

## X線マンモグラフィからの腫瘍形状抽出の一手法

竹下陽一 寺内睦博

広島大学

本稿では、マンモグラムから腫瘍の形状を正確に抽出する手法を提案する。腫瘍の形状と大きさは、病期や癌の種類によって多種多様であることから、形を特定化した手法を使うのは困難である。しかし、腫瘍は比較的大きな構造なので十分ぼかした画像では腫瘍の概略的な形をとらえることができる。そのために低い解像度から高い解像度までエッジを追跡することができる尺度空間フィルタリングを用いる。さらに、その手法だけでは閉じた輪郭線が得られないことから輪郭線の候補であるエッジ線の連結にDelaunay網を利用する。また、その手法を適用した実験例を示す。

A Method for Tumor Shape Extraction  
from X-ray Mammography*Yoichi Takeshita, Mutsuhiro Terauchi*

Department of Circuits and Systems,

Faculty of Engineering, Hiroshima University

1-4-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, 724 Japan

In this paper, we propose a method to extract an exact shape of breast cancer tumor from X-ray mammogram. The tumors usually have a lot of variety in their shape and size. Therefore, it is difficult to utilize exact object models. However, as tumors have comparatively a large structure, it is considered to be possible to recognize it in a blurred image. Then we adopt the scale-space filtering, in which we can trace edge elements from the lowest resolution to the highest one. Furthermore, we utilize Delaunay net in order to connect edge segments which are candidates of contour. Finally, some experimental results are shown.

## 1. はじめに

現在の乳癌検診は、視触診で行われているが、この方法では熟練した外科医でなければ乳癌を発見するのが困難であることにより、現在の乳癌の検診は人的資源に依存するという問題が生じている。特に集団検診においては、発見される乳癌の候補者はごくわずかであることから外科医師は多大な時間と労力を浪費することになる。さらに、触診では乳癌特有のしこりが小さすぎるために早期の乳癌は見出すことができない。これらの理由からマンモグラムを用いた自動画像処理の研究が必要とされている。マンモグラムというのは、乳房を水平または垂直方向に圧迫して撮影した単純X線写真である。現在、医療現場で乳癌の腫瘍および微小石灰化像（X線写真中の乳癌の画像特徴の一つ）の認識に役立てられている。

この領域においてX線写真の画質の悪さから画質改善の研究がなされている。例えば、小島らは実際のX線画像のボケ雑音処理[1]、Dhawanらはマンモグラムの腫瘍形状の強調処理[2]の研究を行った。しかし、このような処理を行ったとしても正確な腫瘍の形状をとらえるのは医師の作業となる。また、[3](長澤ほか)、[4](金、小畑)では、与えられた腫瘍のモデル画像から腫瘍の輪郭線の形状性質を利用して、良性か悪性が判断をする研究が行われた。しかし、これらの研究は、人工の画像に対する処理を行っていることより、実際のX線像から腫瘍の形状を抽出する課題が残されている。一方、乳癌の腫瘍影を検出する研究も行われている。しかし、それはしきい値を画像を見ながらマニュアルで設定しなければならない。また、腫瘍影以外のX線像上で見られる乳癌の特徴の一つ、石灰化像を利用した研究もある[5]。それは、Morphology演算を用いて乳腺などの背景ノイズに影響されず微小石灰化像を抽出する。しかし、実際のマンモグラムから腫瘍の自動抽出の研究はほとんどされていない。Aisakaらは、計算幾何学的手法の一つであるDelaunay網を使って胃の境界線を

抽出した[6]。そこで、本論文ではフィルムマンモグラムをデジタル化した画像から乳癌の画像特徴の一つ、乳癌である可能性のある腫瘍の輪郭線を自動的に抽出する手法を提案する。

