

## &gt; 研究速報 &lt;

アイリスフィルタとガボールフィルタを併用した  
乳房 X 線画像における構築の乱れの自動検出手法山崎 瑞季\*<sup>1</sup> 大塚 智子\*<sup>2</sup> 寺本 篤司\*<sup>1</sup> 藤田 広志\*<sup>3</sup>

## 要 旨

近年、読影者の負担や病変の見落としの軽減、診断能の向上のためにコンピュータ支援診断 (CAD) が注目されている。乳房 X 線画像用 CAD は実用化されているが、乳がんの代表所見のひとつである構築の乱れの検出精度が低いことが課題となっている。本研究では病変の検出率の向上を目的として、われわれが以前に考案した構築の乱れの自動検出手法 (従来手法) に塊状パターンを強調する手法を統合させた手法を提案する。本手法の構築の乱れの検出には適応型ガボールフィルタ、塊状パターンの強調にはアイリスフィルタを適用する。得られたフィルタ画像から集中度を算出し、病変の候補領域を得る。検証には乳房 X 線画像 200 枚を使用し、そこに含まれる 63 個の構築の乱れを検出した結果と医師の読影レポートを比較した。従来手法では真陽性率 73.0% であったのに対し、提案手法では真陽性率 79.4% となり、提案手法の有用性が確認された。

**キーワード**：コンピュータ支援診断、乳房 X 線画像、構築の乱れ  
Med Imag Tech 33(5): 197-202, 2015

## 1. はじめに

現在、日本では女性が罹患するがんで最も多いのは乳がんであり、40 代以上の女性へのマンモグラフィ検診が推奨されている [1]。しかし、画像診断では膨大な画像データが発生するため、読影者の負担が懸念される。そこで読影者の負担や病変の見落としの軽減、診断の正確度の向上のために、コンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis: 以下 CAD) が注目されている [2]。マンモグラフィ画像を対象とした CAD は実用化されているが、乳がんの代表所見のうち、微小石灰化と腫瘤は 9 割以上の検出感度であるのに対し、構築の乱れは 6~8 割程度と低いことが報告されている [3]。構築の乱れの検出感度を向上するた

め、先行研究として市川らは平均曲率を用いて乳腺のひずみ領域を解析しており [4]、Gouらはフラクタル解析とサポートベクタマシンを用いた学習型の検出手法を開発してニューラルネットワークの結果と比較している [5]。Rangayyan ら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 [6]。われわれもこの課題を解決するため、ガボールフィルタを応用した検出手法の開発を行ってきた [7]。しかし、乳腺密度が高い症例や、スピキュラと腫瘤が混在する症例では構築の乱れの検出アルゴリズムだけでは不十分であった。

本研究では、構築の乱れと塊状パターンに着目した。構築の乱れは乳腺構造のひずみや局所的な引き込みであり [8]、引き込みの中心部の濃度が低くなるため、腫瘤影のような塊状パターンと類似した画像特徴が得られる。また、浸潤性乳がん等は腫瘤に構築の乱れを伴う所見も多くある [9]。

本研究はさらなる構築の乱れの検出率向上を目的に、以前より検討している手法に、塊状パターンを強調して検出する手法を組み合わせた検出手法を提案する。

\*<sup>1</sup> 藤田保健衛生大学大学院保健学研究科 [〒470-1192 豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98]

e-mail: 82015309@fujita-hu.ac.jp

\*<sup>2</sup> 大同病院

\*<sup>3</sup> 岐阜大学大学院医学系研究科

投稿受付：2015 年 5 月 19 日

採録決定日：2015 年 9 月 29 日

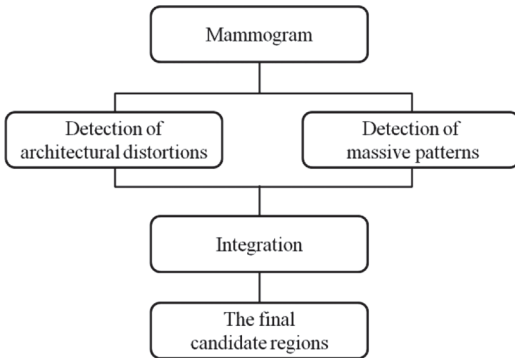


図1 提案手法のフローチャート.

