

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3465047号
(P3465047)

(45) 発行日 平成15年11月10日 (2003. 11. 10)

(24) 登録日 平成15年 8 月29日 (2003. 8. 29)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 1 C 11/06

G 0 1 C 11/06

G 0 1 B 11/24

G 0 1 B 11/24

N

11/245

K

請求項の数 4 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-349033(P2000-349033)
(22) 出願日 平成12年11月16日(2000. 11. 16)
(65) 公開番号 特開2002-156227(P2002-156227A)
(43) 公開日 平成14年 5 月31日(2002. 5. 31)
審査請求日 平成12年11月16日(2000. 11. 16)

(73) 特許権者 501137577
独立行政法人航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
(72) 発明者 五味 広美
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
科学技術庁航空宇宙技術研究所内
(72) 発明者 佐々 修一
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
科学技術庁航空宇宙技術研究所内
(72) 発明者 山本 浩通
東京都調布市深大寺東町7丁目44番地1
科学技術庁航空宇宙技術研究所内
(74) 代理人 100110515
弁理士 山田 益男 (外2名)
審査官 福田 裕司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定間隔に設置した左右のカメラを地表に向けて撮影した二枚の画像から地表の起伏を測定する立体視システムであって、一方のカメラの画像を基準として他方のカメラの画像を重ねたとき最も相関関係が高くなるように他方のカメラの画像を y 軸方向と x 軸方向に平行移動させた上で z 軸方向に回転させてカメラの位置と姿勢のズレに基く補正量を検知し、該補正量を補正した他方のカメラの補正画像と前記一方のカメラの画像と組み合わせて立体視測定を実行する垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システム。ただし、このカメラ座標系は一方のカメラのレンズの中心に原点を取り、垂直降下方向に z 軸、他方のカメラのレンズ中心を通る様に x 軸を、そしてその x 軸と z 軸に直交する方向に y 軸を取るものとする。

【請求項2】 他方のカメラの画像を y 軸方向と x 軸方向に平行移動させた補正量と、 z 軸方向に回転させた補正量が、所定値を越えているときは当該システムの信頼性が低いことを警報する手段を備えた請求項1に記載の垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システム。

【請求項3】 他方のカメラの画像を y 軸方向と x 軸方向に平行移動させ、 z 軸方向に回転させたカメラの位置と姿勢のズレ補正画像は、該カメラに備えた x , y , z 軸方向の回転機構を駆動して撮影したものである請求項1または2に記載の垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システム。

【請求項4】 他方のカメラの画像を y 軸方向と x 軸方向に平行移動させ、 z 軸方向に回転させたカメラの位置と姿勢のズレ補正画像は、他方のカメラの原画像を座標変換して得たものである請求項1または2に記載の垂直

降下時に平坦区域を検出する立体視システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、宇宙探査機等に搭載する着陸に際して平坦区域を検出する立体視システムに関するものであって、特に立体視システムのカメラ取り付けの位置と姿勢のズレを自己診断し、測定の信頼性を確認できる機能を備えた平坦区域を検出する立体視システムに関する。

