

การแบ่งส่วนภาพสี่โดยใช้แฉีกทิฟคอนทัวร์สำหรับภาพทางทัศนกรรม



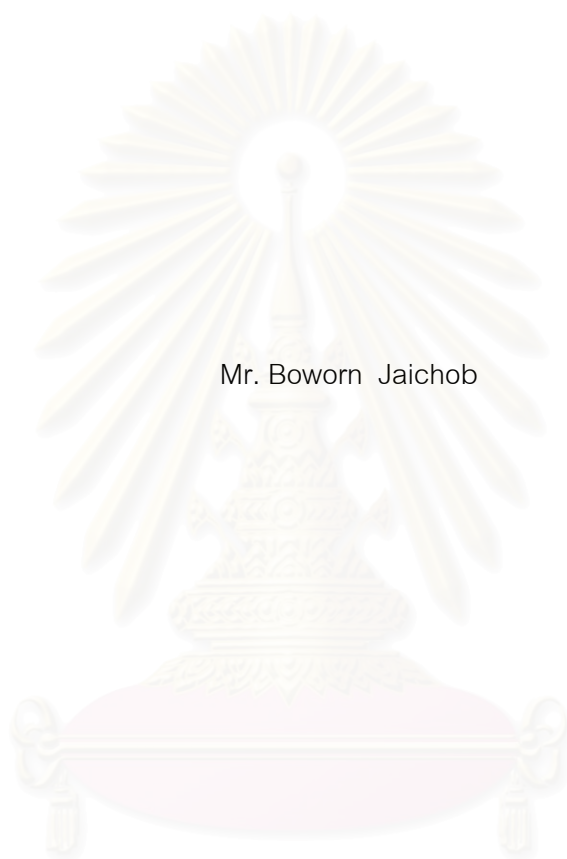
นายบวร ใจชอบ

สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COLOR IMAGE SEGMENTATION USING ACTIVE CONTOUR FOR DENTAL IMAGES



Mr. Boworn Jaichob

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแบ่งส่วนภาพสี่โดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์

สำหรับภาพทางทันตกรรม

โดย

นายบวร ใจชอบ

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

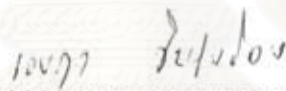
อาจารย์ที่ปรึกษา

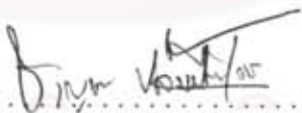
อาจารย์ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทญ.ดร.อรพันธ์ แก้วปลั่ง)

สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บวร ไชยอบ : การแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้แอ็กทีฟคอนทัวร์สำหรับภาพทางทันตกรรม (COLOR IMAGE SEGMENTATION USING ACTIVE CONTOUR FOR DENTAL IMAGES) อ.ที่ปรึกษา: อ.ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช, 66 หน้า.

ในปัจจุบันผู้คนจำนวนมากให้ความสนใจการรักษาทางทันตกรรม โดยเฉพาะความสวยงามทางทันตกรรมกันมากขึ้น แต่ขณะที่ทันตแพทย์อธิบายการรักษา ผู้ป่วยอาจไม่เข้าใจถึงผลการรักษาได้ชัดเจนนัก เพื่อให้คนไข้เห็นผลการรักษาที่เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น จึงมีความจำเป็นในการออกแบบซอฟต์แวร์ที่สามารถจำลองภาพดิจิทัลของใบหน้าผู้ป่วยหลังการรักษาได้ การแบ่งส่วนภาพฟันออกจากใบหน้า เป็นขั้นตอนแรก และขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบซอฟต์แวร์นี้ วิธีการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพ และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายคือ วิธีการแบ่งส่วนภาพด้วยแอ็กทีฟคอนทัวร์ แต่ปัจจุบันมักใช้ในการแบ่งส่วนภาพเฉดสีเทาเท่านั้น วิทยานิพนธ์นี้ได้ริเริ่มนำแอ็กทีฟคอนทัวร์มาใช้กับภาพสีเพื่อแบ่งส่วนฟันหน้าบน 6 ซี่ โดยภาพสีนั้นจะผ่านการแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ แล้วจึงนำภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบของฟันหน้าบน 6 ซี่ที่ได้มาแบ่งส่วนโดยใช้แอ็กทีฟคอนทัวร์ บทความนี้ยังนำเสนอวิธีการแบ่งส่วนภาพฟันแต่ละซี่ที่ยังติดกันอยู่ ด้วยวิธีการหาแอ่งที่เป็นช่องว่างจากฉายกราฟลงบนแกน x ระเบียบวิธีเหล่านี้ได้รวมอยู่ในซอฟต์แวร์เพื่อการตกแต่งฟัน ซึ่งทันตแพทย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานตามดุลพินิจต่อไป

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนิสิต ZAS ไชยอบ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Bun Vithayak*

4870355121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : ACTIVE CONTOUR WITHOUT EDGE / ANGULAR COLOR MAP / X-XIS
PROJECTION / SNAKES

BOWORN JAICHOB : COLOR IMAGE SEGMENTATION USING ACTIVE
CONTOUR FOR DENTAL IMAGES. THESIS ADVISOR : CHARNCHAI
PLUEMPITIWIRIYAWAJ, Ph.D., 66 pp.

Nowadays, more and more people are concerned about their dental health, particularly esthetic in dentistry. While the dentist explains the treatment plan, the patients may not have a clear idea about the result from the treatment. To make it more tangible and easier for the patients to understand the eventual outcome, it's necessary to design a software that can show the final adjustment of the patients' teeth on their own faces. The first and most important process of this design is to segment the upper anterior teeth out of the color face images. One quite effective and popular algorithm is active contour. In this thesis, we introduce active contour to segment 6 upper anterior teeth in color images, which are transformed using edge emphasized angular mapping. Finally, we also propose an algorithm to separate each of the 6 adjacent upper anterior teeth using gap valley detection of the image's x-axis projection. The algorithms are included in the software and can be used by the dentists for further esthetic treatments.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Electrical Engineering..... Student's signature..... *Boworn Jaichob*
Field of study..... Electrical Engineering..... Advisor's signature..... *Charnchai Pluempitwiriyawaj*
Academic year..... 2007.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันมีค่าให้แก่ผู้วิจัย เป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณทุนจากโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนาที่ช่วยสนับสนุนในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ และให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง และทำที่สุดขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดมา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์	4
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ภาพสี.....	6
2.1.1 แบบจำลองสี แดง เขียว น้ำเงิน	6
2.2 การแปลงภาพเชิงมุม	7
2.3 แอ็กทิฟคอนทัวร์.....	9
2.3.1 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม.....	9
2.3.2 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบ	12
2.3.2.1 เซตระดับ	14
2.3.2.2 การทำให้ F_c มีค่าน้อยที่สุด.....	17
2.3.3 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบสี	18
2.3.3.1 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบ 3-Channel Model	18
2.3.3.2 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้การแปลงภาพเชิงมุม	19
2.3.4 แอ็กทิฟคอนทัวร์สำหรับการแบ่งส่วนภาพที่มีลายผิว.....	19
2.3.4.1 ตัวกรองกาบอร์	19
2.4 หลักเกณฑ์ในการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ	21
2.4.1 ความคล้ายเชิงพื้นที่	21
2.4.2 ความคล้ายเชิงรูปร่าง	22

บทที่ 3 ระเบียบวิธีที่นำเสนอ	25
3.1 การแบ่งส่วนภาพพินด้วยแอมัลทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม	25
3.2 การแบ่งส่วนภาพพินด้วยแอมัลทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ	29
3.2.1 การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นในการแบ่งส่วนภาพพิน	29
3.2.1.1 การกำหนดค่า ϕ เริ่มต้นเป็นคอนทัวร์วงเดียว	29
3.2.1.2 การกำหนดค่า ϕ เริ่มต้นเป็นคอนทัวร์หลายวง	30
3.3 ภาพพินสี	31
3.4 การแบ่งส่วนภาพพินสีด้วยแอมัลทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ	33
3.4.1 แบ่งส่วนภาพพินสีแบบ 3-Channel	33
3.4.2 แบ่งส่วนภาพพินสีโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม	35
3.4.3 การแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ	39
3.5 การแยกสีพิน	40
3.5.1 โดยการใช้ตัวกรองกาบอร์	40
3.5.2 การแยกสีพินโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่าง	41
บทที่ 4 การทดลอง	43
4.1 การทดลองแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ	43
4.2 การทดลองการแยกสีพิน	46
4.2.1 โดยการใช้ตัวกรองกาบอร์	46
4.2.2 การแยกสีพินโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่าง	47
4.3 การทดลองแบ่งส่วนภาพพิน	48
4.4 การทดลองตัดตกแต่งพินด้วยซอฟต์แวร์	48
บทที่ 5 บทสรุป	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.1.1 ข้อดีของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ และ การแยกสีพินโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x	54
5.1.2 ข้อดีของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ และ การแยกสีพินโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54

รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก พิสูจน์สมการสุดท้ายของแอดิทิฟคอนทิวรัแบบไม่ใช่ขอบ	
จากการทำให้ $F_{\mathcal{E}}$ มีค่าน้อยที่สุด	58
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	66



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แบบจำลองที่ได้จากการพิมพ์ปาก.....	1
รูปที่ 1.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตัดต่อ และตกแต่งภาพดิจิทัลของฟัน	3
รูปที่ 2.1 แผนภาพเค้าร่างของลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน.....	6
รูปที่ 2.2 ลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน แบบ 24 บิต.....	7
รูปที่ 2.3 เวกเตอร์ของสีอ้างอิง v_{ref} ซึ่งทำมุม α กับเวกเตอร์ของจุดสีใดๆ $v_{(x,y)}$ ในปริภูมิ 3 มิติ RGB.....	7
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม α กับการแปลงเชิงมุม θ	8
รูปที่ 2.5 พิจารณาทุกกรณีที่เป็นไปได้ของอาณาบริเวณในแต่ละตำแหน่งของคอนทัวร์.....	13
รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันเซตระดับ.....	14
รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันเฮฟวีไซด์ H และฟังก์ชันเดลต้า δ_0	17
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่.....	21
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง.....	23
รูปที่ 3.1 ผลของการแบ่งส่วนภาพฟันจากการกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นที่ไม่เหมาะสม.....	25
รูปที่ 3.2 ผลของการแบ่งส่วนภาพแบบจำลองที่มีสัญญาณรบกวนในภาพ	26
รูปที่ 3.3 ผลของการแบ่งส่วนภาพแบบจำลองที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่ผ่านเกาส์เซียนแล้ว	27
รูปที่ 3.4 ผลของการแบ่งส่วนภาพของฟันที่ผ่านการคอนโวลูชันกับเกาส์เซียน.....	28
รูปที่ 3.5 ภาพของฟังก์ชันเซตระดับ ϕ เริ่มต้น.....	30
รูปที่ 3.6 การแบ่งส่วนภาพฟันแบบเจดสีเทาด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ โดยใช้คอนทัวร์หลายวง.....	31
รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบภาพฟันสีกับภาพฟันแบบเจดสีเทา.....	32
รูปที่ 3.8 แสดงองค์ประกอบสีของภาพฟันสีในรูปที่ 3.7(ก).....	32
รูปที่ 3.9 แสดงข้อมูลของภาพสี 1 ภาพซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบของสี 3 สี.....	33
รูปที่ 3.10 ผลการแบ่งส่วนภาพสีจำลองด้วยแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ.....	33
รูปที่ 3.11 การแบ่งส่วนภาพฟันสีแบบ 3-Channel ด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ	34
รูปที่ 3.12 กราฟสามมิติของการแปลงภาพเชิงมุมจากภาพสีจำลอง.....	35
รูปที่ 3.13 การแบ่งส่วนภาพสีจำลองด้วยแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ	36
รูปที่ 3.14 รูปฟันซึ่งเกิดจากการแปลงภาพเชิงมุม และกราฟสามมิติของภาพเชิงมุม.....	37

รูปที่ 3.15 การแบ่งส่วนภาพพื้นที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ ด้วยวิธีแอกทิฟคอน
 ทวีร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง..... 38

รูปที่ 3.16 การแบ่งส่วนภาพพื้นที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ ด้วยวิธีแอกทิฟคอน
 ทวีร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง..... 38

รูปที่ 3.17 ภาพของตัวแปรในสมการ (3.3) 40

รูปที่ 3.18 ตัวกรองกาบอร์ และภาพเฉดสีเทาของพื้น u_0 ที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ 41

รูปที่ 3.19 กราฟของหน้าต่างแฮมมิง 42

รูปที่ 3.20 กราฟการฉายลงบนแกน x ของ และเส้นซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดต่ำสุด
 ของแอ่งในกราฟในภาพพื้น 42

รูปที่ 4.1 การแบ่งส่วนภาพพื้นที่ด้วยวิธีแอกทิฟคอนทวีร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวงที่
 ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ และค่า τ ตั้งแต่ 0 ถึง 1
 แล้วนำไปเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ S_{area} และรูปร่าง S_{shape} 43

รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก τ ระหว่างความคล้ายเชิงพื้นที่ S_{area}
 และความคล้ายเชิงรูปร่าง S_{shape} 45

รูปที่ 4.3 การแบ่งส่วนภาพพื้นที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ด้วยวิธีแอกทิฟคอนทวีร์แบบไม่ใช้ขอบ..... 46

รูปที่ 4.4 ผลการแยกซีฟนวิธีกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแอ่งที่เป็นช่องว่าง 47

รูปที่ 4.5 ผลการแบ่งส่วนภาพพื้นที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ ด้วยวิธีแอกทิฟ
 คอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง พร้อมกับแสดงเส้นแบ่งซีฟน 48

รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของตา ปลายพินตัดหน้าบน และพินเขี้ยว เพื่อกำหนดรูปแบบ
 ของกริดที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงในการจัดพินของซอฟต์แวร์ 49

รูปที่ 4.7 แสดงกริดที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงในการจัดพิน 49

รูปที่ 4.8 การแบ่งส่วนพินตัดหน้าบนทั้ง 6 ซี่แบบอัตโนมัติ 50

รูปที่ 4.9 ภาพการแบ่งส่วนพินตัดหน้าบนทั้ง 6 ซี่ที่ตัด และเพิ่มขอบเขตที่ไม่ต้องการออก
 เพื่อนำไปจัด และตกแต่งภาพพินต่อไป 51

รูปที่ 4.10 แสดงภาพพินที่ได้ตกแต่งพินตามกริดที่กำหนดขึ้นแล้ว 51

รูปที่ 4.11 แสดงภาพเปรียบเทียบหน้าของคนที่ใช้ก่อน และหลังการจัดตกแต่งพิน 52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและเหตุผล

ปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจการดูแลรักษาทางทันตกรรมเพื่อความสวยงามกันมากขึ้น เนื่องจากส่งผลต่อบุคลิกภาพทั้งทางด้านสังคม และจิตใจ แต่ในการปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปร่าง และลักษณะของซี่ฟัน ทันตแพทย์จะใช้แบบจำลอง (Study Model) ดังรูปที่ 1.1 ที่ได้จากการพิมพ์ปากของผู้ป่วย แล้วอธิบายให้ผู้ป่วยฟัง ในบางครั้งคำอธิบายของทันตแพทย์อาจยังไม่ชัดเจน หรือผู้ป่วย และทันตแพทย์อาจจะเข้าใจไม่ตรงกัน เนื่องจากผู้ป่วยยังไม่เห็นภาพจริงของฟันชุดใหม่บนใบหน้าตน เพื่อให้การอธิบายให้ผู้ป่วยได้เข้าใจถึงผลการรักษาให้เห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการตัดต่อ และตกแต่งภาพดิจิทัลของฟัน เพื่อแสดงภาพจำลองของใบหน้าที่ยิ้มเห็นฟัน หลังการตกแต่งซี่ฟันทำให้ผู้ป่วยสามารถตัดสินใจรับการรักษาได้อย่างมั่นใจมากยิ่งขึ้น ในการออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก และรวดเร็ว ขั้นตอนแรกที่สำคัญที่สุดคือ การแบ่งส่วนฟันออกจากภาพ



รูปที่ 1.1 แบบจำลอง (Study Model) ที่ได้จากการพิมพ์ปาก

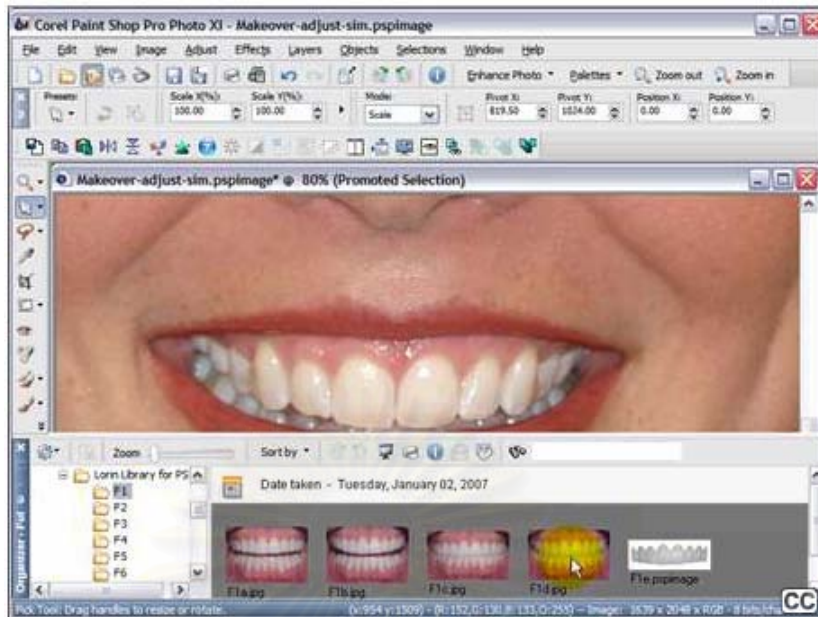
การแบ่งส่วนภาพฟันในที่นี้หมายถึง การแบ่งส่วนภาพฟันออกจากภาพใบหน้า ซึ่งภาพใบหน้าที่นำมาแบ่งส่วนฟันนั้น เป็นใบหน้าตรง และมีรอยยิ้ม ที่เห็นส่วนของฟันได้อย่างชัดเจน แต่การแบ่งส่วนภาพด้วยมือโดยใช้สายตาของผู้แบ่งส่วนนั้น อาจทำได้ช้า และไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีการนำเสนอวิธีการแบ่งส่วนภาพฟันจากใบหน้าแบบอัตโนมัติขึ้น เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

วิธีการที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) ที่นิยมใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน คือ วิธี แอ็กทิฟคอนทัวร์ (Active Contours) หรือสเนก (Snakes) โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับแอ็กทิฟคอนทัวร์มากมาย เช่น วิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ หรือเกรเดียนต์ของภาพ (Gradient-Base) [1] วิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ [2] หรือใช้อาณาบริเวณวัตถุ (Region-Based) [3] และใช้เซตระดับ (Level sets) [4] ซึ่งแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบที่ไม่ใช้เซตระดับนั้น การกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์นั้นสำคัญมาก เพราะอาจทำให้คอนทัวร์รวมกันเป็นจุดเดียวกันได้ อย่างไรก็ตามแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้มักพูดถึงเฉพาะการแบ่งส่วนภาพเฉดสีเทา (gray scale image) เท่านั้น

การแบ่งส่วนภาพพื้นซึ่งเป็นภาพสีออกจากใบหน้า คือการแบ่งส่วนภาพโดยการนำองค์ประกอบของแต่ละสี มาใช้ในการแบ่งส่วนภาพพื้น ซึ่งการพิจารณาองค์ประกอบของแต่ละสีนั้นสามารถช่วยให้การแบ่งส่วนทำได้ดีกว่าการแบ่งส่วนภาพเฉดสีเทา เพราะมีข้อมูลมากกว่า และภาพสีนั้นมีส่วนของเหงือกและริมฝีปากซึ่งมีสีแดงชัดเจน และเป็นลักษณะเด่นบนใบหน้าซึ่งต่างจากภาพแบบเฉดสีเทาที่มีความแตกต่างของเหงือก และฟันบนใบหน้า เพียงเล็กน้อย การแบ่งส่วนภาพพื้นในภาพเฉดสีเทาจึงไม่มีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากขาดรายละเอียดของสีไป บทความนี้ได้นำเสนอ การแปลงภาพเชิงมุม (Angular Mapping) [5] เข้ามาใช้ร่วมกับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบเพื่อการแบ่งส่วนภาพสี โดยเฉพาะการแบ่งส่วนพื้นออกจากใบหน้า เพื่อใช้ในซอฟต์แวร์ช่วยในการตกแต่งภาพพื้น

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตัดต่อ และตกแต่งภาพดิจิทัลของฟัน ดังรูปที่ 1.2 ปัจจุบัน [6] ได้สร้างโปรแกรมนี้ขึ้นมาแต่เป็นเพียงการนำชุดฟันมาตรฐานทั้งหมดมาใส่ให้ผู้ป่วย จริงๆ แล้วการรักษาต้องทำการบูรณะฟันทั้งชุดซึ่งอาจไม่จำเป็นเพราะผู้ป่วยอาจไม่ต้องการ การรักษาตกแต่งฟันเฉพาะซี่ที่มีปัญหา หรือไม่สวายนั่นจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น อีกทั้งโปรแกรมนี้ยังใช้การแบ่งส่วนพื้นด้วยมือซึ่งเป็นแบบไม่อัตโนมัติอยู่ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้จัดทำซอฟต์แวร์ที่สามารถตัดต่อ และตกแต่งฟันเฉพาะซี่ได้ แล้วยังมีการแบ่งส่วนพื้นแบบอัตโนมัติแบบอัตโนมัติอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตัดต่อ และตกแต่งภาพดิจิทัลของฟัน (ก) ภาพของซอฟต์แวร์ที่กำลังเลือกชุดฟัน (ข) ภาพของซอฟต์แวร์เปรียบเทียบก่อน(ซ้าย) และหลัง(ขวา) การใส่ชุดฟันมาตรฐานฟันแทนฟันชุดเดิม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการแบ่งส่วนภาพสี (Color Image Segmentation) โดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ
2. เพื่อศึกษาวิธีการกำหนดตำแหน่งคอนทัวร์เริ่มต้น โดยใช้เซตระดับ (Level sets)
3. เพื่อพัฒนาวิธีแบ่งส่วนภาพพื้นด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ (Active Contours Without Edges)
4. เพื่อศึกษาการแบ่งส่วนภาพสีในองค์ประกอบของเฉดสี แดง เขียว น้ำเงิน (RGB component)
5. เพื่อพัฒนาวิธีแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้ การแปลงภาพเชิงมุม (Angular Mapping)
6. เพื่อศึกษาการแบ่งส่วนภาพที่มีลายผิว (Texture) โดยใช้ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter)
7. เพื่อพัฒนาวิธีแบ่งส่วนพื้นสีหน้าบน 6 สี ออกมาเป็นสีๆ

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. แบ่งส่วนภาพพื้นสีหน้าบน 6 สีด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ
2. แบ่งส่วนภาพพื้นสีหน้าบน 6 สีด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบสี
3. กำหนดตำแหน่งคอนทัวร์เริ่มต้น โดยใช้เซตระดับ
4. แบ่งส่วนภาพสีในองค์ประกอบของเฉดสี แดง เขียว น้ำเงิน
5. แบ่งส่วนภาพพื้นสีหน้าบน 6 สีออกมาเป็นสีๆ

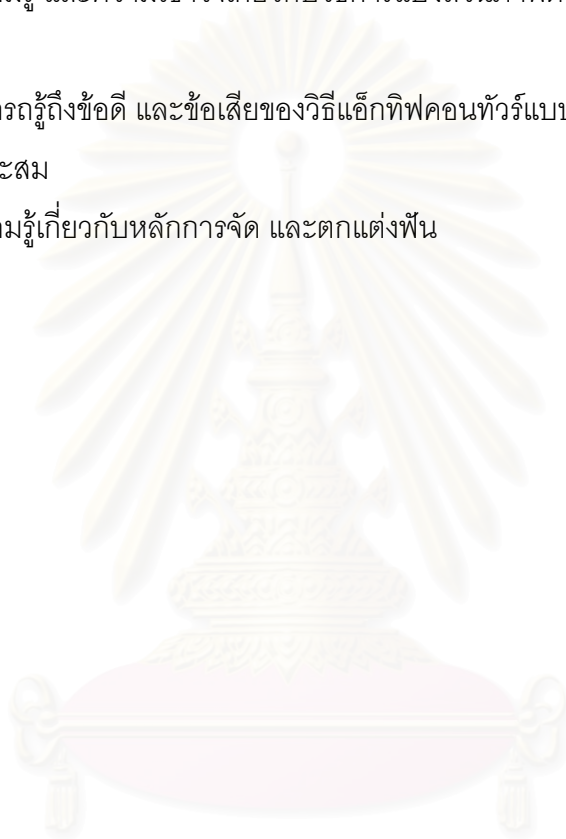
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษา และทดลองวิธีการแบ่งส่วนภาพโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ
2. ศึกษา และทดลองวิธีการกำหนดตำแหน่งคอนทัวร์เริ่มต้น โดยใช้เซตระดับ
3. ศึกษา และทดลองการแบ่งส่วนภาพพื้นโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ
4. ศึกษา และทดลองวิธีการแบ่งส่วนภาพสีแบบ 3-Channel โดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ
5. ศึกษา และทดลองวิธีการแบ่งส่วนภาพสีแบบการแปลงภาพเชิงมุม โดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ
6. ศึกษา และทดลองการแบ่งส่วนพื้นสีหน้าบน 6 สีออกเป็นสีๆ โดยใช้ตัวกรองกาบอร์
7. ศึกษา และทดลองการแบ่งส่วนพื้นสีหน้าบน 6 สีออกเป็นสีๆ โดยใช้กราฟการฉายลงบนแกน x ของภาพพื้น

