

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4536869号
(P4536869)

(45) 発行日 平成22年9月1日(2010.9.1)

(24) 登録日 平成22年6月25日(2010.6.25)

(51) Int.Cl.	F I
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00
G 0 6 T 1/00 (2006.01)	G 0 6 T 1/00 2 9 0 D

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2000-120209 (P2000-120209)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成12年4月21日(2000.4.21)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公開番号	特開2000-325346 (P2000-325346A)		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成12年11月28日(2000.11.28)		MPANY
審査請求日	平成19年3月27日(2007.3.27)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	09/299031		クタデイ、リバーロード、1 番
(32) 優先日	平成11年4月23日(1999.4.23)	(74) 代理人	100137545
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 荒川 聡志

(72) 発明者 リチャード・スコット・アビラ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ
トン・パーク、ジャミソン・ドライブ、3
番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イメージング・システム及びイメージング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多数の超音波トランスデューサ素子を有し、電気的な起動に応答して波動エネルギーを送信すると共に、帰投した波動エネルギーを電気信号へ変換する超音波トランスデューサ・アレイ(2)と、

該トランスデューサ・アレイに結合されていて、多数の走査平面の各々に位置する多数の送信焦点位置の各々について、集束した波動エネルギーを送信するように複数の前記トランスデューサ素子を起動するようにプログラムされている送信器(2)と、

各々の走査平面に位置する多数の走査線の各々について、各回の送信に続いて前記複数のトランスデューサ素子から供給される電気信号から受信信号を形成するようにプログラムされている受信器(4)と、

各々の走査平面に位置する各々の走査線について、前記受信信号をイメージング信号へ変換する処理システム(6, 8, 10)と、

データ・ボリューム(40)を形成するように、各々の走査平面についてそれぞれのイメージング信号の組を記憶するメモリと、

前記データ・ボリュームのイメージング平面への投影を表わす投影画像データを形成するアルゴリズムを実行するようにプログラムされているコンピュータ(20)であって、該アルゴリズムが、

(a) 前記データ・ボリュームを通して互いに平行な再編成されたスライスのピクセル・データを形成する工程と、

10

20

(b) 前記イメージング平面上のそれぞれのピクセルから投射される多数の射線の各々について、前記投影画像データを形成するように、前記それぞれの投射された射線と実質的に整列している前記再編成されたスライスのピクセルのそれぞれの累算強度を算出する工程とを有し、前記投射された射線は、前記イメージング平面に実質的に垂直であり、前記再編成されたスライス、前記イメージング平面に実質的に平行であり前記累算強度は、オパシティ関数の関数として算出される前記アルゴリズムを実行するコンピュータ(20)と、

前記投影画像データの関数である投影画像を表示する表示システム(18)と、
を備えているイメージング・システムであって、

所与の投射された射線に沿った前記累算強度は、相次ぐ再編成されたスライスについて、次の式

$$I_{z,y,x} = I_{z-1,y,x} + O[P_{z,y,x}] \cdot P_{z,y,x} \cdot O_{r(z,y,x)}$$
に従って繰り返し計算され、ここで、 $I_{z,y,x}$ は平面 z 内の (x, y) における投影ピクセルの累算強度であり、 $I_{z-1,y,x}$ は平面 $(z-1)$ 内の (x, y) における投影ピクセルの累算強度であり、 $P_{z,y,x}$ は平面 z 内の (x, y) におけるカレントの(即ち、現在累算中の)ピクセルの深さ陰影付き強度であり、 $O[P_{z,y,x}]$ は平面 z 内の (x, y) におけるオパシティ(であると共に、深さ陰影付きでないピクセル強度の関数)であり、 $O_{r(z,y,x)}$ は平面 z 内の (x, y) における残存オパシティであり、前記残存オパシティは、相次ぐ再編成されたスライスについて、次の式

$$O_{r(z,y,x)} = O_{r(z-1,y,x)} \cdot (1 - O[P_{z,y,x}])$$
に従って算出される、

ことを特徴とする超音波イメージング・システム。

【請求項2】

ピクセル強度 $P_{i,x}$ 値が、減衰ファクタとスライス番号との積の関数として算出される請求項1に記載のイメージング・システム。

【請求項3】

$P_{z,y,x}$ 値は、次の式

$$P_{z,y,x} = \text{MAX}(P_{z,y,x} \cdot (1 - 0 - i \cdot d \cdot A), 0)$$

に従って算出され、ここで、 $P_{z,y,x}$ は深さ陰影のない状態での平面 z 内の (x, y) におけるピクセルの強度であり、 i はスライス番号であり、 A は各々の距離増分 d 毎に適用される減衰量である請求項2に記載のイメージング・システム。

【請求項4】

所与のボリュームの物質を3次元イメージングする方法であって、前記物質に交差する多数の走査平面の各々に位置する多数の送信焦点位置の各々について、集束した波動エネルギーを送信する工程と、

各々の走査平面に位置する多数の走査線の各々について、各回の送信に続いて前記物質ボリュームから帰投した波動エネルギーのエコーから導出されるエコー信号を形成する工程と、

各々の走査平面に位置する各々の走査線について、前記受信信号をイメージング信号へ変換する工程と、

データ・ボリュームを形成するように、各々の走査平面についてそれぞれのイメージング信号の組を記憶する工程と、

前記データ・ボリュームを通して互いに平行な再編成されたスライスのピクセル・データを形成する工程と、

前記イメージング平面上のそれぞれのピクセルから投射される多数の射線の各々について、投影画像データを形成するように、前記それぞれの投射された射線と実質的に整列している前記再編成されたスライスのピクセルのそれぞれの累算強度を算出する算出工程であって、前記再編成されたスライスは、前記イメージング平面に実質的に平行であり、前記投射された射線は、前記イメージング平面に実質的に垂直であり、前記累算強度は、オパシティ関数の関数として算出される、算出工程と、