【0002】

【従来の技術】未踏の地に着陸する為には、着陸候補地域の地面起伏地図を作製し、その地面起伏地図から平坦な区域を探し出さなければならない。地面起伏地図を作成する方法としては、着陸機に搭載した立体視システムにより地面までの距離を測定する方法が考えられる。地面の起伏は立体視システムのカメラから地面までの距離に較べて小さいので、距離を非常に正確に測定しなければならない。立体視により正確に距離を測定するには、カメラ間距離を広げ、長焦点距離のレンズや高解像度のカメラを使い、カメラ取り付けの位置と姿勢を正確に維持することが必要である。しかし、立体視を実際に適用しようとする、エンジンによる振動、太陽光線による熱変形などによりカメラの位置と姿勢が変化し、正確な距離測定が困難である。この立体視システムのカメラの光軸のズレを調整する技術として、特開平11-259632号公報が提示されている。この技術「ステレオカメラの調整装置」は、ステレオカメラの経時的な光軸のズレを、測距精度に及ぼす影響が無視できる早期の段階から実稼働状態のまま自動的に調整することを目的課題とし、具体的には補正演算部で、メインカメラの基準画像に対し、遠方に2カ所、近方に1カ所の計3カ所の領域を選定し、各領域位置に距離データを加算して対応する領域が存在する範囲をサブカメラの比較画像に定め、この範囲内を探索して1画素以下の分解能で領域の位置を求める。そして、遠方の一方の領域を基準として、各領域の位置の対応関係から比較画像の並進補正量、回転角を求めてアフィン変換回路の既値に加え、比較画像の平行移動、回転を行った後、さらに、メインカメラの水平ラインをステレオカメラの基線に平行にする回転角を求めてアフィン変換回路の既値に加え、基準画像を回転させる。これにより、一般的な風景を撮像してステレオ画像処理を行う通常の動作をさせながらステレオカメラの光軸のズレを自動調整するものである。この技術は稼働状態のまま自動的にカメラの位置と姿勢のズレを補正する装置を提案しているものの、特開平11-259632号公報の方法は遠景と近景が混在する外界画像を対象としたものであるため、立体視の適応分野を異にし近景画像が存在しない本発明のような垂直降下時の着陸支援システム適応することは出来ない。また、垂直降下時に平坦区域が着陸に適するかを判断する為には、カメラ

の位置と姿勢のズレを検出し補正するアルゴリズムの信頼性判定と高速処理が必要であるところ、上記技術は比較的時間の長い経時的な位置変化を補正するのに適しているが、短い経時的な位置変化である振動や熱変形誤差等をリアルタイムで処理しこれに対応するには不向きである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、宇宙探査機等に搭載する着陸に適して平坦区域を検出する立体視システムにおいて、測定作動中に振動、熱変形などによるカメラの位置と姿勢のズレを自己診断し、測定の信頼性を確認できる機能を備えた平坦区域を検出する立体視システムを提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システムは、所定間隔に設置した左右のカメラを地表に向けて撮影した二枚の画像から地表の起伏を測定する立体視システムであって、一方のカメラの画像を基準として他方のカメラの画像を重ねたとき最も相関関係が高くなるように他方のカメラの画像をy軸方向とx軸方向に平行移動させた上でz軸方向に回転させてカメラの位置と姿勢のズレに基く補正量を検知し、該補正量を補正した他方のカメラの補正画像と前記一方のカメラの画像と組み合わせる立体視測定を実行する。また、他方のカメラの画像をy軸方向とx軸方向に平行移動させた補正量と、z軸方向に回転させた補正量が、所定値を越えているときは当該システムの信頼性が低いことを警報する手段を備えている。

【0005】

【発明の実施の形態】本発明に係る立体視システムのカメラ位置補正の原理を図1を用いて説明する。宇宙探査機に取りつけられた立体視システムの一方向のカメラ（いまこれを左カメラとする）のレンズの中心にカメラ座標の原点を取り、垂直降下方向にz軸、もう1台のカメラ（これを右カメラとする）のレンズ中心を通る様にx軸を、そしてそのx軸とz軸に直交する方向にy軸を取る。初期設定では左右のカメラ光軸はz軸に平行であるものとする。この設定で宇宙探査機が上空にある時、対象の地面は画像面にほぼ平行で、地面起伏はカメラから地面までの距離に較べて小さいので、左右画像の視差は画像全体でほぼ一定である。この左右画像を単純に図2の様に重ねた場合、左カメラで撮影した同じ地点、例えば図1のP点の画像は右カメラの画像では左側に位置して撮影される。左右の対応する移動距離 $L_1 R_1$ 、 $L_2 R_2$ 、 $L_3 R_3$ はほぼ等しく、その大きさdは視差と呼ばれ、次式で計算される。