一般にX線画像は対象物だけでなく他の組織や雑音を含んでいることより、単純なエッジ抽出法を用いるだけでは、腫瘍の輪郭線を求めることは困難である。そこで、尺度空間フィルタリングという手法を導入する。この手法ではぼかした画像、すなわち解像度の低い画像から解像度の高い画像のエッジを連続的に追跡できる。これにより、最も高い解像度画像すなわち元の画像で抽出されるエッジの中から輪郭線を構成していると思われるエッジだけをグループ化できる。また、それぞれの解像度での輪郭線は閉じた形で得られる保証がないので、エッジ線を連結するために、計算幾何学的手法の一つである、点と点の“近さ”を自然に表現した平面グラフ、Delaunay網を用いる。

## 2. 乳ガンの画像特徴

外科医師がマンモグラムを使って読影診断を行うときに用いる乳癌の特徴は2つのタイプに分けられる。その特徴の一つは、高濃度領域として現れる腫瘍影と呼ばれるもので、悪性の場合には不整形で、spiculaという放射状パターンを伴う場合もある。もう一つの特徴は石灰化像である。これは、微細でかつ高いコントラストをもつ石灰がある程度、密に存在した場合、悪性腫瘍とみなされる。微小石灰化像は視触診では検出することができず、早期乳ガンの発見に利用される。自動診断のためにはこれらの自動検出は重要な問題である。本論文では、腫瘍影の自動検出を目標として、その輪郭線を自動抽出することを考える。しかし、腫瘍はその形状および大きさは腫瘍の種類、病期などによって多種多様である。それゆえ、形を特定化した手法、マッチングを使うこと

は困難である。そこで、腫瘍抽出のために次のような乳癌全般に共通する特徴を用いることにする。1) 腫瘍陰影のコントラストが比較的高い。2) 腫瘍は乳腺、血管と異なってある大きさを持ち、その大きさは他の組織よりも大きい。

一般に、空間周波数領域でのローパスフィルタの適用によって小さなパターンは除去され、大きなパターンだけをとらえることができるが、対象物の形状もまたなめらかになる。そこで、元画像での腫瘍の正確な輪郭線を抽出するためには、低い解像度で得られた輪郭線の候補である、エッジ点を高い解像度のエッジ点と対応付けていく必要がある。そのために、尺度空間フィルタリングという手法を導入する。

### 3. 腫瘍の輪郭線の抽出

#### 3. 1. 尺度空間フィルタリング

雑音の多い画像を扱う場合、人間の視覚処理戦略では、まず大局的構造に注目し、徐々に部分の精細な特徴を見つけ出そうとすることが知られている。このような階層的なものの見方を実現するために、尺度空間フィルタリングという手法が提案されている[7]。画像に対して次のような2次元ガウシアンを畳み込むことにより、様々な解像度で画像をとらえることができる。

$$F(x, \sigma) = f(x) * g(x, \sigma) \quad \dots(1)$$

$f(x)$  : 入力画像

$\sigma$  : 標準偏差

$g(x, \sigma)$  : ガウス関数

$F(x, \sigma)$  : 尺度空間画像

図1は、尺度空間フィルタリングで追跡された零交差を示している。この手法では、尺度（解像度）を変えながら、その都度、図1の点線として示される零交差を連続的に追跡することにより、大局的にも有意義な対象を雑音の影響を抑えながら詳細に抽出できると考えられる。

#### 3. 2. Delaunay網

腫瘍の輪郭線の要素の候補として考えられるエッジ線は、尺度空間フィルタリングによって得られるが、雑音などのため連結されていない。しかし、腫瘍の閉じた輪郭線が要求されていることから、エッジ線を連結する必要がある。そこで、計算幾何学分野で研究されているDelaunay網と呼ばれる点と点の“近さ”を自然な形に定義した平面グラフを導入する。そのグラフは、点と点の距離および位置関係の“近さ”を表している。以下にDelaunay網の定義を示す。

平面上に指定された有限個の点集合  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  に対して、 $d(p, p_1)$  を2点  $p, p_1$  のユークリッド

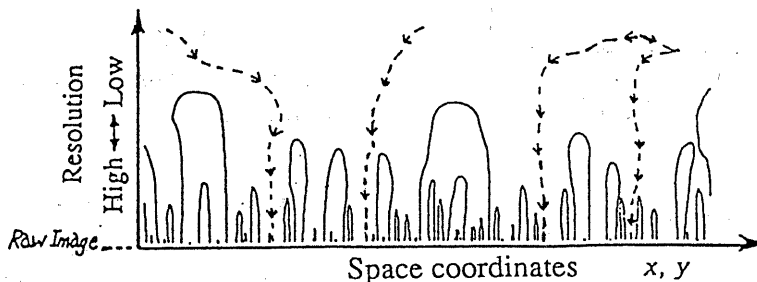


図1. Scale-space でのエッジの追跡

距離としたとき,

$$V(p_i) = \{p \in R^2 \mid d(p, p_i) < d(p, p_j) \\ \text{for } j=1, 2, \dots, n; j \neq i\}$$

を  $p_i$  のVoronoi領域といい、平面のVoronoi領域  $V(p_1), V(p_2), \dots, V(p_n)$  への分割をVoronoi図という。図2の点線がVoronoi図である。Pに属す点をこのVoronoi図の母点という。Voronoi領域は、他のどの母点より  $p_i$  に近い点全体のなす領域である。二つのVoronoi領域の境界をなす線分または、半直線、直線はVoronoi辺と呼ばれる。Voronoi図は距離の概念に基づいた母点の勢力圏分布を表しているので、Voronoi領域が境界を共有する2個の母点は”隣りあっている”とみなすことができる。二つのVoronoi領域がVoronoi辺を共有するとき、それに対応する母点を線分で結んでできる図形は、Delaunay網と呼ばれる[8][9]。図2の実線がDelaunay網である。

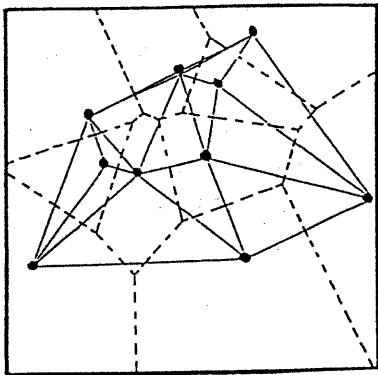


図2.Voronoi図 ----  
Delaunay網 ——

### 3. 3. 輪郭線の抽出方法

我々は、マンモグラムから腫瘍の正確な輪郭を抽出する。その手続きは、以下ようになる。まず、尺度空間フィルタリングによって元画像を様

様な解像度の画像にほかし、それぞれの解像度画像からエッジ点を抽出する。次に、エッジ点を最も低い解像度から最も高い解像度の画像まで追跡する。その後、それぞれの解像度画像で分断された輪郭線を連結するためにDelaunay網を利用してエッジ線の端点間をDelaunay辺で補う。それぞれの手続きの詳細を次章で説明する。

#### 3. 3. 1 エッジ点の抽出

初めに、元画像にエアシングを防ぐためハミング窓関数をかける。次に様々な解像度で画像を得るために、ローパスフィルタをかけ、そのカットオフ周波数を様々な値に変える。それから、それぞれの解像度の異なる画像から零交差をエッジ点として抽出する。

#### 3. 3. 2 エッジ点の追跡

図1のように連続的に解像度を取っているのではなく、離散した解像度画像を取り扱っている。それなので、エッジ点を追跡するためには隣接する解像度の画像間で何らかの基準を導入してエッジ点を対応付けなければならない。隣接する解像度間のエッジ点が類似していれば、それらに対応付けることにする。ここでは次の2つの条件を使った。1) エッジ点間の距離が十分に短い、2) エッジ点のグラディエントベクトルの方向が類似している。この条件を用いて尺度空間でエッジ点を追跡することができる。

