

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6371849号
(P6371849)

(45) 発行日 平成30年8月8日 (2018.8.8)

(24) 登録日 平成30年7月20日 (2018.7.20)

(51) Int.Cl.	F I
G O 6 T 7/70 (2017.01)	G O 6 T 7/70 A
G O 6 T 7/33 (2017.01)	G O 6 T 7/33
G O 6 T 3/00 (2006.01)	G O 6 T 3/00 7 5 O
A 6 1 B 3/113 (2006.01)	A 6 1 B 3/10 B

請求項の数 13 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2016-535977 (P2016-535977)	(73) 特許権者 503360115 国立研究開発法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(86) (22) 出願日 平成27年7月23日 (2015.7.23)	
(86) 国際出願番号 PCT/JP2015/071027	
(87) 国際公開番号 W02016/013634	(74) 代理人 100101454 弁理士 山田 卓二
(87) 国際公開日 平成28年1月28日 (2016.1.28)	
審査請求日 平成29年1月19日 (2017.1.19)	(74) 代理人 100125874 弁理士 川端 純市
(31) 優先権主張番号 特願2014-150848 (P2014-150848)	(72) 発明者 中澤 篤志 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内
(32) 優先日 平成26年7月24日 (2014.7.24)	
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	(72) 発明者 クリスティアン・ニチュケ 京都府京都市左京区吉田本町36番地1 国立大学法人京都大学内
前置審査	審査官 佐田 宏史
	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像位置合わせ装置、画像位置合わせ方法、および、画像位置合わせプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被験者の眼球を撮影した画像である第1画像のデータおよび被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第2画像のデータを取得する取得部と、

前記第1画像のデータおよび前記第2画像のデータを格納する記憶部と、

前記第1画像を球面光線マップへ移す写像である第1写像と、前記第2画像を球面光線マップへ移す写像である第2写像と、を決定するマッピング部と、

前記第1画像中の一点と、当該一点と対応する前記第2画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

前記球面光線マップにおける前記第1画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第2画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第1画像中の一点の位置およびオリエンテーションの情報を含む局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第2画像中の一点の位置およびオリエンテーションの情報を含む局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出部と、

前記第1写像と、前記回転写像と、前記第2写像と、に基づいて、前記記憶部に格納された前記第1画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第2画像のデータに対して位置合わせして前記第2画像に対して位置合わせされた前記第1画像のデータを生成するレジストレーション部と、

を有する画像位置合わせ装置。

【請求項2】

10

20

前記対応点对抽出部は、前記対応点对の候補として、前記第 1 画像の点と前記第 2 画像の点とで構成される対応点对候補を複数組み検出し、前記複数組みの対応点对候補それぞれの点对の対応関係を評価し、最も高く評価された点对で構成される対応点对候補を前記対応点对として抽出する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の画像位置合わせ装置。

【請求項 3】

前記対応点对抽出部は、前記対応点对候補を構成する前記第 1 画像の点と前記第 2 画像の点との対応関係に従って前記第 1 画像および前記第 2 画像から抽出された点对で構成される複数の副次的対応点对の対応関係を評価することにより、前記対応点对候補の対応関係を評価する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の画像位置合わせ装置。

【請求項 4】

第 1 画像を撮影する第 1 のカメラと、
第 2 の画像を撮影する第 2 のカメラと、

前記第 1 画像と前記第 2 画像の位置合わせを行う、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の画像位置合わせ装置と
を備えた、ことを特徴とする画像位置合わせシステム。

【請求項 5】

被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像のデータおよび被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像のデータを取得する取得ステップと、

前記第 1 画像のデータおよび前記第 2 画像のデータを記憶部に格納する記憶ステップと、

、
演算部が、前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング・ステップと、

演算部が、前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出ステップと、

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置およびオリエンテーションの情報を含む局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置およびオリエンテーションの情報を含む局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出ステップと、

演算部が、前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像と、に基づいて、前記記憶部に格納された前記第 1 画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第 2 画像のデータに対して位置合わせして前記第 2 画像に対して位置合わせされた前記第 1 画像のデータを生成するレジストレーション・ステップと、を有する画像位置合わせ方法。

【請求項 6】

コンピュータが実行可能な画像位置合わせプログラムであって、

前記画像位置合わせプログラムは、前記コンピュータに、

被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像のデータおよび被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像のデータを取得する取得ステップと、

前記第 1 画像のデータおよび前記第 2 画像のデータを記憶部に格納する記憶ステップと、

、
前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング・ステップと、

前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出ステップと、

前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置およびオリエンテーションの情報を含む局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置およびオリエンテーションの情報を含む局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出ステップと、

前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像と、に基づいて、前記記憶部に格納さ

10

20

30

40

50

れた前記第 1 画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第 2 画像のデータに対して位置合わせして前記第 2 画像に対して位置合わせされた前記第 1 画像のデータを生成するレジストレーション・ステップと、を実行させることを特徴とする画像位置合わせプログラム。

【請求項 7】

被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像を取得する取得部と、

前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング部と、

前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

10

前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出する回転写像導出部と、

前記第 1 画像から眼球の姿勢を検出することにより前記第 1 画像上で注視反射点を検出し、前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像とに基づいて、前記第 2 画像中の、前記注視反射点に対応する点を、被験者が注視している点として求める視点抽出部と、を有する、注視点抽出システム。

【請求項 8】

20

請求項 7 記載の注視点抽出システムを備えた表示システム。

【請求項 9】

被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像を取得する取得部と、

前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング部と、

前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出部と、

30

前記第 1 画像から眼球の光軸を特定し、前記光軸に対し所定の角度を成す方向から到来した光が角膜表面において反射した点を特定し、前記第 1 写像と前記回転写像と前記第 2 写像とに基づいて、前記第 2 画像から前記特定した反射点群を、被験者の周辺視野の領域を形成する点群として検出する視野推定部と、

を有する、周辺視野推定システム。

【請求項 10】

被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 1 画像および被験者の眼球を撮影した画像である第 2 画像を取得する取得部と、

40

前記第 1 画像のデータおよび前記第 2 画像のデータを格納する記憶部と、

前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング部と、

前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出部と、

前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像と、に基づいて、前記記憶部に格納さ

50

れた前記第 1 画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第 2 画像のデータに対して位置合わせして前記第 2 画像に対して位置合わせされた前記第 1 画像のデータを生成するレジストレーション部と、

位置合わせされた前記第 1 画像を前記第 2 画像から減算して虹彩画像を生成する虹彩画像生成部と、

前記虹彩画像を用いて虹彩認識を行う認識部と、
を有する、虹彩認識システム。

【請求項 1 1】

被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像を取得するステップと、

演算部が、前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するステップと、

演算部が、前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出するステップと、

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出するステップと、

演算部が、前記第 1 画像から眼球の姿勢を検出することにより前記第 1 画像上で注視反射点を検出するステップと、

演算部が、前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像とに基づいて、前記第 2 画像中の、前記注視反射点に対応する点を、被験者が注視している点として求めるステップと、

を有する、注視点抽出方法。

【請求項 1 2】

演算部が、被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像を取得するステップと、

演算部が、前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するステップと、

演算部が、前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出するステップと、

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出するステップと、

演算部が、前記第 1 画像から眼球の光軸を特定し、前記光軸に対し所定の角度を成す方向から到来した光が角膜表面において反射した点を特定し、前記第 1 写像と前記回転写像と前記第 2 写像とに基づいて、前記第 2 画像から前記特定した反射点群を、被験者の周辺視野の領域を形成する点群として検出するステップと、

を有する、

周辺視野推定方法。

【請求項 1 3】

被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 1 画像および被験者の眼球を撮影した画像である第 2 画像を取得するステップと、

前記第 1 画像のデータおよび前記第 2 画像のデータを記憶部に格納するステップと、

演算部が、前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するステップと、

演算部が、前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出するステップと、

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにお

10

20

30

40

50

ける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出するステップと、

演算部が、前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像と、に基づいて、前記記憶部に格納された前記第 1 画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第 2 画像のデータに対して位置合わせして前記第 2 画像に対して位置合わせされた前記第 1 画像のデータを生成するステップと、

演算部が、位置合わせされた前記第 1 画像を前記第 2 画像から減算して虹彩画像を生成するステップと、

演算部が、前記虹彩画像を用いて虹彩認識を行うステップと、を有する、
虹彩認識方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像の位置合わせ（レジストレーション（registration）、アライメント（alignment））のための装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、被験者が注視している点（注視点）および同被験者の個人パラメータを推定する装置が記載されている。該装置は、被験者の眼球の像が含まれる画像（眼球画像）を取得し、当該眼球画像から、眼球の姿勢（すなわち眼球の光軸の方向）を推定するとともに、被験者の視線の方向（注視の方向）を推定する。そして、該装置は、眼球の光軸の方向と視線の方向との間のずれ量を個人パラメータとして定量化する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】国際公開第 2014/021169 号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

30

眼球を撮像して得られる画像（眼球画像）には一般に、眼球の角膜で鏡面反射した光の像（角膜表面反射像）が含まれる。当該角膜表面反射像は、被験者が実際に見ている光景と対応している。このことを利用して、例えば、そのような角膜表面反射像を含む眼球画像と、被験者周囲の風景の画像（シーン画像）とを用いて、被験者が目にした光景を復元しようとする試みが近年活発に行われている。このような研究およびその成果から派生する種々のアプリケーションにおいては、眼球画像と、眼球画像とは別に被験者の周囲の風景を撮像して取得されるシーン画像との位置合わせ（レジストレーション）は極めて重要な技術である。

【0005】

しかしながら、角膜表面反射像に多くのノイズ成分が含まれるため、眼球画像とシーン画像との位置合わせ（レジストレーション、アライメント）をロバストに行うことは、困難であった。

40

【0006】

本発明は、例えば眼球画像とシーン画像のような、2 つまたはそれ以上の画像間で相互の位置合わせ（レジストレーション、アライメント）をロバストに行うことができる装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様は、

第 1 画像のデータおよび第 2 画像のデータを取得する取得部と、

50

第 1 画像のデータおよび第 2 画像のデータを格納する記憶部と、

第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング部と、

第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

球面光線マップにおける第 1 画像の像と、球面光線マップにおける第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、対応点对を構成する第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、対応点对を構成する第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出部と、

第 1 写像と、回転写像と、第 2 写像と、に基づいて、記憶部に格納された第 1 画像のデータを、記憶部に格納された第 2 画像のデータに対して位置合わせして第 2 画像に対して位置合わせされた第 1 画像のデータを生成するレジストレーション部と、を有する画像位置合わせ装置である。

【発明の効果】

【0008】

本発明の実施形態による画像位置合わせ装置は、2 つまたはそれ以上の画像間で相互の位置合わせ（レジストレーション、アライメント）をロバストに行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】アイ・カメラおよびシーン・カメラの配置例を示す図

