

画像方向性を利用した胸部X線写真腫瘍性陰影抽出システムの構築

島田 哲雄・児玉 直樹・中川 真一・樋渡 圭・佐藤 英哉
安達 栄輔・福本 一朗

画像方向性を利用した胸部X線写真腫瘍性陰影抽出システムの構築

島田 哲雄*・児玉 直樹*・中川 真一*・樋渡 圭*・佐藤 英哉*
安達 栄輔*・福本 一朗*

The construction of automatic detection for lung nodules using directional ring filter

Tetsuo SHIMADA*, Naoki KODAMA*, Sinichi NAKAGAWA*, Kei HIWATASHI*,
Hideya SATOH*, Eisuke ADACHI*, and Ichiro FUKUMOTO*

Abstract : This study describes a computational scheme for automatic detection of the suspected lung nodules using improved system of chest radiography. Directional features are important for medical imaging diagnosis. We propose Directional Ring Filter (DRF) using an edge gradient direction on the original image. We have measured DRF ability to detect the lung nodules. We found that DRF seems much better than the usual system for the detected lung nodules.

Key words : chest radiography, lung nodules, Computer Aided Diagnosis, subtraction filter

1. はじめに

本邦では肺癌患者は増加の一途をたどり、ここ近年の年間死亡者数は約5万人で、男性の癌による死亡率では第1位である¹⁾。しかし早期に発見することができれば5年生存率の大幅な改善が期待される疾患である。また腫瘍のリンパ腺への浸潤などにより手術手技も異なり、早期であればあるほど患者の負担は軽減される²⁾。そのため現在いくつかの早期発見の手段が検討されている³⁾。

その中でも特に注目を浴びているのがヘリカルCTを使用した胸部検診で、検診施設等によっては数年前から実際に使用されている。最近では手術後5年生存率等に関するデータも発表されている。それによると明らかに5年生存率が改善され、ヘリカルCT導入前の48%から82%へと上昇している³⁾。しかし、胸部ヘリカルCT検診はそのコスト、時間あたりの検査数等に問題が残っている。

そのため従来の胸部X線撮影が、依然として集団検診や日常診療において最も利用されている胸部検査法となっている。しかし、毎日検診車1台あたり数百枚の写真が撮影されており、処理される画像の量は莫大なものとなっている。病院などの医療機関に据え付けられているX線装置により撮影される写真を加えると、その枚数の多さは他のX線検査の比ではない。

このように毎日多量の胸部X線写真が撮影されているが、その1枚の胸部X線画像の中の人体情報は実に多様なものが含まれる⁴⁾⁵⁾。X線検査は「胸部に始まり、胸部に終わる」といわれるように、最も基本的であると同時に最も読影に熟練を要するという二面性を持った検査法である。そのため業務量、熟練度ともに医師への負担が大きい検査法であるといえる。

このような現実をふまえ、いくつかの研究機関で医師の負担低減、異常陰影見落としの削減のため、コンピュータによる胸部読影支援システムの開発が行われている。このシステムは通常CAD (Computer Aided Diagnosis) と呼ばれ、乳房写真と胸部写真の読影支援を目的としたものが現在主流となっている。

CADによって支援される胸部写真は2つの手法を組み合わせて作成されている。ひとつは間質性疾患の抽出で、胸部をいくつかの細かなブロックに分割し、周波数解析等により検出されたブロックの比率により診断を支援する方法である⁶⁾⁷⁾。もうひとつは腫瘍性陰影の抽出で、主に専用の差分フィルタにより検出し、その後擬陽性の除去を行い腫瘍性陰影のみを抽出しようというものである⁶⁾⁸⁾。

本研究ではこの腫瘍性陰影抽出法について検討を行い、この差分フィルタに方向性という概念を加え改良をおこなったものを試作、従来法の検出結果について比較検討をおこなった。

