

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5268257号
(P5268257)

(45) 発行日 平成25年8月21日(2013.8.21)

(24) 登録日 平成25年5月17日(2013.5.17)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 1/00 (2006.01)

A 6 1 B 1/00 3 0 0 D

A 6 1 B 1/00 3 0 0 Y

請求項の数 18 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-546264 (P2006-546264)	(73) 特許権者	504243970
(86) (22) 出願日	平成16年12月29日(2004.12.29)		マウナ ケア テクノロジーズ
(65) 公表番号	特表2007-516760 (P2007-516760A)		フランス国、F-75010 パリ、リュ
(43) 公表日	平成19年6月28日(2007.6.28)		・ドンギャン、9
(86) 国際出願番号	PCT/FR2004/003401	(74) 代理人	100090099
(87) 国際公開番号	W02005/073912		弁理士 伊藤 宏
(87) 国際公開日	平成17年8月11日(2005.8.11)	(72) 発明者	ベリエ、フレデリック
審査請求日	平成19年11月20日(2007.11.20)		フランス国、F-29810 ブルーアル
(31) 優先権主張番号	0315628		ゼル、ストリート・ランポール・リュスキ
(32) 優先日	平成15年12月31日(2003.12.31)		ュミュノック
(33) 優先権主張国	フランス (FR)	(72) 発明者	ペルジャン、エメリック
前置審査			フランス国、F-75013 パリ、プー
			ルパール・ブランキ、110
		審査官	原 俊文
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イメージガイドを通じて取得した共焦点画像の超解像度方法および装置、並びにこの方法を実施するための機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の光ファイバからなるイメージガイドを通じて共焦点画像を取得する装置の作動方法であって、このイメージガイドの近位端はイメージガイドの各光ファイバ内へレーザ光を発射すると共にデータ取得時に各戻りビームを受け取るためのレーザ走査装置に接続されており、遠位端はイメージガイドによって発射されたレーザ光を観察物体内に集束させるべく光学ヘッドに接続されており、その特徴は、イメージガイドを通じて取得した共焦点画像の解像度を向上させるため、光学ヘッドの所与の1位置毎に、この方法は以下の段階を包含することからなる：

- 光学ヘッドに対するイメージガイドの前記遠位端の所与の1つの空間的な横方向ずれ毎に夫々のデータ取得を行ないながら、イメージガイドを通じて複数のデータ取得を行う段階、

- 夫々のデータ取得のデータを、イメージガイドの各ファイバを通じて物体上で測定された光出力によって衡量された1つの点雲で表す段階、

- 前記点雲のいずれかを「参照基準として採用した点雲」と呼ばれる1つの点雲と見なす段階、

- 前記点雲に対応する画像を再構築することなく、夫々の点雲を、前記点雲に対応する画像が前記参照基準として採用した点雲に対応する画像に対してコレジスタするように処理することにより、夫々の点雲を前記参照基準として採用した点雲に対してコレジスタする段階、

10

20

- このようにコレジスタした複数の点雲を重畳する段階、および、
- この重畳に基づいて最終画像を再構成する段階。

【請求項 2】

イメージガイドの存在に起因し、光ファイバに因るパターンからなるアーティファクトを除去するために、取得したデータを変換する段階の次にフィルターを適用することを特徴とする請求項 1 に基づく方法。

【請求項 3】

前記コレジスタ段階は以下の段階を包含することを特徴とする請求項 1 又は 2 に基づく方法：

- 装置に起因する各点雲の幾何学的な歪みを補正する段階、
- 固定点雲と呼ばれ前記参照基準として採用した点雲を補間することにより、固定画像と呼ばれる基準画像を再構成する段階、
- 前記参照基準として採用した点雲以外の、可動点雲と呼ばれる夫々の他の点雲毎に、前記可動点雲を補間することにより可動画像と呼ばれる画像を再構成する段階、次いで、可動点雲の光出力値と固定画像の光出力値との間で計算された平均二次誤差を、前記固定画像に対する前記可動画像の変位について、最適化する段階であって、前記最適化は、前記平均二次誤差の最小値に対応する、前記固定画像に対する前記可動画像の変位、を見出すこと、および、見出された変位だけ前記可動画像を変位させることを包含する段階。

【請求項 4】

平均二次誤差は前記可動点雲の点に対応するピクセルだけを考慮しながら計算すること
を特徴とする請求項 3 に基づく方法。

【請求項 5】

補間は反復 B スプライン近似アルゴリズムからなることを特徴とする請求項 3 又は 4 に
基づく方法。

【請求項 6】

固定点雲は休止位置におけるイメージガイドの位置、即ち、光学ヘッドに対してイメー
ジガイドの前記遠位端が空間的にずれていないイメージガイドの位置、に対応することを
特徴とする請求項 3 から 5 のいづれかに基づく方法。

【請求項 7】

コレジスタ段階は、イメージガイドの変位の較正段階によって得られた所定のずれの距
離に応じて点雲をコレジスタすることからなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に基づく
方法。

【請求項 8】

各データ取得毎に、光学ヘッドに関してイメージガイドをずらすために、イメージガイ
ドの遠位端と少なくとも一体的な少なくとも 1 つの圧電バンドに少なくとも 1 つの電圧を
印可することを特徴とする請求項 1 から 7 のいづれかに基づく方法。

