

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5584006号
(P5584006)

(45) 発行日 平成26年9月3日 (2014.9.3)

(24) 登録日 平成26年7月25日 (2014.7.25)

(51) Int. Cl.	F 1
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 G
G 0 6 T 1/00 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 Q
	G 0 6 T 1/00 2 9 0 B

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2010-82190 (P2010-82190)	(73) 特許権者	306037311
(22) 出願日	平成22年3月31日 (2010.3.31)		富士フイルム株式会社
(65) 公開番号	特開2011-212156 (P2011-212156A)		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(43) 公開日	平成23年10月27日 (2011.10.27)	(74) 代理人	100073184
審査請求日	平成24年7月3日 (2012.7.3)		弁理士 柳田 征史
		(74) 代理人	100090468
			弁理士 佐久間 剛
		(72) 発明者	北村 嘉郎
			神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
			富士フイルム株式会社内
		審査官	原 俊文

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影画像生成装置、投影画像生成プログラムおよび投影画像生成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

3次元的に分岐した複数の経路からなる管状の構造物の各経路の模式図を2次元で表わす2次元テンプレートであって、前記管状の構造物の経路上の位置と該2次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められた2次元テンプレートを記憶する2次元テンプレート記憶手段と、

所定の被写体を撮影して得られたボリウムデータから前記管状の構造物を抽出した3次元構造物抽出データを取得する構造物抽出手段と、

前記2次元テンプレートの経路上の位置と前記3次元構造物抽出データの経路上の位置とを、前記対応関係に基づいて対応付ける対応付け手段と、

前記3次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の画素値を前記2次元テンプレートの経路上の対応する位置に投影した2次元投影画像を生成する投影画像生成手段とを備え、

前記2次元テンプレートは、前記管状の構造物の経路上に存在する分岐点を基準点として設定したものであり、

前記対応付け手段が、前記3次元構造物抽出データの管状の構造物の経路上に存在する分岐点を解析して、該分岐点が解剖学的に同じ点であると推定される前記2次元テンプレートの基準点に対応付けるものであることを特徴とする投影画像生成装置。

【請求項2】

前記投影画像生成手段が、

10

20

3次元空間内で前記3次元構造物抽出データの経路に沿って定義されるリボン状の投影面に、前記3次元構造物抽出データの管状の構造物の画素値を投影する第1の投影手段と、

該第1の投影手段により投影された前記リボン状の投影面を前記2次元テンプレートの対応する経路上の形状に変形して投影する第2の投影手段とを有することを特徴とする請求項1記載の投影画像生成装置。

【請求項3】

前記投影画像生成手段が、

前記3次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の径の情報を維持するように前記2次元テンプレートの対応する経路上の位置に投影することを特徴とする請求項1または2記載の投影画像生成装置。

10

【請求項4】

前記投影画像生成手段が、

前記3次元構造物抽出データの管状の構造物の長さの情報を維持するように前記2次元テンプレートの対応する経路の長さを変更することを特徴とする請求項3記載の投影画像生成装置。

【請求項5】

前記2次元テンプレートが、管状の構造物の解剖学的な特徴を表わすシェーマ図であることを特徴とする請求項1～4いずれか記載の投影画像生成装置。

【請求項6】

20

前記管状の構造物が血管であることを特徴とする請求項1～5いずれか記載の投影画像生成装置。

【請求項7】

コンピュータを、

3次元的に分岐した複数の経路からなる管状の構造物の各経路の模式図を2次元で表わす2次元テンプレートであって、前記管状の構造物の経路上の位置と該2次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められた2次元テンプレートを記憶する2次元テンプレート記憶手段より前記2次元テンプレートを読み取る2次元テンプレート読取手段と、

所定の被写体を撮影して得られたボリュームデータから前記管状の構造物を抽出した3次元構造物抽出データを取得する構造物抽出手段と、

30

前記2次元テンプレートの経路上の位置と前記3次元構造物抽出データの経路上の位置とを、前記対応関係に基づいて対応付ける対応付け手段と、

前記3次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の画素値を前記2次元テンプレートの経路上の対応する位置に投影した2次元投影画像を生成する投影画像生成手段として機能させることを特徴とする投影画像生成プログラムであって、

前記2次元テンプレートは、前記管状の構造物の経路上に存在する分岐点を基準点として設定したものであり、

前記対応付け手段が、前記3次元構造物抽出データの管状の構造物の経路上に存在する分岐点を解析して、該分岐点が解剖学的に同じ点であると推定される前記2次元テンプレートの基準点に対応付けるものであることを特徴とする投影画像生成プログラム。

40

【請求項8】

コンピュータにより、

3次元的に分岐した複数の経路からなる管状の構造物の各経路の模式図を2次元で表わす2次元テンプレートであって、前記管状の構造物の経路上の位置と該2次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められた2次元テンプレートを記憶する2次元テンプレート記憶手段より前記2次元テンプレートを読み取る2次元テンプレート読取処理と、

所定の被写体を撮影して得られたボリュームデータから前記管状の構造物を抽出した3次元構造物抽出データを取得する構造物抽出処理と、

50

前記 2 次元テンプレートの経路上の位置と前記 3 次元構造物抽出データの経路上の位置とを、前記対応関係に基づいて対応付ける対応付け処理と、

前記 3 次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の画素値を前記 2 次元テンプレートの経路上の対応する位置に投影した 2 次元投影画像を生成する投影画像生成処理とを実行することを特徴とする投影画像生成方法であって、

前記 2 次元テンプレートは、前記管状の構造物の経路上に存在する分岐点を基準点として設定したものであり、

前記対応付け処理が、前記 3 次元構造物抽出データの管状の構造物の経路上に存在する分岐点を解析して、該分岐点が解剖学的に同じ点であると推定される前記 2 次元テンプレートの基準点に対応付けるものであることを特徴とする投影画像生成方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、3 次元データ内の三次元の管状の解剖学的構造物を 2 次元平面に投影した投影画像を生成する投影画像生成装置、プログラム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、医療機器（たとえば多検出器型 CT 等）の進歩により質の高い 3 次元画像（ボリュームデータ）が画像診断に用いられている。ボリュームデータは多数の 2 次元画像から構成され情報量が多いため、医師が所望の観察部位を見つけ診断することに時間を要する

20

場合がある。そこで、注目する臓器を抽出し MIP、VR、CPR 等の表示を行うことにより、臓器全体や病変の視認性を高め診断の効率化を図ることが行われている。

【0003】

特に、ボリュームデータ中の管状の構造物を観察するための有効な表示方法として、表示させたい経路に沿って、経路とは直交する方向の投影面を連続的に再構成して画像化を行う Curved Planar Reconstruction (CPR) が知られている（例えば、非特許文献 1 参照）。しかし、分岐した複数の経路の管状の構造物を同時に表示する場合に経路が重なり観察できない部位が生じることがあるため、経路が重なることがないように一定の規則に沿って経路を分岐させて表示する Untangled CPR 手法が提案されている（例えば、非特許文献 2 参照など）。

30

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】 Armin Kanitsar, Dominik Fleischmann, Rainer Wegenkittl, Petr Felkel, Eduard Groller: CPR - Curved Planar Reformation. IEEE Visualization 2002.

