วิธีการประมวลผลภาพดิจิตอลสำหรับการแบ่งส่วนที่เป็นสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอด้วยเทคนิคการใช้เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้

นายทศพล ธนะทิพานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-867-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19083725

A DIGITAL IMAGE PROCESSING APPROACH FOR MRI BRAIN SEGMENTATION BY DEFORMABLE CONTOUR TECHNIQUE

Mr. Thotsaphon Thanatipanonda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-867-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการประมวลผลภาพดิจิตอลสำหรับการแบ่งส่วนที่เป็นสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอด้วยเทคนิคการใช้เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้
โดย	นายทศพล ธนะทิพานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญชัย โสวรรณวณิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อาทิตย์ ทองทักษ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บัณฑิต ทิพากร)

ทศพล ธนะทิพานนท์ : วิธีการประมวลผลภาพดิจิตอลสำหรับการแบ่งส่วนที่เป็นสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอด้วยเทคนิคการใช้เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้ (A DIGITAL IMAGE PROCESSING APPROACH FOR MRI BRAIN SEGMENTATION BY DEFORMABLE CONTOUR TECHNIQUE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.นงลักษณ์ โควาวิสารัช, 120 หน้า. ISBN 974-333-867-5

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการใช้เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้ในการแบ่งส่วนบริเวณสมองจากชุดภาพเอ็มอาร์ไอ ในงานวิจัยนี้ได้มีการปรับปรุงวิธีการใช้เส้นแสดงรูปร่างใน 3 ลักษณะคือ การปรับปรุงโครงสร้างของเส้นแสดงรูปร่างให้สามารถแสดงรายละเอียดภายในได้ชัดเจนมากขึ้น การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบเส้นทางสั้นที่สุดภายในกราฟเพื่อให้พบผลลัพธ์ที่ดีขึ้น และการพัฒนาฟังก์ชันพลังงานโดยเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ของค่าระดับเทาของจุดภาพบนขอบกับจุดภาพนอกขอบของสมองจากภาพในลำดับที่กำหนดซึ่งผ่านการแบ่งส่วนที่เป็นสมองด้วยมือแล้วจำนวนหนึ่งภาพ ดังนั้นฟังก์ชันพลังงานจะมีความเหมาะสมมากขึ้นในการนำไปใช้แบ่งส่วนของภาพลำดับอื่น ๆ ในชุดภาพเดียวกัน

ขั้นตอนการแบ่งส่วนของชุดภาพชุดหนึ่งจะกระทำครั้งละหนึ่งภาพ เริ่มจากภาพในลำดับที่กำหนดซึ่งผ่านการแบ่งส่วนด้วยมือไว้แล้วไปทางด้านต้นจนถึงภาพในลำดับแรกและไปทางด้านท้ายจนถึงภาพในลำดับสุดท้ายของชุดภาพ การแบ่งส่วนในแต่ละภาพจะใช้ตัวกรองแบบ nonlinear anisotropic diffusion เพื่อทำให้บริเวณภายในสมองมีความกลมกลืนและบริเวณขอบสมองชัดเจนมากขึ้น จากนั้นจึงแบ่งส่วนโดยการใช้เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้ และสุดท้ายจึงกำจัดบริเวณที่ไม่ใช่สมองออกโดยการหาค่าขีดแบ่ง

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบวิธีการแบ่งส่วนกับชุดภาพ 2 ประเภทคือ ชุดภาพที่เกิดจากการสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยชุดภาพในระนาบขนานกับใบหน้าและในระนาบตั้งฉากกับแกนศีรษะอย่างละหนึ่งชุดภาพ และชุดภาพที่ได้มาจากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ซึ่งเป็นชุดภาพในระนาบขนานกับใบหน้าจำนวน 7 ชุดภาพ ในการประเมินผลกระทำใน 2 ลักษณะคือ การประเมินผลเชิงคุณภาพและการประเมินผลเชิงปริมาณ จากการประเมินผลเชิงคุณภาพพบว่าบริเวณส่วนที่เป็นสมองโดยรวมมีความถูกต้องสมบูรณ์ยกเว้นบางจุดภาพภายในบริเวณสมองที่ถูกกำจัดออกไป และสำหรับการประเมินผลเชิงปริมาณโดยการคำนวณด้วยค่า Similarity Index (S) พบว่าค่า S โดยเฉลี่ยจากทั้ง 7 ชุดภาพของชุดภาพประเภทที่สองมีค่าเป็น 0.953 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า S ที่คำนวณจากผลของการแบ่งส่วนด้วยมือ

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่อนิสิต** .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....
ปีการศึกษา	2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

THOTSAPHON THANATIPANONDA : A DIGITAL IMAGE PROCESSING APPROACH FOR MRI BRAIN SEGMENTATION BY DEFORMABLE CONTOUR TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH, 120 pp. ISBN 974-333-867-5

The purposes of this research are to study and to develop a brain segmentation algorithm for MRI data sets by using a deformable contour technique. In this research, deformable contour technique has been developed with concentrations on three different aspects. Firstly, coutour representation is defined in a way as to exhibit more details on the brain contour. Secondly, better results are achieved from the selected, Shortest Path, searching algorithm. Lastly, a more appropriate energy function is developed from the intensity relationship between the contour pixels and their outer neighbors, which is collected from one pre-segmented slide. Therefore, this energy function is more suitable for use in the segmentation of all slides in the same data set.