【図 2】アイ・カメラが撮像した眼球画像の例（a）、および、シーン・カメラが撮像したシーン画像の例（b）を示す図

【図 3】実施形態による画像位置合わせ方法の概略を示す図

【図 4】実施形態による画像位置合わせ装置の構成を示すブロック図

【図 5】画像位置合わせ装置が実行する画像位置合わせの処理の流れを示すフローチャート

【図 6】取得した眼球画像およびシーン画像、ならびに、左右反転を施した眼球画像の例を示す図

【図 7】弱透視投影モデルを用いた眼球姿勢推定の方法を説明する図

【図 8】眼球画像およびシーン画像における初期対応点对の例を示す図

【図 9】眼球画像およびシーン画像における複数組の初期対応点对の例を示す図

【図 10】図 5 のステップ S 5 での処理（RANRESAC 処理）の詳細を示すフローチャート

【図 11】第 i 組の初期対応点对を示す図

【図 12】眼球画像において副次的対応点をランダムにプロットした例を示す図

【図 13】第 i 組の初期対応点对での対応関係に従って導出されたワーピング関数に基づいて、眼球画像上にランダムにプロットされた副次的対応点对に対応するシーン画像上の副次的対応点をプロットした例を示す図

【図 14】レジストレーションされた眼球画像の例、および、ファイン・レジストレーション（微調整）の実行の例を示す図

【図 15】実施形態による位置合わせ装置を用いた応用例（視点推定）を示す図

【図 16】実施形態による位置合わせ装置を用いた応用例（周辺視野推定）を示す図

【図 17】実施形態による位置合わせ装置を用いた応用例（虹彩認証用画像の生成）を示す図

【発明を実施するための形態】

【0010】

1. 発明に至った経緯

図 1 に示すようなシステムを例に挙げ、本発明に至った経緯を説明する。同図のシステムは、被験者の眼球 20（のうち、主として角膜 21）を撮像するアイ・カメラ 911e と、被験者が見ている光景（シーン）を撮像する（撮像の方向が被験者の視線方向と略一

10

20

30

40

50

致するように設置されている)シーン・カメラ911sを有する。同システムには、図示しないコンピュータがさらに含まれ、そのコンピュータが、アイ・カメラ911eが撮像した画像(眼球画像)から被験者の視線の方向を推定するとともに、シーン・カメラ911sが撮像した画像(シーン画像)を用いて被験者が目にしている光景を高精細に復元することを試みる。

【0011】

図2は、図1のシステムのアイ・カメラ911eおよびシーン・カメラ911sが撮像する眼球画像およびシーン画像の例を示す図である。図2(a)は、アイ・カメラ911eが撮像した被験者の眼球の画像(眼球画像)Ie9の例である。図2(b)は、シーン・カメラ911sが撮像した被験者が目にした光景(シーン)の画像(シーン画像)Is9の例である。

10

【0012】

上記したコンピュータは、(例えば領域I930eに見られるような)角膜表面での反射光の像から、被験者が見ている光景(シーン)を推定する。そして、コンピュータは、当該シーンに対応する影像をシーン画像Is9の例えば領域I930sから求め、この結果を踏まえて、高精細なシーン画像Is9を用いて被験者が目にした光景を復元しようとする。

【0013】

しかしながら、眼球画像Ie9を見れば、角膜表面反射像のコントラストは比較的低く、かつ、角膜表面反射像には虹彩のテクスチャIitや、まつげIelおよびまつげの影Iselといったノイズが溢れている。さらに、角膜が曲面状の表面を有するために、角膜に映るシーンの影像は非線形的な歪みを受けている。そのため、従来の画像位置合わせの手法では、眼球画像Ie9と、シーン画像Is9とをロバストに位置合わせすることは困難であった。

20

【0014】

2. 本発明の実施形態の概要

そこで、本願発明者は、以下に説明する新規な画像位置合わせのための装置および方法を提案する。まずここでは図3を参照し、本発明の実施形態による画像位置合わせ装置が実行する画像位置合わせ方法の概要を説明する。

【0015】

本発明の実施形態による画像位置合わせ装置は、眼球画像Ieとシーン画像Isのデータを取得して、メモリ等の記憶手段に格納する。そして、画像位置合わせ装置は、シーン画像Is、および、眼球画像Ieそれぞれを球面光線マップ(球面光線環境、Environmental Map (EM))へ移す写像(第1写像および第2写像)を決定する。ここでの「球面光線マップ」とは、画像を撮像した手段を中心として当該中心へ入射する光を所定の半径を有する球面にマッピングしたときに生成される、撮像手段を取り囲む光線環境に関するマップである。図3(c)は、シーン画像Isについての球面光線マップEMsの例であり、同図には、球面光線マップEMsにおけるシーン画像の像が示されている。図3(d)は、眼球画像Ieについての球面光線マップEMeの例であり、同図には、球面光線マップEMeにおける眼球画像の像が示されている。ここでは、シーン画像Isを球面光線マップEMsへ移す(変換する)写像(変換関数)をAs()とし、眼球画像Ieの角膜表面反射像を球面光線マップEMeへ移す(変換する)写像(関数)をL()としている。たとえば、シーン画像Isの画素x₁は、写像Asにより、球面光線マップEMs上のAs(x₁)へ移り、眼球画像Ieの画素x₂は、写像Lにより、球面光線マップEMe上のL(x₂)へ移る。

30

40

【0016】

次に、画像位置合わせ装置は、シーン画像Is(第1画像)と、眼球画像Ie(第2画像)(の角膜表面反射像)と、の間で、対応する特徴点のペア(以下で「初期対応点对」とも称される点对)を少なくとも一対(例えば点pと点qの一対)求める。画像位置合わせ装置は、ここでの対応点の検出のため、既存の手法(SIFT (Scale-Invariant Feat

50

ure Transform)、SURF (Speeded Up Robust Features)等)を用いることができる。
 SIFTやSURFといった既存の特徴点検出の手法では、検出された対応点对の各特徴点(点 p 、点 q)それぞれについての局所特徴量として、方向(オリエンテーション)の情報(θ_p 、 θ_q)を算出することができる。画像位置合わせ装置は、このオリエンテーションの情報(θ_p および θ_q)と対応点(特徴点)(点 p 、点 q)の位置の情報を利用して、球面光線マップ EM_s 上のシーン画像の像を球面光線マップ EM_e 上の角膜表面反射像に対して位置整合させる回転写像 R を決定する。ここでは、球面光線マップ EM_s と球面光線マップ EM_e とが実質的に等しいと仮定し、故に、上述の位置整合は回転写像 R により表現可能であることを仮定している。(つまり、たとえば、シーン画像 I_s の画素 q_1 は、写像 A_s により、球面光線マップ EM_s 上の $A_s(q)$ へ移り、球面光線マップ EM_s 上のシーン画像の像の画素 $A_s(q)$ におけるオリエンテーションの情報は、 $A_s'(q, \theta_q)$ と表現され、眼球画像 I_e の画素 p は、写像 L により、球面光線マップ EM_s と共通する球面光線マップ EM_s 上の $L(p)$ へ移り、球面光線マップ EM_e 上の眼球画像(の角膜表面反射像)の像の画素 $L(p)$ におけるオリエンテーションの情報は、 $L'(p, \theta_p)$ と表現される。)

【0017】

最後に、画像位置合わせ装置は、眼球画像 I_e の各画素に対し、写像 $L()$ 、回転写像 R の逆写像 R^{-1} 、写像 $A_s()$ の逆写像 $A_s^{-1}()$ (図中のワーピング関数 $W(W = A_s^{-1} \cdot R^{-1} \cdot L())$)を適用することにより、眼球画像 I_e の各画素をシーン画像 I_s に対し位置合わせ(レジストレーション、アライメント)する。つまり、本実施形態によれば、画像位置合わせの問題は、球面光線マップ上での2つの像の位置整合の問題に帰着される。球面上の位置整合の問題へ帰着されることにより、レジストレーションに必要な、求めるべきパラメータの数が低減される、という効果が奏される。そのため、本画像位置合わせ装置は、ただ一組の初期対応点对(特徴点 p と特徴点 q で構成されるペア)を求めることで、位置合わせが可能となる。すなわち、本画像位置合わせ装置が実行する画像位置合わせ方法においては、ただ一組の初期対応点对(の各特徴点の位置および局所特徴量(オリエンテーション))が決定できさえすれば、正しくレジストレーションを実行可能である。この意味で、本画像位置合わせ装置が実行する画像位置合わせはロバストである。つまり、正しい初期対応点对を複数組み抽出することが困難な場合にも、本画像位置合わせ装置は、ただ一組の初期対応点对が決定できさえすれば正しくレジストレーションを実行可能であるという意味で、本手法はロバストである。なお、画像位置合わせ装置は、初期対応点对の検出および当該初期対応点对を構成する各点での局所特徴量(例えばオリエンテーションの情報)の算出に、上述のSIFTおよびSURFのほかにも、MSER(Maximally Stable External Regions)といった手法を用いることができる。

【0018】

また、画像位置合わせ装置が、上述の「一組の初期対応点对」を決定する工程も、新規な特徴を有している。本明細書では、この、新規で特徴的な初期対応点对抽出の工程を、「RANRESAC」(RANDOM RESample Consensus)と称する。RANRESACは、一言で言えば、二画像の複数の初期対応点对の候補から最も対応がよい一組の初期対応点对を決定して当該一組の初期対応点对に基づいて画像の位置合わせをするものである。RANRESACは、最適なただ一組の最適な初期対応点对に基づいて画像の位置合わせをする点において、位置合わせに大勢の適切な(よく対応した)対応点对を必要とするRANSAC(RANDOM SAmple Consensus)と大きく相違する。なお、このRANRESACが適用可能な二画像は、眼球画像とシーン画像の組み合わせに限定されない。

【0019】

以下では、眼球画像(の角膜表面反射像)とシーン画像との間での画像位置合わせ(レジストレーション)を例として、本発明の実施形態による画像位置合わせ装置および方法を説明する。しかしながら、本発明は、言うまでも無いことだが、眼球画像およびシーン画像に限らず、様々な画像について相互の位置合わせ(レジストレーション、アライメン

10

20

30

40

50

ト)を行うことができる。

【0020】

3. 画像位置合わせ装置の構成

図4は、本発明の実施形態による画像位置合わせ装置10の構成を示す概略図である。画像位置合わせ装置10は、被験者の眼球20(のうち主として角膜21)を撮像するアイ・カメラ11eから画像データ(「眼球画像」のデータ)を取得するための第1映像インタフェース3eと、被験者が見ている光景(シーン)を撮像する(撮像の方向および画角が被験者の視線方向(眼球の光軸の方向)と略一致するように(あるいは視線方向を含むように)設置されている)シーン・カメラ11sから画像データ(「シーン画像」のデータ)を取得するための第2映像インタフェース3sを備えている。さらに、画像位置合わせ装置10は、第1および第2映像インタフェース3e, 3sを介して装置10へ入力され記憶部2に格納されたシーン画像および眼球画像のデータを用いて両画像の位置合わせを行う演算部1(制御部)と、眼球画像のデータやシーン画像のデータといった各種データおよび演算部1が実行するプログラム等を格納する記憶部2を備える。なお、画像位置合わせ装置10は、アイ・カメラ11eとシーン・カメラ11sとともに画像位置合わせシステムを構成する。

10

【0021】

演算部1は、所定のプログラム(画像位置合わせプログラム)を実行することにより、画像位置合わせ装置のマッピング部、対応点抽出部、回転写像導出部、および、レジストレーション部として動作する。

20

【0022】

入力部5は、外部の演算装置に対するデータ・インタフェース、および、ユーザからのデータ入力を受け付けるユーザ・インタフェースを含み、ユーザ・インタフェースは、マウス、キーボードといった入力装置を含む。

【0023】

なお、演算部1は、装置10の全体の動作を制御する制御部としても動作する。当該制御動作の一つとして、演算部1はシーン・カメラ11sおよびアイ・カメラ11eの動作(撮像等)を制御してもよい。

