

濃度等高線表現に基づく陰影領域の抽出

新沼 厚一郎 杉本 晃宏 松山 隆司

京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻

本研究では、画像表現として濃度等高線画像を採用し、陰影領域の抽出をおこなう。濃度等高線画像表現は、等高線と呼ばれる複数の閉曲線によって表される画像表現である。まず、陰影領域内の明度値の変化はその境界での明度値の変化より小さいという性質を利用して、各等高線を線分に区切り、陰影領域内を表す線分とそれ以外の線分とに分ける。その後、同一陰影領域内の線分は、互いに平行であるという性質を利用して、陰影領域とグループとが 1 対 1 に対応するように、線分をグループ化する。最後に各グループが表す領域を切り出すことで、陰影領域を抽出する。

Detecting Shading Regions based on the Contour Representation of an Image

Koichiro Niinuma Akihiro Sugimoto Takashi Matsuyama

Department of Intelligence Science and Technology

Graduate School of Informatics, Kyoto University

We propose a method for detecting shading regions from an image where the image is represented as a set of contour lines. The change in brightness within shading regions is less than that of their boundaries. Based on this property, we first divide each contour line into contour segments. We can then discriminate the contour segments in shading regions from others. In addition, in order to form groups of contour segments for shading regions, we use the property that contour segments belonging to a single shading region are parallel with each other. This allows one group of contour segments to correspond to one shading region. Now, we only have to enclose each group to identify the shading regions in the image.

1 はじめに

画像処理の分野では、通常、画素を単位とするデジタル画像表現が用いられている。しかしこの画像表現は、画像に写された対象の形の情報を捨てているため、扱いに困難が生じるような分野も存在する。例えば、領域分割がそれにあたる。画素を単位とするデジタル画像表現に基づく限り、一度、捨てられた形の情報を再構築しなければならず、様々な問題が生じる。領域分割の一例として、エッジ検出により得られる多数のばらばらのエッジをつないで境界線を得る、という方法 [3] がある。しかし、エッジの検出自体の正確性の問題、エッジの検出もれの問題、エッジの誤検出の問題、ばらばらのエッジをどうつなぐかという問題等、多くの問題が生じ、その処理は非常に複雑であるにも関わらず、正しく境界線を得ることができない。

一方、画素を単位とするデジタル画像表現とは異なる画像表現として、濃度等高線表現がある。濃度等高線表現は、画素の明度値をその位置における標高とみなす画像表現である。各等高線は、ある明度値以上（もしくは以下）の画素を囲む閉曲線として表され、開始点の座標値とそこからどの向きにその等高線が存在するかを順に示すチェーンコードの系列によって抽出される。つまり、画素を単位とするデジタル画像表現が形の情報を一切持たないのに対し、濃度等高線画像は、閉曲線である等高線として形の情報を持っている、ということができる。それゆえ、濃度等高線画像表現には、画素を単位とするデジタル画像表現にはない長がある。

このような観点に基づき、濃度等高線によって画像を表現し、各等高線を処理単位とした、画像処理手法 [1][2][4] が提案されている。例えば、滑らかさを保ち画像を拡大する手法、閉曲線である等高線が傷によって非連結になっている部分をつなぎ直すことで、写真などの傷を修復する手法等が提案されている。

以上のように、濃度等高線画像表現は、画素を単位とするデジタル画像表現の欠点を補う画像表現であると考えることができる。

しかし、一本の等高線には、物体やテクスチャの境界を表している部分、陰影領域内の陰影を表している部分等のように、一般に、複数の物理的意味が対応づけられる。それゆえ、等高線を処理単位とすると、その等高線に対応づけられている複数の物理的意味を区別することができなくなる。

そこで、本論文では、各等高線をそこに対応づけられた物理的意味ごとに線分（以後、等高線線分と呼ぶ）に区切り、その線分を処理単位として画像を処理する方法を提案する。等高線線分を処理単位とすれば、例えば、各等高線線分をその物理的意味に応じてグループ化することで、同じ性質を持った領域を抽出することができる。本論文では、このような考え方に基づいて、等高線線分を処理単位とした陰影領域の

