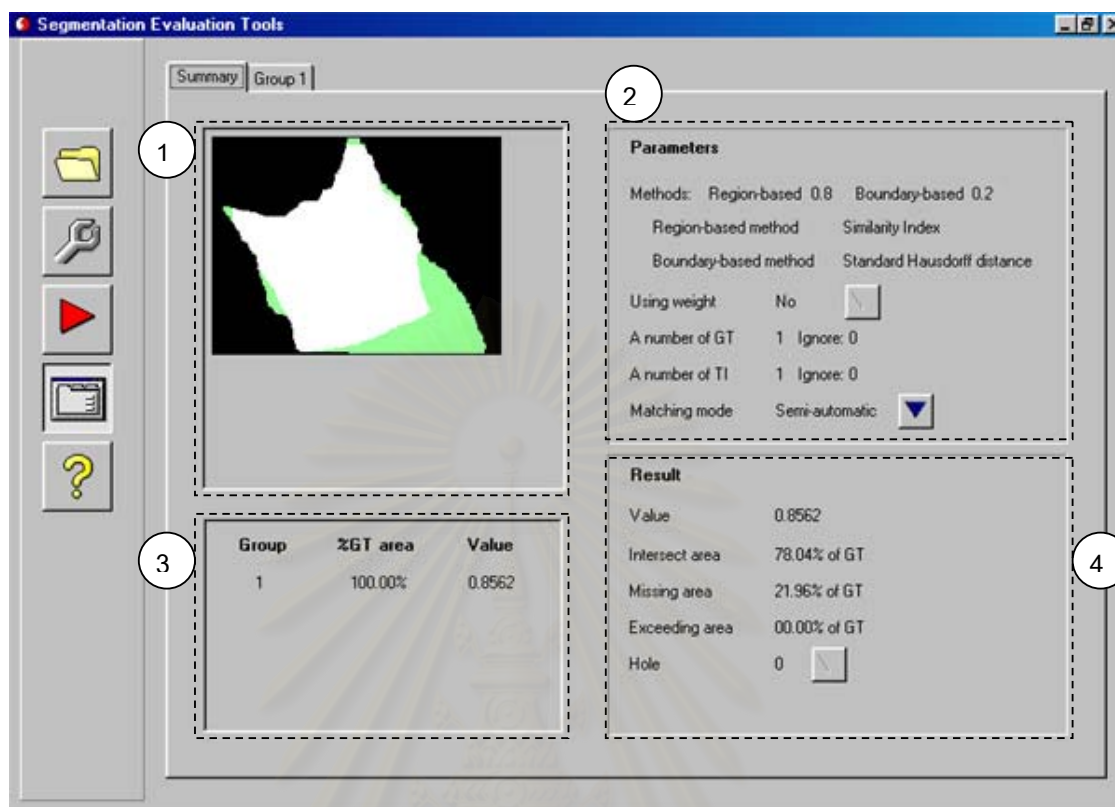
รูปที่ ก.9 หน้าจอคำนวณผลการวัด



รูปที่ ก.10 ข้อความเตือนเมื่อคำนวณผลการวัดเสร็จ

- **หน้าจอแสดงผล** เป็นหน้าจอแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดค่าความถูกต้องของภาพทดลอง ทั้งผลการวัดรวมของภาพและผลการวัดแยกตามกลุ่มวัตถุ ซึ่งจะแสดงแยกกันอยู่ในแผ่นงานต่าง ๆ โดยแผ่นที่ 1 จะเป็นแผ่นแสดงผลโดยรวมของภาพ ในส่วนของแผ่นที่ 2 ขึ้นไปจะเป็นแผ่นที่แสดงผลการวัดแยกตามกลุ่มวัตถุ

1. **แผ่นแสดงผลโดยรวม** เป็นแผ่นที่แสดงผลการวัดความถูกต้องของภาพซึ่งจะแสดงรายละเอียดเฉพาะส่วนที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ ก.11 โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ ก.11 หน้าจอแสดงผลการวัดโดยรวม

หมายเลข 1 ส่วนภาพซ้อนทับ เป็นส่วนที่แสดงภาพการซ้อนทับระหว่าง GT และ TI

หมายเลข 2 ส่วนพารามิเตอร์ เป็นส่วนที่แสดงผลพารามิเตอร์ที่ผู้วัดเลือกใช้ในการวัด และจำนวนวัตถุใน GT และจำนวนวัตถุใน TI รวมไปถึงการกำหนดกลุ่มวัตถุและวัตถุที่ไม่ได้นำมาวัดด้วย ซึ่งการกำหนดค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยและการกำหนดกลุ่มนั้น ผู้วัดสามารถกดปุ่มลูกศรที่อยู่ด้านหลังเพื่อแสดงรายละเอียดได้อีกด้วย

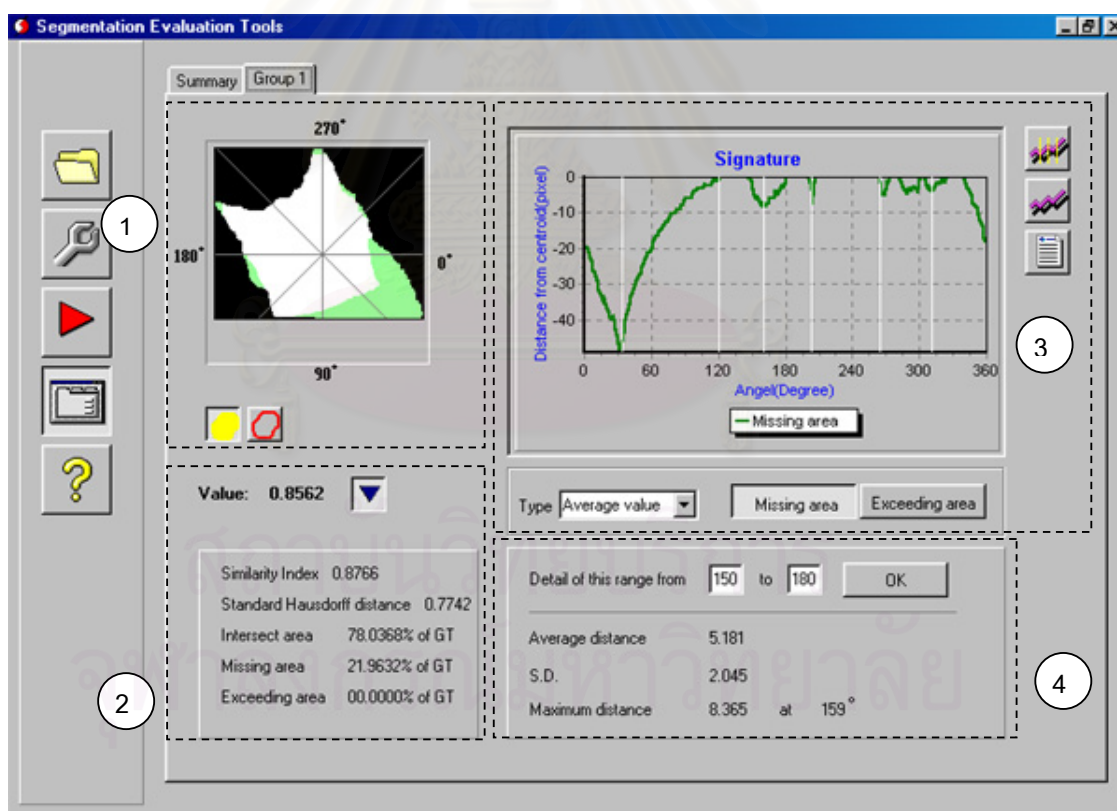
หมายเลข 3 ส่วนแสดงผลการวัดของกลุ่มวัตถุ ซึ่งจะแสดงร่วมกับขนาดของ GT ในกลุ่มนั้น

หมายเลข 4 ส่วนแสดงผลการวัดโดยรวม เป็นส่วนที่แสดงผลการวัดโดยรวม และตัวอธิบายภาพรวมด้วย ในส่วนของช่องโหว่ในภาพ ผู้วัดสามารถกดปุ่มลูกศรเพื่อแสดงจำนวนและขนาดของช่องโหว่ที่ปรากฏในภาพซึ่งจะแสดงแยกตามกลุ่มวัตถุและเรียงลำดับจากบนลงล่างและซ้ายไปขวา หน้าต่างรายละเอียดของช่องโหว่ในภาพนี้มีตัวอย่างดังในรูปที่ ก.12

Hole	in group No.	Area
0	1	168
1	1	192
2	1	216

รูปที่ ก.12 หน้าจอแสดงรายละเอียดของช่องโหว่

2. แผ่นงานแสดงผลการวัดของกลุ่มวัตถุ เป็นส่วนที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดความถูกต้องของกลุ่มวัตถุ 1 กลุ่ม โดยแสดงภาพที่ซ้อนทับ ผลการวัด และตัวอธิบายภาพ ดังแสดงในรูปที่ ก.13 โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้



รูปที่ ก.13 หน้าจอแสดงผลการวัดของแต่ละวัตถุ

หมายเลข 1 ส่วนแสดงภาพซ้อนทับ ในส่วนนี้แสดงภาพการซ้อนกันแยกเป็นสีต่าง ๆ โดยสีแดงคือบริเวณส่วนเกิน สีเขียวคือบริเวณส่วนขาด และสีขาวคือบริเวณที่ซ้อนทับ ทั้งนี้ผู้วัดสามารถเลือกให้แสดงบริเวณหรือขอบของภาพการซ้อนทับนี้ได้จากปุ่มที่อยู่ด้านล่างของบริเวณที่แสดงภาพ ตัวอย่างการแสดงผลและขอบอยู่ในรูปที่ ก.14



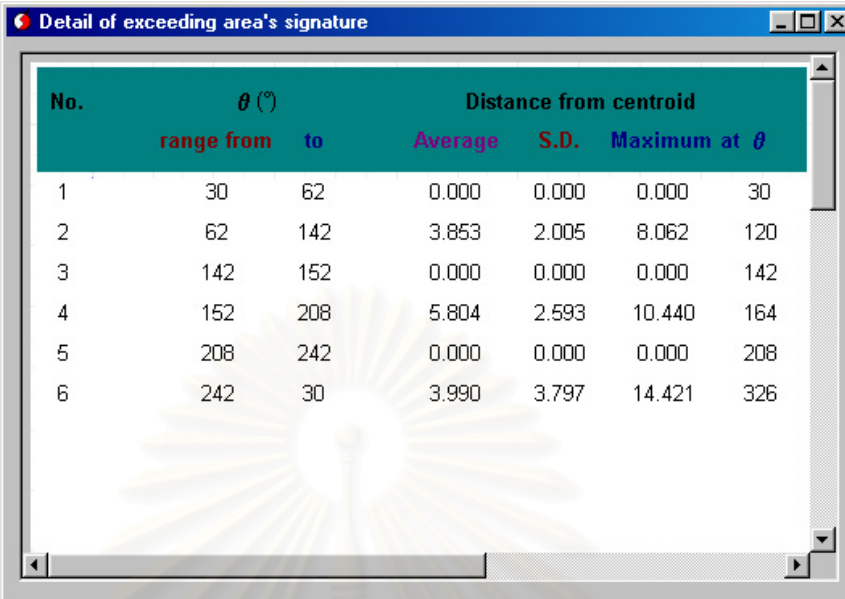
รูปที่ ก.14 การเลือกวิธีแสดงภาพที่ซ้อนทับกันของ TI กับ GT

(ก) ภาพแสดงบริเวณของภาพการซ้อนทับ (ข) ภาพแสดงขอบของภาพการซ้อนทับ

หมายเลข 2 ส่วนแสดงรายละเอียดผลการวัด เป็นค่าตัวเลขผลการวัดจากวิธีวัดเชิงปริมาณหลังจากคำนวณกับค่าน้ำหนักของบริเวณย่อย และจะแสดงรายละเอียดตัวอธิบายภาพอื่น ๆ หลังจากกดปุ่มลูกศรได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ซ้อนทับ เปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ขาดและเปอร์เซ็นต์ของส่วนที่เกิน

หมายเลข 3 ส่วนแสดงซิกเนเจอร์ ในส่วนนี้แสดงซิกเนเจอร์ส่วนเกิน (เส้นสีแดง) และซิกเนเจอร์ส่วนขาด (เส้นสีเขียว) ผู้วัดสามารถเลือกให้แสดงซิกเนเจอร์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองซิกเนเจอร์พร้อมกันได้จากปุ่ม *Missing area* และ *Exceeding area* และเลือกชนิดตัวแทนของซิกเนเจอร์ได้จากตัวเลือก *Type* ซึ่งมีให้เลือก 2 แบบคือ ค่าเฉลี่ยหรือค่ามากที่สุด นอกจากนี้ผู้วัดสามารถพิจารณาซิกเนเจอร์ที่ช่วงของมุมต่าง ๆ ผู้วัดสามารถเลือกช่วงได้เองจากการคลิกที่ตำแหน่งบนซิกเนเจอร์ที่ต้องการแบ่ง ซึ่งจะมีเส้นสีขาวปรากฏตามตำแหน่งที่เลือก หรือผู้วัดให้โปรแกรมเลือกให้อัตโนมัติก็ได้ ซึ่งปุ่มทางขวามีจำนวน 3 ปุ่มมีหน้าที่โดยมีรายละเอียดแสดงจากบนลงล่าง ดังนี้

