

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5777507号
(P5777507)

(45) 発行日 平成27年9月9日(2015.9.9)

(24) 登録日 平成27年7月17日(2015.7.17)

(51) Int.Cl.		F I			
G06T 1/00	(2006.01)	G06T 1/00	3 1 5		
G06T 19/00	(2011.01)	G06T 19/00	6 0 0		

請求項の数 12 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2011-286326 (P2011-286326)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成23年12月27日(2011.12.27)	(74) 代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(65) 公開番号	特開2013-134706 (P2013-134706A)	(74) 代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(43) 公開日	平成25年7月8日(2013.7.8)	(72) 発明者	武本 和樹 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内
審査請求日	平成26年10月31日(2014.10.31)	審査官	佐藤 実

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置、情報処理方法、及びそのプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の視点から被写体を撮像した各画像を入力する画像入力手段と、
 予め設定された色情報に基づいて、前記各画像から前記被写体を示す領域を抽出する領域抽出手段と、

前記領域抽出手段で抽出された各領域の輪郭線を取得する輪郭線取得手段と、
 前記輪郭線それぞれを平滑化することにより、複数の平滑化輪郭線を取得する平滑化手段と、

前記複数の平滑化輪郭線上の点を前記各画像間に対応づける対応付け手段と、
 前記対応付け手段により各画像間に対応づけられた点の三次元座標を導出する導出手段とを有し、

前記平滑化手段は、
 前記輪郭線上に第1の点と第2の点とを設定する端点設定手段と、
 前記輪郭線上において前記第1の点と前記第2の点との間に第3の点を設定する中点設定手段とを有し、

前記第1の点もしくは前記第2の点と、前記第3の点との距離が所定値未満になるまで、前記第3の点を、前記第1の点若しくは前記第2の点として再帰的に設定し、該再帰的に設定された前記第1の点と前記第2の点との間の点を新たに前記第3の点として設定するように、前記端点設定手段および前記中点設定手段による処理を繰り返し、

前記端点設定手段および前記中点設定手段で設定された点群のうち前記輪郭線上で隣り

10

20

合う点を結ぶ線分群を前記平滑化輪郭線として取得することを特徴とする情報処理装置。

【請求項 2】

前記所定値は、前記各画像上の 4 ピクセルに相当する距離であることを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。

【請求項 3】

前記中点設定手段が、前記輪郭線上における前記第 1 の点と前記第 2 の点との中間に、前記第 3 の点を設定することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の情報処理装置。

【請求項 4】

更に、前記複数の画像間で対応する複数の走査線と、前記平滑化輪郭線との交点を検出する交点検出手段と、

前記交点検出手段で検出された交点それぞれに対して、前記複数の走査線の各々に沿って前記交点のそれぞれを通過する平滑化輪郭線を輪郭とした領域が当該走査線の走査方向に対して何れの側にあるかを示す属性を判定する属性判定手段とを備え、

前記対応付け手段は、前記属性判定手段で判定された各交点の属性に基づいて、前記交点のうち前記各画像の間で対応関係にある点を対応づけることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記対応付け手段は、

前記対応する走査線のそれぞれにおける前記交点の属性の比較を行うことにより、該走査線の第 1 の一致度を算出する第 1 の一致度算出手段と、

前記第 1 の一致度に基づいて、前記走査線で検出された交点のうち該複数の画像の間で対応関係にある対応点を判定する第 1 の対応点判定手段と、

前記第 1 の対応点判定手段で対応点と判定されなかった前記交点のうち、前記対応点と判定された交点を通過する平滑化輪郭線の上の他の交点を対応点として判定する第 2 の対応点判定手段と

を有することを特徴とする請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 6】

前記対応付け手段は、

前記複数の走査線の各々を、前記第 1 の対応点判定手段または前記第 2 の対応点判定手段で対応すると判定された対応点の位置で分割して複数の分割走査線を生成する走査線分割手段と、

前記複数の分割走査線ごとに前記複数の画像の間で前記交点の属性の比較を行うことにより、該複数の画像の間での該分割走査線の第 2 の一致度を算出する第 2 の一致度算出手段と、

前記第 2 の一致度に基づいて、前記交点のうち該複数の画像の間で対応関係にある対応点を判定する第 3 の対応点判定手段と

を更に有することを特徴とする請求項 5 に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

前記走査線は、エピソード線であることを特徴とする請求項 4 乃至 6 の何れか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 8】

更に、前記導出手段で導出された点の三次元座標に基づいて、前記被写体を模した仮想物体を生成する生成手段を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 9】

更に、前記導出手段で導出された点の三次元座標に基づいて、前記被写体を含む画像と、仮想物体とを合成する合成手段とを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 10】

前記画像は、ヘッドマウンテッドディスプレイまたはハンドヘルドディスプレイに装着

10

20

30

40

50

された撮像装置によって撮像された画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 1 1】

複数の視点から被写体を撮像した各画像を入力する画像入力工程と、
 予め設定された色情報に基づいて、前記各画像から前記被写体を示す領域を抽出する領域抽出工程と、

前記領域抽出工程で抽出された各領域の輪郭線を取得する輪郭線取得工程と、
 前記輪郭線それぞれを、することにより、複数の平滑化輪郭線を取得する平滑化工程と、

前記複数の平滑化輪郭線上の点を前記各画像間に対応づける対応付け工程と、
 前記対応付け工程において各画像間に対応づけられた点の三次元座標を導出する導出工程と

を有し、

前記平滑化工程では、

前記輪郭線上に第 1 の点と第 2 の点とを設定する端点設定工程と、

前記輪郭線上において前記第 1 の点と前記第 2 の点との間に第 3 の点を設定する中点設定工程とを有し、

前記第 1 の点もしくは前記第 2 の点と、前記第 3 の点との距離が所定値未満になるまで、
 前記第 3 の点を、前記第 1 の点若しくは前記第 2 の点として再帰的に設定し、該再帰的に設定された前記第 1 の点と前記第 2 の点との間の点を新たに前記第 3 の点として設定する

ように、前記端点設定工程および前記中点設定工程による処理を繰り返し、
 前記端点設定工程および前記中点設定工程で設定された点群のうち前記輪郭線上で隣り合う点を結ぶ線分群を前記平滑化輪郭線として取得することを特徴とする情報処理方法。

【請求項 1 2】

コンピュータを、請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、3次元配置計測技術の安定化に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術の研究が盛んである。MR 技術は、現実空間とコンピュータによって作られる仮想空間を繋ぎ目なく融合する技術である。MR 技術は、組み立て作業時に作業手順や配線の様子を重畳表示する組み立て支援、患者の体表面に体内の様子を重畳表示する手術支援等、様々な分野への応用が期待される。

仮想物体が現実空間に実在するように利用者が感じるためには、仮想物体と現実空間との間の幾何学的な整合性が重要である。複合現実感における幾何学的な整合性には、現実空間の座標系と仮想空間の座標系を一致させるための整合性と、現実物体と仮想物体の前後関係を正しく表現するための整合性とがある。前者の整合性を扱う問題は、複合現実感における位置合わせ問題とも呼ばれ、種々の研究報告が行われている (非特許文献 1)。また後者の整合性を扱う問題は「オクルージョン問題」とも呼ばれ、特にカメラで撮像した画像に仮想物体を重畳させるビデオスルー型の MR システムでも重要な課題となる。

【0003】

現実物体と仮想物体の前後関係、すなわち遮蔽 (オクルージョン) を正しく表現するためには、遮蔽される現実物体または仮想物体の 3次元配置情報を求める必要がある。すなわち、現実物体の 3次元配置情報と仮想物体の 3次元配置情報を比較し、現実物体が手前になる場合は、撮像した画像を手前に表示する。また、仮想物体が手前にある場合は、仮

10

20

30

40

50

想物体を手前に表示するという処理をすればよい。この処理において、仮想物体は既知の3次元モデルがあるため、視点に対する3次元配置は算出可能である。しかし、現実物体を撮像しただけでは、現実物体の視点に対する3次元配置は未知であるため、現実物体の3次元配置を求めることが必要となる。

【0004】

以下では、現実物体の3次元配置を計測する技術について述べる。一般的な3次元配置計測技術では、ステレオカメラで撮像した画像の注目点に対して、エピポーラ拘束と画素パッチの輝度情報に基づいてマッチングを行う。まず、ステレオカメラの一方の画像における注目点に対して、他方の画像におけるエピポーラ線上の点を対応点候補とする。次に対応点候補として残った各点の周辺の画素パッチに対して、注目点周辺の画素パッチとのパターンマッチングを行うことにより、精度よく対応点を求めることができる（非特許文献2、非特許文献3）。

10

【0005】

非特許文献4では、ヘッドマウンテッドディスプレイに装着された2台のカメラを用いて現実物体の3次元位置を計測して、オクルージョンによる問題を解決しようとした。この手法では、仮想物体の描画領域のみで対応付けを行うことで計算量を削減した。

【0006】

また、非特許文献5では、キーフレームと呼ばれる背景画像と現在のカメラの画像との差分によって移動物体の検出を行い、検出物体の境界線上の点をマッチングしている。境界上の点のみをマッチングするため、高速に処理することができる。

20

【0007】

一方で、光源から出た光が現実物体で反射し、センサーに届くまでの光の飛行時間（遅れ時間）と光の速度から、被写体までの距離を得る手法を用いて、3次元位置を計測するTOF (Time Of Flight) 法がある（非特許文献6）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】佐藤，内山，田村，“複合現実感における位置合わせ手法”，日本VR学会論文誌，Vol. 8，no. 2，pp. 171 - 180，2003。

【非特許文献2】田村，“コンピュータ画像処理”，オーム社，2002。

30

【非特許文献3】佐藤，“コンピュータビジョン - 視覚の幾何学 - ”，コロナ社，1999。

【非特許文献4】Yokoya, Takemura, Okuma, and Kanbara, “Stereo Vision Based Video See-Through Mixed Reality”, Proc. International Symposium on Mixed Reality (ISMAR99), page 131 - 145, 1999.

