

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730116

研究課題名(和文)スペクトル理論のコンピュータビジョンへの応用

研究課題名(英文)Applications to computer vision using spectral theory

## 研究代表者

上瀧 剛 (Gou, Koutaki)

熊本大学・大学院先導機構・助教

研究者番号：20582935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では画像認識で重要なスケール空間をPCAを用いて効率化を図る。スケール空間は連続のスケールパラメータで定義されるため、顔認識で用いられる離散的なPCAはそのまま使えない。そこでPCAの一般化であるスペクトル分解をスケール空間に適用した。具体的にはスケールの3次の多項式で近似して求めた。スペクトル分解をガウシアンスケール空間およびScale Normalized LoG空間に適用して、その具体的な固有解を求めた。SIFTへの応用にて、提案手法が良い再現性を得ることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We propose the application of principal components analysis (PCA) to scale-spaces. PCA is a standard method used in computer vision. The translation of an input image into scale-space is a continuous operation, which requires the extension of conventional finite matrix-based PCA to an infinite number of dimensions. In this study, we use spectral decomposition to resolve this infinite eigenproblem by integration and we propose an approximate solution based on polynomial equations. To clarify its eigensolutions, we apply spectral decomposition to the Gaussian scale-space and scale-normalized Laplacian of Gaussian (LoG) space. As an application of this proposed method, we demonstrate that the accuracy of these images can be very high when calculating an arbitrary scale using a simple linear combination. We also propose a new Scale Invariant Feature Transform (SIFT) detector as a more practical example.

研究分野：画像処理

キーワード：スケール空間 主成分分析 SIFT 画像認識

1. 研究開始当初の背景

画像認識技術において、スケールスペース処理は基本的な技術である。スケールスペース処理では、図1に示すように入力原画像から様々なぼけた画像 (=スケールが異なる画像) を生成して、それらの複数の画像から画像特徴を抽出する。このようにさまざまなスケールでの画像特徴を抽出することで、認識対象となる物体の見かけのサイズに不変な画像認識が可能となる。この特性はスケール不変性と呼ばれる。スケールスペース処理で有名な処理として SIFT (Scale Invariant Feature Transformation) と呼ばれる手法がある。これはスケール不変性に加え、回転不変性を備えた強力な画像特徴抽出器であり、画像検索、物体検出、顔認識など多岐にわたって用いられている。図2は SIFT の例で、スケールおよび回転角の異なる2枚の画像から、目や口などの特徴的な箇所を検出し、2枚の画像間で同じ位置を正しく対応付けしていることがわかる。

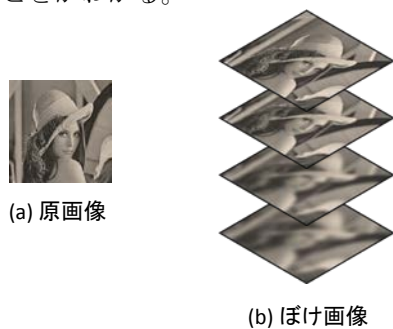


図1. スケールスペース画像

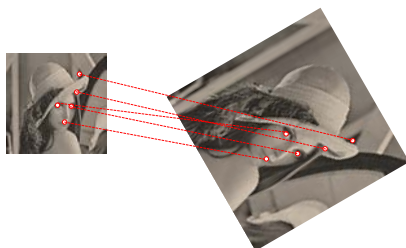


図2. スケール・回転不変性

2. 研究の目的

スケールスペース処理においては、様々なぼけた画像の枚数を増やすほどスケール分解能が向上するが処理時間が多くなるトレードオフがある。さらに、SIFT ではスケール・回転不変性を持つが、図3に示すような台形に歪むようなアフィン不変性を持っていない。本研究では、スケールスペース処理の効率化とアフィン不変性の獲得を目的とする。



