

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19300024

研究課題名（和文） 自由曲線・曲面形状の美的制御性の解明

研究課題名（英文） Aesthetic Control of Free-Form Curves and Surfaces

研究代表者

齋藤 隆文（SAITO TAKAFUMI）

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60293007

研究成果の概要（和文）：

本研究では、自動車のボディ形状に代表されるような高度に美しい曲線・曲面を、計算機で直観的かつ対話的に生成することを目的としたものである。高度に美的な曲線群として我々が世界に先駆けて提案した「対数美的曲線」に対し、既存の曲線形式を用いた近似と、種々の対話的制御を実現した。また、これを空間曲線に拡張し、理論的性質を解明するとともに対話的制御法を提案した。さらに、2本の対数美的曲線をもとにした曲面生成・制御法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to generate highly aesthetic curves and surfaces, such as car body shapes, by using computers with interactive and intuitive operations. We had already proposed 'log-aesthetic curves', a class of highly aesthetic curves involved in real shapes. For those curves, we realized approximation techniques with existing curve forms and interactive control methods. Then, we extended them to space curves, clarified its theoretical features, and proposed interactive control methods. Also, we proposed generation and control techniques for an aesthetic surface patch based on given two log-aesthetic curves.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：画像情報工学

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：形状処理、曲線セグメント、螺旋、曲率、振率、反射線、対話的制御、可視化

1. 研究開始当初の背景

近年、工業製品などにおいて、消費者の人気を左右する要因としてデザインの重要性がますます高まる傾向にあり、曲線や曲面を巧みに取り入れた美しい形状に対する需要が広がりつつある。しかしながら、既存のデザイン CAD あるいは CG モデリングシステ

ムでは、高度な美的要求を満たす曲線・曲面の生成には十分に対応していない。そのため、デザインの現場では、デザイナーが手で描いた曲線や手作りのクレイモデルをスキャンして CAD 用のデータに変換することを余儀なくされている。曲線・曲面の高度な美しさには、法線方向や曲率の連続性に加えて、曲率変化の単調性が深く関与することが知られ

ているが、これらを直観的に制御する技術が不十分である。

我々は美しい曲線に関する新たな理論体系を世界に先駆けて構築してきた。自然物・人工物を問わず、現実に存在する多くの美しい曲線において、曲率対数分布図が直線で近似できることを指摘した。「対数美的曲線」と呼ばれるこのような曲線群を数学的に解析し、その全体像の解明を行うとともに、3個の制御点の操作で対数美的曲線セグメントを対話的に描く手法を提案した。しかしながら、パラメトリック曲線・曲面や細分割曲面を基本として構成されている既存のCAD・CGシステムを、対数美的曲線ならびにそれを拡張した曲面だけで完全に置き換えることは、非現実的と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、自動車のボディ形状に代表されるような高度に美しい曲線・曲面を、計算機で直観的かつ対話的に生成することを目的とし、曲線・曲面の新しい表現理論・制御手法を確立し、その評価を行う。本研究の成果により、既存のCAD・CGシステムの基本的枠組みを変更せずに、各種の形状デザインにおける美しい曲線・曲面の生成が容易となる。それによって、高度な意匠デザインから一般ユーザが描くイラスト図に至るまで、曲線・曲面デザインの品質と効率が飛躍的に向上し、形状デザインの美的革命をもたらすことが期待できる。

本研究では、既存のCAD・CGシステムで広く用いられているパラメトリック曲線・曲面および細分割曲面に対して、曲率単調性や曲率対数分布図の直線性などの美的要因を満たす条件を理論的に解明し、曲線・曲面の直観的かつ対話的な生成・制御手法を確立することを目的とする。4年の研究期間内で次のことを明らかにする。

- ① 曲線・曲面の美的要因の解明
- ② 有理パラメトリック曲線・曲面の美的制御理論ならびに制御手法の確立
- ③ 美的細分割曲線・曲面理論の構築
- ④ 曲線・曲面の形状特徴可視化およびそれを用いた美的評価
- ⑤ CADへの実装とシステムの評価

3. 研究の方法

本研究では、研究代表者・分担者のそれぞれの研究室の大学院生を研究分担者として加え、以下の体制で実施した。

- ① 斎藤隆文研究室（東京農工大学）
主担当：研究の統括と理論検討
・美的形状処理理論の検討

- ・美的制御・細分割理論の構築
- ・可視化による美的評価法の検討

② 吉田典正研究室（日本大学）

- 主担当：アルゴリズム検討と実装
- ・美的形状処理アルゴリズムの検討
- ・プログラムによる実装

③ 原田利宣研究室（和歌山大学）

- 主担当：デザインの立場からの検討・評価
- ・曲線・曲面の美的要因の解明
- ・生成された曲線・曲面の評価

研究の進め方として、既存の美しい曲線・曲面からの美的要因の解明、既存の曲線・曲面理論の検討と新理論体系の構築、美的曲線・曲面の対話的制御方法の検討と実装、実際のデザインにおける評価、を並行させながら、平面曲線、空間曲線、曲面の順に進めることとした。