1. ปุ่มแสดงเส้นแบ่งซิกเนเจอร์ ซึ่งโปรแกรมจะสร้างเส้นแบ่งให้อัตโนมัติ
2. ปุ่มลบเส้นแบ่งซิกเนเจอร์ ใช้เมื่อผู้วัดต้องการลบเส้นที่สร้างขึ้น
3. ปุ่มแสดงรายงานซิกเนเจอร์ เมื่อกดปุ่มนี้จะปรากฏหน้าต่างแสดงรายละเอียดของซิกเนเจอร์ตามช่วงที่กำหนด ดังแสดงในภาพที่ ก.15



No.	θ (°)		Distance from centroid			
	range from	to	Average	S.D.	Maximum at θ	
1	30	62	0.000	0.000	0.000	30
2	62	142	3.853	2.005	8.062	120
3	142	152	0.000	0.000	0.000	142
4	152	208	5.804	2.593	10.440	164
5	208	242	0.000	0.000	0.000	208
6	242	30	3.990	3.797	14.421	326

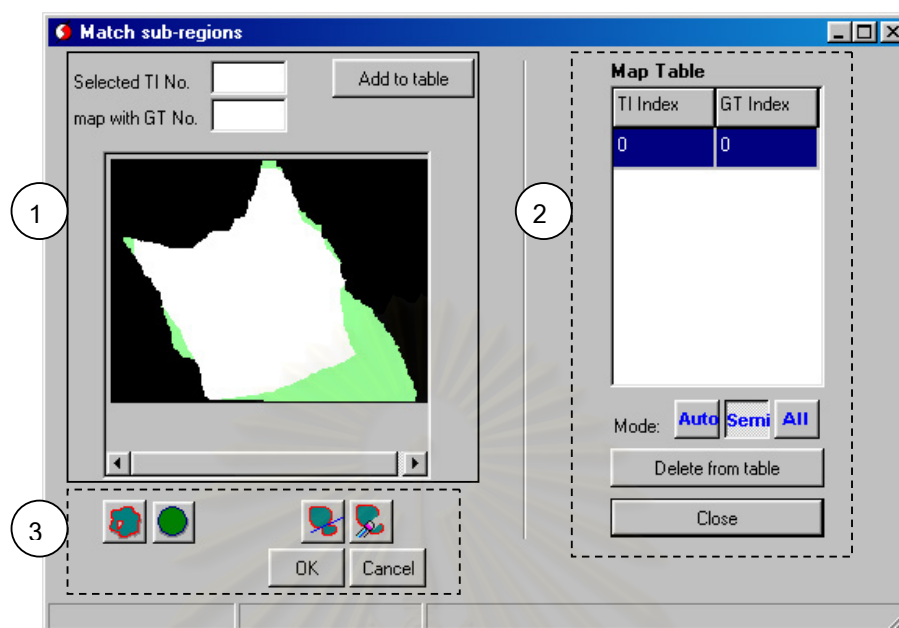
รูปที่ ก.15 รายงานแสดงซิกเนเจอร์โดยละเอียด

หมายเลข 4 ส่วนคำนวณรายละเอียดซิกเนเจอร์เฉพาะส่วน ในส่วนนี้ผู้วัดสามารถที่จะเลือกคำนวณรายละเอียดของซิกเนเจอร์เฉพาะมุมที่ต้องการได้ โดยใส่มุมเริ่มต้นที่ต้องการคำนวณในช่องด้านซ้ายและมุมสุดท้ายที่ต้องการคำนวณในช่องทางด้านขวา หลังจากนั้นเมื่อต้องการคำนวณให้กดปุ่ม OK

- **หน้าจอกำหนดกลุ่มวัตถุ** เป็นหน้าจอที่จะปรากฏขึ้นทุกครั้งที่มีผู้วัดประมวลผล TI ใด ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้วัดจับกลุ่มวัตถุใน GT กับวัตถุใน TI ตามความต้องการของผู้วัด ดังแสดงในรูปที่ ก.16 โดยหน้าจอ กำหนดกลุ่มวัตถุมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

หมายเลข 1 ส่วนแสดงและแก้ไขการจับคู่วัตถุ ผู้วัดสามารถใช้ส่วนนี้ในการจับคู่กลุ่มวัตถุที่ต้องการรวมถึงแก้ไขการจับคู่กลุ่มวัตถุให้เป็นไปตามที่ผู้วัดต้องการ โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วย

1. ภาพแสดงการซ้อนทับระหว่าง GT กับ TI โดยส่วนที่ขาดจะแสดงด้วยสีเขียว และส่วนที่เกินจะแสดงด้วยสีแดง
2. ช่องแสดงดัชนีของ GT และ TI ที่เลือกวัดในกลุ่มเดียวกัน
3. ปุ่ม Add to table ใช้เมื่อผู้วัดต้องการจับคู่กลุ่มวัตถุหลังจากที่ได้เลือกจับคู่วัตถุแล้ว



รูปที่ ก.16 หน้าจอกำหนดกลุ่มวัตถุ

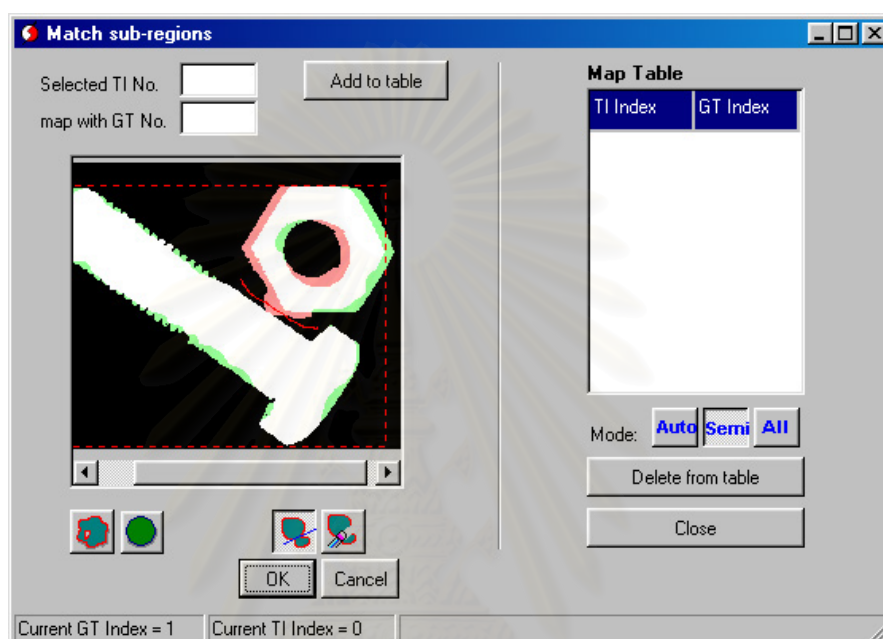
หมายเลข 2 ส่วนการแสดงผลการจับกลุ่มวัตถุและโหมดการทำงาน ในส่วนนี้ประกอบด้วย

1. *Map table* เป็นตารางแสดงผลการจับกลุ่มของวัตถุใน GT และ TI แสดงโดยดัชนีของวัตถุ
2. ปุ่มกำหนดโหมดการทำงาน 3 ปุ่ม คือ ปุ่ม *Auto* เมื่อต้องการกำหนดกลุ่มอัตโนมัติ ปุ่ม *Semi* เมื่อต้องการกำหนดกลุ่มกึ่งอัตโนมัติ และปุ่ม *All* เมื่อต้องการกำหนดกลุ่มรวมทั้งหมด
3. ปุ่ม *Delete* เพื่อลบแถวที่ไม่ต้องการใน *Map table*
4. ปุ่ม *Close* คลิกเมื่อกำหนดกลุ่มเรียบร้อยแล้ว โดยถ้ายังมีข้อผิดพลาด เช่น ยังมีวัตถุของ GT หรือ TI ที่ไม่อยู่ในกลุ่มใด ๆ จะมีข้อความเตือนให้กับผู้วัดเพื่อแก้ไขต่อไป

หมายเลข 3 ส่วนการเลือกคู่และแบ่งกลุ่ม ในส่วนนี้จะประกอบด้วยปุ่มทั้งหมด 4 ปุ่ม โดยเรียงจากทางด้านซ้ายไปขวา ดังนี้

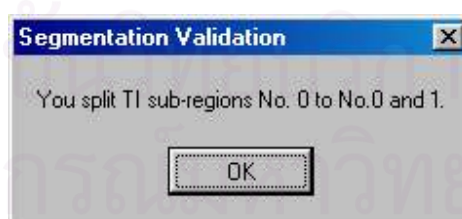
1. ปุ่มสำหรับการเลือกกลุ่มวัตถุใน GT ใช้ในการเลือกวัตถุใน GT ที่ต้องการจับคู่กับวัตถุใน TI ที่แบ่งกลุ่มเรียบร้อยแล้ว
2. ปุ่มสำหรับการเลือกกลุ่มวัตถุใน TI ใช้ในการเลือกวัตถุใน TI เพื่อจับคู่กับวัตถุใน GT ที่ได้เลือกไว้หลังการกดปุ่มแรก
3. ปุ่มสำหรับแบ่งกลุ่มวัตถุใน TI ใช้สำหรับแบ่งวัตถุใน TI ในกรณีที่มีวัตถุใน TI ทับกับวัตถุใน GT มากกว่า 1 วัตถุ โดยเมื่อกดปุ่มแล้ว ให้คลิกเลือกวัตถุใน TI ที่ต้องการแบ่ง จะปรากฏเป็นกรอบสีแดงรอบวัตถุนั้น ๆ

จากนั้นให้ลากเส้นสีแดงเพื่อแบ่งวัตถุ โดยต้องลากให้เส้นตัดวัตถุออกเป็นส่วน ๆ โดยแต่ละส่วนต้องไม่ซ้อนทับ GT หลายวัตถุ ดังแสดงในภาพที่ ก.17 เมื่อแบ่งกลุ่มจนเป็นที่พอใจแล้ว ให้กดปุ่ม OK ถ้าการแบ่งกลุ่มทำได้อย่างไม่มีปัญหาจะมีข้อความขึ้นมาบอกผู้วัดให้ทราบว่าผู้วัดได้แบ่งวัตถุออกเป็นกี่กลุ่ม ดังรูปที่ ก.18 และถ้าผู้วัดต้องการยกเลิกการแบ่งกลุ่ม ให้กดปุ่ม Cancel



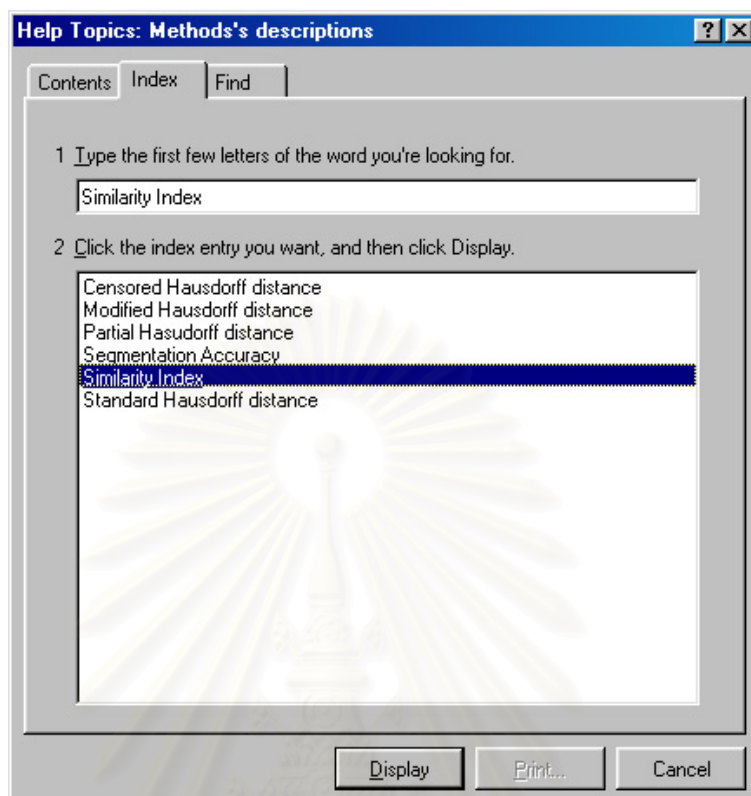
รูปที่ ก.17 หน้าจอแสดงการแบ่งวัตถุของ TI

4. ปุ่มสำหรับยกเลิกการแบ่งกลุ่มวัตถุใน TI ใช้สำหรับต้องการยกเลิกการแบ่งกลุ่มหลังจากที่ได้แบ่งกลุ่มวัตถุจากการกดปุ่มที่ 3 ไปแล้ว



รูปที่ ก.18 ข้อความแสดงการแบ่งกลุ่มวัตถุ

• **หน้าต่างช่วยเหลือ** เมื่อผู้วัดต้องการอ่านคู่มือการใช้หรือต้องการทำความเข้าใจโปรแกรมให้ดียิ่งขึ้น ผู้วัดสามารถกดปุ่ม *Help* เพื่อแสดงหน้าต่างช่วยเหลือได้ โดยจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ ก.19



รูปที่ ก.19 หน้าต่างช่วยเหลือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

บทความที่นำเสนอในงานการประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง “การศึกษาเบื้องต้นวิธีการวัดผลความถูกต้องจากการแยกบริเวณ” นำเสนอในงานประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38 จัดที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ในรายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38 หน้า 40 - 48
2. บทความเรื่อง “วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 4th National Computer Science and Engineering จัดที่ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 16-17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2543 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceeding of the 4th National Computer Science and Engineering Conference หน้า 131 - 140

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาเบื้องต้นวิธีการวัดผลความถูกต้องจากการแยกบริเวณ

