

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：37112

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25871003

研究課題名(和文) スプラインベースドアプローチによる手書き文字画像からの動的書字スキル抽出法

研究課題名(英文) An Extraction Method of Dynamic Writing Skills from Static Handwriting Images Using Spline-based Approach

研究代表者

藤岡 寛之 (Fujioka, Hiroyuki)

福岡工業大学・情報工学部・教授

研究者番号：10349798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、スプラインベースドアプローチにより、手書き文字の静的画像から文字筆順を復元し、その復元筆順情報から書字者の書字速度・加速度パターンなどのいわゆる動的書字スキルを抽出するための手法を確立する、ことが目的であった。特に、(A) 手書き文字の静的画像からの筆順復元法の枠組みの開発、(B) 骨格スプラインモデルの理論とアルゴリズムの開発、(C) 動的書字スキル抽出法の開発、といった3つの課題に取り組んだ。特に、課題(B)では、ペンタブレットなどのデジタル機器上での筆記時にしばしば起こる「筆滑り」までを考慮した全く新しい骨格モデリングの手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Main purpose of this study was to develop some methods of recovering a dynamic stroke order from a given static handwriting images and then extracting some skill on dynamic handwriting. We here consider three issues: (A) development of framework for recovering stroke order from static character images, (B) development on a theory and algorithm of skeleton spline model, and (C) development of extracting dynamic writing skill. In particular, in (C), the novel method for skeleton modeling was developed by considering even the case where the so-called pen-slip may arise in handwriting on digital devices-- such as pen tablet, etc.

研究分野：ロボティクス

キーワード：筆順復元 グラフ理論 スプライン曲線 平滑化スプライン

1. 研究開始当初の背景

申請者はこれまでスプライン関数の応用研究の一つとしてヒトの書字運動を参考に文字フォントの設計に関する問題に取り組んでいる。そこでの問題はヒトの書字運動データ(位置や筆圧データ)から文字フォントを生成するものであった。一方、その逆問題となる文字フォントからヒトの書字運動を推定するのは不良設定問題である。しかし、そのような問題は筆跡鑑定をはじめ多様な分野において実用的かつ学術的にも重要な課題であるにもかかわらず、そのような研究は皆無であった。

2. 研究の目的

本申請研究では、現在までに取り組んできたスプラインに関する研究成果を基礎に、手書き文字画像から筆順復元をおこなうための方法を完成させ、それを発展させて書字者の動的書字スキル(書字速度・加速度パターン)を抽出する手法を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 手書き文字の静的画像からの筆順復元法の枠組みの開発:

筆順復元方法には、文字画像から細線化処理によりグラフモデルを構築し、その構造を手掛かりに筆順の復元を行う、といったグラフ理論に基づく方法が一般に用いられる。しかし、文字がダブルトレース構造(例えば、`え`の2度書き部分)や、交差か接触かを判断し難い構造(例えば、`x`と`\$x\$`)など特殊構造部を有す場合までを対処できる体系だった筆順復元方法は皆無であった。本課題では、スプライン曲線を活用して特殊構造部の検出手法の研究を行い、その結果を基に筆順復元法の枠組みを完成させることを目指した。従来、特殊構造部の検出にはグラフの関連する辺の間の角度を測る方法が使われてきたが、その検出精度は細線化処理に大きく左右される。本課題では、グラフ上の関連する辺からなる「道」に対して最適平滑化スプライン曲線を設計し、その滑らかさを指標として用いて特殊構造部を検出し、安定かつ効率的に筆順復元を行える枠組みを作る、といったパターン認識分野では他に見られないアプローチの研究で

あった。

(2) 骨格スプラインモデルの理論とアルゴリズムの開発:

細線化処理技術により文字画像からその文字構造に合致したグラフを構築することは難しい。その困難さは「にじみ」や「かすれ」などいわゆるノイズを含む場合にはさらに増す。したがって、課題に取り組む上でノイズにロバストなグラフ構築法が必須である。本課題では、スプラインにアプローチを基礎に、文字画像からグラフを正確に構築できる骨格スプラインモデルの理論とアルゴリズムの開発を行う。文字画像からのグラフ構築を扱った研究成果は従来からいくつか存在していたが、そのほとんどは計算量が多く実用的なものではなかった。本課題は、Bスプラインを基底関数として用い、文字画像からその骨格に相当するグラフを安定かつ高速に構築できる方法論とアルゴリズムの開発を行うといった極めて独創的な研究であった。

(3) 動的書字スキル抽出法の開発:

動的書字スキル(書字速度・加速度パターン)を抽出する方法を開発する。書字に焦点を当てた運動モデルに関する研究成果は数多くあるが、書字軌跡から運動の全体時間および経由点通過時刻を推定する手法は国内外共に皆無である。また書字の「巧さ」などいわゆるスキル制約に触れた研究もない。本課題では、スキル制約を考慮した書字運動モデルを最適化問題として定式化、および書字運動時間に関する推定法の開発が中心的課題となる。

4. 研究成果

本研究は、スプラインベースドアプローチにより、手書き文字の静的画像から文字筆順を復元し、その復元筆順情報から書字者の書字速度・加速度パターンなどのいわゆる動的書字スキルを抽出するための手法を確立することが目的であった。特に、(1) 手書き文字の静的画像からの筆順復元法の枠組みの開発、(2) 骨格スプラインモデルの理論とアルゴリズムの開発、(3) 動的書字スキル抽出法の開発、といった3つの課題に取り組んだ。特に、課題(1)と課題(2)において、下記のような他に類をみない結果が得られた。