##### (a) エッジ点の距離

$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  を隣接した解像度画像のエッジ点の座標とする。

$$(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \leq d \quad \dots(2)$$

##### (b) グラディエントベクトルの方向差

それぞれのエッジ点に対して、グラディエントベクトルの方向を計算する。 $\theta_1$ と $\theta_2$ は隣接

した解像度画像のエッジ点の方向を表す。

$$|\theta_1 - \theta_2| \leq \phi \quad \dots(3)$$

条件式(2),(3)を満たすエッジ点是对应付けの候補として見なされる。図3は、2つの条件を利用した、隣接する解像度画像のエッジ点の対応付けの例を示している。

### 3.3.3 エッジ線の連結

ここでは、分断された輪郭線を連結するために、Delaunay網を使う。まず、エッジ線の端点およびエッジ点からなる点集合を母点集合とするVoronoi図を作成し、その双対グラフであるDelaunay網を得る。それから、結ぶべきエッジ線の端点のペアを決定し、そのペアを結ぶパスをDelaunay網の辺から選ぶ。その手続きは、以下のような

る。

最初に、エッジ線の端点を取り出し、端点に隣接するエッジ点の位置によってエッジ線の端点の方向を決める。ある端点に注目するとき、その端点の方向がある角度以内で互いに向き合うような端点を連結すべき候補とする。ただし、ある距離を超える候補は除外する。その候補が2つ以上の場合、距離が最も短いものを選ぶ(図4参照)。従って、2点を結ぶパスは、Delaunay辺を選ぶのが適当である。以上の操作をそれぞれの解像度画像で繰り返す。

平面グラフであるDelaunay網を用いない場合、結ぶべき点の組み合わせを全て、すなわち完全グラフの辺を結ぶべき辺の候補として考えなければいけない。しかし、Delaunay網の性質より結ぶべき辺の候補の数を限定できる。

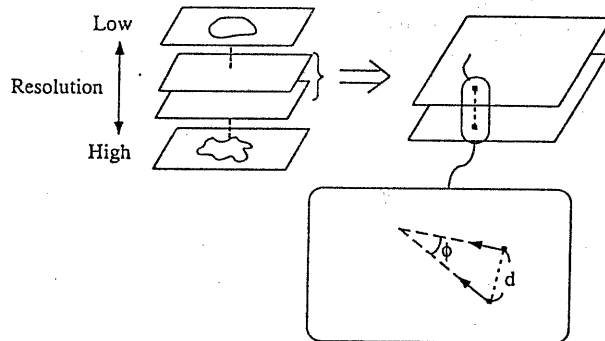


図3. 隣接解像度画像間での対応付け

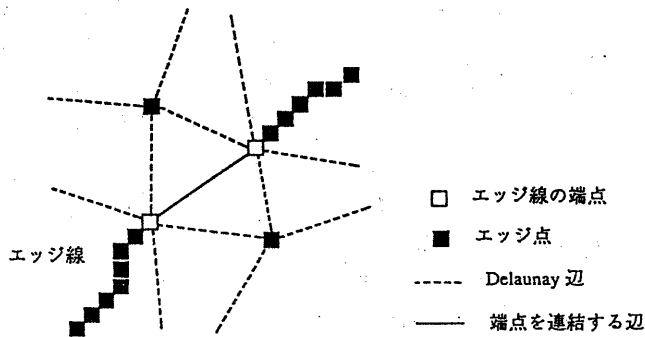


図4. エッジ線の端点の連結

#### 4. 実験結果

本論文では、悪性腫瘍を含んでいる実際のフィルムマンモグラムを使って実験を行った。入力画像は、フィルムマンモグラフィから256階調の濃度を持ち、画素数が256×256ピクセルのデジタル画像におとしたものである(図5)。



