

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-519569

(P2017-519569A)

(43) 公表日 平成29年7月20日(2017.7.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 3/10 (2006.01)	A 6 1 B 3/10 R	2 G 0 5 9
G 0 1 N 21/17 (2006.01)	G 0 1 N 21/17 6 3 0	4 C 3 1 6
G 0 6 T 5/00 (2006.01)	G 0 6 T 5/00 7 0 5	5 B 0 5 7

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-574173 (P2016-574173)	(71) 出願人	503231882 エージェンシー フォー サイエンス、テクノロジー アンド リサーチ シンガポール国、1 3 8 6 3 2 シンガポール、フージョノポリス ウェイ 1、コネクシス ノース タワー # 2 0 - 1 0
(86) (22) 出願日	平成27年6月16日 (2015. 6. 16)	(71) 出願人	000220343 株式会社トプコン 東京都板橋区蓮沼町75番1号
(85) 翻訳文提出日	平成29年2月16日 (2017. 2. 16)	(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(86) 国際出願番号	PCT/SG2015/050162	(74) 代理人	100110364 弁理士 実広 信哉
(87) 国際公開番号	W02015/195048	(74) 代理人	100133400 弁理士 阿部 達彦
(87) 国際公開日	平成27年12月23日 (2015. 12. 23)		
(31) 優先権主張番号	10201403294R		
(32) 優先日	平成26年6月16日 (2014. 6. 16)		
(33) 優先権主張国	シンガポール (SG)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光干渉断層撮影画像内のスペックルノイズの低減

(57) 【要約】

対象の光干渉断層撮影(OCT)画像データから対象のスペックルノイズを減らされた画像を入手するための方法およびシステムが提案される。断面画像は、それぞれ、対象内の光学界面から深さ方向に反射された光の時間遅れを測定することによって入手された複数のスキャンラインを含む。この方法は、2つの整列させるステップを含む。まず、断面画像が整列され、その後、整列された断面画像の画像パッチが、整列されたパッチのセットを形成するために整列される。その後、画像行列が、整列されたパッチから形成され、行列補完が、対象のスペックルノイズを低減された画像を入手するために画像行列に適用される。

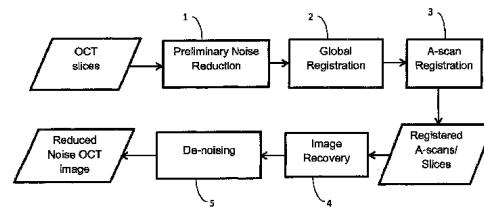


Figure 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光干渉断層撮影(OCT)画像データを処理するコンピュータ実施方法であって、前記OCT画像データは、対象の複数の断面画像を含み、前記断面画像は、それぞれ、前記対象内の光学界面から深さ方向に反射された光の時間遅れを測定することによって入手された複数のスキャンラインを含み、前記方法は、

前記深さ方向と前記深さ方向に垂直な横方向との各断面画像の相対平行移動を判定することによって前記断面画像を整列させて、整列された断面画像のセットを形成するステップと、

前記整列された断面画像の画像パッチを、前記深さ方向での各パッチの相対平行移動を判定することによって整列させて、整列されたパッチのセットを形成するステップであって、各画像パッチは、少なくとも1つのスキャンラインを含む、ステップと、

前記整列されたパッチから画像行列を形成するステップと、

前記画像行列に行列補完を適用して、前記対象のスペckルノイズを低減された画像を入手するステップと

を含む方法。

【請求項 2】

前記画像行列に行列補完を適用するステップは、前記画像行列を、クリーンな画像部分を表す行列と、ノイズ部分を表す行列とに分解するステップを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記画像行列に行列補完を適用するステップは、前記画像行列を、クリーンな画像部分を表す行列と、疎な部分を表す行列と、ノイズ部分を表す行列とに分解するステップを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

前記クリーンな画像部分を表す行列は、低階数行列である、請求項2または3に記載の方法。

【請求項 5】

前記断面画像を整列させるステップよりも前に、前記断面画像に予備ノイズ除去プロセスを適用するステップをさらに含む、請求項1から4のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記予備ノイズ除去プロセスは、スペckル低減異方性拡散アルゴリズムである、請求項5に記載の方法。

【請求項 7】

前記対象の前記スペckルノイズを低減された画像にフィルタを適用するステップをさらに含む、請求項1から6のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記フィルタは、適応ウィーナーフィルタである、請求項7に記載の方法。

【請求項 9】

前記断面画像を整列させるステップは、ブロックマッチングアルゴリズムを適用するステップを含む、請求項1から8のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

