

モルフォロジーフィルタバンクを用いた眼底画像における血管抽出

Altansargai BUYANDALAI¹ 内山 良一¹ 畑中 裕司²

村松 千左子³ 原 武史³ 藤田 広志³

1 大分工業高等専門学校制御情報工学科 〒870-0154 大分市大字牧 1666 番地

2 滋賀県立大学工学部 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂 2500

3 岐阜大学大学院医学系研究科知能イメージ情報分野 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

E-mail: uchiyama@oita-ct.ac.jp

あらまし 眼底画像における血管抽出は、眼底画像のコンピュータ支援診断システムの開発における重要な基礎技術のひとつである。本論文ではモルフォロジーフィルタバンクに基づいた新しい眼底画像の血管抽出法を提案する。モルフォロジーフィルタバンクは、異なる構造要素によるトップハット変換を用いた血管抽出法に対してウェーブレット解析の多重解像度表現のアイデアを取り入れたものである。このフィルタバンクを用いれば、眼底画像における様々な大きさの円形パターンや線状パターンを強調することができる。本手法を STARE データベースにおける眼底画像 5 症例に適用したところ、ROC 曲線以下の面積の平均は 0.9031 であった。本手法は眼底画像における血管抽出に有用であると考えられる。

キーワード 眼底画像, 血管抽出, フィルタバンク, モルフォロジー, コンピュータ支援診断

Extraction of Blood Vessels in Retinal Fundus Images using Morphology Filter Bank

Altansargai BUYANDALAI¹ Yoshikazu UCHIYAMA¹ Yuji HATANAKA²

Chisako MURAMATSU³ Takeshi HARA³ and Hiroshi FUJITA³

¹Dept. of Computer and Control Engineering, Oita National College of Technology, 1666 Maki, Oita, 870-0152

²Dept. of Electronic Systems Eng., School of Eng., Univ. of Shiga Pref., 2500 Hassaka-cho, Hikone, 522-8533

³Dept. of Intelligent Image Information, Graduate School of Medicine, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu 501-1194

E-mail: uchiyama@oita-ct.ac.jp

Abstract Blood vessel extraction is one important component technology of computer-aided diagnosis for retinal fundus images. This paper proposes a novel method based on morphology filter bank for the extraction of vessel regions in retinal fundus images. Morphology filter bank is a vessel extraction method using the top-hat transformation, which can make the multi-resolution representation such as wavelet analysis. Nodular patterns and linear patterns of various sizes can be enhanced using this method. We applied our method to five images of STARE database. The results indicated that mean area under the ROC curve was 0.9031. Therefore, our method would be useful for the extraction of blood vessels in retinal fundus images.

Keywords Retinal fundus image, Vessel Extraction, Filter bank, Mathematical Morphology, Computer-aided diagnosis

1. はじめに

生活習慣病などの早期発見を目指して健康診断や人間ドックの受診率が増加している。眼底画像検査は、血管の状態を非侵襲に観察できることから、健康診断や人間ドックで広く用いられており、血液循環器系疾患である高血圧症、動脈硬化症などの診断に有用である。簡便で比較的低コストな眼底画像検査の実施件数は今後増加することが予想されるため、医師の負担を軽減するために、コンピュータ支援診断(以下、CAD)システムの開発が行われている[1]。

眼底画像における血管領域の抽出は、高血圧症や動脈硬化症の解析に必要な処理である。これまで、RGB カラー眼底画像の G 成分画像から濃淡情報の隆線を検出する手法[2]や、2次元ガボールウェーブレットを用いた手法[3]などが提案されている。

本論文では、モルフォロジーフィルタバンクを用いた眼底画像の血管領域の抽出方法を提案する。このフィルタバンクは、粒状影と血管像を検出するモルフォロジー処理に多重解像度解析のアイデアを加えたものであり、様々な大きさの粒状影と血管像を強調することができる特徴を持つ。公

