

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7039607号

(P7039607)

(45)発行日 令和4年3月22日(2022.3.22)

(24)登録日 令和4年3月11日(2022.3.11)

(51)国際特許分類

F I

G 0 6 T 15/08 (2011.01)

G 0 6 T 15/08

G 0 6 T 1/00 (2006.01)

G 0 6 T 1/00 2 9 0 B

A 6 1 B 6/03 (2006.01)

A 6 1 B 6/03 3 6 0 G

A 6 1 B 6/03 3 6 0 Q

請求項の数 6 (全25頁)

(21)出願番号 特願2019-547572(P2019-547572)

(86)(22)出願日 平成29年9月21日(2017.9.21)

(65)公表番号 特表2020-503628(P2020-503628
A)

(43)公表日 令和2年1月30日(2020.1.30)

(86)国際出願番号 PCT/US2017/052692

(87)国際公開番号 WO2018/097881

(87)国際公開日 平成30年5月31日(2018.5.31)

審査請求日 令和2年9月16日(2020.9.16)

(31)優先権主張番号 15/360,326

(32)優先日 平成28年11月23日(2016.11.23)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者 519185030

3 ディー システムズ インコーポレイテ
ッドアメリカ合衆国 サウスカロライナ州 2
9 7 3 0 ロック ヒル スリー ディー
システムズ サークル 3 3 3

(74)代理人 100120891

弁理士 林 一好

(74)代理人 100165157

弁理士 芝 哲央

(74)代理人 100205659

弁理士 齋藤 拓也

(74)代理人 100126000

弁理士 岩池 満

(74)代理人 100185269

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 複雑なデータのリアルタイムレンダリングのためのシステムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

3次元(3D)イメージングデータをボリュームレンダリングするための方法であって、
前記方法は、
前記3Dイメージングデータ中のボクセルごとに、確率マップに基づいて初期物質分類を
決定するステップと、
前記3Dイメージングデータをセグメント化するステップと、
前記初期物質分類およびセグメント化された前記3Dイメージングデータに基づいて物質
分類インデックスを決定するステップと、
各物質分類インデックスおよびH U値に基づいて、記憶された複数の伝達関数から対応す
る伝達関数を選択するステップと、
前記3Dイメージングデータ中の各ボクセルを、そのそれぞれの選択された伝達関数に基
づいてレンダリングするステップと、
を含む、方法。

【請求項 2】

初期物質分類を決定するステップは、それぞれのボクセルのH U値に基づく、請求項1に
記載の方法。

【請求項 3】

セグメント化するステップは、各ボクセルの勾配の大きさに基づく、請求項1に記載の方
法。

【請求項 4】

前記 3 D イメージングデータをセグメント化するステップは、前記 3 D イメージングデータのすべてまたは一部分を膨張、侵食、オープンおよび/またはクローズするステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

物質分類を決定するステップは、セグメント化された前記 3 D イメージングデータ間の交差を決定するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

コンピュータに以下の方法を行わせるためのプログラム命令を含む非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記方法は、

3 D イメージングデータ中のボクセルごとに、H U 値および確率マップに基づいて初期物質分類を決定するステップと、

前記 3 D イメージングデータをセグメント化するステップと、

前記初期物質分類およびセグメント化された前記 3 D イメージングデータに基づいて物質分類インデックスを決定するステップと、

各物質分類インデックスおよび H U 値に基づいて、記憶された複数の伝達関数から対応する伝達関数を選択するステップと、

前記 3 D イメージングデータ中の各ボクセルを、そのそれぞれの選択された伝達関数に基づいてレンダリングするステップと、

を含む、非一時的コンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、コンピュータ上でデータをレンダリングすることに関する。より具体的には、本発明は、3 次元 (3 D : t h r e e - d i m e n s i o n a l) オブジェクトを 2 次元 (2 D : t w o - d i m e n s i o n a l) ディスプレイ、仮想現実および/または拡張現実上にレンダリングすることに関する。

【背景技術】

【0002】

現在、3 次元 (3 D) オブジェクトをレンダリングすることができる。現在のシステムは、例えば、イメージングデバイス、他のシステムおよび/または入力を用いて得られた 3 D オブジェクトを視覚化することを可能にできる。現在、3 D オブジェクトを 3 D プリンティングのために処理する、2 次元 (「 2 D 」) スクリーン上に視覚化する、ならびに/または拡張および/もしくは仮想現実中に視覚化することができる。

【0003】

現在の 3 D オブジェクトは、医療専門家のために極めて重要な情報を提供できる。例えば、新生児に心臓手術を行う医師にとって、一般的な新生児心臓モデルではなく、新生児の心臓を視覚化することが手術の成否を分けることになりうる。新生児のモデルをコンピュータスクリーン (例えば、2 次元 (「 2 D 」) スクリーン) を通じて、仮想現実 (v i r t u a l r e a l i t y) を通じて、拡張現実 (a u g m e n t e d r e a l i t y) を通じて、および/または 3 D プリンティングによって視覚化することが望ましいことがありうる。

【0004】

3 D オブジェクトを視覚化するための現在のシステムは、限定的になりかねない。例えば、3 D オブジェクトをユーザ (例えば、医師) に提示できるが、その提示は、典型的にオブジェクトをズームまたは回転するときの遅延を回避するのに十分な速度で 3 D オブジェクトをレンダリングしない提示となる可能性がある。遅延があまりにも長くなることがあり、これらの現在のシステムの使用法を実現不可能にしかねない。例えば、医師は、3 D オブジェクトを眺めている患者と一緒に視覚化するのを望むかもしれない。別の例では、医師は、別の医師と一緒に 3 D オブジェクトを再吟味することを望むかもしれない。これ

らのシナリオでは、ボリュームをレンダリングするのに現行システムが要する持続時間が、リアルタイム処理がより重要でありうるシナリオにおいて医師がこれらの現行システムを用いることを妨げかねない。例えば、100スライスをもつCTイメージをレンダリングするための現在の方法は、2フレーム/秒のレンダリング速度を有することができる。仮想現実は、90フレーム/秒のレンダリングを必要としうる。

【0005】

別に、現在のシステムは、オブジェクトの細部（例えば、心臓の血管）を見たときに理解できるように、高レベルの解像度で3Dオブジェクトをレンダリングする能力に欠けるとい問題がありうる。精度の1つの難しさが3Dオブジェクトの異なる部分を差別化することを含むことがある。例えば、組織を含む3Dオブジェクトをレンダリングするときに、現在のレンダリング技術は、軟組織と血管とを区別できない。結果として、両方の部分が典型的に同じ色を有してレンダリングされる。それゆえに、レンダリングが使用可能であるように十分な速度および/または精度で3Dオブジェクトをボリュームレンダリングするのが望ましいことありうる。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の1つの利点は、例えば、既知の方法より高速でありうるおよび/またはより少ない計算を必要としうる方法を提供することによって、本発明が視覚化および/または3Dプリンティングの間のレンダリング速度の増加および/またはデータ量の削減を提供できるといことである。

20

【0007】

本発明の別の利点は、例えば、オブジェクトの細部を高レベルの忠実度で示す、3Dオブジェクトのより正確な表現をそれが提供できることである。本発明の別の利点は、視覚化されたときに3Dオブジェクトのより高速のズーム、回転、メッシュ作成、マスク作成、データ修正、ならびにセグメントの追加および/または除去をそれが提供できることである。本発明の別の利点は、オブジェクトの部分間の区別をそれが改善できることである。

【0008】

本発明の実施形態によれば、3次元(3D)イメージデータをボリュームレンダリングするための方法、およびそれらの方法をもたらすためのプログラム命令を含んだ非一時的コンピュータ可読媒体が提供される。

30

【0009】

本発明の実施形態によれば、1つの方法は、3Dイメージングデータ中のボクセルごとに物質分類を決定するステップ、物質分類ごとに対応する伝達関数を決定するステップ、および3Dイメージングデータ中の各ボクセルをボクセルに対応する物質分類に対応する伝達機能に基づいてレンダリングするステップを含むことができる。対応する伝達関数を決定するステップは、HU値にさらに基づいてよい。

【0010】

本発明のいくつかの実施形態において、物質分類の決定は、初期物質分類を決定するステップ、3Dイメージングデータをセグメント化するステップ、および初期物質分類およびセグメント化された3Dイメージングデータに基づいて物質分類を決定するステップをさらに含むことができる。初期物質分類値を決定するステップは、それぞれのボクセルのHU値、確率マップ、またはそれらの任意の組み合わせに基づいてよい。

40

【0011】

本発明のいくつかの実施形態において、セグメント化するステップは、各ボクセルの勾配の大きさに基づく。3Dイメージングデータをセグメント化するステップは、セグメント化された3Dイメージングデータ間の交差を決定するステップをさらに含んでよい。

【0012】

本発明の実施形態によれば、別の方法は、第1の中間フレームを作り出すために3Dオブ

50

ジェクト上で第１のレイキャスティングを行うステップ、第２の中間フレームを作り出すために３Ｄオブジェクト上で第２のレイキャスティングを行うステップ、および３Ｄオブジェクトをレンダリングするために第１の中間フレームと第２の中間フレームとをミキシングするステップを含みうるであろう。

