

(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2007-167629

(P2007-167629A)

(43) 公開日 平成19年7月5日(2007.7.5)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 G	4 C 0 9 3
G 0 6 T 7/60 (2006.01)	G 0 6 T 7/60 2 5 0 C	5 B 0 5 7
G 0 6 T 1/00 (2006.01)	G 0 6 T 1/00 2 9 0 B	5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 40 O L 外国語出願 (全 49 頁)

(21) 出願番号	特願2006-314315 (P2006-314315)	(71) 出願人	506389034
(22) 出願日	平成18年11月21日 (2006.11.21)		バイタル イメージズ, インク.
(31) 優先権主張番号	11/287, 161		V I T A L I M A G E S, I N C.
(32) 優先日	平成17年11月23日 (2005.11.23)		アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 3 4 3
(33) 優先権主張国	米国 (US)		, ミネトンカ, オウパス パークウェイ
			5 8 5 0, スイート 3 0 0
		(74) 代理人	100074099
			弁理士 大菅 義之
		(72) 発明者	マレック ブレール
			アメリカ合衆国, ミネソタ州 5 5 3 4 7
			, イーデン プレイリー, ウェリントン
			ドライブ 1 3 9 4 7
			最終頁に続く

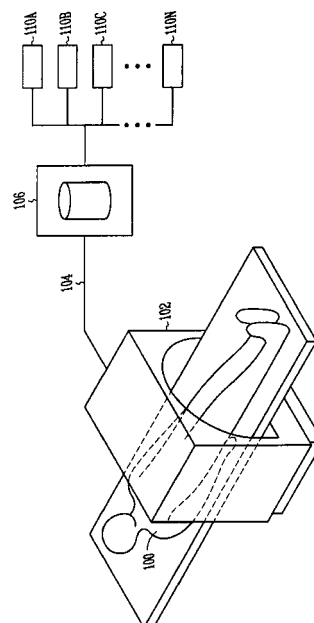
(54) 【発明の名称】 結腸の特徴経路の位置合わせ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】CTスキャナーによる仮想内視鏡検査法において、仮想3次元対象物の複数の特徴経路の位置合わせを効率的に計算するシステムおよび方法を提供する。

【解決手段】個別地点の各経路は経路長の関数として一辺ごとに線形パラメーターに変換される。上記経路は平滑化され、正規化される。短い方の経路は多くの個別の細分間隔に分割される。該細分間隔は、コスト関数を最小化する最小化関数を用いて長い方の経路に写像され、部分最適の位置合わせを得る。上記短い方の経路は、漸進的に上記長い経路に位置づけられ、各地点で最適化が試みられる。上記短い経路がもはやシフト出来ないときには、全体最適の位置合わせが結果として戻される。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピューター支援による複数の経路を位置合わせする方法であって、
第 1 および第 2 の経路を受領することと、
前記第 1 および第 2 の経路をパラメーター化することと、
エネルギー関数を最小化することによって前記第 1 および第 2 の経路間の対応を評価することとを含み、

前記エネルギー関数は誤差項とばね項とを含み、該誤差項は、位置の差、第 1 の導関数、並びに前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の第 2 の導関数のうちの 1 つ以上からなる関数であり、前記ばね項は前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の長さの関数である、方法。

10

【請求項 2】

前記第 1 および第 2 の経路を平滑化することを含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記平滑化は、前記第 1 および第 2 の経路に沿ってガウス核を適用することを含む、請求項 2 項記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 および第 2 の経路間の対応を表わすデータを返すことを含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

前記データは、開始点と一連の調整された長さの値とを含む、請求項 4 記載の方法。

20

【請求項 6】

前記データは、対応する長さの値に対応する一組の誤差値を含む、請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記パラメーター化は、
前記経路の長さに関連した関数として各経路を決定することと、
前記経路を正規化することと、
前記経路を分割することと、
を含む、請求項 1 記載の方法。

30

【請求項 8】

前記経路の正規化は、
短い経路と長い経路を判断することと、
該短い経路を単位値に正規化することと、
該短い経路に関係して前記長い経路を目盛分けすることと、
を含む、請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】

前記経路の前記分割は、前記短い経路を一組の個別の細分間隔に分割することを含み、上記各細分間隔は長さの値を有している、請求項 7 記載の方法。

【請求項 10】

前記短い経路を分割することにおいて、該短い経路は等しい大きさの細分間隔に分割される、請求項 9 記載の方法。

40

【請求項 11】

前記短い経路を分割することにおいて、前記経路は該経路に沿った相対的な最大値または最小値に基づいて分割される、請求項 9 記載の方法。

【請求項 12】

前記短い経路を分割することにおいて、前記短い経路は該経路に沿った相対的な最大曲率または最小曲率に基づいて分割される、請求項 9 記載の方法。

【請求項 13】

前記対応を評価することが、

50

前記エネルギー関数に対して１つまたはそれ以上のパラメーターを初期化することと、
 部分最適の対応を計算するために前記エネルギー関数を最小化することと、
 前記部分最適の対応が全体最適の対応よりも最適であるかどうかを判定することと、
 前記部分最適の対応が前記全体最適の対応よりも最適であるときは、前記部分最適の対応を保存することと、
 を含む、請求項１記載の方法。

【請求項１４】

前記１つまたはそれ以上のパラメーターを初期化することは、
 前記長い経路上の地点である開始点の値を定義することと、
 分割された短い経路に写像される１つまたはそれ以上の最初の長さの１組の値を決定することと、
 を含む、請求項１３記載の方法。

【請求項１５】

前記エネルギー関数を最小化することは、前記エネルギー関数の部分最小値を求める最小化関数を用いることを含む、請求項１３記載の方法。

【請求項１６】

前記最小化関数は、レーベンベルグ - マルカート法である、請求項１５記載の方法。

【請求項１７】

前記エネルギー関数に対する前記１つまたはそれ以上のパラメーターを調整することと、
 前記最小化を再度実施することができるかどうかを判定することと、
 前記最小化を再度実施することが可能な場合は、前記エネルギー関数を新しい部分最適対応を計算するために適用することと、
 前記新しい部分最適対応が前記全体最適対応よりも最適であるときは、前記新しい部分最適対応を格納することと、
 を含む、請求項１３記載の方法。

【請求項１８】

前記１つまたはそれ以上のパラメーターを調整することは、
 前記長い経路上の地点である現在の開始点の値を決定することと、
 前記現在の開始点の値とは異なる、前記長い経路上の地点の値である新しい開始点の値を決定することと、
 前記１つまたはそれ以上のパラメーターにおける前記新しい開始点の値を前記エネルギー関数に用いることと、
 を含む、請求項１３記載の方法。

【請求項１９】

前記新しい開始点の値を決定することは、前記短い経路の或る長さの部分を前記現在の開始点の値に加えることを含む、請求項１８記載の方法。

【請求項２０】

前記長さの関数は、該長さの比率である、請求項１記載の方法。

【請求項２１】

前記誤差項またはばね項に対応する１つまたはそれ以上の重み値を用いることを含む、請求項１記載の方法。

【請求項２２】

コンピューターで実施されたときに、
 第１および第２の経路を受け取ることと、
 前記第１および第２の経路をパラメーター化することと、
 エネルギー関数を最小化することによって前記第１および第２の経路間の対応を評価することとによって、複数の経路を位置合わせする命令を含むコンピューター読み取り可能な媒体であって、

前記エネルギー関数は誤差項とばね項とを含み、該誤差項は、位置の差、第１の導関数

、並びに前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の第 2 の導関数のうちの 1 つ以上からなる関数であり、前記ばね項は前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の長さの関数である、コンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 2 3】

前記経路に沿ってガウス核を適用して前記第 1 および第 2 の経路を平滑化する命令を含む、請求項 2 2 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 2 4】

対応関係を表わすデータを返す命令を含み、該データは最初の地点および調整された一連の長さの値を含み、該データが各長さの値に対応する一組の誤差値を含む、請求項 2 2 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

10

【請求項 2 5】

前記パラメーター化の命令は、
各経路を前記経路の前記長さに関する関数として定義する命令と、
該経路を正規化する命令と、
該経路を分割する命令と、
を含む、請求項 2 2 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 2 6】

前記経路の前記正規化は、
短い経路と長い経路を判断する命令と、
該短い経路を単位値に正規化する命令と、
該長い経路を該短い経路に関連付けて目盛分けする命令と、
を含む、請求項 2 5 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

20

【請求項 2 7】

前記経路の分割は、前記短い経路を、各細分間隔が長さの値を持っている 1 組の個別の該細分間隔に分割する命令を含む、請求項 2 6 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 2 8】

前記対応の評価は、
前記エネルギー関数に対する 1 つまたはそれ以上のパラメーターを初期化する命令と、
部分最適の対応を計算するために前記エネルギー関数を最小化する命令と、
前記部分最適対応が全体最適対応であるかどうかを判定する命令と、
前記新しい部分最適対応が前記全体最適対応よりもより最適であるときは、前記部分最適対応を保存することを含む、請求項 2 2 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

30

【請求項 2 9】

前記 1 組のパラメーターを初期化することは、
前記長い経路上の地点である開始点の値を定義することと、
分割された短い経路に写像される 1 組の 1 つ以上の最初の長さの値を定義することと、
を含む、請求項 2 8 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 3 0】

前記エネルギー関数を最小化することは、該エネルギー関数の部分最適を求めるための最小化関数を用いることを含む、請求項 2 8 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

40

【請求項 3 1】

前記エネルギー関数に対する前記 1 組のパラメーターを調整することと、
前記最小化を再度実施することが可能かどうかを判定することと、
前記最小化を再度実施することが可能な場合は、前記エネルギー関数を新しい部分最適対応を計算するために適用することと、
前記新しい部分最適対応が前記全体最適対応よりも望ましいときは、前記新しい部分最適対応を格納することと、
を含む、請求項 2 8 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 3 2】

50

前記 1 組のパラメーターを調整することは、
前記長い経路上の地点である現在の開始点の値を決定することと、
前記現在の開始点の値とは異なる、前記長い経路上の地点の値である新しい開始点の値を決定することと、
前記 1 組のパラメーターにおける前記新しい開始点の値を前記エネルギー関数に用いることと、
を含む、請求項 3 1 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

【請求項 3 3】

前記誤差項またはばね項に対応する 1 つまたはそれ以上の重み値を用いる命令を含む、請求項 2 2 記載のコンピューター読み取り可能な媒体。

10

【請求項 3 4】

複数の特徴的経路間の最適対応を計算する装置であって、
複数の経路の位置合わせが実施可能なプロセッサで、該位置合わせは、エネルギー関数の最小コストを見出すための最小化関数を用い、該エネルギー関数は誤差項とばね項とを含み、該誤差項は、位置の差、第 1 の導関数、並びに前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の第 2 の導関数のうちの 1 つ以上からなる関数であり、前記ばね項は前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の長さの関数である、プロセッサと、
前記プロセッサに接続され、データを格納するように動作可能なメモリーと、
前記プロセッサを用いてユーザーが前記メモリーから情報を格納および抽出すること
を可能にするユーザーインターフェースと、
を含む装置。

20

【請求項 3 5】

前記プロセッサは、前記エネルギー関数を用いて、最初のパラメーターを変化させて 1 回以上の位置合わせを計算し、該 1 回以上の位置合わせから最適な位置合わせを決定する、請求項 3 4 記載の装置。

【請求項 3 6】

前記プロセッサは前記メモリーを用いて前記ユーザーインターフェースに位置合わせ結果を供する、請求項 3 4 記載の装置。

【請求項 3 7】

コンピューター支援による複数の経路を位置合わせする方法であって、
第 1 および第 2 の経路を受け取ることと、
前記第 1 および第 2 の経路をパラメーター化することと、
エネルギー関数を最小化することによって前記第 1 および第 2 の経路間の対応を評価することと、を含み、
前記エネルギー関数が、肝臓または脾臓の屈曲部を定義する 1 つ以上の特徴部を参照することなく定義される、方法。

30

【請求項 3 8】

前記エネルギー関数は、誤差項とばね項とを含み、該誤差項は、位置の差、第 1 の導関数、並びに前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の第 2 の導関数のうちの 1 つ以上からなる関数であり、前記ばね項は前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の長さの関数である、請求項 3 7 記載の方法。

40

【請求項 3 9】

コンピューター支援による複数の経路を位置合わせする方法であって、
第 1 および第 2 の経路を受け取ることと、
前記第 1 および第 2 の経路をパラメーター化することと、
エネルギー関数を最小化することによって前記第 1 および第 2 の経路間の対応を評価することと、を含み、
前記エネルギー関数が、仮想の容積測定の対象を記述する 1 つ以上の幾何学的条件を参照することなく定義され、該幾何学的条件は仮想の容積測定対象の半径、周囲長、または

