

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4783586号
(P4783586)

(45) 発行日 平成23年9月28日(2011.9.28)

(24) 登録日 平成23年7月15日(2011.7.15)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 6 T 15/04 (2011.01)

G 0 6 T 15/00 3 0 0

請求項の数 4 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2005-168772 (P2005-168772)	(73) 特許権者	500046438
(22) 出願日	平成17年6月8日(2005.6.8)		マイクロソフト コーポレーション
(65) 公開番号	特開2006-12147 (P2006-12147A)		アメリカ合衆国 ワシントン州 9805
(43) 公開日	平成18年1月12日(2006.1.12)		2-6399 レッドモンド ワン マイ
審査請求日	平成20年6月9日(2008.6.9)		クロソフト ウェイ
(31) 優先権主張番号	60/577, 775	(74) 代理人	100140109
(32) 優先日	平成16年6月8日(2004.6.8)		弁理士 小野 新次郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100089705
(31) 優先権主張番号	11/003, 814		弁理士 社本 一夫
(32) 優先日	平成16年12月2日(2004.12.2)	(74) 代理人	100075270
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スペクトル分析を用いたメッシュパラメータ化による伸縮について

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータで実行したときに、前記コンピュータにテクスチャマップを作成する方法を実行させるコンピュータ読み取り可能な命令が格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記方法が、

3次元オブジェクトのサーフェスの形状をパラメータ化するために、グラフカットによって、前記サーフェスの部分であるチャートを実第1の領域Aと第2の領域Bとに分割する境界を最適化するステップであって、前記チャートの境界は、前記パラメータ化によって生じる、前記チャート内の頂点で構成された隣接する三角形ペア f_i , f_j の形状の、次式で評価される埋め込みの歪み $c_{\text{distort}}(f_i, f_j)$ が最小となるように選択される、前記最適化するステップと、

【数 1】

$$c_{\text{distort}}(f_i, f_j) = \frac{d_{\text{distort}}(f_i, f_j)}{\text{avg}(d_{\text{distort}})}$$

ただし、

$d_{\text{distort}}(f_i, f_j) = |\text{GDD}_A(f_i) - \text{GDD}_B(f_i)| + |\text{GDD}_A(f_j) - \text{GDD}_B(f_j)|$ 、
 $\text{GDD}_A(f_x)$ 、 $\text{GDD}_B(f_x)$ (x は i または j) は、それぞれ第 1 の領域 A および第 2 の領域 B によって導かれる三角形 f_x の 3 つの頂点の埋め込みの測地的距離の歪み (GDD) の平均、

10

$$\text{頂点 } k \text{ の歪み } \text{GDD}(k) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N \left(\|\vec{y}_k - \vec{y}_m\| - d_{\text{geo}}(k, m) \right)^2}$$

N は前記サーフェスの頂点の総数、

$\text{avg}(d_{\text{distort}})$ は隣接するすべての三角形ペアの $d_{\text{distort}}(f_i, f_j)$ の平均

$\vec{y}_p$ (ただし、 p は k または m) は、頂点 p の多次元の埋め込み座標

$d_{\text{geo}}(k, m)$ は、頂点 k と頂点 m との測地的な距離

前記最適化するステップによって最適化された結果を表示装置にレンダリングするステップと、

20

を有することを特徴とする、記録媒体。

【請求項 2】

コンピュータで実行したときに、前記コンピュータにテクスチャマップを作成する方法を実行させるコンピュータ読み取り可能な命令が格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記方法が、

3 次元オブジェクトのサーフェスの形状をパラメータ化するために、グラフカットによって、前記サーフェスの部分であるチャートを第 1 の領域と第 2 の領域とに分割する境界を最適化するステップであって、前記チャートの境界は、次式で評価される境界のぎざぎざの度合 $c_{\text{ang}}(f_i, f_j)$ が最小となるように選択される、前記最適化するステップと、

【数 2】

30

$$c_{\text{ang}}(f_i, f_j) = \left(1 + \frac{d_{\text{ang}}(f_i, f_j)}{\text{avg}(d_{\text{ang}})} \right)^{-1}$$

ただし、

$$d_{\text{ang}}(f_i, f_j) = 1 - \cos \alpha_{i,j}$$

f_i, f_j は、前記チャート内の頂点で構成された隣接する三角形ペア

$\cos \alpha_{i,j}$ は三角形 f_i, f_j の各法線間の角度

$\text{avg}(d_{\text{ang}})$ は隣接するすべての三角形ペアの $d_{\text{ang}}(f_i, f_j)$ の平均

40

前記最適化するステップによって最適化された結果を表示装置にレンダリングするステップと、

を有することを特徴とする、記録媒体。

【請求項 3】

コンピュータで実行したときに、前記コンピュータにテクスチャマップを作成する方法を実行させるコンピュータ読み取り可能な命令が格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記方法が、

3 次元オブジェクトのサーフェスの形状をパラメータ化するために、グラフカットによって、前記サーフェスの部分であるチャートを第 1 の領域 A と第 2 の領域 B とに分割する

50

境界を最適化するステップであって、前記チャートの境界は、第1の形
【数3】

$$c_{\text{ang}}(f_i, f_j) = \left(1 + \frac{d_{\text{ang}}(f_i, f_j)}{\text{avg}(d_{\text{ang}})}\right)^{-1}$$

ただし、

$$d_{\text{ang}}(f_i, f_j) = 1 - \cos \alpha_{ij} \quad ,$$

f_i, f_j は、前記チャート内の頂点で構成された隣接する三角形ペア

$\cos \alpha_{ij}$ は三角形 f_i, f_j の各法線間の角度

$\text{avg}(d_{\text{ang}})$ は隣接するすべての三角形ペアの $d_{\text{ang}}(f_i, f_j)$ の平均

10

をとる第1項 $c_{\text{ang}}(f_i, f_j)$ と第2の形

【数4】

$$c_{\text{distort}}(f_i, f_j) = \frac{d_{\text{distort}}(f_i, f_j)}{\text{avg}(d_{\text{distort}})}$$

ただし、

$$d_{\text{distort}}(f_i, f_j) = |\text{GDD}_A(f_i) - \text{GDD}_B(f_j)| + |\text{GDD}_A(f_j) - \text{GDD}_B(f_i)| \quad ,$$

20

$\text{GDD}_A(f_x), \text{GDD}_B(f_x)$ (x は i または j) は、それぞれ第1の領域Aおよび第2の領域Bによって導かれる三角形 f_x の3つの頂点の埋め込みの測地的距離の歪み (GDD) の平均、

$$\text{頂点 } k \text{ の歪み } \text{GDD}(k) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N \left(\|\vec{y}_k - \vec{y}_m\| - d_{\text{geo}}(k, m) \right)^2} \quad ,$$

N は前記サーフェスの頂点の総数、

$\text{avg}(d_{\text{distort}})$ は隣接するすべての三角形ペアの $d_{\text{distort}}(f_i, f_j)$ の平均

$\vec{y}_p$ (ただし、 p は k または m) は、頂点 p の多次元の埋め込み座標

30

$d_{\text{geo}}(k, m)$ は、頂点 k と頂点 m との測地的な距離

をとる第2項 $c_{\text{distort}}(f_i, f_j)$ との重み付きの和を最小にするように選択される前記最適化するステップと、

前記最適化するステップによって最適化された結果を表示装置にレンダリングするステップと、

を有することを特徴とする、記録媒体。

【請求項4】

コンピュータで実行したときに、前記コンピュータにテクスチャマップを作成する方法を実行させるコンピュータ読み取り可能な命令が格納されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記方法が、

40

色信号に基づいてサーフェスを複数のチャートに分割するステップであって、三角形の複数の頂点間の複数のペアごとの信号距離が測地的距離と信号距離との組み合わせであり、かつ、前記測地的距離と信号距離との組み合わせが次式で表わされる、前記分割するステップ、

を有することを特徴とする、記録媒体。

【数 5】

$$d_{\text{comb}}(i,j) = \beta \frac{d_{\text{geo}}(i,j)}{\text{avg}(d_{\text{geo}})} + (1 - \beta) \frac{d_{\text{sig}}(i,j)}{\text{avg}(d_{\text{sig}})}$$

ただし、

$d_{\text{sig}}(i,j)$ は、頂点 i と頂点 j との間の信号距離、

$d_{\text{geo}}(i,j)$ は、頂点 i と頂点 j との間の測地的距離、

$\text{avg}(d_{\text{sig}})$ は、隣接する三角形間の平均信号距離、

$\text{avg}(d_{\text{geo}})$ は、隣接する三角形間の平均測地的距離

β は、定数

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、コンピュータグラフィックスの生成に関する。特に、実質的に2次元での3次元オブジェクトのレンダリングに関する。

【背景技術】

【0002】

20

テクスチャを3次元サーフェスにマップするためのコンピュータグラフィック技術は、ソフトウェアおよびハードウェアにおいて開発され、実装されてきた。こうした従来の実装では、通常は、メッシュ構造で定義された長方形のテクスチャサンプルを、レンダリングするサーフェスにマップする。

【0003】

【特許文献1】米国特許出願第10／138,289号, "System and Method for Providing Signal-Specialized Parameterization"

【特許文献2】米国特許出願第10／138,751号, "System and Method for Optimizing Geometric Stretch of a Parameterization Scheme"

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

こうしたテクスチャサンプルまたはマップは、一定の限界を示す傾向があり、このようなマップからレンダリングされる画像の品質に影響する恐れがある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

読者の基本的な理解が得られるように、本開示の概要について以下に簡単に説明する。以下に示す解決手段は、本開示の広義の概要ではない。また、本発明の重要／不可欠な要素を特定せず、本発明の範囲を限定しない。唯一の目的は、後述の実施形態に関する説明の準備として、本明細書に開示するいくつかの概念を簡略化した形で示すことである。

40

【0006】

本実施例では、3次元オブジェクトを2次元にレンダリングする方法を提供する。通常は、輪郭をマップするオブジェクト上に1つまたは複数のグリッドを配置する。オブジェクトのサーフェスは多くのサブサーフェス（それぞれに独自のグリッドを配置する）に分割でき、サーフェスの標高の変化に応じて伸縮の歪み（stretch distortion）を小さくするようにできる。

【0007】

本実施例では、Iso-Chartと呼ばれる完全自動の方法を提供し、任意のメッシュに関するテクスチャアトラス（texture atlases）を作成できる。この例では、チャートをパラメータ化する場合（たとえば歪みの測定）だけでなく、チャート

50

を作成する場合にも伸縮を考慮する。出力されるアトラスは、ユーザーが指定する定数で伸縮の限界を指定し、ユーザーはその伸縮に照らしてチャートの数进行调整できる。

【0008】

本発明の多くの付帯機能は、添付の図面と共に以下の詳細な説明を参照することでより深く理解され、明らかになるであろう。

【0009】

本特許または出願には、カラーで描かれた少なくとも1枚の図面が含まれる。カラーの図面を伴う本特許または特許出願広報のコピーは、請求あり次第、必要な料金を支払うことで事務所から提供される。上記およびその他の機能と利点については、添付の図面を参照しながら以下の実施形態の説明を読むことでより深く理解できるであろう。

10

【0010】

添付の図面において、同じ参照番号は同種の要素を示している。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

添付の図面と共に下記で提供される詳細な説明は、本実施例の説明として意図されており、本発明を構成または利用できる唯一の形態を示すものではない。以下の説明は、図示された実施例に関連つけながら、本発明の機能および本発明を構成し、操作する一連のステップを示している。示された一連の操作およびステップは例示的なものであること、およびその順序を変更しても同じ結果が得られることは、当業者には言うまでもない。同等の機能およびシーケンスは、本発明の別の実施例で実現することもできる。

20

【0012】

本実施例は、本明細書では2次元のコンピュータグラフィックスシステムにおける実装として説明され、図示されているが、説明されているシステムは例として示されており、限定を意味するものではない。当業者には言うまでもないが、本発明は、コンピュータグラフィックスなどで生成される3次元モデルを含むさまざまな画像生成システムで利用するのに適している。

【0013】

(序論)

提示する実施例には、複数のチャートを使用して任意のメッシュをパラメータ化する方法(「メッシュのパラメータ化」)が含まれる。チャートに分解し、各チャートをパラメータ化するステップは、自動化でき、頂点間の測地的な距離の行列に関するスペクトル分析の概念とパラメータ化の伸縮に基づくことができる。

30

【0014】

メッシュのパラメータ化は、3次元グラフィックスのレンディション(renderition)に利用できる。多くの信号を、法線、カラー、あるいはシェーディングのパラメータを含む3次元グラフィックスのレンダリングで使用でき、3次元サーフェスに関連付けてリアルな画像を作成することができる。特に、「テクスチャマップ」を使用してサーフェスのテクスチャを記述すると、よりリアルな画像に作り直すことができる。

【0015】

以下に説明する例では、最小限のテクスチャサンプルを使用して忠実に表現するためのテクスチャマップを自動的に生成する方法を提供する。また、以下で説明する実施例は、テクスチャ合成、ジオメトリ圧縮、再メッシュ(remeshing)など、多くの幾何学的な処理に適用できる。

40

【0016】

この種の分解は、マップ領域の選択の仕方によって伸縮を最小にする傾向がある。このように、画像をコンピュータグラフィックスのレンダリング用にモデル化する上で、任意のメッシュからテクスチャ画像への1つの展開によって、再生される画像に歪みの大きな領域が生じる可能性がある。したがって、一般にメッシュは、チャートの集合に分割される。このチャートの集合によって、テクスチャアトラスを構成する。各チャートには、テクスチャドメインの領域ごとに一連のパラメータが割り当てられ、これらのパラメータ化は

50

、集合的にアトラスを作成する。

【0017】

Iso-Chartと呼ばれる完全自動の方法によって、任意のメッシュに関するテクスチャアトラスを作成できる。この方法では、チャートをパラメータ化する場合（たとえば変形を測定する場合）だけでなく、チャートを構成する場合にも伸縮を考慮する。出力されるアトラスは、ユーザーが指定する定数で伸縮の限界を課すことができるので、ユーザーはその伸縮に照らしてチャートの数を調整できる。

【0018】

スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化のアプローチは、1) 局所計量テンソル (local metric tensor) のトレースの表面積分に基づく、伸縮を最小にするパラメータ化、および2) メッシュの頂点のペア間の平方された測地的な距離の行列の固有分析に基づく「isomap」またはMDS (「multidimensional scaling (多次元スケーリング)」) の2つの技術を組み合わせている。通常、わずかな数回の繰り返しによる非線形の伸縮最適化要求がMDSパラメータ化に適用され、伸縮の小さいアトラスが得られる。2つのパラメータ化の間に見られる密接な関係によって、MDSに基づくスペクトルクラスタリング (spectral clustering) を適用してメッシュを伸縮の小さいチャートに分割できる。グラフカットアルゴリズムを適用してチャートの境界を最適化し、伸縮をさらに最小化し、シャープなフィーチャを描き、蛇行を防ぐ。

【0019】

スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化の方法は、チャート数が少なく、伸縮の小さなテクスチャアトラスを迅速に作成する傾向があり、幾何学的な再メッシュのようなアプリケーションに有効である。別の実施例では、1つの拡張、すなわち信号専用のアトラスの作成について説明しており、サーフェス信号の効率的なサンプリングを傾向があり、チャートの構成における信号の伸縮を考慮することで、より優れたテクスチャマップを作成する傾向がある。

【0020】

パラメータ化は、テクスチャマッピング、モーフィング、編集、再メッシュ、圧縮など、多くの幾何学処理アルゴリズムで使用できる。任意のメッシュをパラメータ化するために、テクスチャアトラスを作成してもよい。モデル化するターゲットサーフェスは、通常はまずチャートの集合に分割され (いわゆるチャート化)、このチャートがパラメータ化され、テクスチャドメインに圧縮される (packed)。

