

リカレントネットワークフィルタによる局所移動補正 DSA 画像の画質改善

Image Improvement on DSA Image Processed by Local Movement correction Using Recurrent Nerual Networks

韓旭*, 白井治彦**, 高橋勇**, 黒岩丈介**, 小高知宏**, 小倉久和**
伊藤春海***, 山本和高***, 横浜則也***

1 はじめに

本研究は、脳動脈や冠動脈の狭窄などの診断のため、局所移動補正位置合わせ処理した頭部 DSA 画像の中に残存したアーチファクトを軽減し、血管細部を鮮鋭化することを目的としている。DSA 画像とは、血管への造影剤投与前後 2 枚の投影画像に対して差分をとることで、血管系を抽出することを目的とした X 線特殊造影法である。われわれはこの DSA 画像に現れるモーションアーチファクトを軽減するため、局所移動補正による DSA 画像の改善手法を提案した [1]。しかし、得られた DSA 画像中の血管が集中している部分や末梢血管部分には、削減できないアーチファクトが残り、明瞭に見ることができない血管部分がある。そこで、局所移動補正で得た DSA 画像をさらに改善するため、リカレントフィルタリングと濃度線形変換を適用し、血管細部を鮮鋭化処理する手法を検討する。

2 局所移動補正画像の改善手法

2.1 局所移動補正 DSA 画像

局所移動補正による位置合わせ処理法は、アーチファクトの移動・変形のモデルを設定せず、簡単なアルゴリズムでアーチファクトを除去及び軽減し、血管網のみを抽出する手法である。補正する動きを局所領域別に剛体的な平行移動として求め、それらの移動量を画像全体に対して補間することによりピクセルにおける移動量ベクトルを求める。得られた 1 ピクセルごとの移動量で対象画像を操作して、アーチファクトを除去し血管が強調された画像を生成する。回転や旋回移動などの移動を持つアーチファクトを軽減することも可能である。

本稿では、局所移動補正法で解決できない細部血管の鮮鋭化処理について検討する。

2.2 リカレントネットワーク フィルタ

リカレントネットワーク (Recurrent Nerual Networks) とは、フィードバックをもつネットワークのことである。現在の出力が現在の入力だけではなく、過去の入力で決定されたネットワークの状態にも依存するようになる。画像処理に応用すると、注目画素は現在の出力、近傍画素は過去の入力として、隣接している画素が相互に抑制する機能を実現できる。本文は、この機能を実現できるリカレントネットワーク フィルタ (RNF) を提案する。

2.3 処理の概要

局所移動補正 DSA 画像に対して、二つの処理を別々に行ない、最後にそれらの結果を融合し、血管系が強調され

福井大学工学研究科知能システム工学専攻*,
福井大学工学部**,
若狭湾エネルギー研究センター***

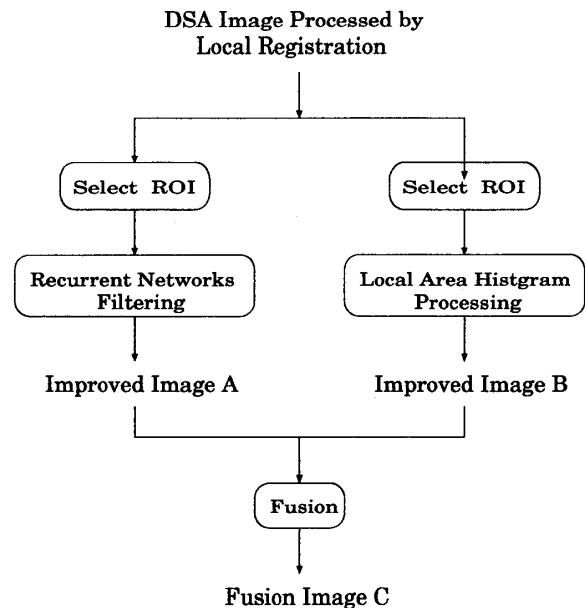


Figure 1: 処理の流れ

た画像を得ることを狙いとする。一つはリカレントフィルタリング処理、他の一つは濃度補正処理である。処理の手順を Figure.1 に示す。

血管領域を背景から明確に認識できるために、対象画像に選択した関心領域に、注目画素と近傍の画素が相互に抑制するリカレントフィルタをかける。側抑制の機能は明暗が変化する境界に反応が現われるので、側抑制機能を持っているフィルタリングを行うことで、血管と背景の境界を鮮明に強調できると考える。

細部血管を鮮鋭化するために、細部血管の濃度値の存在範囲を広げることによって画像のコントラストの強調を行う。細部血管のみのコントラストを強調するために、各関心領域の濃度ヒストグラムで血管部分と背景部分の画素特徴を分析し、血管部分だけの濃度値の存在範囲を線形変換によって広げる。こうして、濃度補正画像を得る。

2.4 リカレント フィルタリングと濃度線形補正の具体手法

リカレント フィルタリング: まず、下の式のしめすように、中心注目画素は第 1 層と第 2 層の近傍画素値に依存している。第 1 層と第 2 層の重み係数はそれぞれ-0.4,-0.2、注目画素の重み係数は+6.4 にするリカレントフィルタを各関心領域に一回 (t=1) かけることによって、対象画像の血管境界を強調できる。しかし、フィルタリングした画像には、血管部分と背景領域が元画像より暗くなった。こ