【請求項 9】

請求項 7 に従属する請求項 8 に基づく方法であって、前記観察物体に代わりに配置され
た基準パターンのデータ取得によって得られた限られた数の点雲に以下の段階を適用する
ことにより較正段階を行うことを特徴とする方法：

- システムに起因する各点雲の幾何学的な歪みを補正する段階、
- 固定点雲と呼ばれ前記参照基準として採用した点雲を補間することにより、固定画像と呼ばれる基準画像を再構成する段階、
- 前記参照基準として採用した点雲以外の、可動点雲と呼ばれる夫々の他の点雲毎に、前記可動点雲を補間することにより可動画像と呼ばれる画像を再構成する段階、次いで、可動点雲の光出力値と固定画像の光出力値との間で計算された平均二次誤差を、前記固定画像に対する前記可動画像の変位について、最適化する段階であって、前記最適化は、前記平均二次誤差の最小値に対応する、前記固定画像に対する前記可動画像の変位、を見出すこと、および、見出された変位だけ前記可動画像を変位させることを包含する段階、
- ずらすために圧電バンドへ印加した電圧に応じて固定画像と可動画像との間で得られ

10

20

30

40

50

たずれの距離を記述する線形モデルを精巧にする段階。

【請求項 1 0】

4つのバンドを用いてイメージガイドの少なくとも遠位端を囲繞する圧電管を構成したこと、および、イメージガイドの遠位端の各変位毎に、対向する一对の電圧を対向する2つのバンドに夫々印可することを特徴とする請求項 8 又は 9 に基づく方法。

【請求項 1 1】

空間的ずれは、直交する二方向に沿ったイメージガイドの遠位端のほぼ側方並進運動により得られることを特徴とする請求項 1 から 1 0 のいずれかに基づく方法。

【請求項 1 2】

最終画像の再構成段階は、重畳は不規則な点雲と考えられるような反復 B スプライン近似アルゴリズムを用いて行うことを特徴とする請求項 1 から 1 1 のいずれかに基づく方法。

10

【請求項 1 3】

最終画像の再構成段階の次に、最終画像のデコンボリューション段階を行うことを特徴とする請求項 1 から 1 2 のいずれかに基づく方法。

【請求項 1 4】

複数の光ファイバからなるイメージガイドを通じて取得した共焦点画像の解像度を向上させるための装置であって、このイメージガイドの近位端はイメージガイドの各光ファイバ内にレーザ光を発射すると共にデータ取得時に各戻りビームを受け取るためのレーザ走査装置に接続されており、遠位端はイメージガイドによって発射されたレーザ光を観察物体内に集束させるべく光学ヘッドに接続されており、その特徴は、光学ヘッドの所与の位置毎に、この装置は以下の手段を有することからなる：

20

- イメージガイドを通じて複数のデータ取得を行う手段、
- 夫々のデータ取得毎に、イメージガイドの前記遠位端を光学ヘッドに対して空間的にずらす手段、
- 夫々のデータ取得のデータを、イメージガイドの各ファイバを通じて物体上で測定された光出力によって衡量された1つの点雲で表す手段、
- 前記点雲のいずれかを「参照基準として採用した点雲」と呼ばれる1つの点雲と見なす手段、
- 前記点雲に対応する画像を再構築することなく、夫々の点雲を、前記点雲に対応する画像が前記参照基準として採用した点雲に対応する画像に対してコレジスタするように処理することにより、夫々の点雲を前記参照基準として採用した点雲に対してコレジスタする手段、
- このようにコレジスタした点雲を重畳する手段、および、
- この重畳に基づいて最終画像を再構成する手段。

30

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に基づく装置であって、光学ヘッドは同光学ヘッドと一体の光学手段を備え、この装置は更にイメージガイドを囲繞すると共にこのイメージガイドと一体の圧電管を少なくとも前記遠位端に備え、ずれ指令に応答してこの遠位端を光学ヘッドに関して空間的にずらすようになっていることを特徴とする装置。

40

【請求項 1 6】

圧電管は夫々が管の四分の一を占める少なくとも4つの独立したセラミックバンドからなることを特徴とする請求項 1 5 に基づく装置。

【請求項 1 7】

各バンドの内側面および外側面は銀等の金属材料で被覆してあり、対向する2つのバンドに対向する電圧を夫々印加すると横断方向圧電効果により管の遠位端がずれるようになっていることを特徴とする請求項 1 6 に基づく装置。

【請求項 1 8】

セラミックバンドは直交する二方向へ2つずつ駆動されることを特徴とする請求項 1 6 又は 1 7 に基づく装置。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はイメージガイドを通じて取得した共焦点画像の超解像度方法および装置、並びにこの方法を実施するための機器に関する。

本発明は医療用イメージングの分野に特に有用な用途を有する。しかしながら、本発明は、例えば機械装置の内部の観察の分野のような、複数の光ファイバからなるイメージガイドを用いてイメージングを行うあらゆる分野に適用可能であるという理由でより広範囲である。

