

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3901552号
(P3901552)

(45) 発行日 平成19年4月4日(2007.4.4)

(24) 登録日 平成19年1月12日(2007.1.12)

(51) Int. Cl.

F I

G O 6 T 1/00 (2006.01)

G O 6 T 1/00 2 8 0

H O 4 N 7/18 (2006.01)

H O 4 N 7/18 K

請求項の数 13 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2002-71623 (P2002-71623)
 (22) 出願日 平成14年3月15日 (2002.3.15)
 (65) 公開番号 特開2003-271925 (P2003-271925A)
 (43) 公開日 平成15年9月26日 (2003.9.26)
 審査請求日 平成16年1月21日 (2004.1.21)

(73) 特許権者 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
 (74) 代理人 100096459
 弁理士 橋本 剛
 (74) 代理人 100104938
 弁理士 鶴澤 英久
 (72) 発明者 宮川 勲
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内
 (72) 発明者 小澤 史朗
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法、装置、全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元プログラム、及び該プログラムを記録した記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

画像入力手段で取得した時系列の全方位画像中において、時系列に関する全方位カメラ視点の運動、並びに、被写体である外界の物体の形状、または構造、または外観を含む空間情報を復元する方法であって、

時系列画像上に設定した画像座標系において、各時系列画像中の特徴点の時間的変動量を測定し、その特徴点座標値を別の座標系に変換する第1ステップと、

該変換された特徴点座標値を集計したデータである計測行列を行列分解し、カメラ視点に関する運動行列と、外界の物体の外観を表現する形状行列に分解する第2ステップと、

該分解された運動行列において、運動を規定するために設定した条件を満足するように変換行列を求めるとともに、該変換行列を使って、全方位カメラ視点の回転運動に対応する情報と、並進運動に対応する情報を計算し復元する第3ステップと、

該変換行列を使って、該物体の外観を表現する形状行列を復元する第4ステップと、該復元された形状行列を使って、外界の物体の空間情報を復元する第5ステップと、を有する

ことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項2】

請求項1記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第2ステップは、

変換された特徴点座標値を集計したデータである計測行列を因子分解により行列分解する

10

20

ステップと、

該分解された行列から雑音除去するステップと、

該雑音除去された行列から運動行列と形状行列を獲得するステップと、を有することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 3】

請求項 2 記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第 1 ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、全方位光学系において、光軸からの入射角に比例した全方位射影に基づいて、画像座標値から別の座標系の座標値に変換し、

第 2 ステップにおける、因子分解により行列分解するステップでは、該変換した座標値からなる計測行列に対して、因子分解を行う

ことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 4】

請求項 2 記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第 1 ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、全方位光学系において、光軸からの入射角の半角の正弦に比例した射影に基づいて、画像座標値から別の座標系の座標値に変換し、

第 2 ステップにおける、因子分解により行列分解するステップでは、該変換した座標値からなる計測行列に対して、因子分解を行う

ことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 5】

請求項 2 記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第 1 ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、全方位光学系において、光軸からの入射角の半角の正接に比例した射影に基づいて、画像座標値から別の座標系の座標値に変換し、

第 2 ステップにおける、因子分解により行列分解するステップでは、該変換した座標値からなる計測行列に対して、因子分解を行う

ことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第 1 ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、時系列の全方位画像上の特徴点の座標値について、原点と設定した位置からの位相で表現する座標系へ幾何変換し、

第 2 ステップでは、該位相平面上での特徴点座標値の計測行列から行列分解することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第 4 ステップでは、回転運動に対応する情報を計算し復元するのに際し、第 3 ステップで得られた変換行列を使って得た運動行列において、光軸周りの回転運動を復元することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、

第 4 ステップでは、並進運動に対応する情報を計算し復元するのに際し、第 3 ステップで得られた変換行列を使って、全方位カメラ視点の並進運動に対応する情報を取り出し、時系列画像上の特徴点の座標値を測定したときに設定した画像座標系における平面運動に変換する

ことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、
第 5 ステップでは、第 3 ステップで得られた、物体の外観を表現する形状行列を変換した形状行列の中の 1 成分を抽出し、特徴点の空間情報を復元することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、
第 3 ステップでは、変換行列を求める際に、条件式を満たす行列要素に対して、その主成分と、その主成分に係る符号ベクトルから変換行列を求めることを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法。

10

【請求項 11】

画像入力装置で取得した時系列の全方位画像中において、時系列に関する全方位カメラ視点の運動、並びに、外界の物体の形状、または構造、または外観を含む空間情報を復元する装置であって、
時系列画像上に設定した画像座標系において、各時系列画像中の特徴点の時間的変動量を測定する特徴点計測部と、
該特徴点座標値を別の座標系に変換して集計する計測行列変換部と、
該変換された特徴点座標値を集計したデータである計測行列を行列分解し、雑音除去して、カメラ視点に関する運動行列と、外界の物体の外観を表現する形状行列に分解する行列分解処理部と、
該分解された運動行列において、運動を規定するために設定した条件を満足するように変換行列を求める変換行列算出部と、
該変換行列を使って、全方位カメラ視点の回転運動に対応する情報と、並進運動に対応する情報を計算し復元する視点運動復元部と、
該変換行列を使って、該物体の外観を表現する形状行列を復元し、該復元された形状行列を使って、外界の物体の空間情報として復元する空間情報復元部と、を有することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元装置。

20

【請求項 12】

請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法におけるステップを、コンピュータに実行させるためのプログラムとしたことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元プログラム。

30

【請求項 13】

請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項記載の全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法におけるステップを、コンピュータに実行させるためのプログラムとし、
該プログラムを、該コンピュータが読み取りできる記録媒体に記録したことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元プログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

40

【0001】**【発明の属する技術分野】**

本発明は、画像入力装置等により取得した時系列画像データから、対象物の空間形状、または空間構造の計測、または、獲得、並びに復元や、画像入力装置（カメラ）の光学的視点に関する運動、並びに、被写体（物体）の時間的運動を復元することに関係する。特に、コンピュータビジョンにおけるカメラ運動、並びに物体形状復元に関係する。

【0002】

また、本発明は、全方位カメラを使って取得した車載映像、船上からの海上映像、空撮などの時系列画像全般に対して利用可能であり、特に、全方位カメラ視点に関する姿勢や平面運動、並びに、時系列映像に写っている外界の形状、すなわち、被写体（物体）の外観

50

の形状等の空間情報を復元することに関係する。

【 0 0 0 3 】

【従来の技術】

コンピュータビジョン分野では、時系列画像データから、対象物の形状を計測、または、獲得する手法には、ステレオ計測やエピポーラ面解析を用いた3次元解析手法がある。また、最近では、カメラの運動と被写体（物体）の形状に関する3次元情報を、同時に、計測、または獲得する手法の代表的な手法として、因子分解法（下記文献[1]）がある。これらの手法によれば、物体が撮影されている複数の時系列画像から、空間形状または空間構造に関する情報、並びに、カメラ視点に関する運動を獲得、復元することができる。

【 0 0 0 4 】

文献[1] C.Tomasi and T.Kanade; "Shape and Motion from Image Streams Under Orthography: A Factorization Method", International Journal of Computer Vision, Vol.9, No.2, 1992.

