

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3833786号

(P3833786)

(45) 発行日 平成18年10月18日(2006.10.18)

(24) 登録日 平成18年7月28日(2006.7.28)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 C 15/00 (2006.01)	GO 1 C 15/00	1 O 4 C
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00	H
GO 1 C 21/20 (2006.01)	GO 1 C 21/20	
GO 1 P 3/36 (2006.01)	GO 1 P 3/36	C

請求項の数 21 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願平9-209319	(73) 特許権者	000005348
(22) 出願日	平成9年8月4日(1997.8.4)		富士重工業株式会社
(65) 公開番号	特開平11-51650		東京都新宿区西新宿一丁目7番2号
(43) 公開日	平成11年2月26日(1999.2.26)	(74) 代理人	100076233
審査請求日	平成16年7月27日(2004.7.27)		弁理士 伊藤 進
		(72) 発明者	実吉 敬二
			東京都三鷹市大沢3丁目9番6号 株式会 社スバル研究所内
		審査官	▲うし▼田 真悟
		(56) 参考文献	特開平09-021817 (JP, A)
			特開平08-285633 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動体の3次元自己位置認識装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動体に搭載されるステレオカメラにより、一定時間毎に遠方風景と下方風景とを撮像する手段と、

遠方風景の撮像画像と下方風景の撮像画像とに対し、それぞれの撮像画像の中から特徴的な絵柄の領域を第1のブロックとして複数箇所抽出し、次のタイミングで撮像した画像の中から第1のブロックと同じ絵柄を有する領域を第2のブロックとして探索する手段と、

遠方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、遠方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を求める手段と、

下方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、下方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における速度成分を求め、この速度成分から上記回転速度成分を除去して移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を求める手段と、

上記フレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を測距開始地点で空間に固定した座標系における並進速度成分に変換し、この変換した並進速度成分を累積して3次

10

20

元空間における航法軌跡を求めることにより、移動体の自己位置を認識する手段とを備えたことを特徴とする移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項2】

上記フレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を、測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た移動体の最新の姿勢を表す回転成分で補正し、測距開始地点で空間に固定した座標系における並進速度成分に変換することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項3】

測距開始地点で空間に固定した座標系における移動体の姿勢を表す行列を単位行列化して初期化した後、今回処理時のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を表す行列を測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た前回までの移動体の姿勢を表す行列に積算し、上記移動体の最新の姿勢を表す回転成分とすることを特徴とする請求項2記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

10

【請求項4】

第1のブロックを抽出する際、撮像画面を所定範囲で分割した複数の探索エリアを設定し、各探索エリア毎に第1のブロックを最大1個抽出することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項5】

第1のブロックをm個抽出する際、撮像画面をn個の領域に分割し、各領域で抽出する第1のブロックを最大m/n個とすることを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

20

【請求項6】

第1のブロックを遠方風景の撮像画像から抽出する際、上記距離画像の対応する領域の距離画像値が小さく、測距点から十分に遠方にある小領域を、第1のブロックの候補とすることを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項7】

第1のブロックを下方風景の撮像画像から抽出する際、上記距離画像の対応する領域の距離画像値のパラッキが少ない平面的な小領域を、第1のブロックの候補とすることを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項8】

第1のブロックを下方風景の撮像画像から抽出する際、画面の中央ラインから進行方向側に所定量オフセットさせたラインを探索開始ラインとして設定し、この探索開始ラインを上記並進速度成分によって可変することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

30

【請求項9】

第1のブロックを抽出する際、対象とする領域の画像品質を、上記距離画像の対応する領域の距離画像値を用いて作成したヒストグラムによって評価することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項10】

上記ヒストグラムを、抽出ピクセルが所定の閾値以上の度数をカウントして作成することを特徴とする請求項9記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

40

【請求項11】

最大ヒストグラムを記録する距離画像値に対して所定範囲にあるヒストグラム値の総度数が所定の比率以上のとき、対象とする領域の画像品質が良好であると判定することを特徴とする請求項9記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項12】

第2のブロックを探索する際、第1のブロックを囲む所定の探索エリアを設定し、この探索エリアから第2のブロックを探索することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項13】

50

第2のブロックを探索する際、前回の回転速度成分あるいは並進速度成分から次の画面での第1のブロックの移動先の撮像面座標を予測し、予測した撮像面座標を囲む所定の探索エリアから第2のブロックを探索することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項14】

第2のブロックを探索する際、第1のブロックを囲む所定の探索エリアを設定し、この探索エリアと第1のブロックとの間でシティブロック距離が最小となる領域を第2のブロックの候補とすることを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項15】

第2のブロックを探索する際、前回の回転速度成分あるいは並進速度成分から次の画面での第1のブロックの移動先の撮像面座標を予測し、予測した撮像面座標を囲む所定の探索エリアと第1のブロックとの間でシティブロック距離が最小となる領域を第2のブロックの候補とすることを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

10

【請求項16】

第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数取得できないとき、前回処理で求めた回転速度成分及び並進速度成分を今回処理の回転速度成分及び並進速度成分として更新することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項17】

複数の第1のブロックの配列パターンと複数の第2のブロックの配列パターンとの相違を調べて配置が異なるブロックを排除した後、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数確保できたとき、上記フレーム毎の移動体の回転速度成分を求める処理へ移行し、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数確保できないときには、前回処理で求めた回転速度成分を今回処理の回転速度成分として更新することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

20

【請求項18】

上記配列パターンの相違を、各ブロック間の距離と各ブロックによって構成される三角形の面積とによって調べることを特徴とする請求項17記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項19】

上記測距開始地点の位置を、測位装置からの情報あるいは既知の地図情報によって初期化し、上記航法軌跡から移動体の絶対位置を認識することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

30

【請求項20】

上記ステレオカメラを、遠方風景撮像用のステレオカメラと下方風景撮像用のステレオカメラとから構成し、互いのステレオカメラの撮像面の方向が直交するように配置することを特徴とする請求項1記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

【請求項21】

上記遠方風景撮像用のステレオカメラと上記下方風景撮像用のステレオカメラとを、互いの基準カメラ同士が近接した状態に配置することを特徴とする請求項20記載の移動体の3次元自己位置認識装置。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、自律航法によって移動する移動体の3次元自己位置認識装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、無人口ロボット、自律走行作業車、無人ヘリコプター等の自律的に移動する移動体に関し、移動制御、経路検出、航路検出、ロケーション検出等の各種技術が開発されており、これらの中でも、自己位置認識は重要な技術の一つである。

【0003】

50

この自己位置認識の技術としては、例えば、自律走行作業車等の地上を自律的に走行する移動体では、振動ジャイロや光ジャイロによって2次元の角速度を検出するとともに、対地速度を測定するセンサによって並進速度を検出し、基準位置からの移動量を演算して自己位置を測定する技術があり、また、無人ヘリコプター等の飛行移動体では、慣性航法装置により、重力加速度を検出して飛行体の加速度を検出し、この加速度を積分することで移動量を知る技術がある。

【0004】

さらに、近年では、GPS衛星等のように、少なくとも3つの人工衛星の電波を受信し、2台のGPS受信機で受ける電波の位相差あるいは単独で符号通信内容(衛星の位置と電波の発射更新時間)を解析し、自己位置を割り出す技術も採用されており、本出願人は、先に、特願平8-249061号公報において、衛星利用の測位データにより基準位置からの走行履歴に基づく測位データを補正し、制御安定性を向上した自律走行車を提案している。

10

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、無人ヘリコプター等のような飛行体では、3次元空間における自己の回転や並進の速度を知る必要があるばかりでなく、低空飛行の際には正確な対地高度や木目細かな航法情報を得る必要がある。

【0006】

このような場合、従来の装置では、測位精度低下の原因となるドリフトの影響によって精度が不足するばかりでなく、地形が複雑であると、正確な対地高度を得ることは困難である。すなわち、従来の技術では、3次元空間における周囲環境を細かく分析し、航法情報に反映させるといって不十分である。

20

【0007】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、3次元空間における周囲環境を分析して航法情報に反映させ、高精度で緻密な航法情報を得ることのできる移動体の3次元自己位置認識装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

請求項1記載の発明は、移動体に搭載されるステレオカメラにより、一定時間毎に遠方風景と下方風景とを撮像する手段と、遠方風景の撮像画像と下方風景の撮像画像とに対し、それぞれの撮像画像の中から特徴的な絵柄の領域を第1のブロックとして複数箇所抽出し、次のタイミングで撮像した画像の中から第1のブロックと同じ絵柄を有する領域を第2のブロックとして探索する手段と、遠方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、遠方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を求める手段と、下方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、下方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における速度成分を求め、この速度成分から上記回転速度成分を除去して移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を求める手段と、上記フレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を測距開始地点で空間に固定した座標系における並進速度成分に変換し、この変換した並進速度成分を累積して3次元空間における航法軌跡を求めることにより、移動体の自己位置を認識する手段とを備えたことを特徴とする。

30

40

【0010】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明において、上記フレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を、測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た移動体の最新の姿勢を表す回転成分で補正し、測距開始地点で空間に固定した座標系にお

50

る並進速度成分に変換することを特徴とする。

【0011】

請求項3記載の発明は、請求項2記載の発明において、測距開始地点で空間に固定した座標系における移動体の姿勢を表す行列を単位行列化して初期化した後、今回処理時のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を表す行列を測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た前回までの移動体の姿勢を表す行列に積算し、上記移動体の最新の姿勢を表す回転成分とすることを特徴とする。

【0012】

請求項4記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックを抽出する際、撮像画面を所定範囲で分割した複数の探索エリアを設定し、各探索エリア毎に第1のブロックを最大1個抽出することを特徴とする。

10

【0013】

請求項5記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックをm個抽出する際、撮像画面をn個の領域に分割し、各領域で抽出する第1のブロックを最大m/n個とすることを特徴とする。

【0014】

請求項6記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックを遠方風景の撮像画像から抽出する際、上記距離画像の対応する領域の距離画像値が小さく、測距点から十分に遠方にある小領域を、第1のブロックの候補とすることを特徴とする。

【0015】

請求項7記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックを下方風景の撮像画像から抽出する際、上記距離画像の対応する領域の距離画像値のバラツキが少ない平面的な小領域を、第1のブロックの候補とすることを特徴とする。

20

【0016】

請求項8記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックを下方風景の撮像画像から抽出する際、画面の中央ラインから進行方向側に所定量オフセットさせたラインを探索開始ラインとして設定し、この探索開始ラインを上記並進速度成分によって可変することを特徴とする。

【0017】

請求項9記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックを抽出する際、対象とする領域の画像品質を、上記距離画像の対応する領域の距離画像値を用いて作成したヒストグラムによって評価することを特徴とする。

30

【0018】

請求項10記載の発明は、請求項9記載の発明において、上記ヒストグラムを、抽出ピクセルが所定の閾値以上の度数をカウントして作成することを特徴とする。

【0019】

請求項11記載の発明は、請求項9記載の発明において、最大ヒストグラムを記録する距離画像値に対して所定範囲にあるヒストグラム値の総度数が所定の比率以上のとき、対象とする領域の画像品質が良好であると判定することを特徴とする。