50

表面曲率を含む、方法。

【請求項 40】

前記エネルギー関数は、誤差項とばね項とを含み、該誤差項は、位置の差、第 1 の導関数、並びに前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の第 2 の導関数のうちの 1 つ以上からなる関数であり、前記ばね項は前記第 1 および第 2 の経路内における対応する個別の細分間隔の長さの関数である、請求項 39 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本書面は、一般的に、生体または同様の対象物の容積測定的な画像生成に関し、特に、制限する目的ではないが、3次元の仮想対象物を通る複数の経路を正確に位置合わせする (register) システムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0002】

典型的に癌の前兆と考えられている結腸内のポリープの早期発見は、患者が結腸癌から生き残るチャンスを大きく増大することができる。残念なことに、多くの患者は手技の不快感と体内に侵襲するという理由から、従来の結腸鏡検査には失望している。“仮想結腸鏡検査”は、従来の結腸鏡検査のいくつかの侵襲性を回避し、結腸癌の早期発見の確率を増すことができる。

【0003】

一般的に、“仮想内視鏡検査”は、コンピュータで生成される解剖学的構造の3次元画像の“フライスルー (flythrough)”を用いて行われる。これらの方法は、コンピュータトモグラフィ (CT) スキャンと、コンピュータ画像処理ソフトを用いる。3次元モデルの作成は、仮想結腸鏡検査、仮想気管支鏡検査、仮想血管鏡検査を含む、さまざまな臨床的アプリケーションにおいて用いられてきた。典型的なフライスルーにおいては、ユーザーは再構成された立体対象物を通して視点を移動させ、解剖学的モデル内壁の疑わしい形成物をさらに検討するためにある一点に留めることができる。仮想結腸鏡検査は、小さなポリープを検出するのに効果的であることが示されている。しかし、1回の走査だけでは、異質な物質が存在して障害を生じる可能性がある。

【0004】

大便や水などの異質な物質は、擬陽性、偽陰性の両方を起こす可能性がある。3D結腸モデルの質感や色は表現されていないため、異質な物質の存在はポリープの形をした形成物の識別をより困難にする。これらの種類の異物は本当のポリープを覆い隠し、偽陰性を起こす可能性がある。逆に、異物はポリープと見間違われ、この場合、術者はポリープもどきと認定して擬陽性を表明してしまう。例えばうつぶせと仰向けの2つの走査を使えば、これらの問題は回避できる。異物は、うつぶせと仰向けの走査の間でしばしばその位置を変化させるので、術者は真のポリープと偽ポリープを検出し識別するために両方の走査を用いることが出来る。術者は、また、1回の走査で物質によって以前覆い隠されたポリープを検出することができる。

【0005】

フライスルーの間中、術者は、仮想結腸の内部の部分をさらに検討するために、一方の走査から他方の走査へと視点をを変えることを選択することが出来る。この視点の変更の後に、効率化のために、術者の視点を結腸内の同じ位置に置いておくことが理想である。しかし、典型的には、うつぶせと仰向けの走査の間の結腸の形状および寸法は比較的大きい可能性がある。このことが走査間の対応する位置をマニュアルで決定することを困難にする。

【0006】

一般的に、位置合わせすること (registration) が2つ以上の走査の間での対応点のセットを決定する1つの方法である。位置合わせの1つの方法は術者によるマニュアルの位置合わせである。典型的には、術者は両方の走査を一緒に見て、参照基準線を生成するた

10

20

30

40

50

めに特徴的な解剖学的な目標点を見つけ出すよう試みる。この最初の位置合わせ後、疑わしい形成部を術者が発見したときに、その参照基準線を用いて対応する走査画面中に自分を位置させ、自分が同じ位置の近くに来るまで付近の画像に眼を通していく。この方法は、退屈で不正確で、また費用がかかる。

【発明の開示】

【0007】

うつぶせと仰向けの結腸走査画面の自動的な位置合わせが望まれている。1つの方法は、うつぶせと仰向けのデータセット内の同じような特徴を最初に決定することである。特徴は、座標軸のいずれかにおいて部分的な最大値または最小値である。この方法は、参照地点として、両方のデータセットに対して結腸の中心軸経路に沿った、比較的静的な地点を利用する。これらの地点を、うつぶせあるいは仰向けの経路を延ばしたり、および/または縮めたりして合致させる。1つの例では、この方法は、肝臓や脾臓の屈曲点の場所が比較的固定していることに頼っている。したがって、屈曲点を表わすポイントが位置合わせ上の参照点として用いられる特徴点を示す。うつぶせおよび仰向けの経路間で参照点を相関させた後、経路上に上記地点を近似するために線形変換が使用される。

10

【0008】

しかし、この方法は、十分な識別可能な特徴がない場合は失敗する可能性がある。また、位置合わせが無くて案内を不十分にさせるような誤差を生じるケースよりは良いが、特徴の正しい合致と正確さを可能にするには殆ど完全なうつ伏せ走査と、殆ど完全な仰向け走査を必要とする。

20

【0009】

結腸は、患者が位置を変えると曲がったり移動したりするので、仮想結腸鏡検査を行う時は正確な位置合わせが重要である。特徴マップを使用する自動的な方法は、位置合わせのマニュアルの方法からの自然な進歩である。しかし、器官の特徴点が移動し、また形を劇的に変化させてしまうときは、特徴点に依存するのは信頼性が無い。

【0010】

他の方法は、複数の経路を位置合わせするための幾何学的、または解剖学的な情報を使用する。いくつかの方法では、経路間の相対的な対応を測定するときに走査対象の形状に関する半径、円周長、または表面の曲線のような幾何学的情報が使用される。ある1つの方法では、中心線ポイント周辺の平均半径が経路を相関させるための動的プログラミングとともに使用される。しかし、ある例においては、経路中のある与えられた地点周りの半径を決定するには、処理は容積測定データを考慮しなければならない。一般的に、容積測定データを処理することは、高度なコンピューター処理である。本発明の方法は、容積測定データを必要としないことによって、より高い計算効率を達成する。

30

【0011】

本書面は、他の物のなかで、仮想3次元物質の複数の特徴的な経路の位置合わせを効率的に計算するシステムおよび方法を述べる。1つの例において、第1および第2の経路が入力として受け取られる。個別地点の各々の経路が、経路長の関数として一辺毎の線形のパラメーター表現に変換される。経路は平滑化され、正規化される。より短い経路は、多くの個別の細分間隔に分割される。最初の構成としては、短い方の経路が長い方の経路の位置に直接写像(map)される。コスト関数が定義され、コスト関数は誤差項(error term)と、ばね項(spring term)を含んでいる。誤差項は、対応する細分間隔の間のx y z平面内の位置の差、および傾斜の差の関数である。ばね項は、対応する細分間隔間の長さの比の関数である。短い経路の細分間隔は、部分的に最適な位置合わせの結果を示すコスト関数を最小化する最小化関数を用いて、長い経路に沿った対応する曲がった間隔上にマッピングされる。短い方の経路は長い方の経路に沿って漸進的に位置合わせされ、各位置で最小化が行われる。短い方の経路をそれ以上変位させることが出来ないときは、全体の最適位置合わせが結果として戻される。

40

【0012】

この要約は、本特許出願の、ある命題の概略を示す意図のものである。これは、本発明

50

の唯一の、また全ての説明を意図するものではない。本特許出願の命題に関してさらなる情報をもたらすために、詳細な説明を行う。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

図は必ずしも一定の縮尺比で描かれておらず、図中、例えば数字はいくつかの図の中で実質的に同じ要素を示している。異なった添字を有する数字は、同様の要素の異なった場面を表わしている。図は、一般的に限定を意図するものではなく、例示を意図として、本書面で述べられるさまざまな実施例を示す。

【0014】

以下の詳細な記述において、その部分を示す添付図を参照するが、それは本発明が実施される、図に特定した実施例として示されている。これらの実施例は、当業者が本発明を実施することが出来るように充分詳細に述べられ、また、実施例は組み合わせることが可能で、または他の実施例が使用可能で、また、本発明の範囲を離れることなく構造的、論理的および電氣的な変更が可能であると理解されるべきである。したがって、以下の記述は、限定の意味に取られるべきでなく、本発明の範囲は添付の請求項およびその均等物によって定義される。本書面において、単数形の語は、特許文献において通常であるように、1つ以上のものを含む。本書面において、“または”という語は、特に示されなければ非限定的な“または”、を表わす。さらに、本書面で参照されるすべての刊行物、特許、および特許文献は、参照によって個別に含まれるかのように、参照によってその全体として含まれている。本書面と参照によって含まれるそれらの文献との間で調和しない使用法がある場合は、含めた参照文献の使用法は本書面の使用法の補足と考え、矛盾する使用法に関しては本書面の使用法が支配するものとする。

【0015】

以下の詳細記述のいくつかの部分は、コンピューターメモリー内のデータビットによる動作のアルゴリズムおよび記号表現言語で表わされる。これらのアルゴリズム記述や表現は、データ処理に詳しい人がその仕事の内容を他の同様の人に効率よく伝えるために用いられる方法である。アルゴリズムは、所望の結果に導く理路整然としたシーケンスを含む。ステップは、物理量を物理的に操作することを要するものである。通常、必ずということではないが、これらの数量は電氣的または磁氣的な形態を取り、記憶され、送信され、組み合わせられ、比較され、またさもなければ操作される。これらの信号は、主には共通使用のために、ビット、値、要素、記号、文字、言葉、数等を示すことがしばしば便利であることが証明されている。しかし、これら全ておよび同様の言語は、適切な物理量と関連していなければならない。また、これらはそれら数量に適用される単なる便利な標識であることを頭に置かなければならない。以下の記述から明らかな以外に特別に述べられていなければ、“処理”“コンピューター処理”“計算”“決定”“表示”などの言葉は、コンピューターシステム、または同様のコンピューター装置の動作や処理を示し、それらは、物理（例えば電氣的）量として表現されるデータを操作し、また、コンピューターシステムのレジスターやメモリー内にあるそれらを、そのコンピューターシステムメモリーやレジスター、また他のそのような情報記憶装置、送信または表示装置内で、同様に物理量として表わされる他のデータに変換する。

【0016】

導入

本発明者は、複数の経路を位置合わせするために特徴点や解剖学的なデータに依存することがしばしば非効率で、誤差含みで限定的であることを認識した。他の物の中で、本書面は特徴点の同定、または解剖学的データへの依存の必要なく複数の経路の位置合わせを決定する正確な方法を述べる。経路の1例としては、限定はされないが、中心線経路または特徴的な経路を含む。特徴的な経路は対象の完全なる中心を必ずしも与えるものではなく、したがって、必ずしも中心線を構成しない。にもかかわらず、特徴的な経路は、典型的には充分に対象体を代表するものになり、対象体のうつぶせ走査を対象体の仰向け走査に対して位置合わせすることを可能にする。

10

20

30

40

50

【0017】

図1は、この特徴的な経路データを用いるシステムの例を示す。この例において、患者100は、典型的な医用画像スキャナー102によって走査される。医用画像スキャナー102の例は、限定はしないが、CTスキャナーおよび磁気共鳴画像スキャナー(MRI)を含む。スキャナー102は、典型的には例えばデータ経路104によって記憶システム106に接続されている。データ経路104は、典型的にはローカルエリアネットワーク(LAN)であり、記憶システム106は典型的には画像サーバーである。この例では記憶システム106は、第2のデータ経路、典型的にはLANによって、典型的には1つ以上の画像処理ステーション110A, 110B, 110C, ・・110Nに接続されている。

10

【0018】

図2は、典型的な画像処理ステーション110を示す。この例では、画像処理ステーション110は、マウス200やキーボード202のような1つ以上の入力装置410と、ディスプレイ204やプリンター206のような1つ以上の出力装置412、および、プロセッサ、装置内メモリおよび内部および外部の装置間の通信を制御するための他のハードウェアを含む制御ユニット208を有する。画像処理ステーションは、記憶システム106に記憶された画像を使って区域分けを計算する。区域分けは、差別化するために、例えば画像強度またはその他の情報を使って、近傍の対象物から関心の対象(例えば結腸)を表わすデータを分離する。ユーザーは、区域分けを用いて特徴的な経路を生成することを含む方法を実施するために画像処理ステーション110を用いることができる。うつぶせの患者の結腸の特徴的な経路、および仰向け患者の結腸の特徴的な経路のような、複数の特徴的な経路を生成することができる。複数の特徴的な経路の自動的な位置合わせを以下に述べる。

