

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500198

研究課題名（和文） 高次統計量のカーネル化による新たな画像特徴抽出の枠組の構築

研究課題名（英文） A Novel Image Feature Extraction Framework Using Higher-Order Statistic Kernels

研究代表者

亀山 啓輔 (KAMEYAMA Keisuke)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：40242309

研究成果の概要（和文）：本研究課題は、画像信号の高次モーメント関数（高次自己相関関数）を画像の特徴量として画像の分類や検索を行う方法として、高次モーメントカーネル関数を利用することで効率的に次数の高いモーメント関数も容易に利用できることに着目した。次数により異なる特徴量の性質や、実際の画像分類問題に同カーネル関数を使用する上での条件について、理論的考察とテクスチャ分類実験により明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This project focused on using the Higher-order moment functions as image features to be used for classification and retrieval, by way of Higher-order moment kernels which enables a drastic reduction of computation regardless of the order. The nature of the moment features which differs according to the order, and the conditions for applying the feature for real-world image classification have been investigated by mathematical analysis and image texture classification experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：情報工学

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ニューラルネットワーク，カーネル法

1. 研究開始当初の背景

(1) 高次統計量を用いた信号の特徴化

センシングやメディア検索など、情報応用分野の多くにおいて、画像を分類し検索する要求が高まり、画像中のエッジの方向性やテクスチャを特徴化する手段の一つとして、局所自己相関関数やウェーブレットフィルタに代表される局所スペクトルが用いられてきた。これらの概念を一般次数化した高次相

関関数およびバイスペクトル，トリスペクトルなどの高次スペクトルは、一定の相対的位置関係にある信号値の高次の相関，および複数の周波数成分間の相関や位相関係を表す統計特徴量である。特に、自然由来の信号のハーモニクス周波数成分間の位相関係は、テクスチャや楽音の特徴化を行う上で重要であり、その手段として高次スペクトルの有用性が知られてきた。また、独立成分分析においては信号の非正規性基準として4次のキ

ムラントが用いられてきた。

これら高次統計量を利用したパターン認識は、計算機の能力の向上とともに、局所的な3次までの局所高次自己相関(HLAC)による対象認識や異常検出をはじめとして、その有用性が見直されつつあった。しかし、高い計算量のゆえに小領域の相関計算が有効な場合に限定されており、高次統計特徴量が画像の特徴化に果たしうる役割は十分に検証されてきたとはいえなかった。

(2) カーネルにより推定される高次統計特徴量とその高速計算

カーネル法は、一般に高次元の特徴抽出関数に比べてその内積核(カーネル)関数の計算量が小さい場合に有効な手法であり、様々な非線形、高次元の特徴量に対応するカーネル関数が導出されてきた。高次統計量に関しては、MacLaughlinらによって、高次モーメント関数の内積が次数によらずほぼ一定の計算量で計算されることが示された。これを用いると、データ長または最大シフト量を k 、次数を n として、計算量を従来の $O(k^n)$ からほぼ $O(k)$ へと劇的に削減することができる。

研究代表者は、これまでに高次のGaborフィルタによる特徴量に対応するカーネル関数を導出し、それがMacLaughlinらのカーネルに窓関数をかけたものとなることを示してきた。また、このカーネル関数を用いたサポートベクトルマシン(SVM)において、2次モーメントや一般的なカーネル関数と比較してテキストチャ分類性能が向上することを示した。さらにこの過程で、高次局所自己相関特徴量に対応するカーネル関数と局所高次スペクトル特徴量に対応するカーネルが同一のものとなることを証明しており、信号の高次統計量を統一的に扱う上で重要な知見を得た。

(3) 画像分類への応用上の課題

本研究課題の開始までに、高次統計量カーネルの性質に関する理論的な解析とSVMを併用したテキストチャ分類への応用を行い、画像分類系の基本構成と性質の基本検証を終えており、次数を選択することによりそれぞれの次数の統計量を持つ特徴を生かした画像分類が可能となることも確認していた。しかし、実際にこのカーネルを計算機上で画像特徴量として用いる際の、離散化や積分区間有限化等を行った場合の安定性、統計量次数の選び方と抽出される特徴量との関係、局所化のための窓パラメータの選択法など、実用上明らかにすべき点が残されていた。これらの点をクリアにした後に、従来用いられなかった高次数の特徴量に基づく画像分類の枠組として評価を加えていく必要があった。