【非特許文献5】林建一，加藤博一，西田正吾，“境界線ベースステレオマッチングを用いた実物体と仮想物体の前後判定”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 10，No. 3，pp. 371 - 380，2005。

40

【非特許文献6】T. Oggier, B. Buttgen, F. Lustenberger, “SwissRanger SR3000 and first experiences based on miniaturized 3d-TOF Cameras,” Swiss Center for Electronics and Microtechnology, CSEM, IEE, Fachhochschule Rapperswil Switzerland, Technical Report, 2005

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

50

非特許文献4では、仮想物体の描画領域のみでステレオマッチングを行っているため処理を削減できるが、計測精度の影響を受け、仮想物体と現実物体との境界が正しく表示できず、複合現実感においてユーザーに違和感を与える問題があった。

【0010】

非特許文献5では、キーフレームとの差分によって物体領域を検出して、物体領域の境界線のステレオマッチングを行っており、仮想物体と現実物体との境界での計測精度が向上し、ユーザーに与える違和感は改善された。しかし、フレーム間で背景差分領域が変化することによるノイズに関しては考慮されておらず、生成される奥行き値のフレーム間のばらつきが大きい。このばらつきの大きさにより、体験者の没入感を阻害する可能性があった。

10

【0011】

本発明は、以上の課題を鑑みてなされたものであり、対象物体の3次元配置を高速かつ安定的に計測することができる3次元位置配置装置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】

【0012】

上記目的は、以下の装置によって達成される。

【0013】

複数の視点から被写体を撮像した各画像を入力する画像入力手段と、
予め設定された色情報に基づいて、前記各画像から前記被写体示す領域を抽出する領域抽出手段と、

20

前記領域抽出手段で抽出された各領域の輪郭線を取得する輪郭線取得手段と、
前記輪郭線それぞれを平滑化することにより、複数の平滑化輪郭線を取得する平滑化手段と、

前記複数の平滑化輪郭線上の点を前記各画像間に対応づける対応付け手段と、
前記対応付け手段により各画像間に対応づけられた点の三次元座標を導出する導出手段とを有することを特徴とする情報処理装置。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、カメラノイズや照明ノイズ等のノイズによる影響を軽減し、対象物体の3次元位置計測を比較的安定して実施できる。また安定化処理の実行時に生成される中間情報を3次元計測処理の情報に流用することにより、高速に3次元計測を実施できる。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1の実施形態における、3次元位置計測装置の機能構成を示すブロック図である。

【図2】第1の実施形態における、基準点検出部2000の機能構成を示すブロック図である。

【図3】第1の実施形態における、対応点検出部3000の機能構成を示すブロック図である。

【図4】第1の実施形態における、基準点検出部2000が行う処理のフローチャートである。

40

【図5】第1の実施形態における、基準点検出部2000が行う領域分割の結果を説明する図である。

【図6】第1の実施形態における、抽出領域の2値画像に走査線300を重ねて表示した図である。

【図7】第1の実施形態における、対応点検出部3000の処理のフローチャートである。

【図8】第1の実施形態における、走査線上の交点の属性を求め方を説明する図である。

【図9】第1の実施形態における、抽出領域に交点を重ねて表示した図である。

【図10】第1の実施形態における、抽出領域の境界線と走査線の交点を示した図9から

50

、走査線 J を取り出した模式図である。

【図 1 1】第 1 の実施形態における、走査線上で対応点を求める方法を説明するための模式図である。

【図 1 2】第 1 の実施形態における、物体位置算出部 4 0 0 0 の処理のフローチャートである。

【図 1 3】第 1 の実施形態における、平滑化の処理を示すフローチャートである。

【図 1 4】第 1 の実施形態における、平滑化処理により最終的に得られる分割点を示す模式図である。

【図 1 5】第 1 の実施形態における、3次元位置計測装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

10

【図 1 6】第 1 の実施形態における、物体位置算出部 4 0 0 0 の機能構成を示すブロック図である。

【図 1 7】第 1 の実施形態における、平滑化の効果を説明する模式図のうち、ノイズの影響を受けない理想的な状態で交点情報を求めた結果を示す模式図である。

【図 1 8】第 1 の実施形態における、平滑化の効果を説明する模式図のうち、平滑化をしない状態で交点情報を求めた結果を示す模式図である。

【図 1 9】第 1 の実施形態における、平滑化の効果を説明する模式図のうち、平滑化をした状態で交点情報を求めた結果を示す模式図である。

【図 2 0】第 1 の実施形態における、輪郭線分割部 2 0 4 0 の処理を説明する模式図である。

20

【図 2 1】第 1 の実施形態における、再帰的な分割処理による分割点の変化を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

〔第 1 の実施形態〕

本実施形態では、光軸を水平に固定した 2 台の撮像装置で撮像した画像に基づいて、撮像装置に対する現実物体の 3 次元位置を計測するための情報処理装置について説明する。本実施形態では、現実物体として人間の手の 3 次元位置を計測する。

【0017】

(構成例)

30

図 1 は、本実施形態における現実物体の 3 次元位置を計測する情報処理装置 2 0 0 の機能構成を示すブロック図である。

【0018】

図 1 に示すように、本実施形態に係る情報処理装置は、撮像装置 1 0 0 及び撮像装置 1 1 0、画像入力部 1 0 0 0、基準点検出部 2 0 0 0、対応点検出部 3 0 0 0、物体位置算出部 4 0 0 0、保持部 5 0 0 0 によって構成される。撮像装置 1 0 0 及び撮像装置 1 1 0 によって撮像された画像に基づいて現実物体の 3 次元位置を計測し、3次元位置情報を出力する。

【0019】

まず、撮像装置 1 0 0 及び撮像装置 1 1 0 は、ビデオカメラであり、異なる複数の視点から、現実物体 1 5 0 が存在するシーンを同時に撮像する。本実施形態では、撮像装置 1 0 0 の焦点距離やレンズ歪み係数等のカメラ内部パラメータは予め求めておき、既知であるとする。また、撮像装置 1 0 0 及び撮像装置 1 1 0 は、撮像装置間の相対位置姿勢のカメラ外部パラメータが既知であるとする。撮像装置 1 0 0 及び撮像装置 1 1 0 の具体例として、ヘッドマウントディスプレイなどの同じ筐体に装着された 2 つのカメラなどが挙げられる。

40

【0020】

画像入力部 1 0 0 0 は、撮像装置 1 0 0 及び撮像装置 1 1 0 によって撮像された画像をコンピュータ内に取り込む。画像入力部 1 0 0 0 は、例えば、PC に設置されたビデオキャプチャカード(画像取り込み機 5 0 2)である。また、本実施形態では、取得した画像

50

に対してレンズ歪み補正を行うことで、画像の歪みはないものとして扱う。コンピュータ内に取り込んだ画像データは、画像取り込み機502を介してRAM505上の保持部5000に出力する

基準点検出部2000は、撮像装置100及び撮像装置110によって撮像された画像間の対応を比較判定するための基準点の点群となる画像座標群を検出する。図2に示すように、基準点検出部2000は、領域抽出部2010、領域区別設定部2020、交点検出部2060、輪郭線分割部2040、平滑化部2050から構成される。

