

冗長ウェーブレット変換を利用した血管検出

Detection of Blood Vessels by Undecimated Wavelet Transform

大森 康宏[†]
Yasuhiro Ohmori鈴木 茂人[‡]
Shigehito Suzuki桑村 進[‡]
Susumu Kuwamura田中 章[†]
Akira Tanaka河口 万由香[†]
Mayuka F. Kawaguchi宮腰 政明[†]
Masaaki Miyakoshi

1 序論

雑音によって埋もれた血管画像から、雑音を除去し血管を検出するには、雑音除去だけではなく、エッジ保持も重要となる。この二つは相反するので、両立できる方法が必要となる。これを実現するためにウェーブレット変換を利用した閾値処理による雑音の除去がある [1]。しかし、通常のウェーブレット変換では変換の際に、ダウンサンプリングを行うため、生成されるウェーブレット係数は元の信号長の半分となり、信号の位置情報が不十分である。それに対し、冗長ウェーブレット変換は、変換の際にダウンサンプリングを行わないため、元の信号長と同じ長さのウェーブレット係数を生成するので、非冗長なウェーブレット変換に比べ、正確な信号の位置情報を得ることが出来る。また、異なるレベル間で高周波数成分同士のレベル間相関を取ることで、信号成分と雑音成分の正確な識別が出来るため、雑音成分除去に伴うコントラストの低下を抑制することができる [2]。本稿は、[2]の手法を元に、雑音成分除去とコントラストの低下のトレードオフの関係を改善する方法を提案する。さらに、模擬血管画像に統計雑音を加えた画像に提案手法を適用して、有効性を検証する。

2 ウェーブレット理論に基づく雑音除去

ウェーブレット変換を利用した閾値による雑音除去手法がある [1]。雑音が含まれた画像に対して、ウェーブレット変換を行った後、生成された高周波数成分に対し、設定した閾値より小さい成分を雑音成分、大きい値を信号成分とみなし、雑音成分を0に置き換えて再構成することで、雑音を除去するものである。

$$W(l, n) = \begin{cases} 0 & (|W(l, n)| < \delta) \\ W(l, n) & (|W(l, n)| > \delta) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 W を高周波数成分、 l をレベル、 n をサンプル数、閾値を δ とする。

しかし、通常のウェーブレット変換はダウンサンプリングを行うため、生成された周波数成分の位置情報が不十分である。これを解決する方法として、ダウンサンプリングを行わない冗長ウェーブレット変換がある。もとの信号と同じ信号長の周波数成分を生成する冗長ウェーブレット変換は、通常のウェーブレット変換に比べ、信号の位置情報を正確に表すことができる。この冗長ウェーブレット変換の特徴を利用した雑音除去

の方法に、レベル間相関を使用した雑音除去がある [2]。冗長ウェーブレット変換によって、生成された高周波数成分のレベル間には、同程度の相関があるという性質を利用し、生成された高周波数成分と、さらに一つ高いレベルで変換を行って生成された高周波数成分同士を掛け合わせ、レベル間で相関をとることで、値の大きい信号成分はより大きく、値の小さい雑音成分はより小さくなり、信号成分と雑音成分を一層正確に分けることが出来る。この方法で、雑音成分と信号成分を正確に分けることで、雑音除去における平滑化を最小限に抑えられ、閾値処理よりも良好な結果を得られる。[2]の手法は、レベル間相関をとった後標準化し、その標準化されたレベル間相関と高周波数成分を比較し、レベル間相関より値が小さい場合を雑音と判断し、0に置き換え再構成を行う。

$$Corr(l, n) = |W(l, n) \times W(l+1, n)| \times \sqrt{\frac{\sum W(l, n)^2}{\sum (W(l, n) \times W(l+1, n))^2}} \quad (2)$$

$$W(l, n) = \begin{cases} 0 & (Corr(l, n) < |W(l, n)|) \\ W(l, n) & (Corr(l, n) > |W(l, n)|) \end{cases} \quad (3)$$

3 提案法

Xu et al. [2]の手法には、雑音の除去とコントラストの低下のトレードオフの關係に問題がある。本稿は、その問題点を改善するために、レベル間相関に標準化を行わない手法を提案する。標準化を行わない事で、信号成分と雑音成分をより正確に判別でき、コントラストの低下を抑えられる。また、[2]の手法では、各サンプルポイントでレベル間相関と高周波数成分の比較で、雑音を判定しているため、雑音成分の以外の成分を除去している割合が高くなる場合が考えられるので、本稿では、閾値処理を適用した。

以下に提案アルゴリズムを示す。まず、原画像に対し、処理を行いたい任意のレベルより一つ上のレベルまで冗長ウェーブレット変換を行う。高周波数成分が生成されたら、処理を行いたいレベルの高周波数成分と、その一つ上のレベルの高周波数成分の積を取り、それをレベル間相関とする。生成されたレベル間相関に閾値処理を施し、信号成分と雑音成分を識別した後、雑音成分を0に置き換え、新たな高周波数成分とする。

$$Corr(l, n) = |W(l, n) \times W(l+1, n)| \quad (4)$$

$$W(l, n) = \begin{cases} 0 & (Corr(l, n) < \delta) \\ W(l, n) & (Corr(l, n) > \delta) \end{cases} \quad (5)$$

次に、この操作を一つ低いレベルで行う。それを繰り返し、一番低いレベルになるまで行い、最後に処理を施された高周波数成分に対し、逆ウェーブレット変換を行い画像を再構成し、雑音が除去された画像を得る。

