

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4847872号  
(P4847872)

(45) 発行日 平成23年12月28日(2011.12.28)

(24) 登録日 平成23年10月21日(2011.10.21)

(51) Int. Cl. F I  
 GO 1 C 15/00 (2006.01) GO 1 C 15/00 1 O 3 A  
 GO 1 C 1/04 (2006.01) GO 1 C 1/04  
 GO 1 C 15/00 1 O 3 Z

請求項の数 27 (全 53 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-544343 (P2006-544343)                  (86) (22) 出願日 平成16年12月16日(2004.12.16)                  (65) 公表番号 特表2007-514943 (P2007-514943A)                  (43) 公表日 平成19年6月7日(2007.6.7)                  (86) 国際出願番号 PCT/EP2004/014365                  (87) 国際公開番号 W02005/059473                  (87) 国際公開日 平成17年6月30日(2005.6.30)                  審査請求日 平成19年11月27日(2007.11.27)                  (31) 優先権主張番号 10359415.9                  (32) 優先日 平成15年12月16日(2003.12.16)                  (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 505093943                  トリンプル イエナ ゲゼルシャフト ミ                  ット ベシュレンクテル ハフツング                  Trimble Jena GmbH                  ドイツ国, 07745 イエナ, カー                  ルツァイス-プロムナード 10                  (74) 代理人 100076185                  弁理士 小橋 正明                  (72) 発明者 ボーゲル, ミカエル                  ドイツ国, 07629 シュライフライ                  ゼン, ドルフストラーセ 29</p> <p>審査官 須中 栄治</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測量器のキャリブレーション

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有する測量器をキャリブレートする方法において、前記カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、前記傾斜軸は前記垂直軸周りの前記カメラの回転と共に前記垂直軸周りに回転され、

キャリブレーション点と、異なる面内において捕獲された前記イメージセンサー上の前記キャリブレーション点のイメージと、に関連するデータが使用され、

前記キャリブレーション点の各々に対するデータは、前記各キャリブレーション点と前記測量器との間の距離を表わす距離データを有しており、且つ前記各キャリブレーション点の前記イメージの各々に対するデータは、前記イメージセンサー上の前記各キャリブレーション点の前記イメージの位置を表わすイメージ位置データと、前記垂直軸周りの前記傾斜軸の水平回転角度及び前記傾斜軸周りの前記カメラの垂直傾斜角度を表わす配向データと、を有しており、

前記キャリブレーション点の各々に対する前記距離データと、前記キャリブレーション点の前記イメージの各々に対する前記イメージ位置及び配向データと、に基づいて、前記測量器を、

前記カメラの少なくとも1個の光学的特性と、

前記垂直軸及び前記傾斜軸の相対的配向、及び前記ベース要素、前記垂直軸及び前記傾斜軸のうちの1つに対する前記カメラの配向、のうちの少なくとも1つと、

10

20

を同時的に考慮に入れてキャリブレートさせる方法。

【請求項 2】

ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有する測量器をキャリブレートする方法において、前記カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、前記傾斜軸は前記垂直軸周りの前記カメラの回転と共に前記垂直軸周りに回転され、

キャリブレーション点のイメージが前記イメージセンサー上異なる位置において且つ2つの面内において発生され、

前記キャリブレーション点の各々に対しては、夫々のキャリブレーション点と前記測量器との間の距離を表わす距離データが、及び前記キャリブレーション点の各イメージに対しては、前記イメージセンサー上の前記キャリブレーション点のイメージの位置を表わす位置データと、前記垂直軸周りの前記傾斜軸の水平回転角度及び前記傾斜軸の前記カメラの垂直傾斜角度を表わす配向データと、が決定され、

前記キャリブレーション点の各々に対する距離データと、前記キャリブレーション点のイメージの各々に対する配向データと、に基づいて、前記測量器を、

前記カメラの少なくとも1個の光学的特性と、

前記垂直軸及び前記傾斜軸の相対的配向、及び前記ベース要素、前記垂直軸及び前記傾斜軸のうちの1つに対する前記カメラの配向、のうちの少なくとも1つと、を同時的に考慮に入れてキャリブレートさせる方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、前記イメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの位置を計算するためにモデルを使用し、前記モデルは調節可能なモデルパラメータを有しており且つ前記キャリブレーション点の前記イメージの各々と関連する距離データ及び配向データを使用し、且つキャリブレーションのために、前記距離データ、位置データ及び配向データを使用して、前記キャリブレーション点及びモデルパラメータの少なくとも方向を推定することにより前記モデルを前記位置データに対して当て嵌める方法。

【請求項 4】

請求項 3 において、前記キャリブレーション点及び前記モデルパラメータの方向の推定のために、最尤推定値が使用される方法。

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 において、前記モデルパラメータのうちの少なくとも1つが前記測量器からの前記キャリブレーション点の距離又は前記キャリブレーション点のイメージを捕獲する場合の前記カメラのフォーカシング状態に依存する方法。

【請求項 6】

請求項 3 乃至 5 のうちのいずれか 1 項において、前記モデルが、前記ベース要素に固定されている器械座標系における座標を前記カメラに固定されているカメラ座標系へ変換させる変換及びキャリブレーション点の位置を前記カメラ座標系における前記イメージセンサー上の位置へマッピングするカメラモデルを有しており、前記変換が調節可能な変換パラメータを有しており且つ前記カメラモデルが調節可能なカメラパラメータを有しており、且つキャリブレーションのために、前記器械座標系におけるキャリブレーション点の座標及び前記変換パラメータ及びカメラパラメータが推定され、従って前記モデルにより計算される如き前記キャリブレーション点のイメージの位置が前記キャリブレーション点のイメージの測定した位置に対して当て嵌められる方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のうちのいずれか 1 項において、前記キャリブレーションが垂直インデックスエラー及びコリメーションエラーのうちの少なくとも1つも考慮に入れて実施される方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のうちのいずれか 1 項において、前記キャリブレーションが、前記傾斜軸、前記ベース要素に固定されている器械座標系のうちの1つと相対的な前記カメラの配

10

20

30

40

50

向を推定することを包含している方法。

【請求項 9】

請求項 3 乃至 6 のうちのいずれか 1 項において、前記カメラモデルが投影中心を有しており、その中に、前記カメラモデルに従って、前記イメージセンサー上に結像された物点からの全ての光線が交差し、且つ少なくとも 1 個のモデルパラメータが前記投影中心の位置に関係している方法。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のうちのいずれか 1 項において、少なくとも 2 個のキャリブレーション点と関連する距離データが異なるものである方法。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のうちのいずれか 1 項において、前記イメージセンサーにより捕獲されるイメージが得られ、前記捕獲されたイメージは前記キャリブレーション点のうちの少なくとも 1 個のイメージを有しており、且つ前記イメージセンサー上のキャリブレーション点のうちの前記少なくとも 1 個の前記イメージの位置が前記イメージにおけるキャリブレーション点のイメージをサーチすることにより決定される方法。

10

【請求項 12】

請求項 2 において、前記測量器に対する前記キャリブレーション点のうちの少なくとも 1 個の距離が光電子距離計測を使用して決定される方法。

【請求項 13】

請求項 2 において、少なくとも 1 個の物点が前記イメージセンサー上に結像されている仮想キャリブレーション点へ結像される方法。

20

【請求項 14】

請求項 13 において、前記仮想キャリブレーション点が、コリメータ及びコリメータ対物レンズと前記コリメータ対物レンズの焦点との間でシフト可能なマークによって発生される方法。

【請求項 15】

請求項 2 において、前記キャリブレーション点のうちの少なくとも 1 個に対して、前記イメージセンサーのイメージの位置が予め定められており、前記キャリブレーション点が前記イメージセンサーの前記所定の位置へ結像されるまで前記垂直軸周りの回転及び前記傾斜軸周りの傾斜のうちの少なくとも 1 つによって前記カメラを前記キャリブレーション点に対して指向させ、且つその結果得られる配向データが読取られる方法。

30

【請求項 16】

請求項 14 において、前記キャリブレーション点のうちの少なくとも 1 つに対して、前記キャリブレーション点のイメージが前記イメージセンサー上に規則的な配置状態で発生される方法。

【請求項 17】

請求項 15 において、前記キャリブレーション点のうちの少なくとも 1 つに対して、前記イメージセンサーの所定の区域をカバーする複数個のセルからなる配置が発生され且つ前記セル内のランダムな位置が前記キャリブレーション点のイメージの位置として使用される方法。

40

【請求項 18】

請求項 2 において、前記キャリブレーション点のうちの少なくとも 1 つに対して、前記カメラを所定の配向状態に指向させ、前記配向状態が水平及び垂直角度又は水平及び垂直角度インクリメントの所定の組み合わせによって定義されており、且つ各配向状態において、前記キャリブレーション点の夫々のイメージに対するイメージ位置データが得られる方法。

【請求項 19】

請求項 18 において、前記イメージ位置データ及び対応する配向データが両方の面に対して得られる方法。

【請求項 20】

50

プロセッサ、前記プロセッサにより実行される場合に請求項 1 に基づく方法を実施するためのコンピュータプログラムが格納されているメモリを有しており、更に、キャリブレーション点及び前記方法において使用されるキャリブレーション点のイメージと関連するデータを読み取るためのインターフェースを有しているデータ処理システム。

【請求項 2 1】

請求項 2 0 において、更に、コリメータの対物レンズと前記コリメータの焦点との間で前記コリメータのマークを移動させるために前記コリメータの駆動部に対するコマンドを出力するための出力インターフェースを有しており、前記コンピュータプログラムが異なる距離において仮想キャリブレーション点を発生するために前記マークを移動させるための命令を有しているデータ処理システム。

10

【請求項 2 2】

請求項 2 0 又は 2 1 において、更に、前記測量器に対して制御コマンドを発行するためのインターフェースを有しており、前記制御器は、ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有しており、前記カメラは前記測量器の前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、前記傾斜軸は前記垂直軸周りの前記カメラの回転と共に前記垂直軸周りに回転され、且つ前記測量器は、制御コマンドにより制御可能であるように前記垂直軸周りの前記カメラの回転及び前記傾斜軸周りの前記カメラの傾斜のための駆動部を有しており、前記コンピュータプログラムは、更に、キャリブレーション点及び前記イメージセンサー上の所定の位置のイメージを発生させるためのプログラムコードを有しているデータ処理システム。

20

【請求項 2 3】

コンピュータ上で稼動される場合に請求項 1 に基づく方法を実施するためのプログラムコードを有しているコンピュータプログラム。

【請求項 2 4】

コンピュータ上で稼動される場合に請求項 1 に基づく方法を実施するためにコンピュータにより読取可能な格納媒体上に格納されているプログラムコードを有しているコンピュータプログラムプロダクト。

【請求項 2 5】

請求項 2 3 に基づくコンピュータプログラム又は請求項 2 4 に基づくコンピュータプログラムプロダクトにおいて、更に、前記測量器に対して制御コマンドを発行することによりキャリブレーション点及び前記イメージセンサー上の所定の位置のイメージを発生するためのプログラムコードを有しているコンピュータプログラム又はコンピュータプログラムプロダクト。

30

【請求項 2 6】

測量器をキャリブレートするシステムにおいて、前記測量器がベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有しており、前記カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、前記傾斜軸は前記垂直軸周りの前記カメラの回転と共に前記垂直軸周りに回転され、本システムが、コリメータ、コリメータ対物レンズと前記コリメータ対物レンズの焦点との間でシフト可能なマーク、前記マークをシフトさせるための駆動部、及び請求項 2 0 に基づくデータ処理システムを有しており、前記データ処理システムにより発生される制御コマンドに応答して前記マークを移動させるために出力インターフェースが前記コリメータの前記駆動部と接続されているシステム。

40

【請求項 2 7】

ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有している測量器において、前記カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、前記傾斜軸は前記垂直軸周りの前記カメラの回転と共に前記垂直軸周りに回転され、本測量器が請求項 1 乃至 1 9 のうちのいずれか 1 項に基づく方法を使用してキャリブレートされる測量器。

【発明の詳細な説明】

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、カメラを有する測量器をキャリブレート（校正）する方法、該方法を実施する手段、及び該方法の使用によりキャリブレートされる測量器に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

測量は、しばしば、例えば地形におけるリフレクター（トリブルリフレクター）又はターゲット等の点の位置又は角度の決定を包含する。これらの角度又は位置は、セオドライト又はタキオメーター等の測量器によって測定することが可能である。

## 【0003】

空間内の位置は、適宜の座標系における座標によって定義することが可能である。例えば、1個の点の位置は、互いに直交している3個の軸を有するカーテシアン座標系に関して定義されるカーテシアン座標によって定義することが可能である。然しながら、位置を測定する場合に、球座標がより適切である。図1に示したように、1個の点の位置は直交座標系の原点に対してのその距離 $d$ 、該座標系の水平軸のうちの1つと該座標系の原点と該点の水平面上への投影とを接続する線及び、最後に、該水平面に直交する座標系軸と該座標系の原点と該点とを接続する線との間の垂直角度によって球座標で定義することが可能である。当該技術においてよく知られているように、カーテシアン座標は球座標へ変換することが可能であり且つその逆も又真である。

## 【0004】

セオドライト又はタキメーター（tachymeter）又はトータルステーションとしても知られているタキオメーター（tachometer）等の測量器は球座標を利用する。図1に概略的に示したように、既知のセオドライト又はタキオメーターは、該セオドライト又はタキオメーターのベース要素3に対して固定されている垂直軸2周りに回転可能な望遠鏡1、及び垂直軸2周りの望遠鏡1の回転と共に回転される傾斜（チルト）軸4を有している。垂直軸2周りの回転角度及び該傾斜即ちチルト軸周りの傾斜即ちチルト角度は、対応する水平円5及び垂直円6から読むことが可能である。

## 【0005】

理想的なセオドライト又はタキオメーターにおいては、傾斜（チルト）軸4は垂直軸2に対して直交しており且つ両方の軸は1個の点において交差する。更に、視準軸（sighting axis）又は視軸（sight axis）とも呼ばれる望遠鏡1の視線7は、傾斜軸4に対して直交しており、更に、傾斜軸4と垂直軸2との交差点を介して走行している。ある点の位置を測定する場合に、理想的には、垂直軸2が完全に垂直であり、即ち、それが重力の方向に向くようにセオドライト又はタキオメーターを配向させる。次いで、垂直軸2に対して直交する面と垂直軸2とによって球座標を定義することが可能であり、その原点は傾斜軸4と垂直軸2の交差点である。水平円5によって、該座標系のうちの1つの軸を定義することが可能であり、それはベース要素3に関して固定されている。上述した角度及びを測定するために、垂直軸2の周りに望遠鏡1を回転させ且つ傾斜軸4の周りに望遠鏡1を傾斜させることによって測定すべき点に対して望遠鏡1の視準軸7を指向させる。角度は水平円から読取ることが可能であり且つ角度は垂直円6から読取ることが可能である。測量器からのその点の距離を知ることにより、そのカーテシアン座標は容易に得ることが可能である。然しながら、実際的には、理想的なセオドライト又はタキオメーターに対する上述した条件は満足されない。むしろ、測定精度は異なるタイプのエラーによって減少される場合がある。該位置のエラーは、垂直軸2のオリエンテーション即ち配向（定位又は標定ともいう）に関するものである。それは地面に対して完全に垂直（鉛直）であるべきであり、即ち、それは重力の方向に沿って向くべきであるが、実際には、そうではない場合がある。このエラーは、測量器自身によって発生されるものではなく、従って、測量器の適切な配向によって回避することが可能であるに過ぎない。第二のエラーとして、視線エラー即ちコリメーションエラーが発生する場合があり、それは視準軸7と傾斜軸4との間の角度の直角からの逸れである（図2A参照）。第

10

20

30

40

50

三のエラーはいわゆるチルト軸即ち傾斜軸エラー（図2B参照）であり、それは傾斜軸と垂直軸との間の角度の直角からの逸れである。最後に、いわゆるハイトインデックス（height-index）エラー $z_0$ が発生する場合があります、それは視準軸と垂直軸との間の真の角度と垂直延長上で読取った対応する角度との間の逸れである（図2C参照）。これら最後の3つのエラーは、測量器のトリランスによって発生される。正確な測定を与えることが可能であるためには、測量器をキャリブレート即ち較正することが必要であり、それは水平円及び垂直円上で読取った角度の間の関係であり、且つ対応する真の角度が確立されねばならない。

【0006】

いわゆるビデオセオドライト又はビデオタキオメーターは、例えば、望遠鏡全体又は望遠鏡の接眼レンズのみを置換させることが可能なカメラを有している点において従来のセオドライト又はタキオメーターと異なっている。図3に概略的に示したように、カメラ8は光学系9とイメージセンサー10とを有している。光学系9はイメージセンサー10上のシーン内の点のイメージを形成する。従って、測定されるべき1つの点はイメージセンサー10上のある位置上に結像される。イメージセンサー上のその点のイメージの位置から測量器からのその点への方向であって真の垂直及び水平角度により定義される方向を決定するために、イメージセンサー上の位置と空間内の対応する方向との間の関係を知ることが必要である。

10

【0007】

理想的なカメラの光軸はイメージセンサーの面に対して垂直であるべきであり且つ光学系は収差又は歪みがないものとすべきである。更に、光軸はカメラの基準軸に対して平行であるべきである。

20

【0008】

然しながら、実際のカメラはこれらの理想的な特性を有するものではない。従って、キャリブレーション、即ち空間内の方向とイメージセンサー上のこれらの方向のイメージの対応する位置との間のマッピングが必要である。

【0009】

ビデオセオドライト又はビデオタキオメーター等のカメラを具備する測量器の場合には、少なくとも2つのキャリブレーションが必要であると思われる、即ち、測量器の軸に関してのキャリブレーションとカメラに関してのキャリブレーションである。

30

【0010】

Y. D. Huangによる文献「セオドライト上のカメラ方法を使用したワイルドP32カメラのキャリブレーション（Calibration of the Wild P32 Camera using the Camera-on-Theodolite method）」、Photogrammetric Recordにおいて発行、16-91）、1998年において、Huangは、異なる距離に配置した1つ又は高々2つの基準点を、測量器自身とカメラとからなるシステムである測量器へ接続している。これらの基準点は異なる測量器方向、即ち測量器上に設定すべき水平及び垂直角度の異なる組み合わせにおいてキャリブレートすべきカメラで観察する。Huangはセオドライトを使用しているので、これら2つの点の間の距離、又は該点と測量器との間の距離が既知でなければならない。Huangの方法の更なる欠点は、垂直軸エラー及び横方向コリメーションエラー等の測量器エラーは考慮外のままであるということである。然しながら、キャリブレーションエラーはこれらの測定器エラーの大きさと共に増加し、そのことは測量器の全体的な精度を低下させる。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従って、本発明の基礎をなす目的は、カメラを具備する測量器、特にビデオセオドライト又はビデオタキオメーターをキャリブレートする方法であって、実施することが容易であり且つ測量器に関してのほんの僅かの情報を必要とするに過ぎない方法を提供すること

50

、及び本方法を実行する手段を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の第一の側面によれば、ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有する測量器をキャリブレーション即ち較正する方法が提供され、該カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、該傾斜軸は該垂直軸周りの該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され、キャリブレーション点及び異なる面において捕獲された該イメージセンサー上の該キャリブレーション点のイメージと関連するデータが使用され、前記キャリブレーション点の各々に対するデータは前記各キャリブレーション点と前記測量器との間の距離を表わす距離データを有して  
10  
おり且つ前記各キャリブレーション点のイメージの各々に対するデータは前記イメージセンサー上の前記各キャリブレーション点のイメージの位置を表わすイメージ位置データ及び該垂直軸周りの該傾斜軸の水平回転角度及び該傾斜軸周りの該カメラの垂直傾斜角度を表わす配向データを有しており、且つ該キャリブレーション点の各々に対する距離データ及び該キャリブレーション点のイメージの各々に対するイメージ位置及び配向データに基づいて、該カメラの少なくとも1つの光学的特性及び該垂直軸及び該傾斜軸の相対的配向及び該ベース要素、該垂直軸及び該傾斜軸のうちの1つに対する該カメラの配向のうちの少なくとも1つを同時に考慮に入れて該測量器をキャリブレーションする。

【0013】

更に、本発明の第二の側面によれば、ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有する測量器をキャリブレーションする方法が提供され、該カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、該傾斜軸は該垂直軸周りの該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され、キャリブレーション点のイメージが2つの面において且つ該イメージセンサー上の異なる位置において発生され、前記キャリブレーション点の各々に対して、夫々のキャリブレーション点と該測量器との間の距離を表わす距離データ、及び、前記キャリブレーション点の各イメージに対して、該イメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの位置を表わすデータ、  
20  
該垂直軸周りの該傾斜軸の水平回転角度及び該傾斜軸の該カメラの垂直傾斜角度を表わす配向データを決定し、且つ該キャリブレーション点の各々に対する距離データ及び該キャリブレーション点のイメージの各々に対する位置及び配向データに基づいて、該カメラの  
30  
少なくとも1つの光学的特性及び該垂直軸及び該傾斜軸の相対的配向及び該ベース要素、該垂直軸及び該傾斜軸のうちの1つに対する該カメラの配向のうちの少なくとも1つを同時に考慮に入れて該測量器をキャリブレーションする。

【0014】

本発明に基づくこれらの方法は、カメラを具備する任意の測量器、特にビデオセオドライト及びビデオタキオメーターに適している。

【0015】

本測量器はベース要素を有しており、それは測量すべき点、特に、本測量器が使用される場合の地面に対して固定した位置にある。例えば、該ベース要素は三脚又は三脚の一部の上に装着することが可能である。  
40

