การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ

นาย ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-789-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 16986390

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SEGMENTATION OF MRI BRAIN IMAGES

MR. PANUSAK EAKAREESAK

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science
Department of Computer Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998
ISBN 974-331-789-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ
โดย	นาย ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ ทายาท ดีสุดจิต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ ทายาท ดีสุดจิต)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. บัณฑิต ทิพากร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์ : การพัฒนาวิธีการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติสำหรับภาพเอ็มอาร์ไอ
(DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SEGMENTATION OF MRI BRAIN IMAGES)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. นงลักษณ์ โควาวิสารัช , อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.นพ. ทายาท ดีสุดจิต,
118 หน้า. ISBN 974-331-789-9

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพดิจิตอลเพื่อการแยกบริเวณสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอแบบอัตโนมัติ ภาพเอ็มอาร์ไอต้นฉบับมีขนาด 256 x 256 จุดภาพที่ความละเอียด 16 บิต จำนวนประมาณ 60 ภาพต่อชุดภาพ จะถูกปรับให้มีความละเอียดลดลงเป็น 8 บิตต่อจุดภาพ แล้วนำไปประมวลผลด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่งโดยใช้ค่าขีดแบ่งซึ่งได้จากการวิเคราะห์ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยในภาพเอ็มอาร์ไอ ภาพขีดแบ่งที่ได้ซึ่งประกอบด้วยบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมองจะผ่านกระบวนการในการกำจัดบริเวณที่ไม่ใช่สมองออกก่อนที่จะนำไปตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมองเพื่อลดโอกาสในการที่บริเวณที่ไม่ใช่สมองจะถูกเลือกมาปรากฏในภาพผลลัพธ์ การกำจัดส่วนเกินที่ไม่ใช่สมองใช้การยุบตัว การตัดบริเวณที่ทราบแน่ชัดว่าไม่ใช่ส่วนของสมองทิ้งไป เช่น เนื้อเยื่อบริเวณลำคอ และการแยกรอยเชื่อมต่อระหว่างสมองกับบริเวณที่ไม่ใช่สมองจากกันโดยการใช้การยุบตัวด้วยแมสก์ขนาดต่าง ๆ กัน ในที่สุดภาพขีดแบ่งที่ผ่านกระบวนการทั้งหมดจะถูกนำมาตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณสมองโดยการพิจารณาร่วมกันภาพต่อภาพตามแนวความคิดที่ว่าสมองประกอบด้วยเนื้อเพียงชิ้นเดียว ดังนั้นพื้นที่ของสมองที่แยกได้ในภาพแผ่นหนึ่งก็ต้องเชื่อมต่อกับพื้นที่สมองที่แยกได้ในภาพแผ่นที่อยู่ติดกัน

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบกับชุดภาพที่เคยนำมาใช้ในระหว่างการวิจัย 1 ชุดและชุดภาพใหม่ที่ไม่เคยนำมาใช้อีก 6 ชุด การประเมินผลทำโดยผู้ที่มีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับภาพเอ็มอาร์ไอสมองโดยแบ่งเป็น 2 วิธีคือ การประเมินผลในภาพรวมและการประเมินผลโดยการคิดเป็นอัตราส่วนพื้นที่ของบริเวณสมองที่ขาดหรือเกินเทียบกับบริเวณสมองที่ถูกต้อง พบว่า การประเมินผลทั้งสองวิธีนี้ให้ผลออกมาสอดคล้องกัน โดยสามารถแยกบริเวณสมองได้ผลถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ปานกลางถึงดีจำนวน 3 ชุด และอยู่ในเกณฑ์ดีมากอีก 4 ชุด การแยกบริเวณสมองในภาพที่อยู่ในลำดับกลาง ๆ ของชุดภาพได้ผลถูกต้องมากกว่าเมื่อเทียบกับภาพที่อยู่ประมาณ 5 % ของลำดับต้น ๆ และ 5 % ของลำดับท้าย ๆ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นความผิดเพี้ยนซึ่งเกิดเพราะเครื่องถ่ายภาพเอ็มอาร์ไอเอง

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต ภาณุศักดิ์ เอกอารีศักดิ์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C818605 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEY WORD: SEGMENTATION / BRAIN / MRI
PANUSAK EAKAREESAK : DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SEGMENTATION OF MRI BRAIN IMAGES. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. TAYARD DESUDCHIT MD. 118 pp.
ISBN 974-331-789-9

