

## 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 6 月 7 日現在

機関番号：25403

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700152

研究課題名（和文）曲線整合アルゴリズムの開発とその理論解析

研究課題名（英文）Curve Matching Algorithms and their Theoretical Analyses

研究代表者

岩田 一貴（IWATA KAZUNORI）

広島市立大学・情報科学研究科・講師

研究者番号：20405492

研究成果の概要（和文）：無向な形状を表現する新しい形状局所記述子と形状解析のための最適化によるランドマーク配置の研究を行った。この研究で開発した形状記述子は、形状全体のスケールの違いに対して不変であるだけでなく、形状の部分的なスケールの違いにも影響されにくいといった性質がある。また、ランドマーク配置の研究では、輪郭が表す物体についての専門知識や輪郭線の向きなどの数学的仮定を必要とせず、同種類の形状を表す複数の輪郭線にランドマークを適当に配置する方法を開発した。

研究成果の概要（英文）：We presented a local descriptor for representing unordered shapes. The descriptor is scale-invariant and suitable when the original whole shapes are similar. In addition, it is suitable even if parts of each original shape are drawn using different scales.

Then, we described a landmark placement method for shape analysis by optimization. The method places landmarks well on the contours of the same class objects without an expert about the contours or mathematical assumptions on the contours.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：知能情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

曲線整合アルゴリズムは、向きのない（無向な）曲線を扱うものと向きのある（有向な）曲線を扱うものの2つに分けられる。無向および有向な曲線の例として、それぞれ画像中の物体の輪郭およびタッチパネルに描画された曲線が挙げられる。タッチパネルに描画

された曲線は、入力された時刻によって向き付けることが可能である。ここでいう曲線整合アルゴリズムは、よく研究されている手書き文字認識に特化したものではなく、近年注目を集めているような物体の輪郭や線描画なども統一して扱うことのできるものであることを意味する。

計算機上では、無向な曲線は平面上の点の集合として表され、有向な曲線は平面上の点の順序集合として表される。例えば、曲線が画像中の物体の輪郭であるとき、曲線は輪郭のピクセル座標の集合である。2つの曲線間の整合を取る場合、それぞれの曲線のすべての点についての対応を考えると計算量が膨大となってしまうため、通常はそれぞれの曲線からいくつか標本点を選び、その選んだ標本点間の対応のみを求める。よって、曲線整合アルゴリズムを考える場合は、曲線からの標本点の選び方とそれぞれの曲線上の標本点間の対応の取り方の両方を考える必要がある。にもかかわらず、これまでの研究事例は標本点間の対応の取り方についてのみ工夫するものばかりで、標本点の選び方について言及する研究はほとんど存在しない。それらの研究事例では、各々の曲線上に一樣に分布するように標本点を選ぶ場合が多いが、この標本点の選び方に何か理論的な裏付けがあるわけではなく、単なるヒューリスティックである。その結果、曲線整合を標本点間の対応の取り方のみで解決することになり、そのアルゴリズムは複雑になってしまう。

標本点間の対応を取る方法は、結局のところ、最適な（部分）曲線間の類似度をどのように定義するかという問題に帰着する。多くの論文が指摘するように、最適な類似度というのは応用する問題に依存する。例えば、「6」と「9」を同一視する回転不変な類似度は、数字の認識においては不適当であるが、その他の認識においては適当であるかもしれない。よって、曲線整合アルゴリズムの応用を考える場合は、応用する問題に最も適当な類似度を選ぶ必要がある。これまでの研究事例では、代表的な変形の種類のうちで、いくつか複数の種類に対してある程度適当な対応が取れるような類似度を提案している。しかしながら、それ故に曲線整合アルゴリズムを応用する際には、提案されている類似度のうちでどれを選んでいいのかわからないという問題がある。この問題は、それらの類似度がどのような変形に対して最適であるのかが曖昧で、どの変形の種類に対しても最適ではないということが原因である。実際には、ある問題に関する多くのテストデータを用意し、そのデータに対して一つ一つ提案されている類似度を適用してその結果を調べた後でなければ、どの類似度がその問題に対して適当かどうかわからないというのが現状である。これには膨大な手間とコストがかかり、実用レベルには程遠い。

