

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4181800号
(P4181800)

(45) 発行日 平成20年11月19日(2008.11.19)

(24) 登録日 平成20年9月5日(2008.9.5)

(51) Int.Cl.	F I		
G06T 1/00 (2006.01)	G06T 1/00	285	
G01B 11/24 (2006.01)	G06T 1/00	315	
G06T 17/40 (2006.01)	G01B 11/24		K
G06T 17/50 (2006.01)	G01B 11/24		A
	G06T 17/40		F
請求項の数 11 (全 24 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号	特願2002-180064 (P2002-180064)	(73) 特許権者	301072650 NEC東芝スペースシステム株式会社 東京都府中市日新町一丁目10番地
(22) 出願日	平成14年6月20日(2002.6.20)	(74) 代理人	100085235 弁理士 松浦 兼行
(65) 公開番号	特開2004-21921 (P2004-21921A)	(72) 発明者	丸冢 誠 神奈川県横浜市港北区新横浜2丁目6番3号 エヌイーシー東芝スペースシステム株式会社内
(43) 公開日	平成16年1月22日(2004.1.22)	審査官	松永 隆志
審査請求日	平成17年2月7日(2005.2.7)	(56) 参考文献	特開平09-126761 (JP, A)
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 ステレオ画像を用いた地形計測システム及び記憶媒体並びにプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

地表を上空から撮影する複数の撮影手段と、
前記複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段と、
前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像を選択する画像選択手段と、
前記画像選択手段により選択された前記ステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、
前記視差算出手段で算出された視差を地形データに変換する視差地形変換手段と、
前記視差地形変換手段により得られた前記地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段と

を有し、前記画像選択手段は、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、前記幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段とからなることを特徴とするステレオ画像を用いた地形計測システム。

【請求項2】

上空から撮影された、地表の同一の目標地点を含む複数の画像が少なくとも予め蓄積されている画像記憶媒体の該画像の中から、ステレオ画像を構成する二枚の画像を選択する

画像選択手段と、

前記画像選択手段により選択された前記ステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、

前記視差算出手段で算出された視差を地形データに変換する視差地形変換手段と、

前記視差地形変換手段により得られた前記地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段と

を有し、前記画像選択手段は、

前記画像記憶媒体に記憶された前記画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、前記幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段とからなることを特徴とするステレオ画像を用いた地形計測システム。

10

【請求項3】

地表を上空から撮影する複数の撮影手段と、

前記複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段と、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像を選択する画像選択手段と、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中に、前記画像選択手段により選択可能な所定レベル以上のステレオ画像を構成する一枚又は二枚の画像が存在しないときに、前記複数の撮影手段のうちの少なくとも一の撮影手段を利用して新たな撮影を行わせる撮影計画手段と、

20

前記画像選択手段により選択された前記ステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、

前記視差算出手段で算出された視差を地形データに変換する視差地形変換手段と、

前記視差地形変換手段により得られた前記地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段と

を有し、前記画像選択手段は、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、前記幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段とからなることを特徴とするステレオ画像を用いた地形計測システム。

30

【請求項4】

地表を上空から撮影する複数の撮影手段と、

前記複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段と、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像、又は入力された画像を選択する画像選択手段と、

前記画像選択手段により選択された二枚の画像が、それぞれステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像であるか否かを判定する第1の判定手段と、

前記画像選択手段により選択された二枚の画像が、それぞれステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像であると前記第1の判定手段により判定されたとき、その選択された二枚の画像からなるステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、

40

前記視差算出手段で算出して得られた前記視差データに問題があるか否かを判定する第2の判定手段と、

前記画像選択手段により選択された二枚の画像のうち一枚又は二枚の画像が、ステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像でないと前記第1の判定手段により判定されたとき、又は前記第2の判定手段により前記視差データに問題があると判定されたとき、前記複数の撮影手段のうちの少なくとも一の撮影手段を利用して新たな撮影を行わせて少なくとも一枚の画像を得て前記画像選択手段に入力して選択させる撮影計画手段と、

前記第2の判定手段により問題がないと判定された前記視差データを地形データに変換

50

する視差地形変換手段と、

前記視差地形変換手段により得られた前記地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段と

を有し、前記画像選択手段は、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、前記幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段とからなることを特徴とするステレオ画像を用いた地形計測システム。

【請求項 5】

前記画像選択手段は、前記候補ステレオ画像に対してセンサのフィルタ条件が形状計測に適したもののほど大きな得点を与えるフィルタ条件判定手段と、前記候補ステレオ画像を構成する画像ペアが太陽光条件に近いほど大きな得点を与える太陽光条件判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して撮影の時間差が少ないほど大きな得点を与える時間差判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して前記視差算出手段で算出された視差の整合度を判定し該整合度が大きいほど大きな得点を与える対応整合度判定手段とを更に有し、

前記総合判定手段は、前記幾何条件判定手段、フィルタ条件判定手段、太陽光条件判定手段、時間差条件判定手段及び対応整合度判定手段の各得点に対して、予め定めた重み付けを加えた計算により総合得点を求め、最も該総合得点が高い前記候補ステレオ画像を選択することを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載のステレオ画像を用いた地形計測システム。

【請求項 6】

前記撮影計画手段は、前記複数の撮影手段のうち目標地域を撮影可能な撮影手段を選択する撮影手段選択手段と、該撮影手段選択手段で選択された撮影手段を組み合わせる撮影可能なすべての候補ステレオ画像を列挙した上で、撮影時の幾何的条件に基づく得点を計算する幾何条件設定手段と、前記撮影可能なすべての候補ステレオ画像に対してセンサのフィルタ条件が形状計測に適したもののほど大きな得点を与えるフィルタ条件設定手段と、前記撮影可能なすべての候補ステレオ画像を構成する画像ペアが太陽光条件に近いほど大きな得点を与える太陽光条件設定手段と、前記撮影可能なすべての候補ステレオ画像に対して撮影の時間差が少ないほど大きな得点を与える第 2 の時間差判定手段と、前記撮影可能なすべての候補ステレオ画像に対して前記視差算出手段で算出された視差の整合度を判定し該整合度が大きいほど大きな得点を与える第 2 の対応整合度判定手段と、前記幾何条件設定手段、フィルタ条件設定手段、太陽光条件設定手段、第 2 の時間差条件判定手段及び第 2 の対応整合度判定手段の各得点に対して、予め定めた重み付けを加えた計算により総合得点を求め、最も該総合得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合設定手段とよりなることを特徴とする請求項 3 又は 4 記載のステレオ画像を用いた地形計測システム。

【請求項 7】

前記撮影手段選択手段は、前記複数の撮影手段のうち目標地域を撮影可能な範囲を、一定期間内に通過して撮影する撮影手段を選択することを特徴とする請求項 6 記載のステレオ画像を用いた地形計測システム。

【請求項 8】

請求項 1、2 又は 3 記載の地形計測システムにおける前記地形出力手段から出力された前記地形データを格納していることを特徴とする記憶媒体。

【請求項 9】

コンピュータを、

地表を上空から撮影する複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像を選択する画像選択手段と、

前記画像選択手段により選択された前記ステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、

10

20

30

40

50

前記視差算出手段で算出された視差を地形データに変換する視差地形変換手段と、
前記視差地形変換手段により得られた前記地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段と

して機能させると共に、前記画像選択手段を、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、前記幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段として機能させることを特徴とする地形計測システム用のプログラム。

【請求項 10】

コンピュータを、

地表を上空から撮影する複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像、又は入力された画像を選択する画像選択手段と、

前記画像選択手段により選択された二枚の画像が、それぞれステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像であるか否かを判定する第1の判定手段と、

前記画像選択手段により選択された二枚の画像が、それぞれステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像であると前記第1の判定手段により判定されたとき、その選択された二枚の画像からなるステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、

前記視差算出手段で算出して得られた前記視差データに問題があるか否かを判定する第2の判定手段と、

前記画像選択手段により選択された二枚の画像のうち一枚又は二枚の画像が、ステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像でないと前記第1の判定手段により判定されたとき、又は前記第2の判定手段により前記視差データに問題があると判定されたとき、前記複数の撮影手段のうち少なくとも一の撮影手段を利用して新たな撮影を行わせて少なくとも一枚の画像を得て前記画像選択手段に入力して選択させる撮影計画手段と、

前記第2の判定手段により問題がないと判定された前記視差データを地形データに変換する視差地形変換手段と、

前記視差地形変換手段により得られた前記地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段として機能させると共に、前記画像選択手段を、

前記画像蓄積手段に蓄積された前記画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、前記幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段として機能させることを特徴とする地形計測システム用のプログラム。

【請求項 11】

前記コンピュータを、前記画像選択手段として、前記候補ステレオ画像に対してセンサのフィルタ条件が形状計測に適したもののほど大きな得点を与えるフィルタ条件判定手段と、前記候補ステレオ画像を構成する画像ペアが太陽光条件に近いほど大きな得点を与える太陽光条件判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して撮影の時間差が少ないほど大きな得点を与える時間差判定手段と、前記候補ステレオ画像に対して前記視差算出手段で算出された視差の整合度を判定し該整合度が大きいほど大きな得点を与える対応整合度判定手段として更に機能させ、

前記総合判定手段を、前記幾何条件判定手段、フィルタ条件判定手段、太陽光条件判定手段、時間差条件判定手段及び対応整合度判定手段の各得点に対して、予め定めた重み付けを加えた計算により総合得点を求め、最も該総合得点が高い前記候補ステレオ画像を選択するように機能させることを特徴とする請求項9又は10記載の地形計測システム用のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