## 2. 手法

本手法のフローチャートを図1に示す. 本手法は, マンモグラフィ画像に対し, 以前われわれが開発した構築の乱れの検出アルゴリズム [7] (以下, 従来手法) に, 塊状パターンを自動検出するアルゴリズムを追加で適用し, それらを統合することで検出結果を得る. 以下, フローチャートに沿って処理手順を述べる.

### 1) 構築の乱れの自動検出

構築の乱れの検出アルゴリズムには従来手法を用いる. 以下にその概要を述べる.

#### (1) 前処理

入力したマンモグラフィ画像に対し, 二値化とラベリング処理を適用し, 処理対象となる乳房領域を抽出する.

#### (2) 乳腺の検出

適応型ガボールフィルタを適用して乳腺構造を検出する. 同フィルタは原画像の各画素に対して, 角度  $\theta$  を変化させながら式(1)および図2に示すガボール関数の畳み込み演算を行い, 最大の積分値を探索する. 得られた最大積分値を強度画像  $I(x, y)$ , そのときの角度  $\theta$  を角度画像  $A(x, y)$  とする.

$$g(x, y) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \varphi\right) \quad (1)$$

$$(x' = x \cos \theta + y \sin \theta, y' = -x \sin \theta + y \cos \theta)$$

ここで, 式(1)の  $\lambda$  は波長,  $\gamma$  はアスペクト比,  $\sigma$  は偏差,  $\varphi$  は位相を表している.

なお, ガボールフィルタによる乳腺検出精度はガボール関数のパラメータに大きく影響を受

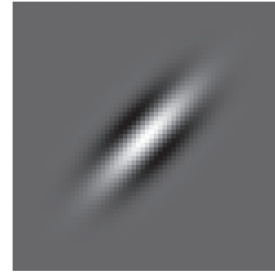


図2 ガボールフィルタ関数 ( $\sigma = 4.30$ ,  $\gamma = 0.45$ ,  $\lambda = 13.0$ ).

け, あらゆる乳腺パターンを検出するパラメータを設定することは不可能である. そこで, 適応型ガボールフィルタは複数の異なるパラメータセットを有するガボールフィルタを用意し, 最もよく画像にフィットするフィルタを画素ごとに選択するように改良されている.

### (3) 線集中パターンの強調

乳腺構造の集中を検出するため,  $I(x, y)$  および  $A(x, y)$  を用いて主要な乳腺構造を抽出した後, 乳腺の引き込みやスピキュラによって生じた集中パターンを検出する. これには文献[10]に示されている集中度を算出する. この方法は, 注目画素周辺の評価領域内にて, 乳腺の方向と各画素から評価領域の中心へ向かう線の内積の平均値を集中度と定義したものである.

### (4) 候補領域の抽出と偽陽性削除

集中度算出画像に対して自動閾値処理を行う. 二値化閾値を変化することで候補領域数と画素総和は変化する. 集中度画像のもつ最大画素値から閾値を減少させながら二値化し, 候補領域数をカウントする. 検出感度を高めるため, 候補領域が最も多く検出されたときの閾値を用いて二値化し, 構築の乱れの初期候補領域を得る. そして得られた初期候補領域について, 形状や画素値など23種類の特徴量をサポートベクタマシンに入力し, 偽陽性を削除した[11].

### 2) 塊状パターン領域の自動検出

画像中の塊状パターンは, 最初に塊状構造を強調し, それを二値化することによって検出する.

#### (1) 塊状構造の強調

乳がんの腫瘍影は塊状構造を呈し, 辺縁から中心に向かうに従って濃度が低くなる特徴があるため, 腫瘍内の各画素の濃度変化の勾配ベク

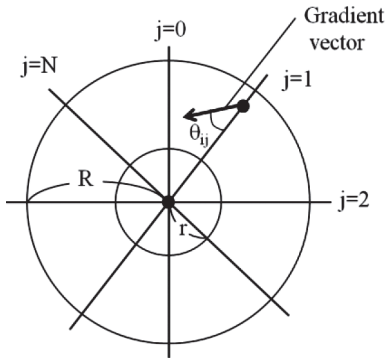


図3 アイリスフィルタの概念図.

