

学位被授与者氏名	スーントーンウォン ラチャナート (SOONTORNVORN RACHANART)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 5 8 号
学位授与年月日	2 0 2 0 年 3 月 2 0 日
論文題目	Study on Compact B-spline Curve Design using Dynamic Programming Approach
論文題目 (英訳または和訳)	動的計画アプローチを用いたコンパクト B スプライン曲線設計に関する研究" 主論文の要旨
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 藤岡 寛之 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 宋 宇 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 田嶋 拓也 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 木野 仁
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>あるデータ点の集合に対する曲線あてはめ問題は、数値解析、ロボティクス、画像処理などサイエンス・工学における多数の応用に関して重要な問題である。そのような曲線あてはめ問題を解くための自然なアプローチは、区分的多項式により定義される特殊な関数の一つであるスプラインを用いたものである。そのようなアプローチを用いることで、曲線生成における簡潔さ、計算の容易さおよび精度、さらには曲線あてはめもしくは対話的曲線設計における複雑形状の近似が実現できる。なかでも、様々な種類のスプラインからの自然な選択はショーネベルグにより開発された B スプラインである。B スプラインは、与えられた次数、滑らかさおよび領域区間に関して最小局所的な台をもつスプライン関数である。</p> <p>本論文は、B スプラインアプローチを用いた曲線の設計に関する問題を考える。曲線は正規化された一様な B スプライン関数を基底関数として用いて生成する。つまり、節点は等間隔である。B スプライン関数の制御点による系列は「制御多角形」と呼ばれ、曲線の幾何学的な輪郭を表す。そのような制御多角形に対する取り扱いは対話的曲線の設計において非常に有用である一方で、取り扱やすさは制御点の個数に依るところも多い。そのような設計における取り扱やすさを向上させるための一つの自然な方法は、与えられた B スプライン曲線に対し、支配的な制御点のみを用いて、望みの精度は保ちつつ、よりコンパクトな B スプライン曲線として表すことである。</p> <p>本論文の目的は、そのような支配的な制御点のみを使いコンパクト B スプライン曲線を設計する方法を開発することである。特に、そのような方法を「平面 B スプライン曲線」と「周期的 B スプライン曲線」という 2 つの典型的な B スプライン曲線の場合に対して開発する。そこでの、中心的な課題は、どのように支配的な制御点を選択するかという最適化問題となる。そのような問題を解決するために動的計画法を導入する。これにより、従来のトライ・アンド・エラーによるアプローチに較べ計算時間が軽減される。さらには、最適に選ばれた制御点を用いた曲線の表現は、NURBS と呼ばれる非一様有理 B スプラインを用いて行われる。「平面 B スプライン曲線」と「周期的 B スプライン曲線」に対する同方法は、それぞれ動的フォント法とよばれる文字設計および柔軟物体に対する輪郭モデリング問題へと応用される。その有用性については数値実験等により示される。</p> <p>本論文の構成は以下の通りである。第 1 章では、導入として本論文の研究に関する背景と目的について述べる。第 2 章では、B スプライン関数および非一様有理 B スプラインを含むスプライン曲線の基礎について述べる。第 3 章では、グラフ理論を含む動的計画法について述べる。第 4 章では、コンパクト平面 B スプライン曲線の設計法および実験により有用性を示す。周期 B スプライン曲線に対する同用の方法および実験は第 5 章において述べる。最後に、第 6 章において本論文のまとめを述べる。</p>
論文内容の要旨 (英文)	Fitting a curve to a set of data points is a key problem in many applications of science and engineering-such as numerical analysis, robotics and image processing, etc. For solving such a curve-fitting problem, a natural approach is

one with the so-called “spline function” which is a special function defined piecewise by polynomials. Such a spline approach enables us to yield the simplicity of their construction, their ease and accuracy of evaluation, and their capacity to approximate complex shapes through curve fitting and interactive curve design. In particular, a natural choice from various types of splines is ‘B-splines’ developed by Schoenberg, in which a spline function that has minimal support with respect to a given degree, smoothness, and domain partition.

