

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第3736862号
(P3736862)

(45) 発行日 平成18年1月18日(2006. 1. 18)

(24) 登録日 平成17年11月4日(2005. 11. 4)

(51) Int. Cl.

GO 6 T 15/50 (2006. 01)

F I

GO 6 T 15/50

請求項の数 9 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平6-8631	(73) 特許権者	590000248
(22) 出願日	平成6年1月28日(1994. 1. 28)		コーニンクレッカ フィリップス エレク
(65) 公開番号	特開平6-243267		トロニクス エヌ ヴィ
(43) 公開日	平成6年9月2日(1994. 9. 2)		Koninklijke Philips
審査請求日	平成13年1月25日(2001. 1. 25)		Electronics N. V.
審査番号	不服2003-2450(P2003-2450/J1)		オランダ国 5621 ペーアー アイン
審査請求日	平成15年2月17日(2003. 2. 17)		ドーフエン フルーネヴァウツウェッハ
(31) 優先権主張番号	9301661:6		1
(32) 優先日	平成5年1月28日(1993. 1. 28)		Groenewoudseweg 1, 5
(33) 優先権主張国	英国(GB)		621 BA Eindhoven, T
			he Netherlands
		(74) 代理人	100072051
			弁理士 杉村 興作

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 対象物データベースで規定された3次元対象物スペースの2次元像を描画する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

対象物データベースにより規定された3次元(3D)対象物スペースの2次元(2D)像を描画するに当たり、前記対象物データベースにより前記対象物スペース内の位置および方向を有する少なくとも1つの光源を規定するようにした3次元対象物スペースの2次元像を描画する方法において、

(a) 前記光源の方向に対してある方向に依存する照明の変化を表わす照明値の2次元(2D)テーブルを前記光源に対し生成し、且つ記憶し、

(b) 前記対象物スペース内のインタレスト点を確認し、前記対象物スペース内における前記光源の方向に対する前記光源の位置から前記インタレスト点への2次元(2D)方向を決定し、

(c) 決定された2次元方向を、前記記憶された2次元(2D)テーブルに対するインデックスとして用いて、前記インタレスト点における光源による照明値を得ることを特徴とするものであり、

前記2次元(2D)テーブルに記憶された値は前記対象物スペース内の前記光源の位置を少なくとも局部的に囲む球面全体に亘る照明の変動を表わし、前記ステップ(c)のインデックスとして用いる前記2次元方向が一对の角度座標を具えることを特徴とする対象物データベースで規定された3次元対象物スペースの2次元像を描画する方法。

【請求項2】

前記方向インデックスは少なくとも1つの分数成分を有し、前記ステップ(c)で得ら

10

20

れた照明値は前記分数成分に従ってフィルタ処理を行うことにより前記 2 D テーブルに記憶された複数の値から取出すようにしたことを特徴とする請求項 1 に記載の対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法。

【請求項 3】

各々が前記光源位置からの異なる距離における照明の変化を表わす 2 D テーブルを前記光源に対し記憶し、前記ステップ (b) には前記対象物スペースの光源位置から前記インタレスト点までの距離を決めるサブステップをさらに設け、且つ前記ステップ (c) には前記距離を距離インデックスとして用いて 1 連の 2 D テーブルの中から適切な 2 D テーブルを選択するサブステップをさらに設けるようにしたことを特徴とする請求項 1 ～ 2 の何れかの項に記載の対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法。

10

【請求項 4】

前記距離インデックスは分数成分を有し、前記ステップ (c) で得られた照明値を前記距離インデックスの分数成分に従って複数の一連の 2 D テーブルに記憶された値間で補間するようにしたことを特徴とする請求項 3 に記載の対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法。

【請求項 5】

前記一連の 2 D テーブルの各々に記憶された照明値は前記光源の位置からの一定の距離に対して正規化され、前記ステップ (c) には 2 D テーブルから得られた値を規準化して光源の位置からの距離の二乗に少なくとも逆比例する強度変化を組込むサブステップをさらに具えるようにしたことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法。

20

【請求項 6】

前記一連の 2 D テーブルは、前記光源の位置からの距離が増大するに従ってその大きさ (エントリの数) を減少し、各順次の 2 D テーブルはその前の 2 D テーブルの大きさを一次元または 2 次元で半分となるようにしたことを特徴とする請求項 3, 4 または 5 に記載の対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法。

【請求項 7】

前記ステップ (a) において、照明値が一定となる方向の範囲は 2 D テーブルで表わされず、前記ステップ (c) は前記ステップ (b) で決められた方向がある範囲内にある際に照明値に対し一定値を減算するサブステップを具えるようにしたことを特徴とする請求項 1 ～ 6 の何れかの項に記載の対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法。

30

【請求項 8】

ステップ (a) において、照明値の変化時に少なくとも 1 度の対称性を与え、可能な 2 次元方向のサブセットのみを 2 D テーブルに記憶された値に表わし、ステップ (c) は、ステップ (b) で決められた方向が 2 D テーブルに表わされる方向のサブセットの外側にある場合に、インデックスを得るために与えられた前記対称性に従って決められた方向を 2 D テーブルに転送するサブステップを含むようにしたことを特徴とする請求項 1 ～ 7 の何れかの項に記載の物体データベースで規定された 3 次元物体スペースの 2 次元像を表示する方法。

