แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบสำหรับการแบ่งส่วนภาพ

Edge-Based Active Contour for Image Segmentation

โสภณ ผู้มีจรรยา
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบสำหรับการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งแอ็กทีฟคอนทัวร์เป็นวิธีการแบ่งส่วนภาพที่มีประสิทธิภาพอย่างมากและถูกนำใช้ในงานหลาย ๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น งานแบ่งส่วนภาพทางการแพทย์ เป็นต้น แอ็กทีฟคอนทัวร์มีหลักการทำงานเบื้องต้น คือ เส้นคอนทัวร์จะถูกปล่อยลงไปบนภาพที่ต้องการแบ่งส่วน จากนั้นคอนทัวร์จะค่อย ๆ เคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุในภาพ จนกระทั่งได้วัตถุที่ต้องการออกมา โดยในบทความนี้ได้นำเสนอหลักการทำงานของวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์จากหลาย ๆ บทความวิจัย เพื่อแสดงให้เห็นถึงการออกแบบและพัฒนาวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบที่จะทำให้การแบ่งส่วนภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลการทดลองแบ่งส่วนภาพที่ได้ เพื่อวิเคราะห์ให้เห็นถึงข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ การแบ่งส่วนภาพ แอ็กทีฟคอนทัวร์

Abstract

This paper presents the study of the edge-based active contour method for image segmentation. The active contour method is used in many works such as in medical image segmentation. The contour moves and deforms within the image domain until the desired object is extracted. In this paper, the review of a number of researches related to the edge-based active contour is presented. For each edge-based active contour method, the main concept and the development way are briefly described. Moreover; the segmentation results are compared and analyzed to show the advantages and the drawbacks of these edge-based active contour methods.

Keywords : Image Processing, Image Segmentation, Active Contour

1. บทนำ

การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญมากสำหรับงานในการประมวลผลภาพ ที่ต้องการตัดส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพออกมาเพื่อนำไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ตัวอย่างเช่น ในงานภาพทางด้านการแพทย์ ภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพ เช่น เครื่องเอกซ์เรย์คอมพิวเตอร์ เครื่องอัลตราซาวด์และเครื่อง MRI เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วภาพถ่ายที่ได้ออกมานั้นมักมีจำนวนมาก และในการวิเคราะห์ภาพถ่ายเหล่านี้ แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญจำเป็นต้องแบ่งส่วนภาพให้ได้ส่วนต่าง ๆ ของอวัยวะที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ และในการแบ่งส่วนภาพด้วยมือของผู้เชี่ยวชาญ ถึงแม้ว่าจะให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่มีความถูกต้อง แต่ในการทำงานของผู้เชี่ยวชาญกับภาพถ่ายจำนวนมากเหล่านี้ ทำให้ต้องเสียเวลาและใช้แรงงานของผู้เชี่ยวชาญอย่างมากเกินจำเป็น อีกทั้งผู้เชี่ยวชาญเองอาจเกิดอาการล้าได้ หากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นเวลาติดต่อกันนาน ๆ ด้วยเหตุนี้เอง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะมีวิธีการแบ่งส่วนภาพที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาจัดการกับภาพทางการแพทย์เหล่านี้ได้ เพื่อช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์จำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และนอกจากงานภาพทางด้านการแพทย์แล้ว งานในด้านอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องใช้การแบ่งส่วนภาพ ได้แก่ งานวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม งานตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยใช้ภาพถ่ายในโรงงานอุตสาหกรรม งานคัดแยกคุณภาพพืชผลทางการเกษตรโดยใช้ภาพถ่าย เป็นต้น

ในปัจจุบันมีวิธีการแบ่งส่วนภาพหลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีเทรดโชลดิ้ง (Thresholding) วิธีขยายบริเวณ (Region Growing) วิธีเค-มีน (K-Means) วิธีวอเตอร์เชด (Watershed) วิธีกราฟคัท (Graph cuts) และวิธีแอ็กทีฟคอนทัวร์ เป็นต้น โดยในบทความนี้ได้สนใจและเลือกที่จะนำเสนอวิธีแอ็กทีฟคอนทัวร์ เนื่องจากเป็นวิธีการแบ่งส่วนภาพที่มีความยืดหยุ่นอย่างมากในการออกแบบและพัฒนา และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาพในงานด้านต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