This thesis considers a problem of designing curves using B-spline approach. Therein, the curves are constituted by employing the normalized, uniform B-splines as basis functions. That is, their knot points are equally-spaced. Then, a sequence of control points of B-splines is called as ‘control polygon’, which represents the geometrical outline of curves. Such a treatment on the control polygon is very powerful in the interactive curve design. With respect to the design using such a B-spline approach, we however see that the design usability may depends on the number of control points on the curves. For improving such a design usability, a natural way is to represent a given curves as more compact B-spline curves by using only the dominant control points, in which the desired approximation accuracy is achieved.

Main purpose of thesis is to develop a method for designing such compact B-spline curves by using only the dominant control points. In particular, such a method is developed for typical two types of B-spline curves “planar B-spline curves” and “periodic B-spline curves”. Then, a central issue is how we optimally select a dominant control points. For solving such a problem, we here introduce an optimization approach using dynamic programming (DP) method. That is, the selection problem is formulated as a graph problem and is solved by DP. Thus, the method does not lead to huge amounts of computation time unlike the ordinary approaches- such as trial-and-error approach. In addition, it is shown that representation using the selected control points can be realized using NURBS (Non-Uniform Rational B-splines). The methods for the planar and periodic splines can be applied for the character design using the so-called dynamic font method and the contour modeling problem for the deformable objects, respectively. The performances are demonstrated by experimental studies.

The outline of this thesis is as follows. In Chapter 1, we give the background and the purpose of this thesis as an introduction. In Chapter 2, we present the spline curve basics including B-spline as well as Non-Uniform B-splines (NURBS), which will be frequently used throughout this thesis. In Chapter 3, we presented the dynamic programming including graphs theory. In Chapter 4, we develop the method for designing compact planer B-spline curves and conduct some experimental studies in order to demonstrate the usefulness and effectiveness of our proposed method. The similar work for the case of periodic splines are discussed in Chapter 5. In Chapter 6, the conclude remarks of this thesis are given.

論文審査結果

博士後期課程知能情報システム工学専攻 3 年のスーン・トーン・ウォン・ラチャナート氏から提出された学位論文を審査し、また最終試験を行ったのでその結果について報告する。

曲線あてはめ問題は様々な工学分野の問題で現れる重要な問題である。そのような曲線あてはめ問題に対する自然なアプローチは、区分的多項式により定義される関数であるスプライン関数を用いることである。その理由としては、曲線生成における簡潔さ、計算の容易さ、精度および複雑形状の近似が実現できる、等が挙げられる。特に、与えられた次数、滑らかさおよび領域区間に関して最小局所的な台をもつ B スプライン関数の採用はごく自然な選択となっている。

本論文は、B スプラインアプローチを用いた曲線設計に関する問題を考えている。

曲線は正規化された一様なBスプライン関数を基底関数として用いて生成する。つまり、節点は等間隔である。Bスプライン関数の制御点による系列は制御多角形と呼ばれ、曲線の幾何学的な輪郭を表す。そのような制御多角形に対する取り扱いは曲線の対話的設計を可能とする一方、その設計の操作性は制御点の個数に依る。そのような設計上の操作性を向上させるために、与えられたBスプライン曲線に対し、支配的な制御点のみを用いて、望みの精度は保ちつつ、よりコンパクトなBスプライン曲線として表すことが本研究の主課題となっている。

本論文では、コンパクトBスプライン曲線を設計する方法を「平面Bスプライン曲線」と「周期的Bスプライン曲線」という2つの典型的な場合に対して提案している。特色は、支配的な制御点を選択するための最適化問題をグラフ理論に基づき定式化し、制御多角形の微分値の誤差までを考慮する多階層評価関数を導入した動的計画法により解が得られる点である。これにより、トライ・アンド・エラー等による従来のアプローチに較べ計算時間が軽減でき、しかも安定的に支配的な制御点を選択できる。加えて、周期的制約を課した曲線の場合までに拡張されている。このような制約条件を考慮した研究は従来研究ではみられず価値ある結果であるといえる。さらに、提案手法の有用性は文字フォントの設計と柔軟物体の輪郭モデリング問題に関する数値実験により示されており、工学的価値も高いといえる。

本論文は6つの章で構成されている。第1章では、導入として本論文の研究に関する背景と目的について紹介している。第2章ではBスプライン関数および非一様有理Bスプラインを含むスプライン曲線の基礎について述べている。第3章ではグラフ理論を含む動的計画法について述べている。第4章と第5章ではそれぞれ平面Bスプライン曲線と周期Bスプライン曲線に関するコンパクトBスプライン曲線の設計法の詳細が示され、各章にて数値実験により有用性が示されている。最後に、第6章において結論とこの問題に関する今後の課題の見識を与えて、論文をまとめている。