20

【0019】

図3は、2つの仮想の3D対象物を同時に示している。この例において、各々の3D仮想対象物は、仰向け走査およびうつ伏せ走査のような異なった走査を表わしたものである。例えば、仮想結腸鏡検査において、残っている大便がうつぶせおよび仰向けの間で移動し、診断技師にとって1つまたは他の走査をより望ましいものとして、しばしば結腸のうつぶせ、および仰向けの走査を取ることが望ましい。しかし、うつぶせ走査の同じ位置を仰向け走査の同じ位置に移すために、うつ伏せと仰向けの走査の位置合わせが助けになる。診断技術者は、例えば結腸の仮想のフライスルーの間、うつ伏せと仰向けを切り替えることを望むかもしれない。代わりに、仮想の結腸フライスルーの間、1つの画面300(例えばうつぶせ)において対象の仮想内部を通して診断技術者が意図的にその視点を変えるにつれて、他の画面302(例えば仰向け)は用意された位置合わせを使って同時に追尾できる。

30

【0020】

実施例

図4は、特徴点とは関係なく複数の経路の効率的な位置合わせが可能なシステム110の部分を示す。この例において、プロセッサ400は相互作用のためにメモリ402と接続されている。あり得るプロセッサとメモリの組み合わせの広範なアレイは入手可能である。プロセッサ400は、商業部品(例えばペンティアム(登録商標)、モトローラ68000シリーズ、PowerPC)、または特定のアプリケーションに使用するために作られた専用ユニットなどを含む。メモリ402は、固体、磁気、または光媒体などのいかなるメモリも含む。

40

【0021】

ユーザーインターフェース408は、典型的にはプロセッサ-メモリ組み合わせ406に接続されている。このユーザーインターフェース408は、典型的には入力装置410および出力装置412を含む。入力装置410は、1つまたはそれ以上のキーボード、マウス、タッチパッド、マイク、検知装置、表示装置、または、コンピューターがユーザーからの命令や入力データを受け取ることを可能にするいかなる他の種類の装置を含む。

50

出力装置 4 1 2 は、モニター、プリンター、スピーカー、または、システムがユーザーに結果のデータを示すことができる他のいかなる種類の装置を含む。

【 0 0 2 2 】

1 つの例において、ユーザーは入力装置 4 1 0 を用いて、典型的には各々うつ伏せ走査および仰向け走査を示す 2 つの特徴的な経路を含む命令を入力することが出来る。2 つの経路は、プロセッサ - メモリ組み合わせ 4 0 6 によって複数経路の類似ポイントのマッピング（すなわち位置合わせ）を決定するために使用される。

【 0 0 2 3 】

最初に、2 つの経路はパラメーター表示され、平滑化され、経路準備モジュール 4 1 4 によって分割される。次に、誤差最小化関数のための入力パラメーターが予備入力（Prep Input）モジュール 4 1 6 内で形成される。最後に、位置合わせモジュール 4 1 8 がコスト（すなわちエネルギー）関数を最小化することによって最適な解を決定する。次に、1 つの例においては、その結果がユーザーのために出力装置 4 1 2 に表示される。

【 0 0 2 4 】

入力の受け取り

図 5 は、2 つの特徴経路の位置合わせのための方法 5 0 0 の例を示す。最初のステップ 5 0 1 で入力を読み取る。この例において、入力はいくつ伏せと仰向けの 2 つの特徴的な経路を含む。各経路は 3 D 空間内で一辺ずつの空間曲線を定義しているポイントのつながりで記述されている。特徴的な経路は、 $C = (C_0, C_1, \dots, C_n)$ のように直線区間のつながりによって表わされる。ここで、 C_i は (x, y, z) 座標の 3 連値である。ここで、複数の経路は、 $C_a = (C_{a0}, C_{a1}, \dots, C_{an})$ および $C_b = (C_{b0}, C_{b1}, \dots, C_{bm})$ （例えばうつ伏せおよび仰向け特徴経路）として表わすことができる。ここで、患者がうつ伏せから仰向けまたはその逆に位置を変えると、結腸が伸びたり縮んだりして一つの経路が他方よりも短い、または長いという可能性があり、 C_a 、 C_b （ C は C の長さ）である。

【 0 0 2 5 】

この例においては、システム 1 1 0 は経路が結腸走査を表わすものとして認識するように初期化されており、唯一の入力は経路である。しかし、他の例においては、本方法の実施を制御するために追加の、または他のパラメーターを使用できる。この例においては、経路は平滑化されず、互いに大体軸合わせされる（例えば、両経路が、同じ向きである直腸と盲腸を表わす）。もし経路が大体でも軸合わせ出来ないときは、互いに経路の向きを合わせるために事前処理のルーチンが使用される。また、この例において、

$$C_a \subseteq C_b$$

であるとする（ C_a のドメインはおおよそ C_b のドメインの部分集合である）。他の例においては、 C_a の大部分が C_b 上に写像されず、この場合、 C_b の先端または終端への最良の適合を試みるために、 C_a の先頭または終端を切り詰める技術が用いられる。

【 0 0 2 6 】

経路のパラメーター化

5 0 2 において、一連の特徴的経路のポイントがパラメーター化される。この例において、各特徴的経路は 3 D 空間の一組のポイントによって定義される。

【 0 0 2 7 】

パラメーター化は、この個別的な表現を代表的な数学関数に変換する処理である。この例において、信号サンプルのシーケンス $C = (C_0, C_1, \dots, C_n)$ が与えられると、関数 $c(t)$ （特徴経路の長さの関数としての C の一辺毎の線形パラメーター表現）が、以下のポイントとして定義され、間にある全ての値について線形補間される。

【 0 0 2 8 】

【数 1】

$$c(0) = C_0$$

$$c(\|C_1 - C_0\|) = C_1$$

$$c(\|C_1 - C_0\| + \|C_2 - C_1\|) = C_2$$

...

...

$$c(\|C\|) = C_n, \text{ where } \|C\| = \sum_{i=1}^n \|C_i - C_{i-1}\|$$

10

これを入力されたシーケンス C_a および C_b に適用すると、パラメーター化された信号 $c_a(t)$ および $c_b(t)$ となる。

【0029】

経路の平滑化

503において、ノイズは濾過除去され、パラメーター化された信号が平滑化される。

20

【0030】

一般的に、この例において、位置合わせする間対応点を決める時の1つのファクターとして用いられる、より意味のある傾斜値を生成するために、平滑化された経路が好ましい。ある例においては、信号は、パラメーターによって定義されるガウスモデルを用いて平滑化される。 $\sigma = \min(\sigma, \min(C))$ とし、ここで、 $\min(C)$ はC内の最小の、ゼロでない線分(入力信号ポイント)を表わす。標準偏差が

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\delta}$$

30

【0031】

で与えられ、その半径 =

$$[3\bar{\sigma}]$$

である1次元の不連続なガウス核

40

$$G_{\bar{\sigma}}$$

と、新たな信号ポイントのシーケンス $C = (c(0), c(1), c(2), c(3), \dots, c(C))$ が計算される。

【0032】

渦積分によって平滑化された信号サンプルのシーケンス

$$\tilde{C} = G_{\bar{\sigma}} * C_{\delta}$$

が生成され、したがって平滑化されたパラメータ関数

$$\tilde{c}(t)$$

が生成される。平滑化関数を適用することによって平滑信号

10

$$\tilde{c}_a(t)$$

および

$$\tilde{c}_b(t)$$

を得る。

20

【 0 0 3 3 】

経路の正規化

5 0 4において、経路が正規化される。この例において、2つの経路のうち短い経路C_aは単位測定値に目盛分けされ、間隔[0,1]にわたって

$$\bar{c}_a(t) = \frac{c_a(t \cdot \|C_a\|)}{\|C_a\|}$$

30

のように定義される。長いほうの経路C_bは、目盛分けされ間隔

$$[0, \frac{\|C_b\|}{\|C_a\|}]$$

にわたって

$$\bar{c}_b(t) = \frac{c_b(t \cdot \|C_a\|)}{\|C_a\|}$$

40

のように定義される。次に、信号はそのスタート点および/または終端において僅かに位置がずれる可能性があるので、 $t < 0$ に対して

$$\bar{c}_b(t) = \tilde{c}_b(0)$$

50

$$t > \frac{\|c_b\|}{\|c_a\|}$$

に対して

$$\bar{c}_b(t) = \tilde{c}_b\left(\frac{\|c_b\|}{\|c_a\|}\right)$$

10

と定義することによって

$$\bar{c}_b$$

の範囲が総体の実際のラインとなるように延伸される。処理工程のこの時点で、

20

$$\bar{c}_a(t)$$

および

$$\bar{c}_b(t)$$

30

は平滑化され、正規化された経路 c_a および c_b を表わす。この例において、記述を簡易化するために、 $c_a(t)$ はこれ以後、平滑化され、正規化された信号

$$\bar{c}_a(t)$$

を表わし、 $c_b(t)$ はこれ以後、平滑化された信号

$$\bar{c}_b(t).$$

40

を表わす。

【 0 0 3 4 】

経路の分割

5 0 5 において、短い方の経路が多くのサンプルに分割され、対応点の発見を試みて長い方の経路の部分と個々に比較される。ここで、 c_a を定義している間隔は細分化された間隔に分割され、狭義増加終端のシーケンス、すなわち分割 $P = (t_0 = 0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k = 1)$ として定義することが出来る。この例においては、同じ大きさの 1

50

5の個別の細分間隔の任意の数値が使用される。他の例では、位置合わせのためにより多くの、または少ない細分間隔が使用される。さらに他の例では、分割を定義するために経路に沿った x 、 y 、 z 軸に関する最大値または最小値を用いることも出来る。なおまた他の例では、最初の分割の終点を選択するために、中心線に沿った最大および/または最小の曲線の点を用いる。同じ大きさの細分間隔を用いる1つの優位点は、特徴的経路の動静や特徴によらずに位置合わせが実行可能なことである。

【0035】

位置合わせの操作は、固定的分割 $P = (t_0 = 0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k = 1)$ と、 c_b のドメインの細分割である曲線分割 $P' = (t'_0 = 0, t'_1, \dots, t'_k)$ R との間の対応を定義する。この対応付けは $c_b(w(t))$ によって定義される c_b の曲 10
がりを導き出す。ここで、 $w(t)$ は、 $w(t) = t'_{i-1} + i(t - t_{i-1})$ で定義され、 i は $t_{i-1} \leq t < t_i$ であるように選択される。この例において、 i は元の細分間隔に対する曲がった細分間隔の比率である。

【0036】

P から P' への対応を決定するときに、結腸の各部分が互いに独立して延びたり縮んだりする様子を反映するために、連の中で後に起こる t'_i の値の変更は、どの区割りの長さにも影響してはならない。

【0037】

図6は、経路のある部分を定義する最初の終端のセット600と、 t_2 が最初の値から少なくなっている第2の終端セット601と、 t_2 が最初の値から大きくなっている第3 20
の終端セット620の図である。610において、間隔 $[t_1, t_2]$ は適切に縮小しているが、 $[t_2, t_3]$ は結果的に不適切に増大している。同様に、620において、間隔 $[t_1, t_2]$ は適切に増大しているが、 $[t_2, t_3]$ は結果的に不適切に減少している。1つの解決法は、この例で用いているように、経路を終端値の代わりに始点と一組の長さの値で表わすことである。したがって、 $l'_0 = t'_0$ とし、(副分割 P' の始点)、 $l'_i = t'_i - t'_{i-1} \quad \{1, 2, \dots, k\}$ とする。

【0038】

図7は、経路のある部分を定義する1組の終端700と、対応する最初の長さのセットからなる経路の同じ部分710と、 l'_2 が最初の値から少なくなっている調整された経路720と、 l'_2 が最初の値から大きくなっている他の調整された経路730の図である 30
。経路をこのように表わすことによって、長さ l'_i の増減は以後のいずれの長さにも影響を与えない。しかし、 l'_i の変化は経路の全体の長さを変化させる。この表現方法を用いれば各部分が伸縮したときの結腸の動きを正確に反映することは確実である。

【0039】

“エネルギー”関数を可変に構成する

506において、誤差最小化関数の最初の解が形成される。始めに、この例では、結腸にはなんの伸縮も起きないと仮定し、したがって、最初は $l'_1 = l_1, \dots, l'_k = l_k$ のように曲がった経路は直接短い経路に写像される。また、直腸の位置はずれが無いという前提なので、 $l_0 = t'_0 = t_0 = 0$ である。

【0040】

最適な対応を見つける

507において、固定分割 P と曲線分割 P' 間の最適な対応が見出される。この例において、対応関係は、2つの細分間隔間の提示された対応におけるいずれかの誤差に関連するコストを表わすエネルギー関数 E を用いて測定される。ある例において、エネルギー関数は2つの部分、誤差項 e と、ばね項 s を有し、2つの経路にまたがる全ての細分間隔にわたって計算される。

