

画像の分離度とファジィ推論による血管内超音波画像群からのプラーク3次元組織境界線自動抽出

○市山 征平¹⁾ 古賀 崇了²⁾ 内野 英治^{1), 2)} 末竹 規哲¹⁾ 廣 高史³⁾ 松崎 益徳¹⁾

1) 山口大学 2) 財団法人ファジィシステム研究所 3) 日本大学

Fully Automatic 3-D Boundary Extraction of Coronary Plaque in IVUS Image by Using Image Separability and Fuzzy Inference

○ S. Ichiyama¹⁾ T. Koga²⁾ E. Uchino^{1), 2)} N. Suetake²⁾ T. Hiro³⁾ M. Matsuzaki¹⁾

1) Yamaguchi University 2) Fuzzy Logic Systems Institute 3) Nihon University

Abstract: We propose a fully automatic plaque boundary extraction method for intravascular ultrasound image by using anisotropic diffusion and Takagi-Sugeno (T-S) type fuzzy inference. In the proposed method, areas for plaque boundary extraction are automatically determined by image processing and some heuristic rules. In those areas, the objective boundaries are extracted by T-S type fuzzy inference. The present method has drastically reduced the workload of medical doctors.

1. はじめに

冠動脈疾患の診断において、血管内超音波 (Intravascular Ultrasound: IVUS) 画像中のプラーク境界線を自動的に抽出することが望まれている。著者らは、望ましいプラークの境界線を、IVUS 画像の分離度¹⁾と高木 - 菅野 (T-S) 型ファジィ推論を用いて半自動的に抽出する手法を提案した²⁾。この手法は、医師により与えられたシード点を用いて、ファジィ推論における前件部のメンバーシップ関数 (MSF) を自動的に決定し、望ましいプラークの境界線を正確に抽出するものである。しかし、膨大な枚数の IVUS 画像に対して、シード点を与えることは、医師にとって大きな負担である。

本研究では、以前の手法²⁾を拡張し、適切なシード点の自動配置を可能にすることにより、プラーク境界線の完全自動抽出を行う。本提案手法を IVUS 画像に適用したところ、非常に有用な結果が得られた。

2. 提案手法

IVUS 画像を Fig.1 に示す。プラーク (Plaque) は内膜面 (Luminal Boundary: LB) と外弾性板 (Adventitial Boundary: AB) の間にある。抽出すべき境界線を破線で示し、医師によって与えられたシード点を ○ と × で示す。

本提案手法では、シード点は自動的に決定される。以下に提案手法の処理手順を示す。

まず、Fig.2(a) に示す直交座標系 IVUS 画像に、非等方拡散 (PMD) フィルタ³⁾を用いてエッジ保存平滑化を施し、Fig.2(b) に示す画像を得る。

次に、文献 1) の分離度を改良した重みつき分離度を用いて画像中のエッジを検出する。重みつき分離度では、次の二つの IVUS 画像の特徴を用いる。(i) 内膜面の外側の輝度は内側の輝度より大きい。(ii) 外弾性板の外側の輝度は内側の輝度より大きい。各画素における重みつき分離度を以下の式で定義する。

$$\eta_s^w = \eta_s \times \left(\frac{I_{max} - \bar{I}_1}{I_{max}} \times \frac{\bar{I}_2}{I_{max}} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 I_{max} は IVUS 画像の最大の輝度値である。 η_s は分離度¹⁾である。 \bar{I}_1 と \bar{I}_2 はそれぞれ分離度の算出に用いる 2 つの局所領域の平均輝度値¹⁾を示す。式 (1) により算出された重みつき分離度を Fig.2(c) に示す。画像中の明るい部分は η_s^w の値が大きいことを示している。

Fig.2(d) は、Fig.2(c) に対して閾値処理を行った後の 2 値画像を示している。重みつき分離度の閾

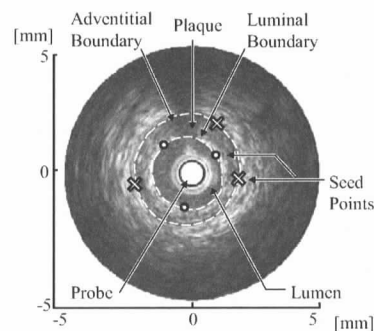


Fig.1 IVUS B-mode image. The dotted lines show luminal boundary (LB) and adventitial boundary (AB) to be extracted.

値を ζ とし、 ζ の値を ζ_{low} から ζ_{high} まで一定の間隔で変化させる。Fig.2(d) は、ある ζ の値における画像である。

Fig.2(d) に示す黒い領域の中心に内側と外側のシード点候補を配置する。各 ζ で配置されたシード点を一つにまとめ IVUS B モード画像上に示したものが Fig.2(e) である。

次に、各 ζ の値で、Fig.2(d) に示す領域が最適になるときの ζ の値を決定する。適切な閾値 ζ の決定には、以下の評価値 E を用いる。

$$E = Grade1 \times Grade2 \times Grade3 \quad (2)$$

ここで、 $Grade1$, $Grade2$, $Grade3$ は Fig.3(a) - (c) に示す関数によってそれぞれ算出される。 E の値が最大となる ζ で得られた画像が Fig.2(f) である。

Fig.2(g) は、Fig.2(f) 中の各領域において、Fig.2(e) の内側のシード点候補を多く含む領域を白色で、外側のシード点候補を多く含む領域を灰色で示したものである。

次に、Fig.2(h) に示すように、Fig.2(g) で分類された 2 つの各領域の中央を通る線上の点をそれぞれ LB 上のシード点と AB 上のシード点として最終決定する。