40

【請求項 9】

3 次元の像を合成するに当たり、

・ 3 D スペース (対象物スペース) の対象物の配列および出現を記述する対象物データベースを保持する手段と；

・ 装置のユーザに対し対象物を表わす視点を規定する手段と；

・ 対象物データベースの幾何学的変換により視点から見た対象物スペースの 2 次元表示を表示装置を介して描画する手段とを具える 3 次元像合成装置において、前記対象物データベースは少なくとも 1 つの光源を規定し、前記描画手段は請求項 1 ～ 8 の何れかの項に記載の物体データベースで規定された 3 次元物体スペースの 2 次元像を表示する方法によ

50

って光源の効果をモデル化するように作動することを特徴とする 3 次元像合成装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は対象物データベースで規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画するに当たり、データベースにより対象物スペースの位置および方向を有する少なくとも 1 つの光源を規定するようにした 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

広範囲の像描画技術および装置はアディソン・ウェスレイ (Addison-Wesley) 社 ISBN0-201-12110-7 刊行のフォレイ、ヴァンダム、フェイナーおよびヒューズの著書“コンピュータグラフィックス：原理および実際”に記載されている。本発明は特にかかる像をリアルタイムで合成することにより、この合成には一般に合成方法を実行するための特別な目的の像合成ハードウェアを含んでいる。

【0003】

リアルタイム像合成システムの問題はすべての方向に等しく光を放射する簡単な点光源ではない光源から対象物表面に投射される光のパターンを正確にモデル化することである。コンピュータグラフィックス、第 17 巻、第 3 号 (1983 年 7 月)、第 13-21 頁にデビッド アール ウォーンが発表した論文“合成像の照明制御 (Lighting Controls for Synthetic Images)”に記載された技術では、点光源から照明される点までのラインと点光源の方向との間の角度の数学的関数を用いてインタレスト点における点光源の強度を決めるようにしている。

【0004】

照明度を制限する簡単な“フラップス”を設ける他にウォーンの照明モデルは簡単なスポットライトのような円形の対称な点光源を記載している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

インテリア照明の照明器具のような多くの光源は任意複雑で全て非対称強度分布を有し、これは 2 次元以上の次元のゴニオメトリックダイアグラムによって測定され、且つ表わされる。IEEE CG&A、1984 年 7 月号、第 66 乃至 75 頁に C.P.Verbeck および D.P.Greenberg が発表した論文“コンピュータグラフィックのための総合光源記述”にはコンピュータプログラム“バルブ”が記載されており、これは光分布の任意のゴニオメトリック定義を受けてこれらを一連のスプライン曲線関数で近似して光源から任意の方向における相対的照明を得るようにしている。かかる技術は低コストリアルタイム像合成を実現するには不適切であり、かかる強烈な予備画素計算のハードウェアは通常得ることができない。

【0006】

本発明の目的は低コスト像合成ハードウェアを用いリアルタイムで複雑な光源をモデル化し得るようにした物体データベースで規定された 3 次元物体スペースの 2 次元像を表示する方法を提供せんとするにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明は対象物データベースにより規定された 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画するに当たり、データベースにより対象物スペースの位置および方向を有する少なくとも 1 つの光源を規定するようにした 3 次元対象物スペースの 2 次元像を描画する方法において、

(a) 前記光源の方向に対してある方向に依存する照明の変化を表わす照明値の 2 次元 (2D) テーブルを光源に対し生成し、且つ記憶し、

(b) 対象物スペースのインタレスト点を確認し、光源の方向に対し光源の位置から前記

10

20

30

40

50

インタレスト点までの対象物スペースの2D方向を決め、

(c) かくして決められた相対方向を、記憶された2Dテーブルに対するインデックスとして用いて、前記インタレスト点における光源による照明値を得るようにしたことを特徴とする。

【0008】

【作用】

2Dルックアップテーブルを用いることにより描画時に複雑な計算を行うことなく任意の複雑な照明機能を実行することができる。さらに重要なことには、2Dルックアップハードウェアはテクスチャマッピングの目的でリアルタイム像合成ハードウェアで既にしばしば得られている。ハードウェアを十分に構成し得る場合には照明モデル化に貢献する高価なハードウェアを設ける必要性を防止することができる。

10

【0009】

前記2Dテーブルに記憶された値によって対象物スペースにおける光源の位置を少なくとも局部的に囲む球面全体に亘る照明の変動を表わし、前記ステップ(c)のインデックスとして用いる2Dの方向が一对の角度座標を具えるようにする。角度座標は例えば照明分布の慣例の非対称ゴニオメトリックダイアグラムの横方向および長手方向角度に相当する。

【0010】

描画された像の陰影は際立った“輪郭”効果なく平滑とする必要がある。この目的のために、テーブルからの描画の際にある形態のフィルタ処理を必要とする。1例では、前記方向インデックスは少なくとも1つの分数成分を有し、全体ステップ(c)で得られた照明値は前記分数成分に従ってフィルタ処理を行うことにより前記2Dテーブルに記憶された複数の値から取出すようにする。双線形補間のようなハードウェアのフィルタ処理は既存のテクスチャマッピングハードウェアでしばしば得られる。

