

統計的仮説検定を用いた画像分割方式

大堀敦史 渡辺俊典 菅原研 角田夏貴
電気通信大学 大学院 情報システム学研究所

概要

統計的仮説検定を用いた、画像の種類に左右されない新しい画像分割方式を提案する。画像を正方領域に区切り、平均値と分散値を同時に考慮した MST(=Minimum Spanning Tree) を作成し、統計的仮説検定による統合法を用いて画像の領域分割を試みた。また、領域間の境界部を滑らかにするために仮想領域を用い、画素レベルからの検定を可能にした。その結果、画像の種類による領域分割精度の違いをなくすことに成功した。最終的に模擬画像にたいする領域分割により、その効果を実証した。

キーワード：領域分割、MST、t検定、マスク、仮想領域

Image Segmentation Using Statistical Testing

Atsushi Ohori Toshinori Watanabe Ken Sugawara
Graduate School of Information Systems,
The University of Electro-Communications

We propose a new technique of image segmentation using statistical test of hypothesis which is independent of image types. We divide the image into square domains, and find the MST of the graph defined on these domains. Domains are fused using the t-test, thereby eliminating the need to introduce image-specific fusing thresholds. We introduced the notion of the virtual domain to realize pixel-level t-test, which is effective to smooth domain boundaries. Moreover, we adopted the multi-scale framework that descends upper level segmentation decisions to lower levels, which is effective to enhance segmentation quality. The effectiveness of our proposal is illustrated using test images.

Keywords : Segmentation , MST , t-test , Mask , virtual domain

1 序論

近年、商用高空間分解能衛星の打ち上げが成功し、飛躍的に分解能が向上した。その結果、従来の観測衛星の分解能では不可能であった都市計画、環境・災害監視、地図作成[1][2]への実利用も可能になってきた。

これらの画像処理の基礎となる画像の領域分割に関する研究は多く報告されている。代表的なもののひとつに、画像をグラフ化し、グラフに従って分離、統合していく手法[1][2][3][4]がある。しかし、通常、領域分割には閾値が存在する。この閾値の設定によって領域分割結果は異なったものとなる。そして、閾値の最適値は画像の種類にも左右される。そのため、反復的に出力を行い、画像ごとに最適な閾値を、目視により探し出さなくてはならない。これらの手間のために、従来の領域分割方式はまだ改良の余地があるといえる。

本研究では、画像の領域分割に統計的仮説検定を導入することによって、画像の種類による最適閾値の変動をなくし、汎用性のある、新しい画像の領域分割方式を提案する。なお、本研究では、「領域分割」を「認識」の前処理として考えているため、特徴空間内におけるクラスタリング[5]など「分類」に属する問題は取り扱わない。

2 従来の領域分割方式

MST(=Minimum Spanning Tree)を用いた画像の領域分割方式 [1] [2] [3] [4] を以下に示す。

まず、画像の画素を1つのノードと見立て、スペクトル値のユークリッド距離をエッジの重みとして使い、図1のようにMSTを作

成する。次に重み最小のエッジから順に、閾値以下ならばリンクされている画素を併合、そうでなければ分離の処理を行っていく。最終的に、閾値以下のエッジによってリンクされている画素が全て統合されると、1枚の画像がいくつもの領域に分割される。

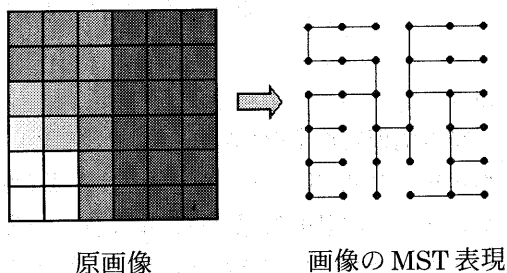


図1 画像のMST表現

3 統計的仮説検定を用いた領域分割方式

本研究では集合の平均値に対する検定を行うt検定を使用する。t検定の信頼性を向上させるため、相関性のあるRGB3次元空間のかわりに、相関性のないカラーベクトルを採用する。また、統計的仮説検定を行うため、画素単位からの処理ではなく、画像を正方領域に区切ってから処理を行う。