8. นำภาพพื้นหน้าบน 6 ซี่ที่ได้จากการแบ่งส่วนออกเป็นซี่ๆ ไปตกแต่งพื้นด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเอง
9. รวบรวม และสรุปผลการวิจัย เพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงหลักการ และองค์ประกอบของภาพดิจิทัลสี
2. มีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ
3. สามารถรู้ถึงข้อดี และข้อเสียของวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบต่างๆ เพื่อที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสม
4. มีความรู้เกี่ยวกับหลักการจัด และตกแต่งพื้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

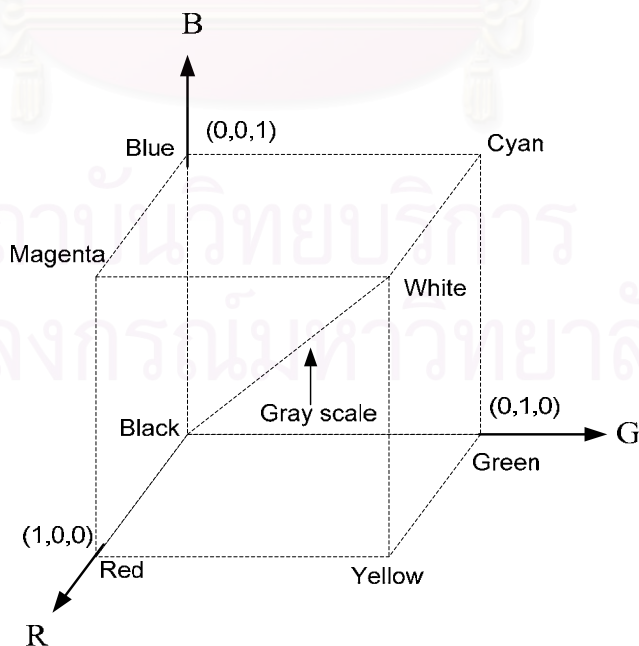
2.1 ภาพสี

การก่อให้เกิดกระบวนการทางภาพสีนั้นมีด้วยกัน 2 ปัจจัยหลัก คือ

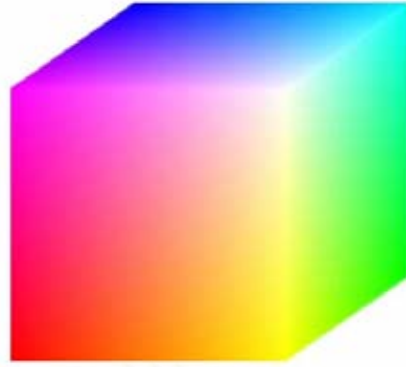
1. ภาพสีนั้นมีศักยภาพมากในการแยกแยะวัตถุอย่างชัดเจน ทำให้สามารถดึงวัตถุออกจากภาพได้
2. มนุษย์สามารถแยกแยะสี และความเข้มของสีได้เป็นพันๆ เฉด แต่กับเฉดสีเท่านั้น มนุษย์สามารถแยกแยะได้เพียง 24 เฉดสีเท่านั้น ซึ่งข้อนี้ถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นในการวิเคราะห์รูปภาพด้วยสายตาของมนุษย์ [7]

2.1.1 แบบจำลองสี แดง เขียว น้ำเงิน (The RGB Color Model)

แบบจำลองสี แดง เขียว น้ำเงิน นี้เป็นสเปกตรัมของสีแดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งเป็นแบบจำลองที่อยู่บนระบบพิกัดคาร์ทีเซียน แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยที่แต่ละมุมของลูกบาศก์นั้นจะมี สีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue) สีคราม (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) สีดำ (Black) และสีขาว (White) ซึ่งเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้นไปยังมุมที่ไกลที่สุดนั้นคือเฉดสีเทา (Gray scale) โดยเริ่มจากสีดำไปจนถึงสีขาว แต่ละจุดบนเส้นเฉดสีเทานั้นเป็นจุดที่ค่าสีแดง เขียว น้ำเงิน มีค่าเท่ากัน สีต่างๆ บนลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



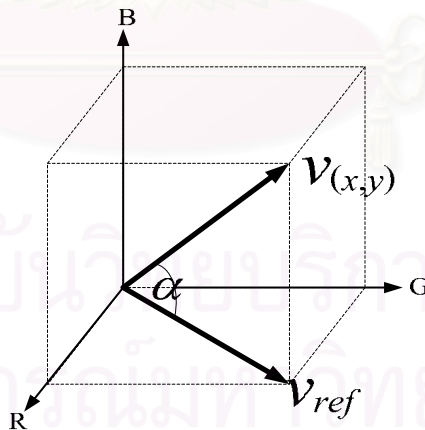
รูปที่ 2.1 แผนภาพเค้าร่างของลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน (Schematic of RGB color cube)



รูปที่ 2.2 ลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน แบบ 24 บิต (RGB 24-bit color cube)

2.2 การแปลงภาพเชิงมุม (Angular mapping)

การแปลงภาพเชิงมุม [5] คือการแปลงภาพสีให้เป็นภาพเฉดสีเทาโดยการอ้างอิงจากสีใดสีหนึ่งที่เราสนใจ เนื่องจากในภาพสี จุดสีแต่ละจุดประกอบด้วยอัตราส่วนขององค์ประกอบของสีหลัก 3 สีคือ สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) หากเราพิจารณาจุดสีเหล่านี้เป็นเวกเตอร์หนึ่งในปริภูมิ 3 มิติ ของสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) เราสามารถหาความแตกต่างของเฉดสีระหว่างจุดสีแต่ละคู่ในภาพได้ โดยการวัดมุมระหว่างเวกเตอร์ของจุดสีคู่นั้นๆ หากเรากำหนดเวกเตอร์สีอ้างอิง v_{ref} แล้วนำเวกเตอร์ของจุดสีแต่ละจุดบนภาพสี $v_{(x,y)}$ มาเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ของจุดสีอ้างอิง ค่ามุม α ที่ได้บ่งบอกถึงระยะห่างเชิงมุมของสีเหล่านั้นกับสีอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เวกเตอร์ของสีอ้างอิง v_{ref} ซึ่งทำมุม α กับเวกเตอร์ของจุดสีใดๆ $v_{(x,y)}$ ในปริภูมิ 3 มิติ RGB

จากรูปที่ 2.3 มุม α คือมุมระหว่างเวกเตอร์ของจุดสีอ้างอิง v_{ref} และเวกเตอร์ของจุดสีใดๆ ในภาพ ดังนั้นค่าของมุม α ได้จากสมการ (2.1)

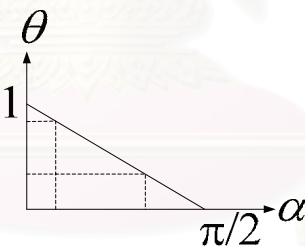
$$\alpha(x, y) = \arccos\left(\frac{\vec{v}_{(x,y)} \cdot \vec{v}_{ref}}{\|\vec{v}_{(x,y)}\| \|\vec{v}_{ref}\|}\right) \quad (2.1)$$

โดย $v_{(x,y)} = [R(x,y) \ G(x,y) \ B(x,y)]$ และ $\vec{v}_{(x,y)} \cdot \vec{v}_{ref}$ หมายถึงผลคูณดอท (dot product) ของเวกเตอร์จุดสีที่ตำแหน่ง (x,y) กับเวกเตอร์สีอ้างอิง และ $\|\vec{v}\|$ หมายถึงขนาดของเวกเตอร์ v

ค่ามุม α ที่ได้จากสมการที่ (2.1) จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $\pi/2$ โดยที่ α มีค่ามาก หมายถึงจุดสี ณ ตำแหน่ง (x,y) นั้นต่างจากสีอ้างอิงอยู่มาก และหาก α มีค่าน้อย หมายความว่าสีนั้นใกล้เคียงกับสีอ้างอิง แต่ในการออกแบบการแบ่งส่วนภาพพื้นออกจากใบหน้าซึ่งเป็นภาพสีนี้เราเลือกใช้การแปลงเชิงมุม θ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ α ดังสมการที่ (2.2)

$$\theta(x, y) = 1 - \frac{2}{\pi} \alpha(x, y) \quad (2.2)$$

โดยที่ θ เป็นเวกเตอร์ของจุดบนภาพที่ตำแหน่ง (x, y) และเก็บไว้ในรูปของเมทริกซ์ I_{ang} ซึ่งจะทำให้ภาพ I_{ang} ที่เกิดจากการแปลง



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม α กับการแปลงเชิงมุม θ

จะเห็นได้ว่าสมการ (2.2) เป็นการแปลงผกผัน (inverse) ของมุม α และปรับพิสัยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังกราฟในรูปที่ 2.4 ค่า θ นี้เปรียบเสมือนค่าความคล้ายคลึงระหว่างจุดสีในตำแหน่ง (x,y) กับจุดสีอ้างอิงหากสองสีนี้เป็นสีที่ใกล้เคียงกันมากก็จะให้ค่า θ ที่มากตามไปด้วย

สุดท้ายจะได้ (2.3) สมการการแปลงเชิงมุม [5] และ [8]

$$\theta(x, y) = 1 - \frac{2}{\pi} \arccos \left(\frac{v_{(x,y)} v_{ref}}{\|v_{(x,y)}\| \|v_{ref}\|} \right) \quad (2.3)$$

2.3 แอ็กทีฟคอนทัวร์ (Active Contour)

แอ็กทีฟคอนทัวร์หรือ สเนก (snake) คือ เส้นโค้งปิดที่สามารถเคลื่อนไปตามพลังงานที่กำหนดโดยพลังงานนั้นมี 2 ชนิดคือ พลังงานภายในซึ่งควบคุมคุณสมบัติบางอย่าง เช่น ความราบเรียบ (smoothness) ของคอนทัวร์ และพลังงานภายนอกที่ชักจูงให้คอนทัวร์เคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของวัตถุในภาพ ซึ่งอาจเป็น พลังงานที่ได้มาจากการหาขอบ (Edge based) หรือพลังงานที่ได้จากอาณาบริเวณ (Region based) ของวัตถุก็ได้ โดยปกติแล้วพลังงานภายนอกที่ได้มาจากการคำนวณอาณาบริเวณของวัตถุ มีประสิทธิภาพเหนือกว่าพลังงานภายนอกที่ได้จากการหาขอบของวัตถุ [1]

2.3.1 แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม (Classical Active Contours)

จากสเนก และแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม [1] ได้ใช้การตรวจหาขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับเกรเดียนต์ของภาพที่นำมาแบ่งส่วน u_0 สำหรับหยุดการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์บนขอบเขตของวัตถุที่ต้องการซึ่งเรียกสั้นๆ ว่า สเนก [1] คือ $\inf_C F_1(C)$ หรือขอบเขตล่างมากที่สุดของ $F_1(C)$ เมื่อ C คือ ตัวแปรของแต่ละจุดบนคอนทัวร์

$$F_1(C) = \alpha \int_0^1 |C'(s)|^2 ds + \beta \int_0^1 |C''(s)| ds - \lambda \int_0^1 |\nabla u_0(C(s))|^2 ds \quad (2.4)$$

เมื่อตัวแปร α , β และ λ มีค่าเป็นบวก สองพจน์แรกควบคุมความเรียบของเส้นโค้ง (พลังงานภายใน) ขณะที่พจน์ที่สามดึงจุดคอนทัวร์ไปตามวัตถุในรูปภาพ (พลังงานภายนอก) การทำให้พลังงาน $F_1(C)$ ในสมการ (2.4) มีค่าน้อยที่สุดทำได้โดยพยายามกำหนดให้เส้นโค้งอยู่ในจุดที่มีค่ามากที่สุดของ $|\nabla u_0|$ เหมือนกับการตรวจจับขอบ (edge-detector)

ตัวตรวจหาขอบที่ใช้กันทั่วไปกำหนดได้โดยการเพิ่ม และการลดของฟังก์ชัน g ที่ขึ้นอยู่กับเกรเดียนต์ของภาพ u_0 ดังเช่น

$$\lim_{z \rightarrow \infty} g(z) = 0$$

ตัวอย่างเช่น

$$g(|\nabla u_0(x, y)|) = \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma(x, y) * u_0(x, y)|^p}, \quad p \geq 1 \quad (2.5)$$

เมื่อ $G_\sigma * u_0$ คือ ภาพที่เรียบ (smoother) ของ u_0 หมายถึงการคอนโวลูชันของภาพ u_0 กับเกาส์เซียน $G_\sigma(x, y) = \sigma^{-1/2} e^{-|x^2+y^2|/4\sigma}$ ซึ่งฟังก์ชัน $g(|u_0|)$ มีค่าบวกในบริเวณที่เป็นเนื้อเดียวกัน และเป็นศูนย์ที่ขอบ

จากปัญหาของการแพร่ของคอนทัวร์จึงได้มีการเพิ่มทฤษฎีเซตระดับ (Level set) ของ Osher และ Sethian [4] เข้ามาเพื่อให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังมุม ปลายแหลม และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทัวร์โดยอัตโนมัติได้ คอนทัวร์ C ในรูปของฟังก์ชัน $C = \{(x, y) | \phi(x, y) = 0\}$ และคอนทัวร์จะปรากฏเมื่อฟังก์ชัน $\phi(t, x, y)$ เป็นศูนย์ที่เวลา t การแพร่ของคอนทัวร์ C ในทิศทางแนวฉาก ด้วยความเร็ว F รวมกันเพื่อที่จะนำมาแก้สมการผลต่างเชิงอนุพันธ์ [4]

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = |\nabla \phi| F, \phi(0, x, y) = \phi_0(x, y) \quad (2.6)$$

เมื่อ เซต $\{(x, y) | \phi_0(x, y) = 0\}$ กำหนดคอนทัวร์เริ่มต้น และ $F = \text{div}(\nabla \phi(x, y) / |\nabla \phi(x, y)|)$ คือความโค้งของระดับเส้นโค้งของ ϕ ผ่าน (x, y) จะได้สมการ

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial t} = |\nabla \phi| \text{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right), & t \in (0, \infty), x \in \mathbb{R}^2 \\ \phi(0, x, y) = \phi_0(x, y), & x \in \mathbb{R}^2. \end{cases} \quad (2.7)$$

จีโอเมตริกแอกทิฟคอนทัวร์ มีพื้นฐานอยู่บนการเคลื่อนที่ของความโค้งเฉลี่ยตามสมการการแพร่ (2.8) [9]

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial t} = g(|\nabla u_0|)|\nabla \phi| \left(\operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) + \nu \right), & \text{in } (0, \infty) \times \mathbb{R}^2 \\ \phi(0, x, y) = \phi_0(x, y) & \text{in } \mathbb{R}^2 \end{cases} \quad (2.8)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} g(|\nabla u_0|) & \text{คือฟังก์ชันขอบที่ } p = 2 \\ \nu \geq 0 & \text{คือค่าคงที่} \\ \phi_0 & \text{คือค่าเริ่มต้นของฟังก์ชันเซตระดับ} \end{aligned}$$

คือการที่คอนทัวร์ C เคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับคอนทัวร์ด้วยความเร็ว $g(|\nabla u_0|)(\operatorname{curv}(\phi(x,y) + \mu))$ และจะหยุดบนพื้นที่ที่ต้องการที่ g มีค่าน้อย การบวกค่าคงที่ ν เพื่อให้สมการมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เพราะค่าของเทอม $\operatorname{div}(\nabla \phi(x,y)/|\nabla \phi(x,y)| + \nu)$ จะมีค่าบวกตลอดเวลา ค่าคงที่นี้เหมือนเป็นตัวผลักดันให้คอนทัวร์ไปสู่วัตถุ เมื่อค่าความโค้งกลายเป็นศูนย์หรือติดลบ เช่นเดียวกัน $\nu > 0$ บังคับให้พื้นที่ภายในเส้นโค้งเพิ่มความเร็วในการแพร่ขยาย

อีกทีฟคอนทัวร์อีก 2 แบบซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนเซตระดับได้นำเสนอใน [10] เป็นการใช้เกรเดียนต์เพื่อที่จะหยุดคอนทัวร์เหมือนกัน แบบแรกคือ

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial t} = |\nabla \phi| \left(-\nu + \frac{\nu}{(M_1 - M_2)} (|\nabla G_\sigma * u_0| - M_2) \right), \\ \phi(0, x, y) = \phi_0(x, y) & \text{in } [0, \infty) \times \mathbb{R}^2 \end{cases} \quad (2.9)$$

เมื่อ ν คือค่าคงที่ และ M_1 และ M_2 คือค่าสูงสุดและต่ำสุดของขนาดของเกรเดียนต์ของภาพ $|\nabla G_\sigma * u_0|$ เช่นเดียวกัน ความเร็วของการแพร่ของคอนทัวร์จะเข้าใกล้ศูนย์บนจุดที่ค่าเกรเดียนต์มีค่ามากที่สุด และคอนทัวร์จะหยุดบนขอบเขตที่ต้องการ แบบที่ 2 [10] เหมือนกับจีไอเมตริกอีกทีฟคอนทัวร์ [9]

เนื่องจากว่าอีกทีฟคอนทัวร์แบบเดิมอาศัยฟังก์ชันขอบ g ที่ขึ้นอยู่กับเกรเดียนต์ $|\nabla u_0|$ เพื่อที่จะหยุดการแพร่กระจายของคอนทัวร์ ซึ่งวิธีแบบนี้จะสามารถตรวจพบวัตถุที่ขอบกำหนดโดยเกรเดียนต์เท่านั้น ในทางปฏิบัติเกรเดียนต์ทำให้ฟังก์ชัน g ไม่มีทางเป็นศูนย์ที่ขอบภาพ และคอนทัวร์อาจผ่านเส้นขอบของภาพไป ถ้าภาพมีสัญญาณรบกวน (noise) มากสามารถใช้เกาส์เซียนแบบเรียบ (Smoothing Gaussian) ช่วยได้ และจะทำให้ขอบเรียบขึ้นด้วย

2.3.2 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ (Active Contours Without Edges)

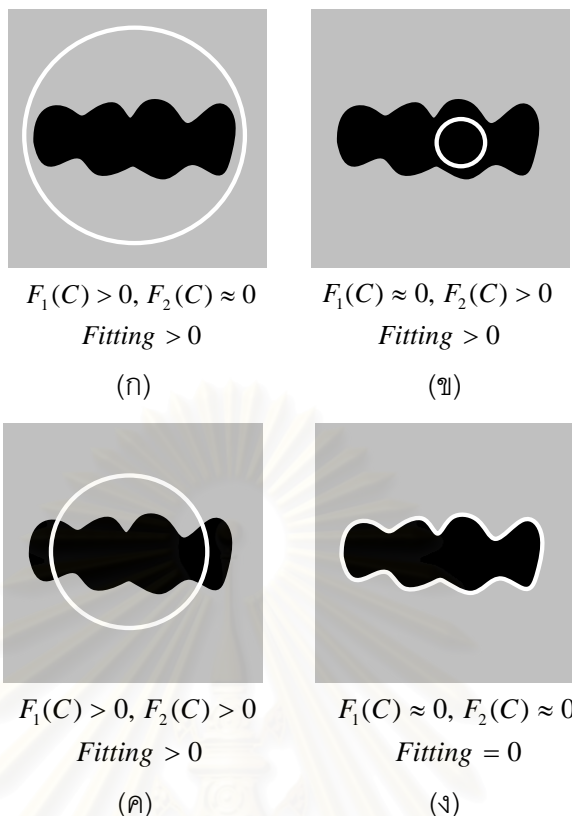
แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ หรือใช้อาณาบริเวณของวัตถุ [2] หลีกเลียงการใช้ฟังก์ชันขอบเนื่องจากความยุ่งยากในการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ที่เหมาะสม เพราะหากตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ตั้งอยู่ห่างจากขอบเขตของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนมากเกินไป คอนทัวร์อาจจะหาขอบเขตของวัตถุไม่พบ เพราะว่าบริเวณที่คอนทัวร์ตั้งอยู่นั้นไม่มีแรงภายนอกมาดึงคอนทัวร์เข้าหาขอบ หรือหากตำแหน่งเริ่มต้นคอนทัวร์ใกล้ขอบข้างใดข้างหนึ่งของวัตถุมากเกินไป อาจทำให้คอนทัวร์ทั้งหมดรวมกันอยู่ที่ขอบข้างนั้นเพียงข้างเดียว Mumford-Shah [3] จึงได้นำเสนอวิธีการเสาะหาวัตถุในภาพด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์ โดยไม่ใช้ขอบของวัตถุ และ Osher-Sethian [4] ได้นำเสนอวิธีของ Mumford-Shah ในรูปของเซตระดับ (Level Set) ทำให้สามารถตรวจพบวัตถุที่ขอบเขตไม่ติดกัน และคอนทัวร์ที่ต่างชนิดกันได้ด้วยวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์ใช้อาณาบริเวณ โดยสมมติให้ภาพถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ u_0^i และ u_0^o จะได้ว่า $u_0^i \approx u_0$ ภายในวัตถุ หรือ $\text{inside}(C_0)$ และ $u_0^o \approx u_0$ ภายนอกวัตถุ หรือ $\text{outside}(C_0)$ พิจารณาตามสมการฟิตติ้ง (fitting) เทอม (2.10)

$$F_1(C) + F_2(C) = \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy \quad (2.10)$$

เมื่อ C คือตัวแปรใดๆ ของเส้นโค้ง และ c_1 กับ c_2 คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ C นั่นก็คือค่าเฉลี่ยของ u_0 ภายใน C และภายนอก C ตามลำดับ ในกรณีตัวอย่าง เห็นได้ชัดเจนที่ C_0 ที่ขอบเขตของวัตถุ คือการทำให้ฟิตติ้งเทอมมีค่าน้อยที่สุด

$$\inf_C \{F_1(C) + F_2(C)\} \approx 0 \approx F_1(C_0) + F_2(C_0)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าถ้าคอนทัวร์ C อยู่นอกวัตถุแล้ว $F_1(C) > 0$ และ $F_2(C) \approx 0$ ถ้าคอนทัวร์อยู่ในวัตถุแล้ว $F_1(C) \approx 0$ และ $F_2(C) > 0$ ถ้าเส้นโค้งอยู่ทั้งภายใน และภายนอกวัตถุแล้ว $F_1(C) > 0$ และ $F_2(C) > 0$ สุดท้ายพลังงานจะมีค่าน้อยที่สุด ถ้า $C = C_0$ ถ้าคอนทัวร์ C อยู่บนขอบเขตของวัตถุทั้งหมดที่กล่าวมานี้สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พิจารณาทุกกรณีที่เป็นไปได้ของอาณาบริเวณในแต่ละตำแหน่งของคอนทัวร์

(ก) คอนทัวร์อยู่นอกขอบเขตของวัตถุ (ข) คอนทัวร์อยู่ในขอบเขตของวัตถุ

(ค) คอนทัวร์อยู่ทั้งในและนอกขอบเขตของวัตถุ (ง) คอนทัวร์อยู่บนขอบเขตของวัตถุ

และพิตติ้งเทอมที่ถูกทำให้น้อยที่สุด

ในแเอ็กทิฟคอนทัวร์นี้เราให้ พิตติ้งเทอมมีค่าน้อยที่สุด และเพิ่มเทอมทำให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นบางเทอม คล้ายกับความยาวของคอนทัวร์ C และพื้นที่ของบริเวณภายในคอนทัวร์ C เพราะฉะนั้นจึงสามารถนำเสนอฟังก์ชันพลังงาน $F(c_1, c_2, C)$ กำหนดโดย

$$\begin{aligned}
 F(c_1, c_2, C) = & \mu \cdot \text{Length}(C) + \nu \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) \\
 & + \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy
 \end{aligned} \quad (2.11)$$

เมื่อ $\mu \geq 0, \nu \geq 0, \lambda_1, \lambda_2 > 0$ คือตัวแปรคงที่ โดยส่วนมากเราจะกำหนดให้ $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ และ $\nu = 0$

ดังนั้น เราพิจารณาการทำให้น้อยที่สุดโดย

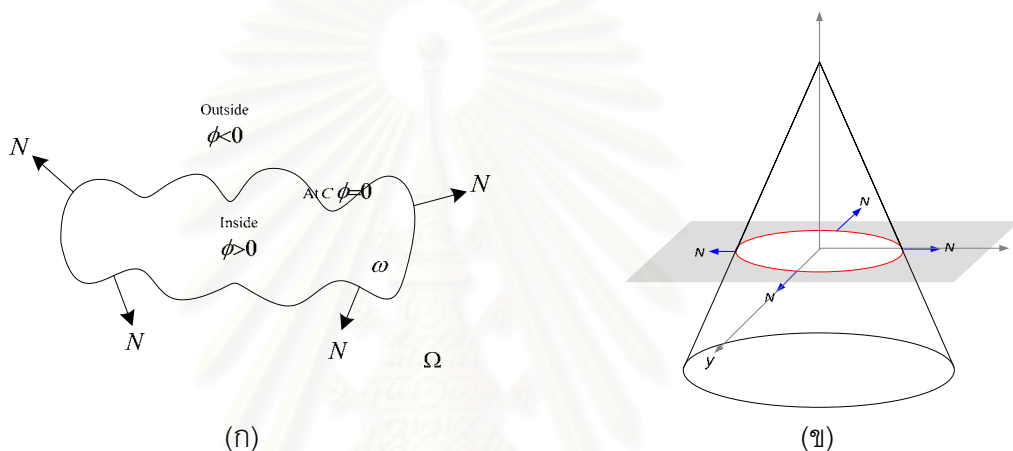
$$\inf_{c_1, c_2, C} F(c_1, c_2, C)$$

2.3.2.1 เซตระดับ (Level sets)

