

令和元年6月4日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00308

研究課題名(和文)形状記述子としての距離集合とその改良

研究課題名(英文)Distance Set as a Local Shape Descriptor and its Improvement

研究代表者

岩田 一貴 (Iwata, Kazunori)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20405492

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：線画・輪郭線などの形状を有限個の点で表現し、それらの点の配置の幾何学的な特性を考慮して形状を分類するための手法を研究した。幾何学的な特性を考慮した分類というのは、例えば、結果に形状の位置、向き、大きさが影響しないような分類のことである。形状を分類する方法は色々あるが、この研究では、一方の形状ともう一方の形状の点の間の対応づけ(整合)を基に非類似度を計算し、形状を分類するというアプローチをとっている。このようなアプローチには、整合を視覚的に確認できること、分類結果の根拠となる計算を明確に説明できることといった利点がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果で得られた方法は、手書き文字など特定の種類の形状に対して特化したようなものではなく、線描画や輪郭線なども統一して扱うことのできる用途の広いものである。また、形状の検索、分類、クラスタリングといった様々な解析の手段を与えている。

近年はスマートフォンやタブレットなどタッチパネルを備えた器機が急速に普及してきていることから、研究成果の応用例として、タッチパネルに指を使って描いた線描画をクエリーとしたインターネット上の画像検索システムの開発を考えている。

研究成果の概要(英文)：A shape is formed of contours, such as line drawings by pen or boundaries obtained through image segmentation. The contours can be represented as a finite set of points using contour sampling. Such a finite set of points is called a sample set. Considering the geometrical configuration of a sample set we presented several methods for shape classification. As an example of considering the geometrical configuration, the classification results do not depend on the similarity transformations to each shape, which consist of translation, rotation, and isotropic scaling. In this series of studies, matching shapes indicates determining the correspondence between their respective sample sets, and is consistently an underlying fundamental process in shape classification. Such matching-based approach gives several merits: for example, we can visually check the matching and clearly confirm the computational reasons for the classification results.

研究分野：パターン認識

キーワード：形状認識 形状検索 形状クラスタリング 距離集合 ヒルベルト距離 フルプロクルステス距離 距離計量学習 通常プロクルステス二乗和

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

線描画や輪郭線から幾何学的変換の下で不変な統計量を抽出し、統計量を基にその形状を認識することを形状解析という。形状の局所記述子とは、注目している標本点の周りの形状を表現するものことで、形状の間の非類似度を定める整合コストを定義する際に使われる。このように、形状の整合は局所記述子に基づいているため、局所記述子として、曲率、距離集合、ヒストグラム、領域の面積、核関数、確率分布、標本点間の距離の平均など様々なものが研究されている。実用的な見地から言うと、その中でも距離集合は最も用途の広い局所記述子の一つである。距離集合は注目している標本点とそのいくつかの最近傍点の間の距離の集合として定義される。このように、距離集合は標本点の間の距離しか用いないため、形状の等長変換（平行移動、回転変換、鏡映変換）に対して不変であり、表現が単純で、形状を構成する標本点の順序付けを必要としないという優れた性質を持っている。他の局所記述子と比較すると、その性質が用途の広いものであることがわかる。例えば、上述の局所記述子のうちで、等長変換に不変なものは距離集合のみで（曲率は鏡映変換すると符号が変わることに注意）、標本点の順序付けを必要としないものは、距離集合の他にはヒストグラム、核関数、確率分布のみである。この性質に加えて、アルゴリズムの観点から見ても、距離集合の作成は距離の整列というよく知られた操作に帰着するため、距離集合は興味深い研究対象であると思われる。しかし、距離集合は整合コストの計算にかかる計算量が距離集合の要素数に比例して膨大に大きくなるという問題があるため、その性能と計算量はトレードオフの関係にある。