10

20

30

40

50

前記投影画像データの関数である3次元画像を表示する工程と、
を具備する3次元イメージング方法であって、

所与の投射された射線に沿った前記累算強度は、相次ぐ再編成されたスライスについて、次の式 $I_{z,y,x} = I_{z-1,y,x} + O[P_{z,y,x}] \cdot P_{z,y,x} \cdot O_{r(z,y,x)}$ に従って繰り返し計算され、ここで、 $I_{z,y,x}$ は平面 z 内の (x, y) における投影ピクセルの累算強度であり、 $I_{z-1,y,x}$ は平面 $(z-1)$ 内の (x, y) における投影ピクセルの累算強度であり、 $P_{z,y,x}$ は平面 z 内の (x, y) におけるカレントの（即ち、現在累算中の）ピクセルの深さ陰影付き強度であり、 $O[P_{z,y,x}]$ は平面 z 内の (x, y) におけるオパシティ（であると共に、深さ陰影付きでないピクセル強度の関数）であり、 $O_{r(z,y,x)}$ は平面 z 内の (x, y) における残存オパシティであり、また、前記残存オパシティは、相次ぐ再編成されたスライスについて、次の式 $O_{r(z,y,x)} = O_{r(z-1,y,x)} \cdot (1 - O[P_{z,y,x}])$ に従って算出されることを特徴とする3次元イメージング方法。

10

【請求項5】

ピクセル強度 $P_{i,x}$ 値が、減衰ファクタとスライス番号との積の関数として算出される請求項4に記載のイメージング方法。

【請求項6】

$P_{z,y,x}$ 値は、次の式

$$P_{z,y,x} = \text{MAX}(P_{z,y,x} \cdot (1 - 0 - i \cdot d \cdot A), 0)$$

に従って算出され、ここで、 $P_{z,y,x}$ は深さ陰影のない状態での平面 z 内の (x, y) におけるピクセルの強度であり、 i はスライス番号であり、 A は各々の距離増分 d 毎に適用される減衰量である請求項5に記載のイメージング方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は一般的には、医用診断の目的のための人体の解剖学的構造の3次元超音波イメージングに関する。具体的には、本発明は、人体内の走査されるボリューム（体積）から反射される超音波エコーを検出することにより人体の解剖学的構造を3次元イメージングする方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

30

従来の超音波スキャナは、ピクセルの輝度がエコー反射の強度に基づいているような組織の2次元Bモード画像を形成する。あるいは、カラー・フロー・イメージング・モードでは、体液（例えば、血液）又は組織の運動をイメージングすることができる。ドプラ効果を利用した心臓及び血管の血流の測定は周知である。即ち、後方散乱した超音波の位相シフトを用いて、組織又は血液から後方散乱体の速度を測定することができる。ドプラ・シフトを異なる色を用いて表示して、流れの速度及び方向を表すことができる。パワー・ドプラ・イメージングでは、帰投したドプラ信号のパワーが表示される。簡潔を期して以下の議論では主にBモード・イメージングを参照するが、本発明は、任意のモードの超音波イメージングに適用することができる。

【0003】

40

2次元超音波画像は、観測者が走査中の解剖学的構造の2次元的な表現を立体的に視覚化する能力を有していないことにより、しばしば解釈が困難でなる。加えて、プローブの形状又は関心区域への接近が不十分であることのために、診断を下するのに必要な正確なビュー（view；像）を取得することが可能でない場合もある。しかしながら、超音波プローブが関心区域の全体を掃引し、2次元画像を蓄積して3次元データ・ボリュームを形成すれば、熟練した観測者及び熟練していない観測者の双方にとって解剖学的構造を視覚化することが遥かに容易になる。さらに、プローブの形状又は関心区域への接近が不十分であることのために取得することのできないビューは、3次元データ・ボリュームを用いなければ得るのが困難であるような角度でボリュームを通るスライスを構成することにより、3次元データ・ボリュームから再構成することができる。

50

【 0 0 0 4 】

3次元画像を形成するために、イメージング・システムのコンピュータは、メモリから検索されたソース・データ・ボリュームをイメージング平面のデータ集合へ変換することができる。相次ぐ変換は、例えば+90°から-90°までの角度範囲内で、例えば10°間隔の角度増分で行われる最大値投影、最小値投影、合成投影、表面投影又は平均値投影等の様々な投影手法を含み得る。投影画像における各々のピクセルは、所与の画像平面への投影によって導出される変換後のデータを含む。

【 0 0 0 5 】

フリー・ハンド式3次元超音波走査においては、トランスデューサ・アレイ(1D乃至1.5D)を仰角方向に並進(平行移動)させて、関心のある解剖学的構造を通して1組の画像平面を取得する。これらの画像は、メモリに記憶して、後で、システム・コンピュータによって3次元再構成のために検索することができる。画像フレームの相互の間の間隔が既知であるならば、平面外寸法と走査平面寸法との間の正確なアスペクト比によって3次元ボリュームを再構成することができる。しかしながら、スライス間間隔の推定値が不十分であると、3次元物体の大幅な形状の歪みが生じ得る。

【 0 0 0 6 】

従来の超音波イメージング・システムは、Bモード、カラー・フロー・モード及びパワー・ドプラ・モードのデータを連続的にシネ・メモリ内に収集する。フリー・ハンド式走査法又は機械的なプローブ移動器のいずれかを用いてプローブが解剖学的構造の所定の区域を掃引するにつれて、シネ・メモリに3次元ボリュームが記憶される。プローブが並進した距離は、多くの手法のうち任意のものによって決定することができる。利用者により、掃引距離の推定値を供給することができる。あるいは、プローブがプローブ移動器によって一定の速度で移動しているならば、距離は容易に決定され得る。各々のスライスの位置を決定するためにプローブに位置センサを装着することも他の代替的方法となる。解剖学的構造上のマーカ又はデータ内部のマーカも又、所要の位置情報を提供することができる。更に他の手法として、連続した画像フレームと画像フレームとの間のスペックル無相関度から直接的に走査平面の変位を推定するものもある。一旦、データ・ボリュームが取得されたら、中央処理ユニット(CPU)は、データの3次元投影、及びデータ・ボリュームを通る任意のスライスを形成することができる。