【 0 0 0 5 】

しかし、移動手段などを利用して撮影カメラを動かしながら撮影した時系列映像においては、撮影時の環境、撮影カメラの微小な動きによりシームレスに映像を取得することが困難であり、時系列映像中にランダム性の雑音が混入し、カメラ運動を正確に復元することが困難な場合がある。

【 0 0 0 6 】

さらに、画像面が平面とした直交座標系で表現できる画像座標値から、因子分解法により、ユークリッド空間でのカメラ運動と物体形状の復元が可能であるが、有限画角のカメラは映像シーンにおいて、フレームイン、または、フレームアウトするため、画像入力装置の回転運動を大域的に、または、長期的に復元する、さらに、外界の物体の形状を大規模に、大域的に、または、長期的に復元することは困難である。一方、このような有限画角の問題を回避するために、一度に360度のパノラマ画像を取得する手段として、全方位カメラを使って取得した時系列画像からカメラ運動と物体形状を復元することが考えられる。しかし、時系列の全方位画像に対して、エピポーラ解析やステレオ視による従来のアプローチが応用されているが、雑音が付加された時系列画像から、容易にユークリッド空間でのカメラ運動と物体形状が復元できないなどの問題がある。

【 0 0 0 7 】

ところで、屋外においては、近年、高精度になりつつあるGPS、ディファレンシャルGPS、ジャイロなどのセンシング装置を使うことで、画像入力の位置情報、姿勢情報に関する状態をセンシングすることができる。

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、画像入力装置（カメラ）から取得した時系列画像から、カメラの動き、並びに、対象物の形状を同時に復元する場合、時系列画像に混入するランダム雑音の影響や、撮影時のカメラの微小な動きを正確に復元することは困難である。このような問題を扱うべく、コンピュータビジョンでは、上記した因子分解法（文献[1]）が存在する。

【 0 0 0 9 】

一方、GPS装置などを利用した位置情報計測においては、GPS衛星の幾何学的配置、または、センシング条件の良好な時間帯に限定される。また、位置計測の周囲の環境に、樹木が立ち並んだり、高層な建物が立ち並ぶ場所は、センシングに不利な条件であるという問題がある。

【 0 0 1 0 】

また、移動手段を使って、全方位カメラのような一度に360度の景観を映像化する撮影環境で取得した時系列画像においては、ステレオ視の原理を応用した計測方法により、外界の物体の空間情報を獲得、復元することができるが、移動手段と撮像機器の配置、撮影環境との関係でカメラが微小に動くため、容易にシームレスな時系列画像を取得できない。そのため、ランダム性雑音の影響も大きく、常に、安定的に、カメラの動きと物体の形

10

20

30

40

50

状を、同時に、かつ、高精度に復元することは不可能である。

【 0 0 1 1 】

本発明は、リモートセンシングなどを利用した測量でも計測できない位置情報、並びに、ステレオ視などの手法を利用した外界物体の空間情報の獲得、復元において、時系列映像特有のランダム性雑音に対しても、正確にカメラ視点の姿勢と位置に関する時間的変動、すなわち、運動を復元、並びに、外界物体の空間情報を獲得、復元する方法および装置を提供することを課題とする。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するため、本発明は、画像入力手段で取得した時系列の全方位画像中において、時系列に関する全方位カメラ視点の運動、並びに、被写体である外界の物体の形状、または構造、または外観を含む空間情報を復元する方法であって、時系列画像上に設定した画像座標系において、各時系列画像中の特徴点の時間的変動量を測定し、その特徴点座標値を別の座標系に変換する第1ステップと、該変換された特徴点座標値を集計したデータである計測行列を行列分解し、カメラ視点に関する運動行列と、外界の物体の外観を表現する形状行列に分解する第2ステップと、該分解された運動行列において、運動を規定するために設定した条件を満足するように変換行列を求めるとともに、該変換行列を使って、全方位カメラ視点の回転運動に対応する情報と、並進運動に対応する情報を計算し復元する第3ステップと、該変換行列を使って、該物体の外観を表現する形状行列を復元する第4ステップと、該復元された形状行列を使って、外界の物体の空間情報を復元する第5ステップと、を有することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【 0 0 1 3 】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第2ステップは、変換された特徴点座標値を集計したデータである計測行列を因子分解により行列分解するステップと、該分解された行列から雑音除去するステップと、該雑音除去された行列から運動行列と形状行列を獲得するステップと、を有することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【 0 0 1 4 】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第1ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、全方位光学系において、光軸からの入射角に比例した全方位射影に基づいて、画像座標値から別の座標系の座標値に変換し、第2ステップにおける、因子分解により行列分解するステップでは、該変換した座標値からなる計測行列に対して、因子分解を行うことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【 0 0 1 5 】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第1ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、全方位光学系において、光軸からの入射角の半角の正弦に比例した射影に基づいて、画像座標値から別の座標系の座標値に変換し、第2ステップにおける、因子分解により行列分解するステップでは、該変換した座標値からなる計測行列に対して、因子分解を行うことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【 0 0 1 6 】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第1ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、全方位光学系において、光軸からの入射角の半角の正接に比例した射影に基づいて、画像座標値から別の座標系の座標値に変換し、第2ステップにおける、因子分解により行列分解するステップでは、該変換した座標値からなる計測行列に対して、因子分解を行うことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【 0 0 1 7 】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第1ステップでは、各時系列画像中の特徴点座標値を別の座標系に変換するのに際し、時系列の全方位画像上の特徴点の座標値について、原点と設定した位置からの位相で表現する座標系へ幾何変換し、第2ステップでは、該位相平面上での特徴点座標値の計測行列から行列分解することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【0018】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第4ステップでは、回転運動に対応する情報を計算し復元するのに際し、第3ステップで得られた変換行列を使って得た運動行列において、光軸周りの回転運動を復元することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

10

【0019】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第4ステップでは、並進運動に対応する情報を計算し復元するのに際し、第3ステップで得られた変換行列を使って、全方位カメラ視点の並進運動に対応する情報を取り出し、時系列画像上の特徴点の座標値を測定したときに設定した画像座標系における平面運動に変換することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【0020】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第5ステップでは、第3ステップで得られた、物体の外観を表現する形状行列を変換した形状行列の中の1成分を抽出し、特徴点の空間情報を復元することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

20

【0021】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動復元並びに物体形状復元方法であって、第3ステップでは、変換行列を求める際に、条件式を満たす行列要素に対して、その主成分と、その主成分に係る符号ベクトルから変換行列を求めることを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法を手段とする。

【0022】

あるいは、画像入力装置で取得した時系列の全方位画像中において、時系列に関する全方位カメラ視点の運動、並びに、外界の物体の形状、または構造、または外観を含む空間情報を復元する装置であって、時系列画像上に設定した画像座標系において、各時系列画像中の特徴点の時間的変動量を測定する特徴点計測部と、該特徴点座標値を別の座標系に変換して集計する計測行列変換部と、該変換された特徴点座標値を集計したデータである計測行列を行列分解し、雑音除去して、カメラ視点に関する運動行列と、外界の物体の外観を表現する形状行列に分解する行列分解処理部と、該分解された運動行列において、運動を規定するために設定した条件を満足するように変換行列を求める変換行列算出部と、該変換行列を使って、全方位カメラ視点の回転運動に対応する情報と、並進運動に対応する情報を計算し復元する視点運動復元部と、該変換行列を使って、該物体の外観を表現する形状行列を復元し、該復元された形状行列を使って、外界の物体の空間情報として復元する空間情報復元部と、を有することを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元装置を手段とする。

30

40

【0023】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法におけるステップを、コンピュータに実行させるためのプログラムとしたことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元プログラムを手段とする。

【0024】

あるいは、上記の全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元方法におけるステップを、コンピュータに実行させるためのプログラムとし、該プログラムを、該コンピュータが読み取りできる記録媒体に記録したことを特徴とする全方位カメラ視点運動並びに物体形状復元プログラムを記録した記録媒体を手段とする。

【0025】

50

本発明では、全方位カメラの光学的性質を利用した全方位射影式において、因子分解法（文献〔１〕）を応用して、時系列画像から測定した特徴点の時間的動きから、すなわち、全方位空間における時間的変動値から、ランダム性雑音の除去を行って、全方位カメラ視点の運動、並びに、外界物体の空間情報を表現する要素に行列分解し、カメラ運動を復元するための条件式を設定し、この条件式を満足する変換行列を使って、全方位カメラ視点に関する姿勢、位置からなる運動と、外界物体の空間情報、すなわち、物体形状や構造、外観等を獲得、復元することにより、全方位カメラを使って取得した時系列画像全般（移動手段を利用して撮影した車載映像、海上映像、空撮映像、屋内映像など）から、対象物に関する物体形状を高精度に獲得、復元することを可能とする。また、これまでの測量技術並の高精度な３次元立体視を可能とする。さらに、全方位カメラ視点のカメラ光軸周りの回転、並びに、XY平面運動からなるカメラ運動を正確に復元することを可能とする。