【0041】

エネルギー関数は P' に沿った各間隔で次のように計算される。

$E(P') = (E_0(P'), E_1(P'), \dots, E_k(P'))$ ここで、

10

20

30

40

$$E_0(P') = \sum_{i=1}^k e_i$$

および

$$E_j(P') = (1 - t_{j-1}) \cdot s(\phi_j) + \sum_{i=j}^k e_i$$

10

、ただし $j \geq 1$ である。ここで、

$$\phi_j = \frac{t'_j - t'_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} = \frac{l'_j}{l_j}$$

であり、元の細分間隔の長さに対する曲がった細分間隔の長さの比を表わす。ばね項は経路の伸び縮みに対する補償を表わし、一般的に経路が綺麗に形成されることを確実にするのを助ける。エネルギー関数において、項 $(1 - t_{j-1})$ は、ばね項を誤差項の合計と同じ大きさに目盛分けする。ばね項は、元の細分間隔の長さに対する曲がった細分間隔の長さの比の関数として定義される。

20

【 0 0 4 2 】

【 数 2 】

$$s(\phi) = \begin{cases} \omega_3 \cdot [\csc(\max(\varepsilon, \frac{\pi\phi}{2})) - 1] & \phi \leq 1 \\ \omega_3 \cdot [\csc(\max(\varepsilon, \frac{\pi}{2\phi})) - 1] & \phi > 1 \end{cases}$$

30

上記関数は、連続的であり、かつ全ての

$$\phi \geq \frac{2\varepsilon}{\pi}$$

で分割可能である。また、上記関数は

40

$$s(\phi) = s(\frac{1}{\phi})$$

のように逆対称的である。言い換えれば、

$$\frac{1}{\phi}$$

50

の係数分間隔が縮んだ結果によるばねエネルギーは、 の係数分間隔が伸びた結果によるばねエネルギーに等しい。

【 0 0 4 3 】

誤差項 e は、 2 つの主たる要素、すなわち、 x , y , z 位置の差異と、各対応する細分間隔の x , y , z 傾斜の差異から成っている。誤差項 e_i は、次のように表わされる。

【 0 0 4 4 】

【 数 3 】

$$e_i = \omega_1 (\Delta_{ix} + \Delta_{iy} + \Delta_{iz}) + t_1 \max(0, -t'_0) + (1 - t_{k-1}) \max(0, t'_k - \frac{\|c_b\|}{\|c_a\|}) + \omega_2 (\Delta'_{ix} + \Delta'_{iy} + \Delta'_{iz})$$

10

誤差の最初の項は、 2 つの経路要素の値の間の位置の差を表わす。これは、各要素に関する分割の各細分間隔内で $c_a(t)$ と $c_b(w(t))$ (c_b は曲げ後) との間の差を積分して計算される。

【 0 0 4 5 】

【 数 4 】

$$\Delta_{ix} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |c_a(t)_x - c_b(w(t))_x| dt \quad (\Delta_{iy} \text{ と } \Delta_{iz} \text{ は類似})$$

20

曲線化関数 $w(t)$ は、 $c_a(t)$ と $c_b(t)$ の間の一辺ごとの線形変換を定義する。 上述したように、対応する間隔 $w_i : [t_{i-1}, t_i] \rightarrow [t'_{i-1}, t'_i]$ の間での均一な曲線化は、 $w_i(t) = t'_{i-1} + \frac{t'_i - t'_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} (t - t_{i-1})$ によって定義される。その導関数は、単純に

$$\frac{d}{dt}(w_i(t)) = \phi_i$$

である。

30

【 0 0 4 6 】

第 2 および第 3 の項、 $\max(0, -t_0)$ および $(1 - t_{k-1})$

$$(1 - t_{k-1}) \max(0, t'_k - \frac{\|c_b\|}{\|c_a\|})$$

は、どちらかの端のずれを合致させる試みをした時の補償項である。

【 0 0 4 7 】

最後の項は、曲線化の後に 2 つの要素経路の導関数を比較することで両者の形状の差を評価する。それは、各要素に関する分割の各細分間隔内で、

40

$$\frac{d}{dt}(c_a(t))$$

と

$$\frac{d}{dt}(c_b(w(t)))$$

(曲線化後の c_b の導関数) の間の差を積分して計算される。

【 0 0 4 8 】

【 数 5 】

$$\Delta'_x = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left| \frac{d}{dt}(c_a(t))_x - \frac{d}{dt}(c_b(w(t)))_x \right| dt = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |c'_a(t)_x - \phi_i \cdot c'_b(w(t))_x| dt$$

10

($'_i y$ および $'_i z$ は類似)

エネルギー関数の各項は変数 $_1$ 、 $_2$ 、 $_3$ を用いて重み付けされる。この例では、これらの変数には、 $_1 = 1.0$ 、 $_2 = 0.1$ 、 $_3 = 0.0004$ を与える。他の例においては、最良の結果を得るために異なった重みが必要であるかもしれない。

【 0 0 4 9 】

この例においては、位置および傾斜における差異を分析するのに、3つの座標全てを使用している。他の例では、誤差関数でただ1つまたは2つの座標のみを調べることができる。また、この例においては、誤差項において各座標は均等に重み付けされている。他の例では、ある選択に基づいて座標に異なった重み付けをすることが出来る。また、この例では、細分間隔は不均一には伸び縮みしないと仮定している。

20

【 0 0 5 0 】

一度エネルギー関数が定義され、最初の値が計算されると、部分最小値を決定するために最小化関数を使用される。この例では、エネルギー関数 E における、最小のエネルギーコストを求めるために、 t'_0 点から始めて、長さ ($l'_1 = l_1, \dots, l'_k, = l_k$) を使用して、レーベンベルグ - マルカート法が用いられる。他の例では、ガウス - ニュートン法のような他の最小化法を用いることも出来る。レーベンベルグ - マルカート法の適用の結果、部分最適化された長さの連と、関連する誤差値のセットを得る。

【 0 0 5 1 】

30

図8は、長さ l'_i を持った間隔 $[t'_{i-1}, t'_i]$ にわたって固定経路800および曲線化経路802の細分間隔の最初の位置合わせを示している。レーベンベルグ - マルカート法は、色々な解法を試み、図9に示すように曲線化経路900を縮めたり、図10に示すように曲線化経路1000を伸ばしたりする。図9を見ると、縮められた曲線経路900は固定経路800とは劇的にずれている。この例において、これは最適解ではない。図10を見ると、伸ばされた曲線経路1000は同様に固定経路800からずれており、最適解をもたらさない。図11は、可能性のある最適解を示しており、曲線経路1100は固定経路800と大体合っている。この例において、レーベンベルグ - マルカート法は図8から図11に概略示したように、全ての細分間隔を同時に最適化するよう試みる。

40

【 0 0 5 2 】

508において、現在の最適誤差値のセットが、予め格納されたいかなる誤差値のセットとも比較される。もし現在のセットがより最適であるとすれば、それが記憶され、以前のすべての結果は廃棄される。 c_a が c_b の部分集合である場合は、0から

$$\frac{\|c_b\|}{\|c_a\|} - 1$$

の範囲のさまざまな種値 (seed value) を用いて対応を計算することによって、最良の全

50

体的な解は、最高のあり得る合致である。509において、もし可能ならば、シフトさせた開始値 t'_0 を使って最小化関数を再び走らせる。このシフトは、短い経路の長さを因子として用いて、または長い経路の長さを因子として用いて、または任意の値やパーセンテージを用いて、または他の方法によって行うことが出来る。この例において、 c_a は c_b に沿って

$$t'_0 = t'_0 + \frac{\|c_a\|}{4}$$

10

と設定することによって c_a の $1/4$ の長さの距離だけシフトする。もし c_a を c_b の終端を越えて延伸することなくシフトさせることが出来ない時は、最小誤差に対応する値のセットが最良位置合わせとして出力される。もしそうでなければ、新しい開始値 t'_0 を用いて対応位置の測定507が再び実行される。もし新しく計算された誤差値が格納されているそれよりも良ければ、格納されていた値と入れ替える。最良の解を見つけるために、 c_a が c_b に沿ってシフトが可能である限り、シフトと再計算が行われる。

【0053】

510において、この方法から最適な合致が結果として戻される。この例においては、 c_a と c_b の間の最適な合致、すなわち位置合わせを表す開始点 t'_0 、および一連の長さの値 (l_1, l_2, \dots, l'_k) が結果として戻される。

20

【0054】

上記の記述は例示として意図したものであり、限定としてではない。例えば、上述の実施例（および/またはその態様）は、互いを組み合わせて用いることが出来る。上記の記述を見た上で、当業者にとっては多くの他の実施例が明らかであろう。本発明の範囲は、したがって、添付請求項、およびその請求項が権利を有する均等の全範囲と関連して決定される。添付請求項の中で、“を含む”や“その中で”という語は、それぞれ“を包含する”や“その中において”の平易な英語の均等な語として用いられている。また、請求項の中で“を含む”や“を包含する”という語は可変的であり、すなわち、システム、装置、物、またはプロセスなどの語に続いてリストされる要素に追加される要素を含むそれらの語は、依然として当該請求項の範囲内にあるものとみなされる。さらに、請求項において、“第1の”“第2の”“第3の”等の語は単に標識として用いられ、その対象物に数値的な必要性を負わせるものではない。

30

【0055】

本開示書の要約は、読者がこの技術開示の性格をすばやく確かめることができるように要請された37C.F.R. § 1.72(b)に準拠して用意されている。それは、要約が請求項の範囲や意味を解釈し、または制限するために使用されないという理解の下に提出されている。加えて、上述の詳細な説明において、開示を能率化するためにさまざまな構成と一緒にグループ化することが出来る。この開示方法は、請求されている内容が各請求項に明記された以上の構成を必要とするという意図を反映すると解釈されてはならない。むしろ、請求項がそれを反映しているように、発明対象事項は単一の開示実施例の全ての構成よりも少ない中に存在する。したがって、請求内容は詳細な説明の中に組み入れられており、各請求項は個別の実施例として自立している。

40

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】図1は、医用スキャナー、画像記憶装置、および1つ以上の処理ステーションを示す。

【図2】図2は、画像処理ステーションの1例の概略図である。

【図3】図3は、ディスプレイスクリーンの詳細図である。

【図4】図4は、複数の特性経路を位置合わせするために用いるシステムの概略図である

50

。

【図 5】図 5 は、2 つの特性経路の位置合わせを決定するプロセスを一般的に示したフローチャートである。

【図 6】図 6 は、終端によって表わされるいくつかの経路の例の概略図である。

【図 7】図 7 は、終端および長さによって表わされるいくつかの経路の例の概略図である。

。

【図 8】図 8 は、初期の位置における固定経路と曲線経路のグラフである。

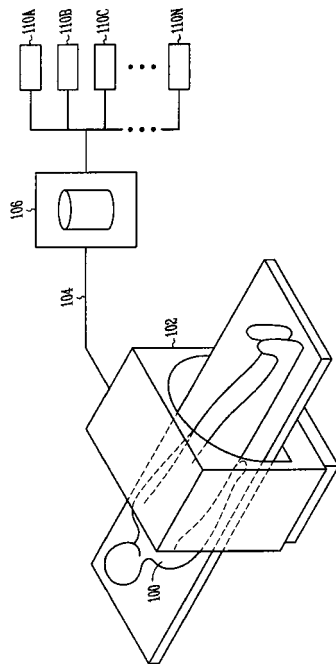
【図 9】図 9 は、垂最適の位置における固定経路と縮小曲線経路のグラフである。

【図 10】図 10 は、垂最適の位置における固定経路と延伸曲線経路のグラフである。

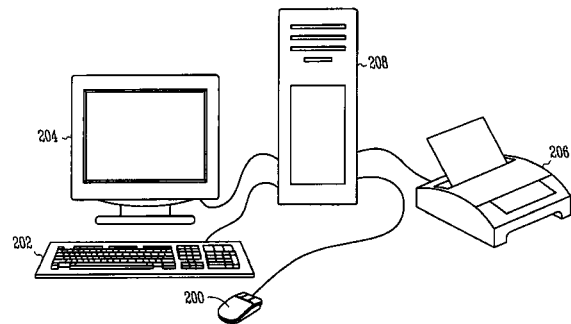
【図 11】図 11 は、最適の位置における固定経路と縮小曲線経路のグラフである。

10

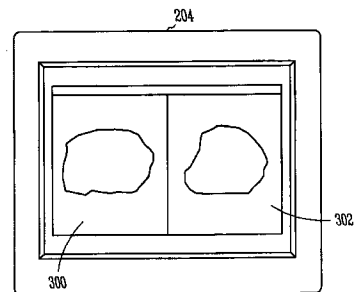
【図 1】



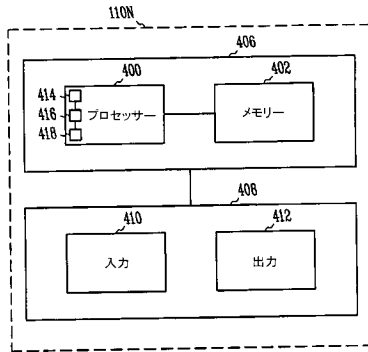
【図 2】



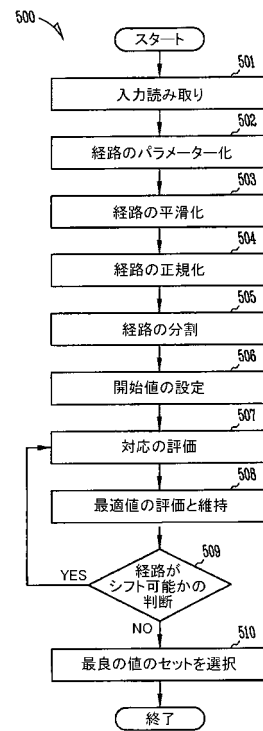
【図 3】



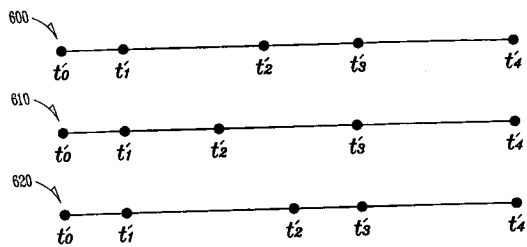
【図 4】



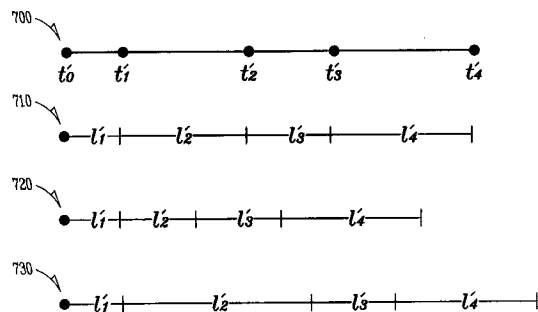
【図 5】



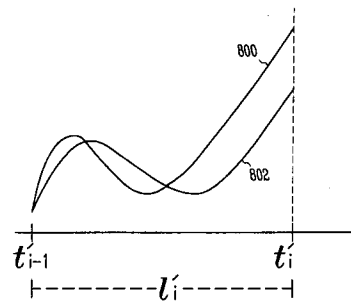
【図 6】



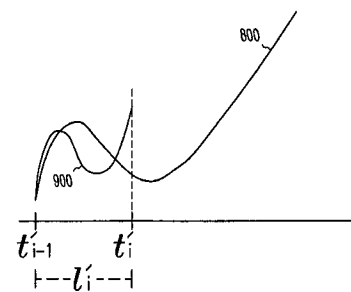
【図 7】



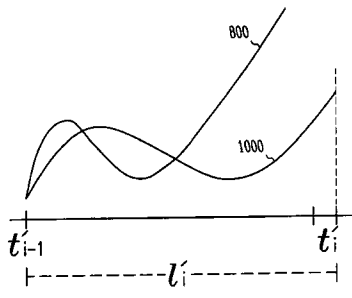
【図 8】



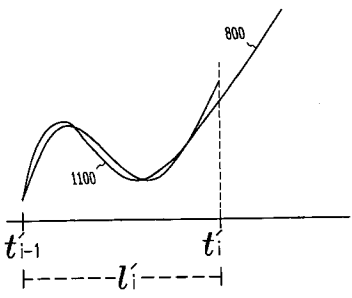
【図 9】



【図 1 0】



【図 1 1】



フロントページの続き

(72)発明者 サムエル ダブリュー・ピーターソン

アメリカ合衆国，ミネソタ州 5 5 1 0 4，セント ポール，モントローズ プレイス # 5 2
2 1

(72)発明者 シーチャンク ツァオ

アメリカ合衆国，ミネソタ州 5 5 3 4 3，ホプキンス，ケンブリッジ ストリート # 4 0 5
1 3 0 1

F ターム(参考) 4C093 CA23 DA01 FF42

5B057 AA09 CA08 CA13 CA16 CB06 CB13 CB16 CE05 CF05 CH08

CH20 DA07 DA16 DA17 DB03 DB09 DC07 DC16

5L096 AA06 AA09 BA06 EA06 EA13 EA22 FA12 FA13 GA59

【 外国語明細書 】

[TITLE OF THE INVENTION] COLON CHARACTERISTIC PATH REGISTRATION

[FIELD OF THE INVENTION]

TECHNICAL FIELD

This document relates generally to volumetric imaging of biological or like objects, and particularly, but not by way of limitation to systems and methods to accurately register multiple paths through a three-dimensional virtual object.

[DESCRIPTION OF THE PRIOR ART]

BACKGROUND

Early detection of polyps in a colon, which are typically considered precursors to cancer, can greatly increase a patient's chance of survival from colon cancer.

Regrettably, many patients are discouraged from obtaining conventional colonoscopies because of the discomfort and invasiveness of the procedure. A "virtual colonoscopy" avoids some of the invasiveness of a conventional colonoscopy and can increase the likelihood of early detection of colon cancer.

In general, a "virtual endoscopy" is performed with a "flythrough" of a computer generated three-dimensional image of an anatomical structure. These methods use computed tomographic (CT) scans and computer imaging software. Three-dimensional modeling has been used in a variety of clinical applications including virtual colonoscopies, virtual bronchoscopies, and virtual angioscopies. In a typical flythrough, a user can move a viewpoint through the reconstructed volumetric object, stopping at certain points to further analyze a suspicious formation on the inner wall of the anatomical model. Virtual colonoscopies have been shown to be effective at detecting small polyps. However, when only one scan is used, extraneous material may be present and cause interference.

Extraneous material such as stool and water can cause both false positives and false negatives. Because the texture and color of a 3D colon model are not represented, the presence of extraneous material makes identification of a polyp-shaped formation more difficult. These types of extraneous materials can obscure a true polyp, causing a false negative. Alternatively, the extraneous material could be mistaken for a polyp, in which case a practitioner may identify a pseudo-polyp and declare a false positive. Using

two scans, for example a prone and supine scan, can avoid these problems. Because extraneous materials often shift position between the prone and supine scans, a practitioner can use both scans to detect and differentiate between a true polyp and a pseudo-polyp. The practitioner may also be able to detect polyps that were previously obscured by material in one scan.

During a flythrough, a practitioner may choose to change views from one scan to the other to further analyze a portion of the interior of the virtual colon. After the view change, for the sake of efficiency, it would be ideal to place the practitioner's viewpoint at the same position in the colon. However, typically, the difference in shape and size of the colon between the prone and supine scans can be relatively large. This makes it difficult to manually determine the corresponding position between the scans.

Generally, registration is a method of determining a set of corresponding points between two or more scans. One method of registration is manual registration performed by the practitioner. Typically, the practitioner views the scans together and attempts to pick out characteristic anatomical landmarks to create a baseline correspondence. After this initial orientation, when a practitioner finds a suspicious formation, he can then orient himself in a corresponding scan using the baseline correspondence and page through adjacent images until he is near the same location. This method is tedious, inaccurate, and costly.

[DISCLOSURE OF THE INVENTION]

[THE PROBLEM TO BE SOLVED BY THE INVENTION]

SUMMARY

Automated registration of prone and supine colon scans is desirable. One approach would be to first determine similar features in the prone and supine data set. A feature is a local maximum or minimum value in any of the coordinate axes. This approach would use relatively stationary points along the medial axis path of the colon for both data sets as reference points. It then matches these points by stretching and/or shrinking of either the supine or prone path. In one example, this approach relies on the fact that the hepatic and splenic flexures are relatively fixed in location. Therefore, the data points that represent these flexures present features that can be used as reference points in the registration. After correlating the reference points between the supine and prone paths, a linear transformation is used to approximate the points on the paths.

However, this approach may fail when there are insufficient distinguishable features. Also, it usually requires a nearly full prone scan and a nearly full supine scan to allow proper feature matching and the accuracy, although much better than the case where there has been no registration, is still subject to errors that make navigation inefficient.

Because the colon flexes and shifts when a patient changes position, accurate registration is important when performing a virtual colonoscopy. Automated methods that use feature mapping are a natural progression from the manual methods of registration. However, dependence on features is unreliable when the features in an organ can shift and change shape so dramatically.

Another approach uses geometrical or morphological information to register multiple paths. In some approaches, geometric information, such as radius, circumference, or surface curvature related to the shape of the scanned object are used as factors when measuring the relative correspondence between paths. In one approach, a function that uses an average radius about a centerline point is used with dynamic programming to correlate paths. However, to determine the radius around a given point in a path, in some examples, the process must consider volumetric data. In general, processing volumetric data is highly computational. By not requiring the use of volumetric data, the present method achieves higher computational efficiency.

This document describes, among other things, systems and methods for efficiently calculating a registration of multiple characteristic paths of a virtual three-dimensional object. In one example, a first and second path are received as input. Each path of discrete points is transformed into a piecewise linear parameterization as a function of path length. The paths are smoothed and normalized. The shorter path is partitioned into a number of discrete subintervals. As an initial configuration, the shorter path is mapped directly to a portion of the longer path. A cost function is defined, where the cost function contains an error term and a spring term. The error term is a function of a position difference and a slope difference in the x, y, and z planes between corresponding subintervals. The spring term is a function of the ration of lengths between the corresponding subintervals. The subintervals of the shorter path are mapped to corresponding warped intervals along the longer path using a minimization function that

minimizes the cost function resulting in a locally optimal registration. The shorter path is incrementally positioned along the longer path and the minimization is attempted at each position. When the shorter path cannot be shifted any farther, the globally optimal registration is returned.

This summary is intended to provide an overview of certain subject matter of the present patent application. It is not intended to provide an exclusive or exhaustive explanation of the invention. The detailed description is included to provide further information about the subject matter of the present patent application.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

DETAILED DESCRIPTION

In the following detailed description, reference is made to the accompanying drawings which form a part hereof, and in which is shown by way of illustration specific embodiments in which the invention may be practiced. These embodiments are described in sufficient detail to enable those skilled in the art to practice the invention, and it is to be understood that the embodiments may be combined, or that other embodiments may be utilized and that structural, logical and electrical changes may be made without departing from the scope of the present invention. The following detailed description is, therefore, not to be taken in a limiting sense, and the scope of the present invention is defined by the appended claims and their equivalents. In this document, the terms “a” or “an” are used, as is common in patent documents, to include one or more than one. In this document, the term “or” is used to refer to a nonexclusive or, unless otherwise indicated. Furthermore, all publications, patents, and patent documents referred to in this document are incorporated by reference herein in their entirety, as though individually incorporated by reference. In the event of inconsistent usages between this documents and those documents so incorporated by reference, the usage in the incorporated reference(s) should be considered supplementary to that of this document; for irreconcilable inconsistencies, the usage in this document controls.

Some portions of the following detailed description are presented in terms of algorithms and symbolic representations of operations on data bits within a computer memory. These algorithmic descriptions and representations are the ways used by those skilled in the data processing arts to most effectively convey the substance of their work to others skilled in the art. An algorithm includes a self-consistent sequence of steps leading to a desired result. The steps are those requiring physical manipulations of physical quantities. Usually, though not necessarily, these quantities take the form of electrical or magnetic signals capable of being stored, transferred, combined, compared, and otherwise manipulated. It has proven convenient at times, principally for reasons of common usage, to refer to these signals as bits, values, elements, symbols, characters, terms, numbers, or the like. It should be borne in mind, however, that all of these and similar terms are to be associated with the appropriate physical quantities and are merely convenient labels applied to these quantities. Unless specifically stated otherwise as

apparent from the following discussions, terms such as “processing” or “computing” or “calculating” or “determining” or “displaying” or the like, refer to the action and processes of a computer system, or similar computing device, that manipulates and transforms data represented as physical (e.g., electronic) quantities within the computer system’s registers and memories into other data similarly represented as physical quantities within the computer system memories or registers or other such information storage, transmission or display devices.

Introduction

The present inventors have recognized that relying on features or morphological data to register multiple paths will often be inefficient, error-prone, and restrictive. Among other things, this document describes an accurate way to determine a registration of multiple paths without requiring identification of features or reliance on morphological data. Examples of a path include, without limitation, centerline paths or characteristic paths. A characteristic path may not provide complete centricity of the object and, therefore, does not necessarily constitute a centerline. Nevertheless, a characteristic path will typically be sufficiently representative of the object to permit registering a prone scan of the object to a supine scan of the object.

FIG. 1 illustrates an example of a system that may use this characteristic path data. In this example, a patient 100 is scanned by a typical medical imaging scanner 102. Examples of a medical imaging scanner 102 include, without limitation, a CT scanner and a magnetic resonance imaging (MRI) scanner. The scanner 102 is typically connected to a storage system 106, such as by a data pathway 104. The data pathway 104 is typically a local area network (LAN) and the storage system 106 is typically an image server. In this example, the storage system 106 is connected to one or more image processing stations 110A, 110B, 110C, ..., 110N, by a second data pathway 108, which is typically a LAN.

FIG. 2 illustrates a typical image processing station 110. In this example, the image processing station 110 includes one or more input devices 410, such as a mouse 200 and a keyboard 202, one or more output devices 412, such as a display 204 and a printer 206, and a control unit 208, which may include a processor, a local memory, and

additional hardware to control communication between internal and external devices. The image processing station computes a segmentation using the images stored at the storage system 106. The segmentation separates the data representing an object of interest (e.g., a colon) from other nearby objects represented in the data, such as by using image intensity or other information to make such distinctions. A user can use an image processing station 110 to perform a method that includes generating a characteristic path using the segmentation. Multiple characteristic paths can be generated, such as a characteristic path of a colon for a prone patient, and a characteristic path of a colon for a supine patient. Automatic registration between multiple characteristic paths is described below.

FIG. 3 illustrates a monitor 204 displaying two virtual 3D objects concurrently. In this example, each 3D virtual object is a representation of a different scan, such as a supine scan and a prone scan. For example, in a virtual colonoscopy, it is often desirable to take prone and supine scans of the colon, since residual stool content may shift between prone and supine scans making one or the other of the scans more desirable to the diagnostician. However, registering the prone and supine scans is helpful in order to translate between the same location in the prone scan to the same location in the supine scan. The diagnostician may desire to switch between prone and supine scans, such as during virtual flythrough of a colon. Alternatively, during a virtual colon flythrough, as the user maneuvers the point of view through the object's virtual interior in one view 300 (e.g., prone), the other view 302 (e.g., supine) can concurrently track using the provided registration.

Examples

FIG. 4 illustrates portions of a system 110 that is capable of efficient registration of multiple paths independent of features. In this example, a processor 400 is connected to interact with a memory 402. A wide array of possible processor and memory combinations are available. Processors 400 may include commercial units (e.g. Pentium, Motorola 68000 series, PowerPC) or specialized units made for use in specific applications. The memory 402 can include any memory, such as solid-state, magnetic, or

optical media.

A user-interface **408** is typically connected to the processor-memory combination **406**. This user-interface **408** typically includes an input device **410** and an output device **412**. The input device **410** can be one or more of a keyboard, a mouse, a touchpad, a microphone, a sensing device, a monitoring device, or any other type of device that allows a computer to receive commands and input data from a user. The output device **412** can include such things as a monitor, a printer, a speaker, or any other type of device that allows a system to represent resultant data to the user.

In one example, a user can input a command with an input device **410** that includes two characteristic paths, typically indicative of a prone scan and a supine scan, respectively. The paths are then used by the processor-memory combination **406** to determine a mapping (i.e., registration) between like points on the multiple paths.

First, the paths are parameterized, smoothed, and partitioned by the Path Preparation module **414**. Then, the input parameters for the error minimization function are configured in the Prep Input module **416**. Finally, the Registration module **418** determines an optimal solution by minimizing a cost (e.g., energy) function. Then, in one example, the results are displayed on the output device **412** for the user.

Receiving Input

FIG. 5 is a flowchart illustrating an example of a method **500** for registering two characteristic paths. At **501**, the first step is to read the input. In this example, the input will include two characteristic paths, representing a prone and supine path. Each path is described by a sequence of points in 3D space defining a piece-wise linear space curve. A characteristic path can be represented by a sequence of line segments, such that $C = (C_0, C_1, \dots, C_n)$, where C_i is an (x, y, z) coordinate triplet. Here, the multiple paths can be represented as $C_a = (C_{a0}, C_{a1}, \dots, C_{an})$ and $C_b = (C_{b0}, C_{b1}, \dots, C_{bm})$ (e.g., prone and supine characteristic paths) with $\|C_a\| \leq \|C_b\|$ (where $\|C\|$ is the length of C), since one path can be shorter or longer than the other due to stretching or shrinking of a colon as the patient changes from prone to supine position or vice-versa.

In this example, the system 110 is initialized to recognize the paths as representing colon scans, and the only input is the paths. However, in other examples, additional or other parameters may be available to control the operation of the method. In this example, it is assumed that the paths are not smoothed and are generally aligned with each other (e.g., both paths represent the rectum and cecum in the same orientation). If the paths are not generally aligned, then a pre-processing routine can be used to orient the paths to each other. Also in this example, it is assumed that $C_a \subseteq C_b$ (the domain of C_a is approximately a subset of the domain of C_b). In other examples, significant portions of C_a may not map onto C_b , in which case, techniques that truncate either the head or tail of C_a in an attempt to get a best fit at either the head or the tail of C_b may be used.

Parameterization of the Paths

At 502, the sequence of characteristic path points are parameterized. In this example, each characteristic path is defined by a set of points in 3D space. Parameterization is the process to convert this discrete representation to a representative mathematical function. In this example, given a sequence of signal samples $C = (C_0, C_1, \dots, C_n)$, the function $c(t)$ (the piecewise linear parameterization of C as a function of characteristic path length) can be defined as the points

$$\begin{aligned} c(0) &= C_0 \\ c(\|C_1 - C_0\|) &= C_1 \\ c(\|C_1 - C_0\| + \|C_2 - C_1\|) &= C_2 \\ &\dots \\ &\dots \\ c(\|C\|) &= C_n, \text{ where } \|C\| = \sum_{i=1}^n \|C_i - C_{i-1}\| \end{aligned}$$

and linearly interpolating at all values in between. Applying this to the input sequences C_a and C_b results in the parameterized signals $c_a(t)$ and $c_b(t)$.

Smoothing the Paths

At 503, the noise is filtered out and the parameterized signal is smoothed.

Generally, smoothed paths are preferred in this example to produce more meaningful slope values, which are used as a factor when determining correspondence during the registration. In certain examples, the signal is smoothed using a Gaussian model defined by the parameter σ . Let $\delta = \min(\sigma, \min(C))$, where $\min(C)$ denotes the minimum non-zero line segment in C (the input signal points). A one-dimensional discrete Gaussian kernel $G_{\bar{\sigma}}$ is computed, whose standard deviation is given by $\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\delta}$ and whose radius = $\lceil 3\bar{\sigma} \rceil$, as well as a new sequence of signal points

$C_{\delta} = (c(0), c(\delta), c(2\delta), c(3\delta), \dots, c(\lceil C \rceil))$. By convolution, a smoothed sequence of signal

samples $\tilde{C} = G_{\bar{\sigma}} * C_{\delta}$ is generated, and thus a smoothed parameterization $\tilde{c}(t)$.

Applying the smoothing function results in the smoothed signals $\tilde{c}_a(t)$ and $\tilde{c}_b(t)$.

Normalization of the Paths

At 504, the paths are normalized. In this example, the shorter of the two paths, C_a , is scaled to a unit measure and defined over the interval $[0,1]$ such that

$\bar{c}_a(t) = \frac{c_a(t \cdot \|C_a\|)}{\|C_a\|}$. The longer path, C_b , is scaled and defined over the interval $[0, \frac{\|C_b\|}{\|C_a\|}]$

such that $\bar{c}_b(t) = \frac{c_b(t \cdot \|C_a\|)}{\|C_a\|}$. Then, because it is possible for the signals to be slightly

offset in position at their start and/or end, the domain of \bar{c}_b is extended to be the entire real line by defining $\bar{c}_b(t) = \tilde{c}_b(0)$ for $t < 0$ and $\bar{c}_b(t) = \tilde{c}_b(\frac{\|C_b\|}{\|C_a\|})$ for $t > \frac{\|C_b\|}{\|C_a\|}$. At this point in the process, $\bar{c}_a(t)$ and $\bar{c}_b(t)$ are smoothed, normalized representations of the paths C_a and C_b . In this example, to simplify the notation, $c_a(t)$ will hereafter represent the smoothed, normalized signal $\bar{c}_a(t)$ and $c_b(t)$ will hereafter represent the smoothed signal $\bar{c}_b(t)$.

Partitioning the Paths

At 505, the shorter path is partitioned into a number of samples, which will be individually compared to portions of the longer path in an attempt to find a correspondence. Here, the interval that defines c_a is partitioned into subintervals and can be defined as a sequence of strictly increasing endpoints, the partition $P = (t_0 = 0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k = 1)$. In this example, an arbitrary number of fifteen discrete subintervals of equal size is used. Other examples may use more or fewer subintervals to provide for a registration. Still other examples may use individual x , y , and z relative maxima and minima along the paths to define the partition. In yet another example, points of maximum and/or minimum curvature along the centerline are used to choose the endpoints of the initial partition. One advantage of using equally sized subintervals is that registration can be performed independent of specific path behaviors or features.

The registration will define a correspondence between the fixed partition $P = (t_0 = 0, t_1, \dots, t_{k-1}, t_k = 1)$ and the warped partition $P' = (t'_0, t'_1, \dots, t'_k) \subset R$, which is a sub-partition of the domain of c_b . This correspondence induces a warping of c_b defined by $c_b(w(t))$, where $w(t)$ is a warping function, defined by $w(t) = t'_{i-1} + \phi_i(t - t_{i-1})$, with i chosen such that $t_{i-1} \leq t < t_i$. In this example, ϕ is the ratio of the length of the warped sub-interval to the original sub-interval.

When determining the correspondence from P to P' , to properly reflect the way portions of a colon may stretch or shrink independently from each other, any change to a value of t'_i should not affect the length of any segment that occurs later in the sequence. FIG. 6 is an illustration of an initial set of endpoints that define a portion of a path 600, a second set of endpoints 610, where the value t_2 has been reduced from its initial value, and a third set of endpoints 620, where the value t_2 has been increased from its initial value. In 610, by decreasing t_2 , the interval $[t_1, t_2]$ has been properly reduced, however, the interval $[t_2, t_3]$ has been improperly increased as a result. Similarly, in 620, by increasing t_2 , the interval $[t_1, t_2]$ has been properly increased, however, the interval $[t_2, t_3]$ has been improperly decreased. One solution, as used in this example, is to represent the paths by a starting point and a set of length values instead of endpoint values. Thus, let

$l'_0 = t'_0$, (the starting point of the sub-partition P'), and then $l'_i = t'_i - t'_{i-1}$, $i \in \{1, 2, \dots, k\}$.

FIG. 7 is an illustration of a set of endpoints that define a portion of a path 700, the same portion of the path composed of a corresponding initial set of length values 710, an adjusted path 720, where the value l'_2 has been reduced from its initial value, and another adjusted path 730, where the value of l'_2 has been increased from its initial value. By representing the paths in this manner, increasing or decreasing a length value l'_i will not affect any subsequent length value. However, any change in l'_i will alter the overall length of the path. Using this representation should accurately reflect the behavior of the colon when portions stretch or shrink.

Configure “Energy” Function Variables

At 506, the initial solution for the error minimization function is configured. First, in this example, the assumption is that no stretching or shrinking of the colon has occurred, thus, initially the warped path is mapped directly to the short path such that $l'_1 = l_1, \dots, l'_k = l_k$. Also, because there is an assumption that there is no shift in the location of the rectum, $l_0 = t'_0 = t_0 = 0$.

Find Optimal Correspondence

At 507, an optimal correspondence between the fixed partition P and the warped partition P' is found. In this example, the correspondence is measured using an energy function, E , which represents the cost associated with any error in a proposed correspondence between two subintervals. In certain examples, the energy function has two parts: an error term, e , and a spring term, s , and is computed over all subintervals across the two paths.

The energy function is calculated at each interval along P' such that

$$E(P') = (E_0(P'), E_1(P'), \dots, E_k(P')), \text{ where } E_0(P') = \sum_{i=1}^k e_i \text{ and}$$

$$E_j(P') = (1 - t_{j-1}) \cdot s(\phi_j) + \sum_{i=j}^k e_i \text{ for } j \geq 1. \text{ Here, } \phi_j = \frac{t'_j - t'_{j-1}}{t_j - t_{j-1}} = \frac{l'_j}{l_j}, \text{ representing the ratio}$$

of the length of the warped sub-interval to that of the original sub-interval. The energy

function of the 0th location does not include the spring term, $s(\phi_j)$. The spring term characterizes a penalty for any stretching or shrinking of the path and generally helps ensure that the path is well-formed. In the energy function, the term $(1 - t_{j-1})$ scales the spring term to the same magnitude as the sum of the error terms.

The spring term is defined as a function of ϕ , the ratio of the length of the warped sub-interval to the original sub-interval.

$$s(\phi) = \begin{cases} \omega_3 \cdot [\csc(\max(\varepsilon, \frac{\pi\phi}{2})) - 1] & \phi \leq 1 \\ \omega_3 \cdot [\csc(\max(\varepsilon, \frac{\pi}{2\phi})) - 1] & \phi > 1 \end{cases}$$

Notice that the function is both continuous and differentiable at all $\phi \geq \frac{2\varepsilon}{\pi}$. Also, the function is reciprocally symmetric such that $s(\phi) = s(\frac{1}{\phi})$. In other words, the spring energy resulting from shrinking an interval by a factor of $\frac{1}{\phi}$ is equivalent to the spring energy resulting from stretching an interval by a factor of ϕ .

The error term, e , is composed of two primary components: the difference in x , y , and z positions and the difference in the x , y , and z slopes of each corresponding subinterval. The error term, e_i , is thus defined as:

$$e_i = \omega_1 (\Delta_{ix} + \Delta_{iy} + \Delta_{iz}) + t_1 \max(0, -t'_0) + (1 - t_{k-1}) \max(0, t'_k - \frac{\|c_b\|}{\|c_a\|}) + \omega_2 (\Delta'_{ix} + \Delta'_{iy} + \Delta'_{iz})$$

The first term in the error represents the position difference between the values of the two path components. It is computed by integrating the difference between $c_a(t)$ and $c_b(w(t))$ (c_b after the warping) within each subinterval of the partitions with respect to each component:

$$\Delta_{ix} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |c_a(t)_x - c_b(w(t))_x| dt \quad (\Delta_{iy} \text{ and } \Delta_{iz} \text{ are similar})$$

The warping function, $w(t)$, defines a piecewise linear transformation between $c_a(t)$ and $c_b(t)$. As discussed above, the uniform warping between the corresponding intervals $w_i : [t_{i-1}, t_i] \rightarrow [t'_{i-1}, t'_i]$ can be defined by $w_i(t) = t'_{i-1} + \phi_i(t - t_{i-1})$. Its derivative is simply $\frac{d}{dt}(w_i(t)) = \phi_i$.

The second and third terms, $\max(0, -t'_0)$ and $(1 - t_{k-1}) \max(0, t'_k - \frac{\|c_b\|}{\|c_a\|})$, are penalty terms for attempted matches that “run off” either end.

The last term measures the differences between the shapes of the two path components by comparing their derivatives after the warp. It is computed by integrating the difference between $\frac{d}{dt}(c_a(t))$ and $\frac{d}{dt}(c_b(w(t)))$ (derivative of c_b after the warping) within each subinterval of the paths with respect to each component:

$$\Delta'_{ix} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left| \frac{d}{dt}(c_a(t))_x - \frac{d}{dt}(c_b(w(t)))_x \right| dt = \int_{t_{i-1}}^{t_i} |c'_a(t)_x - \phi_i \cdot c'_b(w(t))_x| dt$$

(Δ'_{iy} and Δ'_{iz} are similar)

The terms in the energy function are weighted using the variables ω_1, ω_2 , and ω_3 . In this example, these variables are assigned $\omega_1 = 1.0$, $\omega_2 = 0.1$, and $\omega_3 = 0.0004$. In other examples, different weights may be necessary to obtain the best results.

In this example, all three coordinates are used when analyzing the differences in position and slope. Other examples may only examine one or two coordinates in the error function. Also, in this example, each coordinate is weighted equally in the error term. Other examples may weigh coordinates differently based on some preference. Also, this example assumes that a subinterval does not stretch or shrink unevenly.

Once the energy function is defined and the initial values are configured, a minimization function is used to determine the local minimum. In this example, the Levenberg-Marquardt technique is used to search for the minimum energy cost in the energy function E , starting at the point t'_0 and using the length values $(l'_1 = l_1, \dots, l'_k = l_k)$. In other examples, other minimization methods could be used, such as the Gauss-Newton

method. The result of applying Levenberg-Marquardt is a locally optimal sequence of lengths and an associated set of error values.

FIG. 8 illustrates an initial alignment of a subinterval of a fixed path **800** and a warped path **802** over the interval $[t'_{i-1}, t'_i]$ with length l'_i . The Levenberg-Marquardt technique attempts various solutions that shrink the warped path **900**, as illustrated in **FIG. 9**, and stretch the warped path **1000**, as illustrated in **FIG. 10**, in an effort to find an optimal solution. Referring to **FIG. 9**, the shrunken warped path **900** is dramatically misaligned with the fixed path **800**. In this example, this is not an optimal solution. Referring to **FIG. 10**, the stretched warped path **1000** is similarly misaligned with the fixed path **800** and does not provide an optimal solution. **FIG. 11** illustrates a possible optimal solution, where the warped path **1100** is appropriately aligned with the fixed path **800**. In this example, the Levenberg-Marquardt technique attempts to optimize every subinterval concurrently as generally illustrated in **FIGS. 8-11**.

At **508**, the current set of optimal error values is compared to any previously stored set of error values. If it is determined that the current set is more optimal, then it is stored and any previous results are discarded.

When c_a is a subset of c_b , then by calculating the correspondence using various seed values for t'_0 ranging from 0 to $\frac{|c_b|}{|c_a|} - 1$, the best overall solution is the most likely match. At **509**, if possible, the minimization function is run again with a shifted start value t'_0 . The shifting can be done using the length of the shorter path as a factor, using the length of the longer path as a factor, using an arbitrary value or percentage, or by other methods. In this example, c_a is shifted along c_b a distance of $\frac{1}{4}$ the length of c_a by setting $t'_0 = t'_0 + \frac{\|c_a\|}{4}$. If c_a cannot be shifted without extending past the end of c_b ,

then the set of values corresponding to the lowest error is returned as the best registration. Otherwise, the correspondence measurement **507** is performed again with the new start value t'_0 . If the newly computed error values are better than those stored, then they will replace the stored values. To find the best solution, shifting and recalculation is performed as long as c_a can be shifted along c_b .

At 510, the optimal match is returned from the method. In this example, a start point t'_0 and a sequence of length values $(l'_1, l'_2, \dots, l'_k)$ are returned representing the best match, or registration, between c_a and c_b .

It is to be understood that the above description is intended to be illustrative, and not restrictive. For example, the above-described embodiments (and/or aspects thereof) may be used in combination with each other. Many other embodiments will be apparent to those of skill in the art upon reviewing the above description. The scope of the invention should, therefore, be determined with reference to the appended claims, along with the full scope of equivalents to which such claims are entitled. In the appended claims, the terms “including” and “in which” are used as the plain-English equivalents of the respective terms “comprising” and “wherein.” Also, in the following claims, the terms “including” and “comprising” are open-ended, that is, a system, device, article, or process that includes elements in addition to those listed after such a term in a claim are still deemed to fall within the scope of that claim. Moreover, in the following claims, the terms “first,” “second,” and “third,” etc. are used merely as labels, and are not intended to impose numerical requirements on their objects.

The Abstract of the Disclosure is provided to comply with 37 C.F.R. §1.72(b), requiring an abstract that will allow the reader to quickly ascertain the nature of the technical disclosure. It is submitted with the understanding that it will not be used to interpret or limit the scope or meaning of the claims. In addition, in the foregoing Detailed Description, various features may be grouped together to streamline the disclosure. This method of disclosure is not to be interpreted as reflecting an intention that the claimed embodiments require more features than are expressly recited in each claim. Rather, as the following claims reflect, inventive subject matter may lie in less than all features of a single disclosed embodiment. Thus the following claims are hereby incorporated into the Detailed Description, with each claim standing on its own as a separate embodiment.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In the drawings, which are not necessarily drawn to scale, like numerals describe substantially similar components throughout the several views. Like numerals having different letter suffixes represent different instances of substantially similar components. The drawings illustrate generally, by way of example, but not by way of limitation, various embodiments discussed in the present document.

FIG. 1 is a schematic view of a medical scanner, an image storage device, and one or more image processing stations.

FIG. 2 is a schematic view of an exemplary image processing station.

FIG. 3 is a detailed view of a display screen.

FIG. 4 is a schematic view of a system used to register multiple characteristic paths.

FIG. 5 is a flowchart illustrating generally the process of determining the registration between two characteristic paths.

FIG. 6 is a schematic view of several exemplary paths represented by endpoints.

FIG. 7 is a schematic view of several exemplary paths represented by endpoints and lengths.

FIG. 8 is a graph of a fixed path and a warped path in an initial position.

FIG. 9 is a graph of a fixed path and a reduced warped path in a sub-optimal position.

FIG. 10 is a graph of a fixed path and a stretched warped path in a sub-optimal position.

FIG. 11 is a graph of a fixed path and a reduced warped path in an optimal position.

What is claimed is:

1. A computer-assisted method of registering multiple paths, the method comprising:
receiving a first and a second path;
parameterizing the first and second paths; and
measuring a correspondence between the first and second paths by minimizing an energy function, wherein the energy function includes an error term and a spring term, wherein the error term is a function of one or more of a position difference, a first derivative, and a second derivative of corresponding discrete subintervals in the first and second paths, and wherein the spring term is a function of the lengths of corresponding discrete subintervals in the first and second paths.
2. The method of claim 1, comprising smoothing the first and second paths.
3. The method of claim 2, wherein the smoothing comprises applying a Gaussian kernel along the first and second paths.
4. The method of claim 1, comprising returning data that represents a correspondence between the first and second paths.
5. The method of claim 4, wherein the data includes a beginning point and a series of adjusted length values.
6. The method of claim 5, wherein the data includes a set of error values that correspond to corresponding length values.
7. The method of claim 1, wherein the parameterizing comprises:
defining each path as a function with respect to the length of the path;
normalizing the paths; and
partitioning the paths.

8. The method of claim 7, wherein the normalizing the paths comprises:
 - determining a shorter path and a longer path;
 - normalizing the shorter path to a unit value; and
 - scaling the longer path with respect to the shorter path.
9. The method of claim 7, wherein the partitioning the paths comprises dividing the shorter path into a set of discrete subintervals, wherein each subinterval has a length value.
10. The method of claim 9, wherein dividing the shorter path, the shorter path is divided into equally sized subintervals.
11. The method of claim 9, wherein dividing the shorter path, the path is divided based on a relative maxima or minima value along the path.
12. The method of claim 9, wherein dividing the shorter path, the shorter path is divided based on a maxima or minima curvature along the path.
13. The method of claim 1, wherein the measuring the correspondence comprises:
 - initializing one or more parameters to the energy function;
 - minimizing the energy function to calculate a local optimal correspondence;
 - determining if the local optimal correspondence is more optimal than a global optimal correspondence; and
 - saving the local optimal correspondence if the local optimal correspondence is more optimal than the global optimal correspondence.
14. The method of claim 13, wherein the initializing the one or more parameters comprises:
 - defining a start point value, wherein the start point value is a point on the longer path; and

defining a set of one or more initial length values that map to a partitioned shorter path.

15. The method of claim 13, wherein minimizing the energy function comprises using a minimization function to search for a local minimum in the energy function.

16. The method of claim 15, wherein the minimization function is Levenberg-Marquardt.

17. The method of claim 13, comprising:

- adjusting the one or more parameters to the energy function;
- determining if the minimization can be applied again; and
- if the minimization can be applied again, then applying the energy function to calculate a new local optimal correspondence; and
- storing the new local optimal correspondence if it is more optimal than the global optimal correspondence.

18. The method of claim 13, wherein the adjusting the one or more parameters comprises:

- determining a current start point value, wherein the current start point value is a point on the longer path;
- determining a new start point value, wherein the new start point value is a different point on the longer path than the current start point value; and
- using the new start point value in the one or more parameters to the energy function.

19. The method of claim 18, wherein determining a new start point value comprises adding a portion of a length of the shorter path to the current start point value.

20. The method of claim 1, wherein the function of lengths is a ratio of the lengths.

21. The method of claim 1, comprising using one or more weight values corresponding with the error term or the spring term.

22. A computer-readable medium including instructions that, when performed by a computer, register multiple paths by:

receiving a first and a second path;

parameterizing the first and second paths; and

measuring a correspondence between the first and second paths by minimizing an energy function, wherein the energy function includes an error term and a spring term, wherein the error term is a function of one or more of a position difference, a first derivative, and a second derivative of corresponding discrete subintervals in the first and second paths, and wherein the spring term is a function of the lengths of corresponding discrete subintervals in the first and second paths.

23. The computer-readable medium of claim 22, comprising instructions for smoothing the first and second paths by applying a Gaussian kernel along the paths.

24. The computer-readable medium of claim 22, comprising instructions for returning a data that represents a correspondence, wherein the data includes a beginning point and a series of adjusted length values, and wherein the data includes a set of error values that correspond to each length value.

25. The computer-readable medium of claim 22, wherein the instructions for parameterizing comprises instructions for:

defining each path as a function with respect to the length of the path;

normalizing the paths; and

partitioning the paths.

26. The computer-readable medium of claim 25, wherein the normalizing the paths comprises instructions for:

determining a shorter path and a longer path;

normalizing the shorter path to a unit value; and
scaling the longer path with respect to the shorter path.

27. The computer-readable medium of claim 26, wherein the partitioning the paths comprises instructions for dividing the shorter path into a set of discrete subintervals, wherein each subinterval has a length value.

28. The computer-readable medium of claim 22, wherein the measuring the correspondence comprises instructions for:

initializing a set of one or more parameters to the energy function;
minimizing the energy function to calculate a local optimal correspondence;
determining if the local optimal correspondence is a global optimal
correspondence; and
saving the local optimal correspondence if it is more optimal than the global
optimal correspondence.

29. The computer-readable medium of claim 28, wherein the initializing the set of parameters comprises:

defining a start point value, wherein the start point value is a point on the longer
path; and
defining a set of one or more initial length values that map to a partitioned shorter
path.

30. The computer-readable medium of claim 28, wherein minimizing the energy function comprises using a minimization function to search for a local minimum in the energy
function.

31. The computer-readable medium of claim 28, comprising:

adjusting the set of parameters to the energy function;
determining if the minimization can be applied again; and

if the minimization can be applied again, then applying the energy function to calculate a new local optimal correspondence; and
storing the new local optimal correspondence if it is preferable to the global optimal correspondence.

32. The computer-readable medium of claim 31, wherein the adjusting the set of parameters comprises:

determining a current start point value, wherein the current start point value is a point on the longer path;

determining a new start point value, wherein the new start point value is a different point on the longer path than the current start point value; and

using the new start point value in the set of parameters to the energy function.

33. The computer-readable medium of claim 22, comprising instructions for using one or more weight values corresponding with the error term or the spring term.

34. An apparatus for calculating an optimal correspondence between multiple characteristic paths comprising:

a processor, operable to perform registration of multiple characteristic paths, wherein the registration uses a minimization function to find a minimum cost of an energy function, wherein the energy function includes an error term and a spring term, wherein the error term is a function of one or more of a position difference, a first derivative, and a second derivative of corresponding discrete subintervals in the first and second paths, and wherein the spring term is a function of the lengths of corresponding discrete subintervals in the first and second paths;

a memory, coupled to the processor, the memory operable for storing data; and

a user-interface that permits a user to store and retrieve information from the memory using the processor.

35. The apparatus of claim 34, wherein the processor computes one or more registrations by utilizing the energy function with varying initial parameters and determines an optimal registration from the one or more registrations.

36. The apparatus of claim 34, wherein the processor uses the memory to provide a registration to the user-interface.

37. A computer-assisted method of registering multiple paths, the method comprising:
receiving a first and second path;
parameterizing the first and second paths; and
measuring a correspondence between the first and second paths by minimizing an energy function, wherein the energy function is defined without reference to one or more features that define a hepatic or a splenic flexure.

38. The method of claim 37, wherein the energy function includes an error term and a spring term, wherein the error term is a function of one or more of a position difference, a first derivative, and a second derivative of corresponding discrete subintervals in the first and second paths, and wherein the spring term is a function of the lengths of corresponding discrete subintervals in the first and second paths.

39. A computer-assisted method of registering multiple paths, the method comprising:
receiving a first and second path;
parameterizing the first and second paths; and
measuring a correspondence between the first and second paths by minimizing an energy function, wherein the energy function is defined without reference to one or more geometric terms describing a virtual volumetric object, wherein the geometric terms include a radius, a circumference, or a surface curvature of the virtual volumetric object.

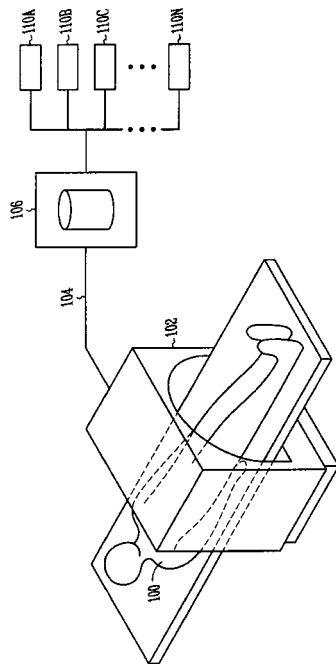
40. The method of claim 39, wherein the energy function includes an error term and a spring term, wherein the error term is a function of one or more of a position difference, a first derivative, and a second derivative of corresponding discrete subintervals in the first and second paths, and wherein the spring term is a function of the lengths of corresponding discrete subintervals in the first and second paths.

ABSTRACT

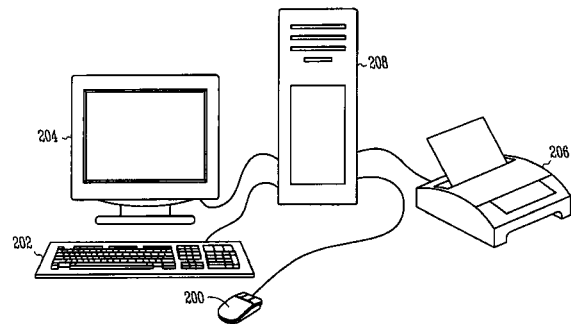
This document discusses, among other things, systems and methods for efficiently calculating a registration of multiple characteristic paths of a virtual three-dimensional object. Each path of discrete points is transformed into a piecewise linear parameterization as a function of path length. The paths are smoothed and normalized. The shorter path is partitioned into a number of discrete subintervals. The subintervals are mapped to the longer path using a minimization function that minimizes a cost function resulting in a locally optimal registration. The shorter path is incrementally positioned along the longer path and the minimization is attempted at each position. When the shorter path cannot be shifted any farther, the globally optimal registration is returned.

[SELECTED FIGURE] FIG. 5

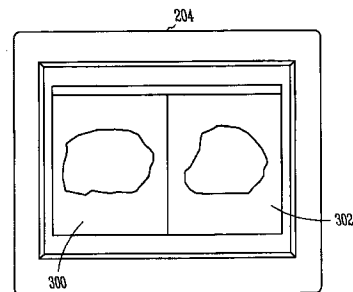
【 図 1 】



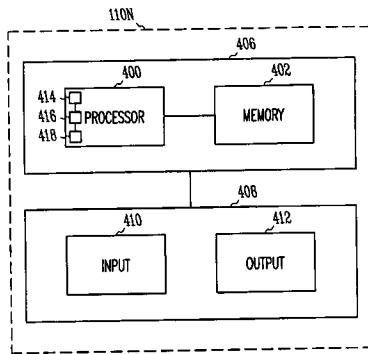
【 図 2 】



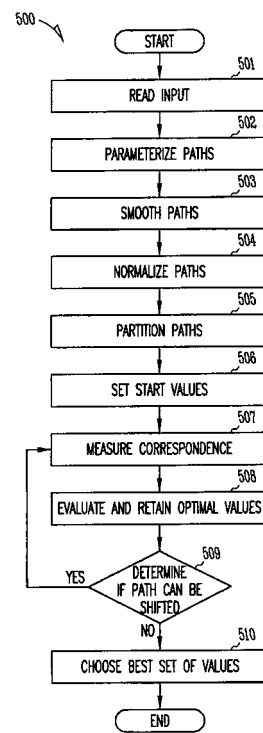
【 図 3 】



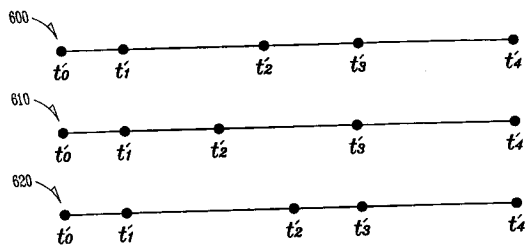
【 図 4 】



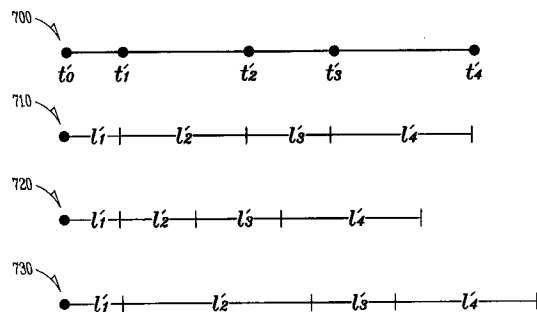
【 図 5 】



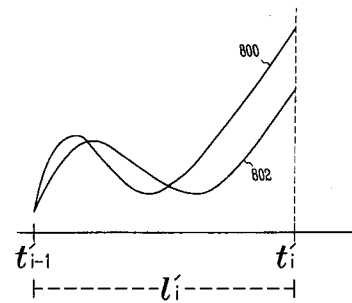
【 図 6 】



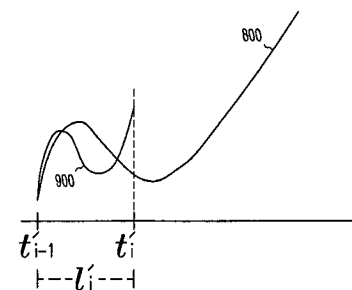
【 図 7 】



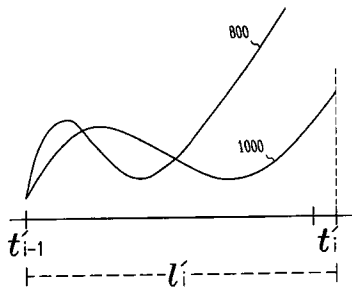
【 図 8 】



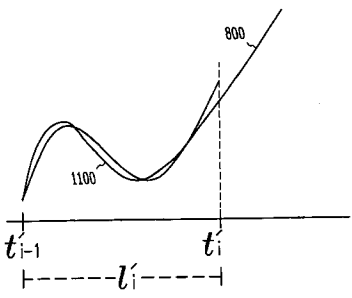
【 図 9 】



【図 1 0】



【図 1 1】



专利名称(译)	结肠特征路径的排列		
公开(公告)号	JP2007167629A	公开(公告)日	2007-07-05
申请号	JP2006314315	申请日	2006-11-21
[标]申请(专利权)人(译)	重要的影像		
申请(专利权)人(译)	重要的影像，油墨.		
[标]发明人	マレックブレール サムエルダブリューピーターソン シーチャンクツアオ		
发明人	マレック ブレール サムエル ダブリュー.ピーターソン シーチャンク ツアオ		
IPC分类号	A61B6/03 G06T7/60 G06T1/00		
CPC分类号	A61B5/4255 A61B5/055 A61B5/415 A61B5/416 A61B6/03 G06T7/30 G06T2207/30028		
FI分类号	A61B6/03.360.G G06T7/60.250.C G06T1/00.290.B G06T7/00.612 G06T7/13 G06T7/149		
F-TERM分类号	4C093/CA23 4C093/DA01 4C093/FF42 5B057/AA09 5B057/CA08 5B057/CA13 5B057/CA16 5B057/CB06 5B057/CB13 5B057/CB16 5B057/CE05 5B057/CF05 5B057/CH08 5B057/CH20 5B057/DA07 5B057/DA16 5B057/DA17 5B057/DB03 5B057/DB09 5B057/DC07 5B057/DC16 5L096/AA06 5L096/AA09 5L096/BA06 5L096/EA06 5L096/EA13 5L096/EA22 5L096/FA12 5L096/FA13 5L096/GA59		
优先权	11/287161 2005-11-23 US		
其他公开文献	JP5497977B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种系统和方法，用于在使用CT扫描仪的虚拟内窥镜检查方法中有效地计算虚拟三维物体的多个特征路径的对准。单个点的每个路径都将根据路径长度转换为每一边的线性参数。路径被平滑和标准化。较短的路径分为许多单独的细分。使用最小化函数将细分映射到更长的路径，该最小化函数将成本函数最小化以获得次优配准。路径越短，路径越短，路径越长，并在每个点尝试优化。当短路径无法再移动时，将返回全局最佳对齐方式。[选型图]图1