【0021】

領域抽出部2010は、画像入力部1000によって取得された画像を保持部5000から入力し、色情報に基づいて領域抽出を行う。なお、ここでは、現実物体150の色情報を予め設定しておき、現実物体150の色情報に含まれる領域とそれ以外の領域とに分類する。領域抽出部2010は、抽出した領域を1、それ以外の領域を0とする2値画像を生成する。また、2値画像から抽出領域の輪郭線を算出し、輪郭線情報として保持部5000に出力する。このとき、例えば、輪郭線は輪郭線が囲む領域が1である場合は、時計回り、囲む領域が0である場合は、反時計回りになるように方向を決定しておく。本実施形態において輪郭線情報は、例えば、8連結の画像座標リストとして保持する。ただし、本実施形態は輪郭線情報に、方向性を持つ8連結の画像座標リストで保持することに限定されるものではなく、輪郭線と内部領域の値を適切に表現するデータであれば適用可能である。例えば、輪郭線情報として4連結の画像座標リストと輪郭線が囲む内部の値を持つ変数に対応付けて保持してもよい。

【0022】

領域区別設定部2020は、領域抽出部2010にて抽出した抽出領域にラベル付けを行うことで領域を区別する。ここでは、領域の面積の大きい順にラベルを付け、閾値以下の面積の領域はノイズとして除去する。ノイズ除去を行い、残った領域の輪郭線情報とラベル情報に対応付けて保持部5000へ出力する。

【0023】

輪郭線取得部2030は、抽出領域の輪郭線を取得する。

【0024】

輪郭線分割部2040は、保持部5000から、輪郭線情報を取得し、入力された対象物体の外形の特徴を残して、輪郭線を分割する。

【0025】

本実施形態においては、分割の処理は再帰的に実施するため、最初の分割が終わった時点で、分割点により分割された輪郭線の距離の長さから、分割した輪郭線が分割点を結ぶ真っすぐ線分に近似されたか否かを判定する。線分に近似できない輪郭線をさらに分割する。輪郭線分割部2040は、最終的に得られた輪郭線の分割点の画像座標を保持部5000に出力する。輪郭線分割の再帰的処理の詳細については後述する。

【0026】

なお、本実施形態においては輪郭線の分割に再帰的な分割アルゴリズムを利用することに限定されるものではなく、最終的に対象物体の特徴を残して平滑化できる輪郭線分割アルゴリズムであれば適用可能である。例えば、輪郭線の曲率が閾値よりも大きい場合は分割点を追加するという方法でも適用可能である。

【0027】

平滑化部2050は、輪郭線分割部2040で出力された分割点を線分で結ぶことで、元の輪郭線を平滑化した平滑化輪郭線の輪郭線情報を生成する。平滑化した輪郭線情報は保持部5000に出力され、輪郭線取得部2030で取得された元の情報と置き換えられる。以降、置き換えられた輪郭線情報が取得された輪郭線情報であるとする。

【0028】

交点検出部2060は、検出処理の前に、撮像装置100と撮像装置110によって撮像した各画像に走査線を予め設定しておく。この走査線は、各画像間で、現実空間における同じ位置を通過しているとみなした線である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

走査線を設定する例として、撮像装置 1 0 0 と撮像装置 1 1 0 との相対位置があらかじめ分かっているならば、画像上においてどの位置を通過しているかを想定して設定することができる。例えば、ヘッドマウントディスプレイの同じ高さの左右に水平で配置されていれば、撮像装置 1 0 0 で撮像された画像と撮像装置 1 1 0 で撮像された画像との各々の同じ高さに水平線を引けばよい。これは、後述するエピポーラ線の一種に含まれる。

【 0 0 3 0 】

他にも、走査線を設定する例として、撮像装置 1 0 0 と撮像装置 1 1 0 とが撮像する現実空間に視覚レーザーをライン状に照射すれば、撮像装置 1 0 0 と撮像装置 1 1 0 との両方で撮像されたレーザーラインの延長線を走査線として用いることができる。

10

【 0 0 3 1 】

本実施形態では、走査線として、一般的にエピポーラ線と呼ばれる線を設定する。エピポーラ線について簡単に説明する。2台の撮像装置の視点をそれぞれ C 、 C' とし、3次元空間中のある点を P とすると、この C 、 C' 、 P の3点は空間中に一つの平面を定義できる。この平面をエピポーラ平面と呼び、エピポーラ平面と画像面が交差してできる直線をエピポーラ線と呼ぶ。

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、撮像装置 1 0 0 の画像の画像中心を通り、垂直方向に 1 0 ピクセル単位で区切る点群 P_n と、撮像装置 1 0 0 の視点 C と撮像装置 1 1 0 の視点 C' とからエピポーラ平面群 L_n を算出する。そして、撮像装置 1 0 0 と撮像装置 1 1 0 の各投影面におけるエピポーラ線群 E_n (必要に応じて走査線 3 0 0 と言い換える) を配置する。

20

【 0 0 3 3 】

このように、あらかじめエピポーラ線群を用意しておくことで、左右の画像で抽出領域の輪郭線マッチングを高速に行うことができる。

【 0 0 3 4 】

そして、交点検出部 2 0 6 0 は、平滑化部 2 0 5 0 で算出した輪郭線情報と走査線情報 3 0 0 を入力して、平滑化した輪郭線と走査線の交点を検出する。さらに、交点の近傍における属性を記録する。この属性は、交点が、走査線の走査方向に対して、抽出領域の左側なのか、右側なのかを判定するための特徴である。図 8 に示すように、走査線上を左から右に探索して、交点上で抽出領域が 0 から 1 に変化する場合には正の符号を与え、1 から 0 に変化する場合には負の符号を与える。

30

【 0 0 3 5 】

本実施形態では、例えば輪郭線の方角によって判断する。すなわち、交点における輪郭線の次のピクセルの方角が上、右上、右、左上のいずれかを指している場合は、抽出領域の左側と判断する。逆に、交点における輪郭線の次のピクセルの方角が下、左下、左、右下のいずれかを指している場合は、抽出領域の右側と判断する。

【 0 0 3 6 】

交点を領域の左側と判断した場合は、属性に 1 を設定し、領域の右側と判断した場合は属性に - 1 を設定する。この属性は、対応点検出部 3 0 0 0 の対応付けに利用する。

【 0 0 3 7 】

得られた交点の画像座標と属性は、交点情報として保持部 5 0 0 0 へ出力する。

40

【 0 0 3 8 】

保持部 5 0 0 0 は、以下の管理する情報のデータを保持する。

- ・カメラ映像 (撮像部 1 0 0、1 1 0 から得られた映像)
- ・輪郭線情報 (ラベルと画像座標の連結リストを要素として持つ)
- ・輪郭線の分割点情報 (輪郭線平滑化のために生成した分割点の画像座標リスト)
- ・交点情報 (輪郭線とエピポーラ線の交点を表わす画像座標のリストと、交点の領域における左側か右側かを判断する属性リストを要素として持つ)
- ・対応点情報 (対応付け部 3 0 0 0 の処理によって出力される左右画像の交点の対応情報)

50

保持部 5 0 0 0 は、管理する情報を対応点検出部 3 0 0 0 に出力する。
 なお、本実施形態においては、保持部 5 0 0 0 に上記のデータ種を保存することに限定されるものではなく、物体配置算出部 4 0 0 0 の処理に流用可能な、対象物体の特徴を残した輪郭線の分割点情報を含んでいけばよい。

【 0 0 3 9 】

対応点検出部 3 0 0 0 は、基準点検出部 2 0 0 0 で検出された交点情報に基づいて、撮像装置 1 0 0 と撮像装置 1 1 0 とで撮像した画像間の対応関係となる対応点を検出する。

【 0 0 4 0 】

図 3 は、対応点検出部 3 0 0 0 の構成を示すブロック図である。対応点検出部 3 0 0 0 は、属性判定部 3 0 1 0、第 1 の一致度算出部 3 0 2 0、第 1 の対応点判定部 3 0 3 0、領域対応付け部 3 0 4 0、第 2 の対応点判定部 3 0 5 0、走査線分割部 3 0 6 0、第 3 の対応点判定部 3 0 8 0 から構成される。

10

【 0 0 4 1 】

属性判定部 3 0 1 0 は、保持部 5 0 0 0 から交点情報と輪郭線情報を入力して、走査線 3 0 0 上における交点の属性をリスト化する。具体的には、走査線上の交点が、走査線の走査方向に対して、抽出領域の左側なのか、右側なのかを判定した属性を走査線ごとにリスト化する。

【 0 0 4 2 】

第 1 の一致度算出部 3 0 2 0 は、第 1 の撮像装置 1 0 0 で撮像した画像における交点属性リストと、第 2 の撮像装置 1 1 0 で撮像した画像における交点属性リストの比較を行い、一致度 P を算出する。算出した一致度 P を第 1 の対応点判定部 3 0 3 0 へ出力する。

20

【 0 0 4 3 】

第 1 の対応点判定部 3 0 3 0 は、第 1 の一致度算出部 3 0 2 0 から交点属性リストの一致度 P を入力し、交点属性リストの一致度に基づいて、画像間で対応関係となる対応点の判定を行う。対応点の画像座標の組を対応点情報として領域対応付け部 3 0 4 0 へ出力する。

