

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6468307号  
(P6468307)

(45) 発行日 平成31年2月13日(2019.2.13)

(24) 登録日 平成31年1月25日(2019.1.25)

(51) Int.Cl.	F I	
<b>HO4N 5/232 (2006.01)</b>	HO4N 5/232	290
<b>HO4N 5/225 (2006.01)</b>	HO4N 5/225	800
<b>GO3B 37/00 (2006.01)</b>	HO4N 5/232	380
<b>GO3B 19/07 (2006.01)</b>	GO3B 37/00	A
<b>GO3B 15/00 (2006.01)</b>	GO3B 19/07	

請求項の数 8 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-55341 (P2017-55341)	(73) 特許権者	000006747
(22) 出願日	平成29年3月22日(2017.3.22)		株式会社リコー
(62) 分割の表示	特願2015-186489 (P2015-186489) の分割		東京都大田区中馬込1丁目3番6号
原出願日	平成25年9月11日(2013.9.11)	(74) 代理人	100135312
(65) 公開番号	特開2017-175616 (P2017-175616A)		弁理士 佐々木 一政
(43) 公開日	平成29年9月28日(2017.9.28)	(74) 代理人	100110607
審査請求日	平成29年3月22日(2017.3.22)		弁理士 間山 進也
(31) 優先権主張番号	特願2012-199320 (P2012-199320)	(72) 発明者	竹中 博一
(32) 優先日	平成24年9月11日(2012.9.11)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		会社リコー内
(31) 優先権主張番号	特願2013-124397 (P2013-124397)	(72) 発明者	寺尾 典之
(32) 優先日	平成25年6月13日(2013.6.13)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		会社リコー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像装置、画像処理装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光を集光する複数の結像光学系と、  
前記複数の結像光学系で集光された光を画像に変換する撮像素子と、  
傾き情報を取得するセンサと、  
前記取得された複数の画像の所定画素をパターン画像として設定し、パターンマッチングを行うことのでつなぎ位置を検出する検出手段と、を有する撮像装置であって、  
前記検出手段により検出されたつなぎ位置および前記センサにより取得された傾き情報に基づいて、前記複数の画像から全天球画像を生成する手段と、  
を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項2】

前記複数の結像光学系は、少なくとも重複する領域を含んで光を集光していることを特徴とする請求項1の撮像装置。

【請求項3】

前記全天球画像は、前記重複する領域に基づいて、  
前記複数の結像光学系で集光された光に基づく画像を変換することを特徴とする請求項2の撮像装置。

【請求項4】

前記複数の結像光学系は、2つの結像光学系であり、  
第1の結像光学系と、第2の結像光学系と、を含むことを特徴とする請求項1の撮像装

置。

【請求項 5】

前記第 1 の結像光学系と、前記第 2 の結像光学系は、それぞれの光軸が合致するように互いに逆向きに組み合わせられることを特徴とする請求項 4 の撮像装置。

【請求項 6】

前記撮像装置は、前記画像から前記重複する領域に対して、  
前記第 1 の結像光学系で集光した光に基づく画像の画素と、  
前記第 2 の結像光学系で集光した光に基づく画像の画素と、のずれ量を特定することを特徴とする請求項 4 の撮像装置。

【請求項 7】

少なくとも複数の結像光学系とセンサを有する撮像装置で撮影した画像から全天球画像を生成する画像処理装置であって、  
前記撮像装置から複数の結像光学系で集光された光に基づく画像を取得する手段と、  
前記センサから傾き情報を取得する手段と、  
前記取得された複数の画像の所定画素をパターン画像として設定し、パターンマッチングを行うことでつなぎ位置を検出する検出手段と、  
前記検出手段により検出されたつなぎ位置および前記センサから取得された前記傾き情報に基づいて、前記画像から前記全天球画像を生成する手段と、  
を有することを特徴とする画像処理装置。

【請求項 8】

少なくとも複数の結像光学系とセンサを有する撮像装置で撮影した画像から全天球画像を生成する方法であって、  
前記複数の結像光学系で集光された光に基づく画像を取得するステップと、  
前記センサから傾き情報を取得するステップと、  
前記取得された複数の画像の所定画素をパターン画像として設定し、パターンマッチングを行うことでつなぎ位置を検出するステップと、  
前記検出するステップで検出されたつなぎ位置および前記取得するステップで取得された傾き情報に基づいて、前記画像から前記全天球画像を生成するステップと、  
を有することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像装置、画像処理装置および方法に関し、より詳細には、結像光学系で集光された光に基づく画像を処理するための撮像装置、画像処理装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

魚眼レンズや超広角レンズなどの広角なレンズを複数使用して全方位（以下、全天球という。）を一度に撮像する全天球撮像システムが知られている。上記全天球撮像システムでは、各々のレンズからの像をセンサ面に投影し、得られる各画像を画像処理により結合することで、全天球画像を生成する。例えば、180度を超える画角を有する2つの広角なレンズを用いて、全天球画像を生成することができる。

【0003】

上記画像処理では、各レンズ光学系により撮影された部分画像に対して、所定の射影モデルに基づいて、また理想的なモデルからの歪みを考慮して、歪み補正および射影変換を施す。そして、部分画像に含まれる重複部分を用いて部分画像をつなぎ合わせ、1枚の全天球画像とする処理が行われる。画像をつなぎ合わせる処理においては、部分画像間の重複部分において、パターンマッチングなどを用いて被写体が重なる位置が検出される。

【0004】

しかしながら、魚眼レンズで撮影されたような比較的歪み量の大きな部分画像の場合、重複領域を有する複数の部分画像間で、同じ被写体を撮影している場合でも、歪み方は

10

20

30

40

50

個々異なってしまうため、パターンマッチングにより十分な精度で位置を検出することが難しかった。したがって、部分画像を良好につなが合わせることができず、得られる全天球画像の品質が低下してしまう可能性があった。

#### 【0005】

一方、複数のカメラを用いて撮像された複数の部分画像をつなぎ合わせる種々の技術が知られている。例えば、特開2010-130628号公報(特許文献1)は、被写体の撮影範囲を分割した一部領域を撮影し、撮影範囲が互いに一部重複する部分カメラと、撮影範囲に部分カメラの撮影映像の一部を含む基準カメラとを用いて、カメラパラメータを用いて各カメラの撮影映像の歪みを補正し、部分カメラ各々の補正済み映像を、基準カメラの補正済み映像と一致する領域を検出し、相対位置を算出することによって、互いに接

10

#### 【0006】

また、特開2009-104323号公報(特許文献2)は、撮影範囲が重なるように配置した複数のカメラを用いたシステムにおいて、複数のカメラの設置位置を推定せずに、実際に撮影された撮影画像に基づいて、繋ぎ目にズレをあまり生じさせないような高精度なマッピングテーブルを生成する技術を開示している。特開2010-81479号公報(特許文献3)は、魚眼画像を路面に引かれた駐車枠が直線的かつ平行に近い状態に見える画像に変換することを目的として、車両に取り付けられた撮像装置で撮像された路面上の車両の周囲の画像を、撮像装置で撮像された魚眼画像について、そのX座標のみの座標変換を行って、無消失点状の仮想視点画像を生成する技術を開示する。

20

#### 【0007】

しかしながら、上記特許文献1の従来技術は、平面座標で表現された複数の画像をつなぎ合わせる技術であり、魚眼レンズのような歪みの大きなレンズを用いる撮像装置において、十分な精度でつなぎ位置を検出することが難しかった。特許文献2の従来技術は、複数の魚眼レンズを一例として、予め既知のターゲット・ボードを用いて撮像することによってマッピングテーブルを生成する技術を開示するものの、位置合わせの精度の観点から十分なものではなかった。また、特許文献3の従来技術は、魚眼レンズによる撮像システムの補正技術を開示するが、魚眼画像を路面に引かれた駐車枠が直線的かつ平行に近い状態に見える画像に変換するというものであり、複数の画像のつなぎ合わせにかかる技術を

30

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、本発明は、複数の結像光学系で集光された光に基づく画像から全天球画像を生成することが可能な撮像装置、画像処理装置および方法を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

本発明では、上記課題を解決するために、下記特徴を有する撮像装置を提供する。本撮像装置は、光を集光する複数の結像光学系と、前記複数の結像光学系で集光された光を画像に変換する撮像素子と、傾き情報を取得するセンサと、を有する撮像装置であって、前記複数の結像光学系は、重複する領域を集光しており、前記傾き情報に基づいて、前記画像から前記全天球画像を生成する手段とを有することを特徴とする。

40

#### 【発明の効果】

#### 【0010】

上記構成によれば、複数の結像光学系で集光された光に基づく画像から全天球画像を生成することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0011】