【非特許文献 2】 Armin Kanitsar, Rainer Wegenkittl, Dominik Fleischmann, Eduard Groller: Advanced Curved Planar Reformation: Flattening of Vascular Structures. IEEE Visualization 2003: 43-50.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

ボリュームデータから血管を抽出して投影した CPR 画像上には血管の断面が表示されるため、ブランクなどによる血管の狭窄部位を観察するのに適している。しかし、非特許文献 1 の手法では、経路が重なり観察できない部位が生じる場合がある。一方、非特許文献 2 の手法では、経路は重なることはないが、3 次元の血管の分岐部を 2 次元に展開する際に、所定の規則に従って血管を分岐させて表示するため、実際の解剖学的な位置との対応関係が不明確になり、CPR 画像上で血管に狭窄部位が認められたとしても、実際の冠動脈のどの位置に狭窄が発生しているかを把握しにくいという問題がある。

【0006】

そこで、本発明では、3 次元的に分岐した管状の構造物が重ならないように 2 次元平面

50

上に投影しつつも、２次元平面上に表示されている管状構造物の解剖学的な位置を把握することが可能な投影画像を生成する投影画像生成装置、プログラムおよび方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明の投影画像生成装置は、３次元的に分岐した複数の経路からなる管状の構造物の各経路の模式図を２次元で表わす２次元テンプレートであって、前記管状の構造物の経路上の位置と該２次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められた２次元テンプレートを記憶する２次元テンプレート記憶手段と、

所定の被写体を撮影して得られたボリュームデータから前記管状の構造物を抽出した３次元構造物抽出データを取得する構造物抽出手段と、

前記２次元テンプレートの経路上の位置と前記３次元構造物抽出データの経路上の位置とを、前記対応関係に基づいて対応付ける対応付け手段と、

前記３次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の画素値を前記２次元テンプレートの経路上の対応する位置に投影した２次元投影画像を生成する投影画像生成手段とを備えことを特徴とするものである。

【０００８】

また、本発明の投影画像生成プログラムは、コンピュータを、

３次元的に分岐した複数の経路からなる管状の構造物の各経路の模式図を２次元で表わす２次元テンプレートであって、前記管状の構造物の経路上の位置と該２次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められた２次元テンプレートを記憶する２次元テンプレート記憶手段より前記２次元テンプレートを読み取る２次元テンプレート読取手段と、

所定の被写体を撮影して得られたボリュームデータから前記管状の構造物を抽出した３次元構造物抽出データを取得する構造物抽出手段と、

前記２次元テンプレートの経路上の位置と前記３次元構造物抽出データの経路上の位置とを、前記対応関係に基づいて対応付ける対応付け手段と、

前記３次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の画素値を前記２次元テンプレートの経路上の対応する位置に投影した２次元投影画像を生成する投影画像生成手段として機能させることを特徴とするものである。

【０００９】

また、本発明の投影画像生成方法は、コンピュータにより、

３次元的に分岐した複数の経路からなる管状の構造物の各経路の模式図を２次元で表わす２次元テンプレートであって、前記管状の構造物の経路上の位置と該２次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められた２次元テンプレートを記憶する２次元テンプレート記憶手段より前記２次元テンプレートを読み取る２次元テンプレート読取処理と、

所定の被写体を撮影して得られたボリュームデータから前記管状の構造物を抽出した３次元構造物抽出データを取得する構造物抽出処理と、

前記２次元テンプレートの経路上の位置と前記３次元構造物抽出データの経路上の位置とを、前記対応関係に基づいて対応付ける対応付け処理と、

前記３次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の画素値を前記２次元テンプレートの経路上の対応する位置に投影した２次元投影画像を生成する投影画像生成処理とを実行することを特徴とするものである。

【００１０】

「構造物の模式図」とは、構造物の本質的な部分や特徴を際立たせて描いた図をいい、「管状の構造物の各経路の模式図」は、管状の構造物の各経路の解剖学的な位置や、径の太さなどの解剖学的な特徴を表したものをいう。

【００１１】

「管状の構造物の経路上の位置と２次元テンプレートの経路上の位置との解剖学的な位

10

20

30

40

50

置の対応関係」とは、解剖学的な特徴が一致する、3次元的に分岐した管状の構造物の3次元空間内の位置と、2次元テンプレートの管状の構造物の2次元空間内の位置と、を対応づけたものをいう。例えば、管状の構造物が冠動脈である場合、冠動脈の解剖学的な位置を把握することができるように、右冠動脈(RCA)、左冠動脈主幹部(LCA)、左前下行枝(LAD)、左回旋枝(LCX)などの位置の対応がわかるものが好ましい。

【0012】

また、前記投影画像生成手段は、

3次元空間内で前記3次元構造物抽出データの経路に沿って定義されるリボン状の投影面に、前記3次元構造物抽出データの管状の構造物の画素値を投影する第1の投影手段と、

10

該第1の投影手段により投影された前記リボン状の投影面を前記2次元テンプレートの対応する経路上の形状に変形して投影する第2の投影手段とを有するものが望ましい。

【0013】

また、前記投影画像生成手段が、

前記3次元構造物抽出データの経路上に存在する管状の構造物の径の情報を維持するように前記2次元テンプレートの対応する経路上の位置に投影するものが望ましい。

【0014】

「管状の構造物の径の情報を維持する」とは、3次元構造物抽出データの所定の位置での管状の構造物の径とその位置に対応する2次元テンプレート上の管状の構造物の投影画像の幅の比率が常に変わらないように投影することをいう。

20

【0015】

また、前記投影画像生成手段が、

前記3次元構造物抽出データの管状の構造物の長さの情報を維持するように前記2次元テンプレートの対応する経路の長さを変更するものであってもよい。

【0016】

「管状の構造物の長さの情報を維持する」とは、3次元構造物抽出データの管状の構造物の所定の経路の長さとその経路に対応する2次元テンプレートの経路の長さの比率が変わらないように、2次元テンプレートの各経路の長さを変更して投影することをいう。

