

X線写真の血管強調

Hirota, Kaoru / KOYAMA, Akemi / 小山, 明美 / 廣田, 薫

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

25

(開始ページ / Start Page)

47

(終了ページ / End Page)

54

(発行年 / Year)

1989-02

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003933>

X線写真の血管強調

廣田 薫*・小山 明美**

An Enhancement Algorithm of X-ray Blood Vessel Images

Kaoru HIROTA* and Akemi KOYAMA**

Abstract

A new algorithm of enhancing blood vessels in X-ray photographs is proposed. The algorithm consists of the following two parts. In the first part, by using differential operators to detect the directionality, the edges of blood vessels can be accurately discriminated even in the case of blurred image. Both an edge and a region analysis are performed. The edge analysis makes clear the region segmentation. In the second part, the noise can be reduced by using the nonlinear gray level transformation. As the result of the transformation, the blood vessel is enhanced.

§ 1. 緒 言

体に異常を感じていなくても、集団検診などによりX線撮影が行われる機会はますます増加し、診断・病巣の発見などに役立っている。日頃からこのようなX線写真を扱っている医師は、見落としを恐るべき小さな影も残らず拾い出そうとするが、扱われるX線写真の数は膨大で、しかもそのほとんどは正常なものである。それらのなかから数枚の異常を発見するためには、大変な時間と労力が必要とされている。また、X線写真は同じ人の同じ部位でも装置が違えば全く同じ状態のものは得られず、画像処理の対象としては複雑なものである。

正面と側面の2方向より撮影されたX線写真から、3次元構造を再構成するアルゴリズムについての研究は既に報告を行っている¹⁾。本研究ではX線血管写真を中心に、ノイズによって低下している入力画像の画質を改善する手法について考案する。

濃淡値の差があまりない場合でも人間は血管部分と他をほぼ正確に判別することができる。これは濃淡値が高く、帯状に伸びていることで血管を認識できるからである。しかし、X線写真では細い血管は濃淡値がノイズとあまり変わらないため単純にしきい値処理することはできない。

* 工学部電気工学科計測制御専攻

** 大学院工学研究科システム工学専攻

そこで、方向検出微分オペレータにより濃淡値の差が大きいエッジをまず抽出し、エッジとその他の部分から分割した領域ごとに2とおりのしきい値を求め、非線形な濃度変換をする。この操作によりノイズの濃淡値が小さくなり血管部分が強調される。この手法をいくつかのX線写真に適用した結果、細い血管やノイズによってぼかされていた部分もその特徴を保ったままノイズを軽減することができた。

§2. 画像処理装置の構成

① 画像処理装置 東芝製 TOSPIX

CPU: 16ビット 主記憶: 512バイト

画像メモリ (512×512×8ビット) × 4バンク

固定ディスク: 30Mバイト

フロッピーディスク: 1Mバイト×2

② 画像表示装置 東芝製

20インチディスプレイ: 512×512画素

③ スーパーミニコン 東芝製 DS 600/80

CUP: 32ビット 主記憶: 4Mバイト

固定ディスク: 196Mバイト

フロッピーディスク: 1Mバイト×2

§3. 領域の検出

濃淡画像からある領域を検出する方法としてはしきい値処理や微分処理が用いられることが多い。しきい値選択の方法にはp-タイル法、モード法等²⁾が一般的であるが、画像全体を単一のしきい値で処理させることでは多くの場合は良好な結果にならない。と言うのも、ノイズやシェーディング(濃淡値の基準レベルの緩やかな変動)等による影響のため、画像の場所によって濃淡値が変動しているからである。そこで、この変動にあわせてしきい値を変える可変閾値処理の方法が様々提案されている。変動の方法では全画面をいくつかの小領域に分け、各小領域ごとにしきい値を選択させる手法があるが、領域の区切り方によってはこの方法にも工夫が必要である。小領域のしきい値は、実際に対象物と背景の両方を含む領域で求めるのでなければ意味がない。小領域が対象物だけ、あるいは背景だけであった場合、濃淡値が双峰的なヒストグラムを持たないので適なしきい値が見つからないのである。