20

30

40

50

【発明の属する技術分野】

本発明はステレオ画像を用いた地形計測システム及び記憶媒体並びにプログラムに係り、特に衛星あるいは航空機によるステレオ画像を解析することにより地形を解析するステレオ画像を用いた地形計測システム及びそれに用いる地形データを記録した記録媒体並びにプログラムに関する。

【0002】**【従来の技術】**

衛星あるいは航空機によるステレオ画像を用いた従来の地形計測システムの各例が文献1（日本リモートセンシング研究会編集：「リモートセンシングハンドブック」、p.158 - p.172 宇宙開発事業団発行、(1997)）や文献2（阿居院猛、名倉理一著：「3次元画像解析」、p.130 - p.135 昭晃堂発行、(2001)）に開示されており、また、特許出願により提案されている（例えば、特開平8 - 180206号、特開平10 - 197244号、特開平11 - 278400号、特開2002 - 63580号各公報）。

10

【0003】

上記の特開平8 - 180206号公報には、同一地点を異なる位置から撮影した二つの画像（ステレオペア画像）に輝度レベルを補正する放射強度処理と方位を平行にする共面条件補正処理からなる前処理と、視点の位置を変えるための仮想撮影面への変換処理と画像の座標を変換して画素の補間を行う画像再配置処理からなる視点位置変換処理と、ディスプレイに高速切替表示をする画像切替表示処理と、仮想撮影面の傾斜角を入力する入力装置と、立体視をするための立体視用眼鏡と、画像の切替えと立体視用眼鏡のシャッタの切替えを同期させるコントローラより構成され、ステレオペア画像を用いて仮想撮影面の傾斜角を対話的に設定して立体表現を行う計測システムが開示されている。

20

【0004】

また、上記の特開平10 - 197244号公報には、地球表面を指向する撮影機で地球表面を撮影可能な軌道を飛行する観測衛星、データベース、航法衛星とにより構成される地球形状計測装置において、撮影機の視線方向と鉛直方向とがなす角度が互いに異なる複数の観測衛星を有し、かつ、航法衛星の信号を受信するアンテナとして、それぞれの観測衛星上の異なる位置に固定された3個以上のアンテナを具備し、異なる衛星で取得した地球上の同一場所の画像の組を地球形状解析機で整合させ、複数のアンテナで受信した航法衛星信号を解析して求めた衛星位置座標と視線方向及び視差を利用して地球表面の標高を解析する地形計測システムが開示されている。

30

【0005】

また、上記の特開平11 - 278400号公報には、目標対象となる衛星を観測し目標衛星画像を定期的に取得するレンズ倍率の一定な単一の画像センサと、画像センサの出力から目標衛星部分を抽出する2値化処理手段と、目標衛星部分に相当する2値化画像の面積等から目標衛星の距離を計算する手段と、計算された面積重心位置を基に、画像センサに対する目標衛星の見込み角を計算し、出力する手段を具備した衛星位置観測装置が開示されている。

【0006】

更に、上記の特開2002 - 63580号公報には、同一地域の異なる解像度の2種類の画像に対して標定作業を行って関数で関係付けた拡張ステレオモデルを生成する工程と、上記拡張ステレオモデルの両方の画像に共通に存在する既知の地物のポリゴン点列を基準の不定形窓とする工程と、不定形窓にそれぞれ高さを与えて、この高さを変化させる工程と、上記の高さが変化される毎に、その高さに応じた拡張ステレオモデルの両方の画像上における投影位置を求める工程と、拡張ステレオモデルの両画像の投影位置における不定形窓で区切られる領域の輝度値を比較する工程と、その比較結果が最も近似したときの不定形窓の高さを拡張ステレオモデルの両画像の地物の高さとして出力する工程と、出力された高さを用いて地物の3次元座標を決定する工程とを有する構成により、2次元地図を効率的に3次元地図化するイメージングマッチングを行う地形計測システムが開示されている。

40

50

【0007】

このような文献や特許出願に開示されている、衛星あるいは航空機によるステレオ画像を用いた地形計測は、広い領域を一度に計測できること、現地に人間が行かなくても計測できるなどの利点がある。

【0008】

上記の衛星ステレオ画像を取得するには、地表の同一個所を異なる位置から撮影する必要があり、二つの方式に大別できる。第一の方式は、衛星に搭載されたある一つのイメージセンサ（以下、イメージセンサをセンサと略称する）を使用するものである。この方式は、異なる軌道から同一地点を撮影するクロストラックステレオ撮影に多く用いられる（SPOT衛星のHRVセンサやADEOS衛星のAVNIRセンサなど）。

10

【0009】

第二の方式は、一つの衛星に異なった角度で取り付けられた複数のセンサを用いてステレオ撮影をするものである。この方式は、衛星が目標地点上空を通過中に、同一軌道上の異なる地点から撮影を行うアロングトラックステレオ撮影に多く用いられる（JERS-1衛星のOPSセンサ、ALOS衛星のPRISMセンサなど）。この方式は、常時ステレオ画像が得られるという利点があるが、オンボードでの画像蓄積量及び地上へのデータ伝送量が増えるという問題点があり、特に解像度1m程度の高解像度になると、第一の方式を選択せざるを得ないことが多い。

【0010】

なお、近年登場したものの中には、単一のセンサでクロストラックステレオ撮影と、アロングトラックステレオ撮影の双方を行うものがある（IKONOS衛星やQuickBird衛星など）。

20

【0011】

ステレオ画像が得られたら、次に相関解析（前記文献2の118頁参照）あるいは、図化機などを用いて対応点を探索し、二つの画像間でどれだけ対応点がずれているか、すなわち視差情報を得る。必要に応じては、相関解析の前に、カメラモデルの構築のために、外部標定、内部標定を行う（日本写真測量学会：「解析写真測量 改訂版」、昭和58年）。視差情報が求められたら、撮影時のカメラモデルを用いて対応毎に3次元座標を算出する。この3次元座標データの集合が地形情報である。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来地形計測システムは、以下の問題がある。すなわち、衛星での撮影には、衛星が目標地域付近に到達した時に、目標地域のローカル時刻が日中であり、かつ、目標地域上空に雲が無いという条件が必要である。そのため、目標地域を一定期間内に撮影する機会は必ずしも多くない。特に、高解像度衛星の場合、前述したように通常、単一センサ構成であり、撮影の際には、目標地域の上空を移動中に、センサを目標に向けポインティングさせるが、ステレオ画像を得るためには、同一地点に向けて二回ポインティングを行う必要がある。すなわち、貴重な撮影機会を二回も使う必要があるということである。

30

【0013】

また、比較的角度の大きなポインティングが必要となるために、合間に他の目標の撮影をするということもできず、撮影効率が全体的に低下してしまうという問題もある。そのため、ステレオ画像の取得が進展せず、その結果として、地形計測可能エリアが少ないという問題が生じる。

40

【0014】

以上の問題は、同一の衛星及びセンサで、ほぼ同じタイミングで得た画像のみをステレオ処理の対象としていたことが原因とみなすことができる。これに対して、異なる衛星で、異なる時間に同一地域を撮影した画像同士でステレオ処理を行うことが可能になれば、従来ステレオ画像とみなせなかった画像もステレオ処理の対象とすることができ、より広い範囲の地形を計測することが可能になる。しかし、前述した文献1及び2や各公開公報記

50

載の従来の地形計測システムでは、どのような画像を選択してステレオ画像とすればよいのかという選択手段がいずれも無かったため、このような多様な画像に対するステレオ処理が不可能であった。

【0015】

本発明は以上の点に鑑みなされたもので、異なる撮影手段で、異なる時間に同一地域を撮影した画像同士でのステレオ処理を可能とするステレオ画像を用いた地形計測システムを提供することを目的とする。

【0016】

また、本発明の他の目的は、地形計測に適したステレオ画像を撮影するための撮影計画機能を備えたステレオ画像を用いた地形計測システムを提供することにある。

10

【0017】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、第1の発明の地形計測システムは、地表を上空から撮影する複数の撮影手段と、複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段と、画像蓄積手段に蓄積された画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像を選択する画像選択手段と、画像選択手段により選択されたステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、視差算出手段で算出された視差を地形データに変換する視差地形変換手段と、視差地形変換手段により得られた地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段とを有する構成としたものである。

【0019】

20

また、上記の目的を達成するため、第2の発明の地形計測システムは、上空から撮影された、地表の同一の目標地点を含む複数の画像が少なくとも予め蓄積されている画像記憶媒体の画像の中から、ステレオ画像を構成する二枚の画像を選択する画像選択手段と、画像選択手段により選択されたステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、視差算出手段で算出された視差を地形データに変換する視差地形変換手段と、視差地形変換手段により得られた地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段とを有する構成としたものである。

【0021】

また、上記の目的を達成するため、第3の発明の地形計測システムは、上記の第1の発明の構成に加えて、画像蓄積手段に蓄積された画像の中に、画像選択手段により選択可能な所定レベル以上のステレオ画像を構成する一枚又は二枚の画像が存在しないときに、複数の撮影手段のうちの少なくとも一の撮影手段を利用して新たな撮影を行わせる撮影計画手段を更に有する構成としたものである。

30

【0022】

ここで、上記第1～第3の発明の画像選択手段は、画像蓄積手段に蓄積された画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い前記候補ステレオ画像を選択する総合判定手段とからなる構成とされる。これにより、幾何的条件に基づいて常に最適なステレオ画像を構成する二枚の画像を選択することができる。

40

【0023】

また、上記の目的を達成するため、第4の発明の地形計測システムは、地表を上空から撮影する複数の撮影手段と、複数の撮影手段による撮影により得られた画像を蓄積する画像蓄積手段と、画像蓄積手段に蓄積された画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像、又は入力された画像を選択する画像選択手段と、画像選択手段により選択された二枚の画像が、それぞれステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像であるか否かを判定する第1の判定手段と、画像選択手段により選択された二枚の画像が、それぞれステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像であると第1の判定手段により判定されたとき、その選択された二枚の画像からなるステレオ画像から視差を算出する視差算出手段と、視差算出手段で算出して得られた視差データに問題があるか否かを判定する第2の

50

判定手段と、画像選択手段により選択された二枚の画像のうち一枚又は二枚の画像が、ステレオ画像として使用可能な所定レベル以上の画像でないと第1の判定手段により判定されたとき、又は第2の判定手段により視差データに問題があると判定されたとき、複数の撮影手段のうち少なくとも一の撮影手段を利用して新たな撮影を行わせて少なくとも一枚の画像を得て画像選択手段に入力して選択させる撮影計画手段と、第2の判定手段により問題がないと判定された視差データを地形データに変換する視差地形変換手段と、視差地形変換手段により得られた地形データを出力して地形を計測させる地形出力手段とを有し、上記画像選択手段は、画像蓄積手段に蓄積された画像の中から目標地域が含まれる画像を選択して候補ステレオ画像を作成するエリア判定手段と、候補ステレオ画像に対して画像の解像度や撮影の向きなどの幾何的条件に基づく得点を与える幾何条件判定手段と、幾何条件判定手段の得点に基づき、最も得点が高い候補ステレオ画像を選択する総合判定手段とからなることを特徴とする。この発明では、使用可能なステレオ画像が得られ、かつ、視差データに問題がない画像が得られるまで、撮影計画の立案、新規撮影、撮影された画像がステレオ画像として使用可能か否かの判定の処理が繰り返される。

10

【0024】

また、上記の目的を達成するため、第5の発明の地形計測システムは、画像選択手段を、候補ステレオ画像に対してセンサのフィルタ条件が形状計測に適したもののほど大きな得点を与えるフィルタ条件判定手段と、候補ステレオ画像を構成する画像ペアが太陽光条件に近いほど大きな得点を与える太陽光条件判定手段と、候補ステレオ画像に対して撮影の時間差が少ないほど大きな得点を与える時間差判定手段と、候補ステレオ画像に対して視差算出手段で算出された視差の整合度を判定し該整合度が大きいほど大きな得点を与える対応整合度判定手段とを更に有し、総合判定手段は、幾何条件判定手段、フィルタ条件判定手段、太陽光条件判定手段、時間差条件判定手段及び対応整合度判定手段の各得点に対して、予め定めた重み付けを加えた計算により総合得点を求め、最も該総合得点が高い候補ステレオ画像を選択する構成としたものである。

20

【0025】

また、上記の目的を達成するため、第6の発明の地形計測システムは、上記の第3の発明の撮影計画手段を、複数の撮影手段のうち目標地域を撮影可能な撮影手段を選択する撮影手段選択手段と、撮影手段選択手段で選択された撮影手段を組み合わせることで撮影可能なすべての候補ステレオ画像を列挙した上で、撮影時の幾何条件に基づく得点を計算する幾何条件設定手段と、撮影可能なすべての候補ステレオ画像に対してセンサのフィルタ条件が形状計測に適したもののほど大きな得点を与えるフィルタ条件設定手段と、撮影可能なすべての候補ステレオ画像を構成する画像ペアが太陽光条件に近いほど大きな得点を与える太陽光条件設定手段と、撮影可能なすべての候補ステレオ画像に対して撮影の時間差が少ないほど大きな得点を与える第2の時間差判定手段と、撮影可能なすべての候補ステレオ画像に対して視差算出手段で算出された視差の整合度を判定し整合度が大きいほど大きな得点を与える第2の対応整合度判定手段と、幾何条件設定手段、フィルタ条件設定手段、太陽光条件設定手段、第2の時間差条件判定手段及び第2の対応整合度判定手段の各得点に対して、予め定めた重み付けを加えた計算により総合得点を求め、最も総合得点が高い候補ステレオ画像を選択する総合設定手段とよりなる構成としたものである。

30

40

【0026】

更に、上記の目的を達成するため、第7の発明の地形計測システムは、撮影手段選択手段を、複数の撮影手段のうち目標地域を撮影可能な範囲を、一定期間内に通過して撮影する撮影手段を選択する構成としたことを特徴とする。

【0028】

また、上記の目的を達成するため、本発明の記憶媒体は、第1、第2又は第3の発明の地形計測システムにおける地形出力手段から出力された地形データを格納していることを特徴とする。

【0029】

また、上記の目的を達成するため、第9の発明のプログラムは、コンピュータを、第1

50

の発明における画像選択手段と、視差算出手段と、視差地形変換手段と、地形出力手段として機能させることを特徴とする。また、第10の発明のプログラムは、コンピュータを、第4の発明における画像選択手段と、第1の判定手段と、視差算出手段と、第2の判定手段と、撮影計画手段と、視差地形変換手段と、地形出力手段として機能させることを特徴とする。

【0030】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について図面と共に詳細に説明する。図1は本発明になるステレオ画像を用いた地形計測システムの第1の実施の形態のブロック図、図2は本発明の一実施の形態のシステム構成図を示す。図1において、地表を撮影するための第1及び第2の撮影手段11及び12と、撮影した画像を蓄積する画像蓄積手段13と、蓄積された画像から地形計測に適した画像を選択する画像選択手段14と、画像間の視差を算出する視差算出手段15と、視差情報を地形データに変換する視差地形変換手段16と、得られた地形データを出力する地形出力手段17とを備えている。なお、画像選択手段14、視差算出手段15、視差地形変換手段16及び地形出力手段17は、コンピュータプログラムによりコンピュータに機能させることもできる。

【0031】

撮影手段11及び12は、地表を上空から撮影する機能を持った装置で、例えば図2に示す地球観測衛星21及び22に搭載され、地表の同じ目標地点23を上空から別々に撮影する撮影装置であり、各々の画像解像度、観測波長、スキャン方式、高度、軌道傾斜角などの仕様が異なってもよい。地球観測衛星は通常、図2に21及び22で示すように2つ又はそれ以上の複数運用されているため、異なる種類の衛星で、また異なる時期で撮影することを許容すれば、ステレオ画像の撮影機会は飛躍的に増える。また、撮影手段11及び12の一つが地表撮影カメラを搭載した航空機であってもよい。このような様々な撮影手段を活用できるのが本実施の形態の特長である。なお、撮影手段11及び12には、地上にて衛星画像を受信する機能も含む。

【0032】

画像蓄積手段13は、受信した画像及び撮影条件などを蓄積しておくものである。画像選択手段14は、画像蓄積手段13に蓄積された画像の中から、目標地域の標高算出に適した画像を選択し、ステレオ画像を作成する手段であり、本発明の特徴となる手段である。これらの図1に示す画像蓄積手段13、画像選択手段14及び後に詳述する図1に示す視差算出手段15、視差地形変換手段16及び地形出力手段17は、地球上に設けられた図2に示す受信手段24及び計測装置25により構成されている。

【0033】

受信手段24は、撮影手段11及び12を構成する地球観測衛星21及び22から送信された撮影画像情報を受信し、その受信信号を計測装置25へ供給する。計測装置25は、受信した画像情報を復調して画像蓄積し、その蓄積画像の中から目標地点23の標高算出に適した画像を選択し、ステレオ画像を作成した後、ステレオ画像から視差を算出し、その視差を地形データに変換して出力する。この地形データはディスプレイに表示したり、あるいは任意の記憶媒体に格納して、その記憶媒体を有料又は無料にて頒布してもよい。

【0034】

次に、図1に示した画像蓄積手段13、画像選択手段14、視差算出手段15、視差地形変換手段16及び地形出力手段17のそれぞれについて、詳細に説明する。

【0035】

図3は図1の画像選択手段14の一実施の形態のブロック図を示す。図3に示すように、画像選択手段14は、総合判定手段140、エリア判定手段141、幾何条件判定手段142、フィルタ条件判定手段143、太陽光条件判定手段144、時間差判定手段145及び対応整合度判定手段146からなる。この中で、総合判定手段140、エリア判定手段141及び幾何条件判定手段142は必須であるが、フィルタ条件判定手段143、太陽光条件判定手段144、時間差判定手段145及び対応整合度判定手段146の4つの

10

20

30

40

50

手段は必須ではなく、それぞれ必要に応じて用いればよい。なお、ステレオ画像を構成する二つの画像を選択できない場合には、新たに撮影を行う必要があるが、その際は後述する第3の実施の形態を採用すればよい。

【0036】

総合判定手段140は、エリア判定手段141、幾何条件判定手段142、フィルタ条件判定手段143、太陽光条件判定手段144、時間差判定手段145及び対応整合度判定手段146からの各判定結果を入力として受け、これらの判定結果を総合的に判断して、ステレオ画像として適切な画像ペアを作成する。

【0037】

幾何条件判定手段142、フィルタ条件判定手段143、太陽光条件判定手段144、時間差判定手段145及び対応整合度判定手段146では、ステレオ画像毎に、判定基準に基づく得点 $Q(1)$ 、 $Q(2)$ 、 $Q(3)$ 、 $Q(4)$ 及び $Q(5)$ を求める。総合判定手段140では、各判定手段142～146の得点 $Q(1)$ ～ $Q(5)$ に、予め決められた重み付けを加えた上で総合得点を求め、その結果から視差算出に用いる画像ペアを決定する。以下に各判定手段141～146の詳細について説明する。