トルは中心に向かって集中する. 構築の乱れは乳腺構造のひずみや局所的な引き込みをもつ所見のため, 腫瘍のような塊状パターンをもち, 勾配ベクトルも中心に向かって集中すると考えられる. この集中度合いを算出するために, 本研究ではアイリスフィルタ [12] を用いた. アイリスフィルタは各画素の勾配ベクトルの角度情報から集中度を算出するフィルタである. 図3に示すように, 注目画素から任意の方向に伸ばした  $N$  本の放射線上の画素のみを対象として, 各画素と注目画素を結ぶ直線と, その画素における勾配ベクトルのなす角  $\theta$  の余弦の平均値が最大となる範囲を求める. 式(2)に示すように, その方向の集中度  $c_j$  は, 求めた範囲内での余弦の平均値とする. なお,  $\cos\theta_{ij}$  は  $j$  番目の放射線上かつ径  $i$  における集中性評価値である.  $R$  と  $r$  はそれぞれ注目画素を中心としたときのフィルタの外径, 内径を表す. 各方向で求めた  $c_j$  の平均値をアイリスフィルタ出力  $C(x, y)$  とする (式(3)). なお, このフィルタ処理は 2.1.1 項にて算出した乳房領域の内部のみに適用する.

$$c_j = \max \left\{ \sum_{i=1}^n \cos \theta_{ij}/i \right\}, R \leq n < r \quad (2)$$

$$C(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^N c_j \quad (3)$$

(2) 候補領域の抽出

アイリスフィルタを適用して得られた集中度画像に閾値処理を行う. その後, 画像中の細かい乳腺やノイズ成分が誤って検出される可能性があるため, 任意の面積未満の候補領域は偽陽

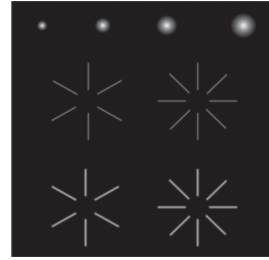


図4 自作デジタルファントム.

表1 適応型ガボールフィルタのパラメータ.

	$\sigma$	$\gamma$	$\Lambda$
フィルタ 1	2.83	0.30	8.00
フィルタ 2	4.30	0.45	13.0
フィルタ 3	7.27	0.80	22.0

表2 アイリスフィルタのパラメータ.

内径	外径	処理方向
6 mm	12 mm	32

性とみなして削除する. 偽陽性削除後の候補領域を初期候補領域とする.

3) 最終候補領域の決定

構築の乱れの初期候補領域と塊状パターンの初期候補領域の論理和を求める. すなわち, どちらかの検出手法で検出された領域があれば候補領域とみなし, 最終候補領域とする.

3. デジタルファントムによる基礎的検討

1) 検証方法

提案手法の基礎的な評価を行うためデジタルファントムを作成し, 画像に含まれる模擬病変を自動検出した. デジタルファントムの画像を図4に示す. 1024×1024 pixel の画像に, 半径 6, 9, 12, 15 mm 相当の半球パターンと, ライン幅 0.9, 1.8 mm 相当の放射状パターン (ライン数: 6, 8 本) を有する模擬的な構築の乱れを 4 つずつ配置した. 表1に構築の乱れ, 表2に腫瘍の検出手法の処理条件を示す. なお, 構築の乱れを検出する際に使用するガボールフィルタおよび集中度フィルタのフィルタサイズは半径 30 画素とし, 塊状パターンの検出にて集中度画像を二値化処理する際の閾値は 0.8 を利用した.

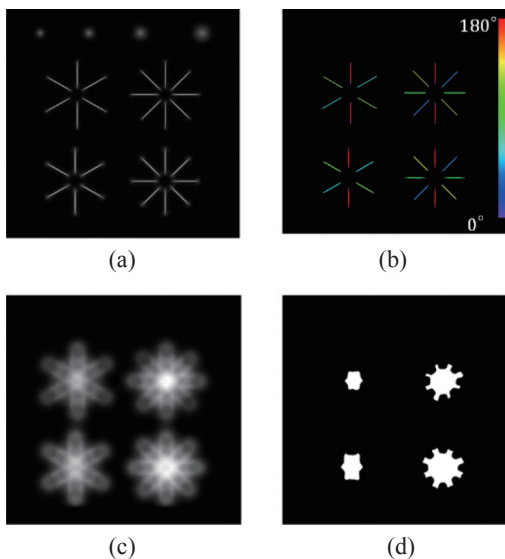


図5 構築の乱れの検出結果. (a) 線成分強調画像, (b) 線成分角度画像, (c) 集中度画像, (d) 二値化画像.