【0016】

本測量器は、更に、イメージセンサーを具備するカメラを有している。該カメラは、更に、該イメージセンサー上に測量すべき点を結像させるための光学系又は少なくとも1個のレンズを有している。好適には、該光学系は、本測量器からある距離における物点の完全なるイメージング即ち結像を実施することが可能である。然しながら、該カメラは、本測量器の他の光学系によって発生されるキャリブレーション点のイメージのみを結像することも可能である。該カメラの光学系特性は、特に、該カメラの結像特性とすることが可能である。光学的特性は、該カメラのレンズ即ち対物レンズの焦点距離、該レンズ又は対物レンズに対する該イメージセンサーの位置及び配向又は該カメラのレンズ又は対物レンズのイメージエラー等の該カメラのオプティックスの特性を包含することが可能である。  
50

## 【0017】

該イメージセンサーは、少なくとも二次元における分解能で光を検知することを可能とする光検知要素からなる任意の少なくとも二次元の配置とすることが可能である。光検知要素からなる配置は任意のものとすることが可能である。好適には、該要素は少なくともほぼ矩形状のマトリクスとして又はハニカムパターンで配置されている。該イメージセンサーは、特に、光検知要素としてCMOS要素又はCCD要素を有することが可能であり、特に、当該技術において公知の如くCMOSアレイ又はCCDアレイを有することが可能である。本測量器は、更に、イメージ採取ユニットを有することが可能であり、それは該イメージセンサーへ接続されており且つ該イメージセンサーにより供給される信号からイメージを発生する。該イメージは、当業者に既知であるような任意の適宜のフォーマットで供給することが可能である。好適には、該イメージセンサーから得られ且つ該イメージを表わすイメージデータは圧縮される。

10

## 【0018】

該カメラは本測量器の垂直軸周りに回転可能であり、それは本測量器が使用される場合に垂直方向にあるべきであるが、そうでない場合には、任意の方向を有することが可能である。該カメラは、更に、該カメラが該垂直軸周りに回転される場合に回転される傾斜軸周りに傾斜させることが可能である。特に、該カメラは、垂直軸周りに回転可能なアリダード上に装着することが可能である。該傾斜軸は、好適には、あり得るチルト即ち傾斜軸エラーを除いて、該垂直軸に対して直交している。

## 【0019】

本測量器は、更に、いわゆる水平円を有することが可能であり、それは垂直軸に対して垂直な面内における所定の方向に関しての傾斜軸の角度位置を定義するのに役立ち、該垂直軸及び従って該面及び該所定の方向は該ベース要素に関して固定されている。更に、本測量器はいわゆる垂直円を有することが可能であり、それは傾斜軸に対して垂直な面内における傾斜軸周りの回転に関して該カメラの角度位置を決定するために使用することが可能である。該角度位置は、傾斜軸に対して垂直な面内における任意の所定の方向で定義することが可能である。好適には、該所定の方向は、本測量器が使用中である場合に天頂に対応し、即ち垂直軸と同軸状である。該水平角度及び垂直角度は、ベース要素に関しての該カメラのオリエンテーション即ち配向を一意的に定義するために使用することが可能である。

20

30

## 【0020】

本発明に基づく上述した方法は、このような測量器をキャリブレーション即ち較正するのに役立つ。キャリブレーション即ち較正とは、特に、点の方向と呼ばれるものであって、物点がベース要素に固定されている座標系に関して存在する方向と、物点のイメージを有するイメージをキャプチャ即ち捕獲する場合に使用される測定した水平及び垂直角度のみならずイメージセンサー上の物点のイメージの位置との間の関係を決定することを意味することが可能である。

## 【0021】

該第二の側面に基づく方法は、キャリブレーションのために使用されるデータの採取を包含しているという点において、第一の側面に基づく方向と異なっている。従って、第一の側面に基づく方法は、例えば格納媒体上で又は本方法を実施するための装置への接続を介して供給することが可能な任意のデータを使用して実施することが可能である。

40

## 【0022】

キャリブレーションのためには、少なくとも2つのキャリブレーション点を使用され、それは、又、基準点とみなすことができるもの又は基準点として参照されるものとすることが可能である。更に、各キャリブレーション点に対して、少なくとも1つのイメージ、好適にはイメージセンサー上のキャリブレーション点の幾つかのイメージが発生される。この目的のために、キャリブレーション点と測量器との固定した相対的位置において、カメラを垂直軸周りに回転させ及び/又は傾斜軸周りに傾斜させることが可能である。第一の側面に基づく（及び又第二の側面に基づく）本方法は、キャリブレーション点と測量器

50

との間の距離を表わす各キャリブレーション点に対するデータ及び各キャリブレーション点の各イメージに対するイメージ位置データ及び配向データを使用する。該位置データは、対応する配向データにより定義されるオリエンテーション即ち配向状態にある測量器のオプティクスによりイメージセンサー上にキャリブレーション点が結像される場合のイメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの位置を表す。該位置データは、例えば、キャリブレーション点のイメージの場所におけるCCDアレイにおける1個のピクセルに対する識別により与えることが可能である。該配向（即ちオリエンテーション）データは、特に、対応する水平及び垂直角度を表わし、それらは、水平又は垂直サイクル等の適宜の測定装置の使用により、又はカメラを対応するオリエンテーション即ち配向状態に設定することにより得ることが可能である。

10

**【0023】**

該データは測量器の2つの面において発生される。同じキャリブレーション点の2つのイメージが測量器を第一の面から第二の面に持って来ることにより得ることが必要なものではない。セオドライト又はタキオメーター等の測量器の場合の2つの面の使用は当該技術において公知である。カメラの第一面において物点を見ることが可能である場合には、軸エラーが大き過ぎる等の場合を除いて、カメラを200gon（ゴン）即ち180度だけ回転させ且つ傾斜軸周りに傾斜させることによりリバースさせる場合に、即ち第二の面において同一の点を見ることが可能である。

**【0024】**

これらのデータは、以下においてはキャリブレーションデータとも呼称されるが、測量器をキャリブレートするために使用される。キャリブレーションは、少なくとも、垂直軸に対する傾斜軸の相対的配向、即ち、特に、傾斜軸エラー、及び、同時に、カメラの少なくとも1つの光学的特性を考慮に入れる。カメラの光学的特性は、イメージングのために使用されるオプティクスにより決定されるカメラの任意の特性、特に、オプティクスとイメージセンサーとの間の相対的位置とすることが可能である。

20

**【0025】**

更に、キャリブレーションは、これらのエラー源及び特性を同時に考慮に入れ、即ち、キャリブレーションは、エラー源のうちの1つのみか又はカメラの光学的特性の1つのみのいずれかを考慮に入れて夫々別個のキャリブレーションが実施される少なくとも2つのステップにおいて実施されるものではない。

30

**【0026】**

測量器の異なる面において得られたデータの使用及び潜在的な軸エラーとカメラの光学的特性の同時的な包含のために、測量器の非常に精密で且つ高速なキャリブレーションを達成することが可能である。更に、僅かなものに過ぎず又更なる測量器又はカメラデータが必要なものではない。

**【0027】**

本発明の第三の側面によれば、データ処理システムが提供され、本データ処理システムは、プロセッサと、該プロセッサによりプログラムが実行される場合に本発明に基づく方法を実施するためのコンピュータプログラムが格納されているメモリとを有しており、更に、本方法において使用されるキャリブレーション点のイメージ及びキャリブレーション点と関連するデータを読取るためのインターフェースとを有している。特に、本発明の第一の側面に基づく方法をこのデータ処理システムにより実施することが可能である。

40

**【0028】**

本データ処理システムは、測量器がキャリブレーションされる場合にのみ測量器へ接続させることが必要な別個の装置とすることが可能である。然しながら、測量器自身が前述したコンピュータプログラムが格納されているメモリを具備する所定のタスクに従って測定した量を処理するためのデータ処理システムを有することが可能である。このプロセッサは、又、コンピュータプログラムを稼動するために使用することが可能である。データ処理システムのタイプに依存して、該プロセッサは、特別のマイクロプロセッサ、パソコン又はワークステーション又はデジタル信号プロセッサにおいて使用されるプロセッサと

50

することが可能である。

【0029】

インターフェースとして、データを読取ることを可能とする任意の手段を使用することが可能である。最も簡単な場合においては、所要のデータをタイプ入力するためのキーボードか又は交換することが可能なデータキャリアを読取るための読取装置とすることが可能である。該読取装置は、例えば、CD-ROMドライブ、DVD-ROMドライブ、フロッピーディスクドライブ又はUSBスティック又はメモリカード等のフラッシュROMメモリ装置用の読取器とすることが可能である。然しながら、有益的には、該インターフェースは、ケーブル又はブルトース、ワイヤレスLAN又は光学的インターフェース等のワイヤレスリンクを介しての測量器とデータ処理システムとの間のデータ接続に適している。別の実施例においては、該インターフェースは、又、測量器へコマンドを出力するのに適している。

10

【0030】

本発明の別の側面によれば、コンピュータプログラムが提供され、該コンピュータプログラムは、それがコンピュータ上で稼動される場合に、本発明の第一の側面に基づく方法を実施するためのプログラムコードを有している。

【0031】

本発明の更なる側面によれば、コンピュータプログラムプロダクトが提供され、該コンピュータプログラムプロダクトは、それがコンピュータ上で稼動される場合に本発明の第一の側面に基づく方法を実施するためのコンピュータにより読取可能な格納媒体上に格納されているプログラムコードを有している。該格納媒体は、特に、フロッピーディスク又はハードディスク等の磁気格納媒体、磁気・光学ディスク又はCD又はDVD等の光学的格納媒体とすることが可能である。又、フラッシュメモリチップ等の永久的なメモリを使用することが可能である。

20

【0032】

コンピュータは、特に、上述したデータ処理システムにより実現することが可能である。特に、コンピュータプログラム又はコンピュータプログラムプロダクトは、キャリブレーション点及びイメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージと関連するデータを読取るためのコンピュータプログラムを有することが可能であり、前記キャリブレーション点の各々に対して、該データは前記キャリブレーション点と測量器との間の距離を表わす距離データを有しており、且つキャリブレーション点のイメージの各々に対して、該データは前記イメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの位置を表わすイメージ位置データ及び垂直軸周りの傾斜軸の水平回転角度及び傾斜軸周りのカメラの垂直傾斜軸を表わす配向データを有しており、且つキャリブレーション点の各々に対する距離データ及び該キャリブレーション点のイメージの各々に対するイメージ位置及び配向データに基づいて、カメラの少なくとも1個の光学的特性及び垂直軸と傾斜軸との相対的配向及びベース要素、垂直軸及び傾斜軸のうちの1つに対するカメラの配向のうちの少なくとも1つを考慮に入れて同時的に測量器がキャリブレーションされる。該データは、該データが書き込まれた任意の格納媒体又はメモリから読取ることが可能である。

30

【0033】

キャリブレーションは幾つかの態様で実施することが可能である。本発明の好適実施例によれば、イメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの位置を計算するためのモデルが使用され、該モデルは、調節可能なモデルパラメータを有しており且つキャリブレーション点のイメージの各々と関連する距離データ及び配向データを使用し、且つキャリブレーションのために、該モデルは、距離データ、位置データ及び配向データを使用してキャリブレーション点及びモデルパラメータの少なくとも方向を推定することにより位置データに対して当て嵌められる。キャリブレーション点の方向は、該キャリブレーション点の位置が測量器に関して位置する方向である。測量器に対するキャリブレーション点の距離は既知であるので、測量器、即ち少なくともベース要素に関してのキャリブレーション点の位置を完全に決定するためにキャリブレーション点の方向で充分である。該方向は、

40

50

ベース要素に固定した座標系におけるキャリブレーション点の球座標の2つの角度により表わすことが可能であり、3番目の球座標はキャリブレーション点と測量器との間の距離である。このタイプのキャリブレーションは、測量器の異なる特性を捉えられることを可能とし、イメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの位置に関する影響を有する場合があります及び又当て嵌めの品質の計算を可能とする場合がある。キャリブレーションの品質はキャリブレーションのために使用されるモデルに強く依存する。モデルが測量器の特性をより良く表わせば表わす程、そのモデルはキャリブレーションのために使用されるキャリブレーションデータに対してより良く当て嵌めることが可能である。

#### 【0034】

キャリブレーション点の方向及びモデルパラメータは、任意の適宜の推定方法により推定することが可能である。然しながら、キャリブレーション点の方向及びモデルパラメータの推定のために、最尤推定値を使用することが好ましい。特に、最小二乗当て嵌めを実施することが可能であり、それはイメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージの測定位置とモデルにより計算されたキャリブレーション点のイメージの位置との間の逸れを最小とする。これらのタイプの推定値は極めて高速に実施することが可能である。

#### 【0035】

カメラのイメージング特性は、イメージセンサーと相対的な結像すべき点の距離及び/又はカメラのフォーカシング状態、例えばカメラの対物レンズの位置又はカメラの対物レンズのうちの少なくとも1個のレンズの位置に依存する場合がある。この場合においても精密なキャリブレーションを可能とするために、モデルパラメータのうちの少なくとも1つが測量器からのキャリブレーション点の距離又はキャリブレーション点のイメージをキャプチャ即ち捕獲する場合のカメラのフォーカシング状態に依存するものであることが望ましい。該モデルパラメータは滑らかな態様で該距離又はカメラのフォーカシング状態に依存する場合がある。一方、可能な距離の範囲又は対物レンズ及び/又はレンズ位置の範囲は所定数のサブレンジに分割される場合がある。従って、該パラメータは各サブレンジに対して異なる値をとる場合がある。

#### 【0036】

特に好適な実施例においては、該モデルはベース要素へ固定された測量器座標系の座標をカメラに固定されたカメラ座標系へ変換するための変換及びキャリブレーション点の位置をカメラ座標系におけるイメージセンサー上の位置へマッピングするためのカメラモデルを有している。該変換は、調節可能な変換パラメータを有しており且つ該カメラモデルは調節可能なカメラパラメータを有している。キャリブレーションのために、測量器座標系におけるキャリブレーション点の座標及び変換パラメータ及びカメラパラメータが推定され、従って該モデルにより計算されるキャリブレーション点のイメージの位置がキャリブレーション点のイメージの測定された位置に対して当て嵌められる。このタイプのモデルはカメラ特性及び特にカメラの光学的特性からの測量器の特性、特に測量器軸及びカメラの装着の概念的に明確な分離を可能とさせる。この実施例に基づく方法により、軸エラーの大きさを決定することが可能である。これらは、測量器の構成、その製造又は機械的再調節を改善するために使用することが可能である。特に、カメラモデルパラメータのうちの少なくとも1つは上述したパラグラフにおいて説明したように距離及び/又はカメラのフォーカシング状態に依存する場合がある。

#### 【0037】

該変換は、好適には、傾斜軸エラーに関する少なくとも1つのパラメータを包含している。好適には、キャリブレーションは、又、垂直インデックスエラー及びコリメーションエラーのうちの少なくとも1つを考慮に入れて実施される。この文脈において、コリメーションエラーは傾斜軸と直角、即ち $90^\circ$  即ち  $100\text{ gon}$  からのカメラモデルにより与えられるカメラ軸、視準軸、イメージング軸のうちの1つとの間の角度の逸れである。垂直インデックスエラーは真の垂直角度からの好適には天頂である傾斜軸に対して垂直な面内の所定の方向に対してカメラが向いている場合の垂直円上の垂直角度の読みの逸れである。好適には、該変換は、コリメーションエラー及び垂直インデックスエラーのうちの1

10

20

30

40

50

つを表わす少なくとも1つのパラメータを包含している。これらのエラーは、変換とカメラモデルとを有するモデルを使用する場合に容易に考慮することが可能である。何故ならば、該変換に関する対応する効果を適宜の回転行列により組込むことが可能だからである。

【0038】

更に、キャリブレーションは、好適には、傾斜軸及びベース要素に固定した測量器座標（器械座標）系のうちの1つに対するカメラのオリエンテーション即ち配向を推定することを包含している。カメラの配向は、特に、レンズフォルダーにより定義される軸のようなカメラの機械的要素により定義される軸の配向に関係している場合がある。好適には、この場合に、該変換は傾斜軸及びベース要素に固定した測量器座標系のうちの1つに対するカメラの配向を表わす少なくとも1つのパラメータを包含している。この場合に、カメラの誤配向に起因するエラーを考慮に入れることが可能である。

10

【0039】

一般的に、本発明に基づく方法の場合には、任意のカメラモデルを使用することが可能である。然しながら、カメラモデルが、該カメラモデルに基づいてイメージセンサー上に結合された物点からの全ての光線が交差する投影中心を有しており、該方法において、少なくとも1つのモデルパラメータが該投影中心の位置に関係していることが望ましい。該投影中心の位置は、ベース要素、特に、ベース要素に固定した測量器座標系と相対的に表わすことが可能である。特に、カメラの視野がむしろ制限されている場合には、好適には、カメラモデルとしてピンホールモデルを使用することが可能であり、それは極めて簡単なモデル方程式を可能とするがいまだに十分な精度を可能とする。キャリブレーションの良好な精度を達成するために、該モデルは、好適には、投影中心の位置を表わす少なくとも3個のモデルパラメータを有している。従って、測量器の軸と相対的に任意の位置にあるカメラを具備する測量器を極めて正確にキャリブレートすることが可能である。

20

【0040】

更に、カメラの光学的、特に、結像特性の幾つかを表わすために、本発明の1実施例においては、カメラモデルがモデルのイメージ面と投影中心との間の距離を表わすパラメータを有している。特に、該パラメータはピンホールカメラモデルにおいてカメラ定数を反映する場合がある。該イメージ面は、好適には、イメージセンサーにより決定される。長い焦点距離を有するカメラの精密なキャリブレーションも可能とするために、少なくとも該カメラ定数は該距離及び/又はカメラのフォーカシング状態に依存する場合がある。

30

【0041】

イメージ面と相対的な投影中心の位置は、カメラの光学系の光学的特性により多くが決定され、従って、本発明の意味においてカメラの光学的特性を表わす。特に、それは、カメラの光学系の焦点距離に関連している場合がある。従って、カメラ又はカメラの光学系に関しての更なるデータを使用することなしに、異なるタイプの光学系を容易にモデル化することが可能である。

【0042】

高精度のキャリブレーションを達成するために、カメラモデルは、好適には、イメージにおける歪みを表わすモデルパラメータを有している。これらの歪みは、例えば、カメラのオプティックスの不完全性に起因するものである場合がある。

40

【0043】

カメラの光学的特性に関連するモデルパラメータを決定するために、好適には、少なくとも2つのキャリブレーション点と関連する距離データが異なる。従って、夫々のキャリブレーション点が測量器から異なる距離に位置されている。本方法の精度、従って本キャリブレーションの精度は、測量器からのこれらの点の距離の間の距離が大きければ大きい程一層良くなる場合がある。

【0044】

更に、良好な精度で傾斜軸エラーを表わすモデルパラメータを決定することが可能であるために、好適には、少なくとも1つのキャリブレーション点の少なくとも2つのイメー

50

ジを使用し、それはかなりの高さを有しており、即ち天頂に近いものである。

【0045】

又、高い精度のキャリブレーションを得るために、好適には、キャリブレーション点のイメージの数は調節可能なモデルパラメータの数よりも大きく、特に一層大きいものである。

【0046】

キャリブレーションの精度は、キャリブレーション点の少なくとも1つの各イメージに対して、イメージ位置データ及び/又は配向データの1つを超える決定が為される場合に、更に向上させることが可能な場合がある。

【0047】

好適には、イメージ位置データはイメージセンサー上の位置を明示的に表わすデータを有している。例えば、これらのデータは、夫々の位置における光検知要素の識別コードにより所与のものとするのが可能である。該識別コードは、例えばピクセル又は光検知要素のアドレスであり、必要である場合に位置を計算するために使用することが可能である。然しながら、該モデルは、又、直接的に該識別コードを与えることも可能である。

【0048】

然しながら、別の実施例においては、イメージセンサーによりキャプチャ即ち捕獲されるイメージが得られ、該捕獲されたイメージはキャリブレーション点のうち少なくとも1つのイメージを有しており、且つイメージセンサー上のキャリブレーション点のうちの前記少なくとも1つの前記イメージの位置が該イメージ内のキャリブレーション点のイメージをサーチすることにより決定することが望ましい。従って、この実施例は、カメラによりとられたイメージから自動的にキャリブレーション点のイメージの実際の位置を決定することを可能とする。キャリブレーション点のイメージは、任意の適宜の既知の物体認識方法によってイメージセンサーにより捕獲されたイメージにおいて認識することが可能である。

【0049】

例えば、カメラの同一の配向を使用して2つのイメージをとることが可能であり、1つのイメージはキャリブレーション点のイメージを有しており且つ他方のイメージはバックグラウンドのみを示している。次いで、結果的に得られる差分イメージにおけるシグネチャとしてキャリブレーション点のみが残存するように該イメージを互いに減算させることが可能であり、そのシグネチャはスレッシュホールド基準によって検知することが可能である。キャリブレーション点を表わすターゲットの形状が既知である場合には、テンプレートを使用することも可能である。該テンプレートの位置は、該テンプレートをイメージ内のキャリブレーション点のイメージに対してマッチさせるために変化され、そのことは、例えば、当該技術において既知の相関方法により行うことが可能である。