抽出を取り上げる。

2 濃度等高線に基づく画像表現

2.1 濃度等高線表現の定義

画素単位のデジタル画像に対して、次の 2 種類の画素集合を定義する。 $U(i)$ は、閾値 i 以上の明度値を持つ画素の集合である。また、 $L(i)$ は、閾値 i 未満の明度値を持つ画素の集合である。

$$U(i) := \{(x, y) \mid u(x, y) \geq i\} \quad (1)$$

$$L(i) := \{(x, y) \mid u(x, y) < i\} \quad (2)$$

ただし、 (x, y) は画像中の画素の座標値を表し、 x, y は、それぞれ、 $0 \leq x \leq I_h, 0 \leq y \leq I_v$ を満たす非負の整数である。 I_h, I_v はそれぞれ、画像サイズを表す定数である。 N は、明度値の上限を表す定数である。 $u(x, y)$ は画素 (x, y) での明度値を表し、 $0 \leq u(x, y) \leq N$ を満たす非負の整数である。 i は $0 \leq i \leq N$ を満たす非負の整数である。画素集合 $U(i), L(i)$ の例を、図 1 に示す。

同じ閾値 i における画素集合 $U(i), L(i)$ には、

$$U(i) = \overline{L(i)} \quad (3)$$

なる関係がある。

3	1	1	1	1	1	0
1	2	2	2	3	3	1
1	3	3	0	0	0	1
1	3	3	0	2	0	1
0	0	0	0	0	0	0

(a) 画像の例

	1	1	1	1	1	0
1						1
1			0	0	0	1
1			0		0	1
0	0	0	0	0	0	0

(b) $i=2$ における $U(i)$

3						
	2	2	2	3	3	
	2	3				
	3	3				

(c) $i=2$ における $L(i)$

図 1: 画素集合 $U(i), L(i)$ の例

式 (1), (2) で定義される画素集合を考える。その時、画素集合 $U(i)$ (もしくは $L(i)$) の要素 (x_1, y_1) が含まれる 4 連結領域¹ を、 R_1 とする。また、4 連結領域

¹ 画素集合の任意の 2 点 A と B に関して、A から 4 近傍の点のみをたどって B まで到達できるとき、2 点は 4 連結であるという。また、点 A と 4 連結であるすべての点の集合を点 A が含まれる 4 連結領域であるという。

R_1 に含まれない要素 (x_2, y_2) が含まれる 4 連結領域を R_2 とする．同様に, 4 連結領域 R_1, R_2, \dots, R_{n-1} に含まれない要素 (x_n, y_n) が含まれる 4 連結領域を R_n とする．このように, 式 (1),(2) で定義される画素集合は, 複数の 4 連結領域からなる． $U(i)$ の各画素は, これら 4 連結領域のなかのひとつの 4 連結領域のみに含まれる．

画素集合 $U(i)$ を 4 連結でラベル付けし, 領域番号 n の 4 連結領域を R_n とする．また, 画像上のすべての画素の集合を Z で表す．すなわち, 画素集合 Z の各要素は, 画素集合 $U(i)$ か画素集合 $L(i)$ のどちらかひとつのみに必ず含まれる．その時, 連結領域 R_n の濃度等高線 $T(R_n)$ を, 以下を満たす画素 (x, y) の集合として定義する．

$$(x, y) \in R_n \text{ に対して,}$$

$$(m, n) \in \overline{R_n} (= Z - R_n) \text{ 且つ } (m, n) \in N_4(x, y)$$

を満たすような (m, n) が存在する．

この定義から, 濃度等高線 $T(R_n)$ は 4 連結領域 R_n の境界を 8 隣接で結んだ複数の閉曲線² になることが分る．

R_n のみで囲まれた $\overline{R_n}$ の 4 連結領域を R_n の穴と呼ぶことにする．すると, 濃度等高線 $T(R_n)$ には, 領域の外側の境界を表す濃度等高線 (外側濃度等高線と呼ぶことにする) が必ず一本存在する．また, 外側濃度等高線の他に, 穴の境界に対応する複数の濃度等高線 (穴濃度等高線と呼ぶことにする) が存在する．つまり, 等高線 $T(R_n)$ は, 一本の外側濃度等高線と, 複数の穴濃度等高線からなる．