10

【0038】

エリア判定手段141は、画像蓄積手段13に蓄積されている画像の中で、まず目標地域が撮影されている画像をすべて選び出す。そして、選び出された画像の中から任意の二枚の画像を組み合わせてできるすべてのステレオ画像を作成する。ただし、異なる角度で撮影されていなければステレオ画像ではないため、同一センサ、かつ、同一タイミングで撮影された画像同士のペアは設定しない。

20

【0039】

なお、複数のチャンネル(レッド、グリーン、ブルー、近赤外など)で構成されている画像はチャンネル別に分けることをせず、一つの画像とみなすが、解像度が異なれば別の画像とみなす。通常、パンクロマチック(グレースケール)画像はRチャンネル画像、Gチャンネル画像、Bチャンネル画像の2倍程度の解像度を持っているため、パンクロマチック画像はその他のチャンネルとは別画像とする。

【0040】

幾何条件判定手段142は、エリア判定手段141で作成されたステレオ画像に対して、幾何的条件に基づく得点 $Q(1)$ を与える。原理的には、異なる方向から撮影された画像が最低二枚あれば地形算出は可能であるが、精度は画像の解像度(1画素がカバーする地表の範囲)や撮影の向きなどの幾何的条件により大きく異なる。

30

【0041】

幾何的条件の得点の与え方としては、幾つかの方法が考えられる。まず、第一の例として簡単な方法を示す。それは解像度の高いステレオ画像に高い得点を与えるものである。ステレオ画像を構成する二つの画像の解像度が異なる場合には、低い方の解像度に応じた得点を与える。二つの解像度の平均値を用いる方法もあるが、通常は計測精度は前者の方がより正確な評価が行える。解像度の得点への換算方法の一例として次式を示す。

【0042】

$$Q(1) = 1 / \text{resolution} \quad (1)$$

40

ここで、 resolution は、ステレオ画像を構成する二枚の画像のうち解像度の低い方の画像の解像度[単位m]を示す。

【0043】

次に、やや複雑な別の例について説明する。こちらの方がより正確な評価が可能である。具体的には、量子化誤差で評価する方法であり、これは視差を1画素単位で求めたとして、1画素のずれが、どれだけ3次元座標のずれとして表れるかとして測ることができる。量子化誤差が小さなほど精度が良い。そこで、量子化誤差が小さなステレオ画像に大きな得点を与える。

【0044】

幾何的条件判定の具体的な計算方法を図4を参照しながら説明する。図4は撮影手段11

50

及び12が目標地点oを撮影するためにポインティングしている様子を表している。まず、地表面18に固定した3次元座標系(x, y, z)を設定する。原点は目標地点oの中心に置き、x軸は北、y軸は東を向いているものとする。z軸は鉛直軸を表す。撮影手段11の撮影位置をs1、撮影手段12の撮影位置をs2とし、それぞれの高度をh1、h2とする。また、撮影手段11、撮影手段12それぞれのアジマス角をa1、a2、それぞれのエレベーション角をe1、e2とする。また、s1、s2の地表面18に対する直下点をg1、g2とし、原点oからg1、g2までの距離をそれぞれb1、b2とする。

【0045】

地表面18上の三角形o-g1-g2に関して、g1、g2間の距離をb3とし、内角をa3、a4、a5で表す。厳密には、地表は楕円体の一部として表す必要があるが、こ
10
こでは平面近似を行うことにし、g1、g2は近似的にxy平面上にあるとしている。ここで、s1-s2-oで作られる三角形を含む平面をエピポーラ平面と呼ぶことにする。エピポーラ平面の原点o付近に着目した拡大図を図5に示す。

【0046】

同図において、p11及びp12は、撮影手段11のある隣接する画素を表しており、v11、v12はそれぞれの画素p11、p12から伸びる視線ベクトルである。同様に、p21及びp22は、撮影手段12のある隣接する画素を表しており、v21、v22はそれぞれの画素p21、p22から伸びる視線ベクトルである。r1は視線ベクトルv11とv12の地表面における水平距離（以下、解像度と呼ぶ）であり、r2は視線ベクトルv21とv22の地表面における水平距離（解像度）である。e1'は、エピポーラ平
20
面内で水平線と視線ベクトルv12とがなす角、e2'はエピポーラ平面内で水平線と視線ベクトルv22とがなす角であり、それぞれ次式で表される。

【0047】

$$e1' = \arctan\{h1/(b1 \cos(a3))\} \quad (2a)$$

$$e2' = \arctan\{h2/(b2 \cos(a4))\} \quad (2b)$$

【0048】

また、図4において、撮影手段11が直下点g1にポインティングした場合における解像度をr1'、同様に撮影手段12が直下点g2にポインティングした場合における解像度をr2'とすると、解像度r1、r2は次式で表される。

$$r1 = r1' \sin(e1') \quad (3a)$$

$$r2 = r2' \sin(e2') \quad (3b)$$

計測対象地点oにおける量子化誤差は、図5の領域51で表される。この領域51がより小さなステレオ画像が、幾何的観点からみて精度が良いといえる。

【0049】

なお、衛星は1次元直線状に多数の画素が配列されたCCDイメージセンサを搭載し、それをスキャンすることにより2次元画像を得るため、地表面における解像度r1やr2はスキャン方向とスキャン直交方向では厳密には異なる。ただし、通常はこの二つは大きく変わらないので、以上のように一方向の解像度のみを考えれば十分である。

【0050】

図5に示す水平方向の量子化誤差Ehと垂直方向の量子化誤差Evとは、それぞれ次式で
40
表すことができる。

$$Eh = (r1' \tan(e1') + r2' \tan(e2')) / (\tan(e1') + \tan(e2')) \quad (4a)$$

$$Ev = (r1' + r2') (\tan(e1') \tan(e2')) / (\tan(e1') + \tan(e2')) \quad (4b)$$

幾何条件判定手段142が与える得点Q(1)は、例えば次式で表される。

【0051】

$$Q(1) = \begin{cases} 1 & (\text{ただし、} Eh < Eh_{req} \text{、かつ、} Ev < Ev_{req} \text{の場合)} \\ 0 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、上式中、Eh_reqはEhのしきい値、Ev_reqはEvのしきい値である。また、上記の得点Q(1)は次式で与えるようにしてもよい。

10

20

30

40

50

$$Q(1) = q_{-1} / (E_h + 1/E_v) \quad (6)$$

ここで、上式中、 q_{-1} は、 E_h と E_v の重みを変えるための正のパラメータである。通常は1でよい。幾何条件判定手段142は、他の判定手段143～146と比較して、通常は最も重要な役割を果たす。

【0052】

次に、フィルタ条件判定手段143について説明する。このフィルタ条件判定手段143は、エリア判定手段141で選択された画像ペアに対して、センサのフィルタ条件が形状計測に適したものに多くの得点を与える。一般に、可視波長領域全体にわたる観測を行って得られる画像、すなわちパングロマチック画像は、 S/N 比が良く、地形計測に適している。また、フィルタ特性が近い画像同士の方が、視差算出時にフィルタ特性の違いによる影響を受け難いため、形状計測に適している。そこで、撮影手段11と撮影手段12のフィルタ特性が、可視波長領域全体を通過させ、かつ、同じ波長特性が似通っているほど高い得点を与える。

10

【0053】

なお、殆どの場合、パングロマチック画像を使用すればよいが、故障などの理由でパングロマチック画像が使用不可能の場合を考慮してこのフィルタ条件判定手段143が設けられている。一例として、フィルタ条件判定手段143は、次式に基づいて得点 $Q(2)$ を与える。

【0054】

【数1】

20

$$Q(2) = \int_S f(w) g(w) dw / S \quad (7)$$

【0055】

ここで、(7)式中、 w は波長、 $f(w)$ 、 $g(w)$ はそれぞれ撮影手段11、撮影手段12のフィルタ特性を示しており、値が大きくなるほどその波長の透過率が大きいことを示す。透過率は0以上1以下である。また、 S は可視領域の範囲を示す。すなわち、(7)式は可視波長領域において、撮影手段11及び12のフィルタ特性の重なりが大きいほど、大きな得点 $Q(2)$ を与えることを示している。パングロマチック画像が最も得点 $Q(2)$ が大きい。

30

【0056】

次に、太陽光条件判定手段144について説明する。太陽光条件判定手段144は、エリア判定手段141で選択された画像ペアに対して、太陽光条件が近いものに多くの得点 $Q(3)$ を与える。一般に、画像ペアの太陽光条件がほぼ同じであれば、建物の影のつき方、建物の側面の陰影もほぼ同じとなり、良い精度で視差算出を行うことができる。画像ペアの太陽光条件が一定以上異なれば、影や陰影も異なり、悪影響を与える。そこで、この太陽光条件判定手段144は、画像ペアのそれぞれの太陽光条件が近いほど大きな得点 $Q(3)$ を与える。

40

【0057】

太陽光条件判定手段144の一実施の形態として、一つの評価式を示す。片方の画像撮影時の太陽のアジマス角を a_1 、エレベーション角を e_1 とし、もう一方の画像撮影時の太陽のアジマス角を a_2 、エレベーション角を e_2 とすると、上記の得点 $Q(3)$ は次式で表される。

【0058】

$$Q(3) = \begin{cases} 1 & (|a_1 - a_2| < d \text{ かつ } |e_1 - e_2| < d \text{ の場合}) \\ 0 & (\text{上記以外の場合}) \end{cases} \quad (8)$$

ここで、上式中、 d は角度にして数度程度のしきい値を示す。この(8)式は、アジマス

50

角 a_1 と a_2 、エレベーション角 e_1 と e_2 がほぼ同じならば、大きな得点 $Q(3)$ を与え、一定レベル以上異なると、得点 $Q(3)$ をゼロにするというものである。十数度以上角度が異なれば、それ以上いくら条件が異なっても与える影響はほぼ一定であることを表現している。