前記整列された断面画像の画像パッチを整列させるステップは、異なる断面画像の画像パッチの間でブロックマッチングアルゴリズムを適用するステップを含む、請求項1から9のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記ブロックマッチングアルゴリズムは、ダイヤモンド探索アルゴリズムである、請求項9または10に記載の方法。

【請求項 12】

同一の断面画像内のスライスごとに前記深さ方向での前記相対平行移動に平滑化プロセ

10

20

30

40

50

スを適用して、整列されたパッチの前記セットを形成するステップをさらに含む、請求項1から11のいずれか一項に記載の方法。

【請求項13】

光干渉断層撮影(OCT)画像データを処理するコンピュータシステムであって、前記OCT画像データは、対象の複数の断面画像を含み、前記断面画像は、それぞれ、前記対象内の光学界面から深さ方向に反射された光の時間遅れを測定することによって入手された複数のスキャンラインを含み、前記コンピュータシステムは、少なくとも1つのプロセッサと、プログラム命令を記憶するデータストレージデバイスとを有し、前記プログラム命令は、前記プロセッサによって実行されるときに、前記プロセッサに、

前記深さ方向と前記深さ方向に垂直な横方向との各断面画像の相対平行移動を判定することによって前記断面画像を整列させて、整列された断面画像のセットを形成する手順と、

前記整列された断面画像の画像パッチを、前記深さ方向での各パッチの相対平行移動を判定することによって整列させて、整列されたパッチのセットを形成する手順であって、各画像パッチは、少なくとも1つのスキャンラインを含む、手順と、

前記整列されたパッチから画像行列を形成する手順と、

前記画像行列に行列補完を適用して、前記対象のスペックルノイズを低減された画像を入手する手順と

を実行させる、コンピュータシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施態様は、光干渉断層撮影画像データを処理して、スペックルノイズを減らされた画像を入手するためのコンピュータ実施方法およびコンピュータシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

光干渉断層撮影(optical coherence tomography, OCT)は、光信号獲得および処理方法である。これは、光散乱媒質(たとえば、生物学的組織)内からのマイクロメートル解像度3次元画像を取り込む。OCTを用いる眼イメージングの原理は、光束が目に入る時に各光学界面から反射される光の時間遅れを測定すること(Aスキャン)に基づく。構造にまたがる一連のAスキャンは、前眼部または後眼部を通る平面の断面再構成を可能にする。これは、Bスキャンとして既知である。

【0003】

スペックルノイズは、OCTイメージングならびに、合成開口レーダー(SAR)、リモートセンシング、超音波、ソナーなどを含む他のイメージングモダリティにとって問題である。これらの分野において、スペックルノイズと戦うために大量の信号処理研究が行われ、エッジの鮮明さを保ちながらスペックルを減らす強力なデジタルフィルタの開発をもたらした。OCTにおけるスペックル低減は、イメージング構成を変更することによって、ならびに信号処理および画像フィルタリングの使用を介して対処されて来た。しかし、これらの方法は、しばしば画像の一部の詳細を除去し、医療応用でのOCT画像には不適切である。

【0004】

通常OCTイメージングでは、画像の単一のフレームまたはスライスは、通常、大きいスペックルノイズに起因して非常に低い品質を有する。したがって、複数のスキャンが入手され、画像平均化が適用される、すなわち、平均画像が、複数の画像スライスから計算される。

【0005】

OCTシステムの一例が、Topcon社のDRI OCT-1すなわち、1050nmの波長を利用する、後部イメージング用の掃引光源OCTである。これは、100000Aスキャン/秒の掃引速度を有する

10

20

30

40

50

。この1050nm波長を利用して、DRI OCT-1は、850nm範囲の波長を用いる現在の通常のOCTと比較して、より深く貫通することができる。脈絡膜またはさらには鞏膜などの眼組織の可視化が、非常に短い時間で行われ得る。ディープレンジイメージングDRI OCT-1は、網膜だけではなく脈絡膜およびさらには鞏膜の詳細構造を表示する。散乱へのより少ない影響を伴ってより深部の解剖学的構造をイメージングする能力を用いて、DRI OCT-1は、高い感度で断層写真全体を視覚化することができる。