原稿受付：平成12年5月26日

*長岡技術科学大学生物系

2. 方法

2.1 データベース

今回の実験では(社)日本放射線技術学会から領布されている標準デジタル画像データベース[胸部腫瘍陰影像]を使用した。このデータベースは確定診断が付けられた154の腫瘍を含む画像と、腫瘍を含まないことがCT等により確認されている93の画像により構成されている。なお、今回の報告では、胸部X線画像のグレイスケールにおいて白に近づくほど濃度が高く、黒に近づくほど濃度が低いという表現を用いることとした。

2.2 差分フィルタ

腫瘍性陰影を抽出する差分フィルタは腫瘍性陰影を強調するマッチドフィルタと腫瘍性陰影を分散するリングフィルタとの差分によるハイパスフィルタにより構成される。その結果原画像に比して腫瘍性陰影が強調されることになる⁸⁾。

2.2.1 マッチドフィルタ

腫瘍性陰影強調に使用するマッチドフィルタは式2.1で重み付けをしたスムージングフィルタで、クラスタとして存在する腫瘍性陰影を最も強調することができる⁹⁾。

$$f(r) = \begin{cases} a \left[1 - \exp \left\{ \log \left(1 - \frac{b}{a} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{r}{R_1} \right)^2} \right\} \right] & (|r| \leq R_1) \\ 0 & (|r| > R_1) \end{cases}$$

(2.1)

ここで r は $r^2 = x^2 + y^2$ で表される注目画素からの距離、 R_1 は目的とする腫瘍性陰影の半径、 a と b は定数である。 R_1 は今回使用したデータベースの腫瘍性陰影の直径の平均値とした(最大値の1データを除く)、 a と b は任意の定数であり今回の実験を通して一定とした。

2.2.2 リングフィルタ

腫瘍性陰影を分散するリングフィルタの形状は式2.2で与えられる⁹⁾。

$$g(r) = \begin{cases} c \left(R_2 - \frac{W}{2} \leq r \leq R_2 + \frac{W}{2} \right) \\ 0 \left(r < R_2 - \frac{W}{2}, r > R_2 + \frac{W}{2} \right) \end{cases}$$

(2.2)

ここで c は定数であり、 R_2 は目的とする腫瘍性陰影の半径に標準偏差を加えた値とし、どちらも今回の実験では一定とした。また W はフィルタの厚さを表し、こちらも一定とした。

2.2.3 差分フィルタの問題点

この2つのフィルタは各々の性格により R_1 と R_2 の大きさが異なっている。この大きさの差が濃度の大きく異なる肺野と縦隔の境界等で検出率の低下を引き起こす原因となっている。その形状をFig.1に示す。

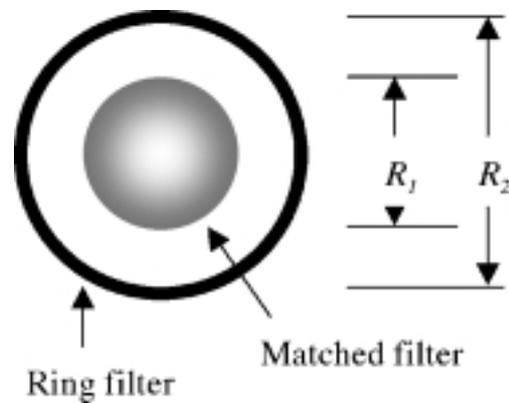


Fig. 1 Subtraction filter

2.2.4 今回おこなった改良点

従来いくつかのグループより新たな腫瘍性陰影抽出のためのフィルタが試作されている¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。その内容はテンプレートを使用したもの、ウエーブレット解析を利用したものなどがある。本報告では基本的に差分フィルタを使用し、この欠点を解消するため注目する画素付近の濃度勾配によりリングフィルタに方向性をもたせ、リングフィルター内の各画素点に対し重み付けを行うこととした。今回試作したこのフィルタをDirectional Ring Filter(以下DRF)と命名した。

