

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289021

研究課題名(和文)変分原理に基づく意匠デザイン用曲線・曲面の定式化とそれらの力学性能の解明

研究課題名(英文)Formulations of curves and surfaces for aesthetic design based on variational principle and investigations of their performances

研究代表者

三浦 憲二郎(Miura, Kenjiro T.)

静岡大学・工学部・教授

研究者番号：50254066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,300,000円

研究成果の概要(和文)：対数型美的曲線の曲面への拡張は困難であり、既存の定式化では任意の境界線を用いることができないといった問題点がある。そこで、等パラメータ曲線が対数型美的曲線となるような対数型美的曲面の新しい定式化を提案した。この際、変分原理に基づき目的関数の最小化する形状として曲面を定義することで任意の境界線への適用を可能とした。

また、船舶において流体抵抗の低減は速度や燃費の向上につながるため、曲面の形状がその性能に大きく関わる。そこで、まず通常の船舶のモデリングを行い、そのモデルに対数型美的曲面フィッティングを適用することで新たに船舶のモデルを生成する。これにより、対数型美的曲線・曲面の評価を可能にした。

研究成果の概要(英文)：The log-aesthetic curve is expected to be utilized for the field of aesthetic design because of its good properties. However, it is very difficult to extend it to surfaces and the existing formulas have some problems that they cannot use arbitrary boundary curves. In this research, we propose a new formula for the log-aesthetic surface whose isoparametric curves can be expressed by log-aesthetic curves. Based on variational principle our method can generate surfaces by minimizing the objective function newly proposed in the paper for given arbitrary boundary curves.

The mechanical performance of the log-aesthetic surface extended from the log-aesthetic curve has not been evaluated yet. In this research we target at the ship hull whose performance is greatly affected by its surface shape. In order to evaluate the mechanical performance of the log-aesthetic surface, we generate geometric models of the ship hull with smooth curvature distribution by use of the log-aesthetic surface.

研究分野：形状処理工学

キーワード：変分原理 対数型美的曲線 対数型美的曲面 対数型美的曲面フィッティング SPH ガウス曲率 平均曲率 意匠デザイン

1. 研究開始当初の背景

現在、CADシステムは意匠設計の分野でも広く利用されている。意匠設計は、製品の機能や品質、訴求力に強く影響を与えるため、現在活発に研究されている[参考文献 1]。自動車外装のような高品質な曲面形状を生成する場合、手書きスケッチによって概形を決定し、それに基づいて CAD モデル、さらにクレイモデルを作成する。クレイモデルをヘラ等で修正し、その測定データから自由曲線・曲面モデルを作成する、いわゆるリバースエンジニアリングが用いられる。

測定データは誤差を必ず含んでおり、点列や点群を近似して生成された Bézier や B-spline などの自由曲線・曲面はフィルタによるスムージング等の修正が必要不可欠である。さらに高品質な曲線・曲面を生成するために、CAD 操作者が制御点を試行錯誤的に動かすことで、局所的にも大域的にも滑らかな形状を得ており、操作者のノウハウと多くの工数を必要としている。そのため意匠デザインはコストに占める労働集約的作業の割合が高く、国内が徐々に空洞化している。

操作者のノウハウによる制御点位置の調整やスムージングは局所的な不具合を修正する処理の繰り返しであり、曲線・曲面の曲がり具合、すなわち曲率分布をデザイナーの意図通りに大域的に制御することは非常に困難である。そのため、曲面の局所的な性質を表す曲率変化の滑らかさを保ちながら、その大域的な性質を表すハイライトラインを意図通りに通すといった美的要求を満たす曲面生成は喫緊の学術的な問題となっており、さらに手書きスケッチや物理モデルの計測データから直接高品質な曲面を効率よく生成する手法が求められている。

2. 研究の目的

力学性能を考慮した意匠デザイン支援システムの開発を究極の目的として、本研究では、まず、変分原理に基づき、意匠デザインに適した曲線・曲面に有効な目的関数を導出する。その関数を最小化することで、意匠デザインとして高品質な曲線・曲面を効率よく生成する手法を確立し、さらに力学性能の優れた製品デザインのために、生成された曲線・曲面の力学性能を解明することを本研究の目的とする。

