

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6842039号
(P6842039)

(45) 発行日 令和3年3月17日(2021.3.17)

(24) 登録日 令和3年2月24日(2021.2.24)

(51) Int. Cl. F I
G06T 7/70 (2017.01) G O 6 T 7/70
H04N 5/232 (2006.01) H O 4 N 5/232 2 9 0

請求項の数 8 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2017-39450 (P2017-39450)	(73) 特許権者	000005223
(22) 出願日	平成29年3月2日(2017.3.2)		富士通株式会社
(65) 公開番号	特開2018-147095 (P2018-147095A)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43) 公開日	平成30年9月20日(2018.9.20)	(74) 代理人	110002918
審査請求日	令和1年11月12日(2019.11.12)		特許業務法人扶桑国際特許事務所
		(72) 発明者	茂木 厚憲
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	山口 伸康
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	村瀬 太一
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カメラ位置姿勢推定装置、方法およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の第1の画像と、前記複数の第1の画像それぞれの撮像時におけるカメラの位置姿勢を示す複数の第1の姿勢値とを記憶する記憶部と、演算部とを有し、

前記演算部は、

前記複数の第1の画像の中から第2の画像に類似する第3の画像を特定し、

前記第3の画像から複数画素を含む第1の領域を特定するとともに、前記第2の画像から前記第1の領域に対応する第2の領域を推定し、

前記第1の領域と前記第2の領域との間の画素値の比較結果と、前記複数の第1の姿勢値のうち前記第3の画像に対応する第2の姿勢値とに基づいて、前記第2の画像の撮像時における前記カメラの位置姿勢を示す第3の姿勢値を推定する、

カメラ位置姿勢推定装置。

【請求項2】

前記第2の領域の推定では、前記第2の姿勢値が示す位置姿勢に対する、前記第2の画像の撮像時における前記カメラの相対的な位置姿勢を示す相対姿勢値に基づいて前記第2の領域を推定したときに、前記第1の領域と前記第2の領域との間の画素値の差分が最小になるような前記相対姿勢値を算出し、

前記第3の姿勢値の推定では、前記相対姿勢値と前記第2の姿勢値とに基づいて前記第3の姿勢値を推定する、

請求項1記載のカメラ位置姿勢推定装置。

【請求項 3】

前記第 2 の領域の推定は、

前記第 3 の画像を縮小した第 1 の縮小画像と前記第 2 の画像を縮小した第 2 の縮小画像とに基づいて、前記第 2 の姿勢値が示す位置姿勢に対する、前記第 2 の画像の撮像時における前記カメラの相対的な位置姿勢を示す第 1 の相対姿勢値を算出し、

前記第 1 の相対姿勢値を第 2 の相対姿勢値の初期値として設定し、

前記第 2 の相対姿勢値に基づいて前記第 2 の領域を推定したときに前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との間の画素値の差分が最小になるような前記第 2 の相対姿勢値を、反復計算によって算出する、

処理を含み、

前記第 3 の姿勢値の推定では、前記反復計算によって算出された前記第 2 の相対姿勢値と、前記第 2 の姿勢値とに基づいて、前記第 3 の姿勢値を推定する、

請求項 2 記載のカメラ位置姿勢推定装置。

【請求項 4】

前記第 2 の領域の推定では、前記第 3 の画像と前記第 2 の画像とそれぞれを変換して得られるサイズの異なる複数の画像ペアを、サイズの小さい順に用いて前記反復計算を繰り返し実行し、

前記複数の画像ペアのうち、第 1 の画像ペアを用いた前記反復計算によって算出された前記第 2 の相対姿勢値が、前記第 1 の画像ペアの次にサイズが大きい第 2 の画像ペアを用いた前記反復計算における前記第 2 の相対姿勢値の初期値として設定される、

請求項 3 記載のカメラ位置姿勢推定装置。

【請求項 5】

前記第 3 の画像は、複数の特徴点を含み、

前記第 1 の領域は、前記複数の特徴点のうち、前記第 3 の画像上のエッジで結ばれた特徴点ペアを含む 3 以上の画素を含む領域として特定される、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のカメラ位置姿勢推定装置。

【請求項 6】

前記記憶部は、複数の第 1 の特徴点それぞれについての三次元空間上の座標を示す複数の第 1 のマップ点座標を記憶し、

前記演算部は、さらに、前記複数の第 1 のマップ点座標のうち、第 4 の画像から抽出された第 2 の特徴点についての第 2 のマップ点座標に基づいて、前記第 4 の画像の撮像時における前記カメラの位置姿勢を示す第 4 の姿勢値を推定し、

前記第 1 の領域の特定および前記第 2 の領域の推定は、前記第 4 の姿勢値の推定に失敗した場合に実行され、

前記第 2 の画像は、前記第 4 の姿勢値の推定に失敗した後に前記カメラによって撮像された画像である、

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のカメラ位置姿勢推定装置。

【請求項 7】

コンピュータが、

複数の第 1 の画像と、前記複数の第 1 の画像それぞれの撮像時におけるカメラの位置姿勢を示す複数の第 1 の姿勢値とを記憶する記憶部を参照し、

前記複数の第 1 の画像の中から第 2 の画像に類似する第 3 の画像を特定し、

前記第 3 の画像から複数画素を含む第 1 の領域を特定するとともに、前記第 2 の画像から前記第 1 の領域に対応する第 2 の領域を推定し、

前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との間の画素値の比較結果と、前記複数の第 1 の姿勢値のうち前記第 3 の画像に対応する第 2 の姿勢値とに基づいて、前記第 2 の画像の撮像時における前記カメラの位置姿勢を示す第 3 の姿勢値を推定する、

カメラ位置姿勢推定方法。

【請求項 8】

コンピュータに、

10

20

30

40

50

複数の第1の画像と、前記複数の第1の画像それぞれの撮像時におけるカメラの位置姿勢を示す複数の第1の姿勢値とを記憶する記憶部を参照し、

前記複数の第1の画像の中から第2の画像に類似する第3の画像を特定し、

前記第3の画像から複数画素を含む第1の領域を特定するとともに、前記第2の画像から前記第1の領域に対応する第2の領域を推定し、

前記第1の領域と前記第2の領域との間の画素値の比較結果と、前記複数の第1の姿勢値のうち前記第3の画像に対応する第2の姿勢値とに基づいて、前記第2の画像の撮像時における前記カメラの位置姿勢を示す第3の姿勢値を推定する、

処理を実行させるカメラ位置姿勢推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、カメラ位置姿勢推定装置、方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

現実空間を撮像した画像上の所定位置に仮想的な画像を重畳して表示する拡張現実感 (Augmented Reality, AR) 技術が知られている。このAR技術は、例えば、工場などの作業空間において、作業内容や作業対象箇所などを示す作業支援情報を撮像画像上に重畳表示することによって作業者の作業を支援する、といった用途で普及しつつある。

【0003】

20

AR技術では、撮像画像上の適切な位置に仮想的な画像を重畳するために、実空間でのカメラの位置姿勢を推定する技術が用いられる。また、ユーザが作業中の状況では、カメラの位置姿勢が頻繁に変化する。このため、位置姿勢の推定に一時的に失敗する状態になりやすい。このことから、位置姿勢の推定に失敗した状態から、その推定を再開する復帰処理の技術が求められている。

【0004】

復帰処理手法の一例として、現画像内の特徴点とキーフレーム内の特徴点とを対応付けし、対応付けられたキーフレーム中の特徴点についての三次元マップの座標情報に基づいて、現画像の撮像時におけるカメラの位置姿勢を推定する手法が提案されている。

【0005】

30

また、位置姿勢の算出が破綻することを防止する次のような位置姿勢計測装置も提案されている。この位置姿勢計測装置は、前フレームから得られる複数の位置姿勢を基に複数の位置姿勢を発生させ、それぞれについて非線形最適化によりカメラの位置姿勢を求め、その中から最も妥当な位置姿勢を選択する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2008-176509号公報

【非特許文献】

【0007】

40

【非特許文献1】J. Straub et al., Fast relocalization for visual odometry using binary features, In Proc. ICIP, pp.2548-2552, 2013

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところで、前述の復帰処理手法で用いられる位置姿勢の推定処理では、現画像とキーフレームとの間で特徴点の対応関係が特定される。しかし、この処理では、例えば、対象物を撮像したときに画像上に類似する画像パターンが多数現れる場合に、特徴点の対応関係に誤りが発生しやすい。このため、位置姿勢の推定精度が低下するという問題がある。

【0009】

50

1つの側面では、本発明は、カメラの位置姿勢の推定精度を向上させたカメラ位置姿勢推定装置、方法およびプログラム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】

【0010】

1つの案では、記憶部と演算部とを有する次のようなカメラ位置姿勢推定装置が提供される。このカメラ位置姿勢推定装置において、記憶部は、複数の第1の画像と、複数の第1の画像それぞれの撮像時におけるカメラの位置姿勢を示す複数の第1の姿勢値とを記憶する。演算部は、複数の第1の画像の中から第2の画像に類似する第3の画像を特定し、第3の画像から複数画素を含む第1の領域を特定するとともに、第2の画像から第1の領域に対応する第2の領域を推定し、第1の領域と第2の領域との間の画素値の比較結果と、複数の第1の姿勢値のうち第3の画像に対応する第2の姿勢値とに基づいて、第2の画像の撮像時におけるカメラの位置姿勢を示す第3の姿勢値を推定する。

