

> 研究速報 <

複数のガボールフィルタを用いた乳房 X 線画像における 乳腺構造解析と構築の乱れの検出

吉川 るり葉*¹ 寺本 篤司*¹ 松原 友子*² 藤田 広志*³

要 旨

乳房 X 線画像にみられる異常所見のうち、構築の乱れは画像診断時の検出感度が低い。さらに構築の乱れが発見された場合、乳がんのカテゴリーは 3 以上に分類され、予後不良であることが多い。本報告では、線構造を検出できるガボールフィルタを利用し、乳腺構造解析と構築の乱れの検出を行う手法を新たに提案する。本手法は、特徴の異なる複数のガボールフィルタを用意し、さまざまな太さを持つ乳腺の構造にもっとも一致するフィルタの出力を画素単位で選択し出力する。次に得られたフィルタ出力画像から集中度を算出することで、構築の乱れにより生じた乳腺構造の引き込みやスピキュラの候補領域を得る。検証には乳房 X 線画像データベース DDSM を利用し、構築の乱れが含まれている 6 症例 (22 枚) について検出された結果と医師の読影結果を比較した。その結果、真陽性率は 80%、画像 1 枚あたりの平均偽陽性数は 1.06 個となり、初期候補検出手法として十分な性能が得られていることを確認した。

キーワード：乳房 X 線画像、構築の乱れ、ガボールフィルタ

Med Imag Tech 30(5): 287-292, 2012

1. はじめに

現在の日本では、乳がんの罹患率の上昇とともに、早期発見と早期治療を推進するピンクリボン運動が行われるようになり、40 歳以上を対象とした乳がん検診が推奨されている。検診で用いられるマンモグラフィ装置からは乳房 X 線画像が得られ、二大所見である腫瘍や微小石灰化の他に、近年注目されている構築の乱れ [1] も観察することができる。

構築の乱れとは、乳房内の乳腺構造のそのもののゆがみ・ひずみのことをさし、多くはスピキュラを呈する。また局所的な乳腺の引き込みも見られる [2]。構築の乱れは組織学的分類にて浸潤癌 (硬癌) に属し、乳がん全体の 37% を占める [1]。またカテゴリー分類では 3 以上 (悪性の可能性は否定できない) とされている。しかし医師による読影において、上述の二大所見に対

する検出感度が 9 割以上であるのに対し、構築の乱れは 6~8 割程度と低い [3]。そのため、構築の乱れの検出率の向上が強く求められている。コンピュータ支援診断手法においても、腫瘍や微小石灰化に加え、構築の乱れを自動検出する手法の開発が望まれている。

先行研究として山崎ら [4] は、平均曲率を用いて乳腺のひずみ領域を解析している。また Rangayyan ら [5] は、ガボールフィルタを用いて乳腺構造の解析を行っている。Nemoto らは線集中度フィルタとラプラシアンフィルタを用いて乳腺構造を検出している [6]。それぞれ異なる画像データを使用しているが、真陽性率は 64~84%、偽陽性数は 0.8~7.8 個である。これらの検出能力をさらに改善するためには、乳腺構造をより正確に解析する必要があると考える。そこで本研究では、乳腺構造のより正確な解析を目的とし、乳房 X 線画像に含まれる線構造を局所的かつ選択的に解析するガボールフィルタを用いた構築の乱れの検出手法を提案する。なお、構築の乱れはスピキュラと引き込み所見がとくに多くみられることから、本論文ではこの二種類の所見に着目した処理手法の検討を行う。

*¹ 藤田保健衛生大学大学院保健学研究科 (〒 470-1192 豊明市杻掛町田楽ヶ窪 1-98)

e-mail: 82012315@fujita-hu.ac.jp

*² 名古屋文理大学情報メディア学部

*³ 岐阜大学大学院医学系研究科

投稿受付：2012 年 5 月 20 日

最終稿受付：2012 年 9 月 6 日

採用決定日：2012 年 10 月 5 日

2. 手 法

乳房 X 線画像における構築の乱れの検出処理のフローチャートを Fig. 1 に示す。以下、このフローチャートの順に具体的な処理方法について述べる。

1) 前処理

前処理として、まずモード法を用いた 2 値化とラベリング処理により乳房領域の抽出を行い、続いて乳房厚と画素値の関係を線形化するためのガンマ補正を行う。そして得られた画像に対してトップハット変換を適用し、乳房厚や乳腺密度のムラにより生じたトレンドを除去する。

