

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6410451号
(P6410451)

(45) 発行日 平成30年10月24日(2018.10.24)

(24) 登録日 平成30年10月5日(2018.10.5)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 6 T 15/80 (2011.01)

G 0 6 T 15/80

請求項の数 20 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2014-74568 (P2014-74568)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成26年3月31日(2014.3.31)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2015-197744 (P2015-197744A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成27年11月9日(2015.11.9)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成29年3月29日(2017.3.29)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	久保 尋之
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内
		審査官	千葉 久博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置、計測システム、情報処理方法およびプログラム。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

仮想光源と仮想物体が配置された仮想空間において前記仮想物体を所定の仮想的な視点から観察した場合に得られる仮想画像の生成に用いる、実空間における物体の反射特性を計測するための計測条件を決定する情報処理装置であって、

前記仮想空間における、前記仮想光源と前記仮想物体と前記仮想的な視点との間の位置関係を示す情報と、前記仮想光源から放たれた光が前記仮想物体に入射する、前記仮想物体の面の形状を示す情報とを取得する情報取得手段と、

前記情報取得手段により取得された前記位置関係を示す情報と前記形状を示す情報とに基づいて、前記反射特性の計測に用いることが可能な計測条件の一部を、前記反射特性の計測に用いる計測条件として決定する決定手段とを有することを特徴とする情報処理装置。

【請求項 2】

前記計測条件は、光源と受光センサを有する計測手段における、前記光源と前記受光センサの間の位置関係を示す情報を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。

【請求項 3】

前記計測条件は、前記計測手段において、前記光源から放たれた光線が物体に反射して前記受光センサに到達する際の光の経路において、前記物体に入射する入射光の方向と、前記物体から出射する出射光の方向とを示す情報を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の情報処理装置。

【請求項 4】

前記位置関係を示す情報と前記形状を示す情報とに基づいて、前記仮想光源から放たれた光が前記仮想物体に反射されて前記仮想的な視点に到達する光の経路を取得する経路取得手段を更に有し、

前記決定手段は、前記経路取得手段により取得された前記光の経路に基づいて、前記光の経路に対応する反射特性の計測条件を決定することを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記光の経路は、前記仮想光源の位置と、前記仮想光源から出射される光が前記仮想物体に入射する位置と、前記仮想光源から前記仮想物体に入射した光が前記仮想物体から出射する位置と、前記仮想的な視点の位置を示す情報であることを特徴とする請求項 4 に記載の情報処理装置。

10

【請求項 6】

前記決定手段は、前記反射特性の計測に用いることが可能な計測条件の中から、前記仮想画像の生成に用いられない反射特性の計測条件のうちの少なくとも一部を除いた複数の計測条件を、前記反射特性の計測条件として決定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

前記決定手段により決定された計測条件に基づいて計測された実物体の反射特性を取得し、該取得した反射特性を用いて、前記実物体の前記仮想画像を生成する生成手段を更に有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

20

【請求項 8】

前記決定手段は、実物体の反射特性を計測する計測手段に、前記決定手段により決定された計測条件を出力する出力手段を有し、

前記生成手段は、前記出力手段によって前記計測手段に出力された前記計測条件を用いて前記計測手段に取得された反射特性を取得することを特徴とする請求項 7 に記載の情報処理装置。

【請求項 9】

前記決定手段は、

前記計測手段に出力する計測条件として、複数の計測条件を含む計測条件リストを生成し、

30

前記計測条件リストに含まれる各計測条件について、前記複数の計測条件の決定順とは異なる、反射特性の計測に用いる順序を、前記複数の計測条件の決定順として用いた場合よりも計測時間が短くなるように決定し、

前記出力手段は、前記順序を反映した前記計測条件リストを前記計測手段に出力することを特徴とする請求項 8 に記載の情報処理装置。

【請求項 10】

前記決定手段は、前記位置関係を示す情報に基づいて複数の計測条件を取得する条件取得手段と、

前記条件取得手段により取得された複数の計測条件を比較し、互いに類似する計測条件を判定する比較手段とを有し、

40

前記決定手段は、前記比較手段により互いに類似すると判定された計測条件のうちの少なくとも一つの計測条件を、前記反射特性の計測に用いない計測条件として決定することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 11】

前記決定手段は、既に計測済みの計測条件を示す情報を取得する手段を有し、

前記比較手段は、前記計測済みの計測条件と、前記条件取得手段により取得された複数の計測条件とを比較し、

前記決定手段は、前記条件取得手段により取得された複数の計測条件のうち、前記比較手段により、前記計測済みの計測条件と類似すると判定された計測条件のうちの少なくとも

50

も一つの計測条件を、前記反射特性の計測に用いない計測条件として決定することを特徴とする請求項 10 に記載の情報処理装置。

【請求項 12】

前記計測条件は、前記仮想物体を前記仮想的な視点から仮想的なカメラによって撮影した場合に得られる仮想画像の生成に用いる、物体の反射特性を計測するための計測条件であることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 13】

前記情報取得手段は、前記仮想的な視点に対応する仮想カメラの特性を示すカメラデータと、前記仮想光源の特性を示す光源データと、前記仮想物体の特性を示す物体データとを取得し、

10

前記経路取得手段は、前記カメラデータと前記光源データと前記物体データとに基づいて前記光の経路を算出することで、前記光の経路を取得することを特徴とする請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 14】

前記カメラデータは、前記仮想カメラにおける結像面の位置、方向、大きさ、画素数の情報を少なくとも含むことを特徴とする請求項 13 に記載の情報処理装置。

【請求項 15】

前記光源データは、前記光源の種類と強度を示す情報を少なくとも含むことを特徴とする請求項 13 に記載の情報処理装置。

【請求項 16】

20

前記物体データは、前記仮想物体の位置および形状を示す情報を少なくとも含むことを特徴とする請求項 13 に記載の情報処理装置。

【請求項 17】

前記反射特性は BRDF、BSRDF、BTf のうちの少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 乃至 16 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 18】

仮想光源と仮想物体が配置された仮想空間において、前記仮想物体を仮想的な視点から観察した場合に得られる仮想画像の生成に用いる、実空間における物体の反射特性を計測するための計測条件を決定する情報処理装置と、前記情報処理装置によって決定された前記計測条件を用いて物体の反射特性を計測する計測装置とを含む計測システムであって、

30

前記情報処理装置は、

前記仮想空間における、前記仮想光源と前記仮想物体と前記仮想的な視点との間の位置関係を示す情報と、前記仮想光源から放たれた光が入射する、前記仮想物体の面の形状を示す情報とを取得する情報取得手段と、

前記情報取得手段により取得された前記位置関係を示す情報と前記形状を示す情報とに基づいて、前記反射特性の計測に用いることが可能な計測条件の一部を、前記反射特性の計測に用いる計測条件として決定する決定手段と、を有し、

前記計測装置は、前記決定手段により出力された前記計測条件を用いて、物体の反射特性を計測する計測手段を有することを特徴とする計測システム。

【請求項 19】

40

仮想光源と仮想物体が配置された仮想空間において、前記仮想物体を所定の仮想的な視点から観察した場合に得られる仮想画像の生成に用いる、実空間における物体の反射特性を計測するための計測条件を決定する情報処理方法であって、

前記仮想空間における、前記仮想光源と前記仮想物体と前記仮想的な視点との間の位置関係を示す情報と、前記仮想光源から放たれた光が前記仮想物体に入射する、前記仮想物体の面の形状を示す情報とを取得する情報取得工程と、

前記情報取得工程により取得された前記位置関係を示す情報と前記形状を示す情報とに基づいて、前記反射特性の計測に用いることが可能な計測条件の一部を、前記反射特性の計測に用いる計測条件として決定する決定工程とを有することを特徴とする情報処理方法

。

50

【請求項 20】

コンピュータを、請求項 1 乃至 17 のいずれか一項に記載の情報処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は反射特性の計測に関する。

【背景技術】

【0002】

コンピュータグラフィックス（CG）により実物の質感を忠実に再現した画像を生成する技術が存在する。現実中存在する物体の質感を反映した仮想空間中の物体のCG画像を生成するためには、実物について計測された反射特性に基づいたレンダリングを行う必要がある。反射特性として、金属などの不透明な物体の反射特性を示す双方向反射率分布関数（BRDF）や、人の肌や大理石などの入射光が物体内部に侵入し散乱を生じるような半透明物体の反射特性を示す双方向散乱面反射率分布関数（BSBRDF）などが存在する。これらの反射特性はいずれも多変数関数であり、入射光方向や出射光方向などの各変数に対して密な計測を行うことは手間がかかる。例えば金属光沢におけるBRDFは、金属の種類や表面加工にもよるが、ピーク幅が1[deg]未満と鋭い光沢を有することも多い。このように鋭い光沢を計測するためには、BRDF計測の標本化幅を十分狭める必要があるといえる。仮に、入射光方向と出射光方向とに対して1[deg]毎にBRDFを計測すると、計測回数は約3億5千万回にもものぼる。このような大規模の計測は、計測時間の観点から非現実的であり、また計測データ量が膨大になるという課題がある。