A Preliminary Study of Segmentation Validation Methods

นันทนา ติงรุ่งโรจน์¹ ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์² และนงลักษณ์ โควาวิสารัช¹

Nantana Tinroongroj, Panusak Eakareesak and Nongluk Covavisaruch

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาวิธีการวัดความถูกต้องของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแยกบริเวณของภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการวัดผลเชิงปริมาณที่มีชื่อว่า Similarity Index (S) กับ วิธีการวัดผลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจากงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ” ผลที่ได้พบว่า การวัดผลโดยใช้ค่า S นั้น จะมีความชัดเจนมากกว่าการวัดผลเชิงปริมาณของงานวิจัยเดิมกล่าวคือ สามารถแสดงถึงความถูกต้องโดยรวมของภาพได้ดีกว่า แต่ก็ยังมีข้อเสียคือ ไม่สามารถบอกรายละเอียดของความผิดพลาดในภาพที่นำมาวัดได้ ในขณะที่การวัดผลของงานวิจัยเดิมสามารถแสดงได้ชัดเจน และพบว่าทั้งการวัดผลด้วยค่า S และการวัดผลในงานวิจัยเดิมไม่ให้ความสำคัญกับกรณีที่แต่ละบริเวณในภาพมีความสำคัญไม่เท่ากัน ในงานวิจัยนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้วิธีการวัดผลหลายๆ แบบน่าจะสื่อความหมายของการจำแนกบริเวณได้ดีกว่าการใช้วิธีการวัดผลเพียงแบบเดียว เนื่องจากวิธีการวัดผลเพียงแบบเดียวยังไม่สามารถบอกรายละเอียดที่ชัดเจนของการแยกบริเวณได้ แต่ทั้งนี้ การหาการวัดผลหรือวิธีการวัดผลที่ดีหรือเหมาะสมต่อการจำแนกบริเวณก็ยังคงเป็นงานที่ควรจะต้องมีการวิจัยต่อไป

ABSTRACT

This paper presents a preliminary study of segmentation validation methods. Similarity Index (S), which is a quantitative value, is selected to measure the correctness of brain segmentation. The S values are compared with the qualitative and quantitative validation methods used in our previous work, “Development of Automatic Segmentation of MRI Brain Images”. It has been found that S is better than our previous methods in that it clearer presents the overall correctness of the segmentation. However, the disadvantage of S is that it does not provide detail information about the correctness or fault of the contour whereas our previous methods provide better information. In addition, it is pointed out in this research that both S and our previous methods consider all the areas to be equally important. Therefore, it can be concluded that a single validation value cannot clearly explain the quality of segmentation. Segmentation validation methods used in combination should be a more suitable way to validate segmentation. Research on segmentation validation method is hence a necessary and important issue that needs to be done.

บทนำ

การแยกบริเวณของภาพ (Image Segmentation) ถือเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานหลายสาขา การบ่งบอกความถูกต้องของบริเวณที่แยกได้ต้องอาศัยการวัดผลซึ่งก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งสำหรับการแยกบริเวณของภาพ วิธีการวัดผลที่พบส่วนมากเป็นวิธีการวัดผล "เชิงคุณภาพ" กล่าวคือจะอาศัยการประเมินด้วยสายตาของผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้น ๆ ซึ่งทำให้การวัดผลมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากขึ้นกับตัวผู้เชี่ยวชาญนั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแปรปรวนสูงได้แก่ ความรู้และประสบการณ์เดิมของผู้เชี่ยวชาญเอง และความเหนื่อยล้าของคนเนื่องมาจากการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน เป็นต้น ซึ่งทำให้วิธีวัดผลประเภทมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างต่ำ การตัดสินใจผลลัพธ์จากการแยกบริเวณหรือตัดสินใจว่าเทคนิคการแยกบริเวณใดดีกว่ากันจึงทำได้ยาก ส่วนวิธีการวัดผลอีกแบบหนึ่งที่พบคือวิธีการวัดผล "เชิงปริมาณ" กล่าวคือ เป็นการวัดผลโดยอาศัยหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือทางสถิติ ทำให้วิธีการวัดผลแบบนี้มีความน่าเชื่อถือกว่าและค่าที่ได้ก็สื่อความหมายได้ชัดเจนกว่าการวัดผลเชิงคุณภาพ ตัวอย่างวิธีการวัดผลเชิงปริมาณ ได้แก่ Hausdorff Distance [1] และ Distance Distribution Signature [2] ซึ่งทั้งสองวิธีนี้เป็นวิธีการวัดระยะห่างของขอบของวัตถุ หรือ Overall Performance Measure [2] และ Similarity Index [3] ซึ่งสองวิธีหลังนี้พิจารณาพื้นที่ของบริเวณที่แยกได้ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาวิธีการวัดผลเชิงปริมาณคือ Similarity Index เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดผลในงานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ" [4] ซึ่งการใช้ค่า Similarity Index วัดผลนับเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการวัดผลการแยกบริเวณสมองซึ่งต้องการความละเอียดถูกต้องมาก เนื่องจาก Similarity Index ใช้การพิจารณาพื้นที่ของบริเวณที่แยกได้เทียบกับภาพที่มีการแยกบริเวณมาแล้วอย่างถูกต้อง

วิธีการวัดผล Similarity Index [3]

วิธีการวัด "เชิงปริมาณ" ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ Similarity Index (S) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความคล้ายกันของบริเวณ 2 บริเวณ โดยพิจารณาจากพื้นที่ของบริเวณนั้นๆ ทั้งส่วนที่ตรงกัน ส่วนที่ขาด และส่วนที่เกินไปของบริเวณหนึ่งเทียบกับอีกบริเวณหนึ่ง ในหัวข้อนี้จะแยกพิจารณาออกเป็น 3 หัวข้อย่อย คือ นิยามของ S ที่มาของค่า S และลักษณะเฉพาะของค่า S

นิยามของ S

ค่า S ของบริเวณ 2 บริเวณ คือ อัตราส่วนระหว่างสองเท่าของจำนวนจุดภาพในบริเวณที่ตรงกันกับผลบวกของจำนวนจุดภาพในบริเวณทั้งสอง

$$S = \frac{2 \cdot n\{A_1 \cap A_2\}}{n\{A_1\} + n\{A_2\}} \quad (1)$$

โดย A_1 และ A_2 คือบริเวณ 2 บริเวณที่นำมาคำนวณเปรียบเทียบ สำหรับงานวิจัยนี้ก็คือบริเวณสมองที่แยกได้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลและบริเวณสมองที่ถือว่าถูกต้องซึ่งแยกโดยผู้เชี่ยวชาญ

$n\{A\}$ คือ จำนวนจุดภาพในบริเวณ A

ดังนั้น ค่า S จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ยิ่ง S มีค่าเข้าใกล้ 1 ก็แสดงว่าบริเวณทั้งสองคล้ายคลึงกันมาก Zijdenbos ได้อ้างอิงว่าค่า $S > 0.7$ เป็นค่าที่นับว่าบริเวณทั้งสองมีความคล้ายคลึงกันดี [3] และในงานวิจัยเกี่ยวกับการแยกบริเวณสมองโดยใช้ Anisotropic Filters ร่วมกับเทคนิค “snakes” Contouring นั้น ได้ใช้ค่า S เป็นตัววัดผล ซึ่งค่า S ที่ได้มีค่าสูงกว่า 0.925 ถึง 1 และได้บ่งชี้ไว้ว่า ค่า $S = 0.91$ ก็นับว่าเป็นผลการทำการแยกบริเวณที่ดีแล้ว [5]

ที่มาของ S

ค่า S นี้มีรากฐานมาจากค่าทางสถิติที่ชื่อว่า Kappa Coefficient ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความเห็นที่ตรงกันของวิธี 2 วิธี [3] ซึ่งมีนิยาม คือ

$$k = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \quad (2)$$

โดย P_o คือ เปอร์เซนต์ที่วิธีทั้งสองวิธีมีความเห็นตรงกัน (คือทั้งที่เห็นว่าถูกและผิด)

P_c คือ เปอร์เซนต์ของความเห็นของแต่ละวิธี (ทั้งที่เห็นว่าถูกและผิด)

ในตารางที่ 1 จะแสดงให้เห็นค่าที่แต่ละวิธีให้ความเห็นว่าถูก (+) หรือผิด (-) ในการหา P_o จะคำนวณจากค่าที่วิธีทั้งสองเห็นว่าถูกต้องคือ a และค่าที่เห็นว่าผิด คือ d และ n คือ $a+b+c+d$ จะได้ว่า

$$P_o = \frac{a + d}{n} \quad (3)$$

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเห็นของวิธี 2 วิธี

		วิธีที่ 1		
		+	-	รวม
วิธีที่ 2	+	a	b	a+b
	-	c	d	c+d
	รวม	a+c	b+d	a+b+c+d

P_c จะคำนวณจาก ค่าที่เห็นว่าถูกและผิดของแต่ละวิธี ส่วนที่ถูกต้อง (+) คือ $\frac{a+b}{n} \cdot \frac{a+c}{n}$ และส่วนที่ผิด (-) คือ $\frac{b+d}{n} \cdot \frac{c+d}{n}$ จะได้ว่า

$$P_c = \frac{(a+b)(a+c) + (b+d)(c+d)}{n^2} \quad (4)$$

ดังนั้น เมื่อแทนค่า (3) และ (4) ลงใน (2) จะได้

$$k = \frac{2(ad - bc)}{(a+b)(a+c) + (b+d)(c+d)} \quad (5)$$

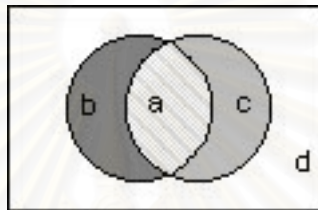
เนื่องจากในการแยกบริเวณ บริเวณที่สนใจโดยมากจะเป็นบริเวณที่ถูก บริเวณที่เกิน และบริเวณที่ขาดเมื่อเทียบกับภาพที่แยกบริเวณได้ถูกต้องแล้ว จากตารางที่ 1 บริเวณ d นั้นเป็นบริเวณที่ทั้งสองวิธีเห็นว่าผิด จึงถือว่าเป็นบริเวณที่ไม่สนใจ และส่วนใหญ่อำนาจจตุภาพในบริเวณ d จะมีจำนวนมากกว่าจำนวนจตุภาพ

ในบริเวณ a, b และ c มาก จึงสามารถยุบสมการ (5) ได้อีกโดยทำให้ d เข้าใกล้ ∞ ซึ่งค่าทางขวาของสมการ (6) ก็คือค่า S นั้นเอง

$$\lim_{d \rightarrow \infty} k = \frac{2a}{2a + b + c} \tag{6}$$

$$S = \frac{2a}{(a + b) + (a + c)} \tag{7}$$

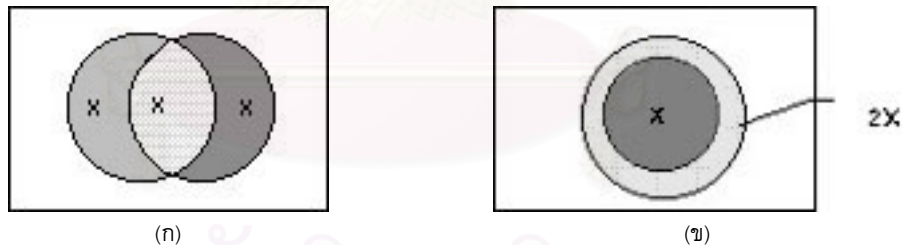
เมื่อพิจารณาสมการ (7) เทียบกับ สมการ (1) จะเห็นว่า ค่า $n\{A_1 \cap A_2\}$ ก็คือ a ส่วนค่า $n\{A_1\}$ และ $n\{A_2\}$ ก็คือ a+b และ a+c ซึ่งก็คือส่วนที่ถูกต้องตรงกันบวกกับส่วนที่เกินมาและส่วนที่ขาดไปนั่นเอง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่า S ครอบคลุมทั้งบริเวณที่ตรงกัน บริเวณที่ขาดและบริเวณที่เกิน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงบริเวณที่ตรงกัน (a) บริเวณที่ขาด (b) และบริเวณที่เกิน (c) ของบริเวณที่แยกได้

ลักษณะเฉพาะของ S

ค่า S ซึ่งเป็นวิธีการวัดผลเชิงปริมาณ มีลักษณะเฉพาะคือ สามารถบอกความคล้ายคลึงของบริเวณ 2 บริเวณใน 2 ลักษณะ คือ ทั้งขนาดและตำแหน่ง เนื่องจากในสมการ (1) มีการคำนวณจากตำแหน่งของบริเวณที่ตรงกัน และเนื้อที่ของบริเวณทั้งสอง ซึ่งขนาดและตำแหน่งมีผลต่อค่า S ไม่เท่ากัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2 แสดงกรณีตัวอย่างที่แสดงว่าทั้งตำแหน่งและขนาดมีผลต่อค่า S

(ก) เป็นกรณีที่บริเวณ 2 บริเวณซ้อนทับกันครึ่งหนึ่งของพื้นที่ของแต่ละบริเวณ มีค่า $S=1/2$ และ (ข) เป็นกรณีที่บริเวณที่เล็กกว่าเป็นครึ่งหนึ่งซ้อนอยู่ในบริเวณใหญ่ มีค่า $S=2/3$