リングフィルタの一部が濃度勾配の大きい部分にかかり、マッチドフィルタがその部分にかからないときに腫瘍性陰影の検出能が低下することが多い。そのため今回は式2.2の定数 c を変数 c' とし、濃度勾配の大きい方向では c' が小さくなるように可変させることで、リングフィルタの中に重み付けをおこなうこととした。

注目する画素付近 \bar{A} 、 \bar{B} 、 \bar{C} 、 \bar{D} の濃度を計測し、その画素周辺のベクトル V を算出する。まずFig.2のように注目する画素の周囲を4分割し各々の平均を求めた。

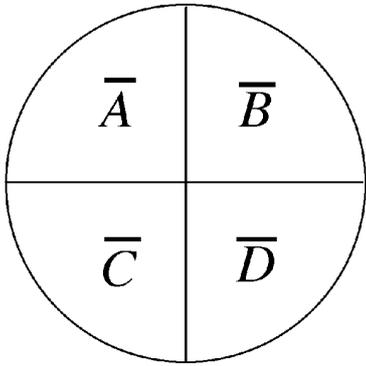


Fig. 2 Partition off circumference of a view point

その値を式 2.3 に代入しベクトルVを求める。

$$V = \tan^{-1} \{ V_x, V_y \}$$

$$= \{ (\bar{A} + \bar{B}) - (\bar{C} + \bar{D}), (\bar{A} + \bar{C}) - (\bar{B} + \bar{D}) \}$$

(2.3)

また、この時の角度は式 2.4 によって求めることができる。

$$= \tan^{-1} \left(\frac{V_y}{V_x} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left\{ \frac{(\bar{A} + \bar{C})}{(\bar{B} + \bar{D})} \right\}$$

(2.4)

ここで注目している画素の点を (x, y) 、リングフィルタ上のある点を (x_1, y_1) とすると、お互いの2点を結ぶ線の角度は式(2.5)で導くことができる。

$$= \tan^{-1} \left(\frac{V_y}{V_x} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left\{ \frac{(y_1 - y)}{(x_1 - x)} \right\}$$

(2.5)

ここでの方向が画面の真上に向っている時、 (x_1, y_1) における c' は式 2.6 によって与えることとする。

$$c' = \sin \left(2 + \frac{1}{2} \right) + 1$$

(2.6)

この式 2.6 で求めた c' を式 2.4 の で回転させると式 2.7 のようになる。

$$c' = \sin \left\{ 2 \left(+ \right) + \frac{1}{2} \right\} + 1$$

(2.7)