【図1】本実施形態による全天球撮像システムを示す断面図。

50

【図 2】本実施形態による全天球撮像システムのハードウェア構成図。

【図 3】本実施形態による全天球撮像システムにおける画像処理全体の流れを示す図。

【図 4】本実施形態による全天球撮像システム上に実現される全天球画像合成処理の主要な機能ブロック図。

【図 5】本実施形態による全天球撮像システムが実行する、全天球画像合成処理の全体的な流れを示すフローチャート。

【図 6】魚眼レンズを用いた全天球撮像システムにおける射影関係を説明する図。

【図 7】本実施形態で用いられる全天球画像フォーマットの画像データのデータ構造を説明する図。

【図 8】位置検出用歪み補正部および画像合成用歪み補正部が参照する変換データを説明する図。

10

【図 9】位置検出処理の際における 2 つの魚眼レンズで撮像された 2 つの部分画像の球面座標系へのマッピングを説明する図。

【図 10】本実施形態による全天球撮像システムが実行する、つなぎ位置検出処理を示すフローチャート。

【図 11】本実施形態におけるつなぎ位置検出処理を説明する図。

【図 12】本実施形態において、つなぎ位置検出部により生成される検出結果データのデータ構造を示す図。

【図 13】本実施形態による全天球撮像システムが実行する、画像合成用変換テーブルの生成処理を示すフローチャート。

20

【図 14】画像合成処理の際における 2 つの魚眼レンズで撮像された 2 つの部分画像の球面座標系へのマッピングを説明する図。

【図 15】他の実施形態における全天球撮像システムの概略図。

【図 16】他の実施形態における全天球撮像システムにおける全天球画像合成処理の全体的な流れを示すフローチャート図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施形態について説明するが、本発明の実施形態は、以下に説明する実施形態に限定されるものではない。なお、以下の実施形態では、画像処理装置および撮像システムの一例として、2 つの魚眼レンズを光学系に含む撮像体を備えるとともに、2 つの魚眼レンズで自身が撮像した 2 つの部分画像に対し歪曲補正および射影変換を行い、画像つなぎ合わせを行って、全天球画像を生成する画像処理機能を備えた、全天球撮像システム 10 を用いて説明する。

30

【0013】

[全体構成]

以下、図 1 ~ 図 3 を参照しながら、本実施形態による全天球撮像システムの全体構成について説明する。図 1 は、本実施形態による全天球撮像システム（以下、単に、撮像システムと参照する。）10 を示す断面図である。図 1 に示す撮像システム 10 は、撮像体 12 と、上記撮像体 12 およびコントローラやバッテリーなどの部品を保持する筐体 14 と、上記筐体 14 に設けられたシャッター・ボタン 18 とを備える。図 1 に示す撮像体 12 は、2 つの結像光学系 20A, 20B と、CCD (Charge Coupled Device) センサや CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサなどの 2 つの固体撮像素子 22A, 22B とを含む。結像光学系 20 と固体撮像素子 22 とを 1 個ずつ組み合わせたものを撮像光学系と参照する。結像光学系 20 各々は、例えば 6 群 7 枚の魚眼レンズとして構成することができる。上記魚眼レンズは、図 1 に示す実施形態では、180度 (= 360度 / n ; n = 2) より大きい全画角を有し、好適には、185度以上の画角を有し、より好適には、190度以上の画角を有する。

40

【0014】

2 つの結像光学系 20A, 20B の光学素子（レンズ、プリズム、フィルタおよび開口絞り）は、固体撮像素子 22A, 22B に対して位置関係が定められる。位置決めは、結

50

像光学系 20A, 20B の光学素子の光軸が、対応する固体撮像素子 22 の受光領域の中心部に直交して位置するように、かつ、受光領域が、対応する魚眼レンズの結像面となるように行われる。固体撮像素子 22 各々は、受光領域が面積エリアを成す 2 次元の固体撮像素子であり、組み合わせられる結像光学系 20 により集光された光を画像信号に変換する。

#### 【0015】

図 1 に示す実施形態では、結像光学系 20A, 20B は、同一仕様のものであり、それぞれの光軸が合致するようにして、互いに逆向きに組み合わせられる。固体撮像素子 22A, 22B は、受光した光分布を画像信号に変換して、図示しないコントローラ上の画像処理手段に出力する。画像処理手段では、詳細は後述するが、固体撮像素子 22A, 22B からそれぞれ入力される部分画像をつなぎ合わせて合成し、立体角 4 ラジアン(以下「全天球画像」と参照する。)を生成する。全天球画像は、撮影地点から見渡すことのできる全ての方向を撮影したものとなる。ここで、図 1 に示す実施形態では、全天球画像を生成しているが、水平面のみ 360 度を撮影した、いわゆるパノラマ画像であってもよい。

10

#### 【0016】

上述したように、魚眼レンズが 180 度を超える全画角を有するため、全天球画像を構成する際には、各撮像光学系による撮影画像において、重複する画像部分が、同一像を表す基準データとして画像つなぎ合わせの参考とされる。生成された全天球画像は、例えば、撮像体 12 に備えられる、または撮像体 12 に接続されているディスプレイ装置、印刷装置、SD(登録商標)カードやコンパクトフラッシュ(登録商標)などの外部記憶媒体などに出力される。

20

#### 【0017】

図 2 は、本実施形態による撮像システム 10 のハードウェア構成を示す。撮像システム 10 は、デジタル・スチルカメラ・プロセッサ(以下、単にプロセッサと参照する。)100 と、鏡胴ユニット 102 と、プロセッサ 100 に接続される種々のコンポーネントから構成される。鏡胴ユニット 102 は、上述した 2 組のレンズ光学系 20A, 20B と、固体撮像素子 22A, 22B とを有する。固体撮像素子 22 は、プロセッサ 100 内の後述する CPU 130 からの制御指令により制御される。

#### 【0018】

プロセッサ 100 は、ISP(Image Signal Processor) 108 と、DMAC(Direct Memory Access Controller) 110 と、メモリアクセスの調停のためのアービタ(ARBMEC) 112 と、メモリアクセスを制御する MEMC(Memory Controller) 114 と、歪曲補正・画像合成ブロック 118 とを含む。ISP 108A, 108B は、それぞれ、固体撮像素子 22A, 22B の信号処理を経て入力された画像データに対し、ホワイト・バランス設定やガンマ設定を行う。MEMC 114 には、SDRAM 116 が接続される。SDRAM 116 には、ISP 108A, 108B および歪曲補正・画像合成ブロック 118 において処理を施す際にデータが一時的に保存される。歪曲補正・画像合成ブロック 118 は、2 つの撮像光学系から得られた 2 つの部分画像に対し、3 軸加速度センサ 120 からの情報を利用して、歪曲補正とともに天地補正を施し、画像合成する。

30

40

#### 【0019】

プロセッサ 100 は、さらに、DMAC 122 と、画像処理ブロック 124 と、CPU 130 と、画像データ転送部 126 と、SDRAMC 128 と、メモリカード制御ブロック 140 と、USB ブロック 146 と、ペリフェラル・ブロック 150 と、音声ユニット 152 と、シリアルブロック 158 と、LCD(Liquid Crystal Display)ドライバ 162 と、ブリッジ 168 とを含む。

#### 【0020】

CPU 130 は、当該撮像システム 10 の各部の動作を制御する。画像処理ブロック 124 は、リサイズブロック 132、JPEG ブロック 134、H.264 ブロック 136 などを用いて、画像データに対し各種画像処理を施す。リサイズブロック 132 は、画像

50

データのサイズを補間処理により拡大または縮小するためのブロックである。J P E G ブロック 1 3 4 は、J P E G 圧縮および伸張を行うコーデック・ブロックである。H . 2 6 4 ブロック 1 3 6 は、H . 2 6 4 などの動画圧縮および伸張を行うコーデック・ブロックである。画像データ転送部 1 2 6 は、画像処理ブロック 1 2 4 で画像処理された画像を送送する。S D R A M C 1 2 8 は、プロセッサ 1 0 0 に接続される S D R A M 1 3 8 制御し、S D R A M 1 3 8 には、プロセッサ 1 0 0 内で画像データに各種処理を施す際に、画像データを一時的に保存する。

#### 【 0 0 2 1 】

メモ리카ード制御ブロック 1 4 0 は、メモ리카ードスロット 1 4 2 に挿入されたメモ리카ードおよびフラッシュROM 1 4 4 に対する読み書きを制御する。メモ리카ードスロット 1 4 2 は、撮像システム 1 0 にメモ리카ードを着脱可能に装着するためのスロットである。U S B ブロック 1 4 6 は、U S B コネクタ 1 4 8 を介して接続されるパーソナル・コンピュータなどの外部機器とのU S B 通信を制御する。ペリフェラル・ブロック 1 5 0 には、電源スイッチ 1 6 6 が接続される。音声ユニット 1 5 2 は、ユーザが音声信号を入力するマイク 1 5 6 と、記録された音声信号を出力するスピーカ 1 5 4 とに接続され、音声入出力を制御する。シリアルブロック 1 5 8 は、パーソナル・コンピュータなどの外部機器とのシリアル通信を制御し、無線N I C (Network Interface Card) 1 6 0 が接続される。L C D ドライバ 1 6 2 は、L C D モニタ 1 6 4 を駆動するドライブ回路であり、L C D モニタ 1 6 4 に各種状態を表示するための信号に変換する。

#### 【 0 0 2 2 】

フラッシュROM 1 4 4 には、C P U 1 3 0 が解読可能なコードで記述された制御プログラムや各種パラメータが格納される。電源スイッチ 1 6 6 の操作によって電源がオン状態になると、上記制御プログラムがメインメモリにロードされる。C P U 1 3 0 は、メインメモリに読み込まれたプログラムに従って、装置各部の動作を制御するとともに、制御に必要なデータをS D R A M 1 3 8 と、図示しないローカルS R A M とに一時的に保存する。

#### 【 0 0 2 3 】

図 3 は、本実施形態による撮像システム 1 0 における画像処理全体の流れを示す図である。まず、ステップS 1 0 1 A , 1 0 1 B では、固体撮像素子 2 2 A , 2 2 B 各々によって、画像が撮像される。ステップS 1 0 2 A , 1 0 2 B では、固体撮像素子 2 2 A , 2 2 B 各々から出力されたベイヤーRAWの画像に対し、図 2 に示したI S P 1 0 8 により、オプティカル・ブラック補正処理、欠陥画素補正処理、リニア補正処理、シェーディング処理および領域分割平均処理が行われる。ステップS 1 0 3 A , 1 0 3 B では、メモリに保存される。ステップS 1 0 4 A , 1 0 4 B では、図 2 に示したI S P 1 0 8 により、さらに、ホワイト・バランス処理、ガンマ補正処理、ベイヤー補間処理、Y U V 変換処理、エッジ強調処理および色補正処理が行われ、ステップS 1 0 5 A , 1 0 5 B で、メモリに保存される。