【0006】

異なる応用例および解像度に依存して、ラインモード、5ラインクロスモード、12半径モード、円形ラインモード、および3D水平/垂直モードを含む、スキヤンの異なるモードがDRI OCT-1において提供される。ラインモードでは、ラインスキヤンが行われ、最大96回繰り返される。5ラインクロスモードでは、5回の水平ラインスキヤンおよび5回の垂直ラインスキヤンが行われ、各ラインスキヤンは、最大32回繰り返される。3Dモードでは、現在の掃引光源機械は、解像度512×64で、3D垂直モードで4回の繰り返されるスキヤンを可能にし、各位置は、512×256解像度の3D水平モデルでは1回だけスキヤンされる。これらのスキヤンは、1つの位置から入手されるので、異なるスキヤンの間に起こり得る目の動きを克服するための画像レジストレーションの助けを得て、最終結果を得るために平均をとられる。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、光干渉断層撮影(OCT)画像内のスペckルノイズを減らす方法を提供することを目指す。行列補完が、スペckルノイズを減らすために使用される。行列補完は、いくつかの未知値または欠けている値を有する行列に項目を追加するプロセスである。一般に、項目の性質に関する仮定が与えられなければ、欠けている項目が何でもあり得るので、行列補完は理論的に不可能である。しかし、行列の性質に関する少数の仮定を与えられれば、様々なアルゴリズムが、行列を再構成することを可能にする。行列補完は、ビデオおよびコンピュータ断層撮影イメージングなどの他の応用例においてノイズ低減に有用であることが立証されている。

20

【0008】

行列補完を実行するために、この方法への入力、対象の複数の断面画像を含むOCT画像データである。断面画像のそれぞれは、対象内の光学界面から深さ方向に反射された光の時間遅れを測定することによって入手された複数のスキヤンラインを含む。

30

【0009】

断面画像は、対象の同一部分の画像とすることができ、または、隣接スライスが強い類似性を有するので、使用され得る隣接スライスからの画像とすることができる。

【0010】

この方法は、深さ方向と深さ方向に垂直な横方向との各断面画像の相対平行移動を判定することによって断面画像を整列させて、整列された断面画像のセットを形成するステップと、整列された断面画像の画像パッチを、深さ方向での各パッチの相対平行移動を判定することによって整列させて、整列されたパッチのセットを形成するステップであって、各画像パッチは、少なくとも1つのスキヤンラインを含む、ステップと、整列されたパッチから画像行列を形成するステップと、画像行列に行列補完を適用して、対象のスペckルノイズを低減された画像を入手するステップとを含む。

40

【0011】

行列補完の適用は、画像行列を、クリーンな画像部分を表す行列と、ノイズ部分を表す行列とに分解するステップを含むことができる。

【0012】

代替案では、行列補完を適用するステップは、画像行列を、クリーンな画像部分を表す行列と、疎な部分を表す行列と、ノイズ部分を表す行列とに分解するステップを含むことができる。

50

【0013】

上で論じた方法のいずれにおいても、クリーンな画像部分を表す行列は、低階数行列である。

【0014】

断面イメージが整列されるよりも前に、予備ノイズ除去プロセスが、断面画像内のスペckルノイズを低減するために適用され得る。予備ノイズ除去プロセスは、たとえば、スペckル低減異方性拡散アルゴリズムとすることができる。

【0015】

この方法に従って、適応ウィナーフィルタなどのフィルタが、対象のスペckルノイズを低減された画像に適用され得る。

10

【0016】

ブロックマッチングアルゴリズムが、断面画像を整列させるためまたは整列された断面画像の画像パッチを整列させるために適用され得る。ブロックマッチングアルゴリズムは、たとえば、ダイヤモンド探索アルゴリズムとすることができる。

【0017】

整列されたパッチのセットを形成するために、平滑化プロセスが、同一の断面画像内のスライスごとに深さ方向での相対平行移動に適用され得る。

【0018】

本発明の一実施態様として、本発明者らは、第1のステップが大域整列であり、第2のステップが局所整列である、OCT画像の高速非剛体2ステップ画像レジストレーションアルゴリズムを提案する。さらに、大域整列および局所整列では、本発明者らは、オリジナルの生OCT画像を、その予備ノイズ除去プロセス(本発明者らの実施態様ではスペckル低減異方性拡散)を使用してノイズ除去されたバージョンに基づいて、整列させる。

20

【0019】

もう1つの技術的特徴は、本発明者らが、基礎になるクリーンな画像を近似するために、低階数行列補完でバイラテラルランダムプロジェクションを使用することである。2つのモデルが使用され、第1のモデルは、OCT画像を、基礎になるクリーンな画像部分とノイズ部分との合計とみなし、第2のモデルは、OCT画像を、基礎になるクリーンな画像部分と移動に起因する疎な部分とノイズ部分との和とみなす。

【0020】

以下では、本発明の実施形態が、例としてのみ図面を参照して説明される。

30

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の実施形態による、光干渉断層撮影(OCT)データを処理する方法を示す流れ図である。

【図2】一実施形態での予備ノイズ除去プロセスの例を示す図である。

【図3】図3aおよび図3bからなる、画像レジストレーションステップを示す図であり、図3aは、大域レジストレーションを示し、図3bは、局所レジストレーションを示す。

