

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-31601
(P2015-31601A)

(43) 公開日 平成27年2月16日(2015.2.16)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 H 2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-161278 (P2013-161278) (22) 出願日 平成25年8月2日(2013.8.2)</p> <p>特許法第30条第2項適用申請有り ヒューマノイドロボットの鏡を用いた自己姿勢補正 平成24年度電気通信大学情報システム研究科情報メディアシステム学専攻修士論文発表会において発表 平成25年2月5日発表</p>	<p>(71) 出願人 504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1</p> <p>(72) 発明者 林 直宏 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p>(72) 発明者 工藤 俊亮 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p>(72) 発明者 末廣 尚士 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p>(72) 発明者 富沢 哲雄 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

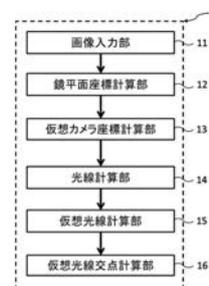
(54) 【発明の名称】 3次元計測装置及び方法並びにプログラム

(57) 【要約】

【課題】計測誤差を増大させず、且つ、1台のカメラで撮像した入力画像を用いて物体等の3次元位置計測を行う。

【解決手段】入力画像からの計測物体の3次元位置計測において、カメラと計測物体の相対位置関係を変えず、鏡とカメラの位置関係を変えて、カメラで鏡越しに撮像した複数の画像を入力画像として取得し、入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて鏡平面座標を計算し、鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を計算して、入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を計算し、仮想カメラ座標原点を始点とし光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として計算して、複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として算出する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力画像から計測物体の位置を計測する装置であって、
 前記入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、前記計測物体と、前記カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、
 前記カメラと前記計測物体の相対位置関係を固定し、鏡とカメラの位置関係を可変可能として撮像された複数の画像が前記入力画像として入力され、
 前記入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて算出された鏡空間中の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、
 鏡映変換によって、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、前記線分と平行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、前記鏡平面座標原点を通り前記座標軸に垂直な平面を鏡平面として計算し、前記座標軸と前記鏡平面に任意に設定した2つの座標軸によって表される鏡平面座標を算出する鏡平面座標計算手段と、
 前記鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を算出する仮想カメラ座標計算手段と、
 入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を算出する光線計算手段と、
 前記仮想カメラ座標原点を始点とし、前記鏡平面を中心に前記光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として算出する仮想光線計算手段を備え、
 複数の入力画像各々に基づいて算出された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として算出する仮想光線交点計算手段と
 を備えたことを特徴とする3次元計測装置。

10

20

【請求項 2】

前記仮想光線の交点は、光線同士が交わらない場合、2光線の方向ベクトルからなる法線を計算し、前記法線と平行な2光線を結ぶ線分を計算し、前記線分の中点を交点とすることを特徴とする請求項1記載の3次元計測装置。

【請求項 3】

前記仮想光線が2本線以上ある場合は、各2光線の組み合わせの複数交点の重心位置を計測物体の位置として計算することを特徴とする請求項1及び2に記載の3次元計測装置。

30

【請求項 4】

入力画像から計測物体の位置を計測する方法であって、
 前記入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、前記計測物体と、前記カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、
 前記カメラと前記計測物体の相対位置関係を固定し、鏡とカメラの位置関係を可変可能として撮像された複数の画像が前記入力画像として入力され、
 前記入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて算出された鏡空間中の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、
 鏡映変換により、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、前記線分と平行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、前記鏡平面座標原点を通り前記座標軸に垂直な平面を鏡平面として算出し、前記座標軸と前記鏡平面に任意に設定した2つの座標軸によって表される鏡平面座標を算出するステップと、
 前記鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を算出するステップと、
 入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を算出するステップと、
 前記仮想カメラ座標原点を始点とし、前記鏡平面を中心に前記光線を鏡映変換したベクトル

40

50

ルを仮想光線として算出するステップを備え、
複数の入力画像各々に基づいて計算された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として算出するステップと、を含むことを特徴とする3次元計測方法。

【請求項5】

前記仮想光線の交点は、光線同士が交わらない場合、2光線の方向ベクトルからなる法線を計算し、前記法線と平行な2光線を結ぶ線分を計算し、前記線分の中点を交点とすることを特徴とする請求項4記載の3次元計測方法。

【請求項6】

前記仮想光線が2本線以上ある場合は、各2光線の組み合わせの複数交点の重心位置を計測物体の位置として計算することを特徴とする請求項4及び5に記載の3次元計測方法。

10

【請求項7】

コンピュータに、入力画像から計測物体の位置を計測させるプログラムであって、
前記入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、計測物体と、カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、
前記カメラと前記計測物体の相対位置関係を固定し、鏡とカメラの位置関係を可変可能として撮像された複数の画像が前記入力画像として入力され、
前記入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて計算された鏡空間中の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、

鏡映変換により、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、前記線分と平行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、前記鏡平面座標原点を通り前記座標軸に垂直な平面を鏡平面として算出し、前記座標軸と前記鏡平面に任意に設定した2つの座標軸により表される鏡平面座標を算出するステップと、