10

【0011】

また、1つの案では、上記のカメラ位置姿勢推定装置と同様の処理をコンピュータが実行するカメラ位置姿勢推定方法が提供される。

さらに、1つの案では、上記のカメラ位置姿勢推定装置と同様の処理をコンピュータに実行させるカメラ位置姿勢推定プログラムが提供される。

【発明の効果】

【0012】

1つの側面では、カメラの位置姿勢の推定精度を向上させることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1の実施の形態に係るカメラ位置姿勢推定装置の構成例および処理例を示す図である。

【図2】第2の実施の形態に係る端末装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図3】端末装置が備える処理機能の構成例を示すブロック図である。

【図4】三次元マップのデータ構成例を示す図である。

【図5】キーフレーム情報テーブルのデータ構成例を示す図である。

【図6】撮像画像に類似画像パターンが現れる場合における特徴点とマップ点との対応付けの例を示す図である。

30

【図7】復帰処理部の内部構成例を示す図である。

【図8】詳細相対位置姿勢の算出処理について説明するための第1の図である。

【図9】詳細相対位置姿勢の算出処理について説明するための第2の図である。

【図10】トラッキング処理部の処理手順の例を示すフローチャート(その1)である。

【図11】トラッキング処理部の処理手順の例を示すフローチャート(その2)である。

【図12】第1の変形例での注目領域の特定方法を説明するための図である。

【図13】第1の変形例における復帰処理手順の例を示すフローチャートである。

【図14】画像ピラミッドの構成例を示す図である。

【図15】第2の変形例における復帰処理手順の例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

40

【0014】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

〔第1の実施の形態〕

図1は、第1の実施の形態に係るカメラ位置姿勢推定装置の構成例および処理例を示す図である。図1に示すカメラ位置姿勢推定装置1は、記憶部1aと演算部1bを有する。記憶部1aは、例えば、カメラ位置姿勢推定装置1が備える記憶装置(図示せず)の記憶領域として実装される。演算部1bは、例えば、カメラ位置姿勢推定装置1が備えるプロセッサ(図示せず)として実装される。

【0015】

記憶部1aは、キー画像(第1の画像)2a, 2b, ...を記憶する。キー画像2a

50

、2 b、・・・は、それぞれが図示しないカメラによって撮像されたときのカメラの位置姿勢が正しく推定されている画像である。記憶部1 aには、キー画像2 a、2 b、・・・のそれぞれについて推定された位置姿勢を示す姿勢値3 a、3 b、・・・も記憶されている。

【0016】

演算部1 bは、キー画像2 a、2 b、・・・の中から現画像（第2の画像）4に類似するキー画像（第3の画像）を特定する（ステップS1）。現画像4は、カメラで撮像され、その撮像時におけるカメラの位置姿勢の推定対象となっている画像である。図1の例では、類似するキー画像としてキー画像2 aが特定されたものとする。

【0017】

次に、演算部1 bは、特定されたキー画像2 aから、複数画素を含む領域（第1の領域）を特定する。図1の例では、このような領域として領域5 a、5 bが特定されている。また、演算部1 bは、特定された領域5 a、5 bにそれぞれ対応する領域（第2の領域）6 a、6 bを、現画像4から推定する（ステップS2）。

【0018】

次に、演算部1 bは、領域5 a、5 bと領域6 a、6 bとの間の画素値の比較結果と、キー画像2 aに対応する姿勢値3 aとに基づいて、現画像4の撮像時におけるカメラの位置姿勢を推定する（ステップS3）。

【0019】

このようなカメラ位置姿勢推定装置1によれば、それぞれ複数画素を有する領域5 a、5 bと領域6 a、6 bとの間の画素値の比較結果に基づいて、現画像4に対応する位置姿勢が推定される。これにより、例えば、キー画像2 aと現画像4との間での局所的な特徴点同士の対応関係に基づいて推定する場合と比較して、より大域的な画像領域の対応関係に基づいて位置姿勢を推定することができる。そのため、画像上に類似する画像パターンが多数写っている場合において、画像間に対応する位置の推定を誤り、その誤りによって位置姿勢の推定精度が低下するという事態の発生可能性を抑制できる。したがって、位置姿勢の推定精度を向上させることができる。

【0020】

〔第2の実施の形態〕

次に、図1のカメラ位置姿勢推定装置1が備える位置姿勢の推定処理を、位置姿勢の推定に失敗した状態から推定を再開する復帰処理に利用した端末装置の例について説明する。

【0021】

図2は、第2の実施の形態に係る端末装置のハードウェア構成例を示す図である。第2の実施の形態に係る端末装置100は、画像を撮像してそのときのカメラの位置姿勢を推定し、推定された位置姿勢の情報を用いて撮像画像上に仮想的な画像を重畳表示させる機能を備える。この端末装置100は、例えば、図2に示すような携帯型のコンピュータとして実現される。

【0022】

図2に示す端末装置100は、プロセッサ101によって装置全体が制御されている。プロセッサ101は、マルチプロセッサであってもよい。プロセッサ101は、例えば、CPU（Central Processing Unit）、MPU（Micro Processing Unit）、DSP（Digital Signal Processor）、ASIC（Application Specific Integrated Circuit）、またはPLD（Programmable Logic Device）である。また、プロセッサ101は、CPU、MPU、DSP、ASIC、PLDのうちの2以上の要素の組み合わせであってもよい。

【0023】

プロセッサ101には、バス109を介して、RAM（Random Access Memory）102と複数の周辺機器が接続されている。

RAM102は、端末装置100の主記憶装置として使用される。RAM102には、

10

20

30

40

50

プロセッサ 101 に実行させる OS (Operating System) プログラムやアプリケーションプログラムの少なくとも一部が一時的に格納される。また、RAM 102 には、プロセッサ 101 による処理に必要な各種データが格納される。

【0024】

バス 109 に接続されている周辺機器としては、SSD (Solid State Drive) 103、表示装置 104、入力装置 105、読み取り装置 106、無線通信インタフェース 107 およびカメラ 108 がある。

【0025】

SSD 103 は、端末装置 100 の補助記憶装置として使用される。SSD 103 には、OS プログラム、アプリケーションプログラム、および各種データが格納される。なお、補助記憶装置としては、HDD (Hard Disk Drive) などの他の種類の不揮発性記憶装置を使用することもできる。

10

【0026】

表示装置 104 は、プロセッサ 101 からの命令に従って、画像をその画面に表示する。表示装置 104 としては、液晶ディスプレイや、有機 EL (ElectroLuminescence) ディスプレイなどがある。

【0027】

入力装置 105 は、ユーザによる入力操作に応じた信号をプロセッサ 101 に送信する。入力装置 105 としては、例えば、表示装置 104 の表示面に配置されるタッチパネルや、タッチパッド、マウス、トラックボール、操作キーなどがある。

20

【0028】

読み取り装置 106 には、可搬型記録媒体 106a が脱着される。読み取り装置 106 は、可搬型記録媒体 106a に記録されたデータを読み取ってプロセッサ 101 に送信する。可搬型記録媒体 106a としては、光ディスク、光磁気ディスク、半導体メモリなどがある。

【0029】

無線通信インタフェース 107 は、無線通信により他の装置との間でデータの送受信を行う。

カメラ 108 は、撮像素子によって得られた画像信号をデジタル化して、プロセッサ 101 に送信する。

30

【0030】

以上のようなハードウェア構成によって、端末装置 100 の処理機能を実現することができる。

< 端末装置の処理機能 >

図 3 は、端末装置が備える処理機能の構成例を示すブロック図である。端末装置 100 は、記憶部 110、トラッキング処理部 120、マップ作成部 130 および重畳表示制御部 140 を有する。記憶部 110 は、端末装置 100 が備える記憶装置 (例えば、RAM 102、SSD 103 など) の記憶領域として実装される。トラッキング処理部 120、マップ作成部 130 および重畳表示制御部 140 の処理は、例えば、プロセッサ 101 が所定のプログラムを実行することで実現される。

40

【0031】

記憶部 110 には、三次元マップ 111 とキーフレーム情報テーブル 112 が記憶される。三次元マップ 111 には、対象物上の特徴点の三次元座標が記憶される。キーフレーム情報テーブル 112 には、キーフレームに関するキーフレーム情報が記憶される。

【0032】

ここで、図 4 は、三次元マップのデータ構成例を示す図である。三次元マップ 111 の各レコードには、マップ点番号、三次元座標および特徴量が記憶される。マップ点番号は、対象物上の特徴点 (マップ点) の識別番号を示す。三次元座標は、世界座標系におけるマップ点の X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれに対する座標を示す。各座標は、例えば、ミリメートル (mm) で表される。特徴量は、マップ点の特徴を示す情報である。特徴量としては

50

、例えば、S I F T (Scale-Invariant Feature Transform)、S U R F (Speeded Up Robust Features)、O R B (Oriented FAST and Rotated BRIEF, FAST: Features from Accelerated Segment Test, BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features)などが用いられる。

【0033】

三次元マップ111は、後述するように、トラッキング処理部120によってカメラ108の位置姿勢が推定される際に参照される。また、三次元マップ111には、マップ作成部130によって、位置姿勢が正しく推定された撮像画像から新たに抽出された特徴点についてのレコードが追加される。