(4) 画像内容検索

画像信号の特徴に基づく類似度を利用する類似画像(内容)検索の研究も盛んに進められており、実用的なシステムも提案されてきている。局所的な高次統計量は、テキストチャ特徴や各種の非正規性を反映するため、その類似度を評価し、SIFTやRANSACなどの領域特徴化や対応付けの手法と組み合わせることで、これまで用いられてきた輝度変化に基づく類似度評価を補う領域の類似性を評価する手段となりうる。特に、本研究で注目した高次統計量カーネルは、特徴量の内積として算出されるゆえに、高次統計量に基づく画像信号の類似度評価基準として用いることができると考えた。

研究代表者は、本課題開始までに画像の部品化、部品同士の対応最適化に基づく画像内容検索法の開発を進めており、それらの研究の発展として、これまで用いられてきた輝度の特徴点分布や色に加えて局所高次統計量特徴を利用することで、領域のテキストチャ特徴量を十分に活用した画像内容検索の枠組を構築することができると考えた。

2. 研究の目的

このような背景に鑑み、本課題では、以下を研究目的とした。

- (1) 高次統計量カーネルを画像の特徴化に用いる際の条件の明確化
- (2) 従来用いられていない高次数の特徴量に基づく画像分類の枠組の構築と評価
- (3) 局所高次統計量に基づく領域類似度基準を利用した画像特徴抽出の枠組の構築と評価

3. 研究の方法

本計画では、まず高次統計量カーネルを画像分類や類似度評価に応用する際の基礎的な条件を、理論的考察と計算機実験から明らかにすることを試みた。そこで得た知見を受けて、同カーネルを利用した画像分類のための検討を行い、主にテキストチャ分類問題に適用し評価した。

4. 研究成果

- (1) 高次統計量カーネルの基本性質と画像の特徴化に用いる際の条件の明確化

高次統計量カーネルを計算機上で用いる際に、離散化や積分区間有限化等を行った場合、抽出される特徴量が理論的な(理想)値からどのように解離するかを理論と基礎的計算機実験の両面から検証した。また、カーネルの次数や窓関数の形状が画像から抽出される特徴量にどのような影響を与えるかについても同様に検証を進めた。特に、高次

統計量カーネルの計算量の低さを生かし、これまでにほとんど着目されていない5次以上の(超)高次統計量のふるまいについても計算機実験を通して説明を試みた。

画像信号 $s(t)$ の n 次モーメント関数 ($n-1$ 次自己相関関数)

$$m_{s,n}(\tau_1, \dots, \tau_{n-1}) = \int s(t) \prod_{k=1}^{n-1} s(t + \tau_k) dt \quad (1)$$

は、画像の周期構造をはじめとする様々な特徴をとらえることができるが、次数が高くなるにつれその計算量が指数的に増大する。これに対してモーメント関数自体ではなく、モーメント同士の内積をカーネル関数

$$K_n(s, v) = \langle m_{s,n}, m_{v,n} \rangle = \int \left[\int s(z)v(z + \tau) dz \right]^n d\tau \quad (2)$$

によって求めることは次数によらない計算量で行うことができる。本研究ではこの性質を利用し、画像信号の高次のモーメントを特徴量として利用することを主題としている。

実際に計算機上でカーネル関数値を求める際には離散形の

$$K'_n(s, v) = \sum_i \left[\sum_j s(z_j)v(z_j + \tau_i) \right]^n \quad (3)$$

を用いることとなる。実際にモーメント値を求めてその内積を計算する場合と、カーネル関数を利用する場合の等価性を評価したところ、図1に示すように両者は相対的な大小関係は類似しているものの、一致はしないことがわかった。