【0021】

特に、テクスチャアトラスを作成するステップには、サーフェスにメッシュを適用してよりリアルな画像を作成しようとした場合に、距離がどの程度縮まったか、あるいは「伸縮」したかに関する考察を含めることができる。

【0022】

テクスチャアトラスから再作成される最終的な画像の歪みは、さまざまな方法で修正でき、最小化できる。1つの方法には、テクスチャアトラスにおけるチャートの適切な選択が含まれる。別の方法では、アトラスにおけるチャートの数を変更できる。このように、ターゲットサーフェスをチャートに分割する方法は、3次元オブジェクトの外観を2次元にレンダリングする場合に有効である。

【0023】

3Dサーフェスは2D平面と等角 (isometric) ではないので、パラメータ化によって歪みが発生する。角度や領域がどの程度維持されるか、あるいはパラメータの距離がサーフェス上でどの程度伸縮、あるいは縮まったかなど、さまざまな方法で歪みを評価できる。スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化は、距離の歪み、特にサーフェス上の局所的な距離の平均および最悪の伸縮を評価する幾何学的な伸縮の定義に注目する。

【0024】

伸縮を最小化するには、通常、非線形の最適化を利用する。伸縮の最小化は低速になる傾向があり、チャートのコンパクトさと平面性とに基づいてはっきりとしたフィーチャまたはクラスタをカットする、関連のない発見的方法を優先してチャートを構成する場合、伸縮が軽視される傾向がある。これは、チャートの伸縮を最小にする埋め込みの計算にコストがかかる場合正しく、あらゆるチャート分割についてこの計算を行っても全く役に立たない傾向があるためである。

【0025】

これを改善するために、IsoMapと呼ばれる非線形次元収縮が適用される。IsoMapは、メッシュ上の2頂点間の測地的な(geodesic)距離の歪みを最小にする傾向がある。こうした適用への鍵となるのは、測地的な距離の歪みと伸縮は全く別々に定義されているにもかかわらず密接に関連するという事実である。IsoMapは、このようにアトラスを生成するときに2つの機能を提供する傾向がある。IsoMapは、スペクトル分析と呼ばれる効果的な方法を提供し、パラメータ化されても伸縮の小さい幾何学的に意味のある大きな要素(動物の付属器官など)に分解する。また、IsoMapでは、余分な計算をせずに各要素の初期パラメータ化を計算できる。実際に、通常は伸縮を最小化するための適切な開始点が提供され、数回の繰り返しによる非線形伸縮最適化で迅速に収束し、「折りたたみ(foldovers)」の問題を容易に除去できる。

【0026】

スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化の機能は、測地的な距離の行列のスペクトル分析に基づいてクラスタに分割する伸縮主導型のチャート化の方法である。ユーザーは、伸縮の限界を指定すると同時に、通常は少ないチャート数を維持することができる。こうしたスペクトル分析により、同時にチャートの伸縮の小さいパラメータ化が迅速に実現する。グラフカットを使用してチャートの境界を最適化し、容量の基準を変更して測地的な距離の歪みとその結果の伸縮を考慮することで、2つの基準の間に見られる関係を解明できる。スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化は、幾何学的な要素が周期構造(管状構造)をとる場合に、「専用のスペクトルクラスタリング」を使用することで一般により適切なチャートを作成する。最後に、このアプローチは信号専用のアトラスの作成に一般化される。スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化は、そのチャートの分割およびパラメータ化を特定の信号に適応させる最初の方法であり、法線マップまたはカラーマップなどの特定の信号に適応する。

【0027】

(プロセスの概要)

図1は、スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化を示すブロック図である。スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化のアプローチは、トップダウンの伸縮主導型の方法と考えることができる。ブロック101でサーフェスとユーザー指定の伸縮の値が指定されると、ブロック102でサーフェスのスペクトル分析が計算され、初期パラメータ化が提示される。ブロック102については、後の「サーフェスのスペクトル分析」の項でさらに詳しく説明する。ブロック103で、数回の繰り返しによる従来の伸縮最適化が実行される。ブロック104で、計算されたパラメータ化が閾値より小さい場合は、プロセスが停止する。ブロック105で、スペクトルクラスタリングを実行してサーフェスをチャートに分割する。ブロック106で、グラフカット技術を使用してチャート境界の最適化を実行する。ブロック107で、伸縮の基準を満足するまでチャートが再帰的に分割される。

【0028】

このプロセスの結果は、パラメータ化によって伸縮の限界を指定したチャートの集合である。チャートの位相は、明示的にチェックする必要はなく、伸縮主導型のプロセスによって最終的にすべてのチャートが位相的(topological)ディスクに確実に細分され、それ以外の場合、パラメータ化の伸縮は無限である。パラメータ化のドメインが、それ自体と重複せず、その典型的に稀な場合においては細分しないようにさせるチェックが行われる。後処理のステップとして、小さなチャートをマージ(merged)した

チャートのパラメータ化による伸縮がユーザー指定の伸縮の値を下回る場合、こうしたチャートが共にマージされる。

【0029】

歪みは、幾何学的伸縮または信号の伸縮に関する2つのノルム (norms) を使用して限界を設定する。 L_2 ノルムは $(\gamma^2_{\max} + \gamma^2_{\min}) / 2$ をサーフェス上で積分し、全体の平方根をとったものである。 L_∞ ノルムはサーフェス全体の $\max \{ \gamma_{\max}, 1 / \gamma_{\min} \}$ を最大にする。ただし、 $\gamma_{\max}$ と $\gamma_{\min}$ は、サーフェス上のスカラー関数であり、任意の点におけるテクスチャ空間からモデルまたは信号空間へのアフィンマッピング (affine mapping) のヤコビアン行列式の唯一の最大値と最小値である。 L_∞ ノルムの収縮 $1 / \gamma_{\min}$ を含めることは、アンダーサンプリングにペナルティーを科すための修正である。幾何学的伸縮または信号の伸縮に関する2つのノルムを使用した歪みの限界設定については、参考として本明細書に引用する2002年5月1日に出願された特許文献1に説明されている。

10

【0030】

図2は、うさぎのモデルをチャート化し、パラメータ化した結果を示している。ウサギのモデル201用に作成された Iso-Chart アトラス200を示している。図に示すように、ウサギのサーフェスは15の大きなチャートに分割され、平面化した場合に通常は従来の方法より伸縮が小さくなる ($L_2 = 1.01$ 、 $L_\infty = 2.26$)。図のように、頭、耳、体などのモデルの要素は大きなチャートに分解される。この例では、計算には約1分かかる。

20

【0031】

(チャート化とパラメータ化)

チャート化とパラメータ化には、サーフェスのスペクトル分析の適用、スペクトル分析による伸縮の減少、サーフェスのスペクトルクラスタリング、最適なパラメータ境界の計算、中間領域の埋め込み、管形状のスペクトルクラスタリング、実装、および信号専用のアトラス作成が含まれる。

【0032】

(サーフェスのスペクトル分析)

このプロセスは、従来の次元収縮法 IsoMap (アイソメトリックフィーチャマッピング (isometric feature mapping)) に基づいている。高次元の点の集合が与えられると、IsoMapは隣接する点間の一連のホップ (hops) としてのマニホールドに沿った測地的な距離を計算する。次に、こうした測地的な距離に MDS (multidimensional scaling: 多次元のスケールリング) を適用し、2点間の距離が同じ低次元空間に埋め込まれた点の集合を検出する。

30

【0033】

この IsoMap の適用は、「サーフェスのスペクトル分析」と呼ばれており、その計算の概要については以下で説明する。 N 個の頂点 x_i を有するサーフェスが指定された場合は次のようになる。ただし、各 x_i は3D空間の位置である。

【0034】

・サーフェスの頂点間の測地的な距離の平方の対称行列 D_N を計算する。

40

【0035】

・次に、 D_N に2重中心化 (double centering) と標準化を適用し、 $B_N = -(1/2) J_N D_N J_N$ を求める。ただし、 J_N は $J_N = I - (1/N) 11^T$ (I は単位行列、 1 は長さ N の1つのベクトル) で定義される $N \times N$ の中心化行列である。これによって、計算された点の集合の重心を原点にするという制約が発生する。

・ B_N の固有値 λ_i 、および対応する固有ベクトル v_i ($i = 1, 2, \dots, N$) を計算する。

・元のサーフェスの各頂点 i について、その新しい空間への埋め込みは、その j 番目の成分が

【0036】

50

【数 1】

$$\vec{y}_i^j = \sqrt{\lambda_j} \vec{v}_j^i (j=1,2,\dots,N)$$

【0037】

で指定される N 次元ベクトル y_i である。

【0038】

B_N の固有値 λ_i と対応する固有ベクトル

【0039】

【数 2】

$$\vec{V}_i$$

【0040】

($i=1, 2, \dots, N$) は、サーフェスの形状のスペクトル分解を構成する。ベクトル y_i は、歪曲したモデルを表しており、元の頂点 x_i と 1 対 1 対応である。大きな固有値に対応する固有ベクトルは、サーフェス上の全体的な低周波数のフィーチャを表し、小さな固有値に対応する固有ベクトルは、サーフェス上の高周波数の細部を表す。高エネルギー、低周波数のコンポーネントをチャート化およびパラメータ化の基盤と考えるのが自然である。

【0041】

N 個の頂点を伴うサーフェス全体を表現するには N 個の固有値が必要であるが、通常はその中の少数がエネルギーを支配する。図 2 に示すうさぎのモデルでは、上位 5 個の固有値がエネルギーの平方の 85% 以上を占める。つまり、

【0042】

【数 3】

$$(\sum_{i=1}^5 \lambda_j / \sum_{i=1}^N \lambda_j) > 85\%$$

【0043】

である。したがって、 n ($\ll N$) 個の非常に大きな固有値と、対応する固有ベクトルのみが計算され、すべてのベクトルに関する n 次元の埋め込みが導かれる。

【0044】

この n 次元の埋め込みの歪みは、すべての頂点に関する測地的な距離の歪みの合計として計算できる。各頂点 i について、埋め込みによるその測地的な距離の歪み（「GDD」）は次のように定義される。

【0045】

【数 4】

$$GDD(i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \left(\left\| \vec{y}_i - \vec{y}_j \right\| - d_{\text{geo}}(i, j) \right)^2} \quad (1)$$

【0046】

ただし、

【0047】

【数 5】

$$\rightarrow$$

$$y_i$$

【0048】

10

20

30

40

50

は頂点 i の n 次元の埋め込み座標であり、 $d_{geo}(i, j)$ は頂点 i と j との測地的な距離である。この定義は、三角形の3つの頂点の歪みを平均することで頂点から三角形に拡張でき、後述の「最適なパーティション境界の計算」の項で使用される。

【0049】

$n = 2$ の場合に、サーフェスのスペクトル分析により、すべての頂点に関する GDD の平方和を最小にするサーフェスのパラメータ化が導かれる。したがって、サーフェスのスペクトル分析は、チャート化のための分解とパラメータ化との2つの問題に同時に適用できる。

【0050】

多角形モデルのサーフェス点間の測地的な距離を計算するには、 $O(N^2 \lg N)$ で動作し、メッシュトライアングルをカットするパスが可能なので、通常は Dijkstra グラフ検索法よりさらに正確な結果を得る従来の最も高速のマッチング方法が使用される。

10

【0051】

(スペクトル分析と伸縮)

GDD を最小にするパラメータ化と伸縮を最小にするパラメータ化とは、いずれも距離の歪みに注目している。やはり GDD は、さまざまな点で伸縮とは異なる。GDD は、局所的でなく全体的である。つまり、1つの点のヤコビアン行列によって導かれる局所的な伸縮でなく、サーフェス全体で任意にかけ離れた頂点間の距離を考慮する。GDD は、比率ベースでなく差異ベースである。つまり、単位長さの正接ベクトルがどれだけ伸縮したかでなく、元の距離とパラメータの距離との差異にペナルティーを科している。さらに、GDD は、連続的でなく離散的である。つまり、2頂点間の距離の歪みのみを考慮しており、各三角形や各方向の伸縮は考慮しない。

20

【0052】

スペクトル分析の離散性(2頂点間のみについて距離の歪みを測定する)は、トライアングルフリップ(triangle flips)に関する問題の原因となる。本発明のスペクトル分析と伸縮とを計算するプロセスによって、単純な解決が得られる。トライアングルフリップは無限の伸縮を発生すると定義されているが、本発明のアルゴリズムは、通常、伸縮がユーザー閾値を超えるチャートを分割するので、任意の有限の閾値を指定することで最終的なアトラスにフリップがないことが保証される。

30

【0053】

スペクトル分析では、通常、一般的な非線形最適化でなく低次元の固有値問題の解決を必要とする。この計算は、以下で説明する「ランドマーク(landmark)」拡張をさらに使用することで高速化できる。伸縮と GDD との相違にもかかわらず、スペクトル分析によって通常は伸縮が小さくなるという効果がある。

【0054】

(サーフェスのスペクトルクラスタリング)

スペクトル分析によって導かれるパラメータ化がユーザーの伸縮の閾値を満足しない場合、複数の小さなチャートに分割される。動物の頭、耳、足、尾など、モデルの全体的なフィーチャは大きな固有値に対応することを想起し、このようなフィーチャを使用して分割する。スペクトル分析の結果を使用していくつかの代表的な頂点が計算される。次に、「サーフェスのスペクトルクラスタリング」と呼ばれる方法で、こうした代表的な頂点を中心として同時にチャートが構成される。このプロセスは次のようになる。

40

1. 固有値 λ_i と、対応する固有ベクトル

【0055】

【数6】

$$\vec{V}_i$$

【0056】

50

をサーフェスのスペクトル分析から ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$) のようにランク付けする。

2. $\lambda_n / \lambda_{n+1}$ が最大になるような上位 n 個の固有値と固有ベクトルを選択する。

3. メッシュの各頂点 i について、その n 次元の埋め込み座標

【0057】

【数7】

$$\vec{y}_i^j = \sqrt{\lambda_j} \vec{v}_j^i (j=1,2,\dots,n)$$

10

【0058】

を計算する。

4. n 個の埋め込み座標のそれぞれについて、座標値が最大と最小の2つの頂点を検出し、これを $2n$ 個の代表点として設定する。

5. 互いに非常に近い代表点を除去し、 $m (\leq 2n)$ 個の代表点を得る。

6. サーフェスのスペクトル分析で計算した測地的な距離を使用して、代表点の周囲にチャートを同時に構成することで、メッシュを m 個の要素に分割する。

【0059】

ステップ2は、結果としてエネルギーと固有値の数を関連付ける曲線の「屈曲部」を検出する相対エラーの閾値を与える。 n の値は形状の複雑さの尺度である。つまり、 $n < 3$ はほとんど平坦な形状を表し、 n が大きい場合はかなり細かい複雑な形状を表す。残りの $N - n$ 個の固有値を除去し、高周波数の細部を無視して分割結果のチャート数が多すぎないようにする。本実装では、さらに $n \leq 10$ に制限されており（「実装の詳細」の項を参照）、結果として最大サブチャート数が制限される。

20

【0060】

ステップ4でさまざまな次元から計算された代表点は近くて冗長な場合があるので、ステップ5でこれを削除する。距離の閾値として、入力メッシュの平均エッジ長の10倍を使用する。ステップ6で、三角形から代表点までの測地的な距離が、三角形の3つの頂点と代表点との測地的な距離の平均として計算される。

【0061】

30

（最適なパーティション境界の計算）

チャートを分割した後で、チャート間の境界が最適化される。チャートの境界は、1) 曲率の大きな領域をぎざぎざになりすぎずにカットする、2) 境界を設定するチャートの埋め込みの歪みを最小にするという2つの目標に適合する必要がある。

【0062】

第1の目標には、チャートのコンパクトさを表すさまざまな測定値を最小にしながら、2面角の大きいエッジに沿った最短距離のチャートカットを選択する従来の方法で対処している。メッシュのパラメータ化に適用する概念である従来のグラフカット法を使用してメッシュを分解する。第2の目標は、伸縮を最小にする分割に関連する。

【0063】

40

第2の目標には、グラフカット (graph cut) の問題のような最適境界値問題を公式化することで対処できる。簡潔にするために、サーフェスを2つに分割する場合について説明する。3つ以上に分割する場合は、隣接するチャートのそれぞれについてさらに考察する。

【0064】

図3は、グラフカット (graph cut) の問題として最適なパーティション境界の検出を示している。境界を検出するときに、形状300は3つの要素、すなわち外側の領域301 (赤)、302 (青)、中間の領域303 (緑) に分解される。グラフ304は、中間の領域303について作成されている。2つのチャート302と301との間の最適な境界を求める。初期分割は、サーフェスのスペクトルクラスタリングを使用して生

50

成される。中間の領域303は、最初の分割境界のいずれかの側に領域を拡張することで生成される。中間の領域のサイズは、分割されないパッチ(patch)の領域全体に比例する。すべての例に30%を使用する。ここで、ファジークラスタリングとファジーカット(fuzzy clustering and cuts)による従来の階層メッシュ分解の方法の拡張を使用して、中間の領域303から方向のないフローネットワークグラフ(flow network graph)305を構成する。この方法では、メッシュの隣接する2つの三角形 f_i と f_j 間の「容量」は次のように定義される。

$$c(f_i, f_j) = \alpha c_{ang}(f_i, f_j) + (1 - \alpha) c_{distort}(f_i, f_j) \quad (2)$$

10

【0065】

数式(2)の第1項は、2面角の大きなエッジに沿ったぎざぎざのないカットという第1の目標に対応する。これは次のようにして得られる。

【0066】

【数8】

$$c_{ang}(f_i, f_j) = \left(1 + \frac{d_{ang}(f_i, f_j)}{\text{avg}(d_{ang})} \right)^{-1} \quad (3)$$

【0067】

20

ただし、 $d_{ang}(f_i, f_j)$ は $(1 - \cos \alpha_{ij})$ 、 α_{ij} は三角形 f_i と f_j の法線間の角度、 $\text{avg}(d_{ang})$ は隣接する三角形間の平均角距離である。

【0068】

式(2)の第2項は埋め込みの歪みを評価し、次のように定義される。

【0069】

【数9】

$$c_{distort}(f_i, f_j) = \frac{d_{distort}(f_i, f_j)}{\text{avg}(d_{distort})} \quad (4)$$

【0070】

30

$$d_{distort}(f_i, f_j) = |GDD_A(f_i) - GDD_B(f_i)| + |GDD_A(f_j) - GDD_B(f_j)| \quad (5)$$

【0071】

ただし、 $GDD_A(f_i)$ と $GDD_B(f_i)$ は、それぞれ外側の領域302または301によって導かれる埋め込みによる三角形 f_i のGDDであり、 $\text{avg}(d_{distort})$ は、隣接するすべての三角形ペアにわたる平均の $d_{distort}(f_i, f_j)$ である。この $c_{distort}(f_i, f_j)$ の定義により、隣接する三角形のGDDが外側の領域302と301とで指定される埋め込み間でバランスをとる境界エッジが選択される。換言すれば、不要な歪みを発生する三角形の不適切な辺にカットを適用しないようにする必要がある。

40

【0072】

図4は、さまざまなグラフカットの機能の比較を示している。重みパラメータ α は、2つの目標のバランスを調整する。 $\alpha = 1$ に設定すると、シャープな(sharp)フィーチャを伴うモデルに対して適切な結果が得られる。中間の領域で2面角がなだらかに変化する形状の場合に、最短のカットになる傾向がある(401)。しかし、この分割によって右のチャートに非常に大きな伸縮が発生する。したがって、ユーザー指定の閾値404を満足するには再分割する必要がある。

【0073】

一方、 $\alpha = 0$ に設定するとGDDは最小になり(402)、チャートの増大は回避されるが、境界はぎざぎざになる。 $\alpha = 0.5$ 、つまり両方の組み合わせを403に示す。パ

50

ラメータ化の伸縮は402より若干大きい、多くの適用例で滑らかな境界が得られるのが望ましい。

【0074】

(Landmark IsoMapによる中間領域の埋め込み)

図4に戻り、最適な分割を計算するには、分割されていないチャートに関する2つの埋め込み、すなわち、サイドA(302)に対応するものと、サイドB(301)に対応するものが必要がある。こうした2つの埋め込みによって GDD_A と GDD_B とが定義される。サブチャート、「コア(core)」、A、Bのいずれにも中心の領域C(303)の内部の頂点は含まれない。したがって、AまたはBのみのスペクトル分析を使用してCの頂点の埋め込み座標は計算されない。Cのどの三角形がAと結合し、どの三角形がBと結合するかはまだわからないので、結局は他のサブチャートに挿入される三角形による過度に歪んだ各サブチャートの埋め込みは、回避する必要がある。Landmark IsoMapと呼ばれるIsoMapの拡張によって、各コアの埋め込みだけを暗黙的に与えられた中間の領域と、各コアの頂点に対するCの頂点の測地的な距離の関係を埋め込む。

10

【0075】

Aには N_A 個の頂点があると仮定する。サーフェスのスペクトル分析を実行した後に、 n_A 個の固有値 λ_i と対応する固有ベクトル

【0076】

【数10】

→

V_i

20

【0077】

が存在している。A内にあるすべての頂点の n_A 次元の埋め込みは、次に示す $n_A \times N_A$ 型行列 L_A の列を構成する。

【0078】

【数11】

$$L_A = \left[\sqrt{\lambda_1} \vec{v}_1, \sqrt{\lambda_2} \vec{v}_2, \dots, \sqrt{\lambda_{n_A}} \vec{v}_{n_A} \right]^T$$

30

【0079】

Aの外部にある頂点pは、pからA内にある頂点までの既知の測地的な距離を制約として使用することで、その n_A 次元の埋め込み空間に配置できる。これと同じ概念により、GPSにおける有限数の距離の測定値を使用して、地理的な位置を特定する。AはpからA内にある頂点までの距離の平方の列ベクトルを表すとする。 n_A 次元の埋め込み座標

【0080】

【数12】

→

V_p

40

【0081】

は次の式で計算できる。

【0082】

【数13】

$$\vec{v}_p = \frac{1}{2} L_A^\dagger (\bar{\Delta} - \Delta_p)$$

【0083】

50

ただし、
【0084】
【数14】

$\overline{\Delta}$

【0085】

は

【0086】
【数15】

10

D_{N_A}

【0087】

の列平均、

【0088】
【数16】

$L_A^\dagger$

【0089】

20

は次に示す L_A の疑似逆行列の転置である。

【0090】
【数17】

$$L_A^\dagger = \left[\frac{\overrightarrow{v_1}}{\sqrt{\lambda_1}}, \frac{\overrightarrow{v_2}}{\sqrt{\lambda_2}}, \dots, \frac{\overrightarrow{v_{n_A}}}{\sqrt{\lambda_{n_A}}} \right]^T$$

【0091】

30

ここで、Aによって導かれる埋め込みにおけるC内のすべての頂点のGDDが計算され、Bについても同様に処理される。

【0092】

(管形状専用のスペクトルクラスタリング)

図5は、スペクトルクラスタリングによってウサギの耳の形を5つのチャートに分割する様子を示している。特に、この図は、管形状の分割を説明している。列a(501)は一般的なスペクトルクラスタリングを示しており(「サーフェスのスペクトルクラスタリング」の項で説明する)、列b~d(502、503、504)は第1、第2、第3の固有値に基づく2元のクラスタリングを示している。n個の主要な固有値が指定された場合に、サーフェスのスペクトルクラスタリングによって形状は最大2n個のチャートに分割される。これは、複雑な形状に対しては適切に機能するが、 $n \leq 3$ の単純な形状に対しては生成するチャート数が多くなりすぎる場合がある。501に示すように、スペクトルクラスタリングによってうさぎの耳は5つのチャートに分割される。過剰な分割を回避するために、ここでは前述の方法でなく第1の埋め込み座標に従ってチャートを2つに細分する。このアプローチは、多くの場合に機能するが、一般的なメッシュによくある管/筒状の突起に対しては理想的ではない。

40

【0093】

別の方法504では、距離の行列の主要な固有対(eigenpairs)を使用して、環状配置(cyclic distributions)によるデータ点を検出し、分割できることを確認する。次の管形状に関する発見的方法は、その固有値 λ_i が次の条件

50

を満たす場合に有効であることが証明されている。

・
【0094】

【数18】

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^3 \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \right) > 0.9$$

【0095】

、すなわち上位3つの固有値で形状を適切に表現する。

- ・ $\lambda_1 / \lambda_2 > 3$ 、つまり形状は十分に長い。
- ・ $\lambda_2 / \lambda_3 < 2$ 、つまり形状は環状である。
- ・ $\lambda_3 / \lambda_4 > 3$ 、つまり第4の固有値は急速に減少し、無視できる。

【0096】

形状が筒／管と認識される限り、それを2つのサブチャートに分割できる。第2、第3の次元は循環軸 (cyclic axes) と見なすことができる。(短い方の循環軸に対応する) 第3の主要な次元に従って形状を分割すると、より平坦なパッチが生成される。504に示すように、第3のコンポーネントを使用した結果から、第1、第2のコンポーネントを使用する(502、503)より自然な分割が得られる。

【0097】

チャート全体の細分のプロセスは、次のように要約できる。上位3つの固有値に含まれるエネルギーが90%未満の場合は、「一般的な」スペクトルクラスタリングを実行する(上記の「サーフェスのスペクトルクラスタリング」で説明している)。それ以外の場合に、管状のチャートにはこの項で説明する「専用の」スペクトルクラスタリングを実行する。その他のすべての場合には、最大の固有値に対応する1つの埋め込み座標を使用して2元のスペクトルクラスタリングを実行する。通常、唯一の2元でないチャートの細分が実行され(初回の繰り返しで)、その後2元の細分を実行する。

【0098】

(詳細な実装)

純粋な伸縮主導型のチャート化およびパラメータ化アルゴリズムは高価であり、特にモデルの頂点の数が増大する。計算を高速化するために、最後の項に示すように Landmark IsoMap のプロセスを使用して中間の領域内の頂点用の埋め込み座標を計算する。Landmark IsoMap は、ランドマークポイント (landmark points) として q 個の頂点を選択する(ただし、 $q \ll N$)。測地的な距離の平方による $N \times N$ 型の行列を計算する代わりに、 D_N 、 $q \times N$ 型の行列 $D_{q, N}$ を計算し、各頂点からランドマークポイントまでの距離のみを測定する。サーフェスのスペクトル分析を使用して q 個のランドマークポイントの埋め込み座標を計算する。残りの頂点は「Landmark IsoMap による中間領域の埋め込み」の項で説明する方法で計算できる。

【0099】

ランドマークポイントを選択するために、2次のエラーメトリック (error metric) に基づくハーフエッジ折りたたみ操作 (half edge collapse operations) を実行することでモデルを簡素化してもよい。プログレッシブメッシュ (Progressive meshes) を使用すると、ユーザーはゼロから各チャートを簡素化する必要がなくなる。十分な頂点分割が実行され、PMに記録され、チャート内の十分なランドマークポイントが得られる。

【0100】

ここでは、すべてのチャートに対して $q = 100$ ランドマークポイントを使用する。これで、大きなチャートについても処理を高速化できる。チャートの頂点数が100未満の

10

20

30

40

50

場合は、単純にそのすべてをランドマークポイントに指定する。ランドマークの埋め込みは、完全な分析より大きな伸縮を示すが、これは大きなチャートで伸縮が大きいものに対してのみであり、改善が必要である。チャートのサイズに無関係な q のランドマークの埋め込みは、高速であり、通常は妥当な発見的方法である。

【0101】

上位10個の固有値は、通常、テストモデルにおけるエネルギーの平方の95%以上を占めるので、プロセスを高速化する別の方法は、サーフェススペクトル分析の上位10個の固有値のみについて計算することである。要約すると、測地的な距離は $O(qN \log N)$ に縮小され、スペクトル分解は $O(q^2)$ になる。

【0102】

(信号専用アトラスの作成)

これまで、幾何学的な伸縮を使用してチャート化とパラメータ化を操作してきた。スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化の *Iso-Chart* は、できるだけコンパクトなテクスチャを使用して所定のサーフェス信号を表現する、信号専用のパラメータ化を生成するように一般化することもできる。

【0103】

スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化の *Iso-Chart* は、頂点間のペアごとの信号距離を計算することで、サーフェス信号に拡張されることができる。2つの頂点 i と j およびその間の測地的なパスが指定されると、その間の信号距離はそのパスに沿って隣接する点のペア間の信号差の合計で定義できる。信号距離の行列にスペクトル分析を適用すると、これを維持するパラメータ化が作成され、したがってスペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化の *Iso-Chart* は、幾何学的な歪みに適用した前述のプロセスと同じ方法で信号の歪みに関連付けられる。

【0104】

テクスチャカラーのように一般的な信号は、基盤となるジオメトリよりはるかに大きなバリエーションを示す可能性がある。信号距離を使用したサーフェスのスペクトル分析によって、通常は過剰な分割の原因となり得る多くの主要な固有値を伴う複雑な埋め込みが生成される。このことによって、参考として本明細書に引用する2002年5月1日出願された特許文献2に説明されている幾何学的伸縮と信号の伸縮との組み合わせが実現する。本明細書で得られる解決は、測地的な距離と信号距離の同様の組み合わせを使用した距離を定義する。

【0105】

【数19】

$$d_{\text{comb}}(i, j) = \beta \frac{d_{\text{geo}}(i, j)}{\text{avg}(d_{\text{geo}})} + (1 - \beta) \frac{d_{\text{sig}}(i, j)}{\text{avg}(d_{\text{sig}})} \quad (5)$$

【0106】

ただし、 $d_{\text{sig}}(i, j)$ は i と j との信号距離である。通常は、 $\beta = 0.5$ で適切な結果が得られる。

【0107】

図6は、本出願に記載のシステムおよび方法を実装できる例示的なコンピューティング環境600を示している。例示的なコンピューティング環境600は、コンピューティングシステムの1つの例にすぎず、本出願で説明する例をこの特定のコンピューティング環境に限定する意図はない。

【0108】

コンピューティング環境600は、他のさまざまな汎用または専用のコンピューティングシステム構成に適用できる。周知のコンピューティングシステムの例には、パーソナルコンピュータ、ハンドヘルドまたはラップトップ装置、マイクロプロセッサベースのシステム、マルチプロセッサシステム、セットトップボックス、プログラム可能な家庭用電子機器、ゲーム機、家庭用電子機器、携帯電話、PDAなどが含まれるが、これらに限定は

10

20

30

40

50

されない。

【0109】

コンピュータ600には、汎用コンピューティングシステムがコンピューティング装置601の形で含まれる。コンピューティング装置601のコンポーネントには、1つまたは複数のプロセッサ（CPU、GPU、マイクロプロセッサなどを含む）またはプロセッサ607、システムメモリ609、さまざまなシステムコンポーネントを接続するシステムバス608が含まれる。

【0110】

プロセッサ607は、コンピューティング装置601の動作を制御し、その他の電子機器やコンピューティング装置（図示せず）と通信するさまざまなコンピュータ実行可能命令を処理する。システムバス608は、メモリバスまたはメモリコントローラ、周辺バス、アクセラレータグラフィックポート、プロセッサバスまたはローカルバスを含む任意の数の各種バス構造を表す。

【0111】

システムメモリ609には、ランダムアクセスメモリ（RAM：random access memory）などの揮発性メモリ、および／または読み取り専用メモリ（ROM：read only memory）などの不揮発性メモリの形をとるコンピュータ読み取り可能な媒体が含まれる。基本入出力システム（BIOS：basic input/output system）はROMに格納される。RAMには、通常は1台または複数台のプロセッサ607から直ちにアクセスでき、かつ／またはプロセッサ607で現在操作しているデータおよび／またはプログラムモジュールが格納される。