【図4】オリジナル画像Xが修復された画像LとノイズNとに分解される方法に従う画像修復の例を示す図である。

40

【図5】オリジナル画像Xが修復された画像Lと疎な部分SとノイズNとに分解される方法に従う画像修復の例を示す図である。

【図6】図6aおよび図6bからなる、異なる個数のスライスを用いる図4および図5に示された方法のコントラストノイズ比(CNR)のプロットを示す図であり、図6aは、画像Jノイズモデルを使用して入手された結果を示し、図6bは、動きノイズモデルを使用して入手された結果を示す。

【発明を実施するための形態】

【0022】

図1は、本発明の実施形態による、光干渉断層撮影(OCT)データを処理する方法を示す流れ図である。この方法は、方法ステップを実施するためのプログラム命令を記憶するデー

50

タストレージデバイスを有する、標準的な一般にプログラムされたコンピュータなどのコンピュータシステムによって実行され得る。

【0023】

この方法への入力は、複数のOCTスライスを含むOCTデータである。行列補完を使用するための要件は、スキャンごとに複数のスライスを入力することである。これは、ラインスキャンモードに関して、各スライスが96回スキャンされるので簡単である。5ラインクロスモード、3D垂直モード、および3D水平モードなどの他のモードに関して、隣接スライスが強い類似性を有するので、隣接スライスからのスキャンが使用され得る。

【0024】

たとえば、5ラインクロスモードでは、本発明者らは、水平/垂直スライスのすべての水平/垂直スキャン(5×32=160個)を使用する。3Dスキャンに関して、本発明者らは、256個のスキャンのすべてを使用することができる。これらのスキャンの多くは、異なる位置から入手されるが、スライスからのAスキャンの多くが類似する。したがって、本発明者らは、ノイズ低減のためにこの類似性を利用することができる。

10

【0025】

単純さのために、本発明者らは、入力が、同一位置からの繰り返されたスキャンと近くの位置からの他のスキャンとの両方を含む、OCTスキャンのK個のスライスを有すると仮定する。各スライスは、p×q個の画素を有する。

【0026】

この方法のステップ1では、予備ノイズ低減が実行される。画像スライスを取り込む時の不可避の動きのゆえに、オリジナル画像スライスが、よくマッチしない場合がある。したがって、誤差を最小にするためにこれらを整列させることが必要である。オリジナルOCTスライスは、大きいスペckルノイズによって破壊されている可能性が高い。

20

【0027】

画像マッチングアルゴリズムをこれらのOCTに直接に適用することは、スペckルノイズに起因して、予測不能な結果をもたらす場合がある。前処理ステップが、このノイズを低減するのに使用される。多数のアルゴリズムが、使用され得る。この実施形態では、本発明者らは、スペckル低減異方性拡散アルゴリズムを使用する。

【0028】

異方性拡散アルゴリズムは、以下のように実施される。輝度画像を与えられて、出力画像は、偏微分方程式(PDE)に従って展開される。

30

【0029】

【数1】

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t} = \text{div}[c(q) \cdot \nabla I] \\ I(t=0) = I_0 \end{cases}$$

40

【0030】

ここで、c(q)は、

【0031】

【数2】

$$c(q) = 1 / (1 + [q^2(x, y; t) - q_0^2(t)] / [q_0^2(t)(1 + q_0^2(t))]) \text{ または}$$

$$c(q) = \exp\{-[q^2(x, y; t) - q_0^2(t)] / [q_0^2(t)(1 + q_0^2(t))]\}$$

【0032】

を用いて計算される拡散係数を表す。

10

【0033】

図2に、一実施形態での予備ノイズ除去プロセスの例を示す。図2の左側に示された3つの入力スライスは、図2の右側に示されたノイズ除去されたスライスを提供するために、スペックル低減異方性拡散アルゴリズムを使用して処理される。

【0034】

予備ノイズ低減に続いて、スライスの間の画像レジストレーションが実行される。2つのスライスの間の画像レジストレーション(Bスキャン)が、ステップ2での大域レジストレーションとこれに続くステップ3での局所レジストレーションとによって行われる。多くの方法が、大域レジストレーションで使用され得る。

【0035】

20

図3に、画像レジストレーションステップを示す。図3aは、ステップ2で実行される大域レジストレーションを示し、図3bは、ステップ3で実行される局所レジストレーションを示す。