本研究の成果は、氏の博士後期課程在学期間において学術論文1編（第一著者1編）、国際会議6編（第一著者3編）となっている。

以上の理由により、審査委員会は本論文が学位論文の内容として適合すると判定した。

学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。

以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。

<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 11編1冊 査読付き学術論文：第一著者1編</p> <p>1. "Design of Compact Planar B-spline Curves Using DP Control Point Selection with Multi-Level Error Functions - Towards Usability Improvement in Design of Dynamic Font-based Characters", IEIE Transactions on Smart Processing & Computing, Vol.8, No.2, pp. 108-120 (2019) Authors: R. Soontornvorn and H. Fujioka</p> <p>査読付き国際会議論文：第一著者3編</p> <p>1. "DP-based Control Point Selection of Periodic Splines and Its Application to Object Contour Modeling", Extended Abstracts of the 51th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS '19), pp. 23-24, Aizu-Wakamatsu, Fukushima, Japan, Nov. 1-2 (2019) Authors: R. Soontornvorn, H. Fujioka and H. Kano</p>
---------------	--

2. " Design of Compact Planar B-spline Curves Using DP Control Point Selection Towards Usability Improvement in Design of Dynamic Font-based Characters ",
Proc. the 2018 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2018), pp. 1470-1473, Jeju, Korean, Oct. 28-31 (2018)
Authors: R. Soontornvorn and H. Fujioka
3. " Modeling ECG wave-form using optimal smoothing Bezier-Bernstein curves ",
Proc. the 2017 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2017), pp. 1235-1238, Penang, Malaysia, Nov. 5-8 (2017)
Authors: R. Soontornvorn, H. Fujioka, V. Chutchavong and K. Janchitrapongvej

査読付き国際会議論文：3編

1. " Constructing Compact Cubic B-spline Curves Using DP-based Dominant Control Point Selection ",
Extended Abstracts of the 50th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS '18), pp. 129-130, Kyoto, Japan, Nov. 1-2 (2018)
Authors: H. Fujioka, R. Soontornvorn and H. Kano
2. " Toward an Understanding of Nanosheet Object Motion from Noisy Microscopy Images Using Deep-Learning Approach ",
Extended Abstracts of the 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (ICNN5), pp. 89, Fukuoka, Japan, Aug. 22-25 (2018)
Authors: J. Sawangphol, R. Soontornvorn, H. Fujioka, S. Anraku, N. Miyamoto, T. Kato, H. Kino, A. Hidaka and H. Kano
3. " Design of Compact B-spline Curves Using Optimal Control Point Selection ",
Extended Abstracts of the 49th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS '17), pp. 43-44, Hiroshima, Japan, Nov. 3-4 (2017)
Authors: H. Fujioka, R. Soontornvorn and H. Kano

査読無し国内会議：第一著者3編

1. " DP-based Control Point Selection of Periodic Splines for Compact Contour Modeling ",
The 72th Joint Conference of Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyushu, pp. 117 Fukuoka, Japan, Sept. 27-28 (2019)
Authors: R. Soontornvorn and H. Fujioka
2. " Constructing Compact Planar B-spline Curves Using Dynamic Programming-based Control Point Selection ",
The 71th Joint Conference of Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyushu, pp. 253, Oita, Japan, Sept. 27-28 (2018)
Authors: R. Soontornvorn and H. Fujioka

3. "Optimal Modeling of ECG Waveform using Smoothing Bezier-Bernstein Curves",
The 70th Joint Conference of Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyushu, pp. 198, Okinawa, Japan, Sept. 27-28, (2017)
Authors: R. Soontornvorn and H. Fujioka

査読無し国内会議：1編

1. "Design of Hairy Brush Characters Using Convolutional Encoder-Decoder Network",
The 71th Joint Conference of Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyushu, pp. 252, Oita, Japan, Sept. 27-28 (2018)
Authors: J. Sawangphol, R. Soontornvorn and H. Fujioka

受賞歴等

1. 2016 Excellent Presentation Award of the IEEE Fukuoka Section Award Winners, 2017年3月