

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-205604

(P2019-205604A)

(43) 公開日 令和1年12月5日(2019.12.5)

(51) Int.Cl.
A61B 8/06 (2006.01)

F I
A61B 8/06

テーマコード(参考)
4C601

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-102189 (P2018-102189)
(22) 出願日 平成30年5月29日 (2018.5.29)

(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(74) 代理人 110001210
特許業務法人Y K I 国際特許事務所
(72) 発明者 辻田 剛啓
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
Fターム(参考) 4C601 BB06 DE04 DE05 EE30 JC20
JC26 KK19 KK24

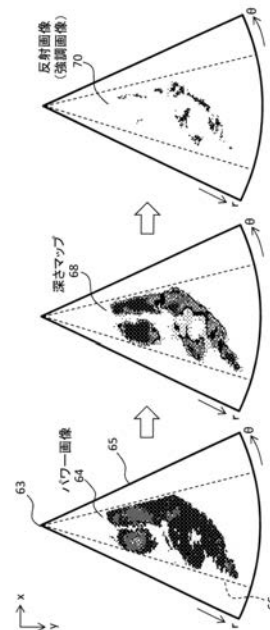
(54) 【発明の名称】 血流画像処理装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】パワー画像、速度画像等の血流画像の視認性を高める。

【解決手段】血流画像としてのパワー画像64に基づいて、反射モデルにおいて用いられる深さマップ68が生成される。反射モデルに従って、深さマップから反射画像70が生成される。反射画像70をパワー画像64に合成することにより、強調済みパワー画像が生成される。同様の方法により強調済み速度画像が生成されてもよい。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

生体内の二次元領域における血流を表す血流画像に基づいて、疑似的な深さマップを生成する深さマップ生成手段と、

前記深さマップに基づいて、前記血流の空間的变化を強調するための強調画像を生成する強調画像生成手段と、

前記強調画像を用いて前記血流画像を加工する加工手段と、

を含むことを特徴とする血流画像処理装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の装置において、

前記深さマップは、前記血流画像に基づいて定義される仮想的な三次元空間において前記血流画像に対して反射モデルを適用するためのものであり、

前記強調画像生成手段は、前記反射モデルに基づいて前記深さマップから前記強調画像としての反射画像を生成する反射画像生成手段である、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

10

【請求項 3】

請求項 2 記載の装置において、

前記加工手段は、前記血流画像に前記反射画像を合成して、強調済み血流画像を生成する、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

20

【請求項 4】

請求項 3 記載の装置において、

前記血流画像をカラー血流画像に変換するカラー変換手段を含み、

前記反射画像はカラー画像であり、

前記加工手段は前記カラー血流画像に対して前記カラー画像としての前記反射画像を合成する、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

【請求項 5】

請求項 4 記載の装置において、

前記反射画像は光沢表現用の白色系画像である、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

30

【請求項 6】

請求項 2 記載の装置において、

前記反射画像生成手段は、

前記深さマップに基づいて勾配マップを生成する手段と、

前記勾配マップに基づいて前記反射画像を生成する手段と、

を含むことを特徴とする血流画像処理装置。

【請求項 7】

請求項 1 記載の装置において、

前記血流画像はドプラ情報のパワーの分布を表すパワー画像であり、

前記深さマップ生成手段は、前記パワー画像を構成する各パワーに基づいて前記深さマップを構成する各深さを決定し、

前記深さマップ生成手段は、パワーが大きくなればなるほどより小さな深さを決定する関数を有する、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

40

【請求項 8】

請求項 1 記載の装置において、

前記血流画像は速度画像であり、

前記深さマップ生成手段は、前記速度画像を構成する各速度の絶対値に基づいて前記深さマップを構成する各深さを決定し、

50

前記深さマップ生成手段は、速度の絶対値が大きくなればなるほどより小さな深さを決定する関数を有する、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

【請求項 9】

請求項 1 記載の装置において、

前記強調画像生成手段は、前記深さマップ及び分散マップに基づいて、前記強調画像を生成する、

ことを特徴とする血流画像処理装置。

【請求項 10】

血流画像処理装置が実行する血流画像処理方法であって、

生体内の二次元領域における血流を表す血流画像に基づいて、疑似的な深さマップを生成する工程と、

反射モデルに基づいて、前記深さマップから前記血流の空間的变化を強調するための強調画像を生成する工程と、

前記強調画像を前記血流画像に合成し、強調済み血流画像を生成する工程と、

を含むことを特徴とする血流画像処理方法。

【請求項 11】

血流画像処理装置が血流画像処理方法を実行するためのプログラムであって、

生体内の二次元領域における血流を表す血流画像に基づいて、疑似的な深さマップを生成する機能と、

反射モデルに基づいて、前記深さマップから前記血流の空間的变化を強調するための強調画像を生成する機能と、

前記強調画像を前記血流画像に合成し、強調済み血流画像を生成する機能と、

を含むことを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は血流画像処理装置及び方法に関し、特に血流画像の加工に関する。

【背景技術】

【0002】

医療の分野において、超音波診断装置が活用されている。超音波診断装置は、生体への超音波の送受波により得られた受信信号に基づいて超音波画像を形成する装置である。超音波画像として、断層画像、血流画像、等が知られている。血流画像は、一般に、生体内におけるビーム走査面（二次元データ取込領域）内の血液の流れを二次元表現したものである。

【0003】

血流画像の具体例として、パワー画像、速度画像等があげられる。パワー画像は、生体内から得られたドプラ情報のパワーの二次元分布を表した画像である。速度画像は、生体内から得られたドプラ情報に基づいて演算される速度の二次元分布を表した画像である。速度画像においては、正方向の流れ（プローブに近付いてくる流れ）が例えば暖色系の色相で表現され、負方向の流れ（プローブから遠ざかる流れ）が例えば寒色系の色相で表現される。その場合、各方向における速度の大きさが輝度で表現される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 11 - 206768 号公報

