

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00245

研究課題名(和文)一般座標変換に不変なg像の特徴抽出手法に関する研究

研究課題名(英文)A Feature Extraction Method Invariant to General Coordinate Transformation

研究代表者

鳥生 隆(Toriu, Takashi)

大阪市立大学・大学教育研究センター・特任教授

研究者番号：80347484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：画像は、視点の移動、レンズの歪みなどのさまざまな理由で変形を受ける。画像処理の結果はこのような変形に対して不変であることが望ましい。画像の変形は一般座標変換で表現できる場合が多い。本研究では一般座標変換に不変なスムージング手法を開発し、その有効性を実証した。  
具体的には、一般座標変換に対して所定の変換を受ける計量テンソルを導入し、その計量テンソルを用いて一般座標変換に対して不変な評価関数を定義した。さらに、その評価関数を最小化するための微分方程式を導き、それが一般座標変換に対して不変であることを見いだした。画像はその微分方程式によってスムージングされる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アフィン変換に不変な画像処理手法は数多く提案されている。しかし、一般座標変換に対して不変なスムージング手法の開発は他に例をみない。この手法はスムージングだけでなく、一般座標変換に対して不変な特徴抽出など、他の画像処理にも展開できることが期待される。

画像は、視点の移動、レンズの歪みなどのさまざまな理由で変形を受ける。提案手法によって、画像が受ける様々な変形に不変な画像処理が実現し、画像処理のロバスト性が向上する。それによって、画像処理の応用場面の拡大が期待される。

研究成果の概要(英文)：Images are deformed for various reasons such as movement of the viewpoint and distortion of the lens. It is desirable that the image processing result is invariant to such deformation. In general, image deformation is represented by general coordinate transformation. In this research, I developed a smoothing method that is invariant to general coordinate transformation and demonstrated its effectiveness.  
Specifically, we introduced a metric tensor that is transformed appropriately to the general coordinate transformation and defined an evaluation function that is invariant to the general coordinate transformation using the metric tensor. Furthermore, we derive a differential equation to minimize the evaluation function and find that it is invariant to general coordinate transformation. The image is smoothed by its differential equation.

研究分野：画像処理

キーワード：一般座標変換 計量テンソル 不変性 スムージング 画像処理

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

一般座標変換は、連続かつ微分可能な座標変換である。一般に、視点の移動、レンズの歪みなどによる画像の変形は一般座標変換によって表現される。このような変形に対しては画像処理が不変であることが望ましいので、画像処理は一般座標変換に対して不変でなければならない。

画像の変形はアフィン変換によって近似的に表現されることが多いので、これまで、画像の変形の影響を取り除くためにアフィン変換に不変な方法が研究されてきた。アフィン変換は、回転、スケーリング、変換などを含む線形変換である。Zernike moment や Legendre moment が古くから回転不変の代表的な特徴として知られている。最近では、radial gradient transform に基づく回転不変な画像特徴が提案されている。また、2次元の Herimite 多項式に基づく回転不変の特徴のセットを抽出する方法が提案された。他にもアフィン不変特徴に関する多くの方法が提案されている。非線形な時間発展方程式に基づくアフィン不変なスケール空間が提案された。また、SIFT 法と呼ばれるスケール不変な方法を拡張して完全にアフィン不変な方法を提案されている。筆者は先にアフィン変換に不変な画像のスミージングと特徴抽出の新しい方法が提案した。ここでは、アフィン不変性は位置不変でアフィン変換に対して所定の変換性を持つ計量テンソルを導入することで実現されている。しかし、一般座標変換に対して不変な方法は知られていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は上記の計量テンソルを用いたアフィン不変な方法を土台として、新たに、一般座標変換に不変な方法を開発することである。そして、コンピュータ実験によって、その有効性を実証することである。これが実現すれば、曲面上の模様を異なる視点から撮影した画像は互いに一般座標変換に従って変換するので、これらを含む画像の認識の高度化に貢献できる。例えば、動くカメラや魚眼カメラなど撮影するときの歪みなど幅広い変形に適切に対応できるようになる。

### 3. 研究の方法

上述のアフィン不変な方法で利用した計量テンソルは位置に不変である。それはアフィン変換が位置を表す変数について1次式で表現できるからである。一般座標変換に不変な方法を構築するためには、位置に依存する計量テンソルを導入しなければならない。そして、その計量テンソルは一般座標変換にたいして適切な変換性を持たなければならない。