20

【0011】

各々が前記光源位置からの異なる距離における照明の変化を表わす2Dテーブルを前記光源に対し記憶し、前記ステップ(b)には前記対象物スペースの光源位置から前記インタレスト点までの距離を決めるサブステップをさらに設け、且つ前記ステップ(c)には前記距離を距離インデックスとして用いて1連の2Dテーブルの中から適切な2Dテーブルを選択するサブステップをさらに設けるようにする。

30

【0012】

多くの現実の光源は、照明分布が光源からインタレスト点までの距離および方向に従って変化するような幾何学的形状を有する。既知の方法ではかかる変化を組込むことは行っていない。慣例のテクスチャマッピングハードウェアはしばしば例えば英国特許出願GB-2 240015-Aに記載されているように多重2Dアレイを設けて提案された方法を再び既存のハードウェアを有効に用いて実現し得るようにする。

【0013】

再び輪郭を防止するために、前記距離インデックスは分数成分を有し、前記ステップ(c)で得られた照明値を前記距離インデックスの分数成分に従って複数の一連の2Dテーブルに記憶された値間で補間し得るようにする。

40

【0014】

既知のように、光源の幾何学的形状によって生じる距離変化の他に照明強度は光源からの距離の二乗に逆比例する。従って、一連の2Dアレイを異なる距離に対して記憶する本発明の1例では一連の2Dアレイの各2Dテーブルに記憶された照明値は光源の位置からの対応する距離の二乗に逆比例する強度変化が組込まれるようになる。これがため距離の二乗だけ個別に分割されるのを防止する。2Dテーブル間の補間を用いる場合には逆二乗の変化は区分的にリニアな概算で有効に組込むようにする。

【0015】

しかし、テーブル自体の逆二乗変化を組込むことにより記憶された値に不必要に大きなダイナミックレンジを必要とするようになる。従って本発明の変更例では、前記一連の2D

50

テーブルの各々に記憶された照明値は前記光源の位置からの一定の距離に対して正規化され、前記ステップ(c)には2Dテーブルから得られた値を規準化して光源の位置からの距離の二乗に少なくとも逆比例する強度変化を組込むサブステップをさらに具えるようにする。距離－インデックスの小成分に従って各2Dテーブルに関連する逆二乗距離値間の直線性補間によって区分的にリニアな近似を再び組込むことができる。

【0016】

照明分布のディテールの量は距離とともに変化する。従って一連の2Dアレイの2Dテーブルは異なる大きさとなる。特に、多くの光源に対しては分布の密接した範囲にのみ微細なディテールが存在するようになる。従って一連の2Dアレイの2Dテーブルは光源の位置からの距離が増大するにつれてその大きさが減少するようになる。各テーブルが一次元

10

【0017】

本発明方法の一例では、前記ステップ(a)において、照明値が一定となる方向の範囲は2Dテーブルで表わされず、前記ステップ(c)は前記ステップ(b)で決められた方向がある範囲内にある際に照明値に対し一定値を減算するサブステップを具えるようにする場合に記憶スペースを節約することができる。多くの光源は例えば全体が零値の半球状の照明を有する。

【0018】

同様に本発明の1例では、ステップ(a)において、照明値の変化時に少なくとも1度の対称性を与え、可能な2次元方向のサブセットのみを2Dテーブルに記憶された値に表わし、ステップ(c)は、ステップ(b)で決められた方向が2Dテーブルに表わされる方向のサブセットの外側にある場合に、インデックスを得るために与えられた前記対称性に従って決められた方向のを2Dテーブルに転送するサブステップを含むようにする。

20

【0019】

また、本発明は3次元の像を合成するに当たり、

- ・3Dスペース(対象物スペース)の対象物の配列および出現を記述する対象物データベースを保持する手段と；
- ・装置のユーザに対し対象物を表わす視点を規定する手段と；
- ・対象物データベースの幾何学的変換により視点から見た対象物スペースの2次元表示を表示装置を介して描画する手段とを具える3次元像合成装置において、前記対象物データベースは少なくとも1つの光源を規定し、前記描画手段は上記方法によって光源の効果をモデル化するように作動することの特徴とする。

30

【0020】

【実施例】

図1は3次元(3D)対象物を表わす2次元(2D)表示装置に像を表示する装置を線図的に示す。データベースモジュールOBJは3次元環境のモデルを形成するデータベース、即ち、各々が1群の対象物プリミティブとしてモデル化された種々の3次元対象物を含む“対象物スペース”を記憶しかつ管理する。各プリミティブは例えば多角曲面、即ち、幾何学的記述によって順次規定された湾曲パッチ、例えば頭頂座標系、および例えばカラー、テクスチャ、透明、曲面正常等のような曲面記述とすることができる。光源の幾何学的曲面記述を含めることができる。他のモジュールVEWによって可視スペース、例えば視点の対象物スペースの位置、視る方向および視野により視空間を規定する。

40

【0021】

トラックボール、マウスおよび／またはキーボードのようなユーザの入力手段INPをヒューマン－コンピュータインターフェースモジュールHCIに接続し、これによりユーザをして対象物スペース内で対象物を操作または修正するかあるいは視点、視る方向その他視空間の他の属性を操作する。幾何学的モジュールGEOによって幾何学的な変換を行ってデータベースモジュールOBJで規定されたプリミティブの種々の対象物スペース幾何学的記述を可視スペースの等価の記述に変換する。これらの変換は一般に既知のように

50

翻訳、回転および斜視を含む。また、プリミティブの曲面記述を視空間で照明条件に従って規定する。像が2次元のみの通常の場合には代表的には x および y と称される2次元の視空間の座標系はスクリーン座標系に直線的に対応するが、第3の座標は対象物のスクリーン内への深さに対応する。

【0022】

幾何学的モジュールG E O Mは視空間プリミティブ記述を描画モジュールD R Wに通過せしめる。この描画モジュールD R Wは代表的には像バッファメモリI M I N Tの画素値の2 Dアレイへの走査変換によって視空間プリミティブ記述を表示装置に好適の形態に変換する。描画モジュールD R Wによって画素のカラー値（例えばR, G, B成分）を表示メモリD M内にロードし、この表示メモリはシステムティックに走査してラスタ走査表示装置D I S、例えば陰極線管（C R T）表示モニタを駆動する。

10

【0023】

幾何学的モジュールG E O Mおよび表示モジュールD I Sは代表的には一般に既知の手段によって配列し、隠れた曲面の除去、照明計算、エイリアス除去フィルタ処理および他の雑効果を実行して表示された像が表示装置D I Sを視るユーザにリアリズムの印象を与えるようにする。これらの効果を実行する多くの種々の方法は当業者にとって既知であり、上述したフォーレイの著書に記載されている。

【0024】

図2は描画モジュールD R Wによって描かれた照明問題の1つのモデルを示す。3 D対象物空間の対象物曲面Oの一点 P_0 を点 P_v から観視者により視る。この際ベクトル V は点 P_0 から表示装置のスクリーンSの位置 X_s , Y_s の画素を経て観視者 P_v まで延在する。点 P_0 の対象物曲面は法線（鉛直）ベクトル N_0 を有する。光源 L Sは対象物空間に位置 P_L を有するとともに方向性ベクトル N_L を有する。また、ベクトル L は点 P_0 の対象物から距離 d の光源位置 P_L まで延在する。

20

【0025】

観視者に対し点 P_0 を表わすに必要な画素のカラーを決めるために、解決すべき1つの問題は：対象物表面の点 P_0 から視点 P_v に至る光の強度（およびカラー）が幾らであるかである。この質問に対する答えは当業者に既知のように（i）光源から点 P_0 に到達する光の強度およびカラーに依存するとともに（ii）点 P_0 における対象物曲面の反射特性に依存する。

30

【0026】

既知のように、反射特性（ii）は拡散および正反射の組合せとしてモデル化することができる。拡散成分はベクトル L および表面法線ベクトル N_0 間の角度（の余弦）としてモデル化することができる。この正の反射成分は視点ベクトル V が表面法線ベクトル N_0 に対し光源ベクトル L の反射である反射ベクトル R と一致する際に最大強度を有する両ベクトル L および V に依存する。本発明は、反射特性のモデル化に関するものではなく、上述した問題の一部分（i）に関するものであり、光源からインタレストの点（ P_0 ）に到達する照明の強度が幾らであるか、即ち、光源位置 P_L から対象物表面の点 P_0 までの方向および距離を与えることである。従ってカラー変化も興味あるものであるが、次の検討は一般に照明強度の検討にのみ限定される。これがためカラー変化を含む検討への拡張は当業者にとって比較的容易である。

40

【0027】

大部分の光源の強度変化に含まれるべきファクタの1つは光源からインタレスト点までの距離 d の逆二乗の既知の比例性、即ち、 d^{-2} のファクタである。しかし、均一に放射する点光源以外の光源に対しては光源からインタレスト点への方向の他の依存性であり、この方向は図2のベクトル L と基準方向、即ち、光源の“法線”ベクトル N_L との間の差として表わすことができる。

【0028】

ここに記載する例において、図3は光源位置 P_L からインタレスト点 P_0 までの相対方向を表わすために用いる極座標系を示す。光源の法線ベクトル N_L に対し、各々が -180

50

°乃至 $+180^\circ$ の任意の値を取り得る2つの直角座標 Θ および ϕ を規定する。

【0029】

図4は一对の直線状蛍光灯を収容する市販の照明器具の強度分布を2軸測角的にプロットした形状で示す。一定の距離 d （従って定数 $d-2$ ）に対し右側の極曲線は照明器具主軸（ $\phi=0$ ； Θ は 0° から 180° まで変化）に直角な強度の測定値を示す。左側の極曲線は照明器具の主軸（ $\Theta=0$ ； ϕ は 0° から 180° まで変化）に平行な強度の変化を示す。これらのプロットは測定および／または補間によって補充して任意の方向（ Θ ， ϕ ）に対する相対強度を得ることができる。図4に示される照明器具は下向き照明用であるため、相対強度は法線（下向き）方向NLから 90° 以上に亘り零である。従って $\Theta=45^\circ$ を中心とする強度曲線に成形された“膨らみ”を見ることができ、これにより $d-2$ 変化と相俟って簡単な点または直線状光源によりもたらされるよりも低い水平動作区域に亘り一層均一な照明を提供する。

