

## 中心方向性 Local Ternary Pattern を用いたマンモグラムにおける 腫瘍の良悪性鑑別法の検討

村松 千左子<sup>†</sup> 張 敏<sup>†</sup> 原 武史<sup>†</sup> 遠藤 登喜子<sup>‡</sup> 藤田 広志<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 岐阜大学大学院医学系研究科 〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1

<sup>‡</sup> 国立病院機構東名古屋病院乳腺科 〒465-8620 名古屋市名東区梅森坂 5-101

E-mail: <sup>†</sup> {chisa, min, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, <sup>‡</sup> endot@nnh.hosp.go.jp

あらまし 我々は以前よりマンモグラムにおける腫瘍の良悪性鑑別診断支援のための画像解析手法の検討を行っている。これまでの手法は腫瘍の輪郭に基づいた形状や辺縁の特徴量への依存が大きかった。しかし腫瘍辺縁の自動抽出は容易ではなく、手動抽出には時間がかかり操作者間の変動が大きい。また、これまでは診断に重要な所見の一つである腫瘍濃度の情報が特徴量に十分に反映されていなかった。そこで本研究では腫瘍を含む矩形領域より自動的に選択された領域においてテクスチャ特徴量を計算し、腫瘍の良悪性鑑別に利用する手法を検討した。テクスチャ特徴量には方向性を考慮した Local Ternary Pattern を用い、特徴量選択後、人工ニューラルネットにより識別を行った。良性腫瘍 58 画像、悪性腫瘍 93 画像を用い、Leave-one-out 交差検定法により評価を行ったところ、良悪性鑑別精度は ROC 曲線下面積で 0.82 であった。提案するテクスチャ特徴量は腫瘍の良悪性鑑別に有用である可能性が示唆された。

キーワード マンモグラフィ、腫瘍、良悪性鑑別、コンピュータ支援診断 (CAD)、Local Ternary Pattern、テクスチャ特徴量

## Investigation on Classification of Benign and Malignant Masses on Mammograms by Use of Modified Local Ternary Pattern

Chisako MURAMATSU<sup>†</sup> Min ZHANG<sup>†</sup> Takeshi HARA<sup>†</sup>

Tokiko Endo<sup>‡</sup> and Hiroshi FUJITA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1194 Japan

<sup>‡</sup> Department of Radiology, Nagoya Medical Center 4-1-1 Sannomaru, Naka-ku, Nagoya-shi, Aichi, 460-0001 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {chisa, min, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp, <sup>‡</sup> endot@nnh.hosp.go.jp

**Abstract** We have been investigating an image analysis method for assisting the differential diagnosis of breast masses on mammograms. Our previous methods rely largely on shape and margin features based on the mass outlines. However, automatic determination of the mass contours can be difficult while the manual determination is time-consuming and subjected to inter-operator variation. In addition, the previous features related to mass density, which is one of the important findings in diagnosis, were considered not very useful. In this study, a new set of texture features was investigated for differentiation between benign and malignant masses. The local ternary pattern with reference to the radial direction was determined in regions automatically selected from the square regions of interest (ROIs) including masses. The usefulness of these features was evaluated with 58 benign ROIs and 93 malignant ROIs by a leave-one-out cross validation method using an artificial neural network. With the selected features, the classification performance was 0.82 in terms of the area under the receiver operating characteristic curve. The proposed texture features might be useful in the classification of benign and malignant masses on mammograms.

**Keyword** Digital mammography, Breast masses, Classification, Computer-aided diagnosis (CAD), Local Ternary Pattern, Texture Features