2. 研究の目的

形状の整合において、距離集合は用途の広い局所記述子として知られている。距離集合は単に標本点の間の距離の集合であるため、その実装は簡単である。また、形状の等長変換に対して不変であり、形状を構成する標本点の順序付けを必要としないという優れた性質がある。しかしながら、整合にかかる計算量が距離集合の要素数に比例して膨大に大きくなるという問題があるため、その性能と計算量はトレードオフの関係にある。本研究の目的は、アルゴリズムという意味で効率の良い整合がとれる新しい距離集合を提案することである。さらに、提案した距離集合を使った形状解析の工学的応用を開発することも本研究の目的である。

3. 研究の方法

初めに、距離集合の作成と形状の整合にかかる計算量を考察する。実際のところ、距離集合が提案された論文では、時間計算量という観点からはほとんど考察されていないため、それらを明らかにする必要がある。距離集合の作成に用いるアルゴリズムは、必要な領域計算量に応じて様々なものが考えられるが、最も単純な距離集合の作成についてのアルゴリズムは次のようになる：

- (a) ユークリッド距離行列（要素は標本点間のユークリッド距離）を作り、
- (b) 各標本点について、 n 個の最近傍点のユークリッド距離を整列する。

ただし、 n は距離集合の要素数である。形状の標本点の数を m とするとき、このアルゴリズムにかかる計算量は平均的に $O(m^2 \log m)$ であることが、応募者の先行研究でわかっている。また、形状の整合にかかる時間計算量についても、最も単純なアルゴリズムの計算量は $O(m^2 n \ln)$ であることがわかっている。形状の整合については、より複雑なアルゴリズムが考えられるので、それらの計算量についても明らかにする。

形状の整合にかかる計算量は、最近傍点の数 n が大きくなるにつれて深刻な問題となるため、この問題を軽減するために新しい距離集合を提案する。形状の標本点の凸包を考え、凸包におけるユークリッド幾何学的な距離と射影幾何学的な距離を混合した α -ヒルベルト距離を提案する。この α -ヒルベルト距離は、ヒルベルトの距離を拡張したものとして解釈できる。パラメータ α は凸包のマージン幅を表す変数である。 α -ヒルベルト距離を用いて、新しい距離集合を提案する。従来の距離集合と提案する距離集合の違いは、最近傍点の選び方とユークリッド距離の並び順だけである。マージン幅 α は、直観的に言うと、ユークリッド幾何学的な距離をどれだけ重視するかを決める変数で、適当な値を選ぶことで、整合コストの計算にかかる時間計算量を減らすという重要な役割がある。応募者の先行研究では、このマージン幅を手動で試行錯誤により決定していたが、これを自動で決めるような方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 2016 年度は上述のトレードオフの問題を軽減するために、新しい距離集合を提案した。新しい距離集合と従来の距離集合の異なる点は、距離集合の要素の選び方と並べ方のみであり、整合コスト関数は同じである。この要素の選び方と並べ方はヒルベルト距離（Hilbert distance）に基づいている。提案した距離集合を使った形状の整合では、従来の距離集合と比べて、整合にかかる計算量を大幅に削減できることを示した。線描画データを使った形状検索についての実験では、提案する距離集合は実行時間が大幅に短いにも関わらず、検索率が従来の距離集合に匹敵することを確認した。この成果はパターン認識分野の主要な国際会議である ICPR2016 で発表した。また、マージン幅を半自動で決めるように発展させた成果を投稿準備中である。