10

20

【0003】

そこで、これらの反射特性の計測に要する時間を短縮したり、必要な記憶領域を低減する手法が提案されている。特許文献1では、CCDラインカメラを用いることにより、多くの出射方向の反射率を一度に取得することで、反射特性の計測時間を低減している。また、特許文献2では計測対象を布素材に限定することで、計測する入射方向と出射方向を制限し、少ない計測回数で反射特性の取得を実現している。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献1】特表2002-500754号公報

【特許文献2】特開2007-26049号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に記載の技術では、ラインカメラのカメラ密度に限界があることや、一度に計測できるのがライン上に限られるといった制約の為に、BRDFの網羅的な計測のための計測回数を十分低減できない。また、特許文献2に記載の技術では、計測回数や記憶領域のある程度の低減は可能なものの、計測対象の素材の種類を限定しているため、素材の種類に対する汎用性が低いという課題がある。そこで本発明では、反射特性の計測時間および計測結果のデータ量を削減する、汎用性の高い方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明に係る情報処理装置は、仮想光源と仮想物体が配置された仮想空間において、前記仮想物体を所定の仮想的な視点から観察した場合に得られる仮想画像の生成に用いる、実空間における物体の反射特性を計測するための計測条件を決定する情報処理装置であって、前記仮想光源から放たれた光が前記仮想物体に入射する、前記仮想物体の面の形状を示す情報とを取得する情報取得手段と、前記情報取得手段に

50

より取得された前記位置関係を示す情報と前記形状を示す情報とに基づいて、前記反射特性の計測に用いることが可能な計測条件の一部を、前記反射特性の計測に用いる計測条件として決定する決定手段とを有する。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、反射特性の計測時間および計測結果のデータ量を削減することができる、汎用性の高い方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】反射特性計測システムの構成例を示す図。

10

【図2】実施例1の情報処理装置の構成を示すブロック図。

【図3】実施例1の反射特性計測システムの構成を示すブロック図。

【図4】実施例1の情報処理装置で行われる処理の流れを示すフローチャート。

【図5】仮想物体上での光の反射を説明する図。

【図6】実施例1の光線経路取得処理の流れを示すフローチャート。

【図7】実施例1の設定部の構成を示すブロック図。

【図8】実施例1の計測条件設定処理の流れを示すフローチャート。

【図9】仮想物体上での光の二次反射を説明する図。

【図10】実施例2の光線経路取得処理の流れを示すフローチャート。

【図11】半透明物体上での光線経路を説明する図。

20

【図12】実施例3の光線経路取得処理の流れを示すフローチャート。

【図13】計測条件の表示例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

<実施例1>

本実施例では、現実存在する物体（実物体）の質感を反映した仮想空間中の物体（仮想物体）のCG画像を生成するために、実物体の反射特性を計測する計測システムについて説明する。本実施例の計測システムは、仮想物体および仮想光源が存在する仮想空間において、特定の視点から仮想物体を観察したCG画像を生成する際、そのCG画像の生成に必要な反射特性のみを計測する。これにより、全ての条件における反射特性を網羅的に計測しなくても目的のCG画像を得ることができるので、反射特性の計測時間およびデータ量を削減することができる。

30

【0010】

図1に、本実施例に係る反射特性の計測システムの構成例を示す。本システムは、反射特性の計測条件の算出処理などの後述する各種の処理を行う情報処理装置101、BRDFの計測を行う計測装置102、情報処理装置101により生成されたCG画像を表示する表示装置103により構成される。なお、計測装置102の計測方法に制限はない。例えば、本実施例ではゴニオリフレクトメータを用いてBRDFの計測を行っているが、特許文献1に示されるようなラインセンサを用いてもよい。ゴニオリフレクトメータは、光源と受光センサを備えた計測装置である。ゴニオリフレクトメータは、光源からサンプルに入射する光の角度と、サンプルと受光センサの間の角度をそれぞれ二軸で変更可能であり、様々な入射角度と出射角度の組み合わせについてBRDFを計測することができる。また、表示装置103の表示機構にも制限はない。例えば液晶ディスプレイやプラズマディスプレイ、有機ELディスプレイを用いてもよいし、液晶プロジェクタやDLPプロジェクタなどによって映像が投影されるスクリーンを用いてもよい。

40

次に、図2に情報処理装置101（以下、処理装置101とする）の構成を示す。

【0011】

処理装置101は、CPU201、RAM202、ROM203、HDDインタフェース（I/F）204、HDD205、通信I/F206、GPU207、VRAM208、出力I/F209、システムバス210で構成される。

50

【 0 0 1 2 】

CPU 201は、RAM 202をワークメモリとして、ROM 203及びHDD 205に格納されたプログラムを実行し、システムバス210を介して処理装置101内の各構成を統括的に制御する制御部である。HDD I/F 204は、例えばシリアルATA等のインタフェースであり、二次記憶装置としてのHDD 205をシステムバス210に接続する。CPU 201は、HDD I/F 204を介してHDD 205からのデータの読み出しおよびHDD 205へのデータの書き込みが可能である。さらにCPU 201は、HDD 205に格納されたデータをRAM 202に展開し、同様に、RAM 202に展開されたデータをHDD 205に保存することが可能である。CPU 201は、RAM 202に展開したデータをプログラムとみなし、実行することができる。なお、二次記憶装置はHDDの他、フラッシュメモリや光ディスクドライブ等の記憶デバイスでもよい。通信I/F 206は、例えばRS 232C等のインタフェースであり、処理装置101を計測装置102とを接続する。この通信I/F 206を介して処理装置101と計測装置102との間でBRDFの計測条件と計測結果とが送受信される。GPU 207は、出力I/F 209を介して表示装置103に出力するための画像を処理するプロセッサであり、VRAM 208はGPU 207のワークメモリとして機能するメモリである。なお、処理装置101の構成は上記に示したものに限られず、本実施例と同様の効果が得られる構成であれば様々な形態を取ることが可能である。

10

【 0 0 1 3 】

次に、本実施例の処理装置101で行われる処理について説明する。図3は、本実施例の計測システムの処理ブロックを示すブロック図である。本実施例において、処理装置101は、CPU 201がROM 203に記憶された図4のフローチャートに示すプログラムを実行し、処理装置101内の各構成部を制御することで、図3に示す各ブロックとして機能する。次に、処理装置101で行われる処理の流れを、図3および図4を参照して説明する。

20

【 0 0 1 4 】

まず、ステップS401では、シーンデータ取得部301がHDD I/F 204を介してHDD 205などの二次記憶装置に保存されているシーンデータを読み込む。シーンデータは、生成するCGの仮想空間の情報を示すデータであり、少なくとも仮想物体データと仮想カメラデータと仮想光源データとを含む。仮想物体データは仮想空間における仮想物体の情報を示すデータであり、少なくとも仮想物体の位置および形状を示すデータを含んでいる。また、仮想カメラデータは、仮想空間において仮想物体を観察し、撮影する仮想カメラの情報示すデータであり、少なくとも仮想カメラの位置と向きを含む。その他、仮想カメラの結像面であるセンサの大きさやセンサの画素数など、仮想カメラに入射した光線がセンサのどの画素に対応するのかを算出するための情報を含んでいる。仮想光源データは、仮想空間において仮想物体を照らす光源の情報示すデータであり、少なくとも光源モデルの種類と強度とを示すデータを含む。なお、本実施例では、光源モデルとして点光源を用いている。点光源を用いる場合には、光源位置の情報が必要であるため、本実施例の仮想光源データには光源位置を示すデータが含まれている。

30

【 0 0 1 5 】

図5はシーンデータが示す仮想空間の例である。シーンデータが示す仮想空間には、仮想カメラ501、仮想物体502および仮想光源503が存在している。点光源である仮想光源503から射出された光線は、仮想物体502上の点Pで反射され、仮想カメラ501のピンホールEを通過して画素Sへと入射する。本実施例では、この点Pにおける光の入射角度および出射角度を反射特性の計測条件として用いることになる。シーンデータ取得部301は、仮想物体データ取得部302と仮想カメラデータ取得部303と仮想光源データ取得部304とから構成されており、それぞれが自身に対応した仮想空間情報を取得する。シーンデータ取得部301は、取得したシーンデータを経路取得部305および生成部308へと出力する。なお、仮想物体データ取得部302と、仮想カメラデータ取得部303と、仮想光源データ取得部304が1つの取得部により構成され、それぞれ