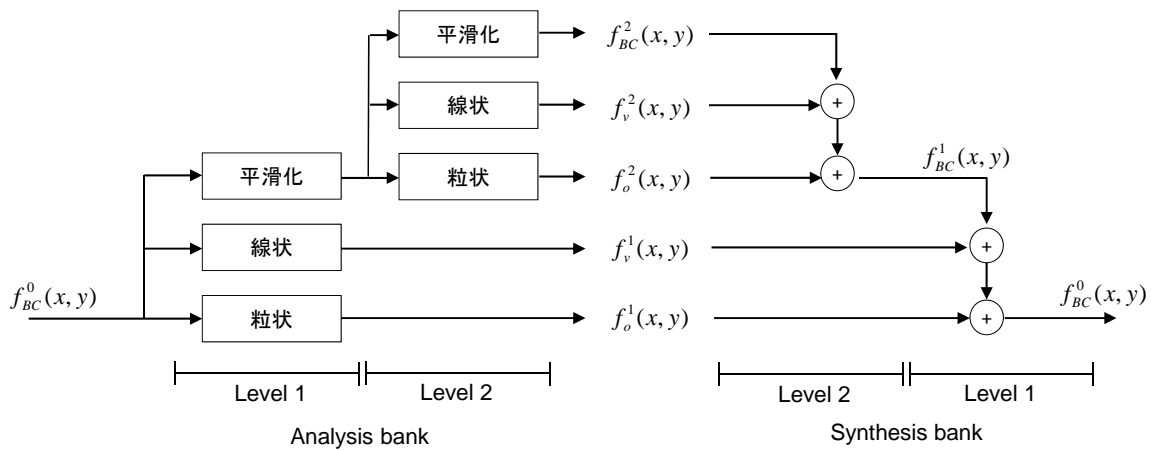


Fig.1 モルフォロジーフィルタバンク

開されたデータベースの画像に対して本手法を適用することによって提案手法の有用性を示す。

2. 方法

2.1 粒状影と血管像の分離

モルフォロジーを用いて原画像に含まれる粒状影と血管影を分離する処理は以下の手順で行うことができる。まず、直線多重構造要素 B_0, B_1, \dots, B_7 を用いてオープニング (Opening) 処理した画像を $f_{B_0}(x, y), f_{B_1}(x, y), \dots, f_{B_7}(x, y)$ とする。ここで、直線構造要素 B_n は 22.5° おきの傾きを持つ半直線とする。このオープニング処理を行った画像の最大値を選んだ画像を $f_B(x, y)$ とする。つまり、

$$f_B(x, y) = \max\{f_{B_0}(x, y), f_{B_1}(x, y), \dots, f_{B_7}(x, y)\}$$

粒状影は上式で得られた画像 $f_B(x, y)$ と原画像 $f(x, y)$ のトップハット変換 (Top-hat transformation) によって抽出することが可能である [4,5]。

$$f_o(x, y) = f(x, y) - f_B(x, y) \quad (1)$$

画像 $f_o(x, y)$ は原画像に含まれる粒状陰影を強調した結果になる。この手法は乳房 X 線写真の微小石灰化像の抽出に応用されている [5]。

画像 $f_B(x, y)$ は、非直線高周波領域が取り除かれた画像である。よって、血管像を強調するためには、この画像に対して直線構造要素の長さと同じ直径を持つ円形構造要素を用いたトップハット変換を行えばよい [6]。

$$f_v(x, y) = f_B(x, y) - f_{BC}(x, y) \quad (2)$$

ここで、 $f_{BC}(x, y)$ は $f_B(x, y)$ に対して円形構造要素 C によってオープニング処理をした画像であり、画像 $f_v(x, y)$ は原画像に含まれる血管像を抽出した結果である。血管像を分離するこの手法は CT 画像における血管像の

抽出に応用されている [6]。

2.2 モルフォロジーフィルタバンク

上述した処理により、原画像における粒状影と血管像を分離して抽出することができる。しかし、得られる粒状影と血管像は構造要素の長さに強く依存する。本論文ではウェーブレット解析における多重解像度分解のアイデアを用いて上記の手法に改良を加えることにより様々な大きさの粒状影と血管像を強調する新しいフィルタバンクを提案する。

まず、(1) 式と (2) 式から次式を導くことができる。

$$f(x, y) = f_o(x, y) + f_v(x, y) + f_{BC}(x, y) \quad (3)$$

この式は原画像 $f(x, y)$ が粒状影 $f_o(x, y)$ と血管像 $f_v(x, y)$ 、及び平滑化画像 $f_{BC}(x, y)$ に分解できることを表している。抽出された粒状影と血管影の大きさは処理に用いた構造要素の大きさに強く依存している。もし、サイズの大きな構造要素を用いれば大きい粒状影と血管影を抽出することが可能であり、逆に、サイズの小さな構造要素を用いれば小さい粒状影と血管影を抽出することが可能である。