The proposed segmentation approach is done slide by slide in each MRI data set. The process starts at manually segmenting one selected slide for the training process. Automatic segmentation proceeds towards the first slide and also backward to the last slide. Each image slide is preprocessed by the nonlinear anisotropic diffusion technique so as to blur brain area and enhance brain edge. After that, the deformable contour technique is applied and results in a brain contour. Finally, non-brain areas are eliminated from a segmented region by thresholding.

The proposed approach has been tested with two types of data sets, synthetic and real. The synthetic data set consists of one coronal plane and one axial plane data sets. The real MRI data set obtained from Chulalongkorn Hospital consists of seven coronal plane data sets. This research uses two types of evaluation methods: qualitative and quantitative methods. For the qualitative evaluation, it has been found that overall brain area has been segmented correctly, except that a few pixels in the internal brain area are eliminated. For the quantitative evaluation calculated by Similarity Index (S), the average S of all seven real data sets is 0.953, which is close to the S from manual segmentation.

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่อนิสิต** .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....
ปีการศึกษา	2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำ เสนอแนะข้อคิดเห็นและแนวทางในการค้นคว้าตลอดมาทั้งในช่วงที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่ในระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตและในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผศ. นพ.ทายาท ดีสุดจิต และโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ที่ได้เอื้อเฟื้อชุดภาพ MRI เพื่อนำมาใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานในห้องปฏิบัติการ CGCI ทุกท่าน โดยเฉพาะน้องนันทนา ธินรุ่งโรจน์ และพี่อุรีรัฐ วัฒนชนม์ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมาในระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์ชัชวาล วงศ์ศิริประเสริฐที่ให้คำแนะนำสำหรับเทคนิคและวิธีการที่ถูกต้องในด้านการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ดูแลความเป็นอยู่ในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งส่งเสริมให้การศึกษาอย่างต่อเนื่องให้กับผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.3 ขอบเขตการวิจัย 5

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ 7

2.2 การแบ่งกลุ่มตามบริเวณและค่าระดับเทา 9

2.3 การใช้เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้ 10

2.4 แนวทางการแบ่งส่วนสมองจากภาพเอ็มอาร์ไอโดยรวม 14

3 ทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัย

3.1 หลักการทำงานของเครื่องเอ็มอาร์ไอ 16

3.2 ลักษณะภาพสมอง 20

3.3 ตัวกรองสัญญาณแบบ Nonlinear Anisotropic Diffusion 22

3.4 เส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้ 27

3.5 วิธีการค้นหาเส้นทางสั้นที่สุดภายในกราฟ 30

3.6 Similarity Index 32

4 การออกแบบกระบวนการแบ่งส่วนที่เป็นสมอง

4.1 รายละเอียดของเส้นแสดงรูปร่างที่ปรับเปลี่ยนได้ 34

4.2 ขั้นตอนการแบ่งส่วน 42

5 การทดลองและผลลัพธ์

5.1 การทดลอง 57

5.2 ผลการทดลอง 60

5.3 การประเมินผลการทดลอง 79

5.4 การวิเคราะห์ผล 90

6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย 93

6.2 ข้อเสนอแนะ 94

รายการอ้างอิง 95

ภาพผนวก 98

ประวัติผู้วิจัย 120

สารบัญตาราง

ตารางที่

1 รายละเอียดในการสังเคราะห์ภาพเอ็มอาร์ไอ 57
2 รายละเอียดในการถ่ายภาพเอ็มอาร์ไอ 58
3 รายละเอียดของแต่ละชุดภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง 59
4 ค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการแบ่งส่วนที่ใช้ในการทดลอง 60
5 ผลการประเมินของชุดภาพ E5674s3 80
6 ผลการประเมินของชุดภาพ E5774s3 81
7 ผลการประเมินของชุดภาพ E6430s4 82
8 ผลการประเมินของชุดภาพ E6474s3 83
9 ผลการประเมินของชุดภาพ E6520s5 84
10 ผลการประเมินของชุดภาพ E7156s4 85
11 ผลการประเมินของชุดภาพ E8171s4 86
12 สรุปผลการประเมินของชุดภาพทั้งหมด 89