【００１３】

第１のレイキャスティングは、第１の位置および第１のステップサイズを有することができ、第２のレイキャスティングは、第２の開始位置および第２のステップサイズを有することができる。第１の開始位置と第２の位置とは異なってもよく、第１のステップサイズと第２のステップサイズとは異なってもよい。第１のステップサイズは、レイキャスティングのサンプリング速度に基づくことができる。第２のステップサイズは、第１のステップサイズおよびオフセットに基づくことができる。

10

【００１４】

本発明のいくつかの実施形態において、第２の開始位置は、オフセット値を伴う第１の開始位置とすることができる。オフセット値は、ランダムに生成されるか、ユーザによって入力されるか、またはそれらの任意の組み合わせとすることができる。

【００１５】

本発明のいくつかの実施形態において、第１の中間フレーム値と第２の中間フレーム値とをミキシングするステップは、第１の中間フレームおよび第２の中間フレーム中で同じピクセルロケーションにあるピクセルごとに、そのピクセルロケーションにおける最終ピクセル値を決定するために、そのピクセルロケーションにおいて第１の中間フレーム値と第２の中間フレーム値とをミキシングするステップをさらに含むことができる。

20

【００１６】

本発明のいくつかの実施形態において、第１の中間フレーム値と第２の中間フレーム値とをミキシングするステップは、第１の中間フレーム値と第２の中間フレーム値とを平均するステップ、第１の中間フレーム値と第２の中間フレーム値との加重平均化、累積平均化、またはそれらの任意の組み合わせを行うステップをさらに含むことができる。

【００１７】

本発明の実施形態によれば、別の方法は、３Ｄオブジェクトに基づいてボクセルグリッドを生成するステップを含みうるであろう。ボクセルグリッド中の各ボクセルは、３次元ロケーション、サイズ指定、およびボクセル値を有することができる。ボクセルグリッド中の各ボクセルは、それぞれのサイズ指定を有する３Ｄ立方体ボリュームの中心点を表すことができる。サイズ指定は、ユーザによって入力される、３Ｄオブジェクトのタイプ、３Ｄオブジェクトのサイズまたはそれらの任意の組み合わせに基づくことができる。

30

【００１８】

ボクセルグリッド中のボクセルごとに、３Ｄ立方体ボリュームが空であるかどうかを決定できる。３Ｄ立方体ボリュームが空であれば、ボクセルグリッド中の現在のボクセルに空の値を割り当てることができる。３Ｄ立方体ボリュームが空でなければ、ボクセルグリッド中の現在のボクセルに存在値を割り当てることができる。存在値を有するボクセルグリッド中のボクセルごとに、対応する３Ｄオブジェクトに基づく対応する３Ｄ立方体ボリュームを３Ｄスクリーン上の表示のためのフレームヘレンダリングできる。

40

【００１９】

いくつかの実施形態において、本方法は、ボクセルグリッドを存在値および空の値に基づいて３Ｄスクリーン上の表示のためのフレームヘレンダリングするステップを伴う。レンダリングは、グラフィック処理ユニット上で行うことができる。

【００２０】

この節に続いて列挙される本明細書の添付図を参照して、本開示の実施形態の非限定の例が以下に記載される。１つより多い図に現われる同一の特徴には、それらが現れるすべての図で全般的に同じラベルが付される。図中で本開示の実施形態の所定の特徴を表すアイコンに付したラベルをその所定の特徴を参照するために用いることができる。図中に示された特徴の寸法は、簡便かつ明確な提示のために選ばれ、必ずしも縮尺通りには示されな

50

い。

【 0 0 2 1 】

本発明と見なされる主題は、本明細書の結論部分で特に指摘され、明確に請求される。本発明は、しかしながら、動作の構成および方法のいずれについても、以下の詳細な記載が添付図面とともに読まれたときにその記載への参照によって、その目的、特徴、および利点と併せてそれを最もよく理解できる。本発明の実施形態は、例として示され、同様の参照数字が対応する類似または同様の要素を示す添付図面の図には限定されない。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 2 】

【図 1】本発明の例示的な実施形態による、ボリュームレンダリングのためのコンピューティングシステムのブロック図を示す。

10

【図 2】本発明の例示的な実施形態による、3Dオブジェクトをレンダリングするための方法のフローチャートを示す。

【図 3】本発明の例示的な実施形態による、図 2 の方法とともに用いることができる表を示す。

【図 4】本発明の例示的な実施形態による、3Dオブジェクトをレンダリングするための方法のフローチャートを示す。

【図 5】本発明の例示的な実施形態による、3Dオブジェクトをレンダリングするための方法のフローチャートを示す。

【図 6】本発明のいくつかの実施形態による、ボリューム、最適化されたツリーおよびフレームのスクリーンショットを示す。

20

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 3 】

説明の簡潔さおよび明確さのために、図に示された要素は、必ずしも正確にまたは縮尺通りには描かれなかったことが理解されよう。例えば、明確さのためにいくつかの要素の寸法を他の要素と比較して誇張することができ、またはいくつかの物理的構成要素を 1 つの機能ブロックまたは要素に含めることができる。さらに、適切と考えられるところでは、対応または類似する要素を示すために複数の図の間で参照数字を繰り返すことができる。

【 0 0 2 4 】

以下の詳細な記載においては、本発明の十分な理解を与えるために多くの具体的な詳細が提示される。しかしながら、これらの具体的な詳細なしに本発明を実施できることを当業者は理解するであろう。他の事例では、本発明を曖昧にしないために、よく知られている方法、手順、ならびにコンポーネント、モジュール、ユニットおよび/または回路は詳細に記載されなかった。一実施形態に関して記載されたいくつかの特徴または要素を他の実施形態に関して記載された特徴または要素と組み合わせることができる。明確さのために、同じかもしくは同様の特徴または要素の考察を繰り返すことはできない。

30

【 0 0 2 5 】

本発明の実施形態は、この点について限定されないが、例えば、「処理する (processing)」、「計算する (computing)」、「算出する (calculating)」、「決定する (determining)」、「確立する (establishing)」、「分析する (analyzing)」、「チェックする (checking)」、または同様のものなどの用語を利用した考察は、コンピュータのレジスタおよび/またはメモリ内に物理 (例えば、電子的な) 量として表されたデータを、コンピュータのレジスタおよび/またはメモリ、あるいは、動作および/または処理を行うための命令を記憶できる他の情報非一時的記憶媒体内に物理量として同様に表された他のデータへ操作および/または変換する、コンピュータ、コンピューティングプラットフォーム、コンピューティングシステム、または他の電子コンピューティングデバイスの動作 (単数または複数) および/または処理 (単数または複数) に言及できる。本発明の実施形態は、この点について限定されないが、「複数 (plurality)」および「複数 (a plurality)」という用語は、本明細書では、例えば、「多数 (multiple)」

40

50

または「2つ以上 (two or more)」を含むことができる。2つ以上のコンポーネント、デバイス、要素、ユニット、パラメータ、または同様のものを記述するために、「複数 (plurality)」または「複数 (a plurality)」という用語を本明細書全体にわたって用いることができる。セット (set) という用語は、本明細書では、1つ以上の項目を含むことができる。明示的に述べられない限り、本明細書に記載される方法の実施形態は、特定の順序または系列に制約されない。加えて、記載される方法の実施形態のいくつかまたはそれらの要素が同時に、同じ時点で、または一斉に発生し、または行われることが可能である。

【0026】

図1は、本発明の例示的な実施形態による、ボリュームレンダリングのためのコンピューティングシステムのブロック図を示す。コンピューティングシステム100は、例えば、グラフィカル処理ユニット (GPU: graphical processing unit) および/または中央処理装置プロセッサ (CPU: central processing unit processor)、チップまたは任意の適切なコンピューティングもしくはコンピューショナルデバイスとすることができるコントローラ105、オペレーティングシステム115、メモリ120、実行可能なコード125、記憶システム130、入力デバイス135および出力デバイス140を含むことができる。

【0027】

コントローラ105 (または、場合によっては多数のユニットまたはデバイスにわたる1つ以上のコントローラまたはプロセッサ) は、本明細書に記載される方法を実施し、および/または様々なモジュール、ユニットを実行することができる。

【0028】

オペレーティングシステム115は、コンピューティングシステム100の調整、スケジューリング、調停、監督、制御または他の管理オペレーションを伴う、例えば、ソフトウェアプログラムもしくは実行可能なコードセグメントの実行をスケジュールする、あるいはソフトウェアプログラムもしくは他のモジュールまたはユニットが通信することを可能にする、タスクを行うことができる任意のコードセグメント (例えば、本明細書に記載される実行可能なコード125と同様のもの) を含むことができる。オペレーティングシステム115は、市販のオペレーティングシステムであってもよい。

【0029】

メモリ120は、ランダムアクセスメモリ (RAM: Random Access Memory)、リードオンリメモリ (ROM: read only memory)、ダイナミックRAM (DRAM: Dynamic RAM)、シンクロナスDRAM (SD-RAM: Synchronous DRAM)、ダブルデータレート (DDR: double data rate) メモリチップ、フラッシュメモリ、揮発性メモリ、不揮発性メモリ、キャッシュメモリ、バッファ、短期メモリユニット、長期メモリユニット、もしくは他の適切なメモリユニットまたは記憶ユニット、あるいはそれらの任意の組み合わせとすることができる。メモリ120は、複数のメモリユニットとすることができ、またはそれらを含むことができる。メモリ120は、コンピュータもしくはプロセッサ非一時的可読媒体、またはコンピュータ非一時的記憶媒体、例えば、RAMとすることができる。