#### 【 0 0 2 4 】

2 つの固体撮像素子 2 2 A , 2 2 B 各々について上述した処理が完了すると、ステップS 1 0 6 では、上記処理が施された各部分画像に対し、歪曲補正および合成処理が行われる。ステップS 1 0 7 では、適宜タグ付けされて、全天球画像が内蔵メモリまたは外部ストレージにファイル保存される。また、上記歪曲補正および合成処理の過程では、適宜、3 軸加速度センサ 1 2 0 からの情報を得て傾き天地補正が行われてもよい。また、保存される画像ファイルには、適宜圧縮処理が施されても良い。

#### 【 0 0 2 5 】

##### [ 全天球画像合成機能 ]

上述したように、結像光学系 2 0 A , 2 0 B は同一仕様のもものとされるが、魚眼レンズのような広画角のレンズでは、画像つなぎ合わせの参考とされる重複部分の歪みが大きくなってしまふ。このような固有の歪みに起因して、上記ステップS 1 0 6 での歪曲補正および合成処理に際して、画像つなぎ合わせの精度が低下するおそれがある。そこで、本実

10

20

30

40

50

施形態による撮像システム10は、通常のレンズに比較して歪みの大きい魚眼レンズで撮像された部分画像でも良好につながり合わせて合成できるように、画像を合成する際に用いる歪み補正パラメータと、画像を合成する前のつながり位置を求める際に用いる歪み補正パラメータとを異ならせることを特徴としている。

#### 【0026】

以下、図4～図14を参照しながら、本実施形態による撮像システム10が備える全天球画像合成機能について詳細を説明する。図4は、本実施形態による撮像システム10上に実現される全天球画像合成処理の主要な機能ブロック200を示す。歪曲補正・画像合成ブロック118は、図4に示すように、位置検出用歪み補正部202と、つながり位置検出部204と、テーブル修正部206と、テーブル生成部208と、画像合成用歪み補正部210と、画像合成部212とを含み構成される。

10

#### 【0027】

また、歪曲補正・画像合成ブロック118には、2つの固体撮像素子22A, 22Bから、ISP108A, 108Bによる各画像信号処理を経て、2つの部分画像が入力される。ここで、固体撮像素子22A, 22Bに対し「0」および「1」の番号を付して参照し、固体撮像素子22Aをソースとする画像を「部分画像0」のように参照し、固体撮像素子22Bをソースとする画像を「部分画像1」のように参照する。さらに、歪曲補正・画像合成ブロック118には、それぞれのレンズ光学系の設計データ等に基づいて、所定の投影モデルに従い製造元等で予め作成された、位置検出用変換テーブル220が提供される。

20

#### 【0028】

位置検出用歪み補正部202は、つながり位置検出処理の前段の処理として、入力される部分画像0および部分画像1に対し、位置検出用変換テーブル220を用いて歪み補正を施し、位置検出用補正画像（以下、単に補正画像と参照する場合がある。）0および位置検出用補正画像1を生成する。入力される部分画像0, 1は、受光領域が面積エリアを成す2次元の固体撮像素子で撮像されたものであり、平面座標系(x, y)で表現された画像データとなる。これに対し、位置検出用変換テーブル220を用いて歪み補正がかけられた補正画像は、入力画像とは異なる座標系の画像データであり、より具体的には、球面座標系（動径を1とし、2つの偏角, を有する極座標系である。）で表現された全天球画像フォーマットの画像データとなる。

30

#### 【0029】

図6は、魚眼レンズを用いた撮像システムにおける射影関係を説明する図である。本実施形態において、1つの魚眼レンズで撮影された画像は、撮影地点から概ね半球分の方位を撮影したものとなる。また、魚眼レンズは、図6に示すように、光軸に対する入射角度に対応した像高hで画像生成される。像高hと、入射角度との関係は、所定の投影モデルに応じた射影関数で決定される。射影関数は、魚眼レンズの性質によって異なるが、等距離射影方式と呼ばれる投影モデルの魚眼レンズでは、fを焦点距離として、下記式(1)で表現される。

#### 【0030】

##### 【数1】

$$h = f \times \phi \quad \dots (1)$$

40

#### 【0031】

上記投影モデルとしては、その他、中心投影方式( $h = f \cdot \tan$ )、立体射影方式( $h = 2f \cdot \tan(\quad/2)$ )、等立体角射影方式( $h = 2f \cdot \sin(\quad/2)$ )および正射影方式( $h = f \cdot \sin$ )を挙げることができる。いずれの方式においても、光軸からの入射角度と焦点距離fに対応して結像の像高hが決定される。また、本実施形態では、画像対角線よりもイメージサークル径が小さな、いわゆる円周魚眼レンズの構成を採用するものとし、得られる部分画像は、図6(B)に示すように、撮影範囲の概ね半球分が投影されたイメージサークル全体を含む平面画像となる。

50

## 【0032】

図7は、本実施形態で用いられる全天球画像フォーマットの画像データのデータ構造を説明する図である。図7に示すように、全天球画像フォーマットの画像データは、所定の軸に対するなす角度に対応する垂直角度と、上記軸周りの回転角に対応する水平角度とを座標とした画素値の配列として表現される。水平角度は、 $0 \sim 360$ 度 ( $-180$ 度  $\sim +180$ 度とも表現できる。)の範囲となり、垂直角度は、 $0 \sim 180$ 度 (同様に  $-90$ 度  $\sim +90$ 度とも表現できる。)の範囲となる。各座標値( , )は、撮影地点を中心とした全方位を表す球面上の各点と対応付けられており、全方位が全天球画像上にマッピングされる。魚眼レンズで撮影された画像の平面座標と、全天球画像フォーマットの球面上の座標との関係は、図6で説明したような射影関数を用いることによって対応付けることができる。

10

## 【0033】

図8は、位置検出用歪み補正部202および画像合成用歪み補正部210が参照する変換データを説明する図である。変換テーブル220, 224は、平面座標系で表現される部分画像から、球面座標系で表現される画像への射影を規定する。変換テーブル220, 224は、図8(A)および(B)に示すように、各魚眼レンズ毎に、補正後画像の座標値( , )と、該座標値( , )にマッピングされる補正前の部分画像の座標値(  $x$  ,  $y$  )とを対応付ける情報を、全座標値( , ) (  $= 0, \dots, 360$ 度,  $= 0, \dots, 180$ 度)に対して保持する。図8の例示では、1画素が担当する角度は、方向および方向いずれも  $1/10$ 度であり、変換テーブル220, 224は、各魚眼レンズについて、 $3600 \times 1800$ の対応関係を示す情報を有することになる。

20

## 【0034】

つなぎ位置検出で使用する位置検出用変換テーブル220は、事前に製造元等で、レンズ設計データなどを元に、図6で説明したレンズの射影関係に基づき、放射歪曲および偏心歪曲等に起因した理想的なレンズモデルからの歪みを補正した上で計算され、テーブル化されたものである。これとは対照的に、画像合成用変換テーブル224は、詳細は後述するが、位置検出用変換テーブル220から所定の変換処理によって生成されるものである。なお、説明する実施形態では、変換データは、座標値の対応関係がテーブル化されたデータとしている。しかしながら、他の実施形態では、変換データは、平面座標系で表現される部分画像(  $x$  ,  $y$  )から、球面座標系で表現される画像( , )への射影を規定する1または複数の関数の係数データとしてもよい。

30

## 【0035】

再び図4を参照すると、位置検出用歪み補正部202は、位置検出用変換テーブル220を参照して、部分画像0および部分画像1を変換し、位置検出用補正画像0および位置検出用補正画像1を生成する。より具体的には、位置検出用歪み補正部202は、変換後の補正画像の全座標値( , )について、位置検出用変換テーブル220を参照し、各座標値( , )にマッピングされる変換前の部分画像の座標値(  $x$  ,  $y$  )を求め、該座標値(  $x$  ,  $y$  )の部分画像における画素値を参照する。これによって、補正画像が生成される。

40

## 【0036】

図9は、位置検出処理の際における、2つの魚眼レンズで撮像された2つの部分画像の球面座標系へのマッピングを説明する図である。位置検出用歪み補正部202による処理の結果、魚眼レンズで撮像された2つの部分画像0, 1は、図9に示すように、全天球画像フォーマット上に展開される。魚眼レンズ0により撮影された部分画像0は、典型的には、全天球のうちの概ね上半球にマッピングされ、魚眼レンズ1により撮影された部分画像1は、全天球のうちの概ね下半球にマッピングされる。全天球フォーマットで表現された補正画像0および補正画像1は、魚眼レンズの全画角が  $180$ 度を超えるため、それぞれ半球からはみ出し、その結果、補正画像0および補正画像1を重ね合わせると、画像間で撮影範囲が重複する重複領域が発生する。

## 【0037】

50

詳細を後述するように、位置検出用歪み補正部 202 による補正後は、つなぎ位置検出部 204 により、上記重複領域においてつなぎ位置が検出されることになる。ところが、球面座標系では、垂直角度が 0 度または 180 度である極に近接するほど、水平角度方向の画素数と、実際の距離との乖離が大きくなる。垂直角度が 0 度または 180 度では、方向の距離が 0 となり、したがって、方向に並ぶ画素は全て同じ方位を表現していることになる。また、方向の距離の変化量も、垂直角度が 0 度および 180 度に近づく程大きくなり、垂直角度が 90 度で最も小さくなる。方向の距離の変化量は、方向に画像がずれたときに歪み方が変化する量となるので、垂直角度が 0 度および 180 度に近づくほど、つなぎ位置検出精度が劣化することになる。