10

【0030】

上述したように実際の像合成に対する既知の照明モジュールは上述した方向（ Θ ， ϕ ）の簡単な円形対称関数に限定される。この場合でも、かかる関数を組込むための画素当たりに必要な計算は既知の低コスト描画システムで十分な速度でも行うことはできない。既知のシステムにおけるテクスチャマッピングに対して設けられるハードウェアの利点を得るための特にルックアップ操作に対するモデル化問題を低減し得る手段について以下に説明する。

【0031】

20

図5は図4の強度分布を2Dルックアップテーブルに記憶して任意のインタレスト点における光源の照明強度に対する像合成システムにおいて迅速なアクセスを行う手段を示す。座標 Θ および ϕ によって規定される球面をサンプル記憶位置Gの方形アレイ（または一般に長方形アレイ）に変換する。相対強度値は各記憶位置に記憶するとともに Θ （図5の水平軸）および ϕ （図5の垂直軸）に対応する2D方向インデックスによって確認することができる。

【0032】

各方向で記憶されたサンプルの数は照明パターンに必要なディテールの量に依存する。2Dルックアップテーブルは、例えば Θ および ϕ で 1° 以上を良好とする解像度で多数のディテールを含む 512×512 サンプルとすることができる。各記憶位置における解像度（記憶ビットの数）はリアルな表現に必要な程度少数または多数選定することができる。図4のプロットと比較する目的で0，2，4，6，8および10の区域を含む輪郭を図5に示す。實際上、パターンを平滑且つ正確に表わすために4ビットおよび8ビット間の任意のビットを用いることができる。

30

【0033】

図5のテーブルが一旦記憶されると、描画モジュールDRW（図1）は、 Θ および ϕ を決め、これら Θ および ϕ を2Dインデックスとして用いて2Dテーブルから対応する照明値を読み出してこれに含まれる照明のパターンを反射面を含む対象物スペースに種々の距離および配向に表わすことによって光源により照明された情景の像を描画することができる。この場合各インタレスト点における照明分布関数の複雑な関数を評価する必要はなく、しかも任意の複雑な分布を表わすことができる。

40

【0034】

2Dテーブルに記憶された粗いサンプル変化から生ずる対象物表面の照明の輪郭効果および“ブロック化”を防止するのが極めて重要である。殆どの光源は平滑に変化し、且つ連続分布を有するとともに眼は像の陰影の輪郭に極端に敏感である。従って、テーブルから得た値はある程度フィルタ処理して Θ および ϕ による強度の平滑な変化を達成する必要がある。これを実行する簡単な方法は2Dテーブルのサンプルをインデックスするのに必要な場合よりも高い精度で Θ および ϕ を決めるとともにインデックス（ Θ ， ϕ ）の残りの小成分を用いて2Dテーブルの最も近い整数位置に記憶された4つの値間を補間する必要がある。同様の操作の実行は、図6の実施例で後に説明するように、テクスチャマッピング

50

の分野においては既知である。

【0035】

しかし、図5の2Dテーブルの残りの部分は経済的観点から明らかである。例えばまず最初、記憶された強度値の補間またはフィルタ処理を実行する場合には図4および5の解像度のような強度分布の比較的僅かなディテールを有する光源に対して2Dテーブルに必要な解像度を例えば 32×32 サンプルに減少することができる。同様にサンプル当たりのビット数を減少して4ビット（相対的強度の16レベル）のように低くすることができる。

【0036】

相対的強度を一定とした場合に角度 θ および ϕ または ϕ の範囲を大きくすることによって10
も経済的な利点を得ることができる。例えば、図5のテーブルにおいて、 θ または ϕ が法線方向 N_L から 90° 以上の区域（上側半球）において強度値が全て零となることを確かめた。投影を選定するため、この半球はテーブルに対する全記憶スペースの $3/4$ を占めるようになる。従って、分布の中央の $1/4$ （鎖線部分F）のみを記憶し得るようにするのが一層経済的である。従って θ または ϕ が $\pm 90^\circ$ 以上となる際にテーブルから得られる値に対し零を置換するか、または θ および ϕ を $\pm 90^\circ$ に限定するのが簡単である。この手段によってテーブルに必要な記憶容量を $1/4$ に減少させることができる。

【0037】

図4および5に示す分布に対し所定解像度における2Dテーブルに必要な記憶容量は、分布が対称2軸、即ち、鎖線 $\theta = \phi$ および $\phi = 0$ を有することを考慮してさらに $1/4$ とす20
ることができる。適宜のインデックス論理を用いる場合には単一の象限A、B、CまたはDに値を記憶する必要があるだけである。この記憶された象限の外側に発生する方向（ θ 、 ϕ ）は反射操作によって平行移動して相当する記憶サンプルに対するインデックスを得ることができる。例えば、象限Aのみを記憶する場合には象限Bの方向（ θ 、 ϕ ）=（ -56 、 $+32$ ）は象限Aの方向（ $+56$ 、 $+32$ ）にマップされ、関連する記憶サンプルに対する有効インデックスを得ることができる。同様に象限B、CまたはDの任意の方向（ θ 、 ϕ ）も負の θ または ϕ を関連する正の値に置換することによって象限Aの関連する方向に簡単にマップすることができる。同様のことが他の型の対称性の利点を得るために用いられること明らかである。