【0024】

演算部1は、所謂、中央処理装置(CPU、Central Processing Unit)である。しかしながら、演算部1の構成は、CPUおよびその周辺の補助回路に限定されない。演算部1は、所定の演算処理に特化したGPU(Graphics Processing Unit)等でもよい。あるいは、演算部1は、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)や、FPGA(Field-Programmable Gate Array)のようなプログラマブルロジックデバイスや、マイクロコントローラ、といったプロセッサとして実装することも可能である。演算部1は、CPU等の上記要素を複数組み合わせ構成されてもよく、かつ演算部1を構成する要素は上述の例に限定されるものではない。演算部1は、記憶部2に格納された画像位置合わせプログラムを実行することにより、本発明の実施形態による画像位置合わせ方法を実行することができる。また、画像位置合わせプログラムは、フレキシブル・ディスク、光ディスク、フラッシュメモリ等に記録されてよく、また、インターネット等のネットワークを介して送信されてよい。

30

40

【0025】

記憶部2は、各種データおよび演算部1が実行する画像位置合わせプログラム等を格納する。記憶部2は、例えば、ROM(Read-Only memory)およびRAM(Random Access Memory)である。記憶部2には、画像位置合わせプログラムのほか、シーン・カメラ11sおよびアイ・カメラ11eのカメラ内部マトリクス(camera internal matrix)が保持されている。(カメラ内部マトリクスとは、カメラ内部パラメータをその要素を含むマトリクス形式のデータである。)カメラ内部マトリクスのデータは、画像位置合わせの前に外部から記憶部2へロードして記憶部2へ格納されてもよいし、あるいは、カメラ内部マトリクスのデータは、画像位置合わせプログラムに含まれてもよい。あるいは、画像位置

50

合わせ装置 10 は、画像位置合わせの前に、演算部 1 (CPU) の制御の下、シーン・カメラ 11s およびアイ・カメラ 11e についてカメラキャリブレーションを行うことにより各々のカメラ内部マトリクスを求めてそれらを記憶部 2 に格納するように動作してもよい。

【0026】

出力部 4 は、演算部 1 が行った画像位置合わせの結果を出力する。出力部 4 は、例えば、モニタディスプレイであり、あるいは、プリンタである。あるいは、出力部 4 は、ハードディスクやフラッシュメモリといった外部記憶装置や、ネットワークを介して接続された他のコンピュータとの接続を実現するためのインタフェース機構を備えてもよい。

【0027】

4. 画像位置合わせの流れ

次に、図 5 ~ 図 14 を参照し、画像位置合わせ装置 10 の演算部 1 (図 4) が、画像位置合わせプログラムを実行したときに行う処理について説明する。

【0028】

図 5 は、画像位置合わせ装置 10 (図 4) が実行する画像位置合わせの処理の流れを示すフローチャートである。

【0029】

ステップ S1 において、演算部 1 (図 4) は、取得部として動作して、アイ・カメラ 11e が撮像した眼球画像、および、シーン・カメラ 11s が撮像したシーン画像を取得する。図 6(a) は、そのようにして取得されたシーン画像 Is の例であり、図 6(b) は、同様に取得された眼球画像 Ie' の例である。取得したシーン画像 Is および眼球画像 Ie' は、記憶部 2 (図 4) に格納される。

【0030】

ステップ S2 において、演算部 1 (図 4) は、引き続き取得部として動作して、取得した眼球画像 Ie を、左右方向について反転させる。これは、眼球画像 Ie の角膜表面反射像に含まれるシーンの向きを、シーン画像 Is におけるシーンの像の向きと一致させるためである。図 6(c) は、そのようにして反転された眼球画像 Is の例である。反転された眼球画像 Is は、記憶部 2 (図 4) に格納される。以降、演算部 1 は、反転された眼球画像 Is を用いて処理を行う。なお、画像の反転の処理は、眼球画像 Ie に代えて、シーン画像 Is に対して施されてもよい。

【0031】

ステップ S3 において、演算部 1 (図 4) は、マッピング部として動作して、シーン画像 Is を球面光線マップ EMs へ移す写像 As () (図 3) と、眼球画像 Ie (の角膜表面反射像) を、球面光線マップ EMe へ移す写像 L () (図 3) とを決定する。

【0032】

シーン画像 Is を球面光線マップ EMs へ移す写像 As () (図 3) は次のようにして決定される。演算部 1 (図 4) は、記憶部 2 (図 4) に格納されている、シーン・カメラ 11s の 3 × 3 カメラ内部マトリクス Ks を読み出す。そして、演算部 1 は、写像 As () を次式

【数 1】

$$A_s(q) = \frac{K_s^{-1} \begin{bmatrix} q^T & 1 \end{bmatrix}^T}{\left\| K_s^{-1} \begin{bmatrix} q^T & 1 \end{bmatrix}^T \right\|} \quad (1)$$

に従って決定する。(ここで、ベクトル q は、シーン画像 Is 中の点 (画素) を指すベクトルである。シーン画像 Is 中の点 q は、写像 As () により、ベクトル As (q) が指す球面光線マップ EMs 上の点に移る。) 演算部 1 は、このようにして決定した写像 As () (変換関数) を、記憶部 2 に格納する。

【0033】

10

20

30

40

50

他方、演算部 1 は、次のようにして、眼球画像 I_e を球面光線マップ $E M_e$ へ移す写像 $L(\cdot)$ (図 3) を決定する。

【0034】

写像 $L(\cdot)$ の決定方法について、主として図 7 を参照して説明する。図 7 (a) は、球面 (角膜球 21_{SPH} の表面) の一部とみなした角膜 21 と、アイ・カメラ 11_e (原点 O) と、で構成される非剛体反射屈折結像系 (non-rigid catadioptric imaging system) の弱透視投影モデルである。図 7 (b) は、原点 O 側から見た場合の投影面 IP の例図である。図 7 (c) は、眼球の光軸方向ベクトル g と角度 φ および τ との関係を説明する図である。この弱透視投影モデルにおいては、角膜 21 は、角膜球 21_{SPH} を角膜縁 21_L で切り取った部分球面とみなすことができる。なおここでは、角膜 21 の代表寸法 (半径 r_L 、角膜縁中心 I と球面 21_{SPH} の中心 C と間の距離 d_{LC}) として、固定値 (ヒトの平均値) を採用するものとする。

10

【0035】

眼球の姿勢は、角膜縁中心 I の位置と、眼球光軸方向 g と、で定めることができる。 Z_{cam} 軸方向に関し、角膜 21 の厚さは十分に薄いと仮定すれば、ほぼ真円である角膜縁 21_L は、投影面 IP において、(真円を含む) 楕円 21_{LP} となる。この楕円 21_{LP} は、中心 i_I 、長軸の長さ r_{max} 、短軸の長さ r_{min} 、および、回転角 φ 、の 4 つのパラメータで定めることができる。角膜縁 21_L の中心の位置は、投影面 IP における楕円 21_{LP} の中心 i_I 、および、角膜 21 とカメラ (原点 O) との間の距離 d ($d = r_L \cdot f / r_{max}$ 、(f は焦点距離)) とで定めることができる。つまり、角膜 21_L の中心を指し示す位置ベクトルをベクトル I とすれば、 $I = d \cdot K_e^{-1} i_I$ と表すことができ、ここで、 K_e は、シーン・カメラ 11_s の 3×3 カメラ内部マトリクスである。

20

【0036】

次に、眼球光軸方向 g (これは、被験者の視線の方向と略一致する。) は、方向ベクトル $g = [\sin(\tau) \sin(\varphi) \quad -\sin(\tau) \cos(\varphi) \quad -\cos(\tau)]^T$ と表すことができ、ここで、角度 τ は、アイ・カメラ 11_e の結像面 (投影面 IP) に対する角膜縁 21_L の傾きすなわち $\tau = \pm \arccos(r_{min} / r_{max})$ であり、角度 φ は、同結像面に対する楕円 21_{LP} の回転角である。(図 7 (a) から (c) を参照。)

【0037】

30

次に角膜球 21_{SPH} の中心 C の位置について考察する。角膜球 21_{SPH} の半径 r_C をおよそ 7.7 ミリメートル (ヒトの平均値) とすれば、角膜球中心 C は、光軸方向 g のマイナス方向に沿って角膜縁中心 I からおよそ 5.6 ミリメートル ($d_{LC}^2 = r_C^2 - r_L^2$) の位置にあることがわかる。

【0038】

以上を踏まえ、眼球画像 I_e (図 6 (c)) として結像される光の経路の逆経路 (眼球画像 I_e の画素 p から出た光が、角膜 21 上の点 P で反射してシーン内の光源へ向かう経路) を考える。アイ・カメラ 11_e (図 4) の 3×3 カメラ内部マトリクスを K_e とすれば、アイ・カメラ 11_e の正規化逆投影ベクトル $A_e(p)$ は、

【数 2】

40

$$A_e(p) = \frac{K_e^{-1} p}{\|K_e^{-1} p\|} \quad (2)$$

と表すことができ、ここで、ベクトル p は、眼球画像中のピクセル p の位置ベクトルである。角膜 21 上の点 P において反射した光が、眼球画像のピクセル p に結像するとき、点 P の位置ベクトルは、 $P = t_1 \times A_e(p)$ と表すことができる。角膜球 21_{SPH} の中心を C として、関係式 $\|P - C\|^2 = r_C^2$ を t_1 について解く。

【数 3】

$$t_1^2 \|A_e(p)\|^2 - 2t_1 (A_e(p) \cdot C) + \|C\|^2 - r_C^2 = 0 \quad (3)$$

ここで、定義より、 $\|A_e(p)\|^2 = 1$ であるから、

【数 4】

$$t_1 = (A_e(p) \cdot C) \pm \sqrt{(A_e(p) \cdot C)^2 - \|C\|^2 + r_C^2} \quad (4)$$

を得る。角膜表面における反射光に興味があるので、2つの t_1 のうちで値が小さいほうを採る。これにより、眼球画像のピクセル p に結像する光の、角膜21上における反射点 P が定まる。以上より、眼球画像のピクセル p に結像する光の経路のシーン中の点を示すベクトル $L(p)$ と、角膜表面上の点 P における法線ベクトル $N(p)$ は、次式、

【数 5】

$$L(p) = 2(-A_e(p) \cdot N(p))N(p) + A_e(p) \quad (5)$$

$$N(p) = \frac{(P - C)}{\|P - C\|}$$

で求めることができる。上式を用いることで、眼球画像 I_e の少なくとも瞳の領域の画素の影像について角膜表面で反射した光の光源の方向を特定することができる。すなわち、上式から、角膜表面反射像についての球面光線マップ EM_e (図3)を構成することができる。換言すれば、式(5)の $L()$ は、眼球画像 I_e (図6)の角膜表面反射像を、上記非剛体反射屈折結像系についての球面光線マップに移す写像(変換関数)である。

【0039】

演算部1(図4)は、マッピング部として動作して、上記式(2)から(5)に相当する演算を行うことによって、眼球画像 I_e の角膜表面反射像を球面光線マップ EM_e へ移す写像 $L()$ (図3)を決定する。当該演算に用いられる計算アルゴリズムは、画像位置合わせプログラム内に格納されている。(ここで、ベクトル p は、眼球画像 I_s の角膜表面反射像中の点(画素)を指すベクトルである。眼球画像 I_s の角膜表面反射像中の点 p は、写像 $L()$ により、ベクトル $L(p)$ が指す球面光線マップ EM_e 上の点に移る。)演算部1は、このようにして決定された写像 $L()$ を、記憶部2に格納する。