【 0 0 4 4 】

領域対応付け部 3 0 4 0 は、第 1 の対応点判定部 3 0 3 0 から対応点情報を入力する。対応点が存在する平滑化された輪郭線と、その輪郭線が境界となる抽出領域のラベルとを対応付け、抽出領域のラベルを平滑化された輪郭線の対応情報として第 2 の対応点判定部 3 0 5 0 へ出力する。

30

【 0 0 4 5 】

第 2 の対応点判定部 3 0 5 0 は、領域対応付け部 3 0 4 0 で判定された領域の対応付けから、第 1 の対応点判定部 3 0 3 0 で判定された対応点を通過した輪郭線が通過する他の交点も同様に対応点とする。新たな対応点情報を走査線分割部 3 0 6 0 へ出力する。

【 0 0 4 6 】

走査線分割部 3 0 6 0 は、第 2 の対応点判定部 3 0 5 0 から対応点情報を入力し、対応点に基づいて交点属性リストを分割する。具体的には、対応点の位置で走査線を分割した分割走査線を用意する。交点属性リスト内で、対応点の位置にあった属性以外の属性は、分割走査線の何れかの属性となる。分割した交点属性リストを第 3 の第 2 の一致度算出部 3 0 7 0 へ出力する。

40

【 0 0 4 7 】

第 2 の一致度算出部 3 0 7 0 は、第 1 の撮像装置 1 0 0 で撮像した画像における分割した交点属性リストと、第 2 の撮像装置 1 1 0 で撮像した画像における分割した交点属性リストの比較を行い、一致度 Q を算出する。算出した一致度 Q を第 3 の対応点判定部 3 0 8 0 へ出力する。

【 0 0 4 8 】

第 3 の対応点判定部 3 0 8 0 は、走査線分割部 3 0 6 0 から分割した交点属性リストを入力する。分割した交点属性リストの一致度 Q に基づいて、対応点を判定し、対応点情報を保持部 5 0 0 0 に出力する。

50

【 0 0 4 9 】

物体配置算出部 4 0 0 0 は、交点情報と対応点情報に基づいて、対象物体の 3 次元配置を算出する。ここでの 3 次元配置とは、3 次元の位置、姿勢、もしくは位置姿勢を示す。

【 0 0 5 0 】

図 1 6 は、物体配置算出部 4 0 0 0 のブロック図である。物体配置算出部 4 0 0 0 は、交点奥行き算出部 4 0 1 0、輪郭線奥行き補間部 4 0 2 0、3 次元配置生成部 4 0 3 0 から構成される。

【 0 0 5 1 】

交点奥行き算出部 4 0 1 0 は、保持部 5 0 0 0 から交点情報と対応点情報を入力し、2 つの画像において対応付けられた交点の撮像装置に対する奥行きを算出する。算出した交点の奥行き値は、撮像装置 1 0 0、撮像装置 1 1 0 の夫々の画像における交点情報にそれぞれ対応付ける。検出した対応点情報と奥行き値を輪郭線奥行き補間部 4 0 2 0 に出力する。

10

【 0 0 5 2 】

輪郭線奥行き補間部 4 0 2 0 は、輪郭線上に算出された複数の交点の奥行き値から線形補間することにより輪郭線のピクセル全体に奥行き値を設定する。奥行き値付きの輪郭線情報は、3 次元配置生成部 4 0 3 0 に出力する。

【 0 0 5 3 】

3 次元配置生成部 4 0 3 0 は、保持部 5 0 0 0 の輪郭線分割情報を入力し、分割点の画像座標と、分割点における輪郭線の奥行き値とから、対象物体の 3 次元配置情報を生成する。

20

【 0 0 5 4 】

従来は、3 次元配置生成部 4 0 3 0 において、対象物体の形状の特徴を残した頂点情報を算出する必要がある。しかし、輪郭線分割部 2 0 4 0 において、平滑化処理のために、あらかじめ生成した分割点を流用することにより、頂点情報算出処理の時間を省略することができる。

【 0 0 5 5 】

(基準点検出フロー)

次に、基準点検出部 2 0 0 0 の処理の詳細について述べる。図 4 に、基準点検出部 2 0 0 0 の処理の流れを示す。

30

【 0 0 5 6 】

ステップ S 2 0 1 1 では、予め登録しておいた、被写体となる物体色情報を入力する。

【 0 0 5 7 】

ステップ S 2 0 1 2 では、撮像装置 1 0 0、及び撮像装置 1 1 0 によって撮像した画像の各画素の色と、物体色情報が示す色とを比較する。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 2 0 1 3 では、画像の各画素について色情報と被写体の色情報とを比較し、入力した物体色情報に含まれるならば 1、それ以外なら 0 とする。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 2 0 1 4 では、色情報の比較結果に基づいて 2 値画像を生成する。ここでは、入力した物体色情報に含まれるならば白、それ以外の領域を黒とする。

40

【 0 0 6 0 】

ステップ S 2 0 1 5 では、2 値画像のラベリングを行う。

【 0 0 6 1 】

ステップ S 2 0 1 6 では、ラベリング後の画像から、設定した閾値よりも面積の小さい領域をノイズとして除去する。すなわち、ノイズと見なした領域内の 0 と 1 とを (白と黒とを) 反転させる。

【 0 0 6 2 】

上記の方法では、物体領域を検出するために色情報によって領域抽出している。そのため、影になる部分や、同系色の領域がある場合には、ステップ S 2 0 1 6 で行うノイズ処

50

理では、誤検出やノイズを完全に排除することができない。図5は、そのようなノイズを含んだ領域抽出結果の2値画像を示す。

【0063】

領域抽出で用いられる色情報は、多次元色空間における座標値として記述できる。例えば、RGB、YIQ、YCbCr、YUV、HSV、Luv、Labなど様々な種類がある。対象とする被写体の色彩特性に合わせて適当なものを任意に用いてよい。また、領域を分割する方法は上記に限るものではなく、色情報を用いる何れの方法で行ってもよい。

【0064】

ステップS2017では、輪郭線分割部2040、および平滑化部2050が抽出された領域の輪郭線を平滑化する。平滑化の処理の詳細は後述する。

10

【0065】

ステップS2018では、交点検出部2060が、平滑化された輪郭線と走査線との交点を検出し、画像座標を求める。図6に抽出領域の2値画像に走査線300を重ねて表示した図を示す。本実施形態では、走査線300に前述したエッジ線 E_n を用いるため、撮像装置100で検出された対象物体の画像座標は、撮像装置110で撮像された画像の走査線上で検出されるという性質を持つ。一方で、撮像装置110で検出された対象物体の画像座標は、撮像装置100で撮像された画像の走査線上で検出される。

【0066】

走査線300と平滑化された輪郭線が交わる点を交点情報として保持部5000に保存する。ここで保存された交点情報は、対応点検出部3000の処理によって撮像装置100の画像の交点と撮像装置110の画像における交点に対応付けられる。

20

【0067】

さらに、交点検出部2060は、交点の画像座標における輪郭線の次のピクセルへの方角を参照し、抽出領域が交点において、右側か左側か（走査線の始点側か終点側か）を判断して属性に保存する。この属性は交点座標と対応付けられて交点情報の一要素として記録される。

【0068】

ステップS2019では、交点情報保持手段2040が交点情報と抽出領域の輪郭線情報を対応点検出部3000へ出力する。

【0069】

（輪郭線の分割処理の詳細フロー）

ここで、ステップS2017における輪郭線を分割することで、平滑化を行う処理の詳細を図13に示すフローチャートと図20、図21に示す模式図を用いて説明する。

30

【0070】

ステップS1301では、端点設定を行う。具体的には、輪郭線分割部2040が、輪郭線上にある画素群の画像座標の連結リストを参照し、リストの始点1801A（第1の点）と終点1801B（第2の点）との2つの端点を設定する。そして、中点設定を行う。具体的には、2つの端点の間となる中点C1802（第3の点）を決定する（図20参照）。例えば、輪郭線の連結リストが200ピクセルで構成されている場合は、100ピクセル目の画像座標を中点C1802と設定する。

40

【0071】

ステップS1302では、輪郭線分割部2040が、始点1801A、終点1801B、分割した中点C1802の画像座標を保持部5000の輪郭線の分割点情報として記録する。なお、重複する分割点が存在する場合には記録しない。

【0072】

ステップS1303では、輪郭線分割部2040が、始点1801Aと中点C1802との直線距離L1803と、始点1801Aと中点C1802の2点を通過する輪郭線1804（例えば、元の輪郭線の左半分）の画像座標系における長さNを算出する。画像座標系におけるピクセルに相当する長さNは、上下左右に隣接するピクセル間の長さを1とし、8連結リストで斜め方向に配置された長さはルート2として算出する。ただし、本実