【特許文献 2】特許 3946815 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【0005】

二次元の血流画像において視認性を高めることが望まれている。換言すれば、二次元領域内における血液の流れの空間的な変化を強調表現することが望まれている。

【0006】

特許文献1には、血流を疑似的に立体表現することが記載されている。特許文献2には、血流の速度分布を疑似的に立体表現することが記載されている。しかし、いずれの特許文献にも、疑似的な深さマップの生成及びその利用については記載されていない。

【0007】

本発明の目的は、血流画像の視認性を高めることにある。あるいは、本発明の目的は、二次元領域における血液の流れの空間的な変化を強調表現することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る血流画像処理装置は、生体内の二次元領域における血流を表す血流画像に基づいて、疑似的な深さマップを生成する深さマップ生成手段と、前記深さマップに基づいて、前記血流の空間的な変化を強調するための強調画像を生成する強調画像生成手段と、前記強調画像を用いて前記血流画像を加工する加工手段と、を含むものである。

【0009】

本発明に係る血流画像処理方法は、血流画像処理装置が実行する血流画像処理方法であって、生体内の二次元領域における血流を表す血流画像に基づいて、疑似的な深さマップを生成する工程と、反射モデルに基づいて、前記深さマップから前記血流の空間的な変化を強調するための強調画像を生成する工程と、前記強調画像を前記血流画像に合成し、強調済み血流画像を生成する工程と、を含むものである。

20

【0010】

上記方法は、ハードウェアの機能又はソフトウェアの機能として実現され、後者の場合、その機能を実現するプログラムが、可搬型記憶媒体又はネットワークを介して、血流画像処理装置へインストールされる。血流画像処理装置の概念には、超音波診断装置、情報処理装置等が含まれる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、血流画像の視認性を高められる。あるいは、本発明によれば、二次元領域内における血液の流れの空間的な変化を強調表現できる。

30

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】実施形態に係る超音波診断装置の構成を示すブロック図である。

【図2】深さマップを示す概念図である。

【図3】反射モデルを示す概念図である。

【図4】反射画像生成部及び表示処理部の第1構成例を示すブロック図である。

【図5】反射画像の生成を説明するための図である。

【図6】強調済みパワー画像の一例を示す図である。

【図7】強調済み速度画像の一例を示す図である。

40

【図8】他の強調済み血流画像を示す図である。

【図9】ガイダンス像の操作を説明するための図である。

【図10】反射画像生成部及び表示処理部の第2構成例を示すブロック図である。

【図11】反射画像生成部及び表示処理部の第3構成例を示すブロック図である。

【図12】反射画像生成部及び表示処理部の第4構成例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、実施形態を図面に基づいて説明する。

【0014】

(1)実施形態の概要

50

実施形態に係る血流画像処理装置において、深さマップ生成手段は、生体内の二次元領域における血流を表す血流画像に基づいて、疑似的な深さマップを生成し、強調画像生成手段は、深さマップに基づいて血流の空間的变化を強調するための強調画像を生成し、加工手段は、強調画像を用いて血流画像を加工する。

【0015】

対象物を立体的又は写實的に表現するための技術として、各種のレンダリング技術が提案されている。いずれのレンダリング技術を採用する場合でも、対象物についての三次元データが必要となる。血流画像は二次元データであり、血流画像それ自体に対してレンダリング技術を適用しても、血流を立体的に表現することはできない。

【0016】

これに対し、上記構成によれば、血流画像に基づいて、疑似的な奥行き情報である深さマップ（高低マップ）が人工的に生成される。つまり、二次元データから疑似的な三次元データが生成される。深さマップに対するレンダリング技術（あるいは立体表現技術）の適用により、血液の流れの空間的な変化が強調された強調画像を得て、その強調画像に基づいて血流画像を加工することが可能となる。

【0017】

実施形態において、血流画像は、典型的には、パワー画像、速度画像である。実施形態において、レンダリングに際しては、立体表現モデルが利用される。立体表現モデルは、望ましくは、反射モデルである。反射モデルとして、鏡面反射モデル及び拡散反射モデルが知られているところ、実施形態では、鏡面反射モデルが採用されている。それ以外の反射モデルが採用されてもよい。血流画像の加工の概念には、血流画像に対する強調画像の合成の他、強調画像に基づく血流画像の補正、等が含まれる。血流画像上において輝度の大小又は色相の変化がより強調されるように、血流画像の加工が行われるようにするのが望ましい。血流画像は動画像及び静止画像のいずれであってもよい。

【0018】

実施形態において、深さマップは、血流画像に基づいて定義される仮想的な三次元空間において血流画像に対して反射モデルを適用するためのものであり、強調画像生成手段は、反射モデルに基づいて、深さマップから強調画像としての反射画像を生成する反射画像生成手段である。反射画像は、凹凸又は大小を強調する作用を発揮する画像であり、そのような反射画像に基づいて血流画像を加工すれば、血流の空間的な変化を強調することが可能となる。

【0019】

実施形態において、加工手段は、血流画像に反射画像を合成して、強調済み血流画像を生成する。反射画像の合成によれば、血流画像における特定の部分を強調することが可能となる。実施形態に係る血流画像処理装置は、血流画像をカラー血流画像に変換するカラー変換手段を含み、反射画像はカラー画像であり、加工手段はカラー血流画像に対してカラー画像としての反射画像を合成する。両画像の合成後にカラー変換を行うことも可能であるが、カラー変換後の合成によれば、反射画像の内容を個別的に調整し易い。

【0020】

実施形態において、反射画像は光沢表現用の白色系画像である。この構成によれば、血流画像において、例えば、パワーや速度が大きい部分を識別表現、立体表現又は強調表現することが可能となる。白色系画像は、白色で表現された画像、及び、白色に近い色又は機能的に見て白色と同視できる色で表現された画像である。