意匠デザインに適した曲線・曲面に有効な目的関数を見出して変分原理を導入することで、曲率分布を制御しながら局所的な変形処理とともに大域的な変形処理を可能とし以下を実現する。

- (1) 曲線・曲面の曲率分布を制御しながら、デザイナーの意図する曲線・曲面を効率よく生成する。
- (2) 手書きスケッチや物理モデルの計測データから、高品質な曲線・曲面を効率よく生成する。
- (3) 解析的に、また数値的に曲線・曲面の力

学性能を評価し、その特性を明らかにする。

3. 研究の方法

これまでの曲線に関する研究成果[業績 2]と、曲面に関する研究成果[業績 1]を基礎とし、変分原理に基づき、意匠デザインに適した曲線・曲面に有効な目的関数を見出し、その関数を最小化することで曲線・曲面を定式化する。この定式化を利用して、

(1) 高品質な曲線・曲面を生成、変形する手法を研究開発する。さらに曲率分布を大域的に、また局所的に制御できるように目的関数をパラメータ化し、デザイナーの意図が反映できるように決定する。

(2) 手書きスケッチや物理モデルの計測データから目的関数のパラメータを推定して曲線・曲面を生成することで、設計の後工程でも利用できる高品質な曲線・曲面を自動生成する。

(3) 解析的に、また数値的に曲線・曲面の力学性能を評価し、その特性を明らかにする。目的関数から導き出される性質を解析的に評価し、粒子法を用いて数値的に評価する。

4. 研究成果

(1) 対数型美的曲面の定式化

対数型美的曲線はその優れた性質から意匠デザイン分野への応用が期待されている。しかしながら、曲面への拡張が困難であり、既存の定式化では任意の境界線を用いることができないといった問題点がある。そこで、アイソパラメトリックカーブが対数型美的曲線となるような対数型美的曲面の新しい定式化を提案した。この際、変分原理に基づき目的関数の最小化する形状として曲面を定義することで任意の境界線への適用を可能とした。

(2) 対数型美的曲面フィッティング

対数型美的曲線は「美しい曲線」とされており、曲面へと拡張した対数型美的曲面とともに高品質で美的欲求を満たすような曲線・曲面として実務への応用が期待されている。しかし、これらは力学的な評価がなされておらず、どのような部所に適用すると効果的にはたらくかが不明である。曲線・曲面が性能に影響する機械のひとつとして船舶を取り上げる。船舶において流体抵抗の低減は速度や燃費の向上につながるため、曲面の形状がその性能に大きく関わる。船舶の形状に対数型美的曲線・曲面を適用した場合の性能を評価するためには幾何学的なモデルが必要となる。そこで、まず通常の船舶のモデリングを行い、そのモデルに対数型美的曲面フィッティングを適用することで新たに船舶のモデルを生成する。これにより、対数型美的曲線・曲面の評価を可能にした。

(3) 対数型美的流れ

曲率流れ(curvature flow)による自由曲線の平滑化の考え方にしたがって、離散曲線(点列から構成される自由曲線)を`対数型

美的曲線化''する新たな手法として、対数型美的流れ (log-aesthetic flow) の概念を提案し、それを用いて離散曲線を高速に平滑化 (対数型美的曲線化) する手法を提案した。(4) Bernoulli 方程式による一般化対数型美的曲線の導出

「相似幾何」の観点から LAC を定式化し、非線形常微分方程式であるリッカチ方程式と関連付け、その一般解は曲率半径シフト GLAC の相似曲率と一致することが示されている。本研究では、曲率シフト GLAC を研究対象として彼らの研究を補完するために、曲率シフト GLAC を解とする Bernoulli 方程式を定式化し、曲率シフト GLAC の新しい導出法を示した。

(5) SPH 法における固体境界インタラクションの改良

この研究では SPH 法における固体境界とのインタラクションの問題を解決するために、密度計算式に周囲に存在する境界の影響を考慮した補正係数を導入した。補正係数の計算は境界が多項式で表されるという仮定を置くことで単純な積分で表し、また、複数の境界にまたがったときの合成方法を提案した。これらの方法により、固体境界に粒子を配置する必要がなくなり、粒子数を抑えたままシミュレーションの精度を向上させることができた。

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12件)

Kenjiro T. Miura, R.U. Gobithaasan, Sho Suzuki, Shin Usuki, Reformulation of Generalized Log-aesthetic Curves with Bernoulli Equations, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, 13(2), 265-269, 2016.