【 0 0 0 7 】

【 発明が解決しようとする課題 】

診断のための医用イメージングの際には、内部構造の表面の3次元投影を形成することがしばしば望ましい。例えば、産科では、胎児の欠陥の可能性を見出すために、胎児の解剖学的構造の部分(手、足又は顔)を走査することがしばしば望ましい。固定された位置から胎児の解剖学的構造の単一の3次元投影を形成する諸手法が開発されている。これらの手法は、胎児の顔がトランスデューサに向いているように配向していることを要求し、最も多くの場合、モータ式プローブ移動器のような特殊な位置決め装置を用いる。レンダリングされるべきデータ・ボリュームから不要な解剖学的構造を排除するために、レンジ・ゲートがしばしば用いられる。加えて、レンダリングを高速化するために、合成アルゴリズムにおいて仮定を単純化することが行われる。この手法は、妥当な結果を与えるように見えるが、いくつかの欠点を有している。

【 0 0 0 8 】

実用上は、イメージングしている胎児が固定された配向に位置していることを要求することは現実的でないので、この要件を求めるいかなる手法も応用が限定される。更に、欠陥の決定的な診断を下すためには、単一のビューではしばしば十分でない。従って、特殊なプローブを要求したり、イメージングすべき物体が何らかの特定の配向にあることを要求したりしないで、物体を任意の角度から観察することを可能にする手法が必要とされる。

【 特許文献 1 】

欧州特許公開 E P 0 7 9 7 1 0 6 A

10

20

30

40

50

【特許文献 2】

日本特許公開 特開平 09 - 262236

【特許文献 3】

欧州特許公開 EP 0754957A

【特許文献 4】

日本特許公開 特開平 H10 - 33538

【0009】

【課題を解決するための手段】

取得平面に対して任意の角度からの物体の 3 次元イメージングが、人体を走査して、シネ・メモリに多数の画像（例えば、B モード）を収集することによりデータ・ボリュームを形成する超音波イメージング・システムにおいて達成される。次いで、システム・コンピュータが、表面強調型ボリューム・レンダリングを行う。

10

【0010】

本発明の好ましい実施例によれば、システム・コンピュータは、オパシティ（opacity、不透明度）関数を形成する。オパシティは、ピクセル値の関数としてゼロから 1 単位まで変化する。次いで、システム・コンピュータは、データ・ボリュームを通してイメージング平面に平行な多数の再編成（reformat）されたスライスを形成する。投影される各々のピクセルについて、これらの再編成されたスライスを通してイメージング平面へ射線が投射される。射線に沿った各々のピクセルについて、処理中のピクセルについてのピクセル値及びオパシティ値、前のピクセルにおいて算出された累算強度、並びに後のピクセルについての残存オパシティの関数として、累算強度が算出される。各々の射線についての最終的な累算強度は、残存オパシティが所定の最小値に達したときに得られる。投射されたすべての射線についての累算強度から投影画像が形成され、投影画像はシネ・メモリに記憶された後に選択的に表示される。選択により、シネ・メモリに記憶する前に、投影画像を拡縮（sacaling）すると共に、コントラスト強調を施してもよい。

20

【0011】

【発明の実施の形態】

図 1 に、従来の B モード・イメージング・システムの基本的な信号処理系を示す。超音波トランスデューサ・アレイ 2 が起動されて、所定の送信焦点位置に集束した超音波ビームを送信する。帰投した RF 信号は、トランスデューサ素子によって検出された後に、ビームフォーマ 4 によって走査線に沿った相次ぐレンジ（距離）に動的に集束させられて、受信ベクトルを形成する。各々の走査線についてのビームフォーマの出力データ（I/Q 又は RF）は、等化フィルタ処理、包絡線検波及び対数圧縮を含む B モード処理系 6 を通過する。走査形状に応じて、数百程度のベクトルを用いて、単一の音波画像フレームを形成することができる。1 つの音波フレームから次の音波フレームへの時間的な移行を平滑化するために、走査変換の前に何らかの音波フレーム平均 8 を行ってもよい。セクタ走査の場合には、R フォーマットの圧縮画像がスキャン・コンバータ 10 によって表示用の XY フォーマットへ変換される。システムによっては、走査変換前の音波フレームではなく XY データに対してフレーム平均を行ってもよく（破線ブロック 12 によって示す）、場合によっては、所与のビデオ表示フレーム・レートを達成するために音波フレームと音波フレームとの間に重複したビデオ・フレームを挿入してもよい。走査変換後のフレームは、ビデオ・プロセッサ 14 へ渡され、ビデオ・プロセッサ 14 は基本的には、走査変換後のデータをビデオ表示用の表示グレイ・マップ又はカラー・マップへマッピング（写像）する。

30

40

【0012】

システム制御は、ホスト・コンピュータ 20 に集中化されており、ホスト・コンピュータ 20 は、操作者インタフェイス 22 を介して操作者の入力を受け取り、次いで、様々なサブシステムを制御する。（図 1 では、ホスト・コンピュータから様々なサブシステムへのシステム制御線は単純化のために省かれている。）イメージング時には、シネ・メモリ 16 において、最新の画像の長い連鎖が記憶され、自動的に連続的に更新される。R 音波

50

画像を保存するように設計されているシステムもあれば（このデータ経路は図 1 の破線によって示されている）、X Y ビデオ画像を記憶するシステムもある。シネ・メモリ 16 に記憶されている画像ループは、トラックボール制御（インタフェイス 22）を介して表示モニタ上で再視認することができ、又、画像ループの一部をハード・ディスク記憶用を選択することもできる。

【 0 0 1 3 】

フリー・ハンド式 3 次元イメージング性能を有する超音波スキャナの場合には、シネ・メモリ 16 に記憶されている選択された画像の連鎖をホスト・コンピュータ 20 へ転送して、3 次元再構成を行う。この結果は、シネ・メモリの他の部分又はスキャン・コンバータのメモリに書き戻され、ここから、ビデオ・プロセッサ 14 を介して表示システム 18 へ送られる。