この時のVと c' の関係をFig.3 に示す。

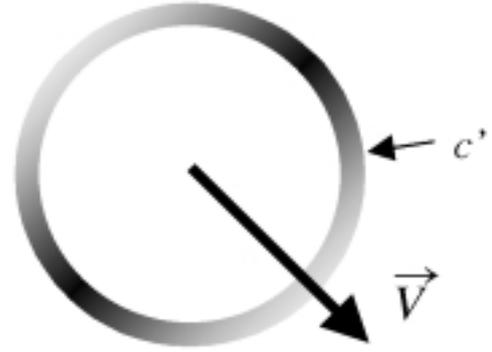


Fig. 3 Weight of Directional Ring Filter

ここでは白い部分の重み付けが弱く、黒い部分の重み付けが強いことを意味している。

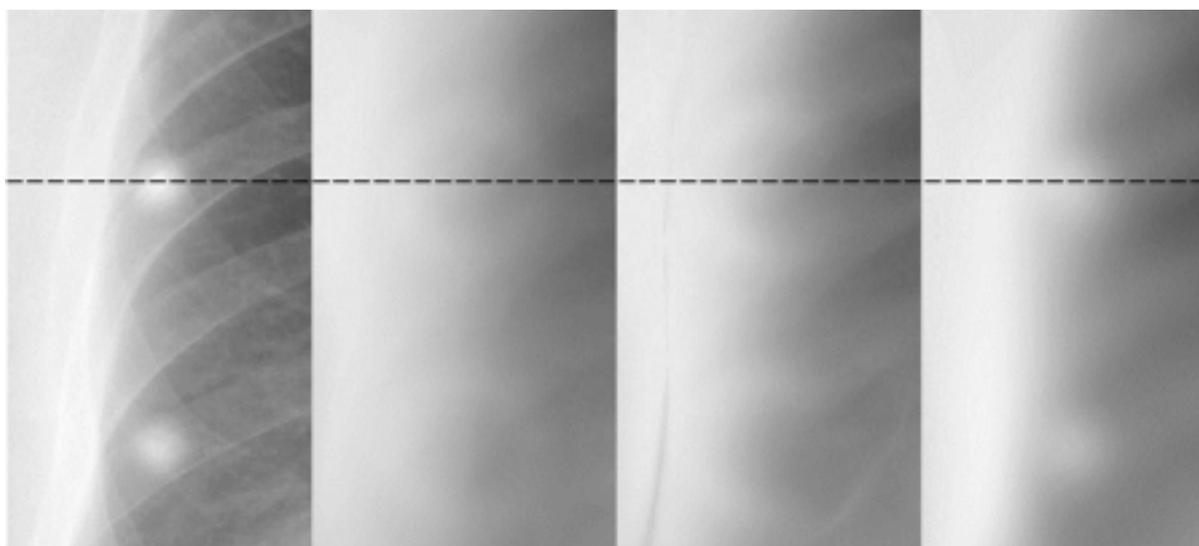
今回試作したDRFを使用することで、肺野と縦隔の境界付近では、肺野側、縦隔側どちらに腫瘍性陰影があっても、境界線近くにあるということによる検出能の低下は防げる。さらに、肋骨、鎖骨等による検出能の低下も同時に防げる。

従来定数を使用したリングフィルタとDRFを用い、各々差分フィルタを作成し、腫瘍性陰影の検出能について検討をおこなった。

3. 結果および考察

比較検討に使用した画像は腫瘍性陰影がないと確認された画像を使用した。画像に人工的に腫瘍性陰影を加えることにより、その位置を任意に設定した。今回の実験では特に濃度変化の激しい、肺野と縦隔の境界付近を中心に検討をおこなった。加えた腫瘍性陰影は式 2.1 で与えられる形状とし R_1 の値をマッチドフィルタより若干小さく設定した。またその濃度は検出限界を確認できるよう淡く設定した。

従来法で検出できず、DRFのみで腫瘍性陰影を検出できた右下肺野の画像の原画像、リングフィルタ、DRF、およびマッチドフィルタの画像をFig.4 に示す。この画像は肺野と縦隔の境界付近に2つの腫瘍性陰影を加えたものであり、従来法ではどちらの腫瘍も検出できなかった。



Original image

Ring Filter

DRF

Matched Filter

Fig. 4 Examples of original image and filtered images with artificial nodules

Fig. 4の破線のプロファイルを図.5に示す。マッチドフィルタとリングフィルタは腫瘍が存在しない場所では同じ傾向の曲線を描くのが望ましいが、ヒストグラムを見るとDRFの方が理想に近い。

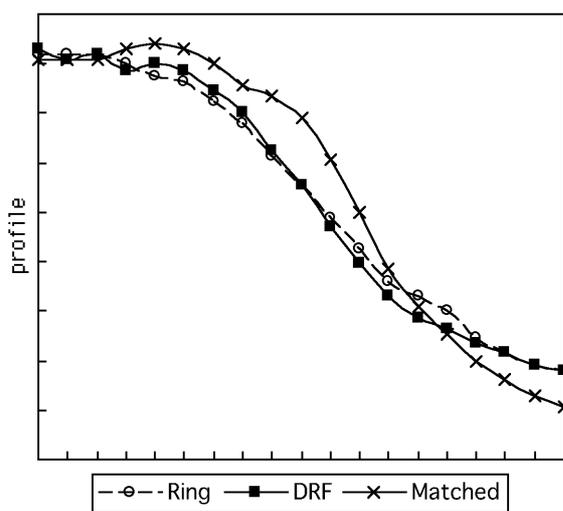
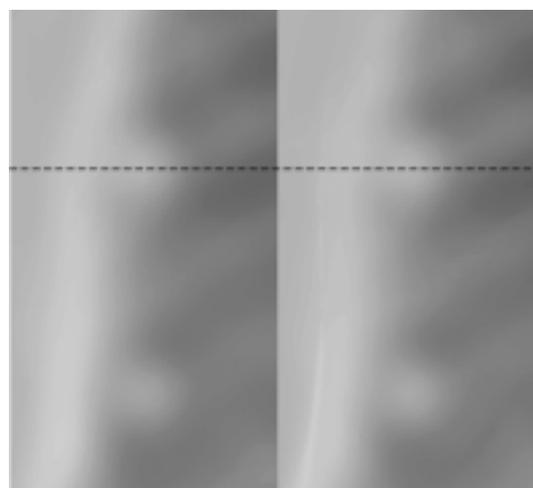


