

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6418344号
(P6418344)

(45) 発行日 平成30年11月7日(2018.11.7)

(24) 登録日 平成30年10月19日(2018.10.19)

(51) Int.Cl.

F I

G O 6 T 15/08 (2011.01)

G O 6 T 15/08

請求項の数 12 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2018-30962(P2018-30962)

(22) 出願日 平成30年2月23日(2018.2.23)

審査請求日 平成30年2月23日(2018.2.23)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000002897

大日本印刷株式会社

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

(74) 代理人 100114557

弁理士 河野 英仁

(74) 代理人 100078868

弁理士 河野 登夫

(72) 発明者 茂出木 敏雄

東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号

大日本印刷株式会社内

審査官 村松 貴士

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コンピュータプログラム、画像処理装置及び画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータに、レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を実行させるためのコンピュータプログラムであって、

コンピュータに、

z方向に沿って所定間隔で撮像された複数のx y平面画像の画像データを取得する処理と、

前記x y平面画像の画素の値に対してRGB値及び不透明度が定められ、前記複数のx y平面画像それぞれの各画素に対応するRGB値及び不透明度を有するボクセルで構成される3次元ボクセル画像を生成する処理と、

前記3次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する処理と、

前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する処理と、

前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル画像の生成と前記暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返す処理と、

生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する処理と

を実行させるコンピュータプログラム。

【請求項2】

コンピュータに、

10

20

前記変換後ボクセル画像のボクセルの整数の $x y z$ 座標の少なくとも一つの座標値に実数の座標オフセット値を加算した座標値に対して前記所定の座標変換の逆変換を行って $x y z$ 座標の実数値を算出する処理と、

算出した $x y z$ 座標の実数値の近傍の整数値を $x y z$ 座標とする前記 3 次元ボクセル画像の複数のボクセルを特定する処理と、

特定した前記 3 次元ボクセル画像の複数のボクセルのボクセル値を補間して前記変換後ボクセル画像を生成する処理と、

前記変換後ボクセル画像を生成した後に、前記座標オフセット値を変更する処理と
を実行させる請求項 1 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 3】

10

コンピュータに、

前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値に該ボクセルの座標間隔の 2 分の 1 以下の座標オフセット値を加える処理を実行させる請求項 1 又は請求項 2 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 4】

コンピュータに、

前記複数の暫定レンダリング画像の対応する各画素の画素値を平均化して前記レンダリング画像を生成する処理を実行させる請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 5】

20

コンピュータに、

所定の視点から仮想光線を前記変換後ボクセル画像に向かって照射したときに、視線上のボクセル毎に該ボクセルに対応する前記 3 次元ボクセル画像の RGB 値及び不透明度並びに前記仮想光線の透過強度の積により累積輝度値を累積加算した値に基づいて算出される RGB 値を、前記視線が投影面と交差する画素の画素値として暫定レンダリング画像を生成する処理を実行させる請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項にコンピュータプログラム。

【請求項 6】

コンピュータに、

前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの不透明度に関する勾配ベクトルを算出する処理と

30

、
算出した勾配ベクトル及び所定の光源ベクトルに基づいて前記ボクセルの陰影値を算出する処理と、

算出した陰影値に基づいて前記ボクセルの RGB 値を補正する処理と

を実行させる請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 7】

コンピュータに、

前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの不透明度と、該ボクセルの前記 3 次元ボクセル画像における近傍に位置する複数の近傍ボクセルそれぞれの不透明度との差分を算出する処理と、

40

前記ボクセルと前記近傍ボクセルとの距離並びに前記ボクセル及び前記近傍ボクセルそれぞれの不透明度の差分に基づいて前記ボクセルの勾配ベクトルを算出する処理と

を実行させる請求項 6 に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 8】

コンピュータに、

前記複数の $x y$ 平面画像のうちの所定の $x y$ 平面画像の画素の最小値及び最大値を特定する処理と、

特定した最大値よりも小さい上限値及び特定した最小値よりも大きい下限値を算出する処理と、

前記複数の $x y$ 平面画像の各画素の画素値を前記上限値及び下限値の範囲内に圧縮する

50

処理と、

前記 $x y$ 平面画像の圧縮された画素値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、圧縮した前記複数の $x y$ 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成する処理と

を実行させる請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 9】

コンピュータに、

$x y z$ 軸の回転角、 $x y z$ 軸方向のオフセット値、 $x y z$ 軸方向の拡大又は縮小倍率、 z 軸方向の変倍率、注視点から視点までの距離を含む前記所定の座標変換のパラメータを取得する処理と、

10

前記 3 次元ボクセル画像に対して、取得したパラメータを用いた前記所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する処理と

を実行させる請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 10】

コンピュータに、

ボリュームレンダリング処理の対象領域を画定する $x y z$ 座標を設定する処理と、

前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの $x y z$ 座標が前記対象領域外にある場合、前記ボクセルの R G B 値及び不透明度を所定値に設定する処理と

を実行させる請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載のコンピュータプログラム。

【請求項 11】

20

レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を行う画像処理装置であって、

z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の $x y$ 平面画像の画像データを取得する取得部と、

前記 $x y$ 平面画像の画素の値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、前記複数の $x y$ 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成するボクセル画像生成部と、

前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する変換後ボクセル画像生成部と、

30

前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する暫定レンダリング画像生成部と、

前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル画像を生成する処理と前記暫定レンダリング画像を生成する処理とを一回以上繰り返す複数画像生成制御部と、

生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成するレンダリング画像生成部と

を備える画像処理装置。

【請求項 12】

レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を行う画像処理方法であって、

40

z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の $x y$ 平面画像の画像データを取得し、

前記 $x y$ 平面画像の画素の値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、前記複数の $x y$ 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成し、

前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成し、

前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成し、

前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル

50

ル画像の生成と前記暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返し、

生成された複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する画像処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、コンピュータプログラム、画像処理装置及び画像処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

医療分野においては、C T (Computed Tomography)、M R I (Magnetic Resonance Imaging)、P E T (Positron Emission Tomography)などの医用画像診断機器により所定のスライス間隔で連続的に撮影され、D I C O M (Digital Imaging and COmmunications in Medicine)形式で保管された2次元のスライス画像に基づいて、臓器等の観察対象物を3次的に可視化して画像診断支援、手術又は治療支援に役立てるための技術が開発されている。

【0003】

観察対象物の内部組織を3次元画像表示する代表的な手法としてボリュームレンダリング手法が知られている。特許文献1には、ボリュームレンダリング手法の一つとして、レイキャスティング処理が開示されている。レイキャスティング処理は、複数のスライス画像を積層して3次元ボクセル空間を構築し、3次元ボクセル空間に対して任意の視点方向からレイ(仮想光線)を照射し、視点方向と直交する投影面(スクリーン)に、投影結果をピクセル値として得るものである。具体的には、視点方向が3次元座標軸のZ軸と平行になるように座標変換を施し、座標変換後の3次元ボクセル空間に対して、Z軸方向にレイを照射し、X Y平面上の投影面(スクリーン)に、投影結果をピクセル値として算出するものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-175743号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

この座標変換に伴い、背景との境界や画像上のコントラストがはっきりしている箇所等のエッジ部にジャギー(階段状の段差やギザギザなど)が目立つ場合がある。

【0006】

本開示は、斯かる事情に鑑みてなされたものであり、ジャギーの発生を抑制することができるコンピュータプログラム、画像処理装置及び画像処理方法を明らかにする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、コンピュータに、レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を実行させるためのコンピュータプログラムであって、コンピュータに、z方向に沿って所定間隔で撮像された複数のx y平面画像の画像データを取得する処理と、前記x y平面画像の画素の値に対してR G B値及び不透明度が定められ、前記複数のx y平面画像それぞれの各画素に対応するR G B値及び不透明度を有するボクセルで構成される3次元ボクセル画像を生成する処理と、前記3次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する処理と、前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する処理と、前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル画像の生成と前記暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返

10

20

30

40

50

す処理と、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する処理とを実行させる。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本開示によれば、ジャギーの発生を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】本実施の形態の画像処理装置としてのレイキャスティング装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図 2】D I C O M形式の断層画像の一例を示す模式図である。

10

【図 3】本実施の形態のカラーマップデータの第 1 例を示す説明図である。

【図 4】本実施の形態のカラーマップデータの第 2 例を示す説明図である。

【図 5】本実施の形態のレイキャスティング装置による階調圧縮処理の一例を示す説明図である。

【図 6】本実施の形態のボクセル構造体の一例を示す模式図である。

【図 7】本実施の形態のレイキャスティング装置による座標変換処理の一例を示す説明図である。

【図 8】本実施の形態のレイキャスティング装置による探索制御マスクデータ生成処理の一例を示す説明図である。

【図 9】本実施の形態のレイキャスティング装置による平行投影の場合のレイキャスティング処理の一例を示す説明図である。

20

【図 1 0】本実施の形態のレイキャスティング装置による透視投影の場合のレイキャスティング処理の一例を示す説明図である。

【図 1 1】本実施の形態のレイキャスティング装置によるレイキャスティング処理の手順の一例を示すフローチャートである。

【図 1 2】本実施の形態のレイキャスティング装置によるレイキャスティング処理の手順の一例を示すフローチャートである。

【図 1 3】本実施の形態のレイキャスティング装置による座標変換処理の手順の一例を示すフローチャートである。

【図 1 4】本実施の形態のレイキャスティング装置による座標変換処理の手順の一例を示すフローチャートである。

30

【図 1 5】本実施の形態のレイキャスティング装置による補間処理の一例を示す模式図である。

【図 1 6】本実施の形態のレイキャスティング装置によるレイキャスティング処理の手順の一例を示すフローチャートである。

【図 1 7】本実施の形態のレイキャスティング装置によるレイキャスティング処理の手順の一例を示すフローチャートである。

【図 1 8】本実施の形態の画像処理部の構成の他の例を示すブロック図である。

【図 1 9】本実施の形態のレイキャスティング装置によるジャギー対策結果の一例を示す説明図である。

40

【図 2 0】本実施の形態のレイキャスティング装置による陰影計算を行った場合のモアレ対策結果の一例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、本開示の実施の形態を図面に基づいて説明する。図 1 は本実施の形態の画像処理装置としてのレイキャスティング装置 1 0 0 の構成の一例を示すブロック図である。本実施の形態のレイキャスティング装置 1 0 0 は、入力部 1 0、記憶部 1 1、出力部 1 2、画像処理部 2 0などを備える。画像処理部 2 0は、階調圧縮処理部 2 1、平滑化处理部 2 2、ボクセル構造体生成部 2 3、座標変換処理部 2 4、レイキャスティング処理部 2 5、探索制御マスク生成部 2 6、座標値算出部 2 7、サブサンプル・オフセット設定部 2 8、補

50

間処理部 29、ROI (Region of Interest) クリッピング処理部 30などを備える。

【0011】

入力部 10は、取得部としての機能を有し、z方向に沿って所定間隔で撮像された複数のxy平面画像の画像データを取得する。より具体的には、入力部 10は、観察対象物（例えば、臓器、脳、骨、血管などを内部に含む人体・動物の様々な部位）に対して所定の間隔で断層撮影された複数の2次元の断層画像のDICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 形式の画像データを取得する。

【0012】

図2はDICOM形式の断層画像の一例を示す模式図である。図2に示すようにxyz軸を設定した場合、xy平面画像であるスライス画像（2次元の断層画像）が、z方向に沿って複数並んでいる。Sxはx軸方向の画素数であり、Syはy軸方向の画素数であり、Szはスライス画像の枚数である。なお、3次元ボクセル空間では、SxとSyは各々x軸方向とy軸方向のボクセル数を表し、Szはz軸方向のボクセル数に対応する。Rxyはx方向及びy方向の解像度であり、画素の間隔の逆数、すなわち単位距離あたりの画素数を示す。x方向とy方向の解像度は等しいが、異なってもよい。Rzはz方向の解像度であり、隣り合うスライス画像の間隔の逆数、すなわち単位距離あたりのスライス数を表す。各スライス画像の座標(x, y, z)での画素値をDo(x, y, z)で現す。Do(x, y, z)は、-32768以上、32767以下の値を取り得る。画素値Do(x, y, z)は、例えば、CT画像の場合、水が0を示し、水よりも密度の高い組織（例えば、骨など）は正值となり、水よりも密度の低い組織（例えば、脂肪組織など）は負値となる。ボクセル画像の座標(x, y, z)において、x座標は0以上、Sx-1以下の値をとり、y座標は0以上、Sy-1以下の値をとり、z座標は0以上、Sz-1以下の値をとる。