式 (3) の関係より, $U(i)$ の 4 連結領域の穴はそれぞれ, 同じ閾値 i の $L(i)$ のいずれかの 4 連結領域の, 外側濃度等高線で囲まれる領域になっている．また, $L(i)$ の 4 連結領域の穴はそれぞれ, 同じ閾値 i の $U(i)$ のいずれかの 4 連結領域の, 外側濃度等高線で囲まれる領域になっている．したがって, 閾値 i の画素集合 $U(i)$ (もしくは $L(i)$) の領域番号 n の 4 連結領域を $R_n(i)$ で表すとすると, 4 連結領域 $R_n(i)$ は, その外側濃度等高線で囲まれる領域から, その領域内にある, $L(i)$ (もしくは $U(i)$) の外側濃度等高線で囲まれる領域を除いたものになる．

このように 4 連結領域を定義をすれば, 外側濃度等高線のみで画像を表現しても, 問題は生じない．そこで, 本研究では, 外側濃度等高線のみを扱うことにする．以後, 外側濃度等高線を単に濃度等高線と呼ぶことにする．これにより, ひとつの 4 連結領域 $R_n(i)$ について, 濃度等高線は必ず一本のみ存在することになる．

画素を単位とするデジタル画像に対して, すべての閾値 i における画素集合 $U(i), L(i)$ を求める．それらすべての画素集合のすべての連結領域における

² R_n の幅が 1 もしくは 2 画素分しかない部分に対しても, その部分の等高線は閉曲線であるとみなす．

濃度等高線を求める．このようにして求めた等高線の集合で表される画像表現を濃度等高線画像表現と呼ぶ．濃度等高線の例を図 2 に示す．

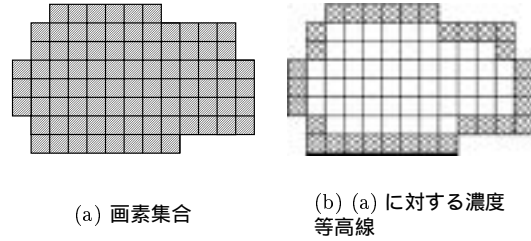


図 2: 濃度等高線の例

2.2 濃度等高線の包含関係と隣接関係

画素集合 $U(i)$ と $U(i - M)$ (M は $0 < M \leq i$ を満たす正の定数) とには, 以下の関係がある．

$$U(i) \subseteq U(i - M) \quad (4)$$

いま, 画素集合 $U(i)$ を 4 連結でラベル付けし, 領域番号 k の 4 連結領域を $R_k(i)$ と表す時, M をある値に決めると, 任意の $R_k(i)$ に対して, 以下の関係を満たす 4 連結領域 $R_l(i - M)$ は, 必ずひとつだけ存在する．

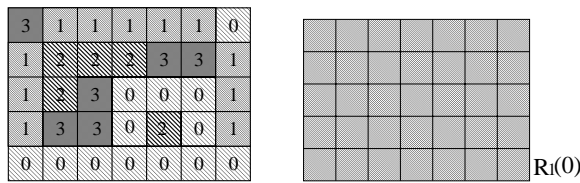
$$R_k(i) \subseteq R_l(i - M) \quad (5)$$

このような, $U(i)$ に関する関係を領域の包含関係と呼ぶ．この時 $R_k(i)$ を $R_l(i - M)$ の被包含領域, $R_l(i - M)$ を $R_k(i)$ の包含領域と呼ぶことにする．同様に, $T(R_k(i))$ を $T(R_l(i - M))$ の被包含等高線, $T(R_l(i - M))$ を $T(R_k(i))$ の包含等高線と呼ぶ．このような等高線の間を, 等高線の $U(i)$ に関する包含関係と呼ぶ．なお, $T(R_k(i))$ に対して, $T(R_k(i))$ 自身は包含関係にあるとはいわない．

$T(R_l(i))$ の包含等高線, 且つ, $T(R_l(i - M))$ の被包含等高線であるような等高線が存在しないとき, $T(R_k(i))$ と $T(R_l(i - M))$ は, 隣接関係にあるという．つまり, 等高線表示を m ごとにした場合, $R_k(i)$ と $R_l(i - m)$ が包含関係にあれば, $T(R_k(i))$ と $T(R_l(i - m))$ は隣接関係にある．この時, $T(R_k(i))$ を $T(R_l(i - m))$ の子等高線, $T(R_l(i - m))$ を $T(R_k(i))$ の親等高線と呼ぶ．

