

断層映像法の基礎 第23回 画像位置合わせの前処理 (セグメンテーション)

篠原 広行¹⁾、橋本 雄幸²⁾

¹⁾ 首都大学東京人間健康科学研究科 放射線科学系
²⁾ 横浜創英短期大学 情報学科

はじめに

第22回では、2次元画像の位置合わせをするときに、事前に処理をしておかなければならない前処理におけるフィルタ処理について解説した。第23回では、その前処理におけるセグメンテーションについて解説する。

画像の特徴を把握するためのセグメンテーションには、閾値を設けて特定の部位を分ける処理と部位の境界を検出する処理がある。閾値を設けて分ける処理は2値化から始まって、その修正方法やそこから境界線を出す方法、さらに連結処理とラベリング処理がある。また、直接境界線を検出する処理には、微分フィルタやラプラシアンフィルタによる方法がある。これらの

セグメンテーションの方法について解説し、数値シミュレーションを行いながら処理の様子を確認する。

1. 画像の閾値処理
 - 1-1 2値化
 - 1-2 膨張と収縮
 - 1-3 境界線追跡
 - 1-4 連結処理とラベリング
2. 境界線検出
 - 2-1 微分フィルタ
 - 2-2 ラプラシアンフィルタ

1. 画像の閾値処理

1-1 2値化

画像の特徴を捉える方法に、画像の値を2つにしてしまう2値化処理がある。例えば、背景と頭部からなるMRIの画像から頭部を取り出そうとすると、ある値から2つに区切って0と1の値にすればよい。頭部を

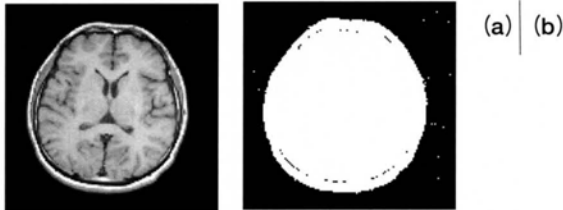


図1 MRI画像と2値化画像
(a) MRI画像。
(b) 2値化画像。

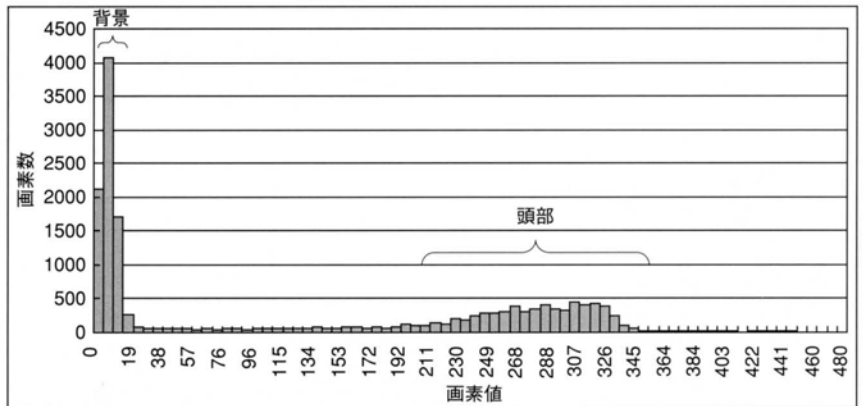


図2 MRI画像のヒストグラム

とりだした例を図1に示す。図1(a)がMRI画像で、図1(b)はそれを2値化して頭部のみを白色で表したものである。この処理で決めなければならないのは、どの値で区切るかということである。区切る値を割り出す方法に、画像のヒストグラムから見つける方法がある。図1(a)のMRI画像のヒストグラムを図2に示す。図2に示すように、画像の背景部分とその他の部分はヒストグラムできれいに分かれている。このように領域がほぼ分かれている場合は、その分かれ目付近の値を閾値として画像を2つの値に分けることができる。その閾値をaとすると、2値化された画像g(x,y)は、

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & f(x,y) < a \\ 1 & f(x,y) \geq a \end{cases} \quad (1)$$

と表すことができる。ここで、f(x,y)は原画像の濃度分布を表す。図1(b)は、閾値を26に設定して2値化した結果である。

また、2値化には閾値を2つ設定し、画像を2つに分けることもできる。2つの閾値をaおよびbとすると、2値化された画像g(x,y)は、

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & f(x,y) < a \\ 1 & a \leq f(x,y) \leq b \\ 0 & f(x,y) > b \end{cases} \quad (2)$$