【0040】

図5に戻り、ステップS4において、演算部1は、対応点抽出部として動作して、図8および図9に示すように、シーン画像 I_s (図6(a))および眼球画像 I_e (図6(c))において回転・スケール不変な特徴点(LP_s1 および LP_e1 等)を検出し、それら特徴点それぞれの局所特徴量を算出する。特徴点の検出および局所特徴量の算出は、例えばSIFTに従えばよい。特徴点の検出および局所特徴量の算出に必要なアルゴリズムは、記憶部2に格納された画像位置合わせプログラム内に格納されている。例えば、SIFT特徴量を用いる場合、演算部1が算出する局所特徴量は、1.位置の情報(ベクトル x)、2.オリエンテーションの情報(θ^x)、3.特徴ベクトル(ベクトル $F(x)$)、4.スケールパラメータ(s^x)の4つの成分で構成される。したがって局所特徴量は、眼球画像 I_e の i 番目の特徴点 p について

【数 6】

$$\{p_i, F(p_i), \theta_i^p, s_i^p\} \mid i=1 \dots M\}$$

$\{p_i, F(p_i), \theta_i^p, s_i^p\}$ 、シーン画像 I_s の i 番目の特徴点 q について

10

20

30

40

【数 7】

$$\{(\mathbf{q}_i, \mathbf{F}(\mathbf{q}_i), \theta_i^q, s_i^q) | i=1 \dots M\}$$

$\{q_i, F(q_i), \theta_i^q, s_i^q\}$ と表現することができる。演算部 1 は、検出した特徴点の位置および局所特徴量を記憶部 2 に格納する。

【0041】

次に演算部 1 は、引き続き対応点抽出部として動作して、SIFT 等に従って検出した特徴点および算出した局所特徴量に基づき、シーン画像 I_s 中の特徴点 ($LP_s 1$ 等) と、眼球画像 I_e 中の特徴点 ($LP_e 1$ 等) との対応点マッチング ($CP 1$ 等) を行う。図 8 は、1 番目の初期対応点对 $CP 1$ を例示する。演算部 1 は、図 9 に示すように、対応点マッチングを複数回行って、複数組み (M 組み) の初期対応点对 ($CP_1 \sim CP_M$) を求める。そして、演算部 1 は、対応点 ($LP_s 1 \sim LP_s M$ および $LP_e 1 \sim LP_e M$) の位置、および、初期対応点对 ($CP_1 \sim CP_M$) の対応関係の情報を、記憶部 2 に格納する。

10

【0042】

次に、ステップ S5 において、演算部 1 は、ステップ S4 で求めた初期対応点对 ($CP_1 \sim CP_M$) それぞれについて、各初期対応点对 (CP_1 、 CP_2 、 $\dots$ 、 CP_{M-1} 、または、 CP_M) の対応関係に基づいて、球面光線マップ EM_s 上でのシーン画像 I_s の像と、球面光線マップ EM_e 上での眼球画像 I_e (の角膜表面反射像) の像とを位置整合させる (3×3 マトリクス) 回転写像 R を次式

20

【数 8】

$$\mathbf{L}(\mathbf{p}) = \mathbf{R} \mathbf{A}_s(\mathbf{q}) \quad (6)$$

に従って導出し、回転写像 R を用いて眼球画像 I_e の画素をシーン画像 I_s の画素とレジストレーションする変換関数 (ワーピング関数 W) を導出する。式 (6) におけるベクトル $\mathbf{p}$ およびベクトル $\mathbf{q}$ は、初期対応点对 (CP_1 、 CP_2 、 $\dots$ 、 CP_{M-1} 、または、 CP_M) を構成するシーン画像 I_s および眼球画像 I_e の点 ($LP_s 1$ 、 $LP_s 2$ 、 $\dots$ 、 $LP_s M-1$ 、または、 $LP_s M$ 、ならびに、 $LP_e 1$ 、 $LP_e 2$ 、 $\dots$ 、 $LP_e M-1$ 、または、 $LP_e M$) である。また、シーン・カメラ 11s を構成する光学系と、アイ・カメラ 11e および角膜 21 で構成される結像系は、両者とも、実質的に同一な光線環境にあることを仮定している。(この仮定により、眼球画像 I_e とシーン画像 I_s のレジストレーション (ワーピング関数 W の導出) は、回転写像 R の導出に帰着される。)

30

【0043】

演算部 1 は、次のように表現される計算アルゴリズムに従って回転写像 R を導出する。

【0044】

式 (1) および式 (6) ならびに図 3 等から明らかなように、シーン画像 I_s の i 番目の対応点 $LP_{s i}$ と眼球画像 I_e の i 番目の対応点 $LP_{e i}$ で構成される初期対応点对 (CP_i) の対応関係に従う回転写像 R_i は、

【数 9】

$$\mathbf{R}_i = [\hat{\mathbf{L}}_x \quad \hat{\mathbf{L}}_y \quad \hat{\mathbf{L}}_z] [\hat{\mathbf{A}}_x \quad \hat{\mathbf{A}}_y \quad \hat{\mathbf{A}}_z]^{-1} \quad (7)$$

40

であり、ここで、

【数 1 0】

$$\left. \begin{aligned} L_x &= L(p_i) \\ L_y &= L(p_i) \times (L(p_i) \times L'(p_i, \theta_i^p)) \\ L_z &= L(p_i) \times L'(p_i, \theta_i^p) \\ L'(p, \theta_i^p) &= L(p + u(\theta^p)) - L(p) \end{aligned} \right\} \quad (8a)$$

【数 1 1】

$$\left. \begin{aligned} A_x &= A_s(q_i) \\ A_y &= A_s(q_i) \times (A_s(q_i) \times A'_s(q_i, \theta_i^q)) \\ A_z &= A_s(p_i) \times A'_s(q_i, \theta_i^q) \\ A'_s(q, \theta_i^q) &= A_s(q + u(\theta^q)) - A_s(q) \end{aligned} \right\} \quad (8b)$$

【数 1 2】

$$u(\theta) = [\cos(\theta) \quad \sin(\theta)]^T \quad (8c)$$

である。式(7)のハット記号(「^」)は、規格化されたベクトルを表し、 L' ()および A_s' ()は、二次元で表されたオリエンテーションの情報を、球面光線マップにおける三次元的なオリエンテーション情報に変換する関数である。第*i*番目の初期対応点对(CP_i)の対応関係に従う回転写像 R_i を用いれば、次式

【数 1 3】

$$W_i(p) = \frac{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} K_s R_i^{-1} L(p)}{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} K_s R_i^{-1} L(p)} \quad (9)$$

より、第*i*番目の初期対応点对(CP_i)の対応関係に従う変換写像(ワーピング関数 W_i)が定まる。ワーピング関数 W_i は、第*i*番目の初期対応点对(CP_i)の対応関係に従って眼球画像 I_e の画素をシーン画像 I_s の画素に対してレジストレーションする写像である。演算部1は、初期対応点对($CP_1 \sim CP_M$)と対応付けて、ワーピング関数 W_i ($i: 1 \sim M$)を記憶部2に格納する。

【0045】

図5に戻り、ステップS6において、演算部1(図4)は、対応点对抽出部として動作して、*M*組目の初期対応点对それぞれの対応関係を評価し、最も高く評価された点对で構成される初期対応点对を対応点对として抽出する(「RANRESAC」処理)。より具体的には、演算部1は、RANRESAC処理においては、前記初期対応点对のうちの1組の点对の対応関係に従うように、前記第1画像および前記第2画像において複数の副次的対応点对を特定してそれら副次的対応点对の対応関係を評価することにより、上記初期対応点对の1組の点对の対応関係を評価する。そして、最も高く評価された点对で構成される初期対応点对を最適な初期対応点对として抽出する。つまり、演算部1は、ステップS5において初期対応点对(CP_i)に応じて求めたワーピング関数 W_i を用いて眼球画像 I_e およびシーン画像 I_s において副次的な対応点对をさらに求め、それら副次的な対応点对に関する画像相関を計算して、ワーピング関数 W_i の正しさを評価することにより、複数の(*M*個)のワーピング関数 W_i のうちから最適なワーピング関数 W を決定する。

【0046】

図10は、最適な初期対応点对を決定するための処理(RANRESACの処理)の詳細

細を示すフローチャートである。演算部 1 は、対応点对抽出部として動作して、図 10 に示された処理を実行する。

【0047】

ステップ S 6 1 において、演算部 1 は、対応点对抽出部として動作して、i 番目の対応点对 CP_i (図 11) に基づいて求めたワーピング関数 W_i を用いて副次的な対応点对を生成する。具体的には、演算部 1 は、眼球画像 I_e の角膜の領域を検出し、角膜の領域内でランダムに K 個の点 SLP_{e_i} (図 12) を設定する。そして、演算部 1 は、ワーピング関数 W_i を用いて角膜の領域内の K 個の点 SLP_{e_i} それぞれと対応するシーン画像 I_s 中の点 SLP_{s_i} (図 13) を抽出して、K 組みの副次的な対応点对を抽出する。これら副次的な対応点对は、

10

【数 14】

$$\{(p_j^*, W_i(p_j^*)) | j = 1 \dots K\}$$

と表現することもでき、ここで、ベクトル p_j^* は、眼球画像 I_e の角膜の領域内のランダムに選ばれた点を指す位置ベクトルである。

【0048】

次に、ステップ S 6 2 において、演算部 1 は、対応点对抽出部として動作して、上述の副次的な対応点对のグループ (ワーピング関数 W_i (i は、所与の整数 ($i = 1 \sim M$)) に従って求められた副次的対応点对群) について、局所的なテクスチャの相関性および方向の類似度を尺度として類似度を評価する。具体的には、演算部 1 は、以下の評価関数を用いて類似度を評価する。

20

【数 15】

$$P(W_i) = P_t(W_i) \cdot P_o(W_i)$$

$$\propto - \sum_{j=1}^K \frac{\|F(p_j^*) - F(q_j^*)\|^2}{2\sigma_t^2} - \alpha \sum_{j=1}^K \frac{\left\| 1 - \left(\hat{L}'(p_j^*, \theta_{p_j^*}) \cdot \hat{A}'_s(q_j^*, \theta_{q_j^*}) \right) \right\|^2}{2\sigma_o^2} \quad (10)$$

30

上式の右辺第 1 項は、テクスチャの類似度を表し、右辺第 2 項は、方向の類似度を表している。同項の σ_t 、 σ_o 、 α は、テクスチャの相関性と方向の類似度の重みを定義する正定数である。 $(\cdot, \cdot)$ は、ベクトルの内積である。 q_j^* は、 $W(p_j^*)$ を表す。

【0049】

演算部 1 は、M 組みの初期対応点对それぞれの副次的な対応点对のグループについて式 (10) を用いて評価を行う (ステップ S 6 3)。

【0050】

40

そして、演算部 1 は、ステップ S 6 4 において、対応点对抽出部として動作して、最も類似度が高いと評価された副次的な対応点对のグループ、すなわち、

【数 16】

$$i' = \arg \max_i (P(W_i)) \quad (11)$$

で定まる第 i' 番目の初期対応点对 ($CP_{i'}$) およびそのワーピング関数 $W_{i'}$ を特定する。

【0051】

なお、副次的な対応点对を構成する各点における局所特徴のスケール・パラメータを適

50

切に設定することが重要である。理想的には、スケール・パラメータは、球面光線マップにおいて同じ大きさ（空間ボリューム）を占めるように調整されればよい。ここでは、次式