The research objective is to study and to develop a digital image processing algorithm for segmenting brain region from MRI brain image set. The original MRI brain images, which are 256 x 256 pixels and 16-bit depth, are transformed to 8-bit depth. They are thresholded by some threshold values previously determined from their subarea histogram. The thresholded images, which consist of brain and non-brain regions, are then processed in such the ways to eliminate non-brain areas to reduce the chance that non-brain areas are misinterpreted and appear in the segmented result. The elimination of non-brain area using erosion and the newly developed algorithms to remove areas located below brain area and to separate the joining of brain and non-brain area using different erosion mask size. At final, all thresholded images with non-brain removed are verified for the connectivity of brain area by considering each adjacent image under assumption that brain is growth from one piece tissue so brain area appearing in an image must be connected to brain in the adjacent image.

In this research, the algorithm was tested with one dataset used during the researching period and with other 6 unseen datasets. The result evaluation was done by an MRI brain expert. The evaluation method can be classified into 2 categories: subjective evaluation and objective evaluation. With subjective evaluation, the expert evaluates global segmentation result based on his personal expertise. With objective evaluation, both the percentages of uncovered and excess areas are calculated compared to the correct brain area. The experimental results revealed that the evaluation results from both methods correspond to each other. Results from 3 out of 7 datasets were rated from fair to good while those from the rest were rated excellent. The segmented results of brain images from the middle positions of dataset were more acurate than those from the 5% from the beginning and 5% from the ending position of dataset which are known to be distorted images due to the characteristics of the MRI scanner itself.

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต ภณศักดิ์ เอกสิงห์ศักดิ์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เรียบเรียงเสร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สละเวลาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็น และแนวทางต่าง ๆ ในการค้นคว้าตลอดช่วงเวลาของการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์นายแพทย์ ทายาท ดีสุดจิต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมซึ่งท่านได้เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับงานวิจัยอีกทั้งท่านมีส่วนช่วยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ช่วยพิจารณาให้คำแนะนำ ตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามซึ่งสนับสนุนงานวิจัยและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ญ
สารบัญตาราง ..... ฏ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 7
1.4 ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ 7
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
2 ทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัย 9
2.1 คำศัพท์และความหมายเฉพาะ 9
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10
2.2.1 การกำหนดค่าขีดแบ่ง 10
2.2.2 การระบายบริเวณ 11
2.2.3 การยุบตัว 14
2.2.4 การทำให้บาง 17
2.2.5 เกาเซียนฟิลเตอร์ 21
3 การแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติ 24
3.1 แนวความคิดการแยกบริเวณสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอ 25
3.2 การศึกษาภาพเอ็มอาร์ไอ 25
3.2.1 ฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอ 26
3.2.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอและการปรากฏในฮีสโตแกรม 27
3.2.3 การศึกษาค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมอง 30
3.2.4 การวิเคราะห์ฮีสโตแกรมเพื่อจำแนกส่วนประกอบต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมอง 31
3.2.5 การศึกษาลักษณะของภาพเอ็มอาร์ไอในชุดภาพเดียวกัน 34
3.3 การใช้ฮีสโตแกรมเพื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของเนื้อสมอง 36