40

50

が取得するデータを一括で取得できるような構成としてもよい。

【 0 0 1 6 】

ステップ S 4 0 2 では、経路取得部 3 0 5 が、シーンデータ取得部 3 0 1 から出力されたシーンデータに基づいて、仮想空間において仮想光源から放たれた光線が仮想カメラの各画素に到達するまでの光線経路を取得する。ここで行われる処理の詳細については後述する。なお、ここで光線経路は光源 L の座標、ピンホール E または画素 S の座標、および仮想物体上の反射点 P の座標で表わされる。なお、光線経路として出力される情報はこれに限られず、光線の通る道筋を定義する情報であればよい。経路取得部 3 0 5 は、取得した光線経路を設定部 3 0 6 へと出力する。ステップ S 4 0 3 では、設定部 3 0 6 が、経路取得部 3 0 5 から出力された光線経路をもとに、CG 画像の生成に必要な反射特性を計測するための計測条件を設定する。この処理についても後述する。

10

【 0 0 1 7 】

計測部 3 0 7 は、設定部 3 0 6 から入力された計測条件に基づいて反射特性の計測を行い、計測した反射特性を生成部 3 0 8 へと出力する。ステップ S 4 0 4 では、生成部 3 0 8 が、計測部 3 0 7 から入力された反射特性を取得する。

【 0 0 1 8 】

ステップ S 4 0 5 では、生成部 3 0 8 が、計測装置 1 0 2 から出力された反射特性と、シーンデータ取得部 3 0 1 から出力された反射特性とを用いて、CG 画像を生成する。ここで生成される CG 画像は、反射特性の計測対象である実際の物体（実物体）の質感を反映した仮想物体の画像である。つまりここでは、あたかも反射特性の計測対象である物体の素材で、所定の形状の物体を作り出したような仮想物体を、所定の視点から観察したかのような画像が生成される。CG 画像における各画素の画素値は、仮想カメラの各画素に入射する放射輝度によって決定される。ある画素に入射する仮想物体上の点 P からの放射輝度 L_r は以下の式で表わされる。

20

【 0 0 1 9 】

【 数 1 】

$$L_r = L_i f_r(\vec{\omega}_v, \vec{\omega}_o) \max(0, \vec{n} \cdot \vec{\omega}_i) \cdots (1)$$

【 0 0 2 0 】

ここで、 L_i は、その画素に入射する光線に対応する仮想物体上の点 P に入射する光の光量であり、 \vec{n} は点 P における法線ベクトル、 f_r は、点 P に入射する光の入射光ベクトル $\vec{\omega}_i$ および出射光ベクトル $\vec{\omega}_o$ に対応する BRDF である。式 (1) を仮想カメラの全画素に対して適用することで CG 画像を生成する。また、CG 画像の画素値としては式 (1) によって算出される放射輝度 L_r をそのまま用いてもよいし、 L_r の値にガンマ補正などのトーンマッピングを施してもよい。

30

【 0 0 2 1 】

最後に、ステップ S 4 0 6 では、生成部 3 0 8 が、ステップ S 4 0 5 で生成した CG 画像を、表示装置 1 0 3 の表示部 3 0 9 に出力して処理を終了する。表示部 3 0 9 は、生成部 3 0 8 から出力された CG 画像を受取り、表示する。以上が本実施例の処理装置 1 0 1 で行われる処理の流れである。

40

【 0 0 2 2 】

次に、経路取得部 3 0 5 で行われる処理（ステップ S 4 0 2）の詳細について、図 6 に示す仮想空間の概略図および図 6 に示すフローチャートを参照して説明する。図 6 は、ステップ S 4 0 2 で行われる処理の詳細を示すフローチャートである。ステップ S 6 0 1 では、経路取得部 3 0 5 が、シーンデータが示す仮想カメラの画素のうち一つを処理対象の画素 S として選択する。ステップ S 6 0 2 では、経路取得部 3 0 5 が、画素 S に入射する光線を示す直線として、画素 S とピンホール E を通る直線 ES を求める。仮想カメラ 5 0 1 はピンホールカメラであるので、画素 S に入射する光線は直線 ES として一意に決定することができる。シーンデータにより仮想カメラ 5 0 1 中のピンホール E および画素 S の仮想空間中の座標が分かっているので、それらの座標を用いて直線 ES は決定される。ス

50

ステップS603では、経路取得部305が、直線ESが仮想物体502と交差するか否かを判定する。これにより、画素Sに反射光が入射するか否かを判定することができる。直線ESと仮想物体502が交差するか否かは、仮想物体502上に展開されたメッシュと直線ESとの交点が存在するか否かに基づいて判定される。仮想物体データには、仮想物体502を示す情報として、仮想物体502を構成する複数のメッシュ点の座標が格納されている。最近傍に存在する3つのメッシュ点の座標から、その3つのメッシュ点で構成されるメッシュを示す平面の方程式および定義域を求めることができる。本実施例では、直線ESと各メッシュを示す平面の方程式の交点が、各メッシュの定義域内に存在するか否かに基づいて、直線ESと仮想物体502の交差を判定する。なお、交差の判定には他の方法を用いてもよい。例えば、仮想物体データに最初からメッシュを示す方程式の情報を格納しておいたり、仮想物体502と交差する直線の定義域をあらかじめ求めたものを格納しておき、その交差直線のデータと比較するようにしてもよい。直線ESが仮想物体502と交差しないと判定された場合、画素Sに反射光が入射しないため、ステップS608に進む。直線ESが仮想物体502と交差すると判定された場合、ステップS604に進む。

10

【0023】

ステップS604では、経路取得部305が直線ESと仮想物体502との交点Pの座標を取得する。直線ESと仮想物体502との交点が複数存在する場合は、ピンホールEに最も近い交点の座標を交点Pの座標として出力する。つまり、直線ESと仮想物体502との交点のうち、仮想物体502の裏側の点の座標は交点Pと判定されないため、反射光が画素Sに入射する可能性のない、仮想物体502の裏側の点を確実に除外することができる。ステップS605では、経路取得部305が、光源Lと交点Pを通る線分PLを求める。そして、ステップS606では、経路取得部305が、線分PLが点P以外で仮想物体502と交差するか否かを判定する。交差の判定方法はステップS603と同様である。これにより、交点Pに光が入射するか否かを判定することができる。線分PLが点P以外でも仮想物体と交差すると判定された場合、交点Pに光線が入射されないため、その交点Pを通る光の経路は存在しないと判定され、ステップS608に進む。線分PLが点P以外で仮想物体502と交差しないと判定された場合、光源Lから交点Pに入射する光線が存在するため、ステップS607に進む。ステップS607では、経路取得部305が、点S、点P、点Lの座標を光線経路として設定部306に出力する。そして最後に、ステップS608では、経路取得部305が、全ての画素に対してステップS601～S607の処理を行ったか否かを判定する。全ての画素に対して処理が行われていないと判定された場合、ステップS601に戻り、経路取得部305は新たな画素を処理対象の画素として選択する。全ての画素に対して処理が行われたと判定された場合はそこで処理を終了する。

20

30

【0024】

以上が経路取得部305で行われる処理の詳細である。次に、設定部306で行われる処理(ステップS403)の詳細について、図7に示すブロック図と、図8に示すフローチャートを用いて説明する。図7は設定部306の構成を示すブロック図であり、図8はステップS403の細部を示すフローチャートである。

40

【0025】

ステップS801では、設定部306が、計測条件リスト704を空集合として初期化する(ステップS801)。計測条件リスト704は、計測装置102へと出力する、BRDFの計測条件のリストである。BRDFはある点への光の入射角度と出射角度をパラメータとする変数であるので、BRDFの計測条件は、ある点への光の入射方向ベクトル \mathbf{o}_i と出射方向ベクトル \mathbf{o}_o の組である($\mathbf{o}_i, \mathbf{o}_o$)で表わされる。計測装置102は、この計測条件に基づいて、光源とセンサの位置関係を変化させてBRDFの計測を行う。もちろん、これはベクトルではなく入射光と出射光の角度で表現されてもよい。なお、初期化は本実施例の処理が終わったタイミングで行ってあれば、スキップしてもよい。

【0026】

50

ステップS802では、計測条件取得部701（以下、条件取得部701とする）が、経路取得部305から出力された仮想カメラ光線経路に対応するBRDFの計測条件を取得する。経路取得部305の出力から、点S、点P、点Lの座標が分かっているので、条件取得部は、点S、点P、点Lの座標を以下の式に代入することで（ i ， o ）を求める。