2. แอ็กทีฟคอนทัวร์

แอ็กทีฟคอนทัวร์ หรือ เรียกว่า สเน็ก (Snake) [1] มีหลักการเบื้องต้น คือ เส้นคอนทัวร์ จะถูกปล่อยลงไปบนภาพที่ต้องการแบ่งส่วน จากนั้นเส้นคอนทัวร์จะค่อย ๆ เคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุที่เราต้องการในภาพ จนกระทั่งได้วัตถุที่ต้องการออกมา ซึ่งคอนทัวร์จะสามารถเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างได้ โดยอาศัยแรงภายในคอนทัวร์ (Internal Force) และแรงภายนอกคอนทัวร์ (External Force) ซึ่งแรงภายในคอนทัวร์ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ในขณะเคลื่อนที่ ดังนั้น จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แรงราบเรียบ (Smoothing Force) ส่วนแรงภายนอกนั้นทำหน้าที่เปลี่ยนรูปร่างและขับเคลื่อนคอนทัวร์ไปยังวัตถุที่เราต้องการในภาพ จึงถูกเรียกว่า แรงหลัก (Main Force)

แอ็กทีฟคอนทัวร์ ได้ถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรกในบทความวิจัยของ Kass และคณะ [1] โดยที่คอนทัวร์จะถูกแทนให้อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ $C(s)=[x(s),y(s)]$ โดยที่ $s\in[0,1]$ คือ ตัวชี้ตำแหน่งลำดับจุดบนคอนทัวร์ และคอนทัวร์จะเคลื่อนที่ในโดเมนเชิงพื้นที่ (Spatial Domain) ของภาพ เพื่อทำให้สมการที่ (1) มีค่าน้อยที่สุด

$$E_{\text{snake}}=\int_0^1\left[E_{\text{internal}}(C)+E_{\text{external}}(C)\right]ds \quad (1)$$

โดยที่ E_{internal} หาได้มาจากพารามิเตอร์ของคอนทัวร์ ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$E_{\text{internal}}=\tfrac{1}{2}\left(\alpha\left|\frac{\partial C}{\partial s}\right|^2+\beta\left|\frac{\partial^2 C}{\partial s^2}\right|^2\right) \quad (2)$$

โดยที่ α และ β คือ พารามิเตอร์ที่ควบคุมอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งและสองของคอนทัวร์ ตามลำดับ ส่วน E_{external} หาได้มาจากภาพ เช่น ค่าเกรเดียนต์ของภาพ (Image Gradient) เป็นต้น

วิธีการหาคอนทัวร์ C คือ การทำให้สมการที่ (1) มีค่าน้อยที่สุด ด้วยการหาอนุพันธ์ของสมการเทียบกับฟังก์ชัน C ผลที่ได้ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$0=\alpha\frac{\partial^2 C}{\partial s^2}-\beta\frac{\partial^4 C}{\partial s^4}+F_{\text{external}}(C) \quad (3)$$

ในการหาคอนทัวร์ C จากสมการที่ (3) ทำได้โดยการใช้วิธีการไหลของเกรเดียนต์ (Gradient Flow) โดยแทน 0 ด้วย $\frac{\partial C}{\partial t}$ ดังสมการที่ (4) และค่อยๆหา C ที่ทำให้ $\frac{\partial C}{\partial t}$ เข้าใกล้ 0 มากที่สุด โดยใช้วิธีการวนซ้ำ (Iteration)

$$\frac{\partial C}{\partial t}=\alpha\frac{\partial^2 C}{\partial s^2}-\beta\frac{\partial^4 C}{\partial s^4}+F_{\text{external}}(C) \quad (4)$$

