

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330046

研究課題名(和文) ガウス過程に基づく確率モデルベース画像処理技術の新展開

研究課題名(英文) A new development with Gaussian processes in probabilistic model based image processing

研究代表者

末松 伸朗 (SUEMATSU, Nobuo)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：70264942

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：画像を、写っている物体など意味のある単位に分割する画像分割処理において、ガウス過程を利用することで大幅な精度の向上を実現した。ガウス過程は、画像における空間相関をモデル化するのに利用する。従来法は、このためにマルコフランダム場(MRF)を用いるが、ガウス過程は、MRFに比べ空間相関を直接的に多様な形で指定ができる点や、画像の解像度に影響されない空間相関の表現が可能である点などで優れていると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Image segmentation is a process to divide a given image into segments corresponding to objects or some meaningful areas. We have developed a new image segmentation algorithm which uses Gaussian processes (GPs), and it accomplished significant improvements in segmentation accuracy. GPs are used to model spatial correlations in images. Although existing methods use Markov Random Fields (MRFs) for the purpose, GPs have some advantages over MRFs. For example, GPs can specify spatial correlations more directly and more flexibly than MRFs can. Moreover, GPs can model spatial correlations independently of image resolution.

研究分野：パターン認識

キーワード：画像分割 ガウス過程 混合モデル 空間相関

1. 研究開始当初の背景

多くの画像処理では、画素値や画像特徴量の持つ空間相関を利用する。例えば、画像分割においては、一つの画像セグメントは、ある程度の広がりを持っているはずである。すなわち、画素ラベルは近隣のものと同じである可能性が高いという傾向を持っており、このことをうまく利用しなければ適切な画像分割は実現できない。

従来、画像における空間相関をモデル化するためには、専らマルコフランダム場(MRF)が用いられて来た。MRFでは、ある画素と直接的な相関を持つ近傍画素に対してポテンシャル関数を定義することで空間相関を表現する。しかし、これには、計算量的な問題を回避するためには、近傍画素領域を限定的にせざるを得ない点や、空間相関が画像解像度に直接的な影響を受けてしまう点などに問題がある。

一方、近年機械学習で、ガウス過程の利用が盛んになって来ているが、これは空間相関を持つ関数の事前分布として利用しやすいのが特長である[1]。従って、画素や画像特徴をある関数の観測値と見なせば、ガウス過程事前分布により、空間相関を表現できる。そして、ガウス過程の空間相関は、共分散関数により、比較的高い自由度の下、直接的に設定することが可能であり、画像処理においての応用が期待される。

2. 研究の目的

画素の空間相関をガウス過程で表現する画像分割法の開発を目指した。混合モデルに基づく画像分割法 [2, 3] では、画素間の相関を表現するために MRF が用いられているが、その代わりにガウス過程を用いる手法の開発を目指した。MRF とガウス過程を比較すると(a) MRF では空間相関をポテンシャル関数によりやや間接的に指定しなければならないのに対し、ガウス過程では共分散関数により直接的に指定でき、共分散関数の選択肢も広い、(b) MRF は画素と直接結びついたモデルであるが、ガウス過程にとって画素は単に観測値の得られた点であるため、解像度の異なる画像でも首尾一貫した議論が容易である。これらのことから、ガウス過程の利用は有用であると期待される。

3. 研究の方法

(1) 先述の通り、文献[3]の混合モデルに基づく画像分割法では、MRF を利用しているが、これを、ガウス過程を利用するよう変更した手法を開発し、ガウス過程を画像の空間相関を表すのに利用することの有効性を示す。

(2) 画像の強度関数にガウス過程事前分布をおくことで得られる、ノイズ低減空間フィルタの開発し、その特性を調べる。

4. 研究成果

(1) 本研究では、画素の確率モデルとして、

$$p(y_v) = \sum_{c=1}^C \pi_{cv} p(y_v | \theta_c)$$

というCコンポーネントの混合モデルの形を考える。ここで、 y_v は画像の画素vの画素値であり、 $\theta_c = \{\mu_c, \sigma_c\}$ は、コンポーネントcの正規分布の平均と標準偏差である。そして、 π_{cv} が、画素vにおけるコンポーネントcの混合率である。このように、混合率が画素毎に独立に与えられているのが特徴である。もし、このモデルを、単純に画像から最尤法で学習すると、画素ラベルの空間相関を完全に無視することになり、激しく過剰分割された結果が得られる。実際には、混合率に事前分布という形で空間相関を持たせることで、より期待されるような分割結果を得る。