【背景技術】

10

【0002】

イメージガイドは画像を得るのを可能にする。この装置は観察すべき物体から遠いレーザ走査、光源、および受像器を回避するのを可能にする。例えば、共焦点画像を得ようになったレーザ走査装置においては、イメージガイドは入口と出口とで光ファイバの配置が同一になった数千本の光ファイバの組立体である。

【0003】

遠位端（即ち、観察すべき物体に近く、従って、光源から遠い端部）は観察すべき物体内にレーザ光を集束させるように光学素子で構成されたヘッドに接続されている。このようなイメージガイドは、側方解像度をもって、かつ、光学素子の倍率とイメージガイドのコア間距離とイメージガイドの直径とに依存する観察視野をもって、物体を深度に応じて観察するのを可能にする。倍率を変えれば、視野の犠牲において解像度を増減することができる。同様に、類似のイメージガイドだが、コア間距離がより小さなものは、同じ結果を得ることができる。これら2つの場合において、解像度がより低い場合には、イメージングされた視野はやはり減少する。

20

【0004】

イメージガイドは有効表面と存在するコアの数との比が装置の解像度を決定するような固定構造体である。同一のイメージング視野について、従って、イメージガイドの同一の表面について、ファイバ相互のコア間距離は物理的および技術的制約を理由として減少させることはできない。まず、製造上の制約が働く。次に、ガイドの漏話と、可視波長を中心として光をガイドするのを可能にするファイバの光学特性とに関連する物理的制約がある。

30

【0005】

このように、光ファイバの束による案内の物理的限界があるので、固定された倍率および視野において最良の解像度を得ることは可能ではない。

【0006】

ファイバを用いた共焦点イメージングの多くの用途においては、最良の解像度の追究は最重要である。例えば医療の用途においては、細胞又はその構成要素を視るにはこの技術の物理的限界を越えるような解像度を必要とする。

【0007】

従来型のカメラを用いて行った多数の超解像度の研究が存在し、これらの研究ではサンプリング見取り図は規則的であって、四角形又は長方形の格子に沿って配置されている。これらの研究はサンプリングの空間的規則性を大いに利用している。特に一組のデータ取得から得られたサンプリングが1つの交錯するサンプリングであるような超解像度に関する研究が知られている。例えば以下の刊行物を引用することができる：

40

H. ShekarforoushおよびR. Chellappa “データ駆動された多重チャンネル超解像度のビデオシーケンスへの応用” Journal of the Optical Society of America A, 16 (3) : 481--492, Mar. 1 999 ;

R. Kornprobst, R. Peeters, T Vieville, G. Malandain, S. Mierisova, S. Sunaert, および O. Faugeras and R Van Hecke “MRIにおける超解像度および統計的分析へのその影響” Technical Report No 4513, INRIA, July 2002 ;

50

S. Lertrattanapanich および N. K. Bose “ デローネイ三角測量を用いた低解像度フレームからの高解像度画像形成 ” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 11 (No. 12), December 2002.

【 0 0 0 8 】

最後に、複数のビュー間の動きがかなり自由で真に不規則なサンプリングを生じるような装置を記述した研究が知られている。記述されたこの装置の移送機能は空間的に変わりやすく、移送機能の幅とサンプリング点を距てる距離との比はデータ取得にわたって一定ではなく、これは装置の光学素子、従って、かなり複雑な解像度を考慮する結果となる。このような装置は特に以下の文献に開示されている：

A. Patti, M. Sezan および M. Tekalp “ 任意的サンプリング格子とゼロでない開口時間をもった超解像度ビデオ再構成 ” IEEE Trans. on Image Processing, pages 1064-1078, August 1997 ; および、

Andrew J. Patti および Yucel Altunbasak “ エッジ適応性強制とより高次元の補間子を有する理論的超解像度画像再構成のための巧みな減少 ” IEEE Transactions on Image Processing, 10 (1) : 179-186, January 2001.

【 発明の開示 】

【 0 0 0 9 】

本発明の目的は、イメージガイドを通じて取得した画像の解像度を向上させることである。本発明の他の目的は超解像度のコンセプトをイメージガイドに適用することである。

本発明は更にイメージガイドを通じて取得した一定不変の視野を有する画像の解像度を、単位面積あたりの測定点の数を増加することにより改良することを目的とするものである。

【 0 0 1 0 】

前記目的の少なくとも1つは、複数の光ファイバからなるイメージガイドを通じて取得した共焦点画像の解像度を向上させるための方法によって達成されるもので、このイメージガイドの近位端はイメージガイドの各光ファイバ内へレーザ光を発射すると共にデータ取得時に各戻りビームを受け取るためのレーザ走査装置に接続されており、遠位端はイメージガイドによって観察物体内に発射されたレーザ光を集束させるべく光学ヘッドに接続されている。本発明によれば、光学ヘッドの所与の1位置毎に、この方法は以下の段階を包含する：

- イメージガイドを通じて複数のデータ取得を行う段階（夫々のデータ取得は光学ヘッドに対するイメージガイドの前記遠位端の所与の1つの空間的ずれ毎に行われる）、
- 夫々のデータ取得のデータを、イメージガイドの各ファイバを通じて物体上で測定された光出力によって衡量された1つの点雲（散らばった点からなる雲）に変換する段階、
- 参照基準として採用した1つの点雲に対して夫々の点雲をコレジスタ（co-register）する段階、
- このようにコレジスタした複数の点雲を重畳する段階、および、
- この重畳に基づいて最終画像を再構成する段階。