โดยที่ สองพจน์แรกด้านขวามือ ทำหน้าที่ควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ จึงถูกเรียกว่า แรงราบเรียบ F_{smooth} และพจน์ที่สาม ทำหน้าที่ขับเคลื่อนคอนทัวร์ให้เคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ จึงถูกเรียกว่า แรงหลัก F_{main} ดังนั้น จึงสามารถสรุปแรงที่เกี่ยวข้องกับแอ็กทีฟคอนทัวร์ได้ดังสมการที่ (5)

$$F_{\text{snake}}=F_{\text{smooth}}+F_{\text{main}} \quad (5)$$

แรงราบเรียบ F_{smooth} ทำหน้าที่ในการควบคุมความราบเรียบของคอนทัวร์ เพื่อไม่ให้เส้นคอนทัวร์เกิดความขรุขระในขณะเคลื่อนที่ ซึ่งไม่มีผลกระทบกับรูปร่างโดยรวมของคอนทัวร์มากนัก แต่แรงที่สำคัญและมีผลกระทบอย่างมากต่อการเคลื่อนที่และเปลี่ยนรูปร่างของคอนทัวร์ คือ แรงหลัก F_{main} และจากงานวิจัยที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแบ่งแรงหลักออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบใช้ขอบ (Edge-Based) [1-6] และ แบบใช้บริเวณ (Region-Based) [7] โดยที่แรงแบบใช้ขอบจะใช้ภาพขอบ (Edge Map) ของภาพอินพุตในการคำนวณแรงหลัก ทำหน้าที่เป็นตัวบอกให้คอนทัวร์รู้ว่าต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดเพื่อวิ่งไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ ส่วนแรงหลักแบบใช้บริเวณจะใช้ข้อสนเทศบริเวณ (Regional Information) ของภาพ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์ โดยอาศัยบริเวณที่แตกต่างกันระหว่างวัตถุที่เราต้องการกับพื้นหลัง อย่างไรก็ตาม ในบทความนี้จะขอนำเสนอเพียงวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ เพื่ออธิบายให้เห็นถึงวิวัฒนาการ ในพัฒนาและออกแบบวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบให้มีประสิทธิภาพและความสามารถในการแบ่งส่วนภาพ

3. ภาพขอบและสนามเวกเตอร์

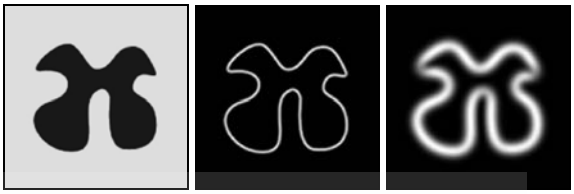
ภาพขอบ เป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ เนื่องจากแอ็กทีฟคอนทัวร์ประเภทนี้ จะใช้ภาพขอบของภาพอินพุตในการคำนวณแรงหลัก F_{main} สำหรับขับเคลื่อนและเปลี่ยนรูปร่างคอนทัวร์ไปยังวัตถุที่ต้องการในภาพ เราสามารถหาภาพขอบของภาพอินพุตได้โดยใช้สมการที่ (6)

$$f(x,y) = \left|\nabla\left[G_\sigma(x,y) * I(x,y)\right]\right|^2 \qquad (6)$$

โดยที่ $I(x,y)$ คือ ภาพอินพุตที่เป็นภาพระดับเทา (Gray Scale Image) $G_\sigma(x,y)$ คือ ฟังก์ชันเกาส์เซียน 2 มิติ กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ) ∇ คือ ตัวดำเนินการเกรเดียนต์ (Gradient Operator) และ $*$ คือ ตัวดำเนินการคอนโวลูชัน

จากสมการที่ (6) ภาพ $I(x,y)$ จะถูกทำให้เบลอด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนก่อนที่จะทำการหาค่าเกรเดียนต์ ซึ่งส่งผลให้ขอบของวัตถุที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นดังตัวอย่างการหาภาพขอบแสดงในรูปที่ 1 โดยที่ความใหญ่ของขอบที่ได้นี้ จะแปรผันตามค่า σ กล่าวคือ ถ้า σ มีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ขอบของวัตถุที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย

หลังจากที่ได้ภาพขอบมาแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การคำนวณหาแรงหลักที่ใช้ในการชี้ทิศทางและขับเคลื่อนคอนทัวร์ เพื่อให้วิ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการในภาพ โดยแรงหลักที่สร้างขึ้นมาจากภาพขอบนี้จะมีชื่อเรียกว่า สนามเวกเตอร์ (Vector Field)



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1 การหาภาพขอบ (ก) ภาพอินพุต $I(x,y)$ ภาพขอบ $f(x,y)$ (ข) ใช้ค่า $\sigma = 1$ (ค) ใช้ค่า $\sigma = 5$

สนามเวกเตอร์ คือ สนามที่ประกอบไปด้วยลูกศรจำนวนมาก (มีจำนวนเท่ากับขนาดของภาพอินพุต) และมีทิศทางที่ชี้ไปยังขอบของวัตถุ โดยลูกศรเหล่านี้เป็นตัวบอกทางให้แอ็กทีฟคอนทัวร์รู้ว่าจะต้องเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดและด้วยความเร็วเท่าใด (ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของคอนทัวร์จะขึ้นอยู่กับขนาดของลูกศร) เพื่อมุ่งไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้ และจากงานวิจัยที่ผ่านมามีหลายบทความวิจัยที่นำเสนอวิธีการออกแบบและพัฒนาสนามเวกเตอร์สำหรับแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การคำนวณหาสนามเวกเตอร์ของวิธีการต่าง ๆ

วิธีการ	สนามเวกเตอร์ F_{main}	โดยที่
TAC [1]	$\nabla f(x,y)$	$f(x,y)$ คือ ภาพขอบ
DVF [3]	$\nabla D(x,y)$	$D(x,y) = \min_{(i,j)\in f}\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2}$ คือ ค่าระยะทางแบบยูคลิดที่น้อยที่สุดระหว่างทุกพิกเซลบนภาพกับพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ (i, j)
GVF [4]	$V(x,y)$	$V_t = \mu\nabla^2 V - (V-\nabla f)\lvert\nabla f\rvert^2$, $V_0 = \nabla f$
CAC [5]	$\nabla F(x,y)$	$\nabla F(x,y)$ คือ ผลรวมของแรงที่กระทำระหว่างพิกเซลบนภาพกับทุกพิกเซลที่เป็นขอบวัตถุ โดยแรงที่กระทำระหว่างพิกเซลคำนวณได้จากกฎของคูลอมบ์
VFC [6]	$v(x,y)$	$v(x,y) = f(x,y) * \mathrm{k}(x,y)$ $\mathrm{k}(x,y)$ คือ Vector Field Kernel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ

จากตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบต่าง ๆ จากหลาย ๆ งานวิจัยที่ได้มีการนำเสนอวิธีการพัฒนาและออกแบบสนามเวกเตอร์เพื่อให้คอนทัวร์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการได้ดียิ่งขึ้น โดยในแต่ละวิธีการ มีหลักการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัด ดังต่อไปนี้

แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบดั้งเดิม (Traditional Active Contour: TAC) เป็นแอ็กทีฟคอนทัวร์ตัวแรกที่ถูกนำเสนอขึ้นโดย Kass และคณะ [1] วิธีการนี้ใช้ค่าเกรเดียนต์ของภาพขอบ ในการคำนวณสนามเวกเตอร์ (แรงหลัก) สำหรับขับเคลื่อนคอนทัวร์ ซึ่งส่งผลให้วิธีการนี้มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุได้ ไม่สามารถเกาะติดกับขอบที่ไม่ชัดเจนได้ ไม่ทนทานต่อสัญญาณรบกวน และมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ (Capture Range) ที่จำกัด ทำให้ในการวางตำแหน่งเริ่มต้น (Initial Position) ของคอนทัวร์นั้นจำเป็นต้องวางใกล้กับวัตถุที่เราต้องการเพียงพอ จึงจะทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่เราต้องการได้ สาเหตุเนื่องมาจากบริเวณที่ไกลจากขอบของวัตถุ ค่าเกรเดียนต์จะมีค่าน้อยมาก ๆ ทำให้เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนทัวร์ตกอยู่ภายในบริเวณเหล่านี้ คอนทัวร์จะไม่มีแรงขับเคลื่อนไปยังขอบของวัตถุได้ และจากข้อจำกัดเหล่านี้จึงได้มีหลาย ๆ งานวิจัยที่พัฒนาและปรับปรุงวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ ให้มีประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพมากยิ่งขึ้น