と表すことができる。ここで、f(x,y)は原画像の濃度分布を表し、閾値はa<bとして設定されているものとする。図1(a)のMRI画像で閾値を2つ設定して2値化した画像を図3に示す。図3では、a=300, b=350として2値化している。

1-2 膨張と収縮

画像の2値化は、ノイズなどの影響によりきれいに分けられるとは限らない。例えば、図4(a)に示すように2値化した対象領域の内部に小さな孔ができることや、図4(b)のように背景領域に小さな島ができることがある。それらの小さな孔や島をとる方法として、膨張と収縮の利用がある。

膨張は、対象領域を1、背景領域を0と考えると、ある画素が1の値を持つとき、その画素の隣接8点の値を1にする処理である。また、収縮は逆にある画素が



図3 2つの閾値から2値化した画像

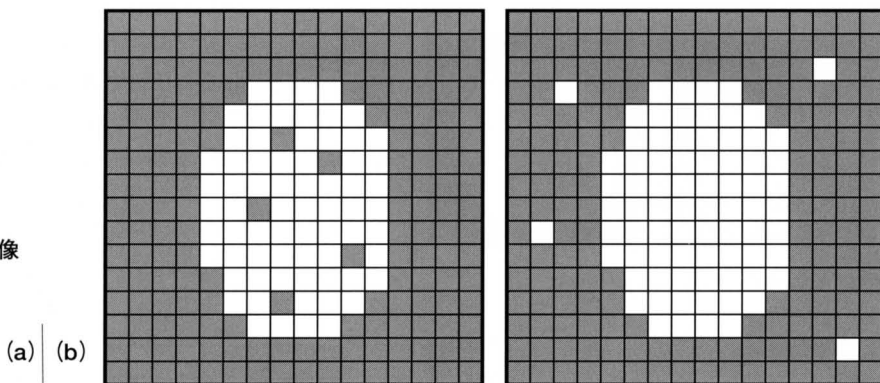
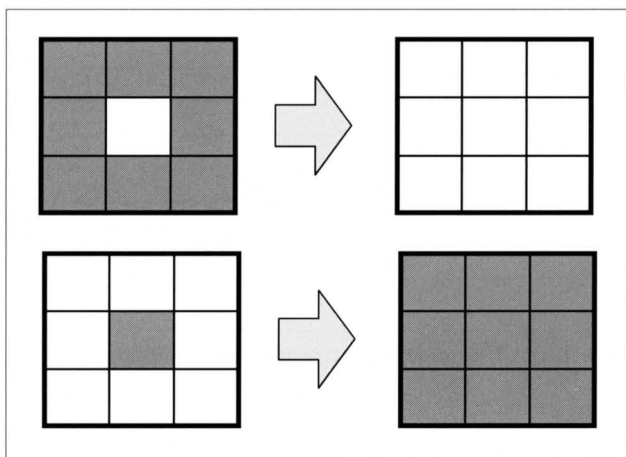


図4 孔と島

- (a) 対象領域に孔がある場合。
- (b) 背景領域に島がある場合。



(a)

(b)

図5 膨張処理と収縮処理

- (a) 注目点が1(白色)の場合、その周りの8画素を1にすることで膨張処理となる。
- (b) 注目点が0(黒色)の場合、その周りの8画素を0にすることで収縮処理となる。

0の値を持つとき、その画素の隣接8点の値を0にする処理である。膨張処理の模式図を図5(a)に、収縮処理の模式図を図5(b)に示す。図5(a)では、3×3マトリクスの中心にある注目画素が1(白色)の場合、その周りの8カ所の画素を1(白色)にする処理を表している。周りの値に1がある場合はそのまま1とする。この処理をすべての画素に行えば、結果として膨張処理となる。図5(b)では、3×3マトリクスの中心にある注目画素が0(黒色)の場合、その周りの8カ所の画素を0(黒色)にする処理を表している。周りの値に0がある場合はそのまま0とする。この処理をすべての画素で行えば、結果として収縮処理となる。図1(b)に対して膨張を行った画像を図6(a)に、収縮を行った画像を図6(b)に示す。膨張によって孔がなくなり、収縮によって島がなくなる様子が見てとれる。