【0038】

2Dテーブルまたは一連の2Dテーブルに表わし得る光源の範囲は實際上極めて大きく、各々が2Dテーブルの極めて好適な経済的記憶を確実とする。例えば1つの光源は球体全部を照明するが分布における微細なディテールは有さない。他の光源は狭い角度範囲に亘り光ビームを投射する。このビームは幅狭であるが十分に微細なディテールを含む。 $\pm 10^\circ$ の θ および ϕ の範囲に亘るいわゆる 512×512 のフルカラーサンプルのテーブルは例えばスライドプロジェクタを表わす。

【0039】

図6は図1のシステムの描画モジュールDRWを編成してリアルタイム像合成に高度のリアリズム与えるための成形された光源の表示として2Dテーブルを利用する手段を示す。また、図6に示す描画モードDRWはこれによりテクスチャマッピングを実行して表面40
ディテールを3D対象物スペースの対象物に加えるようにするとともにテクスチャマッピングハードウェアと本発明の実現に必要なハードウェアとの間の類似性を示す。

【0040】

描画モジュールDRWは、操作変換ユニット600、テクスチャメモリアレイ602、テクスチャメモリアドレス計算機604、光源ルックアップメモリ606、極座標計算機608、逆二乗スカラー510、画素カラー計算機612を具える。またこの描画モジュールDRWは幾何学的モジュールGEM（図1）からスクリーンに表わすべき各3D対象物プリミティブおよび関連する光源に対する種々のパラメータ P_V 、 P_O 、 N_O 、 P_L および N_L を受ける。

【0041】

10

20

30

40

50

走査変換器600は視点 P_v に依存し、対象物スペースからスクリーンスペース（画素）への変換の少なくとも最終段に対し応答自在とする。作動に当たり、走査変換器600によって所望の像の区域を規定すると同時に視者の視線が対象物の表面を満足する対象物スペースの対応する点 P_0 を計算する一連の画素アドレス X_s 、 Y_s を発生する。各画素アドレス (X_s, Y_s) に対してはカラー値（対応24ビット）計算機612は視点から見て点 P_0 における対象物表面のカラーを表わす。次いで、このカラー値をこれが関連する画素のカラーを規定する箇所において表示メモリDMに記憶する。

【0042】

このカラー値は対象物データベースから取出された対象物プリミティブに対する表面記述および光源記述を用いてカラー値計算機612によって発生させる。これらの記述の複雑性は殆ど設計選択事項であり、従って本例では表面記述にテクスチャマップ基準および反射率値（反射および拡散）を含めるようにする。テクスチャマップ基準はテクスチャメモリ602の2次元アレイとして前に記憶された表面カラー値（WT）のパターンに関連する。

10

【0043】

このテクスチャマッピングは前記フォーレイ等の著書の第741乃至744頁に詳細に記載されている。かかる詳細は本発明を理解するうえでは不必要である。しかし、エイリアシングアーティファクトを防止するために、テクスチャメモリに記憶されたカラー値をフィルタ処理するのが有利である。その理由は対象物表面Oに投射される際の画素の区域がテクスチャサンプルの大部分をカバーすることができるからである。かかるフィルタ処理を行う技術としては種々のものが知られている。簡単な技術としては“MIPマップ”または同様のピラミッド型アレイに同一のテクスチャマップの多重予備フィルタ処理されたバージョンを記憶することである。テクスチャ座標の小部分を距離インデックスとともに用いてテクスチャマップの隣接するカラー値間を補間するとともにテクスチャマップの隣接する予備フィルタ処理バージョンの値間で補間されたカラー値を発生し得るようにする。かかる技術を用いる装置はヨーロッパ特許出願EP 0 438 195 Aに記載されている。

20

【0044】

本例では同様の技術を用いて各テクスチャマップが数個の予備フィルタ処理されたアレイで表わされ、且つテクスチャメモリアドレス計算機604によって各画素アドレスに対しテクスチャメモリ対 (u, v) および距離インデックスLを取出し得るようにする。これらの値を用いて数個のテクスチャサンプル値をルックアップするテクスチャメモリアドレスを発生し、次いでこれら値を u 、 v およびLの小部分に従って組合せて関連する点 P_0 における対象物の表面に対する補間されたカラー値MODを得るようにする。この値MODをカラー値計算機612に供給する。

30

【0045】

光源ルックアップメモリ606および極座標計算機608はテクスチャメモリ602およびテクスチャアドレス計算機604とその構成および作動をそれぞれ同様とする。上述した例の利点は実際上メモリおよびアドレス指定ハードウェアを同様に構成してこれらが双方の目的に対して容易に構成し得るようにする。実際上ハードウェアを最適な性能にダイナミックに再構成するための手段を設けるのが有利である。その理由はテクスチャマップおよび光源モジュールの数および複雑性が表示される情景に従って変化するからである。