3.1 カラーベクトルの変換

自然画像では、RGBに相関性がある。従って、R、G、Bそれぞれ個別に検定を施しても3次元を有効に活用していない。そこで、本研究では以下の式で示す相関性のない3つのカラーベクトル I_1 、 I_2 、 I_3 を採用する[6]。

$$I_1 = \frac{R+G+B}{3}$$

$$I_2 = \frac{R-B}{2} \quad \text{または} \quad I_2 = \frac{B-R}{2}$$

$$I3 = \frac{2G - R - B}{4}$$

3.2 t 検定を用いた画像の領域分割

本研究は基本的に MST 領域分割法に t 検定を導入することにより、閾値の自動化を図るものである。

統計的仮説検定は要素数が 2 以下の場合には使用することができないため、以下に示す画像の正方領域化を行う。しかし、正方領域のサイズが大きくなるほど境界付近が粗くなり、逆に小さくなるほど広い領域に細かい部分が多く残る。

画像の正方領域化

図 2 に示すように、画像をいくつかの $2^n \times 2^n$ 正方領域に区切る。この正方領域を、要素 2^{2n} で平均値と分散値を持つ 1 つのノードと考えることができる。また、画像のサイズは $1/2^{2n}$ となる。以下、この正方領域を「マスク」、さらに、画像を正方領域の集合に変換することを、「マスク化」と称す。

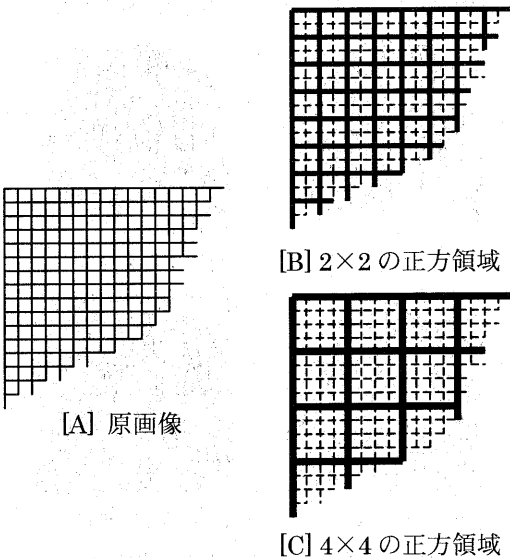


図 2 画像の正方領域化

仮想領域

1 画素を 4 つの画素の集合からなるものと仮定し、単一画素レベルの t 検定を可能化することによって境界部を滑らかにする。図 3 [A] の四角で囲まれた画素を、図 3 [B]~[E] に示す領域の中で、分散値が最小の領域を持つ (4 画素から成る) と仮定する。これを仮想領域と呼ぶ。

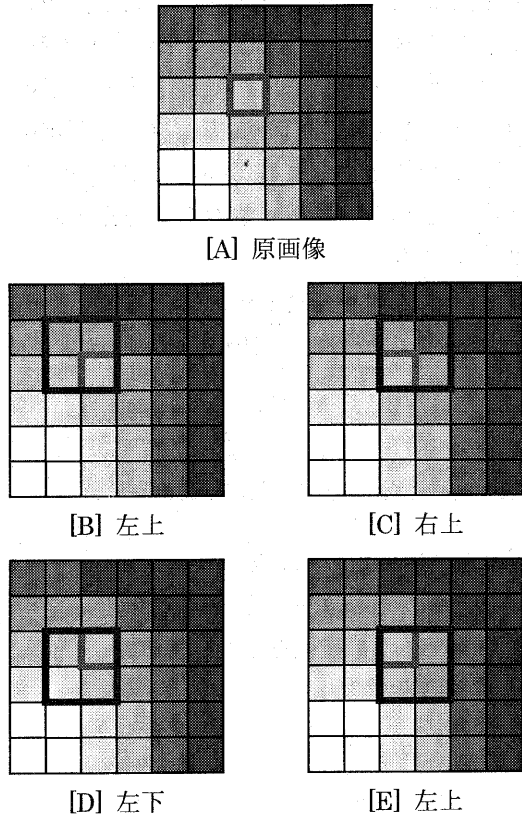


図 3 仮想領域の候補

平均値と分散値を同時に考慮する距離

画像をマスク化および仮想領域化することによって、1 つのノード (仮想領域あるいは通常の正方領域) に各カラーベクトルにおける、平均値と分散値を持たせることができる。平均値と分散値を同時に考慮する距離は以下の式を用いる。