#### 【0038】

そこで、本実施形態による位置検出用変換テーブル 220 では、図 9 に示すように、2 つのレンズ光学系各々の光軸を球面の 2 つの極 ( $\theta = 0$  度,  $180$  度) に射影するとともに、画像間の重複領域を球面の赤道近傍 ( $\theta = 90$  度  $\pm$  ( $(\text{全画角} - 180 \text{ 度}) / 2$ )) に射影するように作成される。全天球画像フォーマットにおける垂直角度および水平角度を規定する軸は、一方の画像側 (説明する例では画像 0) の光軸に一致することになる。このように射影することによって、方向にずれたときの歪み量が小さな垂直角度 90 度付近で、つなぎ位置検出が行われることになり、つなぎ位置検出精度が向上する。これにより、歪みの大きなレンズ光学系で撮像された画像であっても、高い精度でつなぎ位置を検出することが可能となる。

#### 【0039】

ここで、再び図 4 を参照する。つなぎ位置検出部 204 は、位置検出用歪み補正部 202 により変換された補正画像 0, 1 間のつなぎ位置を検出し、検出結果データ 222 を生成する。テーブル修正部 206 は、検出結果データ 222 に基づいて、事前準備された位置検出用変換テーブル 220 に対して修正を施し、テーブル生成部 208 に渡す。テーブル生成部 208 は、上記テーブル修正部 206 により修正された変換データから、回転座標変換に基づき、画像合成用変換テーブル 224 を生成する。

#### 【0040】

画像合成用歪み補正部 210 は、画像合成処理の前段の処理として、元の部分画像 0 および部分画像 1 に対し、画像合成用変換テーブル 224 を用いて歪み補正をかけ、画像合成用補正画像 0 および画像合成用補正画像 1 を生成する。生成される画像合成用補正画像は、位置検出用補正画像と同様に、球面座標系で表現されている一方で、上記回転座標変換により、位置検出用補正画像とは座標軸の定義が異なったものとなる。画像合成部 212 は、得られた画像合成用補正画像 0 および画像合成用補正画像 1 を合成し、全天球画像フォーマットの合成画像を生成する。なお、つなぎ位置検出部 204、テーブル修正部 206、テーブル生成部 208、画像合成用歪み補正部 210 および画像合成部 212 が実行する処理については、処理フローの説明とともに詳細を後述する。

#### 【0041】

図 4 に示す機能ブロック 200 は、さらに、表示画像生成部 214 を含むことができる。上記生成された合成画像は、全天球画像フォーマットで表現されるため、そのまま、ディスプレイなどの平面表示デバイスに表示させると、垂直角度 0 度および 180 度に近づくほど画像が歪んで表示されることになる。表示画像生成部 214 は、全天球画像を平面表示デバイスに投影するための画像処理を実行する手段である。表示画像生成部 214 は、例えば、全天球画像フォーマットの合成画像から、球面座標系から特定方向および特定画角の平面座標系への変換し、ユーザが指定する特定の視野方向の一定画角の画像に投影する処理を行うことができる。

#### 【0042】

以下、図 5、図 10 および図 13 を参照して、本実施形態による全天球画像合成処理の流れを説明する。図 5 は、本実施形態による撮像システム 10 が実行する全天球画像合成処理の全体的な流れを示すフローチャートである。図 5 に示す処理は、例えば、シャッター・ボタン 18 の押下により 2 つの撮像光学系で撮影が指示され、CPU 130 から指令

10

20

30

40

50

が発行されたことに応答して、ステップ S 2 0 0 から開始される。

【 0 0 4 3 】

ステップ S 2 0 1 では、撮像システム 1 0 は、位置検出用歪み補正部 2 0 2 により、2 つの固体撮像素子 2 2 A , 2 2 B によって取得された部分画像 0 および部分画像 1 に対し、位置検出用変換テーブル 2 2 0 を用いて歪み補正を行う。これによって、位置検出用補正画像 0 および位置検出用補正画像 1 が得られる。これにより、図 9 に示すような全天球画像フォーマットの補正画像が得られる。ステップ S 2 0 2 では、撮像システム 1 0 は、つなぎ位置検出部 2 0 4 により、位置検出用補正画像 0 および位置検出用補正画像 1 の重複領域において、画像間のつなぎ位置検出を行う。

【 0 0 4 4 】

図 1 0 は、本実施形態による撮像システム 1 0 が実行する、つなぎ位置検出処理を示すフローチャートである。図 1 1 は、本実施形態におけるつなぎ位置検出処理を説明する図である。図 1 2 は、本実施形態において、つなぎ位置検出部 2 0 4 により生成される検出結果データのデータ構造を示す図である。図 1 0 に示す処理は、図 5 に示したステップ S 2 0 2 で呼び出されて、ステップ S 3 0 0 から開始する。ステップ S 3 0 1 ~ ステップ S 3 0 4 のループでは、撮像システム 1 0 は、位置検出用補正画像 1 の重複領域内の各画素 ( , ) 毎に、ステップ S 3 0 2 および S 3 0 3 の処理を実行する。重複領域は、水平角度  $0 \sim 360$  度および垂直角度  $s \sim e$  (  $s$  および  $e$  は、それぞれ、レンズ光学系の全画角に対応して事前定義された重複領域の垂直角度の開始点および終了点である。 ) で定義される。重複領域の全画素についてパターンマッチング等を行うため、ここで各画素が順に設定される。

【 0 0 4 5 】

ステップ S 3 0 2 では、つなぎ位置検出部 2 0 4 は、図 1 1 ( A ) に示すように、各画素 ( , ) を中心とした所定画素ブロックをパターン画像として設定する。図 1 1 ( A ) の例示では、記号「 」で示す設定画素 ( , ) を中心とした  $11 \times 11$  の画素ブロック 3 0 0 が切り出されている。ただし、全天球画像フォーマットの座標の両端 (  $0$  度および  $360$  度 ) はつながっているため、右端の隣は左端として、左端の隣は右端として、設定画素周辺のパターン画像が設定される。

【 0 0 4 6 】

ステップ S 3 0 3 では、つなぎ位置検出部 2 0 4 は、設定したパターン画像を縦横に移動させながら、位置検出用補正画像 0 とパターンマッチングを行い、つなぎ位置を求める。パターンマッチングは、相関係数、市街地距離、ユークリッド距離、残差 2 乗和等を類似度として行うテンプレートマッチング等によりおこなうことができる。図 1 1 ( B ) の例示では、補正画像 1 のパターン画像 3 0 0 は、補正画像 0 のそのままの座標値上に重ね合わせてもマッチせず、所定のずれ量 ( , ) だけ移動させた座標値 ( + , + ) で補正画像 3 1 0 とマッチしている。このとき、補正画像 0 において、現状では座標 ( + , + ) に位置している画素値が、 ( , ) に位置していれば、適切に位置合わせされるということになる。そこで、説明する実施形態では、位置検出用補正画像 0 の座標値 ( , ) に対するずらし量 ( , ) を保持する。

【 0 0 4 7 】

重複領域の全画素についてステップ S 3 0 2 および S 3 0 3 の処理が完了すると、ステップ S 3 0 5 で、本処理を終了させる。これにより、図 1 2 に示すような、変換後の座標値 ( , ) に対して、ずらし量 ( , ) が対応付けられた情報を全座標値について保持する検出結果データ 2 2 2 が得られる。このとき、上記つなぎ位置検出処理によりずらし量 ( , ) が求められなかった座標値については、ずらし量を 0 とすればよい。また、他の実施形態では、求められたずらし量の全セットに基づいて、投影モデルに基づき、各座標値に対応するずらし量を補完して計算してもよい。

【 0 0 4 8 】

再び図 5 を参照すると、ステップ S 2 0 3 では、撮像システム 1 0 は、テーブル修正部 2 0 6 により、上記検出結果データ 2 2 2 を用いて、位置検出用変換テーブル 2 2 0 を画

10

20

30

40

50

像が球面座標上で位置合わせされるように修正する。ステップS202のつなぎ位置検出処理により、図12に示すように、全天球画像フォーマットの座標値毎に、ずらし量が求まるので、ステップS203では、具体的には、部分画像0の歪み補正に用いた検出用歪み補正テーブル0において、入力座標値( , )に対し、修正前には( + , + )に対応付けられていた( x , y )を対応付けるように修正する。なお、部分画像1の歪み補正に用いた検出用歪み補正テーブル1については対応付けを変える必要はない。

【0049】

ステップS204では、撮像システム10は、テーブル生成部208により、修正された位置検出用変換テーブル220から、回転座標変換することによって、画像合成用変換テーブル224を生成する。

10

【0050】

図13は、本実施形態による撮像システム10が実行する、画像合成用変換テーブルの生成処理を示すフローチャートである。図14は、画像合成処理の際における、2つの魚眼レンズで撮像された2つの部分画像の球面座標系へのマッピングを説明する図である。図13に示す処理は、図5に示したステップS204で呼び出されて、ステップS400から開始する。ステップS401～ステップS406のループでは、テーブル生成部208は、画像合成用歪み補正テーブルの入力値となる画像合成用の球面座標系の座標値(  $\theta_g, \phi_g$  )毎に、ステップS402～S405の処理を実行する。設定される座標値の範囲は、水平角度の全範囲(0～360度)および垂直角度の全範囲(0～180度)で定義される範囲となる。入力値になる全座標値について変換処理を行うため、ここで各座標値が順に設定される。