Fig. 5 Image profiles

従来法で検出不能であった位置のヒストグラムをみると、リングフィルタの大きさにより濃度差が大きい組織の信号が入り込み、リングフィルタのプロファイルがマッチドフィルタに比べ、なだらかになりすぎていることが確認できた。

それぞれのフィルタの結果より作成した差分フィル



with Ring Filter

with DRF

Fig. 6 Example of subtraction filtered images

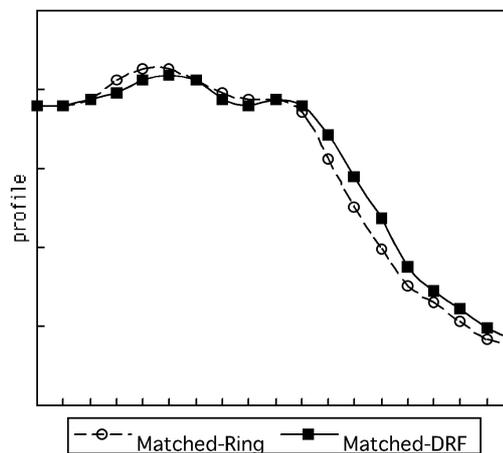


Fig. 7 Images profiles

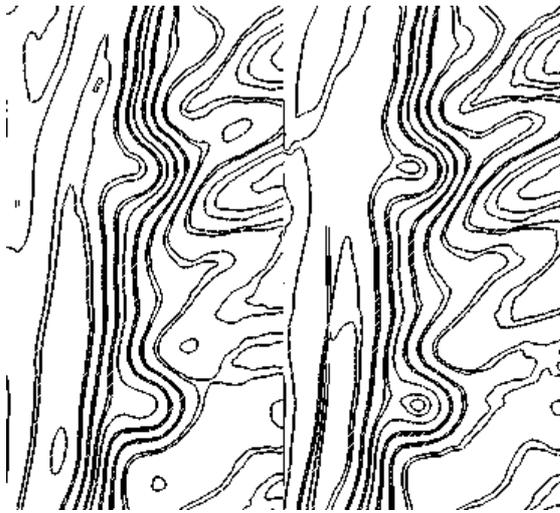


Fig. 8 Contour map of subtraction filtered images

タをFig. 6に示す。また、Fig. 6の破線のプロファイル
をFig. 7に示す。さらに閾値を用いて等高線処理を行
った画像をFig. 8に示す。

通常の差分フィルタで検出されているように見える
腫瘍性陰影も、閾値処理を行うと縦隔の大きな傾斜の
棚になってしまっていることがわかる。このような独
立したピークを持たない場合には腫瘍性陰影候補とし
て検出することはできない。DRFを使用した差分フィル
タでは、僅かではあるが縦隔の傾斜から独立したピ
ークを持っていることが等高線画像から読み取れる。