4. 研究成果

本研究の成果について、平面曲線の美的制御、空間曲線の美的制御、曲面の美的制御、美的再分割曲線・曲面、曲面形状特徴量の可視化、美的曲線・曲面技術の応用、に分けて述べる。最後に、これらの成果の位置づけと今後の課題をまとめる。

(1) 平面曲線の美的制御

① 美的平面曲線に関する理論体系

対数美的曲線を考える上で核となる、曲率対数グラフに関して、様々な曲線の例を解析することにより、いくつかの知見を得た。たとえば、曲線の連続性と曲率対数グラフの連続性との関係、曲率極大点・変曲点・無限遠点における振る舞いなどである。

また、美的要因として重要な、曲率単調性について検討し、特に有理3次Bezier曲線の曲率単調性を12次Bernstein関数により高速に検査する手法を提案した。

② 対数美的平面曲線の対話的制御

セグメントの途中で性質が変化するような、複合リズム曲線セグメントを、3つの制御点と1つのパラメータから対話的に生成する方法を実現した。

③ 既存平面曲線を用いた美的制御技術

対数美的曲線の良い性質を、既存のパラメトリック曲線で実現するための複数の技術を開発した。まず、対数美的曲線セグメントを有理3次Bezier曲線で近似表現する手法、ならびに、テイラー展開を用いて多項式Bezier曲線で近似表現する手法を提案した。また、曲率単調性が保証されたClass A Bezier平面曲線に関して、その対話的制御の実現した。入力・制御方法としては、入力された曲線を

もとに複数セグメントが接続された対数美的曲線を得る方法や、Bezier形式を用いた制御などの検討を行った。

(2) 空間曲線の美的制御

① 空間曲線の美的要因の解明

工業製品や自然造型物などの美しい空間曲線を調査し、曲率のほか振率の線形性も美的要因に関係していることを見出した。曲率・振率対数グラフがともに線形であるような「対数美的空間曲線」において、曲率・振率の変化方向と対数グラフの傾き(+, 0, -)による分類を行った。

② 対数美的空間曲線に関する理論体系

対数美的曲線に関して、平面曲線の考え方を空間曲線に拡張し、その定式化と、全体像の解明を行った。曲率・振率の変化方向の違いや、変曲点の存在範囲、無限遠における振る舞いなどにより、曲線形状の全パターンを解明した。

③ 対数美的空間曲線の対話的制御

曲線セグメントの両端点位置と接線方向を与えることで、実時間で生成・制御する手法を確立した。

④ 既存空間曲線を用いた美的制御技術

Class A Bezier 空間曲線を、両端点位置と接線方向を与えることで、実時間生成する手法を確立した。これにより、曲率・振率の単調性が保証されたパラメトリック空間曲線セグメントを簡易に生成・制御することが可能となった。

(3) 曲面の美的制御

① 対数美的空間曲面の生成・制御

2本の対数美的空間曲線とそのパラメータ変化を与え、美的曲面パッチを生成する一手法を考案した。これを発展させ、2本の手描き曲線をもとに、美的曲面パッチを生成するシステムを構築した。制御方法として、3次元位置センサーを用いた対話的操作を取り入れ、美的曲面パッチを直感的に創成することが可能となった。

② 対数美的曲面の評価

上記で生成した対数美的曲面について、様々な環境下における印象の評価を、拡張現実感を用いて試みた。

(4) 美的細分割曲線・曲面

既存の細分割手法である Catmull-Clark 法を基本として、曲率単調性を意識した条件を付加し、平面曲線のための新しい細分割アルゴリズムを提案した。さらに、これを曲面に拡張する方法に関して検討し、その性質を解析

した。

(5) 曲面形状特徴量の可視化

曲線・曲面の美的要因にかかわる、反射線形状のうねりの有無を可視化する手法を提案した。この手法では、与えられた視点において、周囲のすべての直線が曲面に映りこむ際の曲がり具合を統合的に検証し、各点でのうねりの最大値の可視化を実現した。

(6) 美的曲線・曲面技術の応用

耳介形状の曲線を分析し、曲率プロファイルから曲線特徴を分類することにより、形成外科手術用テンプレートを開発した。

近隣と遠方を同時に表現できるデフォルメ地図において、変形による曲がり具合が不自然にならないような多視点投影方法を提案した。

曲面をもつ美的な紙パッケージ作成に向けて、基本となる理論を検討した。

(7) まとめ

上記の研究成果は、美的要因として重要な、曲率が単調に変化する曲線・曲面群を組織的に生成・制御するための新しい理論体系およびその実現技術として、世界でも類を見ないものである。