【0020】

請求項12記載の発明は、請求項1記載の発明において、第2のブロックを探索する際、第1のブロックを囲む所定の探索エリアを設定し、この探索エリアから第2のブロックを探索することを特徴とする。

40

【0021】

請求項13記載の発明は、請求項1記載の発明において、第2のブロックを探索する際、前回の回転速度成分あるいは並進速度成分から次の画面での第1のブロックの移動先の撮像面座標を予測し、予測した撮像面座標を囲む所定の探索エリアから第2のブロックを探索することを特徴とする。

【0022】

請求項14記載の発明は、請求項1記載の発明において、第2のブロックを探索する際

50

、第1のブロックを囲む所定の探索エリアを設定し、この探索エリアと第1のブロックとの間でシティブロック距離が最小となる領域を第2のブロックの候補とすることを特徴とする。

【0023】

請求項15記載の発明は、請求項1記載の発明において、第2のブロックを探索する際、前回の回転速度成分あるいは並進速度成分から次の画面での第1のブロックの移動先の撮像面座標を予測し、予測した撮像面座標を囲む所定の探索エリアと第1のブロックとの間でシティブロック距離が最小となる領域を第2のブロックの候補とすることを特徴とする。

【0024】

請求項16記載の発明は、請求項1記載の発明において、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数取得できないとき、前回処理で求めた回転速度成分及び並進速度成分を今回処理の回転速度成分及び並進速度成分として更新することを特徴とする。

【0025】

請求項17記載の発明は、請求項1記載の発明において、複数の第1のブロックの配列パターンと複数の第2のブロックの配列パターンとの相違を調べて配置が異なるブロックを排除した後、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数確保できたとき、上記フレーム毎の移動体の回転速度成分を求める処理へ移行し、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数確保できないときには、前回処理で求めた回転速度成分を今回処理の回転速度成分として更新することを特徴とする。

【0026】

請求項18記載の発明は、請求項17記載の発明において、上記配列パターンの相違を、各ブロック間の距離と各ブロックによって構成される三角形の面積とによって調べること

【0027】

請求項19記載の発明は、請求項1記載の発明において、上記測距開始地点の位置を、測位装置からの情報あるいは既知の地図情報によって初期化し、上記航法軌跡から移動体の絶対位置を認識することを特徴とする。

【0028】

請求項20記載の発明は、請求項1記載の発明において、上記ステレオカメラを、遠方風景撮像用のステレオカメラと下方風景撮像用のステレオカメラとから構成し、互いのステレオカメラの撮像面の方向が直交するように配置することを特徴とする。

【0029】

請求項21記載の発明は、請求項20記載の発明において、上記遠方風景撮像用のステレオカメラと上記下方風景撮像用のステレオカメラとを、互いの基準カメラ同士が近接した状態に配置することを特徴とする。

【0030】

すなわち、本発明による移動体の自己位置認識装置では、一定時間毎に遠方風景と下方風景とを撮像し、それぞれの撮像画像の中から特徴的な絵柄の領域を第1のブロックとして複数箇所抽出し、次のタイミングで撮像した画像の中から第1のブロックと同じ絵柄を有する領域を第2のブロックとして探索すると、遠方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、遠方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を求め、また、下方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、下方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における速度成分を求め、この速度成分から上記回転速度成分を除去して移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を求める。そして、このフレーム間のカメラ固定の

10

20

30

40

50

座標系における並進速度成分を測距開始地点で空間に固定した座標系における並進速度成分に変換し、この変換した並進速度成分を累積して3次元空間における航法軌跡を求め、移動体の自己位置を認識する。

【0031】

この場合、測距開始地点の位置を測位装置からの情報あるいは既知の地図情報によって初期化することで移動体の絶対位置を認識することができ、また、フレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分は、測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た移動体の最新の姿勢を表す回転成分で補正して測距開始地点で空間に固定した座標系における並進速度成分に変換することができる。

【0032】

測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た移動体の最新の姿勢を表す回転成分は、測距開始地点で空間に固定した座標系における移動体の姿勢を表す行列を単位行列化して初期化した後、今回処理時のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を表す行列を測距開始地点で空間に固定した座標系の原点から見た前回までの移動体の姿勢を表す行列に積算することで得られる。

【0033】

また、第1のブロックを抽出する際には、撮像画面を所定範囲で分割した複数の探索エリアを設定し、各探索エリア毎に第1のブロックを最大1個抽出する、あるいは、第1のブロックをm個抽出する際、撮像画面をn個の領域に分割し、各領域で抽出する第1のブロックを最大m/n個とすることが望ましく、撮像画面の特定の領域に抽出箇所が集中せず

【0034】

また、第1のブロックを下方風景の撮像画像から抽出する際には、画面の中央ラインから進行方向側に所定量オフセットさせたラインを探索開始ラインとして設定し、この探索開始ラインを上記並進速度成分によって可変することが望ましく、下方画像の動きを考慮して前・後進速度に応じて撮像面を有効に利用することができる。

【0035】

さらに、第2のブロックを探索する際には、第1のブロックを囲む所定の探索エリアを設定し、この探索エリアから第2のブロックを探索することで、限定した領域から確実な画像マッチングを行うことができ、特に、前回の回転速度成分あるいは並進速度成分から次の画面での第1のブロックの移動先の撮像面座標を予測し、予測した撮像面座標を囲む所定の探索エリアから第2のブロックを探索することが望ましい。

【0036】

また、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数取得できないときには、前回処理で求めた回転速度成分及び並進速度成分を今回処理の回転速度成分及び並進速度成分として更新する、あるいは、複数の第1のブロックの配列パターンと複数の第2のブロックの配列パターンとの相違を調べて配置が異なるブロックを排除した後、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数確保できたとき、フレーム毎の移動体の回転速度成分を求める処理へ移行し、第1のブロックと第2のブロックとの対を所定数確保できないときには、前回処理で求めた回転速度成分を今回処理の回転速度成分として更新することが望ましく、誤った情報による誤差を排除することができる。この配列パターンの相違は、各ブロック間の距離と各ブロックによって構成される三角形の面積とによって調べることができる。

【0037】

一方、距離画像を用いる場合には、第1のブロックを遠方風景の撮像画像から抽出する際、距離画像の対応する領域の距離画像値が小さく、測距点から十分に遠方にある小領域を第1のブロックの候補とし、第1のブロックを下方風景の撮像画像から抽出する際、上記距離画像の対応する領域の距離画像値のバラツキが少ない平面的な小領域を第1のブロックの候補とすることが望ましく、航法計算に適した特徴的な絵柄を抽出することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

また、距離画像を用いて第1のブロックを抽出する際には、対象とする領域の画像品質を、距離画像の対応する領域の距離画像値を用いて作成したヒストグラムによって評価することが望ましく、ヒストグラムを、抽出ピクセルが所定の閾値以上の度数をカウントして作成し、最大ヒストグラムを記録する距離画像値に対して所定範囲にあるヒストグラム値の総度数が所定の比率以上のとき、対象とする領域の画像品質が良好であると判定することが望ましい。

【 0 0 3 9 】

また、第2のブロックを探索する際には、第1のブロックを囲む所定の探索エリアを設定し、この探索エリアと第1のブロックとの間でシティブロック距離が最小となる領域を第2のブロックの候補とすることが望ましく、特に、前回の回転速度成分あるいは並進速度成分から次の画面での第1のブロックの移動先の撮像面座標を予測し、予測した撮像面座標を囲む所定の探索エリアと第1のブロックとの間でシティブロック距離が最小となる領域を第2のブロックの候補とすることが望ましい。

10

【 0 0 4 0 】

さらに、ステレオカメラを、遠方風景撮像用のステレオカメラと下方風景撮像用のステレオカメラとから構成し、互いのステレオカメラの撮像面の方向が直交するように配置することが望ましく、遠方風景撮像用のステレオカメラと下方風景撮像用のステレオカメラとを、互いの基準カメラ同士が近接した状態に配置することで、移動体の回転運動の検出中心と並進運動の検出中心とを略一致させることができる。

20

【 0 0 4 1 】

【 発明の実施の形態 】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図面は本発明の実施の一形態に係わり、図1は自己位置認識装置の機能構成図、図2は3次元空間計測用カメラアセンブリの構成図、図3は自己位置認識装置の回路ブロック図、図4は並列処理のタイムチャート、図5はSYS1初期化処理ルーチンのフローチャート、図6はSYS2初期化処理ルーチンのフローチャート、図7はNo1ブロック群取得処理ルーチンのフローチャート、図8はNo2ブロック群取得処理ルーチンのフローチャート、図9は回転演算処理ルーチンのフローチャート、図10は並進演算処理ルーチンのフローチャート、図11は航法演算処理ルーチンのフローチャート、図12は遠方のNo1ブロックの取得パターンを示す説明図、図13は画像評価におけるヒストグラム分布の好ましくない例を示す説明図、図14は画像評価におけるヒストグラム分布の好ましい例を示す説明図、図15は下方のNo1ブロックの取得パターンを示す説明図、図16は探索エリアの設定を示す説明図、図17は遠方画像の特徴を示す説明図、図18は遠方画像に探索エリアを設定した例を示す説明図、図19は下方の撮像面上の動きを示す説明図、図20は下方画像に探索エリアを設定した例を示す説明図、図21は三角測量による撮像面座標から実距離への換算を示す説明図、図22は測距開始地点のランドマークを示す説明図、図23は自律航法による航法軌跡の説明図である。

30

【 0 0 4 2 】

図1は、3次元空間計測用の複数のカメラからなるカメラアセンブリ10と、このカメラアセンブリ10で撮像した画像から距離情報を取得するステレオ画像処理装置20と、画像情報から3次元空間における移動体の自己位置を認識し、航法データを外部のターゲットコントロールシステム100に出力する自己位置認識装置30等から構成される移動体の3次元自己位置認識装置であり、本形態においては、例えば、農薬散布等に使用される無人ヘリコプターに搭載される自律航法装置への適用例を示し、ハンドシェイクまたはタイムスケジュールによる並列処理によってデータ処理が行われる。

40

【 0 0 4 3 】

上記カメラアセンブリ10は、移動体に搭載されて周囲環境を一定時間毎に撮像し、周囲環境の変化を1画面単位で捕らえると同時に、水平ズレに応じた距離情報を取得するための測距センサ的役割を果たすものであり、図2に示すように、架台11に、移動体の回転

50

速度成分を演算するために必要な遠方風景を撮像するための1組の遠方用ステレオカメラ12と、移動体の並進速度成分を演算するのに必要な下方風景(地表面)を撮像するための1組の下方用ステレオカメラ13とが設置されている。

【0044】

上記遠方用ステレオカメラ12は、メインカメラ(基準カメラ)12aと、このメインカメラ12aと同じ仕様のサブカメラ12bとが基線長LSの関係で、且つ、互いの撮像面垂直軸が平行となるよう配置されており、また、上記下方用ステレオカメラ13は、メインカメラ(基準カメラ)13aと、このメインカメラ13aと同じ仕様のサブカメラ13bとが基線長SSの関係で、且つ、互いの撮像面垂直軸が平行となるように配置されている。