後者の空間微分値を求める方法は、背景と対象物の境界、エッジを検出するのに有効である。この方法についてもPrewitt, Sobel, Kirschのオペレータ等³⁾がある。これらのオペレータは画像の濃淡値が急激に変化する点で大きな値を与えるものであり、明かなエッジの検出に用いるこ

とができ、各点における出力値はその点での“エッジの強さ”を表す。しかし、同時に雑音を含むところでは、孤立点のような意味のない点もエッジとして検出されてしまったり、変動が急激でないところでは、エッジが途切れたりすることが多い。

これらのことをX線写真を対象として検討する。X線は生体内を直進して生体の各種臓器にエネルギーを与え減衰する。この減衰は臓器によって異なった値を持つため、X線写真上では異なったX線吸収の差を示す。この差がフィルム上で白と黒の濃淡差で示される。したがって、X線像は人体の3次元構造の平面上への投影図となり、画面内には多数の器官の像が重畳して存在する。このため、必ずしも背景と対象物の濃淡値がヒストグラムで双峰性を示すとは限らない。また、重なり合った部分とそうでない部分、太い部分と細い部分では同じ血管像でも濃淡値に差があり、しきい値を決めることは容易ではない。

X線写真の画質の程度は、RI画像や超音波画像に比べれば雑音、分解能において良質である。しかし、X線は人体に無害ではないから人体に影響の少ない波長で、少ない線量のもとに撮影されなければならないため、画質は劣化してしまう。また、何度も撮影を繰り返すことはできないため、コントラストがよくない場合でも、画面の一部分を拡大したために画素が粗くなった場合でも対応できなければならない。このような画像には階調変換や平滑化をすればある程度の改善が可能であるが、撮影された1枚1枚それぞれに合わせた処理を施すことは大変なことであり、自動化することも困難である。このように画質が劣化した画像からエッジを検出するためには大きなオペレータが必要となる。

§ 4. 方向検出微分オペレータ

濃淡値の変動を表すことに適した微分オペレータを、帯状のエッジを検出するために改良した方向検出微分オペレータについて述べる。

方向検出微分オペレータは、図4.1に示すような5×5の加重マトリクス8種類からなる。

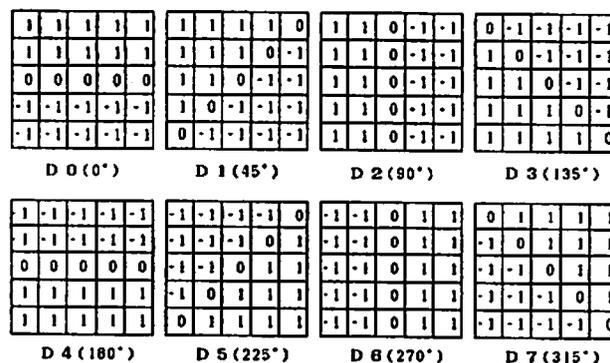


図 4.1 方向検出微分オペレータ

これらの方向検出微分オペレータを1画素につき8種類すべて適用する。オペレータはそれぞ

れD0は0°, D1は45°, D2は90°, …, D7は315°の45°きざみの方向を表すとする。そして、エッジに対して平行に位置したとき、このオペレータは最大値をとる。濃淡値の変動が大きいほど結果は値が大きくなる。そこで、微分値をこの点におけるエッジの強さ、方向をエッジの方向とする。

方向検出微分オペレータを入力画像の全画素について適用すると、1枚の入力画像からエッジの強さと方向を表す2つの出力値を得ることができる。適用した例を写真1に示す。この例ではエッジの強さを0から255、エッジの方向を0°は10、45°は40、90°は70、…、315°は220のそれぞれの濃淡値で表している。