DOI:10.1080/16864360.2015.1084200.

Makoto Fujisawa and Kenjiro T. Miura, "An Efficient Boundary Handling with a Modified Density Calculation for SPH", Computer Graphics Forum (Proc. Pacific Graphics 2015), 査読有, 34(7), pp.155-162, 2015.

Kenjiro T. Miura, R.U. Gobithaasan, Shin Usuki, The Polar-aesthetic Curve and Its Applications to Scissors Design, Computer-Aided Design and Applications, 査読有, Volume 12, Issue 4, 2014, pages 431-438, DOI:10.1080/16864360.2014.997639

Mei Seen Wo, R. U. Gobithaasan, Kenjiro T. Miura, "Log-aesthetic Magnetic Curves and its application for CAD systems," Mathematical Problems in Engineering, 査読有, Volume 2014

(2014), Article ID 504610, 16 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/504610>

R.U. Gobithaasan, Y.M. Teh, A.R.M. Piah, Kenjiro T. Miura, "Generation of Log-aesthetic curves using adaptive Runge-Kutta methods," Applied Mathematics and Computation 査読有, (2014), pp.257-262, DOI information: 10.1016/j.amc.2014.08.032

R. U. Gobithaasan, Yip Siew Wei, Kenjiro T. Miura, "Log-Aesthetic Curves for Shape Completion Problem," Journal of Applied Mathematics, 査読有, Volume 2014 (2014), Article ID 960302, 10 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/960302>

Yojiro Mandachi, Shin Usuki, Kenjiro T. Miura, "Velocity Calculation of 2D Geometric Objects by Use of Surface Interpolation in 3D," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 査読有, Vol. 8 (2014) No. 2, p. JAMDSM0012, 2014., DOI:

<http://dx.doi.org/10.1299/jamdsm.2014jamdsm0012>

R. U. Gobithaasan, Kenjiro T. Miura, Logarithmic Curvature Graph as a Shape Interrogation Tool, Applied Mathematical Sciences, 査読有, Vol. 8, 2014, no. 16, 755 - 765.

R.U. Gobithaasan, R. Karpagavalli & Kenjiro T. Miura (2013). Drawable Region of the Generalized Log Aesthetic Curves, Journal of Applied Mathematics, 査読有, Volume 2013, Article ID 732457.

Makoto Fujisawa, Yojiro Mandachi, Kenjiro T. Miura, "Calculation of Velocity on an Implicit Surface by Curvature Invariance," Journal of Information Processing, 査読有, Vol. 21(2013) No. 4, pp.674-680.

R. U. Gobithaasan, R. Karpagavalli, Kenjiro T. Miura, "Shape Analysis of Generalized Log-Aesthetic Curves," International Journal of Mathematical Analysis, 査読有, Vol. 7, 2013, no. 36, 1751 - 1759, <http://dx.doi.org/10.12988/ijma.2013.3492>

Kenjiro T. Miura, Dai Shibuya, R.U. Gobithaasan, Shin Usuki, "Designing Log-aesthetic Splines with G2 Continuity," Computer-Aided Design & Applications, 査読有, Vol.10, No.6, pp.1021-1032, 2013, DOI: 10.3722/cadaps.2013.1021-1032.

(CAD'13 Overall Best Paper Award)

〔学会発表〕(計 13 件)

Sho Suzuki, Shin Usuki, Kenjiro Miura and R.U. Gobithaasan, "Generation of the Log-aesthetic Curve and Surface with Variational Principle," Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE2015), Kitakyushu, Japan, November 4-6, 2015.