## 2. 研究の目的

物体の輪郭、線描画および文字は平面曲線に

よって構成されるため、曲線間の整合を取る（対応を取る）ための適当なアルゴリズムを見つけることは、画像中の物体認識、線描画認識および文字認識を目的とした形状解析において重要な問題である。一般に形状解析は取られた整合を基にして行われる。そこで、代表的な変形の種類のうちの各々に対して、何らかの理論的な保証のある曲線整合アルゴリズムを開発することが本研究の目的である。

具体的な変形の種類としては、部分的相似変形、区分的相似変形、節による変形およびオクルージョンによる変形などを扱う。また、理論的な側面からだけでなく、画像中の物体の輪郭線やタッチパネルに描画された線描画に対して、開発した曲線整合アルゴリズムを実際に応用することも目標である。

## 3. 研究の方法

### （1）形状記述子を用いた無向な曲線の整合アルゴリズム

計算機による形状認識において、形状はデジタル画像の線画や物体の輪郭からサンプリングされた平面上の点の集合として表される。形状は無向なものと同向なものに分類することができ、それぞれ点の集合とその全順序集合として定義される。無向な形状の認識では、曲率などの向きを持つ統計量を使うことはできないが、点の順序を定義する必要がないという意味で、有向な形状の認識より汎用性が高い。

近年、無向な形状を表現するための局所記述子がいくつか提案されている。しかし、これらの記述子はスケール不変でないため、サンプリングによって形状を生成する前に、対象とするすべての線画や物体の輪郭の大きさを揃える必要がある。この前処理をスケールの正規化と呼ぶ。スケールの正規化はもとの線画全体の形状が相似ならば効果的だが、線画の部分が異なるスケールで描かれている場合には効果的ではないことが多い。したがって、スケールの正規化を必要としないスケール不変な形の記述子とその認識アルゴリズムの開発する。また、形状の整合と検索の実験において、従来の代表的な記述子と性能比較することにより開発した記述子とその認識アルゴリズムの有効性を確かめる。

### （2）形状解析のための最適化によるランドマーク配置

形状解析とは、物体の輪郭線や線描画からユークリッド相似変換に対して不変な統計量を抽出して解析することである。形状解析では、通常、同種類の形を表す輪郭線との対応がつけられたランドマークと呼ばれる有限

個の標本点を用いてその形を解析する。そのため、形状解析する輪郭線上にランドマークが配置されていなければ、ランドマークを輪郭線上（あるいは輪郭線付近に）適当に配置する必要がある。

ランドマークの配置方法は、形態上の意味を考慮する方法、曲率などの幾何学的な特徴を考慮する方法、それらに当てはまらない方法の3つに分類される。形態上の意味は輪郭線の表す形状についての専門的知識を必要とするので、誰もが適当に選べるわけではない。また、輪郭線が無向である場合などは、曲率などの幾何学的特徴を計算できないので、いつも幾何学的特徴を考慮できるわけではない。そこで、専門知識や輪郭線の向きなどを必要とせず、同種類の形状を表す複数の輪郭線からその種の典型的形状の疑似ランドマークを手続き的に求める方法を考える。さらに、典型的形状の疑似ランドマークを基に、各輪郭線上に疑似ランドマークを効果的に配置する方法を開発する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 形状記述子を用いた無向な曲線の整合アルゴリズム

スケールの正規化を必要としないスケール不変な局所記述子とそれを用いた形状認識アルゴリズムを開発した。提案する記述子は、形状全体のスケールに対して不偏であるだけでなく、形状の部分的なスケールの違いにも影響されにくいといった性質がある。タッチパネルを使って描かれた線画や画像から抽出された輪郭線の形状整合と検索に関するいくつかの実験において、従来の代表的な記述子である Distance Set, Shape Context および Integral Invariant 記述子との比較を行い、開発した記述子と認識アルゴリズムが優れていることを示した。この研究成果は、IEICE Transactions on Information and Systems に掲載された（雑誌論文3を参照）。

##### (2) 形状解析のための最適化によるランドマーク配置

輪郭が表す物体についての専門知識や輪郭線の向きなどを必要とせず、同種類の形状を表す複数の輪郭線にランドマークを適当に配置する方法を提案した。この研究で提案する方法では、同種類の輪郭線には典型的形状が存在するという仮定を仮定し、複数の輪郭線を重ねたときの密度を考慮した最適化問題を解くことにより、その典型的形状のランドマーク配置を推定する。推定したランドマーク配置は元の複数の輪郭線にランドマークを配置する際に参照される。この方法によって得られるランドマーク配置は、形状の分類という意味で効果的であることを、数字