จากทฤษฎีเซตระดับ [4] โดยที่ $C \subset \Omega$ สามารถแสดงโดยเซตระดับศูนย์ของฟังก์ชันลิพชิตซ์ ϕ ดังนี้

$$\begin{cases} C = \partial\omega = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) = 0\}, \\ \text{inside}(C) = \omega = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) > 0\} \\ \text{outside}(C) = \Omega \setminus \omega = \{(x, y) \in \Omega : \phi(x, y) < 0\}. \end{cases}$$

ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 (ก)



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันเซตระดับ (ก) คอนทัวร์ $C = \{(x,y) : \phi(x,y) = 0\}$ แพร่ไปในทิศ N
 (ข) ภาพจำลอง 3 มิติของค่า ϕ เริ่มต้น

จากหลักเกณฑ์ของเซตระดับจึงมีการเปลี่ยนรูปแบบของแอมพลิคอนทัวร์โดยเปลี่ยนจากตัวแปร C เป็นตัวแปร ϕ

ซึ่งมีฟังก์ชัน H (Heaviside) เพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่อยู่ภายใน หรือภายนอก C และฟังก์ชัน δ_0 (Dirac) ใช้ในการกำหนดพื้นที่บนเส้นโค้ง C เขียนได้ดังสมการ

$$H(z) = \begin{cases} 1, & \text{if } z \geq 0 \\ 0, & \text{if } z < 0 \end{cases} \quad \delta_0 = \frac{d}{dz} H(z) \tag{2.12}$$

แต่เนื่องจากฟังก์ชัน H จากสมการ (2.12) ข้างต้นนั้นไม่สามารถนำมาใช้คำนวณจริงๆ ได้ เพราะว่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ของ H นั้นคือ δ_0 จะมีค่าเป็นอนันต์ได้ จึงมีการปรับสมการให้ใช้ได้ [11] ซึ่งมี 2 แบบคือ

แบบที่ 1

$$H_{1,\varepsilon}(z) = \begin{cases} 1 & \text{if } z > \varepsilon \\ 0 & \text{if } z < -\varepsilon \\ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{z}{\varepsilon} + \frac{1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi z}{\varepsilon}\right) \right] & \text{if } |z| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\delta_{1,\varepsilon}(z) = \frac{d}{dz} H_{1,\varepsilon}(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } |z| > \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \frac{1}{\pi} \cos\left(\frac{\pi z}{\varepsilon}\right) \right] & \text{if } |z| \leq \varepsilon \end{cases} \quad (2.14)$$

แบบที่ 2

$$H_{2,\varepsilon}(z) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{z}{\varepsilon}\right) \right) \quad (2.15)$$

$$\delta_{2,\varepsilon}(z) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon^2 + z^2} \quad (2.16)$$

แบบที่ 2 นี้เป็นแบบที่ง่ายต่อการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถเปลี่ยนพจน์ของพลังงาน F ในสมการที่ (2.11) ใหม่ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Length} \{ \phi = 0 \} &= \int_{\Omega} |\nabla H(\phi(x, y))| dx dy \\ &= \int_{\Omega} \delta_0(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy, \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\text{Area} \{ \phi \geq 0 \} = \int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy, \quad (2.18)$$

และ

$$\int_{\phi > 0} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H(\phi(x, y)) dx dy, \quad (2.19)$$

$$\int_{\phi < 0} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy. \quad (2.20)$$

ดังนั้นพลังงาน $F(c_1, c_2, \phi)$ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F(c_1, c_2, \phi) = \mu \int_{\Omega} \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \nu \int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy \\ + \lambda_1 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H(\phi(x, y)) dx dy + \lambda_2 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy \quad (2.21)$$

การทำให้ $F(c_1, c_2, \phi)$ มีค่าน้อยที่สุดสัมพันธ์กับค่าคงที่ c_1 และ c_2 แสดงให้เห็นโดยฟังก์ชันค่าคงที่ของ ϕ (2.22) และ (2.23) ดังต่อไปนี้

$$c_1(\phi) = \frac{\int_{\Omega} u_0(x, y) H(\phi(x, y)) dx dy}{\int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy} \quad (2.22)$$

ถ้า $\int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy > 0$ (ภายในคอนทัวร์ไม่เป็นเซตว่าง)

$$c_2(\phi) = \frac{\int_{\Omega} u_0(x, y) (1 - H(\phi(x, y))) dx dy}{\int_{\Omega} (1 - H(\phi(x, y))) dx dy} \quad (2.23)$$

ถ้า $\int_{\Omega} (1 - H(\phi(x, y))) dx dy > 0$ (ภายนอกคอนทัวร์ไม่เป็นเซตว่าง)

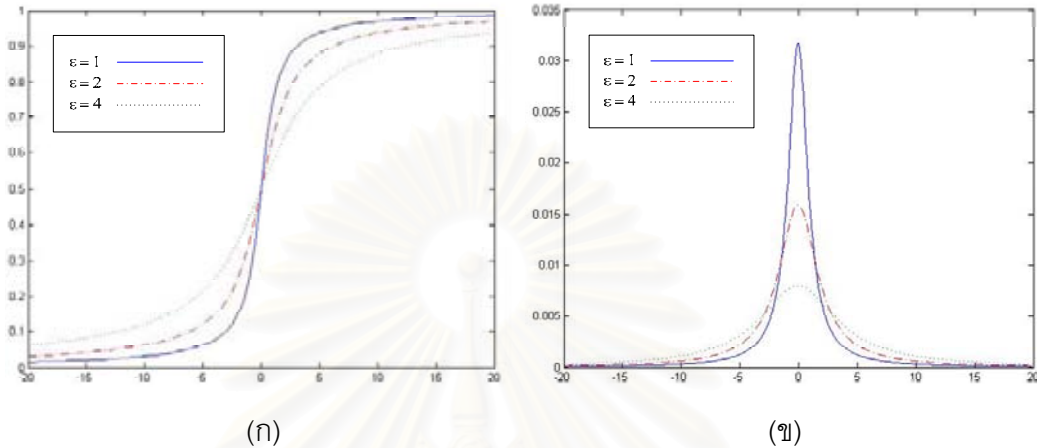
ซึ่งจริงๆ แล้วนั่นคือ c_1 และ c_2 ค่าเฉลี่ยของรูป u_0 ที่อยู่ภายในคอนทัวร์ และนอกคอนทัวร์ตามลำดับ โดย

$$\begin{cases} c_1(\phi) = \text{average}(u_0) \text{ in } \{\phi \geq 0\} \\ c_2(\phi) = \text{average}(u_0) \text{ in } \{\phi < 0\} \end{cases}$$

เพื่อที่จะคำนวณจึงเกี่ยวเนื่องไปถึงสมการ Euler-Lagrange สำหรับฟังก์ชัน ϕ เราพิจารณาให้ฟังก์ชัน H และ δ_0 ถูกต้องยิ่งขึ้น กำหนดโดย H_ε และ δ_ε โดย $\varepsilon \rightarrow 0$ ดังนั้นจะได้ F_ε ตามสมการ (2.24)

$$F_\varepsilon(c_1, c_2, \phi) = \mu \int_{\Omega} \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \nu \int_{\Omega} H_\varepsilon(\phi(x, y)) dx dy \quad (2.24)$$

$$+ \lambda_1 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H_\varepsilon(\phi(x, y)) dx dy + \lambda_2 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H_\varepsilon(\phi(x, y))) dx dy$$



รูปที่ 2.7 (ก) ฟังก์ชันเฮฟวิไซด์ H ตามสมการ (2.15) (ข) ฟังก์ชันเดลต้า δ_0 ตามสมการที่ (2.16)

2.3.2.2 การทำให้ F_ε มีค่าน้อยที่สุด (Minimizing F_ε)

ให้ c_1 และ c_2 คงที่ และทำให้ F_ε น้อยที่สุดซึ่งเกี่ยวข้องกับ ϕ โดยอ้างจากสมการ Euler-Lagrange (2.25)

$$\frac{\partial E}{\partial \phi} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right) - \frac{d}{dy} \left(\frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right) = 0 \quad (2.25)$$

แล้วสมมติตัวแปรเวลาขึ้นมาโดย $t \geq 0$ จะได้สมการ $\phi(t, x, y)$ โดยที่ $\phi(0, x, y) = \phi_0(x, y)$ เป็นคอนทัวร์เริ่มต้น คือ

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_\varepsilon(\phi) \left[\mu \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \nu - \lambda_1 (u_0 - c_1)^2 + \lambda_2 (u_0 - c_2)^2 \right] = 0 \text{ in } (0, \infty) \times \Omega \quad (2.26)$$

$$\phi(0, x, y) = \phi_0(x, y) \text{ in } \Omega$$

$$\frac{\delta_\varepsilon(\phi)}{|\nabla\phi|} \frac{\partial\phi}{\partial\bar{n}} = 0 \text{ on } \partial\Omega$$

เมื่อ \bar{n} แสดงถึงเวกเตอร์นอร์มอลภายนอกไปยังขอบเขตของ $\partial\Omega$ และ $\partial\phi/\partial\bar{n}$ แสดงถึงเวกเตอร์นอร์มอล ของอนุพันธ์ของ ϕ ที่ขอบเขตของภาพ

2.3.3 แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบสี (Color Active Contours)

แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบสีคือการนำองค์ประกอบของสีในภาพมาพิจารณา ซึ่งแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้สีนั้นจะพิจารณาจากรูปซึ่งเป็นเฉดสีเทา หรือพิจารณาจากองค์ประกอบของสีอันใดอันหนึ่งเท่านั้น แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบสีในโครงร่างวิทยานิพนธ์นี้มีพื้นฐานอยู่บนแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ [2] โดยดัดแปลง ปรับปรุง แก้ไข เทอมของพลังงานซึ่งแต่ละแบบก็จะมีข้อดี และข้อเสีย แตกต่างกันไป

2.3.3.1 แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบ 3-Channel Model

เป็นการนำองค์ประกอบของเฉดสี แดง เขียว น้ำเงิน (RGB component) มาใช้ร่วมกันในการหาค่าพลังงานภายนอกตามสมการ (2.26) ของแต่ละองค์ประกอบสี แล้วจึงนำมาเฉลี่ยกัน ดังสมการ (2.27)

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} = \delta_\varepsilon(\phi) \left[\mu \operatorname{div} \left(\frac{\nabla\phi}{|\nabla\phi|} \right) - \nu - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_{1i} (u_i - c_{1i})^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_{2i} (u_i - c_{2i})^2 \right] = 0 \quad (2.27)$$

เมื่อ

N คือจำนวนองค์ประกอบของเฉดสี

i คือตัวกำหนดองค์ประกอบของเฉดสี โดย $i = 1, 2, 3$ คือเฉดสีแดง สีเขียว และ

สีน้ำเงิน

2.3.3.2 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้การแปลงภาพเชิงมุม (Angular map driven snakes)

แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบสี่โดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม [8] มีพื้นฐานอยู่บนแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ [2] โดยนำภาพที่ได้จากการแปลงเชิงมุม $I_{ang}(x,y)$ มาแทนการใช้ภาพเฉดสีเทาแบบเดิม u ในแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ มาปรับปรุง แก้ไข แล้วเขียนสมการให้อยู่ในรูปเซตระดับ ϕ [4] และคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ Euler-Lagrange จะได้สมการ (2.28)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) \left[\mu \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \lambda_1 (I_{ang} - c_1)^2 + \lambda_2 (I_{ang} - c_2)^2 \right] \quad (2.28)$$

เมื่อ ϕ เป็นเซตระดับและ I_{ang} คือภาพเชิงมุม โดยฟังก์ชัน δ_{ε} (Dirac) ใช้ในการกำหนดพื้นที่บนเส้นโค้ง ฟังก์ชัน $\operatorname{div}(\nabla \phi / |\nabla \phi|)$ เป็นตัวควบคุมความเร็วของคอนทัวร์โดยมี μ เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และมีค่าคงที่ λ_1 และ λ_2 เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของแรงภายนอกจากอาณาบริเวณภายในวัตถุ และภายนอกวัตถุ ตามลำดับ

2.3.4 แอ็กทิฟคอนทัวร์สำหรับการแบ่งส่วนภาพที่มีลายผิว (Active Contours for Texture Segmentation)

การแบ่งส่วนภาพที่มีลายผิวโดยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์โดยตรงนั้นอาจทำได้ยาก และได้ผลที่ไม่ดีนัก เนื่องจากผิวที่มีลายนั้น มีการแยกกันอย่างชัดเจนของความเข้มแสง ซึ่งจะทำให้การแบ่งส่วนนั้นอาจแบ่งได้เฉพาะลายของวัตถุในภาพ ซึ่งไม่สามารถแบ่งวัตถุที่มีลายผิวที่สนใจออกมาได้ทั้งหมด จึงมีการนำภาพที่มีลายผิวนั้น ไปผ่านตัวกรองการบอด (Gabor Filter) [12] เพื่อการแบ่งส่วนที่มีลายผิวได้ดียิ่งขึ้น

2.3.4.1 ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter)

ตัวกรองกาบอร์สามารถกำหนดได้โดยฟังก์ชันฮาร์มอนิกคูณกับฟังก์ชันเกาส์เซียน ผลที่ได้ นั้นตัวกรองจะคล้ายเกาส์เซียนซึ่งสามารถเป็นวงรีได้ และมีลักษณะเป็นฮาร์มอนิก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร ตัวกรองกาบอร์สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$G_{\sigma, F, \theta}(x, y) = g_{\sigma}(x', y') \exp(2\pi j F x') \quad (2.29)$$

เมื่อ

$$(x', y') = (x \cos(\theta) + y \sin(\theta), -x \sin(\theta) + y \cos(\theta)) \quad (2.30)$$

และ

$$g_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.31)$$

ซึ่งค่าของตัวกรองกาบอร์ที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน อันประกอบไปด้วย ส่วนจริง และส่วนจินตภาพ ดังสมการ

$$G_{\sigma, F, \theta} = G_R + jG_I \quad (2.32)$$

จะได้ u_0 ที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ จากการนำภาพเฉดสีเทาไปคอนโวลูชัน ทั้งส่วนจริง และส่วนจินตภาพ กำลังสอง แล้วหารากที่สอง จะได้ภาพที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ ตามสมการ

$$(u_0)_{\sigma, F, \theta} = \sqrt{(G_R * u_0)^2 + (G_I * u_0)^2} \quad (2.33)$$

โดยที่ F คือความถี่ของตัวกรอง

θ คือการกำหนดทิศทาง หรือมุมของตัวกรอง

σ คือขนาดของตัวกรอง

นำไปประยุกต์ใช้กับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ [2] ตามสมการที่ (2.26) โดยให้ $u_0^i, i=1, \dots, N$ โดย N เป็นการแปลงกาบอร์ ที่อัตราส่วน ทิศทาง และความถี่ต่างๆ กัน จะได้สมการ [13]

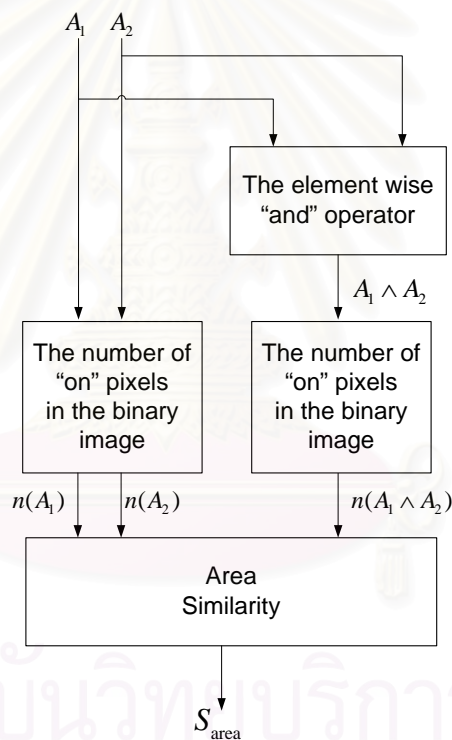
$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) \left[\mu \operatorname{div} \left(G_{\sigma, F, \theta}(x, y) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_+^i (u_0^i - c_+^i)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_-^i (u_0^i - c_-^i)^2 \right] = 0 \quad (2.34)$$

2.4 หลักเกณฑ์ในการประเมินผลการแบ่งส่วนภาพ

การนำผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้จากการใช้แอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ เพื่อวัดและประเมินประสิทธิภาพ โดยได้มีการเลือกใช้เกณฑ์ในการวัดผล 2 รูปแบบด้วยกัน คือ ความคล้ายเชิงพื้นที่ (Area Similarity) [14,15] และ ความคล้ายเชิงรูปร่าง (Shape Similarity) [16]

2.4.1 ความคล้ายเชิงพื้นที่

การวัดผลการแบ่งส่วนภาพโดยการพิจารณาจากความคล้ายเชิงพื้นที่ เป็นวิธีการวัดผลที่ถูกนำไปใช้กันอย่างทั่วไป ซึ่งค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ S_{area} มีขั้นตอนในการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่

จากขั้นตอนการคำนวณค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ในรูปที่ 2.8 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.35)

$$S_{\text{area}} = \frac{2n(A_1 \wedge A_2)}{n(A_1) + n(A_2)} \quad (2.35)$$

โดยที่ A_1 คือ ภาพขาวดำของผลการแบ่งส่วนภาพด้วยมือ และ A_2 คือ ภาพขาวดำของผลการแบ่งส่วนภาพ จากการใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ ซึ่งในที่นี้กำหนดให้วัตถุที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพเป็นสีขาว มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 1 และ กำหนดให้พื้นหลังเป็นสีดำ มีค่าความเข้มสีเท่ากับ 0 , \wedge คือ ตัวดำเนินการ “And” และ $n(A)$ คือ จำนวนจุดที่เป็นสีขาวของภาพ A

S_{area} ในสมการที่ (2.35) จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 กล่าวคือ ถ้าภาพ A_1 และ A_2 เป็นภาพเดียวกัน ค่า S_{area} ที่คำนวณจะมีค่ามากที่สุด คือ 1 นั่นเอง

2.4.2 ความคล้ายเชิงรูปร่าง

นอกจากการวัดผลการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ความคล้ายเชิงพื้นที่ ยังได้มีการวัดผลโดยใช้ความคล้ายเชิงรูปร่างอีกด้วย เนื่องจากค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ สามารถบ่งบอกความคล้ายได้แค่เพียงพื้นที่ที่วัตถุในภาพทั้งสองซ้อนทับกันเท่านั้น ไม่ได้มีการคำนึงถึงรูปร่างของคอนทัวร์ที่นำมาทำการเปรียบเทียบ

จากรูปที่ 2.9 เป็นขั้นตอนในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง โดยที่ C_1 คือ คอนทัวร์ที่ได้จากการแบ่งส่วนภาพด้วยมือและ C_2 คือ คอนทัวร์ที่ได้จากการใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ โดยมีขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

1. สร้างภาพขอบจากคอนทัวร์ C_1 และ C_2 โดยภาพขอบที่ได้นี้จะกลายเป็นภาพขาวดำที่มีลักษณะเป็นรูปคอนทัวร์สีขาววางอยู่บนพื้นสีดำ ซึ่งภาพขอบของ C_1 และ C_2 คือ E_1 และ E_2 ตามลำดับ

2. คำนวณระยะห่างระหว่างทุกๆพิกเซลบนภาพ กับทุกๆพิกเซลที่อยู่บนคอนทัวร์ ของภาพขอบ E ดังสมการที่ (2.36) ซึ่งค่าระยะห่างที่คำนวณได้จากพิกเซลที่อยู่ภายในคอนทัวร์จะมีค่าเป็นลบ และ ค่าระยะห่างที่คำนวณได้จากพิกเซลที่อยู่ภายนอกคอนทัวร์จะมีค่าเป็นบวก

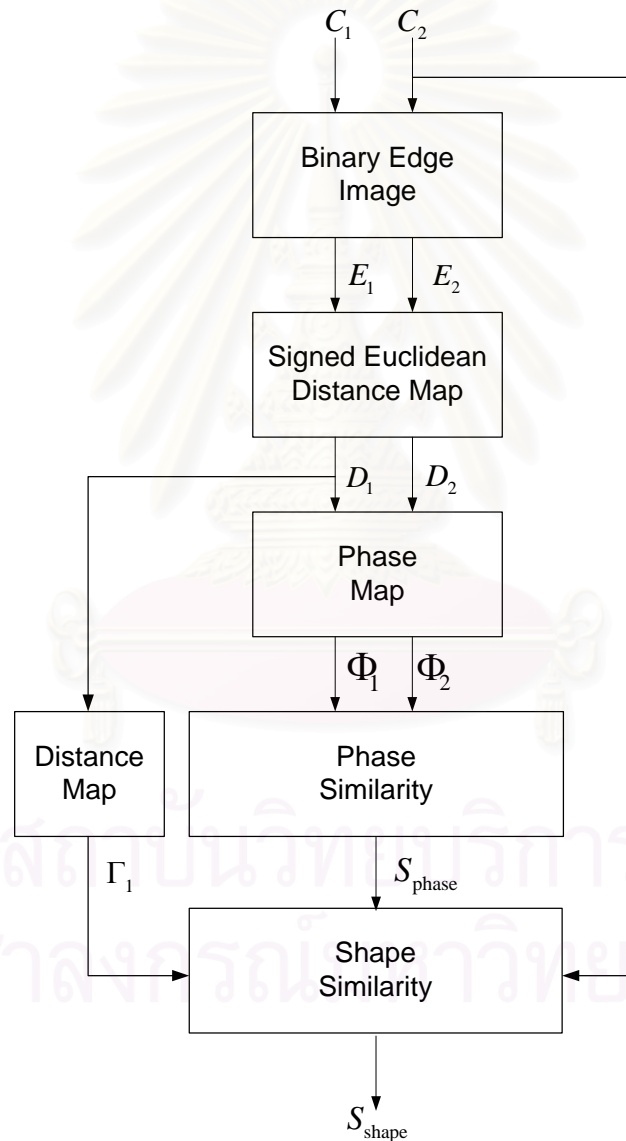
$$D(x, y) = \begin{cases} -\min_{(i,j) \in C} \sqrt{(x-i)^2 + (y-j)^2} & \text{if } (x, y) \in \Omega_1 \\ \min_{(i,j) \in C} \sqrt{(x-i)^2 + (y-j)^2} & \text{if } (x, y) \in \Omega_2 \end{cases} \quad (2.36)$$

โดยที่ (x, y) แทนพิกเซลในโดเมนของภาพ, (i, j) แทนพิกเซลที่อยู่บนคอนทัวร์ C , Ω_1 และ Ω_2 คือ เซตของพิกเซลที่อยู่ภายในและภายนอกคอนทัวร์ C ตามลำดับ เราเรียกการคำนวณในสมการที่ (2.36) ว่า การแปลงระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance Transform)

3. คำนวณเฟสจากสมการที่ (2.37)

$$\Phi_i(x, y) = \tan^{-1} \frac{\nabla_y D_i(x, y)}{\nabla_x D_i(x, y)} \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (2.37)$$

โดยที่ $\nabla_x D$ และ $\nabla_y D$ คือ ค่าเกรเดียนต์ในแนวแกนแนวนอนและแกนตั้งของ D ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนในการคำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง

4. คำนวณค่าความคล้ายเชิงเฟสระหว่างคอนทัวร์ทั้งสอง ดังสมการที่ (2.38)

$$S_{\text{phase}} = \frac{|\Phi_1 - \Phi_2 - \pi|}{\pi} \quad (2.38)$$

โดยที่ S_{phase} นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าคอนทัวร์ทั้งสองมีเฟสเหมือนกันจะได้ $S_{\text{phase}} = 1$ และถ้าคอนทัวร์ทั้งสองมีเฟสต่างกันมากที่สุดเท่ากับ π จะได้ $S_{\text{phase}} = 0$

5. คำนวณค่าความคล้ายเชิงรูปร่าง ดังสมการที่ (2.39)

$$S_{\text{shape}} = \frac{1}{n(C_2)} \sum_{(x,y) \in C_2} \Gamma_1(x,y) S_{\text{phase}}(x,y) \quad (2.39)$$

โดยที่ $n(C_2)$ คือ จำนวนพิกเซลที่อยู่บนคอนทัวร์ C_2 และ $\Gamma_1(x,y)$ คำนวณได้ดังสมการที่ (2.40)

$$\Gamma_1(x,y) = \exp\left\{-\frac{D_1^2(x,y)}{\sqrt{m \times n}}\right\} \quad (2.40)$$

โดยที่ $m \times n$ คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ D

บทที่ 3

ระเบียบวิธีที่นำเสนอ

3.1 การแบ่งส่วนภาพฟันด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม

ภาพฟันที่เราต้องการแบ่งส่วนนั้นจะต้องได้มาจากภาพใบหน้ายิ้ม หรือเห็นฟันบน 6 ซี่หน้าอย่างชัดเจน เพราะเป็นฟันที่เราจะทำการตกแต่ง ซึ่งการแบ่งส่วนภาพฟันนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดจุดเริ่มต้นของคอนทัวร์ รวมไปถึงการกำหนดรัศมีของคอนทัวร์เริ่มต้นด้วย

แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิมเป็นการใช้แรงภายนอกจากเกรเดียนต์ หรือภาพขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งในที่นี้ภาพที่ใช้จะเป็นภาพเฉดสีเทาเท่านั้น ในการขับเคลื่อนคอนทัวร์เข้าหาวัตถุในภาพ การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้น และการแปลงภาพเป็นภาพขอบจึงค่อนข้างเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับวิธีนี้ ปัญหาของการแบ่งส่วนฟันด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิมมีดังต่อไปนี้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