【数 17】

$$s_i^q = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left\| \mathbf{W}_i(\mathbf{p} + [1 \ 1]^T) - \mathbf{W}_i(\mathbf{p} - [1 \ 1]^T) \right\| \cdot s_i^p \quad (12)$$

に従い、各画像での点（ p ， q ）におけるスケール・パラメータの比率を求める。ここで、 s_i^p は、ユーザが設定した角膜表面反射像におけるスケール・パラメータであり、 s_i^q は、対応するシーン画像中の点 q でのスケール・パラメータである。

【0052】

図5に戻り、ステップS7において、演算部1は、レジストレーション部として動作して、ステップS6で決定したワーピング関数 W_i を用いて、眼球画像 I_e （の角膜表面反射像）をシーン画像 I_s に対して位置合わせ（レジストレーション、アライメント）して、位置合わせされた眼球画像のデータを生成する。図14（a）はそのようにして求めた、位置合わせされた眼球画像（の角膜表面反射像） $I_e R$ である。

【0053】

図5のステップS8において、演算部1は、レジストレーション部として動作して、ステップS6で決定したワーピング関数 W_i の微調整（ファインレジストレーション）を行う。微調整が施された眼球画像のデータは、記憶部2（図4）に格納される。本ステップでは、演算部1は、角膜球中心Cの位置（図7）すなわち距離 d_{LC} の長さ、および、投影面IPにおける楕円の回転角 φ を微小変動させて式（10）に従う評価を繰り返し行い、評価値を収束させる。収束には、内点法を用いる。図14（c）は、ファインレジストレーション前の画像 $I_e R$ をシーン画像 I_s と重ね合わせた画像である。図14（d）は、ファインレジストレーション後の画像 $I_e R$ をシーン画像 I_s と重ね合わせた画像である。図14（c）および（d）を見れば判るように、ファインレジストレーション処理によって、さらにレジストレーションの精度が向上する。

【0054】

このように、画像位置合わせ装置10（図4）は、ただ一組の対応点对（ステップS6で決定された最適な初期対応点对）に基づいて変換写像（ワーピング関数 W_i （））を決定することができる。そうすることによって、眼球画像 I_e のシーン画像 I_s に対する位置合わせ（レジストレーション）をロバストに実行することができる。また、画像位置合わせ装置10（図4）は、RANRESAC処理を行って、上記ただ一組の対応点对を適切に決定することができる。すなわち、本画像位置合わせ装置は、RANRESAC処理により適切に一組の初期対応点对を決定し、正しくレジストレーションを実行可能である。この意味で、本画像位置合わせ装置が実行する画像位置合わせはロバストである。つまり、正しい初期対応点对を複数組み抽出することが困難な場合にも、本画像位置合わせ装置は、ただ一組の初期対応点对が決定できさえすれば正しくレジストレーションを実行可能であるという意味で、本手法はロバストである。

【0055】

なお、上記実施形態では、眼球画像 I_e をシーン画像 I_s に対して位置合わせする例を示したが、反対に、シーン画像 I_s を眼球画像 I_e に対して位置合わせすることも、当然のことながら可能である。また、本実施形態による画像位置合わせ装置10が位置合わせできる画像は、眼球画像 I_e とシーン画像 I_s との組み合わせに限定されない。また、上記実施形態では、画像位置合わせ装置10は、自装置に接続された撮像装置（アイ・カメラ11eおよびシーン・カメラ11s（図4））から位置合わせすべき画像のデータを取得している。しかしながら、画像位置合わせ装置10は、そういった撮像装置以外の装置（画像データベース等）から1つまたは2つ以上の画像のデータを取得し、当該画像について、位置合わせを実行することができる。例えば、画像位置合わせ装置10は、ネット

ワークを介して、Google Street Viewといったオープン・データベースから画像のデータを取得し、当該画像と、アイ・カメラ11eが撮像した眼球画像Ie（図6）との間で位置合わせを行ってよい。あるいは、画像位置合わせ装置10は、1つまたは複数の外部の装置（例えば、画像のデータベース）や光ディスク、フラッシュメモリといった記録媒体から複数の画像のデータを取得し、当該複数の画像の間で位置合わせを行ってもよい。これらの場合も、取得された各画像を球面光線マップへ移す写像は、画像位置合わせ装置10が、適宜、画像位置合わせ処理に先立って、予め準備すればよい。この準備の方法は、当業者にとっては自明である。

【0056】

なお、画像位置合わせ装置10は、画像位置合わせプログラムを記憶部2（図4）に格納し、当該プログラムは、上で説明した諸量の計算に必要な計算アルゴリズムを格納している。（しかしながら、当然のことながら、計算アルゴリズムの一部または全部は、画像位置合わせプログラムとは別に記憶部2に格納されてもよい。）

【0057】

5. 実験結果

本実施形態による画像位置合わせ装置10（図4）を用いた画像位置合わせ実験の結果を示す。本実験においては、角膜表面反射像（眼球画像Ie）およびシーン画像Isを安定して同時撮影するため、アイ・カメラ11e（図4）およびシーン・カメラ11s（図4）として、2台の小型ボードカメラ（IDS UI-1241LE-C-HQ, 1/1.8" CMOS, 1280 x 1024 pixel）および、ヘッドマウントシステムからなるシステムを構成した。該システムでは、アイ・カメラ11e（ $f=12\text{ mm}$, $(H, V)=(33.3, 24.8)\text{deg}$ ）は、眼球20から70～110ミリメートル程度離れた距離に位置し、瞳直径を約400～450画素程度の大きさで撮影した。低照度環境での撮影に際しては、アイ・カメラ11eのゲインおよび露出パラメータを調整した。アイ・カメラ11eおよびシーン・カメラ11sは、画像位置合わせ装置10（パーソナル・コンピュータ、PC）に接続された状態で、10fpsで画像を取得した。

【0058】

4人の被験者それぞれについて、屋外および屋内の環境で3か所ずつデータの取得を行った。取得後、手動で閉瞼のフレームを除去した後、10フレームごとに瞳輪郭抽出を行った。

【0059】

本実施形態による画像位置合わせ方法（1-point RANRESAC）ならびに、比較のため、2-point RANSACおよび2-point RANRESACをPCに実装して実験を行った。

【0060】

2-point RANSACでは、初期対応点对から2組みの初期対応点对をランダムに選択して、当該2組みの対応点对からワーピング関数を推定した。その後、残りの初期対応点对を用いて、何組みが正しく変換（レジストレーション）できたかをカウントする。これを500回繰り返し、そのなかで得られた解（ワーピング関数）のうち最良のものをワーピング関数に決定する。

【0061】

2-point RANRESACでは、2-point RANSACと同様にしてワーピング関数を推定した。その後、RANRESAC法に従って評価を行った。これを、2-point RANSACと同様、500回繰り返し、最良の解を選択した。

【0062】

すべての実験において、MATLAB 2013bのComputer Vision System Toolbox上で実装されたSURF局所特徴を用い、PC（Intel Core i7 3.2 GHz, 16GB RAM）を用いた。また、パラメータには、 $(\sigma_t, \sigma_o, \alpha, s^p) = (0.2, 0.2, 0.3, 0.5)$ を設定した。本実施形態による方法（1-point RANRESAC）および2-point RANRESACでのランダムサンプリングの点数（点对の組数）Kは、200とした。

【0063】

表１～表７に位置合わせの精度（成功率）を示す。位置合わせに要した時間は、１フレームあたり、３７．０秒（実施形態による画像位置合わせ方法（１-point RANRESAC））、１４．４７秒（２-point RANSAC）、１８０．４７秒（２-point RANRESAC）であった。

【００６４】

【表１】

シーン名称	被験者 番号	試験した フレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
キャンパス１	１	１６	１６（１００％）	３（１８．８％）	１３（８１．２５％）
キャンパス１	２	２６	２１（８０．８％）	２（７．７％）	１０（３８．５％）
キャンパス１	３	２３	２２（９４．７％）	１（４．３５％）	４（１７．３９％）
キャンパス１	４	２５	２３（９２．０％）	１（４．０％）	４（１６．０％）

【表１】屋外環境での実験結果１

【表２】

シーン名称	被験者 番号	試験した フレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
キャンパス２	１	４６	４１（８９．１％）	２（４．４％）	９（３９．１％）
キャンパス２	２	２０	１６（８０．０％）	２（１０．０％）	８（３４．７％）
キャンパス２	３	２３	２１（９１．３％）	３（１３．０％）	８（３４．８％）
キャンパス２	４	２３	１７（７３．９％）	２（８．７％）	７（１５．２％）

【表２】屋外環境での実験結果２

【表３】

シーン名称	被験者 番号	試験した フレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
路上	１	２５	２５（１００．０％）	１（４．０％）	９（３６．０％）
路上	２	２３	２０（８７．０％）	０（０％）	３（１３．４％）
路上	３	３０	２６（８６．７％）	３（１０．０％）	６（２０．０％）
路上	４	２５	２３（９２．０％）	２（８．０％）	８（３２．０％）

【表３】屋外環境での実験結果３

【表４】

シーン名称	被験者 番号	試験した フレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
ロビー１	１	２５	１８（７２．０％）	１（４．０％）	１０（４０．０％）
ロビー１	２	２２	１９（８６．４％）	１（４．６％）	１１（５０．６％）
ロビー１	３	２５	２３（９２．０％）	３（１２．０％）	１０（４０．０％）
ロビー１	４	２９	２９（１００．０％）	２（６．９％）	１５（５１．７％）

【表４】屋内環境での実験結果１

【表 5】

シーン名称	被験者 番号	試験した フレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
ロビー2	1	24	21 (87.5%)	2 (8.3%)	13 (54.2%)
ロビー2	2	24	23 (95.8%)	1 (4.2%)	11 (45.8%)
ロビー2	3	28	27 (96.4%)	2 (7.14%)	15 (53.57%)
ロビー2	4	26	26(100.0%)	2 (7.7%)	9 (34.6%)

【表 5】屋外環境での実験結果 2

10

【表 6】

シーン名称	被験者 番号	試験した フレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
室内	1	25	9(52.94%)	0 (0%)	3 (17.7%)
室内	2	26	20(76.9%)	2 (7.69%)	9 (34.6%)
室内	3	26	20(76.9%)	2 (7.69%)	5 (19.23%)
室内	4	24	18(75.0%)	1 (4.2%)	5 (20.8%)

【表 6】屋外環境での実験結果 3

20

【表 7】

総計	試験したフレーム数	本手法	2-point RANSAC	2-point RANRESAC
	626	538 (85.9%)	41 (6.6%)	200 (32.0%)

【表 7】実験結果のまとめ

【 0 0 6 5 】

実施形態による画像位置合わせ方法では、屋外シーンで 85.5% (表 1 ~ 表 3)、屋内シーン (表 4 ~ 表 6) で 86.3%、の成功率であり、2-point RANSACおよび2-point RANRESACを大幅に上回っている。2-point RANRESACは、1-point RANRESAC (本実施形態) よりは成功率が劣るが、同じ回転行列推定を行う2-point RANSACと比べて成功率の点で上回っている。このことから、RANRESAC法がノイズ状況に関してロバストであることが確認できた。