2) 乳腺構造の抽出

前処理を行った画像に対してガボールフィルタを適用し、線構造の強調を行う。ガボールフィルタの基本式を式 (1), (2) に、その形状を Fig. 2 示す。

$$h(x, y) = f(x, y) \otimes g(x, y) \tag{1}$$

$$g(x, y) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \varphi\right) \tag{2}$$

$\left[\begin{array}{l} \lambda: \text{波長}, \gamma: \text{アスペクト比}, \sigma: \text{偏差}, \varphi: \text{位相}, \theta: \text{角度}, \\ x' = x \cos \theta + y \sin \theta, y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \end{array} \right]$

上式の演算を、 θ を変更しながら繰り返し行い、 $h(x, y)$ の最大値を強度画像 $I(x, y)$ 、そのときの θ を方向画像 $A(x, y)$ として出力する。

ガボールフィルタを用いて構築の乱れを自動検出する先行研究 [5] では、単一のパラメータで画像全体を処理している。ガボールフィルタは

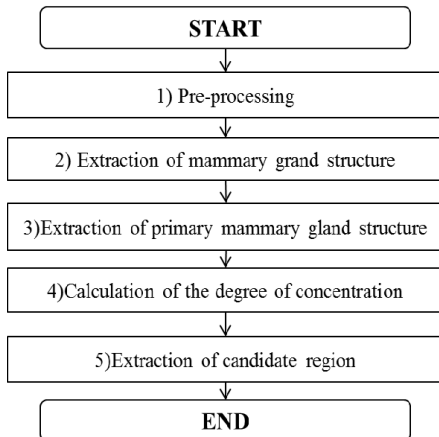


Fig.1 A flowchart of the proposed method.

フィルタ形状と線構造 (線成分) の太さが一致したときに最大の出力が得られる。しかし、乳房にはさまざまな太さを持つ乳腺が存在するため、従来手法ではガボールフィルタの出力が乳腺の太さに依存していた。そこで本研究では、性質の異なる複数のガボールフィルタを作成し、局所的かつ選択的に適用する、適応型ガボールフィルタを開発した。その概略図を Fig. 3 に示す。

適応型ガボールフィルタにおける各画素の処理手順を以下に示す。

[STEP 1] 特性の異なる n 種類のガボールフィルタ関数 $g_i(x, y) (i=1, 2, \dots, n)$ を用意し、それぞれのフィルタ関数で注目画素のフィルタ処理を行い、強度画像 $I_i(x, y)$ と方向画像 $A_i(x, y)$ を得る。ここで、使用する複数の $g_i(x, y)$ の特性は、式 (2) において、 λ, γ および δ を変化させて決定する。

[STEP 2] おおのこの画素にて、 $I_i(x, y)$ の値を比較し、その最大値を $I_{max}(x, y)$ 、対応する $A_i(x, y)$ を $A_{max}(x, y)$ とする。

3) 主要乳腺構造の抽出

上記 2) で得られた画像から、構築の乱れの形成に関する乳腺構造 (本論文では主要乳腺構造と呼ぶ) を抽出する。本研究では、以下に示す 3 種類の処理を行う。

主要乳腺の決定

方向画像 A_{max} を用いて注目画素の法線方向を算出し、法線方向の指定された近傍領域内にて

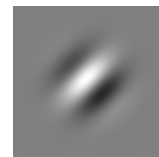


Fig. 2 Gabor filter function.

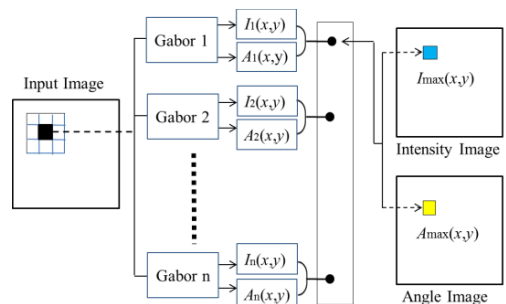


Fig. 3 Schematic diagram of the adaptive Gabor filter.