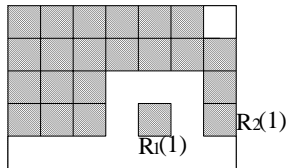
すべての閾値 i に対する隣接関係を求め, それを木構造で表したものを $U(i)$ に関する包含木と呼ぶ． $U(i)$ に関する包含木の例を図 3 に示す．

以上, $U(i)$ に関してのみ用語を導入したが, $L(i)$ に関して同様である．

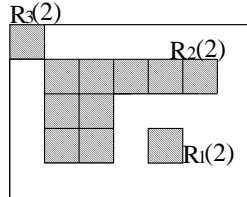


(a) 画像の例

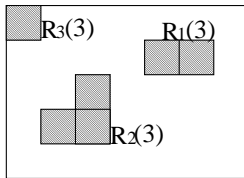
(b) $i=0$ における $U(i)$ の画素集合



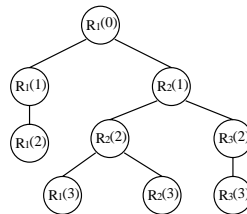
(c) $i=1$ における $U(i)$ の画素集合



(d) $i=2$ における $U(i)$ の画素集合



(e) $i=3$ における $U(i)$ の画素集合



(f) $U(i)$ に関する包含木

図 3: $U(i)$ に関する包含木の例

2.3 等高線線分

画素集合 $U(i)$ (もしくは $L(i)$) を 4 連結でラベル付けし、領域番号 n の 4 連結領域を $R_n(i)$ とする。また、4 連結領域 $R_n(i)$ の濃度等高線を $T(R_n(i))$ とする。

いま、等高線を線分に区切るための基準が与えられているとする。この時、閉曲線である濃度等高線 $T(R_n(i))$ を与えられた基準に基づき複数の線分に区切る。区切られた線分をそれぞれ等高線線分と呼ぶ。

それぞれの等高線線分に対して、区切られた順に番号を与え、番号 m の等高線線分を $S_m(R_n(i))$ で表すことにする。それぞれの等高線線分は、等高線同様、画素を要素として持つ集合である。等高線線分の画素集合 $S_m(R_n(i))$ の任意の 2 要素は互いに 8 連結の関係にある。なお、一本の等高線 $T(R_l(i))$ が h 本の等高線線分に分けられたとすると、等高線 $T(R_l(i))$ に含まれる各画素は、 $S_1(R_l(i)), S_2(R_l(i)) \cdots S_h(R_l(i))$ のどれかひとつの等高線線分のみならず含まれる。形の情報を持つ等高線を分割してできた等高線線分も

形の情報を持つ。

このようにしてできた各等高線線分は、ひとつの物理的意味と対応づけられる。その後の処理は、この等高線線分を処理単位として扱う。なお、各等高線線分は、開始点の座標値、終了点の座標値、チェーンコードの系列で管理するものとする。

3 陰影領域の抽出

3.1 陰影領域内の等高線

陰影領域には、以下の性質がある。

- I. 陰影領域内の明度値の変化は、その領域を囲む境界での明度値の変化に比べ小さい。
- II. 陰影領域内の明度値の変化は、なだらかで、且つ、一様に明るく、あるいは、暗くなっていく。

画素単位のデジタル画像での明度値の変化の度合は、濃度等高線画像表現では、明度値の異なる等高線が同じ点を通った数として表される。等高線画像表現内で、明度値の異なる等高線が座標 (x, y) を通った数を $C(x, y)$ で表すことにする。その時、陰影領域の性質は、濃度等高線画像表現では、次の様になる。

1. 明度値の異なる等高線が座標 (x, y) を通った数 ($C(x, y)$ の値) が、陰影領域内と陰影領域の境界を表す部分とでは大きく異なる。
2. 陰影領域に対応づけられる等高線線分は局所的に平行であるとみなすことができる。

以下では、陰影領域内の等高線線分のこのような性質に基づいて、陰影領域を抽出する方法を述べる。

3.2 等高線線分の切出

3.1 節にのべた陰影領域の 1. の性質より、閉曲線であるすべての等高線を陰影領域内を表す部分と、その領域の境界を表す部分とに切断する。具体的には、各等高線中で、 $C(x, y)$ が閾値 k 以上異なる部分で、切断すれば良い。この閾値 k を切断の閾値とよぶことにする。各等高線線分は、開始点、終了点、この 2 点を結ぶチェーンコードの系列によって、抽出される。