จากตัวอย่างในรูปที่ 2 บริเวณที่มีขนาดเท่ากัน (คือเท่ากับ 2x) 2 บริเวณ ในรูปที่ 2 (ก) มีบริเวณหนึ่งซ้อนเหลื่อมกับอีกบริเวณหนึ่งโดยจำนวนจุดที่ซ้อนกันมีขนาดครึ่งหนึ่งของขนาดของบริเวณนั้น (คือเท่ากับ x) ค่า S ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1/2 ในขณะที่เมื่อพิจารณากรณีดังรูปที่ 2 (ข) ซึ่งมีบริเวณ 2 บริเวณที่บริเวณหนึ่ง (2x) มีขนาดเป็น 2 เท่าของอีกบริเวณหนึ่ง (x) โดยบริเวณเล็กซ้อนอยู่ในบริเวณใหญ่ทั้งหมด ค่า S ที่ได้เท่ากับ 2/3

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ในกรณีแรกที่มีการเหลื่อมซ้อนกันครึ่งหนึ่ง จะมีค่า S น้อยกว่าอีกกรณีที่บริเวณขนาดเล็กซ้อนอยู่ภายในบริเวณขนาดใหญ่ทั้งหมด แม้ว่าบริเวณที่ทับกันนั้นมีขนาดเท่ากันก็ตาม จึงสรุปได้ว่า ความแตกต่างของตำแหน่งมีผลต่อค่า S มากกว่าความแตกต่างของขนาด

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทความนี้ ได้นำงานวิจัยเดิมเรื่อง "การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ"
[4] มาใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อทดสอบผลการวัดในเชิงปริมาณโดยค่า S และเปรียบเทียบกับการวัดผลในงาน
วิจัยเดิมที่ได้ทำไว้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดผลในงานวิจัยเดิม

งานวิจัยเดิมเป็นการแยกบริเวณสมองจากภาพ MRI ในแนวขนานกับใบหน้า (Coronal plane) ภาพ MRI ที่ใช้มีจำนวน 60 ภาพต่อหนึ่งชุด ซึ่งแสดงภาคตัดขวางของศีรษะตั้งแต่ส่วนหน้าถึงส่วนหลัง โดยจะแยกบริเวณที่เป็นสมองออกจากบริเวณอื่น ๆ วิธีแยกบริเวณที่ใช้พิจารณาจากฮิสโตแกรมของภาพ แล้วหาค่าขีดแบ่งเพื่อแยกจุดภาพส่วนที่เป็นสมองออกจากส่วนอื่น การวัดผลในงานวิจัยเดิมนี้น่าใน 2 ลักษณะคือ การวัดผลเชิงคุณภาพ และการวัดผลเชิงปริมาณ ซึ่งการวัดผลทั้ง 2 ลักษณะ ได้ทำกับชุดภาพ MRI จำนวน 4 ชุด รวม 240 ภาพ

การวัดผลเชิงคุณภาพ

ในการวัดผลเชิงคุณภาพนั้น แพทย์ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินผลด้วยสายตาตามเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 2 โดยแยกพิจารณาออกเป็น 4 แบบ คือ ความถูกต้องของขอบสมอง บริเวณส่วนเกิน บริเวณส่วนขาด และความถูกต้องโดยรวม แล้วให้เกณฑ์ระดับคะแนน (A, B, C, D และ E) เช่น เมื่อแพทย์ผู้เชี่ยวชาญประเมินผลด้วยสายตาแล้วเห็นว่า ความถูกต้องของขอบสมองมีความถูกต้องประมาณ 85 % แสดงว่าความถูกต้องของขอบสมองมีเกณฑ์ระดับคะแนนเป็น B เป็นต้น ผลจากการวัดผลเชิงคุณภาพแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินผลเชิงคุณภาพในงานวิจัยเดิม[4]

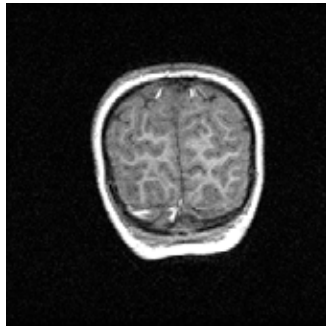
สิ่งที่ประเมิน	ระดับ(%)				
	A	B	C	D	E
ความถูกต้องของขอบสมอง (%)	91-100	81-90	71-80	61-70	< 60
บริเวณส่วนเกิน (%)	0	1-10	11-20	> 20	
บริเวณส่วนขาด (%)	0	1-10	11-20	> 20	
ความถูกต้องโดยรวม	กำหนดโดยผู้ประเมิน				

ตารางที่ 3 ผลการวัดเชิงคุณภาพจากงานวิจัยเดิม [4]

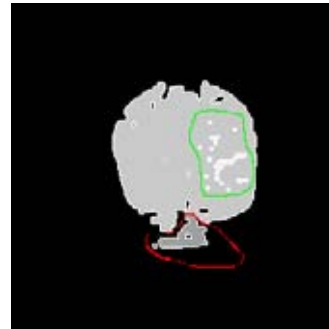
สิ่งที่วัด	ชุดภาพที่			
	I	II	III	IV
ความถูกต้องของขอบสมอง	B	A	A	B
บริเวณส่วนเกิน	C	B	B	B
บริเวณส่วนขาด	B	A	A	B
ความถูกต้องโดยรวม	B	A	A	A

การวัดผลเชิงปริมาณ

การวัดผลเชิงปริมาณ ทำโดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองใน 2 ลักษณะคือ *เปอร์เซ็นต์ส่วนเกิน* ซึ่งแบ่งออกเป็นบริเวณส่วนเกินที่เชื่อมต่อกับบริเวณสมองที่ถูกต้อง(เกิน 1) และบริเวณส่วนเกินที่ไม่เชื่อมต่อกับบริเวณสมองที่ถูกต้อง(เกิน 2) และ *เปอร์เซ็นต์ส่วนขาด* ซึ่งบริเวณส่วนเกินและขาดได้มาจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ เป็นผู้กำหนดบริเวณให้และใช้โปรแกรมทำการนับจุดภาพ ดังตัวอย่างที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 และตัวอย่างของผลจากการวัดผลเชิงปริมาณนี้ แสดงในตารางที่ 4 โดยมีการสรุปแยกกลุ่มของลำดับภาพในชุดภาพ เนื่องจากพบว่าภาพในลำดับต้นๆ และลำดับท้ายๆ จะมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการถ่ายภาพ MRI มากกว่าภาพในลำดับอื่น



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ภาพ MRI ของสมอง [4] (ก) ภาพ MRI ต้นฉบับ และ
(ข) ภาพที่ระบุส่วนที่ขาด ส่วนที่เกิน และถูกต้องด้วยสีที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 เปอร์เซนต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ I จำแนกตามกลุ่ม [4]

ภาพที่	% เกิน 1	% เกิน 2	% เกินรวม	% ขาด
1-4	0.000	0.000	0.000	25.000
5-56	1.512	0.865	2.377	0.000
57-60	0.025	2.550	2.573	27.263

การวัดผลโดยค่า S

การใช้ค่า S มาวัดผลภาพที่ได้จากการแยกบริเวณของงานวิจัยเดิม [4] ซึ่งคำนวณตามสมการ (1) โดยทำกับภาพทุกภาพในชุดภาพ MRI จำนวน 4 ชุดที่ใช้ในงานวิจัยเดิม [4] ซึ่งแต่ละชุดประกอบด้วยภาพ 60 ภาพ รวมเป็น 240 ภาพ ซึ่งแสดงผลในลักษณะค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า S ในแต่ละชุดภาพ และค่า S ของชุดภาพที่ตัด 5 ภาพแรกและ 5 ภาพสุดท้ายซึ่งมักเป็นภาพที่มีความผิดพลาดจากการถ่ายภาพ MRI มีผลลัพธ์ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวัดโดยใช้ค่า S

สิ่งที่ประเมิน	ชุดภาพที่			
	I	II	III	IV
ค่าเฉลี่ย S	0.961	0.999	0.999	0.997
ค่า SD ของ S	0.154	0.001	0.002	0.004
ค่าเฉลี่ย S ที่ตัดภาพหัวท้าย	0.989	0.999	0.999	0.998
ค่า SD ของ S ที่ตัดภาพหัวท้าย	0.023	0.001	0.002	0.003

การวิเคราะห์ผล

สำหรับการวิเคราะห์ผล จะแยกออกเป็น 2 ลักษณะคือ การวิเคราะห์ผลจากการวัดของงานวิจัยเดิมกับการใช้ค่า S และ การวิเคราะห์การวัดผลด้วยค่า S โดยการวิเคราะห์ผลจากการวัดของงานวิจัยเดิมกับการใช้ค่า S ได้ทำการเปรียบเทียบแยกเป็น 2 แบบคือ การเปรียบเทียบผลระหว่างการวัดผลเชิงคุณภาพของงานวิจัยเดิมกับการวัดผลด้วยค่า S และ การเปรียบเทียบผลระหว่างการวัดผลเชิงปริมาณของงานวิจัยเดิมกับการวัดผลด้วยค่า S

การวิเคราะห์ผลจากการวัดของงานวิจัยเดิมกับการใช้ค่า S

การวิเคราะห์ผลนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบแยกออกเป็นอีก 2 แบบคือ การเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพ และการเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณ

การเปรียบเทียบผลเชิงคุณภาพ

การเปรียบเทียบผลระหว่างการวัดผลเชิงคุณภาพของงานวิจัยเดิมกับการวัดผลด้วยค่า S นั้น จะใช้เกณฑ์ระดับคะแนนของ “ความถูกต้องโดยรวม” ในตารางที่ 3 เปรียบเทียบกับค่า S ในตารางที่ 5 เนื่องจากค่า S คำนวณจากทุกส่วนคือ ขอบของสมอง ส่วนเกิน และส่วนขาด เช่นเดียวกันกับการประเมินความถูกต้องโดยรวมของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่แล้ว “คะแนนความถูกต้องโดยรวม” จะมีค่าไปในทางเดียวกันกับค่า S กล่าวคือ ผู้เชี่ยวชาญประเมินให้ระดับคะแนนดี (A) ค่า S จะมีค่าสูง อย่างไรก็ตามก็มีบางกรณี เช่นชุดภาพที่ 1 ที่ค่า S มีค่าสูง (0.961) แต่ระดับคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญให้ก็ไม่ดีมากนัก (B) ดังนั้น จึงมีข้อสังเกตว่า **การวัดผลด้วยค่า S อาจไม่สอดคล้องตรงกันกับการประเมินโดยคนก็ได้**

การเปรียบเทียบผลเชิงปริมาณ

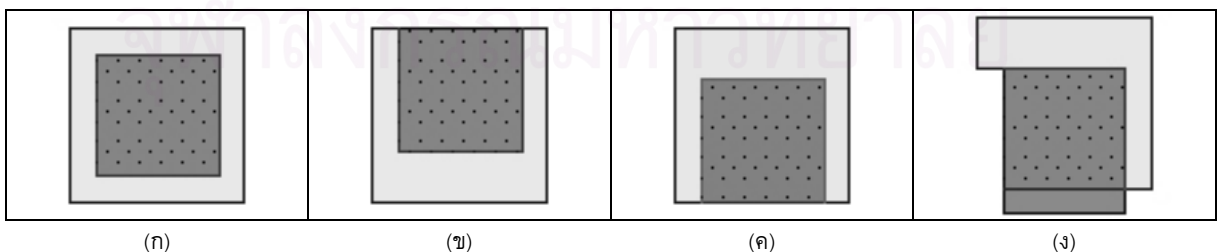
เมื่อนำผลจากการวัดผลเชิงปริมาณของงานวิจัยเดิมมาเปรียบเทียบกับผลจากการวัดผลด้วยค่า S จะเห็นว่า การวัดผลด้วยค่า S มีความชัดเจนในภาพรวมมากกว่าการวัดผลเชิงปริมาณของงานวิจัยเดิมแต่ไม่สามารถบอกถึงรายละเอียดของภาพที่พิจารณาได้

สาเหตุที่กล่าวเช่นนั้นเนื่องจากวิธีการวัดผลเชิงปริมาณในงานวิจัยเดิมบอกถึงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสมองเป็นเปอร์เซ็นต์ของส่วนเกินและส่วนขาด แม้เราจะทราบค่าทั้งสองนี้ แต่ก็ยังบอกไม่ได้ว่า ผลการวัดมีความถูกต้องโดยรวมเพียงใด ในขณะที่ค่า S สามารถบอกได้อย่างชัดเจนเนื่องจากแสดงได้ด้วยตัวเลขตัวเดียว แต่ทั้งนี้ การที่ S แสดงด้วยตัวเลขตัวเดียวก็ทำให้ไม่มีข้อมูลบ่งบอกให้เห็นว่าบริเวณที่แตกต่างกันเป็นบริเวณที่เกินหรือขาดมากน้อยเพียงใด ในขณะที่การวัดผลในงานวิจัยเดิมให้ข้อมูลเหล่านี้ชัดเจนกว่ามาก

การวิเคราะห์การวัดผลด้วยค่า S

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ถึงวิธีการวัดผลด้วยค่า S ไว้ด้วย โดยได้ตั้งข้อสังเกตไว้ดังนี้

ข้อสังเกตที่ 1 แม้ว่าค่า S ที่ได้มีค่าเท่ากัน บริเวณที่เปรียบเทียบกันอาจมีความแตกต่างกันมาก ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 รูปที่ 4 (ก) และ 4 (ข) บริเวณทั้งสองในทั้งสองภาพมีขนาดเท่ากันและซ้อนทับกันแต่ตำแหน่งที่ซ้อนทับแตกต่างกัน ส่วนรูปที่ 4 (ค) และ 4 (ง) มีความแตกต่างกันคือรูปที่ 4 (ค) มีเฉพาะส่วนที่ขาดแต่รูปที่ 4 (ง) มีทั้งส่วนขาดและส่วนเกิน ดังนั้น จะเห็นได้ว่าค่า S เพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกถึงลักษณะความเหมือนหรือความแตกต่างได้