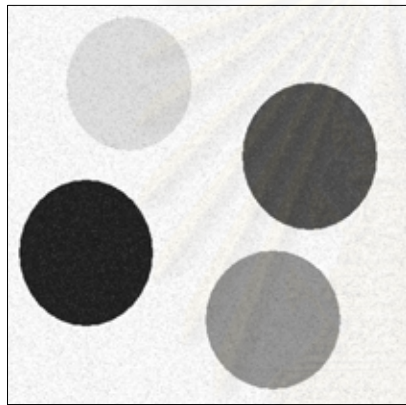
รูปที่ 3.1 ผลของการแบ่งส่วนภาพฟันจากการกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นที่ไม่เหมาะสม

(ก) และ (ข) คอนทัวร์เริ่มต้น (ค) คอนทัวร์สุดท้ายจากคอนทัวร์เริ่มต้นในรูป (ก)

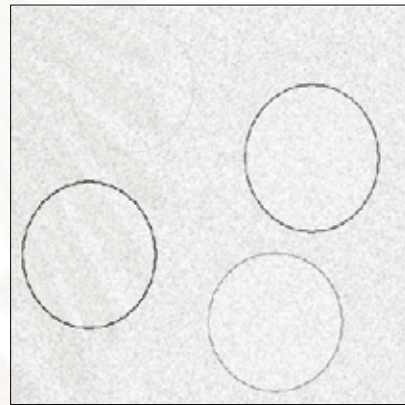
(ง) คอนทัวร์สุดท้ายจากคอนทัวร์เริ่มต้นในรูป (ข)

1. การกำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นที่ไม่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.1 เนื่องจากจุดทุกจุดบนคอนทราสต์จะเคลื่อนที่ไปตามเกรเดียนต์ของภาพหากจุดของคอนทราสต์ไปอยู่ใกล้กับขอบใดของวัตถุก็ตามคอนทราสต์ ณ จุดนั้นก็จะเคลื่อนที่เข้าหาขอบของวัตถุที่ใกล้ที่สุด เพราะว่าโดยส่วนใหญ่แล้วแรงของเกรเดียนต์จะมีค่ามากบริเวณที่มีขอบของวัตถุเสมอ ถ้ากำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นเข้าใกล้ขอบใดขอบหนึ่งมากเกินไปอาจทำให้คอนทราสต์กลายเป็นเส้น หรือกลายเป็นจุดรวมกันได้ ดังนั้นการกำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นจึงต้องกำหนดให้ครอบคลุมขอบเขตของวัตถุมากที่สุดซึ่งทำได้ยาก

2. ขอบของวัตถุไม่ชัดเจน การที่ขอบของวัตถุไม่ชัดเจนนั้นอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มแสงของวัตถุกับพื้นหลังของภาพมีค่าน้อยส่งผลให้ค่าเกรเดียนต์มีค่าน้อยลงไปด้วย ดังนั้นแรงที่จะขับเคลื่อนคอนทราสต์เข้าหาขอบของวัตถุจึงไม่มากพอ



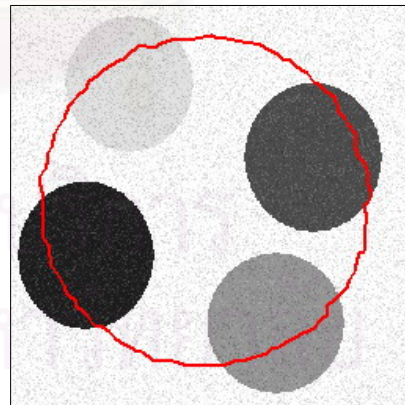
(ก)



(ข)



(ค)



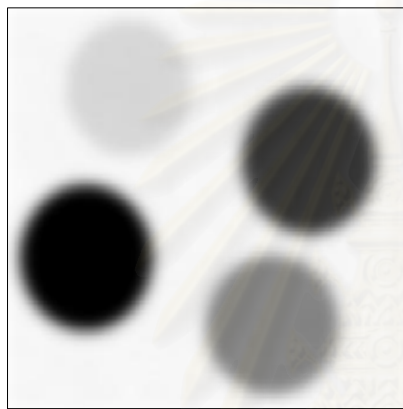
(ง)

รูปที่ 3.2 ผลของการแบ่งส่วนภาพแบบจำลองที่มีสัญญาณรบกวน (noise) ในภาพ

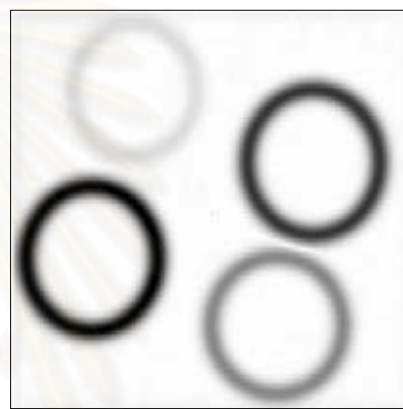
(ก) ภาพแบบจำลองต้นฉบับ (ข) ภาพแบบจำลองที่ผ่านฟังก์ชันขอบแล้ว

(ค) ภาพทิศทางของเกรเดียนต์จากภาพขอบ (ง) ภาพคอนทราสต์สุดท้าย

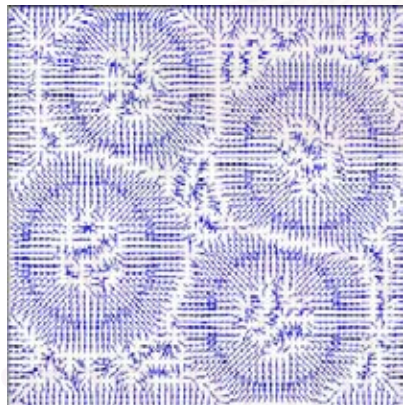
3. มีสัญญาณรบกวน (noise) ในภาพ อาจเกิดจากอุปกรณ์การถ่ายภาพไม่ดี เกิดจากการบีบอัดภาพ หรือลายของวัตถุที่ต้องการแบ่งส่วน แต่สามารถแก้ไขได้ด้วยการนำภาพไปคอนโวลูชันกับเกาส์เซียน คือการทำให้ภาพราบเรียบ (smooth) หรือ มัว (blur) ขึ้น ซึ่งขอบของวัตถุในภาพก็จะหนาขึ้น และสัญญาณรบกวนหายไป ทำให้เกรเดียนต์ที่นำพาคอนทัวร์ที่มีทิศทางมายังขอบของวัตถุมีช่วงกว้างขึ้น และมีทิศทางดีขึ้นด้วยจึงสามารถชักนำคอนทัวร์ที่อยู่ไกลจากขอบมากเข้ามาได้
4. ไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบเขตไม่ติดกันได้ เมื่อใช้คอนทัวร์เริ่มต้นเพียงวงเดียวจะไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุที่แยกออกจากกันได้ เพราะว่าการเริ่มต้นด้วยคอนทัวร์เพียงวงเดียวคอนทัวร์สุดท้ายก็ยังเป็นคอนทัวร์วงเดียวเช่นเดิมไม่สามารถแยกออกเป็นสองวง หรือหลายวงได้



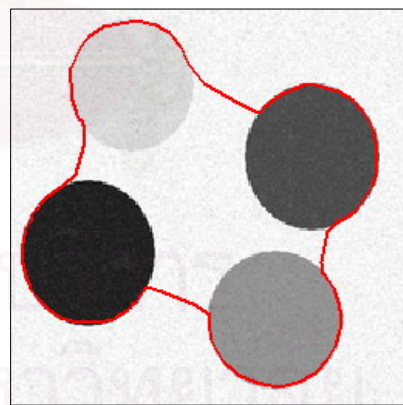
(ก)



(ข)



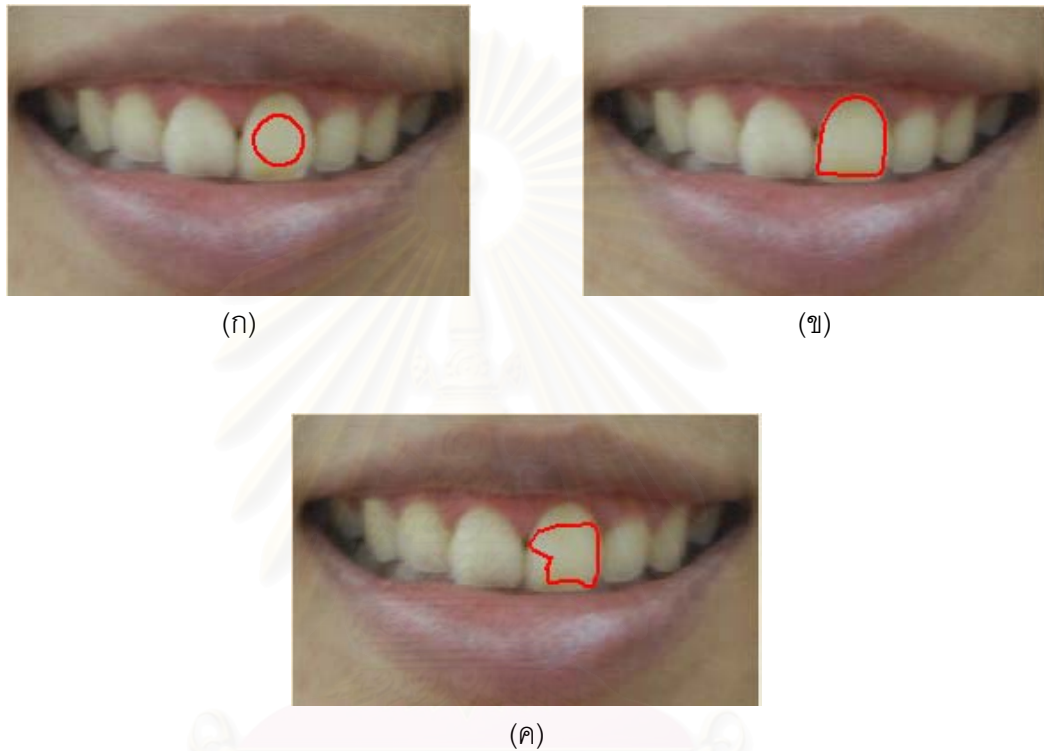
(ค)



(ง)

- รูปที่ 3.3 ผลของการแบ่งส่วนภาพแบบจำลองที่มีสัญญาณรบกวนในภาพที่ผ่านเกาส์เซียนแล้ว
 (ก) ภาพแบบจำลองที่ผ่านเกาส์เซียนแล้ว (ข) ภาพขอบของภาพแบบจำลองที่ผ่านเกาส์เซียนแล้ว
 (ค) ภาพทิศทางของเกรเดียนต์จากภาพที่ผ่านเกาส์เซียน และฟังก์ชันขอบแล้ว
 (ง) ภาพคอนทัวร์สุดท้ายซึ่งไม่สามารถแบ่งส่วนวัตถุออกจากกันได้

5. การใช้ค่า σ ของเกาส์เซียนที่มีค่าไม่เหมาะสม การนำภาพไปคอนโวลูชันกับเกาส์เซียนโดยใช้ σ ที่มีค่ามากๆ อาจช่วยแก้ปัญหาในข้อ 3 ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามจะทำให้รายละเอียดของขอบของวัตถุหายไปทำให้คอนทราสต์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของวัตถุที่แท้จริงได้



รูปที่ 3.4 ผลของการแบ่งส่วนภาพของฟันที่ผ่านการคอนโวลูชันกับเกาส์เซียน
(ก) ภาพคอนทราสต์เริ่มต้น (ข) ภาพคอนทราสต์สุดท้ายโดยใช้ σ ที่มีค่ามากเกินไป
(ค) ภาพคอนทราสต์สุดท้ายโดยใช้ σ ที่มีค่าน้อยเกินไป

6. การซ้อนทับกันของคอนทราสต์ การที่จะแบ่งส่วนฟันทั้ง 6 ซี่ ออกมาด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นทำได้ โดยการแบ่งส่วนฟันทีละซี่โดยที่ต้องกำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นให้อยู่ภายในฟันซี่นั้นๆ หรือปล่อยคอนทราสต์ทั้ง 6 ไปพร้อมๆ กัน ผลที่ได้ก็จะเหมือนกันถ้ากำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นเหมือนเดิม เพราะคอนทราสต์เริ่มต้นของฟันแต่ละซี่อยู่ใกล้กันซึ่งคอนทราสต์แต่ละวงก็จะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของเกรเดียนต์เช่นเดิม เนื่องจากว่าคอนทราสต์แต่ละวงนั้นมีอิสระจากกันจึงอาจเกิดกรณีที่คอนทราสต์เคลื่อนที่ซ้อนทับกันได้

3.2 การแบ่งส่วนภาพพินด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ

เนื่องด้วยปัญหาต่างๆ ในการใช้ขอบของวัตถุในภาพ หรือเกรเดียนต์ แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบจึงได้เปลี่ยนจากการใช้เกรเดียนต์เป็นแรงภายนอกเป็นการใช้แรงภายนอกจากอาณาบริเวณ (region) แทนจึงไม่มีปัญหาในเรื่องของคอนทัวร์ที่รวมกันเป็นจุด หรือรวมเป็นเส้นเดียว วิธีนี้ภาพที่ใช้จะเป็นภาพเฉดสีเทาเท่านั้น

3.2.1 การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นในการแบ่งส่วนภาพพิน

การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นในแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบนี้ คือการกำหนดค่า ϕ เริ่มต้นหรือ ϕ_0 นั้นเอง เพราะว่าแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบนี้ใช้เซตระดับ หรือ ϕ ในการคำนวณแทนที่ใช้จุดบนเส้นของคอนทัวร์ในการคำนวณ การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นในแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบนี้มีความสำคัญ เพราะเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของพื้นผิวของวัตถุที่เราสนใจด้วย และส่งผลถึงจำนวนการวนซ้ำรอบ (Iteration) รวมไปถึงเวลาที่ใช้เพื่อให้คอนทัวร์เคลื่อนที่ไปอยู่บนขอบเขตของวัตถุที่ต้องการ

3.2.1.1 การกำหนดค่า ϕ เริ่มต้นเป็นคอนทัวร์วงเดียว

การกำหนดค่า ϕ เริ่มต้นหรือ ϕ_0 เป็นคอนทัวร์วงเดียวถือเป็นพื้นฐานของการแบ่งส่วนภาพด้วยเซตระดับ ซึ่งสมการที่นิยมใช้กันมาก คือสมการวงกลมเช่นเดียวกับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม ในการกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นเนื่องจากเป็นสมการพื้นฐาน และง่ายต่อความเข้าใจ ส่วนใหญ่การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นจะกำหนดเพียงวงเดียวโดยกำหนดให้วงกลมอยู่ใน หรือล้อมรอบวัตถุที่สนใจในภาพ ค่า ϕ_0 ดังสมการ (3.1) ทำให้ ϕ เป็นดั่งฟังก์ชันดังรูปที่ 2.6(ข) ซึ่งวงกลมสีแดงคือบริเวณที่ค่า ϕ เท่ากับศูนย์

$$\phi_0(x, y) = -\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} + r \quad (3.1)$$

โดยที่ (x_0, y_0) คือจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์เริ่มต้น

(x, y) คือพิกัดของจุดใดๆ ในภาพ

r คือรัศมีของคอนทัวร์

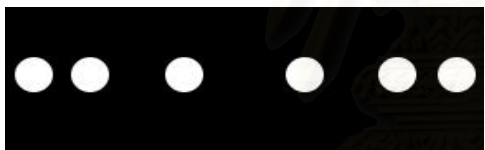
3.2.1.2 การกำหนดค่า ϕ เริ่มต้นเป็นคอนทัวร์หลายวง

เนื่องจากเราพบว่าการกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นซึ่งเป็นวงกลมเพียงวงเดียวนั้นคอนทัวร์จะใช้เวลานานกว่าที่คอนทัวร์จะเคลื่อนที่ไปหาพื้นครบทุกซีเพื่อให้การคำนวณที่รวดเร็วขึ้น เรากำหนดค่าเซตระดับเริ่มต้นโดยที่ $\phi_0(x,y) = 0$ คือจุดที่เป็นคอนทัวร์ บนภาพพื้นนั้นเราจะกำหนดค่าคอนทัวร์เริ่มต้นเป็นวงกลม อยู่ภายในพื้นแต่ละซีดังสมการ

$$\phi_0(x,y) = -\min_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + r \quad (3.2)$$

โดยที่ (x_i, y_i) คือจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์เริ่มต้นในแต่ละจุดในที่มีทั้งหมด 6 จุด r คือรัศมีของวงกลม

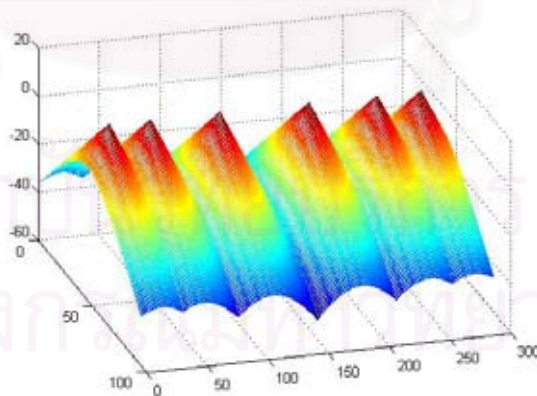
จากสมการ (3.2) หมายถึงการกำหนด ϕ_0 โดยใช้หลักเกณฑ์ว่าเราจะพิจารณาพิกัดใดใกล้จุดศูนย์กลางวงกลมวงใดมากที่สุด ก็จะใช้จุดศูนย์กลาง (x_i, y_i) ที่ i ใดๆ นั้นในการคำนวณนั่นเอง การกำหนด ϕ_0 แบบนี้จะช่วยให้ลดจำนวนการวนซ้ำรอบลง นั้นหมายถึงการลดเวลาในการคำนวณลงด้วย



(ก)



(ข)



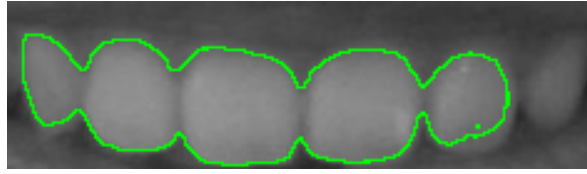
(ค)

รูปที่ 3.5 ภาพของฟังก์ชันเซตระดับ ϕ เริ่มต้น

(ก) รูปคอนทัวร์เริ่มต้นโดยสีขาวคือส่วนที่ $\phi > 0$ หรือภายในคอนทัวร์ สีดำคือส่วนที่ $\phi < 0$ หรือ

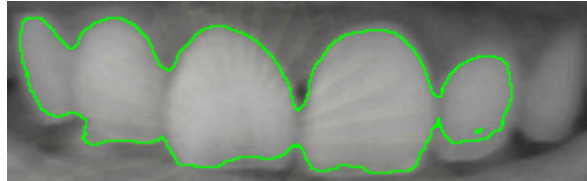
ภายนอกคอนทัวร์ (ข) เส้นวงกลมของคอนทัวร์เริ่มต้นในรูปพื้นสี

(ค) แสดงภาพสามมิติของ ϕ ในรูป (ก)



จุดศูนย์กลาง = [(20,20),(47,38),(96,40),(146,42),(188,40),(224,34)], รัศมี = 9, ขนาด = 67x236 จุดภาพ

(ก)



จุดศูนย์กลาง = [(19,33),(56,42),(111,51),(181,52),(236,52),(275,44)], รัศมี = 12, ขนาด = 90x293 จุดภาพ

(ข)

รูปที่ 3.6 การแบ่งส่วนภาพฟันแบบเฉดสีเทาด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบโดยใช้คอนทัวร์

$$\text{หลายวง โดยที่ } \phi_0(x, y) = -\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + r, \mu = 0.05 \times 255^2$$

ถึงแม้การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นแบบหลายวงจะส่งผลให้การแบ่งส่วนภาพฟันนั้นดี และเร็วขึ้นแต่ก็ยังไม่ดีพอ เพราะภาพฟันที่ริมซ้ายสุดของภาพที่มีค่าความเข้มแสงน้อยกว่าฟันอื่นไม่สามารถแบ่งส่วนออกมาได้เนื่องจากค่าความเข้มแสงของฟันซี่นั้นๆ ใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงของฟันหลังวัตถุ หรือบริเวณที่เป็นเหงือกนั่นเอง อีกทั้งในรูปที่ 3.6(ข) การแพร่ของคอนทัวร์ไปยังขอบของฟันนั้นยังไม่ดีนักอาจเกิดจากคราบหินปูนบริเวณปลายฟัน จึงเห็นว่าควรมีการนำสีของฟันมาพิจารณาในการแบ่งส่วนภาพฟันด้วยเพราะสีของฟันกับสีของเหงือกนั้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากเมื่อมองด้วยตาเปล่า

3.3 ภาพฟันสี

เนื่องจากภาพฟันที่ได้นั้นเป็นภาพสี ซึ่งสีของเหงือกกับสีของฟันนั้นแยกกันอย่างชัดเจนด้วยตาเปล่าเพราะว่าสีของฟันเป็นสีขาว ส่วนสีของเหงือกนั้นเป็นสีแดง ดังรูปที่ 3.1(ก) ต่างจากรูปฟันแบบเฉดสีเทาซึ่งฟันกับเหงือกนั้นต่างกันเพียงค่าความเข้มแสงอย่างเดียวเท่านั้น ดังรูปที่ 3.2(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบภาพฟันสีกับภาพฟันแบบเฉดสีเทาโดย (ก) ภาพฟันสีซึ่งบริเวณฟันกับเหงือกแยกกันอย่างชัดเจน (ข) ภาพฟันเฉดสีเทาซึ่งบริเวณฟันกับเหงือกแยกกันไม่ชัดเจน

ภาพฟันสีที่ได้มานั้นจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบของทั้ง 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังรูปที่ 3.8 แสดงค่าความเข้มสีของแต่ละสีสังเกตได้ว่าสีแดงนั้นเป็นสีที่เห็นความแตกต่างของฟัน และเหงือกน้อยที่สุด ส่วนสีเขียวเป็นสีที่เห็นความแตกต่างของฟันกับเหงือกมากที่สุด และสีน้ำเงินนั้นเห็นความแตกต่างของฟันและเหงือกปานกลาง



(ก)



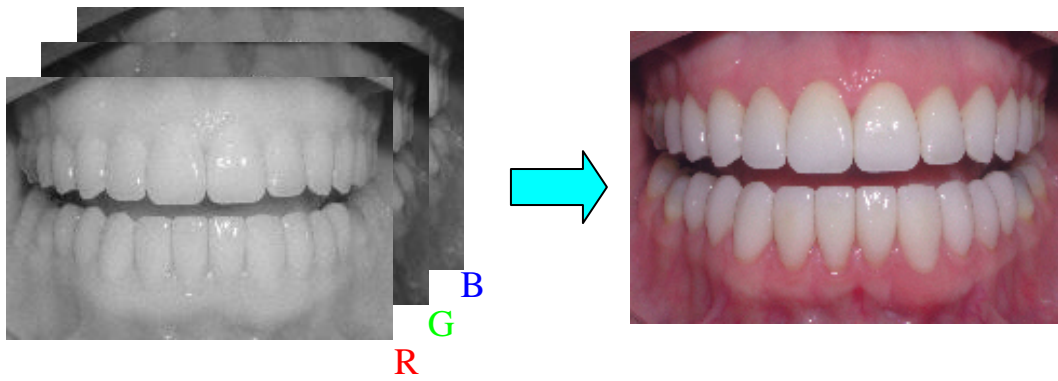
(ข)



(ค)

รูปที่ 3.8 แสดงองค์ประกอบสีของภาพฟันสีในรูปที่ 3.7(ก) โดยแยกเป็น (ก) องค์ประกอบของสีแดง (ข) องค์ประกอบของสีเขียว (ค) องค์ประกอบของสีน้ำเงิน

สีของภาพฟันเกิดขึ้นจากการนำสัดส่วนขององค์ประกอบสีแต่ละส่วนนั้นไปผ่านแบบจำลองสี แดง เขียว น้ำเงิน แล้วจะได้ค่าสีของจุดสีแต่ละจุดตามแผนภาพเค้าร่างของลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน ในรูปที่ 2.1 สังเกตได้ว่าภาพสี 1 ภาพนั้นจะมีข้อมูลมากกว่าภาพแบบเฉดสีเทา 3 เท่า ฉะนั้นการจัดเก็บภาพสี 1 ภาพต้องในหน่วยความจำมากขึ้นด้วยเช่นกัน



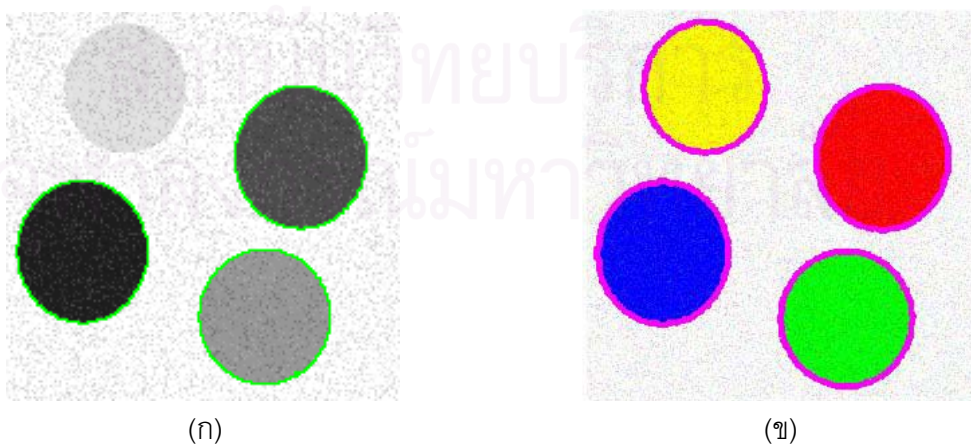
รูปที่ 3.9 แสดงข้อมูลของภาพสี 1 ภาพซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบของสี 3 สี