今後は、これらの技術が様々な場面で実用に供すること目標に、研究を継続する予定である。特に曲面に重点を置き、理論の構築、多様な曲面生成制御手法の実現、評価技術の確立を目指したい。

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 17 件)

- ① 山田 朗, 原田利宣, 上田晃一,
耳介の形態に応じたフレームワークの
作製, 形成外科, 54(3), pp.251-260, (2011)
(査読有).
- ② Kenta Matsubuchi, Hitomi Okajima,
Kumiko Hori, Hiroko Nakamura Miyamura,
Tadasuke Furuya, Takafumi Saito,
Deformed Map with Simultaneous
Expression of Close and Distant View,
Journal of the Institute of Image Electronics
Engineers of Japan,
40(1), pp.124-131 (2011) (査読有).
- ③ 原田利宣, 山田 朗, 佐藤 瑛, 富田郁成,
耳介形状における曲線の分析と形成外科
手術用テンプレートの開発,
デザイン学研究, 57(4), pp.21-26 (2010)
(査読有).
- ④ Norimasa Yoshida, Ryo Fukuda,
Takafumi Saito,

- Interactive Generation of 3D Class A Bezier Curve segments, Computer-Aided Design and Application, 7(2), pp.163-172 (2010) (査読有).
- ⑤ 福田 諒, 吉田典正, 斎藤隆文, Class A Bezier 空間曲線の対話的生成と典型的空間曲線の性質, 精密工学会誌, 76(5), pp.587-591 (2010) (査読有).
- ⑥ 原田利宣, 宮尾和樹, Web 上画像と感性ワードを用いたデザインコンセプト立案支援システム開発, デザイン学研究, 56(6), pp.67-76 (2010) (査読有).
- ⑦ Norimasa Yoshida, Ryo Fukuda, Takafumi Saito, Logarithmic Curvature and Torsion Graphs, Mathematical Methods for Curves and Surfaces 2008 (edited by Daehlen et al.), LNCS 5862, Springer, pp.434-443 (2010) (査読有).
- ⑧ 三浦憲二郎, 上利真一, 秋江俊尚, 吉田典正, 斎藤隆文, 平面曲線に対する離散的 log-aesthetic フィルタの開発とその空間曲線と曲面への拡張法の提案, 画像電子学会誌, 38(4), pp.414-422 (2009) (査読有).
- ⑨ Kenjiro T. Miura, Shin'ichi Agari, Toshinao Akie, Norimasa Yoshida, Takafumi Saito, Discrete Log-Aesthetic Filter, Computer-Aided Design and Applications, 6(4), pp.501-512, (2009) (査読有).
- ⑩ Norimasa Yoshida, Takafumi Saito, Compound-Rhythm Log-Aesthetic Curves, Computer-Aided Design and Applications, 6(2), pp.243-252, (2009) (査読有).
- ⑪ 井上治郎, 原田利宣, 今井敏行, 小島志織, 空間曲線の性質分析手法の提案, デザイン学研究, 55(5), pp.65-74 (2009) (査読有).
- ⑫ 原田利宣, 河野正之, 美しく接続された視覚言語を用いたラフスケッチの清書, デザイン学研究, 55(5), pp.55-64, (2009) (査読有).
- ⑬ 原田利宣, デザイナのための「美しい曲線」再考, デザイン学研究, 55(2), pp.75-82, (2008) (査読有).
- ⑭ Norimasa Yoshida, Tomoyuki Hiraiwa, Takafumi Saito, Interactive Control of Planar Class A Bezier Curves using Logarithmic Curvature Graphs, Computer-Aided Design and Applications, 5(1-4), pp.121-130, (2008) (査読有).
- ⑮ 河野正之, 原田利宣, 吉本富士市, 図面への適用を考慮した視覚言語を用いたラフスケッチの清書化, デザイン学研究, 55(1), pp.47-54 (2008) (査読有).
- ⑯ 原田利宣, 感性品質に関連する美しい空間曲線の性質と創成, 設計工学, 43(10), pp.537-543 (2008) (査読無, 招待論文).
- ⑰ Norimasa Yoshida, Takafumi Saito, Quasi-Aesthetic Curves in Rational Cubic Bezier Forms, Computer-Aided Design and Applications, 4(1-4), pp.477-486, (2007) (査読有).
- [学会発表] (計 38 件)
- ① 平野 亮, 原田利宣, 床井浩平, 拡張現実感を用いた様々な環境下における対数美的曲面の印象評価に関する研究, 情報処理学会 第142回グラフィクスとCAD研究会, 横浜 (2011年 2月 9日).
- ② 伊丹裕美, 原田利宣, 3次元位置センサを用いた直観的制御による対数美的曲面創成システムの開発, 情報処理学会 第142回グラフィクスとCAD研究会, 横浜 (2011年 2月 9日).
- ③ 福田 諒, 吉田典正, 齋藤敏雄, 斎藤隆文, Taylor展開を用いた対数美的平面曲線のBezier曲線近似, 情報処理学会 第142回グラフィクスとCAD研究会, 横浜 (2011年 2月 9日).
- ④ Kenta Matsubuchi, Hitomi Okajima, Kumiko Hori, Hidefumi Watanabe, Takafumi Saito, Square deformed map with simultaneous expression of close and distant view, ACM SIGGRAPH Asia 2010, Poster, Seoul (2010年12月16日).
- ⑤ 高橋都子, 斎藤隆文, 曲面をもつ紙パッケージの制作支援ツール, 画像電子学会 ビジュアルコンピューティングワークショップ 2010, 浜松 (2010年11月27日).
- ⑥ Shohei Yamazaki, Tadasuke Furuya, Hiroko Nakamura Miyamura, Takafumi Saito, Bas-relief from 2D images, Image Electronics and Visual Computing Workshop 2010, Nice (2010年 3月 7日).
- ⑦ Ryo Fukuda, Norimasa Yoshida, Takafumi Saito, Interactive Generation of Compound-Rhythm Log-Aesthetic Space Curves, Image Electronics and Visual Computing Workshop 2010, Nice (2010年 3月 7日).
- ⑧ Jiro Inoue, Toshinobu Harada, Tohru Hagihara, An Algorithm for Generating Log-Aesthetic Curved Surfaces and the Development of a Curved Surfaces Generation System using VR, International Association of Societies of Design Research 2009,

