

マンモグラムにおける構築の乱れの自動検出の改良

柴田 雄輝[†] 松原 友子^{††} 原 武史[†] 藤田 広志[†] 遠藤 登喜子^{†††} 岩瀬 拓士^{††††}

[†] 岐阜大学大学院医学系研究科 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

^{††} 名古屋文理大学情報文化学部 〒492-8520 愛知県稲沢市稲沢町前田 365

^{†††} 名古屋医療センター 〒460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸 4-1-1

^{††††} 癌研有明病院 〒135-8550 東京都江東区有明 3-10-6

E-mail: [†] {shibata, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, ^{††} tomoko@nagoya-bunri.ac.jp

あらまし 我々は、マンモグラムにおける構築の乱れの自動検出法を開発している。これまで提案してきた手法では、スキンライン付近に存在する構築の乱れの検出が困難であった。また、検出された領域は、正解領域と比較して真陽性が偽陽性に自動判定されるが、検出領域の位置がわずかでもずれていると、誤判定が生じていた。よって、本報告では分散を用いたスキンライン付近の構築の乱れと偽陽性との識別と、検出された領域の自動判定の基準の変更を提案する。また、偽陽性削除の判別分析に用いた特徴量の検討も行った。独自に収集したデータベースである異常症例 102 症例及び正常症例 73 症例 計 175 症例を対象に実験を行った結果、従来法よりも検出性能が向上し、本手法の有効性が確認された。

キーワード 乳がん、構築の乱れ、マンモグラム、コンピュータ支援診断

Improvement of automated detection for architectural distortion on mammograms

Yuuki SHIBATA[†] Tomoko MATSUBARA^{††} Takeshi HARA[†] Hiroshi FUJITA[†]
Tokiko ENDO^{†††} and Takuji IWASE^{††††}

[†] Graduate School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan

^{††} School of Information Culture, Nagoya Bunri University

365 Maeda, Inazawa-cho, Inazawa-shi, Aichi, 492-8520 Japan

^{†††} Nagoya Medical Center 4-1-1 Sannomaru, Naka-ku, Nagoya-shi, Aichi, 460-0001 Japan

^{††††} Cancer Institute Hospital 3-10-6 Ariake, Koto-ku, Tokyo, 135-8550 Japan

E-mail: [†] {shibata, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, ^{††} tomoko@nagoya-bunri.ac.jp

Abstract We have been developing an automated detection method for architectural distortion that is difficult to diagnose breast cancer. In our previous method, it was difficult to detect an architectural distortion locating around the breast border. In addition, if the detected area shifted slightly from the gold standard area, our system judged it as the false positive by mistake. Therefore, we suggest to the methods for identify distorted area around breast border from false positive by the variance, and for change the criteria to judge true positive. We also examine the effective of features using the discriminant analysis for eliminating the false positives. Our new method was evaluated by our original database that consisted of 102 abnormal and 73 normal images. As a result, the detection performance of our new methods showed better than that of the previous method.

Keyword Breast cancer, Architectural distortion, Mammogram, Computer-aided diagnosis

1. まえがき

マンモグラフィの普及により、乳がんの早期発見に期待が寄せられている。マンモグラフィは、超音波診断や視触診と比べて、より小さな病変を見つけることが可能であり、撮影画像を複数の医師でチェックすることも利点として挙げられる。しかし、撮影画像の正確な読影には、多くの知識や経験が必要であり、ま

た、マンモグラフィの普及による読影枚数の増加から、医師にかかる負担が増加し、読影ミスが生じる可能性も考えられる。そこで現在、このような医師の負担を軽減させるため、計算機を用いた画像解析を行うことにより、病変と疑われる部位を示すコンピュータ支援診断(Computer-aided diagnosis: CAD)システムに期待がもたれている。