【0030】

実行可能なコード125は、任意の実行可能なコード、例えば、アプリケーション、プログラム、プロセス、タスクまたはスクリプトとすることができる。実行可能なコード125は、場合によってはオペレーティングシステム115の制御下でコントローラ105によって実行できる。例えば、実行可能なコード125は、本明細書にさらに記載されるように、3Dオブジェクトを2Dスクリーン上へレンダリングする、または3Dオブジェクトを3Dプリンタによってプリントするための命令を作り出すアプリケーションとすることができる。明確さのために、図1では実行可能なコード125の単一の項目が示されるが、本発明のいくつかの実施形態によるシステムは、実行可能なコード125と同様の複数の実行可能なコードセグメントを含むことができ、それらのコードセグメントをメモリ

10

20

30

40

50

120に読み込んで、本明細書に記載される方法をコントローラ105に実施させることができる。例えば、本明細書に記載されるユニットまたはモジュールは、コントローラ105、メモリ120および実行可能なコード125とすることができ、またはそれらを含むことができる。

【0031】

記憶システム130は、例えば、ハードディスクドライブ、コンパクトディスク(CD: Compact Disk)ドライブ、追記型CD(CD-R: CD-Recordable)ドライブ、Blu-rayディスク(BD: Blu-ray disk)、ユニバーサルシリアルバス(USB: universal serial bus)デバイス、もしくは他の適切なリムーバブルおよび/または固定記憶ユニットとすることができ、あるいはそれらを含むことができる。コンテンツは、記憶システム130に記憶でき、記憶システム130からメモリ120へ読み込むことができ、そこでプロセッサ105によって処理することができる。図示されるように、記憶システム130は、3Dオブジェクト(例えば、イメージングデータ131)、マスクデータ132、レンダリングデータ133、伝達関数データ134、ボクセルグリッドデータ136、および/または物質IDリスト137を記憶できる。3Dオブジェクトは、3Dオブジェクトを表す任意のデータを含むことができる。3Dオブジェクトは、3Dイメージングデータ、メッシュデータ、ポリュメトリックオブジェクト(volumetric object)、ポリゴンメッシュオブジェクト、ポイントクラウド、3Dオブジェクトの関数表現、CADファイル、3D pdfファイル、STLファイル、および/または3Dオブジェクトを表すことができる任意の入力を含むことができる。3Dイメージングデータは、コンピュータ断層撮影(「CT: Computed Tomography」イメージングデータ、コーンビーム・コンピュータ断層撮影(「CBCT: Cone Beam Computed Tomography」イメージングデータ、磁気共鳴断層撮影(「MRI: Magnetic Resonance Imaging」)イメージングデータおよび/またはMRAイメージングデータ(例えば、造影剤を用いたMRI)あるいは超音波イメージングデータを含めて、医療イメージングデータを含むことができる。3Dオブジェクトは、解剖学的構造(例えば、複雑な解剖学的構造)、工業データ、または任意の3Dオブジェクトとすることができる。

【0032】

本明細書では記憶システム130に記憶されたデータがさらに記載される。当業者には明らかなように、記憶システム130およびその中の各データセットは、すべてが1つの記憶システム中であってもよく、または様々な構成で、多数の記憶システム中へ分散されてもよい。

【0033】

いくつかの実施形態では、図1に示されたコンポーネントのいくつかを省略できる。例えば、メモリ120を記憶システム130の記憶容量を有する不揮発性メモリとすることができる。従って、分離したコンポーネントとして示されるが、記憶システム130をメモリ120中に埋め込むかまたは含めることができる。

【0034】

入力デバイス135は、マウス、キーボード、タッチスクリーンもしくはパッド、または任意の適切な入力デバイスとすることができ、またはそれらを含むことができる。ブロック135によって示されるように、任意の適切な数の入力デバイスをコンピューティングシステム100へ作動的に接続することが認識されるであろう。出力デバイス140は、1つ以上のスクリーン、ディスプレイもしくはモニタ、スピーカおよび/または任意の他の適切な出力デバイスを含むことができる。ブロック140によって示されるように、任意の適切な数の出力デバイスをコンピューティングシステム100へ作動的に接続することが認識されるであろう。

【0035】

ブロック135および140によって示されるように、任意の適用可能な入力/出力(I

10

20

30

40

50

／０）デバイスをコンピューティングシステム１００へ接続できる。例えば、有線または無線ネットワークインターフェースカード（NIC：network interface card）、プリンタ、ユニバーサルシリアルバス（USB）デバイスあるいは外部ハードドライブを入力デバイス１３５および／または出力デバイス１４０中に含めることができる。

【００３６】

本発明のいくつかの実施形態によるシステムは、以下には限定されないが、複数の中央処理装置（CPU）あるいは任意の他の適切な多目的もしくは特定のプロセッサまたはコントローラ（例えば、コントローラ１０５と同様のコントローラ）、複数の入力ユニット、複数の出力ユニット、複数のメモリユニット、および複数の記憶ユニットのようなコンポーネントを含むことができる。システムは、他の適切なハードウェアコンポーネントおよび／またはソフトウェアコンポーネントをさらに含むことができる。いくつかの実施形態において、システムは、例えば、パーソナルコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、ワークステーション、サーバコンピュータ、ネットワークデバイス、または任意の他の適切なコンピューティングデバイスを含むことができ、あるいはそれらとすることができる。例えば、本明細書に記載されるシステムは、コンピューティングシステム１００のような１つ以上のデバイスを含むことができる。

10

【００３７】

イメージングデータ１３１は、当技術分野で知られる任意のイメージングデータとすることができ、例えば、イメージングデータ１３１は、CTシステムによって、もしくはMRIシステムによって、および／またはCBCTシステムによって作り出されるような医療データとすることができる。

20

【００３８】

マスク１３２に含まれるマスクは、オブジェクトタイプに対応できる。例えば、心臓のオブジェクトについては、マスクは、右心室、左心室、右大動脈、左大動脈とすることができる。携帯電話については、マスクは、キー、ボタン、ワイヤ、コンピュータチップ、スクリーンなどとすることができる。例えば、マスクは、例えば、ボクセルごとのブール（例えば、１／０、yes/no）値またはより大きいデータセット中のデータポイントを含んだデータ構造であってよい。マスクは、ボクセルの外観を指定する視覚的マーカ（例えば、色および／またはパターン）を含んでよい。マスクは、より大きいデータセットへ適用されたときに、ボクセルがマーク付けされているか、またはマーク付けされていないかを示してよい。

30

【００３９】

いくつかの実施形態では、３Ｄオブジェクト（例えば、頭部または心臓のような器官）の入力が受信される。システムは、オブジェクトのタイプに対応するマスクのセットをメモリから読み出すことができる。システムは、マスクのセット中の各マスクに対応する３Ｄオブジェクトデータを追加できる。例えば、心臓のイメージングデータ、左腔マスクおよび右腔マスクをメモリから読み出すことができる。右心腔に対応するイメージングデータの一部を右腔マスクに割り当てることができ、左腔マスクに対応するイメージングデータの一部を左腔マスクに割り当てることができる。

40

【００４０】

マスクに対して行われる演算は、ボクセルに対して行われる演算、例えば、侵食、膨張、ボクセルサイズの拡大または縮小などを含むことができる。マスク、メッシュおよびボクセルは、当技術分野で知られるデジタルオブジェクトとすることができ、またはそれらによって表現もしくは記述することができ、従って、本明細書に記載されるようなマスク、メッシュおよびボクセルについて、またはそれらに対して、任意のモルフォロジカルもしくは論理演算を行いうることが理解されよう。例えば、ボクセルを膨張させるステップは、ボクセルの１つ以上の値、例えば、サイズ、ロケーションなどを変化されるステップを含むことができる。

【００４１】

50

例えば、モルフォロジカルもしくは論理演算を用いて、ボクセルの群 A を半径 R の球要素で膨張させることができ（本明細書では

【数 1】

$$A \oplus R$$

として示される）、ボクセルの群 A を半径 R の球要素で侵食することができ（本明細書では

【数 2】

$$A \ominus R$$

として示される）、ボクセルの群 A を半径 R の球要素でオープンすることができ（本明細書では

【数 3】

$$A \odot R$$

として示される）、ボクセルの群 A を半径 R の球要素でクローズすることができる（本明細書では

【数 4】

$$A \odot R$$

として示される）。

【0042】

システムは、割り当てられたイメージングデータを有するマスクのセットを 2D スクリーン上に表示できる、仮想現実に表示できる、拡張現実に表示できるおよび/または 3D プリントできるフォーマットへレンダリングすることができる。例えば、CT または MRI から受信されたイメージングデータに基づいて、およびマスクのセットに基づいて、いくつかの実施形態は、3D オブジェクトを 2D スクリーン上に表示するためのフレームを作り出すことができる。

【0043】

レンダリングデータ 133 は、イメージをレンダリングするため、または 3D オブジェクトをプリントするために使用可能な任意のデータとすることができる。例えば、レンダリングデータ 133 は、本技術分野で知られるようなイメージもしくはオブジェクトをレンダリングまたはプリントするために用いることができるピクセル値のセット（例えば、RGBA および HU 値、色相、強度など）とすることができ、および/または、レンダリングデータ 133 は、本技術分野で知られるようなオブジェクトを 3D プリントにプリントさせるために用いることができる命令のセットとすることができる。