強度画像 I_{\max} の画素値を収集，ソートする．ここで，もし収集された画素値の最大値が注目画素の I_{\max} より大きい場合，注目画素は主要乳腺ではないと判断し， I_{\max} および A_{\max} から削除する．この処理を乳房領域内のすべての画素について行う．続いて，この処理によって生じた孤立状の画素を削除する．

正常乳腺の削除

乳頭位置を手動で指定する．そして，乳頭と任意の注目画素を結ぶ直線方向と注目画素の方向画像 A_{\max} を比較し，乳頭に向かって走行している乳腺構造を削除する．

主要乳腺範囲の絞り込み

乳腺が存在しない領域であっても，ガボールフィルタは方向を強制的に決定する性質がある．構築の乱れを検出する際，乳腺が存在しないエリアの方向成分は誤検出の原因となる．そこで，強度画像 I_{\max} に対してモード法を用いた2値化処理を行うことで乳腺が存在する領域のみに主要乳腺範囲を絞り込む．

4) 集中度の算出

構築の乱れに特有のスピキュラ所見は主に乳腺構造が一点に集中する特徴を有する．そこで，主要乳腺構造の抽出処理を適用した後の方向画像 A_{\max} を利用し，任意の点Pに対して集中度C(P)の算出 [7] を行う．式と概略図を式 (3) と Fig. 4 に示す．

$$C(P) = \sum_R \frac{dx |\cos \alpha|}{r} / \sum_R \frac{dx}{r} \tag{3}$$

5) 候補領域の抽出

集中度の算出後，しきい値処理を行い構築の

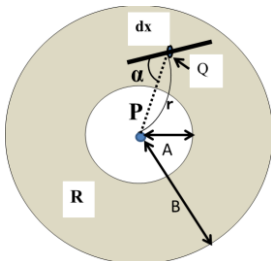


Fig. 4 Illustration of the concentration index.

$C(P)$: 集中度, R : 処理範囲, Q : 線素中心,
 dx : 線素の長さ, α : 線素と線分PQがなす角,
 r : R 内での距離 PQ , A : 集中度算出範囲の内径,
 B : 集中度算出範囲の外径

乱れの候補領域を得る．ここでしきい値は乳腺密度に基づき症例ごとに決定した．候補領域の輪郭を原画像に重ね合わせて表示し，範囲同定および読影に用いる．

3. ファントムによる検証

1) 検証方法

本手法の有用性を確認するため，スピキュラを模した自作ファントム (512 × 256 画素) を作成しスピキュラが正しく検出されるか検証を行った．

提案する適応型ガボールフィルタでは，複数の特性の異なるガボールフィルタを用意した．今回の検討では，太さの異なる2種類のガボールフィルタを作成した．作成した2種類 (Filter 1, Filter 2 とする) のフィルタの形状を Fig. 5 に示し，使用したガボールフィルタのパラメータを Table 1 に示す．パラメータについては，乳房X線画像に含まれる1~2 mmの幅を持つ乳管を正確に検出できるよう，フィルタの長軸を一定に保ちながら，短軸の比を調節するように設計した．

また，集中度の算出処理において Fig. 4 の内径 A は 2.25 mm, 外径 B は 6.75 mm とした．

2) 検証結果

ファントム画像に対し，提案手法を適用した結果を Fig. 6(a)~(d) に示す．同図 (b) は，2つのガボールフィルタのどちらが選択されたのかを示しており，白い領域が Filter 1, 灰色の領域が Filter 2 を適用した領域である．また同図 (e) に同図 (d) の濃度プロファイルを示す．ここで，同図 (a) 左側のファントムを Phantom 1, 右側のそれを Phantom 2 としたとき，2つのファントムに対し

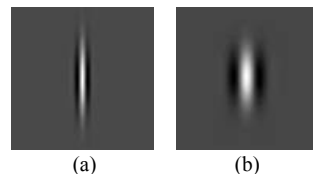


Fig. 5 Filter shapes of adaptive Gabor filters.
 (a) Filter shape for narrow line (Filter 1)
 (b) Filter shape for wide line (Filter 2)

Table 1 Parameters of adaptive Gabor filters.

Gabor filter	σ	λ	γ
Filter 1	2.7	8.0	0.2
Filter 2	6.8	17.0	0.6

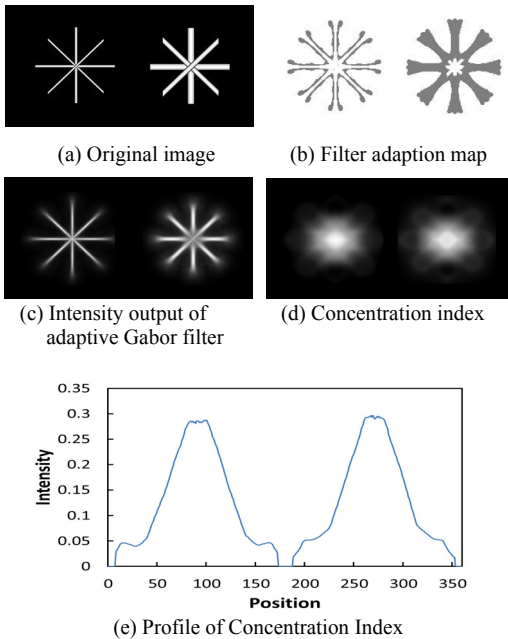


Fig. 6 Experimental results using a phantom.