10

【0045】

本発明による自己位置認識装置では、遠方風景の撮像画像及び下方風景の撮像画像のそれぞれについて、撮像時間の異なる画像間の動きから移動体の運動を検出するようにしており、遠方画像の動き、下方画像の動きを、それぞれの距離画像に基づいて実空間での移動量に換算し、図23に示すように、下方画像の動きによる速度成分から遠方画像の動きによる回転速度成分を除去して純並進速度成分を求めた後、測距開始地点(スタート地点)から見た並進速度成分に変換して累積することにより、3次元空間における航法軌跡を求めて移動体の自己位置を認識する。

【0046】

この場合、遠方用ステレオカメラ12によって移動体の回転速度を検出し、下方用ステレオカメラ13によって移動体の回転・並進速度を検出するためには、遠方用ステレオカメラ12の撮像面垂直軸と下方用ステレオカメラ13の撮像面垂直軸とが互いに直交し、且つ、遠方のメインカメラ軸と下方のメインカメラ軸とが同一平面で互いの基準点が一致していることが理想的である。

20

【0047】

しかしながら、2つのメインカメラ12a, 13aの基準点を同じにすることは現実的には困難であるため、遠方用ステレオカメラ12の撮像面垂直軸と上記下方用ステレオカメラ13の撮像面垂直軸とが互いに直交するよう配置するとともに、遠方用のメインカメラ12aと下方用のメインカメラ13aとを寄せた配置とし、一方のカメラの3軸が他方のカメラの3軸のいずれかと平行関係になるよう配置することで、2組のステレオカメラ12, 13から得られる遠方画像及び下方画像の動きに対し、1つの実空間座標系での取り扱いを可能とする。

30

【0048】

この場合、下方用ステレオカメラ13に3軸中心を置くが、遠方用ステレオカメラ12が下方用ステレオカメラ13の周囲を回転し、両者のオフセット量が生じてても、後述するように、遠方画像の性質から、遠方画像の動きには影響せず、下方のカメラ軸と遠方のカメラ軸とが直交関係にあることから、並進と回転を含む速度成分から回転速度成分を除く処理や原点(測距開始地点で空間に固定したXYZ座標系原点)から見た航法計算処理を簡素化し、画像の動きを的確に把握することを可能としている。

【0049】

尚、上記カメラアセンブリ10に使用するカメラは、EIA準拠の白黒カメラの他、カラーCCDカメラ(3-CCD方式をも含む)、赤外線カメラ、暗視カメラ等のエリア・スキャンを行う方式のカメラや、撮像素子からの情報をデジタルで出力する方式のカメラ等が使用可能である。

40

【0050】

上記ステレオ画像処理装置20は、主として、メインカメラ12a(13a)の撮像対象領域と同じパターン(模様)を持つ領域箇所をサブカメラ12b(13b)の撮像座標から探して撮像素子から対象物までの距離に応じて生じる画素のズレ(=視差)を求め、このズレ量から得られる対象物までの遠近情報を数値化した3次元画像情報を取得する(ステレオ画像処理)ものであり、遠方元画像メモリ21、下方元画像メモリ22、遠方距離

50

画像メモリ 2 3、下方距離画像メモリ 2 4 等の処理結果を情報内容別に記録するメモリを備えている。

【 0 0 5 1 】

上記遠方元画像メモリ 2 1 には、遠方用のメインカメラ 1 2 a で撮像した画像を A D 変換及び L O G 変換して数値化した画像データが時系列的に記録され、上記下方元画像メモリ 2 2 には、下方用のメインカメラ 1 3 a で撮像した画像を A D 変換及び L O G 変換して数値化した画像データが時系列的に記録される。

【 0 0 5 2 】

また、上記遠方用距離画像メモリ 2 3 には、遠方用ステレオカメラ 1 2 から得られる 2 つの画像をステレオ画像処理し、メインカメラ 1 2 a で撮像した撮像対象箇所または対象物までの距離値を数値化したデータが時系列的に記録され、同様に、上記下方用距離画像メモリ 2 4 には、下方用ステレオカメラ 1 3 から得られる 2 つの画像をステレオ画像処理し、メインカメラ 1 3 a で撮像した撮像対象箇所または対象物までの距離値を数値化したデータが時系列的に記録される。

10

【 0 0 5 3 】

尚、上記ステレオ画像処理については、本出願人による特開平 5 - 1 1 4 0 9 9 号公報に詳述されている。

【 0 0 5 4 】

上記自己位置認識装置 3 0 では、所定時間毎に撮像した遠方画像・下方画像の各々に対してパターンの同じ箇所を複数箇所抽出し、それぞれの画像の動きと画面毎の時間経過とから回転・並進速度成分を求めてフレーム間の並進速度成分を原点（測距開始地点で空間に固定した X Y Z 座標系原点）から見た並進速度成分に変換し、3次元空間で蓄積して航法軌跡を求めることにより、自己位置をリアルタイムで認識する。

20

【 0 0 5 5 】

上記自己位置認識装置 3 0 の機能は、図 1 に示すように、初期化処理部 3 1、N o 1 ブロック群取得処理部 3 2、N o 2 ブロック群取得処理部 3 3、回転演算処理部 3 4、並進演算処理部 3 5、航法計算処理部 3 6、通信処理部 3 7 によって示すことができる。

【 0 0 5 6 】

初期化処理部 3 1 では、ハードウェアの初期化、各定数値、各変数値の初期化を行うと共に、以下に述べる N o 1 ブロック群及び N o 2 ブロック群の初期データを蓄積する。

30

【 0 0 5 7 】

N o 1 ブロック群取得処理部 3 2 では、遠方元画像及び下方元画像のそれぞれから、航法演算処理に適正な画像領域の絵柄箇所（以下、N o 1 ブロックと称する）を所定の間隔で切り出す処理を行い、複数の N o 1 ブロック（N o 1 ブロック群）を、遠方画像、下方画像のそれぞれについて取得する。

【 0 0 5 8 】

この場合、上記 N o 1 ブロックは適度に小さい領域とし、画像が多少回転しても平行移動のみで個々の N o 1 ブロックに対して以下の N o 2 ブロックを確実にマッチング可能なようにし、また、膨大な情報量の中から測距点までの距離を確実に絞れるようにする。本形態では、N o 1 ブロックの大きさを 1 2 × 6 ピクセルの小領域とする。

40

【 0 0 5 9 】

この N o 1 ブロック群の取得に際しては、1 2 × 6 ピクセルの領域に対して出現する距離画像値のヒストグラムを作成し、このヒストグラム情報によって撮像画像の信頼性を評価し、切り出し箇所の良否を判定する。すなわち、距離画像は、左右のカメラが捕らえた画像パターンが同じならば、走査線方向のズレ量に応じた距離画像値が得られるため、この特徴を利用し、同じ距離画像値が周辺に所定の数があれば、対象画像は実在する確かな画像であると判断する。

【 0 0 6 0 】

N o 2 ブロック群取得処理部 3 3 では、所定時間後に撮像した画像に対し、N o 1 ブロックの絵柄と同じ箇所を探索するための探索エリアを設定し、各探索エリア毎にシティブロ

50

ック距離を計算してマッチング具合を判定し、No 1ブロックの絵柄と同じ箇所（以下、No 2ブロックと称する）を抽出する。この処理を、遠方画像、下方画像のそれぞれについて行い、複数のNo 2ブロック（No 2ブロック群）を取得する。

【0061】

回転演算処理部34では、遠方画像（遠方元画像）のNo 1ブロック群からNo 2ブロック群へのオプティカルフロー（No 1ブロックのイニシャル座標からNo 2ブロックの特定座標までの撮像座標面での動きを表した移動ベクトルの分布）に基づいて実距離成分の差を求め、この実距離成分の差から回転速度成分（ロール・ピッチ・ヨーの角速度）を算出する。

【0062】

並進演算処理部35では、下方画像（下方元画像）のNo 1ブロック群からNo 2ブロック群へのオプティカルフローに基づいて実距離成分の差を求め、この実距離成分の差による速度成分から回転速度成分を除いて3次元方向（X, Y, Z方向）の純並進速度を求める。

【0063】

航法計算処理部36では、上記並進演算処理部35での演算結果を原点から見た3次元方向の速度に変換し、イニシャル地点から速度成分を累積して原点からの移動量や現在位置を割り出す。また、通信処理部37では、パラレルあるいはシリアル通信によって航法データを外部のターゲットコントロールシステム100に出力する。

【0064】

以上の時系列的なアルゴリズムに対し、実際には、遠方・下方の画像の取り込みは同時に行う必要があり、無人移動システムにおけるナビゲーションとしての実用性を考慮した場合、短い時間周期（例えば、0.1sec毎）で航法データを外部システムに送出することが望ましい。

【0065】

従って、上記自己位置認識装置30は、具体的には、図3に示すハードウェア構成となっており、このハードウェア構成によって並列処理による高速処理を実現している。

【0066】

すなわち、上記自己位置認識装置30は、マスタースレーブ関係にあるNo 1ブロック群取得処理用のマスタプロセッサ（SYS1マスター）40及び通信処理用のスレーブプロセッサ（SYS1スレーブ）41と、同じくマスタースレーブ関係にあるNo 2ブロック群取得処理用のマスタプロセッサ（SYS2マスター）42及び回転・並進・航法計算用のスレーブプロセッサ（SYS2スレーブ）43とがデュアルポートRAM（DPRAM）44を介して接続され、さらに、シティブロック計算処理用のマイクロプロセッサ45、ヒストグラム計算処理用のマイクロプロセッサ46が接続された基本構成となっている。

【0067】

上記SYS1マスター40側のバスには、ワークエリア・処理履歴記録用のDRAM47、12×6ピクセル領域における距離画像値のヒストグラム作成結果が記録されるDPRAM48、及び、No 1ブロック群の探索エリア座標データが記録されるDPRAM49が接続されている。

【0068】

一方、上記SYS2マスター42側のバスには、同様にワークエリア・処理履歴記録用のDRAM50、No 1ブロック元画像のパターンデータが記録されるDPRAM51、No 2ブロックのシティブロック距離計算結果が記録されるDPRAM52が接続され、さらに、上記ステレオ画像処理装置20の各メモリ21～24が接続されている。

【0069】

そして、上記ヒストグラム計算処理用マイクロプロセッサ46に、遠方距離画像メモリ23及び下方距離画像メモリ24からのデータが入力され、処理結果が上記DPRAM48に記録されるとともに、上記シティブロック計算処理用マイクロプロセッサ45に、遠方

10

20

30

40

50

元画像メモリ 2 1 及び下方元画像メモリ 2 2 からのデータ、D P R A M 4 9 , 5 1 からのデータが入力され、処理結果が上記 D P R A M 5 2 に記録される。

【 0 0 7 0 】

尚、図 3 においては、片方向のデータの流れを矢印の線によって示し、双方向性のデータの流れは矢印の無い線によって示す。

【 0 0 7 1 】

以上のハードウェア構成による処理の流れについて概略すると、図 4 に示すように、まず、遠方用ステレオカメラ 1 2 で撮像した画像に対し、1 2 × 6 ピクセルの距離画像評価を経て N o 1 ブロック群の取得処理を行い、この処理が終わると、下方用ステレオカメラ 1 3 で撮像した画像に対し、1 2 × 6 ピクセルの距離画像評価を経て N o 1 ブロック群の取得処理が開始される。