3.4 การแบ่งส่วนภาพฟันสีด้วยเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบ

เอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบแบบนี้มีหลักการเหมือนกับเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบแบบใช้กับภาพเฉดสีเทา เพียงแต่เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของสีหรือองค์ประกอบ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นจากเดิมที่เป็นเพียงการนำค่าองค์ประกอบของแต่ละสีมาเฉลี่ยกันมาเป็นภาพเฉดสีเทาเท่านั้น

3.4.1 แบ่งส่วนภาพฟันสีแบบ 3-Channel

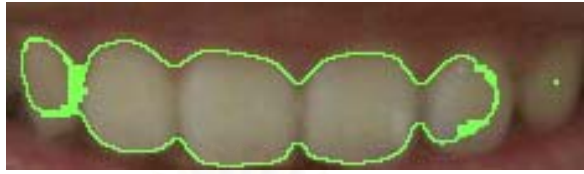
วิธีนี้เป็นการปรับปรุงแรงภายนอกโดยการนำแรงภายนอกที่ใช้ในการขับเคลื่อนคอนทัวร์ของแต่ละองค์ประกอบสีมาเฉลี่ยแรงกันดังสมการที่ (2.27) ซึ่งก็สามารถแบ่งส่วนภาพสีจำลองได้ผลดีกว่าเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบแบบใช้กับภาพเฉดสีเทา เพราะสีที่มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกับพื้นหลังเมื่อแปลงเป็นภาพเฉดสีเทาแล้วสีนั้นจะกลืนเข้ากับสีของพื้นหลังทำให้ไม่สามารถแบ่งส่วนออกมาได้ แต่วิธี 3-Channel นี้เราสามารถแบ่งส่วนออกมาได้



รูปที่ 3.10 ผลการแบ่งส่วนภาพสีจำลองด้วยเอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบ

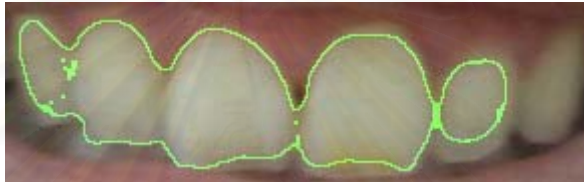
(ก) แบบใช้กับภาพเฉดสีเทา (ข) แบบ 3-Channel

ผลการทดลองแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบแบบใช้กับภาพเฉดสีเทาแต่แบบ 3-Channel สามารถแบ่งส่วนภาพสีเหลืองซึ่งมีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกับพื้นหลังได้จึงควรนำมาทดลองแบ่งส่วนภาพพื้นสีซึ่งน่าจะให้ผลดีกว่าการแบ่งส่วนภาพพื้นแบบเฉดสีเทาซึ่งให้ผลที่ไม่ค่อยดีนัก



จุดศูนย์กลาง = [(18,34),(50,36),(94,39),(146,41),(192,40),(223,35)],รัศมี = 10,ขนาด = 67x236 จุดภาพ

(ก)



จุดศูนย์กลาง = [(18,38),(56,42),(115,46),(183,46),(241,47),(277,47)],รัศมี = 12,ขนาด = 90x293 จุดภาพ

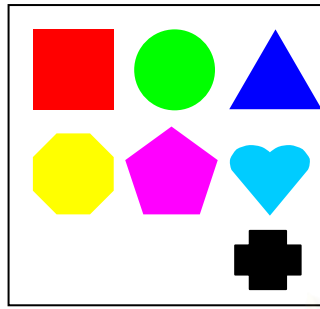
(ข)

รูปที่ 3.11 การแบ่งส่วนภาพพื้นสีแบบ 3-Channel ด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้

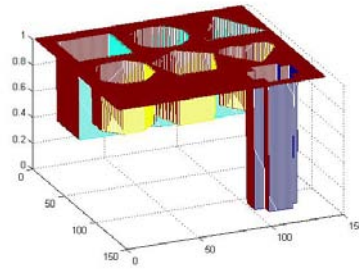
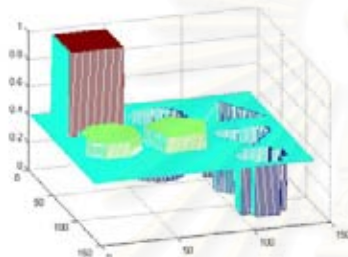
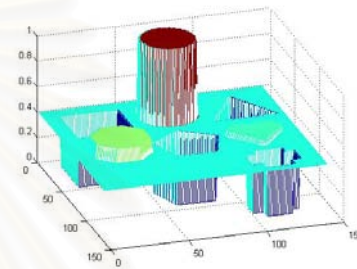
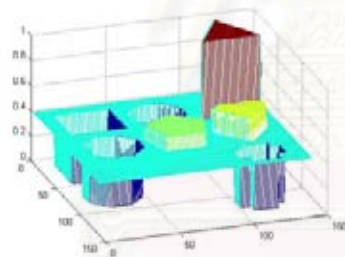
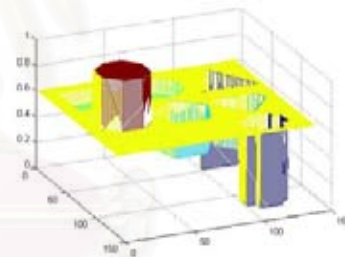
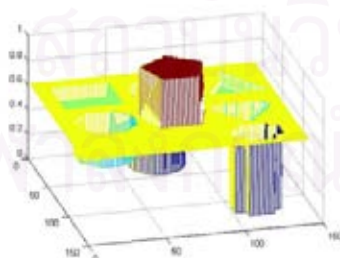
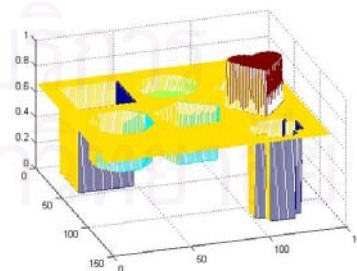
$$\text{คอนทัวร์หลายวง โดยที่ } \phi_0(x, y) = -\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + r, \mu = 0.05 \times 255^2$$

จากผลการทดลองดังรูปที่ 3.11 แสดงว่าวิธีนี้ยังไม่ดีพอที่จะนำมาแบ่งส่วนภาพพื้นสีได้ เพราะภาพพื้นสีที่ริมซ้ายสุดของภาพที่มีค่าความเข้มแสงน้อยกว่าพื้นสีอื่นไม่สามารถแบ่งส่วนออกมาได้เนื่องมาจากค่าความเข้มแสงของพื้นสีนั้นๆ ใกล้เคียงกับค่าความเข้มแสงของพื้นหลังวัตถุ หรือบริเวณที่เป็นเงา และการแพร่ของคอนทัวร์ไปยังขอบของพื้นยังไม่ดีอยู่เช่นเดียวกับการแบ่งส่วนภาพพื้นแบบเฉดสีเทา แสดงว่าการเฉลี่ยแรงภายนอกของการใช้อาณาบริเวณขององค์ประกอบแต่ละสีนั้นยังไม่ดีพอ อีกทั้งยังมีการคำนวณที่มากทำให้การแบ่งส่วนค่อนข้างล่าช้า จึงอาจต้องหาวิธีที่ทำให้ความแตกต่างของสีแดงกับสีชาวนั้นมีมากขึ้น ดังเช่นการแปลงภาพสีโดยวิธีการแปลงภาพเชิงมุมในหัวข้อต่อไป

3.4.2 แบ่งส่วนภาพพื้นสีโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม (Angular Mapping)



(ก) รูปต้นฉบับ

(ข) $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ (สีเขียว)(ค) $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ (สีแดง)(ง) $v_{ref} = [0 \ 1 \ 0]$ (สีเขียว)(จ) $v_{ref} = [0 \ 0 \ 1]$ (สีน้ำเงิน)(ฉ) $v_{ref} = [1 \ 1 \ 0]$ (สีเหลือง)(ช) $v_{ref} = [1 \ 0 \ 1]$ (สีชมพู)(ญ) $v_{ref} = [0 \ 1 \ 1]$ (สีคราม)

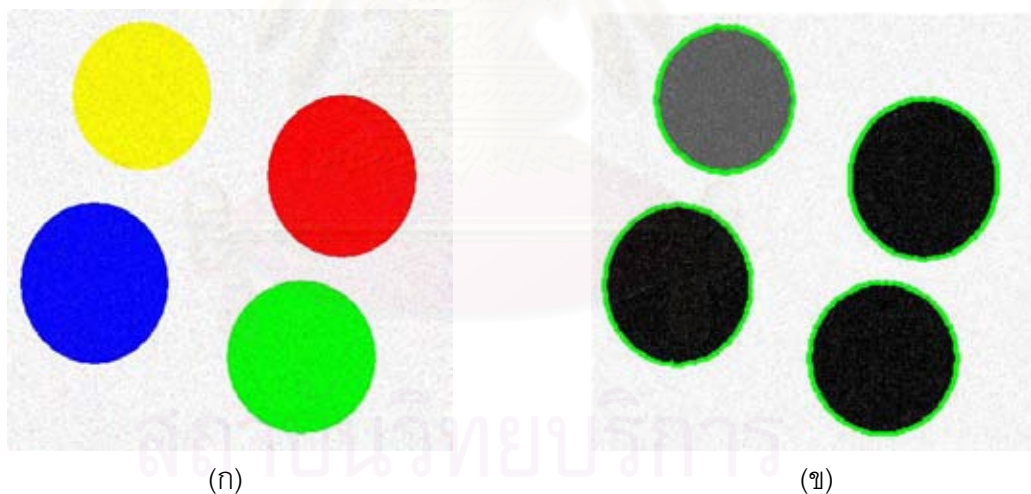
รูปที่ 3.12 กราฟสามมิติของการแปลงภาพเชิงมุมจากภาพสีจำลอง

(ก) คือภาพต้นฉบับซึ่งประกอบด้วยรูปเรขาคณิตสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีฟ้า และสีดำ บนพื้นสีขาว (ข)-(ญ) แสดงกราฟสามมิติของการแปลงภาพเชิงมุมที่ v_{ref} ต่างๆ กันของรูปต้นฉบับ (ก) ซึ่งความสูงของกราฟ คือค่าความเข้มแสงของภาพที่ได้จากการแปลงภาพเชิงมุม

เป็นการแปลงภาพพื้นก่อนที่จะนำมาแบ่งส่วนซึ่งเราสามารถเห็นความแตกต่างของภาพพื้นสีที่แปลงแล้วได้ ก่อนที่จะนำภาพพื้นนั้นๆ มาแบ่งส่วน ค่าความเข้มแสงของภาพที่แปลงแล้วนั้นคือมุมที่แตกต่างระหว่างเวกเตอร์ของสีอ้างอิง กับเวกเตอร์ของจุดสีใดๆ ในภาพโดยอ้างอิงจากแผนภาพเค้าร่างของลูกบาศก์สี แดง เขียว น้ำเงิน ดังรูปที่ 2.1 เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นจริงเราจึงได้ทดลองการแปลงภาพเชิงมุมจากรูปสีจำลอง ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งประกอบด้วยรูปเรขาคณิตสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีเหลือง สีชมพู สีฟ้า และสีดำ บนพื้นสีขาว

จากรูปสามมิติของการแปลงภาพเชิงมุมที่ v_{ref} ต่างๆ กันสังเกตได้ว่าบริเวณที่สูงที่สุดในกราฟสามมิติในแต่ละกราฟนั้น เป็นอาณาบริเวณของสีที่ตรงกับสีอ้างอิงของ หรือ v_{ref} ของแต่ละกราฟ แสดงให้เห็นว่าการแปลงภาพเชิงมุมนั้นเป็นการเน้นสีที่เราสนใจให้มากกว่าสีอื่นๆ และยังสังเกตได้อีกว่าสีอื่นที่มีองค์ประกอบของสีแดง เขียว น้ำเงิน ใกล้เคียงกับสีอ้างอิงนั้นก็จะมีค่ามากขึ้นมาตามลำดับ

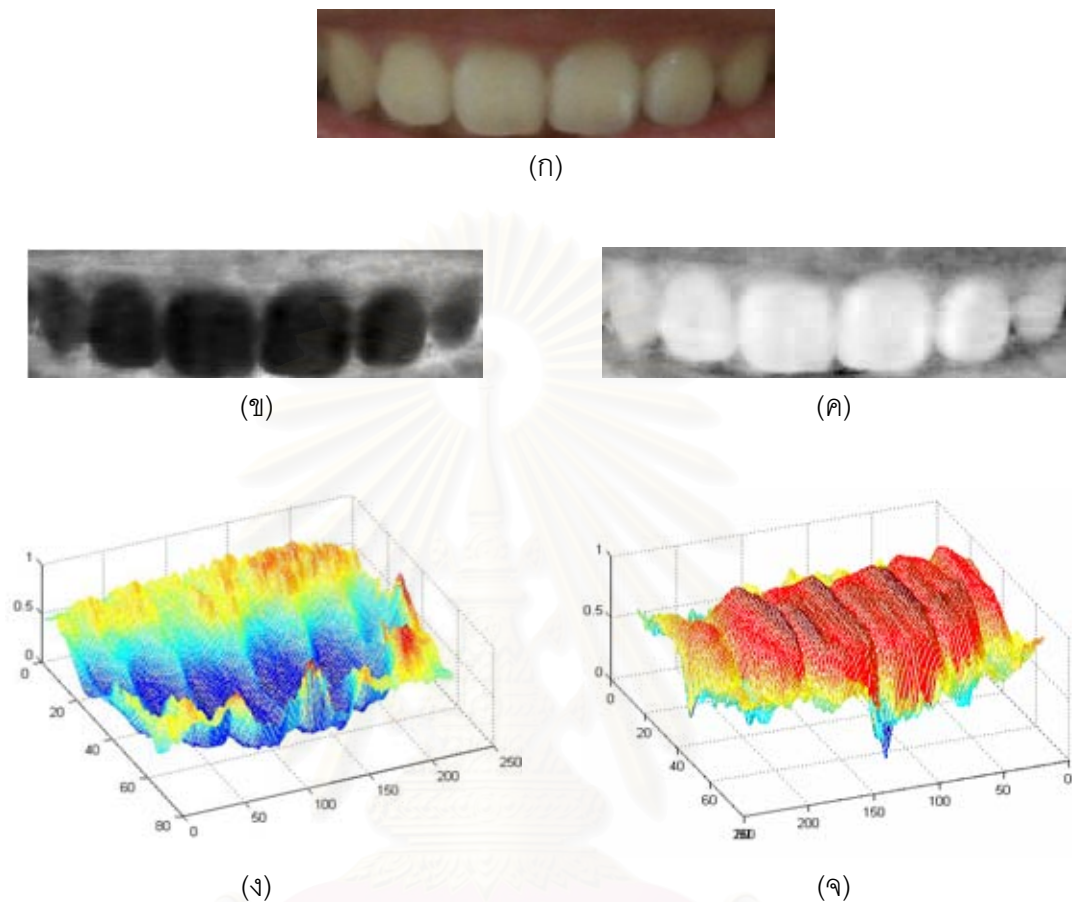
ซึ่งจากการทดลองแบ่งส่วนภาพสีจำลองนั้นสามารถแบ่งส่วนวัตถุสีที่มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกับพื้นหลังได้เช่นเดียวกับแบบ 3-Channel ดังรูป 3.13



รูปที่ 3.13 การแบ่งส่วนภาพสีจำลองด้วยแก็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ (ก) ภาพสีจำลองดั้งเดิม (ข) ภาพสีจำลองที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุม และแบ่งส่วนภาพแล้วโดยกำหนด $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$

ผลจากการแปลงภาพเชิงมุมกับภาพสีจำลองทำให้สีเหลืองในภาพสีจำลองแตกต่างจากสีของพื้นหลังชัดเจนยิ่งขึ้นทำให้การแบ่งส่วนภาพนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วกว่าแบบ 3-Channel ซึ่ง

มีการคำนวณค่อนข้างสูง การแปลงภาพเชิงมุมนี้จึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีในการเน้นสีของวัตถุในภาพที่เราสนใจได้ดียิ่งขึ้นเราจึงนำมาทดลองการแปลงภาพเชิงมุมกับภาพฟันสีได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 (ก) รูปฟันสีดั้งเดิม (ข) รูปฟันซึ่งเกิดจากการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$

(ค) รูปฟันซึ่งเกิดจากการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$

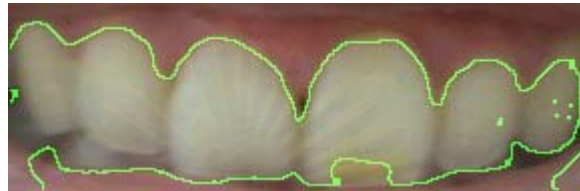
(ง) กราฟสามมิติของภาพเชิงมุมของรูปฟัน (ข) (จ) กราฟสามมิติของภาพเชิงมุมของรูปฟัน (ค)

รูปฟันที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ (สีขาว) นั้นบริเวณที่เป็นฟันนั้นจะเป็นสีขาว บริเวณเหงือกเป็นสีเทา ส่วนที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ (สีแดง) นั้นบริเวณที่เป็นฟันนั้นจะเป็นสีดำ ส่วนบริเวณที่เป็นเหงือกนั้นจะมีสีขาว เพราะว่าเราใช้สีอ้างอิงเป็นสีแดงทำให้เหงือกซึ่งเป็นสีแดงมีความเข้มแสงสูงกว่าฟัน หลังจากการแปลงภาพเชิงมุมแล้ว และรูปฟันที่ผ่านการแปลงแล้วนั้นยังคล้ายกับรูปจำลองหลักการของการใช้แรงภายนอกของแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบ ในรูปที่ 2.5 และยังคงคล้ายกับรูปจำลองที่ใช้ในการทดลองแบ่งส่วนภาพในบทความแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบ [2] อีกด้วย ภาพที่ได้จากการแปลงเชิงมุมนี้จึงน่าจะนำมาแบ่งส่วนภาพโดยใช้แอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบได้ดี



จุดศูนย์กลางกลาง = [(16,35),(46,35),(90,35),(141,35),(185,36),(215,36)],รัศมี = 8,ขนาด =67x231 จุดภาพ

(ก)

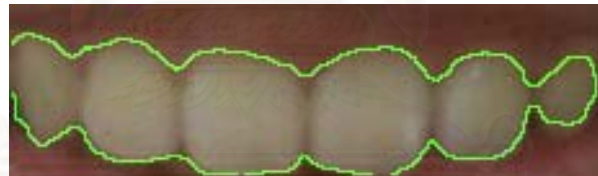


จุดศูนย์กลาง=[(20,41),(57,43),(110,48),(182,47),(234,49),(276,49)],รัศมี =10,ขนาด =90x293จุดภาพ

(ข)

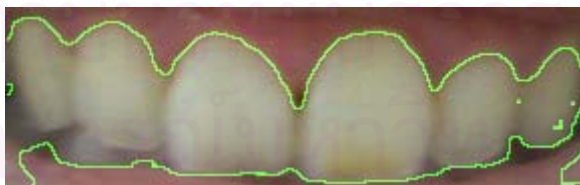
รูปที่ 3.15 การแบ่งส่วนภาพพื้นสีที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ ด้วยวิธี
 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง โดยที่ $\mu = 0.05 \times 255^2$ และ

$$\phi(x, y) = -\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + r$$



จุดศูนย์กลาง = [(16,35),(46,35),(90,35),(141,35),(185,36),(215,36)],รัศมี = 8,ขนาด =67x231 จุดภาพ

(ก)



จุดศูนย์กลาง=[(20,41),(57,43),(110,48),(182,47),(234,49),(276,49)],รัศมี =10,ขนาด =90x293จุดภาพ

(ข)

รูปที่ 3.16 การแบ่งส่วนภาพพื้นสีที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ ด้วยวิธี
 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง โดยที่ $\mu = 0.05 \times 255^2$ และ

$$\phi(x, y) = -\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + r$$

สังเกตได้ว่าการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ (สีขาว) เกิดปัญหาคอนทราสต์ไม่เคลื่อนที่เข้าหาขอบที่มีหินปูน ส่วนการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ (สีแดง) ปัญหาที่คอนทราสต์ไม่เคลื่อนที่เข้าหาขอบมีค่อนข้างน้อย ดีกว่าการแปลงเชิงมุมโดยใช้สีอ้างอิงเป็นสีขาว เราจึงเลือกใช้สีอ้างอิงเป็นสีแดง แต่ก็ยังเกิดปัญหาคอนทราสต์แพร่ออกมาเกินเนื่องมาจากพื้นที่ว่างที่ไม่ต้องการแบ่งส่วนในรูปที่ 3.16(ข) ซึ่งมีเนื้อพื้นเช่นเดียวกับพื้นที่บน รวมทั้งริมฝีปากบางส่วนด้วย

3.4.3 การแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ (Edge Emphasized Angular Image)

เนื่องจากขอบลบในแนวแกน y หรือ ∇y^- โดยที่ $\nabla y^- = -\min(\nabla y, 0)$ จากรูปพื้นนั้นจะเป็นขอบของปลายฟัน ซึ่งเป็นขอบที่แบ่งได้ชัดเจนระหว่างพื้นที่บนกับพื้นที่ล่าง เนื่องจากปัญหาของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมนั้นเกิดจากพื้นที่ว่าง จึงนำเอา ∇y^- มาใช้คำนวณโดยการบวกขอบลบลงตามแนวแกน y แล้วนำมารวมกับการแปลงภาพเชิงมุมดังสมการ

$$\theta_3 = \theta_1 + \tau S \quad (3.3)$$

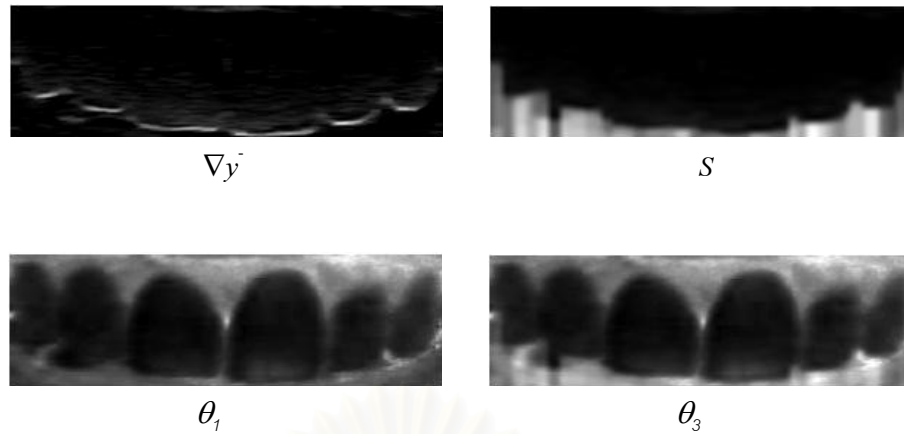
เมื่อ

$$S(i, j) = \sum_{k=p}^j \nabla y^-(i, k) \quad \text{if } j \geq p \quad (3.4)$$

$$p = \arg \max_j (\nabla y^-(i, j)) \quad (3.5)$$

τ คือค่าถ่วงน้ำหนักในการนำ S มารวมกับการแปลงภาพเชิงมุม
 θ_3 คือการแปลงภาพเชิงมุม รวมกับการรวมกันของขอบลบในแนวแกน y

โดยฟังก์ชัน S ที่นำไปใช้นั้นควรนำไปผ่านการกรองมัธยฐานแบบ 2 มิติ (2-D median filtering) ก่อนจึงจะสามารถใช้ได้ดี ซึ่งจะไม่ต้องผ่านการกรองก็ได้ แต่อาจได้ผลไม่ดีนัก



รูปที่ 3.17 ภาพของตัวแปรในสมการ (3.3) (บนซ้าย) แสดงขอบลบในแนวแกน y ของภาพพื้น (บนขวา) แสดงการบวกลงมาของขอบลบ ในแนวแกน y (ล่างซ้าย) แสดงรูปพื้นที่ได้จากการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ (ล่างขวา) คือการแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบโดยการนำรูปบนขวา รวมกับล่างซ้ายโดยมี τ เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก

3.5 การแยกสี่พื้น

เนื่องจากภาพที่ได้จากการแบ่งส่วนพื้นโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ ภาพพื้นทั้ง 6 ซี่ที่ได้จากการแบ่งส่วนแล้วนั้นจะยังคงมีขอบเขตที่ติดกันอยู่ จึงมีความจำเป็นต้องแบ่งพื้นทั้ง 6 ซี่ที่ติดกันอยู่นั้นออกจากกันเพื่อนำพื้นที่แต่ละซี่ที่แบ่งส่วนได้นั้นไปตกแต่งในภาพใบหน้าคนใช้ต่อไป

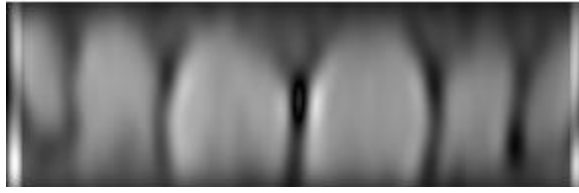
3.5.1 โดยการใช้ตัวกรองกาบอร์

ดัดแปลงตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter) เพื่อให้เหมาะสมยิ่งขึ้นเพื่อการหยุดการแพร่ของขอบข้างที่ตีขึ้น โดยการกำหนดค่า σ ของแต่ละแกน

$$g_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right) \quad (3.6)$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.18 (ก) คือตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter) $g_{\sigma}(x,y)$ ที่ $\sigma_x = 20$, $\sigma_y = 8$, $\theta = \pi/2$, $F=0.075$
 (ข) ภาพเฉดสีเทาของพื้น u_0 ที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ตามสมการที่ (2.29) และ (2.33) ตามลำดับ