図5. 入力画像

まず、図5の入力画像にローパスフィルタをかけ、カットオフ周波数を変えることで図6のような様々な解像度の画像をとらえる。図6は、(a),(b),(c),(d)と解像度が順々に低くなっている、すなわち、だんだんと画像をぼかしている。次に、それぞれの解像度画像でエッジ点を抽出し、閉じた輪郭線を形成するためにDelaunay辺を使ってエッジ線の端点を連結する。その後、それぞれの解像度で得られたエッジ点をより高い解像度画像のエッジ点と対応付けるために、3.3.2で導入した(2),(3)式を用いた。本実験では、 $d=2$  ((2)式)、 $\phi=120^\circ$  ((3)式)と設定した。こうして輪郭線の候補となるエッジ点を隣接解像度間で追跡し、この操作を最も高い解像度画像、すなわち元画像まで繰り返す。図7は、図6のそれぞれの解像度で抽出された輪郭線である。本実験では、最も低い解像度でのエッジ点の初期輪郭線候補の設定を

マニュアルで行った。図7からわかるようにエッジ線の連結は、局所的な範囲ではほぼ連結されているが、輪郭線は閉じてはいない。それは、隣接解像度間でのエッジ点の対応付けの設定やエッジ線の連結のアルゴリズムがまだ不完全であるからと考えられる。

#### 5. まとめと今後の課題

本論文では、実際のフィルムマンモグラムをデジタル化した画像から尺度空間フィルタリングとDelaunay網を使って腫瘍の輪郭線を自動抽出する手法を提案した。その手法を用いて実験を行った結果、閉じた輪郭線を得るまでにはいたらなかった。その問題を解決するために、隣接解像度間のエッジ点の対応付けのルール確立が必要である。また、エッジ線の連結のルール、手法の改善も必要である。本実験では、初期輪郭線候補のエッジ点の決定をマニュアルで設定したが、輪郭線の自動抽出のためには避けられない問題である。さらに、本論文では用いなかったが早期段階において乳癌の発見に有効な特徴、微小石灰化像の検出が望まれる。