20

【0051】

ステップS402では、テーブル生成部208は、回転座標変換により、上記座標値(  $\theta_g, \phi_g$  )に対応する、つなぎ位置検出用の球面座標系の座標値(  $\theta_d, \phi_d$  )を求める。回転座標変換により、図9に示すような、一方のレンズ光学系の光軸を軸とした水平角度  $\theta_d$  および垂直角度  $\phi_d$  の座標軸の定義から、図14に示すような、光軸に垂直な軸を基準とした水平角度  $\theta_g$  および垂直角度  $\phi_g$  の定義に変換される。上記座標(  $\theta_g, \phi_g$  )に対応する座標(  $\theta_d, \phi_d$  )は、回転座標変換に基づき、動径を1とし、画像合成用の球面座標系の座標(  $\theta_g, \phi_g$  )に対応する3次元直交座標(  $x_g, y_g, z_g$  )および位置検出用の球面座標系の座標(  $\theta_d, \phi_d$  )に対応する3次元直交座標(  $x_d, y_d, z_d$  )を用いて、下記式で計算することができる。なお、下記式中係数  $\alpha$  は、3次元直交座標におけるx軸周りの回転座標変換を規定する回転角であり、説明する実施形態では、90度である。

30

【0052】

【数 2】

$$x_g = \sin(\phi_g) \cos(\theta_g)$$

$$y_g = \sin(\phi_g) \sin(\theta_g)$$

$$z_g = \cos(\phi_g)$$

$$\begin{pmatrix} x_d \\ y_d \\ z_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ z_g \end{pmatrix}$$

$$\phi_d = \text{Arc cos}(z_d)$$

$$\theta_d = \text{Arc tan}\left(\frac{y_d}{x_d}\right)$$

10

【0053】

位置検出用変換テーブル220では、光軸が球面の極に、画像間の重複部分が球面の赤道近傍に射影され、全天球画像フォーマットの上下方向と、撮影されたシーンの天頂方向が一致していない。これに対して、上記回転座標変換により、画像合成用変換テーブル224では、光軸が球面の赤道上に射影され、全天球画像フォーマットの上下方向と、撮影されたシーンの天頂方向とが一致するようになる。

20

【0054】

ステップS403～ステップS405のループでは、画像0および画像1毎に、テーブル生成部208は、ステップS404の処理を実行する。ステップS404では、テーブル生成部208は、各画像(0, 1)について、(  $\phi_d$ ,  $\theta_d$  ) に対応付けられる部分画像(0, 1)の座標値(x, y)を、修正後のつなぎ位置検出用変換テーブルを参照して求める。なお、変換テーブル220, 224は、 $\phi_d$  および  $\theta_d$  共に、1画素きざみで対応する座標値(x, y)を保持しているが、変換により算出される座標値(  $\phi_d$ ,  $\theta_d$  )は、典型的には、小数点以下の値で取得される。簡便には、対応付けられる部分画像(0, 1)の座標値(x, y)は、算出された座標値(  $\phi_d$ ,  $\theta_d$  )の最近傍のテーブル中に存在する座標値に対応付けられる座標値(x, y)を採用することができる。また、好適な実施形態では、テーブルに存在するうち、最近傍の座標値およびその周囲の座標値に対応付けられる複数の座標値(x, y)を参照して、算出された座標(  $\phi_d$ ,  $\theta_d$  )からの距離に応じて重み付け補間を行って、対応付けられる部分画像(0, 1)の座標値(x, y)を計算することもできる。

30

【0055】

ステップS403～ステップS405のループで、すべての画像(0, 1)について計算が行われ、ステップS402～ステップS406のループで、入力値となるすべての座標値に対する計算が完了すると、ステップS407では、本処理を終了させる。これにより、画像合成用変換テーブル224の全データが生成される。

40

【0056】

再び図5を参照すると、ステップS205では、撮像システム10は、画像合成用歪み補正部210により、画像合成用変換テーブル224を用いて、元の部分画像0および部分画像1に対し歪み補正を行い、画像合成用補正画像0および画像合成用補正画像1を得る。これにより、画像合成用歪み補正部210による処理の結果、魚眼レンズで撮像された2つの部分画像0, 1は、図14に示すように、全天球画像フォーマット上に展開される。魚眼レンズ0により撮影された部分画像0は、典型的には、全天球のうちの概ね左半

50

球にマッピングされ、魚眼レンズ1により撮影された部分画像1は、全天球のうちの概ね右半球にマッピングされる。

【0057】

図9および図14を比較すると明確であるが、全天球フォーマットに対し、異なった位置に部分画像0および部分画像1がマッピングされており、シーンの天頂方向が画像の上下方向となる方向に一致している。部分画像0,1の中心部が、より歪みの少ない赤道上にマッピングされ、補正画像0および補正画像1間の重複領域は、図9に示したものと異なり、垂直角度0度および180度付近、並びに、水平角度0度および180度の近傍領域にマッピングされる。

【0058】

ステップS206では、画像合成部212により、画像合成用補正画像0および画像合成用補正画像1を合成する。合成処理では、画像間で重複する重複領域については、ブレンド処理等が行われ、片方しか画素値が存在しない領域については、存在するそのままの画素値が採用されることになる。上記合成処理により、魚眼レンズにより撮像された2枚の部分画像から、1枚の全天球画像が生成される。

【0059】

以上説明したように、本実施形態では、画像を合成する際に用いる歪み補正が反映された変換テーブルと、画像を合成する前のつなぎ位置を求める際に用いる変換テーブルとを異ならせている。この構成により、通常のレンズに比較して、少なくとも画像つなぎ合わせの参考とされる重複部分の歪みが大きくなってしまいう魚眼レンズのような広画角のレンズで撮像された画像であっても、該歪みに起因した画像つなぎ合わせの精度の低下を好適に防止することができる。ひいては、良好な品質の合成画像(全天球画像)を得ることができるようになる。

【0060】

[他の実施形態]

上述した実施形態では、画像処理装置および撮像システムの一例として、全天球の静止画を自身が備える撮像光学系により撮影し、内部の歪曲補正・画像合成ブロックで合成する撮像システム10を用いて説明した。しかしながら、画像処理装置および撮像システムの構成は、特に限定されるものではない。他の実施形態では、全天球を動画撮影する全天球動画撮像システムとして構成してもよく、複数の撮像光学系で撮影された複数の部分画像(静止画または動画)の入力を受けて全天球画像(静止画または動画)を生成するカメラ・プロセッサ、撮影を専ら担当する全天球撮像装置で撮影された複数の部分画像(静止画または動画)の入力を受けて全天球画像(静止画または動画)を合成するパーソナル・コンピュータ、ワークステーション、物理コンピュータ・システム上の仮想マシンなどの情報処理装置、スマートフォン、タブレットなどの携帯情報端末などを上記画像処理装置として構成することもできる。また、上述したようなカメラ・プロセッサ、情報処理装置、携帯情報端末などの画像処理装置と、該画像処理装置から分離された撮像光学系とを含む撮像システムとして構成してもよい。

【0061】

以下、図15および図16を参照しながら、全天球撮像装置と、この全天球撮像装置で撮影された複数の部分画像の入力を受けて、合成された全天球画像を生成する外部のコンピュータ装置とを含む、他の実施形態における全天球撮像システムについて説明する。図15は、他の実施形態における全天球撮像システム300の概略を示す。

【0062】

図15に示す実施形態による全天球撮像システム300は、専ら撮像を担当する全天球撮像装置310と、この全天球撮像装置310と接続され、専ら画像処理を担当するコンピュータ装置330とを含み構成される。なお、図15には、主要な構成のみが示されており、詳細な構成が省略させていることに留意されたい。また、図1~図14を参照して説明した実施形態と同様のはたらきをする構成要素については、同一符番を付して参照する。さらに、図15および図16に示す実施形態による全天球撮像システム300は、全

10

20

30

40

50

天球画像を合成する画像処理が専らコンピュータ装置 330 で行われることを除いて、図 1 ~ 図 14 を参照して説明した実施形態と同様の構成を備えるので、以下、相違点を中心に説明する。

【0063】

図 15 に示す実施形態において、全天球撮像装置 310 は、デジタル・スチルカメラ・プロセッサ 100 と、鏡胴ユニット 102 と、プロセッサ 100 に接続される 3 軸加速度センサ 120 とを含む。鏡胴ユニット 102 は、図 2 に示したものと同様の構成を有するものであり、プロセッサ 100 も、図 2 に示したものと同様の構成を有するものである。

【0064】

プロセッサ 100 は、ISP 108 と、USB ブロック 146 と、シリアルブロック 158 とを含み、USB コネクタ 148 を介して接続されるコンピュータ装置 330 との USB 通信を制御する。シリアルブロック 158 には、無線 NIC 160 が接続されており、ネットワークを介して接続されるコンピュータ装置 330 との無線通信を制御している。

10

【0065】

図 15 に示すコンピュータ装置 330 は、デスクトップ型のパーソナル・コンピュータ、ワークステーションなどの汎用コンピュータなどとして構成することができる。コンピュータ装置 330 は、プロセッサ、メモリ、ROM、ストレージなどのハードウェア・コンポーネントを備える。図 15 に示す実施形態において、コンピュータ装置 330 は、USB インタフェース 332 と、無線 NIC 334 とを含み、USB バスまたはネットワークを介して、全天球撮像装置 310 と接続されている。

20

【0066】

コンピュータ装置 330 は、さらに、画像合成にかかる処理ブロックとして、位置検出用歪み補正部 202 と、つなぎ位置検出部 204 と、テーブル修正部 206 と、テーブル生成部 208 と、画像合成用歪み補正部 210 と、画像合成部 212 とを含み構成される。本実施形態では、鏡胴ユニット 102 の複数の撮像光学系により撮像された 2 つの部分画像と、全天球撮像装置 310 の位置検出用変換テーブルとが、USB バスまたはネットワークを介して外部のコンピュータ装置 330 に転送される。