$$W = \sqrt{(\mu_{1a} - \mu_{1b})^2 + (\mu_{2a} - \mu_{2b})^2 + (\mu_{3a} - \mu_{3b})^2 + \Omega}$$

$$\Omega = P \{ (\sigma_{1a} - \sigma_{1b})^2 + (\sigma_{2a} - \sigma_{2b})^2 + (\sigma_{3a} - \sigma_{3b})^2 \}$$

μ_1 : I₁の平均値 μ_2 : I₂の平均値
 μ_3 : I₂の平均値 σ_1 : I₁の標準偏差
 σ_2 : I₂の標準偏差 σ_3 : I₃の標準偏差
 P : 任意の変数

表1に示すように、平均値の振幅と分散値の振幅の倍率が2であるから P=4 とする。

平均値と分散値を同時に考慮することによって、森と草地のように、マスクの平均値が似ておりかつ分散値の異なっているマスクどうしが多くリンクされることを防ぐことができる。

表1 平均値と分散値の振幅

カラーベクトル	平均値	分散値
I ₁	0~255	0~127.5
I ₂	-127.5~127.5	0~127.5
I ₃	-127.5~127.5	0~127.5

t 検定を用いた領域分割

画像の局所領域を集合、画素を集合の要素と考え、2つの領域をリンクするエッジに t 検定を適用する。

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum (x_2 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

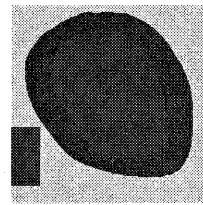
ここで、n はそれぞれ領域 1 および 2 の画素数、 \bar{x} はそれぞれ領域 1 および 2 の各カラーベクトルの平均値とする。

上式を用い、各 I₁、I₂、I₃ に対する t の値をそれぞれ t₁、t₂、t₃ で表わす。危険率 α を入力し、自由度 $v = n_1 + n_2 - 2$ の時の t の表

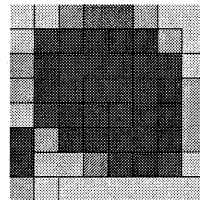
から閾値 $t_v(\alpha)$ を求める。

$t_1 \leq t_v(\alpha)$ かつ $t_2 \leq t_v(\alpha)$ かつ $t_3 \leq t_v(\alpha)$ を満たす場合、エッジによってリンクされている 2 つの領域を併合し、それ以外の場合、2 つの領域は分離する。

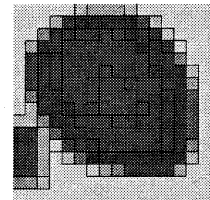
以上の処理による領域分割結果を図 4 に示す。これらの結果より、どのマスクサイズにも長所と短所がある。つまり、マスク化するだけでは、まだ t 検定を用いた領域分割では良い結果が得られない。



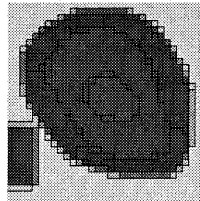
[A] 模擬画像



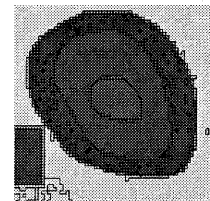
[B] 32×32 マスク



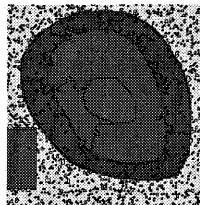
[C] 16×16 マスク



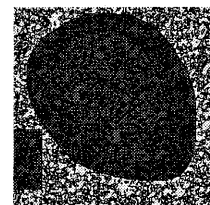
[D] 8×8 マスク



[E] 4×4 マスク



[F] 2×2 マスク



[G] 仮想領域

図4 各マスクの領域分割結果

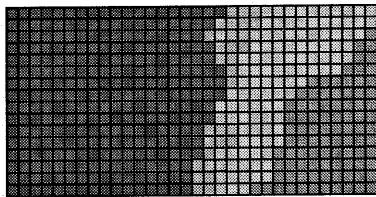
3.3 最終的な領域分割方式

画像をマスク化するだけではt検定を用いた領域分割は不完全であることが分かった。従って、サイズの異なるマスクを階層とし、各マスクのサイズによる領域分割の優れている部分のみを結果に反映させる。