Table 2 Intensity output of filter.

	Intensity output of filter		
	Filter 1	Filter 2	Adaptive Gabor filter
Phantom 1	685	125	685
Phantom 2	286	481	481

て Filter 1, Filter 2 と適応型ガボールフィルタを用いた際の強度出力を比較した結果を Table 2 に示す.

4. 臨床画像による検証

1) 検証方法

検証には、乳房 X 線画像データベースである DDSM (Digital Database for Screening Mammography) を使用し、正常症例を含む 22 枚に対して本手法を適用した. 22 枚のうち 15 枚に構築の乱れが見られ、9 枚にスピキュラのみ、2 枚に引き込みのみ、4 枚にスピキュラ・引き込みの両方の所見が含まれている. 検出能力の評価は、医師の読影レポートと検出結果を用いて偽陽性数と真陽性率を算出することにより行った. なお、真陽性率の判断基準は、本手法により検出された領域のうち 1/3 以上の面積が医師の読影で示される輪郭内に入っていれば検出されたとした.

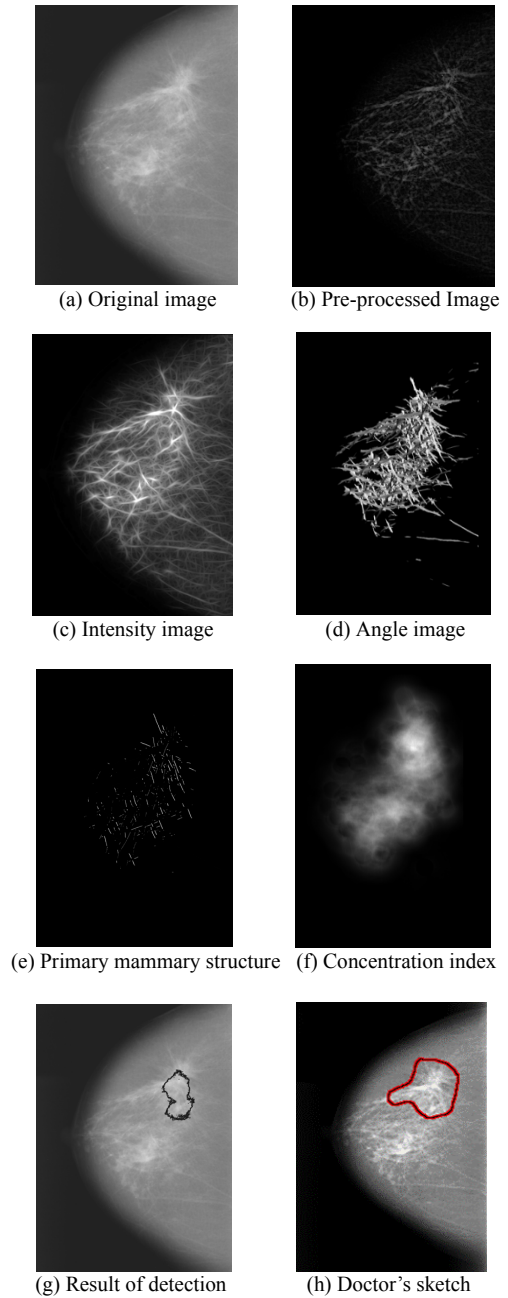


Fig. 7 Experimental results using clinical images.

2) 検証結果

Fig. 7(a) ~ (h) に検証結果の一例を示す. また Fig. 8 に適応型ガボールフィルタの強度画像の画素値ヒストグラムを示す. これは 2.3) で述べたモード法による 2 値化で使用する.

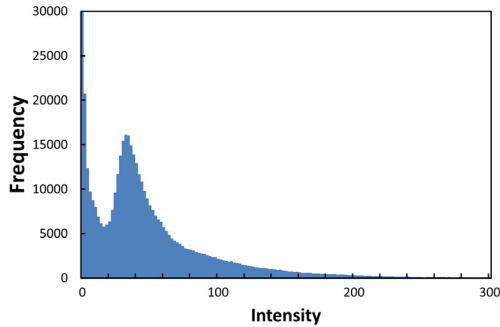


Fig. 8 Histogram of intensity output of adaptive Gabor filter.