【0034】

図5は、キーフレーム情報テーブルのデータ構成例を示す図である。キーフレームとは、位置姿勢が正しく推定された撮像画像の中から所定の条件に基づいて選択された画像である。キーフレーム情報は、キーフレーム情報テーブル112の1つのレコードに含まれる情報に対応し、キーフレーム番号、位置姿勢、画像情報、特徴点群および対応マップ点番号を含む。

【0035】

キーフレーム番号は、キーフレームの識別番号を示す。位置姿勢は、キーフレームの撮像時におけるカメラの位置姿勢を示す。位置姿勢は、 $(r_1, r_2, r_3, t_1, t_2, t_3)$ という6次元の情報として表される。 (r_1, r_2, r_3) は、世界座標におけるカメラ108の姿勢(回転移動成分)を示し、 (t_1, t_2, t_3) は、世界座標におけるカメラ108の位置(平行移動成分)を示す。

【0036】

画像情報は、キーフレームの各画素の画素値を示す。本実施の形態では、画像情報は、各画素の輝度値を示すものとする。特徴点群は、キーフレームから抽出され、かつ、三次元マップ111内のマップ点と対応付けられた特徴点それぞれについてのキーフレーム上の座標を示す。対応マップ点番号は、特徴点それぞれに対応するマップ点のマップ点番号を示す。

【0037】

以下、図3を用いて説明を続ける。

トラッキング処理部120は、カメラ108から撮像画像を取得するたびに、その撮像時のカメラ108の位置姿勢を推定する。また、トラッキング処理部120は、位置姿勢が正しく推定された撮像画像の中からキーフレームを選択し、そのキーフレームに関するキーフレーム情報をキーフレーム情報テーブル112に登録する。

【0038】

マップ作成部130は、キーフレーム情報テーブル112に登録されたキーフレーム情報に基づいて、マップ点の三次元座標および特徴量を三次元マップ111に登録する。例えば、マップ作成部130は、新たに抽出された特徴点を含むキーフレームのペアを選択し、キーフレーム間に対応する所定個数以上の特徴点の二次元座標を用いて、三角測量の原理によって各特徴点の三次元座標を算出する。三角測量の原理による三次元座標の算出方法としては、例えば、非特許文献「R. I. Hartley et al., Triangulation, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 68, No.2, pp.146-157, 1997」に記載の方法を用いることができる。

【0039】

重畳表示制御部140は、三次元マップ111と、トラッキング処理部120によって推定された位置姿勢とに基づいて、撮像画像上に所定の作業支援情報を重畳表示させる。例えば、重畳表示制御部140は、撮像画像からマーカを認識し、そのマーカの内部パターンの認識結果から作業段階を特定する。重畳表示制御部140は、作業段階ごとに対応付けて記憶された作業支援情報(図示せず)の中から、特定された作業段階に対応する作業支援情報を読み出し、読み出した作業支援情報を撮像画像上の適切な位置に重畳して表示させる。重畳表示制御部140は、撮像画像について推定された位置姿勢に基づいて、

10

20

30

40

50

作業支援情報の表示状態（例えば、回転角度）を調整する。

【0040】

次に、トラッキング処理部120の内部構成について説明する。トラッキング処理部120は、画像取得部121、位置姿勢推定部122、品質判定部123、キーフレーム登録処理部124および復帰処理部125を有する。

【0041】

画像取得部121は、カメラ108によって撮像された撮像画像を一定間隔で取得して、位置姿勢推定部122に供給する。なお、以下の説明では、画像取得部121によって取得された撮像画像、すなわち、位置姿勢の推定対象の撮像画像を「現画像」と記載する場合がある。

10

【0042】

位置姿勢推定部122は、現画像の撮像時におけるカメラ108の位置姿勢を、次のような方法によって推定する。

位置姿勢推定部122は、まず、現画像から特徴点を抽出する。次に、位置姿勢推定部122は、キーフレーム情報テーブル112に登録されたキーフレームの中から、現画像に類似するキーフレームを近傍キーフレームとして特定する。例えば、位置姿勢推定部122は、現画像と、キーフレーム情報テーブル112に登録されたキーフレームのそれぞれを所定サイズに縮小し、さらにガウシアンフィルタでぼかす。そして、位置姿勢推定部122は、現画像とキーフレームそれぞれとの間で輝度値のSSD (Sum of Squared Distance) を計算し、SSDが最小のキーフレームを近傍キーフレームとして特定する。

20

【0043】

次に、位置姿勢推定部122は、近傍キーフレームに含まれるマップ点（特徴点）の二次元座標を近傍キーフレームのキーフレーム情報から取得する。位置姿勢推定部122は、現画像から抽出された特徴点に対応する、近傍キーフレーム上のマップ点を特定し、特徴点とマップ点とのペアを複数組抽出する。なお、特徴点に対応するマップ点は、各点の特徴量の類似度に基づいて特定される。

【0044】

次に、位置姿勢推定部122は、特徴点とマップ点との4組以上のペアを用いて、PnPアルゴリズムによって現画像の撮像時におけるカメラ108の位置姿勢を推定する。PnPアルゴリズムによる位置姿勢の推定方法としては、例えば、非特許文献「V. Lepetit et al., EPnP: An Accurate $O(n)$ Solution to the PnP Problem, International Journal of Computer Vision, Vol.81, No.2, pp.155-166(2008)」に記載の方法を用いることができる。

30

【0045】

なお、以下の説明では、後述する「相対位置姿勢」と区別するために、カメラ108の絶対的な位置姿勢を「絶対位置姿勢」と記載する場合がある。

品質判定部123は、位置姿勢推定部122によって推定された絶対位置姿勢の推定品質を判定する。例えば、位置姿勢推定部122によって現画像から抽出された特徴点の総数をF1、それらの特徴点のうち、位置姿勢推定部122の処理によって近傍キーフレーム上のマップ点と対応付けられた特徴点の数をF2とする。品質判定部123は、F2/F1が所定の閾値（例えば、0.3）以上の場合に推定品質が高いと判定し、閾値未満の場合に推定品質が低いと判定する。

40

【0046】

ここで、推定品質が高いと判定された場合、位置姿勢の推定に成功したことになり、キーフレーム登録処理部124の処理が実行された後、画像取得部121によって次に取得された撮像画像を用いて位置姿勢推定部122の処理が実行される。一方、推定品質が低いと判定された場合、位置姿勢の推定に失敗したことになり、復帰処理部125による復帰処理が実行される。

【0047】

キーフレーム登録処理部124は、キーフレーム情報の登録条件にしたがって、現画像

50

をキーフレームとして登録するか否かを判定する。キーフレーム登録処理部124は、例えば、前回キーフレームとして登録された撮像画像から現画像までのフレーム数が所定値（例えば、20フレーム）に達しているとき、現画像をキーフレームとして登録すると判定する。その場合、キーフレーム登録処理部124は、現画像についてのキーフレーム情報をキーフレーム情報テーブル112に登録する。

【0048】

復帰処理部125は、位置姿勢の推定に失敗した状態から、絶対位置姿勢の推定を再開する復帰処理を実行する。ここで、まず、復帰処理の比較例について説明し、その後には本実施の形態での復帰処理について説明する。

【0049】

< 復帰処理の比較例 >

まず、復帰処理の第1の比較例として、本実施の形態と同様の三次元マップとキーフレーム情報を用いた方法を例示する。この方法では、現画像内の特徴点とキーフレーム内のマップ点とが対応付けられ、対応付けられたキーフレーム中のマップ点についての三次元マップの座標情報に基づき、特徴点とマップ点との対応関係から絶対位置姿勢が推定される。

【0050】

この方法では、現画像上の特徴点とキーフレーム上のマップ点とのすべての組み合わせについて、特徴点とマップ点の各特徴量が比較される。しかし、現画像とキーフレームとの間で局所的な比較が行われることから、撮像画像に類似画像パターンが多数現れる場合に、特徴点とマップ点との対応付けに誤りが発生しやすくなり、その結果、絶対位置姿勢の推定精度が低下するという問題がある。

【0051】

図6は、撮像画像に類似画像パターンが現れる場合における特徴点とマップ点との対応付けの例を示す図である。図6において、キーフレーム210には、互いに類似する画像パターン211a~211dが写っている。一方、現画像310にも、互いに類似する画像パターン311a~311dが写っている。そして、画像パターン311a, 311b, 311c, 311dは、それぞれキーフレーム210上の画像パターン211a, 211b, 211c, 211dと同一の対象物領域を撮像して得られた領域である。

【0052】

また、キーフレーム210には、マップ点212a~212eが含まれているものとする。一方、現画像310からは、特徴点312a~312eが抽出されたものとする。上記の第1の比較例を用いた処理では、特徴点312a~312eのそれぞれがマップ点212a~212eのうちのどれに対応するかが、特徴量のマッチングによって判定される。

【0053】

図6の例では、特徴点312a, 312b, 312cは、それぞれマップ点212a, 212b, 212cに対応すると判定されたとする。これらの対応付けは正しく行われている。一方、特徴点312d, 312eは、それぞれマップ点212e, 212dに対応すると判定されたとする。これらの対応付けは間違っている。