【0044】

伝達関数 134 は、任意の関数または論理とすることができる。例えば、伝達関数 134 は、入力値（例えば、HU 値および物質識別）のセットを受信し、出力としてピクセルの記述、例えば、RGBA 値、ピクセルのロケーションまたはオフセットなどを作り出す関数または論理とすることができる。例えば、伝達関数 134 は、器官のそれぞれのセットのための変換表のセット、例えば、心臓のための第 1 の変換表、骨のための第 2 の変換表を含むことができ、各変換表は、HU 値を記載されるようなピクセルの記述と関連付けることができる。

【0045】

ボクセルグリッド 136 は、空間またはボリュームを表すボクセルのセットとすることができる。例えば、ボクセルグリッドは、3D 器官または器官系を含んだ空間を表すボクセルのセットとすることができ、例えば、ボクセルグリッド中のボクセルは、血管または血管系、頭部などの 3D 表現を含む空間をカバーする、含む、または占有することができる。任意の数のボクセルグリッドを用いることができ、例えば、第 1 のボクセルグリッドは、全部のオブジェクト、器官または空間をカバーでき、第 2 のボクセルグリッドは、骨

10

20

30

40

50

をカバーするかまたは骨に関係することができて、第3のボクセルグリッドは、血管を記述する、含む、カバーすることができ、別の状況では血管と関連付けることができるなどである。

【0046】

物質識別(ID)リスト137は、値のセットを物質のそれぞれのセットへマッピングまたはリンクする任意のリスト、表または構造とすることができる。例えば、物質IDリスト137は、例えば、図3の表310に示されるように、HU値を物質へマッピングすることができる。

【0047】

メッシュ(または当技術分野で知られる多角形メッシュまたは三角形メッシュ)は、3Dオブジェクトを定義または記述する頂点、辺、および面のセットとすることができる。当技術分野で知られるように、3Dプリンティングのためのフォーマットへの変換のためにメッシュを用いることができる。

【0048】

ボリュームレンダリング中に、3Dイメージングデータの部分間を区別するボリュームをレンダリングするのが望ましいことがありうる。例えば、イメージング中に骨と患者が横たわるベッドとを区別する。

【0049】

一態様において、本発明は、物質分類インデックスに基づいて、3Dイメージングデータ中のボクセルごとに伝達関数のセットからある1つの伝達関数を決定するステップを伴うことができる。3Dイメージングデータ内のボクセル間で伝達関数を変化させるステップは、例えば、レンダリングされるオブジェクトの特定の部分に対応する伝達関数を選択することによって、明確さを有する高品質イメージを可能にする。

【0050】

図2は、本発明の例示的な実施形態による、ボリュームレンダリングのための方法のフローチャートである。本方法は、3Dイメージングデータ中のボクセルごとに物質分類を決定するステップを伴う(ステップ210)。物質分類は、ボクセルの1つ以上の属性値に基づいて決定できる。例えば、物質分類は、以下のようにHU属性に基づいて決定できる：
- 2048 ~ -600の範囲内のHU値をもつボクセルに空気の物質分類を割り当てることができる；
- 200 ~ 450の範囲内にあるHU値をもつボクセルには骨の物質分類を割り当てることができる。

【0051】

いくつかの実施形態において、物質分類は、i) 3Dイメージングデータ中のボクセルの初期物質分類を行い、ii) 3Dイメージングデータ中のボクセルをセグメント化し、および/またはiii) 3Dイメージングデータ中のセグメント化されたボクセルの最終物質分類を行うことによって決定される。

【0052】

i. 初期物質分類を行うステップ

初期分類は、3Dイメージングデータ(例えば、CTイメージングデータ、CBCTイメージングデータ、またはMRA(MRプラス造影剤)イメージングデータ)のタイプに基づいて変化することができる。

【0053】

CTイメージングデータについては、初期物質分類は、HU属性に基づくことができる。例えば、図3は、初期物質分類を決定するために用いることができる表310の例を示す。表310によって示されるように、HUの範囲は、物質タイプに対応することができる。当業者には明らかなように、表310は、例であるに過ぎず、HU値が異なる物質タイプに割り当てられてもよい。

【0054】

CBCTイメージングデータについては、初期物質分類は、バイアスフィールド推定の結果に基づくことができる。バイアスフィールド推定は、参照によりその全体が本明細書に

10

20

30

40

50

組み込まれる、M. N. Ahmed et al., "A Modified Fuzzy C-Means Algorithm for Bias Field estimation and Segmentation of MRI Data" 2002, IEEE Transactions on medical imaging に示されるように決定することができ、入力例としては、期待平均, $\mu = 0.5$, $\sigma = 10^{-5}$, $\alpha = 1$, $p = 2$ を用いる。期待平均は、平均 U_i をもつ 6 つのガウス分布の混合ガウス分布モデルを決定することによって決定できる。各物質の期待平均は、 $[-500, 3000]$ の範囲内のボクセル上の最大化によって決定できる。期待平均は、 $[U_1, \dots, U_6, -1000]$ に設定できる。バイアスフィールド推定の出力がバイアスフィールドおよび物質ごとの確率 3D ボリューム P_i のセットを表すことができる。ボクセルごとの最大確率のインデックス i に基づいて最良確率マップ (BPM: Best Probability Map) を決定できる。初期物質分類は、BPM 値に基づくことができる。例えば、7 の BPM 値をもつボクセルを最初に「空気」として分類でき、1、2、3 の BPM 値をもつボクセルを最初に「軟組織」として分類でき、4、5、6 の BPM 値をもつボクセルを最初に「骨」として分類できる。

【0055】

MRA イメージングデータについては、初期物質分類は、例えば、CBCT イメージングデータについて先に記載されたように、バイアスフィールド推定に基づくことができ、入力例としては、期待平均, $\mu = 1$, $\sigma = 10^{-5}$, $\alpha = 1$, $p = 2$ を用いる。期待平均は、平均 U_i をもつ 5 つのガウス分布の混合ガウス分布モデルを決定することによって決定できる。各物質の期待平均は、平滑化および / またはフィルタされた MRA イメージングデータに基づいて算出できる。

【0056】

例えば、MRA イメージングデータを平滑化でき、および / またはバックグラウンド閾値を決定できる。MRA イメージングデータは、 $\sigma = 1$ を用いたガウシアン平滑化方法によって平滑化できる。バックグラウンド閾値は、以下の通り、EQN. 1 および 2 に示されるように決定できる。

【数5】

$$NoDataThreshold = 0.02 * \max_{HV}(Smoothed\ MRA\ imaging\ data) \quad EQN. 1$$

$$modified\ MRA\ imaging\ data = [I > NoDataThreshold] \quad EQN. 2$$

【0057】

期待平均を $[U_1, \dots, U_5]$ に設定できる。BPM は、バイアスフィールド推定の出力に基づいて決定できる。MRA イメージングデータののための初期物質分類は、BPM 値に基づくことができる。例えば、1 の BPM 値をもつボクセルを最初に「空気」として分類でき、空気として分類されないすべてのボクセルを「体」として分類でき、「体」の周囲におけるボクセルを「皮膚」として分類でき、「体」として分類されて「皮膚」として分類されない、2 の BPM 値をもつボクセルを「軟組織」として分類でき、「体」として分類されて「皮膚」として分類されない 3 の BPM 値をもつボクセルを「筋肉」として分類でき、「体」として分類されて「皮膚」として分類されない 4 を超える BPM 値をもつボクセルは、「脈管構造」として分類され、残りのボクセルは、「ノイズ」として分類される。

【0058】

i i . ボクセルのセグメント化

3D イメージングデータのボクセルは、初期物質分類インデックスに基づいてセグメント化できる。例えば、物質分類が骨、脈管構造、および筋肉であると仮定する。骨の物質分類を有する 3D イメージングデータ中の各ボクセルを第 1 のセグメント中へセグメント化でき、脈管構造の物質分類を有する 3D イメージングデータ中の各ボクセルを第 2 のセグメント中へセグメント化でき、筋肉の物質分類を有する 3D イメージングデータ中の各ボ

クセルを第3のセグメント中へセグメント化できる。

【0059】

いくつかの実施形態において、セグメント化は、最初にセグメント化されたボクセルを膨張させる、侵食、オープンおよび/またはクローズするステップをさらに伴うことができる。いくつかの実施形態において、セグメント化は、3Dイメージングデータのタイプ（例えば、CTイメージングデータ、CBCTイメージングデータ、またはMRIイメージングデータ）に基づいて変化することができる。

【0060】

いくつかの実施形態において、CTイメージングデータを脈管、骨、筋肉、および/または低コントラスト脈管構造へセグメント化できる。脈管セグメント（「VesselSegment」）について、セグメント化は、以下のように決定できる：

- a. 「骨」または「脈管構造」として最初に分類されたボクセルを一般的なセグメント（「GeneralSegment」）へセグメント化できる。
- b. 「緻密骨」または「歯」として最初に分類されたボクセルをおそらくは金属セグメント（「PossibleMetalSegment」）へセグメント化できる。
- c. 「脈管構造」として最初に分類されたボクセルを間歇的に低脈管セグメント（「LowVesselSegment」）へセグメント化できる。
- d. $VesselSegment = GeneralSegment \quad (|g| < 150)$ ：