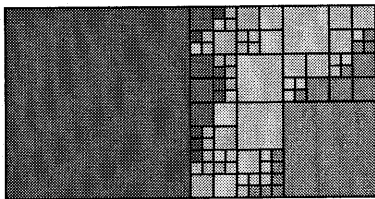
階層的なMSTの作成

画像のマスク化、仮想領域、平均値と分散値を同時に考慮する距離を用いて階層的なMSTを作成する。まず、各マスクでt検定を用いた領域分割を行う。32×32マスクを最上層、仮想領域を最下層とする。32×32マスクの領域分割結果と16×16マスクの領域分割結果を比較し、一致している部分をチェックする。同様の操作を2×2マスクまで行い、最後までチェックされていない箇所を仮想領域とすると、図5のように1枚の画像がサイズの異なるマスクの集合となる。これを「マルチスケールノード」と称する。

作成したマルチスケールノードに、各上下左



原画像



マルチスケールノード

図5 画像のマルチスケールノード化

右に面する画素全てを考慮し、MSTを作成する。

最終的にマルチスケールノードに対するMSTにt検定を用いた領域分割を行う。

4 実験・考察

危険率 0.1%、最上層を 32×32 マスクとし、図6に示す模擬画像に対し、マルチスケールノード化したものを図7、最終的な領域分割を行った結果を図8に示す。図10は、図9に示す、より複雑な模擬画像に対する領域分割結果である。

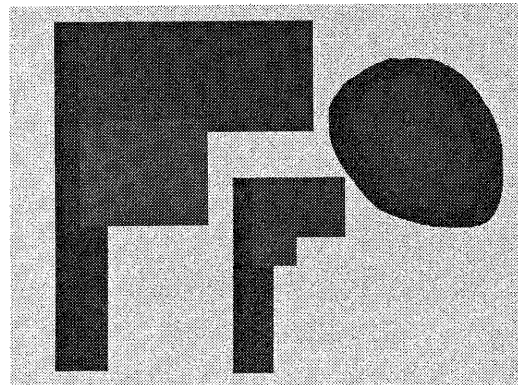


図6 模擬画像

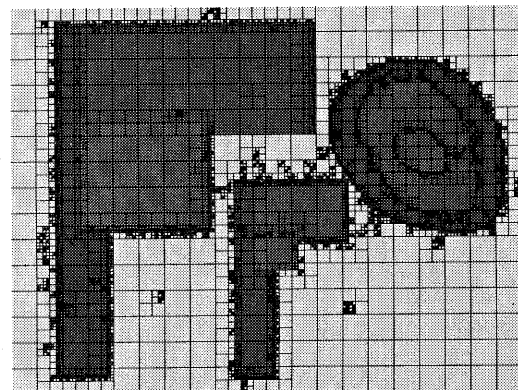


図7 マルチスケールノード

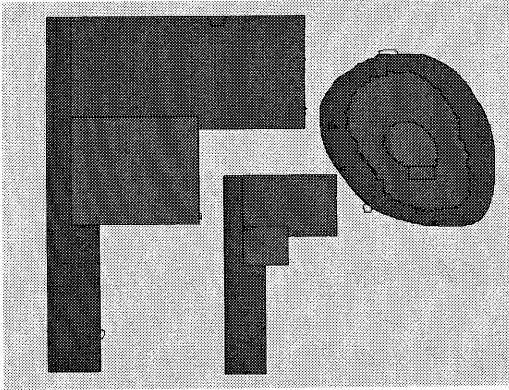


図 8 最終的な領域分割結果

これら 2 つの模擬画像の領域分割結果から、特徴の違う 2 つの画像に対し、同じ危険率で同程度の分割精度があるといえる。また、広いテクスチャ領域が過剰に分割されることなく、領域の境界付近も滑らかであることが分かる。

次に図 11 に示す衛星画像に対し、統計的仮説検定を用いた領域分割を行った結果を図 12 に示す。

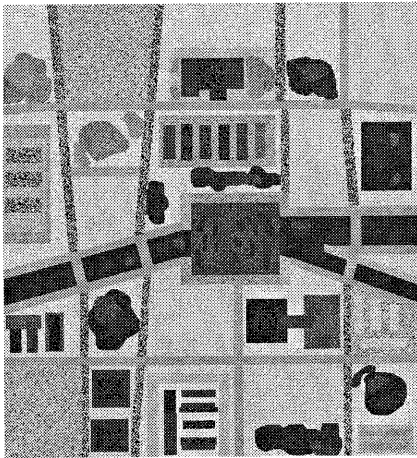


図 9 複雑な模擬画像

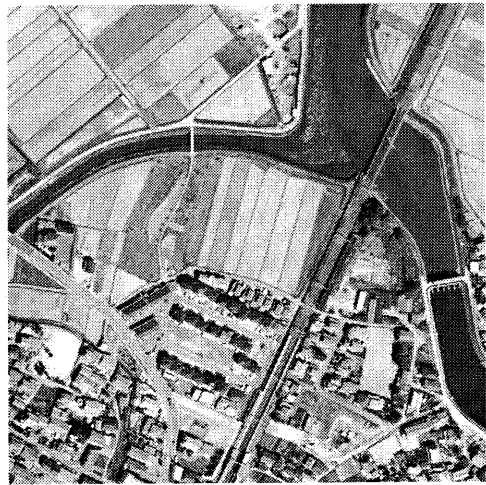


図 11 衛星画像

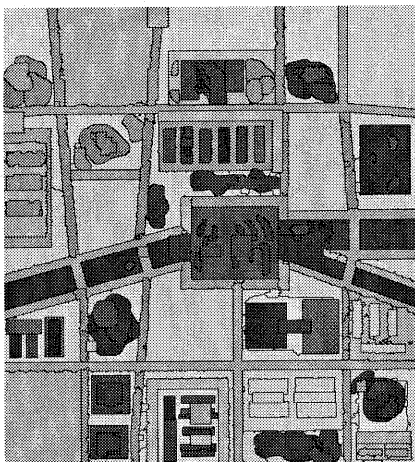


図 10 領域分割結果



図 12 領域分割結果

模擬画像より、スペクトル値の変動が激しい実画像に対し、その変動を抽出しすぎている。つまり、過剰に分割をしていることがわかる。しかし、領域の境界をうまく抽出することもできている。

5 まとめ

統計的仮説検定法を用いて様々な画像に対して一様に適用できる(画像に依存する分割・併合閾値を用いない)画像分割方式を提案し、実験によってその効果を示した。実画像に対し、領域の境界を損なうことなく、過剰分割をなくしていく方式が今後の課題である。

参考文献

- [1] T. Watanabe, K. Sugawara, and K. Sugihara, "A new pattern representation scheme using data compression", IEEE Trans. PAMI, Vol. 24, No. 5, 2002 (to appear).
- [2] 梶原寛, 渡辺俊典, 助川勝彦, 菅原研: データ圧縮を用いた航空写真からの地図作成方式, 日本写真測量学会平成12年度次学術講演会発表論文集, pp.259-262, 2000年.
- [3] Suk, M. and T. H. Cho, "Segmentation of Images using Minimum Spanning Trees", Applications of Digital Image Processing V, Proc. SPIE 397, pp. 180-185, 1983.
- [4] J. R. Lersch, A. E. Iverson, B. N. Webb, K. F. West, "Segmentation of Multiband Imagery using Minimum Spanning Trees," in Algorithms for Multispectral and Hyperspectral Imagery II, Proc. SPIE 2758, pp10-18, 1996.
- [5] M. Mirmehdi, and M. Petrou, "Segmentation of Color Textures", IEEE, Trans. PAMI, Vol22, No2, pp142-159, 2000.
- [6] Yuichi Ohta, "Knowledge-based Interpretation of Outdoor Natural Color Scenes", PITMAN PUBLISHING, 1985.