### 1. はじめに

乳癌は女性に起こる癌の中で最も罹患率が高いが、早期発見と適切な治療により死亡率の低下と患者の治

療後生活の質の向上が期待できる。マンモグラフィによる検診は死亡率の低下に最も有効とされており、精密検査においてもマンモグラフィの所見は重要である。

しかし、マンモグラフィにおける病変の良悪性鑑別は容易ではない。

我々は以前より、マンモグラフィの読影を支援するためのコンピュータ支援診断システムの開発に取り組んでいる[1,2]。これまでに提案した類似画像検索による腫瘍の診断支援システムは、読影実験によりその有用性が示唆されているが[3,4]、現在の検索性能は約80%でさらなる向上が期待される。本検索システムは、サンプル画像における熟練読影医により得られた主観的類似度を多次元尺度構成法により分析し、構成された類似マップを、画像特徴量を用いて再現する手法を採用している。画像特徴量には腫瘍の形状、辺縁、コントラストなどのピクセル値に関する特徴を用いているが、これらは全て手動による腫瘍の輪郭情報をもとにした特徴量である。臨床では読影医による精密な輪郭を得ることは現実的でないため自動化が望まれるが、自動輪郭抽出は容易ではない。また、これまでの実験により、腫瘍の形状と辺縁に関する特徴量が特に有用であることがわかっており、読影の際に医師が考慮している腫瘍の濃度に関する特徴量が正しくシステムに反映されていないと考えられる。そこで本研究では、腫瘍の輪郭情報を必要としないテクスチャ特徴量の有用性を評価するために、腫瘍の良悪性鑑別に適用することを検討した。

## 2. 実験試料

本研究に用いたデジタルマンモグラフィは、名古屋医療センターでPCM撮影装置(MermaidまたはPureview, Konica Minolta, Inc.)またはCRシステム(Mammomat 3000, SiemensとC-Plate, Konica Minolta)を用いて撮影され、本研究への使用に対して倫理委員会の承認を得ている。原画像の画素サイズは25 $\mu\text{m}$ (PCM)と43.75 $\mu\text{m}$ (CR)で階調度は12bitであるが、画像処理のために画素サイズ50 $\mu\text{m}$ 、10bit階調に線形補間により統一した。本研究には、診断レポートをもとに2名のマンモグラフィ読影医より得た、腫瘍を含む矩形関心領域(ROI)を用いた。実験に用いたのは悪性腫瘍93画像、良性腫瘍58画像で、悪性腫瘍は生検や手術により、良性腫瘍は生検または超音波などによるフォローアップにより確認が得られている。腫瘍の実効直径の平均と標準偏差は28 $\pm$ 16mmで、ROIサイズは168x168から1888x1888ピクセルである。

## 3. 方法

### 3.1. Local Ternary Pattern

本研究に用いたテクスチャ特徴量であるLocal Ternary Pattern(LTP)[5]は、Local Binary Pattern(LBP)[6]の変則型である。LBPは注目画素に対する周辺画素

11	10	5	+1	+1	0
10	5	1	+1	0	-1
5	1	1	0	-1	-1
<b>a</b>			<b>b</b>		

図1 LTPのパターン例。a 注目画素とその8近傍の画素値例。b 閾値を3とした時のLTP

値の大小により2値化したパターンのヒストグラムを特徴量とする。これに対して、LTPは周辺画素値が注目画素値 $\pm$ 閾値以内、それ以上と以下により3値化する。例えば画像上に図1aのようなエッジが存在したとして、注目画素値とその周辺8画素(Rパラメータ=1, Pパラメータ=8)を比較するとする。閾値を3に設定した場合、注目画素+3以上の画素を+1、-3以下の画素を-1、それ以外を0とする(図1b)。右隣の画素から時計回りにこれらの数字を並べると、この注目画素に対するパターンは{-1-1-101110}となる。これを更に正と負に対するパターンに分けると{00001110}と{11100000}となり、ここから先はLBPと同様の処理となる。8近傍の比較では種類は $2^8=256$ パターン存在するが、Ojalaらは画像上の有用な特徴は基礎的なパターンで表現される割合が高いため、“Uniform”パターンを提案した[6]。これは0から1、または1から0への変化が2回以下の場合(例えば上記の例)はUniformパターンとし、3回以上のパターンは全てNon-uniformパターンとして1種類にまとめる方法である。これによりパターンは59種類となる。

