

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5590839号
(P5590839)

(45) 発行日 平成26年9月17日(2014.9.17)

(24) 登録日 平成26年8月8日(2014.8.8)

(51) Int.Cl. F I
G O 6 F 17/50 (2006.01) G O 6 F 17/50 6 2 2 Z

請求項の数 17 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2009-220793 (P2009-220793)	(73) 特許権者	504438288
(22) 出願日	平成21年9月25日 (2009.9.25)		シーメンス プロダクト ライフサイクル
(65) 公開番号	特開2010-79907 (P2010-79907A)		マネージメント ソフトウェア イン
(43) 公開日	平成22年4月8日 (2010.4.8)		コーポレイテッド
審査請求日	平成24年8月7日 (2012.8.7)		Siemens Product Lif
(31) 優先権主張番号	61/100,143		ecycle Management S
(32) 優先日	平成20年9月25日 (2008.9.25)		oftware Inc.
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国 75024 テキサス
(31) 優先権主張番号	12/552,775		プラノ スイート 600 グラナイト
(32) 優先日	平成21年9月2日 (2009.9.2)		パークウェイ 5800
(33) 優先権主張国	米国 (US)		5800 Granite Parkwa
			y, Suite 600 Plano,
			Texas 75024, USA
		(74) 代理人	100061815
			弁理士 矢野 敏雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元物体モデルの動径関数と動径分布のためのシステム、方法およびプログラム製品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータを備えたCADシステムのための、3次元物体モデルの動径関数と動径分布とを求める方法において、

前記コンピュータが、

前記CADシステム内で3次元物体モデルを検索し、

前記物体モデルの表面 Δ 上の複数の任意の点 p_k をサンプリングし、

前記複数の任意の点 p_k の各々における法線ベクトル v_k を求め、

前記各任意の点 p_k が射影される、前記物体モデルが存在するベクトル空間 R^3 の原点を中心とする単位球面 S^2 上の領域 ω において、前記任意の点 p_k 及び法線ベクトル v_k の関数 $f(p_k, v_k)$ に基づく動径関数である動径関数 φ_f の平均値 $\varphi_f(\omega)$ を、

【数 1】

$$\varphi_f(\omega) = \frac{\int_{\omega} dp \varphi_f(p)}{(\omega \text{ の面積})} = \frac{\int_{\omega} dp \varphi_f(p)}{\alpha_{\omega}}$$

により求め、

前記領域 ω において、1に等しい定関数に基づく動径関数である φ_1 の平均値 $\varphi_1(\omega)$ を求め、

前記 $\varphi_f(\omega)$ 及び $\varphi_1(\omega)$ から、動径分布 $\psi_f(\omega)$ を、 $\psi_f(\omega) = \varphi_f(\omega)$

10

20

/ $\varphi_1(\omega)$ により求め、

前記動径分布 $\psi_f(\omega)$ と、前記動径関数の平均値 $\varphi_1(\omega)$ 及び $\varphi_f(\omega)$ とを記憶する、ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記コンピュータが、

さらに、前記動径分布を CAD 物体記述子として前記物体モデルに関連付ける、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記コンピュータが、

前記複数の任意の点を、一様分布を用いてサンプリングする、請求項 1 記載の方法。

10

【請求項 4】

前記コンピュータが、

ベクトル空間の原点を中心とする単位球面において、前記任意の点の、前記球面への射影によって前記動径関数を求める、請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

前記コンピュータが、

前記各動径関数を求める際に、ベクトル空間の原点を中心とする単位球面において、前記球面上に射影されたときの前記サンプリングされた点の非一様分布に対する調整を行うために、前記原点からの距離に応じて前記動径関数の平均値に重みを与える補正項を用いる、請求項 1 記載の方法。

20

【請求項 6】

前記コンピュータが、

前記動径関数を 3 次元空間上の関数と前記 3 次元物体モデルとに関連付ける、請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

前記コンピュータが、

原点から予め決められたノルムの距離内にあるサンプリング点を無視する、請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】

プロセッサとアクセス可能メモリとを含むデータ処理システムであって、

30

該データ処理システムは CAD システムを実現しており、

前記 CAD システム内で 3 次元物体モデルを検索し、

前記物体モデルの表面 Δ 上の複数の任意の点 p_k をサンプリングし、

前記複数の任意の点 p_k の各々における法線ベクトル v_k を求め、

前記各任意の点 p_k が射影される、前記物体モデルが存在するベクトル空間 R^3 の原点を中心とする単位球面 S^2 上の領域 ω において、前記任意の点 p_k 及び法線ベクトル v_k の関数 $f(p_k, v_k)$ に基づく動径関数である動径関数 φ_f の平均値 $\varphi_f(\omega)$ を、

【数 2】

$$\varphi_f(\omega) = \frac{\int_{\omega} dp \varphi_f(p)}{(\omega \text{ の面積})} = \frac{\int_{\omega} dp \varphi_f(p)}{\alpha_{\omega}}$$