【0036】

本発明者らの実施態様では、大域レジストレーションは、大域整列によって行われる、すなわち、スライス全体(Bスキャン)が、水平方向(y方向)と垂直方向(x方向)との両方の平行移動によるマッチングにおいて使用される。x軸は、Aスキャンが実行される方向を表し、すなわち、イメージングされる目または対象への深さ方向である。y軸は、深さ方向に垂直な、AスキャンがBスキャンを形成するために組み合わせられる横方向を表す。

【0037】

30

図3aに示されているように、各スライス B_j は、まず、大域レジストレーションにおいて (x_j, y_j) だけ平行移動される。これは、以下のプロセスに従って実行される。画像 I_i を基準にとり、 $j=1, 2, \dots, K$ かつ $j \neq i$ である各 j について、 I_i および I_j の誤差が最小化されるように、 I_i と I_j との間の平行移動 (x_j, y_j) を見つける。したがって、本発明者らは、大域的にレジストレーションされたBスキャンスライスのセット B_i 、 $i=1, 2, \dots, K$ を入手する。

【0038】

図3bに示された局所レジストレーションでは、1つのBスキャンスライスからのAスキャンラインまたは隣接するAスキャンラインのグループが、別のBスキャンスライス内の対応するAスキャン内での最良のマッチングのために垂直に平行移動される。

40

【0039】

これは、以下のプロセスに従って実行される。 B_i を、オーバーラップしないパッチ $A_{i,k}$ 、 $k=1, 2, \dots, P$ に分割し、 P は、入手されるパッチの個数である。各パッチは、1個の列またはAスキャンラインを有する。2つのBスキャン B_i および B_j からの2つの対応するパッチ $A_{i,k}$ および $A_{j,k}$ について、その誤差が最小化されるように、それらの間の垂直平行移動 $x_{j,k}$ を見つける。

【0040】

大きい誤差を避けるために、悪いマッチングを有するパッチ/ラインは、破棄され得る。悪いマッチングを有するラインは、誤差をしきい値と比較することと、しきい値より大きい誤差を有するパッチ/ラインを破棄することとによって、識別され破棄され得る。各

50

垂直ラインがAスキャンの結果であり、1つのAスキャン内の動きが無視されるので、本発明者らは、垂直マッチングを適用する。

【0041】

対象の目の動きは、時間が経過する時に異なるAスキャンの間でより明白になる可能性がある。目の動きは、滑らかであると期待されるので、平滑化プロセスが、同一スライス内のラインの垂直平行移動 $x_{j,k}$, $k=1,2,\dots$ に適用される。本発明者らが $l=1$ をセットする場合に、上のパッチが、ラインまたはAスキャンであることに留意されたい。同一のパッチ内に複数のスキャンラインを含めることは、頑健な垂直平行移動を入手するのを助ける。言い換えると、本発明者らが、あるスキャンラインを別のラインに整列させる場合に、その結果は、ノイズに対してより敏感になる可能性がある。

10

【0042】

多くのブロックマッチングアルゴリズムが、整列を見つけるのに使用され得る。本発明者らの実施態様では、本発明者らは、その効率および簡単な実施のゆえに、大域整列と局所整列との両方にダイヤモンド探索戦略を使用する。

【0043】

整列されたパッチのセットがステップ3で入手された後に、画像修復が、ステップ4で実行される。画像整列の後に、整列されたパッチのセットが、大域平行移動および平滑化された局所平行移動に基づいて入手される。画像を修復するために、各整列されたパッチは、行にベクトル化され、 m 行を有する行列 X を形成するために積み重ねられる。 X 内の各行は、各ベクトル化されたパッチからの $p \cdot l$ 個の要素を有する。行列 X の各行は、 $p \cdot l$ 個の要素を有し、行列 X は、行のBスライスの個数を有する。

20

【0044】

画像行列が構成された後に、スペckルノイズを低減された画像を判定する2つの可能な方法が、可能である。

【0045】

方法1: 低階数部分とノイズ部分との合計として X を分解する、すなわち、

$$X=L+N \quad (1)$$

ここで、 L は、 $\text{rank}(L) = r$ を有する低階数部分であり、 N はノイズである。一実施態様では、 r に2がセットされる。

【0046】

上記の分解は、分解誤差を最小にすることによって解かれる。

30

【0047】

【数3】

$$\min_L \|X - L\|_F^2, \text{ただし } \text{rank}(L) \leq r \quad (2)$$

【0048】

上の最適化問題は、バイラテラルランダムプロジェクション(BRP)アルゴリズムによって解かれる。

40

【0049】

このアルゴリズムは、以下のように要約される。

【0050】

Lを解くアルゴリズム1

【0051】

【数4】

ランダム行列 A_1 を生成する

$$A_1 \in R^{m \times r};$$

$\tilde{L} = (XX^T)^q X$ を計算する;