Fig. 7 に示す症例は、スピキュラが適切に検出された例である。同図(g)の黒枠は、本手法を適用し検出された構築の乱れの候補領域であり、同図(h)における医師が指摘した領域のうち、スピキュラの領域が検出されていることがわかる。

本手法における真陽性率は 80%、画像一枚あたりの平均偽陽性数は 1.09 個であった。

5. 考察

検証では、まずファントムを用いて本手法の有効性を評価した。本論文で提案する適応型ガボールフィルタを適用した Fig. 6(b) において、ファントム中央のラインに相当する部分に注目すると、線の太さに応じて適切なフィルタが選択されていることがわかる。ただし、同図(b)左側のライン周辺のグレーの部分は主要乳腺構造以外と判断され、構築の乱れの検出に影響しない。

集中度を算出した Fig. 6(d) ではファントム中央の値が高くなっており、線構造の集中度合を計算できていることが確認された。また、Fig. 6(e) の濃度プロファイルより、ファントムの太さの違いによる集中度の値に変化は生じていないため、提案手法は乳腺の太さに依存しない処理が実現されていることが確認された。

また Table 2 において、本手法と 1 種類のガボールフィルタのみでの線構造検出における強

度出力の比較を行ったところ、本手法は線構造に対して適したフィルタが選択されていることが確認された。

臨床画像を用いた評価では、構築の乱れの検出率が 80% となり、構築の乱れ検出の初期候補検出手法として有効であることが示された。しかし、Fig. 7(g) で示した本手法の検出結果には、医師が指定した領域(同図(h))のうち引き込み所見とみられる部分が含まれていない。これは、正常構造の削除処理の際、引き込みにあたる乳腺構造が、正常乳腺であると誤認識され削除されたことが原因として考えられる。

6. まとめ

本論文では、複数のガボールフィルタを用いて構築の乱れ(スピキュラおよび引き込み所見)を検出する手法を提案した。今後の課題として、先行研究との検出手法性能の比較評価と偽陽性のさらなる削減があげられる。

文献

- [1] 日本乳癌学会編：乳癌取扱い規約 第 16 版。金原出版，2008
- [2] 日本医学放射線学会 / 日本放射線技術学会マンモグラフィガイドライン委員会編：マンモグラフィガイドライン 第 3 版。医学書院，2010
- [3] 畑中裕司，松原友子，原 武史，他：医師のマンモグラム読影自習における乳がん検出と CAD システムの検出結果との比較。日本放射線技術学雑誌 **58**: 375-382, 2002
- [4] 山崎大輔，松原友子，藤田広志，他：マンモグラムにおける乳腺の集中を伴う構築の乱れ領域の自動検出法。電子情報通信学会論文誌 D-II **87**: 348-352, 2004
- [5] Rangayyan RM, Ayres FJ: Gabor filter and phase portraits for the detection of architectural distortion in mammograms. Med Bio Eng Comput **44**: 883-894, 2006
- [6] Nemoto M, Honmura S, Shimizu A et al: A pilot study of architectural distortion detection in mammograms based on characteristics of line shadows. IJCARS **4**: 27-36, 2009
- [7] 目加田慶人，尾座幸一，長谷川純一，他：線図形における局所的集中パターンの特徴量とその応用。電子情報通信学会論文誌 D-II **77**: 1178-1179, 1994

Detection of Architectural Distortion and Analysis of Mammary Gland Structure in Mammograms Using Multiple Gabor Filters

Ruriha YOSHIKAWA^{*1}, Atsushi TERAMOTO^{*1}, Tomoko MATSUBARA^{*2}, Hiroshi FUJITA^{*3}

^{*1} *Graduate School of Health Sciences, Fujita Health University*

^{*2} *Faculty of Information and Culture, Nagoya Bunri University*

^{*3} *Graduate School of Medicine, Gifu University*

Architectural distortion is one of the most important findings in screening mammograms. Since this finding is related to the risk of malignancy and a poor prognosis, improvement of the detection rate is strongly desired. In this paper, we propose a novel method for detecting architectural distortion by analyzing mammary gland structure using multiple Gabor filters. In our method, multiple Gabor filters with different characteristics are applied, and the filter that matches the mammary gland structure is selected. Then, the degree of concentration is calculated using a filter output image, and a candidate region of spicula and traction of the mammary gland structure caused by the architectural distortion is obtained. In the experiments, we compared the results of the proposed method against interpretation by a physician using 22 images of 6 cases in a digital database of screening mammograms. The results showed a true positive rate of 80% with 1.06 false positives per image. We conclude that this initial candidate detection method for architectural distortion provides an acceptable level of performance.

Key words: Mammography, Architectural distortion, Gabor filter

Med Imag Tech **30** (5) : 287-292, 2012

* * *