40

により求め、

前記領域 ω において、1 に等しい定関数に基づく動径関数である φ_1 の平均値 $\varphi_1(\omega)$ を求め、

前記 $\varphi_f(\omega)$ 及び $\varphi_1(\omega)$ から、動径分布 $\psi_f(\omega)$ を、 $\psi_f(\omega) = \varphi_f(\omega) / \varphi_1(\omega)$ により求め、

前記動径分布 $\psi_f(\omega)$ と、前記動径関数の平均値 $\varphi_1(\omega)$ 及び $\varphi_f(\omega)$ とを記憶する、

ように構成されている、ことを特徴とするデータ処理システム。

50

【請求項 9】

さらに、前記動径分布を C A D 物体記述子として前記物体モデルに関連付けるように構成されている、請求項 8 記載のデータ処理システム。

【請求項 10】

前記複数の任意の点は一様分布を用いてサンプリングされる、請求項 8 記載のデータ処理システム。

【請求項 11】

前記動径関数は、ベクトル空間の原点を中心とする単位球面において、前記任意の点の、前記球面への射影によって求められる、請求項 8 記載のデータ処理システム。

【請求項 12】

前記各動径関数を求める際に、ベクトル空間の原点を中心とする単位球面において、前記球面上に射影されたときの前記サンプリングされた点の非一様分布に対して調整を行うために、前記原点からの距離に応じて前記動径関数の平均値に重みを与える補正項を用いる、請求項 8 記載のデータ処理システム。

【請求項 13】

前記動径関数は 3 次元空間上の関数と前記 3 次元物体モデルとに関連付けられる、請求項 8 記載のデータ処理システム。

【請求項 14】

原点から予め決められたノルムの距離内にあるサンプリング点は無視される、請求項 8 記載のデータ処理システム。

【請求項 15】

データ処理システムのために設置されたコンピュータのためのコンピュータプログラムであって、

前記コンピュータプログラムが前記コンピュータに、

前記 C A D システム内で 3 次元物体モデルを検索するステップ、

前記物体モデルの表面 Δ 上の複数の任意の点 p_k をサンプリングするステップ、

前記複数の任意点 p_k の各々における法線ベクトル v_k を求めるステップ、

前記各任意の点 p_k が射影される、前記物体モデルが存在するベクトル空間 R^3 の原点を中心とする単位球面 S^2 上の領域 ω において、前記任意の点 p_k 及び法線ベクトル v_k の関数 $f(p_k, v_k)$ に基づく動径関数である動径関数 ϕ_f の平均値 $\phi_f(\omega)$ を、

【数 3】

$$\phi_f(\omega) = \frac{\int_{\omega} dp \phi_f(p)}{(\omega \text{ の面積})} = \frac{\int_{\omega} dp \phi_f(p)}{\alpha_{\omega}}$$

により求める、ステップ、

前記領域 ω において、1 に等しい定関数に基づく動径関数である ϕ_1 の平均値 $\phi_1(\omega)$ を求めるステップ、

前記 $\phi_f(\omega)$ 及び $\phi_1(\omega)$ から、動径分布 $\psi_f(\omega)$ を、 $\psi_f(\omega) = \phi_f(\omega) / \phi_1(\omega)$ により求めるステップ、

前記動径分布 $\psi_f(\omega)$ と、前記動径関数の平均値 $\phi_1(\omega)$ 及び $\phi_f(\omega)$ とを記憶するステップ、

を実行させる、ことを特徴とするコンピュータプログラム。

【請求項 16】

前記動径分布を C A D 物体記述子として前記物体モデルに関連付けるステップを更に有する、請求項 15 記載のコンピュータプログラム。

【請求項 17】

前記データ処理システムが C A D システムである、請求項 15 または 16 記載のコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2008年9月25日に提出したアメリカ合衆国特許仮出願第61/100,143号の優先権を主張するものであり、前記アメリカ合衆国特許仮出願は参照により本願にて援用される。

【0002】

本開示は、全体的に、コンピュータ支援による設計、製図、製造および視覚化のシステム（個別的、集会的には「CADシステム」）に関係している。

【背景技術】

【0003】

CADシステムは2次元（2D）および3次元（3D）両方の幾何モデルのデータベースを使用することが多い。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の課題は3次元物体モデルの動径関数と動径分布を従来よりも速く求めることである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題は、3次元物体モデルの動径関数と動径分布を求める方法において、CADシステム内で3次元物体モデルを検索し、前記CADシステムにより前記物体モデルの表面の任意の点をサンプリングし、前記CADシステムにより前記任意点の各々に対応する法線ベクトルを求め、前記CADシステムにより各法線ベクトルと各任意点とに対応する動径関数を求め、前記CADシステムにより前記動径関数のうちの少なくとも2つに対応する動径分布を求め、該動径分布と前記動径関数の平均値を前記CADシステムに記憶するようにすることで解決される。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】ある実施形態を実現するデータ処理システムのブロック図を示す。