この膨張と収縮を組み合わせることによって、2値

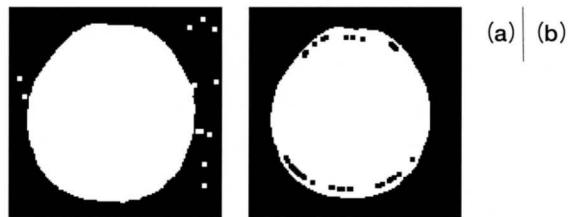


図6 膨張処理と収縮処理
(a) 図1(b)の画像に膨張処理を行った画像。
(b) 図1(b)の画像に収縮処理を行った画像。

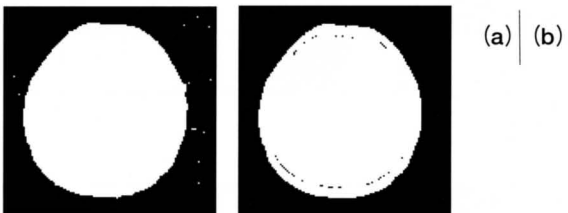


図7 膨張処理と収縮処理の組み合わせ
(a) 図1(b)の画像に膨張処理を行った後に収縮処理を行った画像。
(b) 図1(b)の画像に収縮処理を行った後に膨張処理を行った画像。



図8 孔と島を取り除いた画像

化画像から孔や島をとることができる。孔をとるためには、膨張してから収縮を行い、島をとるためには収縮してから膨張を行う。膨張した際に小さな孔は無くなり、その後に収縮を行っても孔は復活せずに他の部分の大きさは元に戻る。同様に収縮した際に小さな島は無くなり、その後に膨張を行っても島は復活せずに他の部分の大きさは元に戻る。図1(b)に対して、膨張を行ってから収縮を行った画像を図7(a)に、収縮を行ってから膨張を行った画像を図7(b)に示す。また、両者を行って孔と島をとった画像を図8に示す。

このように、膨張と収縮を組み合わせることで、2値化した際に残ってしまった小さな孔や島は取り除くことができる。

1-3 境界線追跡

きれいに2値化された画像は、その境界線を追跡しながら抽出することが容易にできる。境界線を追跡する方法は、以下の手順で行う。

- ① 画像の左上端から背景領域を検索し、対象領域との境界部分を探す。
- ② 境界部分が見つかったら、その画素に印を付ける。
- ③ その画素から隣接4点を反時計回りに検索し、対象領域が見つかった画素に印を付ける。
- ④ ③を繰り返し、印の付いた画素に戻ってきたら検索を終了する。
- ⑤ さらに背景領域を検索し、印の付いてない対象領域との境界部分を探す。
- ⑥ 境界部分が見つかったら②に戻って同じことを繰り返す。

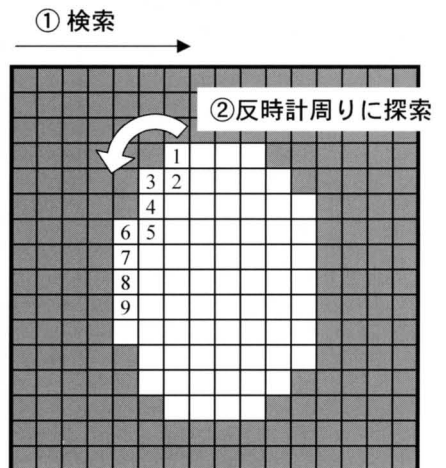


図9 境界線追跡の模式図

境界線追跡の模式図を図9に示す。対象領域の左上の部分で1つ目の画素が検出され、その画素から順に反時計回りで境界の画素が検出されていく様子が描かれている。境界線が順に検出され、元の場所に戻ったところで検出が終了する。この方法で、図8に示した孔と島を取り除いた2値化画像から境界線を抜き出した画像を図10に示す。境界線のみが描出されている。

1-4 連結処理とラベリング

2値化した画像が複数の領域に分かれているとき、それらの領域に番号を振る操作をラベリングと呼ぶ。ラベリングで領域を識別する際に、連結処理が行われる。連結処理とは、ある画素が隣接する他の画素と連結しているかを識別する処理である。連結には、4連結と8連結がある。4連結は、注目画素の上下左右の画素と連結しているかを識別する方法で、8連結は、上下左右の他に斜め方向に隣接している4点を含めて8点の画素と連結しているかを識別する方法である。図11には、注目画素に隣接する8点を含めた3×3画素の4連結を表す4つのパターンを示す。図12には、同様に3×3画素の8連結を表す8つのパターンを示す。8連結では斜め方向の画素でも連結していると見なす。MRI画像を2値化した図3の画像を4連結と8連結で