Cohen และคณะ [2] ได้เพิ่มแรงบอลลูน (Balloon Force) ให้กับแอ็กทีฟคอนทัวร์เพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุ ทำให้ในบริเวณที่ค่าเกรเดียนต์มีค่าน้อยมาก ๆ คอนทัวร์ก็ยังคงมีแรงที่จะเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุได้ แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัด คือ แรงบอลลูนจะมีคุณสมบัติที่ขยายตัวหรือหดตัวเท่านั้น ดังนั้น จำเป็นต้องเลือกอย่างใดอย่างหนึ่งว่าจะวางคอนทัวร์ไว้ภายในหรือภายนอกวัตถุเท่านั้น ไม่สามารถวางขวางวัตถุได้ และข้อจำกัดอีกประการหนึ่ง คือ ถ้ากำหนดให้แรงบอลลูนนี้แรงเกินไป คอนทัวร์ก็อาจจะวิ่งเลยขอบที่แท้จริงของวัตถุไปได้ หรือถ้ากำหนดให้แรงนี้เบาเกินไป คอนทัวร์ก็อาจจะไม่มีแรงเพียงพอที่จะขับเคลื่อนไปยังขอบของวัตถุได้

ต่อมา Cohen และ Cohen [3] ได้นำเสนอวิธี DVF (Distance Vector Flow) โดยใช้ค่าเกรเดียนต์ของค่าระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ที่น้อยที่สุดระหว่างทุกพิกเซลบนภาพกับทุกพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ ซึ่งคอนทัวร์ของวิธีการนี้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุ

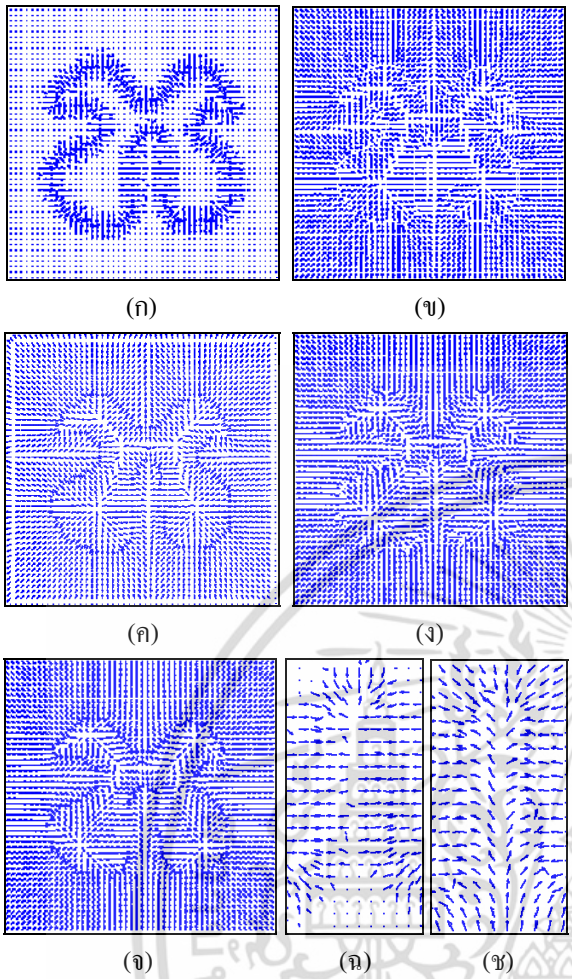
Xu และ Prince [4] ได้นำเสนอวิธีแอ็กทิฟคอนทัวร์ที่เรียกว่า GVF (Gradient Vector Flow) ซึ่งวิธีการนี้ได้มีการแพร่ขยายบริเวณของแรงที่ชี้ไปยังขอบของวัตถุในภาพออกไปโดยรอบ จึงทำให้คอนทัวร์มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างมากขึ้น และมีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าไปยังส่วนที่มีลักษณะโค้งเว้ามาก ๆ ได้ดีขึ้น แต่วิธีการนี้ใช้การคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากใช้การวนซ้ำ (Iteration) ในการคำนวณสนามเวกเตอร์