Makoto Fujisawa and Kenjiro T. Miura, "An Efficient Boundary Handling with a Modified Density Calculation for SPH," Pacific Graphics 2015. Tsinghua University, Beijing, China, October 7-9, 2015.

鈴木晶, 山本哲也, 臼杵深, 三浦憲二郎, "リバースエンジニアリングに基づく対数型美的曲線・曲面の生成," グラフィックスとCAD/Visual Computing 合同シンポジウム 2015 予稿集, June 28-29, 2015.

Kenjiro T. Miura, R.U. Gobithaasan, Sho Suzuki, Shin Usuki, Reformulation of Generalized Log-aesthetic Curves with Bernoulli Equations, Presentation at the 2015 International CAD Conference and Exhibition, London, Great Britain, June 22-25, 2015.

荒浪太一, 鈴木晶, 臼杵深, 三浦憲二郎: "モーションキャプチャデータに基づく動きの評価," 2015 年度サービス学会 第 3 回 国内大会, 金沢 4 月 8 日 ~ 9 日, 2015.

藤澤 誠, 三浦 憲二郎: "SPH 法における固体境界インタラクションの改良," グラフィックスとCAD/Visual Computing 合同シンポジウム 2014 予稿集, June 29-30, 2014. (グラフィックスとCAD 研究会優秀研究発表賞・GCAD 賞)

Hiroshi Masuda, Takeru Niwa, Ichiro Tanaka, Ryo Matsuoka Reconstruction of Polygonal Faces from Large-Scale Point-Clouds of Engineering Plants, 2014 International CAD Conference and Exhibition, Hong Kong, China, June 23-26, 2014.

Kenjiro T. Miura, R.U. Gobithaasan, Shin Usuki, The Polar-aesthetic Curve and Its Applications to Scissors Design, 2014 International CAD Conference and Exhibition, Hong Kong, China, June 23-26, 2014.

Wo Mei Seen, R.U. Gobithaasan and Kenjiro T. Miura. (2013). GPU Acceleration of Runge Kutta-Fehlberg, Symposium Kebangsaan Sains Matematik, SKSM21: American Institute of Physics (AIP) Conference Proceeding.

R.U. Gobithaasan, Teh Yee Meng, A.R.M. Piah & Kenjiro T. Miura. (2013). Rendering Log Aesthetic Curves via

Runge-Kutta Method, Symposium Kebangsaan Sains Matematik, SKSM21: to appear in American Institute of Physics (AIP) Conference Proceeding. R.U. Gobithaasan, Kenjiro T. Miura and Mohamad Nor Hassan, Bridging CAGD knowledge into CAD/CG applications: Mathematical theories as stepping stones of Innovations. (2013). Symposium Kebangsaan Sains Matematik, SKSM21: to appear in American Institute of Physics (AIP) Conference Proceeding.

Shibuya Dai, Shin Usuki, Kenjiro T. Miura, " Robot Trajectory Generation with Smoothly Changing Curvature Using the Clothoid Spline," 2013 Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE), Seoul, Korea, August 12-14, 2013.

Kenjiro T. Miura, Dai Shibuya, R.U. Gobithaasan, Shin Usuki, "Designing Log-aesthetic Splines with G2 Continuity," Presentation at the 2013 International CAD Conference and Exhibition, Bergamo, Italy, June 15-20, 2013.

〔図書〕(計 1 件)

Kenjiro T. Miura, R.U. Gobithaasan, "Aesthetic Design with Log-Aesthetic Curves and Surfaces," Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis III, Springer Singapore, pp.107-119, 2016.

〔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://ktm11.eng.shizuoka.ac.jp/profile>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 憲二郎 (MIURA, Kenjiro T.)
静岡大学・工学部・教授
研究者番号：50254066

(2) 研究分担者

増田 宏 (MASUDA, Hiroshi)
電気通信大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40302757

臼杵 深 (USUKI, Shin)
静岡大学・電子工学研究所・准教授
研究者番号：60508191

藤澤 誠 (FUJISAWA, Makoto)
筑波大学・図書館情報メディア研究科・助教
研究者番号：90508409