このようにして抽出された等高線線分のなかで、陰影領域内を表す等高線線分が、少なくとも満たさなければならぬ条件がある。

- 等高線線分の両端の座標を $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ とし、元の等高線上でその線分の両端と隣り合った線分外の点をそれぞれ $(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2)$ とする。そのとき、陰影領域を表す可能性のある等高線線分は、3.1 節で述べた陰影領域の性質 1. より、 $C(x'_1, y'_1) - C(x_1, y_1) > k$ 且つ $C(x'_2, y'_2) - C(x_2, y_2) > k$ である。
- 等高線線分中の $C(x, y)$ の値が非常に大きいとき、そこでの変化はなだらかでない。よって、それらの等高線線分は陰影領域内を表す線分ではないと考えられる。陰影領域を表す可能性のある等高線線分は、すべての点での $C(x, y)$ の値の平均が、閾値以下である。

そこで、すべての等高線線分の中から、この条件を満たす等高線線分のみを選び、この条件を満たす等高線線分を陰影領域の候補線分とよぶ。

包含関係にある2本の等高線において、包含等高線を切断してできた等高線線分を包含線分、被包含等高線を切断してできた等高線線分を被包含線分と呼び、この関係を線分の包含関係という。また、隣接関係にある2本の等高線において、親等高線を切断してできた等高線線分を親線分、子等高線を切断してできた等高線線分を子線分と呼び、この関係を線分の隣接関係という。

3.3 等高線線分のグループ化

3.1節でのべた陰影領域の性質2.より、2本の等高線線分が同じ陰影領域を表す線分であれば、局所的に互いに平行の関係にあり、且つ、その2線分は包含関係にある。そこで、各陰影領域の候補線分に対して、そのような線分が存在するかどうかを調べ、もし見つければ、同一のグループに属するとみなす。すべての陰影領域の候補線分に対してこの処理をおこなう。結果、同じグループに入れられた線分を、同じ陰影領域を表す線分であると判断することが出来る。

ある線分が陰影領域内を表す線分であれば、その付近に、局所的に互いに平行である親線分もしくは子線分が存在するはずである。つまり、平行であるかどうかの判断は、各線分に対して、隣接関係にある線分に関してのみ行えば十分である。

平行であるかどうかの判断

2本の等高線線分が選ばれたとき、平行の比較をする区間を求める。まず、同一の陰影領域を表す2本の等高線線分の開始点同士、終了点同士を結んだ線が、交わることはないことに注意しておく。2本の隣接する等高線線分に対して、それぞれの開始点から、他方の線分への最短距離とそれを達成する他方の線分の対応点を求める。終了点に関しても同様に求める。それぞれで最短距離の短い方の端点と対応点とで定められる区間を平行であるかどうかを判断する区間とする。図4に例を示す。但し、図中の点線は境界の領域を表す等高線線分を、実線は陰影を表す等高線線分を表し、平行の判断は2本の矢印の内側のみとする。なお、比較する区間が線分の長さに対して短いときには、平行でないとして判断する。

その後、比較する区間内のすべての点からもう一方の線分への最短距離を求める。その上限と下限の差が閾値以下であれば、平行であるとする。この時に用いる閾値を、平行判断の閾値とよぶことにする。

3.4 陰影領域の切出

3.4.1 グループの選択

前節で陰影領域の候補となるグループを作成した。そのグループの中で、陰影領域を表す等高線線分のグループと判断されるものを、選択する。以下にグループ選択の基準を述べる。

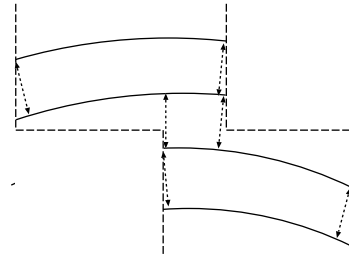


図4: 平行の比較をする区間

- グループを構成する等高線線分の数が少ないものは、信頼性が低い。そこで、グループを構成する等高線線分の数が閾値以上のグループのみを、陰影領域を表すグループとして選択する。
- グループを構成する等高線線分すべてが、ほとんど同じところを通っている線分である場合は、陰影領域を表すとは判断されない。よって、グループが表す領域の大きさがある値以上のもののみを、陰影領域を表すグループとして選択する。この時に用いる閾値をグループの領域幅の閾値と呼ぶことにする。