ウェーブレット変換は、原画像を低域と高域の2つの帯域に分割する2分割フィルタバンクのオクターブ分割トリー構成によって実行できる [7]。オクターブ分割トリー構成では、低域側のみを引き続き分割することにより原画像の多重解像度分解を行う。ここでは、このアイデアを (3) 式に加える。まず、原画像 $f(x, y)$ を解像度ゼロの平滑化画像 $f_{BC}^0(x, y)$ とおき、サイズの小さい構造要素を用いて (3) 式の分解を行う。つまり、

$$f(x, y) = f_{BC}^0(x, y) = f_o^1(x, y) + f_v^1(x, y) + f_{BC}^1(x, y)$$

ここで得られた平滑化画像 $f_{BC}^1(x, y)$ に対してさらにサイズの大きな構造要素で引き続き分解を繰り返す。

$$f_{BC}^1(x, y) = f_o^2(x, y) + f_v^2(x, y) + f_{BC}^2(x, y)$$

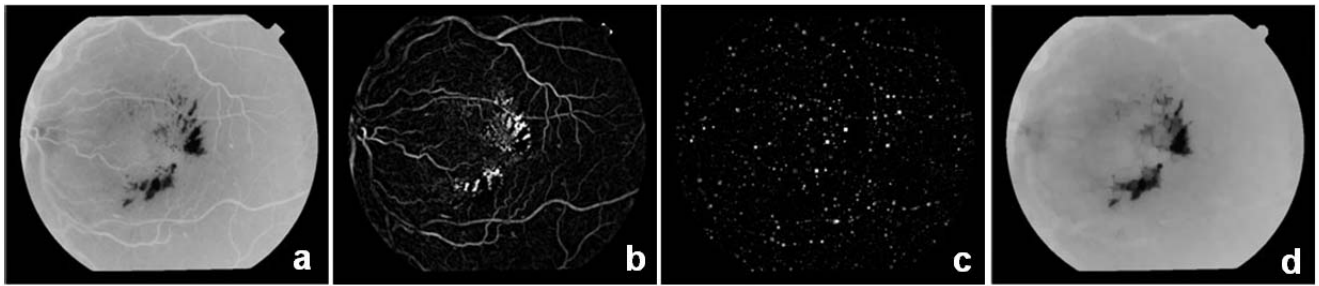


Fig.2 モルフォロジーフィルタバンクによる血管抽出の結果. (a)G成分の反転画像, (b)血管像 $f_v(x,y)$ (解像度1から4までの和), (c)粒状影 $f_o(x,y)$ (解像度1から4までの和), (d)平滑化画像 $f_{BC}^4(x,y)$

この処理を繰り返すことによって、多重解像度分解を行うことができる。

$$f(x,y) = \sum_{j=1}^N \{f_o^j(x,y) + f_v^j(x,y)\} + f_{BC}^N(x,y)$$

ここで j は解像度を表し、小さい解像度の画像はサイズの小さな構造要素で分解した成分画像を出力し、大きい解像度の画像はサイズの大きな構造要素で分解した成分画像を出力する。 $f_o^j(x,y)$ は解像度 j での粒状影、 $f_v^j(x,y)$ は解像度 j での血管像をそれぞれ表す。この分解は、式からも判断できるように、すべての分解画像成分を単純に加算(逆変換)することによって原画像を完全に再構成することが可能である。Fig.1にモルフォロジーフィルタバンクを示す。

文献[9]では2進ウェーブレット変換を用いた円形パターンと線状パターンの検出手法について述べている。本手法は非線形信号処理に基づいた手法である点が文献[9]の手法とは異なる。本手法では出力画像に非線形に特徴的な歪を伴うことが欠点であるが、文献[9]の手法と比較すると平滑化フィルタによる信号の鈍りが少ないため、眼底画像のように比較的ノイズの少ない画像に対してはその効果を発揮する特徴がある。