勾配 $|g|$ の大きさは、以下の通り、EQN. 3 ~ 6 に示されるように決定できる：

【数6】

$$G_x(x', y', z') = \frac{\delta I}{\delta x} = \frac{I(x'+1, y', z') - I(x', y', z')}{2} \quad \text{EQN.3}$$

$$G_y(x', y', z') = \frac{\delta I}{\delta y} = \frac{I(x', y'+1, z') - I(x', y', z')}{2} \quad \text{EQN. 4}$$

$$G_z(x', y', z') = \frac{\delta I}{\delta z} = \frac{I(x', y', z'+1) - I(x', y', z')}{2} \quad \text{EQN. 5}$$

$$\nabla g = [G_x, G_y, G_z] \quad \text{EQN. 6}$$

ここで x' 、 y' および z' は、物質分類インデックスが決定される現在のボクセルの座標である。勾配の大きさは、以下の通り、EQN. 7 に示されるように決定できる：

【数7】

$$|\nabla g| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2} \quad \text{EQN.7}$$

e. $PossibleMetalSegment = PossibleMetalSegment \oplus 3$;

f. $VesselSegment = VesselSegment \cup$

$(PossibleMetalSegment \cap GeneralSegment)$

- 例えば、ステップ「f」は、脈管の周りのステントまたは他の金属元素のイメージを除去できる；

【数8】

g. $LowVesselSegment = (LowVesselSegment \odot 1) \odot 3$

- 例えば、ステップ「g」は、小さい脈管を互いに接続できて、オープニング演算は、筋肉組織によって生じるノイズを除去できる；

【数9】

h. $VesselSegment = ((VesselSegment \cup LowVesselSegment) \odot 1) \odot 2$

- 例えば、ステップ「v」は、小さい脈管を $VesselSegment$ 中の大きい脈管へ接続できて、脈管の周りの骨組織からのノイズを除去できる；

i. 例えば、小さい接続された構成要素によって、特徴付けられる、または生じる、ノイズを、例えば、なくすために - 1000個のボクセル下にあるすべての接続された構成要素を $VesselSegment$ から除去する；および

【数10】

j. $VesselSegment = VesselSegment \ominus 4$

- 例えば、 $VesselSegment$ は、脈管組織、または軟組織の境界を含むことができる。

【0061】

骨セグメント（「 $BoneSegment$ 」）は、以下のように決定できる。

a. 「骨」もしくは「緻密骨」または「歯」として最初に分類されたボクセルを真の骨セグメント（「 $TrueBoneSegment$ 」）へセグメント化できる；

b. $TrueBoneSegment$ から50個のボクセル未満の接続された構成要素を除去する - 例えば、ステップ「b」は、骨として分類されたカルシウム沈着を削減できる；

【数11】

c. $TrueBoneSegment = TrueBoneSegment \oplus 4$

- 例えば、 $TrueBoneSegment$ が緻密骨組織を囲む区域を確実にカバーするようにできる；

【数12】

d. $PossibleBoneSegment = GeneralSegment \cap \neg VesselSegment$;

e. $BoneSegment$ を得るために、100個のボクセルによって $TrueBoneSegment$ にタッチしないすべての接続された構成要素を $PossibleBoneSegment$ から除去する - 例えば、ステップ「e」は、柔らかい骨組織ボクセルを緻密骨組織ボクセルへ接続できる。

【0062】

筋肉セグメント（「 $MuscleSegment$ 」）は、以下のように決定できる；

a. 「筋肉」として最初に分類されたボクセルを $MuscleSegment$ へセグメント化できる；

b. 「脈管構造」として最初に分類されたボクセルを低コントラストセグメント（「 $LowContrastSegment$ 」）へセグメント化できる。

【0063】

いくつかの実施形態において、「脈管構造」または「骨」としてセグメント化されたいくつかのボクセルは、それらが別のオブジェクト（例えば、 $HU > 100$ をもつオブジェクト）のものでありうるので、不適切にセグメント化される。いくつかの実施形態では、ボクセルを、以下のように、「ベッド」または「皮膚」としてセグメント化できる。

a. - 150を超える HU をもつボクセルは、関連セグメント（「 $RelevantSegment$ 」）へセグメント化できる；

b. $RelevantSegment$ 中の最も大きい接続された構成要素は、オブジェクトセグメント（「 $ObjectSegment$ 」）へセグメント化できる；

【数13】

c. $ObjectSegment = ObjectSegment \oplus 2$

- 例えば、ステップ「c」は、 $ObjectSegment$ 中の穴を満たすことができ、 $ObjectSegment$ は、シーン中のオブジェクト本体を、その近接した周囲とともに、記述できる；

【数14】

10

20

30

40

50

d. $\text{BedSegment} = [\text{HU} > -500] \cap \neg \text{ObjectSegment};$

e. $\text{SkinSegment} = ((\text{ObjectSegment} \ominus 1) \cap \neg(\text{ObjectSegment} \oplus 3)) \oplus 2$

【 0 0 6 4 】

いくつかの実施形態において、C B C T イメージングデータを皮膚および/またはノイズへセグメント化できる。C B C T 皮膚セグメント (「SkinSegment」) およびノイズセグメント (「NoiseSegment」) は、以下のように決定できる：

a. 最小 H U の C B C T 3 D イメージングデータを (「MinHUV al」) としてマーク付けできる。

10

b. 確からしいオブジェクトセグメント (「ProbableObjectSegment」) を決定できる：

【 数 1 5 】

$\text{ProbableObjectSegment} = ([\text{HU} > -500] \odot 1) \odot 1;$

c. オブジェクトセグメント (「ObjectSegment」) は、標準偏差 (例えば、10) をもち、H U 値を [- 6 0 0 , - 5 0 0] の間に制限する、領域拡張 ProbableObjectSegment によって決定できる；

d. 緩和されたオブジェクトセグメント (「ObjectSegmentRelaxed」) は、[- 7 0 0 , - 5 0 0] の H U 値および 10 の標準偏差をもつ領域拡張 ProbableObjectSegment の結果とすることができる；

20

【 数 1 6 】

e. $\text{ObjectSegment} = (\text{ObjectSegment} \odot 5) \cup (\text{ObjectSegmentRelaxed} \odot 5)$

- 例えば、ステップ「e」は、ObjectSegment 中の穴を満たすことができる；

【 数 1 7 】

f. $\text{NoiseSegment} = [\text{HU} > -500] \cap \neg \text{ObjectSegment};$

g. $\text{SkinSegment} = (\text{ObjectSegment} \oplus 1) \cap \neg(\text{ObjectSegment} \ominus 1);$

30

h. D I C O M シーンセグメント (「DicomSceneSegment」) を決定できる：

$\text{DicomSceneSegment} = [\text{HU} > \text{MinHUV al}]$

【 数 1 8 】

i. $\text{DicomSceneSegment} = \text{DicomSceneSegment} \odot 3$

- 例えば、ステップ「i」は、DicomSceneSegment 中の穴を満たすことができる；

j. DicomSceneMask 中の最後の 50 個の行を除去する - 例えば、ステップ「j」は、大部分のスキャンがチューブの形状であり、従って、頭蓋の後部を無視できるという事実のために必要とされうる。

40

【 数 1 9 】

k. $\text{SkinSegment} = (\text{SkinSegment} \cap \text{DicomSceneSegment}) \oplus 2;$

l. $\text{NoiseSegment} = \text{NoiseSegment} \cap \neg \text{SkinSegment}.$

【 0 0 6 5 】

i i i . 最終物質分類を行うステップ

最終物質分類を決定できる。いくつかの実施形態において、3 D イメージングデータは、初期物質分類と等しい最終物質分類を有することができる。

50

【 0 0 6 6 】

3 D イメージングデータをセグメント化に基づいて最終的に物質により分類できる。

【 0 0 6 7 】

様々な実施形態において、C T イメージングデータについては、

【 数 2 0 】

(GeneralSegment \cap \neg VesselSegment \cap PossibleBoneSegment)

に属するボクセルを「緻密骨」として最終的に物質により分類でき、

【 数 2 1 】

(GeneralSegment \cap (VesselSegment \cap (\neg VesselSegment \cup \neg PossibleBoneSegment)))

10

に属するボクセルを「脈管構造」として最終的に物質により分類でき、

【 数 2 2 】

(TrueBoneSegment \cap (MuscleMsak \cup LowContrastSegment))

に属するボクセルを「骨 / 脈管構造」として分類でき、

【 数 2 3 】

(\neg TrueBoneSegment \cap \neg MuscleSegment \cap (MuscleMsak \cup LowContrastSegment))

に属するボクセルを「ノイズ」として最終的に物質により分類できる。

20

【 0 0 6 8 】

いくつかの実施形態において、「脂肪」の初期物質分類を有するボクセルは、「脂肪」ボクセルの 1 ボクセル半径によるオープン演算を用いて除去される。除去されたボクセルを「ノイズ」として最終的に物質により分類できる。

【 0 0 6 9 】

様々な実施形態において、SkinSegment 中のボクセルを「皮膚」として最終的に物質により分類でき、および / または「BedSegment」中のボクセルを「ベッド」として最終的に物質により分類できる。