【図2】開示された実施形態に従ったプロセスのフローチャートを示す。

【図3】開示された実施形態に従ったプロセスのフローチャートを示す。

【図4a】射影された点の非一様分布を示す。

【図4b】射影された点の非一様分布を示す。

【発明を実施するための形態】

【0007】

種々の実施形態には、3次元物体モデルの動径関数と動径分布を求めるシステム、方法およびプログラム製品が含まれている。ある1つの方法は、CADシステム内で3次元物体モデルを検索し、この物体モデルの表面の任意の点をサンプリングすることを含んでいる。またこの方法には、任意点のそれぞれに対応する法線ベクトルを求め、各法線ベクトルと各任意点とに対応する動径関数を求めることも含まれている。さらにこの方法には、前記動径関数のうちの少なくとも2つに対応する動径分布をCADシステムにより求め、この動径分布と前記動径関数の平均値をCADシステムに記憶することも含まれている。

【0008】

いくつかの実施形態では、動径分布をCAD物体記述子として物体モデルに付与することも含まれている。様々な実施形態において、任意点は一様分布を用いてサンプリングされ、動径関数は球面への任意点の射影に従って求められる、および/または、動径関数は球面上に射影されたサンプリング点の非一様分布に合わせるための補正項を用いて求められる。様々な実施形態において、動径関数は3次元空間および3次元物体モデル上の関数に対応し、原点から予め選択された法線距離内にあるサンプル点は無視され、動径分布は第1の動径関数と第2の動径関数との商として3次元空間および3次元物体モデル上の関

10

20

30

40

50

数に対応し、第2の動径関数は3次元空間上の定関数に対応し、ゼロに等しい、および/または、物体モデルに対応する動径関数および動径分布が球面の分割の要素上での平均値としてCADシステムに記憶される。

【0009】

上記は、当業者が以下の詳細な説明をより良く理解できるように本開示の技術上の特徴および利点をかなり大雑把に述べたものである。以下では、特許請求の範囲のテーマとなる本開示のその他の特徴および利点を説明する。当業者であれば、開示された着想と特定の実施形態を、変更または本開示と同じ目的を果たす他の構造を設計するための基礎として容易に使用することができるであろう。また、当業者であれば、このような等価物はその最も広い形態においても本開示の趣旨および範囲を超えるものでないことを理解されるであろう。

10

【実施例】

【0010】

以下の詳細な説明の前に、本特許文献で使用されるいくつかの用語またはフレーズの定義を示すことが有利であろう。「含む」およびこれから派生した語は限定的でない包含を意味し、「または」という語は包含的、すなわち、および/またはを意味し、「関連した」および「それと関連した」ならびにこれらから派生した語は、含む、中に含まれる、相互に接続されている、~にまたは~と結合する、~と通じている、協働する、交互配置する、並置する、近接している、~とまたは~に結び付けられている、有する、~の性質を有する等を意味し、「コントローラ」という語は、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、またはこれらのうちの少なくとも2つの組合せのどれによって実施されていようと、少なくとも1つの動作を制御する任意のデバイス、システムまたはその一部を意味する。何か特定のコントローラに関連した機能は、局所的であれ遠隔的であれ、集中していてもよいし、分散していてもよいことに注意されたい。本特許文献全体を通じていくつかの語およびフレーズの定義が示されるが、当業者であれば、このような定義は、ほとんどではないにしろ、多くの場合、このように定義された語およびフレームの以前の用法および将来の用法にも当てはまることを理解されるであろう。いくつかの語は多様な実施形態を含んでいるが、添付された請求項はこれらの語を特定の実施形態に明示的に限定している。

20

【0011】

30

以下で論じる図1~4と本特許文献中の本開示の原理の説明に用いられる様々な実施形態は説明のためだけのものであり、本開示の範囲を限定するものと解釈されてはならない。当業者であれば、本開示の原理は適切に構成された任意のデバイスによって実現されることを理解されるであろう。以下では、非限定的な実施例を参照しつつ、本出願の多くの革新的な思想を説明する。

【0012】

3Dモデルをデータベース内で素速く検索するには、これらのモデルを記述子で表すことが必要である。関連する動径関数および動径分布がこのような記述子である。このような記述子は当業者には公知であり、例えば、Rotation Invariant Spherical Harmonic Representation of 3D Shape Descriptors, M. Kazhdan, T. Funkhouser, Szymon Rusinkiewicz; Eurographics Symposium on Geometry Processing (2003)に記載されている。なお、上記文献は参照により本出願に含まれる。

40

【0013】

これらの記述子をスケールと並進の両方に対して不変にすることは一般的であるが、回転不変とすることはもっと難しい。Kazhdan論文には、これらの記述子を回転不変なものに変換する方法が示されている。一般に、この方法のためには、球面上での動径関数または動径分布の値を知らなければならない。多くの場合、球面上のある複数の点における動径関数または動径分布の値を知るだけで十分である。CADシステムが球面上の例えばN個の点における動径分布の値を知る必要があり、この曲面が例えばT個の三角形によって与えられるならば、N個の値を計算する直接的かつ素朴な方法では、 $O(N \times T)$ の演算