30

【 0 0 6 6 】

6. 応用例

本実施形態による画像位置合わせ装置および画像位置合わせ方法は、眼球画像 I_e の角膜表面反射像と、シーン画像 I_s とのマッチングを可能にする。以下、本実施形態を用いて実現される応用用途の例を紹介する。

【 0 0 6 7 】

40

6. 1. 注視点の推定

本実施形態による画像位置合わせ装置を用いた注視点推定を説明する。この注視点の推定により、例えば、ユーザが目で見ている風景の画像を抽出し、Googleストリートビュー等の画像を参照することで、ユーザが見ている物や場所を特定することができる。この技術は例えばAR(Augmented Reality)システムへの応用が可能である。本実施形態による画像位置合わせ装置を用いた注視点推定においては、従来の例と異なり、アイ・カメラとシーン・カメラとの相対的位置関係のキャリブレーションが不要である。また、同相対的位置関係を固定化する必要もない。

【 0 0 6 8 】

まず、演算部 1 は、視点抽出部として動作して、公知の手法により眼球画像から眼球の

50

姿勢を検出することにより被験者の注視反射点 G R P (図 1 5) を検出する。ここでの注視反射点 G R P とは、被験者の眼球の光軸とほぼ一致する視線の方向から到来した光が角膜表面において反射する点である。(公知の手法については、例えば、国際公開パンフレット W O 2 0 1 4 / 0 2 1 1 6 9 A 1 を参照。) そして、演算部 1 は、眼球画像 I e をシーン画像 I s にレジストレーションするワーピング関数 W を導出する。そして最後に、演算部 1 は、シーン画像 I s における、眼球画像 I e の注視反射点 G R P に対応する点 G R P ' (図 1 5) を求める。シーン画像 I s における点 G R P ' は、被験者が注視している光景 (注視点) に相当する。

【 0 0 6 9 】

このようにして、本実施形態による画像位置合わせ装置によって、被験者が注視している光景 (注視点) を、シーン画像 I s 中から抽出することが可能になる。すなわち、以上のように、本実施形態による画像位置合わせ装置は、注視点抽出システムとしても動作する。

【 0 0 7 0 】

6 . 1 . 1 ディスプレイ装置への応用

上記の注視点抽出システムとして動作する画像位置合わせ装置を用いたディスプレイ装置を説明する。この技術は例えば AR (Augmented Reality) システムへの応用が可能である。このディスプレイ装置 (A R システム) においては、従来の例と異なり、アイ・カメラとシーン・カメラとの相対的位置関係のキャリブレーションが不要である。また、同相対的位置関係を固定化する必要もない。このディスプレイ装置は、本実施形態による画像位置合わせ装置と同様に図 4 に示す構成を有する。出力部 4 は画像を表示するモニタディスプレイである。演算部 1 は、出力部 4 にシーン画像 I s を表示させるととともに、上述のように抽出したシーン画像 I s におけるシーン画像中の任意の点の位置に所定の画像を重ねて表示させる。これによって A R システムによる重畳表示を行う事ができる。

【 0 0 7 1 】

6 . 2 . 周辺視野の推定

さらに、本実施形態による画像位置合わせ装置および画像位置合わせ方法により、被験者の周辺視野をシーン画像 I s に復元することもできるようになる。

【 0 0 7 2 】

まず、演算部 1 は、視野推定部として動作して、眼球画像 I e を用いて眼球の姿勢 (光軸) を特定し、眼球の光軸に対し所定の角度 (たとえば、 1 0 度、 2 0 度、 . . . 9 0 度) を成す方向から到来した光が角膜表面において反射した点を特定する (図 1 6) 。これらの点は、眼球画像 I e において、曲線を描くように分布する。次に、演算部 1 は、これらの点に対応する点を、本実施形態により決定されたワーピング関数 W を用い、シーン画像 I s 内から検出する。検出された点群は、被験者の周辺視野 (注視点を中心として所定の角度で広がる領域) の領域を形成する。

【 0 0 7 3 】

このようにして、本実施形態による画像位置合わせ装置によって、被験者の周辺視野の領域を、シーン画像 I s 中から抽出することが可能になる。すなわち、画像位置合わせ装置は、シーン画像 I s において被験者の周辺視野の領域を推定することができ、つまり、周辺視野の推定システムとしても動作する。

【 0 0 7 4 】

6 . 3 . 虹彩認識への応用

既存の虹彩認識の手法では、角膜表面での鏡面反射を抑制するため赤外線照明を用いて眼球の画像を取得している。これに対し、本実施形態による画像位置合わせ装置を用いれば、シーン画像を用いて、眼球画像に含まれる鏡面反射 (角膜表面反射像) を除去することができるようになる。

【 0 0 7 5 】

まず、本実施形態による画像位置合わせ装置の演算部 1 は、眼球画像 I e (図 1 7) とシーン画像 I s (図 1 7) との間のワーピング関数 W を導出する。演算部 1 は、このワー

10

20

30

40

50

ピング関数 W を用いて、シーン画像 I_s を眼球画像 I_e に対して位置合わせする。演算部1は、虹彩画像生成部として動作して、位置合わせされたシーン画像 I_s を、眼球画像 I_e におけるシーン画像 I_s に対応する部分から減算することにより、眼球画像 I_s の角膜表面反射像を除去することで虹彩画像を生成する。図17の画像 I_{it} は、そのようにして角膜の鏡面反射が効果的に除去された眼球画像、すなわち、虹彩画像である。このように、本実施形態による画像位置合わせ装置によれば、眼球画像 I_s に含まれた角膜の鏡面反射を効果的に除去でき、ノイズのない虹彩画像 I_{it} を得ることができる。これにより、角膜表面での鏡面反射を抑制するために照明に赤外光を使用する必要がなくなる。その後、演算部1は、認識部として動作して、虹彩画像に対して公知の方法を用いて虹彩認識処理を行う。

10

【0076】

このように、本実施形態による画像位置合わせ装置は、赤外線照明のみならず、可視光領域の照明を用いて眼球画像を取得した場合であっても、効果的に角膜の鏡面反射を除去することができ、精度のよい虹彩画像を得ることができる。このようにして得られた虹彩画像を用いることで、虹彩認識の精度を向上させることが可能になる。すなわち、本実施形態による画像位置合わせ装置は、虹彩認識システムとしても動作する。

【0077】

以上の点から、本実施の形態は以下のシステム及び方法も開示している。

【0078】

(1) 被験者の眼球を撮影した画像である第1画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第2画像を取得する取得部と、

20

前記第1画像を球面光線マップへ移す写像である第1写像と、前記第2画像を球面光線マップへ移す写像である第2写像と、を決定するマッピング部と、

前記第1画像中の一点と、当該一点と対応する前記第2画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

前記球面光線マップにおける前記第1画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第2画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第1画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第2画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出する回転写像導出部と、

前記第1画像から眼球の姿勢を検出することにより前記第1画像上で注視反射点を検出し、

30

前記第1写像と、前記回転写像と、前記第2写像とに基づいて、前記第2画像中の前記注視反射点に対応する点を、被験者が注視している点として求める視点抽出部と、を有する、注視点抽出システム。

【0079】

(2) (1)の注視点抽出システムを備える表示システム(ARシステム)。

【0080】

(3) 被験者の眼球を撮影した画像である第1画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第2画像を取得する取得部と、

40

前記第1画像を球面光線マップへ移す写像である第1写像と、前記第2画像を球面光線マップへ移す写像である第2写像と、を決定するマッピング部と、

前記第1画像中の一点と、当該一点と対応する前記第2画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

前記球面光線マップにおける前記第1画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第2画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第1画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第2画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出部と、

前記第1画像から眼球の光軸を特定し、前記光軸に対し所定の角度を成す方向から到来した光が角膜表面において反射した点を特定し、前記第1写像と前記回転写像と前記第2写像とに基づいて、前記第2画像から前記特定した反射点群を、被験者の周辺視野の領域

50

を形成する点群として検出する視野推定部と、
を有する、周辺視野推定システム。

【 0 0 8 1 】

(4) 被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 1 画像および被験者の眼球を撮影した画像である第 2 画像を取得する取得部と、

前記第 1 画像のデータおよび前記第 2 画像のデータを格納する記憶部と、

前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するマッピング部と、

前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出する対応点对抽出部と、

10

前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて、導出する回転写像導出部と、

前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像と、に基づいて、前記記憶部に格納された前記第 1 画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第 2 画像のデータに対して位置合わせして前記第 2 画像に対して位置合わせされた前記第 1 画像のデータを生成するレジストレーション部と、

位置合わせされた前記第 1 画像を前記第 2 画像から減算して虹彩画像を生成する虹彩画像生成部と、

20

前記虹彩画像を用いて虹彩認識を行う認識部と、
を有する、虹彩認識システム。

【 0 0 8 2 】

(5) 被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像を取得するステップと、

演算部が、前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するステップと、

演算部が、前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出するステップと、

30

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出するステップと、

演算部が、前記第 1 画像から眼球の姿勢を検出することにより前記第 1 画像上で注視反射点を検出するステップと、

演算部が、前記第 1 写像と、前記回転写像と、前記第 2 写像とに基づいて、前記第 2 画像中の、前記注視反射点に対応する点を、被験者が注視している点として求めるステップと、

を有する、注視点抽出方法。

【 0 0 8 3 】

40

(6) 演算部が、被験者の眼球を撮影した画像である第 1 画像及び被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第 2 画像を取得するステップと、

演算部が、前記第 1 画像を球面光線マップへ移す写像である第 1 写像と、前記第 2 画像を球面光線マップへ移す写像である第 2 写像と、を決定するステップと、

演算部が、前記第 1 画像中の一点と、当該一点と対応する前記第 2 画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出するステップと、

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第 1 画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第 2 画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第 1 画像中の一点の位置および局所特徴量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第 2 画像中の一点の位置および局所特徴量に基づいて導出するステップと、

50

演算部が、前記第1画像から眼球の光軸を特定し、前記光軸に対し所定の角度を成す方向から到来した光が角膜表面において反射した点を特定し、前記第1写像と前記回転写像と前記第2写像とに基づいて、前記第2画像から前記特定した反射点群を、被験者の周辺視野の領域を形成する点群として検出するステップと、
を有する、周辺視野推定方法。

【0084】

(7) 被験者の視線方向の被写体を撮影した画像である第1画像および被験者の眼球を撮影した画像である第2画像を取得するステップと、

前記第1画像のデータおよび前記第2画像のデータを格納するステップと、

演算部が、前記第1画像を球面光線マップへ移す写像である第1写像と、前記第2画像を球面光線マップへ移す写像である第2写像と、を決定するステップと、

10

演算部が、前記第1画像中の一点と、当該一点と対応する前記第2画像中の一点を検出することにより対応点对を抽出するステップと、

演算部が、前記球面光線マップにおける前記第1画像の像と、前記球面光線マップにおける前記第2画像の像とを位置整合させる回転写像を、前記対応点对を構成する前記第1画像中の一点の位置および局所特微量、ならびに、前記対応点对を構成する前記第2画像中の一点の位置および局所特微量に基づいて導出するステップと、

演算部が、前記第1写像と、前記回転写像と、前記第2写像と、に基づいて、前記記憶部に格納された前記第1画像のデータを、前記記憶部に格納された前記第2画像のデータに対して位置合わせして前記第2画像に対して位置合わせされた前記第1画像のデータを生成するステップと、