の輪郭線を用いた計算機実験により示した。この研究成果は、パターン認識分野の代表的な国際会議である ICPR で発表しており（学会発表7を参照）、現在はさらに発展させた成果を雑誌論文投稿に向け編集中である。

##### (3) 強化学習の情報理論的な解析

上記の成果(1)(2)に加えて、強化学習の収益最大化についての情報理論的な解析を行った。強化学習については、将来、曲線整合に応用したい枠組みとして注目している。この解析では、強化学習の確率的逐次決定過程に対してマルコフ性、定常性、エルゴード性を仮定せず、それらの代わりに漸近等分割性を仮定した。その仮定により、従来の文献とはかなり異なる視点から収益最大化を解析することになる。研究結果では、収益最大化は典型集合と最良系列集合との重複により達成されることを証明し、収益最大化のための必要条件を満たす確率的逐次決定過程のクラスを明らかにした。この研究成果は、機械学習分野の代表的な国際誌である Neural Networks に掲載された（雑誌論文2を参照）。

#### 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6件）

1. 玉田 寛尚, 林 朗, 末松 伸朗, 岩田 一貴, 階層隠れCRF, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 12, pp. 2610-2619, 2010, 査読有。
2. Kazunori Iwata, An information-theoretic analysis of return maximization in reinforcement learning, *Neural Networks*, Vol. 24, No. 10, pp. 1074-1081, 2011, 査読有, DOI: 10.1016/j.neunet.2011.05.002.
3. Katsutoshi Ueaoki, Kazunori Iwata, Nobuo Suematsu, and Akira Hayashi, Matching handwritten Line Drawings with von Mises distributions, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E94-D, No. 12, pp. 2487-2494, Dec. 2011, 査読有, DOI: 10.1587/transinf.E94.D.2487.
4. 金子 悟士, 林 朗, 末松 伸朗, 岩田 一貴, 階層的時系列データのための識別モデル, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-D, No. 2, pp. 306-315, 2013, 査読有。
5. 秋本 真治, 末松 伸朗, 林 朗, 岩田 一貴, ガウス過程に基づくノンパラメトリックベイズ時系列整理, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-D, No. 3, pp.

587-595, 2013, 査読有.

6. Akira Hayashi, Kazunori Iwata and Nobuo Suematsu, Marginalized Viterbi Algorithm for Hierarchical Hidden Markov Models, *Pattern Recognition*, 採録決定, 査読有.

[学会発表] (計 8 件)

1. 上青木 勝利, 岩田 一貴, 末松 伸朗, 林 朗, フォン・ミーゼス分布を用いた新しい形の記述子, 第 13 回情報論的学習理論ワークショップ, 東京大学生産技術研究所, 2010 年 11 月.
2. Kazunori Iwata, An Information-Spectrum Approach to Analysis of Return Maximization in Reinforcement Learning, the 17th International Conference on Neural Information Processing, Sydney, Australia, Nov. 2010.
3. Katsutoshi Ueaoki and Kazunori Iwata, A Novel Shape Descriptor Based on Von Mises Distributions, the 2nd World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, Kitakyushu, Japan, Dec. 2010.
4. Satoshi Kaneko, Akira Hayashi, Nobuo Suematsu and Kazunori Iwata, Hierarchical Hidden Conditional Random Fields for Information Extraction, the Learning and Intelligent Optimization 5, Rome, Italy, Jan. 2011.
5. 秋本 真治, 末松 伸朗, 林 朗, 岩田 一貴, ガウス過程事前分布を用いた時系列整列, 電子情報通信学会 NC 研究会, 玉川大学, 2012 年 3 月.
6. Kazunori Iwata, Improving the Variable Setting of Softmax Selection From an Information-Theoretic Viewpoint, 電子情報通信学会 IBISML 研究会, 京都キャンパスプラザ, 2012 年 6 月.
7. Kazunori Iwata, Placing Landmarks Suitably for Shape Analysis by Optimization, Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition, Tsukuba, Japan, pp. 2359-2362, Nov. 2012.
8. 栗栖 昂勢, 末松 伸朗, 岩田 一貴, 林 朗, ガウス過程事前分布を用いた空間変化混合モデルによる画像分割, 情報処理学会 第 75 回全国大会, 東北大学川内キャンパス, 2013 年 3 月.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

[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) 研究代表者

岩田 一貴 (IWATA KAZUNORI)  
広島市立大学・情報科学研究科・講師  
研究者番号 : 20405492

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし