

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6108485号
(P6108485)

(45) 発行日 平成29年4月5日(2017.4.5)

(24) 登録日 平成29年3月17日(2017.3.17)

(51) Int. Cl. F I
G06T 17/30 (2006.01) G O 6 T 17/30
G06F 17/50 (2006.01) G O 6 F 17/50 6 2 2 D

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-519889 (P2014-519889)	(73) 特許権者	304023318 国立大学法人静岡大学 静岡県静岡市駿河区大谷836
(86) (22) 出願日	平成25年5月9日(2013.5.9)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/063061	(74) 代理人	100108257 弁理士 近藤 伊知良
(87) 国際公開番号	W02013/183396	(74) 代理人	100124800 弁理士 諏澤 勇司
(87) 国際公開日	平成25年12月12日(2013.12.12)	(74) 代理人	100144440 弁理士 保坂 一之
審査請求日	平成28年4月28日(2016.4.28)	(72) 発明者	三浦 憲二郎 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学創造科学技術大学院創造 科学技術研究部内
(31) 優先権主張番号	特願2012-131139 (P2012-131139)		
(32) 優先日	平成24年6月8日(2012.6.8)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 図形情報処理装置、図形情報処理方法、及び図形情報処理プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

有限の境界線を有する曲面の $u v$ 座標系のパラメータと、該曲面の制御点に関するデータを含む入力データを受け付ける受付部と、

前記曲面上の一点での第1の曲率及び第2の曲率を用いて定義される拡張パラメータを用いた目的関数を記憶部から読み出し、前記 $u v$ 座標系のパラメータを該目的関数に適用することで、該目的関数が最小値を取る前記制御点の位置を算出する算出部と、

前記算出部により算出された制御点の位置に基づいて前記曲面を整形する整形部と、前記整形部により整形された曲面を示す図形情報を出力する出力部と

を備える図形情報処理装置。

【請求項2】

前記目的関数が前記拡張パラメータと前記曲面の第1基本量とを用いて定義される、請求項1に記載の図形情報処理装置。

【請求項3】

前記拡張パラメータを ω とした場合に前記目的関数が下記式で表され、

【数1】

$$J_{LAS} = \int_{u_1}^{u_2} \int_{v_1}^{v_2} \sqrt{\det(\mathbf{I}) + W(\Omega_u^2 + \Omega_v^2)} du dv$$

ここで、 \mathbf{I} は、曲面の第1基本量で表される行列であり、 ω^2 は、前記 $u v$ 座標系にお

ける u 方向の前記拡張パラメータの微分値を 2 乗した値であり、 κ_v^2 は、前記 $u v$ 座標系における v 方向の前記拡張パラメータの微分値を 2 乗した値であり、 W は重みである、請求項 2 に記載の図形情報処理装置。

【請求項 4】

前記第 1 の曲率が最大曲率であり、前記第 2 の曲率が最小曲率である、請求項 3 に記載の図形情報処理装置。

【請求項 5】

前記拡張パラメータが、前記最大曲率を k_{max} とし、前記最小曲率を k_{min} とし、及び α を任意の数として、 $\kappa = k_{max}^{-\alpha} \cdot k_{min}^{\alpha}$ で示される、請求項 4 に記載の図形情報処理装置。

10

【請求項 6】

前記拡張パラメータが、前記最大曲率を k_{max} とし、前記最小曲率を k_{min} とし、及び α を任意の数として、 $\kappa = (k_{max}^{-\alpha} + k_{min}^{-\alpha}) / 2$ で示される、請求項 4 に記載の図形情報処理装置。

【請求項 7】

前記第 1 の曲率が前記 $u v$ 座標系における u 方向の曲率であり、前記第 2 の曲率が該 $u v$ 座標系における v 方向の曲率である、請求項 3 に記載の図形情報処理装置。

【請求項 8】

前記拡張パラメータが、前記 u 方向の曲率の微分値を κ_u とし、前記 v 方向の曲率の微分値を κ_v とし、及び α を任意の数として、 $\kappa = \kappa_u^{-\alpha} \cdot \kappa_v^{\alpha}$ で示される、請求項 7 に記載の図形情報処理装置。

20

【請求項 9】

前記拡張パラメータが、前記 u 方向の曲率の微分値を κ_u とし、前記 v 方向の曲率の微分値を κ_v とし、及び α を任意の数として、 $\kappa = (\kappa_u^{-\alpha} + \kappa_v^{-\alpha}) / 2$ で示される、請求項 7 に記載の図形情報処理装置。

【請求項 10】

前記拡張パラメータが、前記 u 方向の曲率の微分値を κ_u とし、前記 v 方向の曲率の微分値を κ_v とし、及び α を任意の数として、 $\kappa = \kappa_u^{-\alpha} + \kappa_v^{-\alpha}$ で示される、請求項 7 に記載の図形情報処理装置。

30

【請求項 11】

前記制御点に関するデータが曲面式であり、
前記算出部が前記曲面式により決まる前記制御点の位置を算出し、
前記整形部が、前記算出部により算出された制御点の位置を前記曲面式に適用することで前記曲面を整形する、
請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の図形情報処理装置。

【請求項 12】

前記受付部が、前記制御点の位置の変更に対する拘束条件を更に受け付け、
前記算出部が、前記拘束条件を満たす範囲内で、前記目的関数が最小値を取る前記制御点の位置を算出する、
請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の図形情報処理装置。