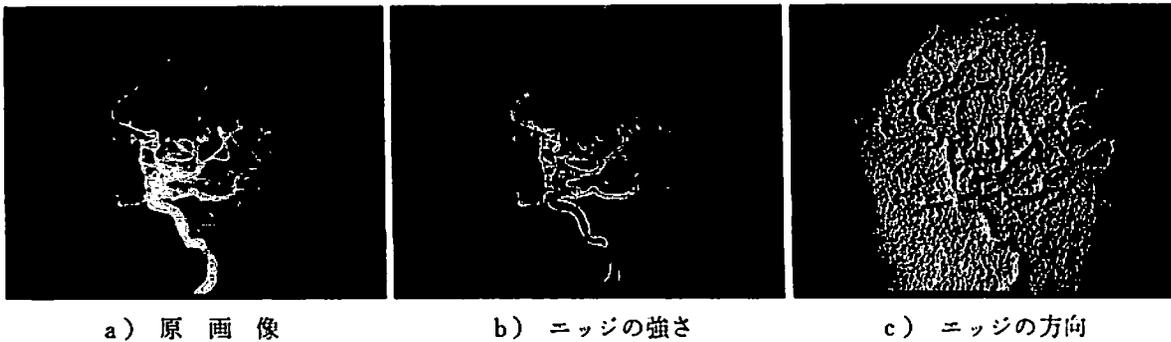
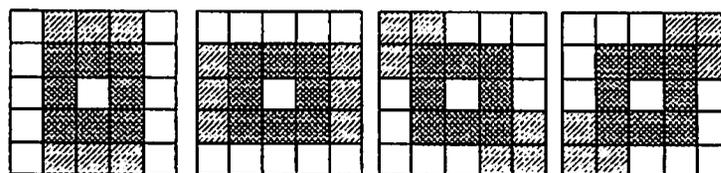


写真4.1 方向検出微分オペレータの運用例

§5. エッジの検出

方向検出微分オペレータはノイズも含めて検出してしまうので、この出力からさらに真のエッジを検出しなければならない。エッジの強さからしきい値処理することも可能であるが、濃淡値の変化が小さなエッジはノイズとの区別がつかなくなってしまう。そこで、エッジが帯状になっていることに注目し、エッジの方向から検出する手法を用いた。

真のエッジであれば、その近傍のエッジの方向は類似しているはずである。そこでこの類似の程度によって判定を行った。1画素に対し、エッジの方向によって図5.1のような4とおりの近傍におけるエッジの方向の類似度を調べる。



a) 直交方向 (D0, D2, D4, D6) b) 対角方向 (D1, D3, D5, D7)

図5.1 エッジの方向の検出範囲

図 5.1 の範囲内の画素のエッジの方向を中心画素のエッジの方向と比べ、図 5.2 のような xy 座標に変換し、 x 成分、 y 成分の値を求める。

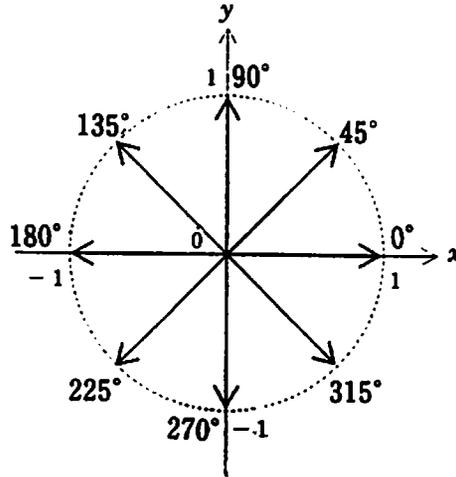


図 5.2 エッジの方向と変換座標

各成分の和がこの近傍全体の方向を示す x 成分、 y 成分である。そして、この大きさがエッジの方向の類似度であり、値が大きいほど真のエッジである可能性が大きい。類似度があるしきい値を超える画素を真のエッジとして検出する。

§ 6. 濃度変換によるノイズの軽減と血管の強調

入方画像があるしきい値によって血管、背景の 2 つの部分に分離できることが理想的である。しかし、実際には画像を小領域に分割し、領域ごとにしきい値を求めたとしても良好な結果を得ることは難しい。そこで、しきい値を 2 つ選ぶことにより幅を持ったしきい値を考え、さらに、非線形な濃度変換によりできるだけ不自然な結果を生じないようにする。