【0050】

従って、キャリブレーション点のうち1つを表わすテンプレートを使用してキャリブレーション点のイメージをサーチすることが好ましい。

【0051】

キャリブレーション点の距離データは、幾つかの方法により得ることが可能である。測量器が所定のキャリブレーション点を使用してキャリブレーションされる場合には、これらの点の距離は所定のものとするのが可能であり且つ既知のデータとして供給されるか又はこれらのキャリブレーション点と共に使用するために特別に適合されたコンピュータプログラム内に包含される。この目的のために、測量器がキャリブレーションされる場合にその測量器が配置されている所定の位置を与えることが可能である。特に、ビデオタキオメーターが実際のキャリブレーション点を使用してキャリブレーションされる場合に、測量器に対するキャリブレーション点のうち少なくとも1つの距離が光電子距離計測により決定されることが好ましい。光電子距離計測、即ち光電子距離測定は、距離の極めて精密な測定を可能とする。更に、キャリブレーション点のイメージが発生される時に該測定を行うことが可能である。例えば、2つの既知の方法を使用することが可能であり、例えば、位相差

10

20

30

40

50

による距離の決定、又はパルス型レーザービームを使用する飛行時間測定によるものである。

【0052】

別の変形例として、キャリブレーション点は測量器からの既知の距離に設けることが可能である。

【0053】

該キャリブレーション点は実際の物体、例えばリフレクタのような共同するターゲット（トリブルリフレクタ）又は視野内の物体の形態で与えることが可能である。然しながら、キャリブレーション点は実際の物体の1つの点であることは必要ではない。本発明の2番目の側面に基づく本方法の1つの好適実施例によれば、少なくとも1つの物点が仮想キャリブレーション点に結像され、それはイメージセンサー上に結像される。該物点は任意の実際の物体又は実際の物体のうちの1つの点とすることが可能であり、例えば、光源又は照明したクロスヘア又はスリットとすることが可能である。この実施例は、測量器からの大きな仮想距離におけるキャリブレーション点を使用してもキャリブレーションを可能とする。

10

【0054】

本方法の特に好適な実施例においては、仮想キャリブレーション点はコリメーター及びコリメーター対物レンズ、特にコリメーターレンズとコリメーター対物レンズの焦点との間でシフトさせることが可能なマークによって発生される。通常、1個を超えるコリメーターを使用することが可能であり、特に、異なる高さにあるキャリブレーション点を得られる場合にはそうである。別のオプションとして、1つのコリメーターにおいて、少なくとも2つのマークの配置を使用して同時に夫々の数の仮想キャリブレーション点を発生することが可能である。コリメーターは、それらが平行な光線を射出し且つ光学的無限にある点を有限距離へ投影するという点に特徴付けられる。該マーク、例えばクロスヘア、スリット又はその他の形状の絞りが無限における該マークのイメージを発生するためにコリメーターの焦点に設けられる。該マークは適宜の駆動機構により該コリメーターにおいてシフトさせることが可能であり、該駆動機構は手作業により又はモータにより動作させることが可能である。好適には、延長可能なコリメーターが使用され、それは、コリメーターの対物レンズを有する対物レンズ部分と、照明装置を有する照明部分とを具備しており、該対物レンズ部分及び該照明部分は互いにシフト可能である。該マークは、該照明部分に装着することが可能であり、従って該対物レンズ部分と相対的な該照明部分のシフト動作は、異なる仮想距離における該マークの仮想イメージを発生するために使用することが可能である。好適には、シフト量をミクロン精度で読取ることが可能である。

20

30

【0055】

好適には、仮想キャリブレーション点の距離が物点と該物点の仮想イメージを発生するイメージングオプティクスとの間、該イメージングオプティクスと測量器との間の距離に基づいて、且つ該イメージングオプティクスのイメージング特性に基づいて得られる。特に、コリメーターの場合には、焦点と相対的なシフト量から及び対物レンズの焦点距離から、仮想キャリブレーション点を表わす仮想正立イメージのイメージ距離を決定することが可能である。この仮想イメージは、キャリブレートすべき測量器で見ることが可能である。測量器の垂直軸からコリメーター対物レンズ即ちコリメーターレンズのプリンシプル ( p r i n c i p l e ) 面即ちプリンシプル焦点面への距離の和から及びイメージ距離から、測量器と該コリメーターにより形成される仮想キャリブレーション点との間の最終的仮想距離を計算することが可能である。

40

【0056】

従って、2,000メートル又はそれ以上の大きな仮想距離において仮想キャリブレーション点を発生するためにコリメーターを使用することが可能であり、一方コリメーター無しでこのような距離においてキャリブレーション点を形成することは困難である。特に、障害物を見ることがないフィールドにおいてこのように大きな距離を見つけることは困難な場合がある。更に、空気の乱流のような大気現象等の大きな距離におけるキャリブレ

50

ーション測定値に悪影響を与える可能性のある付加的なファクターを回避することが可能である。更に、異なる寸法のキャリブレーション点ターゲットが、ほぼ同じ寸法のイメージを得るために異なる距離に対して必要とされる場合がある。従って、コリメーターによりキャリブレーションは、殆ど空間を必要とせず且つ基本的に自動的に動作することが可能であるので、製造後の機器のキャリブレーションに対して特に適している。最後に、この方法はキャリブレーションを環境条件とは独立的なものとさせる。何故ならば、一般にピクセルから構成される例えば検知器マトリクスアレイであるカメラのイメージセンサーは、しばしば、周辺光による影響に露呈されるからである。

**【 0 0 5 7 】**

好適には、本発明に基づくデータ処理システムは、コリメーターの対物レンズとコリメーターの焦点との間でコリメーターのマークを移動させるためのコリメーターの駆動部に対してコマンドを出力するための出力インターフェースを有しており、且つ該コンピュータプログラムは異なる距離において仮想キャリブレーション点を発生させるためにマークを移動させるための命令を有している。詳細に説明すると、該命令は該プログラムが稼動される場合に該駆動部に対して発行される制御コマンドを発生することが可能である。好適には、本発明に基づく該コンピュータプログラム及びコンピュータプログラムプロダクトは、駆動部によりシフト可能なマークを具備するコリメーターの駆動部に対して発行される制御コマンドを発生することが可能なプログラムコードを有している。

**【 0 0 5 8 】**

本発明の別の側面によれば、測量器をキャリブレートするシステムが提供され、該測量器は、ベース要素と、イメージセンサーを具備するカメラとを有しており、該カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、該傾斜軸は該垂直軸周りに該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され、該システムはコリメーター、コリメーター対物レンズと該コリメーター対物レンズの焦点との間でシフトさせることが可能なマーク、及び該マークをシフトさせるための駆動部、及び請求項 19 又は請求項 19 と 20 に基づくデータ処理システムを有しており、該出力インターフェースは該データ処理システムにより発生される制御コマンドにตอบสนองして該マークを移動させるために該コリメーターの該駆動部と接続されている。このシステムは、本発明に基づく方法を実施するために使用することが可能である。好適には、該駆動部はステッピングモーターを有しており、従って該コリメーター内の該マークの位置は精密に設定することが可能である。一方、位置センサーを有する位置決め装置を使用することが可能であり、該位置センサーの信号は、該マークを所定の位置へ移動させるために該駆動部のモータを制御するために使用される。

**【 0 0 5 9 】**

キャリブレーション点の数及び各キャリブレーション点のイメージの数は、好適には、以下の基準に従って選択することが可能である。使用される全てのキャリブレーション点のイメージの総数はキャリブレーションのために使用されるモデルパラメータの数よりもより大きなものでなければならぬ。良好な精度を得るためには、イメージの数はパラメータの数よりも一層大きなものとすべきである。上述したように、測量器から異なる距離において少なくとも 2 個のキャリブレーション点を設けるべきである。

**【 0 0 6 0 】**

特に、イメージセンサー上の軸からずれた点に対してもキャリブレーションを得るために、キャリブレーション点の少なくとも 1 つに対するイメージがイメージセンサーが異なる位置において発生されることが望ましい。好適には、それらはイメージセンサーの少なくとも所定の区域にわたって均一に分布されている。

**【 0 0 6 1 】**

イメージ点の所定の分布は異なる態様で得ることが可能である。本発明の好適実施例によれば、キャリブレーション点のうち少なくとも 1 つに対して、イメージセンサーのイメージの位置が予め決定され、キャリブレーション点がいイメージセンサーの所定の位置に結像されるまで、垂直軸周りの回転及び傾斜軸周りの傾斜のうち少なくとも 1 つにより

10

20

30

40

50

カメラをキャリブレーション点へ指向させ、且つその結果得られる配向データを読み取り且つ好適には格納する。好適には、該カメラは閉ループ制御を使用して再配向させることが可能である。好適には、本発明に基づくデータ処理システムは、更に、測量器に対して制御コマンドを発行するためのインターフェースを有しており、該測量器はベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有しており、該カメラは測量器の前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、該傾斜軸は該垂直軸周りに該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され且つ該測量器は制御コマンドにより制御可能な垂直軸周りの該カメラの回転及び傾斜軸周りの該カメラの傾斜のための駆動部を有しており、該コンピュータプログラムは、更に、キャリブレーション点のイメージ及びイメージセンサー上の所定の位置を発生するためのプログラムコードを有している。又、本発明に基づくコンピュータプログラム及びコンピュータプログラムプロダクトは、好適には、測量器に対して制御コマンドを発行することによりキャリブレーション点のイメージ及びイメージセンサー上の所定の位置を発生するためのプログラムコードを有している。該プログラムコードは、測量器に対する適宜のインターフェースを介して出力に対して制御コマンドを発行すべく適合させることが可能である。該制御コマンドは該駆動部によって該カメラの再配向を発生させることが可能である。再配向が完了すると、別のイメージが捕獲され、且つ、例えばデータ処理システムへ送られ、それはキャリブレーション点のイメージの位置及び所定の位置からのその逸れを決定し且つ更なる制御コマンドを発行する。従って、人間による動作を殆ど必要とすることのない自動的キャリブレーションが可能である。

#### 【0062】

本発明の第二の側面に基づく方法の1つの好適実施例においては、キャリブレーション点のうち少なくとも1つに対して、該キャリブレーション点のイメージをイメージセンサー上の規則的な配置で発生させる。特に、光検知要素の矩形状の配置を具備するイメージセンサーが使用される場合には、その規則的な配置は矩形状のグリッドにより与えることが可能である。該グリッドは、角度の組合わせを表わす位置が設定される場合に、基準点がイメージセンサーの面全体にわたり可及的に均一に分布されるように選択することが可能である。勿論、その他の規則的な配置、例えば六角形配置を使用することが可能である。

#### 【0063】

位置データの読取は、常に、イメージセンサー上の同一の位置において行われる場合には、イメージセンサーにおける不良又は欠陥が信頼性のあるキャリブレーションを阻止する可能性がある。好適実施例によれば、キャリブレーション点のうち少なくとも1つに対して、イメージセンサーの所定の区域をカバーするセルの配置が発生され且つ該セル内のランダムな位置がキャリブレーション点のイメージの位置として使用される。好適には、イメージセンサーの該所定の区域は、少なくとも、測量作業のために使用されるイメージセンサーの区域を有している。該セルの配置は、該配置により決定される位置においてセル基準点例えば幾何学的中心、及び該セルの寸法及び形状を与えることに発生することが可能である。一般的には、該セルは任意に配置させることが可能である。然しながら、好適には、該セルは規則的に配置される。例えば、マトリクス状のセルの配置を使用することが可能である。該セル内におけるランダムな位置は、所定の確率分布に従って分布される擬似乱数を発生するいわゆる擬似乱数発生器によって得ることが可能である。適宜の乱数発生器は、例えば、Press, H. et al. 「Cにおける数値的レセピー ( Numerical Recipes in C )」、ケンブリッジユニバーシティプレス、1992年、274 - 286頁に記載されている。ランダムな位置の使用は、キャリブレーションに関しての欠陥性の光検知要素の影響を減少させることを可能とする。

#### 【0064】

本方法の1つの好適実施例においては、少なくとも2つのランダムな位置が各セルに対して与えられ、且つキャリブレーション点の第一イメージが第一面内のこれらのランダムな位置のうち第一のものにおいて発生され且つ該キャリブレーション点の第二のイメー

10

20

30

40

50

ジが第二面におけるこれらのランダムな位置のうちの第二のものにおいて発生される。従って、各角度組合わせのランダムな位置は第一面及び第二面に対して同じであることは必要ではなく且つ別々に決定することが可能である。ランダムな位置及び対応する配向データを、最初に、第一面における各セルに対して決定し且つ後に第二面における各セルに対して決定することが可能であるということはこの実施例の1つの利点である。

【0065】

一方、キャリブレーション点のうち少なくとも1つに対して、カメラを所定の配向状態に指向付け、該配向は水平及び垂直な角度又は水平及び垂直の角度インクリメントの所定の組合わせにより定義され、且つ各配向において、キャリブレーション点の夫々のイメージに対するイメージ位置データが得られる。この実施例は、水平及び垂直な角度の迅速な設定を可能とさせる。何故ならば、カメラの配向を制御するために閉ループ制御は必要ではないからである。回転又はチルト即ち傾斜は、到達すべき角度によって又はカメラの相次ぐ再配向間の角度インクリメントにより定義することが可能である。特に、本発明に基づく方法が同じタイプの多数の測量器のキャリブレーションのために使用される場合には、水平及び垂直な角度は、測量器におけるトリランスとは別に、イメージセンサー上のイメージ位置の所望の分布を得ることが可能であるように選択することが可能である。これらの水平及び垂直な角度の組合わせは、格納し且つキャリブレーションすべき各測量器に対して使用することが可能である。

【0066】

好適実施例においては、キャリブレーション点のイメージの少なくとも1つに対して、イメージ位置データ及び対応する配向データが両方の面に対してえられる。従って、第一面に対してデータを得た後に、カメラを垂直軸周りに200gon即ち180°だけ回転させ、次いで、400gon - 第一面における測定のために設定した垂直角度の垂直角度へ傾斜させる。この場合に、垂直角度0が天頂に対応するものと仮定される。この場合に、キャリブレーションのために使用されるデータにおいて傾斜軸エラーはより明示的に表れる場合があり、従ってキャリブレーションはより精密及び/又はより高速である場合がある。

【0067】

イメージセンサーにより得られたイメージデータを処理するためのデータ処理ユニットを具備する測量器のキャリブレーションが完了すると、対応するモデルデータを測量器とは別体のデータ処理ユニット又は測量器内に統合されたデータ処理ユニットへ格納することが可能である。更に、プログラムを該データ処理ユニットに格納することが可能であり、そのプログラムは、キャリブレーションのために使用するモデル、得られたモデルパラメータ及び設定した水平及び垂直角度に基づいてイメージセンサー上に結像された物点の方向の計算を行うことを可能とする。

【0068】

従って、本発明の更なる側面によれば、測量器が提供され、該測量器は、ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有しており、該カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であって、該傾斜軸は該垂直軸周りの該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され、該測量器は、本発明に基づく方法を使用してキャリブレーションされる。特に、本測量器は、非揮発性メモリを有することが可能であり、該メモリ内において、キャリブレーションから得られたモデルパラメータの値及びキャリブレーションのために使用される該モデルを使用して計算を実施するためのプログラムコードが格納されており、且つ本測量器は該プログラムを実行するためのプロセッサを有することが可能である。

【0069】

従って、本発明の別の側面によっても測量器が提供され、該測量器は、ベース要素とイメージセンサーを具備するカメラとを有しており、該カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であり、該傾斜軸は該垂直軸周りの該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され、該カメラによるイメージ

10

20

30

40

50

センサー上の物点のイメージングをカメラに固定した座標系で動作するカメラモデル及び測量器座標系（器械座標系）とカメラ座標系との間で座標変換するための変換モデルの使用によりモデル化することが可能であり、該測量器は、更に、データ処理ユニットを有しており、その中には該カメラモデル及び変換モデルを使用して該カメラにより捕獲される物点の方向を決定するためのプログラムコードが格納されており、測量器座標系の原点から該物点への方向が該カメラモデル及び該変換モデル及び測量器座標系の原点から該物点への距離によって得られる方向を使用して計算される。好適には、本測量器は、更に、物点と測量器座標系の原点との間の距離を測定するための距離測定装置を有している。好適には、測量器座標系の原点は、傾斜軸と垂直軸との交差点又は最も近づいた点であり、従って該測量器は望遠鏡のみを具備する既知のタキオメーターとして使用することが可能である。特に、カメラは、傾斜軸に対して平行な方向に測量器座標系の原点からオフセットさせることが可能である。

10

**【 0 0 7 0 】**

又、測量器用のコンピュータプログラムが提供され、該測量器はデータ処理システムと、ベース要素と、イメージセンサーを具備するカメラとを有しており、該カメラは前記ベース要素に関して固定されている垂直軸周りに回転可能であり且つ傾斜軸周りに回転可能であって、該傾斜軸は該垂直軸周りの該カメラの回転と共に該垂直軸周りに回転され、該カメラによるイメージセンサー上の物点のイメージングを、該カメラに固定した座標系において動作するカメラモデル及び測量器座標系とカメラ座標系との間で座標変換する変換モデルの使用によりモデル化することが可能であり、該コンピュータプログラムは該カメラ及び変換モデルを使用して該カメラにより捕獲される物点の方向を決定するためのプログラムコードを有しており、測量器座標系の原点から該物点への方向が、該プログラムがデータ処理システムにより実行される場合に、該カメラモデル及び該変換モデル及び測量器座標系の原点から該物点の距離によって得られる方向を使用して計算される。

20

**【 0 0 7 1 】**

本発明の更に別の側面によれば、測量器が提供され、該測量器は、カメラによるイメージセンサー上の物点のイメージングを投影中心を具備するカメラモデルの使用によりモデル化することが可能であるようにイメージセンサーを具備するカメラと、該イメージセンサーにより捕獲されたイメージに基づくイメージを表示するためのディスプレイと、視準軸を表わすマークを表示するために該ディスプレイを制御するための制御ユニットとを有しており、該視準軸は該投影中心と傾斜軸及び垂直軸の交差点又は最も近づいた点によって定義される。該視準軸の写真測量定義は、この写真測量視準軸のイメージ面、即ちイメージセンサー面との交差により定義されるクロスヘア、垂直インデックスエラー及び横方向コリメーションエラーが距離とは独立した定数であるという利点を有している。従って、これらのエラーは測定したデータの処理において容易に考慮に入れることが可能である。

30

**【 0 0 7 2 】**

本発明の例示的实施例を添付の図面を参照し例として以下に詳細に説明する。

**【 発明を実施するための最良の形態 】****【 0 0 7 3 】**

本発明に基づく方法の第一の例示的な好適実施例によりキャリブレーションすることが可能なビデオタキオメーター 11 を模式的且つ簡単化した態様で図 4 乃至 6 に示してある。

40

**【 0 0 7 4 】**

アリダード 12 がビデオタキオメーター 11 に対するスタンドとして作用する三脚 14 のベース要素 13 の上に配置されている。アリダード 12 は垂直軸 15 の周りに回転可能であり、該垂直軸は、ビデオタキオメーター 11 が地面に関して正しく配向されている場合に地面に対して垂直に配向されている。アリダード 12 は望遠鏡ユニット 16 を担持しており、該望遠鏡ユニットは、ハウジング 17 内において、広い視野を具備するファインダーカメラ 18 とテレカメラ 19 とを有している。望遠鏡ユニット 16 は傾斜軸 20 周りに回転可能であり、該傾斜軸は最大で傾斜軸エラーまで垂直軸 15 に対して直交している

50

。従って、傾斜軸 1 4 は垂直軸 1 2 周りのカメラ 1 8 及び 1 9 のうちの 1 つの回転と共に回転する。制御パネル 2 1 が着脱自在にアリダード 1 2 へ装着されている。アリダード 1 2 はハンドル 8 6 によって操作することが可能である。

【 0 0 7 5 】

垂直軸 1 5 の周りにアリダード 1 2 を回転させ且つ傾斜軸 2 0 の周りに望遠鏡ユニット 1 6 を傾斜させるために、夫々、回転及び傾斜駆動部 2 2 及び 2 3 が設けられている。

【 0 0 7 6 】

垂直軸 1 5 周りの回転角度又は水平角度の測定のために、水平角度用のメモリの付いた水平円 2 4 及び検知ヘッド 2 5 が設けられている。水平円 2 4 は垂直軸 1 5 と同心円状である。検知ヘッド 2 5 はアリダード 1 2 上に保持されており且つアリダード 1 2、従って望遠鏡ユニット 1 6 及びカメラ 1 8 及び 1 9 のベース要素 1 3 と相対的な角度位置を検知することが可能である。

【 0 0 7 7 】

傾斜軸 2 0 周りの回転角度、即ち傾斜、即ち垂直角度の測定のために、垂直角度用のメモリの付いた垂直円 2 6 が傾斜軸 2 0 と同軸状である傾斜軸 2 0 に対応して装着されている。アリダード 1 2 上に保持されている垂直角度用の検知ヘッド 2 7 が望遠鏡ユニット 1 6 の角度位置を検知することが可能である。

【 0 0 7 8 】

ビデオタキオメーター 1 1 は、更に、アリダード 1 2 内に配置されている光学的垂直器 2 8 を有しており、それは垂直方向において下方へ指向した小型望遠鏡を有している。該小型望遠鏡の光軸は、実質的に、垂直軸 1 2 と同軸状である。従って、光学的垂直器 2 8 は、例えば境界石等の地面上の 1 つの点の上方にビデオタキオメーター 1 1 をセンタリング又は位置決めするために使用することが可能である。代替として、垂直方向下方へ光ビームを射出する光学的垂直器を使用することが可能であり、該光ビームは垂直軸 1 2 と実質的に同軸状である。