【0067】

コンピュータ装置 330 において、位置検出用歪み補正部 202 は、全天球撮像装置 310 から転送された部分画像 0, 1 に対し、併せて転送された位置検出用変換テーブルを用いて歪み補正を施し、位置検出用補正画像 0, 1 を生成する。つなぎ位置検出部 204 は、変換された補正画像 0, 1 間のつなぎ位置を検出し、検出結果データを生成する。テーブル修正部 206 は、検出結果データに基づいて、転送された位置検出用変換テーブルに対して修正を施す。テーブル生成部 208 は、修正された変換データから、回転座標変換を施し、画像合成用変換テーブルを生成する。

30

【0068】

画像合成用歪み補正部 210 は、画像合成処理の前段の処理として、元の部分画像 0 および部分画像 1 に対し、画像合成用変換テーブルを用いて歪み補正をかけ、画像合成用補正画像 0, 1 を生成する。画像合成部 212 は、得られた画像合成用補正画像 0, 1 を合成し、全天球画像フォーマットの合成画像を生成する。

40

【0069】

図 15 に示す機能ブロックは、さらに、表示画像生成部 214 を含むことができる。表示画像生成部 214 は、全天球画像を平面表示デバイスに投影するための画像処理を実行する。本実施形態によるコンピュータ装置 330 は、ROM や HDD などからプログラムを読み出し、RAM が提供する作業空間に展開することにより、CPU の制御の下、上述した各機能部および以下後述する各処理を実現する。

【0070】

図 16 は、他の実施形態における全天球撮像システム 300 における全天球画像合成処理の全体的な流れを示すフローチャート図である。図 16 には、全天球撮像装置 310 で

50

撮像画像が入力された後、当該画像がコンピュータ装置330で保存されるまでの流れが説明されている。

【0071】

図16に示す処理は、例えば、全天球撮像装置310でシャッター・ボタンの押下により2つの撮像光学系で撮影が指示されたことに応答して、ステップS500から開始される。まず、全天球撮像装置310内での処理が実行される。

【0072】

ステップS501では、全天球撮像装置310は、2つの固体撮像素子22A, 22Bによって部分画像0および部分画像1を撮影する。ステップS502では、全天球撮像装置310は、USBバスあるいはネットワークを介して、部分画像0および部分画像0をコンピュータ装置330へ転送する。併せて、上記位置検出用変換テーブルが、USBバスあるいはネットワークを介してコンピュータ装置330に転送される。このとき、傾き補正もコンピュータ装置330側で行われる場合は、3軸加速度センサ120で取得された傾き情報がコンピュータ装置330へ転送される。

【0073】

なお、上述した全天球撮像装置310の位置検出用変換テーブルは、全天球撮像装置310とコンピュータ装置330との間で互いに認識し合った際に転送しておいておけばよい。つまり、位置検出用変換テーブルは、一度、コンピュータ装置330に転送されていれば充分であり、毎回、変換テーブルを転送することを要さない。位置検出用変換テーブルは、例えば、図示しないSDRAMなどに記憶されており、ここから読み出され、転送される。ここまでが、全天球撮像装置310内における処理であり、次のステップS503からは、転送先のコンピュータ装置330内において実行される処理である。

【0074】

ステップS503では、コンピュータ装置330は、位置検出用歪み補正部202により、転送された部分画像0および部分画像1に対し、転送された位置検出用変換テーブルを用いて歪み補正を行い、位置検出用補正画像0, 1を得る。このとき、傾き補正が転送先コンピュータ装置330側で行われる場合は、転送された傾き情報に基づき、位置検出用変換テーブルに対し鉛直方向に応じた補正が事前に行われてもよい。ステップS504では、コンピュータ装置330は、つなぎ位置検出部204により、位置検出用補正画像0, 1の重複領域において、画像間のつなぎ位置検出を行い、検出結果データを得る。ステップS505では、コンピュータ装置330は、テーブル修正部206により、検出結果データを用いて、転送された位置検出用変換テーブルを、画像が球面座標上で位置合わせされるように修正する。ステップS506では、コンピュータ装置330は、テーブル生成部208により、修正された位置検出用変換テーブルから、回転座標変換することによって、画像合成用変換テーブルを生成する。

【0075】

ステップS507では、コンピュータ装置330は、画像合成用歪み補正部210により、画像合成用変換テーブルを用いて、元の部分画像0, 1に対し歪み補正を行い、画像合成用補正画像0, 1を得る。ステップS508では、コンピュータ装置330は、画像合成部212により、画像合成用補正画像0, 1を合成する。上記合成処理により、魚眼レンズにより撮像された2枚の部分画像から、1枚の全天球画像が生成される。そして、ステップS509では、コンピュータ装置330は、ステップS508で生成された全天球画像を外部ストレージに保存し、ステップS510で終了する。

【0076】

なお、図16に示した他の実施形態におけるフローチャートにかかる動作も、コンピュータ上のプログラムに実行させることができる。すなわち、全天球撮像装置310の動作を制御するCPU、コンピュータ装置330の動作を制御するCPUが、それぞれ、ROM、RAMなどの記憶媒体に格納されたプログラムを読み出し、メモリ上に展開することにより、上述した全天球画像合成処理の各担当部分の処理を実現する。なお、図15および図16は、分離して構成された全天球画像撮像システムを例示するものであり、図15

10

20

30

40

50

および図 16 に示した具体的な実施形態に限定されるものではない。全天球画像撮像システムを実現するための各機能部は、1 以上の撮像装置、1 以上のコンピュータ・システム上に種々の態様で分散実装することができる。

【0077】

以上説明した実施形態によれば、歪みの大きなレンズ光学系であっても、撮影された複数の画像を高精度につなぎ合わせることが可能な画像処理装置、画像処理方法、プログラムおよび撮像システムを提供することができる。

【0078】

なお、上述した実施形態では、複数の部分画像は、それぞれ、異なるレンズ光学系を用いて略同時に撮像されたものとしたが、他の実施形態では、同じレンズ光学系を用い、時を異にして、所定の撮影点から、異なる撮影方向（方位）を向いて撮影撮像された複数の部分画像の重ね合わせに適用してもよい。さらに、上述した実施形態では、180度より大きな画角を有するレンズ光学系で撮像された2つの部分画像を重ね合わせて合成するものとしたが、他の実施形態では、1または複数のレンズ光学系により撮像された3以上の部分画像の重ね合わせ合成に適用してもよい。また、上述した実施形態では、魚眼レンズを用いた撮像システムを一例に説明してきたが、超広角レンズを用いた全天球撮像システムに適用してもよい。

【0079】

また、上記機能部は、アセンブラ、C、C++、C#、Java（登録商標）などのレガシープログラミング言語やオブジェクト指向プログラミング言語などで記述されたコンピュータ実行可能なプログラムにより実現でき、ROM、EEPROM、EPROM、フラッシュメモリ、フレキシブルディスク、CD-ROM、CD-RW、DVD-ROM、DVD-RAM、DVD-RW、ブルーレイディスク、SDカード、MOなど装置可読な記録媒体に格納して、あるいは電気通信回線を通じて頒布することができる。また、上記機能部の一部または全部は、例えばフィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ（FPGA）などのプログラマブル・デバイス（PD）上に実装することができ、あるいはASIC（特定用途向け集積）として実装することができ、上記機能部をPD上に実現するためにPDにダウンロードする回路構成データ（ビットストリームデータ）、回路構成データを生成するためのHDL（Hardware Description Language）、VHDL（Very High Speed Integrated Circuits Hardware Description Language）、Verilog-HDLなどにより記述されたデータとして記録媒体により配布することができる。

【0080】

これまで本発明の実施形態について説明してきたが、本発明の実施形態は上述した実施形態に限定されるものではなく、他の実施形態、追加、変更、削除など、当業者が想到することができる範囲内で変更することができ、いずれの態様においても本発明の作用・効果を奏する限り、本発明の範囲に含まれるものである。

【0081】

（付記）

（付記1）

複数の入力画像を、投影モデルに基づく変換データを用いて、前記入力画像とは異なる座標系に変換する変換手段と、

前記変換手段により変換された複数の画像間のつなぎ位置を検出するつなぎ位置検出手段と、

前記つなぎ位置検出手段による検出結果に基づいて、前記変換データを修正する修正手段と、

前記修正手段により修正された変換データから、座標変換に基づき、前記複数の入力画像の変換を規定する画像合成用変換データを生成するデータ生成手段と

を含む、画像処理装置。

（付記2）

座標変換前の変換データは、前記入力画像間の撮影範囲が重複する重複領域を球面の赤

10

20

30

40

50

道近傍に射影し、前記座標変換は、回転座標変換であることを特徴とする、付記 1 に記載の画像処理装置。

(付記 3)

前記複数の入力画像を、前記画像合成用変換データを用いて、前記入力画像とは異なる座標系に変換する画像合成前変換手段と、

前記画像合成前変換手段により前記複数の入力画像から変換された複数の変換画像を合成し、前記入力画像とは異なる座標系で表現される合成画像を生成する画像合成手段とをさらに含む、付記 1 または 2 に記載の画像処理装置。

(付記 4)

前記変換データは、平面座標系で表現される入力画像から、少なくとも 2 つの偏角を有する極座標系で表現される画像への射影を規定する、付記 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の画像処理装置。

(付記 5)

前記複数の入力画像は、それぞれ、異なるレンズ光学系を用いて撮像されたものであり、前記変換データは、前記複数の入力画像それぞれを撮像したレンズ光学系の歪みを補正し、射影する複数のデータ・セットを有する、付記 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の画像処理装置。

(付記 6)

前記入力画像は、180度より大きな画角を有するレンズ光学系で撮像されたものであり、前記合成画像は、少なくとも 2 つの偏角で座標が表現された全天球画像である、付記 3 に記載の画像処理装置。

(付記 7)

コンピュータが、

複数の入力画像の入力を受けるステップと、

前記複数の入力画像を、投影モデルに基づく変換データを用いて、前記入力画像とは異なる座標系に変換する変換ステップと、

前記変換ステップで変換された複数の画像間のつなぎ位置を検出するつなぎ位置検出ステップと、

前記つなぎ位置検出ステップの検出結果に基づいて、前記変換データを修正する修正ステップと、

前記修正ステップで修正された変換データから、座標変換に基づき、前記複数の入力画像の変換を規定する画像合成用変換データを生成するデータ生成ステップと

を実行することを含む、画像処理方法。

(付記 8)

前記つなぎ位置検出ステップは、コンピュータが、パターン・マッチングにより、前記変換ステップで変換された複数の画像のうちの第 1 の画像および第 2 の画像間で、撮影範囲が重複する重複領域の画素のつなぎ位置を求めるステップを含み、

前記データ生成ステップは、コンピュータが、回転座標変換に基づいて、合成画像の座標系の座標値に対応する、前記変換ステップで変換された画像の座標系の座標値を求めるステップと、コンピュータが、求められた該座標値に対応付けられた入力画像の座標値を取得するステップとを含む、付記 7 に記載の画像処理方法。

(付記 9)

コンピュータが、

前記複数の入力画像を、前記画像合成用変換データを用いて、前記入力画像とは異なる座標系に変換する画像合成前変換ステップと、

前記画像合成前変換ステップで前記複数の入力画像から変換した複数の変換後画像を合成し、前記入力画像とは異なる座標系で表現される合成画像を生成する画像合成ステップと

をさらに実行することを含む、請求項 7 または 8 に記載の画像処理方法。

(付記 10)

10

20

30

40

50

コンピュータを、付記 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の画像処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

(付記 1 1)

撮像手段と、

前記撮像手段により、それぞれ複数の方位について撮像された複数の入力画像を、投影モデルに基づく変換データを用いて、前記入力画像とは異なる座標系に変換する変換手段と、

前記変換手段により変換された複数の画像間のつなぎ位置を検出するつなぎ位置検出手段と、

前記つなぎ位置検出手段による検出結果に基づいて、前記変換データを修正する修正手段と、

前記修正手段により修正された変換データから、座標変換に基づき、前記複数の入力画像の変換を規定する画像合成用変換データを生成するデータ生成手段と

を含む、撮像システム。

【符号の説明】

【 0 0 8 2 】

1 0 , 3 0 0 ... 全天球撮像システム、 1 2 ... 撮像体、 1 4 ... 筐体、 1 8 ... シャッター・ボタン、 2 0 ... 結像光学系、 2 2 ... 固体撮像素子、 1 0 0 ... プロセッサ、 1 0 2 ... 鏡胴ユニット、 1 0 8 ... I S P 、 1 1 0 , 1 2 2 ... D M A C 、 1 1 2 ... アービタ ( A R B M E M C ) 、 1 1 4 ... M E M C 、 1 1 6 , 1 3 8 ... S D R A M 、 1 1 8 ... 歪曲補正・画像合成ブロック、 1 2 0 ... 3 軸加速度センサ、 1 2 4 ... 画像処理ブロック、 1 2 6 ... 画像データ転送部、 1 2 8 ... S D R A M C 、 1 3 0 ... C P U 、 1 3 2 ... リサイズブロック、 1 3 4 ... J P E G ブロック、 1 3 6 ... H . 2 6 4 ブロック、 1 4 0 ... メモリカード制御ブロック、 1 4 2 ... メモリカードスロット、 1 4 4 ... フラッシュ R O M 、 1 4 6 ... U S B ブロック、 1 4 8 ... U S B コネクタ、 1 5 0 ... ペリフェラル・ブロック、 1 5 2 ... 音声ユニット、 1 5 4 ... スピーカ、 1 5 6 ... マイク、 1 5 8 ... シリアルブロック、 1 6 0 ... 無線 N I C 、 1 6 2 ... L C D ドライバ、 1 6 4 ... L C D モニタ、 1 6 6 ... 電源スイッチ、 1 6 8 ... ブリッジ、 2 0 0 ... 機能ブロック、 2 0 2 ... 位置検出用歪み補正部、 2 0 4 ... つなぎ位置検出部、 2 0 6 ... テーブル修正部、 2 0 8 ... テーブル生成部、 2 1 0 ... 画像合成用歪み補正部、 2 1 2 ... 画像合成部、 2 1 4 ... 表示画像生成部、 2 2 0 ... 位置検出用変換テーブル、 2 2 0 ... 検出結果データ、 2 2 4 ... 画像合成用変換テーブル、 3 1 0 ... 全天球撮像装置、 3 3 0 ... コンピュータ装置、 3 3 2 ... U S B I / F 、 3 3 4 ... 無線 N I C

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 8 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 0 - 1 3 0 6 2 8 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 9 - 1 0 4 3 2 3 号公報