文献[2,3]では、この混合率の事前分布にMRFを利用したが、代わりにガウス過程を用いる手法を提案した。具体的には、ガウス過程に従う画像平面上の関数 $f_c(x)$ を考え、これらにより、

$$\pi_{cv} = \frac{\exp\{f_c(x_v)\}}{\sum_{c'=1}^C \exp\{f_{c'}(x_v)\}}$$

で混合率が決まるモデルを考案し、混合率ではなく関数 $f_c(x)$ を推定するのである。すると、混合率の空間相関は、基本的には $f_c(x)$ の事前確率過程によって規定されることになる。そして、この関数 $f_c(x)$ の推定を実現するための擬似EMアルゴリズムを開発した。

この開発した手法の有効性は、合成画像と自然画像に対する画像分割実験で検証した。

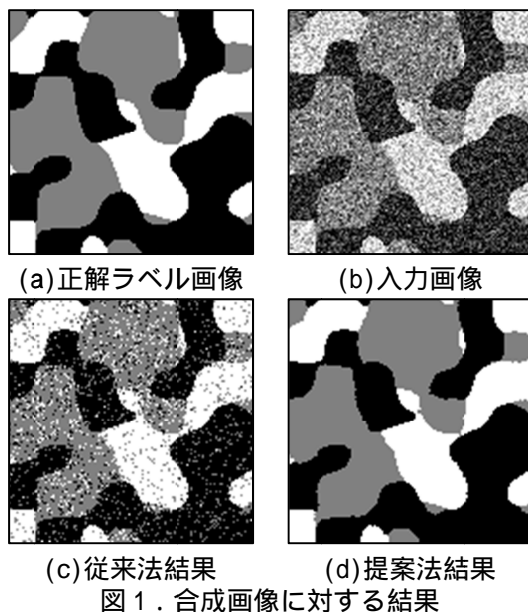


図1. 合成画像に対する結果

(2) 合成画像に対する分割結果を図1に示す。左上が正解画像ラベルを明暗で表示したもので、右上は画素ラベルに対応する3段階の画素値レベルからなる画像に標準偏差0.2(画素値は[0,1]の範囲)の正規分布に従うノイズを加えた入力画像である。文献[3]の

従来法の結果と比べると、提案法の結果がはるかに正解に近いことが明確である。

表1．合成画像に対する誤り率[%]

C		従来法	提案法
3	0.1	1.87	0.22
	0.2	14.94	1.29
	0.3	34.33	2.80
5	0.05	1.01	1.31
	0.10	10.76	2.94
	0.15	33.88	9.10

表1には、従来手法と提案手法の誤り率を示す。表において、Cは段階数(クラス数)、

は加えたノイズの標準偏差である。表から分かるように、従来法はノイズが大きくなると急激に誤差が増えているのに対し、提案法ではそれほどでもない。

(3) 数枚の自然画像に対しても分割結果を従来と比較する。自然画像の場合、合成画像と異なり厳密な正解は分からないため、複数の人による分割結果が与えられた Berkeley Segmentation Database の画像を使う。この時、複数人の分割結果とアルゴリズムの分割結果の近さを測る必要があるが、ここでは、確率に基づく PR Index と、セグメント境界の発見率から求めた F-measure を用いる。

表2．自然画像の結果：PR Index

	従来法	提案法
0	0.704	0.723
0.05	0.703	0.721
0.1	0.681	0.736

表3．事前画像の結果：F-measure

	従来法	提案法
0	0.44	0.62
0.05	0.29	0.61
0.1	0.23	0.52

表2にはPR Index、表3にF-measureの結果を示す。いずれの値も、0以上1以下の値をとり、大きいほどより精度が高いことを示す。これらの結果を見ると、いずれも提案手法の精度がより高いことを示しているが、PR Index に比べ、F-measureの方がその差が顕著である。この理由は、従来法が提案法に比べ、過剰に分割した結果を与える傾向にあることが関係している。PR Indexは、過剰に分割された場合に、評価が甘くなることが知られている。

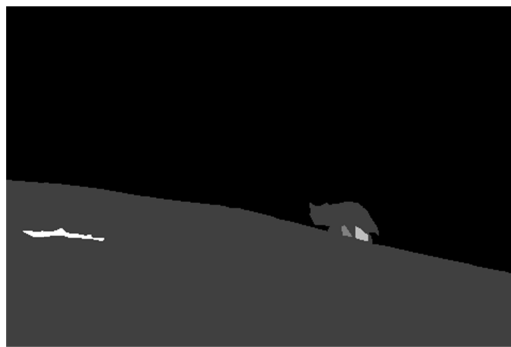
このことは、図2の分割結果を見ると確認できる。従来法の分割結果(c)は、個々の画像セグメントが非常に小さいため、全体的にかすんだように見えている。一方、提案法の結果(d)は、部分的には細かな分割となっている箇所もあるが、主要な部分では概ね適切に分割されており、(b)の人の分割結果に近い。