$$d = f \cdot D / Z \quad (1)$$

ただし、fはレンズ焦点距離、Dは左右カメラ間距離、Zはカメラから地面までの距離とする。図2において、右カメラの画像を右に視差dだけずらすことにより左右

画像はほぼ重なる。これが垂直降下時に得られる垂直方向外界画像の特徴である。

【0006】ところで、宇宙探査機において実際に観察画像を撮影するとなると打上時、着陸時のエンジンによる振動や太陽光線による熱変形など過酷な環境状況により、カメラの取り付け状態すなわち位置・姿勢が初期設定から変動を生じてしまうことが多い。初期設定から左右のカメラとも同じような条件で変動することになるが、ここでは一方の左カメラを基準として右カメラの相対的な位置が(x , y , z)、姿勢が(θ_x , θ_y , θ_z)ずれた場合を考える。原理上は z のカメラの位置ズレにより地表画像の拡大率が変動するのである

$$\begin{aligned} \text{x軸方向の移動} &= \text{対象までの距離に応じたx軸方向の移動(視差)} \\ &+ \text{xによる移動} \\ &+ \text{y軸周りの回転による移動} \\ &+ \text{z軸周りの回転によるx軸方向の移動} \end{aligned} \quad (2)$$

次にy軸方向の移動を考える。左右のカメラはy軸方向には位置の差はなく設置されているので、yによる移動分にx軸周りの回転による移動分とz軸周りの回

$$\begin{aligned} \text{y軸方向の移動} &= \text{yによる移動} \\ &+ \text{x軸周りの回転による移動} \\ &+ \text{z軸周りの回転によるy軸方向の移動} \end{aligned} \quad (3)$$

【0007】着陸を試みるような地点の地形はその前提として平坦であることから、その地面の起伏はカメラから地面までの距離に較べて十分小さくなるので、地面の起伏による移動の差は小さくなりほとんど無視出来る。本立体視システムでは長い焦点距離のレンズが使われるため視野角が狭くなっているため、y軸周りの回転による変動は画像全体に均一なx軸方向の移動が生じることになる。同様に、x軸周りの回転による変動は画像全体にほぼ均一なy軸方向の移動が生じることになる。これらのことから、z軸周りの回転による移動

$$\begin{aligned} \text{画像全体の平均[x軸方向の移動]} &= \\ &\text{対象までの距離に応じた移動(視差)} \\ &+ \text{xによる移動} \\ &+ \text{y軸周りの回転による移動} \end{aligned} \quad (2')$$

$$\begin{aligned} \text{画像全体の平均[y軸方向の移動]} &= \\ &\text{yによる移動} \\ &+ \text{x軸周りの回転による移動} \end{aligned} \quad (3')$$

【0009】以上の事実と理論を踏まえ、本発明は以下のような目的の立体視システムを構成する。カメラの位置と姿勢のズレに起因する画像移動は区別出来ないため、カメラを3軸方向に回転させ姿勢を変更することにより位置ズレによる平行移動分をも補正するようにした。

① いずれか一方のカメラ(ここでは左カメラとする)

が、この変化分 z はカメラから地面までの距離に対して十分に小さいので、 z による画像移動は事実上無視出来る。残り5つの位置・姿勢ズレと地面までの距離に応じた視差により左画像に対して右画像は相対的に移動する。まずx軸方向の移動について考える。左右のカメラはx軸方向に距離Dだけ離して設置されているので、対象までの距離に応じたx軸方向の移動(視差)分の差があることは当然として、その他に x による移動分がそのまま加わるだけでなくy軸周りの回転による移動分とz軸周りの回転によるx軸方向の移動分とが加わることになる。これをまとめると次の式で表される。

転によるy軸方向の移動が加わることになる。これを式で表すと次のようになる。

以外の移動は画面全体にほぼ均一な平行移動の関係となる。

【0008】z軸周りの回転により画像中心周りに回転移動が生じるが、この回転移動に基くx軸成分とy軸成分はそれぞれ画像全体で平均するとほぼ0になる。また、先に述べたように本発明の本立体視システムの視野角は狭いので、z軸周りの回転による移動はy軸周りの回転とx軸周りの回転による移動に較べて小さい。したがって、左右画像間の移動を画像全体で平均すると、次の様になる。