สังเกตได้ว่าภาพที่ผ่านตัวกรองกาบอร์ (u_0) $_{\sigma,F,\theta}$ ที่ $\theta = \pi/2$ นั้นจะมีความกว้างของช่องว่างในแนวตั้งระหว่างพื้นมากขึ้น

3.5.2 การแยกสีพื้นโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่าง

วิธีนี้เป็นการรวมค่าความเข้มแสงในแนวแกน y ในภาพที่ฉายลงบนแนวแกน x จะได้กราฟในรูปที่ 3.20(ก) คล้ายกับการแบ่งสีพื้นจากภาพเอกซเรย์ [17] จากสมการ (3.7) สังเกตได้ว่าตำแหน่งของแ่งในกราฟนั้นตำแหน่งต่ำสุดของแ่งเป็นตำแหน่งที่แบ่งระหว่างสีพื้นแต่ละสีจึงสามารถนำมาใช้ในการแบ่งพื้นแต่ละสีออกจากกันได้

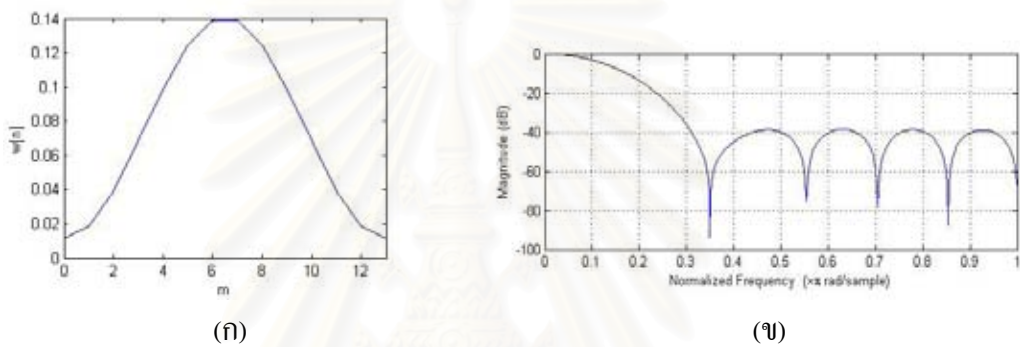
$$P_x(i) = \sum_{k=1}^M I(i, k) \quad (3.7)$$

เมื่อ P_x คือกราฟการฉายลงบนแกน x (x -axis projection) ของภาพพื้น I ซึ่งมีขนาด M แถว โดยภาพ I ที่นำมาใช้นั้นอาจเป็นภาพเฉดสีเทาของพื้น หรือภาพจากองค์ประกอบสีใดสีหนึ่ง ในภาพสีก็ได้ ในการทดลองนี้ได้ใช้องค์ประกอบของสีเขียว ซึ่งจากการทดลองนั้นได้ผลดีกว่าการใช้ภาพเฉดสีเทา หรือจากองค์ประกอบของสีอื่นๆ

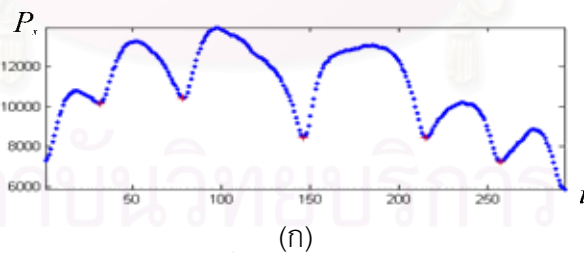
การหาแ่งที่เป็นช่องว่างในกราฟนั้นสามารถทำได้โดยการนำกราฟไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) ในการทดลองนี้ตัวกรองที่ใช้ใช้หน้าต่างแบบแฮมมิง (Hamming Window) ดังสมการที่ (3.8) โดยให้ค่า อันดับ (order) เป็นจำนวนเต็มบวกของจำนวนสัญญาณ N จากกราฟ P_x หารด้วยค่าประมาณ 1 ใน 3 ของกราฟพื้นแต่ละสีโดยในภาพพื้นได้หมดมี 6 สี ดังนั้นจึงแบ่งได้ 18 ส่วน จะได้ค่าอันดับ $m = N/18$ และความถี่คัทออฟ (cutoff frequency) เท่ากับ $1/N$ สัญญาณที่ผ่านตัวกรองแล้วนำไปหาค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ กราฟที่มีค่าใกล้เคียงศูนย์ และมีความชัน

เป็นบวก จะเป็นจุดต่ำสุดของแ่งในกราฟ เมื่อได้ตำแหน่งของกราฟที่เป็นจุดต่ำสุดของแ่ง ช่องว่างในกราฟคร่าวๆ เนื่องจากเกิดการเลื่อนของสัญญาณเมื่อนำสัญญาณมาหาค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ และผ่านตัวกรอง จากกราฟที่ผ่านตัวกรองแล้ว จึงนำมาหาค่าต่ำสุดของบริเวณนั้นในกราฟที่ยังไม่ได้ผ่านตัวกรองจึงจะได้จุดต่ำสุดของแ่งที่เป็นช่องว่างในกราฟที่แท้จริง ซึ่งจุดที่ได้นี้ เป็นจุดที่แบ่งฟันแต่ละซี่ออกจากกัน

$$w[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n/m), & 0 \leq n \leq m, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.19 (ก) แสดงกราฟของหน้าต่างแฮมมิงที่อันดับ $m = 13$ และความถี่ตัด (cutoff frequency) เท่ากับ 0.0769 (ข) แสดงกราฟลอการิทึมของขนาดเทียบกับความถี่ของหน้าต่างแฮมมิงในรูป (ก)



รูปที่ 3.20 (ก) กราฟการฉายลงบนแกน x ของภาพฟัน(x-axis projection) และแสดงจุดต่ำสุดของแ่งแต่ละแ่งในกราฟ (ข) รูปฟัน และเส้นซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดต่ำสุดของแ่งในกราฟ

บทที่ 4

การทดลอง

บทนี้เป็นการทดลองแบ่งส่วนภาพฟันจากวิธีที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยการนำภาพฟันสีที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบแล้วจึงนำไปแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง แล้วจึงนำพื้นที่แบ่งส่วนได้นั้นไปแยกออกเป็นซี่ๆ

4.1 การทดลองแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ



(ก)



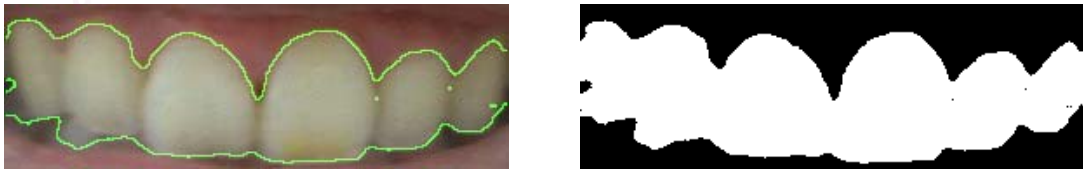
(ข) $\tau = 0, S_{\text{area}} = 0.90841, S_{\text{shape}} = 0.69363$



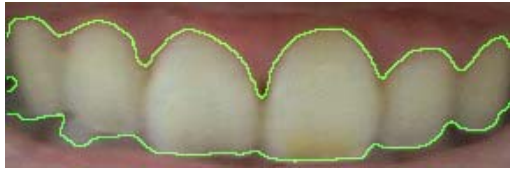
(ค) $\tau = 0.1, S_{\text{area}} = 0.92464, S_{\text{shape}} = 0.77581$



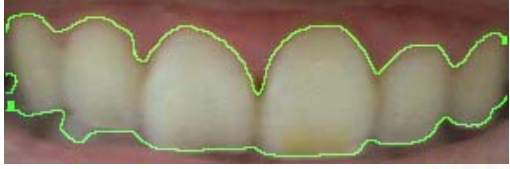
(ง) $\tau = 0.2, S_{\text{area}} = 0.93219, S_{\text{shape}} = 0.78222$



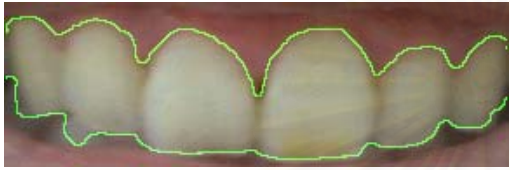
(จ) $\tau = 0.3, S_{\text{area}} = 0.93676, S_{\text{shape}} = 0.77946$



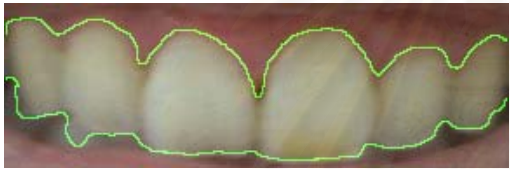
(ฉ) $\tau = 0.4, S_{\text{area}} = 0.94237, S_{\text{shape}} = 0.80484$



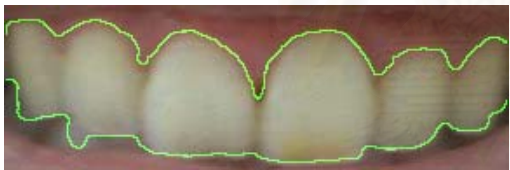
(ช) $\tau = 0.5, S_{\text{area}} = 0.94487, S_{\text{shape}} = 0.79792$



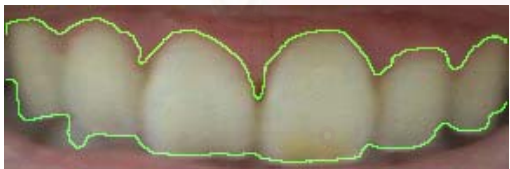
(ฌ) $\tau = 0.6, S_{\text{area}} = 0.95017, S_{\text{shape}} = 0.81210$



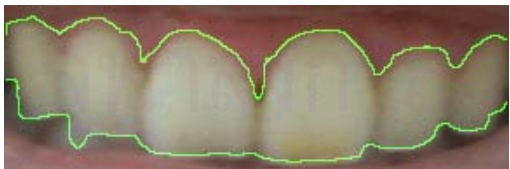
(ฎ) $\tau = 0.7, S_{\text{area}} = 0.95168, S_{\text{shape}} = 0.81080$



(ญ) $\tau = 0.8, S_{\text{area}} = 0.95138, S_{\text{shape}} = 0.81355$



(ฎ) $\tau = 0.9, S_{\text{area}} = 0.95071, S_{\text{shape}} = 0.81177$

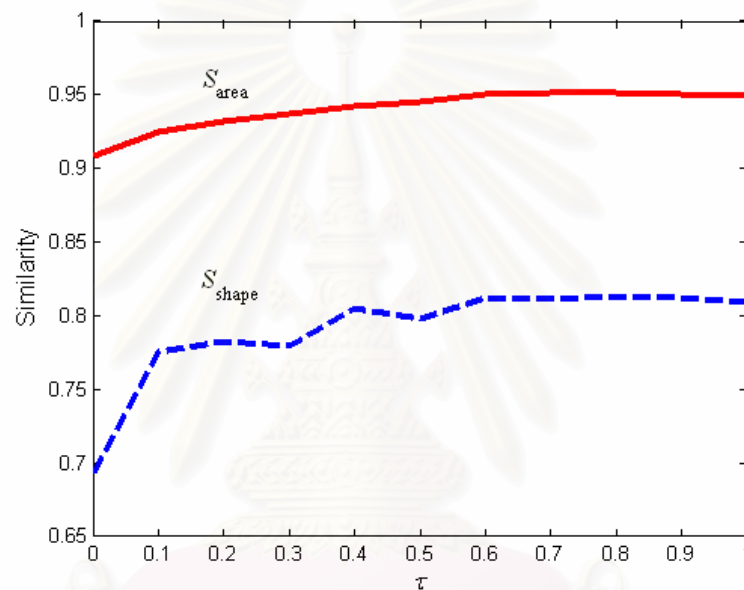


(ฏ) $\tau = 1.0, S_{\text{area}} = 0.94931, S_{\text{shape}} = 0.80931$

รูปที่ 4.1 (ก) เป็นภาพที่แบ่งส่วนด้วยมือ (ข) - (ฏ) การแบ่งส่วนภาพพื้นสีด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวงที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบที่ $v_{\text{ref}} = [1 \ 0 \ 0]$ และค่า τ ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แล้วนำไปเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ S_{area} และรูปร่าง S_{shape}

จากสมการที่ (3.3) เมื่อปรับค่า τ ที่เป็นค่าถ่วงน้ำหนักในการนำ S มารวมกับการแปลงภาพเชิงมุมที่ค่าต่างๆ ปรากฏว่าถ้าเราปรับค่า τ มากขึ้นเท่าไรคอนทราสต์จะแพร่ไปยังพื้นที่ล่างที่ไม่ต้องการน้อยลง แต่ตรงกันข้ามคอนทราสต์ก็อาจแพร่ขึ้นไปยังเชิงอกข้างบนพื้นมากขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากการใช้ค่า τ มากจะทำให้ความเข้มแสงของเชิงอกบนกับเนื้อพื้นนั้นมีความแตกต่างกันน้อยลง

จากการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ S_{area} และรูปร่าง S_{shape} สามารถเห็นความสัมพันธ์ของค่าถ่วงน้ำหนัก τ จากการเน้นขอบเมื่อนำค่าทั้งสองมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.2



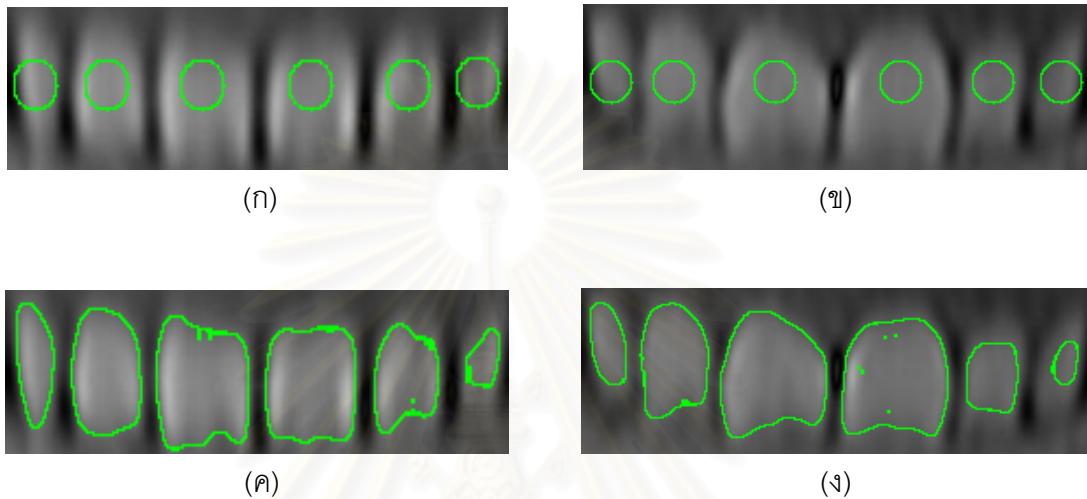
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก τ ระหว่างความคล้ายเชิงพื้นที่ S_{area} และความคล้ายเชิงรูปร่าง S_{shape}

จากกราฟในรูปที่ 4.2 เห็นได้ชัดเจนว่าการเมื่อค่า τ มากขึ้นความคล้ายเชิงพื้นที่ และรูปร่าง มีแนวโน้มดีขึ้น เมื่อดูจากค่าความคล้ายจะพบว่า S_{area} มีค่าสูงสุดที่ $\tau = 0.7$ และ S_{shape} มีค่าสูงสุดที่ $\tau = 0.8$ เกินกว่านี้ค่าความคล้ายเชิงพื้นที่ และความคล้ายเชิงรูปร่างจะมีแนวโน้มลดลง การปรับค่า τ นั้นจึงควรปรับให้พอดีไม่ควรให้คอนทราสต์นั้นลามขึ้นไปยังเชิงอกข้างบนมากเกินไป

4.2 การทดลองการแยกสีพื้น

4.2.1 โดยการใช้อัตรากรองภาพ

เมื่อลองนำภาพพื้นทีผ่านตัวกรองภาพไปแบ่งส่วนภาพพื้นด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การแบ่งส่วนภาพพื้นทีผ่านตัวกรองภาพด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ

$$\text{ที่ } \mu = 0.05 \times 255^2 \text{ และ } \phi_0(x, y) = -\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + 10$$

จากผลการทดลองได้คอนทัวร์ของพื้นแต่ละสีแยกออกจากกัน แต่เนื่องจากการแปลงภาพผ่านตัวกรองภาพนั้นไม่เพียงแต่ทำให้ช่องระหว่างพื้นแต่ละสีกว้างขึ้น แต่ยังทำให้ขอบบนและขอบล่างผิดรูปไปจึงทำให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่ผิดรูปตามไปด้วย เมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพพื้นทีต้องการแบ่งส่วนก็จะพบว่า ขอบเขตที่ได้จากการแบ่งภาพทีผ่านตัวกรองภาพผิดไปจากขอบเขตของพื้นจริงค่อนข้างมาก จึงไม่สามารถนำไปแบ่งส่วนภาพพื้นได้

4.2.2 การแยกซี่ฟันโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่าง



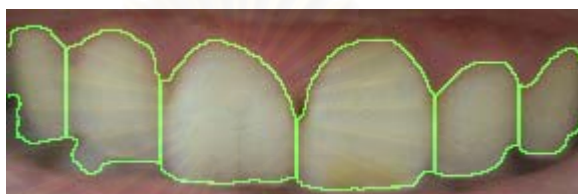
รูปที่ 4.4 ผลการแยกซี่ฟันวิธีกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่าง โดยเส้นสีเขียวเป็นเส้นที่แบ่งฟันแต่ละซี่ออกจากกัน

ผลการทดลองที่ได้นั้นปรากฏว่าวิธีกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วยวิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่างนั้นสามารถแยกฟันตัดหน้าบน 6 ซี่ออกจากกันได้ และได้ผลดีมาก จากรูปฟันทั้งหมดที่นำมาทดลองดังรูปที่ 4.4 สามารถแบ่งฟันแต่ละซี่ออกจากกันได้ทั้งหมด

4.3 การทดลองแบ่งส่วนภาพพื้น



(ก)



(ข)

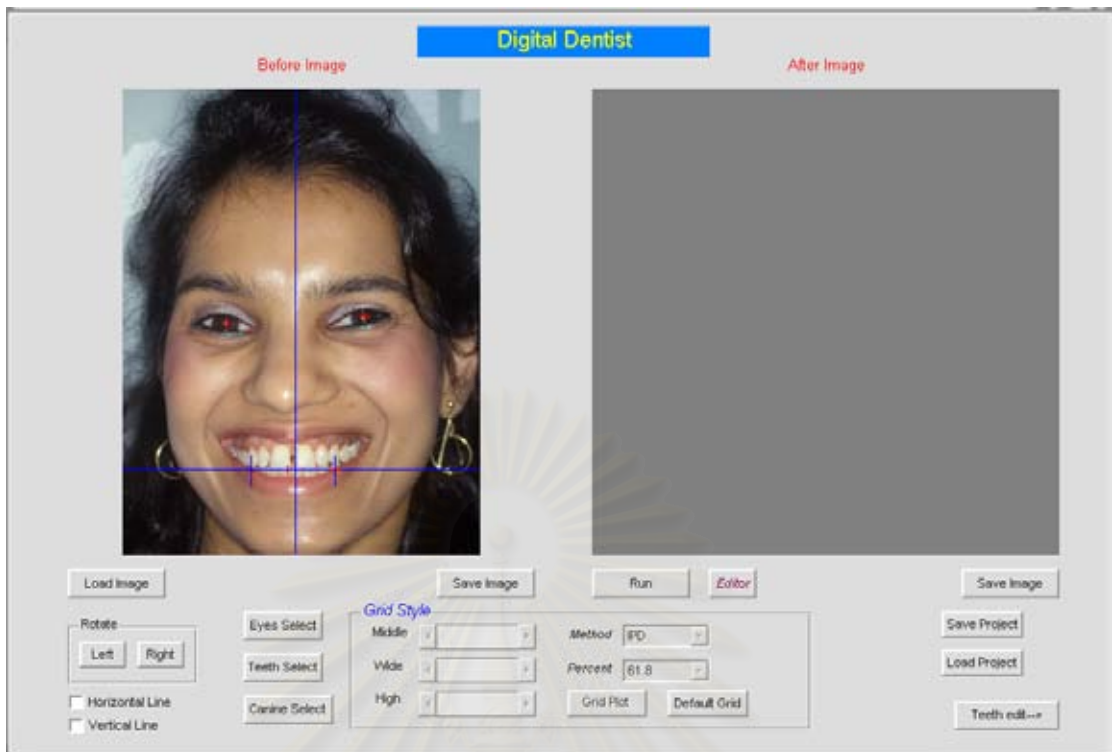
รูปที่ 4.5 ผลการแบ่งส่วนภาพพื้นสีที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมที่ $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ ด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้คอนทัวร์หลายวง พร้อมกับแสดงเส้นแบ่งสีพื้น

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5(ก) สามารถแบ่งส่วนภาพพื้นได้ดี พื้นแต่ละชิ้นสามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน ส่วนผลการทดลองในรูปที่ 4.5(ข) ถือว่ายังไม่ดีมากนัก เป็นเพราะว่าพื้นแต่ละชิ้นในรูปนี้มีส่วนที่ซ้อนกัน การแบ่งพื้นแต่ละชิ้นออกจากกันโดยใช้เพียงเส้นตรงแบ่งพื้นแต่ละชิ้นออกจากกันนั้นจึงอาจดูไม่สวยงามเท่าที่ควร

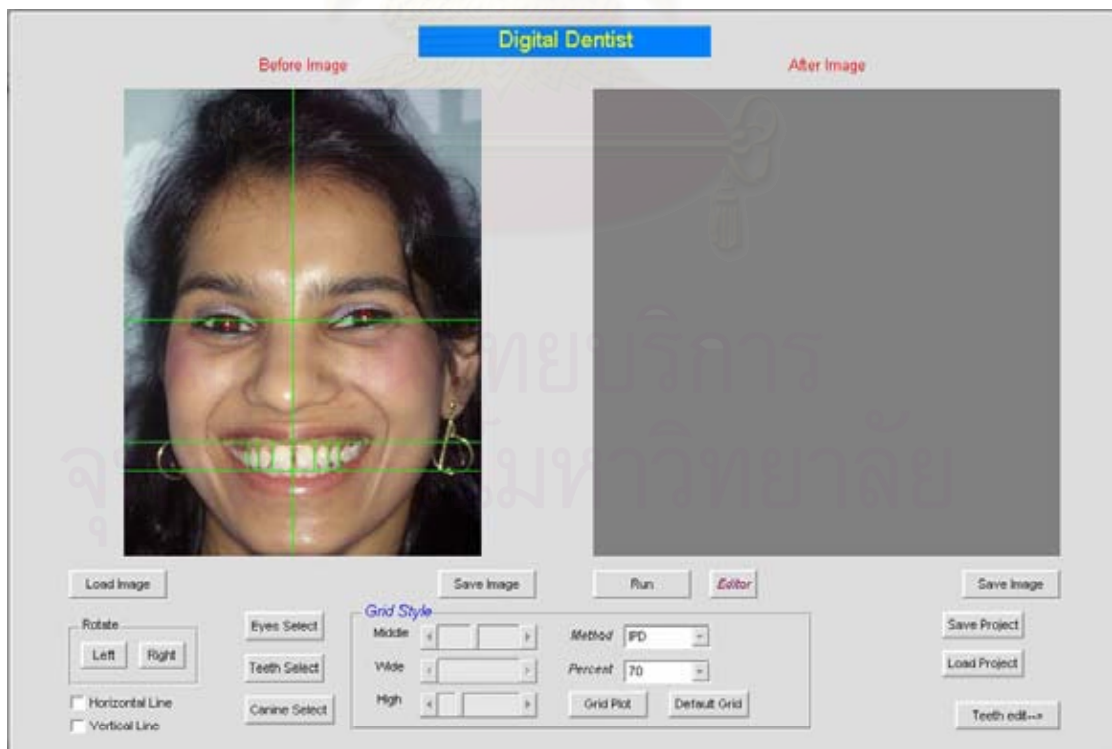
4.4 การทดลองตัดตกแต่งพื้นด้วยซอฟต์แวร์

จากนั้นจึงนำพื้นที่แบ่งส่วนได้นั้นไปจัดและตกแต่งพื้นในภาพใบหน้าของคนไข้ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเอง แล้วเปรียบเทียบใบหน้าของคนไข้ก่อนการรักษาและหลังการรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของตา ปลายฟันตัดหน้าบน และฟันเขี้ยว เพื่อกำหนดรูปแบบของกริดที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงในการจัดฟันของซอฟต์แวร์



รูปที่ 4.7 แสดงกริดที่ใช้เป็นหลักอ้างอิงในการจัดฟัน



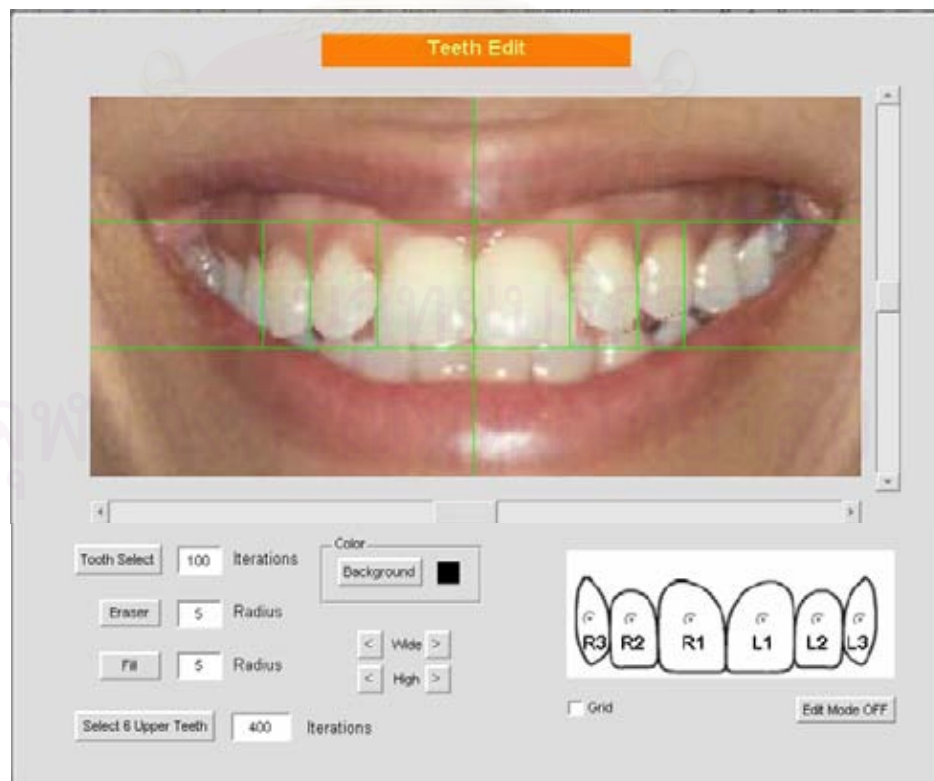
รูปที่ 4.8 การแบ่งส่วนฟันตัดหน้าบนทั้ง 6 ซี่แบบอัตโนมัติ

สังเกตได้ว่าวิธีการแบ่งส่วนภาพฟันด้วยวิธีแอกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ แล้วจึงนำฟันที่แบ่งส่วนได้นั้นไปแยกออกเป็นซี่ๆ ที่นำเสนอสามารถนำมาใช้ในการแบ่งส่วนภาพฟันทั้ง 6 ซี่ออกมาเป็นซี่ๆ พร้อมๆ กันได้ แม้ว่าจะไม่ได้ผลการแบ่งส่วนที่ดีที่สุดแต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ก็สามารถตัดขอบเขตเกิน และเพิ่มขอบเขตที่ขาด จากการแบ่งส่วนฟันในรูปที่ 4.8 ได้โดยใช้ปุ่ม Eraser และ Fill ทำให้ได้ขอบเขตของฟันตามความต้องการของทันตแพทย์ได้ ดังรูปที่ 4.9

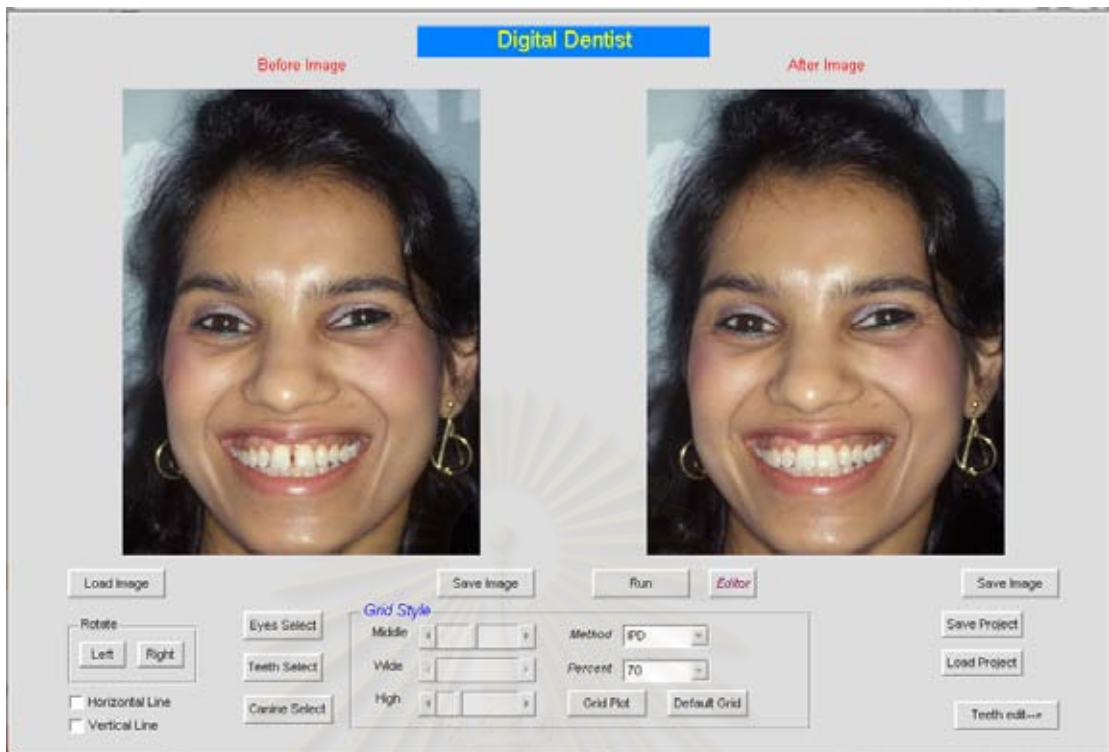
สถาบันทันตกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ภาพการแบ่งส่วนฟันตัดหน้าบนทั้ง 6 ซี่ที่ตัด และเพิ่มขอบเขตที่ไม่ต้องการออก เพื่อนำไปจัด และตกแต่งภาพฟันต่อไป



รูปที่ 4.10 แสดงภาพฟันที่ได้ตกแต่งฟันตามกริดที่กำหนดขึ้นแล้ว



รูปที่ 4.11 แสดงภาพเปรียบเทียบใบหน้าของคนไข้ก่อน และหลังการจัดตกแต่งฟัน
เพื่อจำลองภาพหลังการรักษา

ภาพที่ได้เป็นเพียงภาพจำลองใบหน้าหลังการรักษา ซึ่งการรักษาของทันตแพทย์จริงๆ นั้น อาจจะไม่ตรงกับภาพจำลอง แต่อย่างไรก็ดีข้อมูลในการจัดตกแต่งบางส่วนที่อยู่ในโปรแกรมนี้ สามารถนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการรักษาได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอวิธีการแบ่งส่วนภาพพินสีแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการตกแต่งภาพพิน เพื่อช่วยในการจำลองผลการรักษาพินในการทำทันตกรรมประดิษฐ์ ซึ่งวิธีการแบ่งส่วนภาพพินนิยมใช้กันก็คือ สเตน หรือแอ็กทิฟคอนทัวร์ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพแต่แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิมที่ใช้ขอบ หรือเกรเดียนต์ของภาพนั้นยังไม่ดีพอที่จะนำมาใช้แบ่งส่วนภาพพินตัดหน้าบน 6 ซี่ออกมาได้เพราะมีปัญหาค่อนข้างมากในการกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นเพราะถ้ากำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นไม่เหมาะสมแล้วอาจทำให้คอนทัวร์รวมกันเป็นจุด หรือเส้นเดียวกันอันเกิดมาจากการที่คอนทัวร์ทั้งหมดไปอยู่ใกล้ขอบใดขอบหนึ่งของวัตถุมากเกินไปแล้วแรง และทิศทางของเกรเดียนต์บริเวณขอบนั้นนำพาคอนทัวร์ไปทั้งหมด จึงได้นำวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ เนื่องจากสามารถตัดปัญหาแรงภายนอกที่เกิดจากขอบ หรือเกรเดียนต์ของภาพออก แต่จะใช้แรงภายนอกจากอาณาบริเวณ และใช้เซตระดับแทนการใช้ฟังก์ชันขอบแบบเดิม ทำให้การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นนั้นทำได้ง่ายขึ้น สามารถแก้ปัญหาคอนทัวร์รวมกันเป็นจุด หรือเส้นได้ แต่แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบแบบเดิมนั้นเป็นการใช้กับภาพในเฉดสีเทาเท่านั้น เมื่อลองนำมาทดลองแบ่งส่วนภาพพินที่แปลงเป็นเฉดสีเทาก็ยังไม่ดีพอเพราะภาพพินที่เป็นเฉดสีเทาส่วนที่เป็นเนื้อพินที่มืด หรือมีความเข้มแสงน้อย และคราบหินปูนนั้นมีสีค่อนข้างกลมกลืนกับสีเหงือกซึ่งเป็นพื้นหลังในภาพเฉดสีเทา โดยถ้ามองด้วยตาเปล่าแล้วก็จะเห็นได้ชัดว่าภาพเฉดสีเทานั้นสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของเหงือกกับพินได้น้อยกว่าภาพสี

การแบ่งส่วนภาพพินด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์โดยไม่ใช้ขอบแบบ 3-Channel เป็นการเฉลี่ยแรงภายนอกของทั้ง 3 องค์ประกอบสีในภาพสี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน แต่ผลที่ได้ก็ยังไม่ดีพอแม้จะสามารถแบ่งส่วนภาพพินสีจากภาพสีจำลองได้ แต่เมื่อนำมาทดสอบกับภาพพินสีจริงๆ แล้วก็ยังไม่ดีพอเพราะปัญหาก็ยังมีเช่นเดียวกับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบที่ใช้กับภาพเฉดสีเทาอยู่ จึงได้นำเสนอการแปลงภาพเชิงมุม ซึ่งเป็นการแปลงภาพสีให้เป็นภาพเฉดสีเทาแบบเน้นสีที่เราต้องการได้ เมื่อนำมาแบ่งส่วนภาพพินสีที่ผ่านการแปลงภาพเชิงมุมโดยเน้นสีแดงซึ่งเป็นสีของเหงือกปรากฏว่าสามารถแก้ปัญหาคอนทัวร์ที่มืด หรือมีความเข้มแสงน้อย และคราบหินปูนได้ จึงสามารถแบ่งส่วนภาพพินได้ดี แต่สำหรับภาพพินที่ยังมีฟันล่างนั้นจะเกิดปัญหาคอนทัวร์แพร่ไปยังฟันล่างด้วย เพราะเราต้องการเพียงฟันตัดหน้าบนเพียง 6 ซี่เท่านั้น จึงได้นำเสนอการแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ เป็นการนำขอบในแนวแกน y ลบหรือ ∇y ของภาพพินนั้นคือ ขอบ

ของปลายฟันตัดหน้าบน เมื่อนำมาบวกลงมาตามแนวตั้ง หรือแนวแกน y แล้วนำมาบวกกับภาพเชิงมุมทำให้การแบ่งส่วนภาพฟันที่เห็นฟันล่างได้ดีขึ้น ทำให้สามารถแบ่งส่วนภาพฟันตัดหน้าบนทั้ง 6 ซี่ออกมาพร้อมๆ กันแต่ทั้ง 6 ซี่ยังติดกันอยู่สุดท้ายจึงได้นำเสนอวิธีการแยกฟันแต่ละซี่ออกจากกันจากกราฟการฉายลงบนแกน x ซึ่งเป็นวิธีแยกซี่ฟันที่มีประสิทธิภาพมาก แล้วจึงนำไปใช้ในซอฟต์แวร์ในการตกแต่งฟัน

5.1.1 ข้อดีของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ และการแยกซี่ฟันโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x

1. สามารถแบ่งส่วนภาพเนื้อฟันออกจากปากได้แม้ว่าฟันที่ต้องการแบ่งส่วนนั้นจะมีความเข้มแสงน้อย และมีคราบหินปูน
2. เมื่อตัดภาพแนวฟันตัดหน้าออกจากปากก็สามารถกำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นจากภาพแนวฟันที่ได้อย่างอัตโนมัติกราฟการฉายลงบนแกน x
3. สามารถหยุดการแพร่ของคอนทราสต์ไปยังฟันล่างที่ไม่ต้องการแบ่งส่วนได้

5.1.2 ข้อดีของการแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุมแบบเน้นขอบ และการแยกซี่ฟันโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x

1. การกำหนดค่า t มากแม้ว่าจะทำให้คอนทราสต์แพร่ไปยังฟันล่างน้อยลง แต่จะทำให้คอนทราสต์แพร่ไปยังเหงือกข้างบนมากขึ้นด้วย
2. การแยกซี่ฟันโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x แม้ว่าจะสามารถแยกฟันแต่ละซี่ออกจากกันได้ดีมาก แต่เส้นที่แบ่งซี่ฟันออกจากกันก็เป็นเพียงเส้นตรงเท่านั้นจึงมีปัญหาแยกซี่ฟันที่ติดกัน และมีขอบโค้ง ได้ไม่ดีเพราะจะทำให้ขอบที่ติดกันของฟันเป็นเส้นตรง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ภาพฟันสีที่นำมาแบ่งส่วนนั้นไม่ควรถ่ายด้วยแสงแฟลชที่มากเกินไป หรือไม่ควรรู้ใช้เพราะจะทำให้เนื้อฟันมีเงาสะท้อนของแสงแฟลช ทำให้การใช้แรงภายนอกจากอาณาบริเวณนั้นทำได้ยาก คอนทราสต์อาจไม่สามารถแพร่ไปยังขอบเขตของฟันได้
2. ภาพแนวฟันที่นำมาแบ่งส่วนควรตัดมาเฉพาะ 6 ซี่หน้า และที่ขอบข้างควรตัดให้พอดีกับขอบริมสุดของฟันเขี้ยว ซึ่งจะทำให้สามารถหาแ่งที่เป็นช่องว่างจากกราฟการฉายลงบนแกน x และกำหนดคอนทราสต์เริ่มต้นได้ดี

รายการอ้างอิง

1. M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision 1 (1988) : 321–331.
2. T. Chan and L. Vese. Active contours without edges. IEEE Transaction on Image Processing 10 (February 2001): 266–277.
3. D. Mumford and J. Shah. Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems. Communications on Pure and Applied Mathematics 42 (1989): 577–685.
4. S. Osher and J. A. Sethian. Fronts propagating with curvature-dependent speed: Algorithms based on Hamilton–Jacobi Formulation. Journal of Computational Physics 79 (1988): 12–49.
5. A. Dumitras, A. N. Venetsanopoulos. Angular map driven snakes with application to object shape description. IEEE Transaction on Image Processing 10 (December 2001): 1851-59.
6. Digital Dentist Demo[Online]. Available form : <http://www.digident.com/FST/FST.html> [2006, December 5]
7. Rafael, C., and Richard, E. Digital image processing. 2nded. New Jersey : Prentice-Hall, 2002.
8. S. Kulkarni and B. N. Chatterji. Edgeless Active Contours for Natural Color Images Based on Angular Mapping and Level Sets. Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing (2002): 382-387.
9. V. Caselles, F. Catte, T. Coll, and F. Dibos. A geometric model for active contours in image processing. Numerical Mathematic 66 (1993): 1–31.
10. R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri. A topology independent shape modeling scheme. in Processing SPIE Conference Geometric Methods Computer Vision II 2031(1993): 246–258.
11. H.-K. Zhao, T. Chan, B. Merriman, and S. Osher. A variational level set approach to multiphase motion. Journal of Computational Physics 127 (1996): 179–195.

12. B. Sandberg, T. Chan, and L. Vese. A Level-Set and Gabor Based Active Contour Algorithm for Segmenting Textured Images. UCLA Computer Applied Mathematic Report (2002): 02-39.
13. C. Sagiv, N. A. Sochen, and Y. Y. Zeevi. Integrated Active Contours for Texture Segmentation. IEEE Transactions on Image Processing 15 (2006).
14. A. P. Zijdenbos, B. M. Dawant, R. A. Margolin and C. Palmer. Morphometric analysis of white matter lesions in MR images: Method and validation. IEEE Transactions on Medical Imaging 3 (December 1994): 716–724.
15. M. Stella Atkins and B. T. Mackiewich. Fully automatic segmentation of the brain in MRI. IEEE Transactions on Medical Imaging 17 (February 1998): 98–107.
16. C. Pluempitiwiriwaj, J. M. F. Moura, Y.-J. L. Wu and C. Ho. STACS: New active contour scheme for cardiac MR image segmentation. IEEE Transactions on Medical Imaging 24 (May 2005): 593-603.
17. A. K. Jain and H. Chen. Matching of dental x-ray images for human identification. Pattern Recognition 37 (2004): 1519–1532.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
พิสูจน์สมการสุดท้ายของแอมิกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ไขว้ขอบ
จากการทำให้ F_ε มีค่าน้อยที่สุด

จากหัวข้อที่ 2.3.2.2 การทำให้ F_ε ในสมการที่ (ก.1) มีค่าน้อยที่สุดซึ่งเกี่ยวข้องกับ ϕ โดยอ้างจากสมการ Euler-Lagrange (ก.2)

$$F_\varepsilon(c_1, c_2, \phi) = \int_{\Omega} \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \nu H_\varepsilon(\phi(x, y)) + \lambda_1 |u_0(x, y) - c_1|^2 H_\varepsilon(\phi(x, y)) + \lambda_2 |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H_\varepsilon(\phi(x, y))) dx dy \quad (ก.1)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \phi} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial E}{\partial \phi_x} \right) - \frac{d}{dy} \left(\frac{\partial E}{\partial \phi_y} \right) = 0 \quad (ก.2)$$

โดยที่ $E(\phi)$ คือเทอมที่อยู่ในอินทิกรัลในสมการ (ก.1) และจากสมการ (ก.3) ทำให้ได้สมการใหม่ของ $E(\phi, \phi_x, \phi_y)$ ดังสมการ (ก.4)

$$|\nabla \phi(x, y)| = \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} \quad (ก.3)$$

$$E(\phi, \phi_x, \phi_y) = \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} + \nu H_\varepsilon(\phi(x, y)) + \lambda_1 |u_0(x, y) - c_1|^2 H_\varepsilon(\phi(x, y)) + \lambda_2 |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H_\varepsilon(\phi(x, y))) \quad (ก.4)$$

พิจารณาสมการ Euler-Lagrange (ก.2) โดยการหาค่าของแต่ละพจน์ดังในสมการที่ (ก.5) (ก.8) และ (ก.9)

$$\frac{\partial E(\phi, \phi_x, \phi_y)}{\partial \phi(x, y)} = \mu \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} + \nu \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) + \lambda_1 |u_0(x, y) - c_1|^2 \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) - \lambda_2 |u_0(x, y) - c_2|^2 \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) \quad (ก.5)$$

$$\frac{\partial E(\phi, \phi_x, \phi_y)}{\partial \phi_x} = \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{\phi_x}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \quad (ก.6)$$

$$\frac{\partial E(\phi, \phi_x, \phi_y)}{\partial \phi_y} = \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{\phi_y}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \quad (\text{ก.7})$$

เมื่อหาอนุพันธ์ของสมการ (ก.6) เทียบกับ x จะได้สมการ (ก.8) และเมื่อหาอนุพันธ์ของสมการ (ก.7) เทียบกับ y จะได้สมการ (ก.9)

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial E(\phi, \phi_x, \phi_y)}{\partial \phi_x} \right) &= \mu \left(\delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{d}{dx} \left(\frac{\phi_x}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) + \frac{\phi_x^2}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \frac{d}{dx} \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \right) \\ &= \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{d}{dx} \left(\frac{\phi_x}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) + \mu \frac{\phi_x^2}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) \end{aligned} \quad (\text{ก.8})$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dy} \left(\frac{\partial E(\phi, \phi_x, \phi_y)}{\partial \phi_y} \right) &= \mu \left(\delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{d}{dy} \left(\frac{\phi_y}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) + \frac{\phi_y^2}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \frac{d}{dy} \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \right) \\ &= \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{d}{dy} \left(\frac{\phi_y}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) + \mu \frac{\phi_y^2}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) \end{aligned} \quad (\text{ก.9})$$

แทนสมการ (ก.5) (ก.8) และ (ก.9) เข้าไปในสมการ Euler-Lagrange (ก.2) ทำให้ได้สมการ (ก.10)

$$\begin{aligned} &\mu \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) \sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2} + \nu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) + \lambda_1 |u_0(x, y) - c_1|^2 \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \\ &\quad - \lambda_2 |u_0(x, y) - c_2|^2 \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) - \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{d}{dx} \left(\frac{\phi_x}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) \\ &\quad - \mu \frac{\phi_x^2}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) - \mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \frac{d}{dy} \left(\frac{\phi_y}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) \\ &\quad - \mu \frac{\phi_y^2}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \delta'_\varepsilon(\phi(x, y)) = 0 \end{aligned} \quad (\text{ก.10})$$

ลดรูปสมการ (ก.10) ลงโดยตัดพจน์ที่ตัดกันได้ออกทำให้ได้สมการ (ก.11)

$$\begin{aligned} &-\mu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \left[\frac{d}{dx} \left(\frac{\phi_x}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) + \frac{d}{dy} \left(\frac{\phi_y}{\sqrt{\phi_x^2 + \phi_y^2}} \right) \right] + \nu \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \\ &\quad + \lambda_1 |u_0(x, y) - c_1|^2 \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) - \lambda_2 |u_0(x, y) - c_2|^2 \delta_\varepsilon(\phi(x, y)) = 0 \end{aligned} \quad (\text{ก.11})$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\phi_x}{|\nabla\phi|} \right) + \frac{d}{dy} \left(\frac{\phi_y}{|\nabla\phi|} \right) = \operatorname{div} \left(\frac{\nabla\phi}{|\nabla\phi|} \right) \quad (\text{ก.12})$$

จากความสัมพันธ์ในสมการ (ก.12) ทำให้สามารถเปลี่ยนรูปสมการ (ก.11) เป็นสมการ (ก.13) ซึ่งเป็นสมการสุดท้ายของแอมิกทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช่ขอบดังสมการ (2.26)

$$-\mu\delta_\varepsilon(\phi(x, y)) \left[\operatorname{div} \left(\frac{\nabla\phi(x, y)}{|\nabla\phi(x, y)|} \right) + \nu - \lambda_1 |u_0(x, y) - c_1|^2 + \lambda_2 |u_0(x, y) - c_2|^2 \right] = 0 \quad (\text{ก.13})$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

บวร ใจชอบ และ ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช, “การแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้แฉีกทีฟคอนทราสต์สำหรับภาพทางทันตกรรม,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30 (EECON-30), โรงแรมเพลิกซ์ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี, ประเทศไทย, 25-26 ตุลาคม 2550.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การแบ่งส่วนภาพสีโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์สำหรับภาพทางทันตกรรม

Color Image Segmentation using Active Contour for Dental Images

บวร ใจชอบ และ ชาญชัย ปัสสัมปิติวิริยะเวช

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0-2218-6491-2, 6497 โทรสาร 0-2251-8991 E-mail: bowornj@hotmail.com ,chamchai.P@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการรักษาทางทันตกรรมเพื่อความสวยงามของฟัน ให้เหมาะสมกับใบหน้ากันมากขึ้น แต่ขณะที่ทันตแพทย์อธิบายการตกแต่งฟัน คนไข้ยังไม่สามารถเห็นผลการจัดฟันที่ชัดเจนบนใบหน้าคนไข้ จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบเครื่องมือที่สามารถแสดงภาพฟันหลังจากตกแต่งเสร็จแล้วบนใบหน้าของคนไข้เอง เพื่อให้คนไข้เห็นผลการจัดฟันเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น ในการออกแบบซอฟต์แวร์ การตัดต่อและตกแต่งภาพดิจิทัลของฟัน การแบ่งส่วนภาพฟันออกจากใบหน้าเป็นขั้นตอนแรก และขั้นตอนที่สำคัญที่สุด และวิธีการแบ่งส่วนภาพที่สะดวก รวดเร็ว และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายคือ วิธีการแบ่งส่วนภาพด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์ บทความนี้ได้นำแอ็กทิฟคอนทัวร์มาใช้กับภาพสีเพื่อแบ่งส่วนฟันตัดหน้าบน 6 ซี่ ซึ่งภาพที่นำมาใช้นั้นผ่านการแปลงภาพเชิงมุมของภาพสี แล้วจึงนำภาพเชิงมุมของฟันหน้าบน 6 ซี่ที่ได้มาแบ่งส่วนโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ นอกจากนี้บทความนี้ยังนำเสนอวิธีการแบ่งส่วนภาพฟันแต่ละซี่ที่ยังติดกันอยู่ ด้วยวิธีการฉายกราฟลงบนแกน x เพื่อนำไปตกแต่งตามคุณลักษณะของทันตแพทย์ต่อไป

คำสำคัญ: แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ, การแปลงภาพเชิงมุม, การฉายกราฟลงบนแกน x

Abstract

Nowadays, more and more people are concerned about their dental health, particularly in orthodontics. However, when being explained how their teeth will be adjusted, the patients, most of the time, have no idea about their new appearance. To make it more tangible and easier for the patients to understand the eventual out come, it's necessary to design a software that can show the final adjustment of the patient's teeth on their own faces. The first and most important process of this design is to segment the teeth out of the face in color images and one quite effective algorithm is active contour. However, so far active contours have been applied to only gray scale images. In this paper, we introduce the concept of angular mapping along with active contour without edge algorithm to segment teeth out of color images.