50

が必要になる（各三角形は原点とN個の点の各々によって定まる光線と交差するかテストされる）。開示された実施形態は、この演算数を遥かに速い $O(N + T + K)$ で置き換えるプロセス、データ処理システムおよびコンピュータプログラム製品を含んでいる。なおここで、KはNおよびTとは関係のない固定された数である。

【0014】

図1には、ある実施形態を実現するデータ処理システムの、例えば、本明細書に記載された方法、プロセスおよび機能を実行するよう構成されたある特定のマシンまたはCADシステムの、ブロック図が示されている。図示されたデータ処理システムはレベル2キャッシュ/ブリッジ104に接続されたプロセッサ102を有しており、レベル2キャッシュ/ブリッジ104はローカルシステムバス106に接続されている。ローカルシステムバス106は例えば周辺機器相互接続（PCI）アーキテクチャバスであってよい。また、図示の例では、メインメモリ108とグラフィックスアダプタ110もローカルシステムバス106に接続されている。グラフィックスアダプタ110はディスプレイ111に接続されていてもよい。

【0015】

ローカルエリアネットワーク（LAN）/ワイドエリアネットワーク/ワイヤレス（例えばWiFi）アダプタ112のような他の周辺機器もローカルシステムバス106に接続されていてよい。拡張バスインタフェース114はローカルシステムバス106を入出力（I/O）バス116に接続している。I/Oバス116はキーボード/マウスアダプタ118、ディスクコントローラ120およびI/Oアダプタ122に接続されている。ディスクコントローラ120はストレージ126に接続させてもよい。ストレージ126は、読み出し専用メモリ（ROM）や電氣的にプログラム可能な消去できる読み出し専用メモリ（EEPROM）のような不揮発性のハードコーディングされたタイプの媒体、磁気テープストレージ、および、フロッピーディスク、ハードディスクドライブおよびコンパクトディスク読み出し専用メモリ（CD-ROM）やデジタル万能ディスク（DVD）のようなユーザ記録可能なタイプの媒体、ならびに他の周知の光学的、電氣的または磁氣的ストレージデバイスを含むがこれらに限定されない適切なマシンにより使用可能なまたはマシン可読な記憶媒体であってよい。

【0016】

また、図示の例では、オーディオアダプタ124もI/Oバス116に接続されている。オーディオアダプタ124には、音声再生用にスピーカ（図示なし）を接続してもよい。キーボード/マウスアダプタ118は、マウス、トラックボール、トラックポインタなどのようなポインティングデバイス（図示なし）のための接続を提供する。

【0017】

当業者は図1に示されたハードウェアは個々のケースで変更しうることを理解されるであろう。例えば、光学ディスクドライブなどのような他の周辺デバイスを図示されたハードウェアに加えてまたは代わりに使用してもよい。図示された例は説明目的のためのみに与えられているものであり、本開示に関するアーキテクチャ上の限定を含意するものではない。

【0018】

本開示の実施形態に従ったデータ処理システムはグラフィカルユーザインタフェースを用いたオペレーティングシステムを含んでいる。このオペレーティングシステムはグラフィカルユーザインタフェースに同時に複数のディスプレイウィンドウを提示することができ、各ディスプレイウィンドウが異なるアプリケーションまたは同一アプリケーションの異なるインスタンスへのインタフェースを提供する。ユーザはポインティングデバイスを通してグラフィカルユーザインタフェース内のカーソルを操作することができる。所望の反応を起こさせるために、カーソルの位置を変えたり、および/または、マウスボタンのクリックのようなイベントを発生させてもよい。

【0019】

適切に手を加えるならば、様々な商用オペレーティングシステムのうちの1つ、例えば

10

20

30

40

50

ワシントン州レッドモンドにあるマイクロソフト社の製品であるマイクロソフトウィンドウズ™などを使用してもよい。オペレーティングシステムは本開示に従い記載されている通りに改変または作成される。

【 0 0 2 0 】

L A N / W A N / ワイヤレスアダプタ 1 1 2 はネットワーク 1 3 0 (データ処理システム 1 0 0 の一部ではない) に接続させることができる。なお、ネットワーク 1 3 0 は公的もしくは私的なデータ処理システムネットワーク、または、インターネットを含む当業者に知られているネットワークの組合せであってよい。データ処理システム 1 0 0 はネットワーク 1 3 0 を介してサーバシステム 1 4 0 と通信することができる。サーバシステム 1 4 0 もデータ処理システム 1 0 0 の一部ではないが、例えば別個のデータ処理システム 1 0 0 として実施することができる。

10

【 0 0 2 1 】

C A D システムが既存部分を効率良く検索できるようにするためのツールは非常に価値がある。従来、このようなツールはテキストベースであり、複雑な部分进行处理する場合または単純に多言語環境で作業する場合にはすぐに限界に達してしまう。