【0054】

このように、類似画像パターンが多数現れる状況では、各画像の中に類似する特徴量を有する特徴点およびマップ点がそれぞれ複数存在するので、局所的な特徴量のマッチングを用いるだけでは特徴点とマップ点との対応付けの誤りが発生しやすい。特徴点とマップ点との対応付けに誤りが発生すると、その対応付けに基づいて推定された絶対位置姿勢の推定精度が低下してしまう。

【0055】

一方、復帰処理の第2の比較例としては、特徴点とマップ点とのマッチングを行わない次のような方法が考えられる。この方法では、現画像の縮小画像と記憶された各キーフレームの縮小画像との比較によって近傍キーフレームが特定され、現画像と近傍キーフ

10

20

30

40

50

ムとの間の相対的な位置姿勢（相対位置姿勢）が算出される。そして、相対位置姿勢に基づいて絶対位置姿勢が推定される。

【 0 0 5 6 】

この方法では、類似画像パターンが多数現れることによる相対位置姿勢の推定精度の低下は発生しにくい。しかし、縮小画像同士の比較が行われるため、相対位置姿勢の算出精度が低く、その結果、絶対位置姿勢の推定精度が低いという問題がある。

【 0 0 5 7 】

また、第 1 の比較例と第 2 の比較例とを組み合わせる方法も考えられる。例えば、第 2 の比較例で算出された相対位置姿勢の算出結果を用いて、第 1 の比較例での特徴点とマップ点との対応付け処理に制限を加える方法が考えられる。この方法では、相対位置姿勢の算出結果から明らかに間違いとわかるような特徴点とマップ点との対応付けが行われなくなり、対応付けの処理精度が改善される。しかし、相対位置姿勢の算出精度が低いことから、類似画像パターン同士が近い位置に存在する場合に、特徴点とマップ点との対応付けの誤りが発生しやすい。

【 0 0 5 8 】

また、他の方法として、現画像およびキーフレームに対してオプティカルフローによる特徴点追跡を適用して、第 1 の比較例における特徴点とマップ点との対応付けに制限を加える方法も考えられる。しかし、オプティカルフローを用いることで、平行移動以外のカメラ 108 の運動（例えば、回転運動）が起こった場合に位置姿勢の推定精度が低下するという問題がある。さらに、オプティカルフローと特徴量のマッチングの両方を実行することで、処理負荷が増大するという問題もある。

【 0 0 5 9 】

< 第 2 の実施の形態での復帰処理手順 >

本実施の形態では、復帰処理部 125 は、現画像と近傍キーフレームとの間の相対位置姿勢を算出する際に、局所的な特徴量の比較ではなく、特徴点の周囲領域とマップ点の周囲領域との間の画素値の比較を行う。これにより、類似画像パターンが多数現れる場合における相対位置姿勢の算出精度の低下を抑制し、その結果として絶対位置姿勢の推定精度を向上させる。

【 0 0 6 0 】

図 7 は、復帰処理部の内部構成例を示す図である。復帰処理部 125 は、仮相対位置姿勢算出部 125 a、詳細相対位置姿勢算出部 125 b および絶対位置姿勢算出部 125 c を有する。

【 0 0 6 1 】

仮相対位置姿勢算出部 125 a は、現画像と近傍キーフレームを縮小して同じ所定サイズの縮小画像を作成する。なお、復帰処理部 125 の処理対象の画像を位置姿勢推定部 122 の処理対象の画像より必ず後に撮像された画像とする場合には、仮相対位置姿勢算出部 125 a は、位置姿勢推定部 122 と同様の手順によってキーフレームの中から近傍キーフレームを特定する。

【 0 0 6 2 】

次に、仮相対位置姿勢算出部 125 a は、現画像の縮小画像と近傍キーフレームの縮小画像との合わせ込みを行うことで、現画像と近傍キーフレームとの間の相対位置姿勢を算出する。相対位置姿勢は、現画像の撮像時と近傍キーフレームの撮像時のそれぞれにおけるカメラ 108 の相対的な位置姿勢を示す。現画像の撮像時における絶対位置姿勢 r_n と、近傍キーフレームの撮像時における絶対位置姿勢 r_1 と、相対位置姿勢 r_r との関係は、次の式 (1) で表される。

$$r_n = r_r \cdot r_1 \cdot \dots \cdot (1)$$

仮相対位置姿勢算出部 125 a によって算出される相対位置姿勢は、現画像と近傍キーフレームの各縮小画像から算出される大まかな算出値であり、詳細相対位置姿勢算出部 125 b での処理の初期値として用いられる。そこで、ここでは、仮相対位置姿勢算出部 125 a によって算出される相対位置姿勢を「仮相対位置姿勢」と呼び、 r_0 で表す。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 3 】

仮相対位置姿勢は、より詳細には、例えば次のような手順で算出される。仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、現画像と近傍キーフレームを縮小して、それぞれ例えば 4 0 画素 × 3 0 画素の縮小画像を作成する。さらに、仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、各縮小画像をガウシアンフィルタによってぼかす。このようにして生成された各縮小画像を S B I (Small Blurred Image) と呼ぶ。

【 0 0 6 4 】

次に、仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、現画像の S B I に含まれる特徴点と、近傍キーフレームの S B I に含まれるマップ点との対応関係に基づいて、各 S B I の間のホモグラフィ行列 H を算出する。ホモグラフィ行列は、近傍キーフレームの S B I 上の点の座標を現画像の S B I 上の点の座標に変換するための 3 行 3 列の行列である。ホモグラフィ行列 H の算出方法としては、例えば、非特許文献「S. Benhimane and E. Malis, Homography-based Visual Tracking and Servoing, The International Journal of Robotics and Research, 26(7):661-676, 2007」に記載の方法を用いることができる。

【 0 0 6 5 】

なお、復帰処理部 1 2 5 の処理対象の画像が位置姿勢推定部 1 2 2 の処理対象と同じである場合、特徴点とマップ点との対応関係は位置姿勢推定部 1 2 2 の処理によって求められている。このため、仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、求められている対応関係に基づいてホモグラフィ行列 H を算出することができる。

【 0 0 6 6 】

次に、仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、近傍キーフレームの S B I から 2 点の仮想点 $v p_1, v p_2$ を選択する。そして、仮相対位置姿勢 r_0 の回転成分を行列形式で表したものを R としたとき、仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、次の式 (2) を満たすような R を求める。

【 0 0 6 7 】

【数 1】

$$R = \arg \min_R \sum_n | H v p_n - A R A^{-1} v p_n | \quad \dots (2)$$

【 0 0 6 8 】

式 (2) において、A は、カメラ 1 0 8 の内部パラメータであり、あらかじめキャリブレーションによって求められているものとする。式 (2) によれば、ホモグラフィ行列 H を用いて仮想点を射影変換した点と、回転成分 R および並進成分 0 で仮想点を座標変換した点との距離が最小になるような回転成分 R が求められる。

【 0 0 6 9 】

仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、以上の手順によって求められた回転成分 R に基づいて、仮相対位置姿勢 r_0 を出力する。仮相対位置姿勢 r_0 は、求められた回転成分 R の行列のうち、所定の 3 つの要素を回転成分とし、並進成分を 0 とした 6 次元の実数値として算出される。

【 0 0 7 0 】

詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、算出された仮相対位置姿勢 r_0 を反復計算の初期値として用いて、詳細相対位置姿勢 r_1 を算出する。この反復計算の処理には、近傍キーフレーム上のマップ点の位置を相対位置姿勢に基づいて移動したときの、現画像における移動先を算出する処理と、特徴点と移動先のそれぞれに対応する注目領域を特定する処理とが含まれる。

【 0 0 7 1 】

図 8 は、詳細相対位置姿勢の算出処理について説明するための第 1 の図である。近傍キーフレーム I_1 上の i 番目のマップ点を p_i とする。このとき、詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、マップ点 p_i の位置を相対位置姿勢 r_1 に基づいて移動したときの、現画像 I_2

における移動先 $w(p_i)$ の座標 w を算出する。移動先 $w(p_i)$ の座標 w は、例えば、次のようにして算出される。

【0072】

カメラ108の内部パラメータ A を、下記の式(3)のように表す。このとき、詳細相対位置姿勢算出部125bは、マップ点 $p_i = (u_i, v_i)$ の世界座標系における三次元座標 (X_i, Y_i, Z_i) を、下記の式(4)にしたがって算出する。

【0073】

【数2】

$$A = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdots (3) \quad 10$$

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{u_i - c_x}{f_x} d_i \\ \frac{v_i - c_y}{f_y} d_i \\ d_i \end{pmatrix} \cdots (4) \quad 20$$

【0074】

また、詳細相対位置姿勢算出部125bは、相対位置姿勢 r_i を、ロドリゲス変換により回転成分 R と並進成分 t とに分割する。回転成分 R は3行3列の行列であり、並進成分 t は3行1列の行列である。そして、詳細相対位置姿勢算出部125bは、移動先 $w(p_i)$ の座標 w を次の式(5)にしたがって算出する。なお、式(5)において、 $(R | t)$ は、3行3列の R と3行1列の t とをまとめた3行4列の行列を指す。

【0075】

【数3】

$$w = A(R | t) \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix} \cdots (5) \quad 40$$