図3. アフィン歪

3. 研究の方法

画像枚数とスケール分解能のトレードオフを解消するための基本アイデアは、多数枚のぼけ画像を主成分分析 (PCA) によって情報圧縮することである。PCA を用いた画像圧縮は画像認識では常套手段であり、たとえば図4のように  $L = 4$  枚の画像を圧縮する場合には  $4 \times 4$  の共分散行列を計算し、その固有ベクトルから情報圧縮された基底画像を求めることができる。しかし、スケールスペース空間では  $L = \infty$  の場合を考える必要がある。この場合には、もはや従来の行列ベースの固有値問題を扱うことができない。しかし、主成分分析の無限次元版は数学分野ではスペクトル分解として知られており、この解析手法を取り入れた。その結果、行列ベースの固有値問題がフレドホルム積分方程式と呼ばれる式に変換することができ、式に含まれる積分核  $K(s, t)$  は画像解析用のスケールスペースモデルから解析的に求めることができる (図5 参照)。

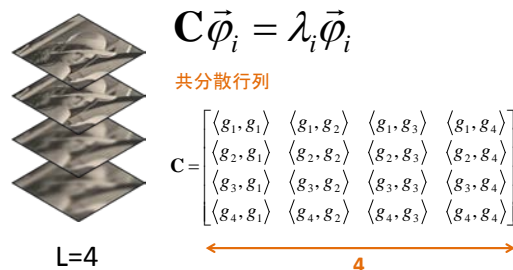


図4. 従来の主成分分析

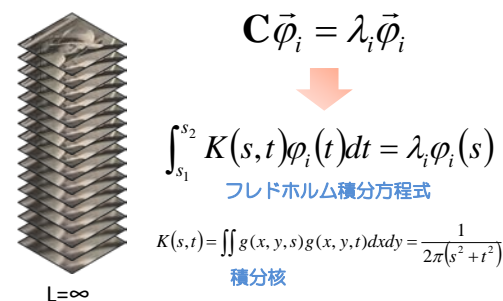


図5. 考案したスペクトル分解

さらにこの積分方程式を数値的に解くために3次の多項式で近似する。なお、スケール

ルスペースにはガウシアンスケールスペース, LoG スケールスペース, 微分ガウススケールスペースなどの多数のバリエーションがあるが, これらに対しては積分核  $K$  を変更することで同様の解析が可能であり, アフィンスケールスペースに対しても同様の解析を行った

#### 4. 研究成果

結果として, 以上の解析により, 図6に示すように任意のスケール  $s$  のぼけ画像が, わずか4枚の基底画像の線形和により容易に近似することが可能となる。このときの画質評価結果 (PSNR) を図7に示す。  $N = 3$  次多項式で近似した場合には PSNR は平均約 70 [dB] となり, 提案手法が十分な表現能力をもつことが確認できた。また, 提案手法を SIFT に用いて画像認識を行った。図8に画像認識における標準データセットを用いた性能評価結果を示す。グラフの赤が提案手法であり, 他手法よりも良い認識率を得ることができた。

図9はアフィンスケールスペースにスペクトル分解を適用し, それを SIFT に応用した結果例である。赤丸が検出された特徴点の拡大図である。2枚の画像は単純なスケール・回転変形ではなく, 台形に歪んでいるが, 同じ位置を画像特徴として正しく検出できていることが分かる。

$$I(x, y; s) = q_0(x, y) + q_1(x, y)s + q_2(x, y)s^2 + q_3(x, y)s^3$$



図6. スケールスペース画像の多項式表現

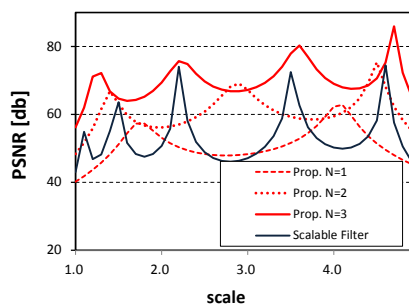


図7. 画質評価結果(PSNR)