Wang และ Zhang [5] นำเสนอวิธี CAC (Coulomb Active Contour) โดยการประยุกต์ใช้กฎของคูลอมบ์ (Coulomb) ในการคำนวณแรงสำหรับแอ็กทิฟคอนทัวร์ ซึ่งคำนวณได้จากค่าเกรเดียนต์ของผลรวมของแรงที่กระทำระหว่างทุกพิกเซลในภาพกับทุกพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ โดยแรงที่กระทำระหว่างพิกเซลคำนวณได้จากกฎของคูลอมบ์ โดยมองว่าพิกเซลทั้งสองนี้ คือ ประจุไฟฟ้า 2 ประจุที่มีแรงกระทำต่อกัน ซึ่งวิธี CAC มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้างขึ้น และใช้การคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธี GVF แต่ในบางวัตถุวิธีการนี้ยังคงมีปัญหาในการเคลื่อนที่เข้าไปส่วนโค้งเว้าของวัตถุ

Li และ Acton [6] ได้นำเสนอวิธีการที่เรียกว่า VFC (Vector Field Convolution) ซึ่งวิธีการนี้ใช้การคอนโวลูชันระหว่างภาพขอบกับสนามเวกเตอร์ที่ชี้ไปยังแก่นกลาง (Vector field kernel) ส่งผลให้แรงที่คำนวณได้มีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่กว้าง และทำให้คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนที่โค้งเว้ามาก ๆ ของวัตถุได้ นอกจากนี้ยังใช้การคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธี GVF และ CAC อีกด้วย

ตัวอย่างผลการคำนวณหาสนามเวกเตอร์ของภาพขอบในรูปที่ 1 (ข) โดยใช้วิธี TAC DVF GVF CAC และ VFC แสดงในรูปที่ 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



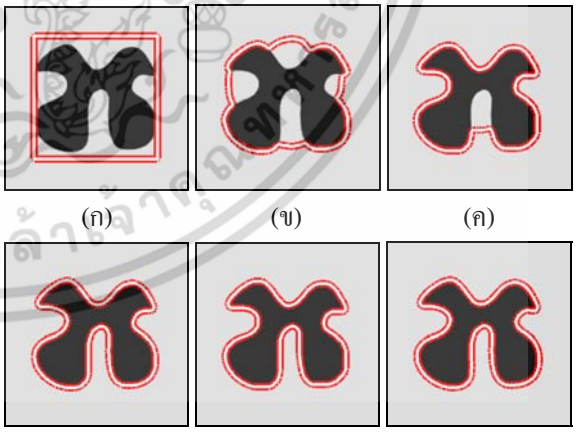
(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ) (ช)

รูปที่ 2 สนามเวกเตอร์ที่คำนวณได้จากวิธี (ก) TAC (ข) DVF (ค) GVF (ง) CAC และ (จ) VFC ตามลำดับ ภาพขยายบริเวณส่วนโค้งเว้าของวิธี (ฉ) TAC (ช) VFC