そのため、リーマン幾何学を基礎として、位置に依存する計量テンソルと画像から一般座標変換に不変な評価関数を導入し、①まず、その評価関数を最小化するような位置に依存する計量テンソルは一般座標変換に対して望ましい変換性を持つことを証明し、②次に、同じ評価関数を画像について最急勾配法で最小化することで得られる非線形な拡散方程式を解くことで画像をスミージングすることができ、それが一般座標変換に不変であることを示した。

### 4. 研究成果

#### (1) 一般座標変換に不変な評価関数

一般座標変換に不変なスミージングを実現するため、次の評価関数  $J[I(x^1, x^2), [g^{\mu\nu}]]$  を導入する。

$$J[I(x^1, x^2), [g^{ij}]] = \iint \sum_{i,j} g^{ij} \frac{\partial I}{\partial x^i} \frac{\partial I}{\partial x^j} \sqrt{\det g} dx^1 dx^2 \quad (1)$$

ここで、 $g^{ij}$  は反変計量テンソルであり  $\det g$  は対応する共変計量テンソル  $g_{ij}$  の行列式である。

この評価関数  $J[I(x^1, x^2), [g^{ij}]]$  は一般座標変換に対して不変であることを証明した。すなわち、

$$J[I(x^1, x^2), [g^{ij}]] = J[I_T(x_T^1, x_T^2), [g_T^{ij}]] \quad (2)$$

#### (2) 望ましい変換性を持つ計量テンソル

望ましい変換性を持つ計量テンソルは(1)式の評価関数を最小にすることで得られることを証明した。

また、(1)の評価関数を最小にする計量テンソルは

$$g^{11} = \lambda \left( \frac{\partial I}{\partial x^2} \right)^2, g^{22} = \lambda \left( \frac{\partial I}{\partial x^1} \right)^2, g^{12} = g^{21} = -\lambda \frac{\partial I}{\partial x^1} \frac{\partial I}{\partial x^2}. \quad (3)$$

で得られることを示した。ここで  $\lambda$  は任意の定数である。

#### (3) 一般座標変換に不変なスムージング

(1)式の評価関数を画像  $I(x^1, x^2)$  について最急降下法で最小化することで、次の非線形で一般座標変換に共変な拡散方程式が得られる。

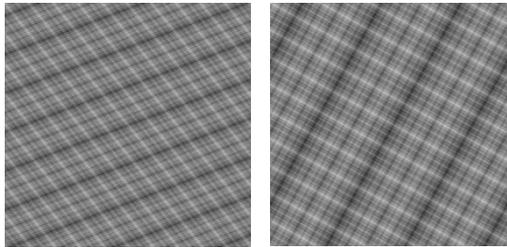
$$\begin{aligned} \frac{dI(x^1, x^2, t)}{dt} &= -\frac{c^2}{2} \frac{\delta J(I(x^1, x^2), [g^{ij}])}{\delta I} \\ &= c^2 \left[ \sum_{i,j} g^{ij} \frac{\partial^2 I}{\partial x^i \partial x^j} + \frac{1}{\sqrt{\det g}} \sum_{i,j} \frac{\partial}{\partial x^i} \left( \sqrt{\det g} g^{ij} \right) \frac{\partial I}{\partial x^j} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