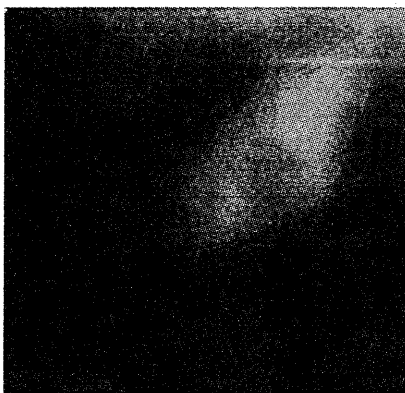
#### 謝辞

この研究は、広島大学原爆放射能医学研究所、田中氏と大崎氏との共同研究の一部である。本論文で用いたデータは彼らの提供によるものである。ここに感謝の意を表す。

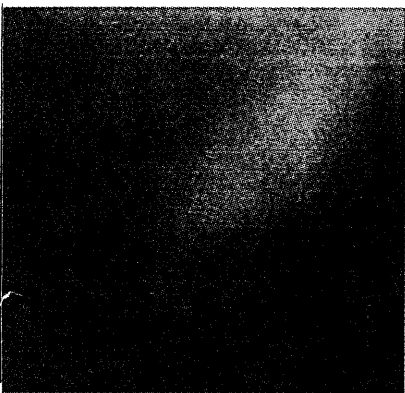
(a) 入力画像



(b)  $f_c = 6.5$  Hz



(c)  $f_c = 3.5$  Hz



(d)  $f_c = 1.8$  Hz

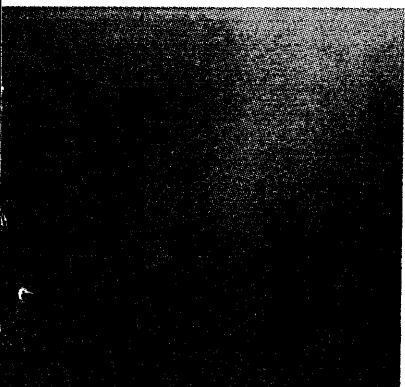
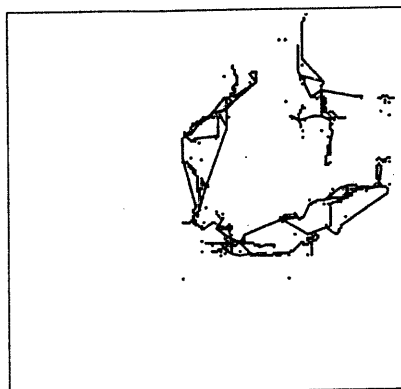
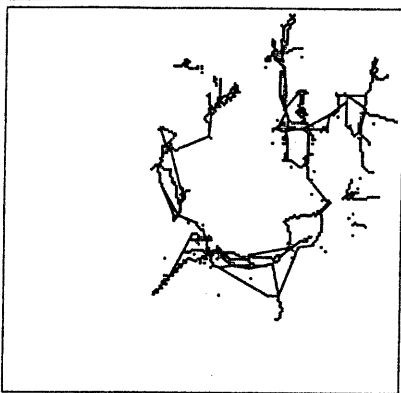


図6. 様々な解像度の画像。(a)は入力画像,  
(a),(b),(c),(d)と順々に解像度が低い。

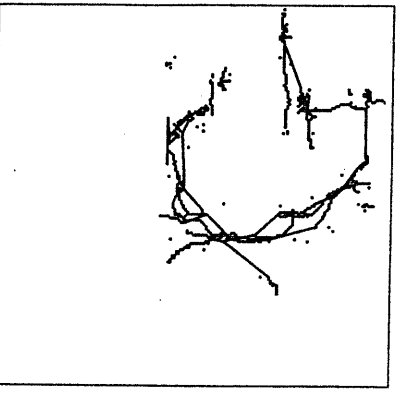
(a)



(b)



(c)



(d)

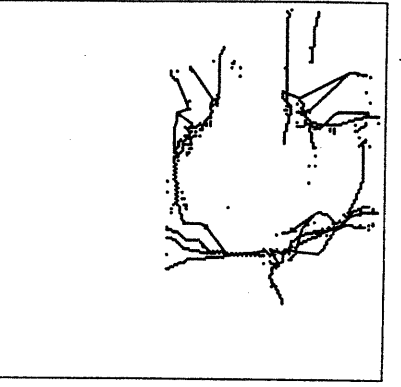


図7. 図6の画像に対してエッジ線を  
連結した結果。

## 参考文献

- [1] 小島ほか, "X線画像におけるボケ・雑音処理の新たな改善法と医療診断への適用", 平成元年度電気関係学会中国支部連合大会予稿集, pp.190-191, October, 1989.
- [2] A.P.D hawan et al, "Enhancement of Mammo-graphic Features by Optimal Adaptive Neighborhood Image Processing", IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol.MI-5.No.1, March, 1986.
- [3] 長澤ほか, "画像解析による乳房腫瘍超音波診断の定量化", 第4回メディカルパソコン学術集会論文集, pp.1-4, 1990.
- [4] 金, 小畑, "Morphologyによる癌の自動診断のための特徴抽出について", 学術講演論文集, pp.179-180, 1990.
- [5] 金, 小畑, "多重構造要素を用いたモルフォロジーフィルタによる微小石灰化像の抽出", 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J75-D-II, No.7, pp.1170-1176, 1992年7月.
- [6] K.Aisaki et al., "Finding Stomach in X-ray Film Using Computational Geometry", Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp.85-88, 1990.
- [7] A.P.W itkin, "Scale-space Filtering ", Proc. of IJCAI '83, pp.1019-1022, 1983.
- [8] 伊理 (監修), "計算幾何学と地理情報処理", 共立出版, 東京 (1986).
- [9] 杉原, "計算幾何学的手法と画像解析", 情報処理学会論文誌, Vol.30, No.9, pp.44 - 52 Sep 1989.
- [10] 岡崎, "臨床画像", メジカルビュー社, Vol.3, No. 5, pp.10-21, 1987.