10

【 0 0 1 4 】

図 2 について説明する。スキャン・コンバータ 10 は、音響ライン・メモリ 24 と、X Y 表示メモリ 26 とを含んでいる。極座標（R）のセクタ型フォーマットで音響ライン・メモリ 24 に記憶されている B モード・イメージング・データは、適当に拡張されたデカルト座標の強度データへ変換され、このデータが X Y 表示メモリ 26 に記憶される。X Y 表示メモリ 26 からの各々の画像フレームは、ビデオ・プロセッサ 14 へ送られる。グレイ・マッピングの前に、ビデオ・プロセッサ 14 内の B モード・イメージング・データのフレームは、先入れ先出し方式でシネ・メモリ 16 に記憶されている。記憶は、連続的であってもよいし、外部のトリガ事象の結果として行われてもよい。シネ・メモリ 16 は、バックグラウンドで稼働する循環的な画像バッファ様のものであり、画像データを取り込んで、実時間で利用者に対して表示する。利用者がシステムをフリーズさせると（操作者インタフェイス 22 上の適当な装置の操作によって）、利用者は、シネ・メモリに以前に取り込まれた画像データを視認する能力を得る。

20

【 0 0 1 5 】

シネ・メモリ 16 に記憶されている選択された画像のシーケンスは、3 次元再構成のためにホスト・コンピュータ 20 へ転送される。プローブの掃引時に取得されたイメージング・データの多数のフレームは、3 次元データ・ボリュームを形成する。ホスト・コンピュータ 20 は、シネ・メモリ 16 から関心領域を検索し、ボリューム・レンダリング手法を用いて、様々なイメージング平面への投影画像を再構成する。各々の投影から得られた投影データは、シネ・メモリの他の部分又はスキャン・コンバータのメモリに書き戻されて、ここから、ビデオ・プロセッサ 14 を介して表示モニタ 18 へ送られる。

30

【 0 0 1 6 】

ホスト・コンピュータ 20 は、中央処理ユニット（CPU）28 と、システム・メモリ 30 とを含んでいる。CPU 28 は、取得されたイメージング・データのボリュームを様々な角度で捉えた多数の 3 次元投影画像へ変換するようにプログラムされている。CPU 28 は、X Y 表示メモリ 26、ビデオ・プロセッサ 14、シネ・メモリ 16 及び CPU 自体の間のシステム制御バス 32 を介したデータの流れを制御する。イメージング・データの各々のフレームは、検査している物体を通る多数の走査又はスライスのうち 1 つを表わしており、音響ライン・メモリ 24、X Y メモリ 26 及びビデオ・プロセッサ 14 に順次記憶される。グレイ・マッピングの前に、B モード・イメージング・データのフレームは、ビデオ・プロセッサからシネ・メモリ 16 へ送られる。走査された物体ボリュームを表わすフレームのスタックがシネ・メモリ 16 に記憶されて、ソース・データ・ボリュームを形成する。一旦、ソース・データ・ボリュームが取得されたら、CPU 28 は、データの 3 次元投影及びソース・データ・ボリュームを通る任意のスライスを形成することができる。

40

【 0 0 1 7 】

従来のシステムは、任意の超音波画像上に図形記号をスーパーインポーズ（重ね合わせ表示）する能力を有している。画像フレーム上への図形のスーパーインポーズは、ビデオ・プロセッサ 14 において達成され、ビデオ・プロセッサ 14 は、X Y 表示メモリ 26 から超音

50

波画像フレームを、又、図形表示メモリ 34 から図形データを受け取る。図形データは、ホスト・コンピュータ 20 によって、又は専用の図形プロセッサ（図示されていない）によって処理されて、図形表示メモリ 34 に入力されている。

【0018】

3次元画像を形成するために、CPU 28は、シネ・メモリ 16から検索されたソース・データ・ボリュームをイメージング平面データ集合へ変換することができる。本発明の好ましい実施例によれば、相次ぐ変換は、合成投影法を含む。投影画像内の各々のピクセルは、所与の画像平面への投影によって導出される変換後のデータを含んでいる。

【0019】

単純化された合成アルゴリズムは、取得平面に垂直な3次元投影をレンダリングする。レンダリングされる画像 36（図3を参照）の各々のピクセルについて、射線 38がデータ・ボリューム 40を通じて投射される。尚、データ・ボリューム 40は、0から（n-1）まで番号付けされたn個のスライスを含んでいる。射線がデータ・ボリュームの各々の平面を通過するにつれて、レンダリングされる画像に対して射線が交差したピクセルが行う寄与は、次の式を用いて加算される。

【0020】

$$I_{z,y,x} = I_{z-1,y,x} + O[P_{z,y,x}] \cdot P_{z,y,x} \cdot O_{r(z,y,x)} \quad (1)$$

ここで、 $I_{z,y,x}$ は平面 z 内の (x, y) における投影ピクセルの累算強度であり、 $I_{z-1,y,x}$ は平面 $(z-1)$ 内の (x, y) における投影ピクセルの累算強度であり、 $P_{z,y,x}$ は平面 z 内の (x, y) におけるカレントの（即ち、現在累算中の）ピクセルの深さ陰影付き強度であり、 $O[P_{z,y,x}]$ は平面 z 内の (x, y) におけるオパシティ（であると共に、深さ陰影付きでないピクセル強度の関数）であり、 $O_{r(z,y,x)}$ は平面 z 内の (x, y) における残存オパシティである。平面 $z = 0$ におけるオパシティは1単位であり、即ち、 $O_{r(0,y,x)} = 1$ である。各々の相次ぐ平面 z において、残存オパシティは、 $O_{r(z,y,x)} = O_{r(z-1,y,x)} \cdot (1 - O[P_{z,y,x}])$ (2) である。射線に沿った各ピクセルは、残存オパシティが閾値を下回るまで加算される。

【0021】

オパシティ関数 $O[P_{z,y,x}]$ は、ピクセル値 $P_{z,y,x}$ がその最小値から最大値まで移行するにつれて、ゼロから1単位まで変化する。

【0022】

図4は、次の関数によって形成されるオパシティ曲線を示している。

【0023】

$$O[P_{z,y,x}] = 1 - (1 / (\exp((i - T) / W) + 1)) \quad (3)$$

ここで、 T は曲線の中点を画定しており、 W は曲線の傾きを画定している。オパシティは、 i が0から255（8ビットの符号なしデータ）へ移行するにつれて、0から1.0まで変化する。 T を変化させることにより、関心のある表面を画定するピクセル強度値の中点を選択することができる。 W を変化させると、透明から不透明までの移行の鋭さに影響し、従って、表面の外観に影響する。

【0024】

ボリュームが回転するにつれて画像を再レンダリングするのに上述のアルゴリズムを用いたとすると、図4に示すオパシティ関数ではスライス間間隔が考慮されていないので、画像の強度はばらつきを生ずるであろう。各々のピクセルに適用されるオパシティは、次の式を用いることにより、上述の条件を補正するように修正することができる。

【0025】

$$O[P_{z,y,x}] = 1 - (1 - O[P_{z,y,x}])^d \quad (4)$$

ここで、 $O[P_{z,y,x}]$ は所与のピクセルについて算出された元のオパシティであり、 d はスライス間間隔である。

【0026】

いくつかの場合での視覚化を更に支援するために、深さの効果を更に与えることが望ましい（但し、要求されるわけではない。）。このことは、次の式のようにレンダリング方程

式に対して深さ陰影を加えることにより行われる。

【 0 0 2 7 】

$$P_{z,y,x} = \text{MAX} (P_{z,y,x} \cdot (1.0 - i \cdot d \cdot A) , 0) \quad (5)$$

ここで、 i は平面番号であり、 A は各々の距離増分 d 毎に適用される減衰量である。例えば、スライスの総数が 100 であり減衰量が 10 % であったとすると、各々のスライス (平面) についての減衰は、 $A = 0.001$ となる。MAX 関数は、ピクセル値が負にならないように保証するものである。

【 0 0 2 8 】

関心のある解剖学的構造を隠蔽するようなデータ・ボリューム内の不要な特徴を排除する更に効果的な方法は、マウス等のポインティング装置を用いて、除去したい特徴の輪郭をなぞることにより、該ボリュームから特徴を対話的に除去するものである。この手法を「電子メス入れ (electronic scalpel ing)」とも呼ぶ。

【 0 0 2 9 】

以上に述べた表面強調型ボリューム・レンダリング手法を、超音波イメージング・システムによって用いられる一揃い (panoply) の選択自在な 3 次元投影手法の 1 つとして含めることもできる。

【 0 0 3 0 】

図 5 は、本発明の好ましい実施例による表面強調型ボリューム・レンダリング手法を選択自在な投影手法の 1 つとして含めた画像取得及び表示の手順を示す流れ図である。利用者は、関心区域を超音波プローブで掃引することから開始する (ステップ 100)。例えば、掃引は、線形運動又は揺動でのフリー・ハンド式掃引によって取得され得る。一旦、データが取得されたら、利用者は、「フリーズ」・キーを押下することによりシネ・メモリをフリーズさせ (ステップ 102)、次いで、データ・ボリュームの Z 次元に含まれるべきシネ・メモリ・フレーム (スライス) の範囲を選択する (ステップ 104)。操作者は、トラックボールを動かすことにより後者のステップを行う。トラックボールが動かされたときに、表示画面上に Z 次元選択ゲージが現われる。次いで、トラックボールを用いて、インジケータの位置をゲージに対して制御する。インジケータを所望の左の端点まで移動させることができ、次いで、操作者インタフェイス上の所定のキーの押下によりこの左の端点をロックする。次いで、インジケータを所望の右の端点まで移動させることができ、次いで、同じ所定のキーの押下によりこの右の端点をロックする。これにより、データ・ボリュームに含まれるべきスライスが確定される。次いで、操作者は、インタフェイス上の適当なキーを押下することにより「3 次元モード」に入る (ステップ 106)。

【 0 0 3 1 】

3 次元モードに入ると、操作者はまず、データ・ボリューム内で XY 寸法及び ROI (関心領域) の位置を選択しなければならない (ステップ 108)。この工程は、3 次元モード・キーの押下に応答して表示画面上の既定位置に現われる関心領域ボックスを操作することにより行われる。セクタ走査画像上に現われているイメージングされた構造を包含するように、関心領域ボックスを X 及び Y において寸法調整すると共に並進させることができる。関心領域ボックスは、トラックボールを動かすことにより並進し、操作者インタフェイスに組み入れられている 4 方向揺動スイッチの操作によって寸法調整される。

【 0 0 3 2 】

ROI が画定された後に、操作者は、3 次元投影の種別 (最小値ピクセル投影、最大値ピクセル投影、平均値ピクセル投影、本発明の表面手法又は合成手法その他) を選択し (図 5 のステップ 110)、所望の表示モードを選択した後に、「RENDER」キーを押下する (ステップ 111)。次いで、ホスト・コンピュータ 20 によってシネ・メモリ 16 (図 2 を参照) から、画定された ROI を検索する。ホスト・コンピュータは、検索されたデータを重複したフレームについて走査し、これらのフレームのデータを廃棄する (ステップ 112)。次いで、ホスト・コンピュータは、このデータ集合についてのスライス間の間隔を算出する (ステップ 114)。(スライス間の間隔は、データ・ボリュームの全長にわたって一定であるものと仮定されている)。例えば、スライス間間隔は、199

10

20

30

40

50

8年3月20日に出願の米国特許第出願第09/045,780号に開示された適応型スベックル相関法を用いて算出することができる。

【0033】

スライス間間隔の算出の後に、システムは、3次元モードに含まれる3つの下位モードの1つである「ボリューム回転」モードに入る。「ボリューム回転」モードでは、カラー（例えば、緑）の配向ボックスを表わす信号がホスト・コンピュータ（又は専用の図形プロセッサ）によって発生され、図形表示メモリ34においてXYフォーマットに構成された後に、ビデオ・プロセッサ14へ送られる。ビデオ・プロセッサは、表示画面上に緑の配向ボックスが表示されるようにする（ステップ116）。同時に、ホスト・コンピュータは、算出されたスライス間間隔に基づいて、画定されたデータ・ボリュームの完全分解能の選択されたピクセル投影を実行する（ステップ118）。投影後の3次元画像は、シネ・メモリ16へ送られ、次いで、ビデオ・プロセッサ14へ送られる。ビデオ・プロセッサ14は、投影後の3次元画像が配向ボックスと共に表示画面上に表示されるようにする。配向ボックス及び初期投影の両方とも、Z軸が画面の奥を指し、Y軸が鉛直となり、X軸が水平となるようにして配向され、即ち、配向ボックスは、選択された関心領域のX寸法及びY寸法に比例したX寸法及びY寸法を有する長方形として現われる。データ・スライスは、Z軸に沿って取得されている。これをゼロ角度投影であるものと定義する。

【0034】

「ボリューム回転」モードでは、操作者は、トラックボールを用いてX軸及びY軸の周りに配向ボックス及び投影画像を回転させることができる。Z軸の周りでの回転は、操作者インタフェース上に設けられている別個の回転つまみを用いて行われる。配向ボックス及び投影画像は、利用者が所望通りにボックスを配向させ得るように、トラックボール及び回転つまみの「実時間」での動きに追従する。各々の軸の回転位置は、表示パネル上に示されている。投影画像の実時間回転を実現するために、システムは、トラックボールが移動しているか否かを検出する（ステップ120）。トラックボールが移動していれば、配向ボックスはトラックボールに追従し、デシメートされたレンダリングが実時間で実行される（ステップ122）。トラックボールが停止していれば（ステップ124）、完全分解能のピクセル投影が再形成されると共に表示される（ステップ126）。超音波イメージング・システムの操作者がカレントのX, Y, Zの回転配向でデータ・ボリュームを通して2次元スライスを見たいと思えば、操作者は、「表示モード」キーを押下して（図5のステップ128）「ボリューム回転」モードを出て（ステップ130）、「切断面」（再編成）モード（図示されていない）に入る。データを再編成してデータ集合を通して任意のスライスを形成する手法は周知である。

【0035】

本発明の好ましい実施例による表面強調型ボリューム・レンダリング手法の選択にตอบสนองして（図5のステップ110）、ホスト・コンピュータは、図6に全体的に示す手順を用いて完全分解能のピクセル投影を形成する（図5のステップ118）。ホスト・コンピュータは、データ・ボリュームの回転角度の関数として変換行列を形成する（ステップ132）。次いで、ホスト・コンピュータは、回転後のデータ・ボリュームを通して再編成されたスライスの寸法に基づいて、ボリューム・レンダリング演算を行うのに必要になるメモリの寸法を算出する（ステップ134）。ホスト・コンピュータは、システム・メモリ内で所要の寸法のバッファを割り当てる（ステップ136）。次いで、操作者は閾値Tを設定する（ステップ138）。この操作者入力にตอบสนองして、ホスト・コンピュータは、式（3）に従ってオパシティ関数を形成する（ステップ140）。次いで、 $z = 0$ から $(n - 1)$ までの n の値の各々について（図6のブロック142）、ホスト・コンピュータは以下の投影アルゴリズムを実行する。

【0036】

z の各々の値について、ホスト・コンピュータは、イメージング平面に平行に配向した再編成されたスライスのデータを形成する（ステップ144）。再編成は、データ・ボリュームを通して任意の角度にあるそれぞれのスライスに沿ってピクセル値のサンプルを採取

10

20

30

40

50

し、必要に応じて隣接したピクセル値の間で補間することにより行われる。再編成後のスライスのスライス間間隔 d は、図 5 のステップ 114 において算出されたスライス間間隔と同じになるように制限され、式 (4) の冪数 d が 1 単位に正規化されるようにする。このようにすると、システムが各々のスライスについて同じオパシティ関数を用いることが可能になり、これにより、式 (4) に従って各々のスライス毎に新たなオパシティ関数を形成する必要性が回避される。

【0037】

次いで、再編成された各々のスライスについて、ホスト・コンピュータは、 x 方向でのスライス・ピクセルの数を x 寸法とし、 y 方向でのスライス・ピクセルの数を y 寸法として、図 6 のステップ 146 及び 148 に示すように、式 (1) を用いてイメージング平面上のピクセルに交差する射線に沿った累算強度を算出する。それぞれの投射射線に整列している所与のスライス内のすべてのピクセルの強度を累算する必要はないが、 x 及び y の増分段階はスライスからスライスにわたって異なる可能性があることを念頭に置きながら、変数 P_{ix} を、処理中のスライス内の各々のピクセル値 $P_{z,y,x}$ に等しくなるように順次設定する。 $z = 0$ であるならば (ステップ 150)、累算強度は、次のようにして各々のピクセル x, y について算出される (ステップ 152)。

【0038】

$$I_{0,y,x} = O[P_{ix}] \cdot [P_{ix}]$$

ここで、 $P_{ix} = P_{0,y,x}$ である。又、残存オパシティは、次のようにして各々の x, y の対について算出される。

【0039】

$$O_{r(0,y,x)} = 1 - O[P_{0,y,x}]$$

これらの計算は、それぞれ 0 から (x 寸法 - 1) 及び 0 から (y 寸法 - 1) までの x 及び y の繰り返しを通じて行われ (ブロック 160 及びブロック 162)、この点においてルーチンはループして戻り ($z = (n - 1)$ であるので)、次の再編成されるスライス、即ち $z = 1$ についてのスライスを形成する。ホスト・コンピュータは再び、各々の x, y の対について各々の連続したピクセル値に等しくなるように変数 P_{ix} を設定する。 $z = 1$ であるので、ステップ 152 は、平面 $z = 1$ における各々の x, y の対について残存オパシティが所定の最小値を上回っているか否かを決定するようにホスト・コンピュータに指令する。残存オパシティが最小値を上回っていなければ、このピクセルに基づく累算強度は算出されず、アルゴリズムは次のピクセルへ進む。残存オパシティが最小値を上回っていれば、式 (5) に従ってピクセル強度 P_{ix} は深さについて調節される (ステップ 156)。次いで、式 (1) 及び式 (2) に従ってそれぞれ累算強度及び残存オパシティが算出される (ステップ 158)。これらの計算が、平面 $z = 1$ 内のすべての投影ピクセルについて行われる。次いで、各々の後続の再編成されるスライスについて、最後の平面 $z = (n - 1)$ の最後の投影ピクセルが処理され終わるまで全体のアルゴリズムを繰り返す (ステップ 164)。最終的な結果は、イメージング平面へ投影された関心領域の累算ピクセル強度の集合となる。

【0040】

次いで、選択により、投影データをより大きい寸法に拡大して (ステップ 166)、孔を除去するために、即ち、回転したデータ・ボリュームの投影ピクセルの任意の対の間の距離を 1 単位にまで減少させることにより、変換行列に含まれているあらゆる拡張行列の影響を打ち消す。

【0041】

超音波画像の 3 次元再構成を行うときの最高の画質を達成するために、超音波画像のコントラストの大きなばらつきに起因する再構成画像のコントラストを調節することが必要である。投影画像をシネ・メモリに記憶する前に、これらの投影画像を構成するピクセル強度データのコントラストがホスト・コンピュータによって調節され (ステップ 168)、ホスト・コンピュータは、未調節のピクセル強度データを調節済のピクセル強度データに写像する 1 対 1 マッピングを形成する。このマッピングは、ソース・フレームのピクセル

10

20

30

40

50

強度データ又は投影画像のピクセル強度データのいずれかに基づいて形成される。前者の例では、マッピングは投影の前に形成され、後者の例では、マッピングは投影の後に形成される。マッピングは、各々の投影画像に適用されて、表示のためのコントラスト調節を提供する。

【0042】

コントラスト調節マッピングを形成するために、ホスト・コンピュータは、1つ若しくはこれよりも多いスライスのソース・データ、又は1つ若しくはこれよりも多い投影画像について、多数の所定の強度範囲又はビン(bin)の各々の範囲内にある強度を有するピクセルの数のヒストグラムを蓄積する。同時に、ホスト・コンピュータは、ソース画像又は投影画像における最大ピクセル強度を決定する。最大数のピクセルを含んでいるビンから開始し、次いで、ピクセルの数が減少する順序で残りのビンを加算して、ピクセルの総数のうち所定の百分率に達するまで各々の強度範囲又はビン内にあるピクセルの数が加算される。計数されたビンが殆どの部分で比較的高強度のピクセルを含んでいるときには、計数に含まれているもののうち最も低強度のビンの下限がピクセル強度閾値となる。逆に、計数されたビンが殆どの部分で比較的低強度のピクセルを含んでいるときには、計数に含まれているもののうち最も高強度のビンの上限がピクセル強度閾値となる。いずれの場合にも、次いで、ピクセル強度閾値を上回る(又は下回る)強度値の範囲が、0から255までの拡張表示強度値範囲に線形で相関するように、1対1マッピングが形成される。

【0043】

各々の投影画像のコントラストは、ピクセル強度ヒストグラムから形成されたマッピングを用いて、ホスト・コンピュータがこの投影画像をシネ・メモリに書き込む前に自動的に調節される。より明確に述べると、ヒストグラムの計数に含まれているビンに対応する範囲内の強度値を有する投影ピクセル・データ、即ち、マップ入力レンジの範囲内の強度値を有する投影ピクセル・データは、投影ピクセル・データの各々の強度値を1対1マッピングによって確定された対応する表示強度値へ変換することによりコントラスト調節される。マップ入力レンジの範囲外にある強度値を有するピクセル・データは廃棄される。このようにして最も関心のあるピクセル強度データのコントラストを増大させると共に、最も関心の薄いピクセル強度データを廃棄することにより、各々の投影画像は、意図した結果に応じてピクセル閾値を上回る又は下回る所望の輝度及びコントラストのレンジにマッピングされる。

【0044】

視覚化を支援するものとして、配向ボックスに一致した境界ボックスが投影画像に加えられる(ステップ170)。投影画像及び境界ボックスは、ボックスを投影に重ね合わせた状態で表示される(ステップ172)。表示されたボックスは、ボックスがデータ・ボリュームの「奥」に向かうにつれてより暗くなるように見えるように、深さ陰影を付けられる。

【0045】

本発明のいくつかの好ましい特徴のみを図解すると共に記述したが、当業者には多くの改変及び変形が想到されよう。従って、特許請求の範囲が、本発明の要旨の範囲内に含まれるようなすべての改変及び変形を網羅しているものと理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の実時間式デジタル超音波イメージング・システムの様々なサブシステムを全体的に示すブロック図である。

【図2】本発明の好ましい実施例に従って、ピクセル・データの相次ぐ立体的な投影を含んでいるフレームを再構成する手段を示すブロック図である。

【図3】本発明の好ましい実施例の投影手法に従って、データ・ボリュームを通じて投射される射線を示す概略図である。

【図4】本発明の好ましい実施例に用いられる形式のオパシティ関数のグラフである。

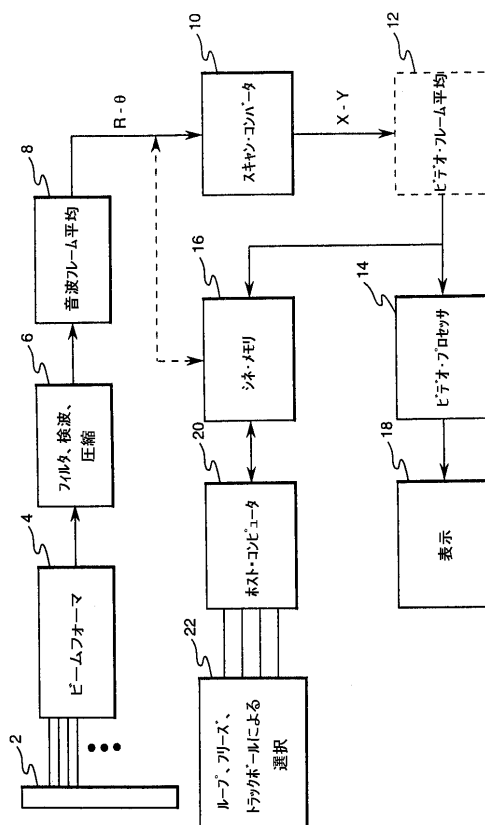
【図5】3次元イメージング・データを取得すると共に表示する手順を示す流れ図である。

【図 6】本発明の好ましい実施例に従って、ピクセル・データの相次ぐ立体的な投影を含んでいるフレームを再構成するアルゴリズムの各工程を示す流れ図である。

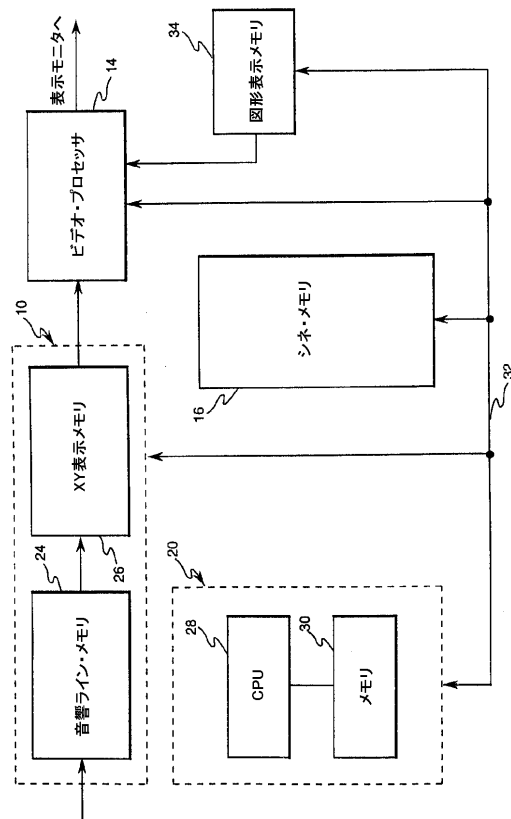
【符号の説明】

- 2 超音波トランスデューサ・アレイ
- 3 2 システム制御バス
- 3 6 レンダリングされた画像
- 3 8 射線
- 4 0 データ・ボリューム

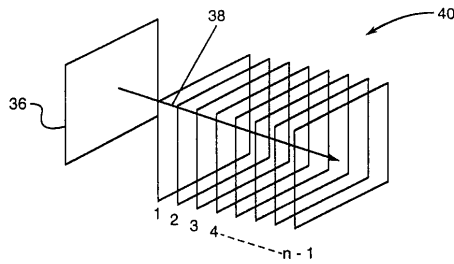
【図 1】



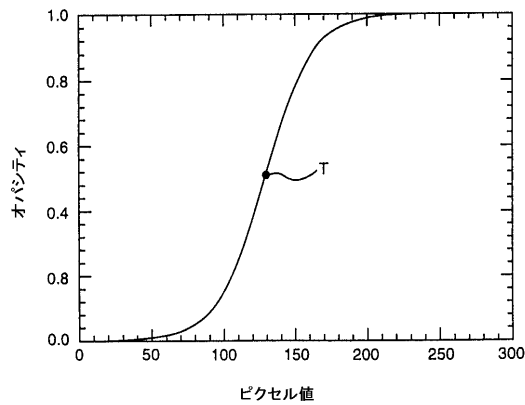
【図 2】



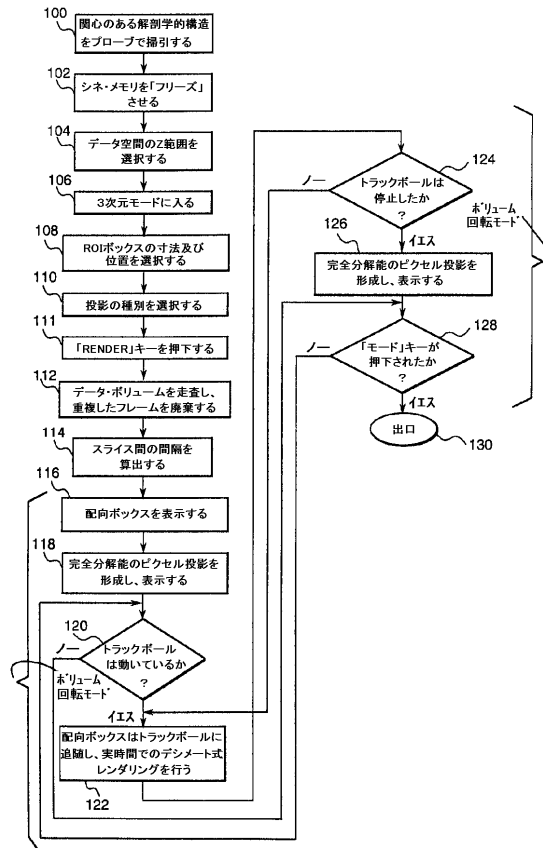
【図 3】



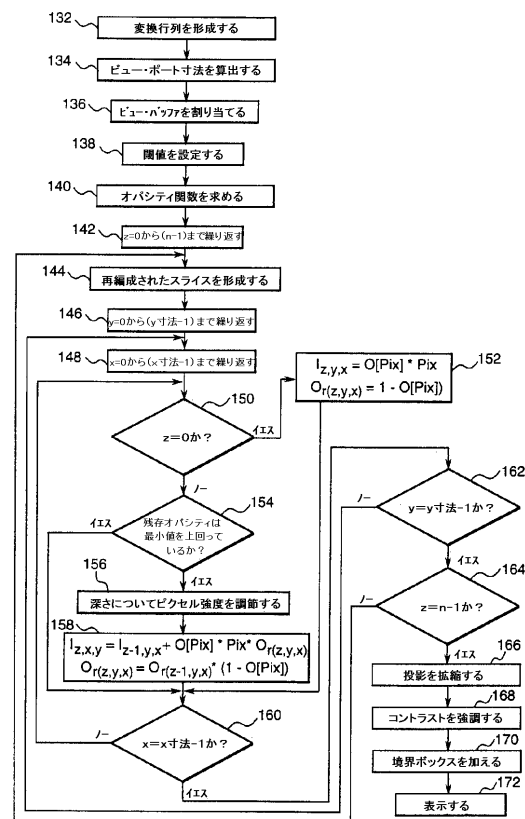
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 リサ・ソピエラジスキ・アピラ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ジャミソン・ドライブ、3番
- (72)発明者 ブライアン・ピーター・ゲイサー
アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ハートランド、パークビュー・ストリート、923番
- (72)発明者 ウィリアム・トーマス・ハットフィールド
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、キーズ・アベニュー、1305番
- (72)発明者 バイシャリ・ピラス・カマット
アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ワーケシャー、ケンジントン・ドライブ、1815番
- (72)発明者 トッド・マイケル・ティルマン
アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ウエスト・ミルウォーキー、サウス・54ティーエイチ、1514番

審査官 樋口 宗彦

- (56)参考文献 特開平11-056845(JP,A)
特開平10-033538(JP,A)
特開平09-262236(JP,A)
特開平11-313824(JP,A)
特開2001-017426(JP,A)
特開平10-85216(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B8/00-8/15

PATOLIS