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 4 ตัวอย่างภาพที่มีค่า S เท่ากัน แต่ลักษณะต่างกัน

(ก) และ (ข) ค่า S เท่ากัน แต่ตำแหน่งของส่วนที่ตรงกันต่างกัน

(ค) และ (ง) ค่า S เท่ากันแต่ (ค) มีเฉพาะส่วนขาด แต่ (ง) มีทั้งส่วนขาดและส่วนเกิน

ข้อสังเกตที่ 2 ในกรณีที่บริเวณที่แยกได้และบริเวณที่ถูกต้องมีขนาดแตกต่างกัน และบริเวณทั้งสองซ้อนทับกันอยู่โดยทั้งหมดของบริเวณหนึ่งอยู่ในอีกบริเวณหนึ่ง ค่า S ที่คำนวณได้จะมีเพียงค่าเดียวไม่ว่าบริเวณที่แยกได้จะมีขนาดใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าบริเวณที่ถูกต้องก็ตาม ทำให้ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้

ข้อสังเกตที่ 3 ในกรณีที่ทำการวัดผลของการแยกบริเวณ โดยบริเวณที่แต่ละบริเวณในภาพมีความสำคัญไม่เท่าเทียมกัน ผู้วัดผลอาจต้องการทราบว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความถูกต้องอยู่ในบริเวณใดของวัตถุจริง ทั้งการวัดผลโดยใช้ค่า S และการวัดผลในงานวิจัยเดิมก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ได้

จะเห็นได้ว่า การวัดผลของงานวิจัยเดิมและการวัดผลโดยใช้ค่า S มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การวัดผลของงานวิจัยเดิมให้รายละเอียดของภาพที่ได้จากการแยกบริเวณมากกว่าการวัดผลโดยใช้ค่า S แต่ในขณะเดียวกัน การวัดผลด้วย S ก็สามารถบอกถึงความถูกต้องโดยรวมของภาพที่ได้จากการแยกบริเวณได้ชัดเจนกว่าการวัดผลของงานวิจัยเดิม อย่างไรก็ตาม การวัดผลทั้งสองแบบนี้ก็ยังไม่สามารถบอกถึงลักษณะความถูกต้องได้ละเอียดพอในกรณีที่บริเวณในภาพที่ได้จากการแยกบริเวณมีความสำคัญไม่เท่ากันได้

สรุป

การวัดผลการแยกบริเวณนับเป็นงานที่สำคัญที่นอกจากจะใช้บอกถึงความสามารถของขั้นตอนวิธีการแยกบริเวณแบบต่าง ๆ แล้ว ยังสามารถสื่อความหมายถึงความถูกต้องของผลการแยกบริเวณได้ด้วย ในปัจจุบัน ได้มีการวัดผลการแยกบริเวณเป็น 2 แนวทางคือการวัดผลเชิงคุณภาพ และการวัดผลเชิงปริมาณ การวัดผลเชิงปริมาณสามารถสื่อความหมายได้แน่นอนกว่าการวัดผลเชิงคุณภาพเพราะการวัดผลเชิงคุณภาพยังคงมีความแปรปรวนสูงโดยมีปัจจัยของคนมาเกี่ยวข้องมาก แต่จากการศึกษาและทดลองกับภาพ MRI ของสมองในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่ายังคงไม่มีวิธีการวัดผลอย่างใดที่ดีหรือเหมาะสมที่สามารถบอกถึงคุณลักษณะที่ชัดเจนของการจำแนกบริเวณได้ การใช้วิธีการวัดผลหลาย ๆ แบบประกอบกันน่าจะสื่อความหมายของการจำแนกบริเวณได้ดีกว่าการใช้วิธีการวัดผลเพียงแบบเดียว แต่ทั้งนี้ การหาการวัดผลหรือวิธีการวัดผลที่ดีหรือเหมาะสมต่อการจำแนกบริเวณก็ยังคงเป็นงานที่จำเป็นและมีความสำคัญที่ควรจะต้องมีการวิจัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.น.พ. ทายาท ดีสุดจิต ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยเดิม [4] และขอบคุณคุณ ทศพล ธนะทิพานนท์ ที่ช่วยเหลือตลอดการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vikram Chalana and Yongmin Kim, "A Methodology for Evaluation of Boundary Detection Algorithms on Medical Images", IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol. 16, No. 5, October 1997, Page(s): 642 -652
- [2] Qian Huang and Dom, B., "Quantitative Methods of Evaluating Image Segmentation", International Conference on Image Processing, 1995. Proceedings., Volume: 3, 1995, Page(s): 53 - 56 vol.3

- [3] 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 Trans. Med. Imag., vol. 13, p. 4, Page(s): 716-724.
- [4] ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์, "การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [5] M. S. Atkins and V. T. Mackiewich, "Fully Automatic Segmentation of the Brain in MRI", IEEE trans. Med. Imag. vol. 17, no. 1, Page(s): 98-107, Feb 1998.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก

A Hierarchical Segmentation Validation with Weighting Approach

นันทนา ทินรุ่งโรจน์ และ นงลักษณ์ โควาวิสารุช

Nantana Tinroongroj and Nongluk Covavisaruch

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering

Chulalongkorn University, Bangkok, 10330

Email: g42ntr@cp.eng.chula.ac.th, nongluk.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีวัดผลภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนแบบใหม่ที่เรียกว่า วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก ซึ่งเป็นการผสมผสานกันระหว่างวิธีวัดผลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวิธีวัดผลนี้พัฒนาจากแนวคิดที่มุ่งที่จะแก้หรือลดปัญหาวิธีวัดผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน ลักษณะสำคัญของวิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนักคือ เป็นการนำวิธีวัดผลเชิงปริมาณหลาย ๆ วิธีมาใช้ร่วมกันโดยพิจารณาความถูกต้องเป็นลำดับชั้น เพื่อให้สามารถวัดผลโดยประเมินจากคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างของภาพร่วมกัน และเป็นการประเมินโดยให้ความสำคัญของบริเวณย่อยไม่เท่ากันโดยใช้ค่าน้ำหนักซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้วัดสามารถกำหนดรายละเอียดโครงสร้างการวัดของวิธีวัดผลที่นำเสนอได้ตามความต้องการ โดยกำหนดวิธีวัดผลเชิงปริมาณที่ใช้จำนวนระดับความถูกต้อง ค่าเกณฑ์การวัดของแต่ละระดับ และค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยต่าง ๆ ผลการวัดที่ได้จะเป็นเลขแสดงความถูกต้อง งานวิจัยนี้ได้แสดงตัวอย่างการวัดผลภาพที่มีบริเวณที่แบ่งส่วนได้แตกต่างกันโดยใช้วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งจากผลการวัดแสดงให้เห็นได้ว่า เลขแสดงความถูกต้องสามารถบอกรายละเอียดความถูกต้องได้ชัดเจนกว่าผลการวัดจากวิธีวัดผลในปัจจุบันวิธีใดวิธีหนึ่ง และวิธีวัดผลนี้สามารถบอกความถูกต้องของภาพได้ตามความสำคัญของบริเวณย่อยในภาพจริง ในขณะที่วิธีวัดผลในปัจจุบันไม่สามารถบอกได้

คำสำคัญ: การแบ่งส่วน, วิธีวัด, ลำดับชั้น, ค่าน้ำหนัก

Abstract: This paper presents a new image segmentation validation method, which combines both the qualitative and the quantitative validation methods, called "A Hierarchical Segmentation Validation with Weighting Approach". This method is developed in order to help solving or reducing problems incurred in existing validation methods. The main characteristic of the proposed approach is that hierarchical evaluations with many existing quantitative validation methods are used so that more features in the image segment can be jointly evaluated. Different weights can be assigned to sub-regions within a segmented image so as to distinguish different levels of importance of each sub-region to a particular problem. The proposed approach allows experts or users to design their own validation structure. This can be done by specifying quantitative methods needed to be used, defining number of correctness levels including criteria for each level, and assigning weights for each sub-region. Exploiting such a proposed method results in correctness number. Three examples of usage have been carried out and reported in this paper. The results clearly show that correctness number reveals more correctness detail information than employing one existing validation method. Moreover, the proposed method can validate images according to the importance of sub-regions, whereas existing methods cannot.

Key words: segmentation, validation method, hierarchy, weight

1. บทนำ

การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัลที่สำคัญก่อนการวิเคราะห์ภาพ ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานมากมายในหลายสาขาที่ได้้นำการแบ่งส่วนภาพไปประยุกต์ใช้อาทิเช่น การสร้างภาพสามมิติของสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอ [1] การค้นหาภาพที่ต้องการจากฐานข้อมูลภาพ [2] เป็นต้น เทคนิคการแบ่งส่วนภาพมีอยู่มากมาย การวัดผลจึงมีความสำคัญเนื่องจากเป็นสิ่งที่ยังชี้ได้ว่าเทคนิคใดมีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ โดยทำได้หลายลักษณะ เช่น วัดความเร็วในการประมวลผล วัดความทนทานต่อสิ่งรบกวน และการวัดความถูกต้องของภาพผลลัพธ์โดยพิจารณาจากส่วนต่าง ๆ ภายในภาพ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้มุ่งประเด็นไปยังการวัดผลความถูกต้องของภาพผลลัพธ์ ซึ่งจากการสำรวจวิธีวัดผลความถูกต้องของภาพผลลัพธ์พบว่า ส่วนใหญ่จะใช้ ground truth (คือ ภาพที่ผู้เชี่ยวชาญด้านนั้น ๆ แบ่งส่วนด้วยมือเป็นภาพที่แบ่งส่วนถูกต้องจริง) เพื่อเป็นหลักในการเปรียบเทียบสำหรับวัดความถูกต้อง แต่ในบางงานที่ไม่สามารถหา ground truth ได้ก็มักจะวัดความถูกต้องจากความเป็นเนื้อเดียวกันของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ โดยงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะวิธีวัดผลแบบที่ใช้ ground truth วิธีวัดผลแบบนี้แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ **วิธีวัดผลเชิงคุณภาพ** ซึ่งอาศัยการประเมินความถูกต้องจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้น ๆ และ **วิธีวัดผลเชิงปริมาณ** ซึ่งอาศัยการประเมินความถูกต้องจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางสถิติ จึงทำให้วิธีวัดผลเชิงปริมาณให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีวัดผลเชิงคุณภาพ

จากงานวิจัย “การศึกษาเบื้องต้นวิธีการวัดผลความถูกต้องจากการแยกบริเวณ” [3] ซึ่งได้ทดลองวัดผลโดยใช้วิธีวัดผลเชิงปริมาณ คือ Similarity Index [4] เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีวัดผลเชิงคุณภาพและจากการศึกษาวิธีวัดผลต่าง ๆ พบว่า วิธีวัดผลเชิงปริมาณที่มีอยู่ในปัจจุบัน แม้ว่าจะมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีเหล่านี้ก็ยังมีปัญหาในด้านลักษณะที่ใช้ในการพิจารณาความถูกต้องซึ่งมักพิจารณาจากขอบหรือบริเวณอย่างไรอย่างหนึ่งเพียงอย่าง

เดียว และปัญหาจากผลการวัดที่ยังไม่สามารถสื่อความหมายของความถูกต้องได้ชัดเจนนัก ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาวิธีวัดผลรูปแบบใหม่ที่จะปรับปรุงแก้ไขเพื่อกำจัดหรือลดปัญหาเหล่านี้ได้ โดยใช้วิธีวัดผลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพผสมผสานกันไป

2. วิธีวัดผลเชิงคุณภาพ เชิงปริมาณ และ ปัญหาที่พบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีวัดผลจากการสำรวจทั้งวิธีวัดผลเชิงคุณภาพและวิธีวัดผลเชิงปริมาณที่ใช้ในปัจจุบัน ตัวอย่างวิธีวัดผลทั้ง 2 ลักษณะรวมถึงปัญหาของแต่ละวิธีที่พบจากที่ผู้วิจัยทำการศึกษาวิธีวัดผลที่ใช้ในปัจจุบัน

2.1 วิธีวัดผลเชิงคุณภาพ

วิธีวัดผลเชิงคุณภาพเป็นการประเมินความถูกต้องจากความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้น ๆ ผลที่ได้มีความแปรปรวนสูงเพราะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ความรู้ ประสบการณ์เดิมของผู้เชี่ยวชาญ ความเหนื่อยล้าจากการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานาน อารมณ์ รวมทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น สถานที่ทำงาน แสงสว่าง เป็นต้น วิธีวัดผลนี้จึงมีความน่าเชื่อถือค่อนข้างน้อย แต่ถึงแม้ว่าวิธีวัดผลนี้ได้ผลที่มีความแปรปรวนสูงและทำให้ผลจากการวัดมีโอกาสแตกต่างกันมาก งานวิจัยจำนวนมากก็ยังเลือกใช้วิธีวัดผลเชิงคุณภาพนี้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความเชื่อมั่นที่มีต่อผู้เชี่ยวชาญที่ทำการวัดผล