乳房診断における主な所見は、腫瘤陰影、微小石灰化クラスタ、構築の乱れであるが、2つの商用CADシステムによって、検出できる構築の乱れの感度は50%未満であるとの報告があり[1]、専用の検出アルゴリズムが必要である。現在、構築の乱れの自動検出に関する研究が、他のいくつかのグループによって行われている[2-7]。我々は、乳腺構造を解析し、その集中度を算出することで候補領域を決定する構築の乱れの検出法を提案してきた[8-10]。

我々の従来法の問題点は、検出された候補領域をTP(True Positive)かFP(False Positive)に判定するプログラムで、誤判定が発生する点と、スキンライン付近は画素値が高いことから、スキンライン付近に存在する構築の乱れは一次検出が可能でも、平均画素値による偽陽性削除によって誤削除される点である。また、偽陽性削除で用いている特徴量が十分に検討されていない。本研究では、これらの問題点を解消し、検出精度を向上させることを目的とする。

2. 方法

我々が開発した従来法及び本手法の構築の乱れの検出アルゴリズムを図1に示す。従来法の処理手順及び本手法での改良点を以下に示す。

2.1 従来法

step.1) 候補領域の抽出

候補領域の抽出は、解像度50 μ mの画像を、縦横4画素の16画素を平均して1画素とした200 μ mの縮小画像と、縦横2画素の4画素を平均して1画素とした100 μ mの縮小画像との2つの縮小画像で行う。

まず、スキンライン付近に存在する背景トレンドを緩和するために、それぞれにダイナミックレンジ圧縮[11]を適用する。次に、平均曲率[12]を用い、その値が高い領域を乳腺領域とする。2枚の画像から得られた乳腺領域を組み合わせて、closing処理を適用後、細線化を行う。その線素から集中度[13]を算出し、二値化により候補領域を求め、その後、面積と平均画素値による偽陽性削除を行って候補領域を決定する。ここまですべてを一次検出とする。

step.2) 偽陽性の削除

step.1で抽出された候補領域の重心を中心とする512 \times 512画素の領域をROIとし、二次元フーリエ変換を行い、特徴量を算出する。なお、偽陽性の削除では画像の縮小を行わず、50 μ m画像を用いて計算を行う。本研究では、集中度、等方指数、面積、平均画素値、コントラスト、平均曲率の山領域の密度、平均曲率の谷領域の密度、RMS変動値、パワースペクトルにおける一次モーメント、0°から90°・90°から180°の角度ごとのプロファイルの両平均の差、同じくプロファ

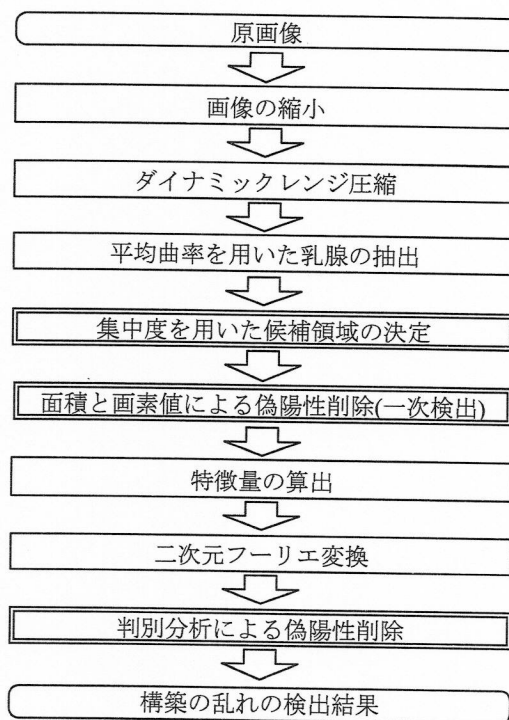


図1. 構築の乱れの検出アルゴリズム

イルを一次式で近似したときの両傾きの絶対値の差、の11個の特徴量を用いている。これらの特徴量を用いて、Round Robin法による判別分析を行う。適当なしきい値を設定し、最終的な候補領域を決定する。