【0013】

また、入力部 10は、画素値に対応付けてRGB値及び不透明度が定義されたカラーマップデータを取得する。

【0014】

図3は本実施の形態のカラーマップデータの第1例を示す説明図である。第1例のカラーマップデータをCmap(v, c)で示す。変数vは、Do(x, y, z)の画素値を示し、Do(x, y, z)の範囲と同様に、-32768以上、32767以下の範囲内の数値を表す。変数cは、0、1、2、3の値を含み、c=0は、RGBのR値を示し、c=1はG値を示し、c=2はB値を示す。c=3は不透明度αを示す。Cmap(v, c)は、0以上、255以下の数値を取り得る。図3に示すように、カラーマップデータは、スライス画像の画素値Do(x, y, z)とRGB値及び不透明度αとの関係を定義するものである。例えば、画素値Do(x, y, z)が32767の場合、R値はR(32767)となり、G値はG(32767)となり、B値はB(32767)となり、不透明度はα(32767)となる。ここで、R(32767)、G(32767)、B(32767)、及びα(32767)は、画素値32767に対応していることを便宜上示すものであり、実際には適切な数値となる。また、カラーマップデータは、-32768から32767までの全ての画素値に対して定義する必要はなく、CT画像の場合、通常は-2048から2048の範囲をとるように調整されるため、-32768から-2048の範囲、および2048から32767の範囲のRGB値及び不透明度は全て0に設定するようにしてもよい。

【0015】

図4は本実施の形態のカラーマップデータの第2例を示す説明図である。第2例のカラーマップデータをCmap8(v, c)で示す。後述するように、DICOM画像を、例えば、16ビットから8ビットへ階調圧縮した場合、画素値を、-32768以上、32767以下の範囲から、0以上、255以下の範囲とすることができる。Cmap8(v, c)の変数vは、0以上、255以下の範囲内の数値となる。変数cは第1例と同様である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

カラーマップデータ $Cmap(v, c)$ 、 $Cmap8(v, c)$ を用いることにより、例えば、人体の部位毎に異なる色を付すだけでなく、部位ごとに不透明度を設定することができ、手前に位置する臓器を透明にして奥に隠れている臓器を描出するなど、観察対象を認識しやすくすることができる。

【 0 0 1 7 】

また、入力部 10 は、 $x y z$ 軸の回転角、 $x y z$ 軸方向のオフセット値、 $x y z$ 軸方向の拡大又は縮小倍率、 z 軸方向の変倍率、注視点から視点までの距離を含む座標変換のパラメータ、座標変換サブサンプル・オフセットの初期値、及び $x y z$ 方向の ROI (Region of Interest: 関心領域) の値を取得する。座標変換のパラメータ、 ROI 値の詳細は後述する。

10

【 0 0 1 8 】

記憶部 11 は、入力部 10 で取得したデータ、画像処理部 20 での処理結果などを記憶することができる。なお、カラーマップデータ、座標変換パラメータ、 ROI 値などを予め記憶部 11 に記憶する構成でもよい。

【 0 0 1 9 】

出力部 12 は、画像処理部 20 での処理結果、例えば、レイキャスティング処理部 25 で生成したレンダリング画像の画像データを表示装置 (不図示) に出力する。

【 0 0 2 0 】

階調圧縮処理部 21 は、 $DICOM$ 形式の断層画像を、例えば、8 ビットの階調圧縮断層画像にする。

20

【 0 0 2 1 】

図 5 は本実施の形態のレイキャスティング装置 100 による階調圧縮処理の一例を示す説明図である。階調圧縮処理部 21 は、複数のスライス画像のうちの所定のスライス画像の画素の最小値及び最大値を特定する。例えば、1 から Sz までのスライス画像のうち、 $Sz / 2$ 番目の中間のスライス画像における全ての画素の最小値 $Dmin$ 及び最大値 $Dmax$ を特定することができる。なお、所定のスライス画像としては、本来は全てのスライス画像における全ての画素の最小値及び最大値を特定する方法が正確である。しかし、その場合は、一旦全ての大容量の 16 ビットの $DICOM$ 形式の断層画像をメモリに保持する必要が生じ、階調圧縮効果が半減する。また、この最小値 $Dmin$ 及び最大値 $Dmax$ は階調圧縮のパラメータに使用するだけで、8 ビットの階調圧縮断層画像の精度には直接影響しない。そこで、単一のスライス画像の画素の最小値及び最大値を用いて、おおまかに特定する方法をとる。ただし、先頭のスライス画像では被写体が適切に映っていない場合が多いため、中間のスライス画像だけで最小値 $Dmin$ 及び最大値 $Dmax$ を特定する方法をとる。これにより、大容量の 16 ビットの $DICOM$ 形式の断層画像をメモリに保持することなく 8 ビットの階調圧縮断層画像だけをメモリに直接構築することができる。

30

【 0 0 2 2 】

8 ビットの階調圧縮断層画像 $D8(x, y, z)$ は、 $D8(x, y, z) = (Do(x, y, z) - Lmin) \cdot 255 / (Lmax - Lmin)$ という式により生成することができる。ただし、 $D8(x, y, z) > 255$ の場合は、 $D8(x, y, z) = 255$ とし、 $D8(x, y, z) < 0$ の場合は、 $D8(x, y, z) = 0$ とする。ここで、 $Lmin = (Dmax - Dmin) \cdot y + Dmin$ 、 $Lmax = (Dmax - Dmin) \cdot (1 - y) + Dmin$ である。 y は階調圧縮画像のコントラスト調整幅で、0 に近いほどコントラストは増大するが輝度は小さくなる。通常は、 $y = 0.1$ に設定する。レンダリング像の輝度コントラストは、例えば、カラーマップデータなどの種々の設定で調整することができるので、 y は固定値でよい。また、 $0 \leq D8(x, y, z) \leq 255$ 、 $0 \leq x \leq Sx - 1$ 、 $0 \leq y \leq Sy - 1$ 、 $0 \leq z \leq Sz - 1$ である。また、 $x y$ 方向の解像度は Rxy 、 z 方向の解像度は Rz である。

40

【 0 0 2 3 】

なお、8 ビットの階調圧縮断層画像 $D8(x, y, z)$ に対しては、図 4 に示すカラー

50

マップ $Cmap8(v, c)$ を適用することができる。

【0024】

上述のように、階調圧縮処理部21は、複数のxy平面画像のうちの所定のxy平面画像の画素の最小値 $Dmin$ 及び最大値 $Dmax$ を特定し、特定した最大値よりも小さい上限値 $Lmax$ 及び特定した最小値よりも大きい下限値 $Lmin$ を算出する。階調圧縮処理部21は、複数のxy平面画像の各画素の画素値の上限値 $Lmax$ 及び下限値 $Lmin$ の範囲内を圧縮する。すなわち、階調圧縮処理部21は、上限値 $Lmax$ 及び下限値 $Lmin$ の範囲を、例えば、256段階に圧縮し、上限値 $Lmax$ 以上は255にし、下限値 $Lmin$ 以下は0にする。

【0025】

ボクセル構造体生成部23は、ボクセル画像生成部としての機能を有し、RGB値及び不透明度 α が定められ、複数のxy平面画像それぞれの各画素に対応するボクセルで構成される3次元ボクセル画像を生成する。より具体的には、ボクセル構造体生成部23は、複数のxy平面画像それぞれの各画素の画素値に対応するカラーマップデータのRGB値及び不透明度を対応付けてRGB値及び不透明度 α を設定し、3次元ボクセル画像を生成する。以下、3次元ボクセル画像をボクセル構造体とも称する。

【0026】

図6は本実施の形態のボクセル構造体の一例を示す模式図である。図6Aは、後述の座標変換前のボクセル構造体を示し、図6Bは、座標変換後のボクセル構造体を示す。まず、座標変換前のボクセル構造体について説明する。ボクセル構造体は、RGB値及び不透明度 α の要素で構成されるベクトル値が3次的に詰まったボリュームデータを格子状に離散化して配置したボクセルの集合である。一つのボクセルには、例えば、DICOM画像 $Do(x, y, z)$ の一つの画素に対応する。座標変換前のボクセル構造体を $V(x, y, z, c)$ で表すと、 $V(x, y, z, c) = Cmap(Do(x, y, z), c)$ で表すことができる。ここで、 $0 \leq x \leq Sx - 1$ 、 $0 \leq y \leq Sy - 1$ 、 $0 \leq z \leq Sz - 1$ 、 $0 \leq c \leq 3$ である。上述の式が意味するところは、DICOM画像 $Do(x, y, z)$ の画素値にカラーマップ $Cmap(v, c)$ を適用してボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ を生成するということである。

【0027】

また、ボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ は、階調圧縮処理部21により階調圧縮された階調圧縮断層画像 $D8(x, y, z)$ から生成でき、 $V(x, y, z, c) = Cmap8(D8(x, y, z), c)$ で表すことができる。この式が意味するところは、階調圧縮断層画像 $D8(x, y, z)$ の画素値にカラーマップ $Cmap8(v, c)$ を適用してボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ を生成するということである。

【0028】

平滑化処理部22は、生成された3次元ボクセル画像に対して平滑化を行う。これは、複数のスライス画像に知覚可能な不規則なパターンが回転によりずれて重なり連結することにより発生するモアレを抑制するためである。平滑化は、3次元ボクセル画像の各ボクセル $V(x, y, z, c)$ のRGB値及び不透明度を、当該ボクセル及び当該ボクセルの26近傍ボクセルのRGB値及び不透明度の平均値に置換することにより行う。

【0029】

3次元ボクセル画像の各ボクセル $V(x, y, z, c)$ に対して、当該ボクセル及び当該ボクセルの近傍に存在する26個の近傍ボクセルである、 $V(x - 1, y - 1, z - 1, c)$ 、 $V(x, y - 1, z - 1, c)$ 、 $V(x + 1, y - 1, z - 1, c)$ 、 $V(x - 1, y, z - 1, c)$ 、 $V(x, y, z - 1, c)$ 、 $V(x + 1, y, z - 1, c)$ 、 $V(x - 1, y + 1, z - 1, c)$ 、 $V(x, y + 1, z - 1, c)$ 、 $V(x + 1, y + 1, z - 1, c)$ 、 $V(x - 1, y - 1, z, c)$ 、 $V(x, y - 1, z, c)$ 、 $V(x + 1, y - 1, z, c)$ 、 $V(x - 1, y, z, c)$ 、 $V(x, y, z, c)$ 、 $V(x + 1, y, z, c)$ 、 $V(x - 1, y + 1, z, c)$ 、 $V(x, y + 1, z, c)$ 、 $V(x + 1, y + 1, z, c)$ 、 $V(x - 1, y - 1, z + 1, c)$ 、 $V(x, y - 1, z + 1, c)$ 、 $V(x + 1, y - 1, z + 1, c)$ 、 $V(x - 1, y, z + 1, c)$ 、 $V(x, y, z + 1, c)$ 、 $V(x + 1, y, z + 1, c)$ 、 $V(x - 1, y + 1, z + 1, c)$ 、 $V(x, y + 1, z + 1, c)$ 、 $V(x + 1, y + 1, z + 1, c)$ の平均値に置換することにより行う。

c)、 $V(x+1, y-1, z+1, c)$ 、 $V(x-1, y, z+1, c)$ 、 $V(x, y, z+1, c)$ 、 $V(x+1, y, z+1, c)$ 、 $V(x-1, y+1, z+1, c)$ 、 $V(x, y+1, z+1, c)$ 、 $V(x+1, y+1, z+1, c)$ の平均値で $0 \leq c \leq 3$ の値を置換する。即ち、ボクセル $V(x, y, z, c)$ に対して平滑化されたボクセルを $V'(x, y, z, c)$ とすると、平滑化されたボクセル $V'(x, y, z, c)$ は、式 (1) で算出することができる。

【0030】

【数1】

$$V'(x, y, z, c) = \left\{ \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \sum_{k=-1}^1 V(x+i, y+j, z+k, c) \right\} / 27 \quad \dots(1)$$

10

【0031】

式 (1) では $0 \leq c \leq 3$ の4つの値を平滑化しているが、RGB値 ($c = 0, 1, 2$) に対しては平滑化を行わず、不透明度 ($c = 3$) の値のみを平滑化するようにしてもよい。そうすると、処理負荷が $1/4$ に削減され、平滑化に伴う画像のボケが軽減される。

【0032】

このようにして、3次元ボクセル $V(x, y, z, c)$ に対して x, y, z 方向の26近傍平均値で等方性に平滑化処理を行うことにより、複数のスライス画像に知覚可能な不規則なパターンが回転によりずれて重なり連結することにより発生するモアレを抑制することができる。尚、以降の説明では、平滑化した3次元ボクセル $V'(x, y, z, c)$ を改めて $V(x, y, z, c)$ と表す。