20

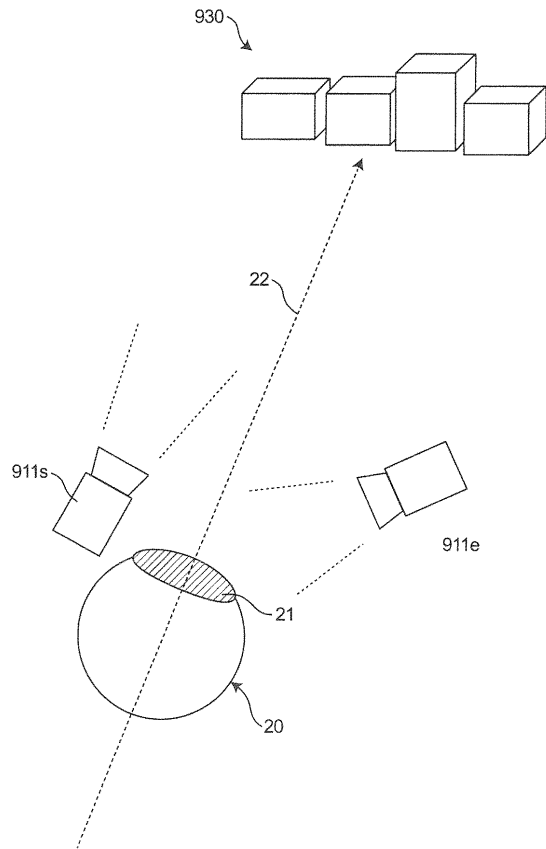
演算部が、位置合わせされた前記第1画像を前記第2画像から減算して虹彩画像を生成するステップと、

演算部が、前記虹彩画像を用いて虹彩認識を行うステップと、
を有する、虹彩認識方法。

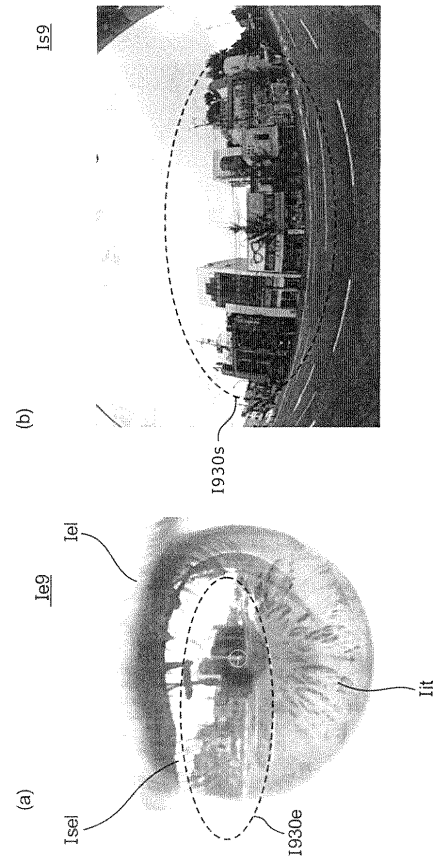
【0085】

以上、本発明を特定の実施形態と関連させて説明したが、当業者にとっては他の多くの変更、修正、置換、削除、応用が明らかである。それゆえ、本発明は、ここでの特定の開示に限定されるものではなく、添付の請求の範囲によってのみ限定される。