【0076】

図9は、詳細相対位置姿勢の算出処理について説明するための第2の図である。詳細相対位置姿勢算出部125bは、近傍キーフレーム I_1 上のマップ点 p_i のそれぞれに対応する注目領域を特定する。注目領域は、マップ点を中心とした縦横 s 画素の矩形領域として特定される。図9の例では、マップ点 p_1, p_2, p_3 にそれぞれ対応する注目領域 $221, 222, 223$ が特定されている。

【 0 0 7 7 】

また、詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、現画像 I_2 上の移動先 $w(p_i)$ のそれぞれに対応する注目領域を特定する。現画像 I_2 上の注目領域も、移動先の点を中心とした縦横 N 画素の矩形領域として特定される。図 9 の例では、移動先 $w(p_1)$ 、 $w(p_2)$ 、 $w(p_3)$ にそれぞれ対応する注目領域 3 2 1、3 2 2、3 2 3 が特定されている。

【 0 0 7 8 】

詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、近傍キーフレーム I_1 上の注目領域とこれに対応する現画像 I_2 上の注目領域とのすべての組み合わせについての、輝度差の二乗和 S を算出する。ここで、近傍キーフレーム I_1 上の i 番目のマップ点に対応する注目領域に含まれる j 番目の画素の輝度値を $I_{1(i,j)}$ と表す。また、現画像 I_2 上の i 番目の移動先に対応する注目領域に含まれる j 番目の画素の輝度値を $I_{2(i,j)}$ と表す。このとき、輝度差の二乗和 S は、次の式 (6) にしたがって求められる。

$$S = \sum_i \sum_j [I_{2(i,j)} - I_{1(i,j)}]^2 \quad \dots (6)$$

詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、輝度差の二乗和 S が最小となるような相対位置姿勢 r_1 を、ガウス・ニュートン法を用いた反復計算によって算出し、その算出結果を詳細相対位置姿勢 r_1 として出力する。以上の計算によれば、近傍キーフレーム I_1 と現画像 I_2 との間で、局所的な特徴点同士の特徴量ではなく、特徴点の周囲画素を含む注目領域同士の画素値が比較されることによって、詳細相対位置姿勢 r_1 が算出される。これによって、類似する画像パターンが多数現れる場合でも、詳細相対位置姿勢 r_1 の算出精度が低下しにくくなる。

【 0 0 7 9 】

なお、詳細相対位置姿勢 r_1 のさらに詳細な計算方法については、図 11 において説明する。

最後に、詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、算出された詳細相対位置姿勢 r_1 と、近傍キーフレーム I_1 についての絶対位置姿勢 r_0 に基づいて、現画像 I_2 についての絶対位置姿勢 r_n を推定する。絶対位置姿勢 r_n は、前述の式 (1) から算出することができる。上記のように、詳細相対位置姿勢 r_1 の算出精度が低下しにくくなっていることから、現画像 I_2 についての絶対位置姿勢 r_n の推定精度を向上させることができる。

【 0 0 8 0 】

<フローチャート>

次に、トラッキング処理部 1 2 0 の処理についてフローチャートを用いて説明する。

図 10、図 11 は、トラッキング処理部の処理手順の例を示すフローチャートである。

【 0 0 8 1 】

[ステップ S 1 1] 画像取得部 1 2 1 は、カメラ 1 0 8 によって撮像された撮像画像をカメラ 1 0 8 から取得する。

[ステップ S 1 2] 位置姿勢推定部 1 2 2 は、現画像から特徴点を抽出する。

【 0 0 8 2 】

[ステップ S 1 3] 位置姿勢推定部 1 2 2 は、キーフレーム情報テーブル 1 1 2 に登録されたキーフレームの中から、現画像に類似するキーフレームを近傍キーフレームとして特定する。そして、位置姿勢推定部 1 2 2 は、近傍キーフレームに含まれるマップ点 (特徴点) の二次元座標を近傍キーフレームのキーフレーム情報から取得する。位置姿勢推定部 1 2 2 は、現画像から抽出された特徴点に対応する、近傍キーフレーム上のマップ点を特定し、特徴点とマップ点とのペアを複数組抽出する。

【 0 0 8 3 】

[ステップ S 1 4] 位置姿勢推定部 1 2 2 は、特徴点とマップ点との 4 組以上のペアを用いて、P n P アルゴリズムによって現画像の撮像時におけるカメラ 1 0 8 の絶対位置姿勢を推定する。

【 0 0 8 4 】

[ステップ S 1 5] 品質判定部 1 2 3 は、ステップ S 1 4 で推定された絶対位置姿勢の推定品質を判定する。品質判定部 1 2 3 は、絶対位置姿勢の推定品質を示す指標値が所定

10

20

30

40

50

の閾値以上である場合、推定品質が高いと判定して、ステップ S 1 6 の処理を実行する。一方、品質判定部 1 2 3 は、指標値が閾値未満の場合、推定品質が低いと判定して、図 1 1 のステップ S 2 1 の処理を実行する。

【 0 0 8 5 】

[ステップ S 1 6] キーフレーム登録処理部 1 2 4 は、キーフレーム情報の登録条件を満たすかを判定する。キーフレーム登録処理部 1 2 4 は、登録条件を満たす場合、現画像をキーフレームとして登録すると判定し、ステップ S 1 7 の処理を実行する。一方、キーフレーム登録処理部 1 2 4 は、登録条件を満たさない場合、処理を終了する。

【 0 0 8 6 】

[ステップ S 1 7] キーフレーム登録処理部 1 2 4 は、現画像についてのキーフレーム情報をキーフレーム情報テーブル 1 1 2 に登録する。キーフレーム情報のうち、位置姿勢の項目には、ステップ S 1 4 で推定された絶対位置姿勢が登録される。特徴点群の項目には、ステップ S 1 3 で近傍キーフレーム上のマップ点と対応付けられた現画像上の特徴点の二次元座標が登録される。対応マップ点番号の項目には、現画像上の特徴点に対応するマップ点の識別番号が登録される。

10

【 0 0 8 7 】

以下、図 1 1 を用いて説明を続ける。

[ステップ S 2 1] 仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、現画像の縮小画像と近傍キーフレームの縮小画像との合わせ込みを行うことで、現画像と近傍キーフレームとの間の仮相対位置姿勢 r_0 を算出する。なお、近傍キーフレームは、図 1 0 のステップ S 1 3 で特定されたキーフレームである。仮相対位置姿勢算出部 1 2 5 a は、算出された仮相対位置姿勢 r_0 を、この後の反復計算 (ステップ S 2 2 ~ S 2 5) で用いる相対位置姿勢 r の初期値として設定する。

20

【 0 0 8 8 】

[ステップ S 2 2] 詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、近傍キーフレーム上のマップ点 p_i の位置を相対位置姿勢 r に基づいて移動したときの、現画像における移動先 $w(p_i)$ の座標 w を算出する。

【 0 0 8 9 】

[ステップ S 2 3] 詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、近傍キーフレーム上のマップ点 p_i のそれぞれに対応する注目領域を特定する。また、詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、現画像上の移動先 $w(p_i)$ のそれぞれに対応する注目領域を特定する。

30

【 0 0 9 0 】

[ステップ S 2 4] 詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、前述の式 (6) にしたがって、注目領域間の輝度差の二乗和 S を算出する。

[ステップ S 2 5] 詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、反復計算の結果、輝度差の二乗和 S が収束したかを判定する。この処理は、具体的には次のようにして実行される。

【 0 0 9 1 】

前述のように、近傍キーフレーム I_1 上の i 番目のマップ点に対応する注目領域に含まれる j 番目の画素の輝度値を $I_{1(i,j)}$ と表す。また、現画像 I_2 上の i 番目の移動先に対応する注目領域に含まれる j 番目の画素の輝度値を $I_{2(i,j)}$ と表す。詳細相対位置姿勢算出部 1 2 5 b は、コスト関数 $E(r)$ を式 (7) のように設定する。また、式 (7) 中の $e(r)$ は、式 (8) のように表される。

40

【 0 0 9 2 】

【数 4】

$$E(\xi) = \frac{1}{2} |e(\xi)|^2 \quad \dots (7)$$

$$e(\xi) = S = \sum_i \sum_j \{I_{2(i,j)} - I_{1(i,j)}\}^2 \quad \dots (8)$$

【0093】

詳細相対位置姿勢算出部 125b は、相対位置姿勢が r_r のときの式 (9) および式 (10) の計算を実行する。 10

$$A = J^T J \quad \dots (9)$$

$$a = -J^T e \quad \dots (10)$$

ここで、 J は、 $e(r_r)$ のヤコビ行列であり、下記の式 (11) のように表される。また、式 (11) 中の e は、式 (12) のように表される。なお、式 (8) の A は、ヘッセ行列をヤコビ行列によって二次近似したものである。