【0112】

マスストレージ装置604は、コンピューティング装置601に接続するか、バスに接続してコンピューティング装置に組み込むことができる。こうしたマスストレージ装置604には、取り外し可能な不揮発性の磁気ディスク（たとえば「フロッピー（登録商標）ディスク」）605に対する読み出しと書き込みを行う磁気ディスクドライブ、CD-ROMディスクなど606の取り外し可能な不揮発性の光ディスクに対する読み出しおよび／または書き込みを行う光ディスクドライブが含まれる。コンピュータ読み取り可能な媒体605、606は、一般に、コンピュータ読み取り可能な命令、データ構造、プログラムモジュールなどを実施し、フロッピー（登録商標）ディスク、CD、ポータブルメモリスティックなどで提供される。Iso-Chartのプロセスは、1つまたは複数のコンピュータ読み取り可能な媒体とシステムメモリ609または同等の場所に常駐する。

【0113】

例としてオペレーティングシステム、1つまたは複数のアプリケーションプログラム、その他のプログラムモジュール、およびプログラムデータを含む任意の数のプログラムモジュールは、ハードディスク610、マスストレージ装置604、ROMおよび／またはRAM 609に格納できる。こうしたオペレーティングシステム、アプリケーションプログラム、その他のプログラムモジュール、およびプログラムデータ（またはその組み合わせ）には、本明細書で説明するシステムおよび方法の実施形態を含めてもよい。

【0114】

表示装置602は、ビデオアダプタ611などのインターフェイスを介してシステムバス608に接続できる。ユーザーは、キーボード、ポインティングデバイス、ジョイスティック、ゲームパッド、シリアルポートなど、任意の数のさまざまな入力装置603を介してコンピューティング装置601にインターフェイス接続できる。これらの入力装置および他の入力装置は、多くの場合にシステムバス608に接続された入力／出力インターフェイス612を介してプロセッサ607に接続するが、パラレルポート、ゲームポート、および／またはUSB（universal serial bus）のような他のインターフェイスやバス構造によって接続してもよい。

【0115】

コンピューティング装置601は、1つまたは複数のローカルエリアネットワーク（L

10

20

30

40

50

AN: local area network)、ワイドエリアネットワーク(WAN: wide area network)などを介した1台または複数台のリモートコンピュータへの接続を使用したネットワーク環境で動作できる。コンピューティング装置601は、ネットワークアダプタ613、あるいはモデム、DSL、ISDNインターフェイスなどを介してネットワーク614に接続する。

【0116】

プログラムの命令を格納する記憶装置をネットワーク全域に分散できることは当業者には言うまでもない。たとえば、リモートコンピュータには適応型計測(adaptive instrumentation)の実行時監視および分析ソフトウェアなどのツールを格納してもよい。ローカルコンピュータまたはターミナルコンピュータは、リモートコンピュータにアクセスし、ソフトウェアの一部またはすべてをダウンロードしてプログラムを実行してもよい。あるいは、ローカルコンピュータは必要に応じてソフトウェアの一部をダウンロードすることもできる。一部のソフトウェア命令をローカル端末で実行し、一部をリモートコンピュータ(あるいはコンピュータネットワーク)で実行することで、分散処理を行うこともできる。当業者には周知の従来の技術を使用して、ソフトウェア命令の一部またはすべてを専用の回路で実行してもよいことは、言うまでもない。

10

【0117】

上の例からわかるように、サーフェス上の点間の測地的な距離の行列に関するスペクトル分析は、アトラス生成におけるモデルのチャートへの分割とこうしたチャートのパラメータ化という2つの問題を同時に解決する高速で単純で効果的な方法を提供する傾向がある。本方法は、測地的な距離でなく信号距離を考慮して特定の信号に関するアトラスを最適化するように単純に一般化することもできる。説明したように、スペクトル分析によって伸縮が小さくなる傾向があり、引き続き伸縮を最小化するための開始点が得られる。最終的に、幾何学再メッシュおよびテクスチャマップ作成における従来の技術の結果を改善する伸縮主導型のアトラス生成機能が提供される。