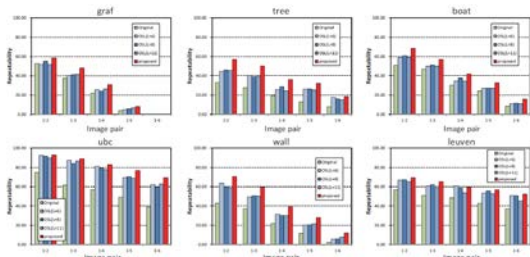


図8. 画像認識評価結果

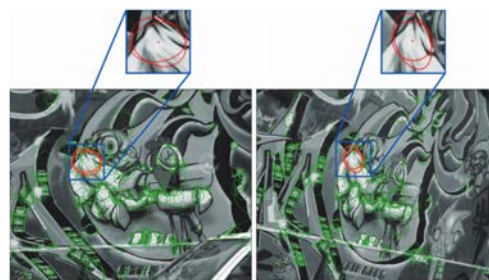


図9. アフィン変形した画像間の対応付け

#### 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 3 件)

[J1] 上瀧 剛, 内村圭一, “スペクトル理論のパターンマッチングへの応用およびその性能検証”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.8, pp.1664-1674, 2013, 査読有.

[J2] Gou Koutaki and Keiichi Uchimura, “Scale Invariant Edge Detection Using Spectral Theory”, ISPJ trans. Computer Vision and Applications, vol.5, pp.30-34, 2013, (GJ), 査読有.

[J3] 上瀧 剛, 矢田晃嗣郎, 内村圭一, “スペクトル理論を用いたぼけ画像に対するテンプレートマッチング法”, 精密工学会誌, Vol.79, No.11, pp.1019-1024, 2013, 査読有.

[学会発表] (計 7 件)

[C1] Takahiro Hasegawa, Mitsuru Ambai, Gou Koutaki, Kohta Ishikawa, Yuji Yamauchi, Takayoshi Yamashita and Hironobu Fujiyoshi, “Multiple-hypotheses affine region estimation by anisotropic LoG filter” in Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2015), pp.585-593, Santiago, Chile, 2015.12.13.

- [C2] Gou Koutaki and Keiichi Uchimura, “Scale-space Filtering Using a Piecewise Polynomial Representation” in Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2014), pp.2918-2922, Paris, France, 2014.10.29.
- [C3] Gou Koutaki and Keiichi Uchimura, “Scale-space Processing Using Polynomial Representations” in Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2014, oral), pp.2744-2751, Columbus, USA, 2014.6.26.
- [C4] Gou Koutaki and Keiichi Uchimura, “Scale-space Compression and Its Application Using Spectral Theory” in Proc. of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2013), pp.820-823, Melbourne, Australia, 2013.9.16.
- [C5] Gou Koutaki and Keiichi Uchimura, “Linear Gaussian Blur Image Generation Using Spectrum Theory” in Proc. of International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2013), Vol.11, pp.265-268, Nishijin Plaza, Fukuoka, 2013.5.30.
- [C6] 上瀧剛, 内村圭一, “Scale-space Processing Using Polynomial Representations”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2014), 岡山コンベンションセンター, 2014.7.31
- [C7] 上瀧剛, “主成分分析およびスペクトル理論のパターンマッチングへの応用”, 画像センシングシンポジウム(SSII2013), パシフィコ横浜, 2013.6.14

〔図書〕(計2件)

- [1] 上瀧剛, “主成分分析およびスペクトル理論のパターンマッチングへの応用”, O Plus E, 12月号, 2013.
- [2] 山本醍田, 鈴木健太郎, 小口貴弘, 徳吉雄介, 白鳥貴亮, 向井智彦, 五十嵐悠紀, 岡部誠, 森本有紀, 上瀧剛, 坂東洋介, “Computer Graphics Gems JP 2015”, (株)ボーンデジタル, 11章, pp.223-251, 2015.

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0件)  
○取得状況 (計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://navi.cs.kumamoto-u.ac.jp/~koutaki/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上瀧 剛 (KOUTAKI, Gou)

熊本大学・大学院先端機構・助教

研究者番号：20582935

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：