$$Y_1 = \tilde{L}A_1, A_2 = Y_1;$$

$$Y_2 = \tilde{L}^T Y_1, Y_1 = \tilde{L}Y_2$$

QR 分解 $Y_1 = Q_1R_1, Y_2 = Q_2R_2$ を計算する;

$$L = Q_1 \left[R_1 (A_2^T Y_1)^{-1} R_2^T \right]^{1/(2q+1)} Q_2^T$$

10

【0052】

方法2: 第2の方法では、本発明者らは、低階数部分と、疎な部分と、ノイズ部分との合計として X を分解する、すなわち、

$$X = L + S + N \quad (1)$$

ここで、 L は $\text{rank}(L) = r$ を有する低階数部分であり、 S は $\text{card}(S) = k$ を有する疎な部分であり、 k は、一実施態様において行列 S 内の全要素の30%としてセットされるしきい値であり、 N はノイズである。

20

【0053】

上記の分解は、分解誤差を最小化することによって解かれる。

【0054】

【数5】

$$\min_{L, S} \|X - L - S\|_F^2,$$

$$\text{ただし } \text{rank}(L) \leq r,$$

$$\text{card}(S) \leq k \quad (2)$$

30

【0055】

上の最適化問題は、その代わりに以下の2つの部分問題を収束するまで解くことによって解かれる。

【0056】

【数6】

$$\begin{cases} L_t = \arg \min_{\text{rank}(L) \leq r} \|X - L_{t-1} - S_{t-1}\|_F^2 \\ S_t = \arg \min_{\text{card}(S) \leq k} \|X - L_{t-1} - S_{t-1}\|_F^2 \end{cases}$$

40

【0057】

このアルゴリズムは、以下のように要約される。

【0058】

50

Lを解くアルゴリズム2

【 0 0 5 9 】

【 数 7 】

Initialize $t := 0; L_0 = X; S_0 = 0;$

While $\|X - L_t - S_t\|_F^2 / \|X\|_F^2 > \varepsilon$, **do**

$t := t + 1;$

$\tilde{L} = [(X - S_{t-1})(X - S_{t-1})^T]^q (X - S_{t-1});$

ランダム行列 $A_1 \in R^{m \times r}$ を生成する;

$Y_1 = \tilde{L}A_1, A_2 = Y_1$ を計算する;

$Y_2 = \tilde{L}^T Y_1, Y_1 = \tilde{L}Y_2$

QR 分解 $Y_1 = Q_1 R_1, Y_2 = Q_2 R_2$ を計算する;

If $\text{rank}(A_2^T Y_1) < r$ **then** $r = \text{rank}(A_2^T Y_1)$, 第1のステップに進む; **end if**;

$\tilde{L}_t = Q_1 [R_1 (A_2^T Y_1)^{-1} R_2^T]^{1/(2q+1)} Q_2^T;$

$S_t = \wp_\Omega(X - L_t)$, Ω は、 $|X - L_t|$ の最初の k 個の最大項目の非 0 サブセット;

\wp_Ω は、 Ω への行列の射影.

End while

【 0 0 6 0 】

第1の方法が、 $S=0$ である時の第2の方法の特殊なケースであることがわかる。

【 0 0 6 1 】

スペckルノイズを低減された画像が、上で説明されるように判定された後に、フィルタリングを介する後処理が、ステップ5でノイズ除去のために適用され得る。ステップ5は、たとえば、強化リーフィルタ(enhanced Lee filter)、適応ウィナーフィルタなどを用いることができる。この実施形態では、適応ウィナーフィルタが例として使用される。さらに、本発明者らは、ノイズ除去を援助するためにしきい値をも適用する。数学的には、本発明者らは、以下のプロセスを適用する。

【 0 0 6 2 】

【 数 8 】

$$L(x, y) = \begin{cases} T_{low} & L(x, y) < T_{low} \\ L(x, y) & T_{low} \leq L(x, y) \leq T_{high} \\ T_{high} & L(x, y) > T_{high} \end{cases}$$

【 0 0 6 3 】

ここで、 T_{low} および T_{high} は、2つの適応式に決定されるしきい値である。

【0064】

図4に、上で説明された方法1による画像修復の例を示す。オリジナル画像Xは、修復された画像Lと、ノイズNとに分解される。

【0065】

図5に、上で説明された方法2による画像修復の例を示す。オリジナル画像Xは、修復された画像Lと、疎な部分Sと、ノイズNとに分解される。

【0066】

画像品質を評価するために、コントラストノイズ比(CNR)が計算され、このCNRは、画像特徴とノイズとの間のコントラストを測定する。

【0067】

【数9】

$$CNR = (1/R) \sum_1^R (\mu_r - \mu_b) / \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_b^2}$$