【 0 0 1 1 】

本発明の方法によれば、最終画像を再構成する段階の前に、同一物体の冗長なデータ取得が行われる。光学ヘッドの所与の1位置毎に、複数のデータ取得を行う（各データ取得はイメージガイドの所与の1位置に対応する）。

【 0 0 1 2 】

以下の説明において、点雲のコレジスタ段階とは、言葉の濫用であるが、実際には、点雲に対応する画像を必ずしも再構築することなく、点雲に対応する画像をコレジスタするように各点雲を処理することを意味する。

【 0 0 1 3 】

特に、イメージガイドを通じた単一のデータ取得は、以下で物体のサンプリングと称する、不規則な1つの格子（これはファイバの場所である）の上での1つのデータ取得と等価的である。管内でのイメージガイドの変位は、イメージガイド内での個々のファイバの

配列であるサンプリング見取り図を変位させることになる。従って、2つのデータ取得により、同一の物体の、但し空間的にずれた、2つのサンプリングが得られる。それらを重畳することにより、二倍の測定点をもった1つのサンプリングが得られる。経験を多重にすることにより、より多くのサンプリングの点雲が得られる。得られたサンプリングは不規則であり、一画像の形に再構築しなければならない。

【0014】

イメージガイドの存在に起因するアーティファクトを除去するため、取得したデータを変換する段階の次にフィルターを適用することができる。このフィルターは複数の光ファイバからなるイメージガイドを用いて取得した画像を処理する方法からなることができる。より詳しくは、各光ファイバ毎に、取得した画像（生のデータ）上でこの光ファイバに対応する領域を分離し、次にこの領域の情報を用いて、このファイバによって伝送された出力と同ファイバを通じて観察物体から来る出力とを評価する。そうすれば観察物体の表示は衡量された点雲であり、これは方形格子上で前記衡量された点雲を補間することによって画像の形で再構成することができる。このような変換（出力の評価 + 補間）は光ファイバに因るパターンを除去するのを可能にする。

【0015】

本発明の一実施例によれば、コレジスタ段階は以下の段階を包含する：

- 幾何学的な歪みを補正する段階、
- 固定点雲と呼ばれる基準点雲を補間することにより、固定画像と呼ばれる基準画像を再構成する段階、
- 可動点雲と呼ばれる夫々の他の点雲毎に、可動画像と呼ばれる画像を再構成する段階と、次いで可動画像と固定画像との間で計算された平均二次誤差を最適化する段階。

【0016】

好ましくは、平均二次誤差は前記可動点雲の点に対応するピクセルだけを考慮しながら計算する。

【0017】

補間アルゴリズムは、例えば、特に次の文献に開示された反復Bスプライン近似シーケンスである：Seungyong Lee, George Wolberg, および Sung Yong Shin “多重レベル、bスプライン散乱データ補間” IEEE transactions on visualization and computer graphics, 3 (3), July- September 1997。

【0018】

好ましくは、基準点雲は休止位置のイメージガイドの一位置に対応することができる。

【0019】

本発明によれば、コレジスタ段階は、例えばイメージガイドの変位の較正段階によって得られた所定のずれの距離に応じて各点雲をコレジスタすることからなることができる。

【0020】

好ましくは、各データ取得毎に、光学ヘッドに関してイメージガイドをずらすために、イメージガイドの遠位端と少なくとも一体的な少なくとも1つの圧電バンドに少なくとも1つの電圧を印可する。例示として、4つのバンドを用いてイメージガイドの少なくとも遠位端を囲繞する圧電管を構成し、イメージガイドの遠位端の各変位毎に、対向する一対の電圧を対向する2つのバンドに夫々印可する。更に、空間的ずれは、直交する（又は少なくとも非共線的な）二方向に沿ってイメージガイドの遠位端をほぼ側方並進運動させることにより得られる。

【0021】

好ましくは、較正段階は、前記観察物体に代わりに配置した基準パターンのデータ取得によって得られた限られた数の点雲に以下の段階を適用することにより行う：

- 幾何学的な歪みを補正する段階、
- 固定点雲と呼ばれる基準点雲を補間することにより、固定画像と呼ばれる基準画像を再構成する段階、
- 可動点雲と呼ばれる夫々の他の点雲毎に、可動画像と呼ばれる画像を再構成する段階

と、次いで可動画像と固定画像との間で計算された平均二次誤差を最適化する段階、

- ずらすために圧電バンドへ印加した電圧に応じて固定画像と可動画像との間で得られたずれの距離を記述する線形モデルを精巧にする段階。

【0022】

較正は、線形変位モデルを印加電圧に応じて有効にするのを可能にすると共に、測定に応じてずれ計数を見積もるのを可能にする。後の点雲は次いでこの線形モデルを用いてコレジスタされる。

【0023】

更に、最終画像の再構成段階は、重畳は不規則な点雲と考えられるような反復Bスプライン近似アルゴリズムを用いて行うことができる。このアルゴリズムは、良好な数学的作用と、良好な安定性と、妥当な計算時間コストを有する。