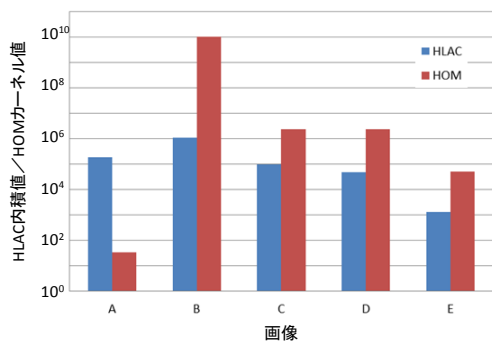


図1. 5枚の画像の3次モーメント関数間の内積の比較。3次モーメント特徴量(HLAC)の内積と、画像間のカーネル値(HOM)を、画像Bとそれぞれの画像の間で求めたもの。

このことは、離散的なカーネル関数(式(3))を求める際に用いている仮定(画像のサイズと最大シフト量(τ_j の最大値)がほぼ同等の値であること)が、シフト量が高々1画素であるHLACにおいては成立しないことに起因している。このような場合には同等な特徴量に対応するカーネル関数の算出の際に画像座標とシフト量に関する積分を分けた形で

式(3)を評価する必要があることが明らかになった。

また、画像の類似度の基準となるカーネル関数値が画像の変動に際してどのように変化するかを評価した。評価に際しては、人工/自然のテクスチャ画像に対してスケール、回転、ノイズ付加などの変動を加え、元の画像同士の特徴量の内積(カーネル関数値)と比較して元の画像と変動した画像に関するカーネル関数値がどのように変化していくかを評価した。

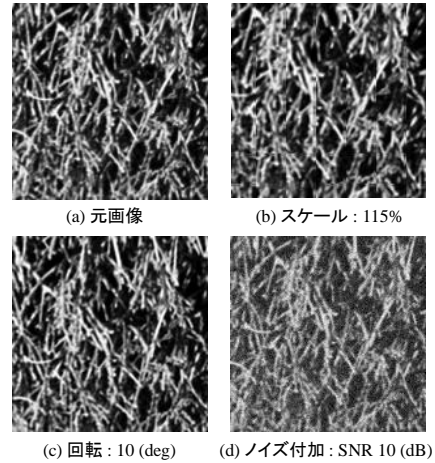


図2. カーネル関数値の変動を評価するために用いた、元のテクスチャ画像(a)に、(b)スケール、(c)回転、(d)ノイズ付加などの変動を加えた画像。

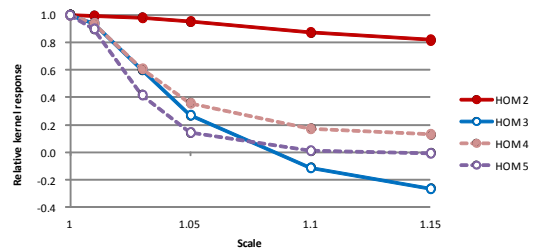


図3. 画像のスケールに対するカーネル関数値の変化

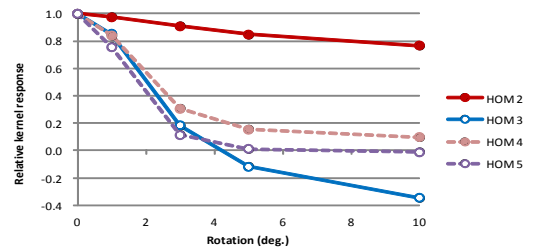


図4. 画像の回転に対するカーネル関数値の変化

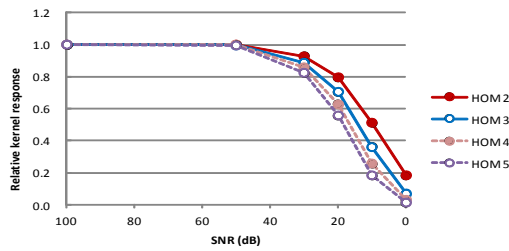


図5. 画像のノイズ付加に対するカーネル関数値の変化

その結果、いずれの変動のタイプに関しても変動量が大きくなるにつれて類似度の低下を反映する形でカーネルの応答が減衰することが分かった。この減衰は次数が高くなるにつれて速くなり、また偶数次に比べて奇数次の場合により速く減衰することも見て取ることができる。この減衰の速さは画像の変動に対する特徴量の敏感さ、特徴量の選択性の高さを表しており、カーネル関数値を類似度の指標として用いるサポートベクトルマシン (SVM) などの分類器においては、使用する次数を選択することにより、学習に用いた画像からの変動許容性をコントロールすることができると考えられた。