【0068】

合計20人の患者がテストされた。表1に、ベースライン手法と、異なるノイズモデルを使用する2つの提案される方法とによる結果を示す。第1のノイズモデルでは、本発明者らは、 $X=L+N$ を仮定し、第2のモデルは、本発明者らが $X=L+N+S$ を仮定する先の段落を参照する。第2のモデルは、表1に示されているようにより高いCNRを与えるが、本発明者らは、この2つのモデルの視覚効果が類似することを指摘する。

【0069】

【表1】

表1: 客観的測定値

96個のスライス	画像レジストレーション	
	画像J	動き
ベースライン (Topcon)	13.78	14.07
$X=L+N$	14.42	14.90
$X=L+S+N$	14.43	15.65

【0070】

ベースライン手法は、ノイズの推定に頼るが、平均化は、ノイズの間の相殺に頼る。

【0071】

図6に、異なる個数のスライスを用いるCNRのプロットを示す。図6aは、画像Jノイズモデルを使用して入手された結果を示す。図6bは、動きノイズモデルを使用して入手された結果を示す。本発明者らが観察できるように、行列補完を使用する提案される方法は、ベースライン方法より性能が優れている。

【0072】

上で説明された実施形態では、本発明者らは、バイラテラルランダムプロジェクションを使用して低階数修復を解いた。これは、ロバスト主成分分析(PCA)などの伝統的なアルゴリズムより高速である。3.25GB RAMを有するデュアルコア3.0GHz PCで992×1024画素の96個のスライスから992×1024画素の画像を修復するのに、約5秒(アルゴリズム1)から45秒(アルゴリズム2)を要する。ロバストPCAは、アルゴリズム1と同一のタスクに100秒、ア