### 3.2. Modified LTP

Ojalaらは方向性を考慮しないrotation invariant LBPを提案した。しかし乳腺腫瘍の鑑別には辺縁のエッジの方向は重要な特徴である。そこで本研究では腫瘍の中心がROIの中心にあると仮定し、中心方向に対してどのようなパターンをとるかを考慮した。スピキュラの有無を考えたとき、腫瘍の中心方向のエッジとそれに対して直行方向のエッジが重要であるため、4方向のパターンにまとめた。例えば、本研究ではRパラメータを2, Pパラメータを8と設定したため、1のパターン(8画素中1が1回のみ存在するパターン)は8種類存在する。Rotation invariantの場合、これらは全て1つのパターンにまとめられるが、本研究では1の画素が注目画素に対して中心に向かう方向、外に向かう方向、左右方向のどこに存在するかによって4パタ

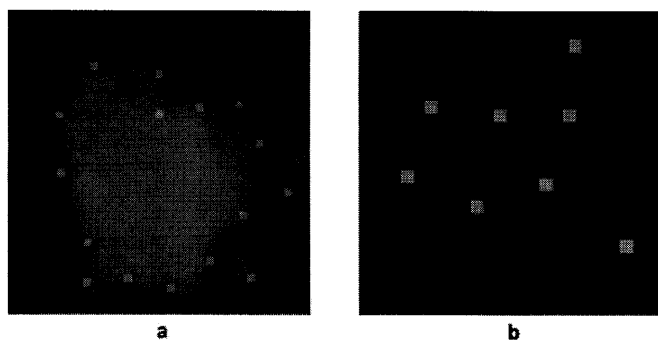


図 2 選択されたサブ ROI の位置. a 悪性腫瘍 ROI (379x379). b 良性腫瘍 ROI (218x218). 表示のため原画像のコントラストは低くしてある.

ーンにまとめた. 更に, 正と負のエッジの区別はあまり重要でないと考えられたため, 3 値化後 2 つに分離し, 最終的に両者の和をとることにより, パターン数を半減させた.

### 3.3. 領域選択と腫瘍の分類

本研究では, 腫瘍の輪郭情報を利用せずに特徴量の算出を試みた. 初めに各 ROI を平均化により 1/4 のサイズに縮小させ, 輝度分解能は 8bit に変換した. 次に矩形 ROI から特にコントラストの高い 50 x 50 ピクセルのサブ ROI を選択し, LTP のヒストグラムを求めた. サブ ROI の数は, 矩形 ROI の大きさにより可変とした. 図 2 に選択されたサブ ROI の分布の例を示す. 図に示された矩形領域は 10x10 で位置を示したもので, 実際のサブ ROI とは大きさが異なる.

また, 腫瘍内部のテクスチャも重要な特徴であると考えられるため, ROI の中心を腫瘍のコア領域と仮定し, その位置にもサブ ROI を設定して LTP を求めた. 但し, コア領域では方向に関する重要性は低くなると考えられた為, rotation invariant の LTP を求めた. 本研究では LTP の閾値は 5 に設定した. 追加の特徴量として, 選択されたサブ ROI とコア ROI でピクセル値の分散のヒストグラムも求めた[6]. 分散を求める範囲は, 各注目ピクセルを中心に 7x7 とした. これらのヒストグラムを 1 つにまとめると, 特徴量 (bin 数) は 61 となった.

これらの特徴量を用いて leave-one-out 交差検定法により人工ニューラルネットワークを学習させ, 良悪性腫瘍 ROI の分類を試みた. 特徴量数が多いため, 前向き選択法により特徴量選択を行った. 結果は Receiver Operating Characteristic (ROC) 解析による曲線下面積 (AUC) を用いて評価した.

## 4. 結果

前向き選択により 5 つの特徴量が選択された. 学習はバックプロパゲーション法により行い, 中間層ユニット数は 4, 学習回数は 110 回とした. 交差検定による良悪性腫瘍の分類精度は AUC で 0.82 であった. 腫瘍の輪郭情報を用いず, 自動選択した領域で求めたテクスチャ特徴量のみを用いた分類としては比較的良好な結果を得たと考えられる.

## 5. 考察

本研究では腫瘍を含む矩形 ROI より自動的により特徴のあるサブ ROI を選択し, それらの領域から方向性を考慮した LTP テクスチャ特徴量を取得し, 良悪性鑑別に適用する手法について検討を行った. 提案手法の利点は腫瘍の輪郭情報を必要しないことと, 腫瘍の中心に対するエッジの方向を考慮したことである. しかし, 方向を考慮すること, LBP に対して LTP を採用することにより特徴量の数が増加する. そのため, 本研究では方向を 4 方向に限定し, 正と負のパターンを合わせることで, 特徴量数を削減した.