これを解くことによって、一般座標変換に不変なスムージングが実現できることを示した。

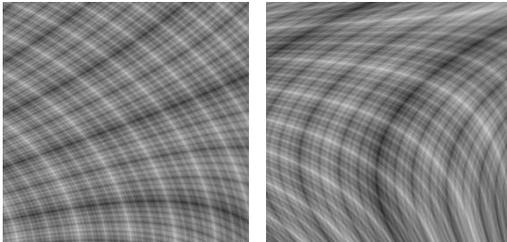
#### (4) 実験結果

原画像と一般座標変換を施した画像を3 2セット準備した。その例を示す。

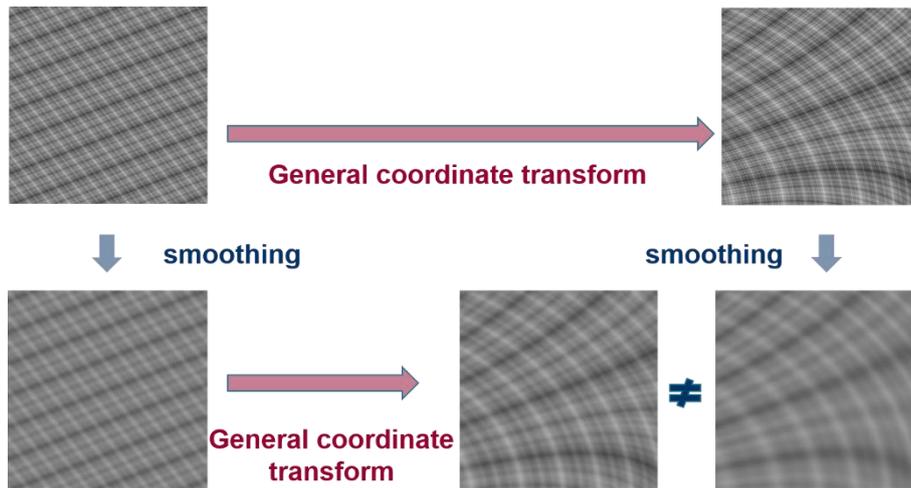
原画像の例



一般座標変換後の画像の例

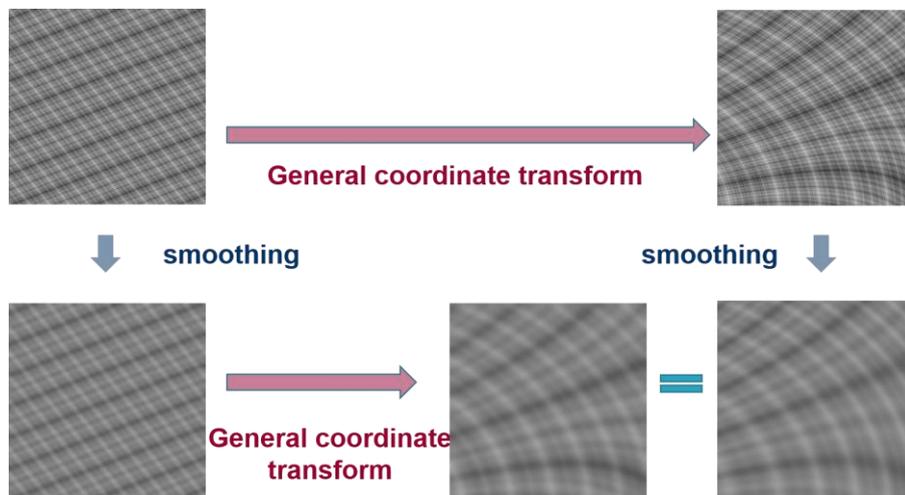


ガウシアンスムージングは一般座標変換に対して不変でない。実際の処理例を以下に示す。



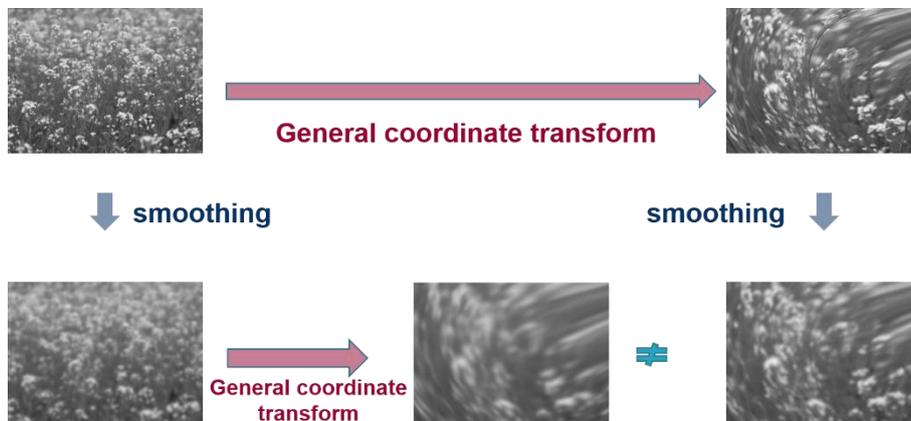
一般座標変換後にスムージングした結果とスムージング後に一般座標変換を行った結果が異なっており、ガウシアンスムージングが一般座標変換に対して不変でないことを示している。

今回、開発した方法による処理例を示す。



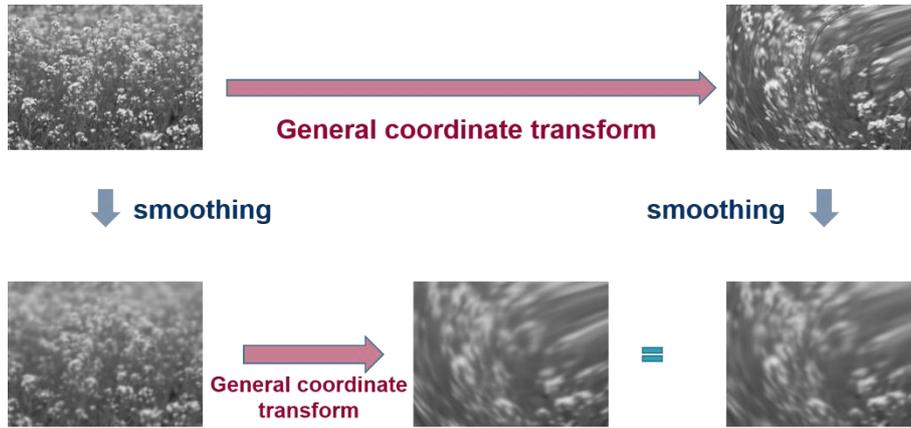
一般座標変換後にスムージングした結果とスムージング後に一般座標変換を行った結果が同じであり、この方法によるスムージングが一般座標変換に対して不変であることを示している。