【 0 0 7 9 】

傾きセンサー即ちクリノメーター 2 9 もアリダード 1 2 内に配置されており、それはアリダード 1 2 の傾き、従って、互いに直交する 2 つの方向におけるビデオタキオメーター 1 1 の傾きを測定し、従って、垂直軸 1 5 が与えられた測定精度内において真の垂直方向にあるか否か、従ってチルト即ち傾斜軸 2 0 が最大でチルト即ち傾斜軸エラーまで地面と相対的に真の水平方向にあるか否かをチェックすることを可能とする。

【 0 0 8 0 】

望遠鏡ユニット 1 6 内には 3 個の光学装置が配置されており、それは図 4 において正面から示されており且つ図 5 において横方向断面図で示されている。これらはファインダーカメラ 1 8、テレカメラ 1 9 及び距離測定装置 3 0 である。

【 0 0 8 1 】

テレカメラ 1 9 は対物レンズ 3 1 と、フォーカシングレンズ 3 2 と、第一イメージセンサー 3 3 とを有している。物体即ち物点が対物レンズ 3 1 及びフォーカシングレンズ 3 2 によってイメージセンサー 3 3 上に結像され、その場合に、該イメージをイメージセンサー上にフォーカシングするために、フォーカシングレンズ 3 2 は図 5 において矢印で示したように、対物レンズ 3 1 及びフォーカシングレンズ 3 2 の光軸に沿って移動される。テレカメラ 1 9 の視野はむしろ狭く且つ図 5 に示したように境界光線 3 4 によって囲まれている。

【 0 0 8 2 】

ファインダーカメラ 1 8 はテレカメラ 1 9 の光学的要素のうちの幾つかを使用している。ファインダーカメラ 1 8 は対物レンズ 3 1 と、対物レンズ 3 1 の光路内に配置されているビーム分割用プリズム 3 5 と、補助的対物レンズ 3 6 と、ダイヤフラム 3 7 と、第二イメージセンサー 3 8 とを有している。対物レンズ 3 1 と補助的対物レンズ 3 6 とによって形成される結合型対物レンズは、ファインダーカメラ 1 8 によって捕捉されるシーンからの光を第二イメージセンサー 3 8 上にフォーカスさせる。結合型対物レンズにおいて、対

10

20

30

40

50

物レンズ31を介して通過する光はビーム分割用プリズム35の半反射表面39によって補助的対物レンズ36へ向かって反射される。補助的対物レンズ36はファインダーカメラ18に対する結合型対物レンズの焦点距離を減少させる。ダイヤフラム37は2,3メートルを超える距離における物体に対する第二イメージセンサー38上での基本的にフォーカスしたイメージングを確保し、従ってファインダーカメラ18に対して、フォーカシングレンズは必要ではない。結合型対物レンズの減少された焦点距離に起因して、ファインダーカメラ18の視野(図5において制限光線40により示してある)はテレカメラ19のものよりも一層大きい。好適には、ファインダーカメラ18の視界はテレカメラ19の視界の10倍又はそれ以上である場合がある。

**【0083】**

第一及び第二イメージセンサー33及び38は、両方共、CCDマトリクスセンサーであり、それは非常に良い近似で矩形状である光検知要素からなる配置を有している。該イメージセンサーにより捕獲されるイメージは以下に更に説明するユニットにより処理される。

**【0084】**

距離測定装置30は、光学的放射射出/受取ユニット41、ビーム分割用層43を具備するダイクロイックビーム分割用プリズム42と、対物レンズ31とを有している。該射出/受取ユニット42は、赤外線放射を射出し、それはダイクロイックビーム分割用層43によって選択的に対物レンズ31へ向かって反射される。該赤外線放射は、次いで、地形内のリフレクター又はターゲットにあたる場合があり、そこから戻される。対物レンズ31は戻された赤外線放射をビーム分割用プリズム42を介して射出/受取ユニット41へフォーカスさせる。射出/受取ユニット41は赤外線放射のパルスを射出し且つ射出/受取ユニット41からターゲットへ且つ射出/受取ユニット41へ戻る該パルスの飛行時間を測定し且つその飛行時間からビデオタキオメーター11からそのターゲットへの距離を決定する。

**【0085】**

ビデオタキオメーター11のコンポーネントのどのような動きも電子的に影響される。図6はブロック図を示しており、そこでは、ビデオタキオメーター11の種々の機能的ブロックが模式的に示されており、それらの互いの接続が包含している。破線は夫々のコンポーネント及び装置が配置されている物理的ユニットを例示している。

**【0086】**

アリダード12内に配置されているバッテリー44がビデオタキオメーター11にパワーを供給すべく作用する電源ユニット45に電源を供給する。電源ユニット45はアリダード12内の全てのコンポーネント及び装置及び望遠鏡ユニット6、及びそれに接続されている全てのモジュールに所要の動作電圧を供給する。より良い全体図とするために、これらの接続線は図示していない。個々のコンポーネントは、アリダード12内のコンポーネントの場合のように、別々の線を介して個別的に接続することが可能であり、又はアリダード12と望遠鏡ユニット16との間でデータと電源線とを与える中央バス46により接続することが可能である。傾斜軸20上に配置したスリップリング47がアリダード12内のバス46のセクションを望遠鏡ユニット16と接続する。これらのスリップリング47によって、望遠鏡ユニット16内の電氣的又は電子的コンポーネントは、電力を供給することが可能であり、且つアリダード12内のコンポーネントとデータを交換することが可能である。

**【0087】**

垂直軸15上に配置したスリップリング47は、外部からの電源及び図示していないプラグを介しての外部装置への又はそれからのデータ転送を可能とさせる。

**【0088】**

ビデオタキオメーター11の制御又は動作のために、ビデオタキオメーター11は制御パネル21及び対応するノブにより動作可能なアリダード12上に配置した角度エンコーダの形態の動作要素48,49,50が設けられている。ビデオタキオメーター11の動

10

20

30

40

50

作を制御するための重要な電氣的装置は、アリダード12内に配置されており且つ電源ユニット45により電力が供給される装置制御ユニット51である。

【0089】

制御パネル21はオペレータとビデオタキオメーターとの間の通信をつかさどり且つ入力のためのキーボード52、例えばLCD等のカメラ18又は19の夫々の1つにより捕獲されるデータ及びイメージの出力のためのディスプレイ53、ディスプレイ53とキーボード52とに接続されているコンピュータ54が設けられている。

【0090】

制御パネル21はアリダード12内に配置されている装置制御ユニット51及び解放可能な接続55を介して電源ユニット45へ接続されている。制御パネル21は着脱自在であるので、それはそれ自身のバッテリーを具備することが可能であり、そのことは、制御パネル21がアリダード12から取り外した場合であってもコンピュータ54が継続して動作することを確保する。コンピュータ54は接続56を介して装置制御コンピュータ51へ接続されており且つそのプログラム及びデータメモリによって多数の測地計算することが可能である。

10

【0091】

動作要素48, 49, 50は対応するインターフェース57を介して装置制御コンピュータ51へ接続されている。このインターフェース57は、夫々、動作要素48, 49, 50の回転位置に対応する信号を発生することが可能であり、該信号は装置制御ユニット51へ送信される。

20

【0092】

動作要素48及び49は、夫々、垂直軸15周りのアリダード12の回転及び傾斜軸20周りの望遠鏡ユニット16の傾斜を制御すべく機能する。動作要素48及び49の夫々及びインターフェース57からの信号に应答して、装置制御ユニット51はアリダード12内の制御回路58及び59を介して駆動部22及び23を制御して垂直軸15周りにアリダード12を回転させ且つ望遠鏡ユニット16を傾斜軸20の周りにチルト即ち傾斜させる。角度測定値は駆動部22及び23を制御するために使用することが可能である。

【0093】

駆動部22及び23は動作要素48, 49夫々によって単独に制御されることは必要ではないが、装置制御ユニット51内に格納されており且つ実行されるプログラムに基づいて又は装置制御ユニット51へ送られるコマンドに基づいて制御することも可能である。

30

【0094】

駆動部22及び23は角度測定装置、即ち水平角度に対するメモリの付いた水平円24と対応する検知ヘッド25、又は垂直角度に対するメモリの付いた垂直円26と対応する検知ヘッド27の夫々と共同し、従って測定可能な態様で、望遠鏡ユニット16を具備するアリダード12を所望により垂直軸15周りに回転させることが可能であり且つ望遠鏡ユニット16を傾斜軸20周りに回転させることが可能であり且つ所望の水平及び垂直角度位置とさせることが可能である。この目的は就中、検知ヘッド25及び27から信号を受取り且つ該信号に应答して水平駆動部22用の制御回路58及び垂直駆動部23用の制御回路58を制御する装置制御コンピュータ51によって達成される。

40

【0095】

アリダード12が垂直軸5周りに回転され且つ望遠鏡ユニット16が傾斜軸20周りに回転される角度は3つの態様で与えることが可能である。第一に、動作要素48及び49は対応する角度を装置制御コンピュータ51へ入力することを可能とする。第二に、装置制御コンピュータ51はビデオタキオメーター11の他のコンポーネントからのデータの関数として設定されるべき角度を決定することが可能であり、従って制御回路58及び59夫々を制御することが可能である。第三に、対応するデータは例えばRS232インターフェースであるインターフェース60を介して制御装置ユニット51へ入力することが可能である。

【0096】

50

装置制御コンピュータ51へ接続されており且つアンテナ62を具備する無線モジュール61は、例えば遠隔制御等の遠隔装置とデータを交換すべく作用する。例えば、ビデオタキオメーター11は図示していないが測定のターゲット点に位置されている遠隔制御又はステーションにより遠隔制御することが可能である。

【0097】

イメージセンサー33及び38の信号を処理するために、データ圧縮ユニット63が望遠鏡ユニット16内に設けられており、それはイメージセンサー33及び38から受取ったイメージセンサーを圧縮する。次いで圧縮されたデータは装置制御ユニット51を送ることが可能であり、それは該データを処理し及び/又はコンピュータ54及びディスプレイ53へ転送することが可能である。

【0098】

フォーカシングレンズ32の位置を制御するために、アリダード12に配置した動作要素48及び49と同じタイプの動作要素50がインターフェース57を介して装置制御ユニット51へ信号を供給し、該ユニット51は対応する制御信号を望遠鏡ユニット16内に配置されているサーボ制御ユニット64へ供給し、フォーカシングレンズ32をシフトさせるための対応するフォーカシング駆動部を駆動する。この駆動部は図示していない。

【0099】

装置制御ユニット51は、更に、上述した光学的垂直器28及び傾きセンサー29へ接続している。

【0100】

装置制御ユニット51は揮発性メモリと、非揮発性メモリと、該非揮発性メモリ内に格納されているプログラムを実行するためのプロセッサとを有している。該プログラムはイメージセンサー33及び38の夫々から得られたイメージを処理し且つ処理したイメージを制御パネル21のコンピュータ54をしてディスプレイ53上に表示するように適合されている。該プログラムは、更に、プログラムモジュールを有しており、それは、水平及び垂直円24及び26から読取った水平及び垂直角度及びイメージセンサー33上の物点のイメージの位置の関数としてテレカメラ19により捕獲されたイメージの物点の方向を計算することが可能である。該物点は図示していないがコンピュータ54を介して装置制御ユニット51へ接続されているマウス等のポインティングデバイスにより選択することが可能である。

【0101】

ビデオタキオメーター11は本発明の第一の例示的实施例に基づくデータ処理システム65及び延長自在なコリメータ66を使用して本発明の第一の例示的实施例に基づく測量器をキャリブレーションするための方法によってキャリブレーションすることが可能である。

【0102】

そのセットアップを模式的に図7に示してある。

【0103】

データ処理システム65は、プロセッサ67、プロセッサ67によって実行されるべきプログラム及び永久的及び一時的データを格納するためのメモリ68、及びキャリブレーションのために使用されるデータを読取り且つキャリブレーションされるべき測量器、即ちビデオセオドライト11へコマンドを送るためのインターフェース69を有している。本実施例においては、インターフェース69はRS232インターフェースである。データ処理システム65は、更に、本発明の第一の好適な例示的实施例に基づくコンピュータプログラムが格納されているCD71の形態にある格納媒体から本発明の第一の好適な例示的实施例に基づくコンピュータプログラムを読取るためにこの場合にはCD-ROMドライブ70である格納媒体用の読取器を有している。該コンピュータプログラムがCD-ROMドライブ70によってCD71から読取られ且つメモリ68内に格納されると、データ処理システムにより実行されるべきキャリブレーション方法のステップを実施するためにそれをプロセッサ67により実行することが可能である。

【0104】

10

20

30

40

50

データ処理システム 65 はこの例においては適宜のケーブルである接続 72 を介してビデオタキオメータ 11 のインターフェース 60 へ接続している。

【0105】

このセットアップは、更に、コリメータ 66 を包含しており、それは仮想キャリブレーション点を発生すべく作用する。図 8 により詳細に示してあるコリメータ 66 は案内管要素 73 と被案内管要素 74 とを有している。被案内管要素 74 は、案内管要素 73 によって案内されながら案内管要素 73 内において摺動自在である。

【0106】

案内管要素 73 は図示していない装着手段によって地面と相対的に固定した位置に装着することが可能である。被案内管要素 74 は図 8 には示していないノブにより動作されるべきラックアンドピニオン駆動部 75 によって案内管要素 73 と相対的に摺動させることが可能である。案内管要素 73 と相対的な被案内管要素 74 の位置は、例えばこれらの管要素 73 及び 74 に刻設したスケール 87 によって最大でミクロンの精度で適宜の測定装置により決定することが可能である。

【0107】

被案内管要素 74 内に配置した照明装置 76 がすりガラススクリーン 77 を照明する。照明されたすりガラススクリーン 77 は第一クロスヘア 78 を照明する。照明装置 76 により射出された光の光路内に配置したビームスプリッター 79 が第一クロスヘア 78 を通過した光を案内管要素 73 内に装着されている対物レンズ 80 へ向かって再指向させる。対物レンズ 80 は、対物レンズ 80 と第一クロスヘア 78 との間の距離によって決定される距離へ実像又は虚像としてクロスヘア 78 を結像させる。キャリブレーションの目的のために、第一クロスヘア 78 が対物レンズ 80 とその物体側焦点との間に位置されている。従って、クロスヘア 78 は仮想キャリブレーション点を発生するために使用することが可能なフローティングマークを表わしている。

【0108】

第二クロスヘア 81 がビームスプリッター 79 を超えて対物レンズ 80 の光軸上に配置されており且つ接眼レンズ 82 により見ることが可能である。

【0109】

テレカメラ 19 がアクティブである場合のビデオタキオメータ 11 のキャリブレーションの場合に、キャリブレーションのために調節すべきモデルパラメータを包含するモデルが使用される。該モデルは 2 つのサブモデルを有している。

【0110】

第一サブモデルは、ベース要素 13 に固定されている座標系における座標をカメラ、即ちテレカメラ 19 に固定されているカメラ座標系へ変換するためのモデルであり、パラメータとして、測量器に設定した水平及び垂直角度及びイントロダクションにおいて説明した軸エラー、即ち傾斜軸エラー及び何等かの形態のコリメータエラー及び垂直インデックスエラーに関連するパラメータを包含している。

【0111】

第二サブモデルはカメラモデルであり、それはカメラによる物点の該カメラのイメージセンサー上へのイメージング即ち結像を表わす。この実施例においては、ピンホールモデルが使用される。

【0112】

このモデルにおいては、基本的に 2 つの座標系が使用される。第一座標系は測量器座標系（器械座標系）と呼ばれ、ベース要素 13 に関して固定されている（図 4 参照）。それはカーティシアン座標系であり、その原点は垂直軸 15 と傾斜軸 20 との交差点にあり、且つ X 軸、Y 軸、Z 軸は互いに直交している。これらの軸が交差しない場合には、これらの軸の最も近い点が座標系の原点として使用される。X 軸及び Y 軸は垂直軸 15 に対して直交し、従って、垂直軸 15 が地面に対して垂直である場合には、水平である。この座標系において、点 P はカーティシアン座標 (X, Y, Z) を有している。

【0113】

10

20

30

40

50

第二に、カメラ座標系が使用され、それはカメラ 19 に関して固定されている。それは x 軸、y 軸、z 軸により定義され、3 つの軸全ては互いに直交している。点 P の位置はカメラ座標系における座標 ( x , y , z ) により記述することが可能である。

【 0 1 1 4 】

以下において、測量器座標系における座標は、常に、大文字で表記し、一方カメラ座標系における座標は常に小文字で表記する。

【 0 1 1 5 】

最初に、図 9 を参照してカメラモデルについてより詳細に説明する。

【 0 1 1 6 】

カメラモデルとして使用されるピンホールモデルは、イメージセンサー上にカメラにより結像される点 P がイメージセンサー 33 と関係しており且つ、特に、同一の面である場合があるイメージ面 I P 上への投影中心 O を介してのこの点の投影により記述することが可能であると仮定する。

【 0 1 1 7 】

従って、ピンホールモデルは、イメージ面 I P 及び該イメージ面と相対的な投影中心 O の位置により決定される。投影中心と相対的な投影中心の位置がカメラオプティクス、ここでは対物レンズ 31 とフォーカシングレンズ 32 とによって決定されるので、その位置はカメラの光学的特性、特に、カメラのイメージング即ち結像特性を表わしている。イメージ面への物点 P のイメージングはイメージ面上への投影中心 O を介しての物点の投影により表わされる ( 図 9 参照 )。そのイメージ面は、基本的にイメージセンサーの面であると仮定されて、従ってカメラ座標系の x 軸及び y 軸はイメージ面に対して平行である。矩形形状のカメラ座標系の z 軸はイメージ面に対して直交する投影中心を介しての線である。イメージは常にイメージ面内にあるので、その位置は x 及び y 座標によってのみ特性付けることが可能である。

【 0 1 1 8 】

( x , y , z ) がカメラ座標系における点 P の座標であり且つ ( x<sub>0</sub> , y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub> ) がカメラ座標系における投影中心座標であるとする。従って、投影中心 O を介してのイメージ面 I P に直交する線の貫通点 H<sub>p</sub> 即ち z 軸は x y 面内において座標 x<sub>0</sub> 及び y<sub>0</sub> を有している。更に、( x , y , z ) はイメージ面におけるカメラにより発生された点 P のイメージ P の座標を示している。カメラオプティクスが歪みを発生しない場合には、単純な幾何学的論拠によって以下の関係が得られる ( 図 9 参照 )。

【 0 1 1 9 】

【 数 1 】

$$\frac{x' - x_0}{c_k} = \frac{x - x_0}{z - z_0}$$

$$\frac{y' - y_0}{c_k} = \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

【 0 1 2 0 】

尚、c<sub>k</sub> は投影中心とイメージ面との間の距離を表わすいわゆるカメラ定数である。従って、z = c<sub>k</sub> が成立する。

【 0 1 2 1 】

カメラオプティクスはイメージにおいて歪みを発生する場合があります、その歪みはカメラオプティクスにおいて使用されるレンズの不完全性及び / 又はそれらのアライメントによって発生される。一次径方向歪みを考慮するために、別のパラメータ v を導入する。歪みにより発生されるイメージの位置における相対的变化は、定数 v × 貫通点 H<sub>p</sub> からのイメージの径方向距離の二乗としてモデル化される。点 ( x , y , z ) のイメージが歪みなしでイメージ面において ( x , y ) に該当する場合には、貫通点 H<sub>p</sub> からのイメージ点の平方した径方向距離は ( x - x<sub>0</sub> )<sup>2</sup> + ( y - y<sub>0</sub> )<sup>2</sup> である。従って、歪み補正值 x 及び y が加算され ( 図 9 参照 ) その結果次式となる。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 2 】

【 数 2 】

$$x' = x_0 + c_k \frac{x - x_0}{z - z_0} + \Delta x'$$

$$y' = y_0 + c_k \frac{y - y_0}{z - z_0} + \Delta y'$$

尚、

$$\Delta x' = v \left( (x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2 \right)^{1/2} (x' - x_0)$$

$$\Delta y' = v \left( (x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2 \right)^{1/2} (y' - y_0)$$

10

【 0 1 2 3 】

v はカメラのオプティックスの上述した一次径方向歪みを表わすカメラモデルパラメータである。

【 0 1 2 4 】

これらの式はカメラ座標系においてのみ有効である。物点の座標が測量器座標系において表現されるべき場合には、これらの座標系の変換が必要である。これは変換用のサブモデルである。

【 0 1 2 5 】

一般的に、該変換は、座標系軸周りの3つの回転と空間内の並進ベクトルのシーケンスにより表わすことが可能である。従って、カメラ座標系における点 P の座標  $p^t = (x, y, z)$  は次式、

20

【 0 1 2 6 】

【 数 3 】

$$p = T + R^{-1}P$$

【 0 1 2 7 】

によって測量器座標系における座標  $P^t = (X, Y, Z)$  へ変換される。尚、T は変換ベクトルであり且つ  $R^{-1}$  は回転行列の積 R の逆数である。キャリブレーション期間中に、投影中心の位置及びイメージ面の位置及び配向は調節されるので、カメラ座標系の原点を投影中心として選択することが可能であり、その結果次式が得られる。

30

【 0 1 2 8 】

【 数 4 】

$$p = R^{-1}(P - O)$$

【 0 1 2 9 】

この関係を x 及び y に対する式に挿入するといわゆる共線方程式が得られる。

【 0 1 3 0 】

【数5】

$$x' = x'_0 - c_k \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$y' = y'_0 - c_k \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