を基準とし、他方のカメラ(右カメラ)に3軸の(θ_x , θ_y , θ_z)回転機構を取り付ける。初期状態において左右のカメラで地上面を撮影したときに、左画像では特定3地点が図3に実線で結んだL₁L₂L₃であり、右画像では同じ3地点が実線で結んだR₁R₂R₃であったとする。

② 右カメラをy軸周りに回転させてx軸方向に画面

を平行移動させ、またx軸周りに回転することによりy軸方向に画面を平行移動させ、左右画像の重なり具合のよい(相関関係の高い)位置を特定する。画面の平行移動を位置ズレと姿勢のズレによる影響分に分けることは出来ないが、高々度から着陸地点の平坦度を検出する立体視システムでは位置のズレによる画像の移動は姿勢のズレによる画像の移動に較べて小さくなる。なお、このとき、x軸方向移動分にはズレ分の他に対象までの距離に応じた移動(視差)分dも含まれている。

③ 次に右カメラをz軸周りに回転することにより撮影される右画像を回転させ、左右画像の重なり具合のよい(相関関係の高い)角度を特定する。

④ ③の回転調整は②の結果に影響を与えるので②と③とを何度か繰り返して基準とした左画像に対して相関関係の高い右画像を得る。この調整後の右画像における前記特定点の位置が破線で結んだ $R'1R'2R'3$ である。ただし、この $R'1R'2R'3$ は $L1L2L3$ とほとんど重なり判別し難いので、図3では便宜上x軸方向の画像移動量 $E[m_x]$ の内の視差相当分だけx軸上で戻した形で表示してある。すなわちこの $R'1R'2R'3$ が右カメラの原画像3地点 $R1R2R3$ の位置をカメラのズレによる誤差だけ修正したものである。ここで図3に示すような右原画像を左画像に高い相関度で合わせたときのx軸方向の画像移動量 $E[m_x]$ とy軸方向の画像移動量 $E[m_y]$ と、z軸回転量を求める。

⑤ 求めた $E[m_x]$ 、 $E[m_y]$ 、の値の大きさからカメラの位置と姿勢のズレの大きさを求めることができる。したがって、これらの値をモニターすることにより、カメラの位置と姿勢の健全度を診断することが可能である。

⑥ 健全度を診断する基準となる本発明の適応限界(閾値)は、使用時のカメラの位置と姿勢のズレの大きさを構造解析と熱環境試験などから求めて、本発明の方法で補正を実行し計測した場合の精度を地上試験で確認することにより予め求めておく。②と③との作業で求めた $E[m_x]$ 、 $E[m_y]$ 、が適応限界を超えた場合は警報を出すようにする。その場合には、本システムによる測定の信頼性が低いので、他の手段による計測データがあればそちらの優先度を高くするなどの対応が可能となる。

⑦ この様にして得られた右画像を採用し、通常の立体視システムのように左右画像間で視差を求めることにより、地面の平均的な高さからの相対的な地面起伏を求め、平坦区域を探し出す。この方法は図4に示すようにヒトが左右の目を輻射して対象上に視線を交差させ対象を見ることと等価であり、前記した式(1) $d = f \cdot D / Z$ の関係に基づき、画像上の各地点についての相対的なZ'値を求めることができる。以上が本発明に係る自己調整機能を備えた垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システムの基本的思想であるが、電波高度計、レーザ

距離計などによりカメラから地面までの高度zを求めることにより、絶対的な地面起伏を求めることができる。また、カメラの姿勢を他の方法で求めることが出来れば、垂直降下以外の場合の適用に拡大が可能となる。

【0010】カメラの位置と姿勢のズレが小さい場合は上記したような機械的な調整機構を使用しないでソフト的手法(座標変換による画像移動での近似)によってもズレの大きさを求め、平坦度の測定を行うことが出来る。その手法は次のとおりである。