【0021】

実施形態において、反射画像生成手段は、深さマップに基づいて勾配マップを生成する手段と、勾配マップに基づいて反射画像を生成する手段と、を含む。勾配マップの生成は反射モデルを適用するに際しての前提となるものである。勾配マップは法線ベクトルマップを包含する概念である。

【0022】

実施形態において、血流画像はドブラ情報のパワーの分布を表すパワー画像であり、深

10

20

30

40

50

さマップ生成手段は、パワー画像を構成する各パワーに基づいて深さマップを構成する各深さを決定し、深さマップ生成手段は、パワーが大きくなればなるほどより小さな深さを決定する関数を有する。この構成によれば、パワー画像においてパワーの大きな部分が自然に強調される。例えば、その部分が明るく、輝いて表現される。

【0023】

実施形態において、血流画像は速度画像であり、深さマップ生成手段は、速度画像を構成する各速度の絶対値に基づいて深さマップを構成する各深さを決定し、深さマップ生成手段は、絶対値が大きくなればなるほどより小さな深さを決定する関数を有する。この構成によれば、速度画像において速度の絶対値の大きな部分が自然に強調される。例えば、その部分が明るく、輝いて表現される。

10

【0024】

実施形態において、強調画像生成手段は、深さマップ及び分散マップに基づいて、強調画像を生成する。通常、血流情報の演算に際しては、パワー、速度及び分散が演算される。上記構成は、分散を強調画像の生成に活用するものである。例えば、反射モデルに対して、血流表面の粗さの代わりに、分散を与えるようにしてもよい。

【0025】

(2) 実施形態の詳細

図1には、実施形態に係る血流画像処理装置が示されている。この血流画像処理装置は、医療機関等において設置され、生体への超音波の送受波により得られた受信情報に基づいて超音波画像を形成する超音波診断装置である。超音波画像として、生体組織を表す断層画像、及び、血流を表す血流画像が挙げられる。後者の血流画像には、パワー画像、及び、速度画像が挙げられる。超音波診断装置で生成された血流画像データがPC等の情報処理装置において処理されてもよい。その場合、その情報処理装置が血流画像処理装置に該当し得る。

20

【0026】

図1において、プローブ10は可搬型の送受波器である。図示の例では、プローブ10の送受波面が生体11の表面に当接されている。プローブ10は、一次元配列された複数の振動素子からなる振動素子アレイを有している。振動素子アレイによって超音波ビームが形成され、それが電子的に走査される。これによりビーム走査面12が形成される。図1において、r方向は深さ方向であり、θ方向は電子走査方向である。電子走査方式として、電子セクタ走査方式、電子リニア走査方式(電子コンベック走査方式を含む)等が知られている。体腔内に挿入されるプローブが用いられてもよい。1D振動素子アレイに代えて、2D振動素子アレイが設けられてもよい。もっとも、実施形態に係る超音波診断装置によれば、後に詳述するように、2D振動素子アレイを用いることなく、疑似的に立体表現された血流画像を生成することが可能である。なお、通常、断層画像形成用の超音波ビームとドプラ情報取得用の超音波ビームとが別々に形成される。

30

【0027】

送信部14は、送信時において、振動素子アレイに対して、遅延処理された複数の送信信号を並列的に出力する送信ビームフォーマーである。送信ビームフォーマーの実体は電子回路である。一方、受信時において、生体内からの反射波が振動素子アレイにおいて受波されると、振動素子アレイから受信部16へ複数の受信信号が並列的に出力される。受信部16は、複数の受信信号を遅延加算(整相加算)し、これにより遅延加算後の受信信号であるビームデータを出力する。すなわち、受信部16は受信ビームフォーマーである。その実体は電子回路である。受信部16は、具体的には、複数のアンプ、複数のA/D変換器、複数の遅延器、加算器等を備える。実施形態においては、受信部16内に、複素信号変換回路としての直交検波回路が設けられている。なお、電子走査方向に並ぶ複数のビームデータにより受信フレームデータが構成される。各ビームデータは深さ方向に並ぶ複数のエコーデータにより構成される。

40

【0028】

断層画像形成部18は、断層画像形成手段として機能し、それは、ビームデータ処理回

50

路、デジタルスキャンコンバータ(DSC)、等を有する電子回路である。ビームデータ処理回路は、各ビームデータに対して、振幅演算、対数変換、相関処理、等を適用する電子回路である。DSCは、座標変換機能、補間機能、フレームレート変換機能、等を有する。DSCによって、複数の受信フレームデータから複数の断層画像データが生成される。各断層画像データは生体組織の断面を表すBモード画像データである。各断層画像データが表示処理部24へ送られている。断層画像形成部18が、プログラムに従って動作する1又は複数のプロセッサにより構成されてもよい。あるいは、後述する制御部28が断層画像形成部18として機能してもよい。図1において、bwは、断層画像を構成する各画素の画素値(輝度値)を表している。

【0029】

血流画像形成部20は、血流画像形成手段として機能するものであり、ドプラ情報処理回路、デジタルスキャンコンバータ(DSC)、等を有する電子回路である。ドプラ情報処理回路には、複素信号としての各ビームデータが入力され、各ビームデータに基づいて、二次元座標ごとに、パワー、速度(平均速度)及び分散(速度のばらつき)が演算される。具体的には、ドプラ情報処理回路は、ウォールモーションフィルタ、自己相関器、パワー演算器、速度演算器、分散演算器等を有する。DSCは、上記のとおり、座標変換機能、補間機能、フレームレート変換機能、等を有する。プログラムに従って動作する1又は複数のプロセッサにより血流画像形成部20が構成されてもよい。あるいは、後述する制御部28が血流画像形成部20として機能してもよい。図1において、pはパワーを示しており、 $\pm v$ は正負の速度を示している。この他、分散が表示処理部24へ出力され得る。なお、パワーp、速度 $\pm v$ 、及び、分散は、画素単位で演算され、表示処理部24へ出力される。