- Seoul (2009年10月21日).
- ⑨ Norimasa Yoshida, Ryo Fukuda,
Takafumi Saito,
Log-Aesthetic Space Curve Segments,
SIAM/ACM Joint Conference on Geometric
and Physical Modeling 2009,
San Francisco (2009年10月 5日)
- ⑩ Akira Yamada, Toshinobu Harada,
Kenneth E. Salyer,
External Ear Reconstruction,
11th Congress of Pan Arab Association for
Bum & Plastic Surgery, Tripoli
(2009年 4月).
- ⑪ Ryo Fukuda, Norimasa Yoshida,
Takafumi Saito,
Interactive Control of 3D Class-A Bezier
Curves, SIGGRAPH Asia 2008 Sketch,
Singapore (2008年12月).
- ⑫ Norimasa Yoshida, Ryo Fukuda,
Takafumi Saito,
On the logarithmic curvature and torsion
graphs,
Mathematical methods for curves and
surfaces, Tonsberg, Norway (2008年 7月).
- ⑬ Norimasa Yoshida, Tomoyuki Hiraiwa,
Takafumi Saito,
Interactive Control of Planar Class A Bezier
Curves using Logarithmic Curvature Graphs,
International CAD Conference 2008, Orland,
USA (2008年 6月).
- ⑭ Takafumi Saito, Norimasa Yoshida,
Takumi. Kaseda, Hiroko N. Miyamura,
Reflection Inflection Function: A Unified
Analytical Theory of Reflection Distortion
for Curved Surface Design,
10th SIAM Conf. on Geometric Design &
Computing, San Antonio, USA
(2007年11月).
- ⑮ Norimasa Yoshida, Takafumi Saito,
Classification of Aesthetic Space Curves,
10th SIAM Conf. on Geometric Design &
Computing, San Antonio, USA
(2007年11月).
- ⑯ Norimasa Yoshida, Takafumi Saito,
Quasi-Aesthetic Curves in Rational Cubic
Bezier Forms,
International CAD Conference 2007,
Honolulu (2007年 6月).

[図書] (計2件)

- ① 井上勝雄, 原田利宣,
(順不同, 全5名),
ラフ集合の感性工学への応用,
海文堂, 256p, 2009
(感性工学会出版賞受賞).
- ② 原田利宣, 吉田典正, 斎藤隆文
(順不同, 全19名),

デジタルスタイルデザイン,
海文堂, 226p, 2008.

[産業財産権]
○出願状況 (計1件)

名称: プログラム, 記憶媒体, 及び空間曲線
生成装置

発明者: 吉田典正, 福田諒, 斎藤隆文

権利者: 日本大学, 東京農工大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-137026

出願年月日: 2009年 6月 8日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等:

研究代表者のホームページは現在準備中
であるが, 研究分担者の下記ページにおいて
本研究を紹介している.

<http://www.yoshida-lab.net/research-j/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

斎藤 隆文 (SAITO TAKAFUMI)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 60293007

(2) 研究分担者

吉田 典正 (YOSHIDA NORIMASA)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号: 70277846

原田 利宣 (HARADA TOSHINOBU)

和歌山大学・システム工学部・教授

研究者番号: 80294304