しきい値の選び方は、§ 5 に示したような方法で検出されたエッジ部分と、その他の部分とでそれぞれ平均値を求める。平均値をしきい値とする理由は、エッジ部分の濃淡値の平均は、ノイズと血管の中心部分の濃淡値の中間にあり、逆にエッジを除いた部分は濃淡値の小さいノイズ部分と濃淡値の大きい血管中心部分からなると考えられるためである。

濃度変換の方法は 2 つのしきい値の間とそれ以下、以上で分けて適用する。2 つのしきい値の間に濃淡値がある場合、この画素がノイズであるか否かはこの画素の濃淡値のみでは判定できない。また、しきい値の範囲外であるとしてもしきい値前後で著しく濃淡値に差をつけることは不自然な結果を招く。そこで、しきい値より濃淡値が小さい場合は最小値フィルタ、大きい場合は最大値フィルタを用い、しきい値の範囲内にあるものはそのままの濃淡値を維持することとした。この方法を用いると一度の処理ではノイズを完全に消去することはできないが、何度か繰り返すことにより血管部分とノイズ部分の濃度差が大きくなり、濃淡値が小さい画素は次第に消去され、

画質が改善される。

§7. 運用結果

適用した入力画像は頭部(側面)、腹部、腎臓部、脚部の4種類である。

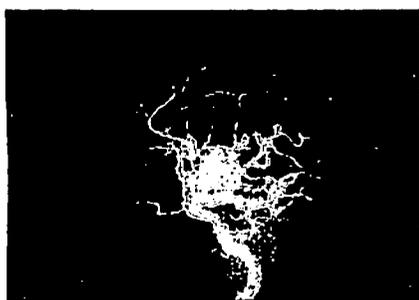
全ての入力画像は、512×512画素の大きさで取り込んでいるが、処理の都合上一番外側の1画素は濃淡値0とする。

入力した4種類のX線写真はすべて違う状態で撮影されたものであり、適用の結果とともに、それぞれの特徴を示す。

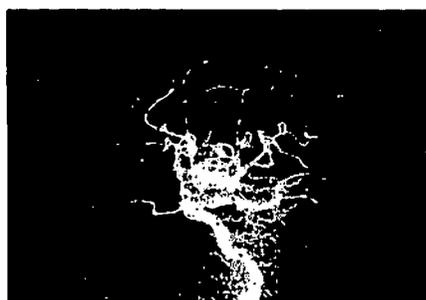
7.1 頭部(側面)

4種類の入力画像の中では最も撮影状態の良好なものである。ノイズは画像の中心ほど濃淡値が高く、ほぼ血管を覆うように広がっている。血管以外の器官は無く、運用結果もノイズによってぼかされていた血管、細い血管を含めて、その特徴を保ったままノイズを軽減できている。全体を2つのしきい値で単純に3値化した場合、平均的に濃淡値の高い中心付近はノイズも血管と一緒に強調されてしまう。これに比べ、小領域ごとにしきい値を変動させた場合、濃淡値の変化の割合は3値化より少ないが、血管とノイズの判別はほぼ良好な状態となっている。

写真7.1d)には3値化した場合との濃度変換による軽減、強調の範囲を比較した。上段が3値化である。軽減の範囲はほぼ変わらないが、強調される範囲は3値化した場合に比べ、より血管に忠実になっていることがわかる。



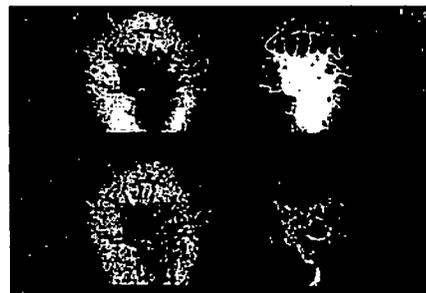
a) 原画像



b) 運用結果(分割領域の大きさ32×32)