2.3 眼底画像における血管抽出

STARE データベースにおける眼底画像はRGBのカラー画像である[8]。まず、カラー情報をもとに背景領域を抽出する。画像のR, G, Bの3つの値を用いた閾値処理によって背景領域の候補を決定する。決定した背景領域に対して2値画像の拡張処理を行った後にラベリングを行い、候補領域の中で最大面積を持つ領域を背景領域とする。つぎに、カラー画像からG成分画像を作成し、濃度値を反転した後に背景領域の値をゼロにする。作成した濃淡画像に対して2.2節で述べたモルフォロジーフィルタバンクを用いて分解を行う。分解は解像度1から4までとし、解像度1から4までの血管像 $f_v^j(x,y)$ を加算した画像を最終的な血管抽出結果とする。なお、解像度1から4までの構造要素の長さは、それぞれ5, 7, 9, 11画素とした。

3. 実験結果

Fig.2にモルフォロジーフィルタバンクによる血管抽出の結果を示す。Fig.2(a)はG成分画像の濃度値を反

転した画像であり、抽出した背景領域はゼロに設定している。Fig.2(b)は血管抽出の結果である。図から明らかのように、様々な大きさの血管像が強調されていることがわかる。Fig.2(a)の中心付近に位置する異常陰影の辺縁も同時に強調されていることが問題点であるが、原画像ではこの領域は黒い領域として認識できるため、この領域を事前に削除する処理を加えることは容易であると予想できる。Fig.2(c), (d)はそれぞれ粒状影と解像度4の平滑化画像を示している。フィルタバンクの性質から(b)血管像と(c)粒状影、及び(d)平滑化画像を単純に加算することによって(a)原画像を完全に再構成することが可能である。Fig.2(d)の平滑化画像を見ると血管像と判断できる構造がほとんどないことから解像度レベルは4までで充分であることがわかる。

STARE データベースの5症例(#1から#5)について本手法を適用した。STARE データベースには、医師が手法でマーキングした血管像の画像がある。この画像を用いることによって、ROC曲線[10]を作成し、ROC曲線以下の面積(AUC)を求めた。Table1に各症例のAUCの値を示す。平均のAUCは0.9031であった。血管領域を強調した初期検出の段階での性能であるため、若干低い値ではあるが、今後、偽陽性削除などの処理を加えることによって、さらに良い値を得ることができると考えられる。

4. 結論

眼底画像における血管抽出の新しい手法として、モルフォロジーフィルタバンクに基づいた手法を提案した。提案手法を用いることによって、眼底画像の様々な大きさの血管像が抽出できることを示した。今後の課題として、モルフォロジーフィルタバンクから出力される画像特徴量と識別器を検討することによって、より高精度に血管領域を決定する手法を開発すること、さらに共通のデータベースで手法の性能を評価することがあげられる。

参考文献

- [1] 中川俊明, 畑中裕司, 村松千左子, 藤田広志: 眼底画像のコンピュータ支援診断の現状と課題. 医用画像情報学会雑誌 25(4): 70-77, 2008
- [2] Staal JJ, Abramoff MD, Niemeijer M, et al.: Ridge-based vessel segmentation in color images of

Case #	AUC
Image0001	0.912
Image0002	0.894
Image0003	0.946
Image0004	0.885
image0005	0.935
Average	0.9013

Table1 各症例の ROC 曲線以下の面積 (AUC)

the retina. IEEE Trans Med Imaging, 23(4), 501-509, 2004

- [3] Oloumi F, Rangayyan RM, Oloumi F, et al.: Detection of blood vessels in fundus images of the retina using Gabor wavelets. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 1, 6451-6454, 2007
- [4] 小畑秀文: モルフォロジー. コロナ社, 東京, 1996
- [5] 金華栄, 小畑秀文: 多重構造要素を用いたモルフォロジーフィルターによる微小石灰化像の抽出. 電子情報通信学会論文誌 J75-DII(7), 1170-1176, 1992
- [6] 萩原義裕, 小畑秀文, 志田寿夫: CT 画像を用いたじん肺粒状陰影の抽出とじん肺症自動分類の試み. Med Imag Tech 16(5): 578-584, 1998
- [7] 貴家仁志: マルチレート信号処理. 昭晃堂, 東京, 1995
- [8] STARE Project : <http://www.parl.clemson.edu/stare/>
- [9] 中山良平, 内山良一: 医用画像における円形・線状パターン検出のためのフィルタバンクの構築, 電子情報通信学会論文誌, J87-D-II(1), 176-185, 2004
- [10] 桂川茂彦 編集: 医用画像情報学, 南山堂, 東京, 2002