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科 CS 専攻

[‡] 北見工業大学情報システム工学科

4 数値実験

画質を定量的に評価するため、以下に示す F, C , 及びコントラストを評価指標として使用した。

$$F = 1 - \frac{\sum (T_i - R_i)^2}{\sum T_i^2} \quad C = \frac{\sum R_i^2}{\sum T_i^2}$$

ここで、 T_i は原画像の画素値、 R_i は再構成画像の画素値を表す。

本稿で使用した模擬血管画像を図1に示す。サイズは512×512である。

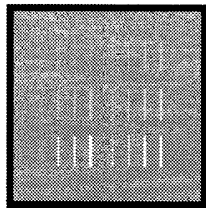


図1 模擬血管画像

図1に示した模擬血管画像に統計雑音, SNR20.15(dB), 14.13(dB)を加え, 劣化させた画像を図2及び図3に示す。

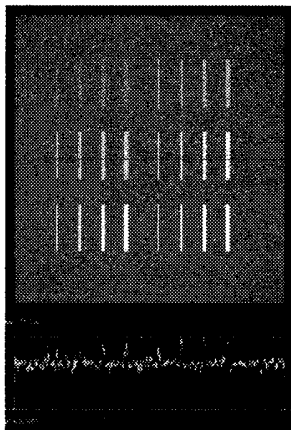


図2 SNR 20.15(dB)

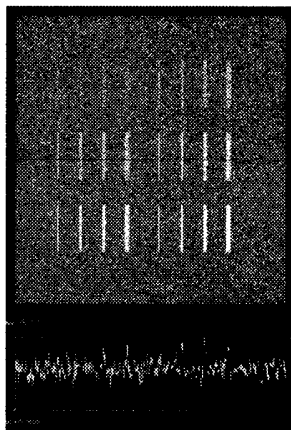


図3 SNR 14.13(dB)

4.1 実験結果

図2及び図3に対し, 既存手法で血管を検出した結果と, 提案手法で血管の検出を行った結果を図4~7に示す。実験を行ったウェーブレット変換のレベルは5である。

表1は, 原画像のコントラストと, 雑音除去後の画像のコントラストを比較し, その損失の割合を示している。

	既存手法 [2]				提案手法			
20.15(dB)	64	25	17	13	63	27	19	15
14.13(dB)	60	26	18	13	65	27	19	15

表1 コントラストの損失度 %

上記の実験結果のプロフィールから, 提案手法で血管の検出が出来ていることを確認できた。また, プロフィールからわかる

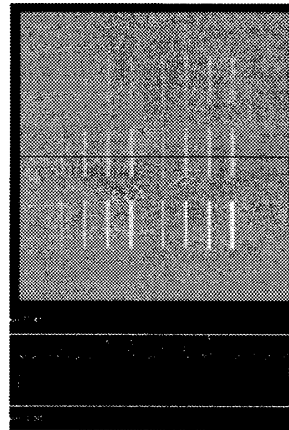


図4 既存手法
SNR20.15(dB)
F=0.9967
C=0.9961

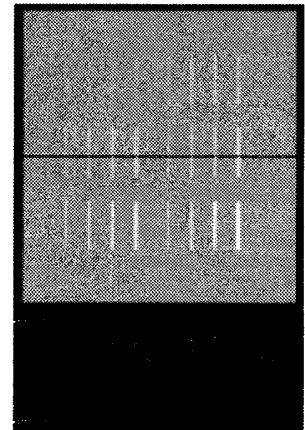


図5 提案手法
SNR20.15(dB)
F=0.9968
C=0.9962

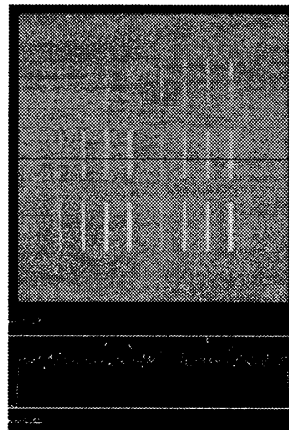


図6 既存手法
SNR14.13(dB)
F=0.9939
C=0.9986

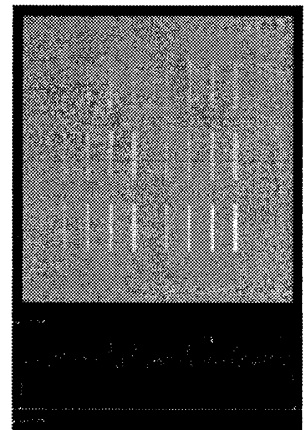


図7 提案手法
SNR14.13(dB)
F=0.9945
C=0.9978

ように, 若干ではあるが提案手法のほうが雑音を除去できている。F, C の値も提案手法を利用することで, 既存手法よりも, よい値となっている。しかし, コントラストは, 提案手法を使用した場合の方が損失の割合が若干高く, [2] の手法で問題点とされていた, 雑音の除去とコントラストの低下のトレードオフの関係が成立してしまい, 問題点の解決には至らなかった。冗長ウェーブレットを使用した雑音の除去には本稿で紹介した以外にも様々な手法があるので, 雑音の除去とコントラストの低下のトレードオフの関係を改善する方法を探したい。

参考文献

- [1] 中野宏毅, 山本鎮男, 吉田靖夫 『ウェーブレットによる信号処理と画像処理』 共立出版株式会社
- [2] Yansun Xu, John B. Weaver, Dennis M. H Raly, Jr., Jian Lu "Wavelet Transform Domain Filters: A Spatially Selective Noise Filtration Technique," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol3, pp. 747-758, Nov. 1994.