【0027】

【数2】

$$\vec{\omega}_1 = \frac{\vec{L}-\vec{P}}{|\vec{L}-\vec{P}|} \cdot \cdot \cdot (2)$$

10

【0028】

【数3】

$$\vec{\omega}_o = \frac{\vec{S}-\vec{L}}{|\vec{S}-\vec{L}|} \cdot \cdot \cdot (3)$$

【0029】

なお、BRDFの計測における標準化点である入射光ベクトルと出射光ベクトルは、一般的に接空間で表されることが多い。交差点Pにおける法線ベクトルを n 、接ベクトルを t 、従法線ベクトルを b とすると、世界座標系から接空間座標系に変換する行列Tは

20

【0030】

【数4】

$$T = (\vec{t} \quad \vec{b} \quad \vec{n})^t \cdot \cdot \cdot (4)$$

【0031】

と表される。この行列Tを用いて接空間に座標変換すればよい。以降では標準化点における入射光ベクトルと出射光ベクトルとは接空間の座標系に変換されているものとして説明する。条件取得部701は、取得した計測条件を比較部702に出力する。この処理によれば、仮想物体502に反射されて仮想カメラ501に入射する光の経路に対応する計測条件が、反射特性の計測に用いる計測条件の候補として決定される。つまり、仮想画像の生成に用いられない反射特性の計測条件を除いた複数の計測条件から、計測に用いる計測条件が決定されるため、反射特性の計測に要する時間および計測結果のデータ量を削減することができる。なお、必ずしも仮想画像の生成に用いられない反射特性の計測条件の全てを除く必要はなく、使用頻度の高い反射特性に関しては仮想画像の生成に用いられない場合であっても、別の仮想画像の生成を行う場合を考慮して計測条件を設定するようにしてもよい。

30

【0032】

ステップS803では、比較部702が、条件取得部701から取得した計測条件と、既に計測条件リスト704に格納されている計測条件との比較を行う。比較部702は、条件取得部701から取得した計測条件と、計測条件リスト704に格納されている計測条件との類似度を算出し、算出した類似度が任意に定める閾値を超えているか動かに基づいて、2つの計測条件が類似しているか否かを判断する。2つの計測条件（ i_1 ， o_1 ）と（ i_2 ， o_2 ）との類似度 d は、球面上を移動する計測装置102の光源と受光部の移動距離を反映するように算出する。具体的には、単位球面上に張る2つの単位ベクトルの測地線距離をもとに、以下の式を用いて算出する。

40

【0033】

【数5】

$$d = |\arccos(\vec{\omega}_{i1} \cdot \vec{\omega}_{i2})| + |\arccos(\vec{\omega}_{o1} \cdot \vec{\omega}_{o2})| \cdot \cdot \cdot (5)$$

50

【 0 0 3 4 】

なお、計測条件間の類似度の定め方はこれに限られず、四次元空間上の点として表わされる2つの計測条件の、2点間のユークリッド距離を用いてもよいし、計測装置102の性質に応じて変数に重みづけしてもよい。

【 0 0 3 5 】

ステップS804では、比較部702が、計測条件リスト704の中に、条件取得部701から取得した計測条件と類似する計測条件が含まれているか否かを判定する。計測条件リスト704の中に類似する計測条件が含まれていると判定された場合、ステップS802に戻り、別の画素に対応する新たな計測条件を取得する。計測条件リスト704の中に類似する計測条件が含まれていないと判定された場合、比較部702は条件取得部701から取得した計測条件を追加部703に出力する。

10

【 0 0 3 6 】

ステップS805では、追加部703が、比較部702から出力された計測条件を計測条件リスト704に追加する(ステップS805)。ステップS806では、比較部702が、全ての計測条件について比較が行われたか否かを判定する。全ての計測条件について比較が行われていないと判定された場合、ステップS802に戻り、別の画素に対応する新たな計測条件を取得する。全ての計測条件について比較が行われたと判定された場合、ステップS807に進む。最後に、ステップS807では、出力部705が、計測条件リスト704を読み出して計測装置102に出力し、処理を終了する。

【 0 0 3 7 】

20

以上が本実施例の処理装置101で行われる処理である。以上の処理によれば、生成するCG画像の生成に必要なBRDFだけを計測してCG生成を行うので、BRDFの計測時間や計測データ量を大幅に削減することができる。例として、角度分解能を1degとした時の場合を挙げる。この時、BRDFの計測角度の組の総数は約6億9千万組となるが、本実施例によれば、解像度1920×1080ピクセルのCG画像を生成するために必要な計測角度の組の総数は207万組以下となり、99%以上の削減が見込まれる。

【 0 0 3 8 】

なお、本実施例において、経路取得部305は、仮想光源から放たれた光が仮想物体に反射されて仮想的な視点に到達する光の経路を取得する経路取得手段として機能する。設定部306は、前記経路取得手段により取得された前記光の経路に基づいて、前記反射特性の計測条件を決定する決定手段として機能する。また、生成部308は、前記決定手段により決定された計測条件に基づいて計測された実物体の反射特性を取得し、該取得した反射特性を用いて、前記仮想画像を生成する生成手段として機能する。また、出力部705は、前記決定手段は、実物体の反射特性を計測する計測手段に、前記決定手段により決定された計測条件を出力する出力手段として機能する。また、計測部307は、実物体の反射特性を計測する計測手段として機能する。

30

【 0 0 3 9 】

< 実施例2 >

実施例1では、CG画像を生成する際に、仮想光源から仮想物体に一度だけ反射されて仮想カメラに到達する光線(直接光)のみを考慮する場合について説明した。本実施例においては、仮想物体の表面上で二次反射が生じ、仮想カメラに間接的に照射される光線(間接光)を考慮した計測条件設定の例について説明する。図9は、仮想空間において生じる二次反射を示す模式図である。光源503から射出された光線は、仮想物体502上の点P₂に入射される。そして、点P₂において反射された光線は、点P₁に入射され、点P₁に入射された光線は反射されて画素Sに入射される。こういった間接光を考慮したCG画像を生成する際には、光線経路L - P₂ - P₁における反射特性と、光線経路P₂ - P₁ - Sにおける反射特性を計測することが必要となる。

40

【 0 0 4 0 】

本実施例では、ステップS402の光線経路の取得処理と、ステップS802の計測条件取得処理の内容が実施例1と異なる。以下、本実施例の処理装置101において行われ

50

る光線経路取得処理について、図 9 の模式図と、図 10 のフローチャートを参照して説明する。なお、実施例 1 と同様のステップについては図 6 と同様の符号を付し、説明を省略する。

【 0 0 4 1 】

ステップ S 1 0 0 1 では、経路取得部 3 0 5 が、直線 E S と仮想物体 5 0 2 の交点の座標を、反射光が入射する点 P_1 の座標として取得する。交点が複数存在する場合は、ピンホール E に最も近い交点の座標を点 P_1 の座標として取得する。次に、ステップ S 1 0 0 2 では、経路取得部 3 0 5 が、点 P_1 に入射する光線の方法を選択し、選択された光線方法に対応する直線を取得する。点 P_1 に入射する光線の方法としては点 P_1 の周囲のあらゆる方法が候補として設定されており、ここでは、経路取得部 3 0 5 がその中の一つをランダムに選択する。もちろん、入射方法の選択は何らかの法則に従って行われてもよい。次に、ステップ S 1 0 0 3 では、経路取得部 3 0 5 が、選択した入射光が仮想物体 5 0 2 と交差するかどうかを判定する。これにより、選択した入射光が仮想物体 5 0 2 からの反射光であるかどうかを判定することができる。選択した入射光が仮想物体 5 0 2 と交差しないと判定された場合、その方法から P_1 に入射する反射光は存在しないので、ステップ S 1 0 0 2 に進み新たな方法を選択する。選択した入射光が仮想物体 5 0 2 と交差すると判定された場合、ステップ S 1 0 0 4 に進む。