【0059】

次に、時間差判定手段 145 について説明する。時間差判定手段 145 は、エリア判定手段 141 で選択された画像ペアに対して、撮影の時間差が少ないものに多くの得点 $Q(4)$ を与える。一般に撮影の時間差があると、それだけ地表の様子が変わってくるため、撮影の時間差の少ない方が良い精度で地形計測を行うことができる。具体的には、数秒の違いでも、車など乗り物の位置が異なる場合があり、それが計測に影響を与える可能性がある。一週間異なると、建物が取り壊されなくなっている場合があり、数ヶ月異なると新しい建物ができたり、あるいは季節変化により木の見え方が異なってくる。これらの変化は時間の関数で単純に表すことは難しいが、単純化した場合の例を下記に示す。

【0060】

$$Q(4) = \exp(-\text{time_difference}) \quad (9)$$

ここで、time_difference は撮影時間差の絶対値を日数で表現したものである。

【0061】

時間差判定手段 145 の第 2 の例としては、目視で主観的に判定し、得点を与える方法がある。この第 2 の例では、画像を観察し、大きな変化が見受けられた場合には得点 $Q(4)$ を低くする。

【0062】

次に、対応整合度判定手段 146 について説明する。対応整合度判定手段 146 は、エリア判定手段 141 で選択された画像ペアに対して、視差算出手段 15 の出力である視差の整合度を判定し、整合度が大きいものに多くの得点 $Q(5)$ を与える。上記の得点 $Q(5)$ は例えば次式で表される。

$$Q(5) = AVs \quad (10)$$

ここで、AVs は視差算出手段 15 により得られた対応の相関値の平均値を示す。

【0063】

すなわち、画素対応毎に、その画素を中心とする数画素程度のウィンドウ同士の相関値を求め、相関値 (-1 以上 1 以下) の平均を得点とする。対応整合度判定手段 146 は、視差算出手段 15 により適切な視差が得られたかという観点での指標であり、適切な視差が得られたということはステレオ画像が適切であったとすることができる。これは、他の判定手段 142 ~ 145 より直接的な評価であるが、視差計算を行わないとこの判定はできないという問題がある。また、地表に規則的な模様があった場合など、相関値が高くても必ずしも正しい視差が得られない場合もあるため、この指標も万能ではない。

【0064】

総合判定手段 140 は、エリア判定手段 141、幾何条件判定手段 142、フィルタ条件判定手段 143、太陽光条件判定手段 144、時間差判定手段 145 及び対応整合度判定手段 146 の結果を総合的に判定して、最も良い画像ペアを選び、ステレオ画像とする。

【0065】

次に、総合的に判定する具体的な一方法について次式に示す。

$$Q = w(1)Q(1) + w(2)Q(2) + w(3)Q(3) + w(4)Q(4) + w(5)Q(5) \quad (11)$$

ここで、 $w(1)$ から $w(5)$ までは各判定手段 142 ~ 146 に対する重みを示す。例えば、

$$w(1) = 10, w(2) = w(3) = w(4) = w(5) = 1$$

とする。幾何条件判定手段 142 のみを用いる場合には、 $w(1) = 1$ 、 $w(2)$ から $w(5)$ まではゼロとする。このようにして、各ステレオ画像に対して総合得点を求め、最も総合得点の高いステレオ画像で地形計測を行う。

【0066】

以上が画像選択手段 14 の詳細な構成である。この画像選択手段 14 があることにより、多様な画像の中からステレオ画像として適切なものを選択することが可能になる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

次に、図 1 に示した視差算出手段 1 5 について説明する。視差算出手段 1 5 は、ステレオ画像同士でマッチングを行い、対応を視差情報として出力するものである。図 6 は視差算出手段 1 5 の一実施の形態のブロック図を示す。同図に示すように、視差算出手段 1 5 は、高解像度化手段 1 5 1、画像補正手段 1 5 2 及び相関計算手段 1 5 3 により構成される。高解像度化手段 1 5 1 は、ステレオ画像の解像度を一致させるために、選択されたステレオ画像を構成する二つの画像のうち、低解像度の方の画像を高解像度化する。

【 0 0 6 8 】

高解像度化手段 1 5 1 は具体的には、共 1 次内挿法、3 次畳み込み内挿法（「画像解析ハンドブック」、東京大学出版会、4 4 2 頁）などにより、画素補間をすることにより、解像度を高める。なお、二つの画像の解像度が一致していれば、この高解像度化手段 1 5 1 は必要ない。また、高解像度化は相関計算で視差を求めるためには必要であるが、特徴点マッチングなどにより視差を求める場合には必ずしも必要ではない。

【 0 0 6 9 】

図 6 の画像補正手段 1 5 2 は、相関計算を行う準備として、ステレオ画像のエピポーラ線（「画像と空間」、昭晃堂、4 4 2 頁）が画像に対して水平になるように画像を回転・変形するものである。こうすると、対応探索は水平方向に対してのみ行えばよいため、計算量を減らすことができる。

【 0 0 7 0 】

図 6 の相関計算手段 1 5 3 は、画像補正手段 1 5 2 で得られた補正済みの画像（画像 1 と画像 2 とする）に対して相関計算を行い、画像間の対応点を求める手段である。相関計算手段 1 5 3 は、具体的には、図 7 に示すように、まず、二つの画像（画像 1 と画像 2 ）を一辺数画素程度のウィンドウ A とウィンドウ B にそれぞれ分割する。次に、ウィンドウ A とウィンドウ B 同士の相互相関係数 r を次式に基づいて求める。

【 0 0 7 1 】

【 数 2 】

$$r = \frac{\sum_j \sum_k \{ (I(A,j,k) - M(A)) (I(B,j,k) - M(B)) \}}{\sqrt{\sum_j \sum_k \{ I(A,j,k) - M(A) \}^2} \sqrt{\sum_j \sum_k \{ I(B,j,k) - M(B) \}^2}} \quad (12)$$

ここで、(12) 式中、 $I(A, j, k)$ はウィンドウ A の位置 (j, k) の画素値、 $I(B, j, k)$ はウィンドウ B の位置 (j, k) の画素値、 $M(A)$ はウィンドウ A の画素値の平均値、 $M(B)$ はウィンドウ B の画素値の平均値である。

【 0 0 7 2 】

そして、相関計算手段 1 5 3 は、ウィンドウ A とウィンドウ B の位置をずらしながら相互相関係数 r が極大あるいは最大になる地点を探し、そのウィンドウ A とウィンドウ B の中心画素同士が対応しているとする。この相関計算手段 1 5 3 により得られた計算結果は、視差データ 1 5 4 として出力される。この相関計算処理を画像全体にわたって行うことにより、画像全体の対応情報を得る。

【 0 0 7 3 】

次に、図 1 の視差地形変換手段 1 6 について説明する。視差地形変換手段 1 6 は、上記の視差データ 1 5 4 を入力として受け、その入力視差データ 1 5 4 が示す視線ベクトル情報を地形データに変換する手段である。すなわち、この変換方法について図 5 と共に説明するに、例えば撮影手段 1 1 の画素 $p 1 1$ と撮影手段 1 2 の画素 $p 2 2$ とが対応しているものとする、画素 $p 1 1$ から伸びる視線ベクトル $v 1 1$ と、画素 $p 2 2$ から伸びる視線ベクトル $v 2 2$ の交点 $c 1$ が、求めるべき地形の一点となる。

【 0 0 7 4 】

このようにして、視差地形変換手段 1 6 は、対応する画素から伸びる視線ベクトルの交点を全て求め、その交点を地表固定の 3 次元座標で表したものを地形データとして出力する。

【 0 0 7 5 】

図 1 の地形出力手段 1 7 は、上記の視差地形変換手段 1 6 から出力された地形データを入力として受け、ディスプレイにその地形データを出力して表示させたり、記憶装置に地形データを入力してファイルとして記憶させたりする。

【 0 0 7 6 】

以上詳細に第 1 の実施の形態について説明したが、相関計算手段 1 5 3 及び視差地形変換手段 1 6の構成は、当業者にとって良く知られているので、その詳細な説明は省略した。

【 0 0 7 7 】

次に、本発明の第 1 の実施の形態のシステムの動作を詳細に説明する。図 8 は本発明になるステレオ画像を用いた地形計測システムの第 1 の実施の形態の動作説明用フローチャートを示す。通常状態において、図 1 に示した撮影手段 1 1 及び 1 2 は予め決められた撮影スケジュールに従って各地域の撮影を行う（図 8 のステップ S 1）。この撮影スケジュールは、必ずしも地形計測だけを目的としたものでなくてもよい。また、撮影手段の数や種類の制限はなく、使用可能な全ての撮影手段が対象である。

【 0 0 7 8 】

次に、撮影された画像が図 1 の画像蓄積手段 1 3 に蓄積される（図 8 のステップ S 2）。画像蓄積手段 1 3 に蓄積される画像にも制限はなく、可能な限り蓄積を行う。続いて、地形生成の要求があった場合（図 8 のステップ S 3）、図 1 の画像選択手段 1 4 を用いて、地形生成の要求仕様に応じた地形生成が可能な画像を選択する（図 8 のステップ S 4）。要求仕様としては、地形生成地点及び範囲、地形計測精度、画像撮影時期、地形データ納期などがある。

【 0 0 7 9 】

上記のステップ S 4 の画像選択では、まず図 3 に示したエリア判定手段 1 4 1 により目標地点が写っている画像を選択し、更に候補ステレオ画像を設定する。次に、図 3 に示した幾何条件判定手段 1 4 2、フィルタ条件判定手段 1 4 3、太陽光条件判定手段 1 4 4、時間差判定手段 1 4 5 が各ペア毎に得点を与えていく。そして、図 3 に示した総合判定手段 1 4 0 により、ある程度候補とするステレオ画像を絞る。