この性質に当てはまるグループが、陰影領域を表すと判断できる。

3.4.2 陰影領域の抽出

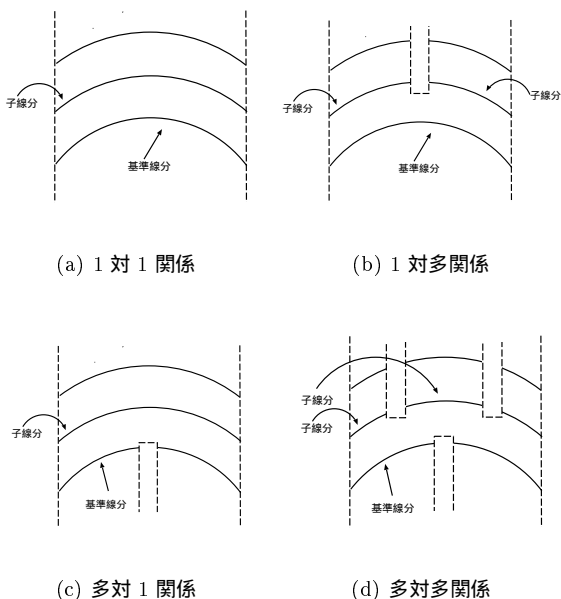
ここまで述べた処理によって、陰影領域とグループとが1対1に対応するようなグループ化が実現されている。そこで、各グループが表している陰影領域を切り出すことを考える。明度値 i 以上を囲む線分グループに関してのみ記述するが、明度値 i 以下を囲む線分グループに関してのも同様である。

グループ化の際に、各線分に対して同じグループ内のどの線分とどの区間を比較したかという情報が得られている。この情報を利用して等高線線分の端点を結び、領域を抽出することを考える。

グループ内の各等高線線分に対して、その線分と平行であると判断された親線分を平行親線分とよび、その線分と平行であると判断された子線分を平行子線分と呼ぶ。また、グループに属する各等高線線分に対して、その線分が平行親線分か平行子線分かどちらか一方しか持たないとき、その線分をグループの端を表す線分と呼ぶ。

今、線分の端点同士をつないだ線分と、グループの端を表す線分とで、閉曲線をつくり、その閉曲線が陰影領域を囲む閉曲線を表すようにすることを考える。まず、ある等高線線分(基準線分と呼ぶ)を選んだとき、その平行子線分との関係を使ってどの端点同士を結ぶかを決定する。線分とその平行子線分間関係には、1対1関係、1対多関係、多対1関係、多対多

関係の 4 つの場合がある．それぞれの関係の例を図 5 に示す．ただし，図中の点線は領域の境界を表す等高線線分を，実線は陰影を表す等高線線分を表す．



(a) 1 対 1 関係

(b) 1 対多関係

(c) 多対 1 関係

(d) 多対多関係

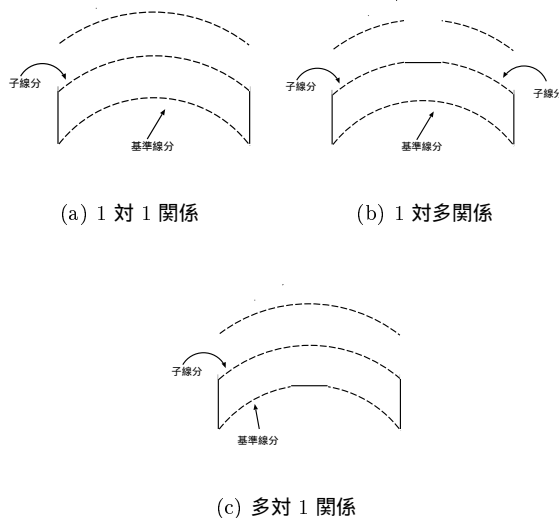
図 5: 基準線分とその子線分との関係

線分間の関係は原理的には 4 通りあるが，ほとんどの場合，1 対 1，1 対多，多対 1 関係のいずれかに当てはまる．そこで，本研究では，すべての線分間の関係が 1 対 1，1 対多，多対 1 関係のいずれかである場合のみを扱う．