① 左右画像全体から左右画像間の相対的移動量を求めるために、まず左右のカメラからの画像情報を取り込む。

② 右画像をx軸方向とy軸方向にソフト的に平行移動量し、左右画像全体の画像の重なり具合のよい値、 $E[m_x]$ 、 $E[m_y]$ を求める。

③ ②で求めた平均値を座標上で引いて移動量を補正した右画像にz軸回転をさせながら左右画像全体の画像の重なり具合のよい値、角度を求める。

④ ③の調整は②の結果に影響するので必要に応じて、②と③を繰り返し、相関度の高い補正画像を得て、図3に示すようなx軸方向の画像移動量 $E[m_x]$ とy軸方向の画像移動量 $E[m_y]$ と、z軸回転量を求める。

⑤、⑥、⑦は先の機械的手法の⑤、⑥、⑦と同じである。

【0011】

【実施例1】左側のカメラ1を機体に直接固定する。右側のカメラ2はx、y、z三軸の回転駆動用のサーボモータ3を介して機体に取り付ける。該カメラ1、2はCCD等の撮像素子を備えデジタル情報を入力するカメラを用い、左右のカメラの撮影画像は逐次それぞれの画像メモリ4(4L,4R)に蓄積される。このシステムはコンピュータ6を備え、該コンピュータ6は右側のカメラ2のx、y、z三軸の回転サーボモータ3に回転データ(, ,)を出力する機能と前記画像メモリ4に蓄積された左右画像をワークエリアに読み込むと共に、両画像の画素毎の比較(差)演算をして全画素についての相関データを記憶し、右カメラの回転位置に対応した複数画像についての該相関データの内最小値を特定する機能を有している。また、このコンピュータ6は左右画像の視差情報から画像上の各地点の高さ情報を算出する機能をも備えている。また、必要に応じて地上基地に画像をモニターするディスプレイ5と適宜の指令を送る入力操作部7を通信手段を介して遠隔接続する。

【0012】以上の構成を有した立体視システムにおいて、コンピュータ6内のROMに格納されたプログラムに従い、まず左右のカメラ1、2から撮影した画像を画像メモリ4に取り込み、さらに前記画像メモリ4に蓄積された左右画像をコンピュータ6のワークエリアに読み込むと共に、両画像の画素毎の比較(差)演算をして全

画素についての該演算結果の積算値をRAMに記憶する。続いてプログラムに従い、y軸周りに θ だけy軸回転サーボモータを駆動して撮影し先と同様の動作で、積算値を算出する。以下順次y軸周りに θ だけy軸回転サーボモータを駆動して積算値を算出し最も積算値の低かった画像を相関の高い画像として特定する。この動作は所謂山のぼり制御と呼ばれて最大値(最小値)を得る手法として慣用されるものである。プログラムは続いてx軸周りに θ づつ回転させて最も積算値の低かった画像をx軸周りに相関の高い画像として特定し、引き続きz軸回りに θ づつ回転させて最も積算値の低かった画像をz軸周りに相関の高い画像として特定する。この動作を収斂するまで繰り返す。収斂した画像においてx軸方向の画像移動量 $E[m_x]$ とy軸方向の画像移動量 $E[m_y]$ と、z軸回転量をコンピュータ上の演算で求める。もし、これらの値が事前に設定した閾値を越えるときは、ディスプレイ5上に表示すると共にブザーやランプで警報を発する。その場合には他の計測手段によるデータの優先度を高くするようにプログラムによるか地上基地からの指令を発信して対応する。設定した閾値内であればこの画像を採用しコンピュータ6によって視差に基く各地点の高さを演算し総合して着陸地点を検出する。

【0013】

【実施例2】次に機械的な調整機構を有していない本発明の簡便なシステムの例を示す。この例は先の例のサーボ機構3とそれに関する制御機能を有しておらずコンピュータ6内で元画像を座標変換によって平行および回転移動させる機能を持たせてx、y、z軸回転画像に相当する画像をつくり、作動させるものであって、他の構成には大きな差異がないものである。以上の構成を有した立体視システムにおいて、コンピュータ6内のROMに格納されたプログラムに従い、まず左右のカメラ1、2から撮影した画像を画像メモリ4に取り込み、さらに前記画像メモリ4に蓄積された左右画像をコンピュータ6のワークエリアに読み込むと共に、両画像の画素毎の比較(差)演算をして全画素についての該演算結果の積算値をRAMに記憶する。続いてプログラムに従い、カメラ2がy軸周りに θ だけ回転駆動して撮影したのに相当する分x軸方向に変位平行移動させた画像情報をつくり、先と同様の動作で、積算値を算出する。以下順次y軸周りに θ だけ回転駆動して撮影したのに相当する分のx軸方向変位をさせ積算値を算出し最も積算値の低かった画像を相関の高い画像として特定する。プログラムは続いてx軸周りに θ づつ回転させて撮影したのに相当する分y軸方向に変位を平行移動させ最も積算値の低かった画像をx軸周りに相関の高い画像として特定し、引き続きz軸回りに θ づつ回転させて撮影したのに相当する分z軸方向に回転移動させ最も積算値の低かった画像をz軸周りに相関の高い画像として特定す

る。カメラを動かすことなく座標変換によって画像を作りシミュレートするこの動作が先の例と異なるところである。この動作を収斂するまで繰り返し、収斂した画像においてx軸方向の画像移動量 $E[m_x]$ とy軸方向の画像移動量 $E[m_y]$ と、z軸方向の回転量をコンピュータ上の座標演算で求める。もし、この値が事前に設定した閾値を越えるときは、他の計測手段のデータの優先度を高くし、設定した閾値内であればこの画像を採用する点も先の例と同様である。

【0014】

【発明の効果】以上説明した様に本発明によれば、垂直降下時に得られる画像の特徴を利用し、以上説明した様に本発明は所定間隔に設置した左右のカメラを地表に向けて撮影した二枚の画像から地表の起伏を測定する立体視システムであって、一方のカメラの画像を基準として他方のカメラの画像を重ねたとき最も相関度が高くなるように他方のカメラの画像をy軸方向とx軸方向に平行移動させた上でz軸方向に回転させてカメラの位置と姿勢のズレを補正し、得られた他方のカメラの補正画像と前記一方のカメラの画像と組み合わせて立体視測定を実行する垂直降下時に平坦区域を検出する立体視システムであるから、ズレを補正した左右画像から着陸候補地域の地面起伏を正確に検出し、着陸に適した平坦区域を検出することが出来る。また、他方のカメラの画像をy軸方向とx軸方向に平行移動させた補正量と、z軸方向に回転させた補正量が、所定値を越えているときは当該システムの信頼性が低いことを警報する手段を備えるようにしたので、カメラ取り付けの位置と姿勢を使用状態で検証し、補正限界を越えた場合には警報を出して本システムの計測値の信頼性を診断することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の立体視システムの原理を説明する図である。

【図2】左右画像を重ねたときの視差を説明する図である。

【図3】本発明の補正原理を説明する図である。

【図4】地表の起伏を立体視システムによって検出する原理を説明する図である。

【図5】本発明の1実施例を説明する図である。

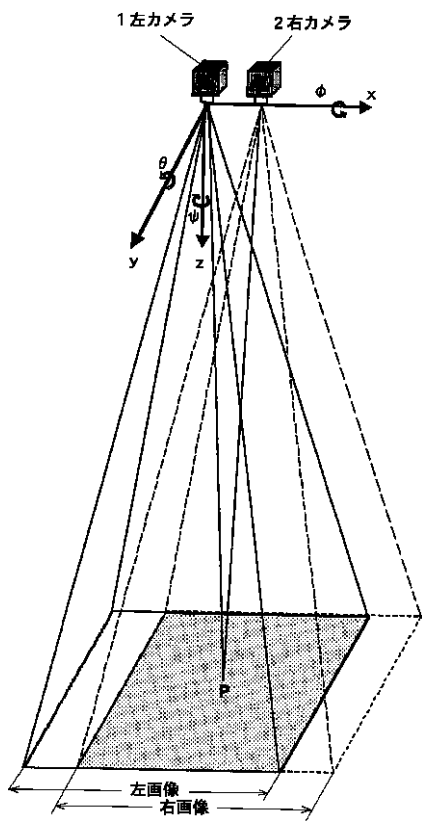
【符号の説明】

1 左カメラ	$L_1 L_2 L_3$	左画像の特定点
2 右カメラ	$R_1 R_2 R_3$	右原画像の特定点
3 三軸サーボモータ	$R'_1 R'_2 R'_3$	右補正画像の特定点
4 (4L, 4R) 画像メモリ	d	視差
5 ディスプレイ	$E[m_x]$	x軸方向の画像移動量
6 コンピュータ	$E[m_y]$	y軸方

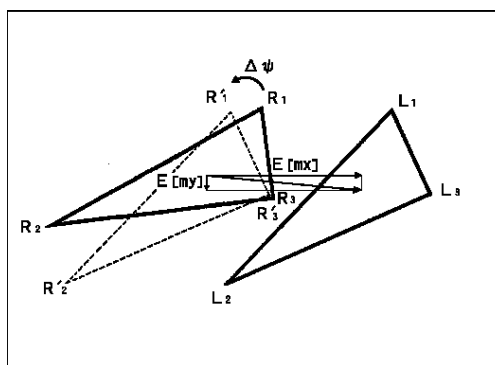
向の画像移動量
7 入力操作部

転量
z 軸方向の回

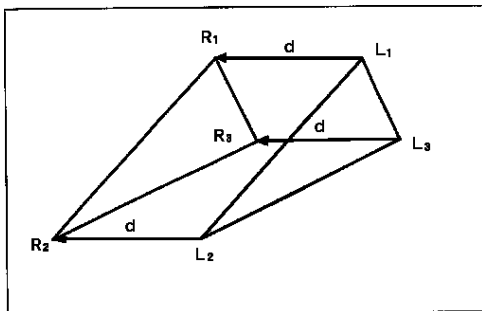
【図1】



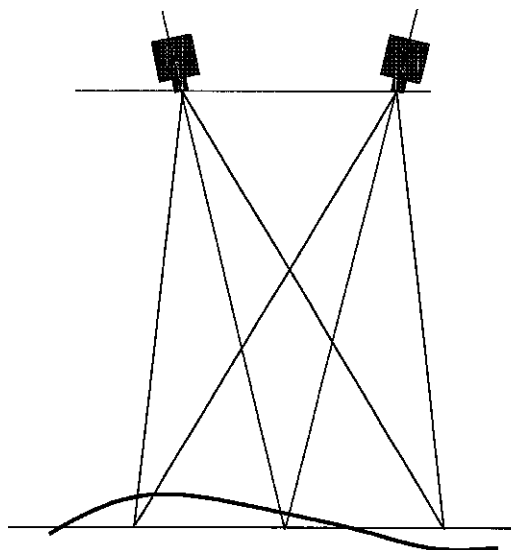
【図3】



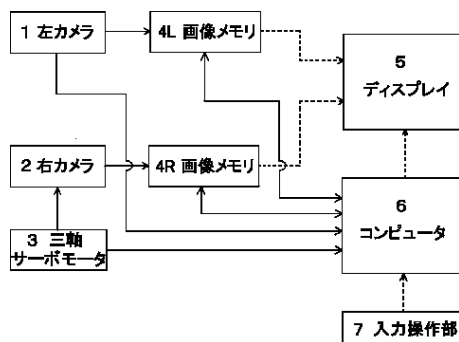
【図2】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 平11 - 259632 (J P , A)
特開 平11 - 259633 (J P , A)
特開 平 9 - 301300 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl.7, D B 名)

G01C 11/00 - 11/06
G01B 11/00
G01C 3/06