【 0 0 2 2 】

部分それ自体のジオメトリを検索することは可能であるが、これは高度に技術的な解決手段を要する難しい問題である。ここで、1つの問題は、部分のジオメトリはその部分を並進、回転または時にはスケーリングする場合でさえも不変であると見なされなければならないことにある。このような変換は無限に存在するので、並進、回転またはスケーリングの下での可能なすべての変換を考慮することによって2つのジオメトリを比較する効率的なアルゴリズムを設計することは望めない。

20

【 0 0 2 3 】

上記の問題に対する1つの解決手段は、それ自体並進、回転またはスケーリングの下で不変なジオメトリから記述子を抽出し、これらの記述子を用いてジオメトリにインデックスを付与することである。この解決手段は、ジオメトリから記述子を抽出するオフライン段階と記述子を比較するオンライン段階の2つの段階に作業を効率よく分けるので魅力的である。

【 0 0 2 4 】

3 D 形状から記述子を抽出するオフライン段階はかなり遅い演算である。U G S シーメンズ製品ライフサイクル管理ソフトウェア社の "Geolus Search" ソフトウェアコンポーネントのような3 D ジオメトリ検索エンジンを使用できるようにするためには、顧客は所有するあらゆる部分から記述子を抽出しなければならない。数十万以上の部分になることもあるデータベースの場合、これは非常に遅いプロセスとなりうるので、記述子をできる限り速く抽出するようにあらゆる配慮が為されなければならない。特に、本明細書に開示されているような、 $O(N \times T)$ の計算時間を線形な $O(N + T + K)$ に換えるプロセスは、非常に有用なツールである。なお、ここで K は固定値であり、 N および T に依存しない。

30

【 0 0 2 5 】

開示された種々の実施形態に従い、
空間はベクトル空間 R^3 であると定義する。
 $dist$ をユークリッド距離として定義する。
ノルムをユークリッドノルムとして定義する。
 $\langle , \rangle$ をユークリッド内積として定義する。
 S^2 を R^3 内の単位球面として定義する。
集合 σ に対し、 σ をその基数と定義する。

40

【 0 0 2 6 】

分割 $\Omega = \{ \omega , \omega \cap S^2 \}$ を S^2 の互いに素な開部分集合から成る集合として定義する。なお、これら開部分集合の閉包の和集合は S^2 に等しい。

【 0 0 2 7 】

50

空間内の点 p に対し、その光線を次のように定義する。

$$\rho(p) = \{\lambda \rho, \lambda > 0\}$$

したがって、 p を通る光線は p を通り原点を端点とする半直線である。

【0028】

R^3 内の曲面 Δ が選択されたとしよう。 f を R^3 上の関数とする。関連する動径関数 φ_f を、あらゆる点 p に前記曲面と光線 $\rho(p)$ の交点における f の値の和を対応付ける S^2 上の関数と定義する。

【数1】

$$\varphi_f(p) = \sum_{q \in \Delta \cap \rho(p)} f(q) \quad 10$$

【0029】

R^3 内の曲面 Δ が選択されたと仮定しよう。 f を R^3 上の関数とする。関連する動径関数を φ_f とする。 $\varphi_f(\omega)$ を ω における φ_f の平均値と定義する、すなわち、

【数2】

$$\varphi_f(\omega) = \frac{\int_{\omega} dp \varphi_f(p)}{(\omega \text{ の面積})} = \frac{\int_{\omega} dp \varphi_f(p)}{\alpha_{\omega}} \quad (\text{式1})$$

ここで、 α_{ω} は ω の面積である。

20

【0030】

R^3 内の曲面 Δ が選択されたと仮定しよう。 f を R^3 上の関数とする。関連する動径分布 ψ_f を、あらゆる点 p に前記曲面と光線 $\rho(p)$ の交点における f の平均値を対応付ける S^2 上の関数と定義する。

【数3】

$$\psi_f(p) = \frac{\sum_{q \in \Delta \cap \rho(p)} f(q)}{\#\{q \in \Delta \cap \rho(p)\}} \quad 30$$

【0031】

R^3 内の曲面 Δ が選択されたと仮定しよう。 f を R^3 上の関数とする。関連する動径関数を ψ_f とする。 $\psi_f(\omega)$ を ω における ψ_f の平均値と定義する、すなわち、

【数4】

$$\psi_f(\omega) = \frac{\int_{\omega} dp \psi_f(p)}{(\omega \text{ の面積})}$$

十分に小さい ω については

【数5】

40

$$\psi_f(\omega) \approx \frac{\varphi_f(\omega)}{\varphi_1(\omega)}$$

であることに注意されたい。ここで、 1 は 1 に等しい定関数を表している。

【0032】

R^3 内の曲面 Δ 、 R^3 上の関数 f および球面 S^2 の分割 Ω に関して、開示された実施形態は Ω の各要素における関連する動径関数の平均値と動径分布を推定する高速のプロセスを含んでいる。動径関数 φ_f と動径分布 ψ_f を計算するための直接的なアプローチは、球面上の様々な点 p について集合