尚、

$$\Delta x' = \frac{\sqrt{\left( (r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2 \right)}}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

10

$$\Delta y' = \frac{\sqrt{\left( (r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2 \right)}}{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}$$

【0131】

尚、 $r_{ij}$ 、 $i, j = 1, \dots, 3$ はRの行列要素であり且つ測量器座標系における投影中心Oの座標は $(X_0, Y_0, Z_0)$ である。

【0132】

カメラ座標系の原点は投影中心に選択されており且つz軸はイメージ面に対して直交していると仮定されているので、CCDセンサーの行列の行及び列に沿って指向されるx軸及びy軸を有するイメージセンサー座標系におけるイメージセンサー上で読取られるイメージ位置 $(x, y)$ は、 $x = x - x_s$ 及び $y = y - y_s$ により与えられるカメラ座標系におけるイメージ位置に対応しており、尚 $(x_s, y_s)$ はイメージセンサーにより測定されるイメージ面とz軸の交差の位置の座標であり、即ちイメージセンサー上の対応するピクセル位置である。従って、上述した式においてx及びyは $x - x_s$ 及び $y - y_s$ により置換される。

20

【0133】

要するに、カメラモデルのパラメータは貫通点の座標 $x_s, y_s$ と、カメラ定数 $c_k$ と、カメラオプティックスの歪み特性を表わすパラメータ $v$ とである。カメラ座標系の定義により、 $x_0 = y_0 = 0$ が成立する。

30

【0134】

カメラ座標系と測量器座標系との間の変換は、例えば、以下に説明するように測量器座標系と一致するオリエンテーション即ち配向から開始してカメラ座標系の相次ぐ回転を実施することにより種々の態様で派生させることが可能である。

【0135】

図10は、座標軸 $x, y, z$ を有するカメラ座標系、座標 $x, y$ を有するイメージ座標系、座標 $(x_s, y_s, c_k)$ を有する原点、x及びy軸がx及びy軸と平行であること、及びそれらの測量器座標系 $(X, Y, Z)$ に対する関係を示している。図10において、測量器座標系の原点は理論的な傾斜軸、垂直軸、視準軸の交点に位置している(即ち、夫々、測量器中心又はタキオメーター中心にある)。これらの理論的な軸に対して、上述した条件が満足される場合には、理論的な垂直軸15は地面に対して垂直であると仮定され、理論的な傾斜軸20と理論的な垂直軸15との間の角度及び理論的な視準軸83と理論的な傾斜軸20との間の角度は直角であると仮定される。3つの軸全ては1つの点で交差し、その点は測量器座標系の原点である。更に、実際の垂直軸が理論的な垂直軸であると仮定される。測量器座標系のZ軸は測量器の垂直軸と一致し、且つY軸は水平点24上でマーク付けされたゼロ方向と一致する。

40

【0136】

カメラ座標系の原点は投影中心Oである。然しながら、図10において、より良い概観を与えるために、その原点はイメージプレーンへシフトして示してある。主点 $H_p$ 、即ち投影中心を貫通しており且つイメージ面IPに対して直交している線の貫通点はイメージ

50

面におけるイメージ座標系において座標  $x_s$  及び  $y_s$  を有している。

【 0 1 3 7 】

図 1 0 乃至 1 2 に示したように、実際の傾斜軸 2 0 は角度  $i$  だけ理論的な傾斜軸 2 0 から逸れている場合があり、その角度は実際の傾斜軸 2 0 と垂直軸 1 5 の間の角度の直角からの逸れである。従って、角度  $i$  は傾斜軸エラーを表わしている。

【 0 1 3 8 】

更に、理論的な視準軸 8 3 は投影中心  $O$  を貫通して走行することは必要ではない。この逸れは 2 つの角度  $c_0$  及び  $z_0$  により表わすことが可能である。角度  $c_0$  は理論的な傾斜軸 2 0 及び理論的な視準軸 8 3 によって与えられる面内において、理論的な傾斜軸 2 0 と投影中心  $O$  を貫通する線との間の角度及び理論的な視準軸 8 3 と理論的な傾斜軸 2 0 の交差点として定義される。角度  $z_0$  は、垂直軸 1 5 と理論的な視準軸 8 3 によって与えられる面内において、理論的な視準軸 8 3 と投影中心  $O$  を貫通する線との間の角度及び理論的な視準軸 8 3 と理論的な傾斜軸 2 0 との交差点として定義される。

10

【 0 1 3 9 】

カメラレンズのレンズマウンティングにより定義される望遠鏡軸 1 1 0 の理論的な視準軸 8 3 からの逸れは、望遠鏡軸 1 1 0 と理論的な視準軸 8 3 との間の角度  $c_F$  により定義される。

【 0 1 4 0 】

カメラ座標系は、又、角度  $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  だけ測量器座標系の軸周りに回転される場合があり、それらはビデオタキオメーター 1 1 の何等かのエラー及び方向とは独立であると仮定される。

20

【 0 1 4 1 】

上述した逸れは、夫々、水平及び垂直円 2 4 及び 2 6 から読取られる場合に、実際の又は真の水平及び垂直角度の夫々の角度からの逸れを発生する。

【 0 1 4 2 】

カメラ座標系の実際の又は実効的傾斜角度は、

$$V_0 = V_m + z_0$$

により与えられ、それは図 1 0 及び 1 2 から決定することが可能である。ここで、 $V_m$  は垂直円 2 6 から読取られる場合の垂直角度を示している。

【 0 1 4 3 】

30

角度  $c_0$  及び  $c_F$  は次式のコリメーションエラーとして、夫々、投影中心及び実際の水平角度の球座標に関して同じ影響を有している。

【 0 1 4 4 】

【数 6】

$$\frac{c_0}{\sin(V_0)} \quad \text{及び} \quad \frac{c_F}{\sin(V_0)}$$

【 0 1 4 5 】

角度  $i$  は  $i \cot(V_0)$  の水平角度における逸れを発生する。

【 0 1 4 6 】

従って、垂直軸周りにカメラ座標系が回転される実効水平角度  $H z_{eff}$  は次式となり、

40

【 0 1 4 7 】

【数 7】

$$H z_{eff} = H z_m + \frac{c_F}{\sin(V_0)} + i \cdot \cot(V_0)$$

【 0 1 4 8 】

尚、 $H z_m$  は水平円 2 4 から読取られる水平角度を示している。

【 0 1 4 9 】

これらの式の詳細なる導出については Deumlich, F., Staiger, R. 「測量技術の器械知識 (Instrumentenkunde der Verm

50

essungstechnik)」、ハイデルベルグ、ドイツ、9版、206乃至208頁において見出すことが可能である。

【0150】

回転行列  $R^{-1}$  は、測量器座標系と一致するオリエンテーション即ち配向において開始してカメラ座標系の以下の回転シーケンスを考慮することにより得ることが可能である。

【0151】

最初に、カメラ座標系を実効水平角度  $H_{z_{eff}}$  だけ垂直軸周りに回転させる。回転された座標系における対応する座標は以下の回転行列により得ることが可能である。

【0152】

【数8】

$$R_x^{-1}(H_{z_{eff}}) = \begin{bmatrix} \cos(-H_{z_{eff}}) & \sin(-H_{z_{eff}}) & 0 \\ -\sin(-H_{z_{eff}}) & \cos(-H_{z_{eff}}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

10

【0153】

傾斜軸エラーは、角度  $i$  だけ変化された、即ち回転されたカメラ座標系の  $y$  軸周りの回転により考慮される。

【0154】

対応する座標変換は以下の回転行列により与えられる。

【0155】

【数9】

$$R_\phi^{-1}(i) = \begin{bmatrix} \cos(i) & 0 & \sin(i) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(i) & 0 & \cos(i) \end{bmatrix}$$

20

【0156】

さて、2度回転させたカメラ座標系を、実効垂直角度  $V_0$  だけ2度回転させたカメラ座標系の  $x$  軸周りに更に回転させる。測地学においては垂直角度は天頂から測定されることを考慮に入れると、該座標変換に対する対応する回転行列は以下のようになる。

【0157】

【数10】

$$R_\omega^{-1}(V_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(200gon - V_0) & -\sin(200gon - V_0) \\ 0 & \sin(200gon - V_0) & \cos(200gon - V_0) \end{bmatrix}$$

30

40

【0158】

4番目のステップにおいて、これまで回転されたカメラ座標系を現在の  $y$  軸周りに角度  $c_F$  だけ更に回転させる。対応する座標変換は回転行列により以下の如く書くことが可能である。

【0159】

【数 1 1】

$$R_{\phi}^{-1}(c_F) = \begin{bmatrix} \cos(c_F) & 0 & \sin(c_F) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(c_F) & 0 & \cos(c_F) \end{bmatrix}$$

【0 1 6 0】

最後に、最後の回転により得られたカメラ座標系を角度  $\phi$  だけ  $x$  軸周りに、角度  $\phi$  だけ  $y$  軸周りに、且つ角度  $\phi$  だけ  $z$  軸周りに回転させる。対応する回転行列は以下の如くである。

10

【0 1 6 1】

【数 1 2】

$$(R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa))^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\phi)\cos(\kappa) & -\cos(\phi)\sin(\kappa) & \sin(\phi) \\ \cos(\omega)\sin(\kappa) + \sin(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\kappa) - \sin(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & -\sin(\omega)\cos(\phi) \\ \sin(\omega)\sin(\kappa) - \cos(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \sin(\omega)\cos(\kappa) + \cos(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\phi) \end{bmatrix}$$

【0 1 6 2】

従って、行列要素  $r_{ij}$ ,  $i, j = 1, \dots, 3$  を有する完全な回転行列は以下の如くである。

【0 1 6 3】

20

【数 1 3】

$$R = R_x(Hz_{\kappa}) \cdot R_{\phi}(k_0) \cdot R_{\omega}(V_0) \cdot R_{\phi}(c_F) \cdot R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa)$$

【0 1 6 4】

図 10 から、測量器座標系における投影中心  $O$  の座標は以下の如くに書くことが可能である。

【0 1 6 5】

【数 1 4】

$$O = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \cdot \sin(V_m + z_0) \cdot \sin\left(Hz_m + \frac{c_0}{\sin(V_m + z_0)} + i \cdot \cot(V_m + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \sin(V_m + z_0) \cdot \cos\left(Hz_m + \frac{c_0}{\sin(V_m + z_0)} + i \cdot \cot(V_m + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \cos(V_m + z_0) \end{bmatrix}$$

30

【0 1 6 6】

尚、 $S_0$  は測量器座標系の原点からの投影中心の距離を示している。

【0 1 6 7】

従って、完全なる変換は回転行列  $R$  及び投影中心の位置によって与えられる。この変換において使用される変換パラメータ、即ち該変換をパラメータ化する変換パラメータは  $i, c_0, c_F, z_0, S_0, \dots$  である。該変換は、又、水平円上で読取られる水平及び垂直角度  $H z_m$  及び  $V_m$  に依存する。

40

【0 1 6 8】

共線方程式及び座標変換を使用して、球座標  $H z, V, S$ 、従って器械座標系におけるカーティシアン座標  $(S \cos(H z) \sin(V), S \sin(H z) \sin(V), S \cos(V))$  を有しており且つカメラモデルパラメータと以下の変換パラメータとを使用して水平及び垂直角度  $H z_m$  及び  $V_m$  に結像される物点のイメージの位置  $x$  及び  $y$  を計算することが可能である。

【0 1 6 9】

【数 1 5】

$$x'' = x'_s - c_K \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$y'' = y'_s - c_K \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

【0 1 7 0】

尚、

【0 1 7 1】

【数 1 6】

$$\Delta x' = \frac{\sqrt{(r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2}}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\Delta y' = \frac{\sqrt{(r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0))^2 + (r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0))^2}}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

【0 1 7 2】

上の式は簡単化のために以下の如く書くことが可能である。

【0 1 7 3】

【数 1 7】

$$x'' = U_x(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S, V_m, Hz_m) \text{ 及び}$$

$$y'' = U_y(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S, V_m, Hz_m)$$

【0 1 7 4】

本発明の第一の好適な実施例に基づく方法を図 1 3 乃至 1 5 を参照して説明する。この方法は 4 つの主要なセクションに分割することが可能である。

【0 1 7 5】

第一セクション S 1 において、コリメーター 6 6、データ処理システム 6 5、ビデオタキオメーター 1 1 によってキャリブレーションデータが得られる。

【0 1 7 6】

コリメーター 6 6 によって、幾つかの仮想キャリブレーション点  $P_i, i = 1, \dots, N$ 、尚 N は正の整数である、が与えられる。これらの仮想キャリブレーション点に対する距離データが、光路に沿ってのクロスヘア 7 8 と対物レンズ 8 0 との間の距離及び対物レンズ 8 0 とビデオタキオメーター 1 1 との間の距離を測定することにより得られる。更に、各キャリブレーション点に対して、該キャリブレーション点のイメージが異なる位置において発生され、且つイメージセンサー及びイメージセンサー上のイメージの位置を表わす対応するイメージ位置データ及び対応する水平及び垂直角度を表わす配向データがビデオタキオメーター 1 1 の両方の面において得られる。これらのステップの幾つかはデータ処理システム 6 5 におけるコンピュータプログラムにより実施される。

【0 1 7 7】

第二セクション S 2 において、キャリブレーションのために使用されるモデルが与えられ、それは、この例においては、上述したモデルである。該モデルはデータ処理システム 6 5 において実行されるコンピュータプログラムのプログラムコードの形態で与えられる。

【0 1 7 8】

第三セクション S 3 において、該モデルパラメータに対する値及び測量器座標系におけるキャリブレーション点と関連する方向を表わすデータが最小二乗推定方法を使用して推定される。このセクションにおける全てのステップもデータ処理システム 6 5 におけるコンピュータプログラムにより実施される。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 7 9 】

第四セクション S 4 において、得られたモデルパラメータが測量器、即ちビデオタキオメーター 1 1 内に格納され、その中において使用されてイメージセンサー上の与えられた位置に対し測量器座標系における対応する方向を計算し、且つイメージセンサー 3 3 上に結像される点のビデオタキオメーターからの距離が既知である場合には、対応するカーティシアン座標も計算する。

## 【 0 1 8 0 】

セクション S 1 において、各キャリブレーション点に対し、即ち N 回、図 1 4 に示したステップが実行される。

## 【 0 1 8 1 】

最初に、ステップ S 5 において、対物レンズ 8 0 に関するその位置を変化させることによりコリメーター 6 8 におけるクロスヘア 7 8 の仮想イメージを発生することにより新たなキャリブレーション点を与えられる。その目的のために、クロスヘア 7 8 は距離  $f$  だけ対物レンズ 8 0 の焦点と対物レンズ 8 0 との間で移動されねばならない。

## 【 0 1 8 2 】

ステップ S 6 において、測量器、即ちビデオタキオメーター 1 1 と仮想キャリブレーション点との間の距離  $D$  が得られる。図 1 6 はその計算を例示している。この図において、第一クロスヘア 7 8 は簡単化のために対物レンズ 8 0 の光軸上に示してある。距離  $D$  を計算するために、クロスヘア 7 8 の仮想イメージの対物レンズ 8 0、より精密にはビデオタキオメーター側上の対物レンズ 8 0 の主面  $H$  からの距離  $s$  が次式により対物レンズ 8 0 の焦点距離  $f$  及び対物レンズ 8 0 の焦点からのクロスヘア 7 8 の距離  $F$  から計算される。

## 【 0 1 8 3 】

## 【 数 1 8 】

$$s = f \frac{(f - \Delta f)}{-\Delta f}$$

## 【 0 1 8 4 】

次いで、仮想イメージ距離  $s$  を対物レンズ 8 0、即ちその上述した主面  $H$  と測量器、即ちビデオタキオメーター 1 1 の垂直軸との間の距離  $S_{Th/H}$  へ加算する。

## 【 0 1 8 5 】

データ処理システム 6 5 に関し、本発明の第一の例示的实施例に基づくコンピュータプログラムが開始され且つ最初に図には示していないディスプレイ及びキーボードを介して正の整数  $N$  を入力することを要求する。整数  $N$  を入力した後に、該プログラムは第一キャリブレーション点に関連する距離データの入力を要求する。これらのデータの輸入の後に、プロセッサ 6 7 はデータ処理システムのメモリ 6 8 内にそのデータを格納する。別の実施例においては、数  $N$  はコンピュータプログラム内にプリセットすることが可能であり、従ってユーザのインタラクションは必要ではない。

## 【 0 1 8 6 】

ステップ S 7 において、与えられたキャリブレーション点に対して、イメージセンサー 3 3 上に異なるイメージが発生され、且つ対応するイメージ位置データ及び配向データが得られ且つデータ処理システム 6 5 内に格納される。

## 【 0 1 8 7 】

キャリブレーション点のイメージの発生及びキャリブレーションのために必要なデータの発生をより詳細に図 1 5 に示してある。

## 【 0 1 8 8 】

図 1 5 に示したステップ S 8 は第一キャリブレーション点に対して実施される。以下のキャリブレーション点に対して、このステップは、少なくとも、キャリブレーション点を与えるためにコリメーターが使用され、且つ望遠鏡ユニット 1 6、即ちカメラ 1 9 の再配向を除いて、測量器、即ちビデオタキオメーター 1 1 と相対的なコリメーターの配向が不変のままである場合には、必要である場合にのみ実施されることが必要であるに過ぎない。このステップにおいて、カメラ 1 9 は発生されたキャリブレーション点に対して指向さ

10

20

30

40

50

れる。この実施例においては、キャリブレーション点のイメージがイメージセンサー 33 上に表れることで充分である。

【0189】

更に、カメラを第一面内に持込み、そのことは、カメラ 19 の垂直軸が 0 と 200 gon との間であることを意味し、0 は垂直円 26 により決定されるように天頂である。

【0190】

次に、ステップ S9 において、カメラ 19 を回転させ且つ傾斜させてイメージセンサー 33 上のキャリブレーション点のイメージをイメージセンサー 33 上の所定の開始位置へ移動させる。好適には、この開始位置はイメージセンサー 33 の角部のうちの 1 つの近くに位置している。この目的のために、データ処理システム 65 内に格納されているコンピュータプログラムは、イメージセンサー 33 により捕獲されるイメージ等のイメージにおける物体認識用のプログラムモジュールを有している。データ処理システム 65 のメモリ 68 において、クロスヘア 78 を表わすテンプレートが格納されている。既知の物体認識技術、例えばテンプレートマッチングアルゴリズムの使用により、捕獲したイメージ、即ちイメージセンサー 33 上のキャリブレーション点のイメージの位置が得られる。そこで、該コンピュータプログラムは、キャリブレーション点のイメージを開始位置により近づけるために、カメラ 19 を垂直軸 15 周りに与えられたインクリメントだけ回転させ及び/又は傾斜軸 20 周りに傾斜させるべきか否かを計算する。次いで、それは対応するコマンドを測量器に対して発行し、その場合に、装置制御ユニット 51 が該対応するコマンドを受取け且つ駆動部 22 及び/又は 23 により夫々の角度だけカメラ 19 を移動させる。次いで、新たなイメージが捕獲され且つキャリブレーション点のイメージが開始位置に到達するまでこのプロセスが繰り返される。それにより、キャリブレーション点のイメージが開始位置に近づくに従い、角度インクリメントの寸法を減少させることが可能である。

【0191】

ステップ S10 において、該プログラムは、キャリブレーション点のイメージのターゲット位置としてイメージセンサーをカバーするマトリクス即ち行列のセルにおけるランダムな位置を計算する。その目的のために、イメージセンサーは所定の正の整数 L 及び M で L × M 行列に分割されており、該セルの幾何学的中心が計算される。図 17 において、セル 88 はイメージセンサー 33 をカバーする矩形のアレイに配置されている。これらのセルの幾何学的中心は x によりマークしてある。該幾何学的中心の各々に対し、該行列における各方向に対して、擬似乱数発生器を使用して乱数を決定し、該乱数の大きさは対応する方向におけるセルの寸法の半分未満であり、次いで、夫々の方向における幾何学的中心の座標へ加算される。その結果得られる該セルの各々におけるランダムな位置を白抜き円により図 17 に示してある。乱数の使用はイメージセンサーにおける欠陥性の光検知要素の影響を劇的に減少させる。何故ならば、イメージ位置が常に欠陥性のピクセル上にあることを回避することが可能だからである。これらの位置はデータ処理システム 65 のメモリ 68 内に格納される。

【0192】

ステップ S11 において、望遠鏡ユニット 16、従ってカメラ 19 が回転され且つ傾斜されてイメージセンサー 33 上のキャリブレーション点のイメージをターゲット位置へ移動させる。その目的のために、ステップ S9 において同一のアルゴリズムを使用することが可能である。キャリブレーション点のイメージがターゲット位置に到達すると、イメージ位置データ、即ちイメージ面内のイメージの座標 x 及び y が格納され且つ配向データ、即ち水平及び垂直円夫々により決定される水平角度  $H_z_m$  及び垂直角度  $V_m$  がデータ処理システム 65 から測量器へ送られる対応するコマンドに应答して測量器から読取られる。

【0193】

イメージ位置データ及び配向データが各ターゲット位置に対して格納された後に、ステップ S12 において、カメラ 19 が第二面内のキャリブレーション点へ指向され、即ち、垂直円により決定される垂直角度は 200 と 400 gon の間である。キャリブレーション

ン点のイメージが第二面内においてイメージセンサー 33 上に表われることを確保するために、カメラは、好適には、垂直軸 5 周りに 200 gon だけ回転させ、次いで、400 gon - ステップ S11 における最後のターゲット位置に対して得られた垂直角度だけ傾斜させる。

【0194】

以下のステップ S13 及び S14 はステップ S10 及び S11 に対応しており、唯一の差異は、カメラ 19 が第二面内にあることである。

【0195】

ステップ S15 がキャリブレーション点の最後のものに対して実施されると、キャリブレーション用に使用されるモデルがステップ S2 において与えられる。その目的のために、データ処理システム内に格納されているコンピュータプログラムは上述したようなモデルを表わす対応する命令を有している。

【0196】

セクション S3 のステップは該コンピュータプログラムにより実行される。各キャリブレーション点  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, N$  に対して、 $Q$  個のイメージ  $j$ ,  $j = 1, \dots, Q$ 、尚  $Q$  は正の整数である、が発生され且つこれらのデータを読取ることにより対応するイメージ位置及び配向データが得られると、モデルパラメータ、測量器座標系におけるキャリブレーション点の方向及び夫々の配向データの関数としてキャリブレーション点のイメージの位置を予測するモデルが測定したイメージ位置データに適合するようにモデルパラメータが調節される。推定方法、即ち最小二乗推定は最小二乗による古典的な調節方法と等価なものであり、全てのキャリブレーション点  $i$  及び該キャリブレーション点の全てのイメージ  $j$  にわたっての以下の和により与えられる誤差関数  $E(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; \{S_l, \{x_{lj}, y_{lj}, V_{mlj}, Hz_{mlj}\}\})$  に基づいている。

【0197】

【数 19】

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^Q \left[ \left( x_{ij}^n - U_x(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S_l, V_{mlj}, Hz_{mlj}) \right)^2 + \left( y_{ij}^n - U_y(i, c_0, c_F, z_0, \omega, \phi, \kappa; S_0, c_K, x_S, y_S, v; S_l, V_{mlj}, Hz_{mlj}) \right)^2 \right]$$

【0198】

ここで、 $S_l, \{x_{lj}, y_{lj}, V_{mlj}, Hz_{mlj}\}$  はキャリブレーション点  $l$  に対する距離及び該キャリブレーション点の全てのイメージに対するデータセット  $j = 1, \dots, Q$  を示しており、イメージ  $j$  に対するデータセットはイメージ位置データ  $x_{lj}, y_{lj}$  及び垂直及び水平角度  $V_{mlj}, Hz_{mlj}$  セットを有している。

【0199】

誤差関数  $E$  は、適宜の最小化手順、例えば、Benning, Wilhelm 「測地学、地理情報及び土木における統計 (Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen)」、ハイデルベルグ、ドイツ、2002年、ISBN 3-87907-383-X、140 頁に記載されているようなガウス・ニュートンアルゴリズムを使用して最小化される。

【0200】

セクション S4 において、該コンピュータプログラムにより得られたデータは測量器内に格納される。その目的のために、データ処理システム 65 はこれらのデータをインターフェース 69 及び接続 72 を介して測量器、即ちビデオタキオメーター 11 へ送り、それはこれらのデータを装置制御ユニット 51 の非揮発性メモリ内に格納し、その中には、キャリブレーションのために使用されるモデルを表わすコンピュータプログラムの命令も格納されている。

【0201】

本方法の性能は、以下の例により例示することが可能である。この例においては、上述

10

20

30

40

50

した方法の各変形例が使用されるが、その場合に、各角度の組合わせに対し、1つを超える測定が為される。300mmの焦点距離及び100mにおける固定した焦点を具備しており、1の角度測定精度を具備する器械に適合させたカメラをキャリブレーションのために、例えば20m、80m、500mの距離における3つのキャリブレーション点及び、例えば、8×6位置のグリッドに配列した望遠位置当たり全部で48個の角度の組合わせを使用することが可能である。ランダムな逸れが0.05ピクセルより大きいことのない角度組合わせ当たり30個の測定が行われ且つ対応するデータが使用される場合に、垂直及び水平方向において約1の方向測定の精度で測量器をキャリブレーションすることが可能である。従って、本方法は、又、比較的大きな焦点距離を有するカメラのキャリブレーションに適している。

10

【0202】

該モデルを使用して、イメージセンサー上の物点のイメージのイメージ位置データから測量器座標系に関しての該物点の方向を計算することが可能である（図19参照）。次式を使用し、

【0203】

【数20】

$$P_T' = \vec{O} + R \cdot \begin{bmatrix} x_P' - \Delta x' - x_S'' \\ y_P' - \Delta y' - y_S'' \\ -c_K \end{bmatrix}$$

20

【0204】

尚、

【0205】

【数21】

$$\vec{O}$$

【0206】

は測量器座標系の原点から投影中心Oへのベクトルを示すものであり、結像した物点Pに対応する測定したイメージ位置データ $x_P'$ 、 $y_P'$ を測量器、即ちビデオタキオメータ11の座標へ変換させることが可能である。 $P_T'$ は測定したイメージ位置に対応する方向を表わす測量器座標系におけるベクトルである。投影中心O及び点 $P_T'$ は両方共測量器に関する座標において既知であり、且つ結像光線aを定義し、その上に物点が $x_{T'}$ 、 $y_{T'}$ により表わされるイメージセンサー上の位置に結像される。光線はビデオタキオメータ中心、即ち測量器座標系の原点を交差することを必要としないので、ビデオタキオメータ中心から物点Pの距離（近似的な距離）はビデオタキオメータ中心に関する方向の正しい計算のために与えられねばならない。この距離はビデオタキオメータ中心、即ち測量器座標系の原点周りに延在する球の半径として使用され、且つ結像光線aにより交差される。このように、2つの座標トリプレットが得られ、それはカメラの機能を具備する望遠鏡ユニット16の位置に依存して方向計算のために使用することが可能である。ビデオタキオメータ中心が結像光線に近ければ近いほど、この方法は与えられた距離から一層依存しなくなる。

30

40

【0207】

このように実施したカメラキャリブレーションの場合に、投影中心Oと傾斜軸及び垂直軸の交差により形成される測量器中心とを接続する直線として写真測量視準軸を定義することも可能である。図19において、点線で示してある写真測量視準軸は、測量器中心が座標系の原点であるので、ベクトル

【0208】

【数 2 1】

0

【0209】

と同軸状の線である。然しながら、この写真測量視準軸は図 1 1 に示した実際の視準軸と同一ではない。イメージ面における写真測量視準軸の貫通点はクロスヘアの位置を決定し、そこにおいて、横及び垂直コリメーションの古典的なエラーはその距離に沿って一定である。パラメータ推定期間中に決定されない限り、投影中心の横及び垂直方向の逸れは、横及び垂直コリメーションの古典的なエラーが該距離に沿って変化することがないピクセルで測定することが可能である。

10

【0210】

物点がこのように定義されたクロスヘアで視準される場合には、該クロスヘア、タキオメーター中心、投影中心 O 及び物点 P は直線上に存在し、この直線は写真測量結像光線と同一である。

【0211】

ビデオセオドライト 1 1 のコンピュータ 5 4 において、ディスプレイ 5 3 上の写真測量視準軸を表わすマーク 1 1 1、例えばクロスヘアを表示するためのプログラムコードを格納することが可能であり（図 2 0 参照）、従って、該コンピュータはディスプレイを制御するための制御ユニットを表わしている。ディスプレイ 5 3 上の対応する位置は測量器内に格納されているキャリブレーションパラメータから計算することが可能であり、又は一度計算し次いで測量器、例えばコンピュータ 5 4 の非揮発性メモリ内に永久的に格納することが可能である。

20

【0212】

横及び垂直コリメーションエラーがゼロに等しいイメージ面内の点として従来の器械において定義されたクロスヘアの位置は、同一の態様で、カメラの検知器表面上の 1 個のピクセルへ割当てることが可能であり、光学的コンポーネントが余り良く中心位置決めされていない場合には、このピクセルは、最悪の場合に、距離と共に変化する場合がある。

【0213】

ファインダーカメラ 1 8 も第一の例示的实施例に記載した方法、データ処理システム、コリメーター及びコンピュータプログラムを使用してキャリブレーションすることが可能である。投影中心位置が単にモデル内の 1 組のパラメータとして見る事が可能であるので、光路が真っ直ぐではないという事実はキャリブレーション方法の修正を必要とするものではない。これは本発明の 1 つの重要な利点である。

30

【0214】

本発明の第二の例示的实施例においては、カメラの歪みに対するより詳細なモデルが使用され、その場合により高い次数及び/又は放射相称ではない項も使用されるという点においてこの方法は第一の例示的实施例において記載した方法と異なっている。Luhmann, Thomas 「近距離写真測量：基礎、方法及び応用 (Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methodik und Anwendungen)」、ハイデルベルグ、ドイツ、2000年、ISBN 3 - 87907 - 321 - X、119乃至122頁は上述したモデルに対する対応する補正を開示している。

40

【0215】

本発明の第三の例示的实施例においては、図 1 8 に模式的に示したキャリブレーション用のシステムが使用される。このシステムは器械の基本的に自動的なキャリブレーションを可能とさせる。該システムはコリメーター 6 6 とは異なるコリメーター 6 6 を有しており、それは、マーク、即ちクロスヘア 7 8 がデータ処理システム 6 5 を介して制御される電氣的駆動部 8 4 により移動させることが可能であるという点で異なっている。データ処理システム 6 5 は、それがコリメーターの駆動部 8 4 へコマンドを出力するための別の出カインターフェース 8 5 を有しているという点において該データ処理システムと異

50

なっている。更に、メモリ 68 内に格納されるコンピュータプログラムは、プロセッサ 67 上で稼動される場合に、プロセッサ 67 をして出力インターフェース 85 を介して駆動部 84 へ制御コマンドを発行し、クロスヘア 78 を所定の位置へ移動させ且つ仮想キャリブレーション点の対応する仮想距離を計算するためのプログラムコードを包含している。

【0216】

最初に、ユーザが測量器をコリメーター 66 と相対的に所定の、例えばマークを付けた位置とさせ、その場合に仮想イメージクロスヘア 78 はイメージセンサー 33 へ結像させることが可能である。その位置はコリメーター及びカメラの特性に依存して決定され且つ仮想キャリブレーション点をクロスヘア 78 を移動することにより与えることが可能であるように選択される。別の変形例においては、測量器を所定の位置に位置決めするためにマウントを使用することが可能である。

10

【0217】

次いで、データ処理システム 65 はセクション S1 乃至 S4 の全てのステップを自動的に実施し、必要である場合には測量器 11 に対してコマンドを発行し、測量器 11 からイメージ位置データ及び対応する配向データを受取り、且つステップ S6 及びセクション S3 における計算を実施する。

【0218】

この実施例の変形例においては、キャリブレーション点の距離をマークの夫々の位置と共に格納することが可能であり、従って該マークの仮想イメージの距離は各キャリブレーションに対して計算することは必要ではない。

20

【0219】

別の例示的实施例においては、測量器からのターゲットの距離の可能な範囲を所定数 G の距離サブレンジに分割する。距離サブレンジの数及びそれらの実際の制限値はカメラの光学的特性、特に、カメラオブティックス及びその焦点距離に依存して選択することが可能である。

【0220】

各距離サブレンジにおいて、同一のモデルを使用する。然しながら、カメラモデルパラメータ、カメラ定数  $c_K$ 、歪みパラメータ  $v$ 、オフセット  $x_s$  及び  $y_s$  は各距離サブレンジに対して特定のモデルパラメータとして定義される。この状態を図 21 に例示してあり、その場合に、測量器 11 の周りに  $G = 3$  の異なる距離レンジ  $D_1, D_2, D_3$  が部分的に示されている。実際に、距離サブレンジ  $D_3$  は無限へ延在している。各距離サブレンジは最小距離と最大距離とによって定義される。距離サブレンジの各々において、キャリブレーション点 112 が測量器から異なる距離に設けられている。図 21 は視覚化のためのみ距離サブレンジ及びキャリブレーション点を示すものであって、実際にはキャリブレーション点はコリメーター 66 により与えられる。

30

【0221】

距離サブレンジと関連している G 個の異なる組のカメラモデルパラメータ ( $S_0, c_K, v, x_s, y_s$ )<sub>l</sub>,  $l = 1, \dots, G$  が距離に依存して使用されるように該モデルを拡張する。キャリブレーション点の距離がこれらの距離サブレンジのうちの 1 つに該当すると、対応するカメラモデルパラメータ、即ちカメラモデルパラメータの値が  $U_x$  及び  $U_y$  に対する式において使用される。

40

【0222】

次いで、キャリブレーションは前の例示的な実施例における如くに進行し、その場合に、キャリブレーション点の距離の変化の後に、カメラが再度フォーカスされる。最小化のために、全てのモデルパラメータが調節され、即ち異なる組のカメラモデルもである。

【0223】

最小化の後に、G 組のカメラモデルパラメータが得られ、それは、次いで、測量器 11 の非揮発性メモリ内に格納される。装置制御ユニット 51 において、例えば、キャリブレーションにより与えられる G 個のカメラモデルパラメータにより与えられる値の間の補間

50

によって距離の関数としてカメラモデルパラメータの値を計算するためのプログラムコードを格納することが可能である。次いで、ターゲットの距離が与えられると、その座標又は方向又は方位を、補間から得られたカメラモデルパラメータを使用して第一の例示的実施例におけるように計算することが可能である。

【 0 2 2 4 】

最後に説明した例示的実施例の変形例においては、装置制御ユニット 5 1 において決定されるフォーカシングレンズの位置により定義されるカメラのフォーカシング状態を該距離の代わりに使用することが可能である。注意すべきことであるが、フォーカシングレンズの位置は物点の距離の関数であり、該物点のイメージはフォーカシングレンズの運動によりイメージセンサー上にフォーカスされる。このことは、測量器が自動フォーカシング装置を有している場合に特に望ましいものである。次いで、フォーカシングレンズの位置は自動フォーカシング装置により自動的に与えることが可能であり且つ計算のために使用することが可能である。

10

【 0 2 2 5 】

同一のタイプのより多くの数の測量器をキャリブレーションするのに特に適した更なる例示的実施例はこの第三の例示的実施例に基づいている。キャリブレーション点の距離、即ちマーク即ちクロスヘア 7 8 の位置、及びこれらのキャリブレーション点のイメージの位置は予め定められており且つデータ処理システム内に格納されている。従って、該距離はデータ処理システムのメモリから対応するデータを読み取ることにより得ることが可能であり、且つイメージ位置は一度決定することが必要であるに過ぎず、次いで全ての器械に対し使用することが可能である。

20

【 0 2 2 6 】

本発明の更に別の例示的実施例においては、キャリブレーション点のイメージが以下の態様で発生される。第一の例示的実施例におけるように、キャリブレーション点のイメージが開始位置にあるようにカメラをキャリブレーション点に対して配向させる。然しながら、この例示的実施例においては、水平及び垂直角度は値の所定の組合わせに従って設定される。テレカメラ 1 9 の場合におけるように視野が狭い場合には、該角度は一定間隔で与えることが可能である。これらの値は、軸エラーがなく且つ所望の光学的特性を有する理想的なカメラを仮定して、結果的に得られるイメージ点がイメージセンサーにわたって全て均一に分布されるように選択することが可能である。実際の器械の軸のトリランス及び実際のカメラの光学的特性に起因して実際の分布は異なる場合がある。これらの角度を設定した後に、イメージ位置データを、例えば、再度物体認識を使用して、決定し、且つ水平及び垂直角度を有する配向データと共に格納させる。モデルパラメータの推定、即ち最小化を第一の例示的実施例におけるように実施する。

30

【 0 2 2 7 】

この例示的実施例の変形例においては、水平及び垂直円に基づいて設定されるべき水平及び垂直角度の各組合わせに対して、イメージセンサー上のキャリブレーション点のイメージ点の位置が測量器の両方の面内において得られ、即ち第一面内において水平角度が  $H z_1$  及び垂直角度が  $V_1$  である場合には、天頂が  $0 \text{ gon}$  に対応する場合に、カメラは水平角度  $H z_{11} = 200 \text{ gon} + H z_1$  及び垂直角度  $V_{11} = 400 \text{ gon} - v_1$  に設定される。別の好適な例示的な実施例においては、キャリブレーション点として、測量器から異なる距離にあるトリプルリフレクタを使用することが可能である。距離測定装置 3 0 を使用して距離データを得ることが可能である。

40

【 0 2 2 8 】

本発明は、又、上述した望遠鏡ユニット 1 6 とは異なる図 2 1 に示した望遠鏡ユニット 1 6 を具備するビデオタキオメーターと共に使用することも可能である。

【 0 2 2 9 】

それは、第一の例示的実施例におけるような対物レンズ 3 1 と、フォーカシングレンズ 9 1 と、反転プリズム 9 2 と、クロスヘア 9 3 と、接眼レンズ 9 4 とによって形成される望遠鏡 8 9 を有している。図 2 0 における矢印で示されるように、該望遠鏡の光軸に沿っ

50

てフォーカシングレンズ 9 1 をシフトさせることによりイメージがクロスヘア 9 3 上にフォーカスされる。該望遠鏡はターゲットに視準するために使用される。

【 0 2 3 0 】

望遠鏡ユニット 1 6 における更なる装置は、夫々、トラッキング装置又はトラッカーによって構成され、それはターゲット点に位置されているリフレクターを自動的に視準すべく作用し且つ、それが 1 つの点から別の点へ運ばれる場合にそれを追跡する。該トラッカーは、光学的放射の狭い束を射出する送信器、該束が送信方向に入射し、且つターゲットにおける反射の後に受信方向に入射する対物レンズ 3 1、受信オプティックス、ターゲットにより反射された且つ受信オプティックスによりその上にフォーカスされた該束の位置を検知する受信器 9 5、及びターゲットにより反射されて戻された光束の位置が受信器 9 5 上で一定に止まるように望遠鏡ユニット 1 6 又はアリダード 1 2 を夫々案内する閉ループ制御を有している。

10

【 0 2 3 1 】

より詳細には、該トラッカーの送信器は、例えばレーザーダイオード等の光学的、好適には赤外の放射を射出する放射供給源 9 6 及び第一コリメーション用オプティックス 9 7 及びその斜めの面において放射供給源 9 6 から進行し且つ第一コリメーターオプティックス 9 7 によりコリメーションされる光束が対物レンズ 3 1 の光軸の方向に反射されるプリズム 9 8 を有する送信オプティックスを有している。該受信オプティックスは分割プリズム 9 9 及び第二コリメーターオプティックス 1 0 0 により形成されている。最後に、受信器 9 5 は送信器からの放射に対して感応性を有する幾つかの検知要素を有している。受信器 9 5 の場合、例えば、クオードラント ( q u a d r a n t ) ダイオード又はカメラ回路を使用することが可能である。

20

【 0 2 3 2 】

該トラッカーの送信器は、放射供給源 9 6 により射出され、第一コリメーターオプティックス 9 7 によりコリメートされ且つプリズム 9 8 によって対物レンズ 3 1 の光軸上に偏向された光束を、対物レンズ 3 1 の中心を介してターゲットへ送信する。該光束は、ターゲット、例えば、夫々、トリプルミラー又はリフレクターによってタキオメーターに向かって反射して戻され、次いで対物レンズ 3 1 を介して再度望遠鏡ユニット 1 6 へ入る。ターゲットへの及び戻りの途中において、最初に幅狭であった該光束はかなり広がり、ターゲットから十分に大きな距離において、それは、その戻りにおいて、対物レンズ 3 1 の直径全体を充たし、従ってプリズム 9 8 上に入射することのない該光束の部分はダイクロイックミラー 1 0 1 を通過する。該送信器により射出された光束の波長は、該光束が実質的な反射なしでダイクロイックミラー 1 0 1 を通過するように選択されており、従って前記ミラーは前記光束に関して実際的に何等影響を有するものではない。ダイクロイックミラー 1 0 1 を通過した光束は、次いで、分割プリズム 9 9 へ入る。その分割層は該送信器により射出された放射の波長において選択的に反射し、従ってそれは分割プリズム 9 9 へ入った光束を第二コリメーターオプティックス 1 0 0 の方向に偏向させるが可視光を通過させる。第二コリメーターオプティックス 1 0 0 は、ターゲットにより反射された送信器からの光束をトラッカーの受信器 9 5 上へフォーカスさせる。受信器 9 5 上のターゲットのイメージの位置が所定の位置、例えば中心から逸れる場合には、トラッカーはこのよう

30

40

【 0 2 3 3 】

更に、ファインダーカメラ 1 0 2 が望遠鏡ユニット 1 6 内に設けられている。ファインダーカメラ 1 0 2 はカメラ対物レンズ 1 0 3 とイメージセンサー 1 0 4 とを有している。イメージセンサー 1 0 4 の信号は装置制御ユニット 5 1 へ接続されているイメージ処理回路 1 0 5 により処理される。ファインダーカメラ 1 0 2 は、より容易に測定すべきターゲットを見つけるために使用することが可能である。ファインダーカメラ 1 0 2 は、ピン

50

ホールカメラモデルの投影中心を、原理的に、垂直軸に関して任意に位置させることが可能であるように、第一の例示的实施例において説明したのと同じの方法を使用してキャリブレーションすることが可能である。

【0234】

距離測定装置106は放射をターゲットへ指向させ且つそれによって反射して戻される放射を受取ることによりターゲットからタキオメーターへの距離を測定する。距離測定装置106は該望遠鏡のコンポーネントにより及び更なるコンポーネントにより形成されている。図22は明示的に図示しておらず且つ所定の波長範囲内においてパルス型の態様で赤外線放射を射出する、例えばレーザーダイオードである赤外線供給源が、送信/受信オプティクス107によるフォーカシングの後に、赤外線放射を該赤外線供給源からの光に対して反射性であるプリズム108の表面へ指向させ、且つそこからそれをダイクロイックミラー101へ通過させ、それは距離測定装置106の赤外線供給源からの赤外線に対して反射性であり、従って、該赤外線を対物レンズ31へ偏向させる。赤外線供給源及び送信/受信オプティクス107は、該赤外線供給源により射出される光束が対物レンズ31の焦点幅である対物レンズ31からの距離にある距離測定装置106の光軸に沿ってフォーカスされるように配置され且つ形成されており、従って、ほぼ平行な光束が対物レンズ31により射出され、前記光束は、次いで、例えばトリプルミラーであるリフレクター等のターゲット、又は例えば家屋の壁等の自然のターゲット上に衝突する。反射された光束は、対物レンズ31、ダイクロイックミラー101、プリズム98の表面108を介してターゲットからの同一の光路に沿って送信/受信オプティクス107へ逆に通

10

20

【0235】

本発明の幾つかの側面は以下に説明する別の観点から理解することが可能である。そこにおいて、タキオメーター及びタキメーターの用語は同義語として使用する。

【0236】

測量は、ビデオ測量器、特に、ビデオタキメーター又はビデオセオドライト、即ち接眼レンズではなく空間的に分解する検知器アレイを組み込んだカメラを具備したタキメーター又はセオドライトを益々利用している。このようなカメラの使用は、カメラのいわゆる内部及び外部配向が未知であるのでキャリブレーションの問題が関与する。内部配向は、イメージ面における2つの相互に直交する軸とこれらに垂直であり原点から眼点即ち物点から発生する全ての光線が交差する投影中心Oへ延在する1本の軸、及びそれらから発生する座標系により定義される。測量器のものと相対的なこの座標系の位置は外部配向により記述され、そのことは3つの並進と3つの回転とを可能とする。概して、カメラはほぼ最適なアライメントを有しており、投影中心Oからイメージ面上へ落される垂直位置は器械の望遠鏡システムの光軸と一致するが、上述したタイプの測量器においては、最大の精度が基本的なものであり、従って、例えば調節の残留エラーはキャリブレーション点即ちカメラモデル及びそれが取付けられている器械と相対的なカメラの位置の決定を要求する。

30

40

【0237】

カメラ自身をキャリブレーションするために、従来技術は写真測量方法を使用している。地形写真測量におけるカメラキャリブレーションの現在最も一般的な方法は同時的キャリブレーションとして知られている。この方法の場合、カメラのキャリブレーションパラメータが物体情報の評価と共に決定される。イメージデータ評価及びキャリブレーションに対する基礎は、夫々、解析的モデルである。カメラキャリブレーションの別の方法はテストフィールドを使用する。このようなテストフィールドは信号化したターゲット、例えば照明した物点を有しており、その座標及び/又はスケールデータは既知である。該テストフ

50

フィールドは、通常、3つの次元を有しており且つ異なる捕獲形態、即ちテストフィールドと相対的なカメラの位置を使用して写真を撮る。同時的キャリブレーションの方法と同じように、テストフィールドによりカメラキャリブレーションの方法は解析的モデルに基づいている。このモデルにおいては、配向のパラメータは物体情報とイメージ座標との間の機能的関係から決定される。このためにイメージング光線の交差の適切な幾何学的形状又は捕獲用の幾何学的形状及び物点を有するフィールドの空間的拡張を必要とする。物点に対して使用可能な空間が大きければ大きい程且つ特により深ければ深い程、精度がより大きく且つカメラをキャリブレートすることが可能な信頼性はより大きい。冗長な測定を行うことが有益であり、即ち決定すべきパラメータの数を超える観測を収集することが有益である。調節手順によって、該パラメータはより大きな信頼性を持って決定することが可能である。測地学において確立されている調節手順は最小二乗法である。

10

【 0 2 3 8 】

どのような解析的モデルの基礎も共線方程式として知られているものにより与えられ、それはいわゆる外部空間における物点の座標 ( X , Y , Z ) と所謂内部空間、即ちカメラの内部配向を記述する座標系における物点のイメージの内部座標 ( x , y , - c<sub>K</sub> ) との間の関数的関係を確立する。c<sub>K</sub>はキャリブレートした焦点距離として、又はカメラ定数として知られており、その絶対値はイメージングオプティックスの焦点距離 f と同等である場合がある。内部座標系における x 及び y イメージ座標に対して、共線方程式は以下の如くである。

20

【 0 2 3 9 】

【 数 2 2 】

$$x' = x'_0 - c_K \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta x'$$

$$y' = y'_0 - c_K \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} + \Delta y'$$

【 0 2 4 0 】

座標 ( X<sub>0</sub> , Y<sub>0</sub> , Z<sub>0</sub> ) は外部空間における眼点即ち投影中心 O の位置を表わし、それは、同時に、イメージ座標系の原点である。大きさ r<sub>ij</sub>、尚 i , j = 1 , . . . , 3、は回転行列 R の要素であり、それは外部座標系と相対的なイメージ座標系の回転を記述する。このように、外部空間内の1つの点の座標 ( X , Y , Z ) はイメージ座標へ変換することが可能である。逆に、物体座標は、例えばイメージ捕獲時におけるカメラの位置から物点の距離等の更なる情報が既知でない限りイメージ座標から計算することは不可能である。座標 x<sub>0</sub> 及び y<sub>0</sub> はカメラのイメージ面内のいわゆる主点の位置を記述する。これはイメージ面を投影中心 O と接続する垂線に沿っての貫通点により定義される。カメラレンズに対する許容差は、一方においては、キャリブレートした焦点距離 c<sub>K</sub>により、且つ、他方においては、カメラオプティックスのイメージングエラーを反映する歪みパラメータ x , y により為される。

30

【 0 2 4 1 】

タキメーター又はセオドライトのような測量器においてカメラが使用される場合には、内部及び外部配向のパラメータに加えて、器械特定パラメータ及び、多分、器械軸のエラーも存在しているので、既知の写真測量方法を容易に使用することは不可能である。タキメーターが使用される場合には、該器械で行われるベアリング ( bearing ) 測定が、キャリブレーションに包含されねばならない。この問題に対するアプローチは従来技術においても知られており、恐らく最も近い従来技術は Y . D . Huang による文献である「カメラ・オン・セオドライト方法を使用してワイルド P 3 2 カメラのキャリブレーション ( Calibration of the Wild P 3 2 Camera using the Camera - ON - Theodolite method )」、Photogrammetric Record において出版、16 ( 9 1 )、1998年である。Huang は異なる距離に配置した 1 個又は最大で 2 個の基準点を器械 ( この用

40

50

語は測量器自身とカメラからなるシステムを示している)へ接続している。これらの基準点は異なる器械方向、即ち器械上に設定すべき水平及び垂直角度の異なる組合わせにおいてキャリブレーションされるべきカメラで観察される。H u a n g はセオドライトを使用しているので、これら2つの点の間の距離、即ち該点と該器械との間の距離は既知でなければならない。H u a n g の方法の欠点は、傾斜軸及び横コリメーションエラー等の器械エラーは考慮されないままであるということである。キャリブレーションエラーはこれらの器械エラーの大きさに依存してより大きく、そのことは器械の全体的な精度を減少させる。

【0242】

この従来技術の状態から出発して、本発明の基礎となる課題は空間的に分解する検知器アレイを有するカメラを具備する測量器をキャリブレーションする改良した方法を開発することである。

10

【0243】

空間的に分解する検知器アレイを組み込んだカメラを具備する測量器をキャリブレーションする方法が与えられると、該測量器は与えられた基準点  $P_i$ 、尚  $i = 1, \dots, N$  及び正の整数  $N$  を相次いで視準するために使用されて、各基準点  $P_i$  への距離を確立し、第一位置即ち第一面内において、該測量器に設定すべき推定角度  $H z_i$  及び垂直角度  $V_i$  の異なる組合わせに対してカメラのイメージ面内の基準点  $P_i$  のイメージのイメージ座標を決定し、これらのイメージ座標を夫々の角度組合わせ ( $H z_i, V_i$ ) に関連して保存し、且つ調節手順を使用して保存したデータから測量器と相対的なカメラの位置を確立し、この問題は、該角度の組合わせの各々に対して、該測量器を垂直軸周りに  $200 \text{ gon}$  だけ回転させ且つそれを水平角度  $H z_{i1}$  に設定し、且つ該カメラを水平傾斜軸周りに回転させ且つそれを  $V_{i1} = 400 \text{ gon} - V_i$  である垂直角度  $V_{i1}$  へ設定することにより第二位置即ち第二面を設定するような態様で解決している。  $0 \text{ gon}$  の垂直角度は天頂の視準に対応している。第二位置即ち面内において、再度、基準点  $T_i$  のイメージ座標が決定され且つ夫々の角度組合わせ ( $H z_{i1}, V_{i1}$ ) に関連して保存する。最後に、夫々、位置又は面の両方に保存した角度の組合わせのデータ、即ち夫々の角度組合わせに関連して保存したイメージ座標を使用してキャリブレーションを行う。

20

【0244】

換言すると、空間的に分解する検知器アレイを有するカメラを具備する測量器をキャリブレーションする方法であって、該測量器を使用して、相次いで、所定の基準点 ( $P_i$ )、尚  $i = 1, \dots, N$  及び自然数 ( $N$ ) を視準し、各基準点 ( $P_i$ ) に対して、その距離を決定し、且つ、第一位置又は面内において、該カメラのイメージ面における基準点 ( $P_i$ ) のイメージのイメージ座標を該測量器上に設定すべき水平角度 ( $H z_i$ ) 及び垂直角度 ( $V_i$ ) の異なる与えられた組合わせに対して決定し、且つ夫々の角度組合わせ ( $H z_i, V_i$ ) に関連して保存し、且つ該測量器と相対的なカメラの位置を該保存したデータに基づいて調節手順により決定する方法において、該角度組合わせの各々に対して、該測量器を垂直軸周りに  $200 \text{ gon}$  だけ回転させ且つそれを水平角度 ( $h z_{i1}$ ) へ設定し、且つ該カメラを水平傾斜軸周りに回転させ且つそれを  $V_{i1} = 400 \text{ gon} - V_i$  である垂直角度 ( $V_{i1}$ ) へ設定することによって第二位置又は面を設定し、且つ、該第二位置又は面において、同様に、基準点 ( $P_i$ ) のイメージのイメージ座標を決定し且つ夫々の角度組合

30

40

【0245】

第一位置又は面内において、水平角度  $H z_i$  及び垂直角度  $V_i$  が測量器上に設定される。第二位置又は面を設定するために、該測量器を最初に、最初に設定した水平角度  $H z_i$  から  $200 \text{ gon}$ 、即ち半円だけ回転させ、従って水平角度  $H z_{i1}$  は第二位置又は面内において設定される。この後に、垂直角度  $V_{i1}$  を次式に従って設定する。

【0246】

## 【数 2 3】

$$V_{II} = 400 \text{ gon} - V_I$$

## 【0 2 4 7】

このことは、該垂直角度が設定されるスケールが垂直軸の回転に加わるという事実を可能とする。この手順において、垂直角度スケールのゼロ、即ち垂直角度が 0 gon である点が天頂に位置決めされ、そのことは、この角度が設定されると、カメラオプティックスが垂直上方に向くことを意味する。

## 【0 2 4 8】

この手順において、角度組合わせの各々に対して第一位置又は面において測定した後に直接的に第二位置又は面を設定するか、又は第一位置又は面内において全ての測定を行い、次いで第二位置又は面内において全ての測定を行うかということは問題ではない。一般的に、後者のオプションが好適であり、というのは、測量器が広範囲の回転によりストレスがかけられることがより少ないからである。

## 【0 2 4 9】

拡張した数学的モデルと共に、この方法はキャリブレーションにおいてより高い精度を達成することを可能とする。ここにおいての基礎も共線方程式により訂正され、その差異は、外部空間における投影中心及び物点の両方が極座標で記述されるということである。測量器の使用から発生する付加的なパラメータは、その乗算が合計の回転行列を発生する更なる回転行列により写真測量モデルにおいて部分的に許容される。カメラが測量器と剛的に接続されているので、カメラは、垂直軸及び/又は水平傾斜軸周りの測量器の回転に参画する。測量器は角度測定システムが設けられているので、2つの回転角度は直接的に測定される。回転の効果を有する一定の角度の逸れを許容することが更に必要である。これらは、チルト即ち傾斜動作が垂直軸と直角でない場合に発生する測量器の傾斜軸エラー、及びその効果が横コリメーションエラーのものに対応する投影中心の理論的視準軸からの横方向の逸れを包含している。

## 【0 2 5 0】

本発明の好適実施例においては、基準点  $P_i$  が測量器から異なる距離において与えられるか又は位置される。このように、キャリブレーションの精度を更に増加させることが可能である。本方法の精度は、空間的深さにおいて該点が互いにより離れていればいる程一層高い。

## 【0 2 5 1】

本方法の特に好適な実施例において、基準点  $P_i$  は、コリメーター及びコリメーターレンズ又はコリメーター対物レンズとその焦点距離との間でシフトさせることが可能なフローティングマークによって与えるか又は位置される。従来技術は、しばしば、調節及び測定手順のために測地装置と共にコリメーターを使用する。コリメーターは、平行な光線を射出し且つ光学的無限に存在する点を有限距離へ投影するという特徴を有している。フローティングマーク、何等かのその他の形状のスリット又は絞りがコリメーターの焦点に設けられている。延長部を具備するコリメーターの場合には、フローティングマークをコリメーターレンズ又は対物レンズとコリメーターレンズ又は対物レンズの焦点との間でシフトさせることが可能である。そのシフト量は、通例、ミクロン精度で読取ることが可能である。焦点及び焦点距離と相対的なシフト量から、仮想の正立イメージのイメージ距離を設定することが可能である。このイメージをキャリブレートすべき測量器で観察する。測量器の垂直軸からコリメーターレンズ又は対物レンズの主焦点面への距離とイメージ距離との和から、測量器とコリメーターにより形成される仮想基準点との間の最終的な距離が得られる。従って、コリメーターは、2000 m 又はそれ以上の大きな距離にある基準点を形成するために使用することが可能であり、一方、コリメーターなしでこのような距離に基準点を形成することは困難であり、障害物を見ることなしにこのような距離を見つけることは極めて困難であり、測定を阻害する場合のある付加的なファクタは空気の乱れのような大気現象である。更に、ほぼ寸法が等しい夫々のイメージ点を得るために異なる距

10

20

30

40

50

離に対して異なる寸法の基準点が必要とされる場合がある。従って、殆ど空間をとることがなく且つほぼ自動化することが可能であるので、コリメーターによるキャリブレーションは、製造業者による仕上げられた器械のキャリブレーションにとって特に適している。最後に、通例複数のピクセルから構成されるカメラの空間的に分解する検知器アレイは、しばしば、周辺光による影響に露呈されるので、この方法はキャリブレーションを環境条件から独立したものとさせる。

【 0 2 5 2 】

本方法の別の実施例においては、角度の組合わせが予め定められているか又はグリッドにより与えられる。このグリッドは、角度の組合わせを表わす位置が設定される場合に、基準点がイメージ全体にわたって可及的に均一であるように分布されるように選択される

10

【 0 2 5 3 】

本方法の更に別の実施例においては、該グリッドにおける1つの位置に対応する角度組み合わせの各々に対して、測量器のこの位置に設定することは、この位置からのランダムな逸れの決定及びそれを許容することを包含している。このランダムな逸れは、いずれの方向においても、その方向における2つのグリッド位置の間の距離の半分よりもより小さいものとするのが可能である。このように、調節計算期間中にのみ検知されることのある存在する可能性のあるシステムチェックエラーを減少させることが可能である。いずれの方向においても2つの隣接するグリッド位置の間の距離の半分よりも該エラーがより大きくなることを許容しないことが好都合であり、そうでない場合には、基準点のイメージの分布の均一性が実質的に阻害されることとなる。各角度の組合わせのランダムなエラーは第一及び第二位置又は面に対して等しいものであることは必要ではなく且つ別々に設定することが可能である。即ち、各角度の組合わせに対して、ランダムな逸れは第一及び第二位置又は面に対して別々に決定することが可能である。その決定は、例えば、擬似乱数のシーケンスを使用する計算により行うことが可能である。

20

【 0 2 5 4 】

タキメーターが使用される場合には、電気光学的距離測定により基準点  $P_i$  への距離を決定することが有益である。

【 0 2 5 5 】

以後、図 2 3 乃至 2 6 を参照し且つタキメーターの形態における実施例を参照して本発明の別の例示的实施例について詳細に説明する。

30

【 0 2 5 6 】

図 2 3 は、先ず第一に、本発明に基づく方法を実施するために使用することが可能なタキメーターの構成を模式的に示している。固定した下部部分 2 0 1 の上に配置して万能取付装置である上部部分 2 0 2 が支持されており、それはここで断面で示してあり、軸受 2 0 3 を介して垂直軸周りに回転させることが可能である。上部部分 2 0 2 の回転は、水平駆動部 2 0 4 によって行うことが可能である。水平のグレードをつけた円 2 0 5 上に設定される角度  $H_z$ 、又は  $H_{z_i}$  が水平検知ヘッド 2 0 6 を介して自動的に記録され且つ制御及びデータ解析ユニット（不図示）へ送信される。カメラの機能を有する望遠鏡本体 2 0 7 も示されており、それは上部部分 2 0 2 と接続されている軸受 2 0 8 を介して傾斜軸周りに回転可能に装着されている。望遠鏡本体 2 0 7 は対物レンズ 2 0 9 と、フォーカシングレンズと、例えば CCD アレイである検知器アレイとを包含している。望遠鏡本体 2 0 7 の回転は、垂直駆動部 2 1 0 により行うことが可能である。垂直のグレードを付けた円 2 1 1 上に設定される角度  $V_i$ 、又は  $V_{i_i}$  は垂直検知ヘッド 2 1 2 を介して制御・データ解析ユニットへ送信される。

40

【 0 2 5 7 】

図 2 4 は上位の座標系  $(X, Y, Z)$  に関連した座標  $(x, y, -c_k)$  を有するイメージ座標系を示している。この図は、上位の座標系の原点がタキオメーター又はセオドライト上に設定する水平角度が読取られる水平円の中心に位置していることを示しており、というのは、前記座標系は空間においてその位置を変化しないからであり、然しなが

50

ら、実際には、前記原点は垂直軸と傾斜軸と視準軸との交点（タキオメーターの中心）に位置している。上位座標系のZ軸は測量器の垂直軸と一致しており、且つY軸は水平円上にマーク付けされているゼロ方向と一致している。イメージ座標系の原点はイメージ面内における座標  $x_0$  及び  $y_0$  を有する主点H であり、この主点は投影中心O に対する接続線の貫通点によって定義され、この線はイメージ面に対して垂直である。更に、角度  $\omega, \phi, \kappa$  の3つの回転が示されており、それらはタキオメーターのどのようなエラー及び方向とも独立しており且つ、基本的に、視準オプティクスと相対的なカメラの装着により与えられる。それらは次式の回転行列により記述される。

【0258】

【数24】

$$R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa) = \begin{bmatrix} \cos(\phi)\cos(\kappa) & -\cos(\phi)\sin(\kappa) & \sin(\phi) \\ \cos(\omega)\sin(\kappa) + \sin(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\kappa) - \sin(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & -\sin(\omega)\cos(\phi) \\ \sin(\omega)\sin(\kappa) - \cos(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \sin(\omega)\cos(\kappa) + \cos(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\phi) \end{bmatrix}$$

10

【0259】

主点H と投影中心O との間の距離はキャリプレートされた焦点距離  $c_K$  である。

【0260】

Z軸は傾斜軸と交差し、その周りに垂直軸の回転が行われる。傾斜軸エラーのために、実線として図24に示した実際の傾斜軸は点線で示した理論的な傾斜軸から逸れている。傾斜軸と測量器の垂直軸の非直交性の間の角度の逸れを  $i$  で示してある。同様に、イメージを捕獲する方向に対応しており且つ図面においてイメージ座標系の -z 軸として示してある実際の視準軸は破線で示した理論的な視準軸から逸れている。更に、投影中心O は垂直軸と傾斜軸との交差点により定義される器械中心と一致するものではないので、モデルを完成し且つ完全な回転行列を得るために更なるパラメータを導入せねばならない。パラメータ  $S_0$  は器械中心から投影中心O への斜めの距離を記述する。パラメータ  $c_0$  は傾斜軸と直交する理論的な視準軸からの投影中心O の角度の逸れを記述し、且つパラメータ  $z_0$  は配向された理論的な視準軸からの投影中心O の垂直角度の逸れを記述する。更なる重要な特性について図25及び26において説明する。図25には測量器から読取られた水平角度  $H_{z_{|||}}$  が示されており、インデックス「1/11」は、これが第一位置又は面において読取った水平角度  $H_{z_{|}}$  又は第二位置又は面において読取った角度  $H_{z_{|}}$  のいずれでも良いことを意味している。水平角度  $H_{z_{|||}}$  の値は測量器内側の検知ヘッドの位置に依存し、それは、ここでは、距離  $a$  でマーク付けしてある。角度  $c_F$  は望遠鏡本体の機械的な軸の理論的な視準軸からの角度の逸れ、即ち傾斜軸との直交性からの角度の逸れである。望遠鏡本体の機械的な軸は対物レンズ、摺動レンズ及び接眼レンズ等の光学的コンポーネントの中心性により定義される。該光学的コンポーネントが理想的に中心位置決めされ且つ整合されている場合には、この軸は望遠鏡本体の光軸と一致する。  $c_F$  は古典的な横コリメーションエラーのように作用し、それは専らカメラに関して作用し且つ投影中心に作用するものではない。この図中には、又、物点P と座標  $(x_P, y_P, -c_K)$  を有するイメージ面内のそれに対応するイメージ点P が示されている。最後に、図26においては、垂直面が示されており、それは垂直軸に関して読取られた垂直方向  $V_{|||}$  であり、この方向は角度の形態で示してある。この場合も、インデックス「1/11」は、これらが第一位置又は面において読取った垂直角度  $V_{|}$  か又は第二位置又は面において読取った垂直角度  $V_{|}$  のいずれでも良いことを意味している。

20

30

40

【0261】

これらの表記方法でもって、投影中心O の座標は以下ようになる。

【0262】

【数 2 5】

$$O = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \cdot \sin(V_{111} + z_0) \cdot \sin\left(Hz_{111} + \frac{c_0}{\sin(V_{111} + z_0)} + i \cdot \cot(V_{111} + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \sin(V_{111} + z_0) \cdot \cos\left(Hz_{111} + \frac{c_0}{\sin(V_{111} + z_0)} + i \cdot \cot(V_{111} + z_0)\right) \\ S_0 \cdot \cos(V_{111} + z_0) \end{bmatrix}$$

【0 2 6 3】

次いで、これらは共線方程式において使用される。

10

【0 2 6 4】

測量器内に組込んだカメラのイメージ座標系の全体的な回転に対する回転行列を得るために、7つの回転が相次いで実行される。最初の回転はアリダードの回転であり、即ち垂直軸周りの測量器の回転である。この回転は間接的に角度  $H z_{111}$  と結合される。然しながら、ここで、角度  $i$  で記述される測量器の傾斜軸の潜在的エラー、及び傾斜軸との直交性からの望遠鏡本体の軸の逸れ  $c_F$  の影響を考慮に入れることが必要である。これは改良された水平角度  $H z_k$  となる。

【0 2 6 5】

【数 2 6】

$$Hz_k = Hz_{111} + \frac{c_F}{\sin(V_0)} + i \cdot \cot(V_0)$$

20

【0 2 6 6】

$V_0 = V_{111} + z_0$  は投影中心の垂直角度を示している。イメージ座標系の  $z$  軸周りに角度  $-H z_k$  だけ回転が行われると、結果的に次式の回転行列が得られる。

【0 2 6 7】

【数 2 7】

$$R_x(Hz_k) = \begin{bmatrix} \cos(-Hz_k) & \sin(-Hz_k) & 0 \\ -\sin(-Hz_k) & \cos(-Hz_k) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

【0 2 6 8】

垂直軸周りのアリダードの回転を完了し、且つ更なる機械的な運動が行われない場合には、傾斜軸エラーは回転としてイメージ座標系に関し作用する。

【0 2 6 9】

この回転は、第一の回転に参加した  $y$  軸周りの角度  $i$  だけの第二回転として実行される。この配置において、傾斜軸がほぼ  $x$  軸と平行であるものと仮定すると、結果的に得られる回転行列は以下のものである。

40

【0 2 7 0】

【数 2 8】

$$R_\phi(i) = \begin{bmatrix} \cos(i) & 0 & \sin(i) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(i) & 0 & \cos(i) \end{bmatrix}$$

【0 2 7 1】

考慮すべき次の回転は、垂直角度によるイメージ座標系の回転である。この回転は、測量器上で測定した方向  $V_{111}$  に直接的に関連付けることが可能であり、補正  $z_0$  を可能とする。原理的には、イメージ座標系は  $x$  軸周りに  $200 \text{ gon}$  だけ回転される。その回

50

転行列は以下の通りである。

【 0 2 7 2 】

【数 2 9】

$$R_{\omega}(V_0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(200\text{gon} - V_0) & -\sin(200\text{gon} - V_0) \\ 0 & \sin(200\text{gon} - V_0) & \cos(200\text{gon} - V_0) \end{bmatrix}$$

【 0 2 7 3 】

次の回転は、これも内部的にのみ作用するものであるが、望遠鏡本体の軸の逸れ  $c_F$  により行われる。この場合における回転行列は以下の通りである。

【 0 2 7 4 】

【数 3 0】

$$R_{\phi}(c_F) = \begin{bmatrix} \cos(c_F) & 0 & \sin(c_F) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(c_F) & 0 & \cos(c_F) \end{bmatrix}$$

【 0 2 7 5 】

これに続いて上述した角度  $k_0$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  周りの3つの回転があり、それらも内部的なもののみである。次いで、全体的な回転行列  $R$  は正しい順番におけるこれら回転行列の相次ぐ乗算となり、即ち次式の如くである。

【 0 2 7 6 】

【数 3 1】

$$R = R_{\kappa}(Hz_{\kappa}) \cdot R_{\phi}(k_0) \cdot R_{\omega}(V_0) \cdot R_{\phi}(c_F) \cdot R_{\omega}(\omega) \cdot R_{\phi}(\phi) \cdot R_{\kappa}(\kappa)$$

【 0 2 7 7 】

このように、器械特定パラメータを考慮し且つ方向測定の助けを借りて測量器内に組み込んだカメラの回転を任意的に記述することが可能である。回転行列  $R$  の要素  $r_{i,j}$  は、共線方程式に対する入力量としても使用される。

【 0 2 7 8 】

300 mmの焦点距離及び100 mにおける固定した焦点を有しており1°の角度測定精度を具備する器械に適合させたカメラをキャリブレートするために、例えば20 m、80 m、500 mの距離における3つの点及び8×6個の位置からなるグリッド内に配置された望遠鏡位置あたり全部で48個の角度組合わせを使用し、角度の組合わせあたり30個の測定値であり、その場合にランダムな逸れが0.05ピクセルを超えるものではない場合に、測量器を垂直及び水平方向において約1°の方向測定の精度にキャリブレートすることが可能である。従来キャリブレーション方法による長焦点カメラをキャリブレートすることの試みはこれまでのところ失敗している。

【 0 2 7 9 】

ここで注意すべきことであるが、この態様のキャリブレーションは、又、器械方向をイメージ座標から派生することを可能とする。従って、視準軸の外側において方向測定を行うことが可能である。このキャリブレーションに起因して、投影中心は器械の任意の位置においてカーティシアン座標により計算することが可能である。次式を使用して、

【 0 2 8 0 】

10

20

30

40

## 【数 3 2】

$$P_T' = \vec{O} + R \cdot \begin{bmatrix} x_P' - \Delta x' \\ y_P' - \Delta y' \\ -c_K \end{bmatrix}$$

## 【0 2 8 1】

測定したイメージ座標をタキメーターの座標系へ変換することが可能である。P<sub>T</sub>' はタキメーター座標系へ変換した測定したイメージ座標でのベクトルである。投影中心 O 及び点 P<sub>T</sub>' は、両方共、タキメーターに関する座標で既知であり、且つ結像光線 g を定義する。これはタキメーター中心と交差するものではないので、タキメーター中心からの物点 P の距離（近似的な距離）がタキメーター中心を参照する厳格な方向の逸れに対して与えられねばならない。この距離はタキメーター中心周りに延在しており且つ結像光線 g により交差される球の半径として使用される。このように、2つの座標トリプレットが得られそれは、カメラの機能を有する望遠鏡本体の位置に依存して、方向計算のために使用することが可能である。タキメーター中心が結合光線に近ければ近いほど、この方法は与えられた距離からの依存性はより少なくなる。本方法をタキメーターを使用して上に説明したが、本明細書に記載した前提条件を満足する限り、それは、又、セオドライト等のその他の測量器又はいわゆるスキャナと共に使用することが可能である。

## 【0 2 8 2】

このようにして、カメラのキャリブレーションを実施すると、写真測量視準軸を定義することも可能であり、即ち、投影中心 O を傾斜軸及び垂直軸の交点により形成される測量器中心と接続する直線としてである。然しながら、この視準軸は図 2 5 に示した実際の視準軸と同一ではない。イメージ面における写真測量視準軸の貫通点がクロスヘアの位置を決定し、そこにおいて、古典的な横コリメーションエラー及び垂直高さインデックスエラーはその距離に沿って一定である。パラメータ推定期間中に決定されない限り、投影中心の横及び垂直の逸れは、横及び垂直コリメーションの古典的なエラーが該距離に沿って変換することのないピクセルで測定することが可能である。

## 【0 2 8 3】

物点がこのようにして定義されたクロスヘアで視準されると、クロスヘアと、タキメーター中心と、投影中心 O と、物点 P は直線上に位置し、この直線は写真測量結像光線と一致する。

## 【0 2 8 4】

横コリメーションエラー及び垂直高さインデックスエラーがゼロに等しいイメージ面におけるその点として従来の器械において定義されるクロスヘアの位置は、同一の態様で、カメラの検知器表面上の 1 個のピクセルへ割当てることが可能であり、光学的コンポーネントの中心位置決めがあまりよくない場合には、このピクセルは、最悪の場合に、距離と共に変化する場合がある。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0 2 8 5】

【図 1】対応する座標系と物点と共にタキメーターを示した模式的斜視図。

【図 2 A】コリメーションエラーを有する図 1 に示したタキメーターの平面図。

【図 2 B】傾斜軸エラーを有する図 1 に示したタキメーターの正面図。

【図 2 C】垂直高さインデックスエラーを有する図 1 に示したタキメーターの側面図。

【図 3】ビデオタキメーターを示した単純化した斜視図。

【図 4】本発明と共に使用するビデオタキメーターを示した正面図。

【図 5】図 4 におけるビデオタキメーターの望遠鏡ユニットを示した側面図。

【図 6】図 4 におけるビデオタキメーターの模式的ブロック図。

【図 7】データ処理システムと延長可能なコリメーターと共に図 4 におけるビデオタキオ

10

20

30

40

50

メーターを示した模式図。

【図 8】図 7 におけるコリメーターの模式的断面図。

【図 9】ピンホールカメラモデルを例示した概略図。

【図 10】本発明の第一の例示的な好適実施例に基づく方法におけるキャリブレーション方法において使用する軸及びイメージ面の配置及び座標系を例示した斜視図。

【図 11】図 10 における配置の平面図。

【図 12】図 11 における配置の側面図。

【図 13】本キャリブレーション方法の概略を示したフローチャート。

【図 14】図 13 における方法のセクション S 1 におけるキャリブレーション点のイメージの発生を例示したフローチャート。

【図 15】図 14 に示した方法のステップ S 7 における 1 個の点のイメージの発生を例示したより詳細なフローチャート。

【図 16】仮想イメージ点の仮想距離の計算を例示した概略図。

【図 17】図 4 乃至 6 におけるビデオタキオメーターの第一イメージセンサーの 1 つのセクション及びイメージセンサーの該セクションをカバーする複数個のセルからなる配置を示した概略図。

【図 18】本発明の第二の好適な例示的实施例に基づく方法を使用して図 4 乃至 6 におけるビデオタキオメーターをキャリブレーションするためのセットアップを示した概略図。

【図 19】器械中心に関する方法の計算を例示した概略図。

【図 20】図 1 におけるビデオタキオメーターのディスプレイ及び該ディスプレイ上に表示される写真測量視準軸を表わすマークを示した概略図。

【図 21】本発明の別の例示的实施例に基づく方法を説明するための概略図。

【図 22】図 1 3 乃至 1 5 における方法によってキャリブレーションすることが可能な別のビデオタキオメーターの望遠鏡ユニットを示した概略断面側面図。

【図 23】更に別のタキオメーターの構成を示した概略図。

【図 24】2 つの座標系と主要な回転を示した概略図。

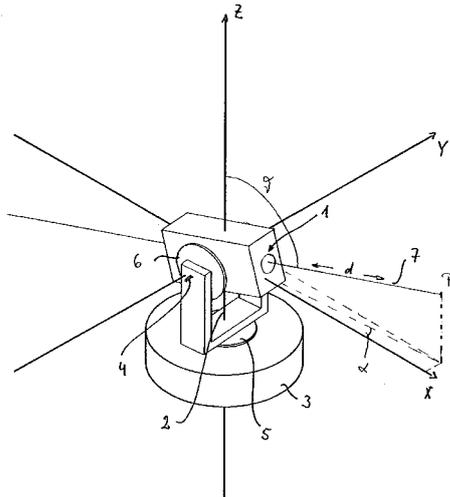
【図 25】水平軸を包含する水平面における基本的な関係を示した概略図。

【図 26】垂直軸を包含する垂直面内の基本的な関係を示した概略図。

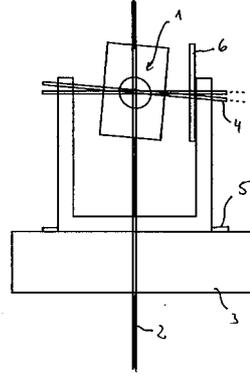
10

20

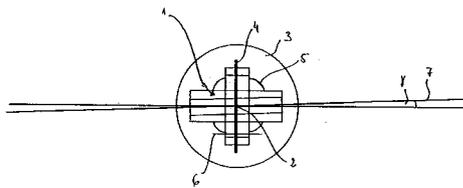
【図 1】



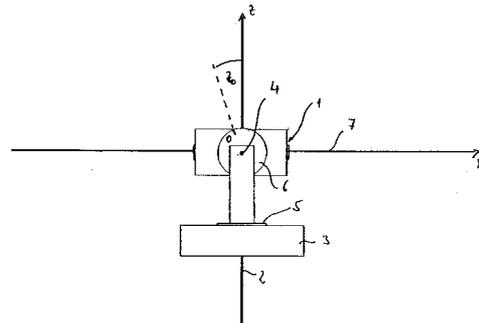
【図 2 B】



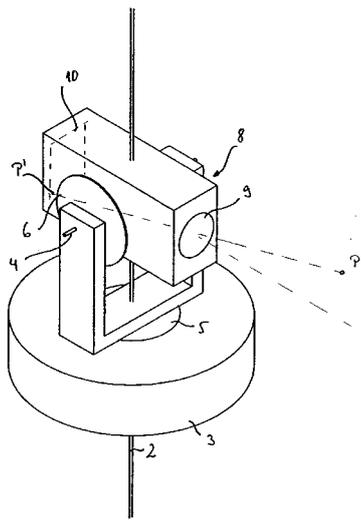
【図 2 A】



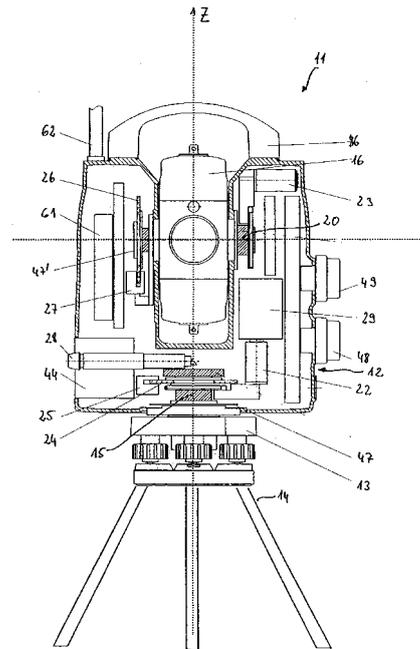
【図 2 C】



【図 3】

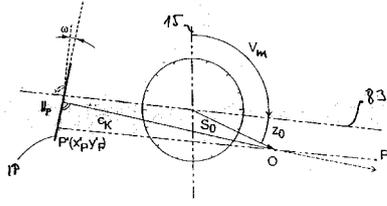


【図 4】

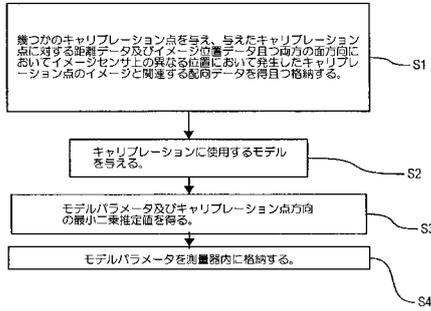




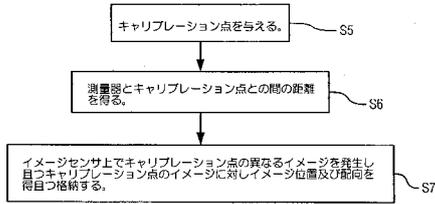
【図12】



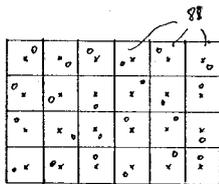
【図13】



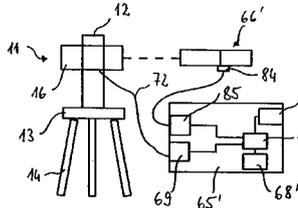
【図14】



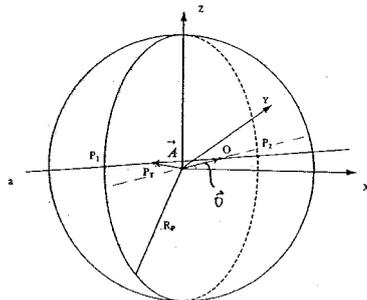
【図17】



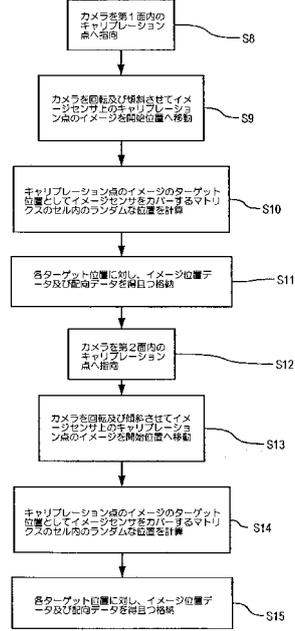
【図18】



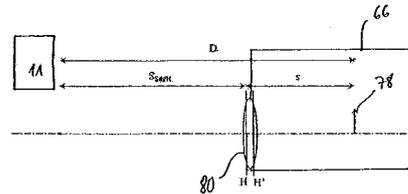
【図19】



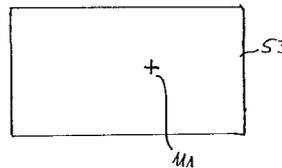
【図15】



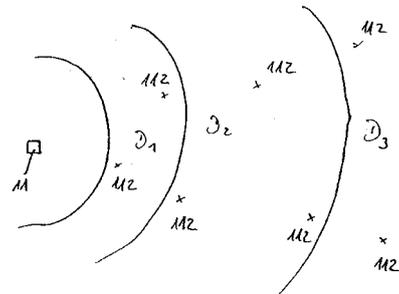
【図16】



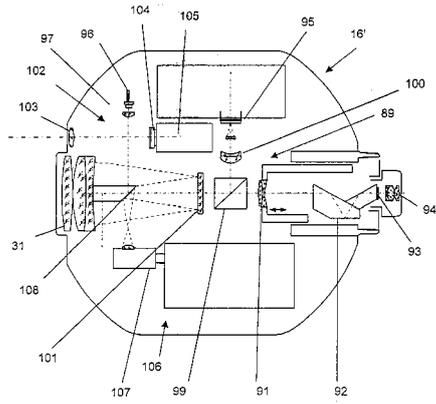
【図20】



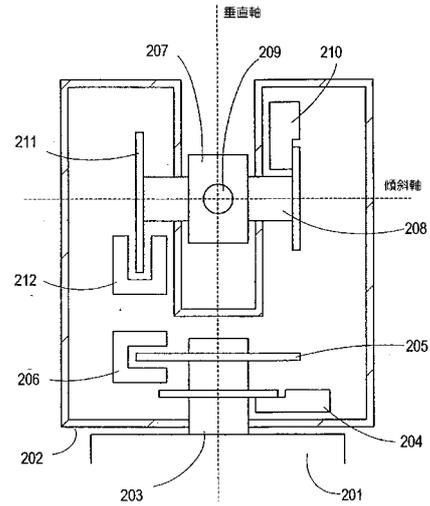
【図21】



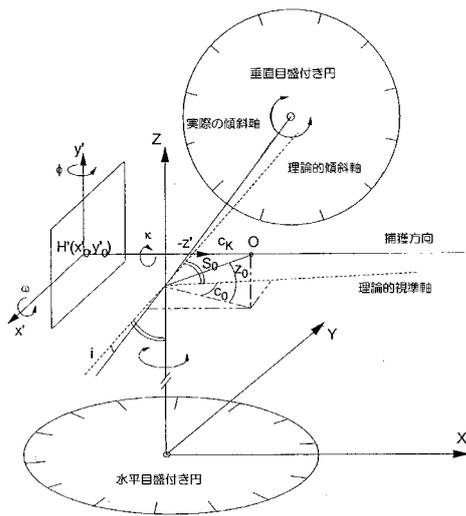
【図 2 2】



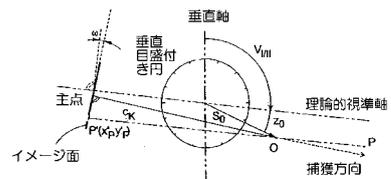
【図 2 3】



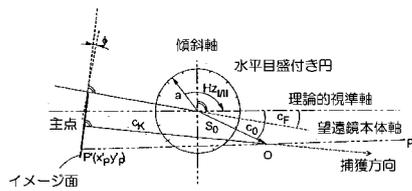
【図 2 4】



【図 2 6】



【図 2 5】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-117019(JP,A)  
特開2000-337815(JP,A)  
特開2003-177019(JP,A)  
特開平03-031715(JP,A)  
特開平05-099622(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01C15/00