【0024】

複数のデータ取得に基づく再構成の問題は、非線形システムにおいて唯一のデータ取得しか分かっていない再構成の問題と同じである。ここでは、システムの等価的移送機能は空間的に変わりやすく、かつ、サンプリングは不規則であると仮定する。

【0025】

このように合成したサンプリングが冗長であるならば、最終画像の再構成段階の次に、最終画像のデコンボリューション段階を行うことができる。

【0026】

本発明の他の観点によれば、本発明は、複数の光ファイバからなるイメージガイドを通じて取得した共焦点画像の解像度を向上させるための装置を提供するもので、このイメージガイドの近位端はイメージガイドの各光ファイバ内にレーザ光を発射すると共にデータ取得時に各戻りビームを受け取るためのレーザ走査装置に接続されており、遠位端はイメージガイドによって観察物体内に発射されたレーザ光を集束させるべく光学ヘッドに接続されている。本発明によれば、光学ヘッドは同光学ヘッドと一体の光学手段を備えている。この装置は更にイメージガイドを囲繞すると共にこのイメージガイドと一体の圧電管を少なくとも前記遠位端に備え、ずれ指令に応答してこの遠位端を光学ヘッドに関して空間的にずらすようになっている。この指令は好ましくは圧電管に印加される一対の電圧である。

【0027】

好ましくは、圧電管は夫々が管の四分の一を占める少なくとも4つの独立したセラミックバンドからなる。各バンドの内側面および外側面は銀のような金属材料で被覆することができ、対向する2つのバンドに対向する電圧を夫々印加すると横断方向圧電効果により管の遠位端がずれるようにすることができる。より詳しくは、セラミックバンドは直交する二方向へ2つつづつ駆動することができる。

【0028】

本発明は、また、複数の光ファイバからなるイメージガイドを通じて取得した共焦点画像の解像度を向上させるための装置を提供するもので、このイメージガイドの近位端はイメージガイドの各光ファイバ内にレーザ光を発射すると共にデータ取得時に各戻りビームを受け取るためのレーザ走査装置に接続されており、遠位端はイメージガイドによって観察物体内に発射されたレーザ光を集束させるべく光学ヘッドに接続されている。本発明によれば、光学ヘッドの所与の1位置毎に、この装置は以下の手段を有する：

- イメージガイドを通じて複数のデータ取得を行う手段、
- 夫々のデータ取得毎に、イメージガイドの前記遠位端を光学ヘッドに対して空間的にずらす手段、
- 夫々のデータ取得のデータを、イメージガイドの各ファイバを通じて物体上で測定された光出力によって衡量された1つの点雲に変換する手段、
- 夫々の点雲をコレジスタする手段、
- このようにコレジスタした点雲を重畳する手段、および、
- この重畳に基づいて最終画像を再構成する手段。

【 0 0 2 9 】

添付図面を参照にした以下の実施例の説明に照らせば本発明がより良く理解されると共に他の利点が明らかとなる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 0 】

図 1 にはイメージガイド 1 を形成する整理された可撓性光ファイバ（特に数万本）の束が示してあり、このイメージガイドの近位端には光源 2 とファイバを 1 本ずつ照明するためのファイバ導入装置とがあり、その遠位端には照明されたファイバから出たビームを観察中の物体 4 の所与の深度のところに位置する一点に集束させるための光学ヘッド 3 がある。導入装置は偏向器のようなファイバを 1 本ずつ非常に大きな速度で走査することの可能なファイバ走査装置 6 が前置された複数の光学素子 5 を備えている。各ファイバは照明用ビーム、並びに、観察中の物体から来る対応する戻りビームを搬送するために交互に使用される。空間的解像度は、レーザ光を一点に集束させることにより得られると共に、照明に使用したのと同じファイバによって観察中の物体の空間的濾過を行うという共焦点特性により得られる。これは、光センサー 9 によって、観察中の物体から来る信号だけを排他的に受け取り、点毎にイメージを形成するのを可能にする。

10

【 0 0 3 1 】

イメージガイドの遠位端は圧電管 7 内に挿入してあり、圧電管自体は光学ヘッドを形成する強固な管 3 内に装着してあり、この管 3 はイメージガイドの出口に配置された光学素子（レンズ）8 を収蔵している。圧電管 7 は光学ヘッド 3（これは観察中の物体に対して固定されている）の内部でイメージガイドを変位させるのを可能にする。従って、観察中の物体に対する光学ヘッドの摩擦に起因する問題が解消される。

20

【 0 0 3 2 】

図 2 には圧電管 7 の構成が斜視図で示してある。管 7 は夫々が円筒の四分の一を占める 4 つのセラミックからなる。横断方向の圧電効果を利用するため、管 7 の内側面と外側面は銀で被覆してある。この現象は結晶を電場内に置いた時の結晶の変形を説明するもので、それは結晶構造内における電気双極子の存在から生じる。