ガウシアンスムージングの場合における実画像による例を示す。



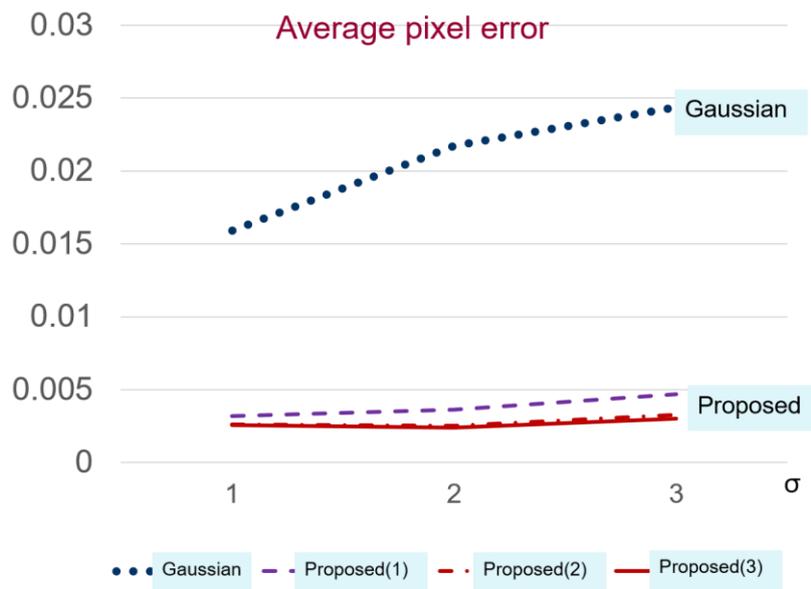
一般座標変換後にスムージングした結果とスムージング後に一般座標変換を行った結果が異なっている。

今回開発した方法による例を示す。



一般座標変換後にスムージングした結果とスムージング後に一般座標変換を行った結果が同じである。

もし、スムージングが一般座標変換に対して不変であれば、一般座標変換後にスムージングした結果とスムージング後に一般座標変換を施した結果の画像値の差異 (average pixel error) はゼロである。準備した32セットの合成画像を用いてこのことを確かめる実験を行った。その結果を以下に示す。



今回開発した方法 (proposed) では、この差異はほぼゼロとなっており、この方法の有効性を示している。

#### (5) 結論

一般座標変換に対して不変なスムージング方法を開発した。不変性を実現するために、計量テンソルを導入した。一般座標変換に対して適切な変換性を持つ計量テンソルを得る方法を見いだした。また、この計量テンソルを用いて、一般座標変換に対して不変なスムージングを実現できることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 TORIU TAKASHI	4. 巻 1
2. 論文標題 A Method for Extracting Affine Invariant Local Features Using a Metric Tensor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Fifth International Conference on Advances in Computing, Communication and Information Technology - CCIT 2017	6. 最初と最後の頁 48-54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15224/978-1-63248-131-3-18	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 TAKASHI TORIU, HIROSHI KAMADA、THI THI ZIN	4. 巻 1
2. 論文標題 An Adaptable Low Dimensional Image Generation Model for Eliminating Illumination Influence	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sixfth International Conference on Advances in Computing, Communication and Information Technology - CCIT 2017	6. 最初と最後の頁 40-46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15224/978-1-63248-138-2-09	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Toriu Takashi
2. 発表標題 Image smoothing which is invariant under general coordinate transformation
3. 学会等名 Proceedings Volume 11069, Tenth International Conference on Graphics and Image Processing (ICGIP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toriu Takashi
2. 発表標題 General Coordinate Invariant Image Smoothing Using a Metric Tensor
3. 学会等名 2020 3rd International Conference on Image and Graphics Processing (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 図形の特徴抽出装置	発明者 鳥生 隆	権利者 大阪市立大学
産業財産権の種類、番号 特許、2017-166659	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----