【 0 0 8 0 】

次に、ステレオ画像候補の各画像について視差算出を行う（図 8 のステップ S 5）。ここで、ステップ S 4 ではステレオ画像候補を一つに絞ってもよいが、時間的、あるいはコスト的に余裕がある場合は、複数のステレオ画像候補を残しておき、ステップ S 5 ではそれぞれのステレオ画像について視差算出を行う。

【 0 0 8 1 】

続いて、再び画像選択手段 1 4 に戻り、今度は図 3 の対応整合度判定手段 1 4 6 を含めて総合的な判定を行い、最適な画像ペアを選択する（図 8 のステップ S 6）。最適なステレオ画像が得られたら、視差計算を行っていない場合は視差計算を行った後、図 1 に示した視差地形変換手段 1 6 により視差地形変換を行って地形データを得る（図 8 のステップ S 7）。そして、最後に地形データを図 1 に示した地形出力手段 1 7 により出力し、地形をディスプレイに表示したり、記憶装置に保存する（図 8 のステップ S 8）。

【 0 0 8 2 】

このように、本実施の形態では、画像選択手段 1 4 を設けているため、あらゆる撮影手段を用いて得られたすべての画像の中から、ステレオ画像を選択できるという特長がある。そのため、必要なステレオ画像がないために、地形算出が行えないということが少なくなり、更には目的に応じたステレオ画像が選択できるようになるため、より要求に適う地形データを算出することが可能になる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 3 】

次に、本発明の第 2 の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図 9 は本発明になるステレオ画像を用いた地形計測システムの第 2 の実施の形態のブロック図を示す。同図中、図 1 と同一構成部分には同一符号を付し、その説明を省略する。図 9 に示す第 2 の実施の形態は、第 1 の実施の形態の撮像手段 1 1 及び 1 2 を削除し、かつ、画像蓄積手段 1 3 に代えて画像蓄積手段 1 9 を設けた点に特徴がある。

【 0 0 8 4 】

前述した第 1 の実施の形態では、撮像手段 1 1 及び 1 2 が必須の構成要素であり、画像蓄積手段 1 3 はこの撮像手段 1 1 及び 1 2 から送信された画像を受信して蓄積するようにしているが、この第 2 の実施の形態では、撮影手段 1 1 及び 1 2 は使用せず、画像蓄積手段 1 9 に蓄積された画像及び撮影条件を使用する点に特徴がある。

10

【 0 0 8 5 】

上記の画像蓄積手段 1 9 は、例えば、既に撮影手段 1 1 及び 1 2 と同様の複数の撮影手段により同一目標地点を、異なる角度で上空から撮影された複数の画像及びその撮影条件などが蓄積されている記憶媒体である。

【 0 0 8 6 】

第 2 の実施の形態は、画像蓄積手段 1 9 の蓄積画像を用いる点を除いて、画像選択手段 1 4、視差算出手段 1 5、視差地形変換手段 1 6 及び地形出力手段 1 7 により第 1 の実施の形態と同様の動作を行う。すなわち、上記の画像蓄積手段 1 9 の蓄積画像の中から画像選択手段 1 4 目標地点 2 3 の標高算出に適した画像を選択し、ステレオ画像を作成した後、視差算出手段 1 5 によりステレオ画像から視差を算出し、その視差を視差地形変換手段 1 6 により地形データに変換して、地形出力手段 1 7 により地形データをディスプレイに表示したり、あるいは任意の記憶媒体に格納する。この実施の形態によれば、撮影手段 1 1 及び 1 2 を有しなくても、画像蓄積手段 1 9 を構成する記憶媒体を入手することで、高精度な地形計測ができる。

20

【 0 0 8 7 】

次に、本発明の第 3 の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図 1 0 は本発明になるステレオ画像を用いた地形計測システムの第 3 の実施の形態のブロック図を示す。同図中、図 1 と同一構成部分には同一符号を付し、その説明を省略する。図 1 0 に示す第 3 の実施の形態は、撮影手段 1 1 及び 1 2、画像蓄積手段 1 3、画像選択手段 1 4、視差算出手段 1 5、視差地形変換手段 1 6 並びに地形出力手段 1 7 からなる第 1 の実施の形態の構成に加えて、撮影計画手段 3 0 を追加した点に特徴がある。

30

【 0 0 8 8 】

第 1 及び第 2 の実施の形態では、地形生成要請が出た時点で既に蓄積されていた画像の中からステレオ画像を選択していたため、適切なステレオ画像が存在しない可能性がある。そこで、この第 3 の実施の形態では、最高総合得点が一定レベルを超えない場合、適切なステレオ画像が存在しないと判断して、撮影計画手段 3 0 により新規に撮影計画を立てて新規の画像を得るようにしたものである。

【 0 0 8 9 】

新規の撮影はステレオ画像を撮影する場合もあり、また使用可能な画像が既に一枚蓄積されている場合は、新規撮影は一回でもよい。また、既に使用可能なステレオ画像が画像蓄積手段 1 3 に蓄積されているとしても、時間的余裕、予算的余裕があれば、よりよい画像を得るために新規に撮影してもよい。新規撮影を行う場合でも、撮影手段が複数あるため、従来と比較して撮影機会は多く、必要な画像が得られるまでの時間も従来より少なく済む。なお、一つの撮影手段で目的とするステレオ画像が得られるのであれば、当然一つの撮影手段のみ撮影に使用してもよい。

40

【 0 0 9 0 】

図 1 1 は図 1 0 の撮影計画手段 3 0 の一実施の形態のブロック図を示す。図 1 1 において、撮影計画手段 3 0 は、総合設定手段 3 0 0、撮影手段選択手段 3 0 1、幾何条件設定手段 3 0 2、フィルタ条件設定手段 3 0 3、太陽光条件設定手段 3 0 4、時間差判定手段 3

50

05及び対応整合度範囲手段306から構成される。

【0091】

総合設定手段300は、幾何条件設定手段302、フィルタ条件設定手段303、太陽光条件設定手段304及び対応整合度判定手段306でそれぞれ求められた設定結果や判定結果を総合的に判断して、撮影計画を立てる。撮影計画の内容は、撮影手段、撮影位置、撮影時期、フィルタ条件などである。

【0092】

撮影手段選択手段301は、目標地域を撮影可能な範囲を、一定期間内に通過する地球観測衛星などの撮影手段を選択する。一定期間とは、10分の場合もあり、あるいは数ヶ月の場合もある。地形データの納期に間に合う限りなるべく長い期間に設定する。同一撮影手段が一定期間内に複数回目標地点近辺を通過する場合には、それぞれを別の撮影手段とみなす。

【0093】

幾何条件設定手段302は、撮影手段選択手段301で選択された撮影手段を組み合わせ、撮影可能なステレオ画像をすべて列挙し、更にそれぞれのステレオ画像の量子化誤差を求め、量子化誤差が小さな画像ペアに多くの得点を与える。

【0094】

次に、ステレオ画像を二枚とも新規に撮影する場合の、幾何的条件設定手段302の動作の一例を図12と共に説明する。二つの撮影手段11と12が、撮影手段選択手段301で選択されたものとする。図12において、撮影手段11の目標地点32の上空の軌道I上に、ある間隔で撮影ポイント(p1-1、p1-2、p1-3、・・・)を設定する。同様に、撮影手段12の目標地点32の上空の軌道II上に、ある間隔で撮影ポイント(p2-1、p2-2、p2-3、・・・)を設定する。続いて、撮影ポイント2点の任意の組み合わせ(ただし、同一撮影ポイント同士との組み合わせは除く。)間で量子化誤差を求め、得点Q(6)を次式により設定する。

【0095】

$$Q(6) = q_{-6} / E_h + 1 / E_v \quad (13)$$

(13)式から水平方向の量子化誤差 E_h と垂直方向の量子化誤差 E_v が小さな方が得点 $Q(6)$ が高くなるのが分かる。ここで、上式中、 q_{-6} は、 E_h と E_v の重みを変えるための正のパラメータである。通常は1でよい。

【0096】

一般的に、撮影ポイント間の距離は大きな方が輻輳角が大きくなるという点では有利であるが、一方で撮影手段と目標地点との距離が離れるため、解像度が下がり、不利になるという面もある。本実施の形態では、二つの要因がバランスする点を見付けることができる。なお、撮影ポイント間の間隔は小さい方が精度は高まるが、同時に計算量が増えるため、許容される計算コストに応じて撮影ポイント間の間隔を設定する。

【0097】

撮影手段が三つ以上ある場合も、それぞれの軌道上に撮影ポイントを設定し、すべての撮影ポイント間(ただし、同一撮影ポイントを除く)の組み合わせを求め、それぞれの幾何的ポイントを求める。ステレオ画像のうち、一つを既に蓄積されている画像を用い、もう一つを新規に撮影する場合は、一つの撮影手段の撮影ポイントが固定された一点しかないものとして、上記の計算を行えばよい。

【0098】

フィルタ条件設定手段303、太陽光条件設定手段304、時間差判定手段305及び対応整合度判定手段306は、第1の実施の形態のフィルタ条件判定手段143、太陽光条件判定手段144、時間差判定手段145及び対応整合度判定手段146と同様の方法で、それぞれ得点 $Q(7)$ 、 $Q(8)$ 、 $Q(9)$ 及び $Q(10)$ を計算する。