20

前記鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を算出するステップと、

入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を算出するステップと、

前記仮想カメラ座標原点を始点とし、前記鏡平面を中心に前記光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として算出するステップを備え、

30

複数の入力画像各々に基づいて算出された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として算出するステップと、

を前記コンピュータに実行させるものであることを特徴とする3次元計測プログラム。

【請求項8】

前記仮想光線の交点は、光線同士が交わらない場合、2光線の方向ベクトルからなる法線を計算し、前記法線と平行な2光線を結ぶ線分を計算し、前記線分の中点を交点とすることを特徴とする請求項7記載の3次元計測プログラム。

【請求項9】

前記仮想光線が2本線以上ある場合は、各2光線の組み合わせの複数交点の重心位置を計測物体の位置として計算することを特徴とする請求項7及び8に記載の3次元計測プログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像解析により物体等の3次元位置を計測する技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より3次元計測の方法として、ステレオ視を用いた方法が知られている。既存の技術として、特許文献1では、移動式ステレオカメラを用いて対象物の実像を撮影するだけでなく、対象物を映す鏡に映る虚像も撮影し、実像と虚像を利用して対象物の3次元形状

50

の測定を行う手法が開示されている。また、特許文献2では、電子カメラ、可動ミラー、2つのマーカを用意し、電子カメラの撮像面に対するマーカの投影点の位置を検出し、カメラの位置、マーカの位置、可動ミラーの姿勢、投影点の位置に基づいて、カメラの姿勢を算出しステレオ視のためのステレオカメラの転生を行う手法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2001-338278号公報

【特許文献2】特開2012-220356号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来技術のステレオ視による3次元計測手法では、カメラ間の関係を求めるために特徴パターンを用いた位置姿勢計測がキャリブレーションとして行われてきた。このカメラ間の姿勢値は、計測物体の3次元計測結果に大きく影響する。特に特徴パターンをカメラで正面付近から観測した時の姿勢誤差は大きくなり、計測結果に誤差を大きく生じさせるという問題がある。

【0005】

また、カメラを複数台設置する場合、計測環境を作るごとに、各カメラ間の位置姿勢関係を特徴パターンから計算する。このような事前の準備に手間が発生するという問題がある。

20

【0006】

従来の鏡を用いた物体3次元計測手法は、まず、鏡に特徴パターンを取り付け、カメラから鏡平面の特徴パターンを観測することにより鏡の平面位置を求める。この時、計測物体を鏡越しにカメラで撮影しながら、鏡の向きを変える。そして複数の鏡平面の位置と、その鏡に映る計測物体の位置からステレオ視により計測物体の位置を求める。

【0007】

この時、一般的なステレオ視の手法と同じく、鏡に貼られた特徴パターンによる鏡平面の姿勢計測は計測物体の計測結果に大きく影響する。特に特徴パターンをカメラで正面付近から観測した時の姿勢誤差は大きくなり、計測結果に誤差を大きく生じさせるという問題がある。

30

【0008】

また、鏡には反射が起きる鏡面部分の上に、ガラスやアクリルの保護層が存在する。保護層に貼られた特徴パターン平面は、実際の鏡面部分から保護層の厚み分の距離だけ離れている。そのため、鏡の平面位置計測にその厚み分の誤差が生じるという問題がある。

【0009】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、複数のカメラを用いることなく、物体の3次元位置を計測することを可能にし、従来のステレオ視の手法より計測精度を向上させ、計測環境の設置作業を簡易化することを可能にする装置及び方法並びにプログラムを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の3次元計測装置は、入力画像から計測物体の位置を計測する装置であって、前記入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、計測物体と、カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、また、カメラと計測物体の相対位置関係を固定し、鏡とカメラの位置関係を可変可能として撮像された複数の画像が前記入力画像として入力され、前記入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて計算された鏡空間中の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、鏡映変換によって、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、前記線分と平

50

行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、前記鏡平面座標原点を通り前記座標軸に垂直な平面を鏡平面として計算し、前記座標軸と前記鏡平面に任意に設定した2つの座標軸によって表される鏡平面座標を計算する鏡平面座標計算手段と、前記鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を計算する仮想カメラ座標計算手段と、入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を計算する光線計算手段と、前記仮想カメラ座標原点を始点とし、前記鏡平面を中心に前記光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として計算する仮想光線計算手段を備え、複数の入力画像各々に基づいて計算された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として計算する仮想光線交点計算手段と、を設けたことを特徴とする。

【0011】

本発明の3次元計測方法は、入力画像から計測物体の位置を計測する方法であって、前記入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、計測物体と、カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、また、カメラと計測物体の相対位置関係を固定し、鏡とカメラの位置関係を可変可能として撮像された複数の画像が前記入力画像として入力され、前記入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて計算された鏡空間中の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、鏡映変換によって、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、前記線分と平行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、前記鏡平面座標原点を通り前記座標軸に垂直な平面を鏡平面として計算し、前記座標軸と前記鏡平面に任意に設定した2つの座標軸によって表される鏡平面座標を計算するステップと、前記鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を計算するステップと、入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を計算するステップと、前記仮想カメラ座標原点を始点とし、前記鏡平面を中心に前記光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として計算するステップを備え、複数の入力画像各々に基づいて計算された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として計算するステップと、を含むことを特徴とする。