40

【0046】

テクスチャメモリ602が1つ以上の対象物に対する表示カラーパターンを記憶するにもかかわらず、光源ルックアップメモリは図5につき説明したように照明強度値のルックアップテーブルを記憶する。極座標計算機608はインタレスト点の位置 P_0 および表示法線方向 N_0 を受けるとともに光源の位置 P_L および方向 N_L をも受ける。これらの情報から極座標計算機608はルックアップメモリ606のアドレスを形成する極座標 θ および ϕ を発生させることができる。

50

【0047】

これらのアドレスからルックアップメモリによって光源に対する点の方向に従って対象物表示に点 P_0 の相対的照明強度値を再現する。また計算機608によって光源から表面までの距離 d を計算し、これをスケラ610により用いて照明強度を逆二乗則に従って修正する。これによって画素カラー計算機612により用いるための対象物点 P_0 に対する実際の照明強度値 ILL を発生する。対象物点 P_0 に対しては計算機612により実際の照明強度値 ILL を用いて表面反射率の反射および拡散成分が適切なものであることを考慮して表面カラー値 MOD を修正する。これは、最終カラー値 COL が表示スクリーンの点 X_s , Y_s における画素に対する表示メモリに記憶される前に数個の光源に対する組合せで行うことができる。

10

【0048】

図5の例に示される輪郭に相当する合成像の陰影の“輪郭化”を防止するために、ルックアップテーブル606に記憶された個別の値間の補間を極座標の小成分に従って実行する。この特徴は明らかにテクスチャマッピングハードウェアと共通のハードウェアを用いて実行できるとともにルックアップテーブルをも著しく経済的とする。殆どの光源がゆるやかな変化機能を有するため、補間の平滑効果によって比較的粗く量子化された比較的僅かのエントリ（エントリ当たり数ビット）を有するルックアップテーブルを用いることができる。

【0049】

前述したように複雑な光源の照明分布は距離とともに変化する。従ってルックアップメモリ606は各々が光源から異なる距離に相当する数個の照明ルックアップテーブルを具える。点 PL および PO 間で計算された距離 d を用いてルックアップメモリをアドレス指定するために極座標とともに使用される距離インデックスを得る。テクスチャマッピングを用いるため、距離インデックス D はルックアップメモリのエントリ間を平滑に補間する小成分を有する。

20

【0050】

図7は3つの異なる距離 A , B および C における複雑な光源に対する照明分布を示す。分布 A （零距离）は光源が実際に4つの円形スポットライトを具えることを示す。分布 B は光源からの距離が短く、この場合個別のスポットライトもビームは広がり合併し始める。最後に分布 C は光源からの距離が長く、4つのビームが単一の粗い円形ビームに有効に合併する場合を示す。ルックアップメモリ606のアレイに記憶されたこれら3つのビームによれば補間機構は複雑な光源の妥当でリアルなシミュレーションを呈することができる。

30

【0051】

図7の光源に対しては処理努力は増大するものの各々の簡単な光源を個別の光源として処理することによりウォーム等の既知の技術を使用し得ることは勿論である。数個の簡単な部品に減少し得ない光源（共通の例は自動車のヘッドライト）に対して本発明は独特の低コストを呈するものである。

【0052】

殆ど全ての光源に対して、光源からの距離が増大するにつれて照明分布のディテールの量が減少することは明らかである。この特性によって順次の2Dルックアップテーブルは距離が増大するにつれて一層僅かなエントリを有するようになり、その結果これらテーブルを極めて経済的に蓄積することができる。しかし、この特性をさらに開発して光源ルックアップハードウェアとテクスチャマッピングハードウェアとの間の両立性を最大とすることができる。その理由は MIP マップにおいて、およびテクスチャマッピングに対する一連の予備フィルタ処理アレイの蓄積を含む他の既知の計画において、各アレイが前のものよりも少ないディテールおよび一層少ないサンプルを有するからである。

40

【0053】

走査変換器600および上述した装置の他の部分に対しては多くの可能なアーキテクチャが存在するが、その詳細は本発明を理解するうえで左程重要ではない。例えば隠れた表

50

面除去（“HSR”）の問題は描画前の対象物プリミティブの深さバッファリングまたは優先分類のような多数の既知の方法のうちの任意のものによってアドレス指定することができる。深さバッファリングの場合には視点に一層近い対象物プリミティブの描画のために書込まれたカラー値を一回以上上書きし得ること明らかである。

【0054】

他の変形も可能である。例えば照明強度および光源からの距離を逆二乗の関係で計算することができる。この場合には個別のスケール610を設ける代わりに、種々の距離インデックスDに対して順次のルックアップテーブルに記憶された値を予めスケールして逆二乗変化を組込むようにする。インデックスDの一部を用いる隣接テーブル間を直線性補間する場合には、その結果は正確な逆二乗変化に対し区分的に直線性の概算となる。ルックアップテーブル自体に逆二乗変化を組込む際の欠点は極めて広範囲の値を記憶する必要があり、且つこの値当たりのビットを一層多くする必要があることである。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による操作に好適な像合成システムを線図的に示す回路図である。