40

【請求項 13】

図形情報処理装置により実行される図形情報処理方法であって、
有限の境界線を有する曲面の $u v$ 座標系のパラメータと、該曲面の制御点に関するデータとを含む入力データを受け付ける受付ステップと、
前記曲面上の一点での第 1 の曲率及び第 2 の曲率を用いて定義される拡張パラメータを用いた目的関数を記憶部から読み出し、前記 $u v$ 座標系のパラメータを該目的関数に適用することで、該目的関数が最小値を取る前記制御点の位置を算出する算出ステップと、
前記算出ステップにおいて算出された制御点の位置に基づいて前記曲面を整形する整形

50

ステップと、

前記整形ステップにおいて整形された曲面を示す図形情報を出力する出力ステップとを含む図形情報処理方法。

【請求項 14】

有限の境界線を有する曲面の $u v$ 座標系のパラメータと、該曲面の制御点に関するデータとを含む入力データを受け付ける受付部と、

前記曲面上の一点での第 1 の曲率及び第 2 の曲率を用いて定義される拡張パラメータを用いた目的関数を記憶部から読み出し、前記 $u v$ 座標系のパラメータを該目的関数に適用することで、該目的関数が最小値を取る前記制御点の位置を算出する算出部と、

前記算出部により算出された制御点の位置に基づいて前記曲面を整形する整形部と、

前記整形部により整形された曲面を示す図形情報を出力する出力部とをコンピュータに実行させる図形情報処理プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一形態は、曲面を生成若しくは修正する図形情報処理装置、図形情報処理方法、及び図形情報処理プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

工業製品の設計、作画、グラフィック・デザイン、フォント作成、あるいは手書き文字の入力などにおいて、自由曲線および自由曲面は基本的なデザイン要素である。そのうち曲線については、デザインに好適な曲線（人が美しいと感じる曲線、あるいは対数型美的曲線とも言う）を生成するための図形情報処理装置が下記特許文献 1 に記載されている。この図形情報処理装置は、まず、線図形を複数のセグメントに分割し、続いて、各セグメントの曲率半径または曲率のべき乗が該セグメントの曲線長の一次関数で表されるように各セグメントにおける曲線を整形する。そして、この装置は、セグメントの一端点での曲率と該一端点に接続している他のセグメントの一端点での曲率との差が所定の閾値以下になるように、複数のセグメントを整形する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】国際公開第 2009/148157 号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一方、曲面については、上記特許文献に記載の手法を単純に拡張することで、デザインに好適な曲面を生成することが考えられる。しかし、この単純な拡張では、理想的なパラメータを設定したり、二つの主曲率に対して適切な目的関数を設定したりする必要があるので、複雑な曲面のデザインにその手法を適用することが非常に困難か又は不可能である。そこで、様々な曲面をデザインに好適な態様に整形できるような図形処理の手法が要請されている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一形態に係る図形情報処理装置は、有限の境界線を有する曲面の $u v$ 座標系のパラメータと、該曲面の制御点に関するデータとを含む入力データを受け付ける受付部と、曲面上の一点での第 1 の曲率及び第 2 の曲率を用いて定義される拡張パラメータを用いた目的関数を記憶部から読み出し、 $u v$ 座標系のパラメータを該目的関数に適用することで、該目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出する算出部と、算出部により算出された制御点の位置に基づいて曲面を整形する整形部と、整形部により整形された曲面を示す図形情報を出力する出力部とを備える。

10

20

30

40

50

【0006】

本発明の一形態に係る図形情報処理方法は、図形情報処理装置により実行される図形情報処理方法であって、有限の境界線を有する曲面の $u v$ 座標系のパラメータと、該曲面の制御点に関するデータとを含む入力データを受け付ける受付ステップと、曲面上の一点での第1の曲率及び第2の曲率を用いて定義される拡張パラメータを用いた目的関数を記憶部から読み出し、 $u v$ 座標系のパラメータを該目的関数に適用することで、該目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出する算出ステップと、算出ステップにおいて算出された制御点の位置に基づいて曲面を整形する整形ステップと、整形ステップにおいて整形された曲面を示す図形情報を出力する出力ステップとを含む。

【0007】

本発明の一形態に係る図形情報処理プログラムは、有限の境界線を有する曲面の $u v$ 座標系のパラメータと、該曲面の制御点に関するデータとを含む入力データを受け付ける受付部と、曲面上の一点での第1の曲率及び第2の曲率を用いて定義される拡張パラメータを用いた目的関数を記憶部から読み出し、 $u v$ 座標系のパラメータを該目的関数に適用することで、該目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出する算出部と、算出部により算出された制御点の位置に基づいて曲面を整形する整形部と、整形部により整形された曲面を示す図形情報を出力する出力部とをコンピュータに実行させる。

【0008】

このような形態によれば、曲面上の一点での二種類の曲率を用いて定義される拡張パラメータに着目して、当該拡張パラメータを用いた目的関数が用いられる。そして、この目的関数が最小値を取るような曲面の制御点の位置が算出され、その制御点の位置に基づいて曲面が整形される。このように、拡張パラメータに基づいて曲面の制御点を調整することで、様々な曲面をデザインに好適な態様に整形することが可能になる。

【0009】

別の形態に係る図形情報処理装置では、目的関数が拡張パラメータと曲面の第1基本量とを用いて定義されてもよい。

【0010】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、拡張パラメータを W とした場合に目的関数が下記式(41)で表され、ここで、当該式(41)において、 I は、曲面の第1基本量で表される行列であり、 u^2 は、 $u v$ 座標系における u 方向の拡張パラメータの微分値を2乗した値であり、 v^2 は、 $u v$ 座標系における v 方向の拡張パラメータの微分値を2乗した値であり、 W は重みであってもよい。

【0011】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、第1の曲率が最大曲率であり、第2の曲率が最小曲率であってもよい。

【0012】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、拡張パラメータが、最大曲率を k_{max} とし、最小曲率を k_{min} とし、 α を任意の数として、 $k = k_{max} \cdot k_{min}^{-\alpha}$ で示されてもよい。

【0013】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、拡張パラメータが、最大曲率を k_{max} とし、最小曲率を k_{min} とし、 α を任意の数として、 $k = (k_{max}^{-\alpha} + k_{min}^{-\alpha}) / 2$ で示されてもよい。

【0014】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、第1の曲率が $u v$ 座標系における u 方向の曲率であり、第2の曲率が該 $u v$ 座標系における v 方向の曲率であってもよい。

【0015】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、拡張パラメータが、 u 方向の曲率の微分値を k_u とし、 v 方向の曲率の微分値を k_v とし、 α を任意の数として、 $k = k_u \cdot k_v^{-\alpha}$ で示されてもよい。

10

20

30

40

50

【0016】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、拡張パラメータが、 u 方向の曲率の微分値を k_u とし、 v 方向の曲率の微分値を k_v とし、 α 及び β を任意の数として、 $\rho = (k_u^{\alpha} + k_v^{\beta}) / 2$ で示されてもよい。

【0017】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、拡張パラメータが、 u 方向の曲率の微分値を k_u とし、 v 方向の曲率の微分値を k_v とし、 α 及び β を任意の数として、 $\rho = k_u^{\alpha} + k_v^{\beta}$ で示されてもよい。

【0018】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、制御点に関するデータが曲面式であり、算出部が曲面式により決まる制御点の位置を算出し、整形部が、算出部により算出された制御点の位置を曲面式に適用することで曲面を整形してもよい。

10

【0019】

さらに別の形態に係る図形情報処理装置では、受付部が、制御点の位置の変更に対する拘束条件を更に受け付け、算出部が、拘束条件を満たす範囲内で、目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出してもよい。

【発明の効果】

【0020】

本発明の一側面によれば、様々な曲面をデザインに好適な態様に整形することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】変分原理を説明するための図である。

【図2】実施形態に係るCADシステムのハードウェア構成を示す図である。

【図3】実施形態に係るCADシステムの機能構成を示すブロック図である。

【図4】 u v 座標系の定義の一例を示す図である。

【図5】制御点の設定の一例を示す図である。

【図6】図3に示すCADシステムの動作を示すフローチャートである。

【図7】実施形態に係る図形情報処理プログラムの構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0022】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一又は同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0023】

本実施形態では、本発明に係る図形情報処理装置をCAD (Computer Aided Design) システム10に適用する。CADシステム10は、平面上に表現された三次元モデルの図形を規定するデータを受け付け、そのデータで表現される図形を整形して出力するコンピュータシステムである。より具体的には、CADシステム10はモデル図形に含まれる曲面を整形することで、デザインに好適な曲面(対数型美的曲面)を生成する。

【0024】

40

CADシステム10の構成を具体的に説明する前に、そのCADシステム10により生成される美的曲面の理論を説明する。この理論は、変分原理に基づく対数型美的曲面の定式化である。

【0025】

理解を容易にするために、まず曲線について説明する。平面曲線である対数型美的曲線は、曲率対数分布グラフの傾き ρ が0でない場合に次式(1)を満足する。

【数1】

$$\rho^{\alpha} = cs + d \quad \dots(1)$$

ここで、 ρ は曲率半径、 s は曲線長、 c 及び d は定数である。 $\rho = 0$ であれば次式(2)

50

が得られる。

【数 2】

$$\rho = c_0 e^{c_1 s} \quad \dots(2)$$

ここで、 c_0 及び c_1 は定数である。また、その曲率対数分布グラフは直線となる。したがって、次式 (3) で示される関係が得られる。

【数 3】

$$\log\left(\frac{ds}{d(\log \rho)}\right) = \log\left(\rho \frac{ds}{d\rho}\right) = \alpha \log \rho + C \quad \dots(3)$$

10

【0026】

この式 (3) は、座標系 ($\log \rho$, $\log(ds/d\rho)$) の 2 点を結ぶ最短経路として対数型美的曲線が定義されることを意味している。変分原理によれば、2 点間の最短経路は直線であることが示される。

【0027】

変分計算では、ある積分量を最小又は最大にする問題 (停留積分) を扱う。例えば次式 (4) を設定する。

【数 4】

$$J = \int_{x_1}^{x_2} f(y, y_x, x) dx \quad \dots(4)$$

20

ここで、 y は x の関数であり、 y_x は y の x に関する導関数である。 y は未知である。積分量 J が停留値を取るための条件式は下記偏微分方程式 (5) となる。

【数 5】

$$\frac{\partial f}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial f}{\partial y_x} = 0 \quad \dots(5)$$

この式 (5) はオイラー方程式と呼ばれ、 $dy/dx \neq 0$ であれば次式 (6) と等価である。

【数 6】

$$\frac{\partial f}{\partial x} - \frac{d}{dx} \left(f - y_x \frac{\partial f}{\partial y_x} \right) = 0 \quad \dots(6)$$

30

【0028】

もし、 $f = f(y, y_x)$ のように変数 x が明示的に現われない問題では、上記式 (6) は次式 (7) で示され、したがって、次式 (8) の関係が得られる。

【数 7】

$$\frac{d}{dx} \left(f - y_x \frac{\partial f}{\partial y_x} \right) = 0 \quad \dots(7)$$

40

【数 8】

$$f - y_x \frac{\partial f}{\partial y_x} = \text{一定} \quad \dots(8)$$

【0029】

オイラー方程式の最も簡単な応用は、 $x-y$ 平面上の 2 点間の最短距離を決める問題である。距離の微小要素は次式 (9) で定義されるので、距離 J は次式 (10) で示される。

【数 9】

$$ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \sqrt{1 + y_x^2} dx \quad \dots(9)$$

50

【数 1 0】

$$J = \int_{x_1, y_1}^{x_2, y_2} ds = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y_x^2} dx \quad \dots(10)$$

【0 0 3 0】

この式(10)と式(4)とを比較すると次式(11)が得られる。

【数 1 1】

$$f(y, y_x, x) = (1 + y_x^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots(11)$$

【0 0 3 1】

この式(11)を式(8)に代入すると次式(12)が得られる。ここで、Cは定数である。

【数 1 2】

$$\frac{1}{\sqrt{1 + y_x^2}} = C \quad \dots(12)$$

【0 0 3 2】

したがって、定数 a が存在して次式(13)が成立し、さらに次式(14)が得られる。

【数 1 3】

$$y_x = a \quad \dots(13)$$

【数 1 4】

$$y = ax + b \quad \dots(14)$$

ここで、bも定数である。これら二つの定数 a, b は、2点(x₁, y₁)及び(x₂, y₂)を通るように決定される。

【0 0 3 3】

式(1)において $\sigma = \frac{1}{\sqrt{1 + y_x^2}}$ と定義すると次式(15)が得られる。

【数 1 5】

$$\sigma = cs + d \quad \dots(15)$$

この式(15)は、図1に示すように、横軸を s とし縦軸を σ とする2次元空間で2点(s₁, σ₁)及び(s₂, σ₂)を直線で(すなわち最短距離で)結ぶと対数型美的曲線が得られることを示している。この場合には、次式(16)が最小化される。

【数 1 6】

$$J_{LAC} = \int_{s_1}^{s_2} \sqrt{1 + \sigma_s^2} ds = \int_{s_1}^{s_2} \sqrt{1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s^2} ds \quad \dots(16)$$

ここで、 $\sigma_s^2 = (d / ds)^2$ である。

【0 0 3 4】

$\alpha = 1$ ならば、その曲線は対数(等角)らせんである。この場合には次式(17)が成立する。この式(17)は、横軸を s とし縦軸を σ とする2次元空間で2点(s₁, σ₁)及び(s₂, σ₂)を最短で結ぶ曲線が対数らせんであることを意味する。

【数 1 7】

$$f = \sqrt{1 + \rho_s^2} \quad \dots(17)$$

【0 0 3 5】

一方、 $\alpha = -1$ ならば、その曲線はクロソイド曲線である。この場合には次式(18)が成立する。ここで、 $\rho = 1 / \sigma$ は曲率である。この式(18)は、横軸を s とし縦軸を

10

20

30

40

50

とする2次元空間で2点 (s_1, ρ_1) 及び (s_2, ρ_2) を最短で結ぶ曲線がクロソイド曲線であることを意味する。

【数18】

$$f = \sqrt{1 + \kappa_s^2} \quad \dots(18)$$

【0036】

曲線が、曲線長 s ではなく一般的なパラメータ t で与えられるとすると、次式(19)が成り立つ。

【数19】

$$\begin{aligned} ds &= \sqrt{x_t^2 + y_t^2} dt \\ \rho_s &= \frac{\frac{d\rho}{dt}}{\frac{ds}{dt}} \quad \dots(19) \\ &= \frac{\rho_t}{\sqrt{x_t^2 + y_t^2}} \end{aligned}$$

10

【0037】

したがって、式(16)は次式(20)となる。

【数20】

$$\begin{aligned} J_{LAC} &= \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-1} \frac{\rho_t^2}{x_t^2 + y_t^2}} \sqrt{x_t^2 + y_t^2} dt \quad \dots(20) \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{x_t^2 + y_t^2 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_t^2} dt \end{aligned}$$

20

【0038】

したがって、次式(21)が成立する。

【数21】

$$f(t) = \sqrt{x_t^2 + y_t^2 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_t^2} \quad \dots(21)$$

30

【0039】

式(16)に対する式(5)を求めると、次式(22)、(23)より、当該式(5)は次式(24)となる。

【数22】

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \rho} &= \frac{1}{2} (1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s^2)^{-\frac{1}{2}} \alpha^2 (2\alpha - 2) \rho^{2\alpha-3} \rho_s^2 \\ \frac{\partial f}{\partial \rho_s} &= (1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s^2)^{-\frac{1}{2}} \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s \end{aligned} \quad \dots(22)$$

【数23】

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds} \frac{\partial f}{\partial \rho_s} &= -\frac{1}{2} (1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s^2)^{-\frac{3}{2}} (\alpha^2 (2\alpha - 2) \rho^{2\alpha-3} \rho_s^3 + 2\alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s \rho_{ss}) \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s \\ &\quad + (1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s^2)^{-\frac{1}{2}} (\alpha^2 (2\alpha - 2) \rho^{2\alpha-3} \rho_s^2 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_{ss}) \end{aligned} \quad \dots(23)$$

40

【数24】

$$\frac{\partial f}{\partial \rho} - \frac{d}{ds} \frac{\partial f}{\partial \rho_s} = -\frac{\alpha^2 \rho^{2\alpha-3} ((\alpha - 1) \rho_s^2 + \rho \rho_{ss})}{(1 + \alpha^2 \rho^{2\alpha-2} \rho_s^2)^{\frac{3}{2}}} = 0 \quad \dots(24)$$

【0040】

したがって、次式(25)が得られる。

50

【数 2 5】

$$(\alpha - 1)\rho_s^2 + \rho\rho_{ss} = 0 \quad \dots(25)$$

【0 0 4 1】

対数型美的曲線では、 ρ は s の 1 次式で与えられるので次式 (26) が成立し、したがって、次式 (27) が得られる。

【数 2 6】

$$\frac{d^2\rho^\alpha}{ds^2} = \alpha\rho^{\alpha-2}((\alpha - 1)\rho_s^2 + \rho\rho_{ss}) = 0 \quad \dots(26)$$

10

【数 2 7】

$$(\alpha - 1)\rho_s^2 + \rho\rho_{ss} = 0 \quad \dots(27)$$

この式 (27) は式 (25) と一致する。

【0 0 4 2】

$\rho = 1/s$ 、 $\rho_s = -\rho^2$ 、 $\rho_{ss} = -(\rho_s \rho + 2\rho^3)$ であるから、式 (25) は曲率 κ を用いて次式 (28) で表すこともできる。

【数 2 8】

$$\kappa_{ss} = (\alpha + 1)\frac{\kappa_s^2}{\kappa} \quad \dots(28)$$

20

【0 0 4 3】

式 (25) の解を求める。この式は s を独立変数とする非線形 2 階常微分方程式であるが、 s を陽に含まないのので、この式を、 ρ を独立変数とし s を従属変数とする式に置き換える。 $\rho_s = 1/s$ 、 $\rho_{ss} = -\rho^3$ であるから、式 (25) は次式 (29) となる。

【数 2 9】

$$\begin{aligned} \frac{\alpha - 1}{s_\rho^2} - \rho \frac{s_{\rho\rho}}{s_\rho^3} &= 0 \\ (\alpha - 1)s_\rho - \rho s_{\rho\rho} &= 0 \end{aligned} \quad \dots(29)$$

30

ここで $t = s$ とすると、次式 (30) が得られる。

【数 3 0】

$$t_\rho = (\alpha - 1)\frac{t}{\rho} \quad \dots(30)$$

【0 0 4 4】

この式 (30) はアーベルの常微分方程式 ($y'(x) = f(x) + g(x)y(x) + h(x)y(x)^2 + k(x)y(x)^3$) であることに留意する必要がある。したがって、次式 (31) が得られる。

【数 3 1】

$$t = c_0 t^{\alpha-1} \quad \dots(31)$$

40

【0 0 4 5】

この式 (31) において $\alpha \neq 0$ であれば次式 (32) が得られ、 $\alpha = 0$ であれば次式 (33) が得られる。

【数 3 2】

$$s = \frac{c_0}{\alpha} \rho^\alpha + c_1 \quad \dots(32)$$

【数 3 3】

$$s = c_0 \log r + c_1 \quad \dots(33)$$

これら二つの式 (3 2) , (3 3) は共に、対数型美的曲線に一致する。

【 0 0 4 6】

以上説明した変分原理の考え方を曲面に拡張する。曲線長 s に曲面の面積 A を対応させ、曲率 κ にガウス曲率 K を対応させる。曲面上の一点での最大曲率及び最小曲率をそれぞれ κ_{max} , κ_{min} とすると、 $\kappa = \frac{1}{r}$ であり、 $K = \kappa_{max} \kappa_{min}$ であるから、拡張パラメータ λ を $\lambda = \kappa_{max} \cdot \kappa_{min}$ と定義する。

【 0 0 4 7】

次式 (3 4) を $s = s(t)$ で再パラメータ化すると、次式 (3 5) が得られる。

【数 3 4】

$$f(s)ds = \sqrt{1 + \sigma_s^2} ds \quad \dots(34)$$

【数 3 5】

$$g(t)dt = \sqrt{1 + \frac{\sigma_t^2}{x_t^2 + y_t^2}} \sqrt{x_t^2 + y_t^2} dt \quad \dots(35)$$

【 0 0 4 8】

したがって、次式 (3 6) が得られる。

【数 3 6】

$$J_{LAC} = \int_{t_1}^{t_2} g(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 + \frac{\sigma_t^2}{x_t^2 + y_t^2}} \sqrt{x_t^2 + y_t^2} dt \quad \dots(36)$$

【 0 0 4 9】

ここで $c(t)$ を

【数 3 7】

$$\lambda_c(t) = \sqrt{x_t^2 + y_t^2}$$

と定義すると、次式 (3 7) が得られる。

【数 3 8】

$$J_{LAC} = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\lambda_c^2(t) + \sigma_t^2} dt \quad \dots(37)$$

【 0 0 5 0】

この式 (3 7) を曲面に拡張して次式 (3 8) を定義する。

【数 3 9】

$$g(u, v)dudv = \sqrt{\det(\mathbf{I}) + \Omega_u^2 + \Omega_v^2} dudv \quad \dots(38)$$

ここで、 \mathbf{I} は曲面の第 1 基本量 E , F , G で表される行列であり、次式 (3 9) で定義され、局所的な曲面の面積の 2 乗に対応する。

【数 4 0】

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} E & F \\ F & G \end{bmatrix}. \quad \dots(39)$$

第 1 基本量 E , F , G は、曲面式を $S = S(u, v)$ とすると以下のように定義される。なお、 S_u は S の u に関する導関数であり、 S_v は S の v に関する導関数であり、“ \cdot ” は内積を表す。

$$E = S_u \cdot S_u$$

$$F = S_u \cdot S_v$$

10

20

30

40

50

$$G = S_u \cdot S_v$$

【0051】

したがって、曲率を線形化する対数型美的曲線に対応する曲面の目的関数は次式(40)で示される。すなわち、この式(40)を最小化する曲面が対数型美的曲面である。ここで、 u^2 は、 uv 座標系における u 方向の拡張パラメータの微分値を2乗した値であり、 v^2 は、 uv 座標系における v 方向の拡張パラメータの微分値を2乗した値である。

【数41】

$$J_{LAS} = \int_{u_1}^{u_2} \int_{v_1}^{v_2} \sqrt{\det(\mathbf{I}) + \Omega_u^2 + \Omega_v^2} dudv \quad \dots(40)$$

10

【0052】

この目的関数は、スカラー定数である重み W を用いて次式(41)で定義されてもよい。この重み W はデザインパラメータとして設計者により任意に設定されてよい。 $W = 1$ であれば式(41)は式(40)と一致する。

【数42】

$$J_{LAS} = \int_{u_1}^{u_2} \int_{v_1}^{v_2} \sqrt{\det(\mathbf{I}) + W(\Omega_u^2 + \Omega_v^2)} dudv \quad \dots(41)$$

【0053】

20

次に、CADシステム10の構成を説明する。CADシステム10のハードウェア構成を図2に示す。この図に示すように、CADシステム10は、オペレーティングシステムやアプリケーション・プログラムなどを実行するCPU101と、ROM及びRAMで構成される主記憶部102と、ハードディスクなどで構成される補助記憶部103と、ネットワークカードなどで構成される通信制御部104と、キーボードやマウスなどの入力装置105と、ディスプレイなどの出力装置106とを備えている。

【0054】

後述するCADシステム10の各機能的構成要素は、CPU101又は主記憶部102の上に所定のソフトウェアを読み込ませ、CPU101の制御の下で通信制御部104や入力装置105、出力装置106などを動作させ、主記憶部102又は補助記憶部103

30

におけるデータの読み出し及び書き込みを行うことで実現される。処理に必要なデータやデータベースは主記憶部102又は補助記憶部103内に格納される。なお、図2ではCADシステム10が1台のコンピュータで構成されているように示しているが、CADシステム10の機能を複数台のコンピュータに分散させてもよい。

【0055】

図3に示すように、CADシステム10は、機能的構成要素として受付部11、算出部12、整形部13、及び出力部14を備えている。

【0056】

受付部11は、対数型美的曲面の生成に必要な入力データを受け付ける機能要素である。入力データは、曲面の有限の境界線を示す点列データと、曲面の uv 座標系における一組のパラメータ u 、 v と、内挿に用いる曲面式と、曲面の形状を調整するための上記パラメータ u 、 v と、式(41)における重み W と、制御点の位置の変更に対する拘束条件とを含む。

40

【0057】

曲面の境界線の形状は限定されない。例えば、受付部11は四つの曲線から成る境界線を受け付けてもよく、この場合には各曲線が上記特許文献1で示される美的曲線であってもよい。あるいは、受付部11は四つの直線から成る境界線、曲線及び直線の双方を含む境界線、円形の境界線、若しくは自由曲線から成る境界線を受け付けてもよい。

【0058】

uv 座標系は、境界線が4曲線から成り立っているのであれば、例えば図4に示すよう

50

に定義される。パラメータ u , v はそれぞれ正規化されて 0 から 1 の間の値を取る。

【 0 0 5 9 】

曲面式は、生成しようとする曲面を規定する制御点の個数（自由度）を決めるために入力される関数であり、制御点に関するデータに相当する。この曲面式も限定されない。例えば、ユーザは、比較的単純な曲面を生成したいのであれば双 3 次ベジエ曲面を示す曲面式を指定すればよいし、より複雑な曲面を生成したいのであれば $m \times n$ 次 NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline (非一様有利 B スプライン)) 曲面を指定すればよい。受付部 11 は指定された曲面式を示すデータを受け付ける。

【 0 0 6 0 】

パラメータ u 及び v は曲面の形状を調整するためのパラメータであり、それぞれ -1 から $+1$ の範囲で任意に設定可能である。

【 0 0 6 1 】

拘束条件の種類は限定されない。例えば、受付部 11 は、整形後の曲面が境界線を通過するという条件、境界線における接平面の指定、隣接する曲面との間で曲率が連続するという条件（曲率の連続性）などを拘束条件として受け付ける。

【 0 0 6 2 】

受付部 11 はこれらのデータを受け付けて算出部 12 に出力する。なお、受付部 11 はユーザがスタイラスペン、キーボード、又はマウスにより直接入力したデータを受けてもよいし、ユーザ指示に基づいて所定の記憶部（例えば、補助記憶部 103 や外部の記憶装置など）から読み出したデータを受け付けてもよい。

【 0 0 6 3 】

算出部 12 は、式 (41) で示される目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出する機能要素である。算出部 12 は受付部 11 から取得した入力データを用いてこの計算を実行する。この算出部 12 は、上述した理論が組み込まれたプログラムが CPU 101 上で実行されることで実現される。以下では、上記理論にそのまま従って目的関数を用いる第 1 の手法と、処理時間を削減するために拡張パラメータ k の変形を用いる第 2 ~ 第 5 の手法とについて説明する。

【 0 0 6 4 】

[第 1 の手法]