今回実験を行った中では、従来法で検出できるが
DRFで検出不能というものはなかった。検出能では今
回作成したDRFが従来法を上回ることが証明できた。

今回はベクトルの方向のみでDRFの重み付けをおこ
なしたが、今後ベクトルの大きさにより重み付けの値
を変化させる等、さらに検討を重ねていきたい。

4. 考 察

現在も胸部X線写真は集団検診や日常診療における
胸部検査の最初の選択としての地位は揺るぎないもの
である⁵⁾。胸部CT検診が広まりつつある今日でも、そ
の撮影枚数は減少することはない。

CT装置の普及に伴い、胸部X線写真は確定診断にお
いてはその地位を譲る形となった。しかしCT画像は装
置の高速化に伴い、その撮影枚数は飛躍的に増加し医
師の負担は増える一方である。

簡易性、コストなどの面から胸部X線写真は存在診
断ではその重要性は依然として大きく、見落としのな

い読影が期待される。現在、胸部CT検診も行われ実績
をあげ始めているが、全面的に胸部X線写真に取って
代わるものではない。

医師の読影業務に対する負担軽減および見落とし対
策として、近い将来胸部X線写真読影にCADシステム
を用いるようになることは確実と思われる。コンピュ
ータの演算速度の高速化、医療機関における医療画像
のデジタル化の進歩の速度を考えるとその日はそう
遠くないことが予測される。

本研究では、Ring Filterの改良により従来法を上回る
検出能を得ることができた。今後もこのような研究開
発を通じて医療に貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 成田宣啓, “呼吸器病学”, 日本醫事新報, No3961, pp. 18-26, Mar. 2000.
- 2) 相馬孝博, 斉藤正幸, 篠原博彦, 岩島明, 塚田博, “低肺機能の肺
癌患者に対する胸腔鏡補助下肺葉切除の安全性”, 胸部外科,
Vol.53, No.1, pp.22-24, Jan. 2000.
- 3) 柿沼龍太郎, “肺癌のらせんCTによる診断”, 日本醫事新報,
No3951, pp. 17-29, Jan. 2000.
- 4) 片山仁(監), “胸部X線写真のABC”, 片山仁, 大澤忠, 大場寛
(編), 日本医師会, 東京, 1990.
- 5) 鈴木謙三, “撮影方法と適応”, 診断と治療 Vol.87-No.1, pp. 14-21,
1999.
- 6) 桂川茂彦, 土井邦雄, 石田隆行, “コンピュータ支援診断”, 画像
診断, Vol.19, No.4, pp.417-422, Apl. 1999.
- 7) Laurence Monnier-Cholley, Heber MacMahon, Shigehiko
Katsuragawa, Junji Morishita, Takayuki Ishida, Kunio Doi,
“Computer-Aided Diagnosis for Detection of Interstitial Opacities on
Chest Radiographs”, AJR:171, pp.1651-1656, Dec. 1998.
- 8) Maria J.Carreira, Diego Cabello, Manuel G.Penedo, Antonio
Mosquera, “Computer-aided diagnosis: Automatic detection of lung
nodules”, Medical. Physics, Vol.25, No.10, Oct.1998.
- 9) 内田勝(監), “デジタル放射線画像”, 藤田広志, 小寺吉衛
(編), pp.176-186, 東京, 1998.
- 10) 後藤誠治, 細野敬次, 原武史, 藤田広志, 松本常男, 吉村仁, “胸
部X線写真における腫瘍性陰影の自動検出アルゴリズムの構築”,
Medical Imaging Tecnology, Vol.16, No.4, pp.479-480, July. 1998.
- 11) Hiroyuki Yoshida, Bilgin Keserci, M.Sc, Kunio Doi, “Computer-
Aided Diagnosis of Pulmonary Nodules in Chest Radiographs: A
Wavelet-Based Snake Approach”, Proc IEEE Symp Comput Based
Med Syst, Vol. 11, pp.258-263, 1998.
- 12) Lihua Li, Fei Mao, Wei Qian, Laurence P.Clark, “Wavelet Transform
for Directional Feature Extraction in Medical Imaging”, Proc Int Conf
Image Process, Vol.7, pp.500-503, 1997.