【 0 0 4 2 】

ステップ S 1 0 0 4 では、経路取得部 3 0 5 が、 P_1 への入射光と仮想物体 5 0 2 との交点 P_2 の座標を取得する。交点が複数存在する場合は、点 P_1 に最も近い交点を点 P_2 の座標として取得する。次に、ステップ S 1 0 0 5 では、経路取得部 3 0 5 が、点 L と点 P_2 を通る線分 $P_2 L$ を取得する。そして、ステップ S 1 0 0 6 では、経路取得部 3 0 5 が、線分 $P_2 L$ が点 P_2 以外で仮想物体 5 0 2 と交差するかどうかを判定する。これにより、光源 L から点 P_2 に入射する光が存在するかどうかを判定することができる。線分 $P_2 L$ が点 P_2 以外で仮想物体 5 0 2 と交差すると判定された場合、光源 L からの光は仮想物体 5 0 2 に遮られて点 P_2 に到達しないので、点 P_1 と P_2 を通る二次の間接光が存在しないと判定し、ステップ S 1 0 0 2 に戻る。線分 $P_2 L$ が点 P_2 以外で仮想物体 5 0 2 と交差しないと判定された場合、ステップ S 1 0 0 7 に進む。ステップ S 1 0 0 7 では、間接光の光線経路として、点 S、点 P_1 、点 P_2 、点 L の座標を設定部 3 0 6 に出力し、ステップ S 1 0 0 8 に進む。ステップ S 1 0 0 8 では、経路取得部 3 0 5 が、点 P_1 への入射光の方法が全て選択済みになったかどうかを判定する。入射光の方法が全て選択済みではないと判定された場合は、ステップ S 1 0 0 2 に戻り新たな方法の選択を行う。入射光の方法が全て選択済みと判定された場合は、ステップ S 6 0 8 に進み、処理済み画素の判定を行って処理を終了する。

【 0 0 4 3 】

以上が本実施例の経路取得部 3 0 5 で行われる処理の流れである。なお、本実施例の経路取得部からは、S、 P_1 、 P_2 、L の 4 つの点の座標が経路として出力されるため、条件取得部 7 0 1 で行われる処理が実施例 1 とは異なる。本実施例の条件取得部 7 0 1 では、点 P_1 での反射の方法に基づく第一の計測条件と、点 P_2 での反射の方法に基づく第二の計測条件の二つの計測条件が取得される。第一の計測条件を (i_1 , o_1)、第二の計測条件を (i_2 , o_2) とすると、それぞれの計測条件は以下の式で表わされる。

【 0 0 4 4 】

【 数 6 】

$$\overrightarrow{\omega_{1,P_1}} = \frac{\overrightarrow{P_2 - P_1}}{|\overrightarrow{P_2 - P_1}|} \quad \overrightarrow{\omega_{0,P_1}} = \frac{\overrightarrow{S - P_1}}{|\overrightarrow{S - P_1}|} \cdot \cdot \cdot (6)$$

【 0 0 4 5 】

【数 7】

$$\vec{\omega}_{1,P_2} = \frac{\vec{L}-\vec{P_2}}{|\vec{L}-\vec{P_2}|} \quad \vec{\omega}_{0,P_2} = \frac{\vec{P_1}-\vec{P_2}}{|\vec{P_1}-\vec{P_2}|} \cdot \cdot \cdot (7)$$

【0046】

条件取得部 701 は、経路取得部 305 から出力された 4 点の座標が示す位置ベクトルを上記の式 6 および 7 に代入し、第一および第二の計測条件を取得する。そして、条件取得部 701 は取得した第一および第二の計測条件を比較部 702 に出力して、設定部 306 は残りの処理を実施例 1 と同様に行う。

10

【0047】

以上が、本実施例の処理装置 101 で行われる処理である。以上の処理によれば、直接光だけではなく間接光も考慮した計測条件の設定を行うことができるので、より高精度な CG 画像の生成を行うことができる。なお、上記に示した光線経路の取得法はパストレーシング法と呼ばれるが、光線経路の取得法はこれに限られない。例えば、フォトンマップ法や双方向パストレーシング法を使用してもよい。また、本実施例では、二次反射までを考慮した間接光の光線経路探索を行ったが、より高次の反射を考慮した光線経路の探索を行ってもよい。

【0048】

< 実施例 3 >

20

実施例 1 および実施例 2 では、反射特性を B R D F でモデル化する例について説明した。本実施例においては、仮想物体の表面に入射した光が仮想物体内部で散乱を生じるような半透明の物体の例について説明する。このような半透明物体の反射特性は双方向散乱面反射率分布関数 (B S S R D F) によって表される。なお、光源としては実施例 1 および 2 と同様に、点光源が 1 個配置されているものとして説明する。図 11 は、半透明の物体における反射光の光線経路を示す図である。光源 503 から射出された光線は仮想物体 502 の点 Q に入射し、点 Q に入射した光は仮想物体 502 の内部を散乱しながら進行し、点 P から出射して画素 S に入射する。このような物体の反射特性である B S S R D F は、B R D F とは異なり、入射光と出射光の方向だけではなく、物体への入射点と物体からの出射点の座標もパラメータとする変数である。入射光の方向を表わす入射光ベクトルを $\vec{\omega}_i$ 、出射光の方向を表わす出射光ベクトルを $\vec{\omega}_o$ 、入射点の座標を x_i 、出射点の座標を x_o とすると、1 つの B S S R D F の計測条件は $(\vec{\omega}_i, x_i, \vec{\omega}_o, x_o)$ と表わされる。B S S R D F の計測では、仮想物体 502 上で光源 L から光が入射する点全てが入射点の候補となり、仮想物体 502 上で出射した光が画素 S に入射する全ての点が出射点の候補となる。そこで、本実施例の光線経路取得処理では、入射点の候補リストと出射点の候補リストをそれぞれあらかじめ作成し、その候補リストから入射点と出射点の任意の組み合わせを選択して光線経路として出力する。

30

【0049】

以下、本実施例の光線経路取得処理を図 11 の模式図と、図 12 に示すフローチャートを参照して説明する。ステップ S1201 では、経路取得部 305 は、仮想物体 502 の表面に放射照度を記憶 (放射照度キャッシュ) するための点群 (放射照度キャッシュ点群) を配置する。図 11 において、複数存在する点 1101 がそれぞれの放射照度キャッシュ点である。放射照度キャッシュ点群は仮想物体の表面に出来るだけ等間隔に配置することが望ましい。放射照度キャッシュ点 1101 は、例えば Poisson Disc Sampling 手法によって配置した初期点に対し、Reaction Diffusion 手法などを用いて等間隔に配置する。なお、放射照度キャッシュ点群の配置方法に制約はなく、計算精度や計算効率は劣るが、一様乱数によって配置してもよい。このステップでは、経路取得部 305 は、生成した各放射照度キャッシュ点の座標を RAM202 に記憶しておく。次に、ステップ S1202 では、経路取得部 305 が、ステップ S1201 で生成した放射照度キャッシュ点群の中から、光源 L からの光線が入射する入射点の候

40

50

補として１つのキャッシュ点Ｑを選択する。

【００５０】

次に、ステップＳ１２０３では、経路取得部３０５が、ステップＳ１２０２で選択した点Ｑと光源Ｌを通る線分ＱＬを取得する。そして、ステップＳ１２０４では、経路取得部３０５が、線分ＱＬが点Ｑ以外で仮想物体５０２と交差するか否かを判定する。線分ＱＬが点Ｑ以外で仮想物体５０２と交差する場合、光源Ｌからの光は直接点Ｑに入射しないので、ステップＳ１２０２に戻って新たなキャッシュ点を選択する。線分ＱＬが点Ｑ以外で仮想物体５０２と交差しないと判定された場合、ステップＳ１２０５に進む。

【００５１】

ステップＳ１２０５では、経路取得部３０５が、ステップＳ１２０２が、光源Ｌからの光線が入射する入射点の候補であるとして、点Ｑの座標をＲＡＭ２０２に保存された入射点候補リストに追加する。次に、ステップＳ１２０６では、経路取得部３０５が、全てのキャッシュ点Ｑが選択済みか否かを判定する。全てのキャッシュ点Ｑが選択済みであると判定された場合は、ステップＳ６０１に進む。全てのキャッシュ点Ｑが選択されていないと判定された場合は、ステップＳ１２０２に戻り新たなキャッシュ点Ｑを選択する。

ステップＳ６０１～Ｓ６０４では、実施例１と同様の処理が行われ、仮想カメラ５０１上の画素Ｓに対応する仮想物体５０２上の点Ｐの座標が算出される。そして、ステップＳ１２０７では、経路取得部３０５が、ステップＳ６０４で算出された点Ｐの座標をＲＡＭ２０２に保存された出射点候補リストに追加する。そして、ステップＳ６０８では、実施例１と同様に、全ての画素が処理されたか否かが判断される。全ての画素が処理されたと判断された場合、ステップＳ１２０８に進む。ステップＳ１２０８では、経路取得部３０５が、ＲＡＭ２０２に保存された入射点候補リストと出射点候補リストを参照し、入射点と出射点の任意の組み合わせを選択する。本実施例では、この入射点と出射点の組み合わせが光線経路として扱われる。そして、ステップＳ１２０９では、経路取得部３０５が、ステップＳ１２０８で選択された光線経路を設定部３０６に出力する。そして、ステップＳ１２１０では、経路取得部３０５が、選択可能な光線経路の全てを出力したか否かを判定する。全ての光線経路が出力されたと判定されない場合は、ステップＳ１２０８に戻り新たな光線経路を出力する。全ての光線経路が出力されたと判定された場合は処理を終了する。