10

【 0 0 7 2 】

同時に、遠方画像に対し、シティブロック距離 (C B K) 評価による N o 2 ブロック群のマッチング処理が開始され、この遠方マッチング処理が完了して航法処理が始まると、下方画像に対する C B K 評価を経て N o 2 ブロック群のマッチング処理が始まる。

【 0 0 7 3 】

航法処理では、回転速度計算から並列速度計算を経て航法軌跡を求める航法計算を行い、航法データが算出されると、通信処理によって外部システムへデータが送信される。そして、この航法データによる自己位置に基づいて、予め設定された絶対座標の航路あるいは地上の目標物に対して設定された航路をとるよう、ヘリコプターの対地高度や飛行方向が精密に制御される。

20

【 0 0 7 4 】

以下、主として自己位置認識装置 3 0 において実行される自己位置認識に係わる処理について、図 5 ~ 図 1 1 のフローチャートに従って説明する。

【 0 0 7 5 】

図 5 は S Y S 1 マスター 3 1 における S Y S 1 初期化処理ルーチン、図 6 は S Y S 2 マスター 3 3 における S Y S 2 初期化処理ルーチンであり、システム起動時には、N o 1 ブロック群取得処理用の S Y S 1 マスター 3 1 側の S Y S 1 初期化処理ルーチンが先に実行される。

【 0 0 7 6 】

図 5 の S Y S 1 初期化処理ルーチンでは、ステップ S10 で S Y S 1 側のハードウェア各部を初期化し、ステップ S11 でステレオカメラの仕様定数値を初期化すると、ステップ S12 で、航法処理変数値や、その他の変数値を初期化する。次いで、ステップ S13 へ進み、アイドル処理として N o 1 ブロック群の取得処理を実行し、N o 1 ブロックを 1 個取得すると、ステップ S14 へ進み、アイドル処理終了か否かを判断する。

30

【 0 0 7 7 】

そして、アイドル処理終了でないときには、上記ステップ S14 からステップ S13 へ戻って N o 1 ブロックの取得を続行し、アイドル処理終了のとき、S Y S 1 初期化処理ルーチンを終了する。このアイドル処理は、航法処理の開始に際してバッファ内に N o 1 ブロックのデータを蓄積する処理であり、例えば、バッファが 3 個の場合には、ステップ S13 ステップ S14 ステップ S13 のループを 3 回繰り返す。

40

【 0 0 7 8 】

以上の S Y S 1 初期化処理ルーチンで N o 1 ブロックが取得されると、図 6 の S Y S 2 初期化処理ルーチンがスタートし、ステップ S20 で、同様に、S Y S 2 側のハードウェア各部を初期化し、ステップ S21 でステレオカメラの仕様定数値を初期化すると、ステップ S22 で、航法処理変数値や、その他の変数値を初期化する。

【 0 0 7 9 】

そして、同様に、ステップ S23 での N o 2 ブロック群の取得処理、ステップ S24 でのアイドル処理終了判断を経てステップ S23 ステップ S24 ステップ S23 の処理ループを所定回数繰り返す、S Y S 2 初期化処理ルーチンを終了する。

50

【 0 0 8 0 】

次に、図 7 に示す No 1 ブロック群の取得処理について説明する。この処理では、まず、ステップ S30 で、取り込んだ撮像画像に対し、遠方処理をすべきか下方処理をすべきかを選択する。この処理の選択は、撮像画像の処理タイミングが遠方画像が先で下方画像が次であることから、先に取り込んだ画像は遠方画像であるとしてステップ S31 以降の遠方処理へ進み、次に取り込む画像に対してはステップ S33 以降の下方処理へ進む。

【 0 0 8 1 】

まず、ステップ S31 以降の遠方処理では、ステップ S31 で、遠方画像に対して No 1 ブロックを探す走査範囲をイニシャル処理として設定する。この走査範囲は、図 12 に示すように、撮像面 (LB は遠方元画像、LD は遠方距離画像) の水平走査方向を W、垂直走査方向を T とする全領域 $W \times T$ の内、水平走査方向の画面両端の検索しる i_2 と、垂直走査方向の画面両端の検索しる j_2 とを除いた領域 $W_A \times T_S L$ ($W_A = W - 2 \cdot i_2$ 、 $T_S L = T - 2 \cdot j_2$) を対象とする。

【 0 0 8 2 】

そして、水平走査方向の幅 W_A を均等に 10 分割して 10 個の探索エリア $W_S \times T_S L$ を設定し、各探索エリア $W_S \times T_S L$ 毎に最大 1 個の No 1 ブロックを抽出することで、同じ探索エリアから 2 個以上の No 1 ブロックを抽出することなく、撮像画面の特定の領域に抽出箇所が集中しないようにする。

【 0 0 8 3 】

次に、ステップ S32 で、探索エリア $W_S \times T_S L$ の中から 12×6 ピクセルの絵柄箇所を切り出し、切り出し箇所の画像品質を評価して No 1 ブロックを決定する。 12×6 ピクセルの絵柄箇所の画像品質は、対応する距離画像の 12×6 ピクセルの領域の距離情報を下記の条件で選別してヒストグラムを作成し、このヒストグラムによって良否を判定する。

【 0 0 8 4 】

すなわち、 12×6 ピクセルの距離画像値を所定の閾値に照らし合わせ、個々のデータの数値が閾値に定める許容範囲内の数値なら「OK 情報」として度数をカウントし、ヒストグラムを作成する。また、許容範囲外なら「NG 情報」として度数をカウントする。この「OK 情報」と「NG 情報」とを選別するための閾値は、 12×6 ピクセルの距離画像データから目的に応じた遠方画像として認識できる数値を定める。

【 0 0 8 5 】

この場合、回転速度の計算を行う遠方画像からは、建物や山並み等の稜線を含んだ No 1 ブロックが取得できることが望ましい。このため、遠方用ステレオカメラ 12 は、画面全体に対して走査線処理が速い領域を天側にし、走査線処理が遅い領域を地側に向けて設置しており、「OK 情報」と「NG 情報」との含有率を調整することにより、図 12 に示すように、稜線を含んだ画像を No 1 ブロック $N1B_n$ ($n = 0, 1, 2, \dots, 9$) として抽出できる。

【 0 0 8 6 】

具体的には、遠方画像の動きから回転速度成分を計算するため、距離画像データが多く存在する領域で、ズレ量が少なく (つまり、距離が遠い)、且つ、バラツキが小さい領域を No 1 ブロックの候補として閾値を定める。

【 0 0 8 7 】

すなわち、図 13 に示すように、もし、 12×6 ピクセルの距離画像領域の距離情報にバラツキがあると、これから定めようとする No 1 ブロックは、ある 1 箇所 (1 点) を見ているのではなく、同じ窓 (小領域) の中に遠近が異なる複数箇所の対象物 M 、 E_1 、 E_2 を見ていることになり、ヒストグラム中の e_1 、 e_2 に対象物 E_1 、 E_2 がノイズとして出現することになる。

【 0 0 8 8 】

従って、 12×6 ピクセルの距離画像値を上記閾値でフィルタにかけてノイズを除去し、さらに、OK 情報の中から最も出現頻度が多い距離画像値 max_z と、その最大ヒストグ

10

20

30

40

50

ラム値 $maxnum$ を求め、この最大ヒストグラム値 $maxnum$ 近辺の他の距離画像値の出現頻度を調べることで、図 14 に示すように、使用する領域の対象物 M の候補を定めることができる。

【0089】

本形態では、 $maxz \pm 2$ の範囲に絞って 12×6 ピクセルの距離画像領域に含まれる距離画像値と、それぞれのヒストグラム値を調査するようにしており、 $maxz \pm 2$ の範囲の出現頻度の総度数 $dsum$ を以下の(1)式で算出し、「OK情報」の度数が所定の数を満足し、且つ、 $maxz \pm 2$ の範囲の総度数 $dsum$ が「OK情報」の度数の内の大部分を占める（例えば、80%以上）とき、切り出した 12×6 ピクセルの絵柄箇所は信頼性のある画像と判断し、No1ブロックとして決定する。

$$dsum = m2 + m1 + maxnum + p1 + p2 \quad \dots (1)$$

但し、 $m2$: $maxz - 2$ における出現頻度

$m1$: $maxz - 1$ における出現頻度

$p1$: $maxz + 1$ における出現頻度

$p2$: $maxz + 2$ における出現頻度

【0090】

次に、No1ブロックの絵柄抽出が決定すると、航法計算に必要な対象物までの距離値を正確に知るため、 12×6 ピクセルの距離画像領域の平均距離画像値 $fz1$ を以下の(2)式によって求める。

$$fz1 = zsum / dsum \quad \dots (2)$$

但し、 $zsum = (maxz - 2) \cdot m2 + (maxz - 1) \cdot m1$

$+ maxz \cdot maxnum$

$+ (maxz + 1) \cdot p1 + (maxz + 2) \cdot p2$

【0091】

以上の遠方画像に対するNo1ブロック取得処理を、各探索エリア $WS \times TSL$ 毎に行い、画像全体で最大10個のNo1ブロックを取得すると、ステップS33以降の下方処理に移行する。尚、探索エリア $WS \times TSL$ で適正なNo1ブロックが見つからないときには、該当する探索エリアでの抽出を中止する。

【0092】

下方処理では、ステップS33において、下方画像に対するイニシャル処理として、No1ブロックを探す走査範囲を設定する。この下方画像の走査範囲は、遠方画像の10個の探索エリア $WS \times TSL$ に対し、図 15 に示すように、垂直走査方向を TA とした領域 $WS \times TA$ で、画面の中央ライン Th から進行方向側に所定量オフセットさせたライン Tt を探索開始ラインとする領域であり、画面全体に分散した特徴的な絵柄を抽出できるよう、垂直走査方向の幅 TA を3分割して30個の探索エリア $WS \times TSG$ を設定する。

【0093】

この場合、上記オフセットライン Tt は、前回処理で求めた並進速度によって可変するようしており、下方画像の動きを考慮し、前・後進速度に応じて撮像面を有効に利用するようにしている。

【0094】

次に、ステップS34では、探索エリア $WS \times TSG$ の中から 12×6 ピクセルの絵柄箇所を切り出し、切り出し箇所の画像品質を評価してNo1ブロックを決定する。この下方画像におけるNo1ブロックの決定は、前述した遠方画像におけるNo1ブロックの決定と同様であるが、「OK情報」と「NG情報」とを選別するための閾値が異なる。すなわち、下方画像の動きから並進速度成分を計算するため、距離画像データが多く存在する領域で、且つ、バラツキが小さい平面的な領域をNo1ブロックの候補として閾値を定める。

【0095】

そして、上記ステップS34において、水平走査方向に最大10個のNo1ブロックを取得すると、ステップS35へ進んで下方画像における全ての探索エリアの処理が済んだか否かを調べ、全ての処理が終了していない場合には、ステップS34へ戻って、一段下の探索エ

10

20

30

40

50

リアに対する処理を続行する。そして、このステップS34 ステップS35 ステップS34のループを3回繰り返して30個の探索エリアについての処理を行う。

【0096】

この場合においても、探索エリア $WS \times TSG$ で適正なNo1ブロックが見つからないときには、該当する探索エリアでの抽出を中止する。図15では、下方画像について、No1ブロックを $N1B0, 1, 2, \dots, 22, 23, 24$ までの計25個取得した例を示している。

【0097】

以上により、遠方画像・下方画像のそれぞれについてNo1ブロック群を取得すると、No1ブロックと同じ絵柄を持つNo2ブロックを探す処理に移行する。航法計算の品質を確保するためには、No1ブロックの取得数分 n 個を評価し、できるだけ多く(最大 n 個)のNo2ブロックを探し出す必要がある。 n 個のNo1・No2ブロックは、それぞれペアの関係であり、ペアにならなかったNo1ブロックは排除し、新たなNo1・No2ブロック群を求める。

10

【0098】

以下、図8に示すNo2ブロック群の取得処理について説明する。この処理では、ステップS40でNo1ブロック取得数の評価を行い、所定の取得数に達していないときには不合格と判定してルーチンを抜け、所定の取得数に達して合格判定のときには、ステップS41へ進んで遠方・下方処理の判定を行う。

【0099】

そして、遠方画像に対する処理のときには、上記ステップS41からステップS42へ進んで、遠方用ステレオカメラ12の焦点距離、2台のカメラの間隔、無限遠方でのズレ量(視差)等の距離の算出に必要な遠方処理定数値を設定してステップS44へ進み、下方画像に対する処理のときには、上記ステップS41からステップS43へ進み、同様に、下方用ステレオカメラ13の撮像画像から距離を算出するのに必要な下方処理定数値を設定してステップS44へ進む。

20

【0100】

ステップS44では、No2ブロックの探索エリアを設定する。このNo2ブロックの探索エリアは、撮像画像全体からNo1ブロックと同じ絵柄を探すのではなく、所定時間経過後のNo1ブロックの所在を予測して設定する。

【0101】

すなわち、No1ブロックが決定すると、No1ブロックの撮像面での代表座標が決まるため、まず、図16に示すように、No1ブロックの代表座標を中心として、上下左右に所定のオフセット量(x_f, y_f)を与えた4点 a, b, c, d を決定する。そして、この4点 a, b, c, d を結んだ4角形の枠内すなわち $(2 \cdot x_f) \times (2 \cdot y_f)$ の領域を、画面に動きが無いときの撮像情報でNo1ブロックと同じ絵柄が存在すると予測した探索エリアとし、この探索エリアを、遠方・下方画像のそれぞれの特徴を考慮して配置する。

30

【0102】

遠方画像の場合には、図17に示すように、回転・並進が伴わない基準画面G0に対し、短時間の並進では、画面G1に示すように、遠方の雲 $m1$ 及び山 $m2$ は変化がほとんど無く、近くの木立 $m3$ が横方向へ移動するのみであるが、回転成分 γ が生じたときの画面G2では、雲 $m1$ 、山 $m2$ 、木立 $m3$ を含めた画面全体が横方向へ移動して、木立 $m3$ の一部が視野から外れる。また、回転成分 ρ が生じたときの画面G3では画面全体が傾き、回転成分 β が生じたときの画面G4では画面全体が下方に移動する。

40

【0103】

すなわち、遠方画像の場合には、測定点から十分遠く(例えば、30m以上)離れた箇所を測距するため、短時間での上下・左右の並進移動による画像の変化を受け難く、遠方画像で得たNo1ブロックの動きは、回転成分による動きとして捉えられる。従って、遠方画像では、図18に示すように、原点Oの回りの回転角 θ によって探索エリアの4点 a, b, c, d の座標値を変換し、No1ブロック $N1B0, N1B1, N1B2, \dots$ に対して4点 a_n

50

, b_n , c_n , d_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) を結んだ 4 角形の探索エリア S_0, S_1, S_2, \dots を設定する。そして、各探索エリアから以降のステップの処理を経て No 2 ブロック $N_{2B_0}, N_{2B_1}, N_{2B_2}, \dots$ を抽出する。

【 0 1 0 4 】

一方、下方画像の場合には、図 19 に示すように、撮像面上の移動量 V_w は、並進成分 V_a 、回転成分 V_r のどちらの動きで生じたものが判断し難い。このため、一定時間経過後の No 1 ブロックの所在を予測し、その移動先に、次フレーム以降の No 2 ブロックの探索エリアを設定する。すなわち、ヘリコプターの動きに対して処理速度が十分に速いときや、実撮像範囲が広いときには、画面毎の画像の動きは大きくないため、探索エリアは単位時間当たりの最大変化量を探索範囲と置けば良いが、ヘリコプターが大きく動く場合には、処理速度や撮像範囲が十分でないとは仮定して動きを予測し、過去の実速度成分を参考にして探索エリアを設定する。

10

【 0 1 0 5 】

一定時間経過後の No 1 ブロックの所在を予測するには、前回の角速度計算で得られたロール・ピッチ・ヨー成分と前回の並進速度計算で得られた純並進量とから、所定時間後の No 1 ブロックの移動先を撮像面座標の動き（仮想的なオプティカルフロー）に変換する。そして、図 20 に示すように、No 1 ブロック $N_{1B_0}, N_{1B_1}, N_{1B_2}, N_{1B_3}, N_{1B_4}, \dots$ を決定したフレーム F_m と No 2 ブロック $N_{2B_0}, N_{2B_1}, N_{2B_2}, N_{2B_3}, N_{2B_4}, \dots$ を探し出す対象フレーム F_{m+1} との間の仮想的なオプティカルフロー $OPFL$ に基づいて、フレーム F_{m+1} 上に No 2 ブロックの探索エリア $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, \dots$ を設定する

20

【 0 1 0 6 】

以上のようにして No 2 ブロックの探索エリアを設定すると、ステップ S44 からステップ S45 へ進み、No 2 ブロックの探索エリアから No 1 ブロックと同じ形状で元画像の輝度を最小単位で（1 ピクセル毎に）抽出し、No 1 ブロックの対応する画素の輝度との差の絶対値をとって総和する（シティブロック距離）。そして、このシティブロック距離が最小値となる領域を、No 2 ブロックの候補地として探索エリア内から選別し、該当する撮像面座標を求めてステップ S46 へ進む。

【 0 1 0 7 】

ステップ S46 では、No 2 ブロックの候補地について、No 1 ブロックの場合と同様に、フィルタ処理及びヒストグラム処理によって No 2 ブロックの元画像の信頼性を評価し、合格のとき、ステップ S47 で No 2 ブロックの取得処理を行い、不合格のときには該当データを破棄してステップ S48 へジャンプする。

30

【 0 1 0 8 】

ステップ S47 における No 2 ブロックの取得処理では、必要に応じてサブピクセル処理を行ってサブピクセル値（1 ピクセル以下の値）を求め、このサブピクセル値を含めた No 2 ブロックの撮像面座標値を計算する。そして、No 2 ブロックの 12×6 ピクセル距離画像領域の平均距離画像値 f_z^2 を求め、No 2 ブロック取得数 Num_2 を記録してステップ S48 へ進む。

【 0 1 0 9 】

ステップ S48 では、No 1 ブロック・No 2 ブロックの最終取得数を更新し、No 1 ブロック群及び No 2 ブロック群のデータをパッキング処理により圧縮して序列化する。そして、ステップ S49 で No 2 ブロックの取得処理回数が No 1 ブロックの取得数に達したか否かを調べ、No 2 ブロック取得処理回数 $<$ No 1 ブロック取得数のときには、ステップ S44 へ戻るループとなり、No 2 ブロック取得処理の回数が No 1 ブロックの取得数に達したとき、処理を終了する。

40

【 0 1 1 0 】

次に、遠方画像の動きから回転速度成分を演算する処理について説明する。図 9 の回転演算処理ルーチンでは、まず、ステップ S50 で、計算精度を維持するのに必要な所定のサンプル数だけ No 2 ブロック群を取得できたか否かを調べ、所定の数を取ることができないとき、

50

ステップS55で前回の角速度成分の計算結果を今回処理の値としてメモリを更新し、ステップS56へ進む。

【0111】

一方、計算精度を維持するために必要な所定のサンプル数だけNo2ブロック群を取得できたときには、上記ステップS50からステップS51へ進み、No1ブロック群の配列パターンとNo2ブロック群の配列パターンとを比較してオプティカルフローの信頼性を評価する。

【0112】

すなわち、遠方画像の性質から、回転速度成分によるNo1ブロック No2ブロックの理想的な画像の動きでは、各ブロックの相対位置関係（配列パターン）は殆ど変わらない。従って、No1ブロック群の配列パターンとNo2ブロック群の配列パターンとを比較し、各ブロックの配置が明らかに異なる場合には、該当するブロックをNo1・No2ブロック群について共に排除する。

10

【0113】

この配列パターンの評価は、No1ブロック群における各ブロック間の距離及び各ブロックで構成する三角形の面積を、No2ブロック群における値と比較することで行う。例えば、一つのブロックAについて着目すると、ブロックAがNo2ブロック群において正しい位置に選択されたか否かを評価するには、まず、No1ブロック群におけるブロックAと他のブロックBとの距離（A1 - B1）を、No2ブロック群におけるブロックAとブロックBとの距離（A2 - B2）と比較し、同様に、ブロックA - ブロックC、ブロックA - ブロックDについても距離を比較する。

20

【0114】

そして、3つともNo1ブロック群とNo2ブロック群とにおける距離が等しければ距離のチェックはOKとし、そうでなければ、次のブロックE, G, ...と順次比較するブロックを変えてゆき、先に3個OKになれば距離のチェックはOK、先に3個NGになれば距離のチェックはNGとする。

【0115】

このように、ブロックAの3点（B, C, D）に対する距離のチェックがOKになった場合、次に、ブロックA, B, Cの各代表座標で構成される三角形の面積ABCをNo1ブロック群とNo2ブロック群とについて求め、大きさを比較する。この比較を三角形ACDについても行い、どちらもNo1ブロック群とNo2ブロック群とで同じ面積であれば、最終的に、ブロックAの位置はNo2ブロック群において正しく選択されたと判定する。

30

【0116】

この際、距離のチェックは、ピタゴラスの定理による二乗値のまま比較し、また、三角形の面積のチェックは、ベクトルの外積を計算して三角形の面積の2倍の値（平行四辺形の面積）で比較することにより、計算効率を高める。

【0117】

以上の配列パターンの評価により適正でないブロックを排除した後、ステップS52へ進み、適正でないブロックを排除した後のNo2ブロック数が所定の数が否かを調べる。そして、所定の数に達していないときには、上記ステップS52から前述のステップS55を経てステップS56へ進み、所定の数のNo2ブロックを確保できたときには、上記ステップS52からステップS53へ進む。

40

【0118】

ステップS53では、No2ブロックの撮像面座標を、カメラ固定のX, Y, Z直交座標である実空間座標に直す。図21に示すように、レンズの焦点距離f、メインカメラ軸Zmとサブカメラ軸Zsとの基線長LS(SS)、ステレオ画像のズレ量Xrとすると、測距対象点Mまでの距離Zは、三角測量によって以下の(3)式で与えられるため、この関係に基づいて撮像面座標を実空間座標に変換する。

$$Z = LS(SS) \cdot f / Xr \quad \dots (3)$$

【0119】

50

続くステップS54では、非線形型最小二乗法によってNo1ブロック群とNo2ブロック群との間の位置の差分に相当する角速度（ロール・ピッチ・ヨー）を求める。すなわち、前回の回転・並進の速度成分を初期値として撮像素子上の動きに換算してNo1ブロックとNo2ブロックとの位置の差を求め、さらに、線形近似を行って3軸（X，Y，Z軸）の回転成分毎に偏微分し、適当な偏角を与えてロール・ピッチ・ヨー毎に撮像素子上のNo1ブロックとの位置の差の変化量（dx，dy）を求める。ロール・ピッチ・ヨーの各成分は、この変化量（dx，dy）の極限として与えられる。

【0120】

従って、上記変化量（dx，dy）を求める処理をNo1・No2ブロック全てについて行い、最小二乗法で回転成分を求める。この最小二乗法では、3元1次方程式を解くことになるが、係数行列についての転置行列が等しく、対角要素が他の要素に比べて十分に大きい値であるため（正定値対称）、コレスキー法による数値計算を適用することができ、No1ブロックに対してのロール・ピッチ・ヨーの各々の値を求めることができる。

10

【0121】

実際には、上記手法による解は、非線形のため真値にはならない。従って、得られた値を初期値にして再び最小二乗法を繰り返す非線形型最小二乗法によって真値に近づけるわけであるが、真値を求める際には、上記変化量（dx，dy）の収束具合（理想的には0）を監視して決定すべき処置が必要である。すなわち、限定した範囲の角速度成分を適度な精度で得る場合には、繰り返し計算回数を所定の回数（例えば、5回）で打ち切り、処理に要する時間を短縮することができる。

20

【0122】

上記ステップS54の処理によってカメラ固定のXYZ直交座標系における角速度成分を求めると、次に、ステップS56へ進み、ロール成分rl、ピッチ成分pt、及び、ヨー成分ywを、回転行列Rotの要素に展開してルーチンを抜ける。この回転行列Rotは、ロール、ピッチ、ヨーの各軸毎の回転行列の積であり、例えば、以下の(4)～(12)式で示すように、3×3の正方行列の要素として展開できる。

$$\text{Rot}[0][0] = (c y \cdot c r) - (s y \cdot a n s) \quad \dots (4)$$

$$\text{Rot}[1][0] = - (c p \cdot s r) \quad \dots (5)$$

$$\text{Rot}[2][0] = (s y \cdot c r) + (c y \cdot a n s) \quad \dots (6)$$

$$\text{Rot}[0][1] = (c y \cdot s r) + (s y \cdot a n s')$$

30

$$\text{Rot}[1][1] = (c p \cdot c r) \quad \dots (8)$$

$$\text{Rot}[2][1] = (s y \cdot s r) - (c y \cdot a n s') \quad \dots (9)$$

$$\text{Rot}[0][2] = - (s y \cdot c p) \quad \dots (10)$$

$$\text{Rot}[1][2] = s p \quad \dots (11)$$

$$\text{Rot}[2][2] = (c y \cdot c p) \quad \dots (12)$$

$$\text{但し、} \quad c y = \cos(y w) \quad c r = \cos(r l)$$

$$c p = \cos(p t) \quad s y = \sin(y w)$$

$$s r = \sin(r l) \quad s p = \sin(p t)$$

$$a n s = s p \cdot s r \quad a n s' = s p \cdot c r$$

【0123】

40

次に、回転速度成分と並進速度成分とを含む下方画像の動きから純並進速度成分を求める処理について説明する。

【0124】

図10の並進演算処理ルーチンでは、ステップS60で、計算精度を維持するために必要な所定のサンプル数だけNo2ブロック群を取得できたか否かを調べ、所定のサンプル数を取得できたときには、ステップS60からステップS61へ進み、所定のサンプル数を取得できないとき、ステップS60からステップS71へ進んで前回の並進速度成分の計算結果を今回処理の値としてメモリを更新し、ルーチンを抜ける。

【0125】

ステップS61では、No2ブロックの平均距離画像値を評価する。この評価は、No1ブ

50

ロックとN o 2ブロックとで距離画像値が閾値以上に異なっているブロックを排除するためのものであり、該当するブロックがあるときには、そのブロックを除いてN o 2ブロック群全てを評価したか否かを調べるステップS67へジャンプし、このステップS67からステップS61へ戻るループによってN o 1ブロック群及びN o 2ブロック群全体から距離画像値が閾値以上に異なっているブロックを排除する。

【0126】

その後、上記ステップS61によるN o 2ブロックの平均距離画像値の評価を経てステップS62へ進み、N o 1・N o 2ブロック群の個々のサンプルを、レンズ歪み分を補正した撮像面座標値に修正し、測距精度のバラツキが少ない新たなN o 1・N o 2ブロック群に更新する。尚、ステップS61 ステップS67 ステップS61のループで排除したブロック数が多

10

【0127】

続くステップS63では、N o 1・N o 2ブロックの撮像面座標値と、それぞれの距離画像値とから実空間の座標（カメラ固定のXYZ直交座標）値を求め、ステップS64で、N o 2ブロックから求めた実空間座標値を、最新の回転行列で回転成分を差し引いた純並進成分の実空間座標値に変換し、ステップS65へ進んで、画像の動き（移動ベクトル）を実空間座標値の差分で求める。

【0128】

すなわち、遠方画像の撮像面と下方画像の撮像面とは互いに直交関係にあることから、回転移動と並進移動とを含んだN o 1・N o 2ブロック間の移動ベクトル量に、先に求めた回転行列 R_{ot} （N o 2 N o 1ブロックへの回転行列）を掛け合わせることにより（相対的に回転させることにより）、回転成分の動きを実距離のクラスで除去することができる。

20

【0129】

次いで、ステップS66へ進み、実空間移動量を新たに記録して測距したブロック数を勘定すると、ステップS67で、N o 2ブロック群の全てを評価したか否かを調べる。そして、全部の評価が終わっていないときには、ステップS61へ戻り、全部の評価が終わったとき、ステップS68へ進み、区間推定等の統計処理によってオプティカルフロー全体に対して方向や大きさが異常である移動ベクトル（特異ベクトル）を排除するフィルタ処理を行い

30

【0130】

その後、ステップS69で、特異ベクトルの除去結果を調べ、特異ベクトルの数が多く、航法計算の精度を維持するのに必要なデータ数が確保できなくなったときには、前述のステップS71で前回の並進速度成分の計算結果を今回処理の値としてメモリを更新してルーチンを抜ける。一方、特異ベクトルが殆ど無いか、あるいは航法計算の精度を損なわない程度の数であるときには、上記ステップS69からステップS70へ進んで、成分（ X_1, Y_1, Z_1 ）の3次元並進速度 $|S|$ を求め、この新しい並進速度でメモリ値を更新してルーチンを抜ける。

【0131】

以上の並進演算処理に続いて航法軌跡を求める図11の航法演算処理が実行される。この航法演算処理では、まず、ステップS80で原点（測距開始地点）から見た移動体の姿勢状態を求める。原点から見た移動体の姿勢状態は、測距開始地点で空間に固定したXYZ直交座標系から見た回転行列 R_{ots} によって示される。このため、まず、測距開始地点で回転行列を単位行列化して初期化することで撮像面に直交する平面を実空間を表す基準面とし、この初期化時点の行列にフレーム間の回転行列（カメラ固定のXYZ直交座標系から見た回転行列） R_{ot} を右から掛け込んだ行列を原点から見た移動体の姿勢を表す回転行列 R_{ots} とする。

40

【0132】

すなわち、原点から見た姿勢を表す回転行列 R_{ots} は、カメラ固定の座標系から見たフ

50

レーム毎の回転行列 $R o t$ を時系列的に積算した正方行列であり、以下の(13)式に示すように、前回までの原点から見た姿勢状態を表す回転行列 $R o t s$ に今回の回転演算処理で求めたフレーム間の回転行列 $R o t$ を右から積算した正方行列で今回処理における原点から見た姿勢を表す回転行列 $R o t s$ として更新することにより、原点から見た移動体の最新の姿勢を表すことができる。

【 0 1 3 3 】

$$R o t s = R o t s \cdot R o t \quad \dots (13)$$

【 0 1 3 4 】

次に、ステップS81へ進み、フレーム間の並進速度成分を原点から見た並進速度成分に変換すると、ステップS82で、原点から見た速度成分をフレーム毎に累積し、イニシャル地点からの移動体の実空間座標を求める。

10

【 0 1 3 5 】

原点から見た並進速度 $S o$ は、原点から見た姿勢を表す回転行列 $R o t s$ とフレーム間の3次元並進速度 S との積を、以下の(17)式に示すように、前回までの原点から見た並進速度 $S o$ に累積することで求めることができ、累積したベクトル量に所定の距離換算値を掛け合わせることで、図23に示すような、航法軌跡を得ることができ、原点からの移動体の移動量を知ることができる。

$$S o = S o + (R o t s) \cdot S \quad \dots (17)$$

【 0 1 3 6 】

この場合、地上の適当な地点に、図22に示すようなランドマークを設置しておき、このランドマークをパターン認識等によって識別し、測距開始地点として原点をイニシャルすることで、上記航法軌跡から自己の相対位置を認識することができる。

20

【 0 1 3 7 】

さらには、GPS等の衛星測位システムからの測位情報や既知の地図情報によって地上の適当な地点を原点としてイニシャルすることで、航法軌跡から自己の絶対位置を認識することができる。

【 0 1 3 8 】

以上により、撮像対象物までの距離を細かく認識して、極めて正確な測量を行うことができ、複雑な地形での低空飛行においても高精度な対地高度が得られる。すなわち、従来に比較してドリフトの少ない高精度の自律航法機能を担うことが可能であり、膨大な情報量を有する画像ならではの周囲環境分析を航法処理に反映することができる。

30

【 0 1 3 9 】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、一定時間毎に遠方風景と下方風景とを撮像し、それぞれの撮像画像の中から特徴的な絵柄の領域を第1のブロックとして複数箇所抽出し、次のタイミングで撮像した画像の中から第1のブロックと同じ絵柄を有する領域を第2のブロックとして探索すると、遠方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、遠方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における回転速度成分を求め、また、下方風景の撮像画像における第1のブロックから第2のブロックへの画像の動きを、下方風景の撮像画像をステレオ画像処理して求めた距離画像に基づいて撮像面座標を実距離に換算した実空間座標での移動量として求め、該移動量とフレーム間の時間経過とから、移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における速度成分を求め、この速度成分から上記回転速度成分を除去して移動体のフレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を求める。そして、このフレーム間のカメラ固定の座標系における並進速度成分を測距開始地点で空間に固定した座標系における並進速度成分に変換し、この変換した並進速度成分を累積して3次元空間における航法軌跡を求め、移動体の自己位置を認識するため、ドリフトの少ない高精度の自律航法機能を担うことができ、膨大な情報量を有する画像ならではの周囲環境分析を航法処理に反映することができる等優れた効果が

40

50

得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】自己位置認識装置の機能構成図

【図2】3次元空間計測用カメラアセンブリの構成図

【図3】自己位置認識装置の回路ブロック図

【図4】並列処理のタイムチャート

【図5】SYS1初期化処理ルーチンのフローチャート

【図6】SYS2初期化処理ルーチンのフローチャート

【図7】No1ブロック群取得処理ルーチンのフローチャート

【図8】No2ブロック群取得処理ルーチンのフローチャート

10

【図9】回転演算処理ルーチンのフローチャート

【図10】並進演算処理ルーチンのフローチャート

【図11】航法演算処理ルーチンのフローチャート

【図12】遠方のNo1ブロックの取得パターンを示す説明図

【図13】画像評価におけるヒストグラム分布の好ましくない例を示す説明図

【図14】画像評価におけるヒストグラム分布の好ましい例を示す説明図

【図15】下方のNo1ブロックの取得パターンを示す説明図

【図16】探索エリアの設定を示す説明図

【図17】遠方画像の特徴を示す説明図

【図18】遠方画像に探索エリアを設定した例を示す説明図

20

【図19】下方の撮像面上の動きを示す説明図

【図20】下方画像に探索エリアを設定した例を示す説明図

【図21】三角測量による撮像面座標から実距離への換算を示す説明図

【図22】測距開始地点のランドマークを示す説明図

【図23】自律航法による航法軌跡の説明図

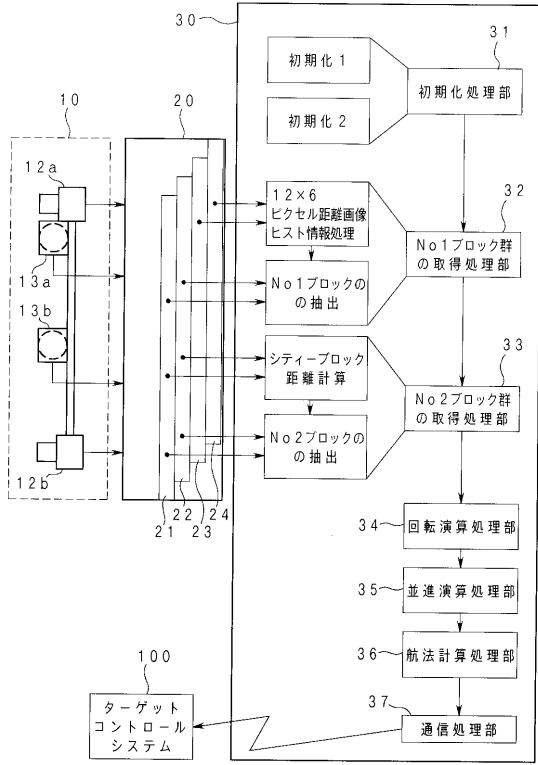
【符号の説明】

10 ... カメラアセンブリ

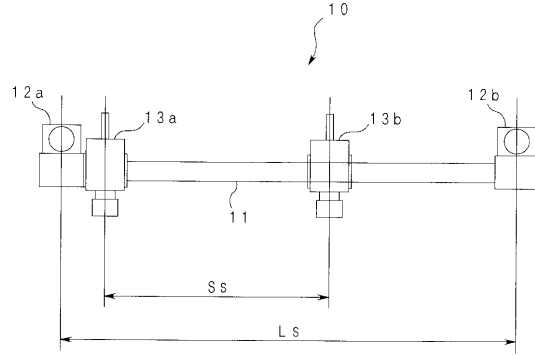
20 ... ステレオ画像処理装置

30 ... 自己位置認識装置

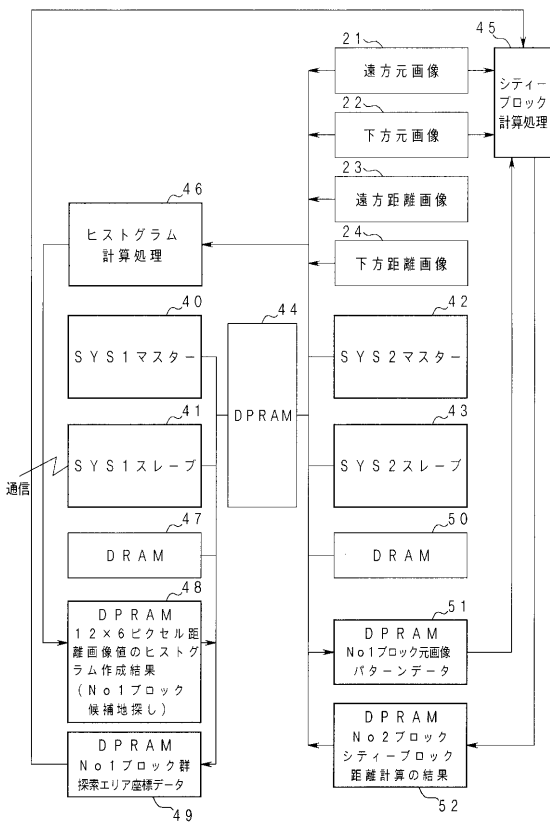
【図1】



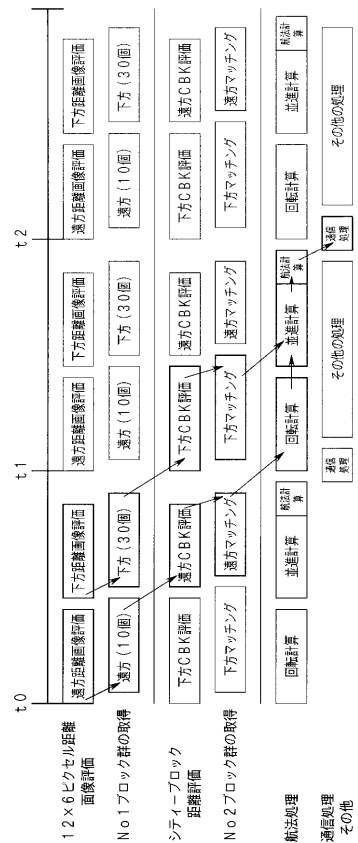
【図2】



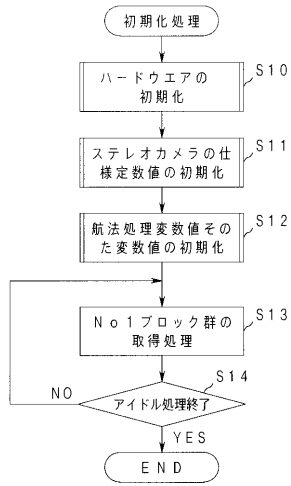
【図3】



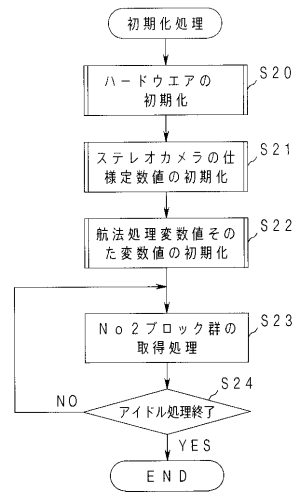
【図4】



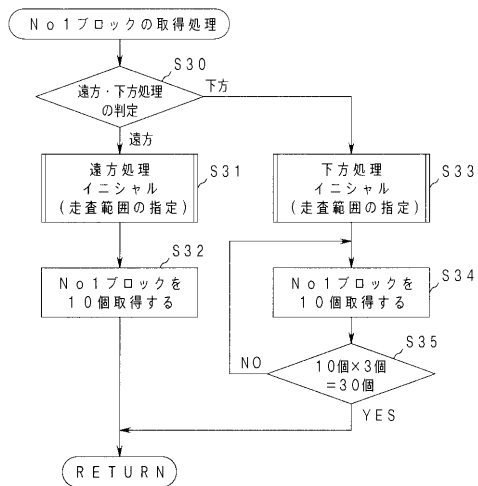
【 図 5 】



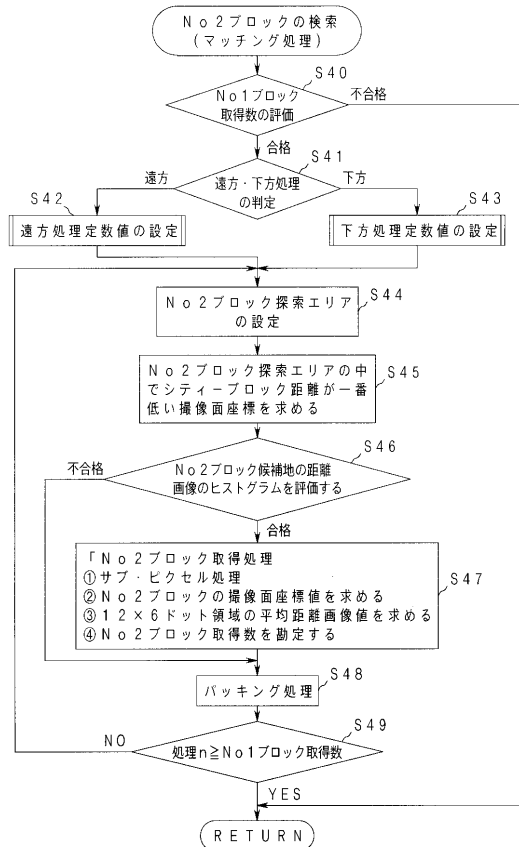
【 図 6 】



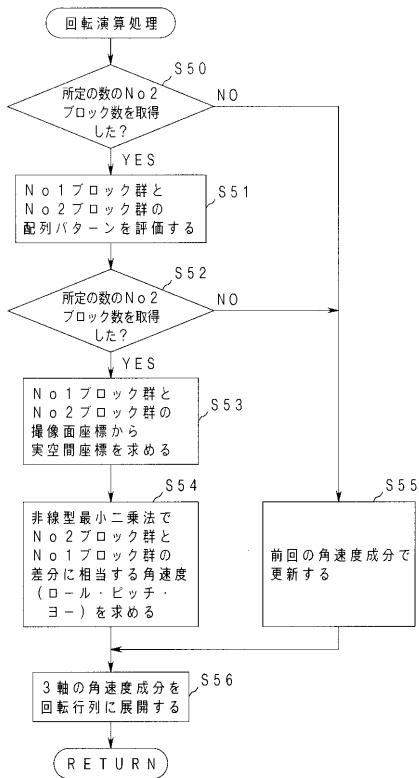
【 図 7 】



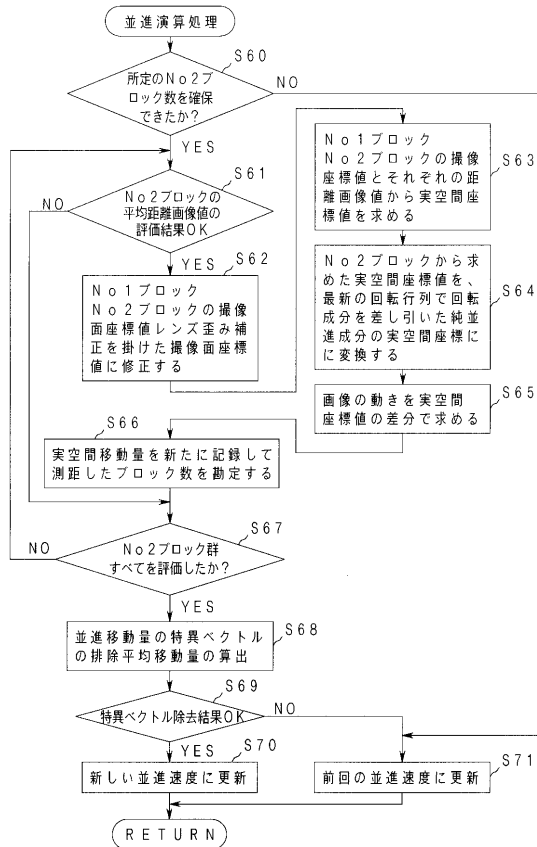
【 図 8 】



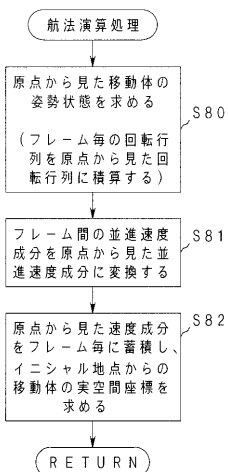
【 図 9 】



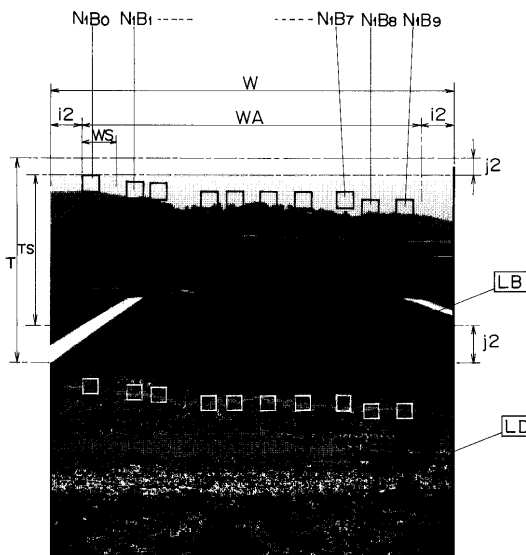
【 図 10 】



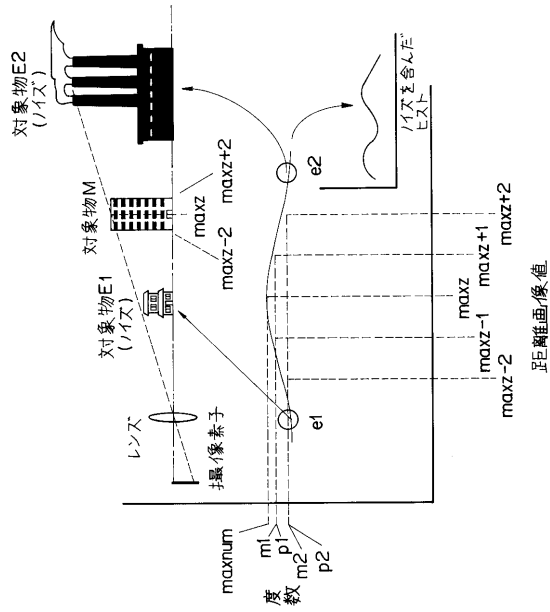
【 図 11 】



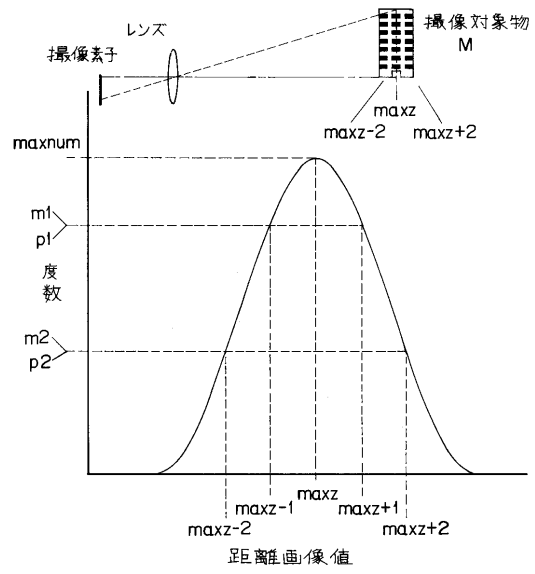
【 図 12 】



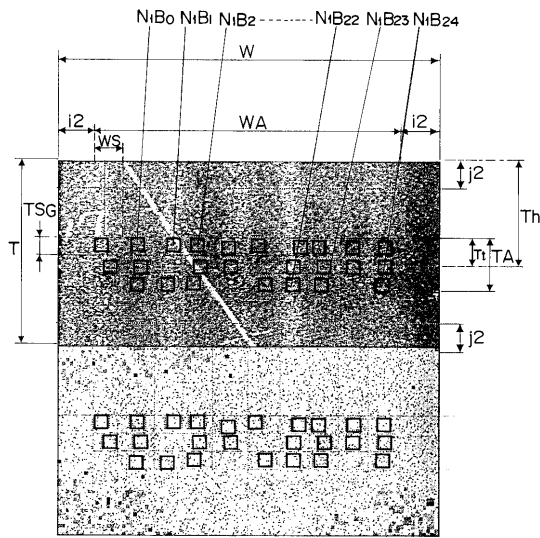
【図13】



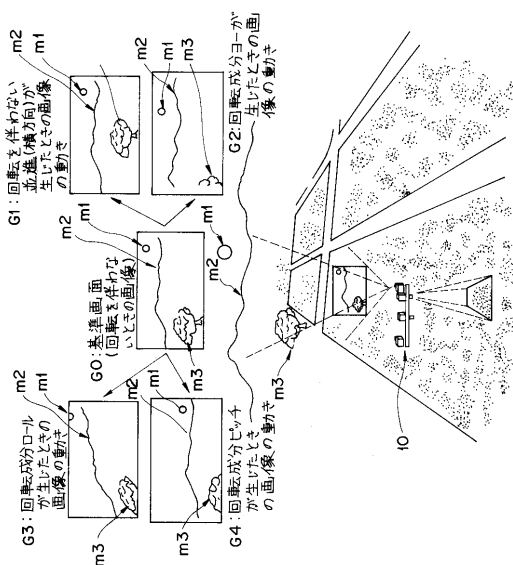
【図14】



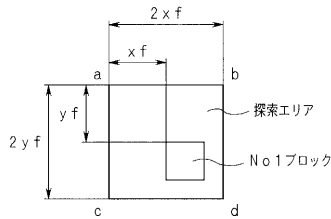
【図15】



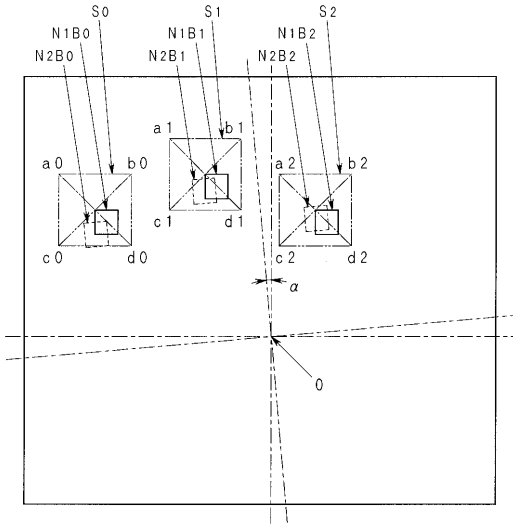
【図17】



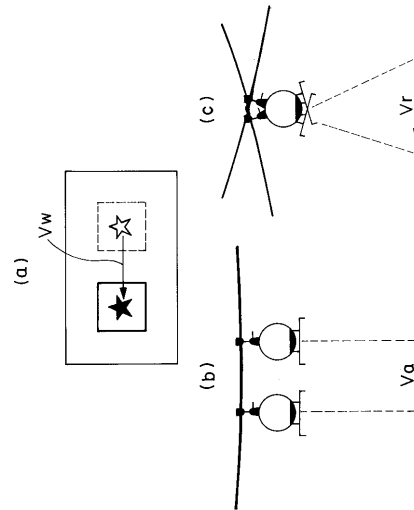
【図16】



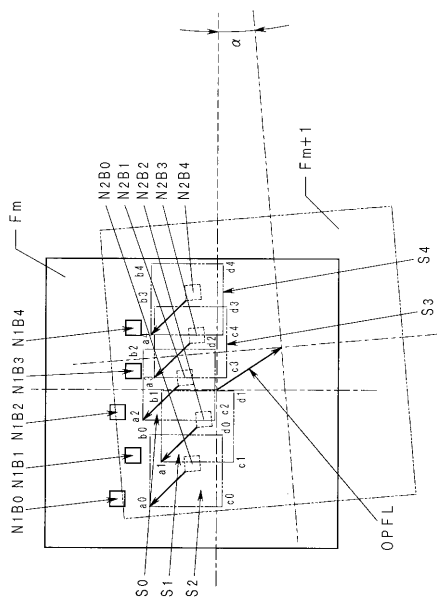
【 図 18 】



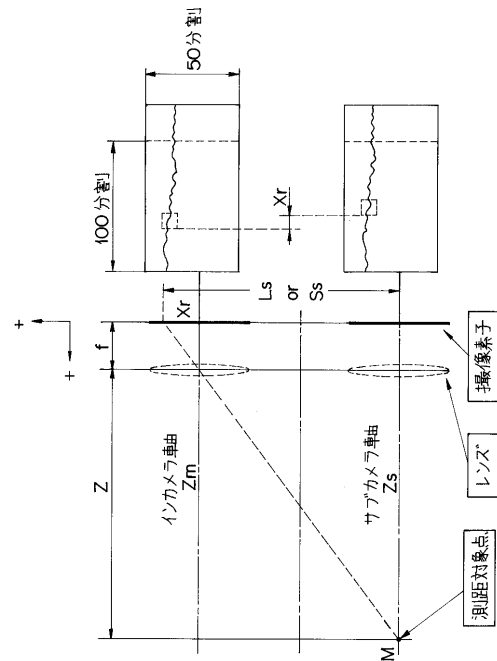
【 図 19 】



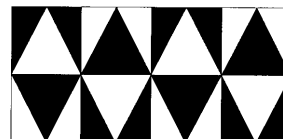
【 図 20 】



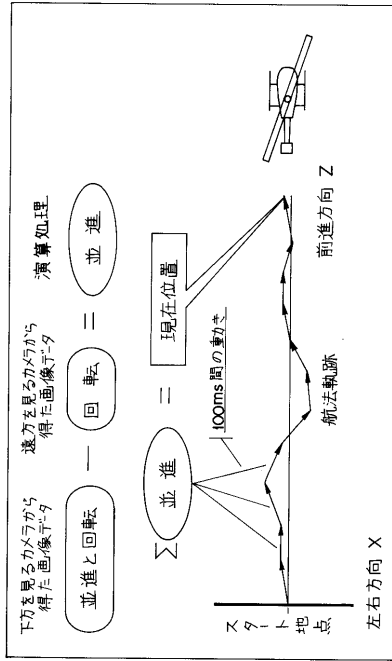
【 図 21 】



【 図 22 】



【 図 2 3 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

G01C 15/00

G01B 11/00-11/30

G01C 21/00-21/24

G05D 1/02

G01P 3/36