【数 6】

$$\{q \in \Delta \cap \rho(p)\}$$

を見つけることである。N 個の点が存在し、曲面 Δ が T 個の三角形によって与えられるものとすると、 $O(N \times T)$ の演算が必要となるので、これは遅い。

【0033】

与えられた光線に関して、この光線と曲面との交点を求めることはコストのかかる演算である。しかし、曲面上の点について、この点を通る光線を求めることはトリビアルな演算である。開示された実施形態はこの事実を利用して関連する動径関数 / 分布を高速で計算している。

10

【0034】

図 2 には、開示された実施形態に従ったプロセスのフローチャートが示されている。

【0035】

まず、CAD システムがデータベースから 3D 物体モデルを検索する（ステップ 205）。

【0036】

次に、CAD システムは（好ましくは一様分布を用いて）3D 物体モデルの曲面 Δ 上で K 個の点 $\{p_k, k = 1, \dots, K\}$ をランダムにサンプリングする（ステップ 210）。

【0037】

次に、CAD システムはこれらの点において Δ に対する法線ベクトル $\{v_k, k = 1, \dots, K\}$ を求める（ステップ 215）。

20

【0038】

次に、CAD システムは、サンプリングされた点と法線ベクトルを用いて、 Ω の中の射影されたそれぞれの弧 ω における動径関数 φ_f の平均を求める（ステップ 220）。いくつかの実施形態では、動径関数は球面上の任意の点の射影に従って求められ、球面に射影されたサンプリング点の非一様分布に合わせるために補正項を使用することを含んでいる。

【0039】

CAD システムは、 Ω 内の各 ω における φ_f の平均を 3D 物体モデルに関連した動径分布 ψ としてデータベースに格納する（ステップ 225）。動径関数と動径分布を格納し、データベースで 3D 物体モデルを識別するための物体記述子として使用することもできる（ステップ 230）。動径分布は動径関数 φ_f のうちの少なくとも 2 つに相当する。動径分布と動径関数の平均値を物体モデルに対応している CAD システムに格納してもよい。

30

【0040】

いくつかの実施形態では、動径関数は上で求めたような球面上の一連の点における動径関数の値または動径分布に基づいて 3D 物体モデルのための回転不変な記述子を計算するために用いてもよい。

【0041】

以下に、様々なステップをより詳しく説明する。

40

【0042】

曲面上の点のサンプリング：曲面上の任意の K 個の点を探すことは良く知られた問題であり、当業者には周知の解決手段が存在している。曲面が T 個の三角形で表されるならば、サンプリングは $O(T + K)$ の演算で行うことができる。

【0043】

φ_f の計算：N を Ω の基数とする。 p_k が曲面 Δ 上の点ならば、 p_k におけるこの曲面に対する法線は v_k で表されることを思い出してもらいたい。

【0044】

図 3 には、すべての $\varphi_f(\omega)$ を求めるために CAD システムが行うプロセスのフローチャートが示されている。

50

【 0 0 4 5 】

C A Dシステムはまずすべての動径関数 $\varphi_f(\omega)$ をゼロに初期化する（ステップ 3 0 5）。

【 0 0 4 6 】

次に、物体モデルの各部分集合 ω について、C A Dシステムは α_ω を ω の面積に設定する（ステップ 3 1 0）。

【 0 0 4 7 】

次に、C A Dシステムは α_Δ を選択された曲面の分割 Δ の面積に設定する（ステップ 3 1 5）。

【 0 0 4 8 】

次に、C A Dシステムはカウンタ k を 1 にセットする（ステップ 3 2 0）。

【 0 0 4 9 】

次に、 p_k が原点ならば（ステップ 3 2 5）、C A Dシステムは下のステップ 3 4 0 へとスキップする。 p_k が原点でなければ（ステップ 3 2 5）、C A Dシステムは $p(p_k)$ が ω と交差するような射影された弧 ω を探す（ステップ 3 3 0）。

【 0 0 5 0 】

次に、C A Dシステムは補正関数

【数 7】

$$f(p_k) = \frac{|\langle v_k, p_k \rangle|}{\text{norm}(p_k)^3}$$

を $\varphi_f(\omega)$ に加える（ステップ 3 3 5）。

【 0 0 5 1 】

C A Dシステムは k を $k + 1$ にセットする（ステップ 3 4 0）。

【 0 0 5 2 】

システムは、 $k < K$ であるか否かを調べることにより、すべての点が処理されたか否かを判定する。すべての点が処理されていなければ（ $k < K$ が真ならば）、システムはステップ 3 2 5 に戻る。 $k = K$ ならば、各 ω について、システムは $\varphi_f(\omega)$ を

【数 8】

$$\varphi_f(\omega) \frac{\alpha_\Delta}{K \cdot \alpha_\omega}$$

にセットすることにより、すべての部分集合 ω について動径関数を求め（ステップ 3 5 0）、プロセスは終了する（ステップ 3 5 5）。

【 0 0 5 3 】

上記ステップ 3 3 5 は一般に一定の時間内に遂行される。特に、例えば Ω が球面の単純なボクセル化である場合にそうである。ステップ 3 3 5 を一定時間内に行える場合、上記プロセスは $O(N + K)$ の演算しか要さない。