【0012】

本発明の3次元計測プログラムは、コンピュータに、入力画像から計測物体の位置を計測させるプログラムであって、前記入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、計測物体と、カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、また、カメラと計測物体の相対位置関係を固定し、鏡とカメラの位置関係を可変可能として撮像された複数の画像が前記入力画像として入力され、前記入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて計算された鏡空間中の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、鏡映変換によって、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、前記線分と平行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、前記鏡平面座標原点を通り前記座標軸に垂直な平面を鏡平面として計算し、前記座標軸と前記鏡平面に任意に設定した2つの座標軸によって表される鏡平面座標を計算するステップと、前記鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を計算するステップと、入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を計算するステップと、前記仮想カメラ座標原点を始点とし、前記鏡平面を中心に前記光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として計算するステップを備え、複数の入力画像各々に基づいて計算された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として計算するステップと、を前記コンピュータに実行させるものであることを特徴とする。

【0013】

ここで、前記仮想光線の交点は、光線同士が交わらない場合、2光線の方向ベクトルからなる法線を計算し、前記法線と平行な2光線を結ぶ線分を計算し、前記線分の中点を交点としてもよい。

さらに、前記仮想光線が2本線以上ある場合は、各2光線の組み合わせの複数交点の重心位置を計測物体の位置として計算してもよい。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、入力画像から計測物体の位置を計測する装置であって、入力画像はカメラで鏡越しに撮像された画像であり、計測物体と、カメラからの位置姿勢関係が所定の関係である所定の特徴パターンが映っており、入力画像中に映る特徴パターンの位置とカメラの焦点距離に基づいて計算された鏡空間の特徴パターンの中心位置と、カメラから既知である実空間の特徴パターンの中心位置について、鏡映変換によって、実空間の特徴パターンと鏡空間の特徴パターンの中心点を結ぶ線分の中点を鏡平面座標の原点とし、線分と平行なベクトルを鏡平面座標の一つの座標軸とし、鏡平面座標原点を通り座標軸に垂直な平面を鏡平面として計算し、座標軸と鏡平面に任意に設定した2つの座標軸によって表される鏡平面座標を計算する鏡平面座標計算手段と、鏡平面を中心にカメラ座標を鏡映変換した鏡空間のカメラ座標系を計算する仮想カメラ座標計算手段と、入力画像中の計測物体の位置を用いてカメラ座標から計測物体の方向を示す光線を計算する光線計算手段と、仮想カメラ座標原点を始点とし、鏡平面を中心に光線を鏡映変換したベクトルを仮想光線として計算する仮想光線計算手段を備え、複数の入力画像各々に基づいて計算された複数の仮想光線の交点を計測物体の位置として計算する仮想光線交点計算手段を備えることで、計測精度を向上させることが可能になる。

10

【0015】

また、カメラと計測物体の相対位置関係を変えず、鏡とカメラの位置関係を変え撮像された複数の画像が前記入力画像なので、複数のカメラを用いることなく、物体の3次元位置を計測することができ、且つ入力画像の撮像環境の設置作業を簡易化することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の実施の形態を示す3次元計測装置の模式図である。

【図2】本発明の実施の形態を示す3次元計測装置の構成を示すブロック図である。

【図3】鏡映変換における実空間と鏡空間の座標系の関係を示す図である。

【図4】本発明の処理手順を説明するフローチャートである。

【図5】鏡越しに特徴パターンと計測物体を撮像した画像を示す図である。

【図6】実空間のカメラと鏡空間の仮想特徴パターンの中心位置を示す図である。

30

【図7】実空間と鏡空間の特徴パターンの中心位置と鏡平面座標系の関係を示す図である。

【図8】実空間のカメラ座標から仮想計測物体へ伸びる光線を示す図である。

【図9】鏡空間の仮想カメラ座標から計測物体へ伸びる仮想光線を示す図である。

【図10A】異なる入力画像から計算された仮想光線を示す図(その1)である。

【図10B】異なる入力画像から計算された仮想光線を示す図(その2)である。

【図11】異なる入力画像から計算された仮想光線の交点を示す図である。

【図12】仮想光線同士が交わらない場合に交点として計算される計測物体を示す図である。

【図13】仮想光線が複数ある場合に各交点の重心位置として計算される計測物体を示す図である。

40

【図14】本発明の別の実施の形態となる円特徴パターンを用いた3次元計測装置の模式図である。

【図15】実空間と鏡空間の円特徴パターンの中心位置と鏡平面座標系の関係を示す図である。

【図16】本発明の別の実施の形態となる携帯端末を用いた3次元計測装置の模式図である。

【図17】本発明の応用例となるヒューマノイドロボットの姿勢補正システムの模式図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 7 】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態に係る3次元計測装置について説明する。具体的には、3次元位置計測の一例としてマーカー（測定物体）の位置を計測する場合について説明する。図1は、本発明の実施の形態を示す3次元計測装置の模式図であり、図2は本発明の実施の形態を示す3次元計測装置の構成を示すブロック図である。

【 0 0 1 8 】

図1に示すように本発明の実施の形態では、カメラ1と、特徴パターン2としてチェスボードパターンが3次元計測装置3に搭載されている。ここでカメラ1の座標系と特徴パターン2の座標系の位置姿勢関係は既知であるとする。また3次元計測装置3は、図2に示すようにカメラ1により撮像された画像を取得する画像入力部11、鏡平面座標計算部12、仮想カメラ座標計算部13、光線計算部14、仮想光線計算部15、仮想光線交点計算部16を備えている。画像入力部11を介してカメラ1から取得された画像は記憶部（図示せず）に一時的に記憶させることができる。また、前述の各計算部で行われる処理プログラムも記憶部に記憶されており、演算部（図示せず）によりこのプログラムが実行される。

10

【 0 0 1 9 】

本実施の形態では、A1、A2という2つの座標系があったとき、A1からA2に座標系を変換する同次変換行列を式1のように表す。

【 数 1 】

$${}^{A_2}T_{A_1} = \begin{pmatrix} {}^{A_2}R_{A_1} & {}^{A_2}t_{A_1} \\ 0_3^T & 1 \end{pmatrix} \quad 0_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdots (1)$$

20

【 0 0 2 0 】

図3は鏡映変換を示すものであり、A1とA2を鏡映変換した座標系をA1'、A2'と表す。A1'とA2'は左手座標系で表されているが、式2に示すようにA1'からA2'への同次変換行列はA1からA2への同次変換行列と等しい。

【 数 2 】

$${}^{A_2'}T_{A_1'} = {}^{A_2}T_{A_1} \cdots (2)$$

30

【 0 0 2 1 】

次に、図4のフローチャートを用いて本実施の形態に係る3次元計測装置によるマーカー位置計測を行う処理手順について説明する。図5は、カメラ1で撮像された画像である。3次元計測装置3のカメラ1が鏡の前で、鏡面反射を用いて、特徴パターンと計測物体が映るように撮像したものである。カメラ1によって撮像された画像を読み込む（ステップS1）。

【 0 0 2 2 】

図6のように、本実施の形態ではカメラ座標系をC、特徴パターン座標系をBと定義し、CとBを鏡鏡変換したものをC'、B'と表す。また、カメラの外部パラメータから計算された特徴パターン座標系をDと表す。外部パラメータとは、実空間のカメラ座標から特徴パターン座標への姿勢関係と並進位置関係を表すパラメータである。

40

【 0 0 2 3 】

座標系Bは特徴パターンの中心位置であり、x、y座標軸は特徴パターン面上に沿った軸となっている。カメラ座標系と特徴パターン座標系の相対位置は固定されており、同次変換行列CTBは既知である。

【 0 0 2 4 】

入力画像中の特徴パターンの位置より、カメラ座標Cから鏡映の特徴パターンの座標系Dを計算し、CTDを求める。仮想特徴パターンの中心位置B'としてCTB'を計算する。

【 0 0 2 5 】

50

ここで具体的に説明すると、チェスボードパターンの格子点の数と1辺の長さは予め記憶されており、カメラの内部パラメータと呼ばれる焦点距離や画素サイズ、レンズの歪みなどの情報も予め記憶されている。これらの情報と、実際に撮像された画像中の格子点の位置から座標位置関係（外部パラメータ）を求める。

【0026】

ここで例えば、座標位置関係を設定し、その時の座標位置関係だと、チェスボードパターンの格子点が画像中のどこに映るかを内部パラメータを使って再投影計算をする。画像中に投影された格子点の位置と、実際に撮像された格子点の位置関係を比較して外部パラメータを修正する。実際の画像中の格子点の位置と、パラメータで推定される格子点の位置が同じになるまで、外部パラメータの計算を繰り返す。そして、この反復計算によって座標位置関係を求める。

本実施の形態では、Zhangの手法を用いている。

(Zhang Z., "A flexible new technique for camera calibration", Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11), pp. 1330-1334, 2000. 参照のこと)

【0027】

続いて、座標系 B、B' の座標原点を b、b' とした場合、これらは式3のように表せる。Cb は座標系 C で表された座標原点であり、b' は b の鏡映点である。

【数3】

$$c_b = {}^cT_B \begin{pmatrix} 0_3 \\ 1 \end{pmatrix} \quad c_{b'} = {}^cT_{B'} \begin{pmatrix} 0_3 \\ 1 \end{pmatrix} \dots (3)$$

【0028】

b、b' 鏡平面の位置関係について、鏡映変換の関係より b、b' 間の中点は鏡平面を通る。また、鏡平面の法線ベクトルと線分 b' - b は平行である。この関係により鏡平面が計算される。

式4に示すように鏡平面座標系 M の座標原点は b、b' 間の中点より計算できる。

【数4】

$$c_{t_M} = \frac{c_{b'} + c_b}{2} \dots (4)$$

(但し、 \tilde{b} 、 \tilde{b}' は同時空間で表されている点 b、b' をユークリッド空間で表したものである。)

【0029】

式5aに示すように鏡平面座標系の z 軸は線分 b' - b の平行線として計算できる。本実施の形態では、式5bに示すように鏡平面座標系の x 軸はカメラ座標系 C の x 軸を鏡平面に射影した線分と平行な線として計算する。式5cに示すように鏡平面座標系の y 軸は鏡平面座標系の x と z 軸の外積より計算する。この式5a ~ c より鏡平面座標系は式5として表すことができる。

【0030】

図7のように、鏡平面座標系を M と定義し、特徴パターンの中心位置 B' と実際のチェスボードの中心位置 B から鏡平面の位置姿勢 M を計算する(ステップ S2)。

【数 5】

$${}^C R_M = (m_x \ m_y \ m_z) \cdots (5)$$

$$\begin{cases} m_z = \frac{c\tilde{b}' - c\tilde{b}}{\|c\tilde{b}' - c\tilde{b}\|} \cdots (5a) \\ m_x = \frac{e_x - (e_x, m_z)m_z}{\|e_x - (e_x, m_z)m_z\|} \cdots (5b) \\ m_y = m_z \times m_x \cdots (5c) \end{cases}$$

$$e_x = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

10

【0031】

鏡平面座標系 M でカメラ座標系 C と仮想カメラ座標系 C' の座標原点を表したとき、これらの座標原点は z 軸の値が正負反転した関係になっているので、同次変換行列 MTC と MT C' は式 6 のように示すことができる。

【数 6】

$${}^M T_{C'} = P {}^M T_C = P {}^C T_M^{-1} \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdots (6)$$

20

よって、カメラ座標系から仮想カメラ座標系への同次変換行列 CTC' は式 7 のように表すことができる(ステップ S 3)。

【数 7】

$${}^C T_{C'} = {}^C T_M {}^M T_{C'} \cdots (7)$$

【0032】

図 8 は光線 r を示したものであり、予めわかっているマーカーの色情報を用いて、画像中からその色情報を有する画素を特定し、ラベリング処理により、その色情報を有する領域を特定し、その領域の重心点を入力画像中のマーカー位置として計算し、カメラの内部パラメータを用いて、カメラ座標系原点からマーカーを指す光線 r を計算する。

30

【数 8】

光線 r: $\vec{r} = (\vec{r}^T, 0)^T$ として同次座標系で表される(ステップ S 4)。

【0033】

図 9 のように、ステップ S 3 の鏡平面を隔ててステップ S 4 の光線と対称となる仮想光線 r' を計算する。鏡映変換の関係から、鏡空間の仮想カメラ座標系から伸びる光線は実空間のマーカーを通る。そのため、仮想光線 r' は光線 r と一致する。また座標系 C と座標系 C' は対称な関係であるため、 $C' r' = C r$ と表すことができ、式 8 のように表すことができる。

40

【数 9】

$$t {}^{C'} r' (t > 0) \cdots (8)$$

【0034】

カメラ座標系 C で表した仮想光線 r' は式 7、8 から式 9 として表すことができる(ステップ S 5)。

50

【数 10】

$${}^cT_{C'} \left\{ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + t {}^{C'}r' \right\} = \begin{pmatrix} c_{t_{C'}} \\ 1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} c_{R_{C'} C' \tilde{r}} \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \cdot \cdot (9)$$

【0035】

図10(a)、(b)に示すように、カメラ1と計測物体Pの相対位置関係を変えず、鏡とカメラ1の位置関係を変え撮像された画像から、ステップS5の仮想光線 r' を計算する。

10

図11のようにステップ4で計算された複数の仮想光線 r' の交点から計測物体Pの位置を計算する(ステップS6)。

【0036】

ステップS5の時、図12のように仮想光線同士が交わらない場合は、仮想光線同士の最短点を交点として計算する。図13のように仮想光線が2本線以上ある場合は、各2光線の組み合わせの複数交点の重心位置を計測物体の位置として計算する。

このようにして、ステップS2～S5処理を、複数の入力画像で繰り返し行い、ステップS6で仮想光線の交点を計算し、マーカーの位置を計算する。

【0037】

なお、本実施の形態では特徴パターン2としてチェスパターンを用いているが、ステップS3で鏡座標を求めるためには、ステップS2で特徴パターンの位置情報が得られれば良い。図14は既知サイズの円パターン20の中心位置とカメラ座標の関係が既知の3次元計測装置である。既知サイズの円パターンの中心位置を計測することにより、図15に示すように鏡座標を計算することができる。この円パターンを用いた特徴パターンとカメラの配置により、3次元計測装置を小型化することができる。これによりデジタルカメラ等に本3次元計測装置を搭載し、物体計測を行うことができる。

20

【0038】

また図16に示すように携帯電話の画面に特徴パターンを表示することで、携帯電話を3次元計測装置として使用することもできる。これにより3DプリンタやCGモデルの3Dデータを簡易に計測することができる。

30

【0039】

更にカメラに取り付けられたカメラ視野外の物体とのキャリブレーション手法として、アーム、ヒューマノイドロボットの姿勢キャリブレーション(図17)や移動ロボットのセンサキャリブレーションに用いることができる。

【0040】

以上のことから本実施の形態によれば、従来ステレオ視を用いた手法よりも精度の高い測定が可能となり、且つ計測環境の設置作業を簡易化して計測物体の3次元計測を行うことができる。

【符号の説明】

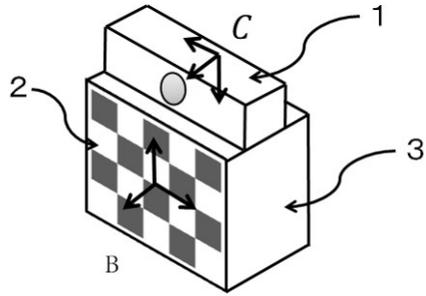
【0041】

40

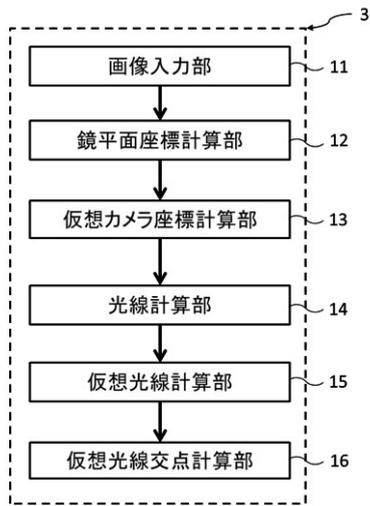
- 1 カメラ
- 2 特徴パターン(チェスボード)
- 3 3次元計測装置
 - 11 画像取得部
 - 12 鏡平面座標計算部
 - 13 仮想カメラ座標計算部
 - 14 光線計算部
 - 15 仮想光線計算部
 - 16 仮想光線交点計算部
- 20 円特徴パターン

50

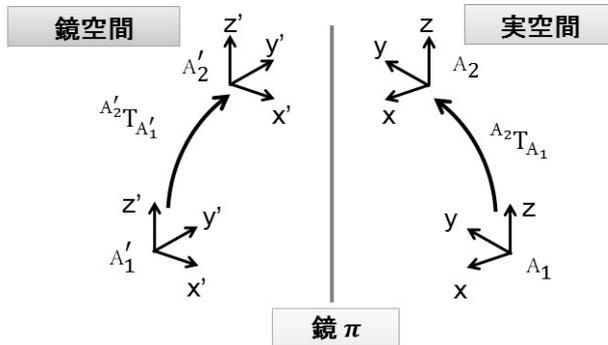
【 図 1 】



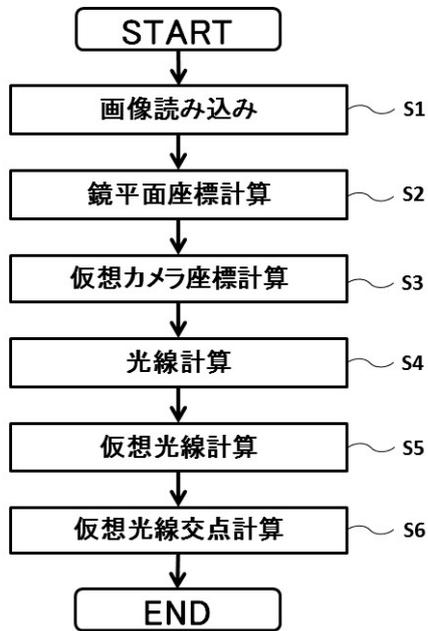
【 図 2 】



【 図 3 】



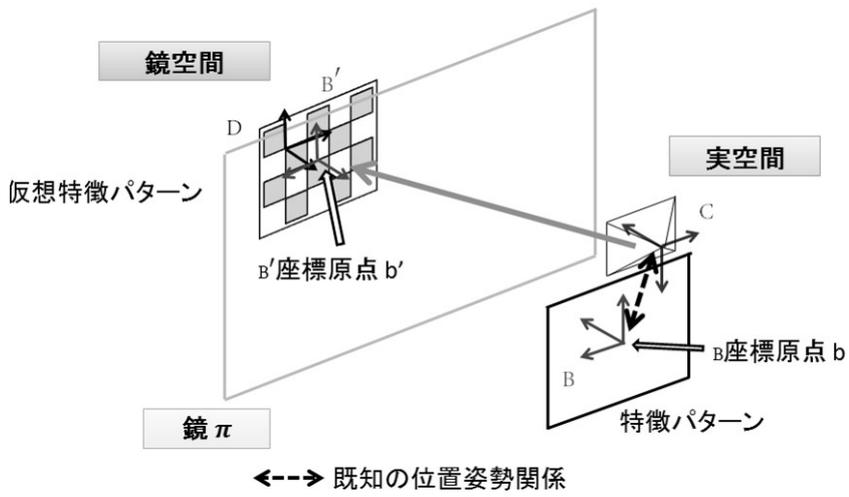
【 図 4 】



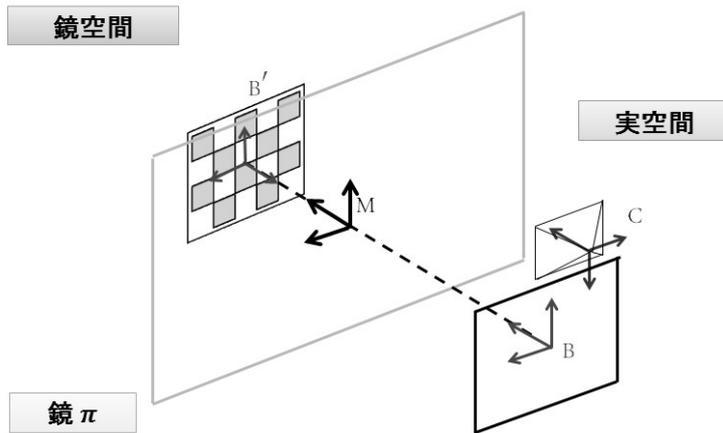
【 図 5 】



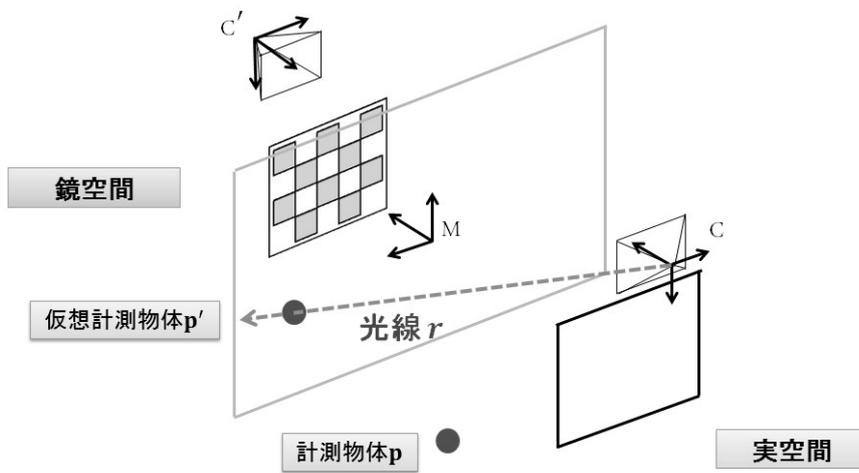
【 図 6 】



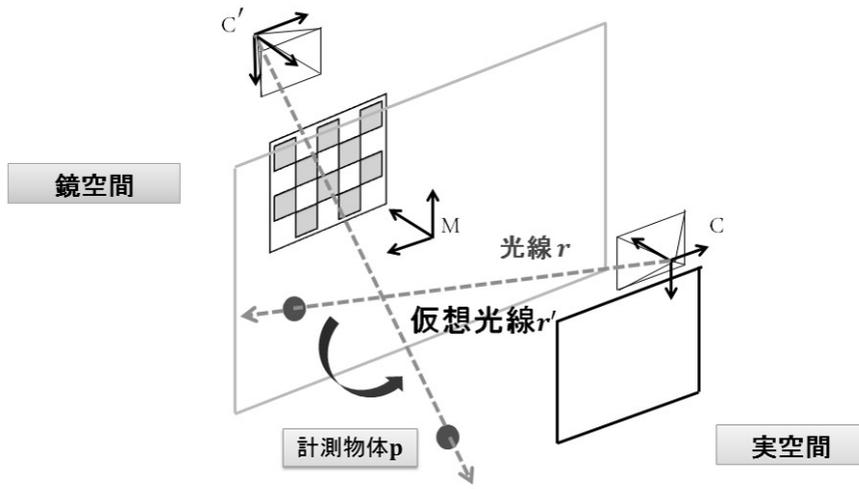
【 図 7 】



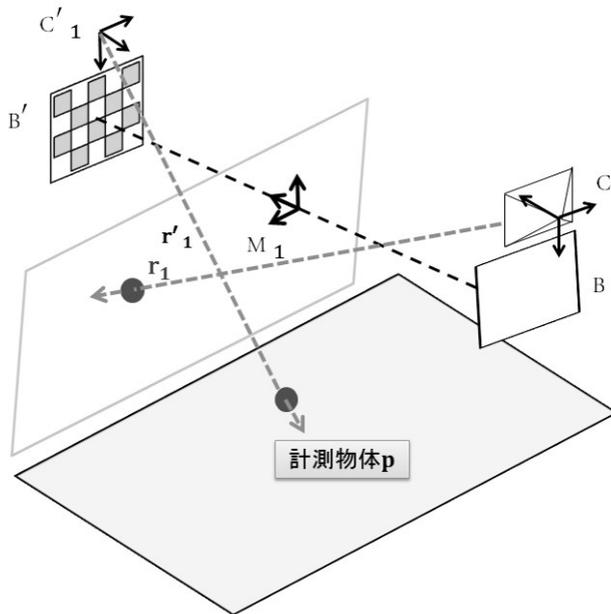
【 図 8 】



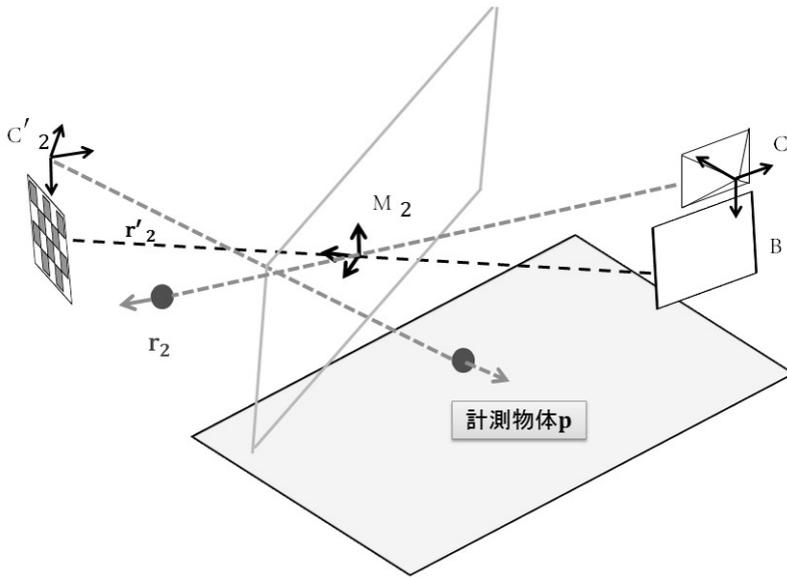
【 図 9 】



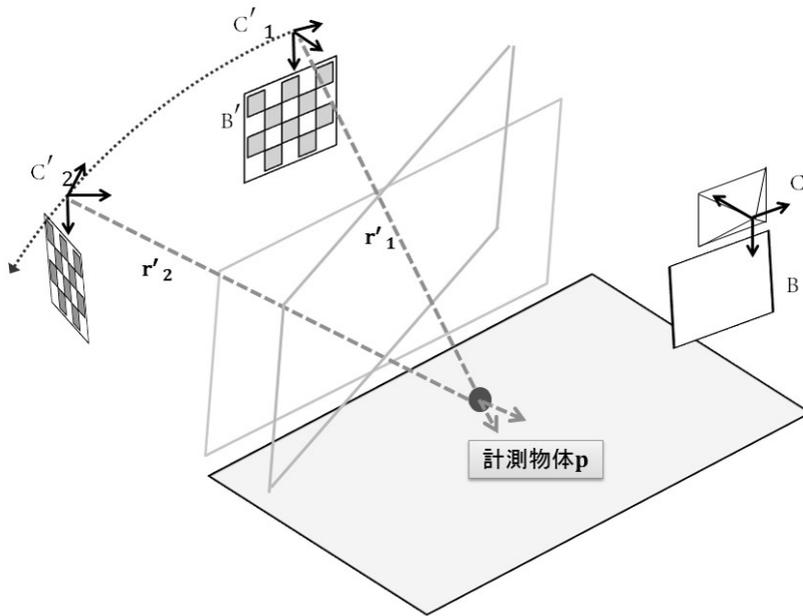
【 図 10 A 】



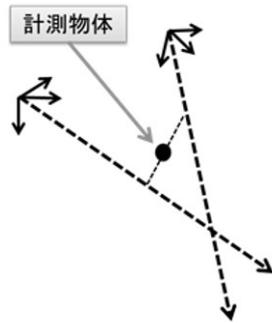
【図10B】



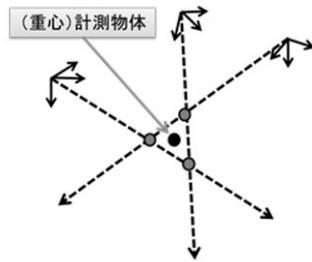
【図11】



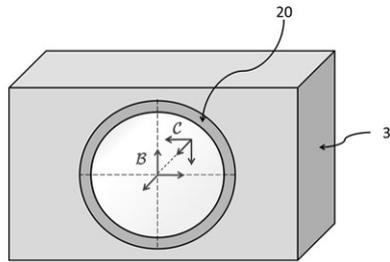
【 図 1 2 】



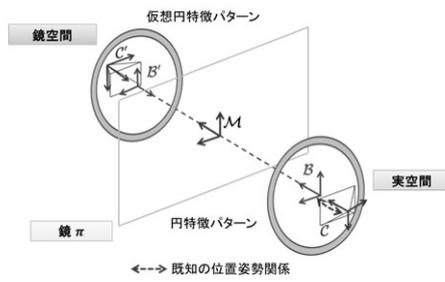
【 図 1 3 】



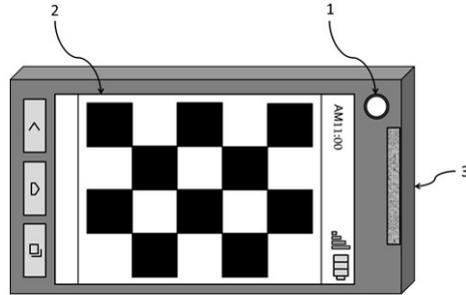
【 図 1 4 】



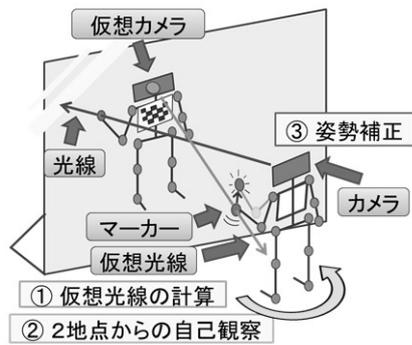
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA04 BB27 EE00 FF04 JJ03 JJ26 LL12 QQ17 QQ24