c) 3値化



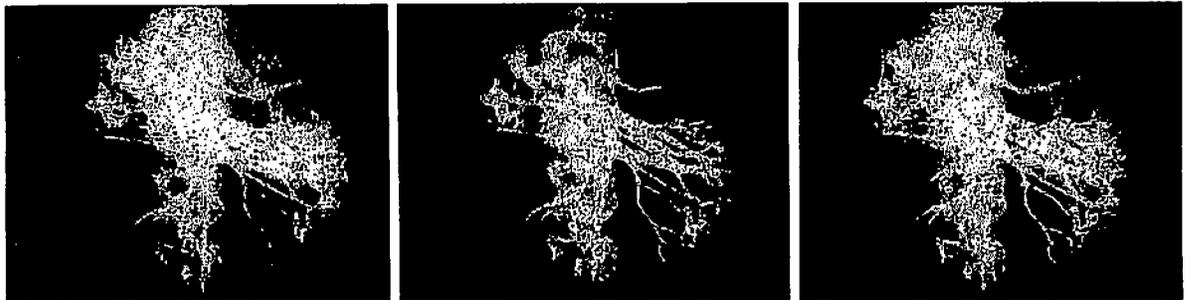
d) 3値化と濃度変換した場合の軽減と強調の範囲の違い

写真7.1 運用結果(頭部(側面))

7.2 腹部

血管とあまり濃淡値の変わらない明るいノイズが一面に広がり，中心部に背骨が見える。

分割する小領域の大きさによってノイズの減衰の様子に違いがみられる。領域の大きさは小さいほど処理に時間がかかるが，きめ細かな判別が可能となり，血管の集まった部分や細い血管は領域を小さくとるほうがよい結果が得られる。



a) 原画像

b) 運用結果1 (128×128)

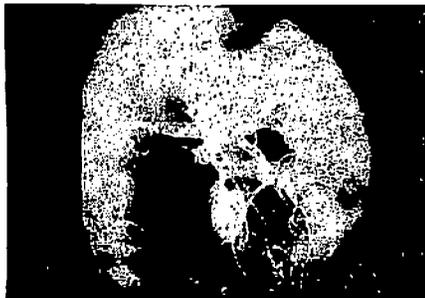
c) 運用結果2 (32×32)

写真7.2 運用結果（腹部）

7.3 腎臓部

腎臓の中に血管が広がり，背骨や他の器管の影が見られる。

血管だけでなく，腎臓のエッジも血管と一緒に強調されている。画面全体に濃淡値の小さなノイズが広がっているが，濃度変換により容易に減衰される。



a) 原画像



b) 運用結果 (32×32)

写真7.3 運用結果（腎臓部）

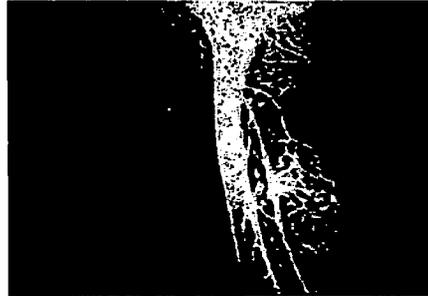
7.4 脚部

拡大処理によって画素が粗くなっている。画素が粗い場合普通の 3×3 の微分オペレータでは途中が途切れてしまうことがあるが，方向検出微分オペレータは帯状のエッジに対して強いので平滑化せずに検出できる。他の入力画像のようなノイズの広がりはないが骨が血管と並んで撮影されており，目でも判別しにくい状態となっている。骨の濃淡値が血管より高く，エッジははっきりしているため血管より強調されている。

方向検出微分オペレータによりエッジを検出し，2つのしきい値をもとに緩やかな濃度変換を



a) 原画像



b) 運用結果 (32×32)

写真7.4 運用結果 (胸部)

§ 8. 結 言

行うことによってX線写真の画質を改善する方法について提案し、実際のX線写真への適用を行った。

入力されたX線写真はそれぞれに特徴があり、撮影の状態もかなり違ったものであるが、分割領域や処理の回数を変えることによってノイズが軽減された見やすい画像を得ることができた。

参 考 文 献

- 1) 廣田, 小山: 2枚の線画像からの3次元画像再構成, 法政大学計算センター研究報告第2号 (1988), pp.73/79.
- 2) 長尾: デジタル画像処理, 近代科学社 (1978), pp.268/283.
- 3) 田村: コンピュータ画像処理入門, 総研出版 (1985), pp.118/133.