【 0 0 3 3 】

セラミックの内側面と外側面との間に電圧を印加すると、セラミックは伸長し（或いは電圧の符号に従い収縮する）、より細くなる（或いはより広くなる）。従って、いずれか 1 つのセラミックに正電圧を印加すると共に、反対側のセラミックに逆の電圧を印加することにより走査が行われる。1 つの面が伸長すると共に反対側の面が縮むので、管 7 は湾曲し、その自由端が変位する。従って、ファイバの遠位端を 2 つの直交軸に沿って二方向にずらす（シフトさせる）ことができる。図 3 は 1 つの軸に沿った圧電管 7 の変位を示す。実線はずれ（シフト）のない静止位置を示す。破線は上方に向かってずらされた（従って、イメージガイド 1 の遠位端のずれを生じさせる）圧電管 7 の端部を示す。反対に、光学ヘッドと一体的な光学素子（レンズ）8 a および 8 b、および、観察中の物体 4 は、静止したままである。イメージガイドの遠位端の変位は観察中の物体へのレーザ光の入射点の変位に対応する。

30

【 0 0 3 4 】

圧電管 7 に一对の電圧を印可する毎に 1 つの変形が起こり、従って、イメージガイド 1 を通じて行われるデータ取得は印加電圧に比例する距離だけずらされる。

40

【 0 0 3 5 】

本発明の超解像度方法は、光学ヘッドの 1 つの所与の固定位置毎に、一連のデータ取得を行う第 1 段階を有する。夫々のデータ取得毎に、レーザ光は光ファイバ全体を走査する。フォトセンサー 9 は次に一組の生データを回収する（これらの生データはレーザ走査の順序に従って格子上にそれらを配列することにより表すことができる）。各ファイバ毎にドームが現れるのが見え、これはレーザ走査に関するイメージガイド内におけるファイバの位置を表している。イメージガイド 1 の遠位端のずれは、イメージガイドの近位端における光ファイバの配列ないし位置を変えることはない。反対に、穴の開いた格子にも似た

50

これらのドームを通じて観察される物体は、圧電管 7 が変形したときには変位する。

【 0 0 3 6 】

次に、これらの生データは、イメージガイドの夫々のファイバを通じて物体上で測定された光出力によって衡量された点雲に変換される。この変換は、レーザ走査の最中に各ファイバによって実際に見えた情報を各点が表すことを可能にする。また、各点雲にフィルタを適用してイメージガイドの存在に関連するアーティファクト（格子）を除去することが出来る。

【 0 0 3 7 】

イメージガイドの遠位端を異なる位置にしながら複数のデータ取得を行うことにより、
10 恰も例えば垂直方向および水平方向へずらされた複数のサンプリング点を生成したかのようになる。データ取得の数と方向は圧電管 7 の精度によってしか制限されない。

【 0 0 3 8 】

図 4 には、各ファイバ毎に影響領域が示してあり、この影響領域は、イメージガイドの出口と観察中の物体との間に配置された光学素子（レンズ）の幅と組み合わせられた、各ファイバの光学的移送機能の幅として定義することができる。1つのファイバの移送機能は、必ずしも隣のファイバのものに等しくないことが留意される。実際には、それらはすべて、少なくとも幅において、異なっていると考えることができる。

【 0 0 3 9 】

点雲を重ねることができる前に、それらをコレジスタする必要がある。即ち、同一の物体をデータ取得したが、サンプリング見取り図はずらされている。装置の幾何学的歪みを補正した後、ずれは並進に還元され、この並進は同一物体のすべてのデータ取得を基準データ取得（一般に、圧電管 7 が静止しているときのもの（慣例による））と比較することにより評価される。

【 0 0 4 0 】

画像のコレジスタの問題はかなり古典的な主題であり、多数の技術が存在する。問題は、圧電機構によるずれの前後に同一の物体から採取した2つの画像をコレジスタすることからなる。本件の場合、根底にある変換モデルは並進モデルである。従って、評価すべきパラメータの数は2つ（ x 、 y ）しかない。しかしながら、本件の場合の変換モデルは、不規則な格子を使用するので、多くの研究とは異なる。

【 0 0 4 1 】

本件の場合には、2つのパラメータ（並進軸に沿った並進値）によるコスト機能を最小限にすることにより最良の変換を追求する。例えば変位が小さいのでエッジの問題は無視できると考えることができる。その場合、求められる解法は（0、0）に近い。

【 0 0 4 2 】

採用するアルゴリズムの原理を図 5 に示す。一般に、基準点雲を画定する（以下ではこれを固定点雲と言う）。次に、画像を再構成するべくこの固定点雲を補間する（以下ではこれを固定画像 1 0 と言う）。

【 0 0 4 3 】

特に、固定画像を得るための固定点雲の補間は、Seungyong Lee等の文献に開示された反復式 b スプライン近似アルゴリズム（後で簡単に説明する）を用いて行われる。補間値をその都度計算しないようにするため、補間は細かい規則的な好ましくは正方形の格子上で行い、次いで、最も近いものを選ぶ。こうして充分滑らかで計算するのが非常に速い補間が得られる。

【 0 0 4 4 】

次に、可動画像を再構成するべく、夫々の他の点雲の補間を行う（以下では可動点雲と言う）。次いで、各可動画像と固定画像との間の平均二次誤差を最適化する。有利なことに、従来の場合のように、2 画像間のピクセル毎の計算は行わずに、可動点雲の点に対応するピクセルだけを考慮しながら計算を行う。利点はかなりの時間の節減である。