それぞれの場合に対して，端点の結び方を述べる．

1. 1 対 1 関係 2 線分の開始点同士，終了点同士を線分で結ぶ．図 6(a) に結び方を示す．但し，図中では，等高線線分を点線で，端点を結んだ線を実線で表す．これは，図 6(b),(c) に対しても同様である．
2. 1 対多関係 基準線分の開始点の一番近くに存在する平行子線分の開始点と，基準線分の開始点同士を結ぶ．また，基準線分の終了点の一番近くに存在する平行子線分の終了点と，基準線分の終了点同士を結ぶ．その後，結ばれていないすべての平行子線分の開始点と，その開始点を持つ平行子線分が平行の比較をした隣の区間で基準線分と平行の比較をした平行子線分の終了点とをつなぐ．図 6(b) に結び方を示す．
3. 多対 1 関係 基準線分の平行子線分を，基準線分に置き換える．そして，置き換えられた基準線分の親線分を子線分に置き換えて，1 対多関係と同様の処理をする．図 6(c) に結び方を示す．

この 3 つの方法を用いて，グループ内のすべての線分の端点同士を順に結ぶ．その端点同士を結んだ線分と端を表す線分とで，閉曲線ができる．その閉曲線の内側の領域が，そのグループが表す陰影領域として抽出される．



(a) 1 対 1 関係

(b) 1 対多関係

(c) 多対 1 関係

図 6: 基準線分とその子線分との関係による線分の結び方

4 実験

本論文のアルゴリズムの有効性を確認した．まず，撮影環境をのべる．

1. カメラから約 3 メートル離れた場所に平面状の発泡スチロールを 1 枚置き，カメラからみて右側からスポットライトで発泡スチロールを照らし，画像を撮影した．得られた画像を図 7 に示す．
2. カメラから約 3 メートル離れた場所に平面状の発泡スチロールを 2 枚置き，カメラからみて右側からスポットライトで発泡スチロールを照らし，画像を撮影した．得られた画像を図 8 に示す．

得られた画像を等高線表現にしたものを，それぞれ図 9,13 に示す．この等高線画像を，等高線上の明度値の変化の大きさに基づいて，線分に区切った．区切られた位置を示す画像を，それぞれ図 10,14 に示す．濃い色で表されている点が，区切られた場所を示す．その後，線分のグループ化をおこなった．グループ化後の画像を，それぞれ図 11,15 に示す．濃い色で表されている点が，グループ化された線分を示す．図 15 には，複数のグループが存在するので，グループごとに色の濃さを変えている．図 11 では，1 グループが，図 15 では，4 グループができていのがわかる．またそれぞれのグループが示す領域を図 12,16 に示す．



図 7: 撮影画像 (発泡スチロール 1 枚)



図 8: 撮影画像 (発泡スチロール 2 枚)

図 11,15 をみると、どちらもある程度グループ化ができていますが、正しくされていないところがある。原因としては以下の 2 つが考えられる。

1. 等高線が等高線線分に正しく区切られていない。これは、切断の閾値 (3.2 節) が大きすぎたためであると考えられる。カメラの性能の問題により、コントラストの激しい境界部分が数画素の幅をもつ。このため閾値をある程度低くしても陰影領域内を表す部分と境界部分とに区切れない部分が出てくる。また、閾値を低くとりすぎると、陰影領域内で線分に区切られてしまったり、陰影領域内以外の部分で細かく線分に区切られる事になる。細かく区切られた線分は、他の線分と平行であると判断されやすくなるので、誤ったグループが出現しやすくなる。
2. 等高線線分間のグループ化が正しくされていない。これは、平行判断の閾値 (3.3 節) が小さすぎたためであると考えられる。閾値を小さくとると、このような問題が生じるが、大きくとると逆に誤ったグループが出現しやすくなる。

5 おわりに

画素単位のデジタル画像表現は、形の情報を持たないために、領域分割などの処理には不向きであると考えられる。これに対し、形の情報を持つ画像表現として濃度等高線表現がある。しかし、各等高