ラベリングした結果を図13に示す。図13(a)は4連結でラベリングしてあり、図13(b)は8連結でラベリングしてある。2値化した大きな領域の端の辺りで連結の違いが見られる。

ラベリングを利用して、2値化した画像の島や孔を取り除くこともできる。ラベリングした領域の画素数が特定の数よりも小さい場合を省くことによって、画素数の小さい領域、いわゆる島を取り除くことができる。また、逆に背景領域をラベリングして同様のことを行うことによって孔を取り除くことができる。図13のラベリングした画像に、50画素未満の領域に対して省く処理を行った結果を図14に示す。4連結と8連結の両者とも周りの島が取り除かれ、最も大きな領域が抽出されている。

また、抽出したい領域のおおよその画素数が分かっていたら、その領域のみを抜き出すことができる。ラベリングした領域に対して、画素数を数えて、その画素数が指定した範囲内にある領域のみを残す。図3の画像に対して、背景領域をラベリングした画像を図15に示す。図15(a)は4連結でラベリングしてあり、図15(b)は8連結でラベリングしてある。このラベリング画像で50画素以上1000画素以下の領域のみを取り出した画像を図16に示す。4連結と8連結の両者とも中

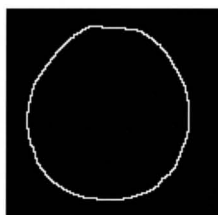


図10 2値化したMRI画像(図8)から抽出した境界線画像

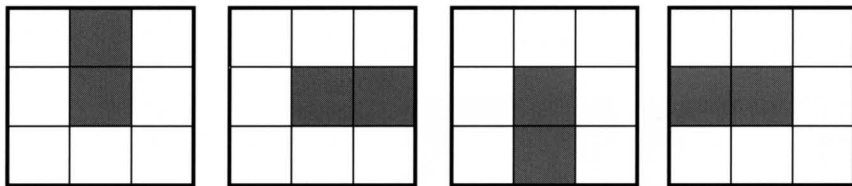


図11 4連結のパターン

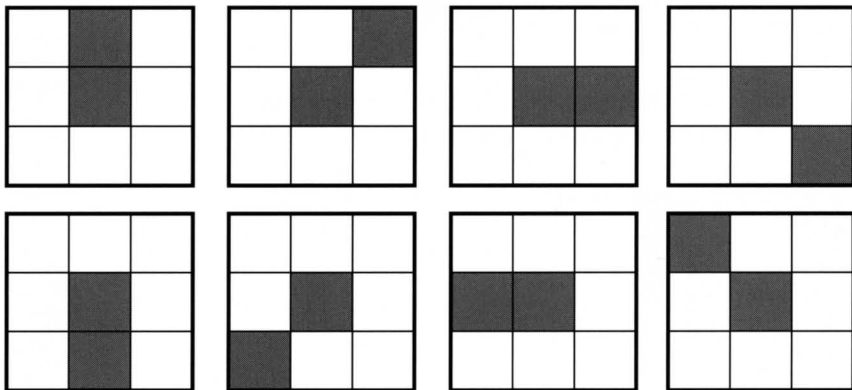


図12 8連結のパターン

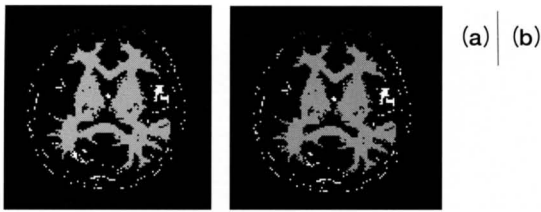


図13 2値化したMRI画像(図3)をラベリングした画像
 (a) 4連結でラベリングした画像。
 (b) 8連結でラベリングした画像。

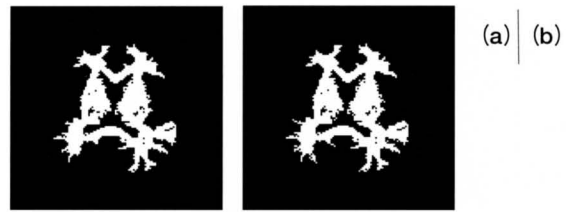


図14 ラベリングした画像から50画素未満の領域を省いた画像
 (a) 4連結のラベリング画像から作成した画像。
 (b) 8連結のラベリング画像から作成した画像。