【００５２】

以上が本実施例の経路取得部３０５で行われる処理の流れである。条件取得部７０１で行われる処理は基本的には実施例１と同様であるが、本実施例ではＢＲＤＦではなくＢＳＳＲＤＦを取得するので、計測条件の取得に用いる式が異なる。条件取得部７０１では、 (x_i, x_o) で表わされるデータが計測条件として取得される。この際、計測条件中の各パラメータは、経路取得部３０５から出力された点Ｐ、点Ｑの座標および、ＲＡＭ２０２に保存された光源Ｌと視点Ｅの座標に基づいて、以下の式を用いて計算される。

【００５３】

【数８】

$$(x_i, \vec{\omega}_i, x_o, \vec{\omega}_o) = \left(Q, \frac{\vec{L}-\vec{Q}}{|\vec{L}-\vec{Q}|}, P, \frac{\vec{P}-\vec{E}}{|\vec{P}-\vec{E}|} \right) \quad \cdots (8)$$

【００５４】

また、本実施例では、ＢＲＤＦではなくＢＳＳＲＤＦをＣＧ生成に用いる場合を考慮しているので、生成部３０８で画像生成に用いられる式も異なる。仮想カメラのある画素に入射する光の放射輝度 L_r は、その光が出射される点Ｐの座標 x_o と、出射光のベクトル $\vec{\omega}_o$ を用いて以下の式により表わされる。

【００５５】

【数 9】

$$L_r(x_o, \overrightarrow{\omega_o}) = \sum_k^{n_p} A_k L_i(x_{i,k}, \overrightarrow{\omega_{i,k}}) S(x_{i,k}, \overrightarrow{\omega_{i,k}}, x_o, \overrightarrow{\omega_o}) \max(0, \overrightarrow{n(x_{i,k})} \cdot \overrightarrow{\omega_i}) \cdots (9)$$

【0056】

ここで、 n_p は放射照度キャッシュ点の総数、 A_k は k 番目の放射照度キャッシュ点の重み係数、 $x_{i,k}$ は k 番目の放射照度キャッシュ点の位置、 $\overrightarrow{\omega_{i,k}}$ は k 番目の放射照度キャッシュ点に入射する光線の方向ベクトルである。また、 $L_i(x_{i,k}, \overrightarrow{\omega_{i,k}})$ は $x_{i,k}$ における $\overrightarrow{\omega_{i,k}}$ 方向の入射光の強さ、 S は B S S R D F、 $\overrightarrow{n(x_{i,k})}$ は $x_{i,k}$ における法線方向を示すベクトルである。

【0057】

以上の処理によれば、半透明の物体を想定した C G 画像を生成する場合でも、その C G 画像の生成に必要な反射特性の計測条件を効率よく求めることができる。

【0058】

< その他の実施形態 >

(平行処理)

上記の実施例では、ステップ S 4 0 3 において、反射特性を計測すべき全ての計測条件を設定してから反射特性の計測や画像の生成処理を実行する例について説明したが、必ずしもこのような処理にする必要はない。例えば、計測条件リストに新たに追加された計測条件をすぐに計測装置に出力するなどして、計測条件の設定と反射特性の計測を平行して行うことができる。計測条件の導出に時間がかかるような場合は、この方が反射特性計測の時間を短縮することができる。また、計測条件の導出に時間がかからない場合は、全ての計測条件を設定してから反射特性の計測を実行した方が、計測装置の効率よい駆動経路を考慮した計測順を決定することができるので、反射特性計測にかかる時間を短縮することができる。また、同様にして、C G 画像の画素値の出力も、計測された反射特性に対応する画素の画素値の生成を、反射特性の計測と平行して行うようにしてもよい。

【0059】

(類似度を用いない)

上記の実施例では、計測条件リストに類似の計測条件がないかをステップ S 8 0 4 で判断し、類似の計測条件がある場合には新たな計測条件を計測条件リストに追加しないようにしたが、この処理を行わないようにしてもよい。すなわち、ステップ S 8 0 3 で類似度の算出をせず、生成する C G 画像に対応する全ての計測条件を計測条件リストに追加し、その全ての計測条件で計測を行うようにしてもよい。その場合、実際に計測する計測条件の総数は増加し、計測時間が増大するが、より高精度な C G 画像生成が可能となる。

【0060】

(リスト内で比較)

上記の実施例では計測条件リストに含まれる計測条件と、新たに取得した計測条件を比較し、新たに取得した計測条件が既に計測条件リストに含まれている計測条件と類似する場合には、その計測条件の計測条件リストに追加しない例について説明した。しかし、本発明の実施形態はこの形態に限られず、取得した計測条件を全て計測条件リストに追加してから、その中で計測条件同士の比較を行い、類似する計測条件を削除していくようにしてもよい。

【0061】

(計測条件リストの整列)

複数の計測条件を用いて計測する場合、計測装置 1 0 2 の性質によっては、反射特性を計測する順序を適切に整列することによって計測時間を短縮できることがある。そのため、ステップ S 4 0 3 において計測条件リストを生成した後、計測条件リストに含まれる計測条件を整列して計測装置に適した計測順序にしてもよい。例えば、2 組の計測条件 (i_1, o_1) と (i_2, o_2) との距離は式 (5) の類似度と同じ計算で与えられる。これを利用して計測条件リストに含まれる計測条件に対してグラフ構造を構築し、動的計画法やその他の経路問題の解法を用いて全ての計測条件を通過する最短経路を求め

10

20

30

40

50

ばよい。

【 0 0 6 2 】

(反射特性計測 + 計測条件表示)

反射特性を計測する前や計測している最中に、図 1 3 のように計測条件リストや計測値を示す情報を表示装置 1 0 3 に表示してもよい。これによって、ユーザは反射特性を計測する計測条件リストの情報を直感的に理解できるほか、計測の進捗状況などを把握することが可能となる。

【 0 0 6 3 】

(すでに一部を計測済みの場合)

上記の実施例では実物体の反射特性の計測が事前に行われていない状況から処理を開始する例について説明したが、反射特性の計測が部分的に完了した状況から始めてもよい。その場合、ステップ S 8 0 1 では設定部 3 0 6 が、計測済みの計測条件を計測条件リストに格納し、計測済みの計測条件以外の計測条件を計測条件リストから削除する。そして、ステップ S 4 0 3 において計測条件リストに新たに追加された、計測済みでない計測条件について反射特性の計測を行うようにする。このように処理によれば、既に反射特性を計測した計測条件に類似した計測条件を除外しつつ、新たに追加された計測条件だけで計測を行うことができる。

【 0 0 6 4 】

(複数物体)

上記実施例では仮想空間に配置されている仮想物体は 1 つであるとして説明したが、仮想物体の数に制約はなく、2 個以上の仮想物体が配置された仮想空間に対応する CG 画像を生成するようにしてもよい。仮想空間に配置された複数の仮想物体が全て同一の質感を有する場合は、全ての仮想物体を纏めて 1 つの仮想物体として扱って計測条件の設定を行えばよい。また、互いに異なる質感を持つ仮想物体が仮想空間に配置されている場合は、1 つの質感に対応する物体ごとに計測条件リストを別々に生成すればよい。

【 0 0 6 5 】

(複数光源)

上記実施例では、仮想空間に配置されている光源は単一の点光源であるとして説明を行ったが、光源の数に制約はなく、二つ以上の光源を設定するようにしてもよい。その場合、は、それぞれの光源について独立に計測条件の設定を行い、CG 画像生成の際には、各光源に由来する放射輝度を統合して画素値とすればよい。

【 0 0 6 6 】

(面光源・平行光源)

また、上記の実施例では光源モデルの種類として点光源を使用する方法について説明したが、光源の種類に制約はなく、面光源や平行光源を用いてもよい。面光源を使用する場合には、面光源の表面上に多数の点光源を敷き詰め、面光源を点光源で近似することにより、複数の点光源を用いた場合と同様に処理することができる。平行光源を使用する場合には光源の方向が仮想空間中で一定であるため、平行光源の方向を \mathbf{l}_d とおくと、ステップ S 8 0 2 で取得される入射光ベクトル \mathbf{i} は、点 P の位置に依らずに次式で表される。