3.3.1 ฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย 37
3.3.2 ฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุด 41
3.3.3 การเตรียมฮีสโตแกรมสำหรับการวิเคราะห์ส่วนประกอบภาพเอ็มอาร์ไอสมอง 44
3.3.4 การหาส่วนประกอบที่ปรากฏในฮีสโตแกรม 45
3.3.5 ปัญหาที่พบเกี่ยวกับการหายอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม 47
3.3.6 การกำหนดชนิดของยอดที่พบในฮีสโตแกรม 49
3.3.7 การกำหนดค่าขีดแบ่งของเนื้อสมองจากยอดที่พบในฮีสโตแกรม 52
3.4 การแยกบริเวณสมองโดยใช้ค่าขีดแบ่งจากการวิเคราะห์ฮีสโตแกรม 54
3.4.1 การพบเนื้อเยื่อส่วนที่ไม่ต้องการในภาพขีดแบ่งและการแก้ปัญหา 54
3.4.2 แมสก์ของการยุบตัว 55
3.5 การตรวจสอบความต่อเนื่องและการเลือกสรรบริเวณที่เป็นสมอง 57
3.5.1 ปัญหาที่พบเกี่ยวกับการตรวจสอบความต่อเนื่องของบริเวณที่เป็นสมอง 60
3.5.2 การกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอ 61
3.5.3 การแยกรอยเชื่อมของบริเวณที่เป็นสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมอง 63
3.5.4 การปรับแก้ค่าความเข้มแสงของภาพในอันดับต้น ๆ และท้าย ๆ 65
4 ผลการวิจัย 69
4.1 คำจำกัดความที่ใช้ในการประเมินผล 69
4.2 การประเมินผลในภาพรวม 70
4.3 การประเมินผลเป็นเปอร์เซ็นค์ความถูกต้องของบริเวณสมอง 71
4.4 ผลการประเมินของชุดภาพเอ็มอาร์ไอ 72
1.1.1 ผลการประเมินในภาพรวม 73
4.4.2 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมอง 74
4.4.3 การเปรียบเทียบผลการประเมินในภาพรวมกับผลการประเมิน
เป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมอง 82
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 83
5.1 สรุปผลการวิจัย 83
5.2 ข้อจำกัดในการวิจัย 85
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป 85
รายการอ้างอิง 86
บรรณานุกรม 87
ภาคผนวก 88
ภาคผนวก ก 88
ภาพผนวก ข 89

ภาคผนวก ค 90
ภาคผนวก ง 104
ประวัติผู้วิจัย 118

สารบัญภาพ

รูปที่

1 ภาพเอ็มอาร์ไอซึ่งกำหนดพารามิเตอร์การถ่ายภาพ 3 แบบ 3
2 ภาพเอ็มอาร์ไอของสมองจำนวน 6 จาก 60 ภาพ 3
3 ภาพเอ็มอาร์ไอสมองและส่วนประกอบต่าง ๆ ของสมอง 4
4 ขั้นตอนวิธีการระบายบริเวณ 11
5 ขั้นตอนวิธีการระบายบริเวณซึ่งได้แก้ปัญหาเรื่องสแตก 14
6 การประมวลผลด้วยการยุบตัว 15
7 รูปร่างใน structure element ลักษณะต่าง ๆ 16
8 ขั้นตอนวิธีการยุบตัว 17
9 เส้นโครงร่างของบริเวณสี่เหลี่ยมผืนผ้าและวงกลม 17
10 การจัดเรียงตำแหน่งของจุดซึ่งใช้สำหรับการหาเส้นโครงร่าง 19
11 ผลในแต่ละขั้นของเทคนิคการทำให้บาง 20
12 ขั้นตอนวิธีการทำให้บาง 21
13 เส้นโค้งเกาส์ กำหนดค่า σ = 5 22
14 ลักษณะแมสก์ขอคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบบเกาเซียน 22
15 การใช้คอนโวลูชันฟิลเตอร์แบบเกาเซียน 23
16 แนวความคิดการแยกบริเวณสมอง 25
17 การอ้างอิงในฮีสโตแกรม 27
18 ฮีสโตแกรมของชุดภาพ E6475S4 28
19 ส่วนต่าง ๆ ในภาพเอ็มอาร์ไอสมอง 29
20 ส่วนต่าง ๆ ของภาพเอ็มอาร์ไอสมองภาพที่ 40 จากชุดภาพ E6270S2 แสดงบนฮีสโตแกรม 29
21 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมของภาพเอ็มอาร์ไอสมอง 32
22 จุดที่ดีที่สุดที่จะแบ่งแยกส่วนประกอบสองชนิดที่มีค่าความเข้มแสงคาบเกี่ยวกัน 33
23 ฮีสโตแกรมของภาพที่ 7 จากชุดภาพ E6475S4 ซึ่งแสดงกลุ่มของส่วนประกอบ csf, gray matter และ white matter ครบ 34
24 ภาพสองอันดับแรกและสองอันดับสุดท้ายจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอ 35
25 ภาพอันดับที่ 1-4-7-54-57-60 จากชุดภาพ E6270S2 35
26 ฮีสโตแกรมของภาพอันดับที่ 1-4-7-54-57-60 จากชุดภาพ E6270S2 36
27 บริเวณย่อยขนาด 64 x 64 จุดภาพในภาพเอ็มอาร์ไอขนาด 256 x 256 จุดภาพ 39
28 การสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยจากฮีสโตแกรมของแต่ละบริเวณย่อย 40