2.2 改良手法

図1で二重罫線で示した一次検出と判別分析に関して、改良及び検討を行った。

1) 候補領域の自動判定基準の変更

従来法における一処理である候補領域がTPかFPかの判定プログラムは、重心を基準としているため、わずかな位置ずれが起きてしまうと、候補領域が構築の乱れの正確な位置を表すgold standardと多く重なっていてもFPと誤判定してしまう症例がある。よって、そのような誤判定をなくすため、自動判別法の指標を以下の二式(1)、(2)に変更した。

$$\text{一致率} = \frac{\text{候補領域とgold standardが重複する領域}}{\text{候補領域}} \quad (1)$$

$$\text{一致面積} = \text{候補領域とgold standardが重複する領域} \quad (2)$$

2) 平均画素値による偽陽性削除の変更

従来法では、構築の乱れは、その付近の正常組織と比較すると画素値が低いいため、一次検出の候補領域決定時に、平均画素値を偽陽性削除の特徴量に用いている。しかしながら、スキンライン付近はその他の領域と比べて画素値が高くなる傾向にあり、スキンライン付近に存在する構築の乱れは、平均画素値により誤削除される。このような候補領域内の画素値は変動が大きく、正常構造の候補領域内のそれは比較的均一である場合が多い。よって、候補領域内の画素値の不均一

性を特徴量の1つに取り入れるため分散を用いる。

3) 判別分析に用いる特徴量の検討

偽陽性削除において11個の特徴量を用いているが、特徴量の有効性は十分に検討されていない。よって、ROC曲線下の面積AUC(area under the curve)を用いた検討を行う。まず、特徴量の一つだけ用いてROC解析を行う。その中でAUCが最も高くなる特徴量に別の特徴量を1つ加えROC解析を行う。このように特徴量を11個まで増やしていき、どの特徴量が高いAUCを得るのに有効であるかを調べる。

3. 症例

今回の実験では、我々の研究室のデータベースを利用した。そのうち、構築の乱れを含む症例102枚および正常症例73枚の計175枚を用いて実験を行った。

4. 結果と考察

実験に用いたデータベース全175症例を対象とした一次検出段階での検出結果を表1に示す。一次検出での検出結果では、真陽性率は約8%向上した。しかし、FPは一枚あたり1.4個増えている。これは平均画素値による削除の際に、分散のしきい値に一定値を用いていることによるものであると思われる。画像には、全体的に画素値が高い、コントラスト差が大きいなど個々の特徴があり、画像ごとに分散のしきい値を決定することによりFPは減少させることは可能であると考えられる。また、一次検出ではTP、FPともに増えたが、判別分析後では、同じ偽陽性数のとき、本手法の真陽性率は従来法に比べ、約6%向上した。

分散を取り入れたことにより、新たに検出可能となった症例の一部を図2に示す。スキンライン付近で平均画素値が高くなっていても検出できている。

将来、腫瘍や微小石灰化の検出プログラムとの統合を考えた際、画像1枚あたりの偽陽性数の許容範囲は0.1個程度までと考えられる。判別分析後、画像1枚あたりの偽陽性数を0.1個に設定したときの真陽性率は、従来法が12.7%であったのに対して、本手法では17.6%と、約1.4倍の検出率を示した。

一次検出の方法の変更を行った後の検出結果に対して、偽陽性削除の判別分析に用いる特徴量の検討を行った。用いた特徴量数とROC解析のAUCのグラフを図3、特徴量の組合せを表2に示す。グラフと表の特徴量の個数の番号は対応している。AUCの最も高かった特徴量の組合せは、図3に示されているとおり9つの特徴量であった。よって、特徴量は多ければ良いというものではなく、偽陽性候補の特徴をとらえて、効果的に選択することが必要であるといえる。また、