【 0 0 7 0 】

様々な実施形態において、CBCT イメージングデータについては、NoiseSegment に属するボクセルを「ノイズ」として最終的に物質により分類でき、SkinSegment を「皮膚」として最終的に物質により分類できる。

30

【 0 0 7 1 】

いくつかの実施形態において、MRA イメージングデータのボクセルは、それらの初期物質分類に従って最終的に物質により分類される。

【 0 0 7 2 】

ボクセル物質分類の様々な補正または修正を行うことができる。例えば、誤って分類されかねない、(例えば、上記のような演算に起因する)それらの初期閾値からほど遠い HU 値をもつボクセルがありうる。かかる誤分類を補正するために、ある実施形態は、以下のステップのいくつかまたはすべてを行うことができる：

40

- a . - 20 を超える HU をもつ「脂肪」ボクセルが脈管構造として分類される；
- b . 骨組織ボクセルに隣接した「脂肪」ボクセルが「骨」として分類される；
- c . 390 を超える HU を有する「筋肉」ボクセルが骨 / 脈管構造として分類される；
- d . 10 を超える HU をもつ「皮膚」ボクセルが筋肉として分類される。

【 0 0 7 3 】

C T イメージングデータのための物質分類インデックスを決定するステップも入力 C T イメージングデータの最大寸法 (例えば、最大幅 / 長さ / 奥行き) を決定するステップを伴うことができ、最大寸法が閾値を超えるならば、C T イメージングデータを、例えば、所定の寸法へスケーリングできる。

【 0 0 7 4 】

50

本方法は、物質分類ごとに伝達関数（例えば、図 1 において上に記載されたような、伝達関数 1 3 4）を決定するステップも伴うことができる（ステップ 2 1 5）。例えば、3 D イメージングデータの第 1 のボクセルの物質分類（例えば、骨を示す）が第 2 のボクセルの物質分類（例えば、値が組織を示す）と異なるならば、そのときには第 1 のボクセルを第 1 の伝達関数を用いてレンダリングできて、第 2 のボクセルを第 2 の伝達関数を用いてレンダリングできる。第 1 の伝達関数と第 2 の伝達関数とは異なってもよい。

【 0 0 7 5 】

伝達関数は、伝達関数のセットから 1 つの伝達関数を選択することによって決定できる。伝達関数のセットをメモリに記憶するか、および / またはユーザによって入力することができる。伝達関数のセットは、特定のオブジェクトタイプのための所望の色に基づくことができる。例えば、脈管が典型的に赤色であり、骨が典型的に白色である。それゆえに、伝達関数は、赤色と白色との間の色の滑らかな伝達を含むことができる。当業者には明らかなように、考察されるこの伝達関数および色は、例示のために過ぎない。いくつかの実施形態では、伝達関数が異なる H U / グレースケール値に対して（例えば、C B C T および / または M R A に対して）一定とすることができる。表 1 は、分類および H U 値に基づく伝達関数の例を以下のように示す。

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

【表 1】

分類	HU 値	RGB 値
空気	-2048 および -600	(0,150,150)
皮膚脂肪	-2048 および -600	(255,70,30)
皮膚脂肪	400 および -61	(255,70,30)
皮膚脂肪	-60 および 0	(255,70,30)~(134,6,6) 間を滑らかに伝達する
皮膚脂肪	1 および 100	(134,6,6)~(251,135,115) 間を滑らかに伝達する
皮膚脂肪	101 および 500	(251,135,115)~(247,170,119) 間を滑らかに伝達する
皮膚脂肪	501 超	(247,170,119)
皮膚	-2048 および -61	(255,70,30)
皮膚	-60 および 20	(255,70,30)~(65,0,0) 間を滑らかに伝達する
皮膚	20 超	(65,0,0)
脂肪	-2048 および -61	(255,120,17)
脂肪	-60 および 200	(255,120,17)~(65,0,0) 間を滑らかに伝達する
脂肪	200 および 800	(65,0,0)~(251,135,115) 間を滑らかに伝達する
脂肪	800 超	(251,135,115)
筋肉	-2048 および 100	(65,0,0)
筋肉	101 および 800	(65,0,0)~(251,135,115) 間を滑らかに伝達する
筋肉	800 超	(251,135,115)
筋肉/脈管	-2048 および 199	(134,6,6)
筋肉/脈管	200 および 800	(134,6,6)~(251,135,115) 間を滑らかに伝達する
筋肉/脈管	800 超	(251,135,115)
脈管	-2048 および 300	(134,6,6)
脈管	200 および 800	(134,6,6)~(251,135,115) 間を滑らかに伝達する
脈管	800 超	(251,135,115)
骨/脈管	-2048 および 0	(134,6,6)
骨/脈管	0 および 150	(134,6,6)~(251,135,115) 間を滑らかに伝達する
骨/脈管	151 および 400	(251,135,115)~(247,170,119) 間を滑らかに伝達する
骨/脈管	400 超	(247,170,119)
骨境界	-2048 および 0	(247,170,119)
骨境界	0 および 150	(247,170,119)~(205,205,205) 間を滑らかに伝達する
骨境界	150 超	(205,205,205)
強い骨	すべて	(255,255,255)
歯	すべて	(255,255,255)
脈管ノイズ	すべて	(0,0,0)
ベッド	すべて	(0,0,0)

10

20

30

40

【0077】

いくつかの実施形態において、多数の物質分類が同じ伝達関数を有することができる。例えば、CBCTイメージングデータについて、「軟組織」として分類された物質は、「脂肪」として分類された物質と同じ伝達関数を有することができる。別の例では、「骨」として分類された物質が「緻密骨」として分類された物質と同じ伝達関数を有することができる。

【0078】

本方法は、ボクセルに対応する物質分類に対応する伝達関数を適用することによって各ボクセルをレンダリングするステップも伴うことができる（ステップ220）。伝達関数は

50

、それぞれのボクセルのためのH U値を入力として受信できる。H U値に基づいて、伝達関数は、ボクセルをレンダリングするための色（例えば、R G B色）を出力できる。

【0079】

図4は、本発明のいくつかの実施形態による、ボリウムレンダリングのための方法のフローチャートである。3Dオブジェクトをレンダリングするステップは、関心領域を特定するステップ、およびその関心領域中のどのポイントをレンダリングすべきかを決定するステップを伴うことができる。例えば、3Dオブジェクトをレンダリングするステップは、レイキャスティングを伴うことができる。2Dスクリーン上に、仮想現実環境へ、および/または拡張現実環境へレンダリングされたフレームごとに、レイキャスティングを行うことができる。視覚化されたイメージが変更される（例えば、ズーム、回転、および/または修正される）たびに、典型的に多数の新しいフレームを決定できて、新しいフレームごとに、レイキャスティングを行うことができる。レイキャスティングのための現在の方法は、計算を多用する、および/または多量のデータを生じる可能性があり、レイキャスティングを介した3Dオブジェクトのレンダリングを法外に遅くしかねない。例えば、ユーザが心臓を回転させることができるように心臓の3Dオブジェクトを2Dスクリーン上へレンダリングするステップは、心臓のイメージを回転するときにピクセル化を目立たせる可能性があり、および/またはユーザのコンピュータをクラッシュさせかねない。本方法は、インクリメンタルにレイキャスティングするステップを伴うことができ、それによって、計算の多用および/またはデータ量を抑えることができる。

【0080】

本方法は、第1の中間フレームを作り出すために3Dオブジェクト上で第1のレイキャスティングを行うステップを伴うことができ、第1のレイキャスティングは、第1の開始位置および第1のステップサイズを有する（ステップ410）。レイキャスティングは、あるサンプリング速度を有することができ、ステップサイズは、そのサンプリング速度に基づくことができる。例えば、サンプリング速度がレイ当たり10ポイントであれば、そのときにはステップサイズを1/10とすることができる。3Dオブジェクトは、ボリウムによって記述できる。ボリウムは、3Dオブジェクトを完全に包含する（または実質的に完全に包含する）立方体とすることができる。

【0081】

ボリウムサイズは、3Dオブジェクトのサイズ、3Dオブジェクトの解像度、またはそれらの任意の組み合わせに依存することができる。例えば、小児心臓CTは、物理的に小さくできるが、例えば、高解像度スキャンに起因して、ボリウムが大きくなりうる。いくつかの実施形態では、ボリウムが $255 \times 255 \times 300$ ボクセルのサイズを有することができる。様々な実施形態において、ボリウムは、当技術分野で知られるような任意のボリウムメトリック形状である。

【0082】

第1の開始位置は、ボリウム中にデータを有するビューポイント方向からの第1のボクセルとすることができる。

【0083】

本方法は、第2の中間フレームを作り出すために3Dオブジェクト上で第2のレイキャスティングを行うステップを伴うことができる（ステップ415）。第2のレイキャスティングは、第2の開始位置、第2のステップサイズを含むことができる。第1の開始位置と第2の開始位置とは異なってもよい。第2の開始位置は、第1の開始位置からオフセットすることができる。オフセットは、ランダムに生成された数、ユーザ入力、GPUのノイズ関数に基づく、一定値、またはそれらの任意の組み合わせとすることができる。いくつかの実施形態では、オフセットは、0と1との間のランダム数である。いくつかの実施形態では、第2の開始位置が第1の開始位置から所定の距離を超えないことを確かめるためにオフセットがチェックされる。

【0084】

第1のステップサイズと第2のステップサイズとは異なってもよい。第2のステップサイ

ズは、第1のステップサイズからオフセットすることができる。いくつかの実施形態では、オフセットは、第1のステップサイズの1/4より大きい。

【0085】

ステップ420によって示されるように、本方法は、3Dオブジェクトをレンダリングするために第1の中間フレームと第2の中間フレームとをミキシングするステップを含むことができる。第1の中間フレームと第2の中間フレームとをミキシングするステップは、フレーム中の同じロケーションにある第1のフレームおよび第2のフレームのピクセルの値（例えば、色値）をミキシングするステップを伴うことができる。

【0086】

いくつかの実施形態において、値をミキシングするステップは、フレーム中の同じロケーションにある第1の中間フレームおよび第2の中間フレームのピクセルの平均をとるステップを伴うことができる。いくつかの実施形態において、値をミキシングするステップは、ピクセルの重み付き平均をとるステップを伴うことができる。例えば、結果として生じるピクセルまたはフレームに対して第2の後続フレームの方がより低い影響を有するように、高い方の重みを第1のフレームに与えることができ、低い方の重みを第2の後続フレームに与えることができる。いくつかの実施形態では、ミキシングを3Dオブジェクトのデータタイプに基づいて選択される他の機能とともに実行できる。例えば、3Dオブジェクトのデータタイプがメッシュであり、レイ交差が行われるならば、そのときには2つ以上のレイ交差をミキシングできるミキシング関数を用いることができる。

【0087】

いくつかの実施形態では、レイキャスティングがn回より多く行われ、ここでnは整数である。いくつかの実施形態では、nは、レンダリングされるオブジェクトにおける詳細さの所望のレベルに基づく。いくつかの実施形態では、nは、入力である。レイキャスティングが実行されるたびに、行われるレイキャスティングごとの開始位置および/またはステップサイズは、前のレイキャスティング演算と異なっても、または同じであってもよい。これらの実施形態では、レイキャスティングが実行されるたびに、ミキシングがすべてのレイキャスティングの累積平均を決定するステップを伴うことができる。いくつかの実施形態では、レイがキャストされるたびに、詳細が加えられるか、および/またはレンダリングされたオブジェクトがよりリッチに見えるであろう。いくつかの実施形態では、レイキャスティングが行われる回数は、イメージのための忠実度の所望のレベルに依存する。

【0088】

上記のように、ボリュームレンダリングのための現在の方法は、法外に遅いことがありうる。1つの難しさは、典型的に、ボリューム内のすべてのボクセルが、存在するしないに係わらず、ボリュームレンダリング中にレンダリングされることである。例えば、ボリュームのいくつかの部分は、対応するデータが何も入っていないかまたは含まないことがありうる。例えば、頭部の3Dオブジェクトは、 $64 \times 64 \times 256$ ボクセルのサイズを有するボリュームの一部のみを占有できる。ボクセルの多くがレンダリングされるべき興味のあるデータを何も有さない（例えば、データがオブジェクトの外部にあるか、またはオブジェクトに無関係である）ので、 $64 \times 64 \times 256$ ボリューム中のすべてのボクセルをレンダリングするステップは、非効率的なことがありうる。様々な実施形態において、ボリュームは、当技術分野で知られるような任意のポリュメトリック形状である。

【0089】

図5は、本発明の例示的な実施形態による、ボリュームレンダリングのための方法のフローチャートである。一般に、本方法は、ボリューム内に立方体を作成するステップ、および各立方体内に任意のデータが存在するかどうかを判定するステップ（例えば、ボクセルグリッドを決定するステップ）を伴うことができる。立方体が空であれば、本方法は、例えば、所定の値をボクセルに割り当てることによって、立方体を空としてマーク付けするステップを伴うことができる。立方体が空でなく、例えば、データを含むならば、そのときには本方法は、3Dオブジェクトを2Dスクリーン上の表示のためのフレームヘレンダリングのために立方体の値を用いるステップを伴うことができる。このようにして、レン

10

20

30

40

50

ダリングする立方体の数を削減できる。様々な実施形態において、立方体は、当技術分野で知られる任意のポリュメトリック形状である。

【 0 0 9 0 】

本方法は、3Dオブジェクトに基づいてボクセルグリッドを生成するステップを伴うことができ、ボクセルグリッド中の各ボクセルは、3Dロケーション、サイズ指定およびボクセル値を有する(ステップ510)。ボクセルグリッド中の各ボクセルは、3D立方体ポリュームの中心ポイントを表すことができる。多数の3D立方体ポリュームをそれらがポリューム空間を満たすように用いることができる。

【 0 0 9 1 】

例えば、ポリュームは、 $255 \times 255 \times 300$ ボクセルのサイズを有することができる。多数の3D立方体をポリューム内で3D立方体ポリュームに生成できて、多数の3D立方体の各々がポリューム内でユニークな3Dロケーションを有する。3D立方体ポリュームは、サイズ指定を有することができる。サイズ指定は、3D立方体ポリューム内に含むためのボクセルの数または3Dサイズ指定(例えば、 $A \times B \times C$ ボクセル)とすることができる。例えば、3D立方体ポリュームは、27個の近接ボクセルのサイズ指定を有することができる。この例では、3D立方体ポリュームは、 $3 \times 3 \times 3$ ボクセルのサイズを有する。別の例では、3D立方体ポリュームは、 $4 \times 4 \times 4$ ボクセルのサイズ指定を有することができる。この例では、3D立方体ポリュームは、その中に配置された64ボクセルを有する。サイズ指定は、ユーザによって入力される、および/または3Dオブジェクトのオブジェクトタイプに依存することができる。

【 0 0 9 2 】

ボクセルグリッドは、各3D立方体ポリュームの中心ポイントを決して、その中心ポイントをボクセルグリッドへ割り当てることによって生成できる。例えば、4つの3D立方体を有し、各3D立方体がその中に配置された4ボクセルを有するポリュームを仮定する。この例では、ポリュームが16ボクセルを有し、ボクセルグリッドが4ボクセルを有する。

【 0 0 9 3 】

本方法は、ボクセルグリッド中のボクセルごとに、i) 3D立方体ポリュームが空であるかどうかを判定するステップ、およびii) 3D立方体ポリュームが空であれば、そのときにはボクセルグリッド中の現在のボクセルに空の値を割り当て、そうでない場合にはボクセルグリッド中の現在のボクセルに存在値を割り当てるステップも伴う(ステップ515)。

【 0 0 9 4 】

3D立方体ポリュームが空であるかどうかを判定するステップは、サンプリングされたボクセルを評価するステップを伴うことができる。サンプリングされたボクセルが値を含むならば、そのときには3D立方体ポリュームが空ではないと判定される。サンプリングされたボクセルが値を含まなければ、そのときには3D立方体ポリュームが空であると判定される。いくつかの実施形態では、サンプリングされたボクセルの値が閾値を超えれば、そのときには3D立方体ポリュームが空ではないと判定され、それらの値が閾値未満であれば、3D立方体ポリュームが空であると判定される。

【 0 0 9 5 】

ほとんどまたはまったくデータを有さないポリュームの部分を特定し、無視することによって、処理を劇的に減少させることができる。例えば、頭部の3Dモデルの周りの空間(例えば、空気)中に位置する立方体にゼロの値を与えることができ、それらは無視し、結果として、要求される処理を大幅に減少させることができる。

【 0 0 9 6 】

いくつかの実施形態では、立方体のサイズを(例えば、3Dオブジェクトのサイズと比較して、および/または $1/64$ の立方体サイズ、 $64 \times 64 \times 64$ に)設定し、立方体ごとに入力データ(例えば、CTデータ)をチェックすることによって、ツリー構造が作成され、立方体中の入力データ(例えば、CTデータ)が閾値より大きい値を有さなければ

10

20

30

40

50

、いくつかの実施形態は、立方体を興味なしとマーク付けできる（例えば、ゼロの値またはデータを表さないその他の所定の値を立方体に与える）。興味なしとマーク付けされた（例えば、データを含まない）立方体は、さらなる処理では無視できて、例えば、ツリー構造から出される。

【0097】

立方体中で閾値より大きい値が見つければ、いくつかの実施形態は、立方体を興味ありとマークを付けできる（例えば、1の値またはデータを表すその他の所定の値を立方体に与える）。興味ありとマーク付けされた（例えば、データを含んだ）立方体をツリー構造に挿入し、または含めることができる。いくつかの実施形態では、ツリー構造に基づいて、例えば、興味ありとマーク付けされた立方体に基づいてメッシュを作成できる。

10

【0098】

本方法は、存在値を有するボクセルグリッド中の立方体ごとに、対応する3Dオブジェクトに基づいて対応する3D立方体ボリュームをレンダリングするステップも伴うことができる（ステップ520）。例えば、ボリューム中の立方体がデータ（例えば、骨または血管のようなオブジェクトを示すか、またはそれらに対応するRGBA値）を含むならば、そのときには立方体のデータに基づいて2Dフレーム中で立方体を表すピクセルの値を決定できる。いくつかの実施形態では、興味ありとマーク付けされた立方体を含むツリーをCPUによって、例えば、コントローラ105によって作成できる。いくつかの実施形態では、ツリーを専用ハードウェアユニットによって、例えば、グラフィックス処理ユニット（GPU）によって作成できる。

20

【0099】

例えば、いくつかの実施形態では、ボクセルグリッドをGPUが定義できて、例えば、GPUのメモリ中の $64 \times 64 \times 64$ ボクセルに基づいて、ポイントの各々に立方体を有する（各々が3D位置および3Dサイズを有する）ボクセルグリッドを生成できる。GPUを用いて図5の方法を実装すると、CPUと比較して速度を増加できることに留意されたい。

【0100】

記載されるようなデータをもつ（および/またはもたない）立方体を実施形態が検索できる3Dスペースのサイズは、ユーザによって定義できる。例えば、記載されるような $64 \times 64 \times 256$ サイズのボリュームではなく、ユーザによってその他のサイズを選択できる。任意のサンプリング速度、ステップまたは解像度を用いることができ、例えば、GPU中で立方体を解析するために用いられる $8 \times 8 \times 8$ 個の立方体の代わりに、例えば、性能を高めるために $16 \times 16 \times 16$ 個の立方体を用いることができる。

30

【0101】

図6は、本発明のいくつかの実施形態による、ボリューム、最適化されたツリーおよびフレームのスクリーンショットを示す。スクリーンショット610によって示されるように、ボリュームは、単一の立方体で表すことができる。スクリーンショット620によって示されるように、ボリュームをより小さい立方体に分けることができる。例えば、全ボリュームまたはボリューム全体に対して1つの立方体を用いる代わりに、いくつかの実施形態は、ボリュームを、場合によっては同じサイズをもつ、より小さい立方体に分けることができる。立方体の色は、ボリューム中の区域がデータを含むか否かに基づくことができる。スクリーンショット630は、記載されるようなツリーを用いて作成されたレンダリングされたボリュームの例を示す。

40

【0102】

当業者には明らかなように、ボリュームレンダリングは、物質分類、ツリー最適化およびインクリメンタルなレイキャスティングを行う任意の組み合わせを含むことができる。

【0103】

本出願の記載および請求項において、「備える（comprise）」、「含む（include）」および「有する（have）」の各々の動詞、ならびにそれらの活用形は、動詞の1つまたは複数の目的語が、動詞の1つまたは複数の主語の成分、要素もしくは部

50

分の必ずしも完全なリスティングではないことを示すために用いられる。別に明記されない限り、本開示の実施形態の1つまたは複数の特徴に特有の状態または関係を修飾する「実質的に (substantially)」および「約 (about)」のような形容詞は、記載されるような実施形態の動作にとって受入れ可能な許容範囲内でその状態または特性が定義されることを意味すると理解される。加えて、単語「または (or)」は、排他的 or ではなく、むしろ包含的「or」であると見做されて、それが結合する項目の少なくとも1つまたは任意の組み合わせを示す。

【0104】

本出願における発明の実施形態の記載は、例として提供され、本開示の範囲を限定することは意図されない。記載される実施形態は、そのすべてがすべての実施形態に必要とされるわけではない、異なる特徴を備える。いくつかの実施形態は、特徴のいくつかのみ、または特徴の可能な組み合わせを利用する。記載される本発明の実施形態の変形例および記載される実施形態に記される特徴の異なる組み合わせを備える実施形態が当業者には想起されるであろう。本発明の範囲は、特許請求の範囲によってのみ限定される。

10

【0105】

明示的に述べられない限り、本明細書に記載される方法の実施形態は、特定の時間順または時系列には制約されない。加えて、記載された方法の要素のいくつかを省略することができ、または方法の動作のシーケンス中にそれらを繰り返すことができる。

【0106】

本発明のいくつかの特徴が本明細書に図示され、記載されたが、多くの修正、置換、変更、および均等物が当業者には想起できるであろう。それゆえに、理解されるべきは、添付される特許請求の範囲が本発明の真の趣旨の範囲内にあるすべてのかかる修正および変更

20

に及ぶことが意図されることである。

【0107】

様々な実施形態が提示された。これらの実施形態の各々が、もちろん、提示される他の実施形態からの特徴を含むことができ、具体的には記載されない実施形態が本明細書に記載される様々な特徴を含むことができる。

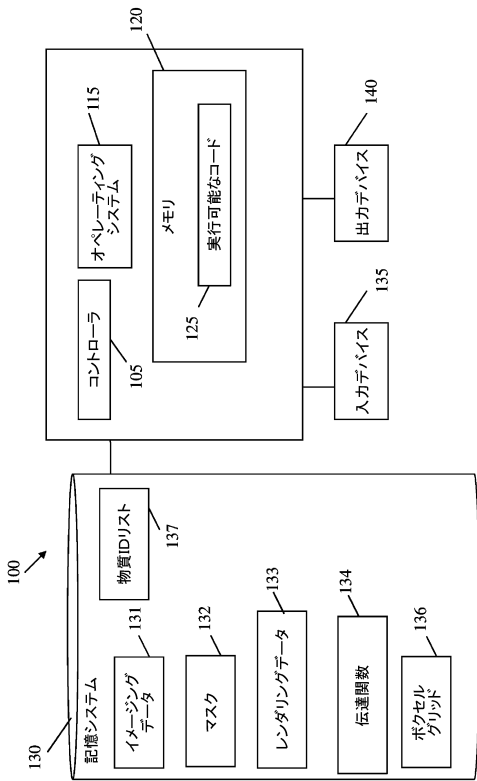
30

40

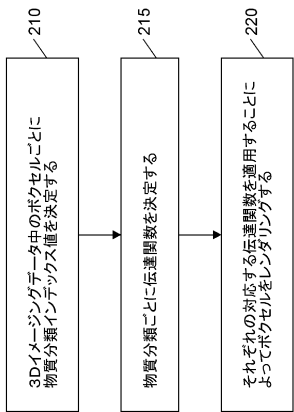
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

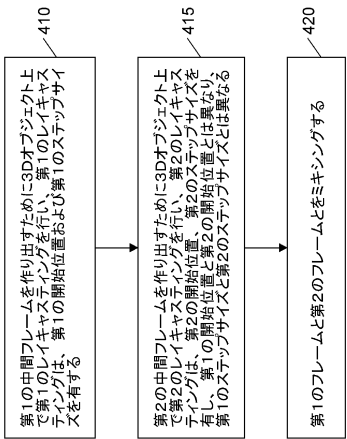
20

【図 3】

310

物質	最小HU	最大HU
空気	-2048	-600
皮膚	-599	-150
脂肪	-148	-40
筋肉	-41	80
筋肉/脈管	81	109
脈管構造	110	199
骨/脈管構造	200	450
骨	451	700
總密骨	701	1300
歯	1301	3071
ノイズ	-	-
ベッド	-	-

【図 4】

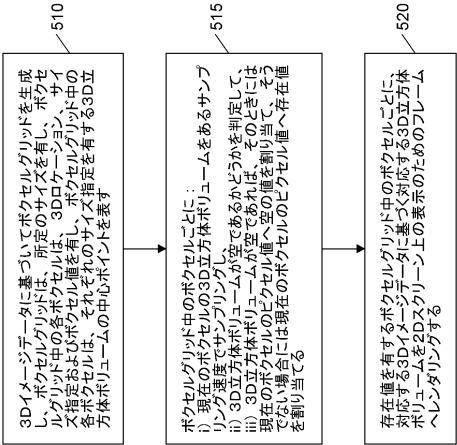


30

40

50

【図 5】



【図 6】

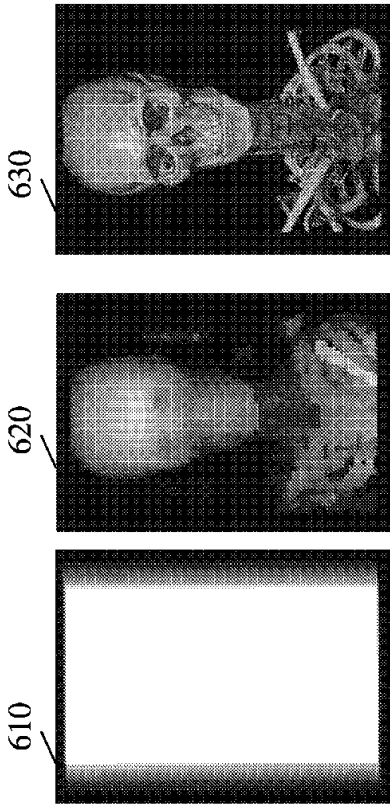


Fig. 6

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 弁理士 小菅 一弘
- (72)発明者 クレディ オレン
イスラエル国 9 3 7 8 4 3 9 エルサレム ガーシェン アヴナー ストリート 5 アパートメント 2 3
- (72)発明者 ヴァックスマン ヤロン
イスラエル国 4 9 6 0 0 9 0 ペタク テイクヴァ ジーヴ ブランデ 3 4
- (72)発明者 ボラット ロイ
イスラエル国 6 9 3 6 4 2 4 テルアビブ バーラ イェフダ ストリート 2 4 / 2 7
- 審査官 片岡 利延
- (56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 1 6 0 3 0 6 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 0 2 9 8 6 0 (J P , A)
特表 2 0 0 5 - 5 0 6 1 4 0 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 1 8 0 1 6 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 1 3 4 3 8 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- G 0 6 T 1 5 / 0 8
G 0 6 T 1 / 0 0
A 6 1 B 6 / 0 3