10

【００２６】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図を用いて詳細に説明する。

【００２７】

図１は、本発明の一実施形態例を示す構成図である。本実施形態例においては、魚眼レンズなどを利用して、等距離射影（光軸からの入射角に比例した全方位射影）の光学系を組み込んだ全方位カメラ撮像装置を利用した場合を説明する。本発明は、他の全方位射影（等立体角射影、立体射影等）の光学系を組み込んだ全方位カメラ撮像装置で取得した時系列画像に対しても、適用可能である。

20

【００２８】

図１において、１は時系列画像データベース、２は特徴点計測部、３は計測行列変換部、４は計測行列入力部、５は行列分解処理部、６は変換行列算出部、７は物体形状抽出部、８は空間情報復元部、９は視点運動抽出部、１０は平面並進運動復元部、１１は回転運動復元部である。

【００２９】

本実施形態例では、特徴点計測部２において、時系列画像データベース１に格納した時系列の全方位画像において特徴点の時間的変動量を計測し、計測行列変換部３において全方位画像面で変換し、この変換した特徴点座標値の集計データである計測行列を計測行列入力部４により入力し、行列分解処理部５において、因子分解法を応用した方法により、カメラ視点に関する運動行列と、外界の物体の外観を表現する形状行列に分解し、変換行列算出部６において、行列分解処理部５で分解した行列のうち、運動行列の成分からカメラ運動拘束条件を設定し、この条件を満足する変換行列を求め、さらに変換行列を使って運動行列と形状行列を変換し、視点運動抽出部９において該変換した運動行列から運動情報を抽出し、平面並進運動復元部１０においてはカメラ視点に関する平面並進運動を、回転運動復元部１１においては回転運動を復元し、また物体形状抽出部７において該変換した形状行列を抽出し、空間情報復元部８において外界の物体の形状、または構造、または外観等の空間情報を復元する。

30

【００３０】

図２は、請求項１～１０の発明に関する処理フローである。これら図を元に本発明を、詳細に説明する。

40

【００３１】

ここで、全方位カメラと外界の物体との幾何的位置関係、並びに、本発明で用いているカメラパラメータについて説明しておく。

【００３２】

図６に示すように、空間中に設定したXYZ座標系を基準座標系として、この座標系における外界の物体の空間情報（ X_j 、 Y_j 、 Z_j ）を本発明により復元する。また、このXYZ座標系において、時間的に全方位カメラ視点が移動する。このとき、全方位カメラ、すなわち、光学中心に設定した座標系 X_0Y_0 が、XY平面において、図６に示すように、全方位カメラ視点のZ軸と平行な光軸周りの回転、すなわち、X軸との為す角を θ_j とし、

50

平面上の位置を $(T x_i, T y_i)$ として移動するものとする。この $X Y$ 平面の並進運動 $(T x_i, T y_i)$ 、並びに、方位 θ_i の時間的变化を本発明により復元する。

【 0 0 3 3 】

なお、説明の便宜上、初期状態において、全方位カメラ視点に設定した $X_0 Y_0$ 座標系の方向と基準座標系の $X Y$ 座標系の方向とは一致しているものとする。また、全方位カメラ視点、すなわち、光学中心の Z 軸の並進運動は無いものとし、方位以外の角、すなわち、進行軸 X_0 周りの回転、並びに、 Y_0 周りの回転の時間的变化は無いものとする。また、全方位カメラの視点、すなわち、光学中心と外界の物体上の点とを直線で結んだとき、 $X Y$ 平面から見たときの X_0 軸との為す角を ρ_{ij} とする。

【 0 0 3 4 】

さらに、図 7 に、 $Y Z$ 平面での外界の物体と全方位カメラ視点との幾何的關係、並びに、カメラパラメータについて示す。全方位カメラ視点、すなわち、光学中心の位置を $(T x_i, T y_i)$ としたとき、外界の物体の点 (X_j, Y_j, Z_j) を直線で結んだとき、 $X Y$ 平面との為す角を ϕ_{ij} とする。

【 0 0 3 5 】

加えて、本発明での魚眼レンズの光学的性質として、図 8 に示すように、図 7 での外界に物体の点 (X_j, Y_j, Z_j) と全方位カメラ視点位置、すなわち、光学中心の位置 $(T x_i, T y_i)$ を結んだ場合、入射角が ϕ_{ij} であるとき、光軸に入射した光 ($\phi_{ij} = 90$ 度) を画像上の画像中心 (C_x, C_y) に射影、入射した光が $X Y$ 平面で入射した光 ($\phi_{ij} = 0$ 度) がイメージサークル (全方位画像として映る画像での限界) 上に射影される。

【 0 0 3 6 】

また、光学的に、等距離射影が成立しており、入射角を ϕ_{ij} とした場合、その角度に比例して画像中心 (C_x, C_y) からの距離 R_{ij} に射影されるものとする。ここで、焦点距離を f とし、 Q は光学的距離と画素との間の比例定数、すなわち、1 画素あたりのエリアセンサとの対応付けを表現している。このとき、等距離射影では、式 (1) が成り立つ。また、射影点の画像座標値を (x_{ij}, y_{ij}) とした場合、式 (2) に表現できる。

【 0 0 3 7 】

【 数 1 】

$$QR_{ij} = f \times \left(\frac{\pi}{2} - \phi_{ij} \right) \quad \dots \text{式(1)}$$

$$Q \sqrt{(x_{ij} - C_x)^2 + (y_{ij} - C_y)^2} = f \times \left(\frac{\pi}{2} - \phi_{ij} \right) \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\phi_{ij} = \frac{\pi}{2} - \frac{Q}{f} \sqrt{(x_{ij} - C_x)^2 + (y_{ij} - C_y)^2}$$

【 0 0 3 8 】

一方、外界の物体の点は、この全方位カメラの光学的性質により、全方位画像上において、図 5 に示すように $W \times H$ の画像サイズで、 $H / 2$ の半径のイメージサークルより内側の点 (x_{ij}, y_{ij}) に射影される。ここで、 X_0 軸との為す角 ρ_{ij} とすると、光学的性質から、式 (3) が成り立つ。

【 0 0 3 9 】

【 数 2 】

$$\rho_{ij} = \tan \left(\frac{y_{ij} - C_x}{x_{ij} - C_y} \right) \quad \dots \text{式(3)}$$

【 0 0 4 0 】

これで、外界の物体と全方位カメラ視点の位置の幾何学的配置、全方位カメラの光学的性質、並びに、カメラ内部パラメータを定義しておく。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

図 1 , 図 2 にもどり、本発明の説明を続ける。

【 0 0 4 2 】

始めに、特徴点計測部 2 は、時系列画像が時間管理で格納されている時系列画像データベース 1 から時系列画像を取り出して入力し、図 2 での時系列画像処理のステップを行う。

【 0 0 4 3 】

これらのステップでは、まず、時系列画像データベース 1 から時系列画像を 1 枚取り出し、これを初期画像として、その画像上に特徴点を配置する。このとき、エッジ検出、ハフ変換、並びに、濃淡の 2 次元勾配などの画像処理により自動的に特徴点を配置するなどして、初期画像上に特徴点を配置する。このとき配置する特徴点の数を P 個 ($j = 1, 2, \dots, P$) とし、配置したときの特徴点の 2 次元座標値として、図 5 での画像座標系での原点からの座標値 (x_{ij}, y_{ij}) : $j = 1, 2, \dots, P$ を記録しておく。

10

【 0 0 4 4 】

次に、特徴点計測部 2 は、初期画像に続く時系列画像をデータベース 1 から 1 枚ずつ読み込み、時系列画像処理のステップにて、初期画像に配置した特徴点を、時系列画像間の濃淡の変化などに着目した手法などを利用することで画像追跡し、各時系列画像 (初期画像から第 i 番目の画像) の特徴点の画像座標値として、図 5 での画像座標系での原点からの 2 次元座標値 (x_{ij}, y_{ij}) を記録する。時系列画像を読み出し続けた場合、初期画像に配置した特徴点の中で、画像中から消失したり、オクルージョンなどにより隠れてしまったときは、画像追跡を停止し、特徴点追跡を終了する。特徴点追跡が終了した時点で、読み出した時系列画像の数 $i = 1, 2, \dots, F$ は、初期画像を含めて F 枚とする。

20

【 0 0 4 5 】

次に、特徴点計測部 2 は、計測行列記憶を行う。計測行列記憶のステップでは、各時系列画像における特徴点の時間的な画像座標的配置の変化量が記録される。特徴点の時間的な画像座標的配置の変化を行列としてデータ化したものを計測行列 [X] と称し、式 (4) のデータ形式とする。

【 0 0 4 6 】

【 数 3 】

$$[X] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1P} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{F1} & x_{F2} & \cdots & x_{FP} \\ y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1P} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{F1} & y_{F2} & \cdots & y_{FP} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式(4)}$$

30

【 0 0 4 7 】

次に、計測行列変換部 3 は、計測行列変換のステップにて、全方位画像座標値での計測行列に変換する。ここでの全方位画像座標値とは、図 5 に示すように、画像中心、すなわち、光軸の位置を示し、光学中心の座標値 (C_x, C_y) とした場合、この座標値からの相対的な座標値に一時変換しておく。さらに、これを全時系列にわたり、式 (2) (3) の ρ_{ij} と ϕ_{ij} を全特徴点から測定し、式 (5) で定義するような全方位画像平面上の座標値へ幾何変換する。これを式 (6) のようなデータ配列にする。

40

【 0 0 4 8 】

$u_{ij} = \cot (\phi_{ij}) \cos (\rho_{ij}) \quad \cdots \text{式 (5 (その 1))}$

$u_{ij} = \cot (\phi_{ij}) \sin (\rho_{ij}) \quad \cdots \text{式 (5 (その 2))}$

【 0 0 4 9 】

【 数 4 】

$$[A] = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1P} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{F1} & u_{F2} & \cdots & u_{FP} \\ v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1P} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{F1} & v_{F2} & \cdots & v_{FP} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式(6)}$$

【 0 0 5 0 】

10

次に、変換された計測行列は計測行列入力部 4 により行列分解処理部 5 に入力され、行列分解処理部 2 において因子分解法処理される。この因子分解法処理のステップでは、全方位カメラ視点の運動と外界の物体の形状、または構造情報を復元する。図 3 に、因子分解法処理での処理フローを示す。

【 0 0 5 1 】

まず、それまでのステップで全方位画像平面上へ変換した計測行列 [A] を、計測行列入力部 4 による計測行列データ入力において読み込む。次に、特異値分解なる数学的手法により、式 (7) のように、一意に、3 つの行列に行列分解する。

【 0 0 5 2 】

【 数 5 】

20

$$[A] = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & \cdots & U_{1P} \\ U_{21} & U_{22} & \cdots & U_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{2F1} & U_{2F2} & \cdots & U_{2FP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & W_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & W_{PP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{P1} & V_{P2} & \cdots & V_{PP} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式(7)}$$

【 0 0 5 3 】

さらに、行列分解した後、ランク 3 により、さらに行列を式 (8) のように分離する。式 (8) の第二項を雑音成分と見なして、式 (9) のように雑音除去する。

【 0 0 5 4 】

30

【 数 6 】

$$[A] = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F1} & U_{2F2} & U_{2F3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & 0 \\ 0 & W_{22} & 0 \\ 0 & 0 & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2P} \\ V_{31} & V_{32} & \cdots & V_{3P} \end{bmatrix} + \quad \cdots \text{式(8)}$$

$$\begin{bmatrix} U_{14} & U_{15} & \cdots & U_{1P} \\ U_{24} & U_{25} & \cdots & U_{2P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{2F4} & U_{2F5} & \cdots & U_{2FP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{44} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & W_{55} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & W_{P,P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{41} & V_{42} & \cdots & V_{4P} \\ V_{51} & V_{52} & \cdots & V_{5P} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{P1} & V_{P2} & \cdots & V_{PP} \end{bmatrix}$$

10

$$[A] \approx \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F1} & U_{2F2} & U_{2F3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & 0 \\ 0 & W_{22} & 0 \\ 0 & 0 & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2P} \\ V_{31} & V_{32} & \cdots & V_{3P} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式(9)}$$

$$[A] = \left(\begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F1} & U_{2F2} & U_{2F3} \end{bmatrix} [Q] \right) \left([Q]^{-1} \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & 0 \\ 0 & W_{22} & 0 \\ 0 & 0 & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2P} \\ V_{31} & V_{32} & \cdots & V_{3P} \end{bmatrix} \right) \quad \cdots \text{式(10)}$$

20

$$[A] = \left(\begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F1} & U_{2F2} & U_{2F3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix} \right) \times \left(\begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & 0 \\ 0 & W_{22} & 0 \\ 0 & 0 & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2P} \\ V_{31} & V_{32} & \cdots & V_{3P} \end{bmatrix} \right) \quad \cdots \text{式(11)}$$

30

【 0 0 5 5 】

次に、雑音成分が除去された運動行列と形状行列とを獲得し、運動行列についてカメラ運動に関する拘束条件を設定し、これを満足するように、[Q] を決定する。すなわち、式(1 2) に示すように、行列 [Q] を作用させた後の行列を [M] とし、各行について m_i , n_i とし、要素が式(1 3) であるとする。この行列の要素 m_i , n_i が、式(1 4) , (1 5) , (1 6) の拘束条件を満足するようにする。ただし、行列 [Q] の要素を、式(1 7) に示す要素とする。このとき、式(1 2) の要素から、式(1 4) から式(1 8) を経て(1 9) の計算式を設定する。また、式(1 2) の要素から、式(1 5) から式(2 0) を経て(2 1) の計算式を設定する。また、式(1 2) の要素から、式(1 6) から式(2 2) を経て(2 3) の計算式を設定する。式(1 9) , (2 1) , (2 3) から、式(2 4) の行列 [Q] [Q]^T を求める計算式を設定する。行列 [Q] [Q]^T を求めるときは、式(2 5) の演算を行い、この計算で得た要素から、式(2 6) のように固有値分解し、式(2 7) であるとする。次に、式(2 8) を使って、式(2 5) で得た元の行列 [Q] の要素 Q_{11} , Q_{12} , Q_{21} , Q_{22} を求める。

【 0 0 5 6 】

【 数 7 】

40

$$[M] = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F1} & U_{2F2} & U_{2F3} \end{bmatrix} [Q] \quad \dots \text{式(12)}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_{1x}^T \\ m_{1y}^T \\ \vdots \\ m_{ix}^T \\ \vdots \\ m_{Fx}^T \\ n_{1x}^T \\ n_{2x}^T \\ \vdots \\ n_{ix}^T \\ \vdots \\ n_{Fx}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{1x} & m_{1y} & T_{1x} \\ m_{1x} & m_{1y} & T_{2x} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{ix} & m_{iy} & T_{ix} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{Fx} & m_{Fy} & T_{Fx} \\ n_{1x} & n_{1y} & T_{1y} \\ n_{2x} & n_{2y} & T_{2y} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{ix} & n_{iy} & T_{iy} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{Fx} & n_{Fy} & T_{Fy} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(13)}$$

10

20

【 0 0 5 7 】

$$m_{ix}^2 + m_{iy}^2 = 1 \quad \dots \text{式 (1 4)}$$

$$n_{ix}^2 + n_{iy}^2 = 1 \quad \dots \text{式 (1 5)}$$

$$m_{ix} n_{ix} + m_{iy} n_{iy} = 0 \quad \dots \text{式 (1 6)}$$

【 0 0 5 8 】

【 数 8 】

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(17)}$$

$$\begin{aligned} m_{ix}^2 + m_{iy}^2 &= [U_{i1} \ U_{i2}] \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} U_{i1} \\ U_{i2} \end{bmatrix} \\ &= U_{i1}^2 (Q_{11}^2 + Q_{12}^2) + 2U_{i1}U_{i2} (Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22}) + U_{i2}^2 (Q_{21}^2 + Q_{22}^2) \end{aligned} \quad \dots \text{式(18)}$$

$$\begin{bmatrix} U_{11}^2 & 2U_{11}U_{12} & U_{12}^2 \\ U_{21}^2 & 2U_{21}U_{22} & U_{22}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{F1}^2 & 2U_{F1}U_{F2} & U_{F2}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11}^2 + Q_{12}^2 \\ Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} \\ Q_{21}^2 + Q_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(19)}$$

$$\begin{aligned} n_{ix}^2 + n_{iy}^2 &= [U_{i+F,1} \ U_{i+F,2}] \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} U_{i+F,1} \\ U_{i+F,2} \end{bmatrix} \\ &= U_{i+F,1}^2 (Q_{11}^2 + Q_{12}^2) + 2U_{i+F,1}U_{i+F,2} (Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22}) + U_{i+F,2}^2 (Q_{21}^2 + Q_{22}^2) \end{aligned} \quad \dots \text{式(20)}$$

$$\begin{bmatrix} U_{1+F,1}^2 & 2U_{1+F,1}U_{1+F,2} & U_{1+F,2}^2 \\ U_{2+F,1}^2 & 2U_{2+F,1}U_{2+F,2} & U_{2+F,2}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F,1}^2 & 2U_{2F,1}U_{2F,2} & U_{2F,2}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11}^2 + Q_{12}^2 \\ Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} \\ Q_{21}^2 + Q_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(21)}$$

$$\begin{aligned} m_{ix}n_{ix} + m_{iy}n_{iy} &= [U_{i1} \ U_{i2}] \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} U_{i+F,1} \\ U_{i+F,2} \end{bmatrix} \\ &= U_{i1}U_{i+F,1} (Q_{11}^2 + Q_{12}^2) + (U_{i1}U_{i+F,2} + U_{i2}U_{i+F,1}) (Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22}) + U_{i2}U_{i+F,2} (Q_{21}^2 + Q_{22}^2) \end{aligned} \quad \dots \text{式(22)}$$

$$\begin{bmatrix} U_{11}U_{1+F,1} & U_{11}U_{1+F,2} + U_{12}U_{1+F,1} & U_{12}U_{1+F,2} \\ U_{21}U_{2+F,1} & U_{21}U_{2+F,2} + U_{22}U_{2+F,1} & U_{22}U_{2+F,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{F1}U_{2F,1} & U_{F1}U_{2F,2} + U_{F2}U_{2F,1} & U_{F2}U_{2F,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11}^2 + Q_{12}^2 \\ Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} \\ Q_{21}^2 + Q_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(23)}$$

【 0 0 5 9 】

【 数 9 】

10

20

30

40

$$\begin{bmatrix}
 U^2_{11} & 2U_{11}U_{12} & U^2_{12} \\
 U^2_{21} & 2U_{21}U_{22} & U^2_{22} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{F1} & 2U_{F1}U_{F2} & U^2_{F2} \\
 U^2_{1+F,1} & 2U_{1+F,1}U_{1+F,2} & U^2_{1+F,2} \\
 U^2_{2+F,1} & 2U_{2+F,1}U_{2+F,2} & U^2_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{2F,1} & 2U_{2F,1}U_{2F,2} & U^2_{2F,2} \\
 U_{11}U_{1+F,1} & U_{11}U_{1+F,2} + U_{12}U_{1+F,1} & U_{12}U_{1+F,2} \\
 U_{21}U_{2+F,1} & U_{21}U_{2+F,2} + U_{22}U_{2+F,1} & U_{22}U_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U_{F,1}U_{2F,1} & U_{F,1}U_{2F,2} + U_{F2}U_{2F,1} & U_{F2}U_{2F,2}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 Q^2_{11} + Q^2_{12} \\
 Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} \\
 Q^2_{21} + Q^2_{22}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\
 1 \\
 \vdots \\
 1 \\
 1 \\
 1 \\
 \vdots \\
 1 \\
 0 \\
 0 \\
 \vdots \\
 0
 \end{bmatrix}
 \quad \dots \text{式(24)}$$

10

【 0 0 6 0 】

【 数 1 0 】

$$\begin{bmatrix}
 Q^2_{11} + Q^2_{12} \\
 Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} \\
 Q^2_{21} + Q^2_{22}
 \end{bmatrix}
 =$$

20

$$\left(\begin{bmatrix}
 U^2_{11} & 2U_{11}U_{12} & U^2_{12} \\
 U^2_{21} & 2U_{21}U_{22} & U^2_{22} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{F1} & 2U_{F1}U_{F2} & U^2_{F2} \\
 U^2_{1+F,1} & 2U_{1+F,1}U_{1+F,2} & U^2_{1+F,2} \\
 U^2_{2+F,1} & 2U_{2+F,1}U_{2+F,2} & U^2_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{2F,1} & 2U_{2F,1}U_{2F,2} & U^2_{2F,2} \\
 U_{11}U_{1+F,1} & U_{11}U_{1+F,2} + U_{12}U_{1+F,1} & U_{12}U_{1+F,2} \\
 U_{21}U_{2+F,1} & U_{21}U_{2+F,2} + U_{22}U_{2+F,1} & U_{22}U_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U_{F,1}U_{2F,1} & U_{F,1}U_{2F,2} + U_{F2}U_{2F,1} & U_{F2}U_{2F,2}
 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}
 U^2_{11} & 2U_{11}U_{12} & U^2_{12} \\
 U^2_{21} & 2U_{21}U_{22} & U^2_{22} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{F1} & 2U_{F1}U_{F2} & U^2_{F2} \\
 U^2_{1+F,1} & 2U_{1+F,1}U_{1+F,2} & U^2_{1+F,2} \\
 U^2_{2+F,1} & 2U_{2+F,1}U_{2+F,2} & U^2_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{2F,1} & 2U_{2F,1}U_{2F,2} & U^2_{2F,2} \\
 U_{11}U_{1+F,1} & U_{11}U_{1+F,2} + U_{12}U_{1+F,1} & U_{12}U_{1+F,2} \\
 U_{21}U_{2+F,1} & U_{21}U_{2+F,2} + U_{22}U_{2+F,1} & U_{22}U_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U_{F,1}U_{2F,1} & U_{F,1}U_{2F,2} + U_{F2}U_{2F,1} & U_{F2}U_{2F,2}
 \end{bmatrix} \right)^{-1}$$

30

$$\times \begin{bmatrix}
 U^2_{11} & 2U_{11}U_{12} & U^2_{12} \\
 U^2_{21} & 2U_{21}U_{22} & U^2_{22} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{F1} & 2U_{F1}U_{F2} & U^2_{F2} \\
 U^2_{1+F,1} & 2U_{1+F,1}U_{1+F,2} & U^2_{1+F,2} \\
 U^2_{2+F,1} & 2U_{2+F,1}U_{2+F,2} & U^2_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U^2_{2F,1} & 2U_{2F,1}U_{2F,2} & U^2_{2F,2} \\
 U_{11}U_{1+F,1} & U_{11}U_{1+F,2} + U_{12}U_{1+F,1} & U_{12}U_{1+F,2} \\
 U_{21}U_{2+F,1} & U_{21}U_{2+F,2} + U_{22}U_{2+F,1} & U_{22}U_{2+F,2} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 U_{F,1}U_{2F,1} & U_{F,1}U_{2F,2} + U_{F2}U_{2F,1} & U_{F2}U_{2F,2}
 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix}
 1 \\
 1 \\
 \vdots \\
 1 \\
 1 \\
 1 \\
 \vdots \\
 1 \\
 0 \\
 0 \\
 \vdots \\
 0
 \end{bmatrix}$$

40

... 式(25)

【 0 0 6 1 】

または、式(26)の固有値分解を行い、式(26)の右辺の2番目の行列の固有値の平

50

方根を対角要素とした行列、すなわち、式(28)の右辺の1番目の行列を求める。次に、式(28-1)に示すように固有ベクトルの符号判定を行い、 (q_{ix}, q_{iy}) $i = 1, 2$ を決定し、式(28)により $[Q]$ を求める。

【0062】

次に、変換行列算出部6は、求めた行列 $[Q]$ によって、式(29)により運動行列の変換処理を行い、並びに、式(30)により形状行列変換の処理を行う。これで得られた運動成分 $[M']$ 、並びに、物体形状成分 $[S']$ を出力し、因子分解法処理を終える。

【0063】

【数11】

$$\begin{bmatrix} Q_{11}^2 + Q_{12}^2 & Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} \\ Q_{11}Q_{21} + Q_{12}Q_{22} & Q_{21}^2 + Q_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{1x} & q_{1y} \\ q_{2x} & q_{2y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 & 0 \\ 0 & e_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{1x} & q_{2x} \\ q_{1y} & q_{2y} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(26)} \quad 10$$

$$\begin{bmatrix} q_{1x} & q_{1y} \\ q_{2x} & q_{2y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 & 0 \\ 0 & e_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{1x} & q_{2x} \\ q_{1y} & q_{2y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}^T \quad \dots \text{式(27)}$$

$$\begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{e_1} & 0 \\ 0 & \sqrt{e_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_{1x} & q_{2x} \\ q_{1y} & q_{2y} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(28)}$$

20

$i = 1, 2$

$$\left\{ \begin{array}{l} |q_{ix}| \geq |q_{iy}|, q_{ix} > 0 \text{ のとき } q_{ix} = 1, q_{iy} = 0 \\ \quad \quad \quad q_{ix} < 0 \text{ のとき } q_{ix} = -1, q_{iy} = 0 \\ |q_{ix}| < |q_{iy}|, q_{iy} > 0 \text{ のとき } q_{ix} = 0, q_{iy} = 1 \\ \quad \quad \quad q_{iy} < 0 \text{ のとき } q_{ix} = 0, q_{iy} = -1 \end{array} \right. \quad \dots \text{式(28-1)}$$

30

$$[M'] = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{2F,1} & U_{2F,2} & U_{2F,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(29)}$$

$$[S'] = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} W_{11} & 0 & 0 \\ 0 & W_{22} & 0 \\ 0 & 0 & W_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2P} \\ V_{31} & V_{32} & \dots & V_{3P} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(30)}$$

40

【0064】

図1、図2に戻り、回転運動復元部11は回転成分計算を、平面並進運動復元部10は平面並進成分計算を、並びに空間情報復元分解8は空間情報復元計算を、それぞれ行う。

【0065】

まず、視点運動抽出部9により、全フレームでの回転成分を抽出し、回転運動復元部11により、初期画像での運動成分が式(31)となるように、全フレームにおいて、方位正規化計算をする。

【0066】

【数12】

$$m_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad n_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(31)}$$

$$[M'] = \begin{bmatrix} U'_{11} & U'_{12} & U'_{13} \\ U'_{21} & U'_{22} & U'_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U'_{2F,1} & U'_{2F,2} & U'_{2F,3} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(32)}$$

10

【 0 0 6 7 】

すなわち、まず、式(29)で求めた行列[M]について、式(32)の運動成分とし、初期フレームでの行ベクトルを、式(33)のように取り出す。次に、このベクトルに直交するベクトル k_1 を式(34)のように生成し、これらベクトルを要素とする行列[N]を生成する。この行列を使って、式(36)のように変換をすることで、方位正規化計算を行い、行列[M]を得る。

【 0 0 6 8 】

$$i_1^T = [U'_{11} \quad U'_{12} \quad 0] \quad \dots \text{式(33(その1))}$$

$$j_1^T = [U'_{1+F,1} \quad U'_{1+F,2} \quad 0] \quad \dots \text{式(33(その2))}$$

$$k_1^T = [0 \quad 0 \quad 1] \quad \dots \text{式(34)}$$

20

【 0 0 6 9 】

【数 1 3】

$$[N] = \begin{bmatrix} U'_{11} & U'_{12} & 0 \\ U'_{1+F,1} & U'_{1+F,2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(35)}$$

$$[M] = [M'] [N]^{-1} = \begin{bmatrix} U'_{11} & U'_{12} & U'_{13} \\ U'_{21} & U'_{22} & U'_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ U'_{2F,1} & U'_{2F,2} & U'_{2F,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U'_{11} & U'_{12} & 0 \\ U'_{1+F,1} & U'_{1+F,2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \quad \dots \text{式(36)}$$

30

【 0 0 7 0 】

次に、回転運動復元部11は、各フレームに対して、式(37)、または、式(38)を使って方位回転 θ_i を計算する。

【 0 0 7 1 】

【数 1 4】

$$\theta_i = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{\|U'_{i1}\|}{\sqrt{(U'_{i1})^2 + (U'_{i2})^2}}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{\|U'_{i2}\|}{\sqrt{(U'_{i1})^2 + (U'_{i2})^2}}\right)}{2} \quad \dots \text{式(37)}$$

$$\theta_i = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{\|U'_{i1}\|}{\sqrt{(U'_{i1})^2 + (U'_{i2})^2}}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{\|U'_{i2}\|}{\sqrt{(U'_{i1})^2 + (U'_{i2})^2}}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{\| -U'_{i+F,1} \|}{\sqrt{(U'_{i+F,1})^2 + (U'_{i+F,2})^2}}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{\|U'_{i+F,2}\|}{\sqrt{(U'_{i+F,1})^2 + (U'_{i+F,2})^2}}\right)}{4} \quad \dots \text{式(38)}$$

【 0 0 7 2 】

一方、図 4 では、物体形状抽出部 7 により並進成分を抽出して、平面並進運動復元部 10 により、各フレームでの成分から、平面運動としての並進成分を計算する。ここでは、式 (13) の第 3 列目の要素を抽出し、各フレームに対して、式 (39) に従って、平面運動での並進成分 ($T^{(i)}_x$, $T^{(i)}_y$) を復元する。

【 0 0 7 3 】

【 数 1 5 】

$$\begin{bmatrix} T^{(i)}_x \\ T^{(i)}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_i) & \sin(-\theta_i) \\ -\sin(-\theta_i) & \cos(-\theta_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{ix} \\ T_{iy} \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(39)}$$

【 0 0 7 4 】

これで、図 4 の回転成分計算、および並進運動計算を終了する。

【 0 0 7 5 】

続いて、図 1、図 2 に戻り、空間情報復元部 8 による空間情報復元処理を行う。ここでの空間情報復元処理では、式 (30) の行列要素が、式 (40) であるとする、式 (41) に従って、外界の物体形状、または、構造に関する空間情報を表現する 3 次元座標値が復元できる。

【 0 0 7 6 】

以上、本発明の実施形態例により、全方位映像の特徴点の時間的動きから、全方位カメラ視点の運動、すなわち、方位運動と X Y 平面での並進運動、並びに、外界の物体の形状、または構造の空間情報、すなわち、3 次元座標値を復元することができる。

【 0 0 7 7 】

【 数 1 6 】

10

20

30

$$[S'] = \begin{bmatrix} S'_{1x} & S'_{1y} & S'_{1z} \\ S'_{2x} & S'_{2y} & S'_{2z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S'_{ix} & S'_{iy} & S'_{iz} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S'_{Fx} & S'_{Fy} & S'_{Fz} \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式(40)}$$

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{S'_{1x}}{S'_{1z}} & \frac{S'_{1y}}{S'_{1z}} & 1 \\ \frac{S'_{2x}}{S'_{2z}} & \frac{S'_{2y}}{S'_{2z}} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{S'_{ix}}{S'_{iz}} & \frac{S'_{iy}}{S'_{iz}} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{S'_{Fx}}{S'_{Fz}} & \frac{S'_{Fy}}{S'_{Fz}} & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots \text{式(41)}$$

【 0 0 7 8 】

なお、本発明では、全方位光学系において、式(2)に示す光軸からの入射角に比例した光学射影の場合、時系列の全方位画像上の特徴点座標値について、原点と設定した位置から、式(2)の全方位射影式を使って仰角の ϕ_{ij} と位相 ρ_{ij} を求め、式(5(その1))と式(5(その2))で表現する座標系へ幾何変換し、この座標平面上での特徴点座標値の計測行列[A]から行列分解を行うようにしても良いし、式(42)に示す光軸からの入射角の半角の正弦に比例した光学射影の場合、時系列の全方位画像上の特徴点座標値について、原点と設定した位置から、式(42)の全方位射影式を使って仰角の ϕ_{ij} と位相 ρ_{ij} を求め、式(5(その1))と式(5(その2))で表現する座標系へ幾何変換し、この座標平面上での特徴点座標値の計測行列[A]から行列分解を行うようにしても良いし、式(43)に示す光軸からの入射角の半角の正接に比例した光学射影の場合、時系列の全方位画像上の特徴点座標値について、原点と設定した位置から、式(43)の全方位射影式を使って仰角の ϕ_{ij} と位相 ρ_{ij} を求め、式(5(その1))と式(5(その2))で表現する座標系へ幾何変換し、この座標平面上での特徴点座標値の計測行列[A]から行列分解を行うようにしても良い。

【 0 0 7 9 】

【 数 1 7 】

$$Q\sqrt{(x_{ij}-C_x)^2+(y_{ij}-C_y)^2} = 2f \sin\left(\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2}-\phi_{ij}\right)\right) \quad \cdots \text{式(42)}$$

$$\phi_{ij} = \frac{\pi}{2} - 2 \sin^{-1}\left(\frac{Q}{2f} \sqrt{(x_{ij}-C_x)^2+(y_{ij}-C_y)^2}\right)$$

$$Q\sqrt{(x_{ij}-C_x)^2+(y_{ij}-C_y)^2} = 2f \tan\left(\frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2}-\phi_{ij}\right)\right) \quad \cdots \text{式(43)}$$

$$\phi_{ij} = \frac{\pi}{2} - 2 \tan^{-1}\left(\frac{Q}{2f} \sqrt{(x_{ij}-C_x)^2+(y_{ij}-C_y)^2}\right)$$

【 0 0 8 0 】

なお、図1で示した装置における各部の一部もしくは全部の機能をコンピュータのプログラムで構成し、そのプログラムをコンピュータを用いて実行して本発明を実現することができること、あるいは、図2～図4で示した処理の手順をコンピュータのプログラムで構

10

20

30

40

50

成し、そのプログラムをコンピュータに実行させることができることは言うまでもなく、コンピュータでその機能を実現するためのプログラム、あるいは、コンピュータにその処理の手順を実行させるためのプログラムを、そのコンピュータが読み取り可能な記録媒体、例えば、FD（フロッピーディスク（登録商標））や、MO、ROM、メモリカード、CD、DVD、リムーバブルディスクなどに記録して、保存したり、配布したりすることが可能である。また、上記のプログラムをインターネットや電子メールなど、ネットワークを通して提供することも可能である。

【 0 0 8 1 】

【 発明の効果 】

本発明によれば、全方位カメラを使って取得した時系列画像全般（移動手段を利用して撮影した車載映像、海上映像、空撮映像、屋内映像など）から、対象物に関する物体形状等の空間情報を高精度に獲得、復元することが可能となる。また、これまでの測量技術並の高精度な3次元立体視が可能となる。さらに、全方位カメラ視点のカメラ光軸周りの回転、並びに、XY平面運動からなる方位運動を正確に復元することが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の基本的な実施形態例を示す構成図である。

【 図 2 】 本実施形態例での処理フローを説明する図である。

【 図 3 】 本実施形態例での因子分解法処理フローを説明する図である。

【 図 4 】 本実施形態例でのカメラ視点の回転運動、及び並進運動の復元を説明する図である。

【 図 5 】 全方位画像面の座標値を説明する図である。

【 図 6 】 XY平面でのカメラパラメータを説明する図である。

【 図 7 】 垂直平面とYZ平面、光学系の関係を説明する図である。

【 図 8 】 等距離射影を説明する図である。

【 符号の説明 】

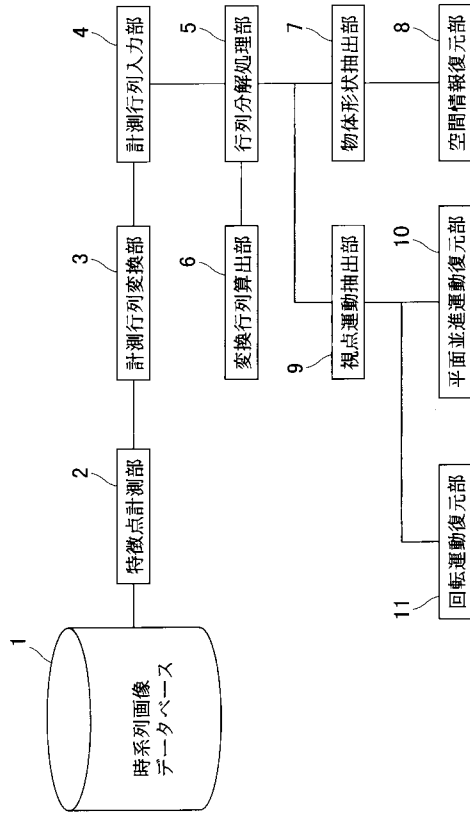
- 1 ... 時系列画像データベース
- 2 ... 特徴点計測部
- 3 ... 計測行列変換部
- 4 ... 計測行列入力部
- 5 ... 行列分解処理部
- 6 ... 変換行列算出部
- 7 ... 物体形状抽出部
- 8 ... 空間情報復元部
- 9 ... 視点運動抽出部
- 10 ... 平面並進運動復元部
- 11 ... 回転運動復元部

10

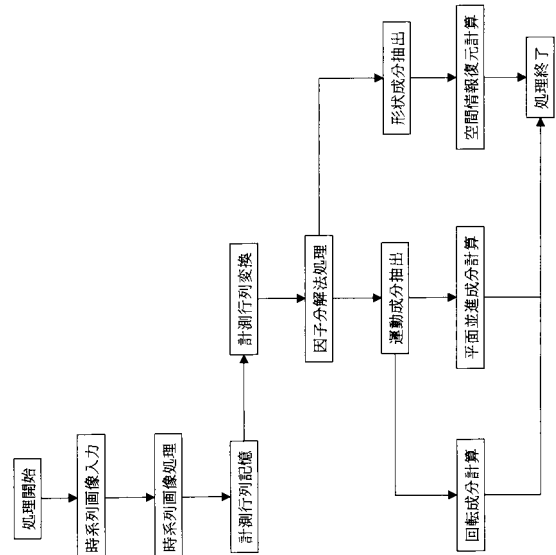
20

30

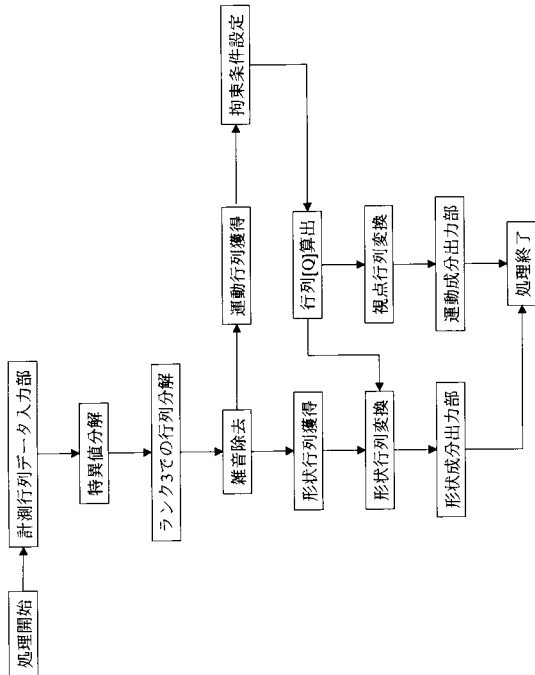
【図 1】



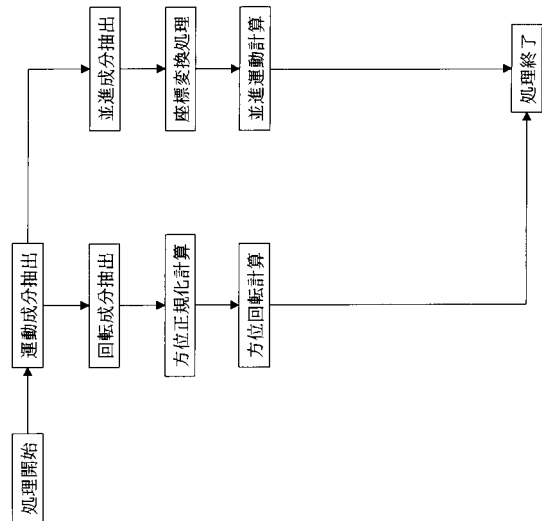
【図 2】



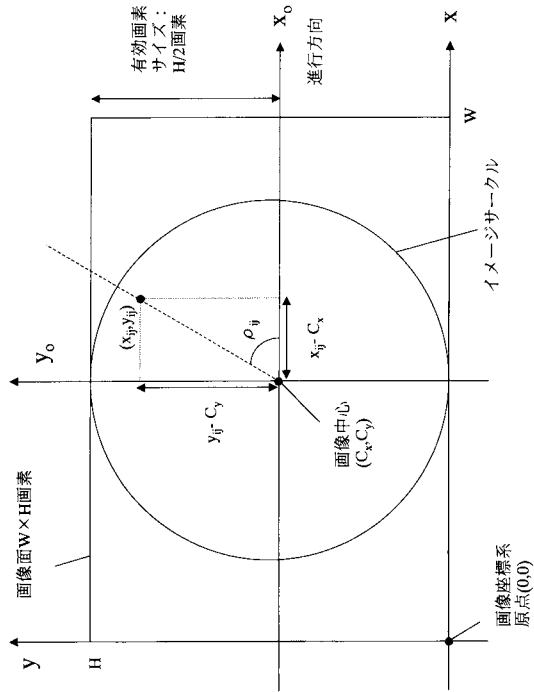
【図 3】



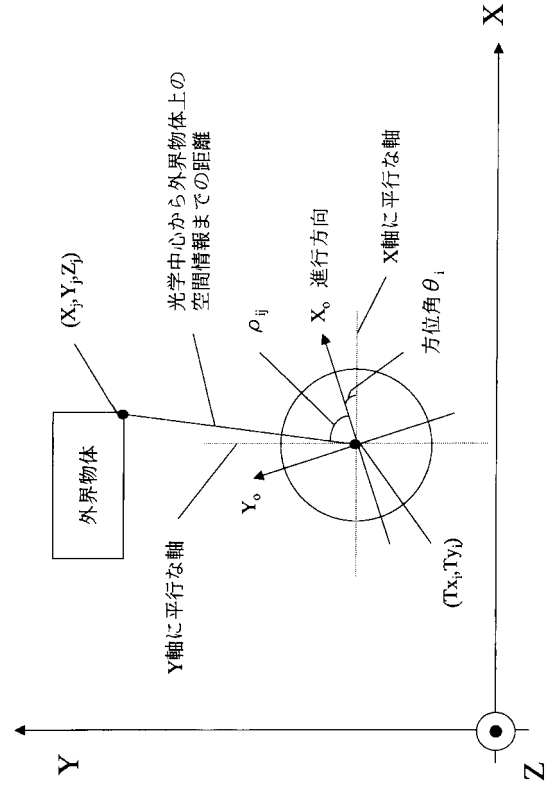
【図 4】



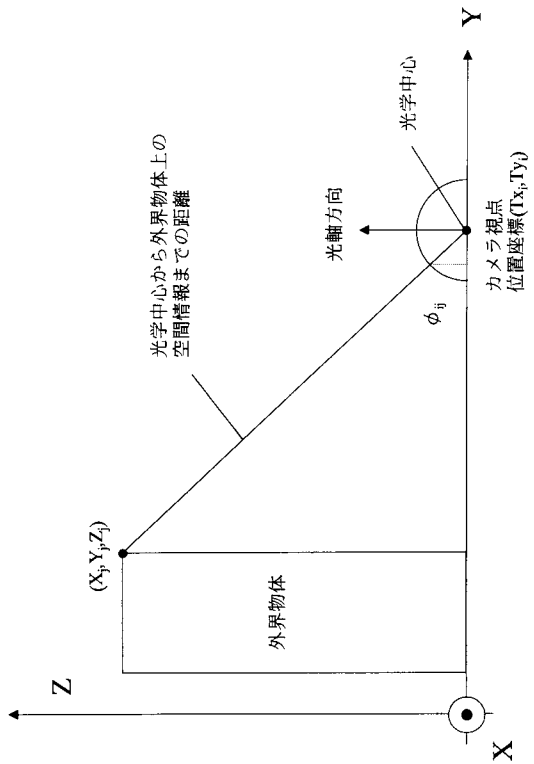
【図 5】



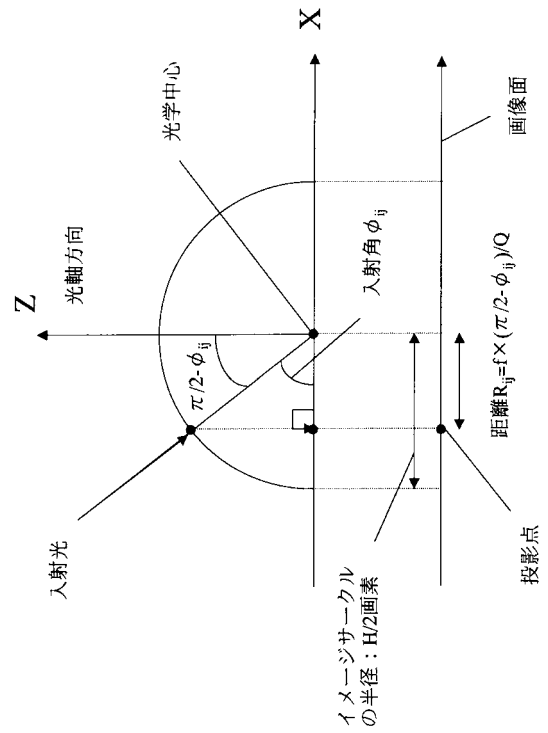
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

- (72)発明者 若林 佳織
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 有川 知彦
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 岡本 俊威

- (56)参考文献 特開2000-067216(JP,A)
特開2002-064812(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06T 1/00
H04N 7/18