【 0 0 4 5 】

最適化はループで行われ、その段階は次の通りである：

10

20

30

40

50

ループ内で評価されることになる並進パラメータを画定する変換段階 1 4 ;

初期の可動点雲を進行中の変換によって並進する、変換の補間段階 1 2 ;

並進された可動点雲 1 1 から得た可動画像と固定点雲を表す固定画像 1 0 との間の距離を測定する距離計算段階 1 3。この距離は可動点雲の点と補間された固定画像との間で評価された平均二次誤差である ;

共役グラジエントのようなグラジエントをベースとしたオブチマイザー 1 5 を用いた最適化段階。オブチマイザー 1 5 は、次のループの距離の値を減少させる (即ち、距離を最適化する) のを可能にするような新たな変換 (即ち、並進) を見出すべく、先に計算した距離の局部変化を評価する。

【 0 0 4 6 】

前述したコレジスタ過程をすべての点雲について行うのを回避するため、このコレジスタ過程は限られた数のデータ取得を用いて 1 つの基準物体について行う。このため、観察中の物体を、較正パターン又はより詳しくは例えば解像度パターンのような基準物体で置換する。この限られた数の点雲のコレジスタの際に得られた結果は、次に印加電圧に応じて圧電管のずれを較正するのを可能にする。イメージガイド 1 と光学ヘッド 3 とのアセンブリは共焦点部分 5、6 の走査軸線に関して回転することができ、従って、少なくとも変位の軸線とその方向を見積もる必要がある。このため、限られた数 (例えば 6 4) の可能なずらしを行い、それらを 1 つの共通の基準 (例えば圧電管が休止位置にあるときに得られた 1 つの点雲) に対してコレジスタする。それから、圧電に印加された電圧対 - コレジスタによって測定されたずれの全体について線形逆行を行う。もしこのモデルが線形であり、かつ、満足すべき精度 (コア間距離よりも非常に小さい) を有するならば、このモデルは有効であると考え、点雲によって表された画像を新たにコレジスタする必要なしに、次にそれを測定物体について行う後のデータ取得に直接使用することができる。従って、この好ましい実施例は遥かに迅速な処理を可能にする。何故ならば、観察中の物体によって取得した点雲は、補間を伴うコレジスタ過程のすべては受けないからである。この過程は解像度パターンその他を用いて取得した 6 4 の点雲についてしか行われぬ。

【 0 0 4 7 】

また、好ましくない実施例においては、限られた数の点雲を用いて線形モデルを精巧にするため、解像度パターンよりもむしろ観察中の物体を直接使用することを想定することができる。

【 0 0 4 8 】

モデルが線形でない場合、又はモデルが不正確な場合、又はヒステリシスがある場合には、それを使用することができない。従って、この場合には、前述したばかりモードを使用するのがよい (即ち、超解像度の対象にしなければならない各点雲を補間し、次いでコレジスタする) 。

【 0 0 4 9 】

すべてのずれが分かっている場合には、対応するずれを各サンプリングに付し、それらを重畳する。こうしてデータ取得よりも多くの点を有する合成されたデータ取得が得られる。それから再構成が 2 つの時期に行われる。先ず最初に、従来方法を用いて得られた衡量された点雲を概算し又は補間する。得られたこの雲は不規則であることを充分考慮する。コレジスタの際には先に定義したような b スプライン反復近似法を使用する。このアルゴリズムは以下のように要約することができる :

【 0 0 5 0 】

f は再構成すべき関数であるとする。f は支持体 f をカバーする矩形のメッシュの上に画定した一様なバイキュービックな B スプライン関数の形で表現することができる。得られる関数は従って C^2 である。メッシュの節に対応する値を ϕ_i, j で示す。一般性を失うことなく、このメッシュは平面の長方形の上の全座標の点からなるものと仮定する。

【 0 0 5 1 】

制御点 ϕ_i, j の値が分かれば、f は次式によって与えられる :

10

20

30

40

【数 1】

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 [\Phi_{|x|-1+k, |y|-1+l} B_k(x-|x|) B_l(y-|y|)] \quad (1)$$

Bスプラインは以下のように与えられる：

$$B_0(t) = \frac{1}{6}(1-t)^3$$

$$B_1(t) = \frac{1}{6}(3t^3 - 6t^2 + 4)$$

$$B_2(t) = \frac{1}{6}(-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1)$$

$$B_3(t) = \frac{1}{6}t^3$$

10

【0052】

制御点 $\phi_{i,j}$ の見積もりは、階層的ラティスを使用しながら反復近似法により行う。ラティスを因数 2 で細分しながら 1 つのスケールから次のスケールへと行く。夫々のサンプリング点は 16 の制御点に影響する。装置全体を逆転することなく、各スケール毎に先のスケールの寄与を局部的に計算し、このスケールのために見積もるべき残余を控除する。夫々のサンプリング点は最も近い 16 の制御点に影響する。