【図2】図1のシステムに用いる照明モデルを示す説明図である。

【図3】図1のシステムに用いる照明モデルを示す説明図である。

【図4】光源の強度分布を示す測定的ダイアグラムである。

【図5】図4の強度分布を表わす2Dテーブルの蓄積を示す説明図である。

【図6】本発明に従って操作するように配列された図1のシステムの一部を示す回路図である。

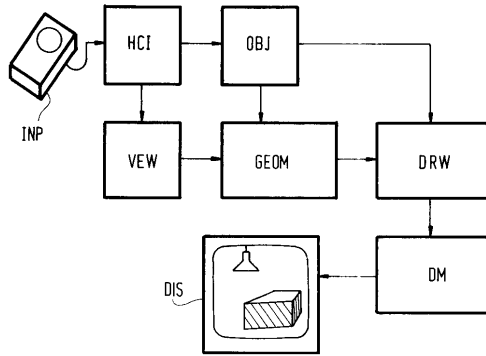
20

【図7】複雑な光源を中心とする照明分布の距離に対する変化を示す説明図である。

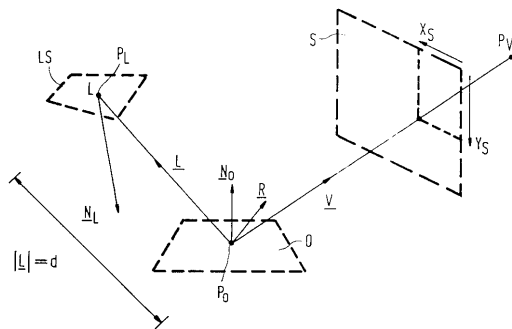
【符号の説明】

- 600 走査変換ユニット
- 602 テクスチャメモリアレイ
- 604 テクスチャメモリアドレス計算機
- 606 光源ルックアップメモリ
- 608 極座標計算機
- 610 逆二乗スケール
- 612 画素カラー計算機

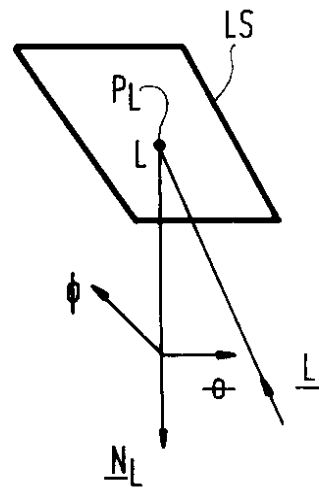
【図 1】



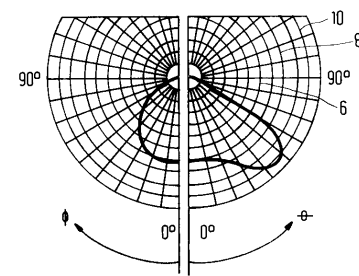
【図 2】



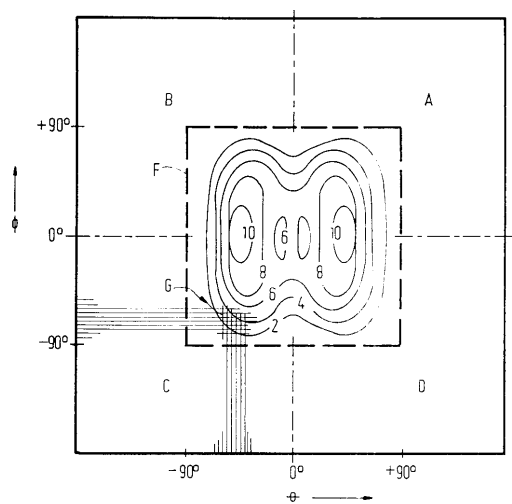
【図 3】



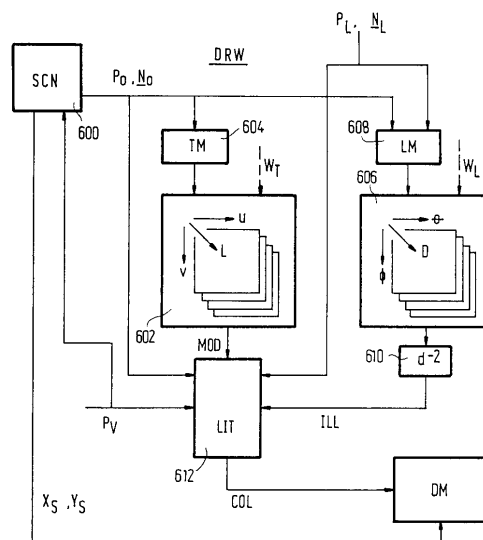
【図 4】



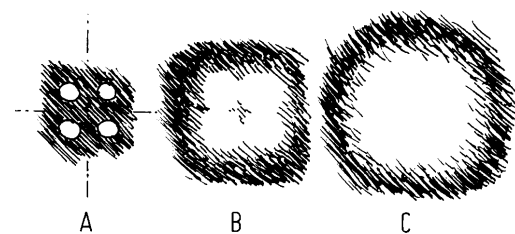
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 デビッド エドワード ペナ
イギリス国 サリー レッドヒル カールトン ロード 129

合議体

審判長 田口 英雄

審判官 岡本 俊威

審判官 佐藤 敬介

(56)参考文献 特開平04-259083 (JP, A)
特開平03-030204 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06T15/50