【 0 0 6 7 】

【 数 1 0 】

$$\overrightarrow{\omega}_i = -\overrightarrow{\mathbf{l}}_d \cdot \cdot \cdot (1 \ 0)$$

【 0 0 6 8 】

入射光ベクトル \mathbf{i} が上記の式 1 0 の値で限定されることを除けば、平行光源を用いた場合の処理は点光源を用いた場合の処理と同様である。

【 0 0 6 9 】

(カメラモデル)

上記の実施例では仮想カメラのモデル化手法としてピンホールカメラモデルを用いた例を説明したが、本実施例を適用するためのカメラモデルの形態に制限はない。つまり、開

10

20

30

40

50

口角やレンズの収差を考慮した、より複雑な光学系をモデル化したカメラモデルを用いてもよい。例えば、人の目から観察したような画像が得られるように、人の目の特性を考慮したカメラモデルを用いて必要な反射特性の計測を行ってもよい。

(B T F を計測する場合)

上記の実施例では反射特性として B R D F や B S S R D F を計測する方法について説明したが、反射特性の種類に制約はなく、例えば双方向テクスチャ関数 (B T F) を計測対象としてもよい。双方向テクスチャ関数は、表面上の座標によって反射率が異なる不透明物体の反射特性を表わす値であり (x_o, i, o) として表わされる。ただし、 x_o は仮想物体の表面における点 P のテクスチャ座標 (2 次元) である。この x_o を取得するためには、仮想物体および実物体に予めテクスチャ座標を設定しておけばよい。一般的にテクスチャ座標は手作業で設定することが多いが、公知の U V - U n w r a p 技術などを使用してもよい。

10

【 0 0 7 0 】

(ディフューズテクスチャの場合)

カーペットの模様のように拡散反射面に近い材質の反射特性はディフューズテクスチャによって表現される。ディフューズテクスチャは、反射光の強度が入射光の角度および射出光角度に寄らない場合を表現する反射特性である。つまり、この場合の物体の反射特性は物体表面のテクスチャ座標 x_o のみに依存するので、ディフューズテクスチャを用いた場合の計測条件は (x_o) となる。

【 0 0 7 1 】

20

(分光)

上記の実施例では反射特性の波長依存性は無いものとして説明したが、波長依存性を考慮した計測条件の設定を行ってもよい。例えば、赤・青・緑の 3 波長についてそれぞれ反射特性を計測してもよいし、あるいは可視波長域に対してさらに詳細に分光反射率を計測してもよい。その場合には仮想光源の強度として対応する波長に対する放射輝度を設定すればよい。

【 0 0 7 2 】

(その他の実施例)

本発明の適用範囲は上述の実施形態に限られるものではなく、上述の実施形態を互いに組み合わせたものであってもよい。例えば、実施例 1 と実施例 2 を組み合わせて、直接反射光に対応する計測条件と二次反射光に対応する計測条件の両方を一度に設定するようにしてもよい。

30

【 0 0 7 3 】

本発明は、上述の実施形態の 1 以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける 1 つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1 以上の機能を実現する回路 (例えば、A S I C) によっても実現可能である。

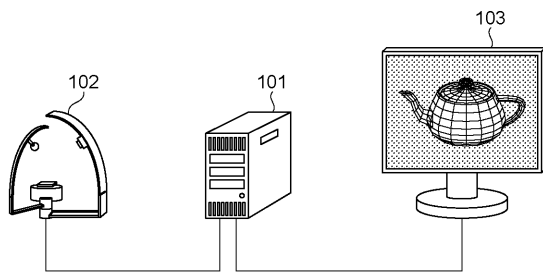
【 符号の説明 】

【 0 0 7 4 】

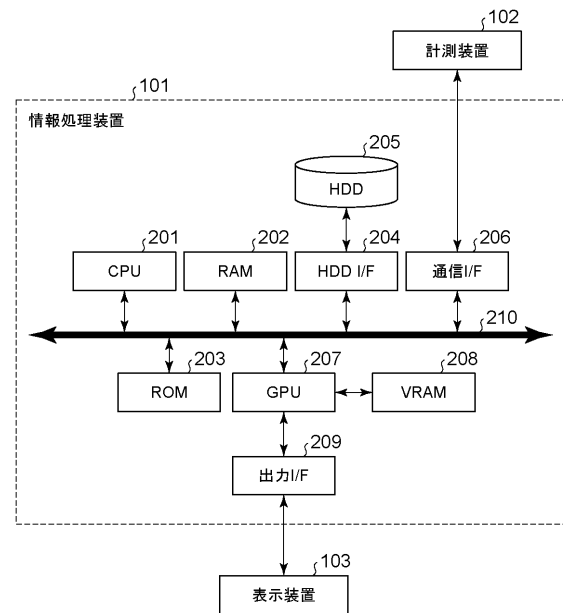
- 1 0 1 情報処理装置
- 1 0 2 計測装置
- 1 0 3 表示装置
- 3 0 5 経路取得部
- 3 0 6 設定部
- 3 0 7 計測部
- 3 0 8 生成部