【0099】

総合設定手段300は、上記の幾何条件設定手段302、フィルタ条件設定手段303、太陽光条件設定手段304、時間差判定手段305及び対応整合度判定手段306により

10

20

30

40

50

それぞれ算出された各得点 $Q(6)$ 、 $Q(7)$ 、 $Q(8)$ 、 $Q(9)$ 及び $Q(10)$ を入力として受け、例えば次式による総合得点 Q を求める演算を行って、最も高い総合得点 Q が得られる画像ペアを選び、ステレオ画像とする。

【0100】

$$Q = w(6)Q(6) + w(7)Q(7) + w(8)Q(8) + w(9)Q(9) + w(10)Q(10) \quad (14)$$

ここで、 $w(6)$ から $w(10)$ までは各判定手段 302 ~ 306 に対する重みを示す。例えば、幾何条件設定手段 302 のみを用いる場合には、 $w(6) = 1$ 、 $w(7)$ から $w(10)$ まではゼロとする。

【0101】

他の領域の撮影など衛星運用の制約上、必ずしも最適な位置から撮影できるとは限らないが、その場合には可能な限り、この総合得点 Q が大きいステレオ画像が得られるようにすればよい。以上が、撮影計画手段 30 の詳細な構成の説明である。

10

【0102】

次に、図 10 に示した本発明システムの第 3 の実施の形態の動作について図 13 のフローチャートと共に説明する。図 13 は本発明になるステレオ画像を用いた地形計測システムの第 3 の実施の形態の動作説明用フローチャートを示す。地形生成要請があった場合（図 13 のステップ S11）、まず、図 10 の画像蓄積手段 13 に蓄積されていた画像を図 10 の画像選択手段 14 により選択する（図 13 のステップ S12）。そして、使用可能なステレオ画像があるか否かが判定する（図 13 のステップ S13）。

【0103】

使用可能なステレオ画像ある場合は、その画像を用いて図 10 の視差算出手段 15 により視差を算出し（図 13 のステップ S14）、視差データに問題があるかどうか判定する（図 13 のステップ S15）。ステップ S13 で使用可能なステレオ画像がないと判定された場合、又はステップ S15 で視差データに問題があると判定された場合には、図 10 の撮影計画手段 30 により撮影計画が立案され（図 13 のステップ S16）、撮影手段 11 や撮影手段 12 により新規に撮影を行う（図 13 のステップ S17）。

20

【0104】

新規に撮影が行われた場合は、図 10 の画像選択手段 14 により改めて使用可能なステレオ画像があるか否かが判定される（図 13 のステップ S13）。使用可能な画像がなければ、再び撮影計画が立案されて新規に撮影が行われる（図 13 のステップ S16、S17）。以下、同様にして、使用可能なステレオ画像が得られ、かつ、視差データに問題がない画像が得られるまで、撮影計画の立案、新規撮影、撮影された画像がステレオ画像として使用可能か否かの判定の処理が繰り返される。

30

【0105】

ステップ S15 で視差データに問題がない（対応の整合性に問題がない）と判定されると、図 10 に示した視差地形変換手段 16 により地形データが作成され（図 13 のステップ S18）、最後に、図 10 に示した地形出力手段 17 による地形データの出力が行われる（図 13 のステップ S19）。ステップ S15 の視差算出からステップ S19 の地形データ出力までの処理は、第 1 の実施の形態と同様であり、その詳細な説明は省略する。

【0106】

なお、本発明は以上の実施の形態に限定されるものではなく、例えば、撮影手段は 11 及び 12 の二つで構成されるように表現したが、一つの場合、あるいは三つ以上で構成される場合も含み、数の制限はない。また、撮影手段 11 及び 12 は衛星に搭載されたものに限定されるものではなく、航空機などの他の飛翔体に搭載されたものであってもよい。また、第 2 の実施の形態において、画像蓄積手段 19 は別途入手した記憶媒体であるものとして説明したが、配信された複数の画像を蓄積する手段であってもよい。

40

【0107】

また、本発明は、地形出力手段 17 により出力された地形データが記憶された記憶媒体を包含するものである。この場合の記憶媒体には、フレキシブルディスク、光ディスク、半導体メモリなどがある。更に、本発明は、撮影手段 11 及び 12 と画像蓄積手段 13、1

50

9を除く、各実施の形態の各手段14～17、30をコンピュータに実行させるためのプログラムも包含するものである。このプログラムには、撮影手段11及び12の軌道制御、撮影タイミング制御その他の制御プログラムや、画像蓄積手段13、19の読み出し制御プログラムを含んでもよい。また、このプログラムは、記憶媒体に記憶されて配布されるもの、通信媒体などを介して配信されるもののいずれでもよい。

【0108】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、複数の撮影手段により地表を上空から撮影して得られた画像の中からステレオ画像を構成する二枚の画像を、画像選択手段により選択することにより、複数の撮影手段を有効に利用してステレオ画像に適切な二枚の画像を選択するようにしたため、複数の撮影手段を多様に利用して広い範囲にわたって高精度な地形計測ができる。

10

【0109】

また、本発明によれば、画像蓄積手段に蓄積された画像の中に、画像選択手段により選択可能な所定レベル以上のステレオ画像を構成する一枚又は二枚の画像が存在しないときに、複数の撮影手段のうち少なくとも一の撮影手段を利用して新たな撮影を行わせることにより、常に最適なステレオ画像を構成する二枚の画像を選択することができるようにしたため、広い範囲を高精度で、かつ、より早く地形データを生成可能な撮影計画を立てることができ、常に高精度な地形計測ができる。

20

【0110】

更に、本発明によれば、地球観測衛星若しくは航空機に搭載された撮影装置により、同じ目標地点を異なる時期で撮影した複数の画像を利用できるため、撮影機会を飛躍的に向上でき、高精度な地形計測を短期間で、しかも安価なシステムコストで行うのに有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明システムの第1の実施の形態のブロック図である。

【図2】本発明の一実施の形態のシステム構成図である。

【図3】図1中の画像選択手段の一実施の形態のブロック図である。

【図4】幾何的条件判定の具体的な計算方法の一例の説明図である。

【図5】ステレオ計測の量子化誤差の一例の説明図である。

30

【図6】図1中の視差算出手段の一実施の形態のブロック図である。

【図7】図6中の相関計算手段による相関計算の説明図である。

【図8】本発明システムの第1の実施の形態の動作説明用フローチャートである。

【図9】本発明システムの第2の実施の形態のブロック図である。

【図10】本発明システムの第3の実施の形態のブロック図である。

【図11】図10中の撮影計画手段の一実施の形態のブロック図である。

【図12】撮影ポイントの設定方法を示す図である。

【図13】本発明システムの第3の実施の形態の動作説明用フローチャートである。

【符号の説明】

11、12 撮影手段

40

13、19 画像蓄積手段

14 画像選択手段

15 視差算出手段

16 視差地形変換手段

17 地形出力手段

21、22 地球観測衛星

23、32 目標地点

24 受信手段

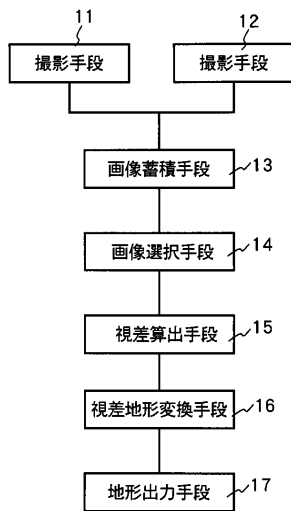
25 計測装置

30 撮影計画手段

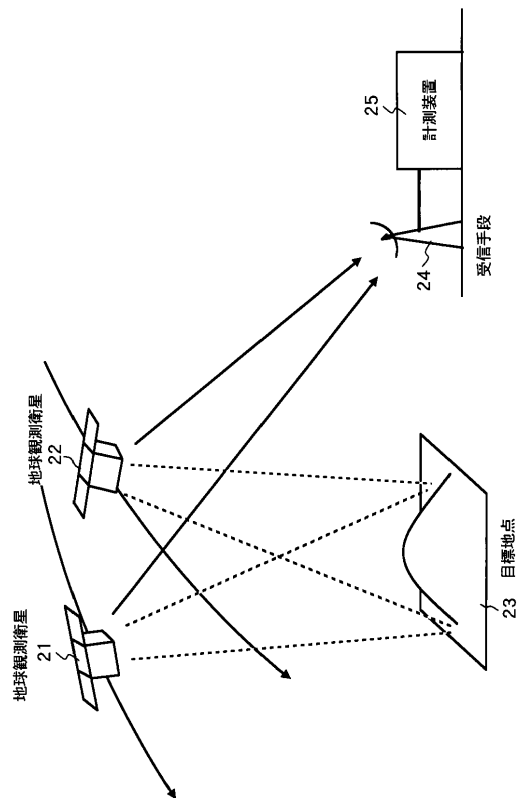
50

- 1 4 0 総合判定手段
- 1 4 1 エリア判定手段
- 1 4 2 幾何条件判定手段
- 1 4 3 フィルタ条件判定手段
- 1 4 4 太陽光条件判定手段
- 1 4 5、3 0 5 時間差判定手段
- 1 4 6、3 0 6 対応整合度判定手段
- 1 5 1 高解像度化手段
- 1 5 2 画像補正手段
- 1 5 3 相関計算手段
- 3 0 0 総合設定手段
- 3 0 1 撮影手段選択手段
- 3 0 2 幾何条件設定手段
- 3 0 3 フィルタ条件設定手段
- 3 0 4 太陽光条件設定手段

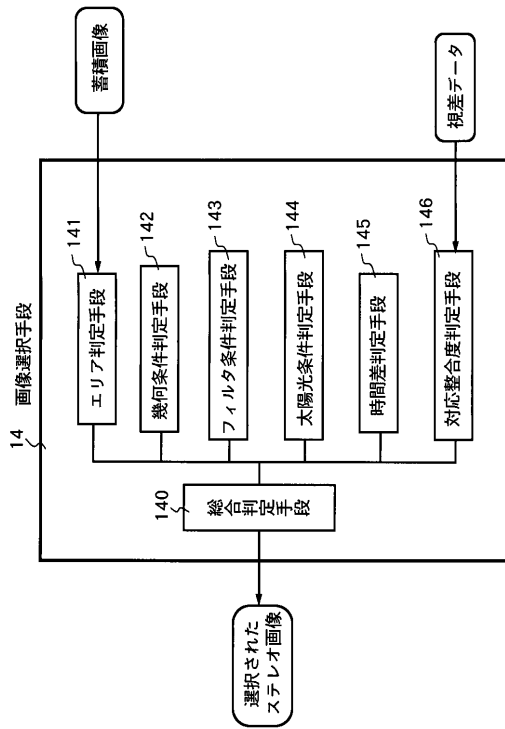
【図 1】



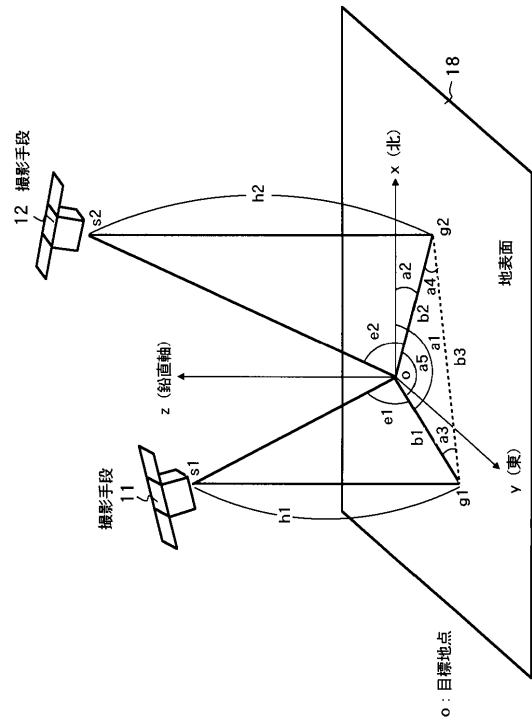
【図 2】



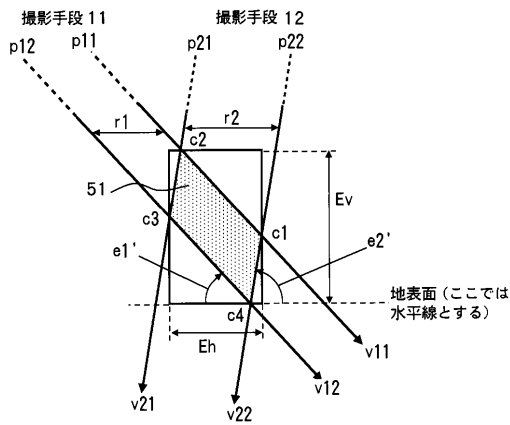
【 図 3 】



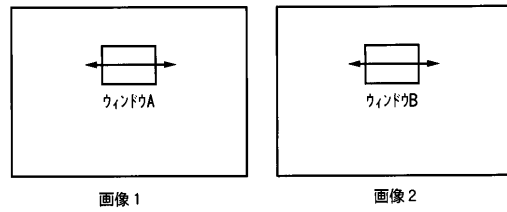
【 図 4 】



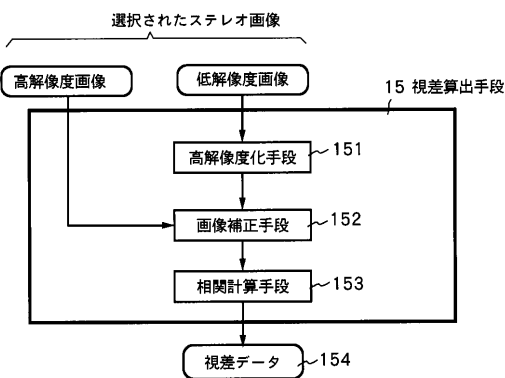
【 図 5 】



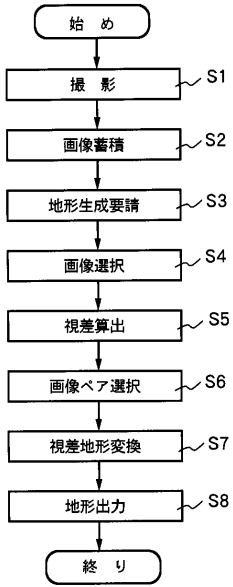
【 図 7 】



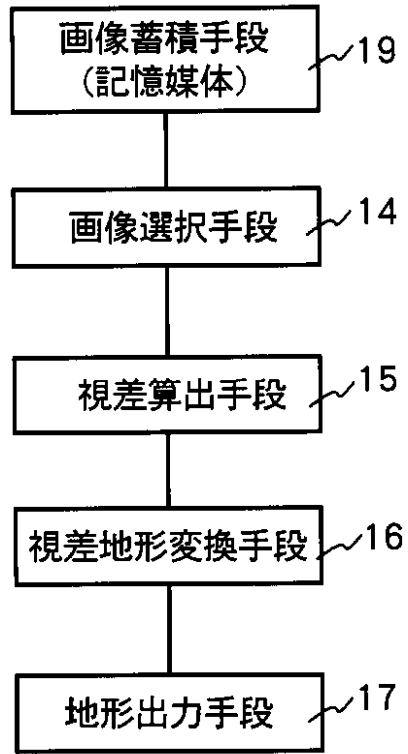
【 図 6 】



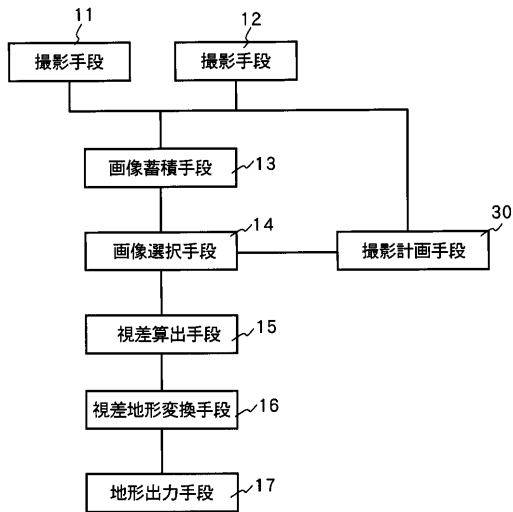
【図 8】



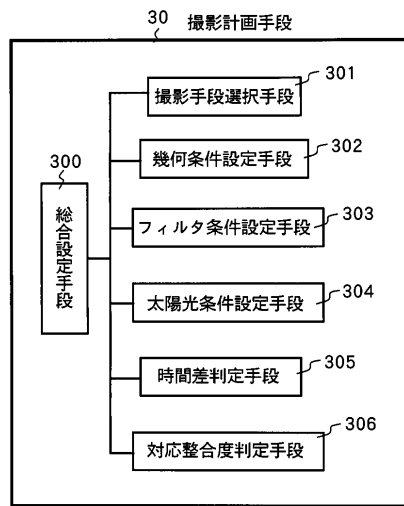
【図 9】



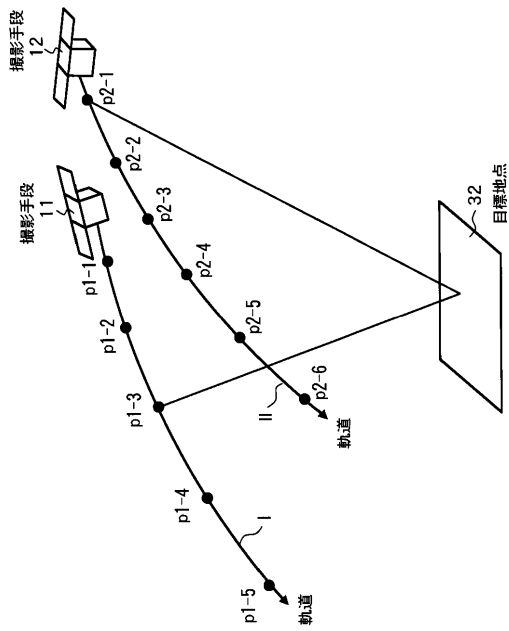
【図 10】



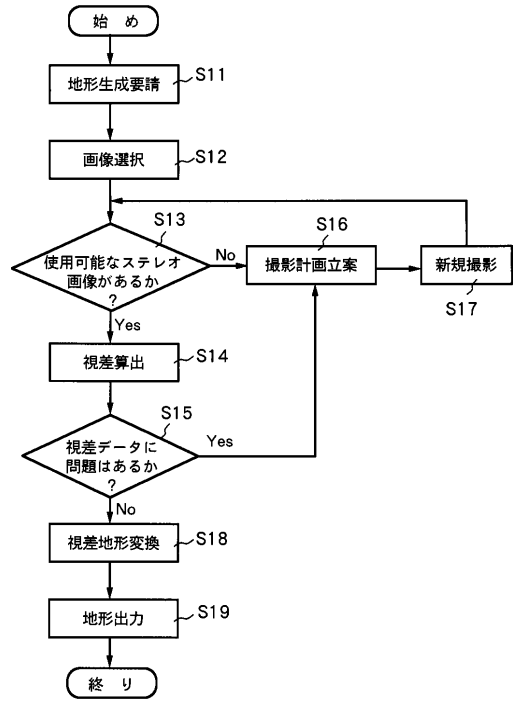
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

G 0 6 T 17/50

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G06T 1/00

G01B 11/24

G06T 17/40

G06T 17/50