(1) 課題(1)では、文字がダブルトレース構造(例えば、'え'の2度書き部分)や、交差か接触かを判断し難い構造('x'と'\$x\$')など特殊構造部を有す場合までを対処できる筆順復元方法を開発した。具体的には、文字画像からグラフを抽出し、ダブルトレースの可能性のある辺からなる「道」に対して最適平滑化スプライン曲線を設計する

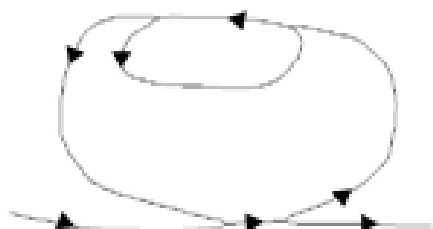


図1: ダブルトレース構造のある手書き文字の動的ストローク復元結果

ことで、その曲線の滑らかさを指標として用いることでダブルトレース構造を検出できる。細字ペンで書いた文字画像を用いた実験では、おおよそ良好な結果が得られている。

(2) 課題(2)では、文字画像からグラフを正確に構築できる骨格スプラインモデルの理論とアルゴリズムの開発に集中した。その研究の過程で、ヒトの書字運動時に「筆滑り」が生じることからヒントを得て、そのような筆滑りにロバスタな文字の骨格モデルを構築する手法についても平滑化スプラインおよびサポートベクターマシンの理論を基礎に研究を行った。細字ペンで書いた文字画像を用いた実験では、おおよそ良好な結果が得られている。

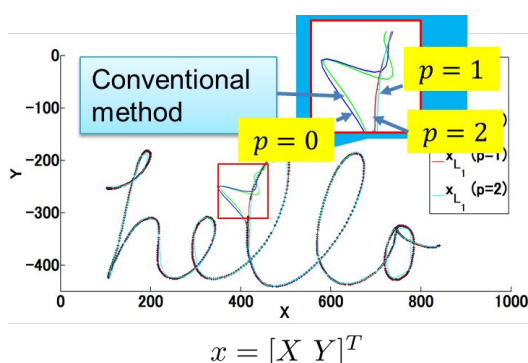


図2: 筆滑りにロバスタな骨格モデルスプライン

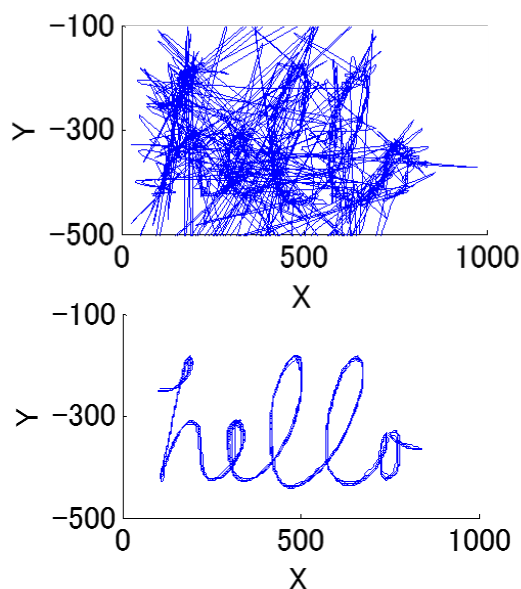


図3: 図2と同様の実験を100回繰り返した場合の結果(上図:従来法、下図:提案手法)

5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計4件)

H. Matsukida, Y. Mieno and H. Fujioka, Reconstructing Handwriting Character Font Models with Incorrect Stroke Order, International Journal of Mobile Computing and Multimedia Communications, Vol.6, No.2., pp.1-12, 2014 査読有

H. Fujioka, H. Kano, and C. F. Martin, Constrained Smoothing and Interpolating Spline Surfaces using Normalized Uniform B-splines, Communications in Information and Systems, Vol.14, No.1, pp.23-56, 2014. 査読有

H. Kano, H. Fujioka and C. F. Martin, Optimal Smoothing Spline with Constraints on Its Derivatives, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 7, No. 2, pp.104-111, 2014. 査読有

H. Fujioka and H. Kano, Monotone Smoothing Spline Curves Using Normalized Uniform Cubic B-splines, Transactions of the Institute of Systems, Control and Information, Vol.26, No.11, pp.389-397, 2013. 査読有

〔学会発表〕(計5件)

Y. Mieno, H. Fujioka and H. Kano, Data Compression of Digital-Ink with Pen-Slips Using Multi-level L1

Smoothing Splines, Proc. of the 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 1787 – 1792, Hong Kong, Oct. 9-12, 2015.

H. Fujioka and H. Kano, Outlier Detection using Optimal B-spline Smoothing with Application to Data Compression of Digital-Ink with Pen-Slip, Proc. of the 2014 IEEE Multi-conference on Systems and Control, pp.1877-1882, Antibes, France, October 8-10, 2014.

H. Kano and H. Fujioka, Control Theoretic B-Spline Smoothing with Constraints on Derivatives Trivariate Optimal Smoothing Splines with Dynamic Shape Modeling of Deforming Object, Proc. of the 19th IFAC World Congress, pp.9165-9170, South Africa, 24-29 August 2014.

H. Fujioka and H. Kano, Compression of Digital-Ink with Pen Slip Using Optimal L1 Smoothing Splines, Proc. of the 44th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 6 pages, Okinawa, Japan, Nov. 1-2, 2013.

T. Nagoya and H. Fujioka, Recovering Human-like Drawing Order from Static Handwritten Images with Double-Traced Lines, Proc. the 3rd International Conference on Intelligent Robotics, Automations, Telecommunication facilities, and applications, Fukuoka, Japan. Jul. 8-10, 2013.

〔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.fit.ac.jp/~fujioka>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤岡寛之 (Fujioka Hiroyuki)
福岡工業大学・情報工学部・教授
研究者番号：10349798