## 2) 検証結果

ファントム画像に対して, 提案手法を適用した結果を図5~図7に示す. 二値化画像の白い領域は乳腺を模した線素, あるいは濃度勾配ベクトルが集中していることを表している. 統合結果(図7)より, 2つの手法を組み合わせることで塊状パターンと構築の乱れがともに検出されることがわかった.

## 4. マンモグラフィ画像による基礎的検討

### 1) 検証方法

提案手法の有用性を確認するため, 臨床画像を用いて検証を行った. 米国で公開されているDDSM (Digital Database for Screening Mammography) より, 正常症例 20 症例, 構築の乱れのある 30 症例を含む 50 症例 200 枚を抽出し, 評価対象とした. データに添付されている医師の読影レポートから対象の 200 枚中に構築の乱れは 63 個あることが判明しており, 構築の乱れが単体でみられる症例や, 腫瘤に構築の乱れが伴っている症例が含まれる. このレポートと検出結果を用いて, 画像中の構築の乱れの真陽性率と偽陽性数を評価した. また, 同様の評価対象に従来手法を適用し, 提案手法と従来手法における真陽性率と偽陽性数を比較した.

評価対象の画像は分解能 100  $\mu\text{m}$ , 画像サイズ

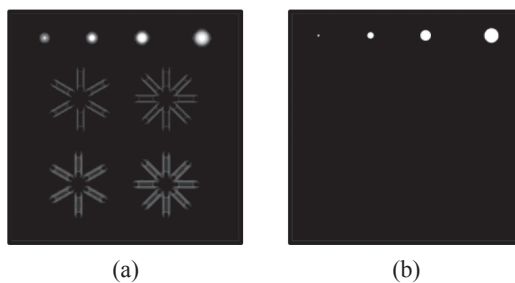


図6 塊状パターンの検出結果. (a) 集中度画像, (b) 二値化画像.

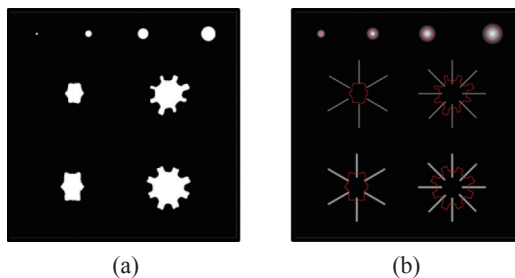


図7 検出結果の統合. (a) 二値化画像の組み合わせ, (b) 二値化画像と原画像の組み合わせ.

1770 $\times$ 2370 pixel にリサイズした. 処理条件は 3.1 節のファントムに対して適用したものを使用しており, 従来手法と提案手法で適応型ガボールフィルタのパラメータは同じものを使用した.

## 2) 検証結果

提案手法により検出された構築の乱れは 50 個であり, 真陽性率 79.4%, 偽陽性数 1.88 [個/画像] となった. 同様の対象に従来手法を適用したところ, 検出された構築の乱れは 46 個であり, 真陽性率 73.0%, 偽陽性数 0.65 [個/画像] であった. 本手法は従来手法と比較して真陽性率が 6.4% 向上した. 図8 は処理結果の一例であり, 同図 (a) の矢印は構築の乱れを指している. 図9 に 2つの検出アルゴリズムの両方で検出された構築の乱れを示し, 図10 に新たに検出された構築の乱れを示す. 図11 に提案手法により増加した偽陽性候補を示す.

## 5. 考察

ファントムを用いて本手法の評価を行った結果, 図5 からそれぞれの模擬病変を正しく検出しており, シンプルな構造のファントム画像に対して, 本手法が想定通りに構築の乱れを自動



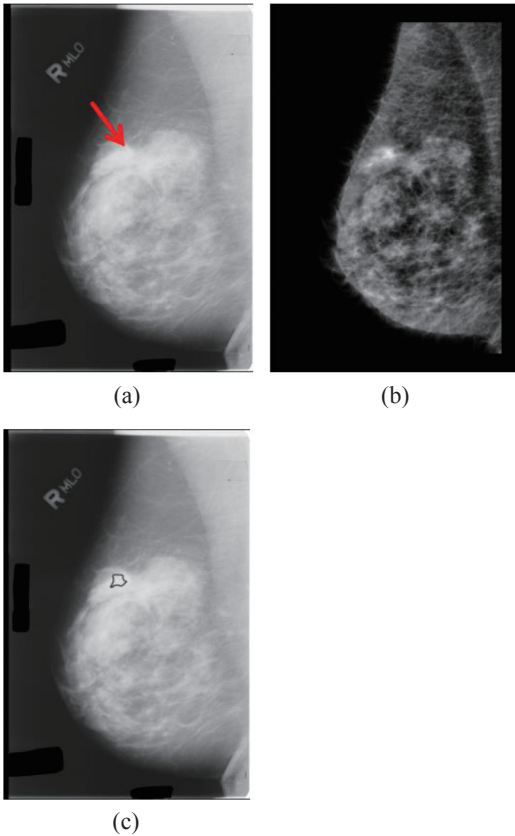


図8 臨床画像を用いた検証結果. (a) 原画像, (b) 集中度画像, (c) 検出結果.

検出できることがわかった.

臨床画像を用いた評価では、提案手法は従来手法と比較して真陽性率が6.4%向上した。偽陽性数は1.23 [個/画像]増加したが、これは2つの検出手法から得られた候補領域の論理和を最終候補領域としていることや、新たに追加で適用した塊状パターンの検出手法における偽陽性削除処理が不十分であったことが挙げられる。しかし、従来手法では偽陽性数の増加を許容しても真陽性率が向上しなかったため、真陽性率の向上に重点を置いた場合には良好な結果といえる。本手法は従来手法に塊状パターン検出手法を加えることで、腫瘤のようにはっきりとした塊状陰影も検出されたが、スピキュラや乳腺構造の引き込みの周辺に副次的に生じた塊状パターンの検出も可能であった。腫瘤を伴う構築の乱れの検出に有効であることが結果から示された。提案手法を用いても検出できなかった構

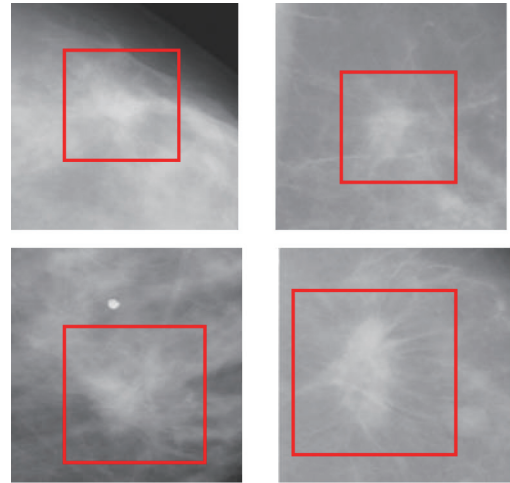


図9 両検出アルゴリズムで検出された構築の乱れ(例).

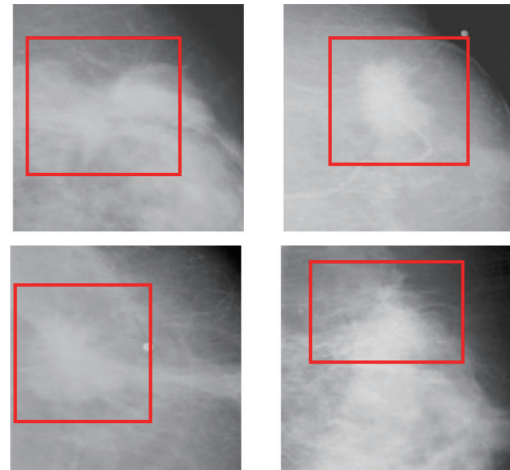


図10 提案手法により新たに検出された構築の乱れ.

築の乱れは病変部そのものが比較的小さいものであったため、偽陽性とみなされたと考えられる。また、偽陽性は、乳腺密度の高い領域で多く発生した。今後は候補領域の面積のみではなく、候補領域の形状といった特徴量に基づいて偽陽性削除を行う必要がある。

## 6. まとめ

本論文では、病変検出率の向上を目的に構築の乱れの検出手法と塊状パターンの検出手法を併用する手法を提案した。今後の課題として、偽陽性削除方法の検討があげられる。

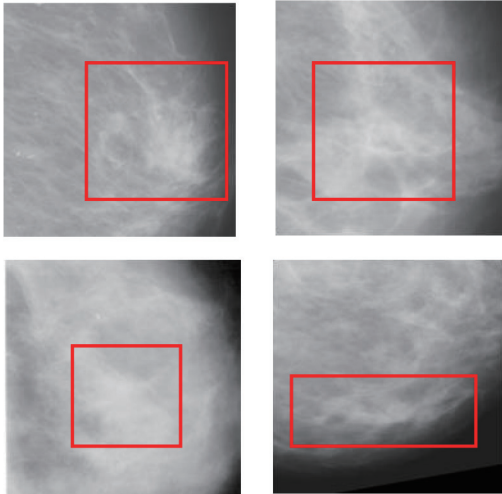


図 11 提案手法により増加した偽陽性候補 (例).

## 文 献

- [1] 厚生労働省：がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針. 健発第 0331058 号 (平成 20 年 3 月 31 日通知), 2008
- [2] 藤田広志：マンモグラフィ CAD システムの現状. *Med Imag Tech* **20**: 27-33, 2003
- [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. *日本放射線技術学会雑誌* **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] Guo Q, Shao J, Ruiz V: Investigation of support vector machine for the detection of architectural distortion in mammographic images. In *Sensors & Their Applications XIII, Journal of Physics: Conference Series Vol. 15*. IOP Publishing, Bristol, 2005, pp88-94
- [6] 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
- [7] 吉川るり葉, 寺本篤司, 松原友子, 他：複数のガポ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. *Med Imag Tech* **30**: 287-292, 2012
- [8] 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第 3 版. 医学書院, 東京, 2014
- [9] 東京都多摩がん検診センター：手にとるようにわかるマンモグラフィ [改訂版]. ベクトル・コア, 東京, 2002
- [10] 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**: 1188-1196, 1994
- [11] Yoshikawa R, Teramoto A, Matsubara T, et al.: Automated detection of architectural distortion using improved adaptive Gabor filter. In Fujita H, Hara T, Muramatsu C eds., *Breast Imaging. IWDM 12th International Workshop, Lecture Note in Computer Science, Vol. 8539*. Springer, Berlin, 2014, pp606-611
- [12] 武尾英哉, 志村一男, 小畑秀文, 他：乳房 CR 画像を対象としたコンピュータ支援画像診断システム. *富士フィルム研究報告書* **43**: 47-54, 1998

## Automatic Detection Method for Architectural Distortion Using Iris Filter Together with Gabor Filter in the Breast X-ray Image

Mizuki YAMAZAKI <sup>\*1</sup>, Tomoko OTSUKA <sup>\*2</sup>, Atsushi TERAMOTO <sup>\*1</sup>, Hiroshi FUJITA <sup>\*3</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Health Sciences, Fujita Health University

<sup>\*2</sup> Daido Hospital

<sup>\*3</sup> Graduate School of Medicine, Gifu University

In recent years, computer-aided diagnosis (CAD) has been expecting to improve the diagnostic performance and to reduce the oversight of a lesion. CAD is used for breast X-ray images. However, there is a challenge about the poor detection accuracy of architectural distortion that is the most missing findings. In this study, we propose the hybrid detection method that integrates two detection methods of massive patterns and architectural distortion to improve the lesion detection sensitivity. We applied to the adaptive Gabor filter for the detection of the architectural distortion and to the iris filter for the detection of the mass. Candidate regions are obtained by calculation of the concentration index using filtered images. In the experiments, we compared the results of proposed method and physician interpretation report using 200 images (63 architectural distortions) of digital database of screening mammography. As a result, the conventional method had true positive rate (TPR) of 73.0% and the number of false positives (FPs) of 0.65 per image. Whereas TPR of proposed method was 79.4% and FPs were 1.88 per image. These results indicate that our method may be effective to improve the performance of computer aided detection in breast X-ray images.

**Key words:** Computer-aided diagnosis, Breast X-ray image, Architectural distortion

*Med Imag Tech* **33**(5): 133-202, 2015