29 เปรียบเทียบฮีสโตแกรมปรกติและฮีสโตแกรมของบริเวณย่อยของชุดภาพ E4602S7 41
30 การปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมโดยใช้การเฉลี่ยค่า 3 จุด 42
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งในการปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดและความแปรปรวนของค่า d ในฮีสโตแกรมปรกติของภาพที่ 7 จากชุดภาพ E6270S2 44
32 การหายอดของส่วนประกอบในฮีสโตแกรม 45
33 การแก้ปัญหาเกี่ยวกับยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรม 48
34 ภาพขีดแบ่งที่สร้างจากภาพเอ็มอาร์ไอโดยวิธีกำหนดค่าขีดแบ่ง 54
35 แมสก์ของการยุบตัวขนาด 5x5 56
36 ภาพขีดแบ่งเมื่อประมวลผลด้วยวิธีการยุบตัว กำหนดขนาดเมสก์เป็น 5 x 5 56
37 ลำดับการประมวลผล 1 รอบ 58
38 การตรวจสอบความต่อเนื่อง 59
39 การพิจารณาบริเวณที่ทับซ้อนกัน 59
40 การกำจัดเนื้อเยื่อส่วนเกินบริเวณลำคอ 62
41 ขั้นตอนการประมวลผลเพื่อแยกรอยเชื่อมของบริเวณสมองและบริเวณที่ไม่ใช่สมอง 64
42 การปรับสเปกตรัมค่าความเข้มแสง 65
43 ภาพรวมกระบวนการแยกบริเวณสมองโดยอัตโนมัติ 67
44 การหาค่าขีดแบ่งของเนื้อสมอง 68
45 การแยกบริเวณด้วยการกำหนดค่าขีดแบ่ง 68
46 ภาพแสดงถึงเส้นขอบสมองของบริเวณส่วนขาดและบริเวณส่วนเกินที่ใช้ในการประเมินผล 69
47 การกำหนดบริเวณส่วนเกินและบริเวณส่วนขาดโดยผู้ประเมินผล 71

สารบัญตาราง

ตารางที่

1 การประเมินผลในภาพรวม 26
2 ค่าความเข้มแสงของส่วนประกอบต่าง ๆ ของสมอง 30
3 ผลของการกำหนดขนาดของบริเวณย่อยสำหรับการสร้างฮีสโตแกรมของบริเวณย่อย 37
4 ค่าจำนวนจุดของฮีสโตแกรมปรกติและฮีสโตแกรมที่ปรับเฉลี่ยค่าจำนวนจุดของชุดภาพเอ็มอาร์ไอ E5072 ภาพที่ 7 แสดงเฉพาะช่วงค่าความเข้มแสง 101 – 120 42
5 การตัดกันของ scan line และเส้นกราฟฮีสโตแกรม 46
6 สรุปลักษณะของยอดที่ปรากฏในฮีสโตแกรมจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างการวิจัย 49
7 เงื่อนไขการตรวจสอบเพื่อการกำหนดชนิดของยอดที่พบในฮีสโตแกรม 51
8 ผลเมื่อกำหนดขนาดของแมสก์การยุบตัวต่าง ๆ 55
9 เกณฑ์การประเมินผลในภาพรวม 70
10 รายละเอียดของชุดภาพที่ใช้ประเมินผล 72
11 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดสำหรับการแยกบริเวณสมอง 73
12 ผลการประเมินในภาพรวม 74
13 ความคิดเห็นของผู้ประเมินผล 74
14 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 1 75
15 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 1 จำแนกตามกลุ่ม 75
16 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 2 76
17 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 2 จำแนกตามกลุ่ม 76
18 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 3 77
19 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 3 จำแนกตามกลุ่ม 77
20 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 4 78
21 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 4 จำแนกตามกลุ่ม 78
22 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 5 79
23 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 5 จำแนกตามกลุ่ม 79
24 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 6 80
25 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 6 จำแนกตามกลุ่ม 80
26 ผลการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 7 81
27 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของบริเวณสมองของชุดภาพที่ 7 จำแนกตามกลุ่ม 81