ตัวอย่างวิธีวัดผลเชิงคุณภาพ

ตัวอย่างการวัดผลนี้ ได้มาจากงานวิจัย “การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ” [5] ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำการแบ่งส่วนบริเวณสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอ และวัดผลโดยให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญประเมินความถูกต้องของบริเวณต่าง ๆ ในภาพโดยพิจารณาจาก *ความถูกต้องของขอบสมอง บริเวณส่วนเกิน บริเวณส่วนขาด และความถูกต้องโดยรวม* และในการประเมินในแต่ละลักษณะจะพิจารณาตามเกณฑ์

เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและให้ผลการวัดเป็นระดับ
คะแนนจำนวน 5 ระดับตั้งแต่ A-E ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: เกณฑ์การประเมินของตัวอย่างวิธีวัดผลเชิงคุณ
ภาพ [5]

สิ่งที่ประเมิน	ระดับ (%)				
	A	B	C	D	E
ความถูกต้องของขอบ สมอง (%)	91-100	81-90	71-80	61-70	< 60
บริเวณส่วนเกิน (%)	0	1-10	11-20	> 20	
บริเวณส่วนขาด (%)	0	1-10	11-20	> 20	
ความถูกต้องโดยรวม	กำหนดโดยผู้ประเมิน				

2.2 วิธีวัดผลเชิงปริมาณ

วิธีวัดผลเชิงปริมาณเป็นการประเมินความถูกต้อง
โดยใช้ค่าทางคณิตศาสตร์หรือค่าทางสถิติ ซึ่งผลจากการ
วัดจะเป็นตัวเลขและเหมือนกันทุกครั้งที่วัดผล ฉะนั้นผล
การวัดจึงมีความแปรปรวนน้อยกว่าและทำให้มีความน่า
เชื่อถือมากกว่าการวัดผลเชิงคุณภาพ จากการสำรวจของ
Huang และ Dom [6] พบว่า วิธีวัดผลเชิงปริมาณนี้อาจ
แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มที่คำนึงถึงพารามิเตอร์ในภาพเป็นหลัก เช่น ค่า
ระดับเทา ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการฟูเรียร์ของภาพ
เป็นต้น
- 2) กลุ่มที่คำนึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็น
หลัก โดยพิจารณาจากรูปร่างของขอบ จำนวนจุด
ภาพที่เป็นขอบ เป็นต้น
- 3) กลุ่มที่คำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก โดย
พิจารณาจากจำนวนจุดภาพที่เกินหรือขาดไปจาก
ground truth เป็นต้น

ตัวอย่างวิธีวัดผลเชิงปริมาณ

ตัวอย่างวิธีวัดที่นำมาเสนอในที่นี้มี 3 วิธี คือ
เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ถูกต้อง Similarity Index
และ Hausdorff distance

สำหรับวิธีวัดผลแบบเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพ
ที่ถูกต้อง และ Similarity Index เป็นวิธีวัดผลที่ใช้บริเวณ
ที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก ส่วน Hausdorff distance เป็น
วิธีที่คำนึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก โดย

ทั้ง 3 วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ ground truth ในการคำนวณ ถึง
แม้ว่าวิธีเหล่านี้จะเป็นวิธีเชิงปริมาณ แต่ค่าตัวเลขที่ได้
จากการวัดอาจแปรตามหรือแปรผกผันกับค่าความถูก
ต้องขึ้นกับแต่ละวิธีวัดผล ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงขอ
ใช้คำว่า ค่าความถูกต้อง เพื่อป้องกันความสับสน โดยค่า
ความถูกต้องสูงขึ้น หมายความว่ามีความถูกต้องมากขึ้น

- เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ถูกต้อง (P) คำนวณ
จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนจุดภาพที่ซ้อนทับกันของ
ภาพทดสอบกับ ground truth เทียบกับจำนวนจุดภาพ
ทั้งหมดของ ground truth ดังแสดงในสมการที่ 1

$$P = \frac{n\{A_1 \cap A_2\}}{n\{A_2\}} \times 100 \quad \dots(1)$$

โดย A_1 และ A_2 คือ บริเวณที่แบ่งส่วนได้ในภาพ
ทดสอบและ ground truth
ตามลำดับ

$n\{A\}$ คือ จำนวนจุดภาพในบริเวณ A

ค่า P ที่ได้จะอยู่ในช่วง $[0, 100]$ โดยเมื่อความถูก
ต้องมากขึ้น จะได้ค่า P ที่มากขึ้น ฉะนั้นค่าความถูกต้อง
แปรตามค่า P

- Similarity Index (S) [4] เป็นวิธีวัดผลที่คำนึงถึงพื้นที่
ที่บริเวณส่วนขาด บริเวณส่วนเกิน และบริเวณที่ถูกต้อง
ของภาพทดสอบเทียบกับ ground truth ดังแสดงในสม
การที่ 2

$$S = \frac{2 \cdot n\{A_1 \cap A_2\}}{n\{A_1\} + n\{A_2\}} \quad \dots(2)$$

ค่า S จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ค่า S ที่มีค่าเข้าใกล้ 1
แสดงว่าบริเวณทั้งสองคล้ายคลึงกันมาก ฉะนั้นค่าความ
ถูกต้องจึงแปรตามค่า S

- Hausdorff distance (H) [7] เป็นวิธีวัดผลที่
พิจารณาเฉพาะบริเวณที่เป็นขอบเท่านั้น โดยเป็นการวัด
ระยะห่างระหว่างขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ในภาพ
ทดสอบและ ground truth ซึ่งค่า H คำนวณได้ตามนิยาม
ดังสมการที่ 3 และ 4

$$H(B_1, B_2) = \max(h(B_1, B_2), h(B_2, B_1)) \quad \dots(3)$$

$$\text{เมื่อ } h(B_1, B_2) = \max_{b_1 \in B_1} \min_{b_2 \in B_2} \|b_1 - b_2\| \quad \dots(4)$$

โดย B_1 และ B_2 คือ เซตของจุดภาพที่เป็นขอบที่นำมาใช้ในการคำนวณ $\{b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n}\}$ และ $\{b_{21}, b_{22}, \dots, b_{2m}\}$ ตามลำดับ ในที่นี้คือ ขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ในภาพทดสอบ และ ground truth ตาม $\|b_1 - b_2\|$ คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ b_1 ไปยังจุดภาพ b_2 ซึ่งในที่นี้ใช้การวัดระยะห่างแบบ Euclidean distance

ค่า H นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, \infty)$ โดยค่า H ที่มีค่ามากขึ้นจะแสดงถึงความถูกต้องที่ลดลง ฉะนั้นค่าความถูกต้องจึงแปรผกผันกับค่า H

2.3 ปัญหาที่พบจากวิธีวัดผลในปัจจุบัน

จากการศึกษาวิธีวัดผลที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้น ได้พบปัญหาของวิธีวัดผลเหล่านี้ โดยแยกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

- 1) แม้ว่าวิธีวัดผลเชิงปริมาณนั้นจะมีอยู่หลายวิธี แต่ทั้งนี้แต่ละวิธีมีการพิจารณาความถูกต้องของภาพโดยใช้คุณลักษณะของภาพเพียงแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เช่น พารามิเตอร์ของภาพ หรือขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ หรือบริเวณที่แบ่งส่วนได้ ฉะนั้นการใช้วิธีวัดผลเพียงวิธีเดียวจึงไม่สามารถครอบคลุมคุณลักษณะหลาย ๆ อย่างของภาพได้
- 2) ผลการวัดของวิธีวัดผลเชิงปริมาณที่มีอยู่ยังไม่สามารถสื่อความหมายของค่าความถูกต้องได้อย่างชัดเจนนัก ตัวอย่างเช่น ผลการวัดที่เป็นเปอร์เซ็นต์จำนวนจุดภาพที่ถูกต้อง (P) เพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถบอกได้ว่าภาพทดสอบนั้นถูกต้องมากน้อยแค่ไหนและที่บริเวณใด เป็นต้น

3. แนวคิดและการออกแบบ “วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก”

จากปัญหาต่าง ๆ ที่พบ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดและพัฒนาวิธีวัดผลที่เรียกว่า วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก โดยมีแนวคิดในการแก้ปัญหาและการออกแบบดังนี้

3.1 แนวคิดในการแก้ปัญหา

แนวคิดที่ใช้แบ่งเป็น 3 แนว คือ

- 1) การใช้วิธีวัดผลเชิงปริมาณหลาย ๆ วิธีร่วมกันในการวัดผล เพื่อให้สามารถวัดผลได้ครอบคลุมคุณลักษณะของภาพได้หลายอย่าง เช่น การใช้ทั้งวิธีวัดผลที่คำนึงถึงขอบและวิธีวัดผลที่คำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้การวัดผลมีความสมบูรณ์มากขึ้น
 - 2) การพิจารณาความถูกต้องแบบเป็นลำดับชั้น เป็นการวัดผลที่มีเกณฑ์ความถูกต้องเป็นระดับที่ต่างกันจากระดับความถูกต้องน้อยไปยังระดับความถูกต้องมาก โดยผ่านเกณฑ์การวัดได้หลายระดับก็แสดงว่ามีความถูกต้องมากขึ้น ลักษณะการวัดผลแบบนี้จะแตกต่างจากลักษณะการวัดผลในปัจจุบันที่วัดผลเพียงครั้งเดียว
 - 3) ยังไม่มีวิธีวัดผลใดที่คำนึงถึงกรณีที่บริเวณย่อยภายในภาพมีความสำคัญไม่เท่ากัน ซึ่งการให้ความสำคัญแต่ละบริเวณย่อยไม่เท่ากันจะขึ้นอยู่กับลักษณะภาพและการนำไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น ภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง โดยทำการแบ่งส่วนเพื่อแยกบริเวณที่เป็นสมองไปใช้ประกอบการวินิจฉัยโรค ดังนั้นจึงอาจมีความต้องการให้บริเวณสมองบางส่วนมีความสำคัญมากกว่าส่วนอื่น ๆ ได้ เป็นต้น การกำหนดความสำคัญทำได้โดยกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่แต่ละบริเวณย่อยใน ground truth ตามแต่ที่จะเห็นว่าเหมาะสมกับงาน
- #### 3.2 การออกแบบวิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก
- ด้วยแนวคิดดังกล่าวข้างต้น วิธีการวัดที่ต้องการจึงมีลักษณะที่สามารถใช้วิธีวัดผลหลาย ๆ วิธีร่วมกันได้สามารถใช้ค่าน้ำหนักต่างกัน และต้องวัดผลเป็นลำดับไป ทำให้สามารถนำ “ต้นไม้การตัดสินใจ (decision tree)”

มาประยุกต์ใช้ได้ โดยผู้วิจัยได้เลือกกฎเกณฑ์ความถูกต้องจากวิธีวัดเชิงปริมาณหลายวิธี เป็น เงื่อนไขของการตัดสินใจ และ ใช้เลขแสดงความถูกต้อง เป็น ผลการตัดสินใจ

3.2.1 “ลำดับชั้นมหภาค” และ “ลำดับชั้นจุลภาค”

วิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก ได้เลือกให้การวัดทำได้ 2 ลำดับชั้นใหญ่ซึ่งในลำดับชั้นแรก เป็นการประเมินโดยรวม เพื่อถ่วงรอกความถูกต้องในระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงเรียกการวัดในลำดับชั้นนี้ว่า “ลำดับชั้นมหภาค” เมื่อการวัดผ่านลำดับชั้นมหภาค ก็จะเป็นการประเมินในส่วนย่อยต่อไป ซึ่งการวัดในลำดับชั้นนี้จึงเป็น “ลำดับชั้นจุลภาค”

ในแต่ละลำดับชั้น สามารถแบ่งการวัดให้ละเอียดขึ้นได้เป็นหลายระดับโดยขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ผู้วัดกำหนดขึ้น โดยลำดับชั้นและระดับที่สูงขึ้นแสดงถึงความถูกต้องที่มากขึ้น

3.2.2 การกำหนด “รายละเอียดโครงสร้าง” ของวิธีวัดผล

เนื่องจากวิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนัก เป็นวิธีวัดผลที่ได้ ออกแบบให้ผู้วัดสามารถกำหนดรายละเอียดโครงสร้างของวิธีวัดได้เองตามความต้องการ ดังนั้นผู้วัดจะต้อง

- กำหนดวิธีวัดผลเชิงปริมาณสำหรับใช้ในการวัดความถูกต้องของลำดับชั้นมหภาคและลำดับชั้นจุลภาค ซึ่งอาจใช้วิธีเดียวหรือหลาย ๆ วิธีก็ได้ โดยผู้วัดจะต้องกำหนดความสำคัญของแต่ละวิธีวัด โดยการกำหนดว่าจะพิจารณาวิธีวัดผลใดก่อนวิธีวัดผลใด เพื่อให้เลขแสดงความถูกต้องของแต่ละระดับย่อยแสดงถึงความถูกต้องจากน้อยไปมาก
- กำหนดจำนวนระดับย่อยและค่าเกณฑ์ของระดับย่อยในลำดับชั้นมหภาคและลำดับชั้นจุลภาค
- กำหนดความสำคัญของบริเวณย่อยตามที่ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าเหมาะสมกับลักษณะของงานและลักษณะของภาพ และถ้าบริเวณย่อยในภาพมีความสำคัญไม่เท่า

กัน ค่าน้ำหนักที่กำหนดให้แต่ละบริเวณย่อยต้องมีผลรวมไม่เกิน 1

3.2.3 การคำนวณผลการวัดโดยใช้ค่าน้ำหนัก

เนื่องจากในลำดับชั้นจุลภาคนั้น ต้องพิจารณาความถูกต้องของบริเวณย่อยในภาพ ในการคำนวณผลของวิธีวัดเชิงปริมาณแต่ละวิธี จึงต้องคำนวณแยกไปตามแต่ละบริเวณย่อย แล้วจึงนำมาคำนวณเป็นผลการวัดของภาพทั้งภาพโดยใช้ค่าน้ำหนัก ดังแสดงในสมการที่ 5 ก่อนจะนำไปใช้ในการพิจารณาความถูกต้องของระดับย่อย