50

施形態では、前述の輪郭線分割方法に限定されるものではなく、輪郭線の特徴的な形状を保ちながら平滑化できる算出方法であれば対応可能である。

【0073】

ステップS1304では、輪郭線分割部2040が、ステップS1303で算出した輪郭線の長さNが予め設定された所定値以上であるかどうか判定する。本実施形態においては、例えば4ピクセルを設定する。輪郭線の長さNが4ピクセル以上であれば、ステップS1305に移行し、4ピクセル未満の場合は、ステップS1307に処理を移す。4ピクセル未満のときに分割を終了して次の輪郭線に処理を移すのは、輪郭線を細かくした線分群を生成しても平滑化の効果が期待できないためである。

【0074】

ステップS1305では、輪郭線分割部2040が、Nの二乗とLの二乗との差を算出し、予め設定された所定値以上であるかどうかを判定する。本実施形態においては、例えば50を設定する。本実施形態では、直線の判定にNとLを用いた式を用いることに限定されるものではなく、輪郭線の特徴的な形状を残して平滑化できる輪郭線分割方法であれば適用可能である。

【0075】

所定値を超える場合は、まだ直線に近似できないと判断してステップS1306に処理を移す。例えば、図20において、始点1801Aと中点C1802における直線距離Lと輪郭線の区間1804の長さNを算出する。この事例では、所定値を超えるため、ステップS1306に処理を移す。

【0076】

始点Aを変えずに分割点である中点Cを終点Bに置き換えるため、始点Aから始まる線分が直線に近似できるまで輪郭線を細分化する。所定値を下回るまで再帰的に輪郭線が分割された場合は、次の輪郭線の区間に処理を移すため、ステップS1307に移行する。

【0077】

ステップS1306では、中点C1802を終点1801Bに置き換えて、ステップS1301に処理を移す。すなわち、処理する点を入れ替えて再帰的に処理を実行する。次の処理では、図21(A)の中点1821を分割点とする。

【0078】

ステップS1307では、輪郭線分割部2040が現在設定されている始点1801Aと終点1801Bの間の輪郭線が直線に近似されたと判定し、始点1801Aと終点1801Bの画像座標を保持部5000の輪郭線の分割点情報として記録する。さらに、輪郭線分割部2040が、保持部5000を参照し、現在処理している輪郭線のうち、処理が完了していない輪郭線の区間がないかどうかを判定する。すべての輪郭線の区間が処理されており、輪郭線の分割点情報に分割点が記録されている場合は処理を終了する。輪郭線の区間のなかで輪郭線が直線に近似できていない場合は、ステップS1308に処理を移す。

【0079】

ステップS1308では、輪郭線分割部2040が、現在選択されている輪郭線の区間以外で分割処理が完了していない輪郭線の区間を選択し、現状の始点Aと終点Bを選択した輪郭線の区間の始点と終点に置き換える。

【0080】

ステップS1306では、始点を変えずに再帰的に分割処理を実行した。一方でステップS1308では、始点と終点をまだ処理が完了していない区間に移して処理を継続し、輪郭線の全区間において、分割処理ができるようにする。

【0081】

このように、設定された点群のうち輪郭線上で隣り合う点を互いに結ぶ線分群を生成することで、平滑化輪郭線を生成した。すなわち、輪郭線上の2点の距離が、所定値未満になるまで、繰り返し分割し、所定値未満の長さの真っ直ぐの線分群に置き換えを行う。

【0082】

10

20

30

40

50

ここで本実施形態において、撮像部 100 から図 20 の映像が出力された時の事例を示す。輪郭線を分割する処理を初めて、ステップ S 1305 の判定が所定値を超えなくなるまで輪郭線を細分化したときの分割点の配置例を図 21 の (A) から (D) の模式図に示している。図のように、始点 1801A を始点とする輪郭線を再帰的に求めている。このように平滑化処理を進めると、最終的に図 14 のような結果となる。

【0083】

(ノイズ軽減)

次に、この処理により、カメラノイズや照明ノイズ等のノイズを軽減する効果を説明する。図 17 はノイズがない状態における撮像部 100 と撮像部 110 の画像において、対象物体の輪郭線付近を抜き出した図を示している。図 18 はカメラノイズや照明ノイズ等で交点と対応点との距離が変化する現象を示す模式図である。図 19 は、平滑化をすることでノイズの影響を軽減する効果があることを説明する模式図である。

10

【0084】

図 17 (A) は左に配置された撮像部 100 の画像、図 17 (B) は右に配置された撮像部 110 の画像を示す。図 17 の点線で表示されている線 1702L と 1702R が対象物体 150 の理想の輪郭線を示している。図 17 では、ステップ S 2013 で領域抽出部 2010 が抽出した領域に模様を付けて示した。すなわち、模様が付いているピクセルが 1、ついていないピクセルが 0 を表わしている。さらに、ステップ S 2015 でラベリングにより輪郭線を求めた結果を輪郭線 1703L と 1703R に示している。

【0085】

この状態で、ステップ S 2018 により走査線と抽出領域 (輪郭線) との交点を求めた結果が図 17 の太枠で表示した交点 1701L と 1701R とする。さらに、図 17 (A) の交点 1701L を図 17 (B) の画像の同じ位置に投影した点を対応点 1705 として提示している。すなわち、ノイズのない理想的な状態では、交点 1701R と対応点 1705 (交点 1701L) は 2 ピクセル分の距離があることを示している。対象物体と撮像部が静止していれば、理想的にはこの 2 ピクセルの距離から変化しない。

20

【0086】

しかし、実際には、カメラノイズや照明ノイズ等でこの距離が変化してしまう。すなわち、対象物体の理想的な輪郭線に対して、図 18 (B) のように、正常に領域を検出できず、輪郭線の形状が理想とは大幅に異なっている。このときに抽出領域の輪郭線と走査線との交点は理想的な状態からずれが生じる。その結果、交点 1701R と対応点 1705 (交点 1701L) の距離が 3 ピクセルとして出力される。すなわち、距離が変化したため、理想的な奥行き値に対して誤差が生じてしまう。さらに図 18 (A) と図 18 (B) の次のフレームにおける処理結果を示しているのが図 18 (C) と図 18 (D) である。次のフレームもノイズの影響により、領域が正しく抽出されず、さらに前のフレームとも形状が異なっている。図 18 (D) においては、交点 1701R と対応点 1705 の距離は 1 となる。すなわち、(A)、(B) と (C)、(D) の 2 フレーム間で距離が大幅に異なる結果となるため、奥行き値に関しても安定しない。

30

【0087】

一方で、本実施形態で示す平滑化を図 18 (A) ~ (D) に適用した図が図 19 (A) ~ (D) である。ノイズにより対象物体の理想的な輪郭線に対して、算出された輪郭線が異なっていることは変らない。しかし、平滑化によって、図 19 (A)、(B) と図 19 (C)、(D) の交点 1701R と対応点 1705 との距離は両フレームとも 2 であり、安定化の効果があることがわかる。

40

【0088】

(対応付け処理フロー)

次に、対応点検出部 3000 の処理の詳細について述べる。図 7 に、対応点検出部 3000 の処理の流れを示す。

【0089】

ステップ S 3011 では、属性判定部 3010 が、保持部 5000 から、交点情報と輪

50

郭線情報を入力する。

【0090】

ステップS3013では、属性判定部3010が、交点情報と輪郭線情報から、走査線上における交点近傍の属性をリスト化する。図9には、交点近傍の属性を抽出領域に表示した図を示す。ここで、図9において、 \oplus は正の符号を表し、 \ominus は負の符号を表す。

【0091】

ステップS3014では、第1の一致度算出部3020が、撮像装置100及び撮像装置110で撮像した夫々の画像での属性リストの一致度Pを算出する。属性リストの属性を左側から順にスキャンし、属性の総数をそれぞれ S_{100} 、 S_{110} とし、一致した属性の総数をCとすると、一致度Pは、次のように求める。

【0092】

$$P = C / S_{110} \quad (S_{100} \leq S_{110} \text{ のとき})$$

$$P = C / S_{100} \quad (S_{110} < S_{100})$$

一致度の算出方法は、求めた属性に基づいて算出するものであれば、これに限るものではない。

【0093】

図10は、抽出領域の輪郭線と走査線の交点を示した図から、走査線Jを取り出した模式図である。

【0094】

ステップS3015では、第1の判定部3030が、一致度Pを読み出し、閾値T以上の一致度であれば、画像間で対応関係にある対応点であると判定する。例えば、図10における走査線J以外（例えば走査線Jの2、3本、上方にある走査線）での属性リストが一致した場合、その交点是对応点であると判定できる。

【0095】

ステップS3016では、領域対応判定部3040が、対応点であると判定された交点を通過する輪郭線を輪郭とする抽出領域のラベルを、撮像装置100及び撮像装置110で撮像した夫々の画像で対応付ける。

【0096】

ステップS3017では、第2の対応点判定部3050が、ステップS3016で対応付けられた領域の輪郭線と走査線との交点で、かつまだ対応点と判定されていない交点を対応点として判定する。すなわち、S3015で対応が取れた交点を通過する輪郭線上の他の交点も、同様に対応がとれているものとみなし、対応点として判定する。例えば、図10のC1、C2、及びC1'、C2'は、対応付けできると判定された対応点である。これは、S3015で得た対応点を通過する、S3016で対応すると判定された領域の輪郭線上に存在するため、対応点として判定することができる。

【0097】

ステップS3018では、走査線分割部3060が、走査線上の交点近傍の属性をリスト化した交点属性リストを、ステップS3017で対応付けた対応点の位置で分割する。例えば、図10における、走査線J上の交点近傍の属性をリスト化した交点属性リストを、対応点C1及びC2の位置で分割する。これにより撮像装置100で撮像した画像においてJ1、J2、J3、撮像装置100で撮像した画像においてJ1'、J2'、J3'のように夫々3つの分割走査線に分割できる。

【0098】

さらにステップS3018では、走査線分割部3060が、ステップS3017で、分割走査線ごとに、分割した交点属性リストの夫々の一致度を算出する。例えば、図10におけるJ1とJ1'、J2とJ2'、J3とJ3'、の一致度を、第1の一致度算出部3020と同様の処理を行うことで算出する。

【0099】

ステップS3019では、第3の対応点判定部3080が、ステップS3018で算出した一致度に基づいて、まだ対応点であると判定されていない交点を新たな対応点として

10

20

30

40

50

判定する。図 1 1 は、走査線上で対応点を求める方法を説明するための模式図である。図 1 1 では、J 1 と J 1 ' の部分の交点が一致するため、対応点として判定する。

【 0 1 0 0 】

ステップ S 3 0 1 0 では、第 3 の対応点判定部 3 0 8 0 が、撮像装置 1 0 0 で撮像された画像における対応点 C n (n = 1 , 2 , , , N) と、撮像装置 1 1 0 で撮像された画像における対応点 C ' n (n = 1 , 2 , , , N) との画像座標の組を対応点情報とする。対応点情報は、保持部 5 0 0 0 へ出力する。ここで N は、対応点の組の総数である。

【 0 1 0 1 】

(3 次元配置算出フロー)

次に、物体配置算出部 4 0 0 0 の処理の詳細について説明する。図 1 2 は、対象物体の 3 次元配置を算出するフローを示す図である。

10

【 0 1 0 2 】

ステップ S 4 0 1 0 では、交点奥行き算出部 4 0 1 0 が、保持部 5 0 0 0 から対応点情報を取得して 3 次元配置を計測する。本実施形態では、エピポーラ線を利用して 3 次元配置を算出する。

【 0 1 0 3 】

エピポーラ線は、エピポーラ方程式より求めることができる。

【 0 1 0 4 】

エピポーラ方程式について説明する。撮像装置の位置を 3 × 1 ベクトル T = (T x , T y , T z)、回転を 3 × 3 行列 R で表す。いま行列 E を次式のように置く。

20

【 0 1 0 5 】

【数 1】

$$E = [T]_x R \quad \dots \text{式1}$$

【 0 1 0 6 】

ここで、[T] x は、次式のように表す。

【 0 1 0 7 】

【数 2】

$$[T]_x = \begin{bmatrix} 0 & -T_z & T_y \\ T_z & 0 & T_x \\ -T_y & T_x & 0 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式2}$$

30

【 0 1 0 8 】

2 台の撮像装置で撮像した画像上の対応点を同次座標でそれぞれ x = [x , y , 1] T、x ' = [x ' , y ' , 1] T と表すと、エピポーラ方程式は、次式のように表せる。

【 0 1 0 9 】

【数 3】

$$x'^T E x = 0 \quad \dots \text{式3}$$

40

【 0 1 1 0 】

したがって、2 つの画像上で対応する点 x と x ' の関係を表す式となり、エピポーラ線を求めることができる。

【 0 1 1 1 】

このようにエピポーラ線は、2 台の撮像装置間の相対位置姿勢から求めることが可能である。また、2 台の撮像装置間の相対位置姿勢は、カメラキャリブレーションの技術により求めることができる。カメラキャリブレーションについての詳細な説明は省略する。

【 0 1 1 2 】

次に、光軸の方向と視点の高さをそろえていない 2 台の撮像装置を用いた 3 次元配置算

50

出方法について述べる。

【 0 1 1 3 】

焦点距離や主点位置などの内部パラメータは既知であり、また撮像装置の相対位置姿勢の外部パラメータも既知であるとする。撮像装置の内部パラメータと外部パラメータを合成した行列 P を次式のように表すことができる。

【 0 1 1 4 】

【数 4】

$$P = \begin{bmatrix} p11 & p12 & p13 & p14 \\ p21 & p22 & p23 & p24 \\ p31 & p32 & p33 & p34 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 4} \quad 10$$

【 0 1 1 5 】

撮像装置 1 0 0 で撮像された画像から検出された対応点の座標を $C_n = [u_n, v_n]$ とする。求める 3 次元空間の点の位置を $X = [X_n, Y_n, Z_n]$ と表すと、次式のように表せる。

【 0 1 1 6 】

【数 5】

$$\lambda \begin{bmatrix} u_n \\ v_n \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p11 & p12 & p13 & p14 \\ p21 & p22 & p23 & p24 \\ p31 & p32 & p33 & p34 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 5} \quad 20$$

【 0 1 1 7 】

は、式 5 の第 3 行目より決まる実数である。式 3 を展開して X、Y、Z に関してまとめると、次式のように表せる。

【 0 1 1 8 】

【数 6】

$$\begin{bmatrix} p31u_n - p11 & p32u_n - p12 & p33u_n - p13 \\ p31v_n - p21 & p32v_n - p22 & p33v_n - p23 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p14 - p34u_n \\ p24 - p34v_n \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 6} \quad 30$$

【 0 1 1 9 】

本実施形態では、撮像装置の内部パラメータと外部パラメータは、既知であるので P は既知のパラメータである。ひとつの撮像装置で撮像した画像から 2 つの拘束式が得られる。撮像装置 1 1 0 の撮像装置のパラメータを P' とし、撮像された画像から検出された対応点の座標を $C'_n = [u'_n, v'_n]$ とすると、次のように 4 つの拘束式が得られる。

40

【 0 1 2 0 】

【数 7】

$$\begin{bmatrix} p31u_n - p11 & p32u_n - p12 & p33u_n - p13 \\ p31v_n - p21 & p32v_n - p22 & p33v_n - p23 \\ p'31u'_n - p'11 & p'32u'_n - p'12 & p'33u'_n - p'13 \\ p'31v'_n - p'21 & p'32v'_n - p'12 & p'33v'_n - p'13 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p14 - p34u_n \\ p24 - p34v_n \\ p'14 - p'34u'_n \\ p'24 - p'34v'_n \end{bmatrix} \quad \dots \text{式 7}$$

【 0 1 2 1 】

式 5 は、未知数 3 に対して 4 つの拘束式が得られる。式 5 を次式のようにおくと、

【 0 1 2 2 】

50

【数 8】

$$\mathbf{M}_n \mathbf{X}_n = \mathbf{b}_n \quad \dots \text{式 8}$$

【0123】

Xの最小二乗解は、次式のように求めることができる。

【0124】

【数 9】

$$\mathbf{X}_n = \left(\mathbf{M}_n^T \mathbf{M}_n \right)^{-1} \mathbf{M}_n^T \mathbf{b}_n \quad \dots \text{式 9}$$

10

【0125】

これを、すべての対応点に対して計算することで、物体配置算出部 4000 は、物体領域の輪郭線上の点である対応点の 3次元座標を計測することができる。交点奥行き算出部 4010 は、撮像装置 100 を基準にして求めた物体領域の 3次元座標の Z 座標（奥行き値）を輪郭線上の奥行き補間部 4020 に出力する。

【0126】

ステップ S4020 では、輪郭線上の奥行き補間部 4020 が、ステップ S4010 で得た奥行き値を保持部 5000 の輪郭線情報の画像座標と対応点情報とに基づいて、輪郭線に沿って線形補間する。

【0127】

ステップ S4030 では、線形補間された輪郭線から、仮想物体のポリゴンを作成する。

20

【0128】

ステップ S4040 では、撮像装置 100 および撮像装置 110 で撮像された各画像に、作成されたポリゴンを仮想画像として重畳描画し、重畳された画像を不図示の表示装置へと出力する。

【0129】

（MR 技術への適用）

本実施形態に係る情報処理装置を、MR における撮像装置を備えるヘッドマウンテッドディスプレイやハンドヘルドディスプレイに適用すれば、現実物体と仮想物体との 3次元配置情報を比較し、画像や仮想物体を手前に描画することができる。

30

【0130】

ここで、ヘッドマウンテッドディスプレイとは、頭部に装着するディスプレイのことであり、また、ハンドヘルドディスプレイとは、手持ちのディスプレイである。これらは、複合現実感システムを構築する際に一般的によく利用される。なお、ヘッドマウンテッドディスプレイやハンドヘルドディスプレイに撮像装置を装着する場合には、ディスプレイの光軸と、撮像装置の光軸を一致させることが望ましい。

【0131】

このようにヘッドマウントディスプレイ等の表示装置と組み合わせて手などの物体領域の奥行きを計測することで、現実物体と仮想物体の前後関係を正しく表現することができ、正しく知覚することができる。

40

【0132】

また、手などの現実物体の 3次元配置情報を取得できることにより、現実物体と 3Dモデルとの干渉判定が実施可能となる。すなわち、製品設計において、試作品ができる前に工具等の現実物体と 3DCADモデルの干渉判定の検証ができるようになり、試作コストを低減できる可能性がある。また、サイバークロップのような入力装置なしで 3Dモデルに直接手で触れて操作することができるようになる。

【0133】

上記で説明したように、本実施形態に係る情報処理装置は、画像から検出した物体領域にノイズが含まれる場合であっても、MR 技術における幾何的整合性を向上させ、比較的安

50

定して現実物体の3次元配置を計測することができる。また、安定化のための領域抽出処理の中間情報を、干渉判定を行うための3次元ポリゴンの基本情報として流用できるように設計されているため、より高速に処理可能となり、遅延を軽減することができる。

【0134】

さらに、計測した現実物体の3次元配置情報と仮想物体の3次元配置情報を比較して、画像または仮想物体を手前に描画することができる。すなわち、現実物体と仮想物体の前後関係を正しく表現することができ、MR技術おける幾何的整合性を向上させ、違和感の少ないMR体験をユーザーに提供することができる。

【0135】

〔変形例1〕

本実施形態では、2台の撮像装置で3次元配置を計測したが、本実施形態では2台の撮像装置を利用することに限定されるものではなく、3台以上の撮像装置を組み合わせ利用してもよい。

【0136】

例えば、3台の撮像装置を利用して3次元配置を算出する場合は、第1の実施形態における構成に撮像装置120を追加する。撮像装置120からの画像は基準点検出部2000の保持部5000に格納される。

【0137】

本実施形態における処理は、第1の実施形態における夫々の処理において、撮像装置120の映像も追加で処理すればよい。ただし、対応点検出部3000の処理では、まず撮像装置100と撮像装置110の関連情報を入力して処理し、次に撮像装置100と撮像装置120の関連情報を入力して2組の対応点を生成する。さらに3次元配置を算出するステップS4010では、

- ・撮像装置100と撮像装置110の対応点情報で求めた3次元配置と、
 - ・撮像装置100と撮像装置120の対応点情報で求めた3次元配置
- とを、平均して3次元配置を算出すればよい。

【0138】

なお4台以上であっても同様に、ペアとなる撮像装置の計算結果を組み合わせ処理すれば実現可能である。

【0139】

〔変形例2〕

本実施形態では、現実物体150の手の色情報のみを抽出して3次元配置を求めた。しかし、本実施形態では、1つの現実物体の色情報のみを扱うことに限定されるものではなく、複数の異なる色の現実物体を検出して3次元配置を求めてもよい。

【0140】

複数の異なる色の現実物体の3次元配置を検出する場合、基準点検出部2000で1つの現実物体の色を抽出し、対応点検出部3000と物体配置算出部4000とで3次元配置を求め、次の現実物体の色を抽出して夫々の処理を順次に実行すればよい。

【0141】

〔その他の実施形態〕

図15は、本実施形態における撮像装置の位置及び姿勢計測装置200のハードウェア構成例を示すブロック図である。図15に示したハードウェア構成は通常のパーソナルコンピュータの構成と同等である。さらに画像取り込み器502、カメラ503が接続されている。画像取り込み器502は撮像装置100及び110で撮像された画像をコンピュータ内に取り込むものであり、画像入力部1000に対応する。画像取り込み器502は例えばビデオキャプチャボードである。カメラで撮像した画像をコンピュータ内に取り込むものであれば何でもよい。CPU501は、記憶媒体503またはROM504またはRAM505、不図示の外部記憶装置等に保存されているプログラムを実行する。それにより、基準点検出部2000、対応付け部処理部3000、物体配置算出部4000として機能する。また夫々の処理部は、記憶媒体503に情報を保存、もしくは情報の読み出

10

20

30

40

50

しを行う。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラムコードを記憶した記憶媒体は前述した実施形態を構成することになる。

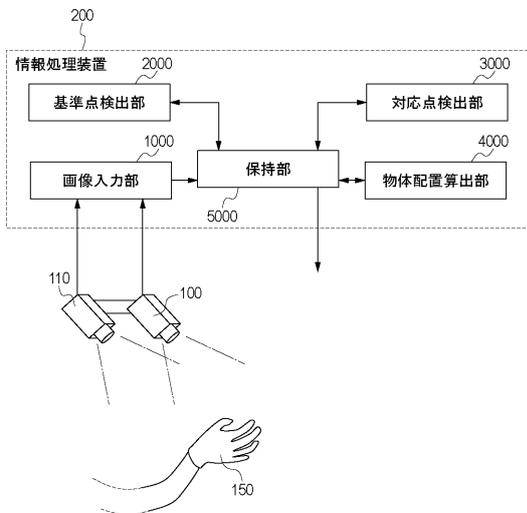
【0142】

また、そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼働しているオペレーティングシステム（OS）などが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。

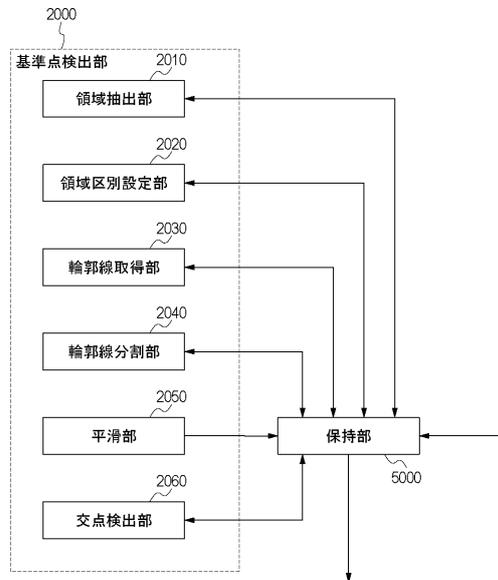
【0143】

さらに、記憶媒体503から読み出されたプログラムコードが、コンピュータに挿入された機能拡張カードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書込まれる。その後、そのプログラムコードの指示に基づき、その機能拡張カードや機能拡張ユニットに備わるCPU501などが実際の処理の一部または全部を行い、その処理によって前述した実施形態の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。

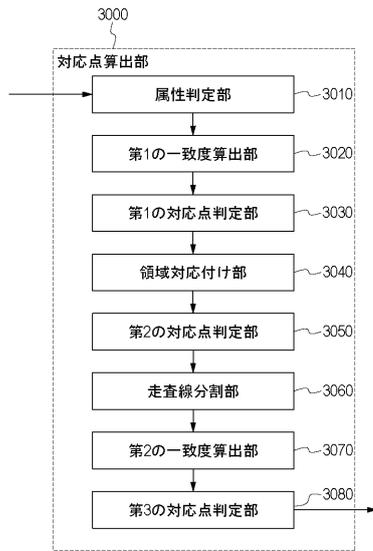
【図1】



【図2】



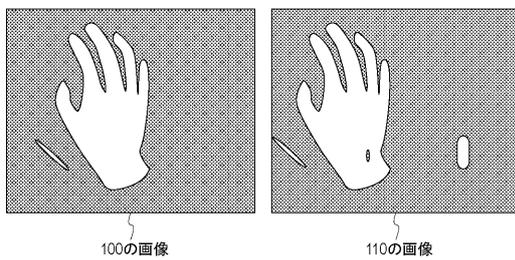
【図3】



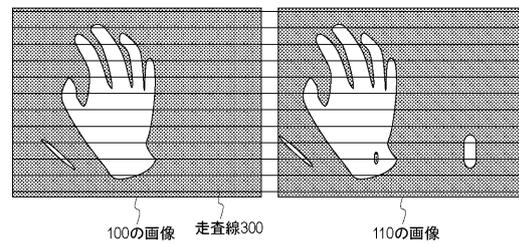
【図4】



【図5】



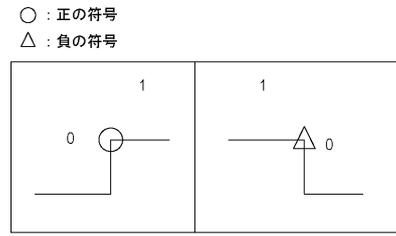
【図6】



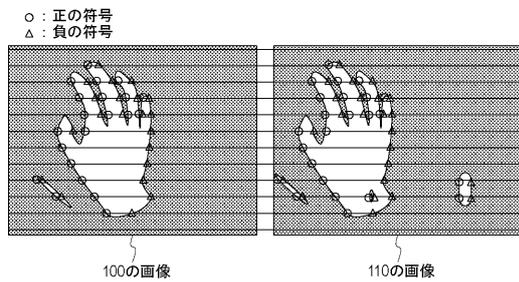
【図7】



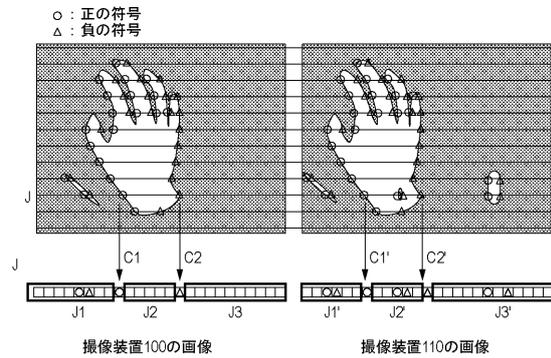
【図8】



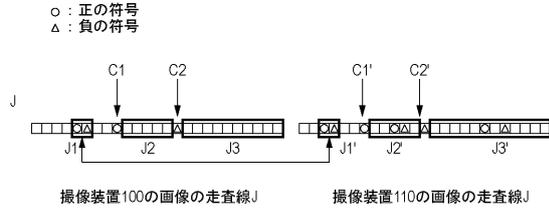
【図9】



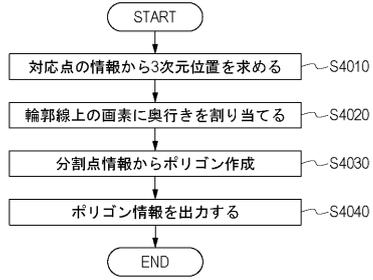
【図10】



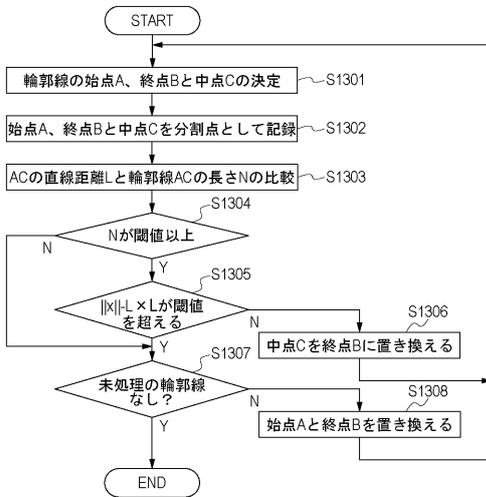
【図 1 1】



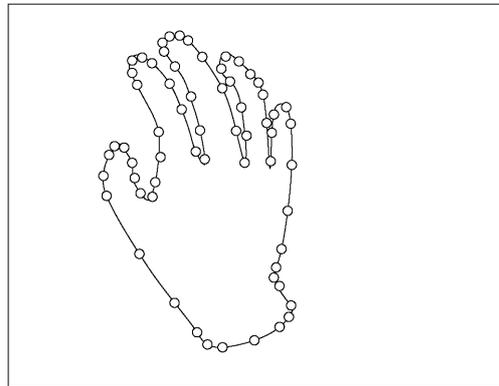
【図 1 2】



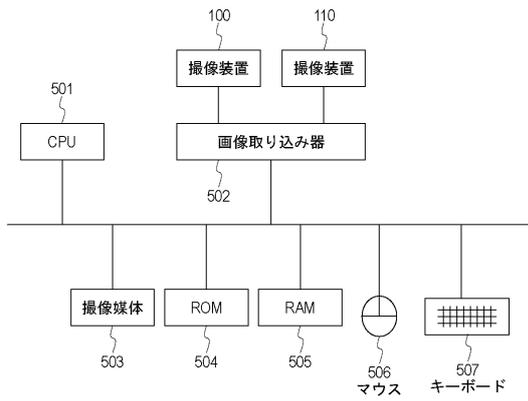
【図 1 3】



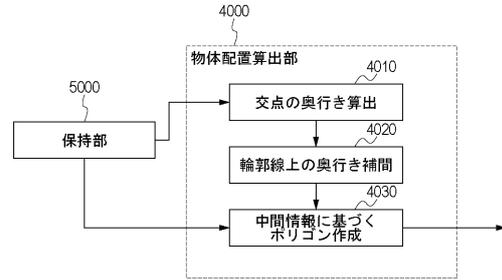
【図 1 4】



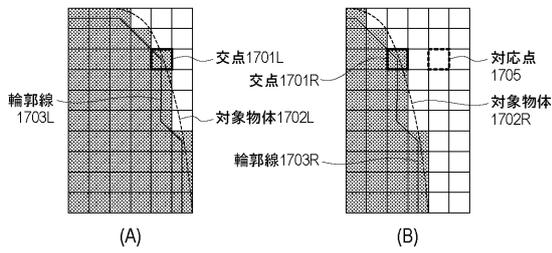
【図15】



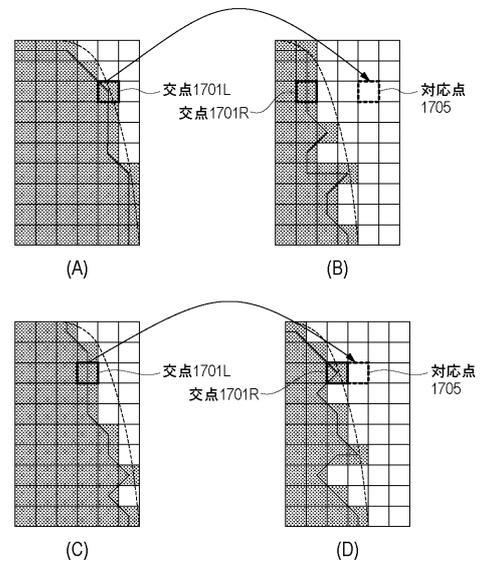
【図16】



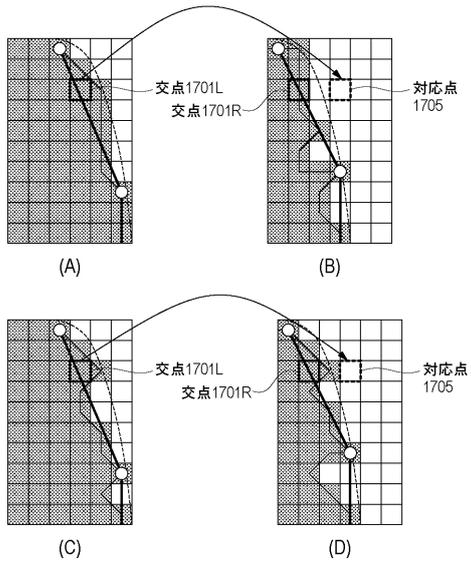
【図17】



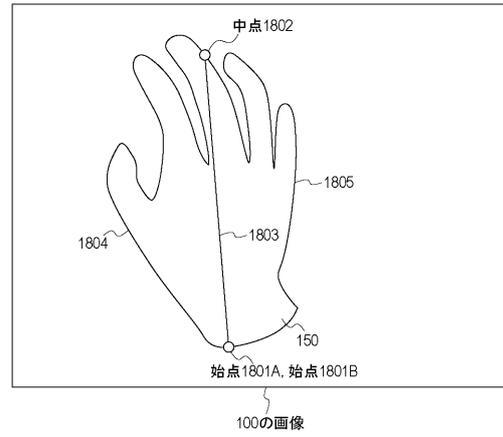
【図18】



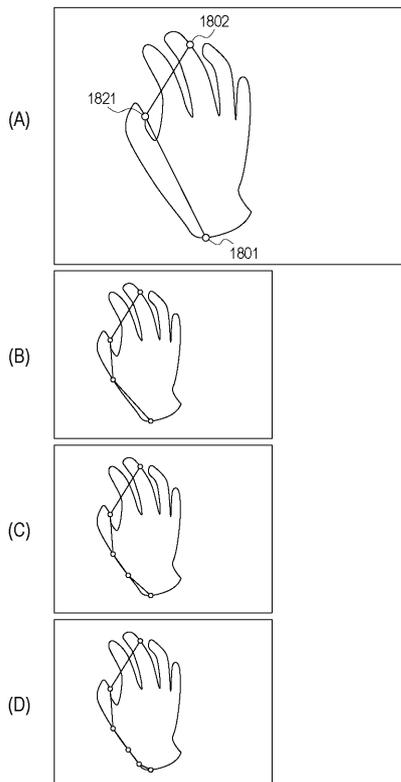
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 097342 (JP, A)
特開2003 - 141510 (JP, A)
特開2003 - 346162 (JP, A)
特開2009 - 076060 (JP, A)
特開2005 - 346469 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 1/00

G06T 19/00