【0030】

反射画像生成部22は、強調画像生成手段又は反射画像生成手段として機能するものである。反射画像生成部22は、レンダリングのためのモデルとしての反射モデルに基づいて、血流画像(パワー画像、速度画像)から疑似的な深さマップを人工的に生成すると共に、その深さマップに基づいて反射画像を生成する電子回路である。実施形態において、反射画像は、血流画像中における、周囲より際立って大きなパワー又は速度を有する部分を、光沢感をもって強調表現するための画像である。換言すれば、反射画像は、血流画像を加工するための画像である。反射画像生成部22が、プログラムに従って動作する1又は複数のプロセッサにより構成されてもよい。あるいは、後述する制御部28が反射画像生成部22として機能してもよい。図1において、 I_{spec} は、画素単位の反射光の強度つまり輝度を示している。反射画像生成部22の具体的な構成及び作用については後に詳述する。

【0031】

実施形態においては、座標変換後の血流画像に基づいて反射画像が生成されているため、反射画像生成部22内には上記DSCが設けられていない。もっとも、座標変換前の血流画像(受信フレームデータ)に基づいて反射画像を生成するようにしてもよい。その場合、血流画像への反射画像の合成が座標変換前に行われても座標変換後に行われてもよい。もっとも、実施形態の構成によれば、後述するように、カラー画像としての血流画像に対してカラー画像としての反射画像が合成されるため、反射画像の内容を個別的に自在に定めやすいという利点を得られる。

【0032】

表示処理部24は、合成手段及びカラー変換手段として機能するものであり、それは、画像合成機能、カラー変換機能等を有する。表示処理部24により、ユーザー選択された動作モード又は表示モードに従う表示画像が構成される。CFM(Color Flow Mapping)モードにおいては、白黒のBモード断層画像上にカラーの血流画像(パワー画像又は速度画像)が合成され、それにより生成されたCFM画像が表示器26に表示される。CFMモードが選択され、更に、血流画像の強調がユーザーにより指示された場合、カラーの血流画像(パワー画像又は速度画像)に対してカラーの反射画像が合成され、これにより強

10

20

30

40

50

調済み血流画像が生成される。その強調済み血流画像が断層画像に合成され、それにより生成されたCFM画像が表示器26に表示される。

【0033】

CFMモードが選択された場合には、常に、強調済み血流画像が表示されるようにしてもよい。血流画像の種別（パワー画像、速度画像）は、ユーザーにより選択される。強調済み血流画像が単独で表示されもよい。深さマップ、勾配（法線ベクトル）マップ、等の中間画像が表示されてもよい。反射画像が血流画像に合成されることなく、別の目的で利用されてもよい。例えば、反射画像に基づいて計測が実行されてもよい。表示処理部24が、プログラムに従って動作する1又は複数のプロセッサにより構成されてもよい。あるいは、後述する制御部28が表示処理部24として機能してもよい。表示器26は、LCD、有機EL表示デバイス、その他の表示デバイスによって構成され得る。

10

【0034】

制御部28は、制御手段として機能するものであり、それはCPU及び動作プログラムによって構成される。制御部28は、図1に示される各構成の動作を制御する。特に、実施形態において、制御部28は、反射画像の生成及び合成を制御する。制御部28には操作パネル30が接続されている。操作パネル30は、複数のスイッチ、複数のボタン、トラックボール、キーボード等を備える入力デバイスである。反射モデルの定義に際しては、操作パネルを利用して、ユーザーにより、光源の位置、視線（視点）の位置等の各種パラメータを設定し又は変更し得る。

20

【0035】

図2には、深さマップの生成方法が示されている。二次元空間32はx軸（水平軸）及びy軸（垂直軸）によって定義される空間であり、その二次元空間32内に血流画像36が存在している。血流部38中における点aの座標が(x, y)で表されている。一方、三次元空間34は、二次元空間32に対して、深さ軸としてのz軸を追加したものに相当し、その内部の点bの座標が(x, y, z)で表されている。

【0036】

実施形態においては、血流画像を構成する画素ごとに、深さzが計算される。具体的には、後に詳述するように、画素の輝度値I（パワーp又は速度vの絶対値）から、深さzが計算される。その計算に際しては、例えば、輝度値Iが大きければ大きいほど深さzをより小さくする作用をもった変換式が利用される。深さ軸を含んだ三次元空間34は、実際の空間ではなく、反射モデルの適用のために人工的に定義された仮想的な空間である。二次元空間32と三次元空間34との間で、x軸及びy軸は共通である。三次元空間34は血流画像36に基づいて定義される空間であるとも言える。三次元空間34内においては、複数の深さzが分布し、それが深さマップ42を構成する。深さzの最小値は0であり、その最大値はz-maxである。例えば、z-maxは255である。深さマップ42は、三次元空間34内において、三次元の形態を有している。実施形態においては、深さマップ42を三次元物体とみなし、それに対して反射モデルが適用される。

30

【0037】

図3に基づいて、反射モデル（鏡面反射モデル）200について説明する。深さマップ42を三次元物体とみなすことにより、深さマップ42上の点bについて、それに接する平面44を定義することが可能となる。平面44は傾きを有する。実施形態では、その傾きが法線ベクトルNで表現される。また、その点bについて、光源ベクトルL及び視線ベクトルVが定義される。光源及び視点が固定点として定められてもよいし、それらがユーザーによって変更されてもよい。半角ベクトル（ハーフベクトル）Hは、光源ベクトルLと視線ベクトルVとがなす角度を二等分するベクトルである。反射モデルに対して、それらのベクトルを与えることにより、点bについて、反射光の強度 I_{spec} を演算することが可能となる。血流画像を構成する画素ごとに演算される反射光の強度 I_{spec} の集合体として、反射画像が構成される。三次元物体を立体的又は写實的に表現するためのレンダリングに関しては、様々なモデルが提案されている。その中において、血流の空間的な変化を強調できるモデルを採用するのが望ましく、特に、上記のように鏡面反射モデルを採用す

40

50

るのが望ましい。具体的な計算式については後述する。

【0038】

図4には、反射画像生成部及び表示処理部の第1構成例が示されている。表示処理部24は、カラー変換手段として機能するカラー変換部46、加工手段又は合成手段として機能する加算器48、及び、合成部50を有している。カラー変換部46は、血流画像（パワー画像又は速度画像）をカラー画像に変換するものである。加算器48は、カラー画像としての血流画像に対して、カラー画像としての強調画像を合成し、強調済み血流画像を生成するものである。合成部50は、カラー画像としての強調済み血流画像と、背景画像としての白黒の断層画像と、を合成するものである。

【0039】

反射画像生成部22は、深さマップ生成器52、勾配マップ演算器54及び反射画像生成器56を有している。深さマップ生成器52は、深さマップ生成手段として機能し、それには、血流画像としてのパワー画像又は速度画像が入力される。深さマップ生成器52にパワー画像が入力された場合、深さマップ生成器52は、パワー画像における画素ごとに、パワーを深さに変換し、これによって複数の深さからなる深さマップを生成する。一方、深さマップ生成器52に速度画像が入力された場合、深さマップ生成器52は、速度画像における画素ごとに、速度の絶対値を深さに変換し、これによって複数の深さからなる深さマップを生成する。いずれの深さマップも、実際の深さ分布を示すものではなく、反射モデルの適用のために人工的に作出された模擬的な形態情報である。

【0040】

深さマップ生成器52において、パワー p から深さ z を求める際には、例えば、以下の(1)式が演算される。

【0041】

【数1】

$$z = k * (255 - p) \quad \dots (1)$$

【0042】

上記(1)式において、深さ z の最小値は0であり、深さ z の最大値は255である。最大値である255からパワー p を減算して得られた値に対して係数 k を乗じることによって、深さ z が演算されている。上記(1)式によれば、パワー p が大きくなればなるほど、より小さな深さ z が算出される。

【0043】

一方、深さマップ生成器52において、速度 v から深さ z を求める際には、例えば、以下の(2)式が演算される。

【0044】

【数2】

$$z = k * (255 - |v| * 2) \quad \dots (2)$$

【0045】

上記(2)式においても、深さ z の最小値は0であり、深さ z の最大値は255である。最大値である255から速度 v の絶対値を減算して得られた値を2倍し且つそれに係数 k を乗じることによって、深さ z が演算されている。上記(2)式によれば、速度 v の絶対値が大きくなればなるほど、より小さな深さ z が算出される。

【0046】

数式演算に代えてルックアップテーブル(LUT)によって、パワー p 又は速度 v から深さ z が演算されてもよい。例えば、以下の(3-1)又は(3-2)が利用されてもよ

10

20

30

40

50

い。それらの式中の lut は L U T での変換を表している。

【 0 0 4 7 】

【 数 3 】

$$z = k * \text{lut} (p) \quad \dots (3-1)$$

$$z = k * \text{lut} (| v |) \quad \dots (3-2)$$

【 0 0 4 8 】

以下の (4) 式に示すように、多項式、対数関数等の所望の関数 $f (I)$ に基づいて深さ z が演算されてもよい。ここで、関数の引数である I は輝度であり、輝度 I は、パワー p 、又は、速度 v の絶対値である。

10

【 0 0 4 9 】

【 数 4 】

$$z = k * f (I) \quad \dots (4)$$

【 0 0 5 0 】

図 4 において、勾配マップ演算器 5 4 は、勾配マップ演算手段として機能し、それは、深さマップに対して空間微分処理を施すことにより、勾配マップを生成するものである。具体的には、深さマップ上の個々の点ごとに、その点に接する平面の傾きが演算され、これにより、複数の傾きの分布として勾配マップが構成される。実際には、各地点に接する平面の傾きとして、その平面の法線ベクトルが演算されている。すなわち、実施形態においては、勾配マップは法線ベクトルマップとして構成されている。

20

【 0 0 5 1 】

反射画像生成器 5 6 は、反射画像生成手段の要部を構成するものであり、それは、勾配マップ (法線ベクトルマップ) に基づいて反射画像を生成するものである。具体的には、例えば、反射モデル (鏡面反射モデル) に従う以下の (5) 式に基づいて、反射画像を構成する各画素の輝度 (視点において観測される反射光の強度) I_{spec} が演算される。

30

【 0 0 5 2 】

【 数 5 】

$$I_{spec} = \frac{\rho_s \cdot F(H,L) \cdot D \cdot G(H,L,V,N)}{\pi(N \cdot V)(N \cdot L)} \quad \dots (5)$$

【 0 0 5 3 】

上記 (5) 式の分子において、 ρ_s は、鏡面反射係数である。 F はフレネル項であり、それは半角ベクトル H 及び光源ベクトル L によって定義されるものである。 D は分布関数あるいは法線分布項であり、物体表面のばらつきに相当する。 G は幾何減衰項であり、それは、半角ベクトル H 、光源ベクトル L 、視線ベクトル V 及び法線ベクトル N によって定義されるものである。上記 (5) 式の分母には、法線ベクトル N と視線ベクトル V の内積、及び、法線ベクトル N と光源ベクトル L の内積が含まれる。上記 (5) 式それ自体は公知の計算式である。符号 5 8 で示されるように、反射光の強度の計算で必要となるパラメータがユーザーにより与えられる。その場合、プリセットされたパラメータが利用されてもよい。超音波の送受信条件やドプラ情報に基づいて、パラメータが自動的に決定されてもよい。

40

【 0 0 5 4 】

50

上記分布関数 D を血流速度の分散 の関数とすることも可能である。その場合、次の (6) 式に従って、反射光の強度 I_{spec} が演算される。

【 0 0 5 5 】

【 数 6 】

$$I_{spec} = \frac{\rho_s \cdot F(H,L) \cdot D(H,N,\sigma) \cdot G(H,L,V,N)}{\pi(N \cdot V)(N \cdot L)} \quad \dots (6)$$

10

【 0 0 5 6 】

分布関数 D に代えて分散 を利用してもよい。それを以下の (7) 式に示す。

【 0 0 5 7 】

【 数 7 】

$$I_{spec} = \frac{\rho_s \cdot F(H,L) \cdot \sigma \cdot G(H,L,V,N)}{\pi(N \cdot V)(N \cdot L)} \quad \dots (7)$$

20

【 0 0 5 8 】

上記 (7) 式によれば、計算量を削減でき、しかも分散 がより反映された反射画像を得ることが可能となる。なお、分散 は座標 (x , y) ごとに演算されるものである。複数の画素に対応する複数の分散 により分散マップが構成される。

【 0 0 5 9 】

図 4 において、以上のように生成された反射画像は、加算器 4 8 において、カラー変換後の血流画像に対して重畳される。実施形態では、反射画像は白色画像として構成されており、R , G , B の比率は 1 : 1 : 1 である。そのような反射画像をパワー画像に合成した場合、パワーの大きな部分が白く輝いて強調表現される。そのような反射画像を速度画像に合成した場合、速度の絶対値の大きな部分が白く輝いて強調表現される。

30

【 0 0 6 0 】

カラー変換部 6 0 を追加的に設け、そのカラー変換部 6 0 において、反射画像に対して色付けを行うようにしてもよい。加算器 4 8 に代えて他の加工手段を設けてもよい。例えば、反射画像に基づいて血流画像の色相又は輝度を強調する補正処理を行うようにしてもよい。カラー変換後の血流画像 6 2 が深さマップ生成器 5 2 に送られ、そのような血流画像 6 2 に基づいて深さマップが生成されてもよい。複数の処理方式の中から状況に適した処理方式が自動的に又はマニュアルで選択されてもよい。

【 0 0 6 1 】

図 5 には、反射画像の生成過程が示されている。表示エリア 6 5 内には関心領域 (R O I) 6 6 が定められ、その内部にパワー画像 6 4 が存在している。符号 6 3 は送受信原点を示している。関心領域 6 6 は、例えば、心臓内の左室の全部又は一部をカバーする領域である。実施形態においては、パワー画像 (カラー変換前のパワー画像又はカラー変換後のパワー画像) に基づいて、深さマップ 6 8 が生成される。深さマップは、二次元エリア内におけるパワーの分布に相当するものである。反射モデルの下で、深さマップ 6 8 に基づいて反射画像 7 0 が生成される。反射画像 7 0 は、血流の空間的な変化を強調するための強調画像である。なお、実施形態では、反射画像は白色系の画像であるが、図 5 においては、観察の便宜のために、白黒反転された反射画像が示されている。

40

【 0 0 6 2 】

図 6 には、強調済みパワー画像 7 2 が示されている。この強調済みパワー画像 7 2 は、図 5 に示したパワー画像に対して反射画像を合成することにより生成されたものである。

50

パワーの大きな部分が強調部分 73 とされており、つまり、その部分が白色表現又は光沢表現されている。これにより、血流の空間的な変化を明瞭に表現することが可能となり、パワー画像の視認性を高められる。

【0063】

図 7 には、強調済み速度画像 74 が示されている。この強調済み速度画像 74 は、速度画像に対して反射画像を合成することにより生成されたものである。速度の絶対値の大きな部分が強調表現されている。具体的には、暖色系のカラーにより表現された正方向血流画像 76 中には正方向強調部分 80 が含まれ、寒色系のカラーにより表現された負方向血流画像 78 中には負方向強調部分 82 が含まれる。それらの強調部分 80, 82 は白色表現されあるいは輝くように表現される。これにより、血流の空間的な変化を明瞭に表現することが可能となり、速度画像の視認性を高められる。特に、弁閉鎖不全により生じる逆流の視認性を向上することが可能となる。

10

【0064】

図 8 には、頸動脈が示されている。血管壁 86 の内部 88 にはパワー画像 84 が表現されている。パワーの大きな中心部分 90 が反射画像の合成によって強調表現されている。なお、プローブ 92 に対する垂直軸に対して偏向角度 だけ傾けられた超音波ビーム 94 がリニア走査され、これによってパワー画像 84 が形成される。

【0065】

図 9 には、他の表示例が示されている。強調済み血流画像 102 に隣接してガイダンス像 104 を表示するようにしてもよい。ガイダンス像 104 は、例えば、三次元空間を示すワイヤフレーム 106、ビーム走査面を示すマーク 108、光源を示すマーク 110、視点を示すマーク 112 等を有する。例えば、操作パネル 30 を利用して、マーク 110, 112 を操作して、光源や視点の位置を変更してもよい。その場合において、リアルタイムで変化する反射画像を観察しながら、最適な光源の位置及び視点の位置の組み合わせを見出すようにしてもよい。z 方向に平行な投影光及び z 方向に平行な視線を設定するようにしてもよい。

20

【0066】

図 10 には、反射画像生成部及び表示処理部の第 2 構成例が示されている。図 10 において、図 4 に示した構成と同様の構成には同一符号を付し、その説明を省略する。この第 2 構成例では、表示処理部 24A において、乗算器 48A の前段に合成部 50A が設けられている。すなわち、血流画像と断層画像の合成が行われた上で、合成画像に対して反射画像が生成されている。この構成によっても血流画像を強調処理することが可能である。なお、断層画像を事後的に合成する場合、反射画像が断層画像によって覆われてしまう可能性が生じるが、第 2 構成例によれば、そのような問題が生じることを回避できる。

30

【0067】

図 11 には、反射画像生成部及び表示処理部の第 3 構成例が示されている。図 11 において、図 4 に示した構成と同様の構成には同一符号を付し、その説明を省略する。この第 3 構成例では、反射画像生成部 22A 内の反射画像生成器 56 に対して分散 が入力されており、分散 を考慮しつつ反射画像が生成されている。その場合には、例えば、上記の (6) 式又は (7) 式が利用される。第 3 構成例によれば、反射画像に分散を反映させることができるので、つまり速度のばらつきの程度を反射画像上で表現することが可能となる。

40

【0068】

図 12 には、反射画像生成部及び表示処理部の第 4 構成例が示されている。図 12 において、図 4 に示した構成と同様の構成には同一符号を付し、その説明を省略する。この第 4 構成例では、反射画像生成部 22B 内において、深さマップ生成器の前段に選択部 114 が設けられている。選択部 114 は、パワー画像及び速度画像の内の一方の画像を選択する機能、並びに、速度画像が選択された場合に正方向の成分及び負方向の成分の内的一方又は両方を選択する機能を有する。この選択部によって、例えば、負方向の成分が選択された場合、負方向の成分に基づいて反射画像が生成されることになり、血流画像におい

50

て例えば逆流等の負方向の流れを強調表現することが可能となる。正方向の流れだけが強調表現されてもよい。あるいは、正方向の流れ及び負方向の流れに対して、それぞれ別の強調処理が施されるようにしてもよい。

【0069】

上記実施形態によれば、血流画像に基づいて、疑似的な奥行き情報である深さマップ（高低マップ）が人工的に生成される。つまり、二次元データから疑似的な三次元データが生成される。深さマップに対するレンダリング技術（あるいは立体表現技術）の適用により、血液の流れの空間的な変化が強調された強調画像を得て、その強調画像に基づいて血流画像を強調処理することが可能となる。上記実施形態では反射画像が血流画像に合成されていたが、反射画像を他の画像に合成する変形例が考えられる。例えば、Bモード画像に反射画像が合成されてもよい。反射画像がそれ単独で計測対象となってもよい。表現方法の異なる複数の反射画像を生成し、それらを血流画像に重み付け合成してもよい。ボリュームデータから切り出された面データ（二次元の血流画像）に対して上記処理が適用されてもよい。

10

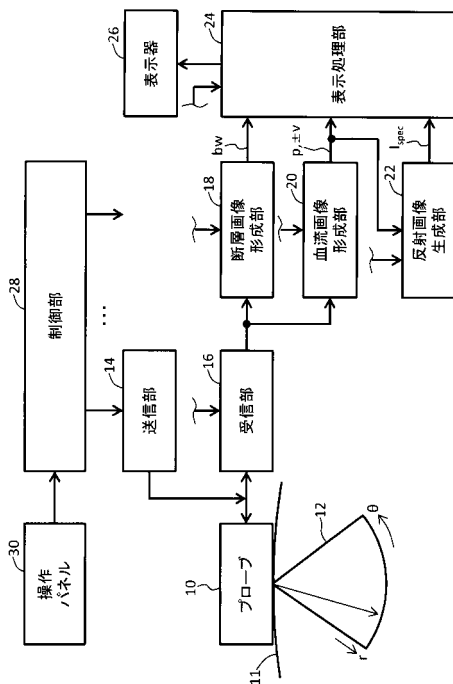
【符号の説明】

【0070】

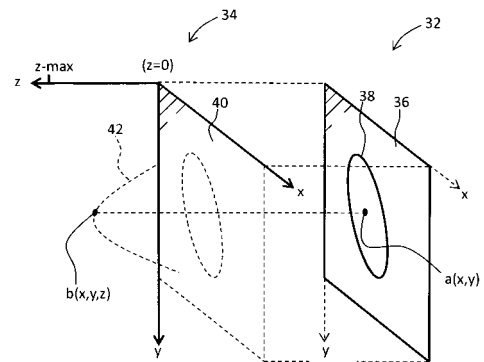
10 プローブ、18 断層画像形成部、20 血流画像形成部、22 反射画像生成部、24 表示処理部、52 深さマップ生成器、54 勾配マップ演算器、56 反射画像生成器、200 反射モデル。

20

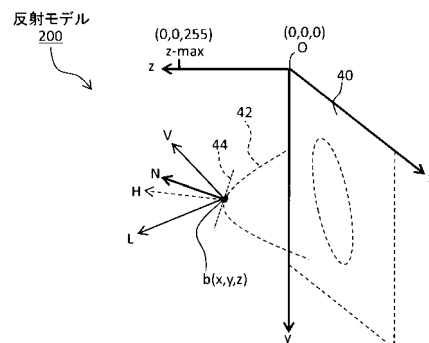
【図1】



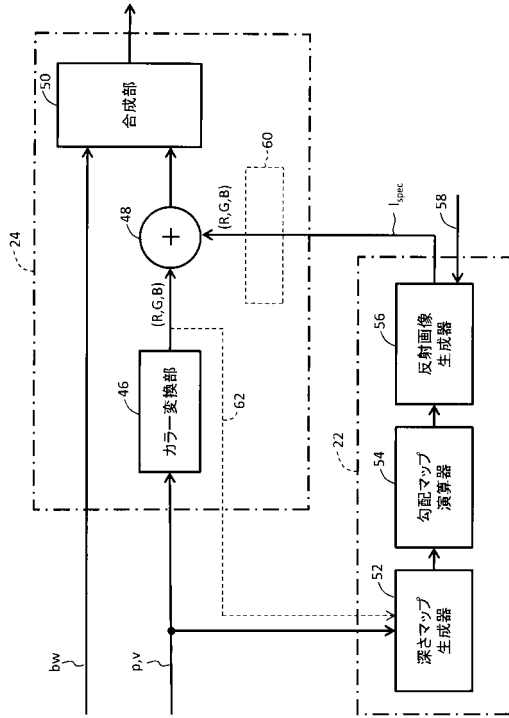
【図2】



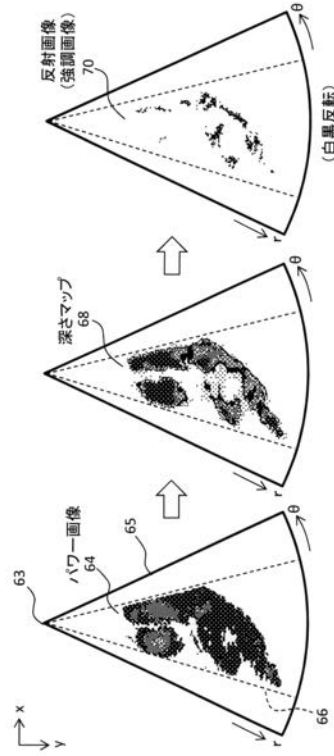
【図3】



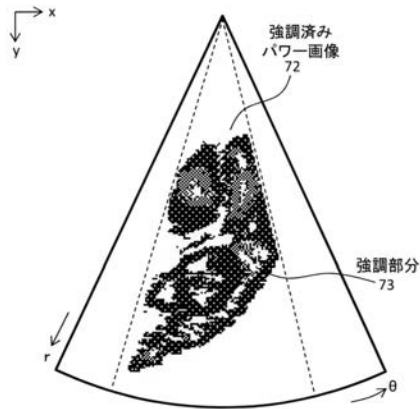
【 図 4 】



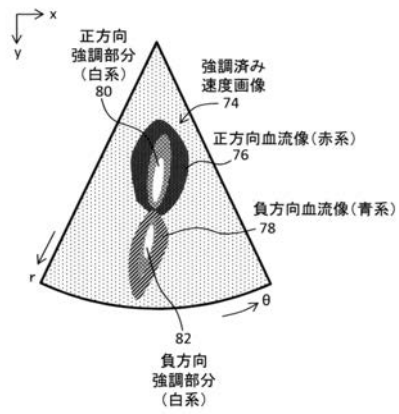
【 図 5 】



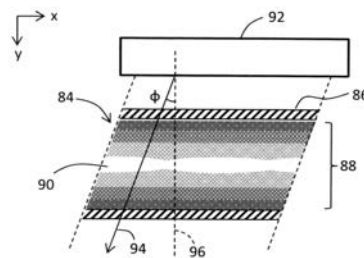
【 図 6 】



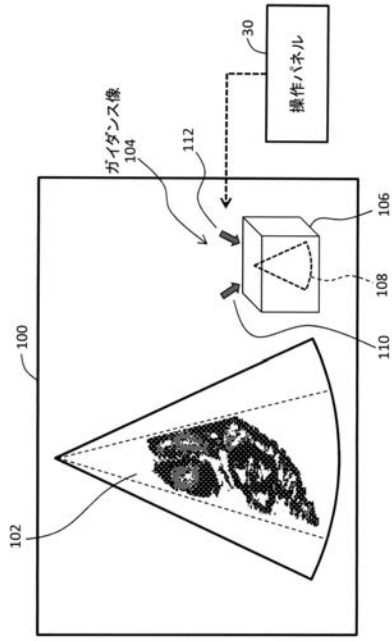
【 図 7 】



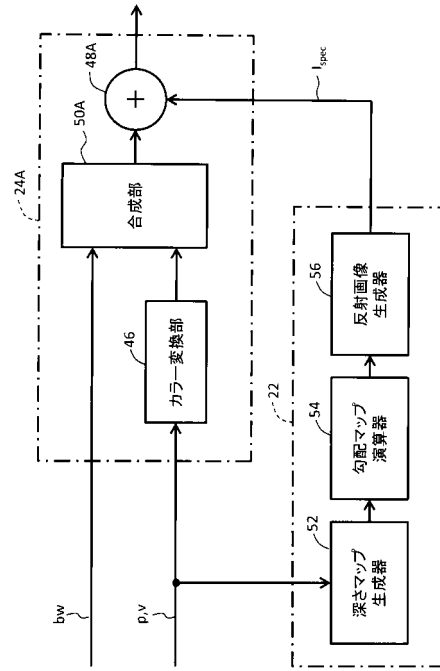
【 図 8 】



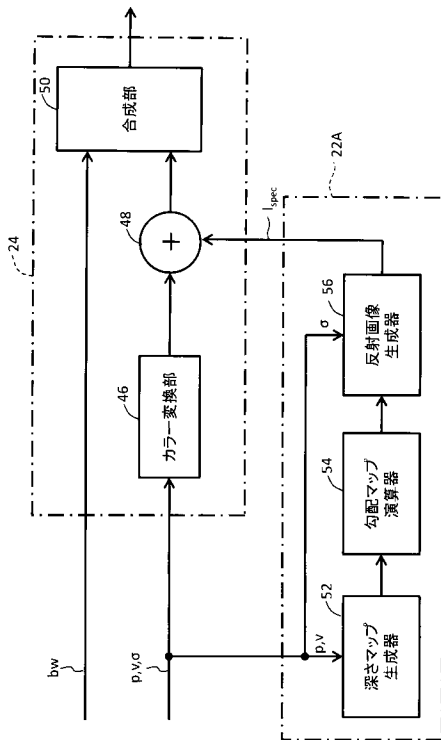
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