10

20

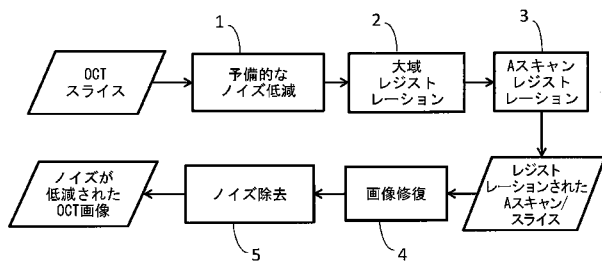
30

40

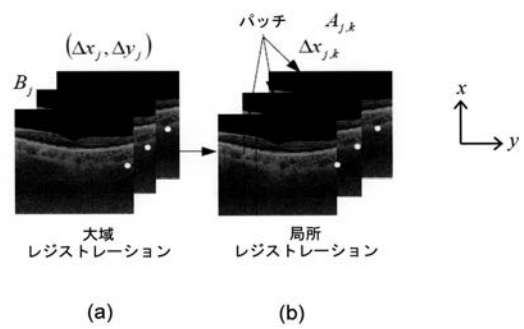
50

ルゴリズム2と同一のタスクに15分を必要とする。

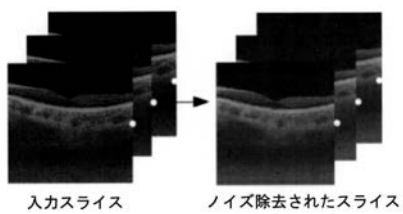
【 図 1 】



【 図 3 】



【 図 2 】



【 図 4 】

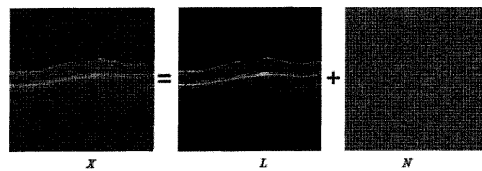


Figure 4

【 図 5 】

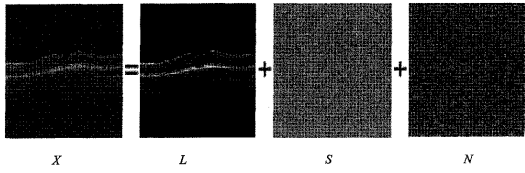
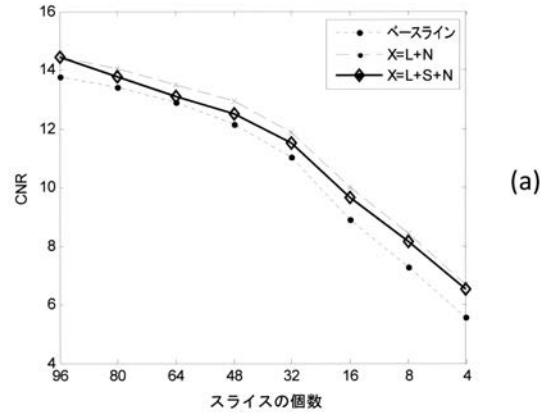
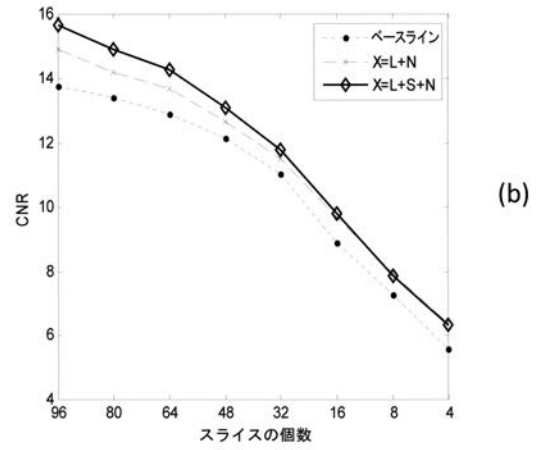


Figure 5

【 図 6 】



(a)



(b)

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/SG2015/050162

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. A61B3/10(2006.01) i, G06T5/00(2006.01) i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. A61B3/10, G06T5/00 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2015 Registered utility model specifications of Japan 1996-2015 Published registered utility model applications of Japan 1994-2015 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST/580 (JDreamIII), IEEE Xplore		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	B Sander, et al., "Enhanced optical coherence tomography imaging by multiple scan averaging", British Journal of Ophthalmology, vol.89 no.2, 2005.02, P.207-212	1,2,4-13 3
Y	Rick Ma, et al., "Decomposition Approach for Low-Rank Matrix Completion and Its Applications", IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, 2014.04.01, Vol.62 No.7, P1671-P1683	1,2,4-13
Y	JP 2010-057899 A (The Regents of the University of California) 2010.03.18, Paragraph 0034 & US 2010/0004527 A1 & EP 2141506 A2	1,2,4-13
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 28.08.2015	Date of mailing of the international search report 08.09.2015	
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer SHIMADA TAMOTSU Telephone No. +81-3-3581-1101 Ext. 3292	2Q 4004

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/SG2015/050162
--

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-088462 A (Canon Inc.) 2004.03.18, Paragraph 0003 (No Family)	1, 2, 4-13
Y	Yongjian Yu, Scott T. Acton, "Speckle Reducing Anisotropic Diffusion", IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 2002.11, Vol.11 No.11, P1260-P1270	6
Y	Shan Zhu, et al., "A New Diamond Search Algorithm for Fast Block-Matching Motion Estimation", IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, 2000.02, Vol.9 No.2, P287-P290	11
P, X	Jun Cheng, et al., "Speckle Reduction in Optical Coherence Tomography by Matrix Completion using Bilateral Random Projection", Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE, 2014.08.30, P186-P189	1, 2, 4-13

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72) 発明者 ジュン・チェン
シンガポール・シンガポール・138632・サウス・タワー・コネクシス・#21-01・フー
ジョノポリス・ウェイ・1・ピーケーエム・インスティテュート・フォー・インフォコム・リサー
チ内

(72) 発明者 ジアン・リウ
シンガポール・シンガポール・138632・サウス・タワー・コネクシス・#21-01・フー
ジョノポリス・ウェイ・1・ピーケーエム・インスティテュート・フォー・インフォコム・リサー
チ内

(72) 発明者 リシン・デュアン
シンガポール・シンガポール・138632・サウス・タワー・コネクシス・#21-01・フー
ジョノポリス・ウェイ・1・ピーケーエム・インスティテュート・フォー・インフォコム・リサー
チ内

(72) 発明者 ヤンウー・シュウ
シンガポール・シンガポール・138632・サウス・タワー・コネクシス・#21-01・フー
ジョノポリス・ウェイ・1・ピーケーエム・インスティテュート・フォー・インフォコム・リサー
チ内

(72) 発明者 ウィン・キー・ダモン・ウォン
シンガポール・シンガポール・138632・サウス・タワー・コネクシス・#21-01・フー
ジョノポリス・ウェイ・1・ピーケーエム・インスティテュート・フォー・インフォコム・リサー
チ内

(72) 発明者 アキバ マサヒロ
東京都板橋区蓮沼町75-1 株式会社トブコン内

Fターム(参考) 2G059 AA05 BB12 EE02 EE09 EE17 FF02 MM01 NN01
4C316 AA01 AA09 AB02 AB11 FB21 FB29
5B057 AA07 CA08 CA12 CA16 CB08 CB12 CB16 CE02 CE06 DA07
DB02 DB09 DC32