20

【図面の簡単な説明】

【0118】

【図1】スペクトル分析を使用した伸縮主導型のメッシュパラメータ化を示すブロック図である。

【図2】うさぎのモデルをチャート化し、パラメータ化した結果を示す図である。

30

【図3】グラフカット(graph cut)の問題のように、最適なパーティション境界の検出を示す図である。

【図4】さまざまなグラフカット機能の比較を示す図である。

【図5】管形状を分割する例として、スペクトルクラスタリングによってウサギの耳の形を5つのチャートに分割する様子を示す図である。

【図6】本出願で説明するシステムおよび方法を実装できる例示的なコンピューティング環境600を示す図である。

【符号の説明】

【0119】

200 Iso-Chartアトラス

40

201 ウサギのモデル

300 形状

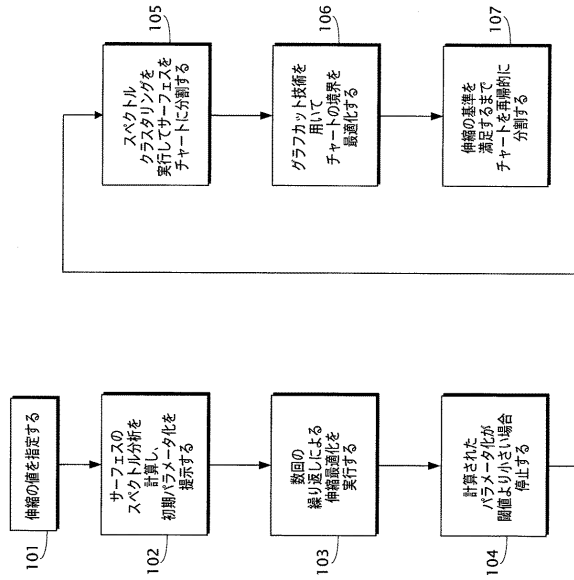
301、302 外側の領域

303 中間の領域

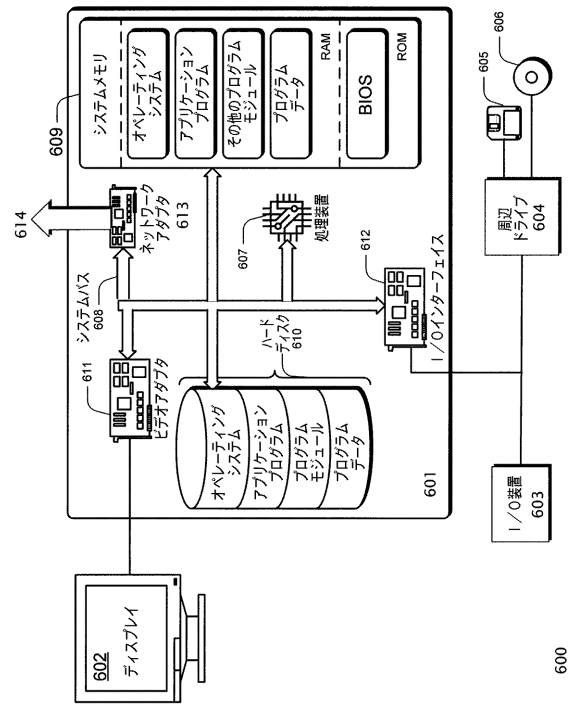
304 グラフ

305 フローネットワークグラフ

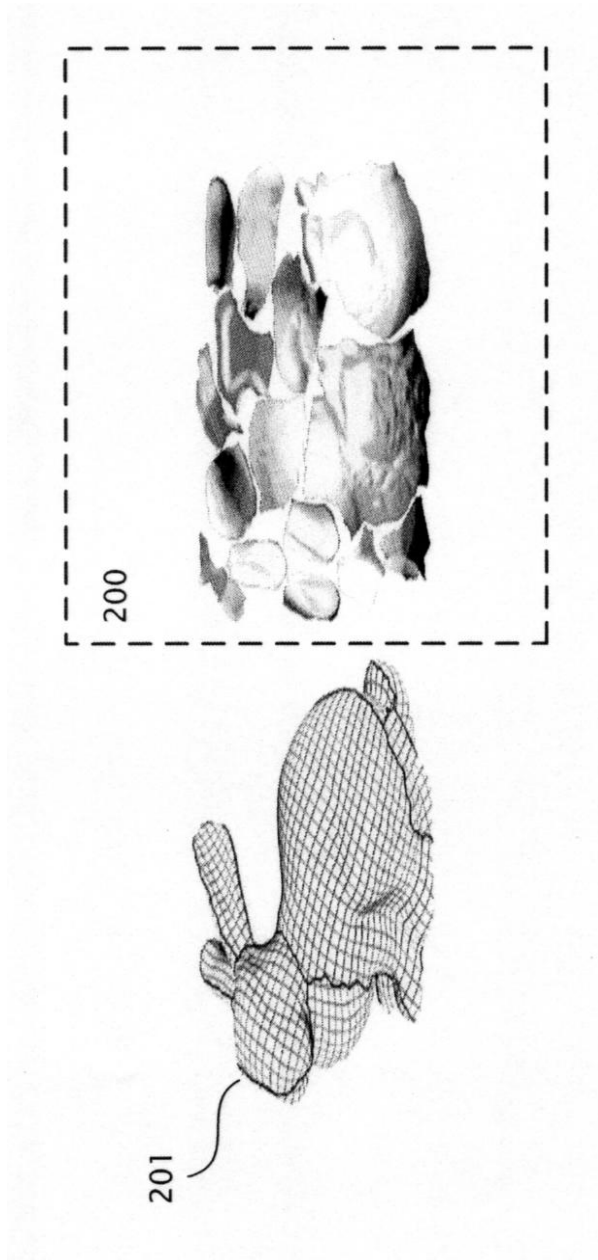
【図 1】



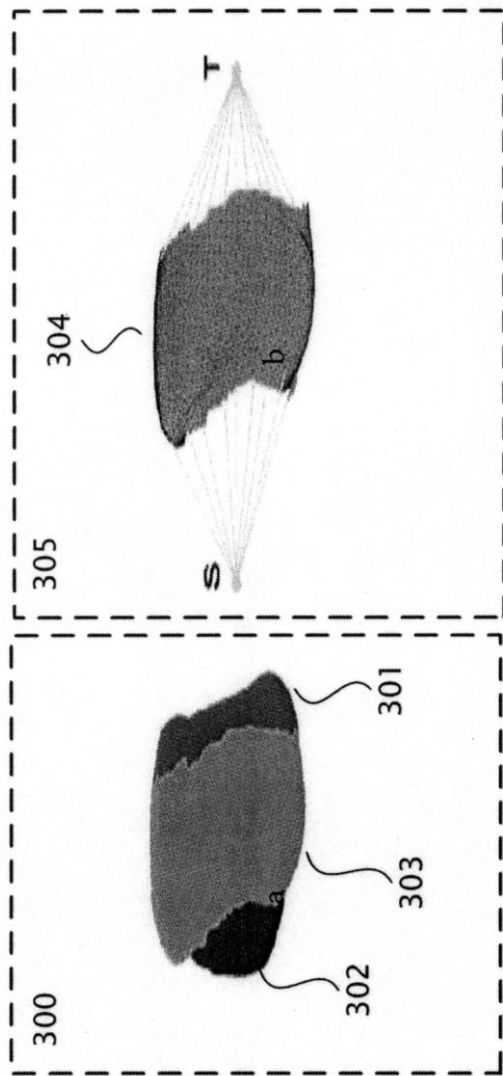
【図 6】



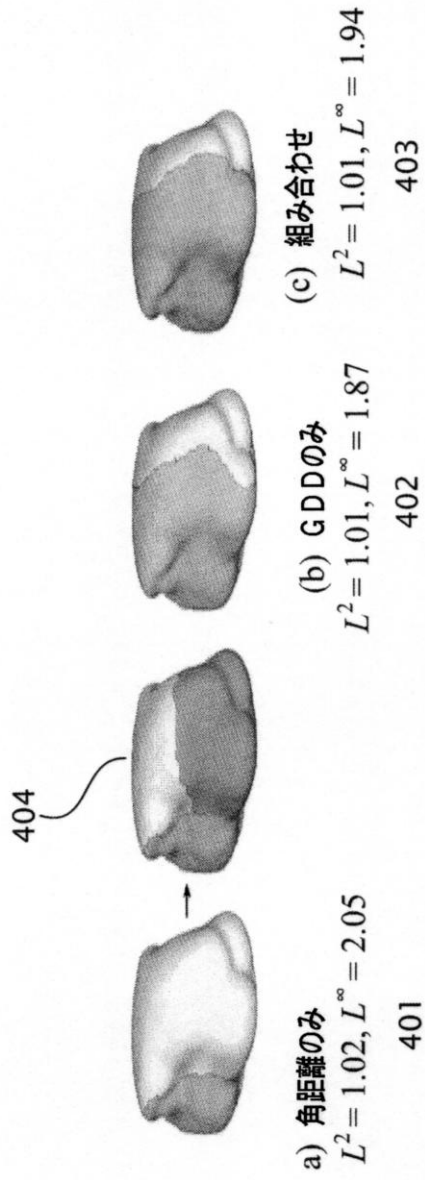
【図 2】



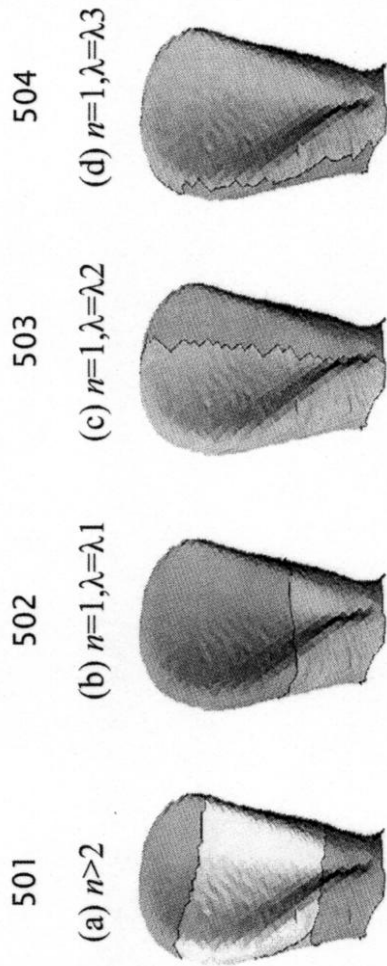
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (74)代理人 100091063
弁理士 田中 英夫
- (74)代理人 100153028
弁理士 上田 忠
- (74)代理人 100120112
弁理士 中西 基晴
- (74)代理人 100113974
弁理士 田中 拓人
- (72)発明者 バイニング クオ
アメリカ合衆国 98052 ワシントン州 レッドモンド ワン マイクロソフト ウェイ マ
イクロソフト コーポレーション内
- (72)発明者 ヒュン イェン シュン
アメリカ合衆国 98052 ワシントン州 レッドモンド ワン マイクロソフト ウェイ マ
イクロソフト コーポレーション内
- (72)発明者 ジョン マイケル スナイダー
アメリカ合衆国 98052 ワシントン州 レッドモンド ワン マイクロソフト ウェイ マ
イクロソフト コーポレーション内
- (72)発明者 クン チョウ
アメリカ合衆国 98052 ワシントン州 レッドモンド ワン マイクロソフト ウェイ マ
イクロソフト コーポレーション内

審査官 千葉 久博

- (56)参考文献 特開2005-235022 (JP, A)
特開2000-200354 (JP, A)
国際公開第2004/044689 (WO, A1)
国際公開第2003/069543 (WO, A1)
米国特許出願公開第2003/0206165 (US, A1)
金井崇, "メッシュ上のパラメトリック曲線", Visual Computing グラフィ
クスとCAD 合同シンポジウム2004 予稿集, 日本, 2004年 6月 3日, p.231-23
6

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 15/00-15/87
A63F 9/24, 13/00-13/12
G06T 1/00, 13/00-13/80, 19/00, 19/20