【0094】

【数 5】

$$J = \left. \frac{de}{d\xi_r} \right|_{\xi_r} \quad \dots (11) \quad 20$$

$$e = e(\xi_r) \quad \dots (12)$$

【0095】

コスト関数 $E(r_r)$ を最小化する r_r は、式 (9) , (10) を用いて式 (13) のように表される。

$$A \cdot r_r = a \quad \dots (13)$$

詳細相対位置姿勢算出部 125b は、式 (13) を解いて r_r を計算する。そして、詳細相対位置姿勢算出部 125b は、式 (14) にしたがって E を計算する。 30

$$E = E(r_r + \Delta r_r) - E(r_r) \quad \dots (14)$$

詳細相対位置姿勢算出部 125b は、ステップ S22 ~ S24 での変化量 $|E|/E$ を、収束を判定するための指標値として用いる。あるいは、指標値としては、変化量 $|r_r|/r_r$ が用いられてもよい。詳細相対位置姿勢算出部 125b は、指標値が十分小さい場合、輝度差の二乗和 S が収束したと判定する。この場合、詳細相対位置姿勢算出部 125b は、このときの r_r を詳細相対位置姿勢 r_{r1} として出力し、ステップ S27 の処理を実行する。

【0096】

一方、詳細相対位置姿勢算出部 125b は、指標値が十分小さいとは言えない場合、ステップ S26 の処理を実行する。 40

[ステップ S26] 詳細相対位置姿勢算出部 125b は、 r_r を $r_r + \Delta r_r$ によって更新する。この後、ステップ S22 に戻り、更新された r_r を用いた処理が実行される。

【0097】

[ステップ S27] 詳細相対位置姿勢算出部 125b は、算出された詳細相対位置姿勢 r_{r1} と、キーフレーム情報テーブル 112 から取得される、近傍キーフレームについての絶対位置姿勢 r_n とに基づき、現画像についての絶対位置姿勢 r_n を式 (1) にしたがって推定する。

【0098】

以上説明した端末装置 100 によれば、近傍キーフレームと現画像との間で、局所的な 50

特徴点同士の特徴量ではなく、特徴点の周囲を含む注目領域同士の画素値が比較されることによって、詳細相対位置姿勢が算出され、これに基づいて絶対位置姿勢が推定される。これによって、前述の第1の比較例と比較して、類似する画像パターンが多数現れる場合でも、詳細相対位置姿勢 r_1 の算出精度が低下しにくくなる。その結果、絶対位置姿勢の推定精度を向上させることができる。したがって、復帰処理を高精度に行うことができる。

【0099】

また、端末装置100によれば、近傍キーフレームと現画像の各縮小画像を用いて大まかな仮相対位置姿勢を算出した後、上記のような注目領域同士の画素値の比較によって詳細相対位置姿勢を算出する。そして、詳細相対位置姿勢に基づいて絶対位置姿勢を推定する。このため、前述の第2の比較例と比較して、相対位置姿勢の算出精度を向上させることができ、その結果、絶対位置姿勢の推定精度も向上させることができる。

10

【0100】

さらに、端末装置100によれば、平行移動以外のカメラ108の運動時に位置姿勢の推定精度が低下しやすいオプティカルフローによる特徴点追跡も、実行しなくて済む。また、オプティカルフローと特徴量のマッチングの両方を実行することもないので、処理負荷を抑制できる。

【0101】

次に、第2の実施の形態に係る端末装置100の処理の一部を変形した変形例について説明する。なお、以下の第1の変形例および第2の変形例では、端末装置の処理機能の基本的な構成は同じなので、端末装置の処理機能の構成について第2の実施の形態と同じ符号を用いて説明する。

20

【0102】

〔第1の変形例〕

図12は、第1の変形例での注目領域の特定方法を説明するための図である。第2の実施の形態では、図9に示したように、近傍キーフレーム上のマップ点および現画像上の特徴点を中心とした縦横N画素の領域が、注目領域として設定された。これに対して、第1の変形例では、近傍キーフレーム上のマップ点の中から、エッジ251上に存在するマップ点252a, 252bのペアが抽出される。そして、注目領域253は、X軸とY軸のうち、一方の方向(図12ではX軸方向)に対する範囲が、マップ点252a, 252bのペアを包含する範囲となるように設定される。また、他方の方向(図12ではY軸方向)に対する範囲が、マップ点252a, 252bのペアを結ぶ線(図12ではエッジ251)を中心として、その方向に沿って両側にM画素を含むように設定される。第1の変形例では、上記のような注目領域がキーフレームから複数特定される。

30

【0103】

また、現画像においては、仮相対位置姿勢に基づく、上記のようなマップ点のペアの移動先が特定される。そして、移動先のペアを結ぶ直線を利用して、近傍キーフレームと同じルールで注目領域が特定される。なお、近傍キーフレーム上のマップ点のペアの位置関係は、現画像上の移動先のペアの位置関係と同じになるとは限らない。このため、キーフレームと現画像との間で対応する注目領域は、互いに同じ大きさや同じ形状になるとは限らない。

40

【0104】

上記のようにエッジの検出結果に基づいて注目領域が特定されることで、第2の実施の形態と比較して、対象物に直線的な模様が多い環境における詳細相対位置姿勢の推定精度を向上させることができる。

【0105】

なお、本変形例では、図12に示すようなエッジの検出結果に基づく注目領域とともに、第2の実施の形態で用いられた、マップ点および特徴点を中心とする矩形の注目領域も併用される。特徴点は主にコーナー部で抽出されるので、第2の実施の形態では、コーナー部近傍の形状が類似する画像パターンが多い場合に、詳細相対位置姿勢の推定精度向上

50

効果が高い。したがって、第2の実施の形態で用いられた注目領域も併用することで、様々な環境に対して位置姿勢の推定精度を向上させることができる。

【0106】

図13は、第1の変形例における復帰処理手順の例を示すフローチャートである。第1の変形例では、図11に示した処理が図13に示すように変形される。なお、図13では、図11と同じ処理が実行される処理ステップには同じ符号を付して示し、その説明を省略する。

【0107】

図13の処理では、図11のステップS23の次に、ステップS23a, S23bが実行される。その次に、ステップS24, S25の代わりにステップS24a, S25aが

10

【0108】

[ステップS23a] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、近傍キーフレームからエッジを検出する。

[ステップS23b] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、近傍キーフレーム内のマップ点の中から、同一のエッジ上に存在するマップ点のペアを特定する。そして、詳細相対位置姿勢算出部125bは、近傍キーフレーム上に、特定されたマップ点のペアのそれぞれに対応する注目領域を特定する。さらに、詳細相対位置姿勢算出部125bは、特定されたマップ点のペアに対応する現画像上の移動先のペアを特定し、現画像上に、移動先のペアのそれぞれに対応する注目領域を特定する。

20

【0109】

[ステップS24a] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、近傍キーフレーム上の注目領域と現画像上の注目領域との間の輝度差の二乗和Sを算出する。

ここで、ステップS23で特定された注目領域を「第1注目領域」と呼び、ステップS23bで特定された注目領域を「第2注目領域」と呼ぶ。また、近傍キーフレーム I_1 上の i 番目のマップ点に対応する第1注目領域に含まれる j 番目の画素の輝度値を $I_{1(i,j)}$ と表し、現画像 I_2 上の i 番目の移動先に対応する第1注目領域に含まれる j 番目の画素の輝度値を $I_{2(i,j)}$ と表す。さらに、近傍キーフレーム I_1 上の m 番目のマップ点ペアに対応する第2注目領域に含まれる n 番目の画素の輝度値を $I_{1(m,n)}$ と表し、現画像 I_2 上の m 番目の移動先ペアに対応する第2注目領域に含まれる n 番目の画素の輝度値を $I_{2(m,n)}$ と表す。このとき、詳細相対位置姿勢算出部125bは、輝度差の二乗和Sを次の式(15)にしたがって算出する。

30

$$S = \sum_i \sum_j [I_{2(i,j)} - I_{1(i,j)}]^2 + \sum_m \sum_n [I_{2(m,n)} - I_{1(m,n)}]^2 \cdots (15)$$

[ステップS25a] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、ステップS24aで算出された輝度差の二乗和Sを適用して、図11のステップS25と同様の手順により収束したか否かを判定する。

【0110】

[第2の変形例]

図14は、画像ピラミッドの構成例を示す図である。図14に示す画像ピラミッドは、元の画像に対応する階層L1と、元の画像を縮小した縮小画像の階層L2~L4とを有する。階層L2の画像は、階層L1の画像の1/2のサイズを有し、階層L3の画像は、階層L2の画像の1/2のサイズを有し、階層L4の画像は、階層L3の画像の1/2のサイズを有する。なお、ここでは、階層L4を最上位階層とし、階層L1を最下位階層とする。

40

【0111】

第2の変形例では、近傍キーフレームおよび現画像のそれぞれについて、図14のような階層L1~L4の画像が用いられる。例えば、近傍キーフレームに対応する階層L1~L4の画像は、対応するキーフレーム情報に対して予め登録されていればよい。一方、現画像に対応する階層L1~L4の画像は、復帰処理時に生成される。

【0112】

50

第2の変形例において、詳細相対位置姿勢算出部125bは、近傍キーフレームおよび現画像に対応する階層L4から階層L1までの画像を順次利用しながら、詳細相対位置姿勢の算出のための反復処理を実行する。その処理の詳細については、図15を用いて説明する。

【0113】

図15は、第2の変形例における復帰処理手順の例を示すフローチャートである。第2の変形例では、図11に示した処理が図15に示すように変形される。なお、図15では、図11と同じ処理が実行される処理ステップには同じ符号を付して示し、その説明を省略する。

【0114】

図15の処理では、図11のステップS21の次に、ステップS21aが実行され、その後ステップS22が実行される。また、ステップS25a、S25bが追加される。

[ステップ21a] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、ステップS22以降の処理に用いる近傍キーフレームおよび現画像として、最上位階層(階層L4)の画像を選択する。

【0115】

[ステップS25a] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、ステップS25で「Yes」と判定された場合、ステップS25aの処理を実行する。詳細相対位置姿勢算出部125bは、画像ピラミッドの全階層を選択済みかを判定する。詳細相対位置姿勢算出部125bは、未選択の階層がある場合、ステップS25bの処理を実行し、全階層を選択済みの場合、ステップS27の処理を実行する。

【0116】

[ステップS25b] 詳細相対位置姿勢算出部125bは、次のステップS22以降の処理に用いる近傍キーフレームおよび現画像として、1つ下位の階層の画像を選択する。この後、詳細相対位置姿勢算出部125bは、ステップS26の処理を実行する。

【0117】

以上の第2の変形例によれば、詳細相対位置姿勢の算出過程において収束を早めることができる。例えば、画像ピラミッドを利用しない場合、カメラ108の動きが速くなると、収束に失敗したり、誤った数値に収束する可能性が高まる。これに対して、画像ピラミッドの上位層側から画像を順次利用することで、相対位置姿勢の収束範囲を階層ごとに徐々に狭めながら計算を進めていくことができる。これにより、常に適切な値に収束させながら推定処理を進めていくことができ、正しい値に収束しやすくなる。また、正しい値に収束しやすくなることで、収束するまでの時間を短縮できる。

【0118】

なお、上記の第2の変形例では、注目領域として、第2の実施の形態で用いられた、マップ点および特徴点を中心とする注目領域のみ利用した例を示した。しかし、第2の変形例のように画像ピラミッドを利用する場合でも、例えば、エッジの検出結果に基づく注目領域を用いることができるし、あるいは、マップ点および特徴点を中心とする注目領域と、エッジの検出結果に基づく注目領域とを併用することもできる。

【0119】

また、上記の各実施の形態に示した装置(カメラ位置姿勢推定装置1、端末装置100)の処理機能は、コンピュータによって実現することができる。その場合、各装置が有すべき機能の処理内容を記述したプログラムが提供され、そのプログラムをコンピュータで実行することにより、上記処理機能がコンピュータ上で実現される。処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、磁気記憶装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリなどがある。磁気記憶装置には、ハードディスク装置(HDD)、フレキシブルディスク(FD)、磁気テープなどがある。光ディスクには、DVD(Digital Versatile Disc)、DVD-RAM、CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)、CD-R(Recordable)/RW(ReWritable)などがある。光磁気記録媒体には、M

10

20

30

40

50

O (Magneto-Optical disk) などがある。

【0120】

プログラムを流通させる場合には、例えば、そのプログラムが記録されたDVD、CD-ROMなどの可搬型記録媒体が販売される。また、プログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することもできる。

【0121】

プログラムを実行するコンピュータは、例えば、可搬型記録媒体に記録されたプログラムまたはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、自己の記憶装置に格納する。そして、コンピュータは、自己の記憶装置からプログラムを読み取り、プログラムに従った処理を実行する。なお、コンピュータは、可搬型記録媒体から直接プログラムを読み取り、そのプログラムにしたがった処理を実行することもできる。また、コンピュータは、ネットワークを介して接続されたサーバコンピュータからプログラムが転送されるごとに、逐次、受け取ったプログラムにしたがった処理を実行することもできる。

10

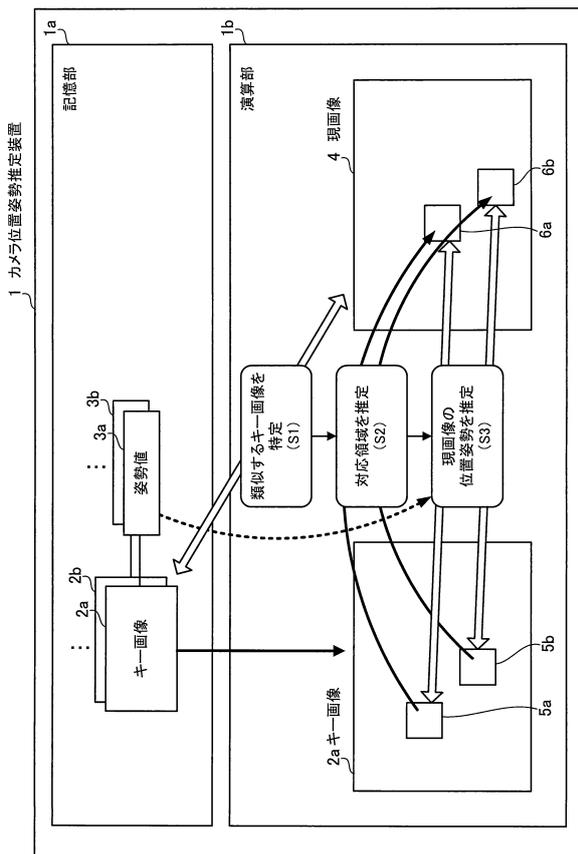
【符号の説明】

【0122】

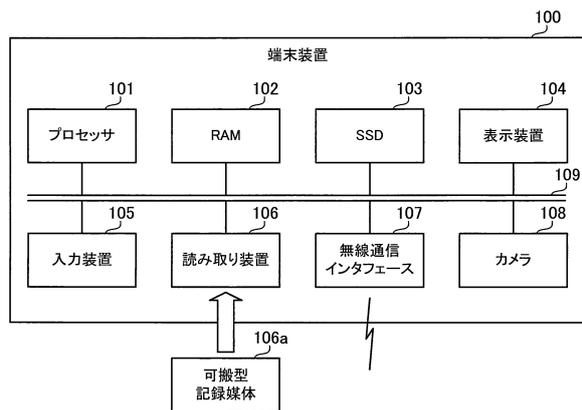
- 1 カメラ位置姿勢推定装置
- 1 a 記憶部
- 1 b 演算部
- 2 a , 2 b キー画像
- 3 a , 3 b 姿勢値
- 4 現画像
- 5 a , 5 b , 6 a , 6 b 領域

20

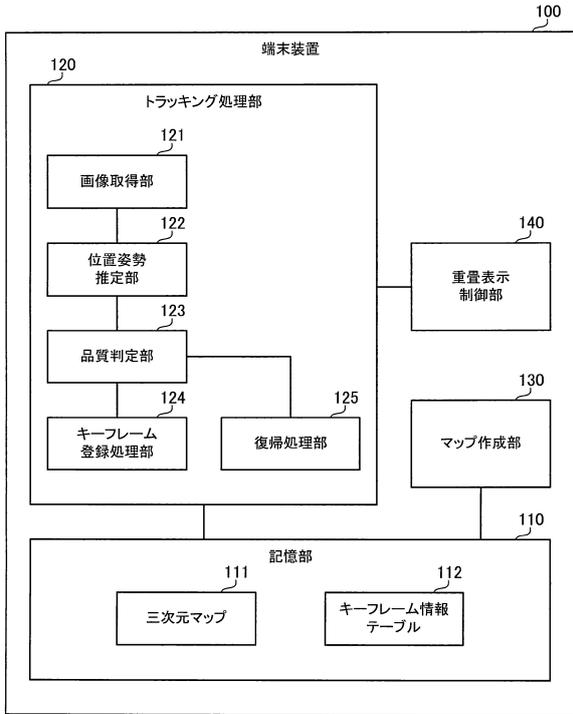
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

111 三次元マップ

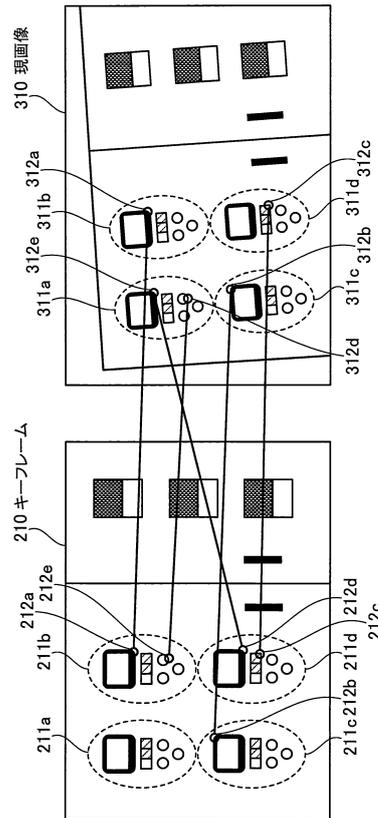
マップ点番号	三次元座標			特徴量
	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	
1	126	59	329	(0.264, ...)
2	314	193	289	(0.822, ...)
3	212	49	315	(0.652, ...)
...
68	-237	-21	291	(0.740, ...)

【図5】

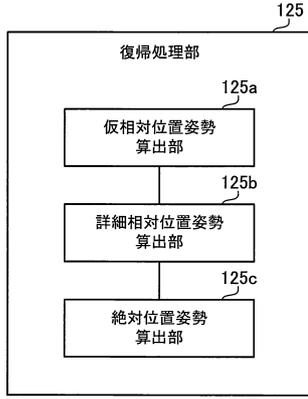
112 キーフレーム情報テーブル

キーフレーム番号	位置姿勢	画像情報	特徴点群	対応マップ点番号
1	(0.24, 0.84, 0.96, 245.0, 313.9, 23.8)	(24, 46, ...)	(11, 42), (29, 110), (178, 90), (242, 310), ...	3, 5, 9, 32, ...
2	(0.15, 0.90, 0.23, 93.3, 163.0, 73.2)	(25, 44, ...)	(92, 32), (41, 88), (201, 11), (232, 290), ...	2, 11, 43, 51, ...
3	(0.84, 0.45, 0.12, 132.8, 77.3, 61.8)	(22, 40, ...)	(13, 27), (32, 38), (42, 103), (83, 55), ...	4, 7, 28, 37, ...
...
25	(0.54, 0.80, 0.92, 398.2, 310.2, 292.0)	(134, 89, ...)	(55, 120), (173, 193), (103, 167), (238, 262), ...	32, 35, 58, 62, ...

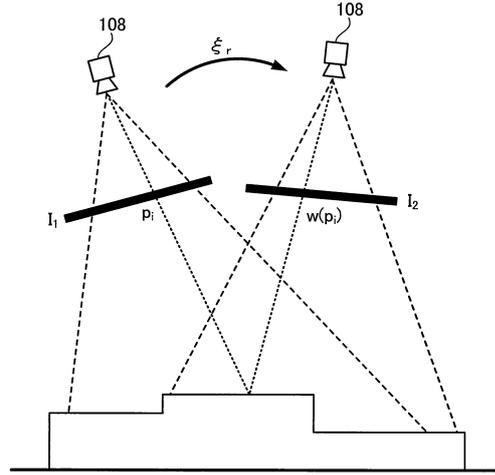
【図6】



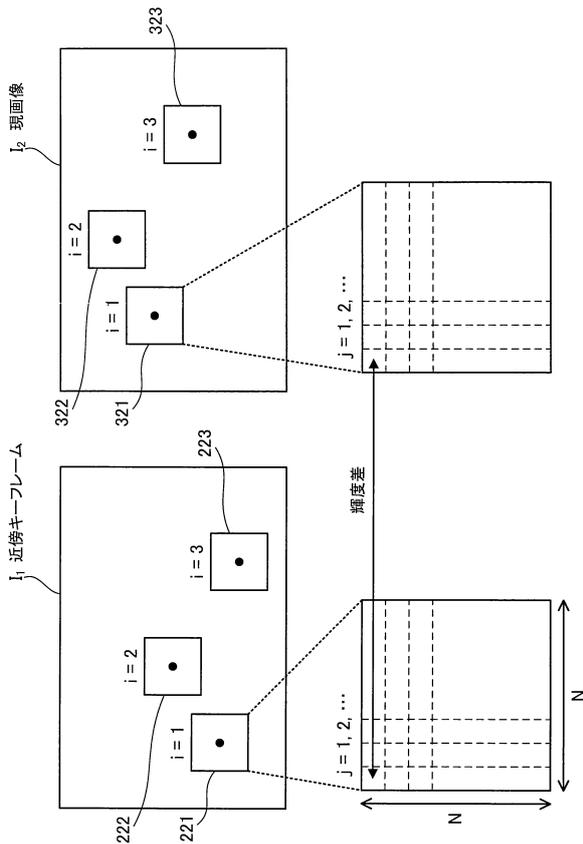
【図7】



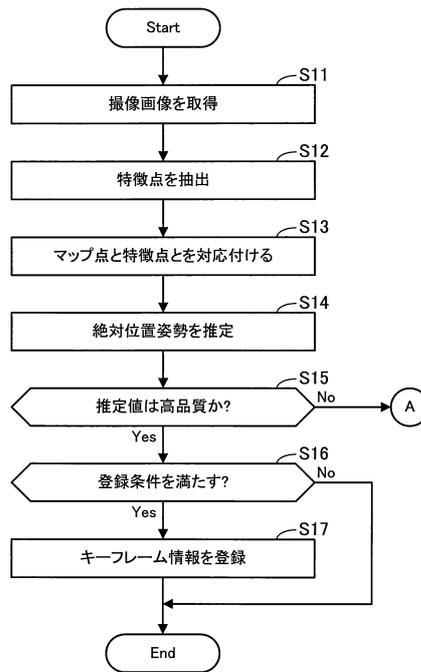
【図8】



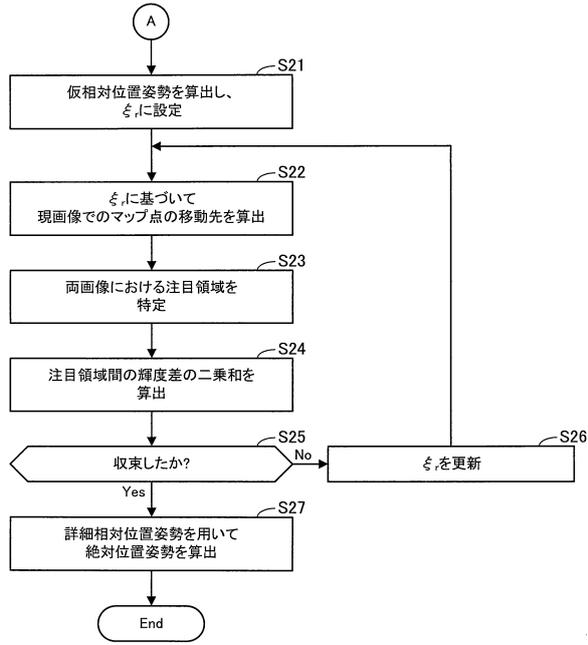
【図9】



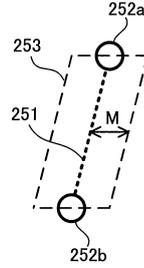
【図10】



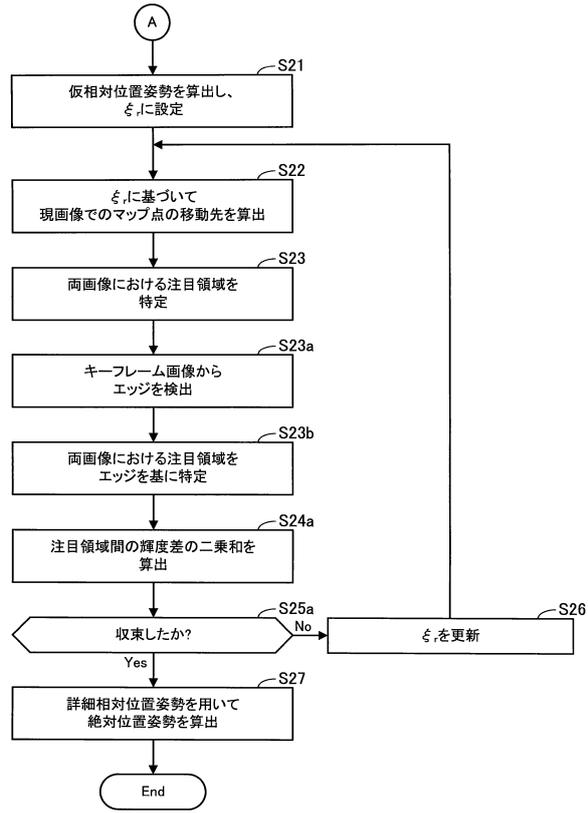
【図11】



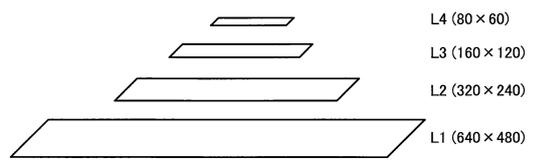
【図12】



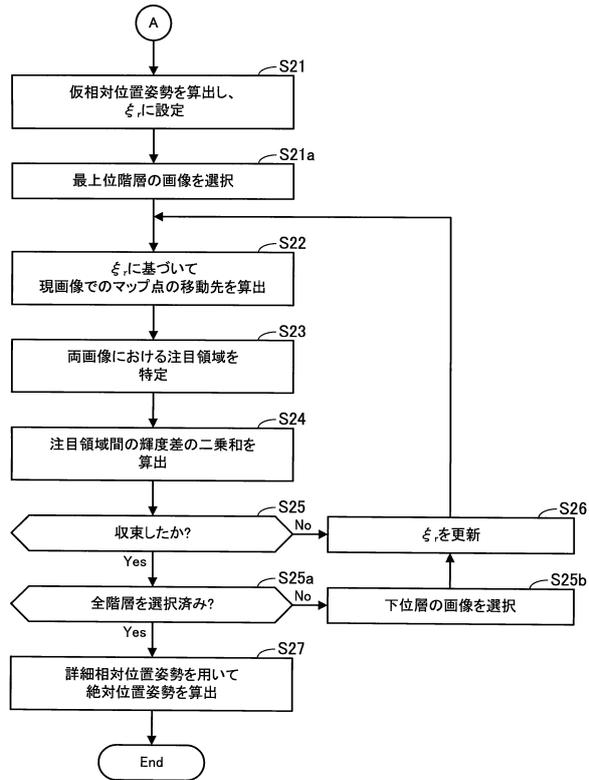
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

審査官 秦野 孝一郎

(56)参考文献 特開2014-202502(JP,A)
特開2013-200824(JP,A)
特開2010-9236(JP,A)
特開2010-267231(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 7/00 - 7/90
H04N 5/222 - 5/257