【 0 0 5 4 】

動径分布 ψ_f を計算するには、 ω が十分に小さければ、

【数 9】

$$\psi_f(\omega) \approx \frac{\varphi_f(\omega)}{\varphi_1(\omega)}$$

であることに留意するだけでよい。

【 0 0 5 5 】

当業者であれば、本明細書に開示されたプロセスの解析的な基礎を理解できるであろう。 $\varphi_f(\omega)$ の正確な値は式 1 において決められている。いくつかの実施形態では、動径分布は第 1 の動径関数と第 2 の動径関数との商として 3 次元空間および 3 次元物体モデル

10

20

30

40

50

上の関数に対応している。ここで、第2の動径関数は3次元空間上の定関数に対応し、1に等しい。この積分は ω 上のM個のランダムに生成された点 $q_1, \dots, q_M$ により近似することができる、値

【数10】

$$\varphi_f(\omega) \approx \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \varphi_f(q_m)$$

をとる。

【0056】

開示されたプロセスの基礎となるアプローチは、 ω にわたる式1の積分を、 ω の下での Δ の部分、すなわち原点を頂点とし ω をその底とする錐と Δ との共通部分にわたる積分で置き換えるというものである。

10

【0057】

専門用語で言えば、これは球面上の積分から曲面 Δ 上の積分へのプルバックである。これを達成するため、このプロセスは、各 ω について ω 内でランダムに点を選択する代わりに、曲面 Δ 上の任意の点 $p_1, \dots, p_K$ を選択し、これらの点の球面 S^2 への射影を用いる。この射影された点の集合は球面上にランダムに分布してはいない。

【0058】

いくつかの実施形態では、物体モデルに対応する動径関数と動径分布が球面の分割の要素における平均値としてCADシステムに記憶される。

20

【0059】

図4aおよび4bには、球面420上に射影された曲面 Δ 415の点410の非ランダム分布405が示されている。 Δ の領域内にある点pは、図4aに示されているように、他の点に比べて分布が疎な領域に射影されている。なお、 Δ の領域では、 Δ の法線は原点と点pとによって形成された直線と平行である。原点に近い点は、図4bに示されているように、他の点に比べて分布が疎な領域に射影されている。

【0060】

ステップ335の補正項

【数11】

$$\frac{|\langle v_k, p_k \rangle|}{\text{norm}(p_k)^3}$$

30

とステップ350の正規化項

【数12】

$$\frac{\alpha_\Delta}{K \cdot \alpha_\omega}$$

の根拠はこれら2つの効果である。

40

【0061】

もちろん、当業者であれば、開示された実施形態の範囲内に入る上記プロセスの様々な変更やバリエーションが考えられうることは理解されるであろう。例えば、 p_k が原点に近ければ、上記プロセスのステップ335は数値的な不安定性をもたらす可能性がある。

【0062】

これを補正するためには、原点近傍に「ブラックボックス」効果を加えることが考えられる。より詳しく言えば、 ε を $\text{norm}(p_k)$ が問題を起こしそうな値と定義するのである。そうすれば、CADシステムはステップ305より前に $L = K$ と設定する(ステップ302、図示なし)。ステップ325は、 p_k が原点である場合に $\text{norm}(p_k) < \varepsilon$ ならば、ステップ340へとスキップする前に $L = L - 1$ と設定するように変更される。そして、ステ

50

ップ 3 5 0 は、各 ω について、C A D システムが

【数 1 3】

$$\varphi_f(\omega) = \frac{\varphi_f(\omega) \cdot \alpha_{\Delta}}{L \cdot \alpha_{\omega}}$$

と設定するように変更される。これは ε よりも小さな法線を有するすべての点を無視するという効果をもつ。

【0 0 6 3】

種々の実施形態には、3次元物体モデルの動径関数と分布を求めるシステム、方法およびプログラム製品が含まれている。ある1つの方法は、C A D システム内で3次元物体モデルを検索し、この物体モデルの表面の任意の点をサンプリングすることを含んでいる。またこの方法には、任意点のそれぞれに対応する法線ベクトルを求め、各法線ベクトルと各任意点とに対応する動径関数を求めることも含まれている。また、この方法には、物体モデルに対応する正規分布として動径関数の平均をC A D システムに記憶することも含まれている。

10

【0 0 6 4】

当業者には気付かれるであろうが、ここでは、簡潔さと明瞭さのために、本開示とともに使用するのに適したすべてのデータ処理システムの完全な構造と動作を図示または説明することはしていない。その代わりに、本開示に特有の、または本開示の理解に必要な部分についてのみ、データ処理システムを図示し、説明している。データ処理システム 1 0 0 の残りの部分の構造および動作は当業者に知られている現在の様々な実施形態のいずれかに従うものとする。

20

【0 0 6 5】

ここで述べておくべき重要なことは、本開示には完全に機能的なシステムの文脈での説明が含まれているが、当業者であれば、本開示のメカニズムの少なくとも一部は様々な形態のマシン可用、コンピュータ可用またはコンピュータ可読の媒体に収容された命令の形態で配布可能であること、また本開示は実際にこの配布の実行に使用される特定のタイプの命令または信号を担う媒体または記憶媒体に関係なく適用可能であることを理解されるであろうということである。マシン可用 / 可読またはコンピュータ可用 / 可読媒体の例としては、読み出し専用メモリ (R O M) や電氣的にプログラム可能な消去できる読み出し専用メモリ (E E P R O M) のような不揮発性のハードコーディングされたタイプの媒体、磁気テープストレージ、および、フロッピーディスク、ハードディスクドライブおよびコンパクトディスク読み出し専用メモリ (C D - R O M) やデジタル万能ディスク (D V D) のようなユーザ記録可能なタイプの媒体が挙げられる。

30

【0 0 6 6】

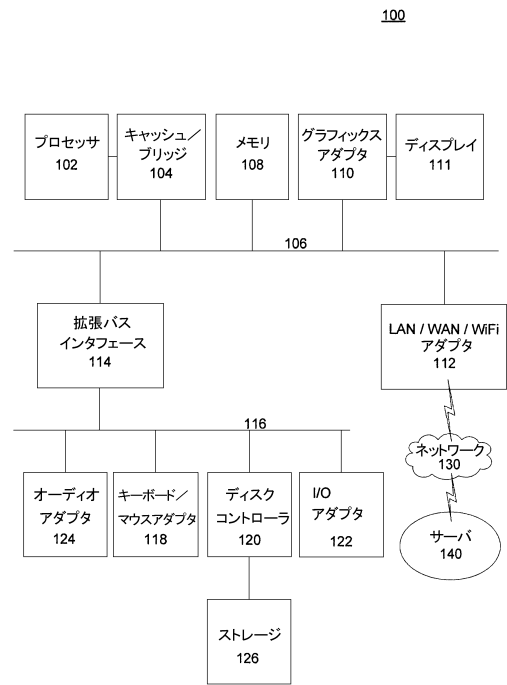
本開示の実施例を詳細に説明してきたが、当業者であれば、本明細書に開示された様々な変更、置換、バリエーションおよび改良はその最も広い形態においても本開示の趣旨と範囲を逸脱せずに可能であることを理解されるであろう。

【0 0 6 7】

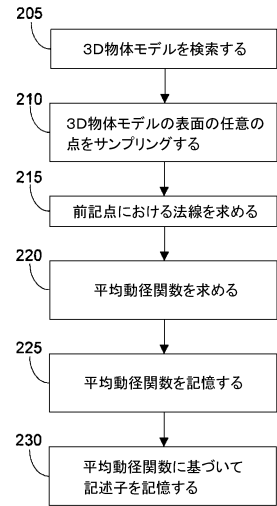
本願における説明を、いずれの特定の要素、ステップまたは機能も請求の範囲に含まなければならない不可欠の要素であることを含意するものとして理解してはならない。さらに、どの請求項も、"means for" という語の後に分詞が続かないかぎり、3 5 U S C § 1 1 2 の第 6 パラグラフに訴えることを意図するものではない。

40

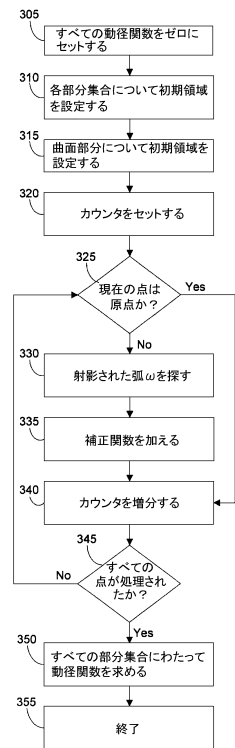
【図 1】



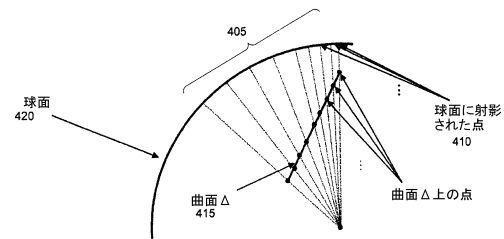
【図 2】



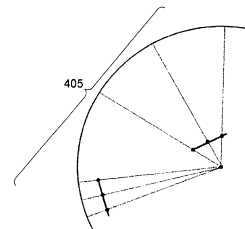
【図 3】



【図 4 a】



【図 4 b】



フロントページの続き

(74)代理人 100099483

弁理士 久野 琢也

(74)代理人 100112793

弁理士 高橋 佳大

(74)代理人 100128679

弁理士 星 公弘

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

(72)発明者 セバスティアン ラカニエール

イギリス国 ロンドン スプリング ストリート サセックス コート 22

審査官 松浦 功

(56)参考文献 特開2007-121242(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06F 17/50

G06T 1/00