これらの研究段階を経ることで、離散化された高次統計量カーネルの性質が明らかとなり、それを計算機上で画像分類問題に対して用いる際の基礎的な知見を蓄積することができた。

(2) 高次統計量カーネルに基づく画像分類の枠組の構築と評価

カーネルの基本特性の検証で得た知見をもとに、高次モーメントカーネルを画像の領域、特にテクスチャの特徴化に応用した画像分類法について検討を加えた。また、5次を超える次数の統計量の有効性についての検証も試みた。

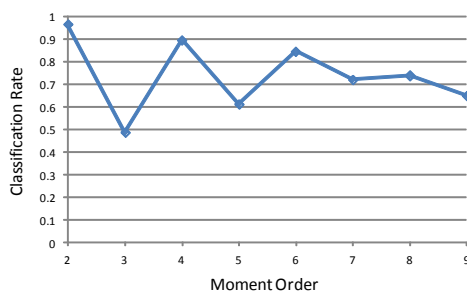


図6. SVMを用いた10クラスのテクスチャ分類問題におけるモーメント次数と正分類率の関係

10クラスの自然テクスチャ画像の分類を、様々な次数の高次モーメントカーネルを使用する多クラスSVMで試みたところ、テスト

セットに対する正分類率は図6のようになった。この結果は、前節で明らかとなった高次モーメントカーネルの性質を反映し、変動に対する許容性の高さがそのままテストセットに対する正分類率に反映した形となった。学習およびテストセットはいずれも1枚の自然テクスチャの部分画像をそれぞれ20枚ずつ用いており、クラス内変動も比較的大きなものである。このような問題に対しては特徴の選択性が高い次数の高いモーメントカーネルは不利となったものの、より微小な相違がクラスを決定するような問題においてはむしろ有効に働くのではないかと考えられる。

以上のように本研究課題では、主として計算量の高さゆえにこれまで画像の特徴量として用いられてこなかった高次統計特徴量の性質の一部を明らかにした。本課題で予定していた画像の内容検索のための特徴量としての有効性や、特徴量の選択性の制御を可能とする窓関数の効果については、関連する論文発表や報告を行ったが、十分な検証を行うことができていないため、研究期間終了後も検証を継続的に行い、早期に関連学会に報告する予定である。

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)

① Masaki Kobayashi and Keisuke Kameyama, “A Composite Illumination Invariant Color Feature and its Application to Partial Image Matching,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E95-D, No. 10, pp. 2522-2532, Oct. 2012, 査読有。

[学会発表] (計4件)

① ファン チュン グエン バオ, 亀山啓輔, “SVMを用いたテクスチャ分類における高次モーメントの次数と分類精度について,” 信学技報PRMU, パターン認識と理解, Vol. 112, No. 357, PRMU2012-75, pp. 31-36, 2012年12月13日~14日, 山形大学。

② 松本 亘, 亀山啓輔, “部分画像検索における色相特徴と照明不変色特徴H’の比較,” 信学技報IE, 画像工学, Vol. 112, No. 335, IE2012-92, pp. 41-46, 2012年12月6日, 福井市地域交流プラザ。

③ Housseem Chatbri and Keisuke Kameyama, “Towards Making Thinning Algorithms Robust against Noise in Sketch Images,” Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), pp. 3030-3033, 2012年11月15日, つくば国際会

議場.

④ Keisuke Kameyama, “ Image Feature Extraction and Similarity Evaluation using Higher-Order Moment Kernels,” 信学技報 NC, ニューロコンピューティング, Vol. 111, No. 483, NC2011-188, pp. 393-398, 2012年3月16日, 玉川大学(東京都).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀山 啓輔 (KAMEYAMA Keisuke)
筑波大学・システム情報系・准教授
研究者番号： 40242309