の問題に対して、注目画素の重み係数としきい値を修正する。注目画素の重み係数を+7.0に変換し、同時にしきい値 v を-0.5にすると、血管部分の濃度値を補正でき、背景領域もすこし補正できる。

$$x_0(t) = f(U_0(t) - v)$$

$$U_0(t) = \sum_{k=1}^{16} w_2 x_k(t_0) + \sum_{k=1}^8 w_1 x_k(t_0) + w_0 x_0(t_0)$$

$$f(u) = \tanh(u) = \frac{e^{\frac{u}{T}} - e^{-\frac{u}{T}}}{e^{\frac{u}{T}} + e^{-\frac{u}{T}}}$$

-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2
-0.2	-0.4	+7.0	-0.4	-0.2
-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2
-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2

次に、フィルタリングと同時に暗くなった関心領域の背景部分をさらに補正する。処理前後画像の濃度ヒストグラムによって、背景領域濃度値分布の変化がわかる。処理した画像の背景領域を元画像と同じような濃度分布に戻すため、下の式にしめすように、濃度ヒストグラムの窓変換を行う。各関心領域に処理後の画素値 $P(x, y)$ を当関心領域の背景濃度しきい値 T と比べ、しきい値 T より大きい場合は背景領域濃度値と認め、当関心領域の処理前後の背景領域濃度の差 B_i で補正する。しきい値 T より小さい場合は背景領域濃度値と認めず、もとの値 $p(x, y)$ に保つ。

$$P(x, y) = \begin{cases} p(x, y) + B_i & (p(x, y) \geq T \text{ のとき}) \\ p(x, y) & (\text{それ以外の場合}) \end{cases}$$

濃度補正処理：まず、細部血管の分布状況に応じて、多数の関心領域を選ぶ。次に、局所移動補正 DSA 画像の背景部分に関心領域と同じサイズの背景領域を選び、ヒストグラムを生成する。関心領域と背景領域の濃度ヒストグラムを比較して、関心領域の細部血管濃度値の分布範囲を得る。この濃度値分布範囲を線形変換し、同時に、この範囲以外の濃度値をもとの値に保つ。こうして、当関心領域の細部血管濃度値が広げられる。各関心領域にこの処理を行い、画像全体の濃度補正処理を終了する。

3 適用結果

関心領域の元画像と処理結果は下の図に示す。処理対象として局所移動補正 DSA 画像に選んだ関心領域を Figure.2、Figure.6 に示す。関心領域のリカレントフィルタリング結果画像を Figure.3、Figure.7、濃度補正処理した画像を Figure.4、Figure.8 に示す。Figure.5、Figure.9 は二手法で処理結果の融合画像である。元画像 Figure.2 と比べて、リカレントフィルタリングした画像 Figure.3 には、血管領域と背景の境界が明瞭に認識できる。特に細部血管が鮮明に強調されている。濃度線形補正した画像 Figure.4 からみると、局所領域のコントラストが強調され、血管部分が原画像より鮮明になっているのが分る。しかし、元画像 Figure.6 と比べ、濃度線形補正結果 Figure.8 には、中心部分の細部血管の鮮鋭化処理効果は顕著ではない。そのため、細血管が集中して、かつ同じ方向の血管部分で

は、濃度補正手法だけでは改善が困難である。同一関心領域のリカレントフィルタリング結果 Figure.7 には、血管部分の鮮明度が大幅に上がり、血管領域と背景領域の境界も強調された。これよりわかるのは、リカレントフィルタリング処理は、濃度線形補正法により改善できない画像領域においてよい処理結果が得られる。

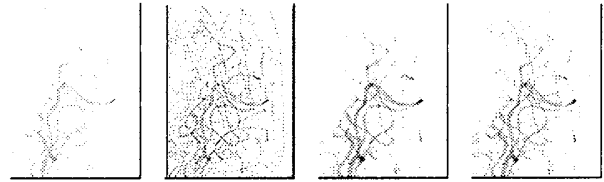


Figure 2: 関心領域原画像
Figure 3: RNF フィルタリング
Figure 4: 濃度線形補正結果
Figure 5: 融合した結果

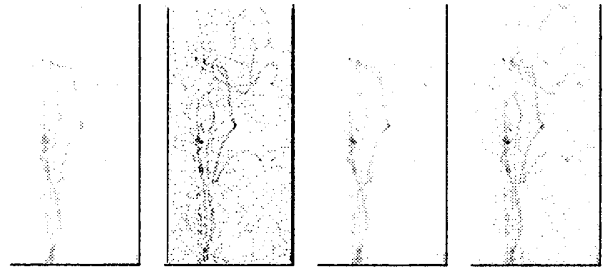


Figure 6: 関心領域原画像
Figure 7: RNF フィルタリング
Figure 8: 濃度線形補正結果
Figure 9: 融合した結果

4 考察

適用結果より、提案する画質改善手法は局所移動補正 DSA 画像の血管細部を鮮鋭化することが可能となった。512×512 の対象画像領域に 5×5 マスクのリカレントフィルタでフィルタリングを行うと、血管領域の強調、血管と背景の境界の強調効果を得ることができる。局所的濃度線形補正によって、ほとんどの関心領域に血管部分のコントラストが改善され、原画像より見やすくなった。ある濃度線形補正で鮮鋭化できない画像領域には、リカレントフィルタリングによってよい改善効果が得られる。しかし、リカレントフィルタリング後暗くなった背景領域は、濃度ヒストグラムの窓変換により、とてもよい補正結果を得るとはいえない。今度は適応的濃度ヒストグラム補正等の方法を用いて、背景濃度補正を試みることで改善できるのではないかと考える。

References

[1] 廣嶋恭一 他, 『局所移動補正による DSA 画像のレジストレーションの改善』, Medical Imaging Technology Vol.18 No.1 pp71-83 (2000).
[2] LEON O.CHUA, 『CNN: A Vision of Complexity』, International Journal of Bifurcation and Chaos Vol.7 No.10 pp2219-2425 (1997).