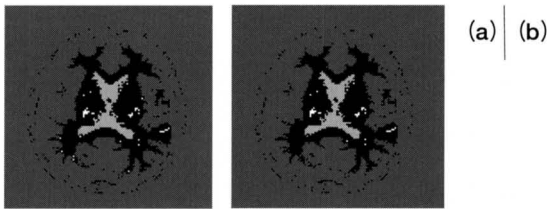


図15 2値化したMRI画像(図3)の背景領域をラベリングした画像
 (a) 4連結でラベリングした画像。
 (b) 8連結でラベリングした画像。

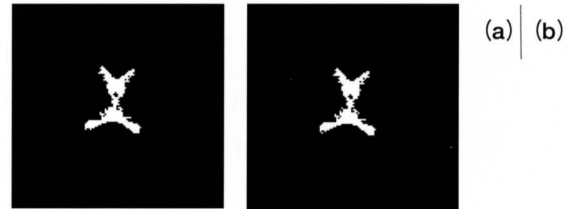


図16 図15のラベリングした画像から50画素以上1000画素以下の領域を取り出した画像
 (a) 4連結のラベリング画像から作成した画像。
 (b) 8連結のラベリング画像から作成した画像。

央の領域のみが抽出されている。このように特定の領域のみを抽出することができる。

2. 境界線検出

2-1 微分フィルタ

前回解説した空間フィルタを利用して、画像の微分を行うことができる。計算は、画像とフィルタの重畳積分の形で、

$$g(m,k) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 f(m-j, k-i)h(j,i) \quad (3)$$

となる。横方向の微分フィルタ $h(j,i)$ は、

$$h(j,i) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

または、

$$h(j,i) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

と表される。縦方向の微分フィルタ $h(j,i)$ は、

$$h(j,i) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

または、

$$h(j,i) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

と表される。これらのフィルタは、Prewittフィルタと呼ばれている。これらのフィルタを図1(a)のMRI画像に処理した結果を図17と図18に示す。図17(a)は横方向の(4)式のPrewittフィルタを処理した画像で、図17(b)は横方向の(5)式のPrewittフィルタを処理した画像である。また、図18(a)は縦方向の(6)式のPrewittフィルタを、図18(b)は縦方向の(7)式のPrewittフィルタを処理した画像である。それぞれの中央の重みを1と-1から2と-2に大きくしたフィルタをSobelフィルタと呼んでいる。

2-2 ラプラシアンフィルタ

画像の2次微分を処理する空間フィルタをラプラシアンフィルタと呼んでいる。このフィルタ $h(j,i)$ は、

$$h(j,i) = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

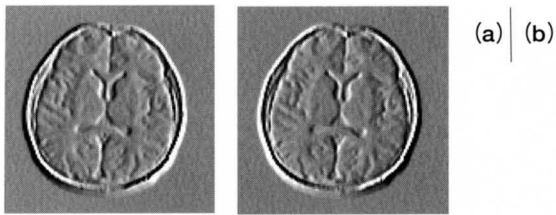


図17 横方向のPrewittフィルタ処理画像

- (a) 横方向の (4) 式のPrewittフィルタ。
 (b) 横方向の (5) 式のPrewittフィルタ。



図18 縦方向のPrewittフィルタ処理画像

- (a) 縦方向の (6) 式のPrewittフィルタ。
 (b) 縦方向の (7) 式のPrewittフィルタ。

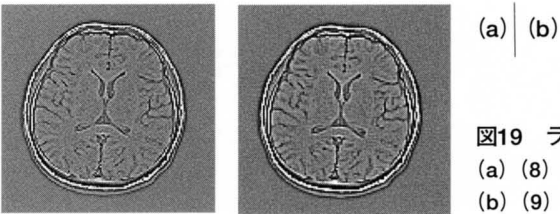


図19 ラプラシアンフィルタ処理画像

- (a) (8) 式のラプラシアンフィルタ。
 (b) (9) 式のラプラシアンフィルタ。

または、

$$h(j,i) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

と表される。このフィルタを図1 (a) のMRI画像に処理した結果を図19に示す。図19 (a) は (8) 式のラプラシアンフィルタを処理した画像で、図19 (b) は (9) 式のラプラシアンフィルタを処理した画像である。両者とも境界線をきれいに描出している。

謝辞：本稿で使用したプログラムの開発は、平成17年度～平成19年度首都大学東京共同研究費 (富士フィルム R I ファーマ株式会社)、および平成19年度首都大学東京傾斜的配分研究費によるものである。

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的の複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619