20

【0033】

座標変換処理部24は、変換後ボクセル画像生成部としての機能を有し、生成した3次元ボクセル画像に対して、入力部10で取得した座標変換パラメータを用いて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する。すなわち、座標変換処理部24は、ボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対して、所定の座標変換処理を施して、変換後のボクセル構造体を生成する。変換後のボクセル構造体を $V'(x, y, z', c)$ と表す。変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ は、 $V'(x, y, z', c) = \text{Matrix}(4 \times 4) \cdot V(x, y, z, c)$ で表すことができる。ここで、 $0 \leq x \leq Sx-1$ 、 $0 \leq y \leq Sy-1$ 、 $0 \leq z' \leq Sz'-1$ 、 $0 \leq c \leq 3$ である。なお、 z' は、 z 軸に対して解像度を x, y 軸と一致させるような補正を施したもので、 $z' = z \cdot Rx \cdot y / Rz$ 、 $Sz' = Sz \cdot Rx \cdot y / Rz$ である。 $\text{Matrix}(4 \times 4)$ は、座標変換を施すための変換行列であり、具体的な変換式は後述する。

30

【0034】

図6Aに示すように、レンダリング像が生成される投影面の向きと、ボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ の z 軸方向が一致していないと、後述のレイキャスティング処理が複雑になる。そこで、図6Bに示すように、ボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ の x, y, z 軸を回転させて、例えば、座標変換後の z' 軸が投影面に対して垂直方向にすることにより、レイキャスティング処理を簡単にすることができる。

40

【0035】

図7は本実施の形態のレイキャスティング装置100による座標変換処理の一例を示す説明図である。図7に示すように、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ は、変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対して、ROIによるクリッピングを行い、関心領域を設定し、その後座標変換を行うことにより求めることができる。ROIクリッピング処理部30は、 x 軸方向のROIとして、 $Xs - Xe$ を設定し、 y 軸方向のROIとして、 $Ys - Ye$ を設定し、 z 軸方向のROIとして、 $Zs - Ze$ を設定する。ここで、 $0 \leq Xs < Xe \leq Sx-1$ 、 $0 \leq Ys < Ye \leq Sy-1$ 、 $0 \leq Zs < Ze \leq Sz$

50

$z - 1$ である。変換前のボクセル構造体において、関心領域以外のボクセル R G B 値および不透明度は全て 0 であるとみなして、座標変換処理を行う。

【 0 0 3 6 】

座標変換は、例えば、スケーリング、 z 方向変倍処理、オフセット、回転、透視変換の順番で行うことができるが、 4×4 の変換行列で定義可能な範囲であれば、各処理の順番は、図 7 の例に限定されない。なお、後述の逆変換における各処理の順番は、座標変換での各処理の順番と逆の順番とし、前記変換行列の逆行列を施すことになる。

【 0 0 3 7 】

スケーリングは、 $x y z$ 軸方向で同一の拡大縮小倍率 $S c a l e$ を用いる。

【 0 0 3 8 】

z 方向変倍処理は、 z 方向の画素の物理的な間隔を $x y$ 方向の画素の物理的な間隔に合わせるための処理である。 z 方向変倍処理では、 z 方向変倍率 $S c z (= R x y / R z)$ を用いる。

【 0 0 3 9 】

オフセットは、 x 軸方向、 y 軸方向、 z 軸方向に平行移動させるための処理である。オフセットでは、 x 軸方向のオフセット $X o f f$ 、 y 軸方向のオフセット $Y o f f$ 、 z 軸方向のオフセット $Z o f f$ を用いる。

【 0 0 4 0 】

回転は、 x 軸回り、 y 軸回り、 z 軸回りに回転させるための処理である。回転では、 x 軸中心の回転角 $R x$ 、 y 軸中心の回転角 $R y$ 、 z 軸中心の回転角 $R z$ (角度の単位は全てラジアン) を用いる。

【 0 0 4 1 】

透視変換は、いわゆる内視鏡モードで画像を表示させるための処理である。透視変換では、注視点 (原点、なお、オフセットがある場合、オフセット後の原点) から z 軸方向の視点までの距離 $D i s t$ を用いる。なお、平行投影の場合には、 $D i s t = 0$ と設定する。

【 0 0 4 2 】

上述のクリッピング、座標変換により、変換後のボクセル構造体 $V' (x, y, z', c)$ の値が決定される。なお、スケーリング、 z 方向変倍処理、オフセット、回転、透視変換の各処理は、変換行列 $M a t r i x (4 \times 4)$ に纏めることができる。

【 0 0 4 3 】

本実施の形態では、座標変換サブサンプル・オフセットを加えながら、座標変換処理及び後述のレイキャスティング処理を複数回 (少なくとも 2 回) 行う。座標変換の際には、前述の x 軸方向、 y 軸方向、 z 軸方向に平行移動させるオフセットに加え、座標変換サブサンプル・オフセット (請求項記載の座標オフセット値) も用いられる。前述の x 軸方向、 y 軸方向、 z 軸方向に平行移動させるオフセットは、数画素単位に視覚的に判別可能なレベルに被写体を移動させるために用いるマクロな移動であるのに対し、座標変換サブサンプル・オフセットは、最大 1 画素の範囲で視覚的に判別不可能なレベルに被写体を微小に移動させるために用いるミクロな移動で、被写体のエッジ部に発生する画素単位の階段状のギザ (ジャギー、エリアシングと呼ばれる) を軽減するために行う。座標変換サブサンプル・オフセットは、 x 軸方向の値を $d x$ 、 y 軸方向の値を $d y$ 、 z 軸方向の値を $d z$ で表すことができる。

【 0 0 4 4 】

サブサンプル・オフセット設定部 28 は、座標変換サブサンプル・オフセットの初期値 (例えば、 $d x = d y = d z = 0$) を座標変換の都度、既に設定された座標変換サブサンプル・オフセットの値と異なる値に更新して座標変換サブサンプル・オフセット値を設定する。座標変換の回数を $L (> 1)$ とすると、座標変換の都度、 $d x = d x + 1 / L$ 、 $d y = d y + 1 / L$ 、 $d z = d z + 1 / L$ という式で座標変換サブサンプル・オフセットを更新することができる。

【 0 0 4 5 】

座標変換処理部 24 は、複数画像生成制御部としての機能も有し、ボクセル構造体生成部 23 で生成された 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値に所定の座標変換サブサンプル・オフセットを加えて、入力部 10 で取得した座標変換パラメータを用いて所定の座標変換を複数回 (L 回) 行って、複数の変換後ボクセル画像を生成する。例えば、座標変換の回数を 2 回 (L = 2) とすると、1 回目の座標変換では、座標変換サブサンプル・オフセットの値は $dx = dy = dz = 0$ (初期値) となり、2 回目の座標変換 (座標変換サブサンプル・オフセットの値の更新の 1 回目) では、 $dx = dy = dz = 0.5$ となる。これにより、背景との境界や画像上のコントラストがはっきりしている箇所等のエッジ部に現れるジャギー (階段状の段差やギザギザなど) の発生を抑制することができる。

【0046】

10

ただし、座標変換を複数回 (L 回) 同時に実行して複数の変換後ボクセル画像を一度に生成する方法は、複数の変換後ボクセル画像 (3 次元の配列データ) を保持するための巨大なメモリ容量を必要とし、処理速度の大幅な低下を招くため現実的ではない。そこで、座標変換は 1 回だけ実行して、単一の変換後ボクセル画像を生成し、後述のレイキャスティング処理を行って暫定レンダリング画像の生成が終了した後に、座標変換サブサンプル・オフセットを既に設定された座標変換サブサンプル・オフセットの値と異なる値に更新した上で 2 回目以降の座標変換を実行し、再度、変換後ボクセル画像を生成し直す方法をとる。暫定レンダリング画像は 2 次元の配列データであるため、複数個保持してもメモリを圧迫することはないが、暫定レンダリング画像が生成される毎に、平均化された画素値で更新する方法をとれば、複数個の暫定レンダリング画像を保持することなく、最終的なレンダリング画像を生成することもできる。

20

【0047】

3 次元ボクセル画像のボクセルの座標間隔を 1 で表すと、座標変換サブサンプル・オフセット dx 、 dy 、 dz は、 $-0.5 \leq dx, dy, dz \leq 0.5$ とすることができる。すなわち、座標変換処理部 24 は、3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値に当該ボクセルの座標間隔の 2 分の 1 以下の座標変換サブサンプル・オフセットを加えることができる。座標変換サブサンプル・オフセットが、1 画素の範囲内であるので、座標変換による画像のぼけの発生を抑制することができる。

【0048】

座標変換サブサンプル・オフセットは、 x 軸方向、 y 軸方向及び z 軸方向の全ての方向に加えることができるが、これに限定されない。座標変換処理部 24 は、ボクセル構造体生成部 23 で生成された 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に座標変換サブサンプル・オフセットを加えて、所定の座標変換を行って、変換後ボクセル画像を生成してもよい。例えば、座標変換サブサンプル・オフセットを z 軸方向にだけ加える構成でもよい。特に z 軸方向は、 xy 軸方向に比べて単位距離あたりの画素数が少ないので、座標変換サブサンプル・オフセットを z 軸方向に加えるだけでも、ジャギーの発生を抑制することができる。

30

【0049】

探索制御マスク生成部 26 は、変換後ボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の xy 座標毎に、変換後ボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセルの不透明度 α が 0 (透明) でない視線上の最小値及び最大値を特定する。

40

【0050】

図 8 は本実施の形態のレイキャスティング装置 100 による探索制御マスクデータ生成処理の一例を示す説明図である。図 8 では、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ を xz' 平面から見た場合を示す。投影面は xy 平面となる。探索制御マスク生成部 26 は、探索制御マスクデータ $M(x, y, s)$ を生成する。ここで、 $s = 0$ (有効なボクセルの範囲の開始点) 又は 1 (有効なボクセルの範囲の終了点) である。

【0051】

図 8 に示すように、2 次元座標 (x, y) 毎に、 z 軸方向に探索対象とする有効なボクセルの範囲を設定する。有効なボクセルとは、不透明度 α が 0 でない値を有するボクセル

50

である。不透明度 α が0とは、透明であるということであり、レンダリング像において当該ボクセルは計算対象から外され表示されない。

【0052】

0 x $Sx - 1$ 、0 y $Sy - 1$ の座標 (x, y) 毎に、 $z' = 0$ から $z' = Sz' - 1$ に向かって z' を一つずつ増やして、最初に $V'(x, y, z', 3) > 0$ を満たす z_1 を探索する。また、同じ座標 (x, y) について、 $z' = Sz' - 1$ から $z' = 0$ に向かって z' を一つずつ減らして、最初に $V'(x, y, z', 3) > 0$ を満たす z_2 を探索する。すなわち、 z' が、少なくとも z_1 と z_2 では、 $V'(x, y, z', 3) > 0$ を満たし、ボクセルの不透明度 α は0でないが、 z' が z_1 と z_2 の間では、 $V'(x, y, z', 3) = 0$ となることもある。即ち、 z_1 は有効なボクセルが存在する z' の最小値であり、 z_2 は最大値となる。探索制御マスクデータ $M(x, y, s)$ は、 $M(x, y, 0) = z_1$ となり、 $M(x, y, 1) = z_2$ となる。

10

【0053】

なお、 $z_1 = z_2$ 、あるいは、 z_1 、 z_2 が見つからない場合、 $M(x, y, 0) = M(x, y, 1) = -1$ とする。

【0054】

探索制御マスクデータ $M(x, y, s)$ を生成することにより、有効でないボクセルを除外して、後続のレイキャスティング処理を行うことができるので、レイキャスティング処理の負荷を軽減することができ、ポリウムレンダリング処理を高速化することができる。

20

【0055】

レイキャスティング処理部25は、暫定レンダリング画像生成部としての機能を有し、座標変換により生成された変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する。すなわち、便宜上、暫定レンダリング画像は、複数回の座標変換及びレイキャスティング処理によって、その都度生成されるレンダリング画像をいう。

【0056】

レイキャスティング処理部25は、レンダリング画像生成部としての機能を有し、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する。例えば、レイキャスティング処理部25は、複数の暫定レンダリング画像の対応する各画素（各暫定レンダリング画像において x, y 座標が同じ各画素）の画素値を平均化してレンダリング画像を生成することができる。すなわち、複数回の座標変換とレイキャスティング処理によって生成される複数の暫定レンダリング画像を平均化（具体的には、各暫定レンダリング画像の対応する各画素の画素値の平均化）することによって、最終的な単一のレンダリング画像を生成する。この時、後述する図12のステップS28のように、暫定レンダリング画像が生成される毎に、保持されているレンダリング画像（初期状態は全ての画素の値を0に設定）と平均化しながら更新する方法をとることもでき、生成される複数の暫定レンダリング画像を全て保持する必要はない。

30

【0057】

より具体的には、暫定レンダリング画像は、以下のようにして生成することができる。すなわち、レイキャスティング処理部25は、所定の視点から所定の透過強度を有する仮想光線を変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ に向かって z' 方向に照射したときに、 z' 軸上のボクセル毎に当該ボクセルの不透明度 α に基づく仮想光線の吸収・減衰度を考慮しながらボクセル通過後の強度を算出し、透過強度が所定の下限以下になる最深点のボクセルを決定する。そして、最深点のボクセルより視点方向に仮想光線が通過した各ボクセルを逆に辿りながら、各ボクセルのRGB値及び不透明度 α を基にRGB値を、当該視線が投影面と交差する画素の画素値として暫定レンダリング画像を生成する。仮想光線を変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ に向かって z' 方向に照射し、最深点のボクセルを決定する過程で、各ボクセルのRGB値及び不透明度 α 並びに仮想光線の透過強度の積を累積加算することにより、投影面と交差する画素の画素値を同時

40

50

に算出する方法もとれる。本願では後者の方法に基づいて以下説明する。

【0058】

図9は本実施の形態のレイキャスティング装置100による平行投影の場合のレイキャスティング処理の一例を示す説明図である。図9では、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ を3次的にボクセルデータが詰まった立方体として図示している。変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の xy 軸に平行な投影面(レンダリング像)が、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ から所要距離だけ離隔して配置されているとする。図9のように、視点が無限遠点に位置する場合が一般的に使用される平行投影で(本来は $Dist = \infty$ であるが、本願では $Dist = 0$ と設定)、視点からボクセル構造体内部に向かう全ての視線が z' 軸と平行になる。レイキャスティング処理(ボリュームレンダリング)では、不透明度 α に基づいて半透明表示(α ブレンディング)を行うことによって、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の内部を可視化する。すなわち、可視化は、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセルが有するボクセル値(RGB値及び不透明度 α)によって実現される。

10

【0059】

図10は本実施の形態のレイキャスティング装置100による透視投影の場合のレイキャスティング処理の一例を示す説明図である。図10のように視点が投影面に比較的接近している場合(本願では $Dist > 0$)が透視投影で、内視鏡表示の際は、投影面や視点がボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の内部に没入することもある。図9の場合と同様に、レイキャスティング処理(ボリュームレンダリング)では、不透明度 α に基づいて半透明表示(α ブレンディング)を行うことによって、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の内部を可視化する。すなわち、可視化は、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセルが有するボクセル値(RGB値及び不透明度 α)によって実現される。

20

【0060】

図9及び図10に示すように、視点から視線を変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の内部に伸ばし、視線にあるサンプリング点(ボクセル)において当該ボクセルのRGB値と不透明度 α に基づいてRGB輝度値を視線に沿って累積計算し、累積計算した値を、当該視線が投影面と交差する位置のピクセル(画素の画素値)として暫定レンダリング像を生成する。この際に、前述の探索制御マスク $M(x, y, 0)$ と $M(x, y, 1)$ との間の z' について累積計算を行う。レイキャスティング処理の詳細は後述する。

30

【0061】

次に、本実施の形態のレイキャスティング装置100の動作について説明する。

【0062】

図11及び図12は本実施の形態のレイキャスティング装置100によるレイキャスティング処理の手順の一例を示すフローチャートである。以下では、便宜上、処理の主体を画像処理部20として説明する。画像処理部20は、DICOM画像の画像データを取得し(S11)、カラーマップデータを取得する(S12)。なお、カラーマップデータは、図3、図4で例示したものである。

40

【0063】

画像処理部20は、座標変換パラメータを取得し(S13)、 xyz 方向のROI値を取得する(S14)。なお、座標変換パラメータ、ROI値は、図7で例示したものである。画像処理部20は、DICOM画像の階調圧縮処理を行い(S15)、階調圧縮断層画像D8に対してカラーマップ定義を行う(S16)。カラーマップ定義は、階調圧縮断層画像D8の画素値に対して、RGB値及び不透明度 α を定義する。なお、ステップS15の処理は必須ではなく、ステップS15の処理を実施しない場合には、DICOM画像に対してカラーマップ定義を行えばよい。ただし、カラーマップはCT画像の場合、見たい部位ごとに汎用的に定義することが可能で、与えられたDICOM画像に依存して定義されるものではないため、ステップS16の処理を省略し、あらかじめ定義されたカラー

50

マップを流用することもできる。

【 0 0 6 4 】

画像処理部 20 は、ボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ を生成し (S17)、生成されたボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対して平滑化処理を行う (S18)。なお、ステップ S18 の処理は必須ではなく、不透明度 α の値に対してのみ平滑化処理を行ってもよい。画像処理部 20 は、陰影計算を行うか否かを判定する (S19)。陰影計算はオプションとすることができる。陰影計算を行う場合 (S19 で YES)、画像処理部 20 は、陰影計算 (ボクセルの陰影値の算出) を行う (S20)。陰影計算を行わない場合 (S19 で NO)、画像処理部 20 は、後述のステップ S21 の処理を行う。

【 0 0 6 5 】

ボクセルの陰影値の算出は、以下のようにすることができる。すなわち、画像処理部 20 は、ボクセル構造体のボクセルの不透明度に関する勾配ベクトルを算出し、算出した勾配ベクトル及び所定の光源ベクトルに基づいてボクセルの陰影値を算出する。

【 0 0 6 6 】

より具体的には、画像処理部 20 は、ボクセル構造体のボクセルの不透明度と、当該ボクセルの近傍に位置する複数の近傍ボクセルそれぞれの不透明度との差分を算出する。画像処理部 20 は、ボクセルと近傍ボクセルとの距離並びにボクセル及び近傍ボクセルそれぞれの不透明度の差分に基づいてボクセルの勾配ベクトルを算出する。この場合、近傍ボクセルとの距離を用いるにあたり、XY 方向と Z 方向の解像度が異なることを考慮し、画像処理部 20 は、勾配ベクトルの z 軸方向の成分を z 軸方向の変倍率 $R_x y / R_z$ で補正

【 0 0 6 7 】

光源ベクトル (L_x, L_y, L_z) は、例えば、 $(L_x, L_y, L_z) = (0.57735, 0.57735, 0.57735)$ の如く、平行光源で単位ベクトルとして指定する。また、環境光成分を A_b とする。ここで、 $0 \leq A_b \leq 1$ である。例えば、 $A_b = 0.2$ とする。

【 0 0 6 8 】

$0 \leq x \leq S_x - 1$ 、 $0 \leq y \leq S_y - 1$ 、 $0 \leq z \leq S_z - 1$ の範囲のボクセル (x, y, z) の勾配ベクトル (G_x, G_y, G_z) は、式 (2)、(3)、(4) で算出することができる。本実施の形態では、近傍ボクセルとして 26 近傍のボクセル値と中央のボクセルのボクセル値との差分により高精度に勾配ベクトルを算出することができる。近傍ボクセルは 26 近傍に限らず、例えば 6 近傍 (xyz 各座標軸方向において 2 近傍) としてもよい。勾配ベクトルを算出する際に、ボクセルは座標変換前で z 方向変倍処理が行われていないため、xy 方向と z 方向とでは解像度が異なる点に留意し、勾配ベクトルの z 方向成分 G_z の変倍補正 ($R_x y / R_z$ の乗算) を行う。

【 0 0 6 9 】

10

20

30

【数 2】

$$Gx = \sum_{k=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 \left[\{V(x+i, y+j, z+k, 3) - V(x, y, z, 3)\} \cdot i / \left(i^2 + j^2 + k^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad \cdots (2)$$

$$Gy = \sum_{k=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 \left[\{V(x+i, y+j, z+k, 3) - V(x, y, z, 3)\} \cdot j / \left(i^2 + j^2 + k^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad \cdots (3)$$

$$Gz = \sum_{k=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \sum_{i=-1}^1 \left[\{V(x+i, y+j, z+k, 3) - V(x, y, z, 3)\} \cdot k / \left(i^2 + j^2 + k^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot R_{xy} / R_z \quad \cdots (4)$$

$$shade = (1 - Ab)(Gx \cdot Lx + Gy \cdot Ly + Gz \cdot Lz) / G + Ab \quad \cdots (5)$$

$$V'(x, y, z, c) = S(x, y, z) \cdot V(x, y, z, c) \quad \cdots (6)$$

【0070】

$G = \{ Gx^2 + Gy^2 + Gz^2 \}^{1/2}$ とする（ Gx の 2 乗と Gy の 2 乗と Gz の 2 乗との和の平方根を G とする）。 $G = 1$ の場合、陰影値 $S(x, y, z)$ は、拡散反射成分のみ算出し、式（5）で与えられる。これにより、視線ベクトルを変更してボクセルを回転させると、立体感を表現することができる。なお、視線を変えても、座標の回転処理を行う前であり、勾配ベクトルは変化しないので、鏡面反射成分は加えない。

【0071】

$G < 1$ の場合、あるいは、 $x = 0$ または $x = Sx - 1$ または $y = 0$ または $y = Sy - 1$ または $z = 0$ または $z = Sz - 1$ （すなわち、境界部のボクセル）の場合、陰影値 $S(x, y, z)$ として 0（所定値）を与える。

【0072】

画像処理部 20 は、算出した陰影値に基づいてボクセルの RGB 値を補正する。陰影計算後のボクセルを $V'(x, y, z, c)$ で表すと、ボクセルの RGB 値の補正は、 $0 \leq c \leq 2$ の範囲で式（6）を適用することにより行うことができる。すなわち、ボクセル構造体の $c = 0, 1, 2$ の成分を改変する。なお、陰影計算を行わない場合には、式（6）において、陰影値 $S(x, y, z)$ は、1 となる。

【0073】

座標変換は一般に実数演算で行われるが、座標変換後の座標値はボクセル座標という離散的な値に整数化され、この過程で丸め誤差が累積し、周期的なパターンが生成される。この周期的なパターンは単一のスライス画像では肉眼では認識できない微弱なものであるが、本実施の形態のように複数のスライス画像が積層された画像を合成しようとする、たとえば各スライス画像が座標変換によりずれていても、パターンの周期性の位相条件を満たせば干渉縞が生成され、肉眼的に顕著なモアレとして認識される。この丸め誤差は、陰影計算時の勾配ベクトル算出により強調される。本実施の形態では、座標変換の前に陰影計算を行うので、モアレの発生を抑制することができる。

【0074】

10

20

30

40

50

画像処理部 20 は、座標変換サブサンプル・オフセットを初期化 ($dx = dy = dz = 0$) し (S21)、レンダリング画像 $Image(x, y, c)$ を初期化する (S22)。レンダリング画像 $Image(x, y, c)$ の初期化は、 $0 \leq x \leq Sx - 1$ 、 $0 \leq y \leq Sy - 1$ 、 $c = 0(R)$ 、 $1(G)$ 、 $2(B)$ のすべての値を 0 にする。画像処理部 20 は、繰り返しの所定回数 $L (> 1)$ に対して繰り返し回数 N を 1 にセットする (S23)。

【0075】

画像処理部 20 は、ボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対して座標変換処理を行い (S24)、変換後ボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ を生成する (S25)。なお、座標変換処理の詳細は後述する。

10

【0076】

画像処理部 20 は、探索制御マスクデータ $M(x, y, s)$ を生成し (S26)、レイキャスティング処理を行い (S27)、暫定レンダリング画像を生成しレンダリング画像 $Image(x, y, c)$ を更新する (S28)。ここで、 $0 \leq Image(x, y, c) \leq 255$ 、 $c = 0(R)$ 、 $c = 1(G)$ 、 $c = 2(B)$ である。レンダリング画像 $Image(x, y, c)$ の更新は、ステップ S24 から S27 までの 1 回の処理によって、1 個の暫定レンダリング画像を生成し、座標変換サブサンプル・オフセットを既に設定された値と異なる値に更新しながら当該ステップ S24 から S27 までの処理を所定回数 L だけ繰り返すことによって生成した L 個の暫定レンダリング画像の各画素の画素値を平均化して最終的な一つのレンダリング画像を生成するための処理である。ただし、レンダリング画像 $Image(x, y, c)$ の更新を行った後は、暫定レンダリング画像は不要になるため、 L 個の暫定レンダリング画像を全て保持する必要はない。

20

【0077】

複数回の座標変換の都度、座標変換サブサンプル・オフセットを更新して座標変換とレイキャスティング処理とが繰り返されることにより、モアレの発生を抑制することができる。一方、別の実施形態として、座標変換だけを複数回繰り返し行った後に、生成される複数の変換後ボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の各ボクセルを平均化し、平均化された変換後ボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ に基づいてレイキャスティング処理を 1 回だけ実施する方法が考えられる。この方法の方が前述の実施形態より処理負荷が格段に小さいが、この場合では、ジャギーの発生を抑制することができるが、ストライプ・格子状のモアレが発生する。従って、処理負荷は増大するが、座標変換サブサンプル・オフセットを含む座標変換とレイキャスティング(レンダリング)を複数回行うことにより、ジャギーの発生とストライプ・格子状のモアレの発生を抑制することができる。なお、レイキャスティング処理の詳細は後述する。

30

【0078】

画像処理部 20 は、繰り返し回数 N が所定回数 L であるか否かを判定する (S29)。繰り返し回数 N が所定回数 L でない場合 (S29 で NO)、画像処理部 20 は、繰り返し回数 N に 1 を加算し (S30)、座標変換サブサンプル・オフセットを更新し (S31)、ステップ S24 以降の処理を続ける。座標変換サブサンプル・オフセットの更新は、 $dx = dx + 1/L$ 、 $dy = dy + 1/L$ 、 $dz = dz + 1/L$ という式により行うことができる。ここで、 L は所定回数である。繰り返し回数 N が所定回数 L である場合 (S29 で YES)、画像処理部 20 は、処理を終了する。

40

【0079】

上述のように、陰影計算を行う場合の本実施の形態の 3 次元ボクセル画像のデータは、 z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の x, y 平面画像のそれぞれの各画素に対応するボクセルのボクセルデータであって、前記 x, y 平面画像の画素の値に対して RGB 値及び不透明度が定められ、前記複数の x, y 平面画像それぞれの各画素に対応する RGB 値及び不透明度を有するボクセルで構成され、前記ボクセルの不透明度に関する勾配ベクトル及び所定の光源ベクトルに基づく前記ボクセルの陰影値によって補正された RGB 値を有するデータ構造を有し、前記 3 次元ボクセル画像に対して所定の座標変換を行って変換後ボ

50

クセル画像を生成する処理と、前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する処理とを複数回行い、各回において前記座標変換を行う際、前記3次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えるとともに、各回毎に前記座標オフセット値を変更するようにして、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する処理とを実行するのに用いられる。

【0080】

図13及び図14は本実施の形態のレイキャスティング装置100による座標変換処理の手順の一例を示すフローチャートである。即ち、画像処理部20が、変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に変換行列 $Matrix(4 \times 4)$ を乗算して変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ を生成する方法について以下説明する。 $V'(x, y, z', c) = Matrix(4 \times 4) \cdot V(x, y, z, c)$ となる式において、未知数である $V'(x, y, z', c)$ の各要素は、既知数である $V(x, y, z, c)$ の各要素と1対1に対応しないため、この計算式に基づいて、変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に変換行列 $Matrix(4 \times 4)$ を乗算しても、未知数である $V'(x, y, z', c)$ の全ての要素を算出することはできない。そこで、 $V(x, y, z, c) = Matrix(4 \times 4)^{-1} \cdot V'(x, y, z', c)$ のように未知数である $V'(x, y, z', c)$ の要素に対応する既知数である $V(x, y, z, c)$ の要素を逆算する方法をとる。ここで、変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ の座標値 (x, y, z) 、及び変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の座標値 (x, y, z') は整数値である。変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の座標値 (x, y, z') （整数値）に対応する変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ の実数の座標値 (x_r, y_r, z_r) を以下のようにして算出する。

【0081】

画像処理部20は、座標変換サブサンプル・オフセット dx, dy, dz を用いて、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の座標値 (x, y, z') （整数値）を実数値 (xx, yy, zz) に変換する（S101）。整数値 (x, y, z') から実数値 (xx, yy, zz) の変換は、式（7）、（8）及び（9）により行うことができる。ここで、座標変換サブサンプル・オフセット dx, dy, dz は、式（10）の関係を満たす。

【0082】

【数3】

$$xx = x - \frac{Sx}{2} + dx \quad \cdots (7)$$

$$yy = y - \frac{Sy}{2} + dy \quad \cdots (8)$$

$$zz = z' - \frac{Sz'}{2} + dz \quad \cdots (9)$$

$$-0.5 \leq dx, dy, dz \leq 0.5 \quad \cdots (10)$$

【0083】

画像処理部20は、座標値を実数値に変換したボクセル構造体 $V'(xx, yy, zz, c)$ に変換行列 $Matrix(4 \times 4)$ の逆行列を乗算して変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対応する座標値の実数値 (x_r, y_r, z_r) を算出する（S102）。

【0084】

ステップS101、S102の処理は、座標値算出部27が行うことができる。すなわ

ち、座標値算出部 27 は、変換後ボクセル構造体のボクセルの $x y z$ 座標に対して所定の座標変換の逆変換を行って当該ボクセルの $x y z$ 座標の実数値を算出する。なお、ステップ S102 の処理は、以下のようにして行うことができる。

【0085】

まず、透視変換の距離 $Dist > 0$ の場合、式 (11)、(12)、(13) のように透視変換を行い、変換後の (xx', yy', zz') を (xx, yy, zz) とする。

【0086】

【数 4】

$$zz' = Dist \cdot zz / (Dist + zz) \quad \dots (11)$$

10

$$xx' = xx \cdot (Dist - zz') / Dist \quad \dots (12)$$

$$yy' = yy \cdot (Dist - zz') / Dist \quad \dots (13)$$

$$xx' = \cos(Rz) \cdot xx + \sin(Rz) \cdot yy \quad \dots (14)$$

$$yy' = -\sin(Rz) \cdot xx + \cos(Rz) \cdot yy \quad \dots (15)$$

20

$$zz' = \cos(Ry) \cdot zz + \sin(Ry) \cdot xx \quad \dots (16)$$

$$xx' = -\sin(Ry) \cdot zz + \cos(Ry) \cdot xx \quad \dots (17)$$

$$yy' = \cos(Rx) \cdot yy + \sin(Rx) \cdot zz \quad \dots (18)$$

$$zz' = -\sin(Rx) \cdot yy + \cos(Rx) \cdot zz \quad \dots (19)$$

$$xr = xx / Scale + Sx / 2 - Xoff \quad \dots (20)$$

30

$$yr = yy / Scale + Sy / 2 - Yoff \quad \dots (21)$$

$$zr = zz / Scale / Scz + Sz / 2 - Zoff \quad \dots (22)$$

【0087】

なお、式 (11)、(12)、(13) の意味は、距離 $Dist$ が小さいほど、近くが拡大され、遠くが縮小される、いわゆる遠近感が強調され、距離 $Dist$ が大きいほど遠近感がなくなり、距離 $Dist$ が ∞ に設定された状態（本願では $Dist = 0$ に設定）が平行投影である。

40

【0088】

次に、 z 軸中心の回転、 y 軸中心の回転、 x 軸中心の回転の順（座標変換での順番と逆の順番）に逆方向の回転を順次行う。すなわち、式 (14)、(15) による回転を行い、 (xx', yy') を (xx, yy) に置換する。次に、式 (16)、(17) による回転を行い、 (zz', xx') を (zz, xx) に置換する。そして、式 (18)、(19) による回転を行い、 (yy', zz') を (yy, zz) に置換する。

【0089】

スケールリング、 z 方向変倍処理、オフセット ($x y z$ 方向同時) を同時に行い、式 (2

50

0)、(21)、(22)により、変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対応する座標値の実数値 (x_r, y_r, z_r) を得る。

【0090】

画像処理部20は、算出した座標値 (x_r, y_r, z_r) を整数値 (x_i, y_i, z_i) と小数点以下の端数 (w_x, w_y, w_z) に分解する(S103)。より具体的には、補間処理部29は、ボクセルの x, y, z 座標の実数値と、当該実数値の小数点以下を切り捨てた整数値との差分(端数)を特定する。すなわち、更新した座標値 (x_r, y_r, z_r) を式(23)、(24)、(25)のように分解する。ここで、 $0 \leq w_x, w_y, w_z < 1$ とする。

【0091】

【数5】

$$x_r = x_i + w_x \quad \dots(23)$$

$$y_r = y_i + w_y \quad \dots(24)$$

$$z_r = z_i + w_z \quad \dots(25)$$

【0092】

ROIクリッピング処理部30は、ボリュームレンダリング処理の対象領域を画定する x, y, z 座標、具体的には図7に記載の $X_s, X_e, Y_s, Y_e, Z_s, Z_e$ を設定する。画像処理部20は、変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ に対応する座標値の整数値 (x_i, y_i, z_i) が、クリッピング領域内にあるか否かを判定する(S104)。ここで、条件1として、 $x_i < X_s$ または $x_i > X_e$ または $y_i < Y_s$ または $y_i > Y_e$ または $z_i < Z_s$ または $z_i > Z_e$ の場合には、座標値の整数値 (x_i, y_i, z_i) が、更新したクリッピング領域内にはないと判定(S104でNO)、画像処理部20は、ボクセル値を削除し(S105)、後述のステップS110の処理を行う。より具体的には、画像処理部20は、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c) = 0$ とする。すなわち、RGB値及び不透明度 α を0とする。

【0093】

座標値の整数値 (x_i, y_i, z_i) が、クリッピング領域内にある場合(S104でYES)、すなわち前述の条件1を充足しない場合、画像処理部20は、変換前のボクセル構造体に対応する座標値の整数値 $(x_i + 1, y_i + 1, z_i + 1)$ がクリッピング領域内にあるか否かを判定する(S106)。条件2として、 $x_i + 1 > X_e$ または $y_i + 1 > Y_e$ または $z_i + 1 > Z_e$ の場合には、座標値の整数値 $(x_i + 1, y_i + 1, z_i + 1)$ のいずれかが、クリッピング領域内にはないと判定し(S106でNO)、画像処理部20は、補間せずに(S107)、後述のステップS110の処理を行う。ここで、補間しないとは、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c) = V(x_i, y_i, z_i, c)$ とし、座標値の整数値 (x_i, y_i, z_i) をそのまま採用することである。すなわち、RGB値及び不透明度 α を変換前のボクセル構造体の座標値 (x_i, y_i, z_i) に対応する値とする。

【0094】

座標値の整数値 $(x_i + 1, y_i + 1, z_i + 1)$ がクリッピング領域内にある場合(S106でYES)、すなわち、座標値の整数値 (x_i, y_i, z_i) および $(x_i + 1, y_i + 1, z_i + 1)$ が、クリッピング領域内にある場合、画像処理部20は、座標値の整数値 (x_i, y_i, z_i) 及び座標値の整数値 $(x_i + 1, y_i + 1, z_i + 1)$ に1を加算した8組の整数値を座標値とする変換前のボクセル構造体のボクセル値に重み付け係数を乗算し、重み付け係数を乗算したボクセル値を加算してボクセル値を補間し(S108)、補間したボクセル値を変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセル値とし(S109)、後述のステップS110の処理を0 ≤ c ≤ 3の各値に対して行う。これにより、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ の値を得る。

【0095】

10

20

30

40

50

すなわち、補間処理部 29 は、算出したボクセルの x, y, z 座標の実数値の近傍の整数値を x, y, z 座標とする変換前のボクセル構造体の複数のボクセルを特定し、特定した変換前のボクセル構造体の複数のボクセルの RGB 値及び不透明度に基づいて変換後ボクセル構造体のボクセルの RGB 値及び不透明度を算出する。

【0096】

補間処理部 29 は、特定した変換前のボクセル構造体の複数のボクセルの RGB 値及び不透明度に、特定した座標値の実数値と近傍の整数値との差分（端数）に基づく重み付け係数を乗算して変換後ボクセル構造体のボクセルの RGB 値及び不透明度を算出する。

【0097】

ステップ S108、S109 の処理は、式（26）で表すことができる。

10

【0098】

【数 6】

$$\begin{aligned}
 V'(x, y, z', c) = & (1 - wz) \cdot (1 - wy) \cdot (1 - wx) \cdot V(xi, yi, zi, c) \\
 & + (1 - wz) \cdot (1 - wy) \cdot wx \cdot V(xi + 1, yi, zi, c) \\
 & + (1 - wz) \cdot wy \cdot (1 - wx) \cdot V(xi, yi + 1, zi, c) \\
 & + (1 - wz) \cdot wy \cdot wx \cdot V(xi + 1, yi + 1, zi, c) \\
 & + wz \cdot (1 - wy) \cdot (1 - wx) \cdot V(xi, yi, zi + 1, c) \\
 & + wz \cdot (1 - wy) \cdot wx \cdot V(xi + 1, yi, zi + 1, c) \\
 & + wz \cdot wy \cdot (1 - wx) \cdot V(xi, yi + 1, zi + 1, c) \\
 & + wz \cdot wy \cdot wx \cdot V(xi + 1, yi + 1, zi + 1, c) \quad \dots (26)
 \end{aligned}$$

20

【0099】

図 15 は本実施の形態のレイキャスティング装置 100 による補間処理の一例を示す模式図である。図 15 において、座標 (x_r, y_r, z_r) は、変換後のボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ に対応する変換前のボクセル構造体 $V(x, y, z, c)$ の実数値の座標値である。図 15 では、実数値 (x_r, y_r, z_r) が、整数値 (xi, yi, zi) と端数 (wx, wy, wz) とに分解されていることが分かる。そして、座標値 (x_r, y_r, z_r) の周りには、8 組の整数値 (xi, yi, zi) 、 $(xi + 1, yi, zi)$ 、 $(xi, yi + 1, zi)$ 、 $(xi + 1, yi + 1, zi)$ 、 $(xi, yi, zi + 1)$ 、 $(xi + 1, yi, zi + 1)$ 、 $(xi, yi + 1, zi + 1)$ 、 $(xi + 1, yi + 1, zi + 1)$ が存在している。

30

【0100】

式（26）、図 15 から分かるように、ボクセル値の補間は、実数値の座標値と整数値の座標値との端数が小さいほど、当該整数値の座標値におけるボクセル構造体のボクセル値に大きな重み付け係数が乗算される。

【0101】

40

画像処理部 20 は、すべてのボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセル値を決定したか否かを判定し（S110）、すべてのボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセル値を決定していない場合（S110 で NO）、ステップ S103 以降の処理を続け、すべてのボクセル構造体 $V'(x, y, z', c)$ のボクセル値を決定した場合（S110 で YES）、処理を終了する。

【0102】

図 16 及び図 17 は本実施の形態のレイキャスティング装置 100 によるレイキャスティング処理の手順の一例を示すフローチャートである。画像処理部 20 は、色計算のための光源 $Light(c)$ を設定する（S121）。ここで、 $0 \leq Light(c) \leq 5$ 、 $c = 0(R)$ 、 $1(G)$ 、 $2(B)$ である。画像処理部 20 は、仮想光線の透過強度

50

$Trans = 1.0$ に設定し、累積輝度値 $Energy(c) = 0.0$ に設定する (S 1 2 2)。

【0103】

画像処理部 20 は、 $z' = M(x, y, 1)$ とする (S 1 2 3)。すなわち、 z' の値を探索制御マスクデータの最大値 z_2 に設定する。画像処理部 20 は、 z' の値が 0 より小さいか否かを判定し (S 1 2 4)、 $z' < 0$ でない場合 (S 1 2 4 で NO)、不透明度 $\alpha = V'(x, y, z', 3) / 255$ とする (S 1 2 5)。当該式により、不透明度 α は、 $0 \leq \alpha \leq 1$ となる。 $z' < 0$ である場合 (S 1 2 4 で YES)、画像処理部 20 は、後述のステップ S 1 3 2 の処理を行う。画像処理部 20 は、不透明度 α が 0 であるか否かを判定し (S 1 2 6)、不透明度 $\alpha = 0$ の場合 (S 1 2 6 で YES)、後述のステップ S 1 3 0 の処理を行う。

10

【0104】

不透明度 α が 0 でない場合 (S 1 2 6 で NO)、すなわち、不透明度 $\alpha > 0$ の場合、画像処理部 20 は、累積輝度値の更新を行う (S 1 2 7)。すなわち、 $Energy(c) = Energy(c) + Trans \cdot \alpha \cdot V'(x, y, z', c) / 255$ という式により $0 \leq c \leq 2$ の 3 成分の累積輝度値の更新を行う。画像処理部 20 は、透過強度の更新を行う (S 1 2 8)。すなわち、 $Trans = Trans \cdot (1 - \alpha)$ という式に依り透過強度の更新を行う。

【0105】

画像処理部 20 は、不透明度 $\alpha = 1.0$ であるか否か、または透過強度 $Trans <$ 所定値であるか否かを判定する (S 1 2 9)。ここで、所定値は、0 又は 0 に近い値 (例えば、0.001 など) であればよい。不透明度 $\alpha = 1.0$ でなく、かつ透過強度 $Trans <$ 所定値でない場合 (S 1 2 9 で NO)、画像処理部 20 は、 $z' = z' - 1$ とし (S 1 3 0)、 z' の値が $M(x, y, 0)$ より小さいか否かを判定する (S 1 3 1)。 $z' < M(x, y, 0)$ である場合 (S 1 3 1 で YES)、画像処理部 20 は、2 次元座標 (x, y) における RGB 値を決定する (S 1 3 2)。投影面の 2 次元座標 (x, y) における RGB 値は、 $Image(x, y, c) = Image(x, y, c) + k \cdot Energy(c) \cdot Light(c) / L$ で計算することができる。ここで、 k は強度倍率であり、RGB 値を補正することができる。 k の値は、例えば、1.0 とすることができるが、これに限定されない。 $Light(c)$ は光源の RGB 値である。 L は座標変換処理及びレイキャスティング処理の回数 (所定回数) である。

20

30

【0106】

不透明度 $\alpha = 1.0$ であるか、又は透過強度 $Trans <$ 所定値である場合 (S 1 2 9 で YES)、画像処理部 20 は、ステップ S 1 3 0、S 1 3 1 の処理を行うことなく、ステップ S 1 3 2 の処理を行う。また、 $z' < M(x, y, 0)$ でない場合 (S 1 3 1 で NO)、画像処理部 20 は、ステップ S 1 2 5 以降の処理を行う。

【0107】

画像処理部 20 は、すべての 2 次元座標の RGB 値が決定されたか否かを判定し (S 1 3 3)、すべての 2 次元座標の RGB 値が決定されていない場合 (S 1 3 3 で NO)、ステップ S 1 2 2 以降の処理を行う。すべての 2 次元座標の RGB 値が決定された場合 (S 1 3 3 で YES)、画像処理部 20 は、処理を終了する。

40

【0108】

上述のように、座標変換の都度、レイキャスティング処理部 25 は、視線上の最小値 z_1 と最大値 z_2 との範囲内でボクセル毎に当該ボクセルの RGB 値 ($V'(x, y, z', c)$)、不透明度 $\alpha (V'(x, y, z', 3))$ 、及び仮想光線の透過強度 $Trans$ の積により累積輝度値 $Energy(c)$ を累積加算 (更新) した値に基づいて算出される RGB 値を、視線が投影面と交差する画素の画素値として暫定レンダリング画像を生成する。レイキャスティング処理部 25 は、座標変換の都度、生成した暫定レンダリング画像の RGB 値を平均化して最終的なレンダリング画像を生成する。

【0109】

50

レイキャスティング処理部 25 は、視線上のボクセルが最小値 z_1 と最大値 z_2 との範囲外である場合、あるいは最小値 z_1 と最大値 z_2 とが同一値である場合、あるいは最小値 z_1 又は最大値 z_2 が見つからない場合、視線が投影面と交差する画素に所定の画素値を付与してレンダリング画像を生成することができる。所定の画素値は、レイキャスティング処理を行うことなく付与できるものであればよく、例えば、背景色 (R_b, G_b, B_b) とすることができる。これにより、レイキャスティング処理に係る負荷を軽減することができる。具体的には、S 132 の式に背景色の成分を加え、 $Back(0) = R_b$, $Back(1) = G_b$, $Back(2) = B_b$ とすると、 $Image(x, y, c) = Image(x, y, c) + \{K \cdot Energy(c) \cdot Light(c) + Back(c)\} / L$ とすればよい。

10

【0110】

図 18 は本実施の形態の画像処理部 20 の構成の他の例を示すブロック図である。図 18 に示すように、画像処理部 20 は、CPU 201、ROM 202、RAM 203、記録媒体読取部 204 などによって構成することができる。記録媒体 1 (例えば、CD-ROM 等の光学可読ディスク記憶媒体) に記録されたコンピュータプログラムやデータを記録媒体読取部 204 (例えば、光学ディスクドライブ) で読み取って RAM 203 に格納することができる。ハードディスク (図示しない) に格納しコンピュータプログラム実行時に RAM 203 に格納してもよい。記憶媒体 1 や ROM 202、RAM 203、ハードディスク等のコンピュータ可読記憶媒体は、コンピュータで実行および/または処理するための、記録された命令 (コンピュータプログラム) および/またはデータをもたらす、任意の非一時的有形記憶媒体を意味する。RAM 203 に格納されたコンピュータプログラムを CPU 201 で実行させることにより、画像処理部 20 は、階調圧縮処理部 21、平滑化処理部 22、ボクセル構造体生成部 23、座標変換処理部 24、レイキャスティング処理部 25、探索制御マスク生成部 26、座標値算出部 27、サブサンプル・オフセット設定部 28、補間処理部 29、ROI クリッピング処理部 30 で行う処理を実行することができる。なお、CPU 201 は、セントラルプロセッシングユニットの略称とし、1 又は複数で構成することができる。また、コンピュータプログラムやデータは、記録媒体読取部 204 で読み取る構成に代えて、インターネットなどのネットワークを介して他のコンピュータまたはネットワークデバイス等からダウンロードすることもできる。

20

【0111】

図 19 は本実施の形態のレイキャスティング装置 100 によるジャギー対策結果の一例を示す説明図である。図 19 A は、比較例であり本実施の形態のジャギー対策を実施していない場合を示す。図 19 B は、本実施の形態のレイキャスティング装置 100 の画像処理部 20 により、図 11 及び図 12 のように、 $L = 2$ 回の座標変換及びレイキャスティング処理を行った場合を示す。各回の座標変換における座標変換サブサンプル・オフセットは、1 回目の処理では $dx = dy = dz = 0$ に設定し、2 回目の処理では $dx = dy = dz = 0.5$ に設定した。なお、図 19 では、陰影計算は実施していない。図 19 A では、下端及び右上端のエッジ部にジャギー (階段状の段差) が発生している。一方、図 19 B では、これらのジャギーが消えていることが分かる。

30

【0112】

図 20 は本実施の形態のレイキャスティング装置 100 による陰影計算を行った場合のモアレ対策結果の一例を示す説明図である。図 20 A は、比較例であり座標変換後にレイキャスティング処理の S 127 において陰影計算を行った場合を示す。図 20 B は、本実施の形態のレイキャスティング装置 100 の画像処理部 20 により、図 11 及び図 12 のように、座標変換前に陰影計算を行った場合を示す。図 20 A では、座標変換における丸め誤差が陰影計算時の勾配ベクトル算出により強調され、ストライプ・格子状のモアレが発生している。図 20 B ではモアレが消えていることが分かる。

40

【0113】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を実行させるためのコンピュータプログラムであって

50

、コンピュータに、 z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の $x y$ 平面画像の画像データを取得する処理と、前記 $x y$ 平面画像の画素の値に対して RGB 値及び不透明度が定められ、前記複数の $x y$ 平面画像それぞれの各画素に対応する RGB 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成する処理と、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する処理と、前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する処理と、前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル画像の生成と前記暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返す処理と、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する処理とを実行させる。

10

【0114】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、前記変換後ボクセル画像のボクセルの整数の $x y z$ 座標の少なくとも一つの座標値に実数の座標オフセット値を加算した座標値に対して前記所定の座標変換の逆変換を行って $x y z$ 座標の実数値を算出する処理と、算出した $x y z$ 座標の実数値の近傍の整数値を $x y z$ 座標とする前記 3 次元ボクセル画像の複数のボクセルを特定する処理と、特定した前記 3 次元ボクセル画像の複数のボクセルのボクセル値を補間して前記変換後ボクセル画像を生成する処理と、前記変換後ボクセル画像を生成した後に、前記座標オフセット値を変更する処理とを実行させる。

【0115】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値に該ボクセルの座標間隔の 2 分の 1 以下の座標オフセット値を加える処理を実行させる。

20

【0116】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、前記複数の暫定レンダリング画像の対応する各画素の画素値を平均化して前記レンダリング画像を生成する処理を実行させる。

【0117】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、所定の視点から仮想光線を前記変換後ボクセル画像に向かって照射したときに、視線上のボクセル毎に該ボクセルに対応する前記 3 次元ボクセル画像の RGB 値及び不透明度並びに前記仮想光線の透過強度の積により累積輝度値を累積加算した値に基づいて算出される RGB 値を、前記視線が投影面と交差する画素の画素値として暫定レンダリング画像を生成する処理とを実行させる。

30

【0118】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの不透明度に関する勾配ベクトルを算出する処理と、算出した勾配ベクトル及び所定の光源ベクトルに基づいて前記ボクセルの陰影値を算出する処理と、算出した陰影値に基づいて前記ボクセルの RGB 値を補正する処理とを実行させる。

【0119】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの不透明度と、該ボクセルの前記 3 次元ボクセル画像における近傍に位置する複数の近傍ボクセルそれぞれの不透明度との差分を算出する処理と、前記ボクセルと前記近傍ボクセルとの距離並びに前記ボクセル及び前記近傍ボクセルそれぞれの不透明度の差分に基づいて前記ボクセルの勾配ベクトルを算出する処理とを実行させる。

40

【0120】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、前記複数の $x y$ 平面画像のうちの所定の $x y$ 平面画像の画素の最小値及び最大値を特定する処理と、特定した最大値よりも小さい上限値及び特定した最小値よりも大きい下限値を算出する処理と、前記複数の $x y$ 平面画像の各画素の画素値を前記上限値及び下限値の範囲内に圧縮する処理と、前記 $x y$ 平面画像の圧縮された画素値に対して RGB 値及び不透明度が定められ、圧縮し

50

た前記複数の x y 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成する処理とを実行させる。

【 0 1 2 1 】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、 x y z 軸の回転角、 x y z 軸方向のオフセット値、 x y z 軸方向の拡大又は縮小倍率、 z 軸方向の変倍率、注視点から視点までの距離を含む前記所定の座標変換のパラメータを取得する処理と、前記 3 次元ボクセル画像に対して、取得したパラメータを用いた前記所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する処理とを実行させる。

【 0 1 2 2 】

本実施の形態のコンピュータプログラムは、コンピュータに、ボリュームレンダリング処理の対象領域を画定する x y z 座標を設定する処理と、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの x y z 座標が前記対象領域外にある場合、前記ボクセルの R G B 値及び不透明度を所定値に設定する処理とを実行させる。

【 0 1 2 3 】

本実施の形態の画像処理装置は、レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を行う画像処理装置であって、 z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の x y 平面画像の画像データを取得する取得部と、前記 x y 平面画像の画素の値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、前記複数の x y 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成するボクセル画像生成部と、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する変換後ボクセル画像生成部と、前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する暫定レンダリング画像生成部と、前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル画像を生成する処理と前記暫定レンダリング画像を生成する処理とを一回以上繰り返す複数画像生成制御部と、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成するレンダリング画像生成部とを備える。

【 0 1 2 4 】

本実施の形態の画像処理方法は、レイキャスティング法を用いたボリュームレンダリング処理を行う画像処理方法であって、 z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の x y 平面画像の画像データを取得し、前記 x y 平面画像の画素の値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、前記複数の x y 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成し、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成し、前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成し、前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら前記変換後ボクセル画像の生成と前記暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返し、生成された複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する。

【 0 1 2 5 】

本実施の形態の 3 次元ボクセル画像のデータは、3 次元ボクセル画像のデータであって、 z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の x y 平面画像のそれぞれの各画素に対応するボクセルのボクセルデータであって、前記 x y 平面画像の画素の値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、前記複数の x y 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成され、前記ボクセルの不透明度に関する勾配ベクトル及び所定の光源ベクトルに基づく前記ボクセルの陰影値によって補正された R G B 値を有するデータ構造を有し、前記 3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成する処理と、前記変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する処理と、前記座標オフセット値を既に設定された値と異なる値

10

20

30

40

50

に更新しながら前記変換後ボクセル画像の生成と前記暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返す処理と、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する処理とを実行するのに用いられる。

【符号の説明】

【 0 1 2 6 】

- 1 0 入力部
- 1 1 記憶部
- 1 2 出力部
- 2 0 画像処理部
- 2 1 階調圧縮処理部
- 2 2 平滑化処理部
- 2 3 ボクセル構造体生成部
- 2 4 座標変換処理部
- 2 5 レイキャスティング処理部
- 2 6 探索制御マスク生成部
- 2 7 座標値算出部
- 2 8 サブサンプル・オフセット設定部
- 2 9 補間処理部
- 3 0 R O I クリッピング処理部
- 1 0 0 レイキャスティング装置
- 2 0 1 C P U
- 2 0 2 R O M
- 2 0 3 R A M
- 2 0 4 記録媒体読取部

10

20

【要約】 (修正有)

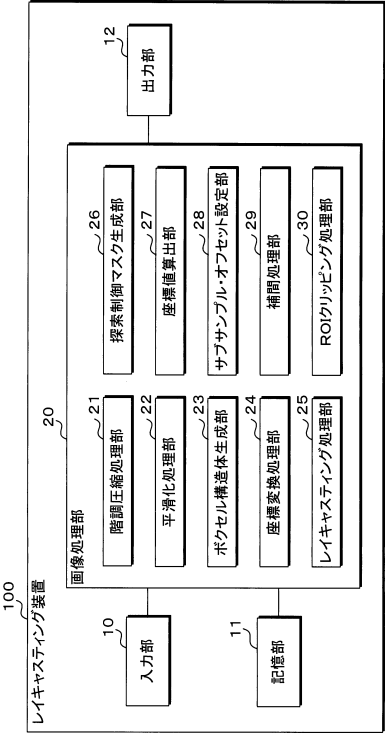
【課題】ジャギーの発生を抑制することができるコンピュータプログラム、画像処理装置、方法を提供する。

【解決手段】 z 方向に沿って所定間隔で撮像された複数の x y 平面画像の画像データを取得し、 x y 平面画像の画素の値に対して R G B 値及び不透明度が定められ、複数の x y 平面画像それぞれの各画素に対応する R G B 値及び不透明度を有するボクセルで構成される 3 次元ボクセル画像を生成する。3 次元ボクセル画像のボクセルの座標値の少なくとも一つの座標値に所定の座標オフセット値を加えて所定の座標変換を行って変換後ボクセル画像を生成し、変換後ボクセル画像に対してレイキャスティング法を用いて暫定レンダリング画像を生成する。座標オフセット値を既に設定された値と異なる値に更新しながら変換後ボクセル画像の生成と暫定レンダリング画像の生成とを一回以上繰り返し、生成した複数の暫定レンダリング画像に基づいてレンダリング画像を生成する。

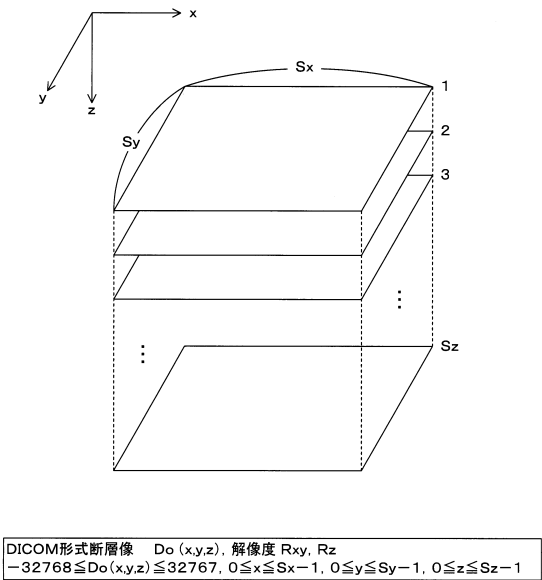
30

【選択図】なし

【図 1】



【図 2】



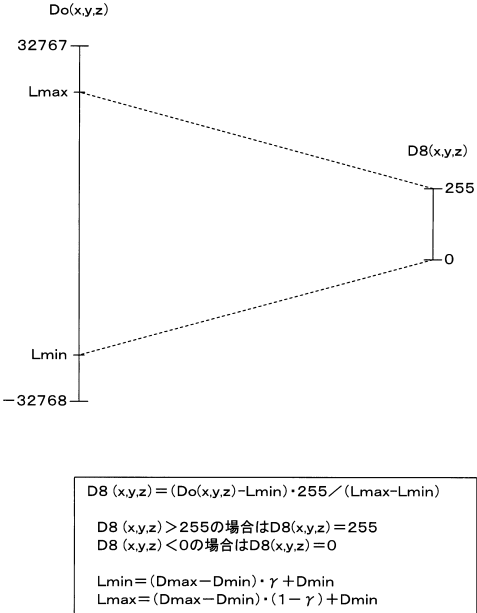
【図 3】

カラーマップデータ		Cmap(v,c)			(0 ≦ Cmap(v,c) ≦ 255)
v	C=0 (R)	C=1 (G)	C=2 (B)	C=3 (α)	
32767	R(32767)	G(32767)	B(32767)	α(32767)	
32766	R(32766)	G(32766)	B(32766)	α(32766)	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
-32768	R(-32768)	G(-32768)	B(-32768)	α(-32768)	

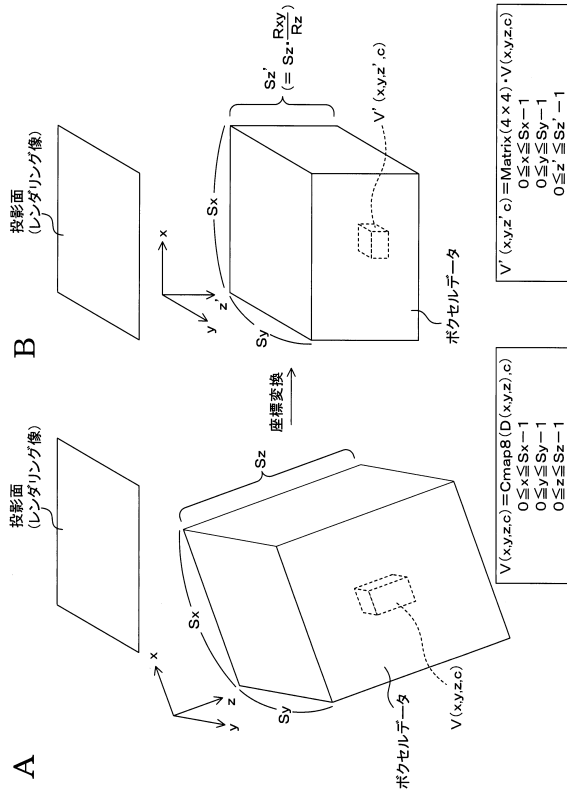
【図 4】

カラーマップデータ		Cmap8(v,c) (0≦Cmap8(v,c)≦255)		
v	C=0 (R)	C=1 (G)	C=2 (B)	C=3 (α)
255	R(255)	G(255)	B(255)	α(255)
254	R(254)	G(254)	B(254)	α(254)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0	R(0)	G(0)	B(0)	α(0)

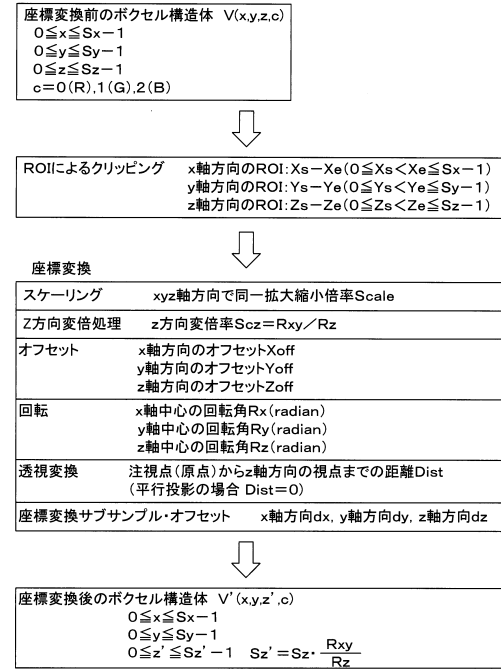
【図 5】



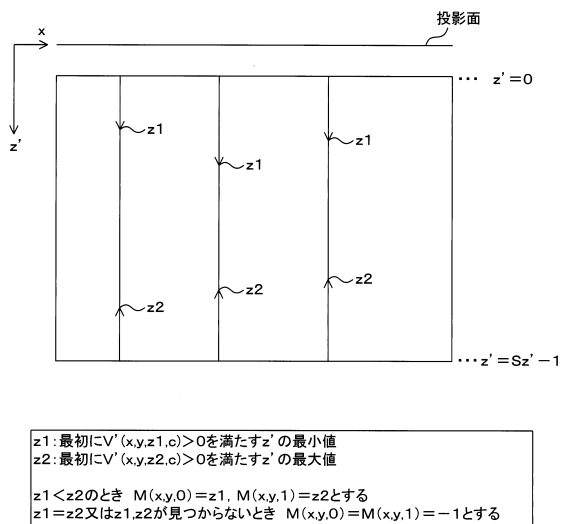
【図 6】



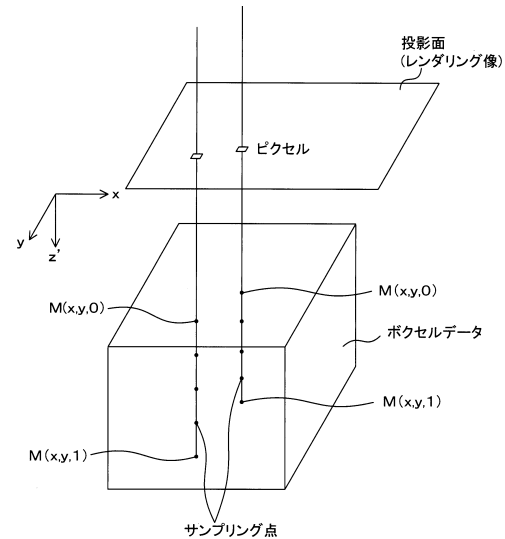
【図 7】



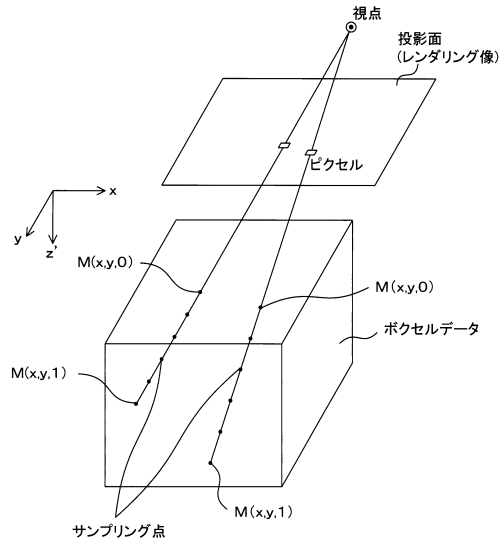
【図 8】



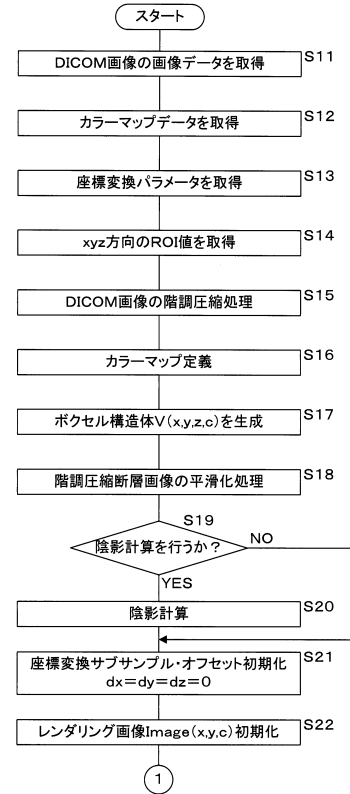
【図 9】



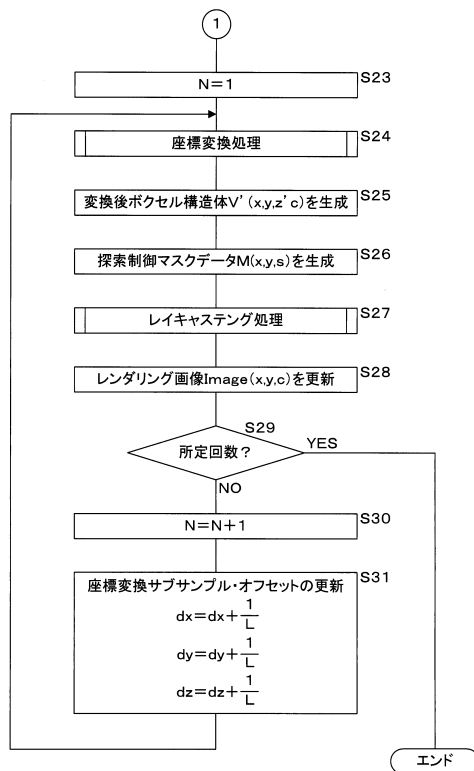
【図 10】



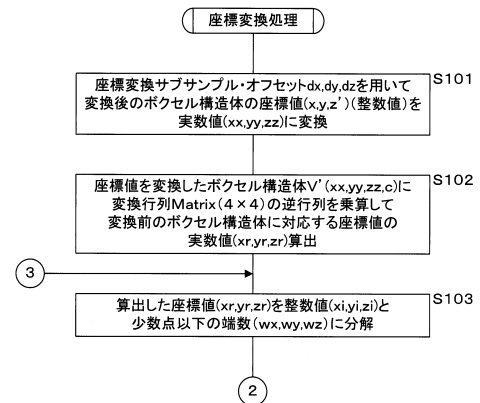
【図 11】



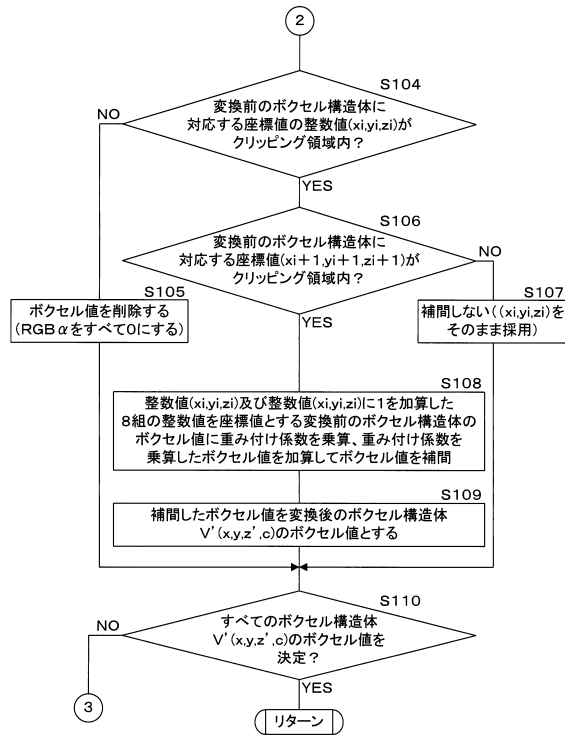
【図 12】



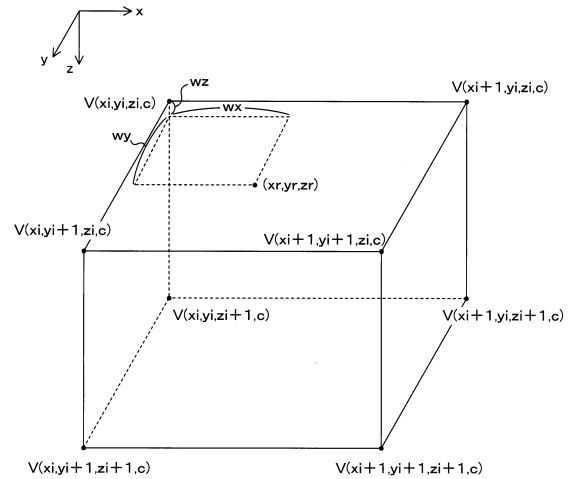
【図 13】



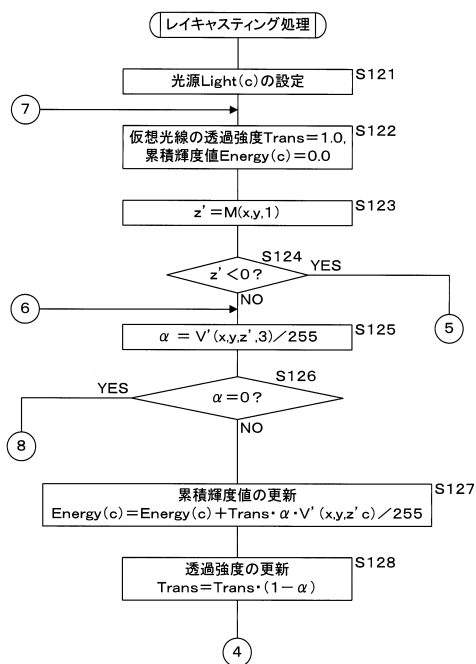
【図 14】



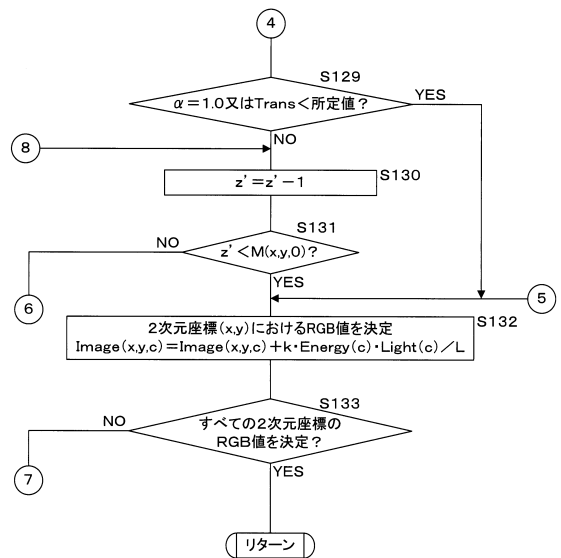
【図 15】



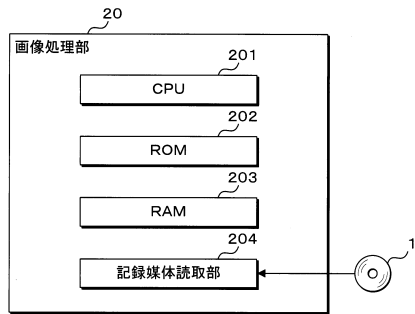
【図 16】



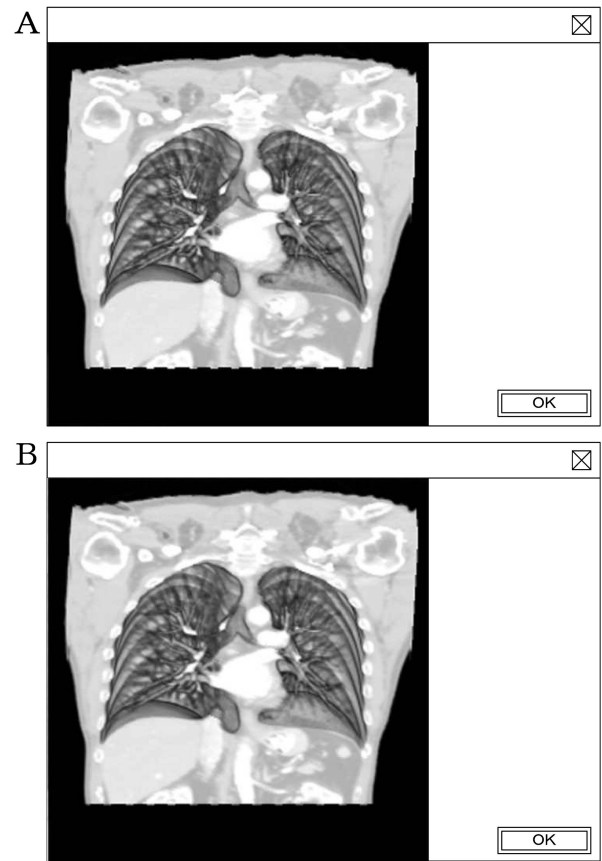
【図 17】



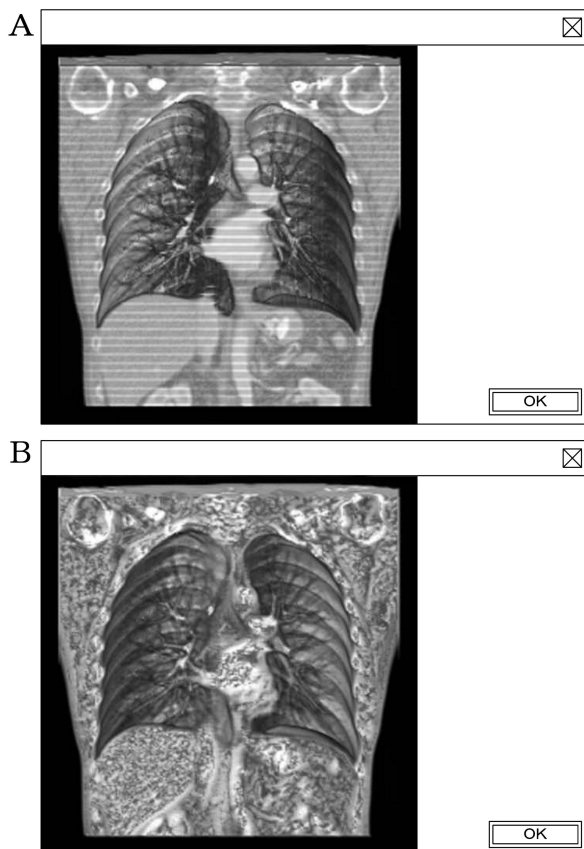
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2008-504092(JP,A)
特開2000-357240(JP,A)
特表2002-520748(JP,A)
特開平11-007542(JP,A)
特開2000-339486(JP,A)
特開2001-291091(JP,A)
特開2006-055213(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 15/00 - 19/20