Keywords: active contour without edge, angular color map, x-axis projection

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจการดูแลรักษาทางทันตกรรมเพื่อความสวยงามกันมากขึ้น เนื่องจากส่งผลต่อบุคลิกภาพทั้งทางด้านสังคมและจิตใจ ทำให้ แต่ในการปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปร่าง และลักษณะของฟันทันตแพทย์จะใช้แบบจำลอง (Study Model) ที่ได้จากการพิมพ์ปากของผู้ที่มารักษา แล้วอธิบายให้คนไข้ฟัง และในบางครั้งคำอธิบายของทันตแพทย์อาจยังไม่ชัดเจน หรือคนไข้และทันตแพทย์อาจจะเข้าใจไม่ตรงกัน เนื่องจากคนไข้ยังไม่เห็นภาพจริงของฟันชุดใหม่บนใบหน้าคนไข้ เพื่อให้การอธิบายให้ผู้ป่วยได้เข้าใจถึงผลการรักษาให้เห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบซอฟต์แวร์ใช้ในการตัดต่อและตกแต่งภาพดิจิทัลของฟัน เพื่อแสดงภาพจำลองของใบหน้าที่ยิ้มเห็นฟันหลังการตกแต่งฟันให้ผู้ป่วยสามารถตัดสินใจรับการรักษาได้อย่างมั่นใจมากยิ่งขึ้น ในการออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว ขั้นตอนแรกที่สำคัญที่สุดคือ การแบ่งส่วนฟันออกจากภาพ

การแบ่งส่วนภาพฟันในที่นี้หมายถึง การแบ่งส่วนภาพฟันออกจากภาพใบหน้า ซึ่งภาพใบหน้าก็นำมาแบ่งส่วนฟันนั้น เป็นใบหน้าตรง และมีรอยยิ้ม ที่เห็นส่วนของฟันได้อย่างชัดเจน แต่การแบ่งส่วนภาพด้วยมือโดยใช้สายตาของผู้แบ่งส่วนนั้น อาจทำได้ช้า และไม่ดีเท่าที่ควร จึงมีการนำเสนอวิธีการแบ่งส่วนภาพฟันจากใบหน้าแบบอัตโนมัติขึ้น เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

วิธีการที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) ที่นิยมใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน คือ วิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์ (Active Contours) หรือ สเนก (Snakes) โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับแอ็กทิฟคอนทัวร์มากมาย เช่น วิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ หรือเกรเดียนต์ของภาพ (Gradient-Base) [1] วิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ [3] หรือใช้อาณาบริเวณวัตถุ (Region-Based) [2] และใช้เซตระดับ (Level sets) [7] ซึ่งแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบที่ไม่ใช้เซตระดับนั้น การกำหนดค่าแห่งเริ่มต้นของคอนทัวร์นั้นสำคัญมาก เพราะอาจทำให้คอนทัวร์รวมกันเป็นจุดเดียวกันได้ อย่างไรก็ดีแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้มักพูดถึงเฉพาะการแบ่งส่วนภาพเฉดสีเทา (gray scale image) เท่านั้น

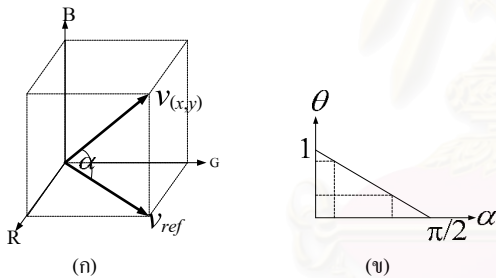
การแบ่งส่วนภาพฟันซึ่งเป็นภาพสีออกจากใบหน้า คือการแบ่งส่วนภาพโดยการนำองค์ประกอบของแต่ละสี มาใช้ในการแบ่งส่วนภาพฟัน ซึ่งการพิจารณาองค์ประกอบของแต่ละสีนั้นสามารถช่วยให้การแบ่งส่วนทำได้ดีกว่าการแบ่งส่วนภาพเฉดสีเทา เพราะมีข้อมูลมากกว่า

และภาพสีนั้นมีส่วนของเหลืองและริมฝีปากซึ่งมีสีแดงชัดเจน และเป็นลักษณะเด่นบนใบหน้าซึ่งต่างจากภาพแบบเจดสีเทาที่มีความแตกต่างของเหลือง และฟันบนใบหน้า เพียงเล็กน้อย การแบ่งส่วนภาพฟันในภาพเจดสีเทาจึงไม่มีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากขาดรายละเอียดของสีไป บทความนี้ได้นำเสนอ การแปลงภาพเชิงมุม (Angular Mapping) [4] เข้ามาใช้ร่วมกับแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบเพื่อการแบ่งส่วนภาพสี โดยเฉพาะการแบ่งส่วนฟันออกจากใบหน้า เพื่อใช้ในซอฟต์แวร์ช่วยในการจัดฟัน

2. ทฤษฎี

2.1 การแปลงภาพเชิงมุม(Angular mapping)

การแปลงภาพเชิงมุม คือการแปลงภาพสีให้เป็นภาพเจดสีเทา โดยการอ้างอิงจากสีใดสีหนึ่งที่เรารสนใจ เนื่องจากในภาพสี จุดสีแต่ละจุดประกอบด้วยอัตราส่วนขององค์ประกอบของสีหลัก 3 สีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน หากเราพิจารณาจุดสีเหล่านี้เป็นเวกเตอร์หนึ่งในปริภูมิ 3 มิติ ของสีแดง R สีเขียว G และสีน้ำเงิน B เราสามารถหาความแตกต่างของเจดสีระหว่างจุดสีแต่ละคู่ในภาพได้ โดยการวัดมุมระหว่างเวกเตอร์ของจุดสีคู่หนึ่งๆ หากเรากำหนดเวกเตอร์สีอ้างอิง v_{ref} แล้วนำเวกเตอร์ของจุดสีแต่ละจุดบนภาพสี $v_{(x,y)}$ มาเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ของจุดสีอ้างอิง ค่ามุม α ที่ได้บ่งบอกถึงระยะห่างเชิงมุมของสีเหล่านั้นกับสีอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) เวกเตอร์ของสีอ้างอิง v_{ref} ซึ่งทำมุม α กับเวกเตอร์ของจุดสีใดๆ $v_{(x,y)}$ ในปริภูมิ 3 มิติ RGB (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างมุม α กับการแปลงเชิงมุม θ

จากรูปที่ 1(ก) มุม α คือมุมระหว่างเวกเตอร์ของจุดสีอ้างอิง v_{ref} และเวกเตอร์ของจุดสีใดๆ ในภาพ ดังนั้นค่าของมุม α ได้จากสมการ (1)

$$\alpha(x, y) = \arccos \left(\frac{\vec{v}_{(x,y)} \cdot \vec{v}_{ref}}{\|\vec{v}_{(x,y)}\| \|\vec{v}_{ref}\|} \right) \quad (1)$$

โดย $v_{(x,y)} = [R(x,y) \ G(x,y) \ B(x,y)]$ และ $\vec{v}_{(x,y)} \cdot \vec{v}_{ref}$ หมายถึง ผลคูณคือท (dot product) ของเวกเตอร์จุดสีที่ตำแหน่ง (x,y) กับเวกเตอร์สีอ้างอิง และ $\|\vec{v}\|$ หมายถึงขนาดของเวกเตอร์ v

ค่ามุม α ที่ได้จากสมการที่ (1) จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $\pi/2$ โดยที่ α มีค่ามาก หมายถึงจุดสี ณ ตำแหน่ง (x,y) นั้นต่างจากสีอ้างอิงอยู่มาก และหาก α มีค่าน้อย หมายความว่าสีนั้นใกล้เคียงกับสีอ้างอิง แต่ในการออกแบบการแบ่งส่วนภาพฟันออกจากใบหน้าซึ่งเป็นภาพสีนี้เราเลือกใช้การแปลงเชิงมุม θ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ α ดังสมการที่ (2)

$$\theta(x, y) = 1 - \frac{2}{\pi} \alpha(x, y) \quad (2)$$

โดยที่ θ เป็นเวกเตอร์ของจุดบนภาพที่ตำแหน่ง (x, y) และเก็บไว้ในรูปของเมทริกซ์ I_{ang} ซึ่งจะทำได้ภาพ I_{ang} ที่เกิดจากการแปลง

จะเห็นได้ว่าสมการ (2) เป็นการแปลงผกผัน (inverse) ของมุม α และปรับพิสัยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังกราฟในรูปที่ 1(ข) ค่า θ นี้เปรียบเสมือนค่าความคล้ายคลึงระหว่างจุดสีในตำแหน่ง (x,y) กับจุดสีอ้างอิงหากสองสีนี้เป็นสีที่ใกล้เคียงกันมากก็จะให้ค่า θ ที่มากตามไปด้วย

2.2 แอ็กทิฟคอนทัวร์

แอ็กทิฟคอนทัวร์หรือ สเนก (snake) คือ เส้นโค้งปิดที่สามารถเคลื่อนไปตามพลังงานที่กำหนดโดยพลังงานนั้นมี 2 ชนิดคือ พลังงานภายในซึ่งควบคุมคุณสมบัติบางอย่าง เช่น ความราบเรียบ (smoothness) ของคอนทัวร์ และพลังงานภายนอกที่ชักจูงให้คอนทัวร์เคลื่อนที่เข้าหาขอบเขตของวัตถุในภาพ ซึ่งอาจเป็น พลังงานที่ได้มาจากการหาขอบ (Edge based) หรือพลังงานที่ได้จากอาณาบริเวณ (Region based) ของวัตถุก็ได้ โดยปกติแล้วพลังงานภายนอกที่ได้มาจากการคำนวณอาณาบริเวณของวัตถุ มีประสิทธิภาพเหนือกว่าพลังงานภายนอกที่ได้จากการหาขอบของวัตถุ [1]

แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบใช้อาณาบริเวณของวัตถุ [3] หลีกเลี่ยงการใช้ฟังก์ชันขอบเนื่องจากความยุ่งยากในการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ที่เหมาะสม เพราะหากตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ตั้งอยู่ห่างจากขอบเขตของวัตถุที่เราต้องการแบ่งส่วนมากเกินไป คอนทัวร์อาจจะหาขอบเขตของวัตถุไม่พบ เพราะว่าบริเวณที่คอนทัวร์ตั้งอยู่นั้นไม่มีแรงภายนอกมาดึงคอนทัวร์เข้าหาขอบ หรือหากตำแหน่งเริ่มต้นคอนทัวร์ใกล้ขอบข้างใดข้างหนึ่งของวัตถุมากเกินไปอาจทำให้คอนทัวร์ทั้งหมดรวมกันอยู่ที่ขอบข้างนั้นเพียงข้างเดียว Mumford-Shah [2] จึงได้นำเสนอวิธีการเสาะหาวัตถุในภาพด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์ โดยไม่ใช้ขอบของวัตถุ และ Osher-Sethian [7] ได้นำเสนอวิธีการของ Mumford-Shah ในรูปของเซตระดับ (Level Set) ทำให้สามารถตรวจพบวัตถุที่ขอบเขตไม่ติดกัน และคอนทัวร์ที่ต่างชนิดกันได้ด้วยวิธีการแอ็กทิฟคอนทัวร์ใช้อาณาบริเวณ โดยสมมติให้ภาพถูกแบ่งเป็นสองอาณาบริเวณคือบริเวณภายในคอนทัวร์ u^i และบริเวณภายนอกคอนทัวร์ u^o และกำหนดพลังงานภายนอกที่ใช้ขับเคลื่อนคอนทัวร์ตามสมการ (3)

$$E(C) = \|u^i - c_1\| + \|u^o - c_2\| \quad (3)$$

โดยที่ค่าคงที่ c_1 และ c_2 คือค่าเฉลี่ยของความเข้มของจุดสี ภายในคอนทัวร์ C และภายนอกคอนทัวร์ C ตามลำดับ จากสมการ (3) เห็นได้ว่าหากคอนทัวร์ C อยู่ที่ขอบเขตของวัตถุพอดี พลังงานภายนอกจะมีค่าน้อยที่สุด [3]

โดยปกติแล้วการแบ่งส่วนภาพด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์มักจะถูกใช้กับภาพเจดสีเทาเท่านั้น

2.3 แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบสี่โดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม

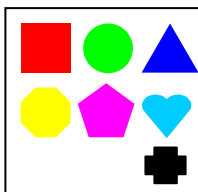
แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบสี่โดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม [5] มีพื้นฐานอยู่บนแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ [3] โดยนำภาพที่ได้จากการแปลงเชิงมุม $I_{ang}(x,y)$ มาแทนการใช้ภาพเกรดสีเทาแบบเดิม u ในแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ มาปรับปรุง แก้ไข แล้วเขียนสมการให้อยู่ในรูปเซตระดับ ϕ [7] และคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ Euler-Lagrange จะได้สมการ (4)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_c(\phi) \left[\mu \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \lambda_1 (I_{ang} - c_1)^2 + \lambda_2 (I_{ang} - c_2)^2 \right] \quad (4)$$

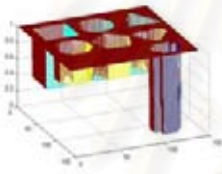
เมื่อ ϕ เป็นเซตระดับและ I_{ang} คือภาพเชิงมุม โดยฟังก์ชัน δ_c (Dirac) ใช้ในการกำหนดพื้นที่บนเส้นโค้ง ฟังก์ชัน $\operatorname{div}(\nabla \phi / |\nabla \phi|)$ เป็นตัวควบคุมความเรียบของคอนทัวร์โดยมี μ เป็นตัวถ่วงน้ำหนัก และมีค่าคงที่ λ_1 และ λ_2 เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของแรงภายนอกจากอาณาบริเวณภายในวัตถุ และภายนอกวัตถุ ตามลำดับ

3. การทดลอง

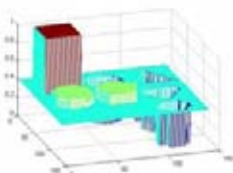
3.1 การแปลงภาพเชิงมุม



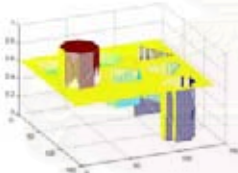
(ก) รูปต้นฉบับ



(ข) $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ (สีขาว)



(ค) $v_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$ (สีแดง)



(ง) $v_{ref} = [1 \ 1 \ 0]$ (สีเหลือง)

รูปที่ 2 (ก) คือภาพต้นฉบับซึ่งประกอบด้วยรูปเรขาคณิตสีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน สีเหลือง สีชมพู สีฟ้า และสีดำ บนพื้นสีขาว (ข)-(ง) แสดงกราฟ 3 มิติของผลการแปลงภาพเชิงมุมของภาพต้นฉบับในรูปที่ 2(ก) โดยใช้เวกเตอร์สีอ้างอิงต่างๆ กันโดยที่ $v_{ref} = [1 \ 1 \ 1]$ หมายถึงสีขาว $[1 \ 0 \ 0]$ หมายถึงสีแดง และ $[1 \ 1 \ 0]$ หมายถึงสีเหลือง จะเห็นได้ว่าบริเวณที่สูงที่สุดของกราฟรูปที่ 2(ข) เป็นส่วนพื้นหลังซึ่งมีสีขาวเหมือนกับสีอ้างอิง เช่นเดียวกับกราฟรูปที่ 2(ค) ที่บริเวณที่สูงที่สุดคือสีเหลืองสีแดง เหมือนกับสีอ้างอิง และกราฟรูปที่ 2(ง) บริเวณรูป 8 เหลี่ยมที่สูงที่สุดเนื่องจากมีสีเหลืองเหมือนกับสีอ้างอิงเช่นกัน สังเกตได้ว่าบริเวณที่เป็นสีดำ $[0 \ 0 \ 0]$ เป็นบริเวณที่มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของสีใดๆ เลย

3.2 การกำหนดค่าเซตระดับเริ่มต้น

เนื่องจากเราพบว่า การกำหนดคอนทัวร์เริ่มต้นซึ่งเป็นวงกลมเพียงวงเดียวนั้นคอนทัวร์จะใช้เวลานานกว่าที่คอนทัวร์จะเคลื่อนที่ไปหาพื้นครบทุกซั้วเพื่อให้การคำนวณที่รวดเร็วขึ้น เรากำหนดค่าเซตระดับ

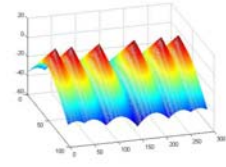
เริ่มต้นโดยที่ $\phi_0(x,y) = 0$ คือจุดที่เป็นคอนทัวร์ บนภาพพื้นนั้นเราจะกำหนดค่าคอนทัวร์เริ่มต้นเป็นวงกลม อยู่ในในพื้นแต่ละซั้วตามสมการ

$$\phi_0(x,y) = -\min_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} + r \quad (5)$$

โดยที่ (x_i, y_i) คือจุดศูนย์กลางของคอนทัวร์เริ่มต้นในแต่ละจุด ในที่นี้มีทั้งหมด 6 จุด r คือรัศมีของวงกลม



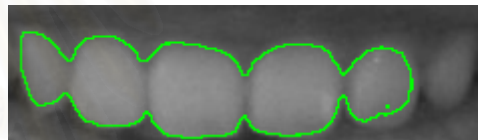
(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ภาพของฟังก์ชันเซตระดับ ϕ เริ่มต้น (ก) รูปคอนทัวร์เริ่มต้นโดยสีขาวคือส่วนที่ $\phi > 0$ หรือภายในคอนทัวร์ สีดำคือส่วนที่ $\phi < 0$ หรือภายนอกคอนทัวร์ (ข) แสดงภาพสามมิติของ ϕ ในรูป (ก)

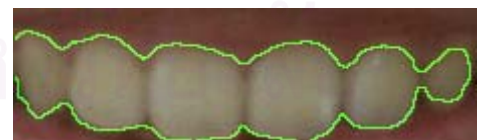
3.3 การแบ่งส่วนภาพพื้นด้วยแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ



รูปที่ 4 การแบ่งส่วนภาพพื้นแบบเกรดสีเทาด้วยวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ

จากรูปที่ 4 ภาพเกรดสีเทาที่ได้จากภาพสีนั้นเป็นเพียงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบสีทั้ง 3 สี ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กัน แล้วนำเกรดสีเทาที่ได้มาแบ่งส่วนพื้นโดยใช้แอ็กทิฟคอนทัวร์แบบไม่ใช้ขอบ สังเกตได้ว่าคอนทัวร์สามารถเคลื่อนเข้าหาบริเวณของพื้นได้ดียกเว้นพื้นที่สุดท้ายทางขวามือของภาพซึ่งมีค่าความเข้มแสงน้อย คอนทัวร์จะไม่เคลื่อนที่เข้าหา

3.4 การแบ่งส่วนภาพโดยใช้การแปลงภาพเชิงมุม



รูปที่ 5 การแบ่งส่วนภาพพื้นสีด้วยวิธีการแปลงภาพเชิงมุม ที่ $V_{ref} = [1 \ 0 \ 0]$

จากรูปที่ 5 เปรียบเทียบกับรูปที่ 4 พบว่าปัญหาที่คอนทัวร์ไม่เคลื่อนที่เข้าหาขอบของพื้นที่ทางขวาได้ครบทุกซั้ว ทั้งนี้เพราะวิธีการนี้จะตรวจจับส่วนของสีขาวซึ่งเป็นบริเวณพื้นในภาพได้ดีจึงช่วยลดปัญหาของความเข้มของแสงที่ไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังเคลื่อนเข้าหาขอบเขตของวัตถุได้ดีกว่าด้วย

3.5 การแยกซีฟันโดยอาศัยกราฟการฉายลงบนแกน x ด้วย

วิธีการหาแ่งที่เป็นช่องว่าง

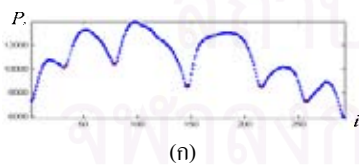
วิธีนี้เป็นการรวมค่าความเข้มแสงในแนวแกน y ในภาพที่ฉายลงบนแนวแกน x จะได้กราฟคล้ายกับการแบ่งซีฟันจากภาพเอกซเรย์ [6] จากสมการ (6) สังเกตได้ว่า ตำแหน่งของแ่งในกราฟนั้นตำแหน่งต่ำสุดของแ่งเป็นตำแหน่งที่แบ่งระหว่างซีฟันแต่ละซี่จึงสามารถนำมาใช้ในการแบ่งฟันแต่ละซี่ออกจากกันได้

$$P_x(i) = \sum_{k=1}^M I(i, k) \quad (6)$$

เมื่อ P_x คือกราฟการฉายลงบนแกน x (x -axis projection) ของภาพฟัน I ซึ่งมีขนาด M แถว โดยภาพ I ที่นำมาใช้นั้นอาจเป็นภาพเฉดสีเทาของฟัน หรือภาพจากองค์ประกอบสีใดสีหนึ่งในภาพสีก็ได้ ในการทดลองนี้ได้ใช้องค์ประกอบของสีเขียว ซึ่งจากการทดลองนั้น ได้ผลดีกว่าการใช้ภาพเฉดสีเทา หรือจากองค์ประกอบของสีอื่นๆ

การหาแ่งที่เป็นช่องว่างในกราฟนั้นสามารถทำได้โดยการนำกราฟไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Lowpass Filter) ในการทดลองนี้ตัวกรองที่ใช้ใช้หน้าต่างแบบแฮมมิง (Hamming Window) ดังสมการที่ (7) โดยให้ค่า อันดับ (order) เป็นจำนวนเต็มบวกของจำนวนสัญญาณ N จากกราฟ P_x หากด้วยค่าประมาณ 1 ใน 3 ของกราฟฟันแต่ละซี่โดยในภาพฟันได้หาค่า 6 ซี่ ดังนั้นจึงแบ่งได้ 18 ส่วน จะได้ค่าอันดับ $m = N/18$ และความถี่คutoff (cutoff frequency) เท่ากับ $1/N$ สัญญาณที่ผ่านตัวกรองแล้วนำไปหาค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ กราฟที่มีค่าใกล้ศูนย์ และมีความชันเป็นบวก จะเป็นจุดต่ำสุดของแ่งในกราฟ เมื่อได้ตำแหน่งของกราฟที่เป็นจุดต่ำสุดของแ่งช่องว่างในกราฟคร่าวๆ เนื่องจากเกิดการเลื่อนของสัญญาณเมื่อนำสัญญาณมาหาค่าผลต่างเชิงอนุพันธ์ และผ่านตัวกรองจากกราฟที่ผ่านตัวกรองแล้ว จึงนำมาหาค่าต่ำสุดของบริเวณนั้นในกราฟที่ยังไม่ได้ผ่านตัวกรองจึงจะได้จุดต่ำสุดของแ่งที่เป็นช่องว่างในกราฟที่แท้จริง ซึ่งจุดที่ได้นี้เป็นจุดที่แบ่งฟันแต่ละซี่ออกจากกัน

$$w[n] = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n/m), & 0 \leq n \leq m, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$



รูปที่ 6 (ก) กราฟการฉายลงบนแกน x ของภาพฟัน(x -axis projection) และแสดงจุดต่ำสุดของแ่งแต่ละแ่งในกราฟ (ข) รูปฟัน และเส้นซึ่งเป็นตำแหน่งของจุดต่ำสุดของแ่งในกราฟ (ค) รูปฟัน และเส้นที่แบ่งส่วนฟัน

4. สรุป

การแบ่งส่วนภาพฟันโดยใช้เอ็กทิกฟคอนทัวร์จำเป็นต้องนำรายละเอียดของสีมาใช้โดยเน้นที่ความแตกต่างของสีของเหงือกกับสีของฟัน เราจึงได้ใช้การแปลงภาพเชิงมุมซึ่งเน้นที่สีแดง หรือสีของเหงือก ในการแบ่งส่วนนี้ซึ่งให้ผลในการแบ่งส่วนฟันที่ดี จึงสามารถแบ่งส่วนฟันบนทั้ง 6 ซี่ซึ่งยังคงติดกันอยู่ออกมาแล้วจึงแยกเป็นซี่ๆ โดยวิธีการฉายกราฟลงบนแกน x ผลการทดลองพบว่าสามารถแบ่งส่วนฟันแต่ละซี่ออกจากกันได้ดี ในขั้นต่อไปเราสามารถนำส่วนของฟันแต่ละซี่ที่ได้ มาคัดต่อคตแต่งในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตามความต้องการของทันตแพทย์ และ นำผลการตกแต่งที่ได้ไปแสดงบนใบหน้าจริงของผู้ที่มีารรักษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนทุนบางส่วนจากโครงการเสริมสร้างความร่วมมือระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชน ทางด้านการวิจัยและพัฒนา และ ทุนกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," International Journal of Computer Vision, vol. 1, no. 4, pp. 321–331, 1988.
- [2] D. Mumford and J. Shah, "Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems," Communications on Pure and Applied Mathematics, vol. 42, pp. 577–685, 1989.
- [3] T. Chan and L. Vese, "Active contours without edges," IEEE Transaction on Image Processing, vol. 10, no. 2, pp. 266–277, Feb. 2001.
- [4] A. Dumitras, A. N. Venetsanopoulos, "Angular map driven snakes with application to object shape description," IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 10, no. 12, pp. 1851–59, Dec. 2001.
- [5] S. Kulkarni and B. N. Chatterji, "Edgeless Active Contours for Natural Color Images Based on Angular Mapping and Level Sets," Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing, ICVGIP, pp. 382–387, Dec. 2002.
- [6] A. K. Jain and H. Chen, "Matching of dental x-ray images for human identification," Pattern Recognition, vol.37, no. 7, pp. 1519–1532, 2004.
- [7] S. Osher and J. A. Sethian, "Fronts propagating with curvature-dependent speed: Algorithms based on Hamilton–Jacobi Formulation," Journal of Computational Physics, vol. 79, pp. 12–49, 1988.



บวร ใจชอบ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อ พ.ศ. 2548 ปัจจุบันศึกษาปริญญาโทอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร งานวิจัยที่สนใจได้แก่

Image Processing



ชาญชัย ปลื้มปิติวิริยะเวช สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก University of Maryland at College Park ประเทศสหรัฐอเมริกา พ.ศ.2538 และ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท และ เอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ จาก Carnegie Mellon University ประเทศสหรัฐอเมริกา พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยที่สนใจได้แก่ Medical Image Processing และ 3D Visualization

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายบวร ใจชอบ เกิดวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษา ต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย