

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-108955
(P2002-108955A)

(43) 公開日 平成14年4月12日 (2002. 4. 12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 6 F 17/50	6 2 2	G 0 6 F 17/50	6 2 2 C 5 B 0 4 6
	6 2 4		6 2 4 A 5 B 0 5 6
17/17		17/17	5 B 0 7 5
17/30		17/30	

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-304968 (P2000-304968)

(22) 出願日 平成12年10月4日 (2000. 10. 4)

(71) 出願人 592032636
学校法人トヨタ学園
愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1

(72) 発明者 東 正毅
愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1
豊田工業大学内

(74) 代理人 100059959
弁理士 中村 稔 (外 9 名)

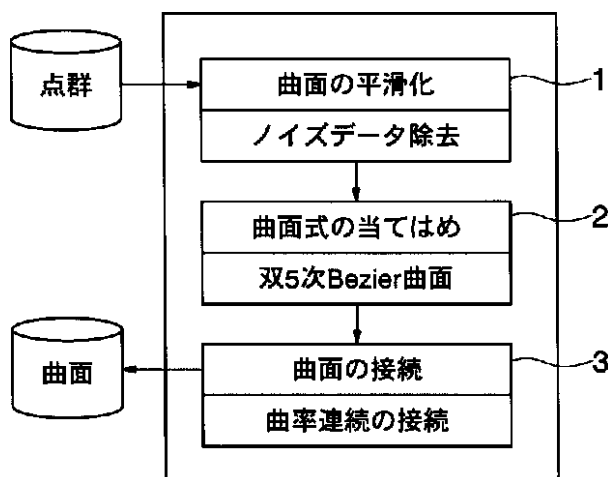
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自由曲面を表す曲面式を求める方法

(57) 【要約】

【解決手段】 自由曲面を表す曲面式を求める方法において、該自由曲面を測定することによって得られた該自由曲面を示す測定データを点群データに分割し、各分割された点群データを4階差分商を用いて平滑化し、該平滑化された点群データの中央セグメントの3次パラメトリック式を求め、該3次パラメトリック式に基づいて求めた局所的セグメントの中央点での曲面の1階、2階微分ベクトルを求め、これら微分ベクトルを4隅の微分ベクトルとする双5次ベジエ曲面を生成する。

【効果】 より滑らかで精度のよい曲面式を、より少ない工数でより短時間に得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】自由曲面を表す曲面式を求める方法において、該自由曲面を測定することによって得られた該自由曲面を示す測定データを点群データに分割し、各分割された点群データを4階差分商を用いて平滑化し、該平滑化された点群データの中央セグメントの3次パラメトリック式を求め、該3次パラメトリック式に基づいて求めた局所的セグメントの中央点での曲面の1階、2階微分ベクトルを求め、これら微分ベクトルを4隅の微分ベクトルとする双5次ベジエ曲面を生成することを特徴とする方法。

【請求項2】前記点群データは、格子データであり、前記平滑化は、局所平滑基準をu方向のパラメータ線とv方向のパラメータ線に対するものの合計とし、全体平滑基準を全格子点に対する和とし、両方向のパラメータ線を同時に平滑化するものである請求項1に記載の方法。

【請求項3】前記格子データは、4辺形格子上に整列された格子点データからなる請求項2に記載の方法。

【請求項4】前記自由曲面は、リバースエンジニアリングの対象となる意匠形状の一部分である請求項1または2または3に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自由曲面を表す曲面式を求める方法に関するものであり、特に、複雑な自由曲面から構成された意匠形状を計測した測定データに曲面式を当てはめる方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】測定技術や情報技術の進展に伴って、自動車や家電製品を中心に意匠形状を有する製品開発のために、作成した立体モデルから計算機の内部モデルを作成するリバースエンジニアリング技術が利用されている(例えば、青山英紀：形状モデリングのためのリバースエンジニアリング、設計工学、32、10(1997)381.、およびT. Varady, R. Martin and J. Cpx: Reverse Engineering of Geometric Models An Introduction, Computer Aided Design, 29,4(1997) 255.等参照)。これらの形状は複雑な自由曲面より成り、また、測定データは大量でかつ誤差を含んでいる(例えば、後藤孝行、三好隆志、高谷裕浩、枝光毅彦：曲率を考慮したB-スプライン曲線の測定データへのあてはめ、精密工学会誌、60、7(1994)964、および倉賀野哲造、斉藤勝、黒田満、古川進：測定点データに基づ自由曲線・曲面のモデル化法、精密工学会誌、65、3(1999)381.等参照)、現在市販されているシステムでは、そのまま金型を製作できるような曲率変化の滑らかな高品質のモデルを作成することは難しかった。

【0003】一方、コンピュータグラフィックス(CG)の分野では、これほどの精度を必要とせず、多面体での

表示を目的としていることが多いため、三角形格子を中心とした技術が研究されている(例えば、鈴木宏正：CGにおける形状再構成技術、設計工学、32、10(1997)392.等参照)。この中でも、測定誤差を含んだデータを処理するため、多量のデータを処理するため、多量のデータを取り扱う技術と共に、誤差の平準化の処理も研究されているが(例えば、M. Eck and H. Hopper: Automatic Reconstruction of B-Spline Surface of Arbitrary Topological Type, Proc. ACM SIGGRAPH'96, ACM Press(1996)325.、神島泰章、鈴木宏正、金井崇、木村文彦：測定点群からなる三角形メッシュ生成(第2報)、精密工学会誌、64、10(1998)1461.および鈴木宏正、神島泰章、金井崇、木村文彦：測定点群からなる三角形メッシュ生成(第1報)、精密工学会誌、64、9(1998)1314.等参照)高品質な曲面生成を狙っていない。

【0004】これに対し、意匠形状に対する自由曲面を取り扱う計算機支援形状設計の分野では、古くは穂坂氏の論文(M. Hosaka: Theory of Curves and Surface Synthesis and Their Smooth fitting, Information Processing in Japan,9(1969)60.)にある薄板とバネを用いたモデルのように、弾性エネルギーを最小化することにより滑らかな曲面を生成する研究が盛んに行われている。その後、弾性エネルギーなどの各種評価関数を用いて、全体としての最適化を図る研究が多数行われている(例えば、J. Hoschek and D. Lasser: Fundamentals of Computer Aided Geometric Design, A K Peters(1993)等参照)。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これらの従来の方法では誤差の中に異常データを含むとその影響が結果に表れ、測定データを対象にすると必ずしも良い結果が得られない。

【0006】そこで、自動車の意匠形状などの高品質曲面を対象として曲率変化に関する評価基準を導入し、全体の中からこれが最大となる点を逐次取りだしては局所的に平準化を繰り返し計算する方法が研究されている。この方法を最初に提案したのは、ファリン(Farin)氏等である(例えば、G. Farin, N. Sapidis and J. Worsy: Firing Cubic B-Spline Curves, Computer Aided Geometric Design,4(1987)91.およびN. Sapidis and G. Farin: Automatic Fairing Algorithm for B-Spline Curves, Computer Aided Design,22, 2(1990)121.等参照)。ファリン氏等は、入力点列をBスプライン(B-spline)曲線として当てはめた後に、接続点での3階微分値、又は、曲率の微分値の差が最大の点を抽出し、その点を除去し再挿入することを繰り返すことにより、曲率プロット(線長を横軸に曲率を縦軸に示したグラフ)が滑らかとなる曲線を得ている。その後、Bスプライン(B-spline)曲線を用いず点群を平準化する方法として、

とする方法が、エック (Eck) 氏等によって示された (例えば、M. Eck and R. Japert: Automatic Fairing of Point Sets, in Designing Fair Curves and Surfaces, SIAM(1994)45.等参照)。また、最近では、ワグナー (Wagner) 氏により、ロボットの経路を平滑化する手法として、曲率の代わりに点列の4階差分値を用いて、これを最小化する方法が提案されている (例えば、M.G. Wagner: Affine Invariant Fairing of Point Set, Proc. CIIST'98, CSREA Press, (1998) 370.等参照)。以上の局所的な平滑化を繰り返す処理法は、誤差に対して影響されず曲率変化レベルでの高品質の曲面データに対しては、その適用法が示されていない。

【0007】したがって、従来においては、例えば、リバースエンジニアリング等において、複雑な自由曲面から構成された意匠形状を再現したいような場合、その意匠形状を計測して得た点群データから先ず曲線を作成し、それら作成した曲線から面を作成するといった方法でモデリングを行っているのが先端技術であった。しかし、このような方法では、計測した意匠形状に近似した滑らかな曲面形状を再現して高品質なモデリングを行うには不十分である上、形状データの作成に時間と工数を要するという点でも問題が残っていた。

【0008】本発明の目的は、前述したような従来技術の問題点を解消しうるような自由曲面を表す曲面式を求める方法を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、自由曲面を表す曲面式を求める方法において、該自由曲面を測定することによって得られた該自由曲面を示す測定データを点群データに分割し、各分割された点群データを4階差分商を用いて平滑化し、該平滑化された点群データの中央セグメントの3次パラメトリック式を求め、該3次パラメトリック式に基づいて求めた局所的セグメントの中央点での曲面の1階、2階微分ベクトルを求め、これら微分ベクトルを4階の微分ベクトルとする双5次ベジエ曲面を生成することを特徴とする方法が提供される。ここでいう点群データは、測定点群、画像データ、色空間値、等の測定可能な値を持ったデータを総称するものである。

【0010】本発明の一つの実施の形態によれば、前記点群データは、格子データであり、前記平滑化は、局所平滑基準をu方向のパラメータ線とv方向のパラメータ線に対するものの合計とし、全体平滑基準を全格子点に対する和とし、両方向のパラメータ線を同時に平滑化するものである。

【0011】本発明の別の実施の形態によれば、前記格子データは、4辺形格子上に整列された格子点データからなる。

【0012】本発明のさらに別の実施の形態によれば、*

点列を $P_i (i=0, \dots, n)$ 各点でのパラメータ値を $t = t_0, t_1, \dots, t_n$ とすると、局所平滑

* 前記自由曲面は、リバースエンジニアリングの対象となる意匠形状の一部分である。

【0013】

【発明の実施の形態】次に、添付図面に基づいて、本発明の実施の形態および実施例について本発明をより詳細に説明する。本発明者等は、本発明の方法の開発過程において、4階差分商を用いた曲線データの平滑化法の理論を明確化し、曲率レベルの滑らかさを得ることが出来る事を示し、添付図面の図1のフロー図に略示するように、この方法を、格子データを対象とする曲面の平滑化法に拡張し(ブロック1)、さらに、平滑化された格子データに対して曲面式を当てはめて(ブロック2)、曲面の曲率(C^2)接続を行う(ブロック3)という手順をとると有効であることを確認した。以下、その実行例について説明することにより、その有効性を示す。

【0014】(1) 曲線データの平滑化

平滑化の手法

先ず、4階差分商を用いて局所的に点列データを平滑化する方法について説明する。前述のファリン氏の方法では、曲率プロットの滑らかな曲線を得るため曲率の変化に着目し、Bスプライン(B-spline)曲線の接続点における両側セグメントの、曲率微分値の差を計算して、局所的な評価基準値(Local Fairness)とし、これらを足し合わせた全体の評価値(Global Fairness)が減少しなくなるまで、局所基準値の最大の点を繰り返し修正して曲線形状を平滑化している。局所的な点位置の修正法としては、その点を除去して挿入することを行っている。これに対してワグナー氏は、曲率の微分値に相当する3階微分値の差を点列の4階差分値で表現し、これを局所平滑基準値として、この値が最大となる点を4階差分値が0となる位置に修正する方法を提案した。両者に共通するのは、3階微分ベクトルの差を滑らかさ(滑らかでないこと)の評価基準とすることと、局所的に形状を修正しようとする点である。この平滑化結果は、実用的にほぼ満足するものが得られており、本手法でも基本的にこの考え方を採用し、さらに、局所的な平滑化として、両者とも3次パラメトリック曲線を用いていることに着目して、点の修正法を4階差分商から理論的に明らかにする。

【0015】点列が接続点で3階微分値が連続であることは、局所的にその部分を3次式で近似できることと同値である。したがって、点列を考えた場合に5点ごとの区間が3次式で表せるとすると、ニュートン(Newton)氏の補間公式(J. Hoschek and D. Lasser: Fundamentals of Computer Aided Geometric Design, A K Peters (1993)参照)より、中央点での4階差分商は0となる。この差分商の絶対値を局所基準値として考え、この値が大きな点を、一番滑らかでない、部位とする。入力

基準 f_i は以下となる。

$$f_i = (d_i^4) |P_i| \tag{1}$$

ここで、 P_i^k 、 d_i^k は、それぞれ点位置ベクトルの k 階差分商、パラメータ t_i の k 区間の差分であり、

$$P_i^k = \frac{P_{i+1}^{k-1} - P_i^{k-1}}{d_i^k} \tag{2}$$

$$d_i^k = t_{i+k} - t_i \quad , \quad i = 0, \dots, n-k \tag{3}$$

$$P_i^0 = P_i \tag{4}$$

である。式(1)の係数

$$(d_i^4)^3$$

* アクタであり、区間の大きさの3乗を掛けている。全体平滑化基準Fは、この局所平滑基準を全点列に対して加えて、

は、4階差分商の値を点列の間隔に合わせるスケール *

$$F = \sum_{i=0}^{n-4} f_i \tag{5}$$

となる。

20 滑化の繰り返し処理と同様に行う。

【0016】曲線の平滑化法としては、従来の局所的平すなわち、点列の中で局所平滑基準値 f_i の最大の点を探索し、この点について f_i

が0になるように、点位置を修正する。これを全体平滑基準が減少しなくなるまで繰り返す。

【0017】修正する点の位置は、4階差分商の値が0になることより、次の式より計算される。

$$P_i^* = \frac{-P_i d_{i+1}^1 d_{i+1}^2 d_{i+1}^3 + P_{i+1} (d_i^1 A + d_{i+1}^1 d_{i+1}^2 d_{i+1}^3)}{d_{i+1}^1 A} \tag{6}$$

$$P_i^{**} = \frac{P_{i+3} (d_{i+3}^1 B + d_{i+2}^1 d_{i+1}^2 d_i^3) + P_{i+4} d_{i+2}^1 d_{i+1}^2 d_i^3}{d_{i+3}^1 A} \tag{7}$$

$$P_{i+2}^* = \frac{\left(\frac{d_{i+2}^1 d_{i+2}^2}{B} P_i^* + \frac{d_{i+1}^1 d_i^2}{A} P_i^{**} \right)}{\frac{d_{i+2}^1 d_{i+2}^2}{B} + \frac{d_{i+1}^1 d_i^2}{A}} \tag{8}$$

$$A = d_i^2 d_i^3 + d_i^2 d_{i+1}^3 + d_{i+1}^2 d_{i+1}^3 \tag{9}$$

$$B = d_{i+1}^2 d_i^3 + d_{i+2}^2 d_i^3 + d_{i+2}^2 d_{i+1}^3 \tag{10}$$

以上の式は修正点 P_{i+2}^* が入力点列の外分、内分で求まることを表している。パ

ラメータが等間隔の場合には、式(8)は簡単になり、

$$P_{i+2}^* = \frac{1}{6} (-P_i + 4P_{i+1} + 4P_{i+3} - P_{i+4}) \tag{11}$$

となる。これは、幾何学的にも図2に示すように簡潔に表される。

【0018】端点処理と終了条件

前述の平滑化手法により、ほぼ滑らかな曲線が得られる 50

が、二つの問題が残っている。一つは曲線の、両側端点部の処理であり、他の一つはどの様に繰り返し計算を終了するかを終了条件の問題である。第1の問題は、点列の修正は中央点を対象とするため、端の2点に誤差が含

まれていると、これが修正されずに必ず端から3点目が移動するため、図3に示すように端2点で定まる接線方向が固定され、曲線全体の形状が影響を受けることである。この問題に対しては、端が3点目の局所平滑基準値が最大の場合には、端側の2点と中央の点の3点を夫々4階差分商を0とすることで修正した場合の全体平滑基準値を算出し、これが一番小さい点を選択し修正することにする。図4の例の場合には、2点目の全体平滑基準値Fが最小となるので、この2番目の点選ばれて修正される。

【0019】第2の問題は、繰り返し計算を何処で止めるかである。単純に全体平滑基準値が減少しなくなる時点で計算を止めると、平滑化が十分行われない場合があり、これをやりすぎると図5に示すようにコーナ部のアールがやせてくる。そこで、特異点を除去するために、まず全体平滑基準値が減少しなくなるまで計算し、そこからは指定された誤差の最大値(トレランス)以上移動した時点で、その前の全体平滑基準値が減少しない点にさかのぼって計算を終了することにする。

【0020】実行例

前述のアルゴリズムを用いて計算した結果を図6の

$$Pu_{i,j}^k = \frac{Pu_{i+1,j}^{k-1} - Pu_{i,j}^{k-1}}{du_{i,j}^k} \tag{12}$$

$$i = 0, \dots, m-k, \quad j = 0, \dots, n$$

$$Pv_{i,j}^k = \frac{Pv_{i,j+1}^{k-1} - Pv_{i,j}^{k-1}}{dv_{i,j}^k} \tag{13}$$

$$i = 0, \dots, m, \quad j = 0, \dots, n-k$$

$$Pu_{i,j}^0 = Pv_{i,j}^0 = P_{i,j} \tag{14}$$

【0023】以上を用いて曲線の場合と同様に、局所平滑基準と全体平滑基準を定める。局所平滑基準はu方向

$$f_{i,j} = \left(du_{i,j}^4 \right) | Pu_{i,j}^4 | + \left(dv_{i,j}^4 \right) | Pv_{i,j}^4 | \tag{15}$$

$$i = 0, \dots, m-4, \quad j = 0, \dots, n-4$$

$$F = \sum_{i=0}^{m-4} \sum_{j=0}^{n-4} f_{i,j} \tag{16}$$

【0024】格子の平滑化では、曲線の場合と同様に局所平滑基準の最大の点について、これを0とするように点位置を修正し、全体平滑基準が減少しなくなるまで繰り返す。点位置の修正では単純にu方向のパラメータ線とv方向のパラメータ線を交互に修正したり、両者の中間値をとるのでは、面として修正できず滑らかな結果を得ることができない。そこで、5×5の格子点について、両方向のパラメータ線を同時に平滑化することを考える。図8示すように、25点のうち16点を使って中

* (a)に示す。これは、スパイラル曲線に対して、ランダムな誤差を付加して作成した入力点列を平滑化した結果である。図6の(b)および(c)に示す曲率プロット、曲率プロファイル(曲線に沿って曲率中心の1/10をプロットしたもの)ともに、入力点に比べて大幅に改善されていることが分かる。ここで、入力点の曲率値は、3点を用いて離散的に計算されている。

【0021】図7の(a)は凹凸形状を含む複数のベジエ(Bezier)曲線に対して、同様に誤差を付加したデータを平滑化した例である。この場合には、図7の(b)および(c)に示されるように、誤差による多数の曲率の反転が除去され、滑らかな曲率プロット、曲率プロファイルが得られている。なお、平滑化曲線の曲率値は両者とも、後述する曲線式への当てはめ結果を使用して計算している。

【0022】(2)格子データの平滑化
平滑化手法

前述した曲線での平滑化手法を曲面へ拡張する。曲面のデータは、4辺形格子上に整列された格子点を扱う。入力点 P_{ij} として、格子を構成する夫々の曲線のパラメータ方向に対して、差分商を定義する。

のパラメータ線とv方向のパラメータ線に対するものの合計とし、全体平滑基準は全格子点に対する和とする。

央の9点を一度に修正する。中央の点以外はそれぞれのパラメータ線に沿って、曲線の4階差分商が0になる位置に修正し、中央点については、求められたそれぞれの4点を用いて、曲線の4階差分商が0となる位置に修正する。両者の位置は、同一の16点からどちらの方向を先に計算するかであるから、各点についての係数は両者とも同一であり、修正点は同一点となる。

【0025】本手法の評価

単純に曲線としての平滑化を組み合わせた方法と本手法

との比較を、例で示し、本手法の有効性を示す。図9は、双3次ベジエ曲線より $19 \times 12 = 228$ 点の格子点を計算したものであり、これに格子間隔の $1/10$ の誤差をランダムに与え、さらに意図的に異常に大きな誤差を数点与えたものが図10である。このデータに対して本手法を適用した結果が図11である。両方向のパラメータ線ともに滑らかとなっていることが分かる。

【0026】これに対し、図12はu方向のパラメータ線とv方向のパラメータ線を交互に修正したものであり、図13は両方向で修正位置の中間位置を修正位置としたものである。前者では、後に平滑化されたv方向については滑らかとなっているが、u方向のパラメータ線は滑らかになっていない。一方後者の場合には、両方向の修正位置が逆向きとなると繰り返し計算を行っても点*

$$R(t) = \sum_{j=0}^n n_j(t) P_j^i \tag{17}$$

である。ここで、

$$n_j(t) = (t - t_0)(t - t_1) \cdots (t - t_{i+j-1}) \tag{18}$$

である。ただし、 $n_0(t) = 1$ である。

20 階差分商までを使って中央セグメン

【0029】4階差分商の大きさはほぼ0であるので、3

つの1階微分ベクトルを計算する。最初の4点を使って計算すると、 $t = t_{j+2}$ の接

線ベクトルとして、

$$\dot{R}(t_{j+2}) = d_{j+2}^1 (P_j^1 + (t_{j+2} - t_j)P_j^2 + (t_{j+2} - t_{j+1})P_j^2 + (t_{j+2} - t_j)(t_{j+2} - t_{j+1})P_j^3) \tag{19}$$

を得る。後ろの4点を使うと、

$$\dot{R}(t_{j+2}) = d_{j+2}^1 (P_{j+1}^1 + (t_{j+2} - t_{j+1})P_{j+1}^2 + (t_{j+2} - t_{j+1})(t_{j+2} - t_{j+3})P_{j+1}^3) \tag{20}$$

を得る。この両者の平均を取って、区間 $[t_{j+2}, t_{j+3}]$ の始点での接線ベクトルとする。

同様に終点での接線ベクトルを求めて、ハルミッテ (Hermite) 補間によりパラメトリック3次曲線を求める (図14参照)。

【0030】以上の局所的のセグメントについての当てはめをすべてのu、vパラメータ線について求め、これらを4境界線としたパッチ式を、クーンズ (Coons) の双1次ブレンドにより計算する。続いて、求められた 2×2 のパッチについて、エイケン (Aitken) の式でブレンドして中央点での曲面の1階、2階微分ベクトルを求め、最後に、これらの微分ベクトルを4隅の微分ベクトルとする双5次ベジエ (Bezier) 曲面を生成する。この曲面は、パッチ間で2階微分ベクトルを共有しているので曲率 (C^2) 連続となっている (図15参照)。

【0031】(4) 実行例

前述したようなアルゴリズムで生成した曲面の例を示す。図16は、凹凸形状を有する曲面について、ランダムに発生した誤差と幾つかの大きな誤差のある $43 \times 19 = 819$ 点格子データを平滑化し、曲面式を当てはめたものである。繰り返し回数は540回である。図16

* の位置は修正されず、滑らかな結果が得られない。これから、格子データを対象として一度に修正をする本手法の有効性が実証される。

【0027】(3) 曲面式の当てはめ

平滑化された格子データに対して、曲面式を当てはめる。格子データはパラメータ線に沿って平滑化されているので、まず、これを曲面式に当てはめる。平滑化では5点ごとの点列に対し、4階差分商が0となるように中央点を移動しているため、これからはほぼ3次式で近似できる。したがって、5点のデータを使って、中央のセグメントを3次パラメトリック式で表す。

【0028】5点の点列 (P_i, \dots, P_{i+4}) に対するニュートン (Newton) の補間公式は、式(2)の差分ベクトル P_i^j を用いると、

$$(17)$$

20 階差分商までを使って中央セグメン

の (a) が入力データであり、図16の (b) が平滑化結果である。図16の (b) では、断面線を計算して示してある。この図から、滑らかな曲面が得られていることが分かる。

【0032】前述したように、本発明の方法は、リバースエンジニアリングにおいて高品質なモデリングを行うことができるように、誤差を持つ格子上の測定データを平滑化するため、4階差分商をもとに局所平滑基準を計算し、この総和である全体平滑基準が最小となるように、繰り返し点列を平滑化していく手法を、例えば、 5×5 の格子点について、u、vパラメータ線を同時に考える事により、格子データの平滑化法に拡張し、その結果を曲面式として当てはめることにより、曲率変化がほぼ滑らかな曲率 (C^2) 連続な曲面形状を得ることができるようにしたものである。

【0033】なお、前述したような本発明の方法は、コンピュータによる演算処理を通して実行するのにも適したものである。

【0034】

【発明の効果】(1) 点群データから当てはめた曲面式で、例えば、リバースエンジニアリングにて高品質なモデリングを行える。

(2) 製品形状を高品質でデジタル化できるため、点群データから曲線を作成し、曲線から曲面を作成する従来の方法と比べ、製品形状データの作成の時間と工数を短縮することができる。

(3) 製品と設計データの誤差評価の自動化を計れ、精度向上に役立つ。

(4) 試作モデルを設計データに容易に変換できる。

(5) 製品の点群データから当てはめた曲面式から、製品と誤差の少ない高品質な金型を作製できる。すなわち、点群データから、そのまま金型を製作できる曲率変化の曲率 (C^2) 連続な滑らかな高品質のモデルを作製できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の方法の手順を概略的に示す図である。

【図2】曲線の平滑化における中心点の修正の態様を示す図である。

【図3】曲線の平滑化における終点の接線の影響を示す図である。

【図4】曲線の平滑化における終点の修正について説明するための図である。

【図5】曲線の平滑化における繰り返し計算の終了時について説明するための図である。

【図6】曲線の平滑化結果の例を示す図である。

* 【図7】凹凸形状を含む複数のベジエ曲線に対して誤差を付加したデータを平滑化した結果を示す図である。

【図8】格子データの中央9点の修正の態様を説明するための図である。

【図9】双3次ベジエ曲面のオリジナル例を示す図である。

【図10】図9の双3次ベジエ曲面のオリジナル例に意図的に誤差を与えた例を示す図である。

10 【図11】図10のデータに対して本発明の方法を適用した結果を示す図である。

【図12】図10のデータに対してu方向のパラメータ線とv方向のパラメータ線を交互に修正した場合の結果例を示す図である。

【図13】図10のデータに対してu方向およびv方向の両方向で修正位置の中間位置を修正位置とした結果例を示す図である。

【図14】曲線のローカルフィッティングを説明するための図である。

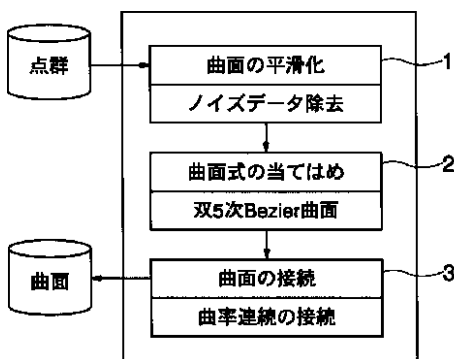
20 【図15】クーンズのパッチの双1次ブレンドを説明するための図である。

【図16】本発明の方法の実行例における結果を説明するための図である。

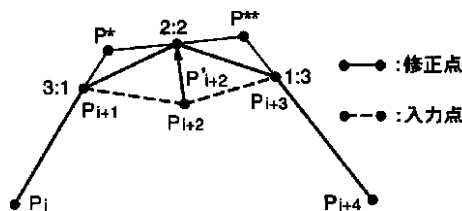
【符号の説明】

- 1 曲面の平滑化
- 2 曲面の当てはめ
- 3 曲面の接続

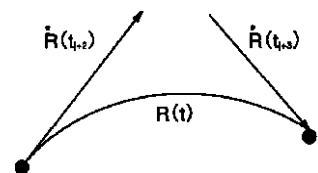
【図1】



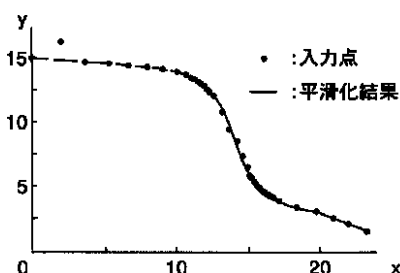
【図2】



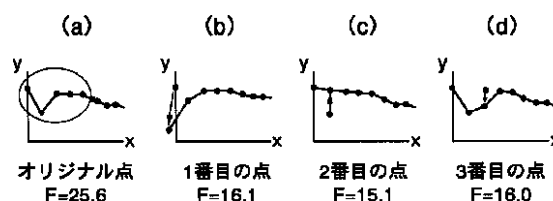
【図14】



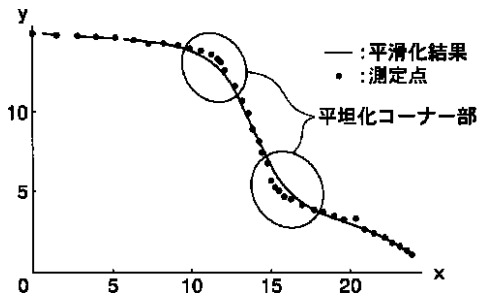
【図3】



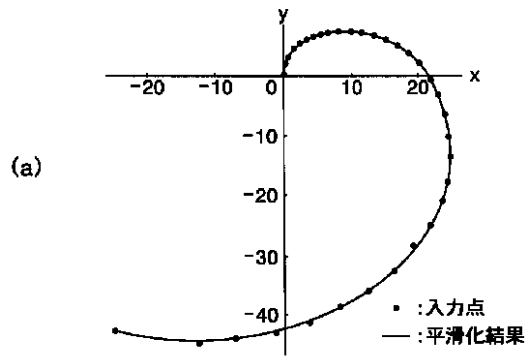
【図4】



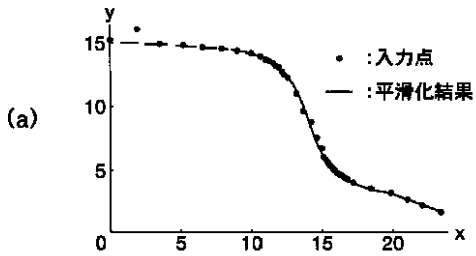
【図5】



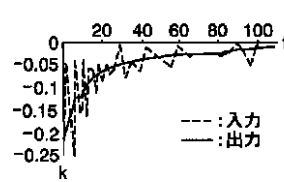
【図6】



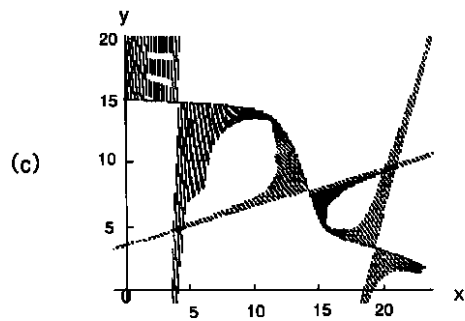
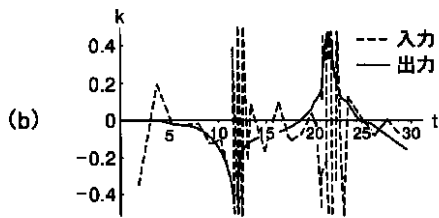
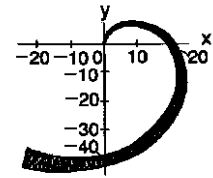
【図7】



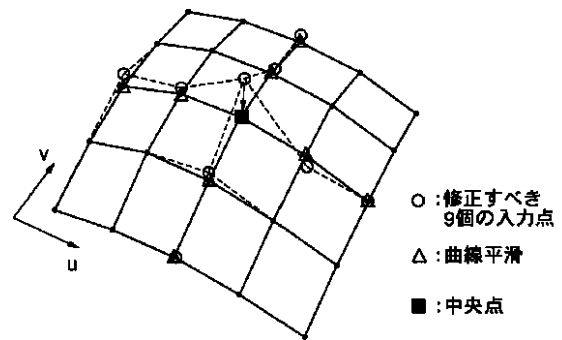
(b)



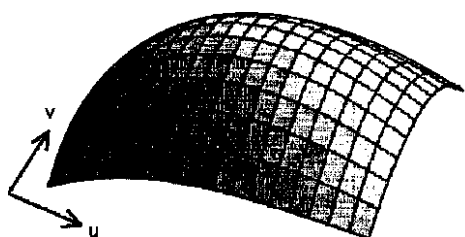
(c)



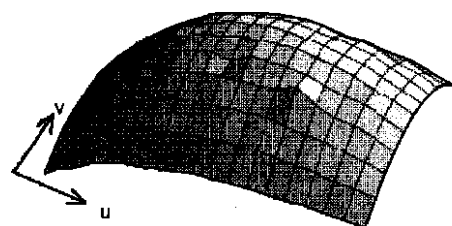
【図8】



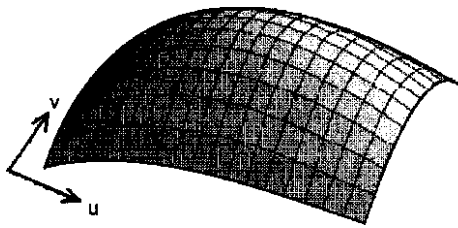
【図9】



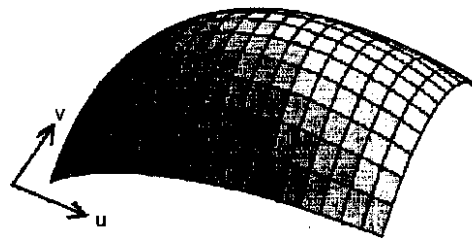
【図10】



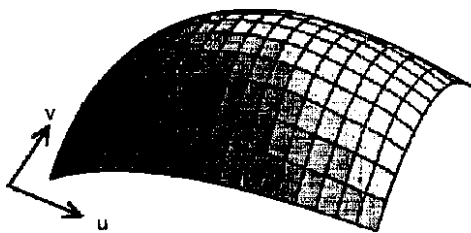
【図11】



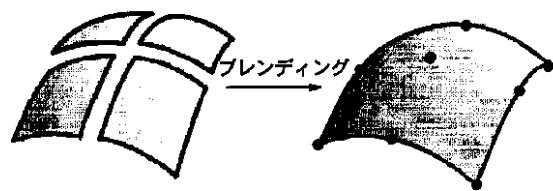
【図12】



【図13】



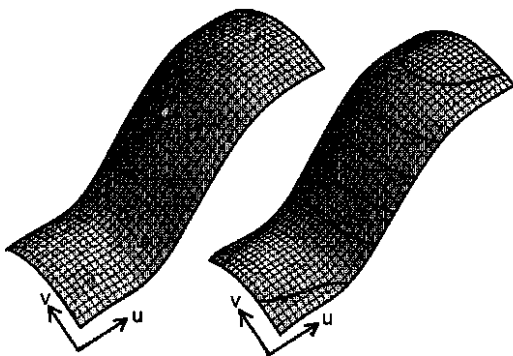
【図15】



【図16】

(a)

(b)



フロントページの続き

Fターム(参考) 5B046 AA04 DA02 FA12
5B056 AA04 BB55 HH03
5B075 NR02 NR12