(2) ランドマークに基づく形状解析は、生物形態学、植物形態学、画像解析、化学、バイオインフォマティクスなど様々な分野で使われている。ランドマークとは、同じクラスの形状を表す輪郭線との対応がつけられた有限個の点のことである。形状検索にはランドマークに基づく形状間の距離を用いることが多く、フルプロクルステス (full Procrustes) 距離は、そのような距離のうちで最も代表的なものである。フルプロクルステス距離はランドマークを平行移動に関して不変となるように中心化し、回転行列と等方的スケーリング係数についての最適化問題を解くことによって求められる。直観的に言うと、相似変換 (平行移動、回転、等方的スケーリング変換) の下で、形状間を最も近づけたときのランドマーク間の距離に相当する。しかし、フルプロクルステス距離は等方的スケーリングしか考慮しないため、同じクラスの形状であっても、シア (shear) 変換のような非相似に歪んだ形状の間の距離は大きくなってしまい、形状検索において問題になることがある。この問題を解決するためには、非等方的スケーリングを考慮する必要があるが、非等方的スケーリング変換は自由度が高いために、上述の最適化問題の解が一意に定まらないという別の問題が生じる。

2017年度は、距離計量学習の枠組みを用いてこの問題を解決することにより、非等方的スケーリングに基づくフルプロクルステス距離を導出した。線描画データベースを用いた計算機実験では、導出した距離が従来の形状間の距離よりも検索性能という意味で優れていることを確認した。この成果はパターン認識分野の主要な国際会議である ACPR 2017 で発表した。

(3) 形状データの幾何学的な特性を考慮した解析を考える。幾何学的な特性を考慮した解析というのは、例えば、結果に形状の位置、向き、大きさが影響しないような解析のことである。最も有名なものはプロクルステス解析 (Procrustes Analysis) と呼ばれる方法である。この方法では、形状データの特徴的な箇所にランドマークを配置し、それらの座標を並べた配置行列を構成する。配置行列間の距離として、通常プロクルステス二乗和 (OSS, ordinary Procrustes sum of squares) を用い、その距離が形状の位置、向き、大きさに依存しないことを利用する。2018年度はプロクルステス解析としての形状データのクラスタリングアルゴリズムの開発に取り組んだ。クラスタリングは、大別すると、確率モデルによるものとそうでないものに分かれるが、それぞれの代表的なアルゴリズムとして EM アルゴリズムと k-means アルゴリズムが広く知られている。そこで、それらをプロクルステス解析として用いることができるように、OSS をそれぞれのアルゴリズムに組み込んだ更新式を導出した。様々な種類の形状データベースを用いた計算機実験では、形状データの幾何学的な特性を考慮したこれらのクラスタリングがうまく機能することを示した。この成果は機械学習分野の国際会議である ICONIP 2018 で発表し、それを発展させた成果を会議の特集号に投稿済みである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

01. Kazunori Iwata, Extending the Peak Bandwidth of Parameters for Softmax Selection in Reinforcement Learning, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol. 28, No. 8, pp. 1865-1877, Aug. 2017, 査読有.
DOI: 10.1109/TNNLS.2016.2558295
機関レポジトリ URI: <http://harp.lib.hiroshima-u.ac.jp/hiroshima-cu/metadata/12387>

[学会発表] (計 22 件)

01. 井原 みのり, 岩田 一貴, 三村 和史, 観測ノイズと大きなコヒーレンスがある線形観測による L1 正則化回帰の性能評価, 電子情報通信学会情報理論研究会, 2019 年 3 月.
02. 井原 みのり, 岩田 一貴, 三村 和史, 観測ノイズを伴うコヒーレンスが大きい線形観測による Lasso の性能評価, 第 3 回情報理論および符号理論とその応用ワークショップ (ICA 2019), 沖縄, 2019 年.
03. 井原 みのり, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, コヒーレンスが大きい線形観測による LASSO の近似的性能評価, 第 41 回情報理論とその応用シンポジウム (SITA 2018), いわき, 2018 年 12 月.
04. Kazunori Iwata, Shape Clustering as a Type of Procrustes Analysis, The 25th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2018), Siem Reap, Cambodia, Dec. 2018, 査読有. DOI: 10.1007/978-3-030-04212-7_19
05. Hiroki Yamamoto, Kazunori Iwata, Nobuo Suematsu and Kazushi Mimura, A Shape Matching Method Considering Computational Feasibility, The 2018 International Conference on Signal Processing and Machine Learning (SPML 2018), Shanghai, China, Nov. 2018, 査読有. DOI: 10.1145/3297067.3297077
06. 山本 大貴, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, 形状局所記述子を用いた形状整合の新しい枠組み, 第 21 回情報理論の学習理論ワークショップ (IBIS 2018), 札幌, 2018 年 11 月.
07. 岡本 司, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, 形状検索のための距離計量学習, 第 21 回情報理論の学習理論ワークショップ (IBIS 2018), 札幌, 2018 年 11 月.
08. 井原 みのり, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, コヒーレンスが大きい線形観測による