สารบัญภาพ

รูปที่

1 ภาพเอ็มอาร์ไอแสดงเส้นขอบบริเวณส่วนเนื้อเยื่อสมอง 4
2 ฮิสโตแกรมของค่าระดับเทา บริเวณเส้นขอบด้านซ้าย (สีเทา) และด้านขวา (สีดำ) ของสมอง 4
3 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสนามแม่เหล็กกับการกำหนดระบบพิกัด 18
4 ขั้นตอนในการสร้างภาพในแนวต่าง ๆ ของเครื่องเอ็มอาร์ไอ 19
5 ตัวอย่างภาพเอ็มอาร์ไอของสมองที่ได้จากวิธีการวัดต่าง ๆ กัน 20
6 รายละเอียดของภาพสมองเอ็มอาร์ไอในลักษณะ T1 21
7 ฟังก์ชันการแพร่ที่แปรผันตามค่าความแตกต่างระดับเทา 23
8 ฟังก์ชันการไหลที่แปรผันตามค่าความแตกต่างระดับเทา 24
9 จุดเพื่อนบ้านที่ใช้ในการค้นหาเส้นแสดงรูปร่างผลลัพธ์ 29
10 กรณีตัวอย่างแสดงความสำคัญของตำแหน่งและขนาดที่มีผลต่อค่า S 33
11 รายละเอียดบริเวณขอบภาพที่เกิดขึ้นจากเส้นแสดงรูปร่าง 35
12 ขั้นตอนการหาขอบภาพโดยการใช้เทคนิคซึ่งเกี่ยวข้องกับทฤษฎีกราฟ 37
13 ภาพเอ็มอาร์ไอของสมองต้นฉบับและภาพที่ผ่านการแบ่งส่วนด้วยมือแล้ว 39
14 ตัวอย่างข้อมูลความถี่ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับเทาของจุดภาพบนเส้นแสดงรูปร่างและจุดภาพภายนอกที่อยู่ติดกัน 39
15 ตัวอย่างข้อมูลความถี่ของความแตกต่างระหว่างค่าระดับเทาของจุดภาพบนเส้นแสดงรูปร่างและจุดภาพภายนอกที่อยู่ติดกัน 40
16 ขั้นตอนการหาค่าพลังงานจากฟังก์ชันพลังงาน 40
17 จำนวนจุดที่ใช้ในการหาเวกเตอร์ที่ขนานกับขอบของสมอง 41
18 ขั้นตอนการแบ่งส่วนของภาพตลอดทั้งชุดภาพ 43
19 ลำดับการแบ่งส่วนของสไลด์ในแต่ละชุดภาพ 44
20 ตัวอย่างภาพลักษณะสมองที่มีความซับซ้อนแตกต่างกันในสไลด์ลำดับต่าง ๆ 44
21 ขั้นตอนการแบ่งส่วนในแต่ละภาพ 45
22 ตัวอย่างภาพเอ็มอาร์ไอต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรอง 2 มิติ 46
23 ภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรอง 2 มิติซึ่งมีจำนวนรอบ 0 5 12 25 50 และ 100 รอบตามลำดับ 47
24 ภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรอง 2 มิติซึ่งมีค่า K เป็น 4 8 16 32 และ 64 ตามลำดับ 49
25 ขั้นตอนย่อยในการแบ่งส่วนบริเวณสมอง 52

รูปที่

26 การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการค้นหา 53

27 ขอบเขตการค้นหาที่เล็กเกินไปเนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากระยะห่างตามจำนวนจุดของเส้นแสดงรูปร่าง 54

28 ส่วนของเส้นแสดงรูปร่างซึ่งผิดพลาดเนื่องจากระยะห่างของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดใกล้กันมากเกินไป 54

29 ส่วนของเส้นแสดงรูปร่างซึ่งผิดพลาดเนื่องจากระยะห่างของจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดไกลกันมากเกินไป 54

30 ขอบเขตด้านยาวและด้านสั้นที่เพิ่มเติมขึ้นจากขอบเขตเดิม 55

31 ภาพเอ็มอาร์ไอและฮิสโตแกรมของขอบรอบนอกสมอง 56

32 ตัวอย่างภาพสมองที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E5674s3 59

33 ตัวอย่างภาพสมองที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6430s4 59

34 ชุดภาพต้นฉบับในระนาบตั้งฉากกับแกนศีรษะที่ได้จากการสังเคราะห์ 61

35 ชุดภาพผลลัพธ์ในระนาบตั้งฉากกับแกนศีรษะที่ได้จากการสังเคราะห์ 62

36 ชุดภาพต้นฉบับในระนาบขนานกับใบหน้าที่ได้จากการสังเคราะห์ 63

37 ชุดภาพผลลัพธ์ในระนาบขนานกับใบหน้าที่ได้จากการสังเคราะห์ 64

38 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E5674s3 65

39 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E5674s3 66

40 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E5774s3 67

41 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E5774s3 68

42 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6430s4 69

43 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6430s4 70

44 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6474s3 71

45 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6474s3 72

46 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6520s5 73

47 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E6520s5 74

48 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E7156s4 75

49 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E7156s4 76

50 ชุดภาพต้นฉบับที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E8171s4 77

51 ชุดภาพผลลัพธ์ที่ได้จากโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ในชุดภาพหมายเลข E8171s4 78

52 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E5674s3 87

รูปที่

53 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E5774s3 87
54 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E6430s4 87
55 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E6474s3 88
56 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E6520s5 88
57 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E7156s4 88
58 กราฟแสดงผลการประเมินของชุดภาพ E8171s4 89