表1. 実験結果

		真陽性率 (%)	偽陽性数 (個/枚)
一次検出	従来法	78.4 (80/102)	7.6 (1329/175)
	本手法	86.3 (88/102)	9.0 (1576/175)
判別分析後	従来法	63.7 (65/102)	2.7 (467/175)
	本手法	69.6 (71/102)	2.7 (467/175)
判別分析後 (*)	従来法	12.7 (13/102)	0.1 (17/175)
	本手法	17.6 (18/102)	0.1 (17/175)

(*)偽陽性数を0.1個/枚に設定

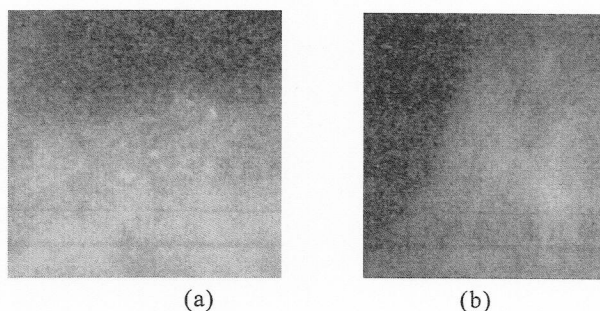


図2. 分散を取り入れたことによって新たに検出可能となった症例

この9つの特徴量を用いたときのROC曲線のAUCは0.793で、従来法のAUCは0.787であった。さらに、特徴量が1つから4つにかけてそれぞれ特徴量を加える際に大きくAUCが増えている。また、11個の特徴量と9つの特徴量、1つの特徴量と4つの特徴量、3つの特徴量と4つの特徴量、4つの特徴量と9つの特徴量、それぞれのAUCに対してt検定を行い、有効性を調べた。t検定の結果、有意差があったのが1つの特徴量と4つの特徴量、3つの特徴量と4つの特徴量のAUCであった。すなわち、4つの特徴量のAUCと最も値が高かった9つの特徴量のAUCでは、有意差がみられなかった。よって、特徴量の数が4つ以上では、特徴量を増やす有効性が確認できなかった。

特徴量が1つの場合、最もAUCが高かったのは等方指数であった。これは等方指数が候補点に対して線素が均等に集中しているかを表す値、すなわち集中度では区別できない、あらゆる方向から一様に集中している点と特定の方向から偏って集中している点とが識別できる値であり、放射状に広がるスピキュラを認識するのに適していることによるものであると考えられる。

特徴量が4つより多くなるとAUCがほぼ変わらないことから、偽陽性数を減らすためには、偽陽性の特徴を分析し、それに基づいた新たな特徴量を取り入れ

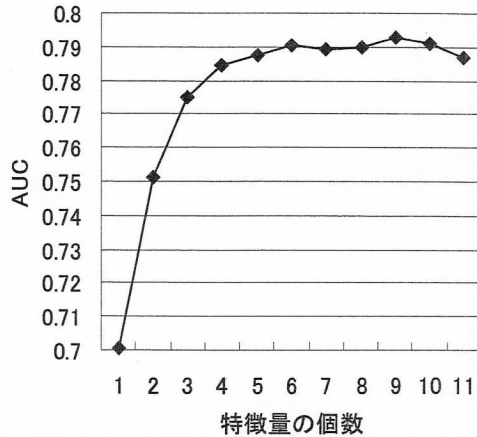


図 3. 用いた特徴量数と ROC 解析の AUC のグラフ

表 2. 特徴量の組合せ

特徴量の個数	特徴量
1	等方指数
2	1+平均画素値
3	2+面積
4	3+平均曲率の谷の領域
5	4+パワースペクトルの平均
6	5+一次モーメント
7	6+コントラスト差
8	7+集中度
9	8+平均曲率の谷領域
10	9+RMS 変動値
11	10+パワースペクトルの傾き