- Lasso の近似的性能評価, 第 21 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2018), 札幌, 2018 年 11 月.
09. Minori Ihara, Kazunori Iwata, Nobuo Suematsu and Kazushi Mimura, Typical Performance of Sparse Signal Recovery from a Linear Measurement with Large Coherence, The 2018 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA 2018), Singapore, Oct. 2018, 査読有. DOI: 10.23919/ISITA.2018.8664228
 10. 山本 大貴, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, 追加コスト関数を用いた形状間の対応付けの拡張, 平成 30 年度(第 69 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 広島, 2018 年 10 月.
 11. 岡本 司, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, ランドマークに基づく形状間の距離の学習, 平成 30 年度(第 69 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 広島, 2018 年 10 月.
 12. 井原 みのり, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 三村 和史, 大きなコヒーレンスを持つ観測によるスパース推定の性能評価, 平成 30 年度(第 69 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 広島, 2018 年 10 月.
 13. Minori Ihara, Kazunori Iwata, Nobuo Suematsu and Kazushi Mimura, Performance of Lasso from Linear Measurements with Large Coherence, The 2018 IEEE East Asian School of Information Theory & Communication (EASITC 2018), Taipei, Taiwan, Aug. 2018.
 14. Tsukasa Okamoto, Kazunori Iwata and Nobuo Suematsu, Extending the Full Procrustes Distance to Anisotropic Scale in Shape Analysis, The 4th IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR 2017), Nanjing, China, Nov. 2017, 査読有. DOI: 10.1109/ACPR.2017.139
 15. 山本 大貴, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 近傍標本点の対応を考慮した形状間の対応づけとその計算コストの削減, 第 20 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2017), 東京, 2017 年 11 月.
 16. 岡本 司, 岩田 一貴, 末松 伸朗, フルプロクルステス距離の拡張とその距離計量学習, 第 20 回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2017), 東京, 2017 年 11 月.
 17. 柴田 悠雅, 末松 伸朗, 岩田 一貴, ノンパラメトリックベイズ時系列整列法の高速度化, 平成 29 年度(第 68 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 岡山, 2017 年 10 月.
 18. 山本 大貴, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 近傍標本点の対応を考慮した形状整合の高速度化, 平成 29 年度(第 68 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会, 岡山, 2017 年 10 月.
 19. 嶋本 義己, 末松 伸朗, 岩田 一貴, マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた画像レジストレーション, 第 20 回画像の認識・理解シンポジウム, 広島, 2017 年 8 月.
 20. 岡本 司, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 非等方的スケールリングに基づく形状間の距離を用いた形状検索, 第 20 回画像の認識・理解シンポジウム, 広島, 2017 年 8 月.
 21. Kazuya Ose, Kazunori Iwata and Nobuo Suematsu, A Sampling Method for Coping with Contours Drawn with an Uncertain Stroke Order and Number, The 15th IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA 2017), Nagoya, Japan, May 2017, 査読有. DOI: 10.23919/MVA.2017.7986902
 22. Kazunori Iwata, Reducing the Computational Cost of Shape Matching with the Distance Set, The 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2016), Cancun, Mexico, Dec. 2016, 査読有. DOI: 10.1109/ICPR.2016.7899850

〔図書〕(計 0 件)

〔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://www.prl.info.hiroshima-cu.ac.jp/~kiwata/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。