最後に、得られたシード点を線形補間し、補間直線の周囲の分離度をガウス関数により重み付けしたのが Fig.4 である。これに前回提案した手法²⁾を適用し、プラークの境界線を抽出する。

3. 実験結果

本実験では IVUS 画像 60 枚を用いて、以前に提案した手法²⁾ および今回提案する手法によるプラーク

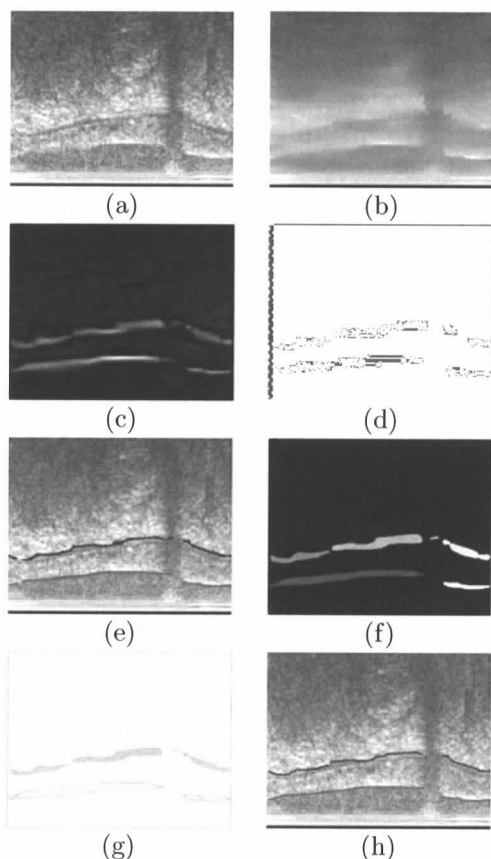


Fig.2 Automatic detection of seed points. (a) Target image. (b) Edge-preserved smoothing image by PMD. (c) Discriminant image of (b) by weighted separability. (d) Binary image obtained by threshold processing for (c). (e) Candidates of the seed points. (f) Regions for getting the final seed points. (g) Classified regions of (f) for LB or AB. (h) Automatically obtained seed points.

Table 1 Quantitative evaluation for the plaque boundary extraction results.

	(μm)			
	Previous method		Present method	
	LB	AB	LB	AB
RMSE	36.5	52.1	37.5	63.2
SD	34.5	31.1	34.9	33.3

ク境界線の抽出結果を比較した。実験では、閾値 ζ_{low} と ζ_{high} の値をそれぞれ 0.1 と 0.2 にした。閾値 ζ は 0.02 間隔で変化させ、Fig.3 の関数は経験的に決定した。その他の手順は文献 2) と同じにした。Fig.5(a),(b) にプラークの境界線抽出結果を示す。Table1 に望ましい境界線 y^* と各手法により抽出された境界線 \hat{y} との平均二乗誤差 (RMSE) とその標準偏差 (SD) を示す。これらの結果より、提案手法は全自動にもかかわらず、以前提案した手法 (シード点を人手で与える) と同等の境界線抽出結果を与えることがわかる。

4. 結論

本研究では、エッジ保存平滑化フィルタと重みつき分離度を用いてシード点を自動決定し、求め

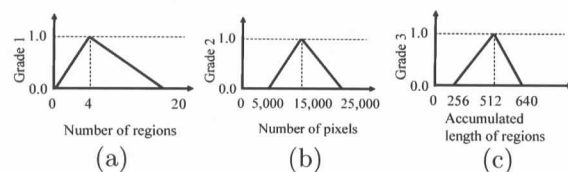


Fig.3 Three functions to select an image for getting the final seed points. (a) Function to evaluate the number of regions. (b) Function to evaluate the number of pixels in the regions. (c) Function to evaluate the accumulated length of the regions.

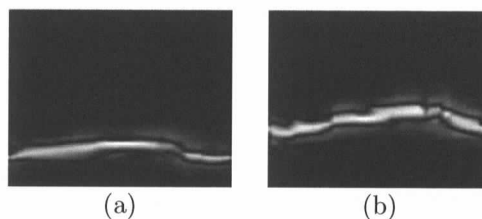


Fig.4 The plaque boundary extraction areas allocated by the present method. (a) The allocated area for luminal boundary (LB). (b) The allocated area for adventitial boundary (AB).

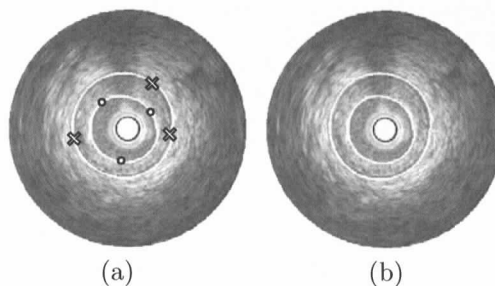


Fig.5 Experimental results. \times : Given seed points for AB. \circ : Given seed points for LB. (a) Extracted boundaries by our previous method. (b) Extracted boundaries by the present method.

るプラーク境界線を完全自動で抽出する手法を提案した。これにより、医師の負担を大きく軽減することができた。提案手法により抽出されたプラーク境界線を用いて、プラークの完全自動 3D 表示が可能になった。

参考文献

- 1) 福井和広: 領域間の分離度に基づく物体境界抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-DII, No.6, pp. 1406-1414 (1997)
- 2) Uchino, E., *et al.*: Fuzzy inference-based plaque boundary extraction using image separability for intravascular ultrasound image of coronary artery. *Electronics Letters* **45**, pp. 451-453 (2009)
- 3) Perona, P., *et al.*: Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **12**, pp. 629-639 (1990)