40

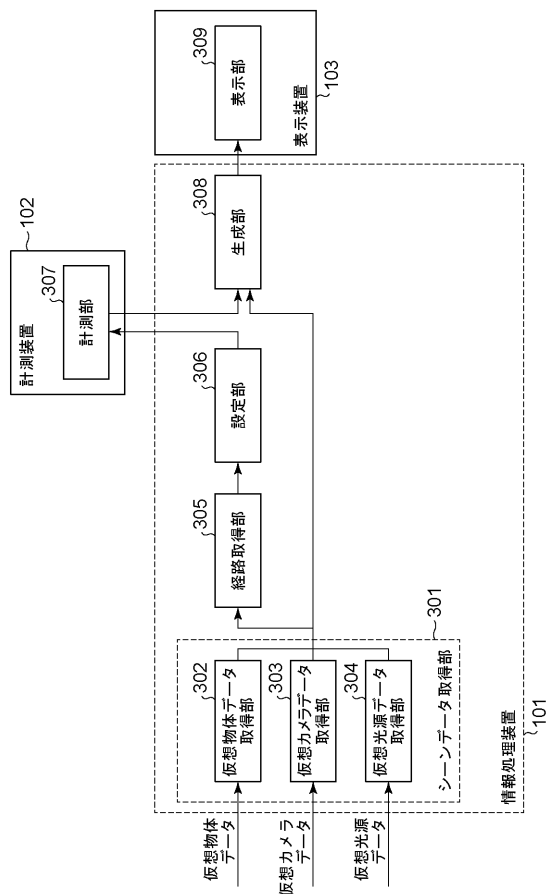
【図 1】



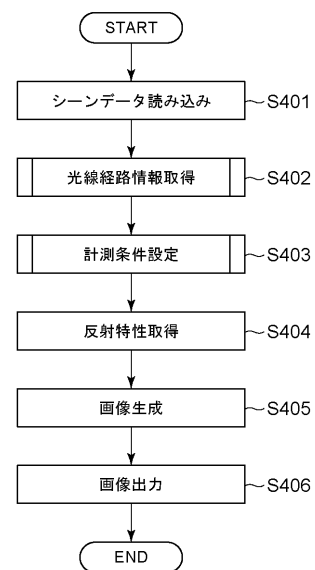
【図 2】



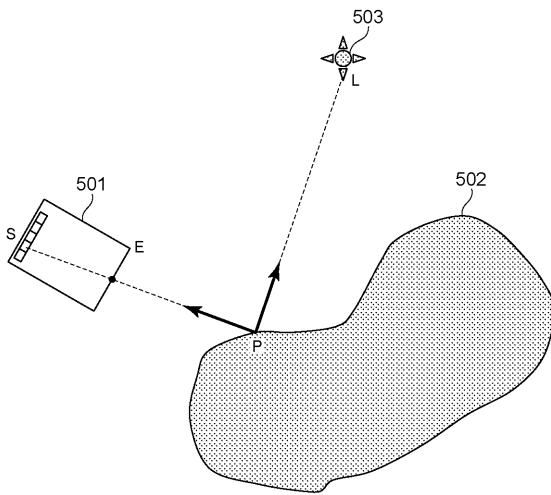
【図 3】



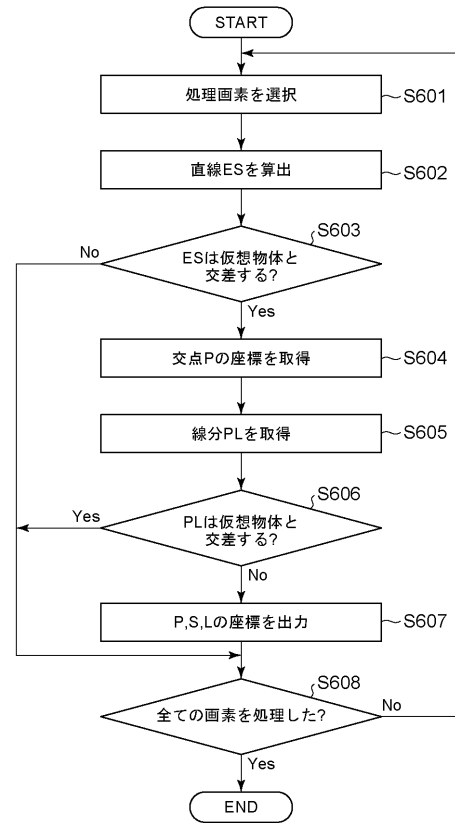
【図 4】



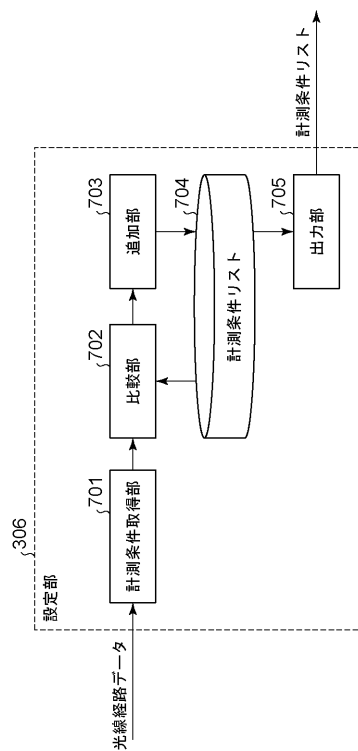
【図 5】



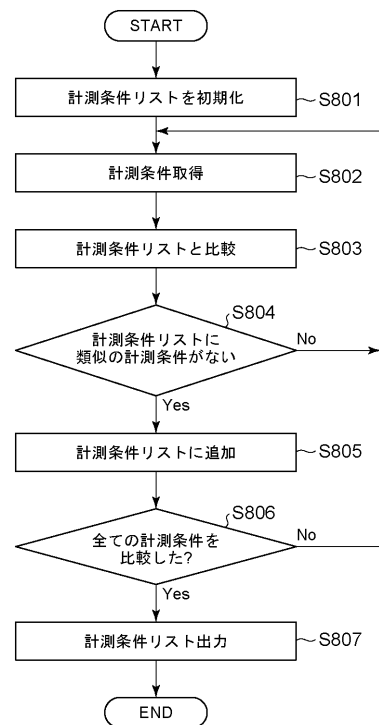
【図 6】



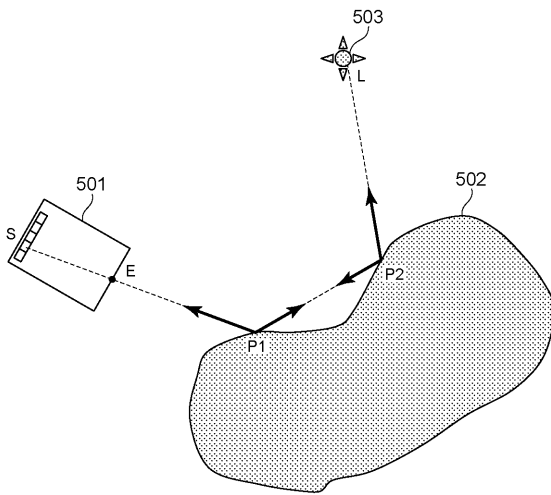
【図 7】



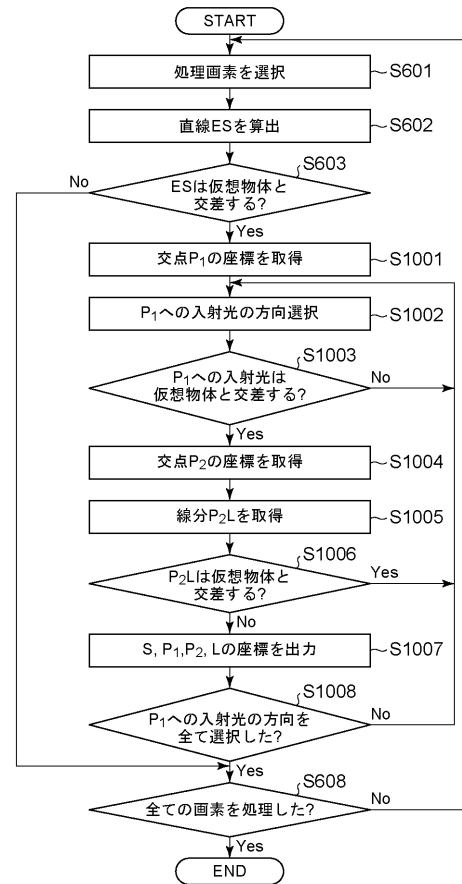
【図 8】



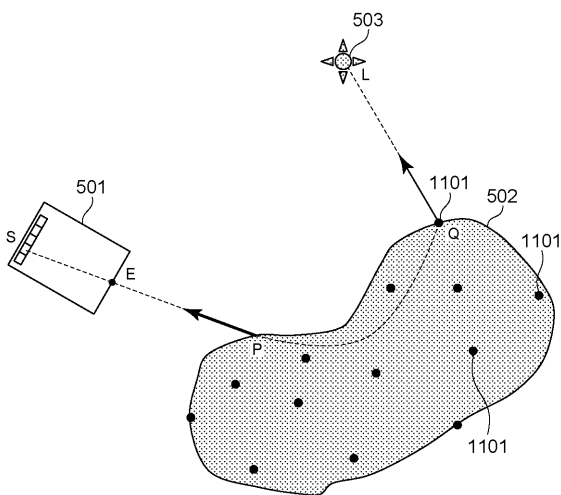
【図 9】



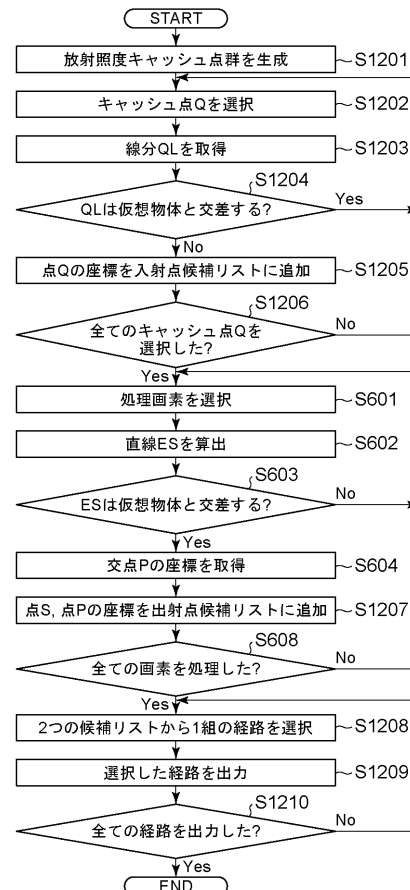
【図 10】



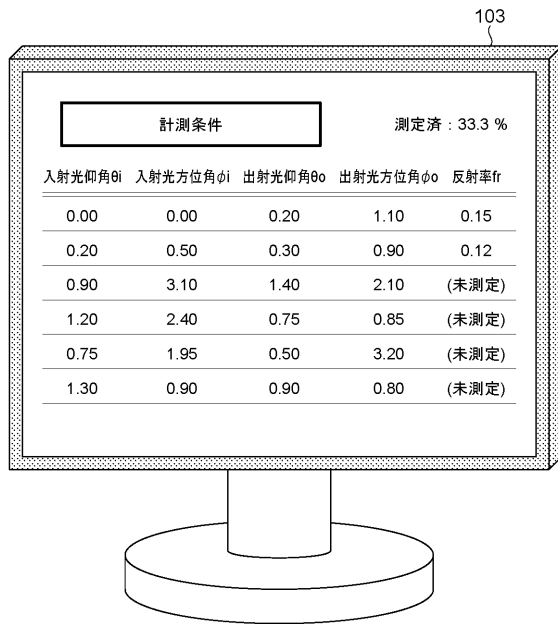
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-205722(JP,A)

特開2007-48084(JP,A)

特開2005-190261(JP,A)

特開2005-181038(JP,A)

特表2010-518667(JP,A)

特表2006-506742(JP,A)

特表2001-519575(JP,A)

町田貴史, 外1名, “相互反射を考慮した物体表面反射特性の推定”, 電子情報通信学会技術研究報告, 日本, 社団法人電子情報通信学会, 2001年10月18日, 第101巻, 第389号, p.19-24

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 15/00 - 15/87