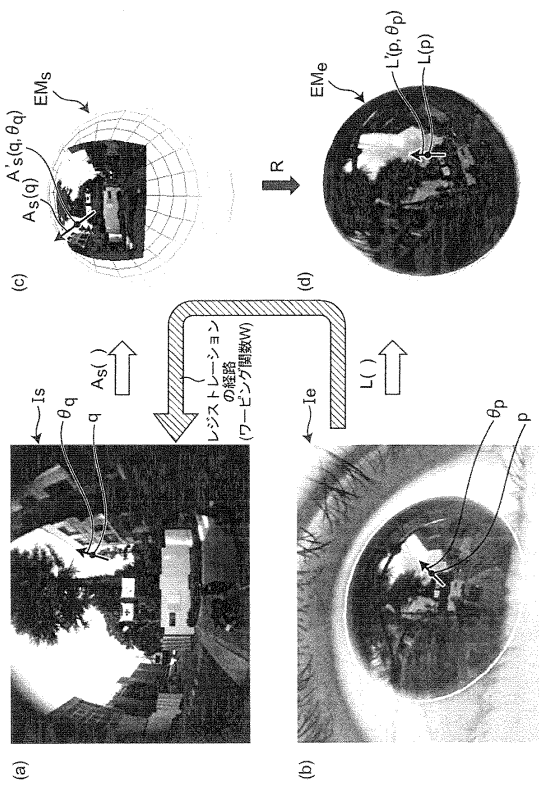
【図 1】



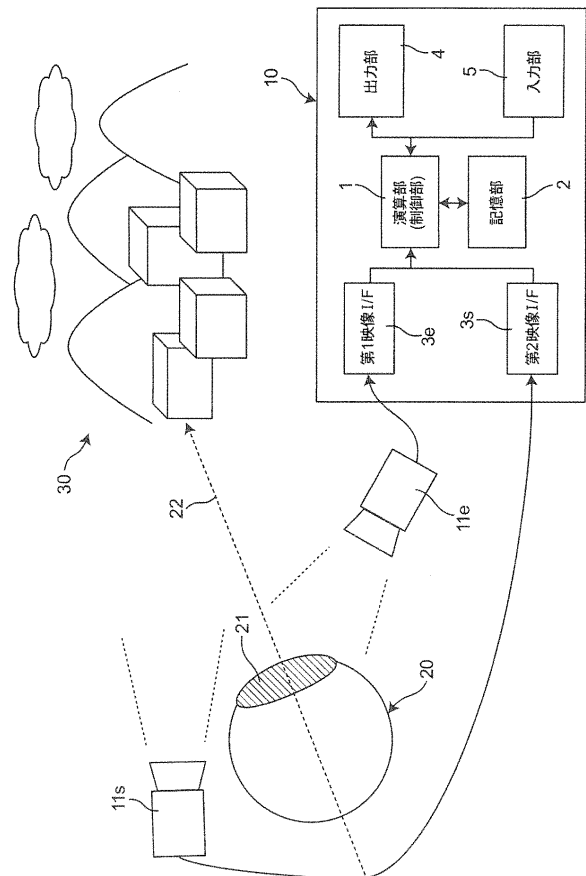
【図 2】



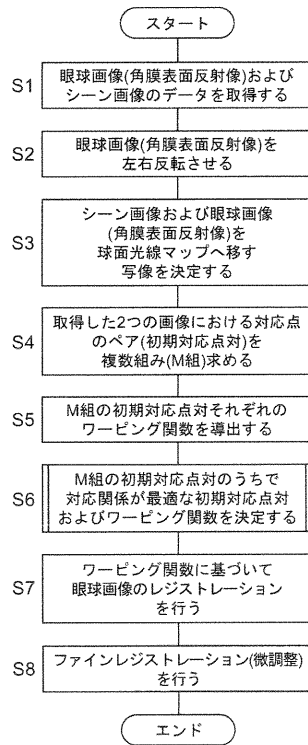
【図 3】



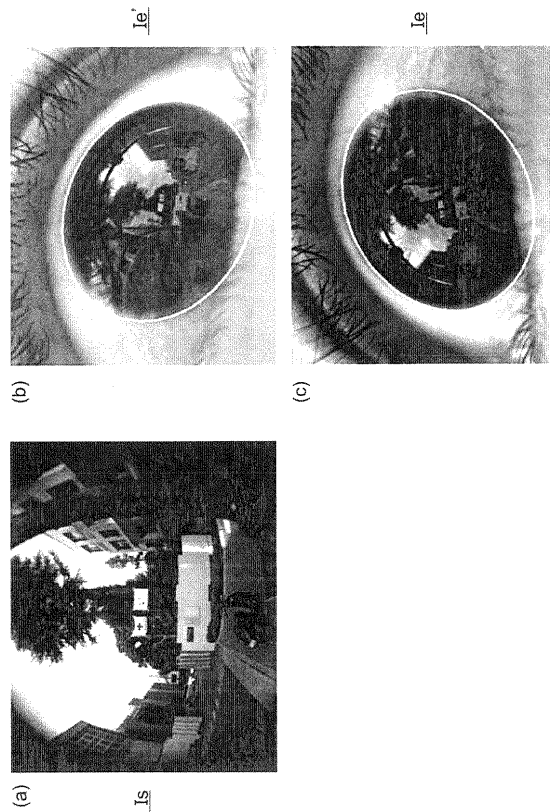
【図 4】



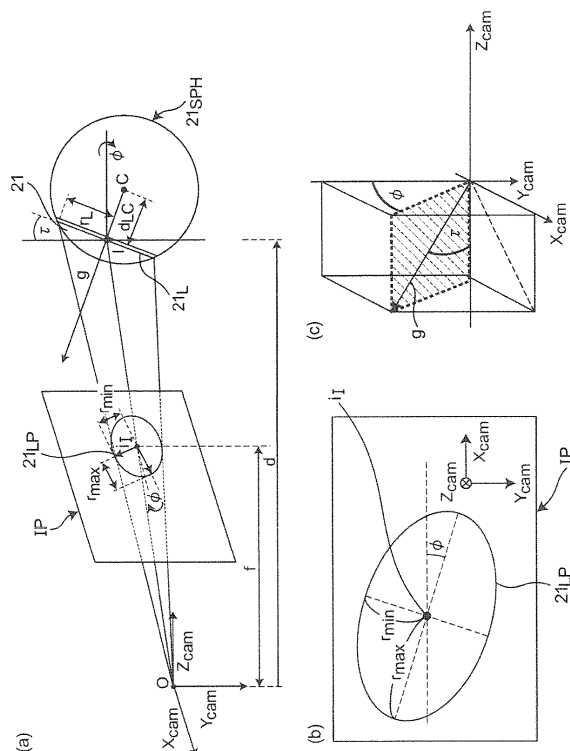
【図 5】



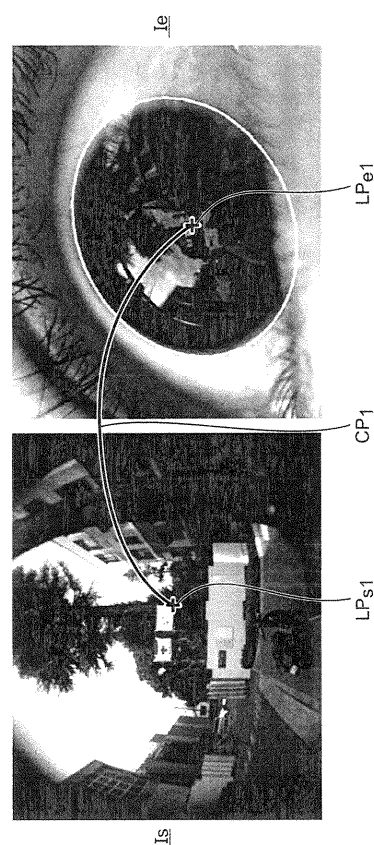
【図 6】



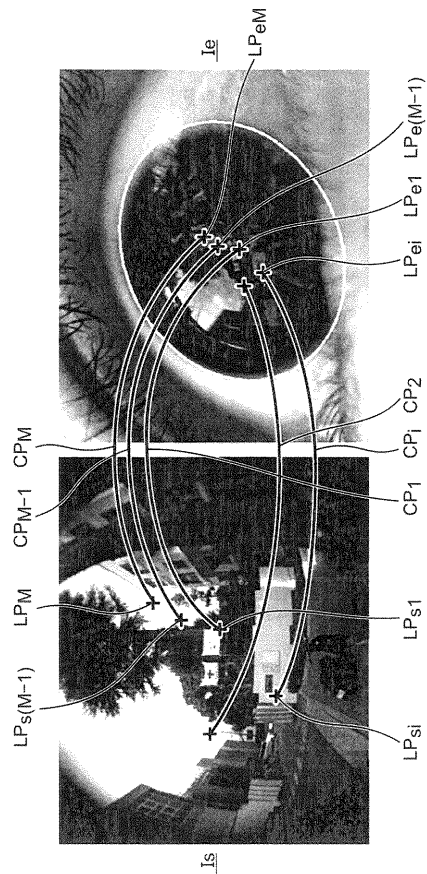
【図 7】



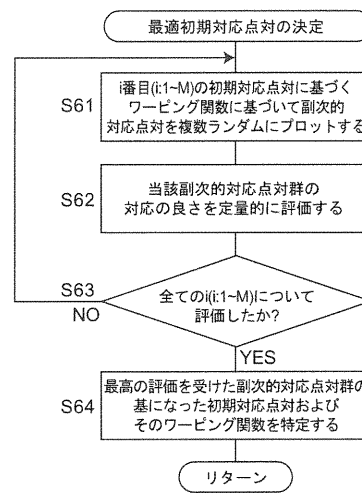
【図 8】



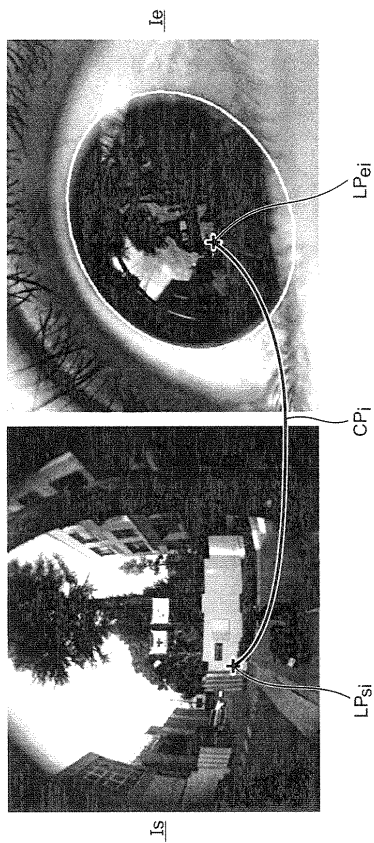
【図 9】



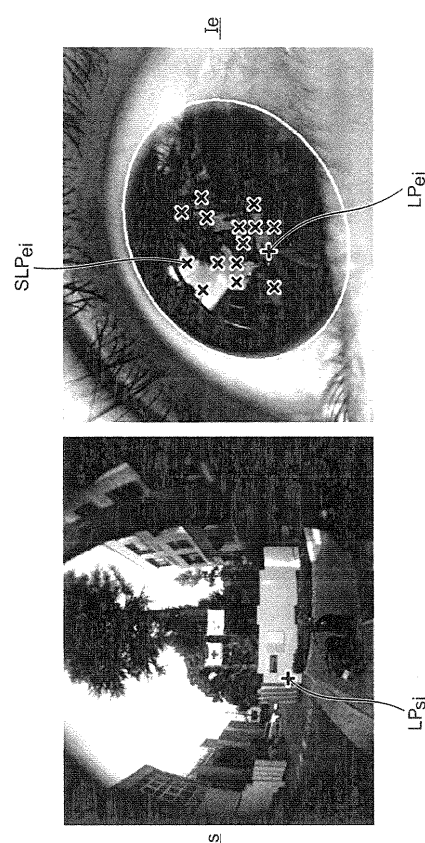
【図 10】



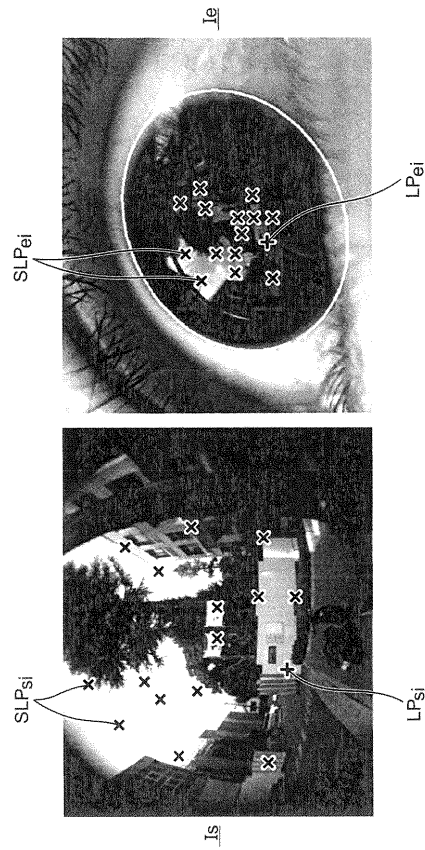
【図 11】



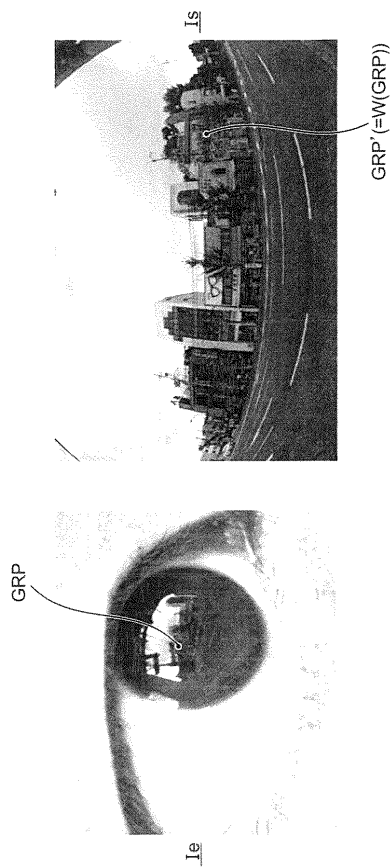
【図 12】



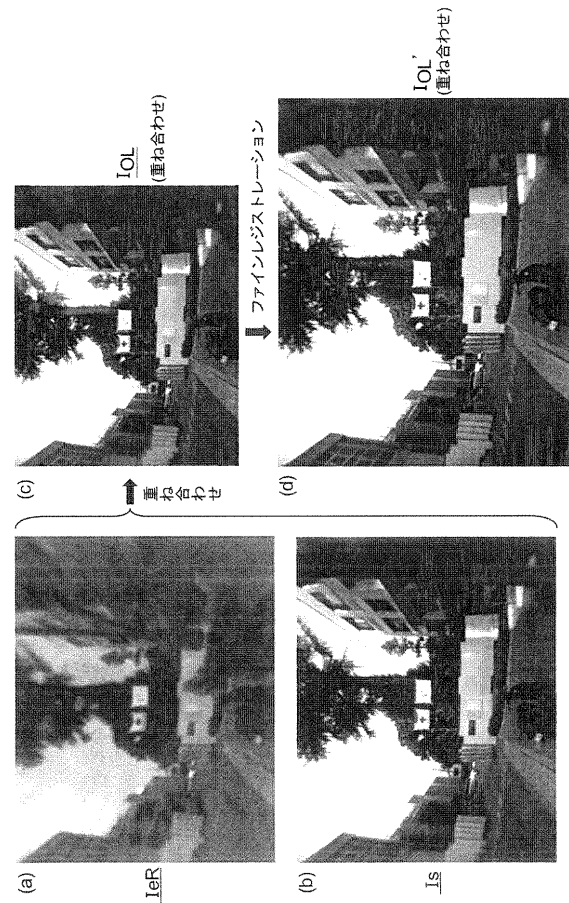
【図 13】



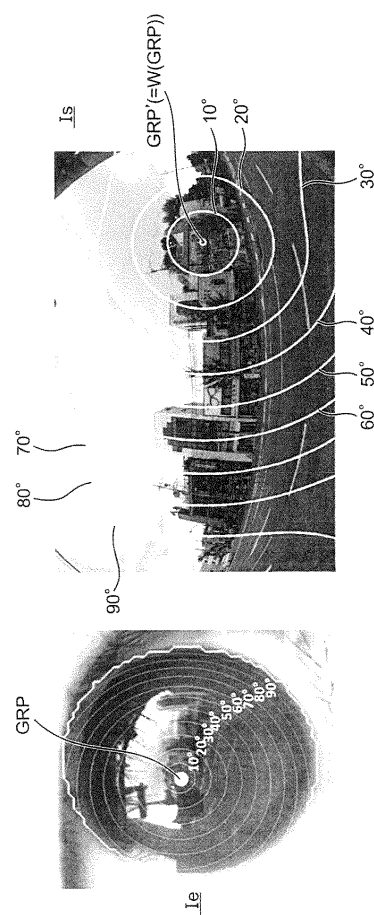
【図 15】



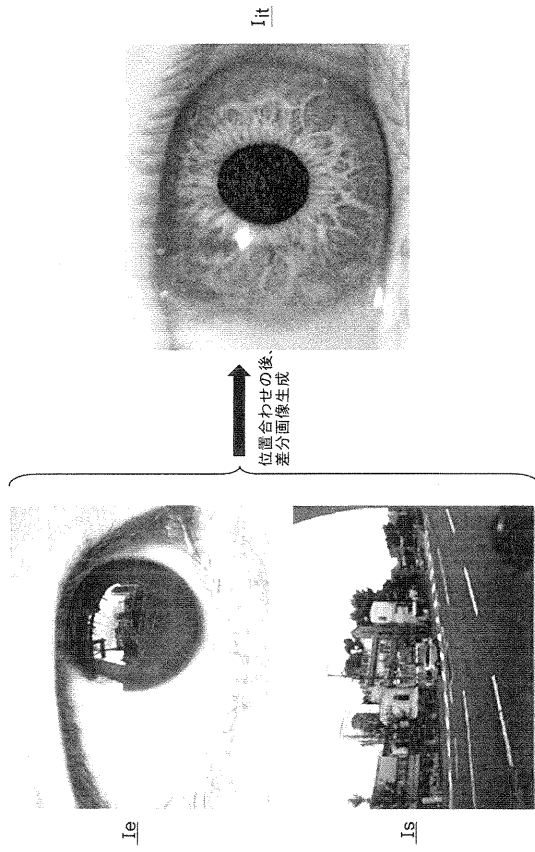
【図 14】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 09 - 322040 (JP, A)
特開 2005 - 100407 (JP, A)
国際公開第 2014 / 021169 (WO, A1)
米国特許第 08077914 (US, B1)
ニチュケ クリスティアン、中澤 篤志, “ 角膜表面反射像の超解像処理による高解像シーン画像の推定 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, 日本, 一般社団法人電子情報通信学会, 2012 年 8 月 27 日, Vol.112, No.225, pp.65-70

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 6 T	1 / 0 0 , 3 / 0 0 , 7 / 0 0 - 7 / 9 0
H 0 4 N	5 / 2 2 5
A 6 1 B	3 / 1 1 3