まず、算出部 12 は曲面式から制御点の個数を特定する。図 5 の例では、算出部 12 は 16 個の制御点 (P_{00} , P_{01} , ... , P_{33}) を特定している。続いて、算出部 12 は曲面式で定義される曲面上の一点での最大曲率 k_{max} 及び最小曲率 k_{min} を算出し、これらの曲率とパラメータ u , v とから、拡張パラメータ $k = k_{max} \cdot k_{min}$ を算出する。したがって、この拡張パラメータは曲面上の一点での最大曲率及び最小曲率で定義される。さらに、算出部 12 は曲面の第 1 基本量 E , F , G を求めることで、式 (39) で示される行列 I を得る。

【 0 0 6 5 】

続いて、算出部 12 は式 (41) で示される目的関数を所定の記憶部（例えば、補助記憶部 103 や外部の記憶装置など）から読み出す。なお、目的関数はプログラム内に記述されていてもよい。そして、算出部 12 は、パラメータ u , v をその目的関数に適用（代入）することで、拘束条件下において当該目的関数が最小値を取る 1 以上の制御点の位置を算出する。例えば、隣接する曲面との間の曲率の連続性を示す拘束条件が入力された場合には、算出部 12 は、当該隣接曲面を示す図形情報を上記記憶部から読み出す。そして、算出部 12 は隣接曲面との境界線における 2 曲面の曲率の差が一致するか又は所定の閾値以下である範囲内で、目的関数を最小化する 1 以上の制御点の位置を求める。

【 0 0 6 6 】

算出部 12 はこのような手順で求めた各制御点の位置を算出結果として整形部 13 に出力する。また、算出部 12 は入力データも整形部 13 に出力する。

【 0 0 6 7 】

[第 2 の手法]

10

20

30

40

50

ガウス曲率 の代わりに平均曲率 $H = (k_{max} + k_{min}) / 2$ を用いることを考えて、式(41)における拡張パラメータを $= (k_{max} + k_{min}) / 2$ で置き換えてもよい。この場合には、算出部12はこの変形例に係る目的関数(式(41))が最小値を取る1以上の制御点の位置を算出する。

【0068】

[第3の手法]

式(41)における拡張パラメータを $= k_u + k_v$ で置き換えてもよい。ここで、 k_u は $u-v$ 座標系における u 方向の曲率の微分値であり、 k_v は $u-v$ 座標系における v 方向の曲率の微分値である。算出部12はこの変形例に係る目的関数(式(41))が最小値を取る1以上の制御点の位置を算出する。

10

【0069】

[第4の手法]

上記第2及び第3の手法を応用して、式(41)における拡張パラメータを $= (k_u + k_v) / 2$ で置き換えてもよい。この場合には、算出部12はこの変形例に係る目的関数(式(41))が最小値を取る1以上の制御点の位置を算出する。

【0070】

[第5の手法]

二次元モデルの場合と同じ目的関数を得るために、式(41)における拡張パラメータを $= k_u + k_v$ で置き換えてもよい。これは、上記第4の手法において分母を1にしたことを意味する。例えば、平面曲線をそれに直交する方向に掃引した場合には、 $k_{min} = (k_{min})_u = (k_{min})_v = 0$ 、且つ $(k_{max})_v = 0$ であるので、分母を1とする必要がある。

20

【0071】

このように、上記第1～第5の手法で互いに異なる点は、拡張パラメータの定義のみである。

【0072】

整形部13は、算出部12により算出された制御点の位置に基づいて曲面を整形する機能要素である。整形部13は、算出部12により算出された制御点の位置を、入力データの一部である曲面式に適用(代入)することで対数型美的曲面を生成する。これにより、入力データで指定された曲面が対数型美的曲面に整形される。整形部13は、整形後の曲面を示す点列データを図形情報として出力部14に出力する。

30

【0073】

出力部14は、整形部13から入力された図形情報をモニターやプリンタなどに出力する機能要素である。これにより、CADシステム10のユーザはデザインに好適な曲面(対数型美的曲面)を視認できる。

【0074】

次に、図6を用いて、CADシステム10の処理を説明するとともに本実施形態に係る図形情報処理方法について説明する。

【0075】

まず、受付部11が必要な入力データを受け付ける(ステップS11、受付ステップ)。具体的には、受付部11は曲面の境界線のデータと、パラメータ u, v と、曲面式と、パラメータ α, β と、制御点の拘束条件とを受け付ける。続いて、算出部12が、式(41)で示される目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出する(ステップS12、算出ステップ)。具体的には、算出部12はパラメータ u, v を目的関数に適用(代入)することで、拘束条件下において当該目的関数が最小値を取る制御点の位置を算出する。続いて、整形部13が算出された制御点の位置に基づいて曲面を整形する(ステップS13、整形ステップ)。そして、出力部14が整形された曲面(対数型美的曲面)を出力する(ステップS14、出力ステップ)。

40

【0076】

次に、図7を用いて、コンピュータをCADシステム10として機能させるための図形

50

情報処理プログラム P 1 を説明する。

【 0 0 7 7 】

図形情報処理プログラム P 1 は、メインモジュール P 1 0、受付モジュール P 1 1、算出モジュール P 1 2、整形モジュール P 1 3、及び出力モジュール P 1 4 を備えている。

【 0 0 7 8 】

メインモジュール P 1 0 は、上述した一連の図形情報処理を統括的に制御する部分である。受付モジュール P 1 1、算出モジュール P 1 2、整形モジュール P 1 3、及び出力モジュール P 1 4 を実行することにより実現される機能はそれぞれ、上記の受付部 1 1、算出部 1 2、整形部 1 3、及び出力部 1 4 の機能と同様である。

【 0 0 7 9 】

図形情報処理プログラム P 1 は、例えば、C D - R O M や D V D - R O M、半導体メモリ等の有形の記録媒体に固定的に記録された上で提供される。また、図形情報処理プログラム P 1 は、搬送波に重畳されたデータ信号として通信ネットワークを介して提供されてもよい。

【 0 0 8 0 】

以上説明したように、本実施形態によれば、曲面上の一点での二種類の曲率を用いて定義される拡張パラメータに着目して、当該拡張パラメータを用いた目的関数(式(41))が用いられる。そして、この目的関数が最小値を取るような曲面の制御点の位置が算出され、その制御点の位置に基づいて曲面が整形される。このように、拡張パラメータに基づいて曲面の制御点を調整することで、様々な曲面をデザインに好適な態様に整形することが可能になる。C A D システム 1 は様々な物品のデザインやグラフィック・デザインにおいて利用でき、設計者はこのシステム 1 を用いることで、見る者が美しいと感じる曲面を簡単に得ることができる。

【 0 0 8 1 】

以上、本発明をその実施形態に基づいて詳細に説明した。しかし、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明は、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

【 0 0 8 2 】

上記実施形態では、受付部 1 1 は入力データの一部として拘束条件を受け付けたが、この拘束条件は省略可能である。

【符号の説明】

【 0 0 8 3 】

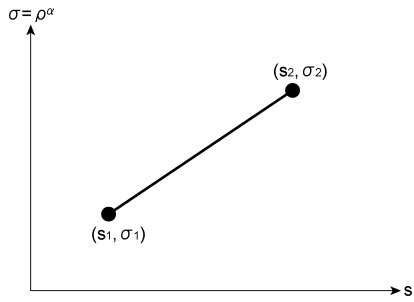
1 0 ... C A D システム(図形情報処理装置)、1 1 ... 受付部、1 2 ... 算出部、1 3 ... 整形部、1 4 ... 出力部、P 1 ... 図形情報処理プログラム、P 1 0 ... メインモジュール、P 1 1 ... 受付モジュール、P 1 2 ... 算出モジュール、P 1 3 ... 整形モジュール、P 1 4 ... 出力モジュール。

10

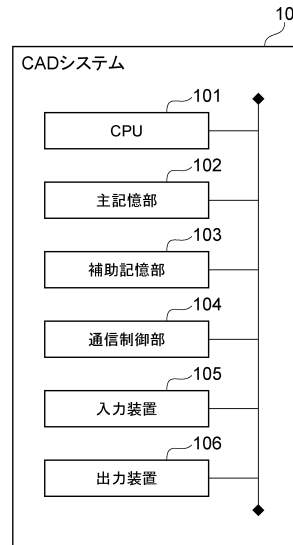
20

30

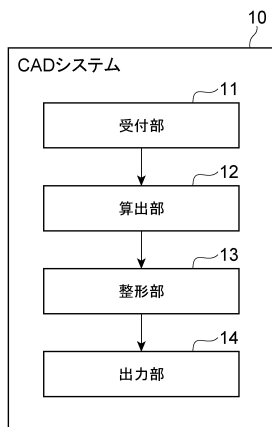
【図1】



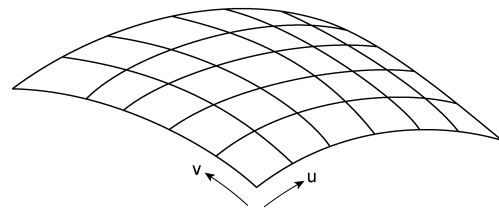
【図2】



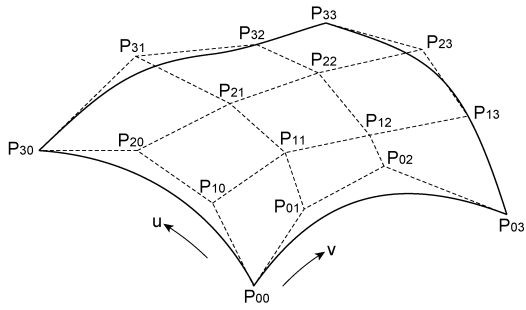
【図3】



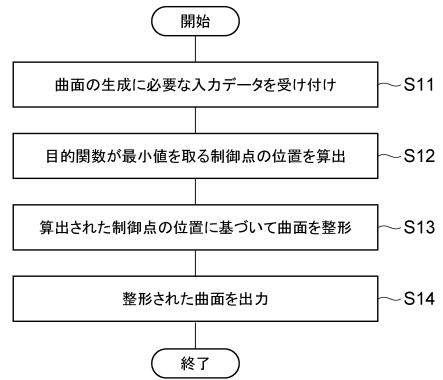
【図4】



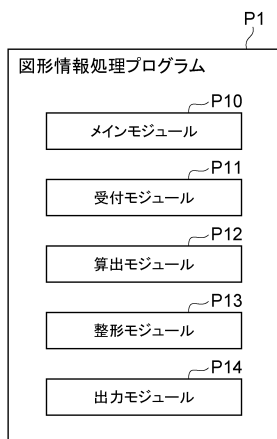
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

審査官 岡本 俊威

(56)参考文献 国際公開第2009/148157(WO, A1)

萩原徹, 原田利宣, 対数美的曲面の創成アルゴリズムとVRを用いた曲面創成システムの開発,
情報処理学会研究報告2009-CG-134, 日本, 社団法人情報処理学会, 2009年 2
月 9日, 第2009巻第12号, p13-16

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 17/00 - 19/20

G06F 17/50