20

【0053】

このアルゴリズムはアルゴリズムの収斂（有限数の反復）のところで補間を得るのを可能にする。本件の場合、ラティスのサイズについて 2 つの限界事例を考慮することができる。第 1 は、少なくとも 1 つのサンプリング点によって影響されない単一の制御点 $\phi_{i,j}$ が存在しない場合である。第 2 は任意の 2 つのサンプリング点が同一の制御点に影響することができない場合である。これら 2 つの場合は出発ラティスのサイズを計算するのを可能にするもので、ラティスのサイズは収斂を達成するのを可能にする。これらのサイズは、点の分布は六角形サンプリングの分布であると仮定することにより、経験的に計算することができる。隣り合うサンプリング点間の距離のヒストグラムが（それらのポロノイ線図という意味で）観察され、カンタイルは 5 %（又は他のあらゆる小さなパーセンテージ）に保持される。この最小限距離は実際には 2 つのずれの間の距離である。

30

【0054】

他のアルゴリズムは満足すべき結果をもって点雲を再構成するのを可能にする。独創性は不規則な点雲の補間又は近似の形で問題を様式化することにある。

【0055】

本発明によれば、場合によっては次に、装置は不変の線形であると近似しながら、かつ、イメージガイドのファイバの平均移送機能を採用しながら、信号のデコンボリューション段階を行う。例えばウィナー濾過を利用することができる。

40

【0056】

勿論、本発明は前述した実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内においてこれらの実施例に種々の変更を加えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図 1】図 1 は本発明の装置全体の分解概略図である。

【図 2】図 2 はイメージガイドを囲繞する圧電管の概略図である。

【図 3】図 3 はイメージガイドの端部の変位を示す概略図である。

【図 4】図 4 は点雲の不規則な重畳を示す概略図である。

50

【図 5】図 5 は点雲のコレジスタの原理を示す概略図である。

【図 1】

1/2

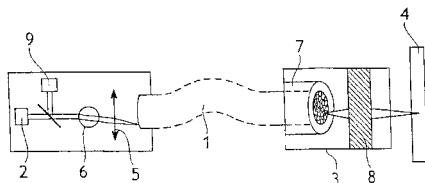


FIG.1

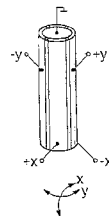


FIG.2

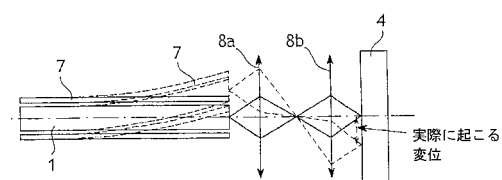
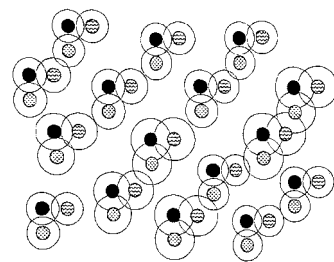


FIG.3

【図 2】

2/2



- 1回目の取得
- ⊗ 2回目の取得
- ⊙ 3回目の取得
- : ファイバの中心
- : ファイバの影響領域

FIG.4

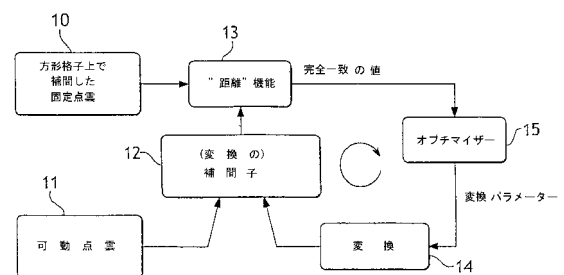


FIG.5

【 図 3 】

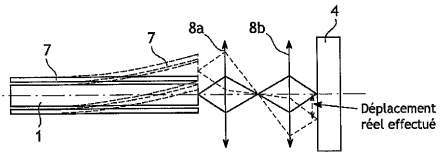
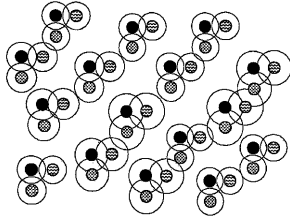


FIG.3

【 図 4 】



● : 1ère Acquisition ● : Centre d'une Fibre
 ⊗ : 2ème Acquisition ○ : Zone d'influence d'une Fibre
 ⊙ : 3ème Acquisition

FIG.4

【 図 5 】

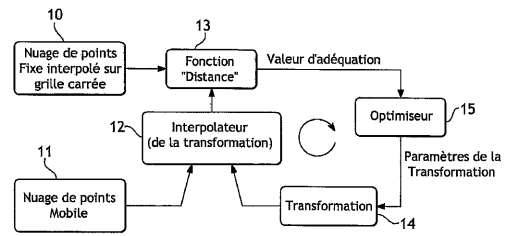


FIG.5

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-126116(JP,A)
特開2001-327460(JP,A)
特開平08-263639(JP,A)
米国特許第06466618(US,B1)
欧州特許出願公開第01001374(EP,A2)
特開2002-328311(JP,A)
特開平08-211309(JP,A)
特表平11-510973(JP,A)
特表2001-515382(JP,A)
特開2003-310532(JP,A)
特開昭60-053919(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 1/00