【0017】

また、前記2次元テンプレートが管状の構造物の解剖学的な特徴を表わすシェーマ図であってよい。

30

【0018】

さらに、前記管状の構造物が血管であってよい。

【発明の効果】

【0019】

本発明の投影画像生成装置、投影画像生成プログラムおよび投影画像生成方法によれば、解剖学的な位置が予め定められた管状の構造物の模式図をあらわす2次元テンプレート上の経路上に、ボリュームデータから抽出した管状の構造物を投影した2次元投影画像を生成することにより、管状の構造物の経路上に存在する狭窄領域などの異常位置を容易に把握することができる。

40

【0020】

また、3次元空間内で管状の構造物の経路に沿って定義されるリボン状の投影面に投影した画像を2次元テンプレートの対応する経路上の形状に変形して投影することにより、分岐した経路が重なることなく表示することが可能になる。

【0021】

また、経路上に存在する管状の構造物の径の情報を維持するように2次元テンプレートに投影することにより、径の変化を観察することが可能になり、血管などの径の変化を観察することができ、狭窄部位の有無を確認することが可能になる。

【0022】

さらに、経路上に存在する管状の構造物の径の情報のみでなく、管状の構造物の長さの

50

情報を維持するように２次元テンプレートの経路の長さを変更することにより、各被写体の実際の管状の構造物に近い状態で観察することができる。

【００２３】

２次元テンプレートがシェーマ図であれば、医師等の観察者がなじみのある画像で疾患部位を容易に把握することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２４】

【図１】本発明の一実施形態における投影画像生成装置の概略構成を示す図

【図２】構造物抽出手段により抽出された心臓領域を例示した図

【図３】構造物抽出手段により検出された候補点を例示した図

10

【図４】抽出された候補点を連結することにより構築される木構造を例示した図

【図５】基準座標系の定義例を示す図

【図６】２次元テンプレートの基準点と基準点の連結関係を例示した図

【図７】冠動脈のシェーマ図の一例

【図８】冠動脈３次元モデルの基準点と２次元テンプレートの基準点の対応を例示した図

【図９】解析点の設定例を示す図

【図１０】管状の構造物の投影手法を説明するための図

【図１１Ａ】Projected CPRの手法で生成される投影画像を説明するための図

【図１１Ｂ】Stretched CPRの手法で生成される投影画像を説明するための図

20

【図１１Ｃ】Straightened CPRの手法で生成される投影画像を説明するための図

【図１２】２次元テンプレートの基準点にあわせてリボン状の投影面を変形する様子を例示した図（その１）

【図１３】２次元テンプレートの基準点にあわせてリボン状の投影面を変形する様子を例示した図（その２）

【図１４Ａ】冠動脈領域（プラークなし）の断面を示す図

【図１４Ｂ】冠動脈領域（プラークあり）の断面を示す図

【図１５】領域の判別方法について説明するための図

30

【図１６】投影画像の画面出力を例示する図

【図１７】閉路を含む管状の構造物の一例

【発明を実施するための形態】

【００２５】

以下、本発明の投影画像生成装置、投影画像生成プログラムおよび方法の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

図１に、本発明の一実施形態における投影画像生成装置を含む病院システム１の概略構成を示す。病院システム１は、ローカルエリアネットワーク（LAN）２を介して互いに接続された検査室システム３、データサーバ４、および診断用ワークステーション（WS）６により構成される。

40

【００２６】

検査室システム３は、被検体を撮影する各種のモダリティ３２と、各モダリティから出力された画像の確認や調整を行う検査室ワークステーション（WS）３１により構成される。モダリティ３２としては、例えば、X線撮影装置、CT（Computed Tomography）装置、MRI（Magnetic Resonance Imaging）装置、PET（Positron Emission Tomography）などが備えられている。これらのモダリティ３２は、いずれもDICOM（Digital Imaging and Communication in Medicine）規格に準拠した装置であり、取得したボリュームデータに付帯情報を付し、DICOMファイルとして出力する。

【００２７】

モダリティ３２から出力されたファイルは、検査室WS３１により、データサーバ４に

50

転送される。データサーバ4は、高性能プロセッサと大容量メモリを備えた比較的处理能力の高いコンピュータに、データベースマネジメントサーバ（DBMS：Database Management Server）の機能を提供するソフトウェアプログラムを実装したものである。プログラムはストレージに記憶され、起動時にメモリにロードされ、プロセッサにより実行される。データサーバ4は、検査室WS31から転送されたファイルを、大容量ストレージ5に記憶させる。また、データサーバ4は、診断用WS6からの検索要求に応じて、大容量ストレージ5に記憶されている複数のファイルの中から、検索条件に適ったファイルを選出し、診断用WS6に送信する。

【0028】

診断用WS6は、標準的なプロセッサ、メモリおよびストレージを備えた汎用のワークステーションに、診断支援するための投影画像生成プログラムを実装したものである。投影画像生成プログラムは、DVD等の記録媒体から、またはネットワーク上のサーバコンピュータからのダウンロードにより、診断用WS6にインストールされる。また、診断用WS6には、ディスプレイ7と、マウス、キーボード等の入力装置8が接続されている。

【0029】

診断用WS6に実装される投影画像生成プログラムは、各種機能を実現するプログラムモジュール群により構成され、その中には、投影画像生成機能を実現するためのプログラムモジュール群が含まれている。これらのプログラムはストレージに記憶され、起動時にメモリにロードされ、プロセッサにより実行される。これにより、診断用WS6は、図1に示されるボリュームデータ取得手段61、構造物抽出手段62と、2次元テンプレート読取手段63、対応付け手段64、投影画像生成手段65、狭窄領域検出手段66、表示手段67として動作するようになる。

【0030】

また、診断用WS6のストレージには2次元テンプレート68が記憶され、2次元テンプレート記憶手段69として機能する。

【0031】

本実施形態では、心臓の検査を行う場合を例に、管状の構造物が血管、特に冠動脈である場合について説明する。

【0032】

心臓の検査では、CT装置等を用いて被写体の胸部の撮影が行われ、ボリュームデータを取得して、ボリュームデータに付帯情報を付してDICOMファイルとしてデータサーバ4に転送され、大容量ストレージ5に記憶される。ボリュームデータは、3次元空間内の濃度や密度の分布を表す多数のボクセルデータの集合で構成され、各ボクセルデータ内にX線の吸収量等が画素値として表われる。

【0033】

以下、診断用WS6を構成する各手段の処理について説明する。初期画面において心臓の投影画像生成機能が選択され、所定の入力画面において患者の識別番号や検査番号などが入力されると、ボリュームデータ取得手段61は、入力された情報をデータサーバ4へと送信し、大容量ストレージ5に保存されているファイルの検索および転送を要求する。

【0034】

上記要求を受けたデータサーバ4は、大容量ストレージ5内のファイルを検索し、ボリュームデータ取得手段61に対し、要求されたファイルを転送する。ボリュームデータ取得手段61は、データサーバ4から転送されたファイルに含まれるボリュームデータを、メモリに保存する。

【0035】

構造物抽出手段62は、上記処理によりメモリに保存されたボリュームデータから、冠動脈領域、すなわち冠動脈の血管壁および血管内腔に相当する領域を抽出して、3次元構造物抽出データを取得する。また、冠動脈領域を抽出する過程で、冠動脈経路を特定する。

【0036】

以下、冠動脈領域の抽出処理について、さらに説明する。ボリュームデータから冠動脈領域を抽出する方法としては、Andrzej Szymczak, et al. Coronary vessel tree from 3D imagery: A topological approach. Medical Image Analysis 2006に示される方法をはじめ、種々の方法が提案されている。領域抽出には、公知のいずれの手法をも採用することができるが、本実施形態では、特願2009-048679号および特願2009-069895号において出願人が提案した方法を用いる。以下、それらの文献に記された処理の概要を説明する。

【0037】

構造物抽出手段62は、所定のアルゴリズムに基づいて、ボリュームデータから、心臓に相当する領域（以下、心臓領域）を抽出する。図2に、構造物抽出手段62により抽出された心臓領域9を例示する。心臓領域9を抽出する過程では、同図に示すように、大動脈弁の位置、僧帽弁の位置、心尖部の位置等、心臓の形状を特徴づける点の位置 S_{ref} も特定する。特定された位置の座標は、メモリに記憶され、後述の処理において、基準座標系を定義する際に使用される。

10

【0038】

次に、構造物抽出手段62は、ボリュームデータ内の心臓領域9を含む直方体領域を探索範囲として設定し、所定のアルゴリズムに基づいて探索範囲に含まれる管状の構造物を探索する。さらに、探索により検出された管状の構造物に基づいて、冠動脈の芯線上の点と推定される点を検出する。以下の説明では、冠動脈の経路上の点と推定される点を候補点またはノードと称する。図3に、抽出された3次元構造物抽出データの管状の構造物10と、検出された候補点 N_i を例示する。

20

【0039】

管状の構造物の探索は、探索範囲内の局所領域ごとに、 3×3 のヘシアン (Hessian) 行列の固有値を算出することにより行う。管状の構造物が含まれる領域では、ヘシアン行列の3つの固有値のうち1つは0に近い値となり、他の2つは相対的に大きな値となる。また、値が0に近い固有値に対応する固有ベクトルは、管状の構造物の主軸方向を示すものとなる。構造物抽出手段62は、局所領域ごとに、ヘシアン行列の固有値に基づいて管状の構造物らしさを判定し、管状の構造物が識別された局所領域については、その中心点を候補点として検出する。

30

【0040】

なお、管状の構造物の探索では、探索範囲のデータを解像度変換することにより、解像度が異なる複数の解像度別データ（ガウシアンピラミッド）を生成し、異なる解像度で繰り返し探索（走査）を行なうことが好ましい。上記探索方法では、局所領域の径（幅）が血管径よりも小さい場合に管状の構造物を識別できないが、解像度を異ならせて探索を行うことであらゆる大きさの管状の構造物の識別が可能になる。これにより、基幹となる太い血管から末端の細い血管まで、候補点を漏れなく検出することができる。

【0041】

次に、構造物抽出手段62は、探索により検出された候補点を、スプライン補間処理などの所定のアルゴリズムに基づいて連結する。これにより、図4に例示するように、候補点および候補点同士を連結する枝（エッジ）からなる木構造が構築される。検出された複数の候補点の座標情報や、枝の方向を示すベクトル情報は、候補点や枝の識別子とともにメモリに記憶される。

40

【0042】

続いて、構造物抽出手段62は、検出された候補点ごとに、周辺のボクセルの値（CT値）に基づき、冠動脈の形状を詳細に識別する。具体的には、冠動脈経路に垂直な断面において、冠動脈の輪郭（血管の外壁）を識別する。形状の識別は、Graph-Cutsに代表される公知のセグメンテーション手法を用いて行う。

【0043】

最後に、構造物抽出手段62は、心臓領域9の識別過程で記憶しておいた大動脈弁、僧帽弁および心尖部の位置 S_{ref} を基準位置として、基準座標系を定義する。例えば、図5

50

に例示するように、心尖部を基準座標系の原点として、心尖部から大動脈弁の方向をZ軸に設定し、僧帽弁との関係に基づいてX軸やY軸を定義する。また、心尖部から大動脈弁までの長さを1と定義することで、座標系のスケールを規格化する。そして、前述の各処理においてメモリに記憶された座標値を、基準座標系の座標値に変換する。すなわち、候補点や枝の位置、冠動脈の輪郭等を表すデータを、正規化する。正規化された情報は、正規化される前の情報と対応付けられて、メモリに記憶される。以下の説明では、正規化された候補点や輪郭のデータを、3次元構造物抽出データDとして説明する。

【0044】

次に、対応付け手段64の処理について説明する。対応付け手段64は、構造物抽出手段62で抽出された3次元構造物抽出データDの管状の構造物10の経路上の位置を2次元テンプレート68の経路上の位置に対応付けする。まず、対応付け手段64の処理を行う前に、2次元テンプレート読取手段63で、診断用WS6のストレージから2次元テンプレート68を読み取り、メモリに保存する。

【0045】

2次元テンプレート68は、冠動脈の各経路を2次元で表わした模式図で、3次元空間内における冠動脈の経路上の位置と2次元テンプレート68の経路上の位置との解剖学的な位置の対応関係が予め定められている。具体的には、3次元的に分岐した血管構造の解剖学的な特徴を示す分岐位置や各経路の中継点に定義した複数の基準点とその基準点の連結関係とで構成される。特に、右冠動脈(RCA)、左冠動脈主幹部(LCA)、左前下行枝(LAD)、左回旋枝(LCX)などの位置は解剖学的な特徴を表す位置として重要であるので2次元テンプレート68の基準点として設定することが望ましい。図6に、2次元テンプレート68の3つの冠動脈の経路上の基準点(図6の白丸)と、基準点の連結関係(図6の破線)を例示する。連結関係は、スプライン補間処理などのアルゴリズムを用いて基準点を通る滑らかな曲線で定められる。2次元テンプレート68は、解剖学的な特徴となる冠動脈の位置や、冠動脈の分岐した経路のいずれに該当する血管であるかを認識することが可能なものであればよい。例えば、図7に示す冠動脈のシェーマ図の形状を2次元テンプレート68の形状と一致させるようにしてもよい。

【0046】

本実施形態の対応付け手段64では、冠動脈の経路を表す冠動脈3次元モデルMと、冠動脈3次元モデルMの経路上の位置と2次元テンプレート68の経路上の位置の対応位置を予め定義した3次元-2次元対応位置情報とを用意して、まず3次元構造物抽出データDの冠動脈の位置と冠動脈3次元モデルMの冠動脈の位置とを対応付けした後に、3次元-2次元対応位置情報を用いて、3次元構造物抽出データDの冠動脈の位置と2次元テンプレート68の冠動脈の位置とを対応付けする場合について説明する。

【0047】

冠動脈3次元モデルMは、3次元空間内で、標準的な心臓における心臓の形状の特徴を表す部位の位置と、冠動脈の各経路と、血管径とを規定した3次元のモデルである。具体的には、冠動脈3次元モデルMは、大動脈弁の位置、僧帽弁の位置、心尖部の位置等の心臓の形状を特徴づける位置 S_{ref} と、冠動脈の経路上の基準点と、基準点同士を連結する枝とで定義され、冠動脈3次元モデルMの基準点が2次元テンプレート68の基準点と予め対応付けられている。また、3次元構造物抽出データDの冠動脈領域と対応付けができるように、冠動脈3次元モデルMにおいても、大動脈弁、僧帽弁および心尖部の位置 S_{ref} を基準位置として、基準座標系を定義し、図5に例示した3次元構造物抽出データDと同様に、心尖部を基準座標系の原点として、心尖部から大動脈弁の方向をZ軸に設定し、僧帽弁との関係に基づいてX軸やY軸を定義して、心尖部から大動脈弁までの長さを1と定義する。

【0048】

図8に、冠動脈3次元モデルMの基準点と2次元テンプレート68の基準点の対応を例示する。番号の付された点が基準点を表し、冠動脈3次元モデルMと2次元テンプレート68の同じ番号が付与された基準点が解剖学的同じ位置を示している。この対応関係が3

10

20

30

40

50

次元－２次元対応位置情報として記憶されている。

【００４９】

まず、対応付け手段６４は、３次元構造物抽出データＤの冠動脈と冠動脈３次元モデルＭの対応付けを行う。詳細には、基準座標系における位置座標は異なるが、解剖学的にみれば同じ位置にある冠動脈上の点同士を対応付ける。点の対応付けは、木構造を構成する全ての候補点を対象として行なってもよいが、本実施形態では、図９に示すように、３次元構造物抽出データＤの一部の候補点を解析点として設定し、設定された解析点についてのみ、対応付けを行う。解析点の設定は、以下の手順で行う。

【００５０】

対応付け手段６４は、候補点と枝により特定される木構造を、セグメント化する。本実施形態では、３以上の枝と連結されている候補点、すなわち血管の分岐点に位置する候補点をセグメントの境界として設定する。さらに、分岐点から延びる枝の延長線上にある候補点と枝を、所定の個数または長さごとに分割して、１つのセグメントとする。そして、セグメントの境界に位置する候補点を、解析点として選択する。解析点は、対応付け手段６４が解析点の特定に必要な情報（位置座標または候補点の識別子）をメモリに保存することにより、設定される。

【００５１】

解析点が設定されると、続いて、対応付け手段６４は、グラフマッチング手法により、解剖学的に同じ点と推定される３次元構造物抽出データＤの解析点と冠動脈３次元モデルＭの基準点を対応付ける。本実施形態では、対応付け手段６４は、冠動脈の経路上に設定された解析点の類似度を、所定の評価関数に基づいて算出し、類似度が最も高い３次元構造物抽出データＤの解析点と冠動脈３次元モデルＭの基準点とを対応付ける。評価関数は、基準座標系における位置座標、その解析点に連結された候補点の数や座標値、その解析点周辺の血管径等を考慮して定義する。この際、考慮すべき要素の数および種類は、評価の精度と処理時間のバランスを考えて定義するのがよい。

【００５２】

なお、グラフマッチングによる解剖学的構造の対応付けについては、特開２００７－４４４８８号公報にも開示があるとおり、種々の方法が提案されている。解析点と基準点の対応付けには、他の公知の手法を用いることもできる。

【００５３】

最後に、対応付け手段６４は、３次元－２次元対応位置情報を用いて、３次元構造物抽出データＤの冠動脈の解析点を２次元テンプレート６８の基準点に対応付けする。

【００５４】

次に、投影画像生成手段６５の処理について説明する。投影画像生成手段６５は、３次元構造物抽出データＤの経路上に存在する管状の構造物の画素値を２次元テンプレート６８の経路上の対応する位置に投影して２次元投影画像を生成する。

【００５５】

投影画像生成手段６５は、３次元空間内で３次元構造物抽出データＤの冠動脈の経路に沿ってリボン状の投影面を定義し、この投影面上に３次元構造物抽出データＤの冠動脈の画素値を投影する第１の投影手段６５１の処理を行った後に、投影されたりボン状の投影面を２次元テンプレート６８の対応する経路上の形状に変形して投影する第２の投影手段６５２の処理を行う。

【００５６】

第１の投影手段６５１は、構造物抽出手段６２で抽出された冠動脈の略中心を通過する主軸 t に沿うように、図１０に示すようなリボン状の投影面 S を定義する。この投影面 S は、主軸 t に垂直な XY 平面を定め、例えば、 Y 軸方向に延びるラインの集合として定義される。この投影面 S の主軸に対する方向を指示するための GUI を用意して、主軸 t を中心として任意の方向に X 軸および Y 軸を回転させて、観察者が観察したい方向の投影面 S を入力することができるようにする。また、投影面 S の方向は２次元テンプレート６８の各基準点において、分岐点した各経路ごとに指示することができるようにするのが好まし

い。

【0057】

次に、定義された投影面S上に、冠動脈の画素値を投影してCPR画像を生成する。CPR画像の生成方法には、図11A、図11Bおよび図11Cに示されるCPR画像の3つ生成手法がある。図11A、図11Bおよび図11Cの水平平面上の画像は、上向きの太い矢AとY軸とで定義される面に管状の構造物を投影した画像をあらわしている。図11AはProjected CPRの手法で生成される画像を示し、図11BはStretched CPRの手法で生成される画像を示し、図11CのStraightened CPRの手法で生成される画像を示している（CPR画像の生成方法の詳細は、非特許文献1を参照）。第1の投影手段651では、いずれのCPR画像の生成手法を用いてもよい。

10

【0058】

続いて、第2の投影手段652は、2次元テンプレート68の対応する経路上の形状に第1の投影手段651で生成されたCPR画像を変形して投影する。具体的には、2次元テンプレート68の基準点に対応付けられた3次元構造物抽出データDの冠動脈上の解析点に従って、リボン状の投影面Sに投影された各冠動脈のCPR画像を2次元テンプレート68の該当する経路の形状に沿うように変形する。図12に、解析点が基準点と一致するようにリボン状の投影面Sを2次元テンプレート68の形状に合わせて変形させる様子を例示する。ところで、図12の例では2次元テンプレート68上にリボンが設定されず、投影が行われない領域がある。そこで、この領域については、図13に例示するように、2次元テンプレート68上で隣り合う経路に対応する3次元構造物抽出データDの経路同士が滑らかにつながるように曲面を定義して、この曲面上にリボン状の投影面Sを貼り付けて3次元ボリュームデータを投影するようにしてもよい。

20

【0059】

被写体の血管の長さには個人差があり、2次元テンプレート68の各経路の長さとは一致しない場合が多い。しかし、血管のプラークを観察する場合には血管の長さと径の関係が変化しないようにすることが重要である。そこで、2次元テンプレート68の基準点間の経路の長さを変えて投影を行なうようにする。

つまり、3次元構造物抽出データDのある隣り合う解析点間の経路の長さとそれに対応する2次元テンプレート68の対応する基準点間の経路の長さが1対1であれば、そのまま、第1の投影手段651で生成したCPR画像を2次元テンプレート68の形状に合わせて投影すればよいが、例えば、3次元構造物抽出データDのある隣り合う解析点間の経路の長さとそれに対応する2次元テンプレート68の対応する基準点間の経路の長さが2対1であれば、対応する2次元テンプレート68の経路の長さが2倍になるように基準点の位置を調整してからCPR画像を2次元テンプレート68の形状に合わせて投影する。このような調整を全ての区間ごとに実施して、3次元構造物抽出データDの全ての経路の長さが2次元テンプレート68上で維持されるようにする。このように投影することで、自然と経路の幅（血管の径）も維持される。この場合、血管の長さと径は保存されるが、2次元テンプレート68の経路の長さが変化するため、2次元テンプレート68の形状は若干変形することになるが、2次元テンプレート68中の経路の長さを調整する際には、テンプレートが表す構造物の概形が崩れないようにすることが望ましい。

30

40

【0060】

あるいは、2次元テンプレート68の基準点間の経路の長さは変えないで、CPR画像の基準点間の血管の長さを変えて投影を行なうようにしてもよい。つまり、血管の走行方向にCPR画像の拡大縮小を行う。しかし、血管を適切に観察するためには、少なくとも血管の径の変化が観察できるようにしなければならないため、血管の径の情報は維持するように投影する。

例えば、3次元構造物抽出データDのある隣り合う解析点間の経路の長さとそれに対応する2次元テンプレート68の対応する基準点間の経路の長さが2対1であれば、その経路のCPR画像を経路方向に1/2に縮小するが、幅方向は等倍のままで2次元テンプレ

50

ート 68 の形状に合わせて投影する。これを全ての区間ごとに実施して、2 次元テンプレート 68 の全ての基準点の位置は変えずに、3 次元構造物抽出データ D の全ての経路の幅が維持された投影を行う。この場合、2 次元テンプレート 68 の形状は変形しない。

【0061】

次に、狭窄領域検出手段 66 の処理について説明する。狭窄領域検出手段 66 は、構造物抽出手段 62 で抽出した複数の冠動脈領域のそれぞれにおいて、各解析点におけるプラークを検出する。図 14A および図 14B は、解析点における冠動脈の断面を例示した図であり、図 14A は正常な冠動脈、図 14B は内膜にプラークが沈着した冠動脈を表している。

【0062】

狭窄領域検出手段 66 は、まず、冠動脈領域 11 の中から、内腔領域 12 とプラーク領域 13 を識別する。一般に、ソフトプラークの CT 値は、正常な内腔の CT 値よりも低く、ハードプラークの CT 値は、正常な内腔の CT 値よりも高い。CT に限らず MRI でも、プラークの信号値は、正常な内腔の信号値の範囲から外れた値となることが知られている。そこで、狭窄領域検出手段 66 は、この信号値の関係を利用してプラーク領域と内腔領域とを判別する。詳細には、断面を構成する各ボクセルの値を所定の閾値と比較することによりボクセルごとにプラーク、内腔のいずれであるかを判定し、プラークと判定されたボクセルにより構成される領域をプラーク領域 13、内腔と判定されたボクセルにより構成される領域を内腔領域 12 として識別する。なお、プラークについては、ソフトプラーク／ハードプラークの判別も行う。

【0063】

ここで、内腔を表す信号値が取り得る値の範囲は、血管の太さや造影条件に依存するため、必ずしも一様ではない。このため、プラーク領域と内腔領域の識別に用いる閾値を、血管の太さに応じて変動する値に設定することが望ましい。本実施形態では、閾値を、図 15 に示すように、横軸を信号値、縦軸を血管径（複数方向について測定された半径または直径の平均値）とする座標平面を 3 つに区分する 2 本の境界線 B1、B2 として設定する。この境界線は、正常な血管とプラークが沈着した血管のそれぞれについて、太さが異なる血管のサンプルデータを用意して、予め学習を行うことにより設定する。設定された境界線は、メモリに記憶され、狭窄領域検出手段 66 により参照される。

【0064】

狭窄領域検出手段 66 は、図 15 の座標平面上で（ボクセルの信号値、血管径）で表される座標点が境界線 B1、B2 のいずれの側に位置するかによって、そのボクセルがプラーク（ソフトプラークまたはハードプラーク）、内腔のいずれであるかを判別し、プラークの存在する箇所を狭窄領域として検出する。また、血管の太さは血管径のみならず血管の面積とも相関関係にあるので、図 15 の境界線を設定する座標平面の縦軸は、血管の面積としてもよい。

【0065】

最後に、表示手段 67 の処理について説明する。投影画像生成手段 65 で生成した 2 次元テンプレート 68 上の経路に沿うように投影した 2 次元投影画像をディスプレイ 7 に表示出力する。図 16 に、2 次元投影画像の表示出力を例示する。狭窄領域検出手段 66 で狭窄領域が検出された場合には、プラークが認識できるように色を変えて狭窄領域を強調表示した画像を 2 次元投影画像に重ねてディスプレイ 7 に表示出力する。

【0066】

以上詳細に説明したように、シェーマ図に近い形状の 2 次元テンプレート上に CPR 画像を投影した画像を用いて診断を行うことで、狭窄領域などの異常部位を効率的に発見でき、読影効率が上がることが期待できる。また、2 次元テンプレート上に投影した CPR 画像を読影レポートに利用することで、シェーマ図の代用にもなり有効である。

上述では、血管を例に説明したが、気管支のような管状構造に適用してもよい。

【0067】

上述では、管状の構造物が冠動脈のような木構造の構造物を例に説明したが、図 17 に

10

20

30

40

50

例示する脳血管のような閉路を含むものであっても同様に２次元テンプレート上に投影したＣＰＲ画像を生成することができる。さらに、大動脈など様々な血管にも適用することが可能である。

【００６８】

また、上述では、投影画像をＣＰＲ処理により生成する場合について説明したが、所定の厚みの画素値を平均化した画像や、ＭＩＰ、ＭｉｎＩＰ処理して生成してもよい。

【００６９】

また、上述では、２次元テンプレートの管状の構造物の各経路と３次元構造物抽出データの管状の構造物の各経路の対応付けを行う際に、解析点と基準点を経路上の特定の点として対応付ける例を示したが、特定の長さの経路ごとに対応付けを行ってもよい。

10

あるいは、２次元テンプレートの管状の構造物の各経路と３次元構造物抽出データの管状の構造物の各経路の対応付けをユーザーが行なうようにしてもよい。

【００７０】

上述では、本発明の投影画像生成プログラムが一台の診断用ＷＳに実装されて投影画像生成装置として機能する場合について説明したが、投影画像生成プログラムを複数台のコンピュータに分散させてインストールして、複数台のコンピュータが投影画像生成装置として機能するようにしてもよい。

【符号の説明】

【００７１】

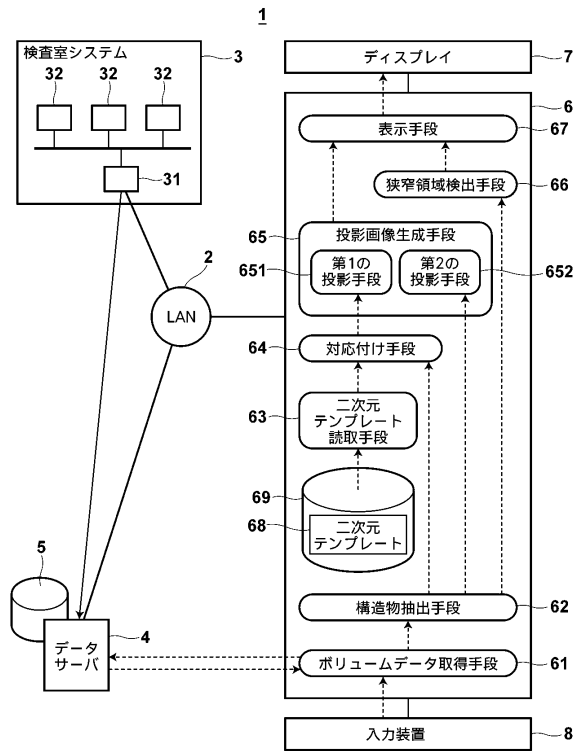
- 1 病院システム
- 3 検査室システム
- 4 データサーバ
- 5 大容量ストレージ
- 6 診断用ワークステーション
- 7 ディスプレイ
- 8 入力装置
- 3 2 モダリティ
- 6 1 ボリュームデータ取得手段
- 6 2 構造物抽出手段
- 6 3 ２次元テンプレート読取手段
- 6 4 対応付け手段
- 6 5 投影画像生成手段
- 6 6 狭窄領域検出手段
- 6 7 表示手段
- 6 8 ２次元テンプレート
- 6 9 ２次元テンプレート記憶手段
- 6 5 1 第１の投影手段
- 6 5 2 第２の投影手段
- D ３次元構造物抽出データ
- M 冠動脈３次元モデル

20

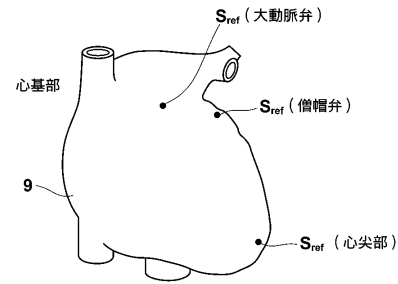
30

40

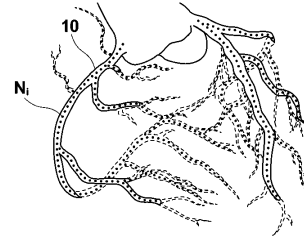
【図 1】



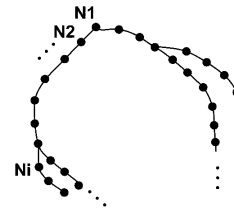
【図 2】



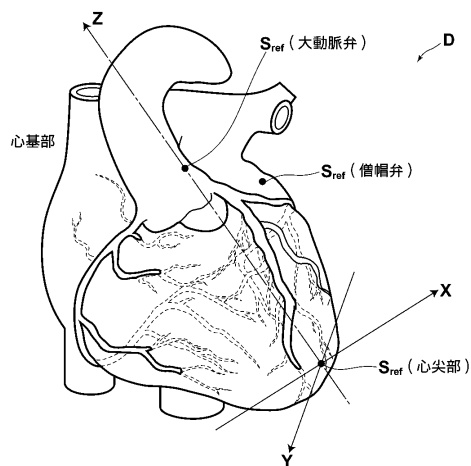
【図 3】



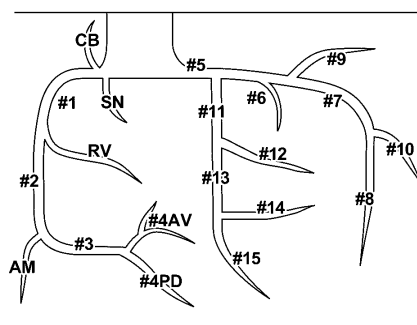
【図 4】



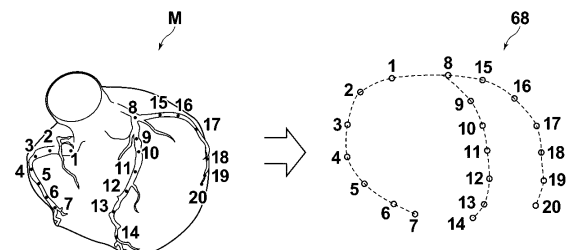
【図 5】



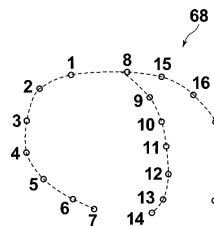
【図 7】



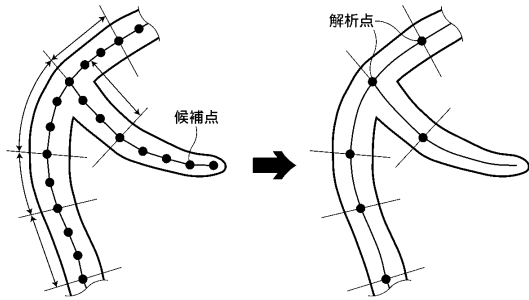
【図 8】



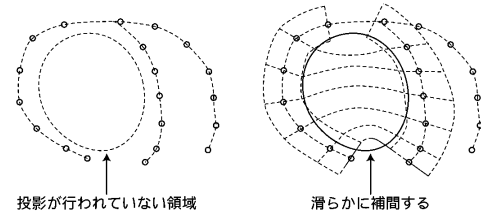
【図 6】



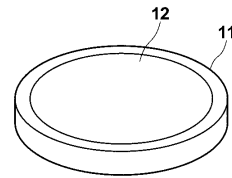
【図 9】



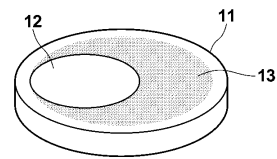
【図 13】



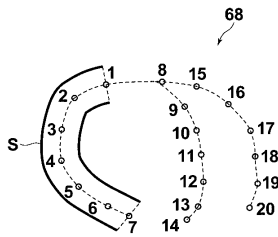
【図 14 A】



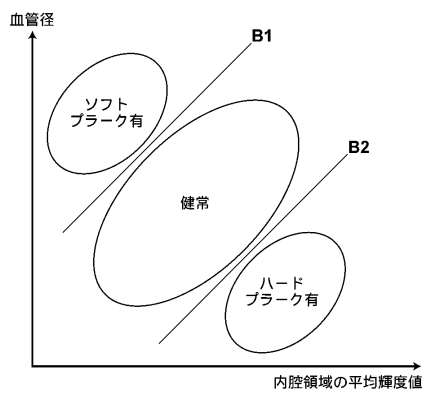
【図 14 B】



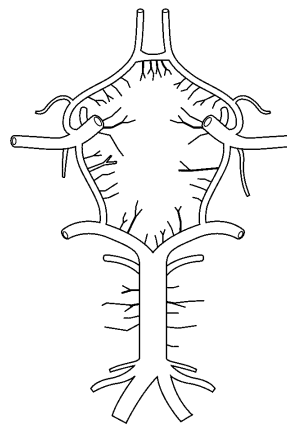
【図 12】



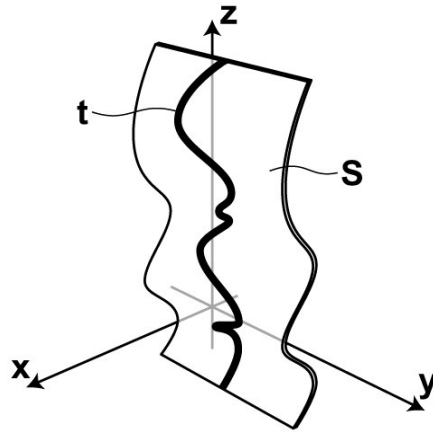
【図 15】



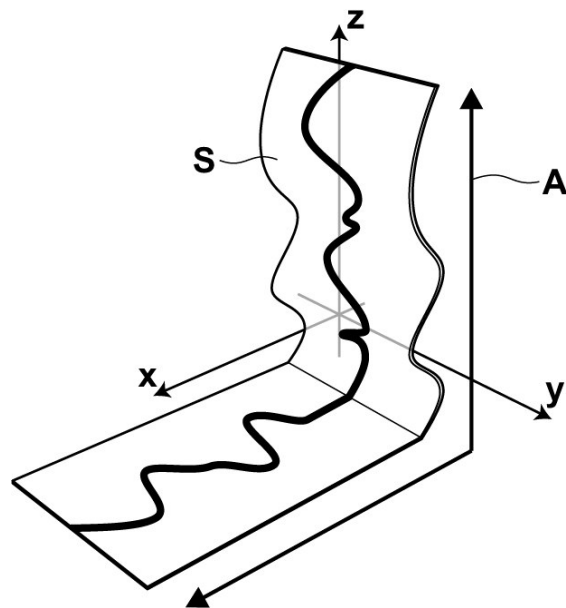
【図 17】



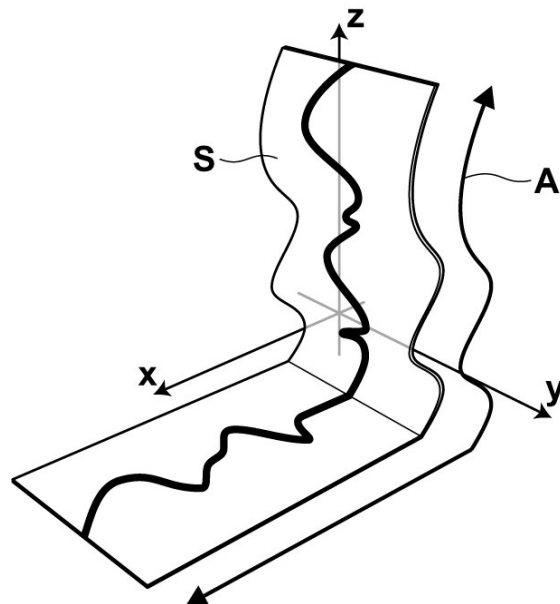
【図 10】



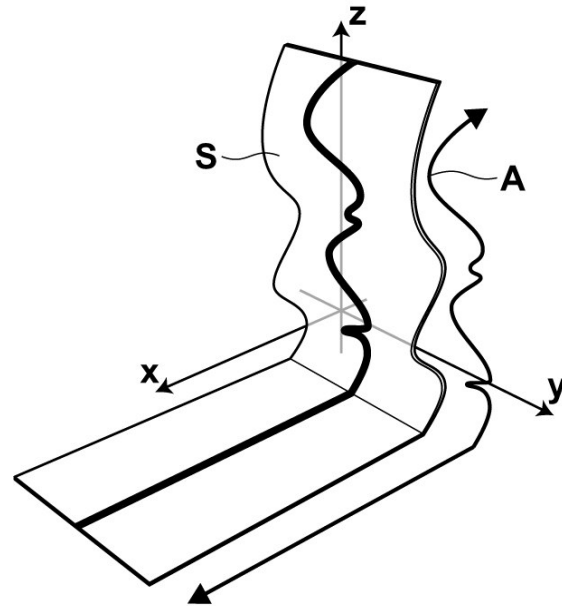
【図 11 A】



【図 11 B】



【図 1 1 C】



【図 1 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2004-519306 (JP, A)
特開2004-283373 (JP, A)
特表2007-501045 (JP, A)
国際公開第2007/122896 (WO, A1)
特表2008-520319 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A 61 B 6/03
G 06 T 1/00