特徴量の削減手法として Ojala らは Uniform パターンを提案したが, Liao らは Dominant パターンを選択する手法を提案した[7]. また, Nanni らはトレーニングケースをもとに分散の大きさによりパターンを選択し, 主成分分析を用いて更に特徴量数の削減を行う手法を提案した[8]. 彼らは提案手法を乳腺腫瘍の良悪性鑑別に適用し, 高い識別精度を得たが, 本手法に用いたデータベースとは異なるため直接比較はできない.

提案したテクスチャ特徴量は, 腫瘍の輪郭情報や形状特徴量の取得が困難な場合に, 腫瘍の良悪性鑑別に比較的有效である可能性を示唆した. しかしながら, 本研究に用いたデータベースは十分な大きさでなく, 今後より大きなデータベースを用いた検証が必要である. また, 本研究では Leave-one-out 交差検定により, 前向き選択法を用いて特徴量の選択を行ったが, 今後主成分分析などを用いた特徴量削減法の検討も必要である.

本研究では矩形 ROI 全体を用いるより, より特徴のある領域を選択しテクスチャ特徴量を求めることの実用性が示唆された. しかしながら図 3 に示すように, 症例によっては腫瘍と関係のない乳房領域の境界 (皮膚周辺) にサブ ROI が設定される場合があった. 今後領域設定に関しても更なる検討が必要である.

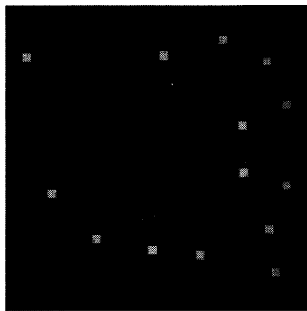


図3 サブ ROI の一部が乳房境界付近に設定された例

## 6. 謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金若手研究 (B) (21791179) と文部科学省科学研究費補助金新学術領域 (21103004) により行われました。

本研究を進めるにあたりご協力いただきました, 名古屋医療センター放射線部大岩幹直先生と香川県立中央病院乳腺センター白岩美咲先生に感謝いたします。

## 文 献

- [1] C. Muramatsu, Q. Li, R. A. Schmidt, et al., Determination of similarity measures for pairs of mass lesions on mammograms by use of BI-RADS and image features, *Academic Radiology*, vol.16, pp.443-449, 2009.
- [2] C. Muramatsu, K. Nishimura, T. Endo, et al., Representation of lesion similarity by use of multidimensional scaling for breast masses on mammograms, *J. Digit Imaging*, vol.26, pp.740-747, 2013.
- [3] C. Muramatsu, R. A. Schmidt, J. Shiraishi, et al., Usefulness of presentation of similar images in the diagnosis of breast masses on mammograms: Comparison of observer performances in Japan and the USA, *Radiol Phys Technol*, vol.6, pp.70-77, 2013.
- [4] C. Muramatsu, T. Endo, M. Oiwa, et al., Effect of reference image retrieval on breast mass classification performance: ROC analysis, *Proc. Workshop on Breast Image Analysis in MICCAI*, ed. A. Martel, J. Hipwell, J. Schnabel, et al., pp.50-57, 2013.
- [5] X. Tan, B. Triggs, Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions, *IEEE Trans Image Processing*, vol.19, pp.1635-1650, 2009.
- [6] T. Ojala, M. Pietikainen, T. Maenpaa, Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns, *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intel*, vol.24, pp.971-987, 2002.
- [7] S. Liao, M. W. K. Law, A. C. S. Chung, Dominant local binary patterns for texture classification, *IEEE Trans Image Processing*, vol.18, pp.1107-1118, 2009.
- [8] L. Nanni, S. Brahmam, A. Lumini, A very high performing system to discriminate tissues in mammograms as benign and malignant, *Expert Systems with Applications*, vol.39, pp.1968-1971, 2012.