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n w_i m_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \dots(5)$$

เมื่อ M คือ ผลการวัดจากวิธีเชิงปริมาณวิธีหนึ่ง ๆ ของภาพทั้งภาพ
 m_1, m_2, \dots, m_n ผลการวัดจากวิธีเชิงปริมาณของบริเวณย่อยที่ 1, 2, ..., n
 คือ
 w_1, w_2, \dots, w_n ค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยที่
 คือ 1, 2, ..., n

3.2.4 เลขแสดงความถูกต้อง

เมื่อผู้วัดกำหนดรายละเอียดโครงสร้างการวัดเสร็จสิ้นแล้ว ผู้วัดก็จะทราบจำนวนระดับย่อยที่แสดงถึงความถูกต้องตามเกณฑ์การประเมินที่ผู้วัดตั้งขึ้นเอง เช่น ผลการวัดที่ถูกกำหนดอาจแบ่งได้ 7 ระดับโดยในลำดับชั้นมหภาคแบ่งเป็น 3 ระดับ และลำดับชั้นจุลภาคแบ่งอีก 4 ระดับ เป็นต้น

เลขแสดงความถูกต้อง จะสื่อความหมายความถูกต้องของทุกระดับย่อย จะมีค่าเริ่มต้นคือ 0 ไปจนถึง ℓ โดยต่อเนื่องกันไปตั้งแต่ระดับย่อยแรกสุดของลำดับชั้นมหภาคจนกระทั่งถึงระดับย่อยสุดท้ายของลำดับชั้นจุลภาค โดยค่า ℓ ขึ้นอยู่กับจำนวนระดับย่อยทั้งในลำดับชั้นมหภาคและลำดับชั้นจุลภาคและจำนวนวิธีวัดผลที่ใช้ โดยมีนิยามดังสมการที่ 6

$$\ell = (2^{r_1} - 1)v_1 + (2^{r_2} - 1)v_2 \quad \dots(6)$$

โดย r_1 และ r_2 คือ จำนวนวิธีวัดผลที่ใช้ในลำดับชั้นมหภาค และลำดับชั้นจุลภาคตาม

	ลำดับ
v_1 และ v_2	จำนวนระดับย่อยของลำดับชั้นมหภาค
คือ	ภาค และลำดับชั้นจุลภาคตามลำดับ

และมีสัญลักษณ์แสดงการผ่านเกณฑ์ของลำดับชั้นมหภาค (I) หรือจุลภาค (II) และเลขแสดงความถูกต้องสูงสุดกำกับด้วย เช่น I : 2/12 จะหมายถึงมีความถูกต้องอยู่ในลำดับชั้นมหภาค และมีเลขแสดงความถูกต้องเป็น 2 จาก 12 ซึ่งเป็นเลขแสดงความถูกต้องสูงสุด เป็นต้น

4. ตัวอย่างของวิธีวัดที่นำเสนอ

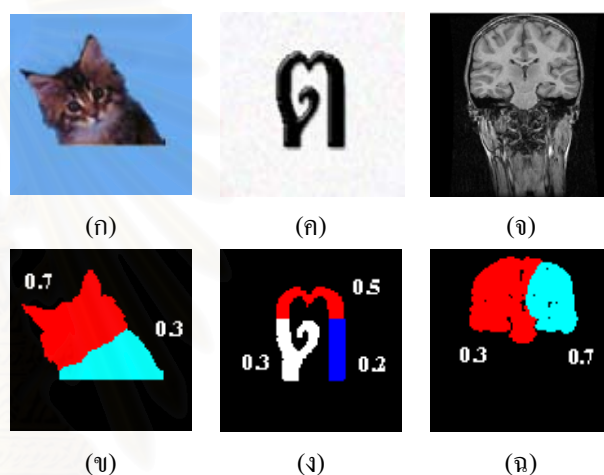
ตัวอย่างของวิธีวัดความถูกต้องแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนักที่นำเสนอนี้ ได้แสดงไว้ 3 ตัวอย่าง โดยทุกตัวอย่างจะใช้วิธีวัดผลในลำดับชั้นมหภาคและลำดับชั้นจุลภาคเหมือนกัน แต่จะมีจำนวนระดับย่อยไม่เท่ากัน และการกำหนดค่าน้ำหนักให้กับบริเวณย่อยแตกต่างกัน โดยตัวอย่างทั้ง 3 นี้ได้แก่ ตัวอย่างที่ใช้วัดความถูกต้องของภาพแมว ตัวอย่างที่ใช้วัดความถูกต้องของภาพตัวอักษร “ต” และตัวอย่างที่ใช้วัดความถูกต้องของภาพสมอง ดังจะกล่าวละเอียดต่อไป

4.1 การกำหนดรายละเอียดโครงสร้างการวัดผล

ตัวอย่างทั้ง 3 ได้เลือกใช้วิธีวัดผลเชิงปริมาณเหมือนกัน โดยวิธีที่ใช้ในลำดับชั้นมหภาค คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ถูกต้อง (P) เนื่องจากเป็นวิธีวัดผลที่พิจารณาความถูกต้องของบริเวณอย่างง่าย ๆ การคำนวณก็ไม่ยุ่งยาก เหมาะกับการวัดความถูกต้องในเบื้องต้น และวิธีที่ใช้ในลำดับชั้นจุลภาค คือ Similarity Index (S) และ Hausdorff distance (H) โดยกำหนดความสำคัญให้ S มากกว่า H สาเหตุที่ใช้ทั้ง 2 วิธีวัดผลนี้เนื่องจากเป็น S เป็นวิธีวัดผลที่คำนึงถึงบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก และ H เป็นวิธีวัดผลที่คำนึงถึงขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้เป็นหลัก เมื่อใช้พิจารณาร่วมกันจะทำให้สามารถวัดความถูกต้องได้ทั้ง 2 ลักษณะ นอกจากนี้การเลือกใช้ S มีข้อดีในแง่เป็นวิธีวัดผลที่คำนึงถึงทั้งบริเวณส่วนเกิน ส่วนขาดและส่วนที่ถูกต้องของภาพทดสอบ

และการเลือกใช้ H มีข้อดีในแง่เป็นวิธีวัดผลที่ช่วยบอกตำแหน่งที่ผิดพลาดไปของภาพทดสอบด้วย

สำหรับภาพแมวนั้น ผู้วิจัยได้ทดลองกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อย 2 บริเวณ คือ ส่วนหัว และส่วนคอ โดยให้บริเวณหัวมีความสำคัญมากกว่าบริเวณคอ เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำให้แยกความแตกต่างของแมวจากสัตว์ประเภทอื่นได้มากกว่าบริเวณคอ เช่น การเทียบแมวกับกระต่าย หูของกระต่ายยาวมากกว่าแมว เป็นต้น ดังรูปที่ 1 (ก) และ 1 (ข) โดยค่าน้ำหนักของแต่ละบริเวณย่อยจะแสดงอยู่ในรูปที่ 1 และในตารางที่ 2



รูปที่ 1: ภาพแมว ภาพตัวอักษร “ต” และภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง

(ก) (ข) และ (ค) เป็นภาพก่อนการแบ่งส่วน
(ง) (จ) และ (ฉ) เป็น ground truth ที่มีกำหนดค่าน้ำหนักให้บริเวณย่อย

สำหรับภาพตัวอักษร “ต” นั้น ผู้วิจัยได้ทดลองกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อย แยกเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณหัวกับส่วนล่างซ้าย บริเวณรอยหยัก และบริเวณส่วนล่างขวาของตัวอักษร โดยบริเวณรอยหยัก จะมีความสำคัญมากกว่าบริเวณหัวกับส่วนล่างซ้าย และส่วนล่างขวา เนื่องจากลักษณะของบริเวณรอยหยักของ “ต” จะทำให้แยกความแตกต่างของ “ต” จากตัวอักษรอื่นได้มากกว่าบริเวณที่เหลือ นอกจากนี้บริเวณหัวกับส่วนล่างซ้ายจะมีความสำคัญมากกว่าบริเวณส่วนล่างขวา เนื่องจากลักษณะของบริเวณหัวและส่วนล่างซ้ายเป็นส่วนที่แยกความแตกต่างของ “ต” ได้มากกว่าบริเวณส่วน

ล่างขวา แสดงในรูปที่ 1 (ค) และ 1 (ง) โดยค่าน้ำหนักของแต่ละบริเวณย่อยจะแสดงอยู่ในรูปที่ 1 และในตารางที่ 2

สำหรับภาพเอ็มอาร์ไอของสมองเป็นภาพที่แพทย์นำไปใช้ประกอบการวินิจฉัยโรค ความสำคัญของบริเวณ

ตารางที่ 2 รายละเอียดโครงสร้างการวัดของตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง

2:

รายละเอียดโครงสร้างการวัด	ตัวอย่างภาพแมว	ตัวอย่างภาพตัวอักษร "ต"	ตัวอย่างภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง
ค่าน้ำหนัก	บริเวณหัว: 0.7 บริเวณคอ: 0.3	บริเวณรอยหยัก : 0.5 บริเวณส่วนล่างซ้ายและหัว: 0.3 บริเวณส่วนล่างขวา: 0.2	บริเวณซีกขวา: 0.7 บริเวณซีกซ้าย: 0.3
ลำดับชั้นมหภาค			
1. วิธีวัดผล	P	P	P
2. จำนวนระดับย่อย	3	3	5
3. เกณฑ์การวัด (ถูกต้องจากน้อยไปมาก)	50%, 60% และ 70%	60%, 70% และ 80%	50%, 60%, 70%, 80% และ 90%
ลำดับชั้นจุลภาค			
1. วิธีวัดผล	S และ H	S และ H	S และ H
2. จำนวนระดับย่อย	3	5	5
3. เกณฑ์การวัด (ถูกต้องจากน้อยไปมาก)	(0.7 และ 30) (0.8 และ 20) (0.9 และ 10)	(0.75 และ 25) (0.8 และ 20) (0.85 และ 15) (0.9 และ 10) (0.95 และ 5)	(0.8 และ 20) (0.85 และ 15) (0.9 และ 10) (0.94 และ 8) (0.96 และ 6)
เลขแสดงความถูกต้อง			
1. จำนวนเลขแสดงความถูกต้อง	13	19	21
2. ค่าที่เป็นไปได้	I : 0-2 II : 3-12	I : 0-2 II : 3-18	I : 0-4 II : 5-20

ย่อยจึงขึ้นอยู่กับบริเวณที่แพทย์ให้ความสนใจเป็นกรณี ๆ ไป ในตัวอย่างนี้สมมติว่าบริเวณสมองซีกขวามีความสำคัญมากกว่าบริเวณสมองซีกซ้ายดังแสดงในรูปที่ 1 (จ) และ 1 (ค) โดยค่าน้ำหนักของแต่ละบริเวณย่อยจะแสดงอยู่ในรูปที่ 1 และในตารางที่ 2

ในตารางที่ 2 จะแสดงการกำหนดรายละเอียดโครงสร้างการวัดของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งก็คือ การกำหนดจำนวนระดับย่อย ค่าเกณฑ์ของแต่ละระดับย่อยและค่าน้ำหนักของบริเวณย่อยต่าง ๆ ลักษณะโครงสร้างการวัดของตัวอย่างทั้ง 3 จะมีความคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2

ซึ่งเป็นลักษณะ โครงสร้างการวัดที่ใช้วัดความถูกต้องของภาพแมว

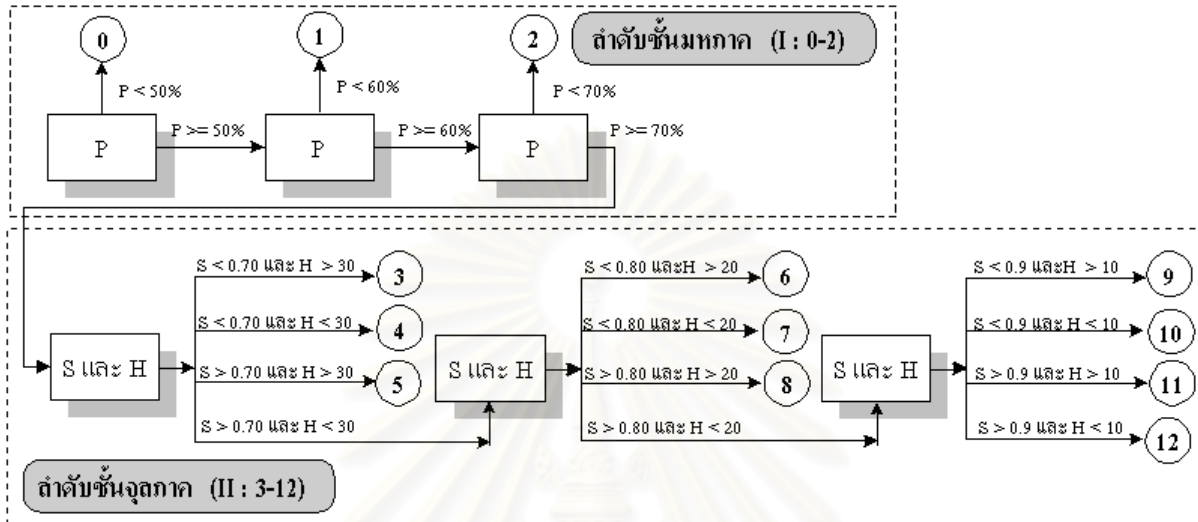
4.2 ผลการทดลองใช้วิธีวัดผลตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้ตัวอย่างวิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้ค่าน้ำหนักที่ได้นำเสนอ ทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยภาพที่นำมาใช้ทดลองมี 3 ชุด ๆ ละ 2 ภาพ โดยบริเวณที่แบ่งส่วนได้ในแต่ละภาพแตกต่างกันดังรูปที่ 3 ได้แก่ ชุดภาพแมว ชุดภาพตัวอักษร "ต" และชุดภาพเอ็มอาร์ไอของสมอง สำหรับผลการวัดที่ได้จากวิธีวัดที่นำเสนอแสดงในตารางที่ 3 โดยสดมภ์ที่แรเงาแสดงผลการวัดและสดมภ์อื่น ๆ