また、提案法では、事前ガウス過程のパラメータにより、多様な分割結果が生じることも確認している。画像分割は、教師なしのタ

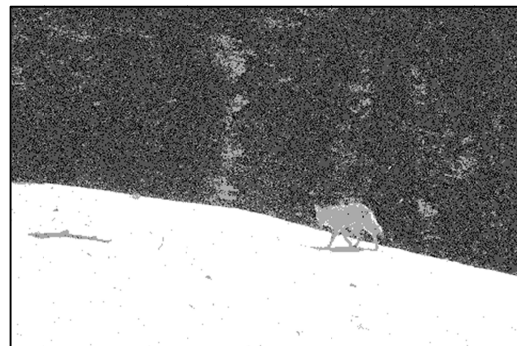
スクであり、どのような結果が望ましいかはユーザに依存する面がある。そういう意味でも多様な結果を生成し得るのは、従来法に対する提案法の優位性である。



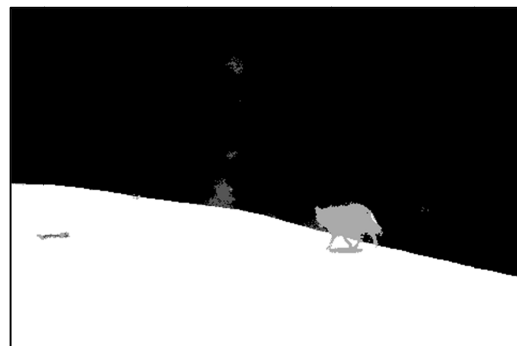
(a)入力画像



(b)人による分割例



(c)従来法の結果



(d)提案法の結果

図2．自然画像の分割結果

(4)以上のように、本研究では、画像分割において、画像の空間相関を表現するために、

MRF の代わりにガウス過程事前分布を用いることを可能とした。そして、その結果、より高精度な画像分割が可能であることを、合成画像と自然画像で確認した。また、提案法は、従来法に比べて、多様な画像分割を実現できることも分かった。

<引用文献>

[1] C. E. Rasmussen and C. K. I. Williams, Gaussian Processes for Machine Learning. MIT Press, 2006.

[2] S. Sanjay-Gopal and T. J. Hebert, "Bayesian pixel classification using spatially variant finite mixtures and the generalized EM algorithm," vol. 7, no. 7, pp. 1014-1028, 1998.

[3] K. Blekas, A. Likas, N. P. Galatsanos, and I. E. Lagaris, "A spatially constrained mixture model for image segmentation," vol. 16, no. 2, pp. 494-498, 2005.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Kosei Kurisu, Nobuo Suematsu, Kazunori Iwata, Akira Hayashi, "A Spatially Correlated Mixture Model for Image Segmentation", IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, Vol. E98-D, pp. 930-937.

[学会発表](計7件)

森 源太, 末松 伸朗, 岩田 一貴, 林 朗, 周期時系列のノンパラメトリックベイズ多重整列法, 第13回情報科学技術フォーラム, 査読無, 2014年9月

嘉戸 琢真, 末松 伸朗, 岩田 一貴, 林 朗, ガボールフィルタによる非局所平均法, The 18th Meeting on Image Recognition and Understanding, 査読無, 2015年7月

嶋本義己・末松伸朗・岩田一貴・林 朗, 関数空間におけるメトロポリス法のための局所的提案分布, 2016年電子情報通信学会総合大会, 査読無, 2016年3月

宿利早帆子・林 朗・岩田一貴・末松伸朗, 周辺化ビタービアルゴリズムを用いたオーディオデータからのイベント認識, 2016年電子情報通信学会総合大会, 査読無, 2016年3月

嶋本義己・末松伸朗・岩田一貴, 関数空間におけるメトロポリス法のための局所的M, 査読無, 2016年9月

大瀬和也・岩田一貴・末松伸朗, 直接探索による輪郭線からのランドマークの選び方, 第15回情報科学技術フォーラム, 2016年9月

Kazuya Ose, Kazunori Iwata, Nobuo Suematsu, "A Sampling Method for Processing Contours Drawn with an Uncertain Stroke Order and Number", Proceedings of the 15th IAPR International Conference on Machine Vision Applications, 査読有, p.438-441, May 2017

6. 研究組織

(1)研究代表者

末松 伸朗 (SUEMATSU, Nobuo)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号: 70264942