線には、一般に、複数の物理的意味が対応づけられているため、一本の等高線そのものを処理単位とする方法を用いると、その等高線に対応づけられている複数の物理的意味を区別することができなくなる。そこで、本研究では、閉曲線である各等高線をその性質により線分に区切り、その線分を処理単位として、陰影領域を抽出する方法を提案した。まず、陰影領域とその境界とは明度値の差が激しいことを利用して等高線を等高線線分に区切った。次に、陰影領域内の等高線線分は形として平行であるという性質を利用して、ひとつの陰影領域とひとつのグループとが対応するように、等高線線分をグループ化した。最後に、このグループ内の等高線線分を結ぶことによって陰影領域を抽出した。

本研究のアルゴリズムを改善することで、実画像に対しても、より正確な領域抽出が可能になると考える。具体的には、等高線線分の本ごとの形の情報を用いることが考えられる。本研究で用いた等高線の形の情報は、平行という等高線線分間の関連性を調べるためだけであった。しかし、一本の等高線線分そのものの形の情報、例えば、曲率の情報等を組み込むことで、より正確に陰影領域を抽出することができるようになると考えられる。

今後の方向として、濃度等高線画像表現を用いて、陰影領域の平面の法線ベクトルを求める事などが考えられる。画像中の対象に平面性を仮定しておけば、陰影領域内を表す等高線線分の曲率により、それぞれの陰影領域が表れている平面の法線ベクトルを求めることが可能となる。今後、法線ベクトルを具体的に求めるアルゴリズムを考案していく予定である。

参考文献

- [1] 浅野 哲夫, 木村 宗一, 嶋津 茂昭, “画像の等高線表現とその応用”, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No12, pp.3242-3251, 1996.
- [2] 原口 秀剛, “濃度等高線表現に基づく画像の構造表現”, 学士論文, 1998.
- [3] 白井 良明, “コンピュータビジョン”, 昭晃堂, pp10-38, 1980
- [4] V.Caselles, B.Coll, J-M.Morel, “Topographic Map and Local Contrast Changes in Natural Images”, *International Journal of Computer Vision*, 33(1), pp.5-27, 1999.



図 9: 等高線表示 (発泡スチロール 1 枚)



図 13: 等高線表示 (発泡スチロール 2 枚)



図 10: 等高線線分に区切る位置 (発泡スチロール 1 枚)

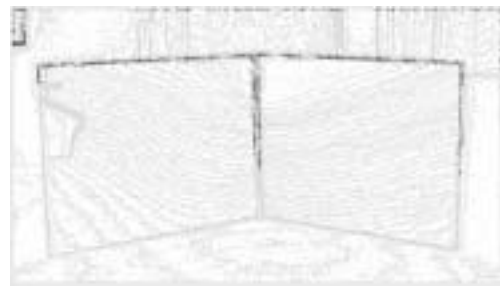


図 14: 等高線線分に区切る位置 (発泡スチロール 2 枚)



図 11: グループ化された等高線表示 (発泡スチロール 1 枚)

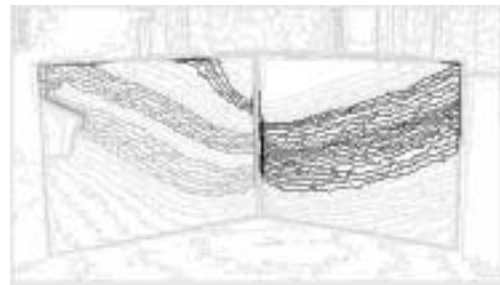


図 15: グループ化された等高線表示 (発泡スチロール 2 枚)



図 12: グループが表す領域の切出 (発泡スチロール 1 枚)

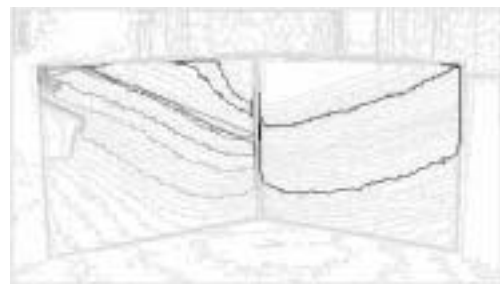


図 16: グループが表す領域の切出 (発泡スチロール 2 枚)