ることが必要であると言える。

5. まとめ

我々の研究室で開発している構築の乱れの検出アルゴリズムを独自のデータベースに適用し、従来法及び本手法の検出精度を確認した。一次検出段階での結果として、従来法では検出できなかった 8 症例が新たに検出可能となった。さらに、判別分析後の結果に関しても、1 画像あたりの偽陽性数を 0.1 個に設定した場合の検出率が、本手法では約 1.4 倍に向上した。また、判別分析に用いる特徴量の見直しを行った。その結果から、良い性能を得るためには、特徴量の選択が重要であることが明らかとなった。

今後の展開として、一次検出での乳腺抽出の精度の向上を目指す。

文 献

[1] J. A. Baker, E. L. Rosen, J. Y. Lo, E. I. Gimenez, R. Walsh, and M. S. Soo, "Computer-aided detection (CAD) in screening mammography: Sensitivity of commercial CAD systems for detecting architectural distortion." *American Journal of Roentgenology*:181,

pp.1083-1088, October 2003.

[2] Fabio J. Ayres and Rangaraj M. Rangayyan, "Reduction of false positives in the detection of architectural distortion in mammograms by using a geometrically constrained phase portrait model", *CARS 2007*, Springer, pp.361-369, Berlin, 2007.

[3] M. P. Sampat, G. J. Whitman, M. K. Markey, and A. C. Bovik, "Evidence based detection of spiculated masses and architectural distortion", *Proc. SPIE, Medical Imaging 2005: image processing*, vol.5747, pp.26-37, San Diego, 2005.

[4] Q. Guo, J. Shao, and V. Ruiz, "Investigation of support vector machine for the detection of architectural distortion in mammographic images", *Journal of Physics: Conference Series*, vol.15, pp.88-94, 2005.

[5] G. D. Tourassi, D. M. DeLong, and C. E. Floyd Jr, "A study on the computerized fractal analysis of architectural distortion in screening mammograms", *Physics in Medicine and Biology*, vol.51, no.5, pp.1299-1312, 2006.

[6] N. Eltonsy, G. Tourassi, and A. Elmaghraby, "Investigating performance of a morphology-based CAD scheme in detecting architectural distortion in screening mammograms", *Proc. 20th International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2006)*, Springer, pp.336-338, Osaka, 2006.

[7] 本村壮史, 清水昭伸, 小畑秀文, 縄野 繁, "乳房 X 線像上の構築の乱れの検出法の提案", *コンピュータ支援画像診断学会大会*, pp.307-308, 2006.

[8] T. Ichikawa, T. Matsubara, T. Hara, H. Fujita, T. Endo, and T. Iwase, "Automated detection method for architectural distortion areas on mammograms based on morphological processing and surface analysis", *Proc. SPIE, Medical Imaging 2004: image processing*, pp.920-925, San Diego, 2004.

[9] T. Matsubara, D. Fukuoka, N. Yagi, T. Hara, H. Fujita, Y. Inenaga, S. Kasai, A. Kano, T. Endo, and T. Iwase, "Detection method for architectural distortion based on analysis of structure of mammary gland on mammograms", *Proc. 19th International Congress and Exhibition CARS 2005, International Conference Series 1281*, pp.1036-1040, Elsevier, 2005.

[10] T. Hara, T. Makita, T. Matsubara, H. Fujita, Y. Inenaga, T. Endo, and T. Iwase, "Automated detection method for architectural distortion based on distribution assessment of mammary gland on mammogram", *Proc. 20th International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2006)*, Springer, pp.333-334, Osaka, 2006.

[11] 原 武史, 李 鎔範, 藤田広志, "ダイナミックレンジ圧縮を適用したマンモグラム CAD における乳房辺縁領域の強調処理", *医用画像情報学会雑誌*, vol.13, no.2, pp.78-82, 1996.

[12] 市川徹子, 松原友子, 原 武史, 藤田広志, 遠藤登喜子, 岩瀬拓士, "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*, vol.J87-D-II, no.1, pp.348-352, 2004.

[13] 目加田慶人, 尾坐幸一, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, "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*, vol.J77-D-II, no.9, pp.1788-1796, 1994.