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าสนามเวกเตอร์ที่คำนวณได้จากวิธี TAC รูป (ก) จะมีลูกศรเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้ ๆ กับขอบของวัตถุเท่านั้น ส่วนในบริเวณอื่น ๆ ที่อยู่ไกลจากขอบของวัตถุ ขนาดของเวกเตอร์จะมีค่าประมาณศูนย์ ซึ่งจะส่งผลให้ ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของคอนทัวร์วางตัวอยู่ในบริเวณเหล่านี้ คอนทัวร์ก็จะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังขอบของวัตถุที่ต้องการได้ เนื่องจากไม่มีลูกศรที่ใช้ในการบอกทิศทางการเคลื่อนที่ นั่นเอง จึงทำให้เกิดปัญหาการมีช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด แต่สำหรับวิธี DVF รูป (ข) บริเวณที่อยู่ไกลกับของของวัตถุจะยังคงมีลูกศรบอกทิศทางชี้ไปยังขอบของวัตถุที่ได้ แต่อย่างไรก็ตามทั้งวิธี TAC และ DVF ยังคงประสบกับปัญหาสำคัญ คือ ในบริเวณที่เป็นส่วนโค้งเว้ามาก ๆ ลูกศรในบริเวณนั้นจะมีทิศทางชี้ไปยังขอบที่ใกล้ที่สุดของแต่ละลูกศร จึงทำให้เกิดสนามเวกเตอร์บริเวณโค้งเว้าลึก ดังแสดงในรูป (ฉ) ซึ่งจะส่งผลให้คอนทัวร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนในสุดของส่วนโค้งเว้าลึกได้ เพราะลูกศรหรือเวกเตอร์นำทางนั้นมีทิศทางชี้ออกด้านข้างทั้งหมด ส่วนวิธีการที่เหลือทั้งวิธี GVF รูป (ค) วิธี CAC รูป (ง) และวิธี VFC รูป (จ) ได้มีการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาช่วงการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุที่จำกัด และการเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าลึก ดังนั้น สนามเวกเตอร์ที่คำนวณได้ในบริเวณโค้งเว้าลึกนี้ จึงมีลักษณะที่ค่อย ๆ ชี้เข้าไปในส่วนโค้งเว้าลึกได้ดังตัวอย่างแสดงในรูป (ช)

5. ผลการแบ่งส่วนภาพ

จากสนามเวกเตอร์ในรูปที่ 2 ได้มีการปล่อยคอนทัวร์เริ่มต้นลงไปบนภาพดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) เพื่อแบ่งส่วนวัตถุที่เราต้องการ และจากผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธี TAC รูป (ข) และวิธี DVF รูป (ค) ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ เนื่องจากไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนโค้งเว้าของวัตถุได้ แต่สำหรับผลที่ได้จากวิธี GVF รูป (ง) วิธี CAC รูป (จ) และวิธี VFC รูป (ฉ) คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปทุกส่วนของรูปร่างวัตถุที่เราต้องการได้ เนื่องจากสนามเวกเตอร์มีลักษณะที่ชี้เข้าไปในส่วนโค้งเว้า นั่นเอง

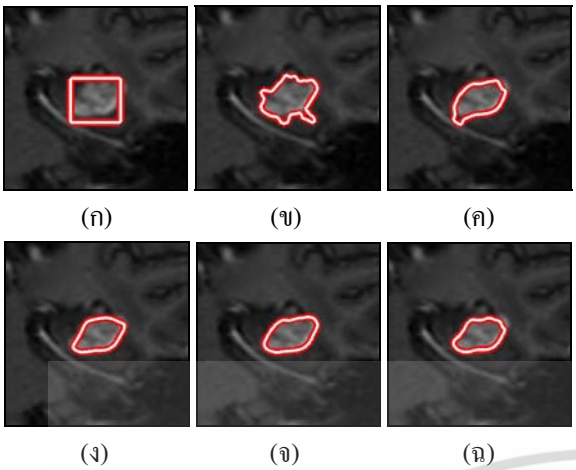


(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 3 (ก) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี (ข) TAC (ค) DVF (ง) GVF (จ) CAC และ (ฉ) VFC

นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองแบ่งส่วนเนื้องอกสมอง (Brain Tumor) ในภาพ MRI จากฐานข้อมูล IBSR [8] ซึ่งผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้แสดงในรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 4 (ก) คอนทัวร์เริ่มต้น ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้โดยใช้วิธี (ข) TAC (ค) DVF (ง) GVF (จ) CAC และ (ฉ) VFC

คอนทัวร์เริ่มต้นได้ถูกวางไว้บริเวณส่วนที่เป็นเนื้องอก แสดงในรูปที่ 4 (ก) และจากผลการแบ่งส่วนภาพ จะเห็นได้ว่า วิธีการต่าง ๆ ให้ผลการแบ่งส่วนเนื้องอกที่แตกต่างกันออกไป โดยผลที่ได้จากวิธี TAC ในรูป (ข) คอนทัวร์นั้นไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังขอบเขตของเนื้องอกที่ต้องการได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากบางส่วนของคอนทัวร์เริ่มต้นนั้นไม่มีแรงมากพอที่จะทำให้เคลื่อนที่ไปจนถึงขอบเขตของเนื้องอกได้ และผลที่ได้จากวิธี DVF ในรูป (ค) จะเห็นได้ว่า มีบางส่วนของคอนทัวร์เคลื่อนที่ไปติดกับส่วนที่ไม่ต้องการ มีสาเหตุมาจากลูกศรในสนามเวกเตอร์มีทิศทางชี้ไปในทิศทางอื่น แทนที่จะเป็นขอบเขตของเนื้องอก แต่สำหรับผลที่ได้จากวิธี GVF รูป (ง) วิธี CAC รูป (จ) และวิธี VFC รูป (ฉ) คอนทัวร์สามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังส่วนที่เป็นเนื้องอกได้ดีกว่าสองวิธีแรก เนื่องจากวิธีการเหล่านี้ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาให้มีความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุได้ดีขึ้น นั่นเอง

6. สรุป

แอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบ เป็นวิธีการแบ่งส่วนภาพที่มีความยืดหยุ่นสูงในการออกแบบและพัฒนา โดยการพัฒนาความสามารถให้กับวิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบนี้จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบสนามเวกเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ลูกศรในสนามเวกเตอร์มีทิศทางชี้ไปยังขอบเขตของวัตถุที่เราต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการแอ็กทีฟคอนทัวร์แบบใช้ขอบนี้เหมาะสมกับการนำไปใช้แบ่งส่วนวัตถุที่มีขอบเขตชัดเจน และในการวางตำแหน่งเริ่มต้นของคอนทัวร์ควรจะต้องวางไว้ให้ใกล้เคียงกับขอบเขตของวัตถุที่เราต้องการเพียงพอ เพื่อทำให้ผลการแบ่งส่วนภาพที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

7. 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] L. D. Cohen, “On active contour models and balloons,” Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Image Understanding, Vol.53, No.2, pp.211-218, March 1991.

[3] L. D. Cohen and I. Cohen, “Finite-element methods for active contour models and balloons for 2-D and 3-D images,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.15, No.11, pp.1131-1147, November 1993.

[4] C. Xu and J. L. Prince, “Snakes, shapes, and gradient vector flow,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.7, No.3, pp.359-369, March, 1998.

[5] B. Wang and L. M. Zhang, “A new snake model based on the coulomb law,” The International Conference on Neural Networks and Signal Processing, pp.1113-1116, December, 2003.

[6] B. Li and S. T. Acton, “Active contour external force using vector field convolution for image segmentation,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.16, No.8, pp.2096-2106, August, 2007.

[7] T. F. Chan, and L. A. Vese, “Active contours without edges,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.2, pp.266-277, February, 2001.

[8] Massachusetts General Hospital, Center for Morphometric Analysis, The Internet Brain Segmentation Repository Database (IBSR), Available from http://www.cma.mgh.harvard.edu/ibsr/data.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้