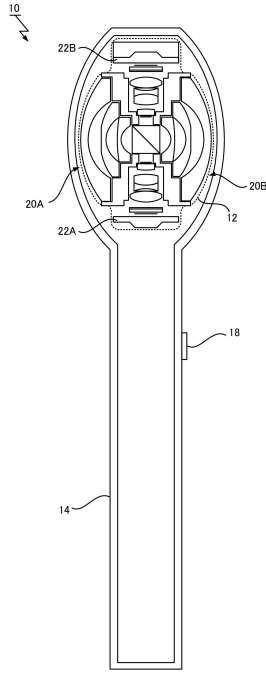
【特許文献 3】特開 2 0 1 0 - 8 1 4 7 9 号公報

10

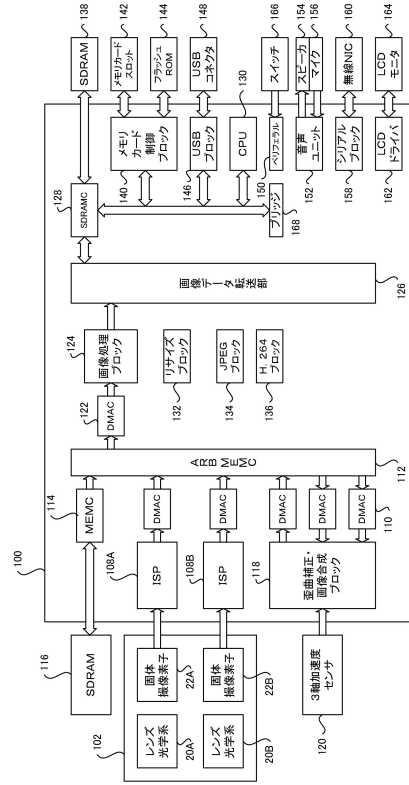
20

30

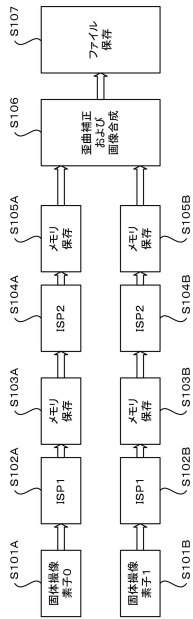
【図 1】



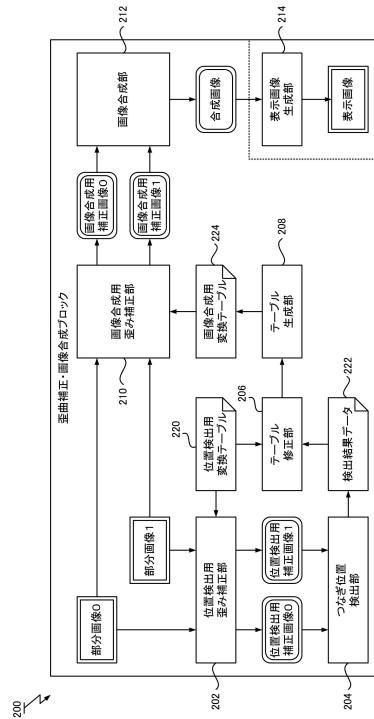
【図 2】



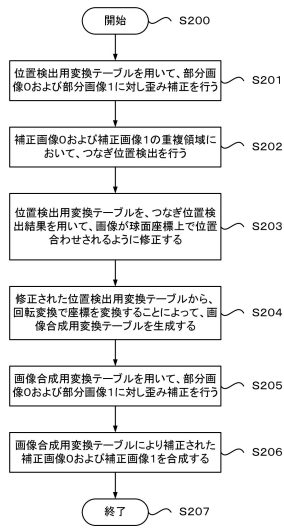
【図 3】



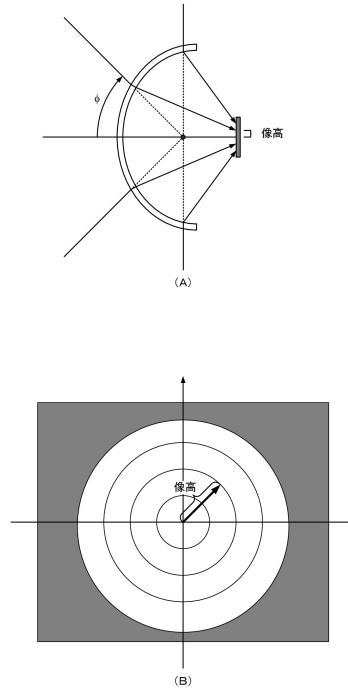
【図 4】



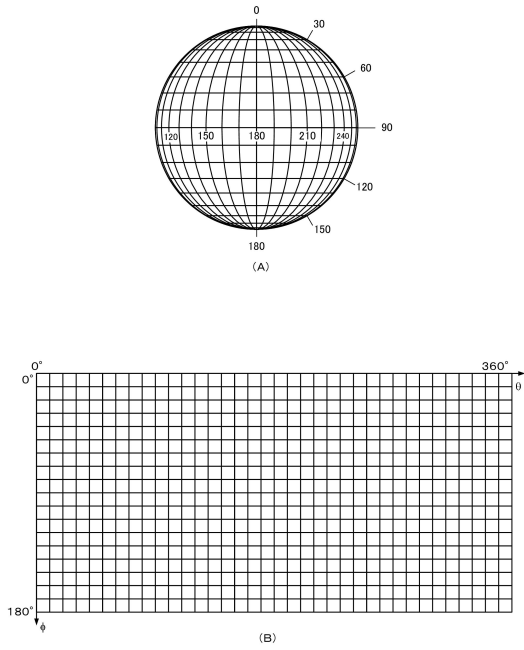
【図5】



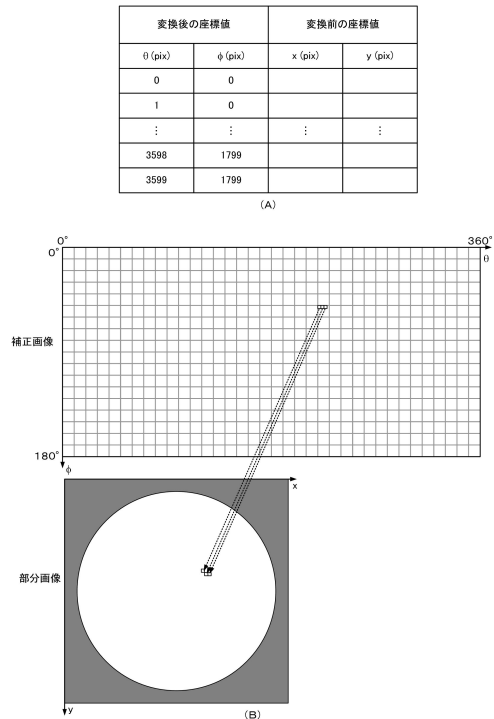
【図6】



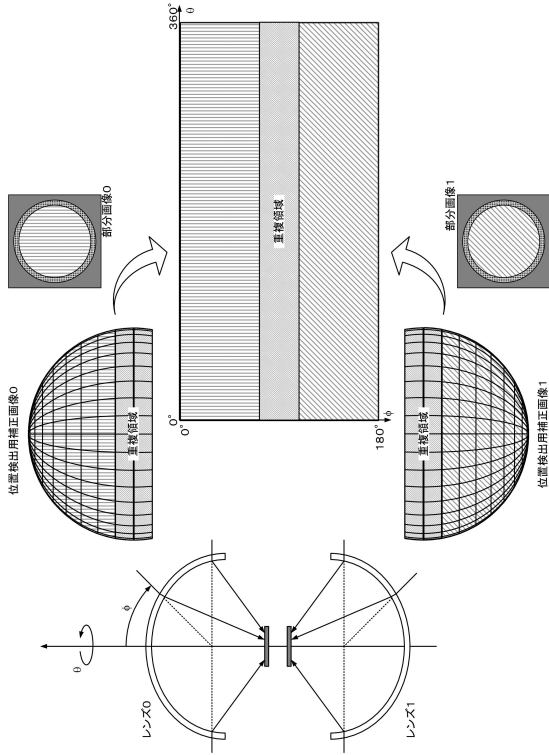
【図7】



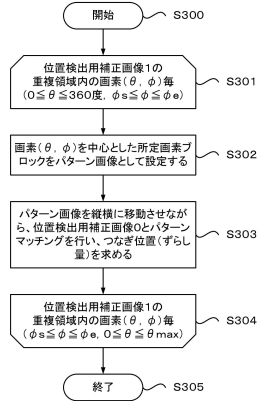
【図8】



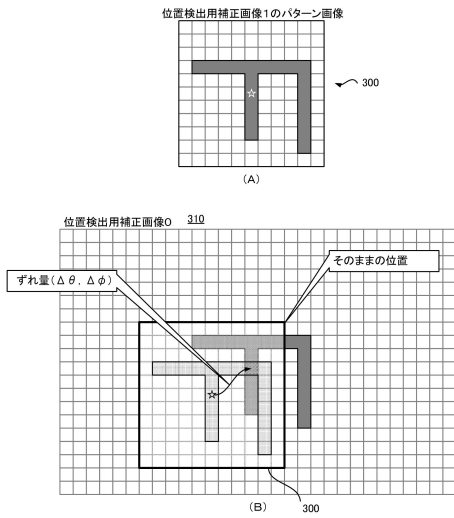
【図9】



【図10】



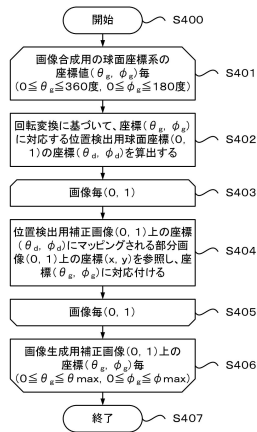
【図11】



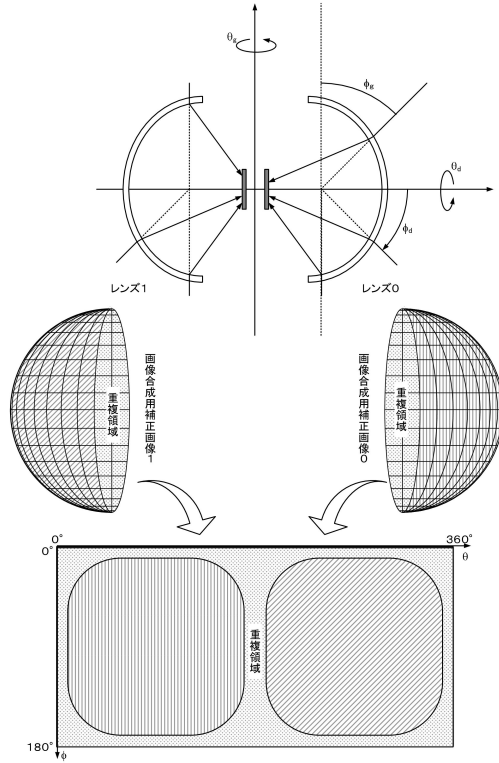
【図12】

変換後の座標値		つなぎ位置(ずれ量)	
$\theta$ (pix)	$\phi$ (pix)	$\Delta\theta$ (pix)	$\Delta\phi$ (pix)
0	0		
1	0		
⋮	⋮	⋮	⋮
3598	1799		
3599	1799		

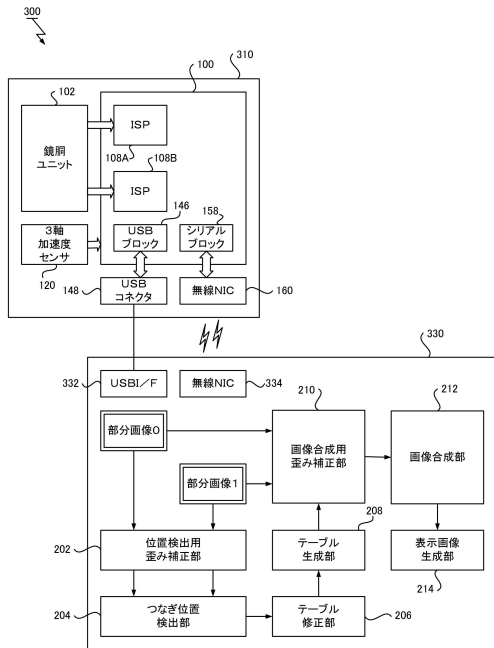
【図13】



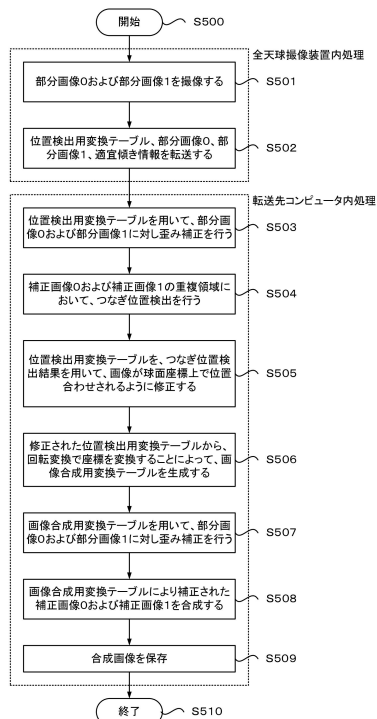
【図14】



【図15】



【図16】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<b>G 0 6 T</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G 0 3 B	15/00 U
			G 0 3 B	15/00 H
			G 0 6 T	3/00 7 5 0

- (72)発明者 入野 祥明  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 田中 智慧  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 今江 望  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 原田 亨  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 山本 英明  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 増田 憲介  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 伊藤 洋一  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 澤口 聡  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 別所 大介  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 佐藤 裕之  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 庄原 誠  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 高巢 修作  
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

審査官 大西 宏

- (56)参考文献 特開平11-205648(JP,A)  
特表平11-508384(JP,A)  
特開2005-210651(JP,A)  
特開2005-244861(JP,A)  
特開2006-059202(JP,A)  
国際公開第2011/155161(WO,A1)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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