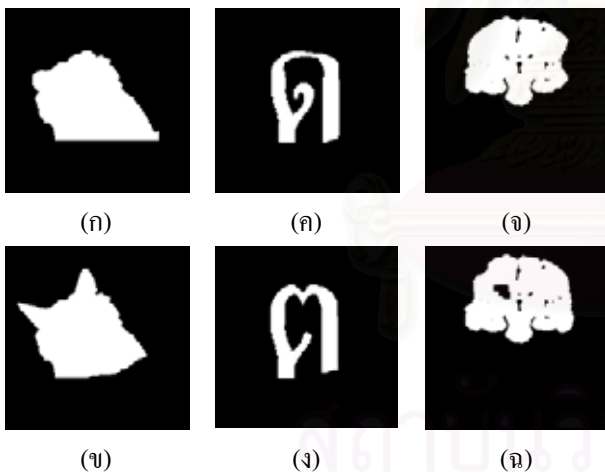
แสดงข้อมูลที่ใช้ประกอบการวัด และการเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จาก S และ H กับผลการวัดที่ได้จากวิธีที่นำเสนอแสดงในตารางที่ 4

5. วิเคราะห์ผล

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าวิธีวัดผลที่นำเสนอได้วัดผลโดยใช้ P, S และ H ร่วมกัน ทำให้สามารถวัดผลโดยครอบคลุมคุณลักษณะของภาพได้หลายแบบ ได้แก่ ขอบของบริเวณที่แบ่งส่วนได้ และบริเวณที่แบ่งส่วนได้ทั้ง



รูปที่ 2: โครงสร้างการวัดของตัวอย่างวิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับขั้นโดยใช้ค่าน้ำหนักที่ใช้กับภาพแมว



รูปที่ 3: ภาพที่ใช้ในการทดลอง ภาพแถวบนส่วนสำคัญขาดหายไป ภาพแถวล่างส่วนสำคัญไม่ขาดหายไป (ก) และ (ข) เป็นภาพแมว (ค) และ (ง) เป็นภาพตัวอักษร “ด” (ฉ) และ (ฉ) เป็นภาพสมอง

บริเวณที่ขาด เกิน และถูกต้องเมื่อเทียบกับ ground truth ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีวัดผลที่นำเสนอสามารถประเมินการแบ่งส่วนจากหลาย ๆ ตัววัดสามารถทำได้ และให้ผลดีกว่าวิธีวัดผลเชิงปริมาณในปัจจุบันวิธีหนึ่งวิธีใดเพียงวิธีเดียว

การวัดผลแบบเป็นลำดับขั้นโดยแสดงเป็นระดับความถูกต้องจากน้อยไปมากและให้ผลการวัดเป็นเลขแสดงความถูกต้องนั้น จากผลการทดลองพบว่า เลขแสดงความถูกต้องสามารถสื่อความหมายของความถูกต้องได้ชัดเจนกว่าการใช้ตัวเลขเพียงตัวเดียว เช่น S หรือ H เป็นต้น เนื่องจากเลขแสดงความถูกต้องสามารถสื่อความหมายได้ด้วยตัวเอง นั่นคือสามารถบอกได้ว่าภาพมีความถูกต้องโดยผ่านเกณฑ์ของลำดับขั้นหรือระดับย่อยใดบ้าง ตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 3 ภาพแมวในรูปที่ 3 (ก) ได้เลขแสดงความถูกต้องเป็น II : 8/12 ก็จะทำให้ทราบในทันทีว่า II หมายถึงภาพแมวนั้นมีความถูกต้องผ่านเกณฑ์ของลำดับขั้นมหภาคแล้ว และอยู่ในลำดับขั้นจุลภาค และ 8/12 หมายถึง ภาพแมวอยู่ในช่วงความถูกต้องค่อนข้างสูงเนื่องจากเลขแสดงความถูกต้องเป็น 8 จาก 12 ที่เป็นเลขแสดงความถูกต้องที่มากที่สุด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยก็ยังพบว่าเลขแสดงความถูกต้องยังไม่สามารถบอกรายละเอียดของลักษณะความถูกต้องของภาพ เช่น ตำแหน่งที่มีความผิดพลาดได้

นอกจากนี้ การใช้ค่าน้ำหนักเพื่อกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อยในภาพนั้น ทำให้วิธีวัดผลที่นำเสนอนี้สามารถบอกความแตกต่างของภาพได้ในขณะที่วิธีวัดผลเชิงปริมาณในปัจจุบันไม่สามารถบอกได้ นั่นคือ ภาพที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่มีความสำคัญมาก มีเลข

แสดงความถูกต้องน้อยกว่าภาพที่มีความผิดพลาดในบริเวณย่อยที่มีความสำคัญรองลงมา เช่น จากตารางที่ 4 ในชุดภาพแมวนั้น วิธีวัดผลที่นำเสนอสามารถบอกได้ว่า

ตารางที่ 3: ผลการวัดจากวิธีวัดผลที่นำเสนอของภาพที่ใช้ในการทดลอง (สดมภ์ที่แรกมาเป็นผลการวัด และสดมภ์อื่น ๆ เป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบการวัด)

ชุดภาพ	รูปที่	ลักษณะของภาพ	เลขแสดง ความถูกต้อง	การแบ่งระดับที่ ใช้วัด	ผลการวัดใน ลำดับชั้นมหภาค		ผลการวัดใน ลำดับชั้นจุลภาค (ใช้ค่าน้ำหนัก)	
					ค่า P	ค่า S	ค่า H	
แมว	3 ก	บริเวณสำคัญ ขาดหายไป	II : 8/12	I : 0-2 II : 3-12	93.78%	0.96	24.45	
	3 ข	บริเวณที่ไม่สำคัญ ขาดหายไป	II : 11/12		92.07%	0.96	14.79	
"ต"	3 ค	บริเวณสำคัญ ขาดหายไป	II : 14/18	I : 0-2 II : 3-18	90.19%	0.91	11.18	
	3 ง	บริเวณที่ไม่สำคัญ ขาดหายไป	II : 17/18		90.26%	0.96	9.96	
สมอง	3 จ	บริเวณสำคัญ ขาดหายไป	II : 7/20	I : 0-4 II : 5-20	94.12%	0.94	22.54	
	3 ฉ	บริเวณที่ไม่สำคัญ ขาดหายไป	II : 16/20		94.50%	0.99	9.39	

ภาพที่บริเวณหัวขาดหายไปจะมีความถูกต้องน้อยกว่าภาพที่บริเวณคอขาดหายไป ดังที่มีเลขแสดงความถูกต้องเป็น II : 8/12 และ II : 11/12 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า S และ H ของภาพทั้งสองนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือ S มีค่า 0.97 และ 0.96 ตามลำดับ และ H มีค่า 27.89 และ 34.48 ตามลำดับ ซึ่งการวัดผลของภาพตัวอักษร "ต" และภาพสมองก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน

ตารางที่ 4 : ผลการวัดจากวิธีที่นำเสนอเทียบกับผลการวัดจาก S และ H ซึ่งเป็นวิธีวัดผลเชิงปริมาณในปัจจุบันของภาพที่ใช้ในการทดลอง

ชุดภาพ	รูปที่	เลขแสดง ความถูกต้อง	วิธีวัดผลเชิงปริมาณใน ปัจจุบัน	
			ค่า S	ค่า H
แมว	3 ก	II : 8/12	0.97	27.89
	3 ข	II : 11/12	0.96	34.48
"ต"	3 ค	II : 14/18	0.94	16.00
	3 ง	II : 17/18	0.95	20.59
สมอง	3 จ	II : 7/20	0.96	32.20
	3 ฉ	II : 16/20	0.97	31.30

แมว	3 ก	II : 8/12	0.97	27.89
	3 ข	II : 11/12	0.96	34.48
"ต"	3 ค	II : 14/18	0.94	16.00
	3 ง	II : 17/18	0.95	20.59
สมอง	3 จ	II : 7/20	0.96	32.20
	3 ฉ	II : 16/20	0.97	31.30

6. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีวัดผลที่มีชื่อว่า วิธีวัดความถูกต้องของการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้น โดยใช้ค่าน้ำหนัก ซึ่งเป็นวิธีวัดผลที่มีลักษณะผสมผสานระหว่างวิธีวัดผลเชิงคุณภาพและวิธีวัดผลเชิงปริมาณ โดยให้ผู้วัดเลือกวิธีวัดผลเชิงปริมาณที่ต้องการใช้ร่วมกับการที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นในการประเมินผลโดยเป็นผู้กำหนดน้ำหนักที่บอกความสำคัญของบริเวณย่อยได้เองด้วย นอกจากนี้ยังได้ออกแบบให้การวัดผลแบ่งเป็นหลาย

ระดับและวัดผลเป็นลำดับชั้น ซึ่งผู้วัดเป็นผู้กำหนดเกณฑ์ต่าง ๆ ขึ้น

แม้ว่าวิธีวัดผลที่นำเสนอจะมีลักษณะของวิธีวัดผลเชิงคุณภาพ แต่ผลการวัดที่ได้ก็ไม่ได้มีความแปรปรวนมากเท่ากับผลการวัดของวิธีวัดผลเชิงคุณภาพในปัจจุบัน กล่าวคือ ในวิธีวัดความถูกต้องสำหรับการแบ่งส่วนภาพแบบลำดับชั้นโดยใช้น้ำหนัก ถ้าผู้วัดกำหนดรายละเอียดโครงสร้างของการวัดเหมือนเดิม ผลการวัดของภาพเดียวกันจะเหมือนกันทุกครั้งที่ทำการวัดผล ในขณะที่การประเมินความถูกต้องตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญของวิธีวัดผลเชิงคุณภาพในปัจจุบันไม่ได้มีหลักการที่ชัดเจนแน่นอน ฉะนั้นผลการวัดของวิธีวัดผลเชิงคุณภาพอาจมีเปลี่ยนแปลงได้ ไม่เหมือนกันทุกครั้งที่ทำการวัดผล นอกจากนี้ แม้ว่าผู้วัดจะไม่ต้องกำหนดความสำคัญให้กับบริเวณย่อย วิธีวัดผลที่นำเสนอนี้ก็ยังสามารถวัดผลได้ดีกว่าวิธีวัดผลเชิงปริมาณที่มีในปัจจุบัน เนื่องจากให้ผลการวัดที่พิจารณาจากคุณลักษณะหลาย ๆ ประการของภาพ ในขณะที่วิธีวัดผลเชิงปริมาณในปัจจุบันจะพิจารณาคุณลักษณะของภาพแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ผู้วัดจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิธีวัดผลเชิงปริมาณ และการกำหนดค่าน้ำหนัก เพื่อให้สามารถใช้งานวิธีวัดผลที่นำเสนอให้ได้ตรงตามความต้องการมากที่สุด แต่จากผลการวัดของวิธีวัดผลที่นำเสนอนี้ยังไม่สามารถสื่อความหมายความถูกต้องได้ชัดเจนนัก จึงเป็นแนวทางให้ผู้วิจัยปรับปรุงและพัฒนาวิธีวัดผลที่นำเสนอต่อไป

7. รายงานอ้างอิง

- [1] W. Paiboonrattanakorn, N. Bandithwong, M. sangworasil, and P. Kusirivanitchakorn, "Three Planes Contour Technique for 3-D Medical Image Rendering", Proceedings of ISPACS'99, Phuket Thailand, volume (1): 681-684, 1999.
- [2] J. R. Smith and S. Chang, "Tools and Techniques for Color Image Retrieval", IS&T/SPIE Proceedings of Storage & Retrieval for Image and

Video Databases IV, volume(2670): 1-12, February, 1996.

- [3] นันทนา ชินรุ่งโรจน์ ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์ และนงลักษณ์ โควาวีสารัช, "การศึกษาเบื้องต้นวิธีการวัดผลความถูกต้องจากการแยกบริเวณ", การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 38 ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 40-48, 2542.
- [4] 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 Transaction on Medical Imaging, volume(13): 716-724, December, 1994.
- [5] ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์, "การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [6] Q. Huang and B. Dom, "Quantitative Methods of Evaluating Image Segmentation", Proceedings of International Conference on Image Processing, volume(3): 53-56, 1995.
- [7] V. Chalana and Y. Kim, "A Methodology for Evaluation of Boundary Detection Algorithms on Medical Images", IEEE Transaction on Medical Imaging, volume(16): 642-652, October 1997.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนันทนา อินรุ่งโรจน์ เกิดวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และยังสามารถนำเสนอผลงานวิจัยด้านการประมวลผลภาพในระดับชาติ ในปี พ.ศ. 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย