

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-54681

(P2006-54681A)

(43) 公開日 平成18年2月23日(2006.2.23)

(51) Int. Cl.			F I			テーマコード (参考)	
HO4N	7/18	(2006.01)	HO4N	7/18	J	2FO65	
B6OR	1/00	(2006.01)	HO4N	7/18	K	2F112	
B6OR	21/00	(2006.01)	B6OR	1/00	A	5B057	
GO1B	11/00	(2006.01)	B6OR	21/00	624C	5C054	
GO1C	3/06	(2006.01)	GO1B	11/00	H	5H180	
審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 52 頁) 最終頁に続く							

(21) 出願番号 特願2004-234946 (P2004-234946)

(22) 出願日 平成16年8月11日 (2004.8.11)

(71) 出願人 304021417

国立大学法人東京工業大学

東京都目黒区大岡山2丁目12番1号

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(74) 代理人 100077665

弁理士 千葉 剛宏

(74) 代理人 100116676

弁理士 宮寺 利幸

(74) 代理人 100077805

弁理士 佐藤 辰彦

(72) 発明者 関 晃仁

東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学内

最終頁に続く

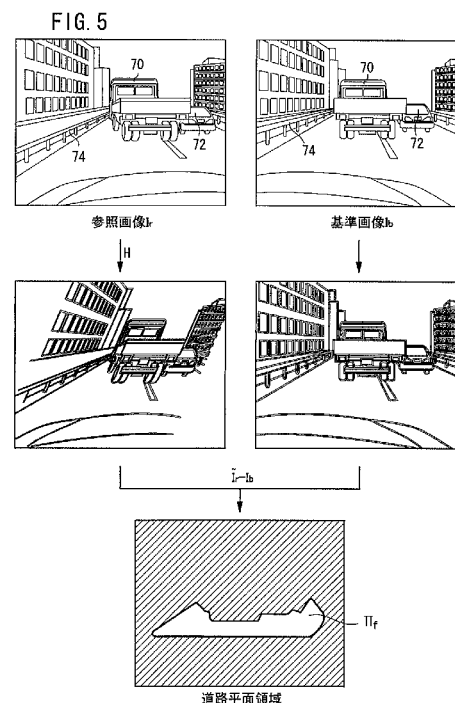
(54) 【発明の名称】 移動体周辺監視装置

(57) 【要約】

【課題】ステレオ画像に基づいて物体を検出する際、計算時間の短縮と計算コストの低廉化を図る。

【解決手段】基準カメラ12により基準画像 I_b を撮像し、参照カメラ14により参照画像 I_r を撮像する。基準画像 I_b 及び参照画像 I_r から平面領域 Π_f を抽出する。基準画像 I_b からエッジや特徴点を抽出したエッジ画像を作成し、平面領域 Π_f を除去した修正エッジ画像62を生成する。修正エッジ画像62のエッジや特徴点に対して参照画像 I_r を参照しながら物体検出処理を行う。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のカメラにより、基準画像と参照画像とを含むステレオ画像を撮像する撮像手段と、
前記撮像手段からのステレオ画像を用いてステレオ画像中の平面領域を抽出する平面領域抽出手段と、
前記平面領域抽出手段によって抽出された前記平面領域以外の領域に対して物体検出処理を行う物体検出手段と、
を備えることを特徴とする移動体周辺監視装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の移動体周辺監視装置において、
前記物体検出手段による物体検出処理は、前記ステレオ画像のステレオマッチングを用いた物体検出処理であることを特徴とする移動体周辺監視装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の移動体周辺監視装置において、
前記基準画像上の特徴点を抽出する基準画像特徴点抽出手段を備え、
前記物体検出手段による物体検出処理は、前記平面領域抽出手段によって抽出された前記平面領域以外の領域の前記特徴点に対して前記参照画像を参照しながらステレオマッチングを用いて物体検出処理を行うことを特徴とする移動体周辺監視装置。

【請求項 4】

請求項 3 記載の移動体周辺監視装置において、
前記参照画像における前記平面領域抽出手段にて抽出された前記平面領域以外の領域から、前記特徴点の近傍小領域に対応する小領域を領域ベースマッチングによって特定する参照画像対応部探索手段を備えることを特徴とする移動体周辺監視装置。

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の移動体周辺監視装置において、
カメラに対する前記平面領域に対応する平面の位置姿勢パラメータを算出する平面パラメータ算出手段と、
前記平面パラメータ算出手段によって算出された位置姿勢パラメータを用いて、物体の前記平面を基準とした空間位置を算出する物体位置算出手段と、
を備えることを特徴とする移動体周辺監視装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、取得した画像から道路平面に対応する領域を安定的に識別するとともに、物体の位置を短時間で計算する移動体周辺監視装置に関する。

【背景技術】

【0002】

自動車等の移動体の誘導において、走行可能な道路平面領域を検出し、あるいは、走行環境に存在する障害物を検出する方法は、レーザレーダ、超音波、ミリ波レーダ等を利用する方法と、画像を利用する方法とに大別することができる。

【0003】

レーザレーダやミリ波レーダを用いる検出方法では、一般に装置が高価であり、また、十分な空間分解能が得られないという問題がある。また、超音波を用いる検出方法では、遠くの計測が困難であって、空間分解能も低いという問題がある。

【0004】

一方、画像を用いる方法では、単眼による方法と、複眼を用いる方法とに分けることができる。従来、画像を用いる方法の多くは単眼、すなわち、1つの視点から得られる画像を用いるもので、主に、高速道路等の整備された環境で用いることを想定し、路面の白線

10

20

30

40

50

(例えば分離線や中央線)等を検出することにより、走行領域を検出している。しかしながら、白線等の存在が保証されず、また路面の色やパターンがさまざまであるような一般道や駐車場等では、単眼画像から得られる濃度パターンのみから、走行可能領域と障害物を安定に区別することは困難である。

【0005】

これに対して、複眼、すなわち、ステレオ画像を利用する検出方法では、原理的には環境の3次元構造を利用できるため、より安定に走行環境を認識できる可能性がある。特に、走行可能な領域は空間中でほぼ平面であるとみなせることから、画像間の射影変換行列を算出し、この射影変換行列により一方の画像を2次元射影変換して他方の画像に重畳させ、画像同士の重なり具合から、平面領域か否か、あるいは、障害物か否かを検出する方法が提案されている(特許文献1、非特許文献1参照)。

【0006】

ところで、車両等の移動体から他の物体を検出するためには、なるべく短時間で検出を行いリアルタイム的な処理を行うことが望ましいが、従来の画像処理によるステレオマッチング方法では演算量が膨大であり処理速度が遅い。

【0007】

そのような観点から、ステレオ画像から像のエッジ部分を抽出した後に、所定の長さ以上の直線エッジを選別して物体を認識するステレオマッチング方法が提案されている(例えば、特許文献2参照)。

【0008】

【特許文献1】特開2000-293693号公報

【特許文献2】特開2004-30453号公報

【非特許文献1】ホイングーヤング・シャム(Heung-Yeung Shum)、リチャード・セーリスキ(Richard Szeliski)、「“パノラミック・イメージ・モザイク”テクニカル・レポート(“Panoramic Image Mosaics” Technical report)」、1997年、エム・エス・アール・ティー・アール-97-23、マイクロソフト・リサーチ(MSR-TR-97-23, Microsoft Research)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

前記特許文献2で開示されている方法は上空から地上を見たときの建物を検出するための方法であって、直線部分が短い物体や小さい物体を検出することができない。

【0010】

また、車両等の移動体から他の物体を検出する場合には、まず、ステレオ計測により特徴点の3次元座標値を求め、該特徴点のうち高さ座標値に基づいて道路平面上の点を除去するという方法が考えられる。しかしながら、この方法においても移動体が移動している最中には姿勢変化により移動体と道路平面との位置関係が必ずしも一定とならないため、道路平面上の点を安定的に特定することは困難である。また、取得した画像中の全特徴点についてステレオ計測を行うために、演算量はあまり低減されない。

【0011】

本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、取得した画像から道路平面に対応する領域を安定的に識別するとともに、他の物体の位置を短時間で計算することを可能にする移動体周辺監視装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明に係る移動体周辺監視装置は、複数のカメラにより、基準画像と参照画像とを含むステレオ画像を撮像する撮像手段と、

前記撮像手段からのステレオ画像を用いてステレオ画像中の平面領域を抽出する平面領域抽出手段と、

10

20

30

40

50

前記平面領域抽出手段によって抽出された平面領域以外の領域に対して物体検出処理を行う物体検出手段とを備えることを特徴とする（請求項１記載の発明）。

【００１３】

このように、物体検出処理の必要のない平面領域を除いて物体検出処理を行うことにより、計算時間の短縮、計算コストの低廉化が可能となる。

【００１４】

この場合、前記物体検出手段による物体検出処理は、前記ステレオ画像のたステレオマッチングを用いた物体検出処理としてもよい（請求項２記載の発明）。平面領域以外の領域のみについてステレオマッチングを行うので、平面領域の模様等を除外することができ、物体の位置をより正確に検出可能となる。

10

【００１５】

また、前記基準画像上の特徴点を抽出する基準画像特徴点抽出手段を備え、

前記物体検出手段による物体検出処理は、前記平面領域抽出手段によって抽出された平面領域以外の領域の前記特徴点に対して前記参照画像を参照しながらステレオマッチングを用いて物体検出処理を行うようにしてもよい（請求項３記載の発明）。基準画像の平面領域以外の領域の特徴点のみ用いるため、平面領域で抽出された特徴点をステレオマッチングすることが防止され、計算時間を短縮することができるとともに計算コストの低廉化を図ることができる。

【００１６】

さらに、前記参照画像における前記平面領域抽出手段にて抽出された平面領域以外の領域から、前記特徴点の近傍小領域に対応する小領域を領域ベースマッチングによって特定する参照画像対応部探索手段を備えるようにしてもよい（請求項４記載の発明）。参照画像の平面領域以外の領域から、前記特徴点に対応する小領域を領域ベースマッチングで特定するため、探索範囲が限定されてより正確な特定が可能となる。

20

【００１７】

カメラに対する前記平面領域に対応する平面の位置姿勢パラメータを算出する平面パラメータ算出手段と、

前記平面パラメータ算出手段によって算出された位置姿勢パラメータを用いて、物体の前記平面を基準とした空間位置を算出する物体位置算出手段と、を備えるようにしてもよい（請求項５記載の発明）。

30

【発明の効果】

【００１８】

本発明に係る移動体周辺監視装置によれば、物体検出処理の必要のない平面領域を除いて物体検出処理を行うことにより、計算時間が短縮されるとともに計算負荷が低減することから、ハードウェアの低廉化を図ることができる。

【００１９】

また、平面領域を除いて処理を行うことから、ステレオマッチングを行う際に基準画像上の点と参照画像上の点との対応付けが容易となり、物体の位置をより正確に検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【００２０】

図１は、本発明の移動体周辺監視装置が適用される実施形態の車両１０を示す。車両１０のウィンドシールド上部の左右には、車両１０が走行する道路平面領域を含む画像を撮像する一対の撮像手段である基準カメラ１２及び参照カメラ１４が固定配置される。基準カメラ１２及び参照カメラ１４は、共通の撮像領域が設定されたＣＣＤカメラ等からなるステレオカメラであり、これらには、撮像した画像を処理することで道路平面領域と障害物となる可能性のある物体とを検出する演算処理装置１６が接続される。なお、以下の説明では、基準カメラ１２によって撮像された画像を基準画像と称し、参照カメラ１４によって撮像された画像を参照画像と称する。

【００２１】

50

図 2 は、演算処理装置 16 の機能構成ブロックを示す。演算処理装置 16 は、基準カメラ 12 によって撮像した基準画像を処理する画像処理部 18 と、参照カメラ 14 によって撮像した参照画像を処理する画像処理部 20 と、所定の撮像時間間隔で撮像された基準画像及び参照画像を記憶する画像記憶部 22 とを備える。

【0022】

また、演算処理装置 16 は、演算制御部 24 を備え、演算制御部 24 には、画像記憶部 22、パラメータ記憶部 26、射影変換行列算出部 28、平面パラメータ算出部 30、平面領域抽出部 32、物体検出部 34、物体相対速度算出部 36、仮想投影面画像生成部 38、自車速度算出部 40、物体絶対速度算出部 42 及び表示処理部 44 が接続される。

【0023】

パラメータ記憶部 26 は、演算に必要な初期値パラメータ、前回の演算や演算中に算出された各パラメータを記憶する。射影変換行列算出部 28 は、参照画像中の道路平面領域を基準画像中の道路平面領域に 2 次元射影変換する射影変換行列を算出する。平面パラメータ算出部 30 は、道路平面の法線ベクトル及び基準カメラ 12 の光学中心から道路平面までの距離を平面パラメータとして算出する。平面領域抽出部 32 は、基準画像と射影変換行列によって射影変換した参照画像とを用いて、車両 10 が走行可能な道路平面領域を抽出する。物体検出部 34 は、道路平面領域外の領域に存在する物体を検出する。物体相対速度算出部 36 は、抽出された物体の車両 10 に対する相対速度ベクトルを算出する。仮想投影面画像生成部 38 は、抽出された道路平面領域を実際の道路面に平行な仮想平面に投影した仮想投影面 (VPP) 画像 (VPP: Virtual Projection Plane) を生成する。自車速度算出部 40 は、VPP 画像上で車両 10 の自車速度ベクトルを算出する。物体絶対速度算出部 42 は、車両 10 に対する物体の相対速度ベクトルと車両 10 の自車速度ベクトルとから、各物体の絶対速度ベクトルを算出する。表示処理部 44 は、上記の各演算結果をディスプレイに表示する処理を行うとともに、演算結果に基づいて必要に応じた警告等の報知を行う。

20

【0024】

本発明の移動体周辺監視装置が適用される車両 10 及び演算処理装置 16 は、基本的には以上のように構成されるものであり、次に、図 3 に示すフローチャートに基づき、演算処理装置 16 による処理の全体の流れを説明する。

【0025】

まず、基準カメラ 12 及び参照カメラ 14 により、車両 10 が走行する道路平面領域を含む基準画像及び参照画像を所定の時間間隔で撮像し、画像処理部 18、20 において所定の画像処理を行った後、画像記憶部 22 に各時間毎の画像情報として記憶させる (ステップ S0)。

【0026】

次に、射影変換行列算出部 28 において、パラメータ記憶部 26 に記憶されている初期値パラメータを用いて、参照画像中の道路平面領域を基準画像中の道路平面領域に 2 次元射影変換する射影変換行列を動的に算出する (ステップ S1)。

【0027】

平面領域抽出部 32 は、ステップ S1 で算出した射影変換行列を用いて、基準画像から道路平面領域を抽出する (ステップ S2)。

【0028】

平面パラメータ算出部 30 は、道路平面の法線ベクトル及び基準カメラ 12 の光学中心から道路平面までの距離を平面パラメータとして算出する (ステップ S3)。

【0029】

次に、物体検出部 34 は、ステップ S3 で算出した平面パラメータを用いて、ステップ S2 で抽出した道路平面領域を道路面上に変換して自分の車両 10 以外の障害物となる可能性のある物体を検出し、若しくは、ステップ S2 で抽出した道路平面領域以外の領域に対してステレオ計測することにより物体を検出する (ステップ S4)。

【0030】

40

50

物体相対速度算出部 36 は、抽出された各物体の時間毎の位置変化から、車両 10 に対する各物体の相対速度ベクトルを算出する（ステップ S5）。

【0031】

さらに、仮想投影面画像生成部 38 は、ステップ S3 で算出した道路平面の傾きである法線ベクトルを用いて、道路面を上方から見た画像である仮想投影面（VPP）画像を生成する（ステップ S6）。

【0032】

そして、自車速度算出部 40 は、ステップ S6 で生成された VPP 画像の各時刻での位置から車両 10 の自車速度ベクトルを算出する（ステップ S7）。

【0033】

さらに、物体絶対速度算出部 42 は、ステップ S5 で算出した物体の相対速度ベクトルと、ステップ S7 で算出した車両 10 の自車速度ベクトルとを用いて、各物体の絶対速度ベクトルを算出する（ステップ S8）。

【0034】

なお、表示処理部 44 は、以上のようにして抽出した道路平面領域、障害物となる可能性のある物体、車両 10 及び物体の絶対速度等をディスプレイに表示するとともに、例えば、車両 10 と物体との相対的な位置関係、速度関係に基づき、必要に応じて警告等の報知を行うことができる。

【0035】

次に、本実施形態をステップ毎に詳細に説明する。

【0036】

先ず、本発明に用いられる道路平面領域の抽出及び 2 次元射影変換の原理を説明する。なお、以下の説明において、同次座標は、文章中では、符号に記号「 $\wedge$ 」を付加して表し、数式中では、符号の上に記号「 $\sim$ 」を付加して表すものとする。また、射影変換された画像については、文章中では、符号に記号「 $'$ 」を付加して表し、数式中では、符号の上に記号「 $\sim$ 」を付加して表すものとする。

【0037】

図 4 に示すように、空間中にある平面（道路平面ともいう） Π 上の観測点 M1 が基準画像 I_b 及び参照画像 I_r に投影されるとき、基準画像 I_b 上での同次座標を $m^{\wedge}_b$ 、参照画像 I_r 上での同次座標を $m^{\wedge}_r$ とすると、各同次座標 $m^{\wedge}_b$ 、 $m^{\wedge}_r$ は、（1-1）式に示すように、2 次元射影変換によって関係付けられることはよく知られている。

【0038】

【数 1】

$$\tilde{m}_r \sim H \tilde{m}_b \quad \cdots (1-1)$$

（「 $\sim$ 」は、定数倍の不定性を許して等しいものとする。）

【0039】

ここで、 H は 3×3 の射影変換行列である。また、図 4 において、 O は基準カメラ 12 の光学中心、 O' は参照カメラ 14 の光学中心、 R は基準カメラ座標系から参照カメラ座標系への回転行列、 t は、参照カメラ座標系において参照カメラ 14 の光学中心から基準カメラ 12 の光学中心へ向かう並進ベクトル、 d は基準カメラ 12 の光学中心 O と平面 Π との距離、 n は平面 Π の法線ベクトルである。

【0040】

道路等の走行可能な領域は、空間中でほぼ平面であると見なすことができれば、参照画像 I_r に対して適切な射影変換を施すことにより、平面の部分に対して基準画像 I_b に一致するような画像を得ることができる。一方、平面上にない物体は、射影変換した際に画像が一致しないため、その物体の領域は走行可能な領域でない、あるいは、障害物となり得る領域であると判断することができる。したがって、平面の拡がりを出算することにより、走行可能な領域及び障害物となる物体の検出が可能となる。

10

20

30

40

50

【0041】

<ステップS0>

基準画像 I_b 及び参照画像 I_r に係る画像情報を取得する。

【0042】

基準カメラ12及び参照カメラ14を用いて画像を撮像し、各画像間の明るさの違い等を除くため、画像処理部18及び20において、各画像にLOG (Laplacian of Gaussian) フィルタをかける。また、LOGフィルタを掛けた画像は、コントラストが低いため、さらに、ヒストグラム平坦化処理を施す。これらの処理が施された基準画像 I_b 及び参照画像 I_r とその原画像は、画像記憶部22に記憶される。

【0043】

<ステップS1>

射影変換行列算出部28において、画像記憶部22に記憶された基準画像 I_b 及び参照画像 I_r を用いて、路面に対する射影変換行列 H を動的に推定する。

【0044】

すなわち、基準画像 I_b 内のある領域 R^1 で、射影変換行列 H を微少量変化させ、以下の(1-2)式の評価関数 $E(H)$ を最小化する射影変換行列 H を、繰り返し最適化によって推定する。

【0045】

【数2】

$$E(H) = \sum_{m_b \in R^1} I_r [(H\tilde{m}_b) - I_b(\tilde{m}_b)]^2 \quad \dots(1-2)$$

【0046】

なお、 $I_b(m^{\wedge}_b)$ 、 $I_r(Hm^{\wedge}_b)$ は、同次座標 $m^{\wedge}_b$ 、 $Hm^{\wedge}_b$ における基準画像 I_b 及び参照画像 I_r の輝度値を表す。

【0047】

上記の推定には、適当に真値に近い初期値としての射影変換行列 H と、領域 R^1 (本発明では、以後「計算領域」と呼ぶ。) とを必要とする。そこで、時系列情報を利用し、以下に述べる手順により、射影変換行列 H と計算領域 R^1 とを求める。

【0048】

すなわち、同時刻における基準画像 I_b 及び参照画像 I_r 間の射影変換行列 H_s と、連続する時間で取得した2つの基準画像 I_b 間の射影変換行列 H_m と、基準画像 I_b に対する計算領域 R^1 とを求める。そして、ある時刻 t における射影変換行列 H (H_s 、 H_m) の推定の際には、前時刻 ($t-1$) までの推定結果を利用する。

【0049】

まず、連続する基準画像 $I_b(t-1)$ 、 $I_b(t)$ 間の射影変換行列 $H_m(t)$ を(1-2)式に基づく繰り返し最適化によって推定する。このとき、射影変換行列 $H_m(t)$ の初期値としては、前時刻に推定された射影変換行列 $H_m(t-1)$ を、また、計算領域 R^1 の初期値としては、基準画像 $I_b(t-1)$ に対して前時刻で求められている計算領域 $R^1(t-1)$ を用いることができる。

【0050】

次に、求められた射影変換行列 $H_m(t)$ を用いて、前時刻の計算領域 $R^1(t-1)$ を変換することにより、現時刻における計算領域 $R^1(t)$ の予測値を求める。

【0051】

基準画像 I_b 及び参照画像 I_r 間の射影変換行列 $H_s(t)$ は、前時刻において推定された射影変換行列 $H_s(t-1)$ を初期値とし、射影変換行列 $H_m(t)$ から求めた計算領域 $R^1(t)$ を用いて、(1-2)式に基づく繰り返し最適化によって推定する。

【0052】

このように、時系列画像を用いた連続推定において、十分に真値に近い初期値としての

10

20

30

40

50

射影変換行列 H と計算領域 R^1 とを用いて、時刻 t における基準画像 I_b 及び参照画像 I_r 間の動的な射影変換行列 H_s (以下、射影変換行列 H という。) を安定して推定することができる。

【0053】

次に、(1-2) 式を用いた繰り返し最適化 (濃度勾配法) による射影変換行列 H の推定方法について詳細に説明する。

【0054】

濃度勾配法は、2つの画像の一方を微小量変化させ、画像の重なり具合 (濃度差) を表す評価関数を最小化することにより、画像が最も重なるような射影変換行列 H の変化量を推定する方法である。

【0055】

座標 $x(x, y)$ における参照画像 I_r の輝度値を $I_r(x)$ とすると、適当な射影変換行列 H により射影変換された参照画像 I_r' は、次の (1-3) 式で表される。なお、参照画像 I_r の上の「 $\sim$ 」は、射影変換された後の画像を表し、 x の上の「 $\sim$ 」は、座標 $x(x, y)$ の同次座標を表す。

【0056】

【数3】

$$\tilde{I}_r(\tilde{x}) = I_r(H\tilde{x}) \quad \cdots(1-3)$$

【0057】

なお、射影変換行列 H は、 3×3 のパラメータを要素とする自由度 8 (1パラメータを固定) の行列とする。

【0058】

射影変換行列 H の 8つのパラメータを微小量変化させたとき、射影変換された参照画像 I_r' 上の座標 $x(x, y)$ が座標 $x''(x'', y'')$ に変化するものとする、

【数4】

$$\tilde{x}'' \sim (I + D_x) \tilde{x} \quad \cdots(1-4)$$

(「 $\sim$ 」は、定数倍の不定性を許して等しいものとする。) の関係が得られる。なお、 I は 3×3 の単位行列、 D_x は射影変換行列 H の各パラメータの微小変化量をパラメータとする 3×3 の微小変化行列とする。

【0059】

(1-3)、(1-4) 式の関係を用いて (1-2) 式の評価関数 $E(H)$ を書き替えると、射影変換された参照画像 I_r' と基準画像 I_b との重なり状態を示す評価関数 $E(H)$ は、射影変換行列 H の微小変化行列 D_x のパラメータを変数として、

【数5】

$$E(d_x) = \sum_i \left[\tilde{I}_r(\tilde{x}_i'') - I_b(\tilde{x}_i) \right]^2 \quad \cdots(1-5)$$

(「 i 」は、画素番号を表す。)

と表すことができる。なお、 d_x は、微小変化行列 D_x のパラメータをベクトルで表したものである。

【0060】

(1-5) 式をテーラ展開して一次近似すると、評価関数 $E(d_x)$ は、

10

20

30

40

【数 6】

$$E(\mathbf{d}_x) = \sum_i \left[\tilde{I}_r(\tilde{\mathbf{x}}_i) + \nabla \tilde{I}_r(\tilde{\mathbf{x}}_i) \frac{\partial \tilde{\mathbf{x}}_i''}{\partial \mathbf{d}_x} \mathbf{d}_x - I_b(\tilde{\mathbf{x}}_i) \right]^2$$

$$= \sum_i \left[\mathbf{g}_i^t \mathbf{J}_{dx_i}^t \mathbf{d}_x + e_i \right]^2 \quad \dots(1-6)$$

$$\text{但し} \quad \mathbf{g}_i = \nabla \tilde{I}_r(\tilde{\mathbf{x}}_i) \quad e_i = \tilde{I}_r(\tilde{\mathbf{x}}_i) - I_b(\tilde{\mathbf{x}}_i)$$

$$\mathbf{J}_{dx_i} = \mathbf{J}_{dx_i}^t(\tilde{\mathbf{x}}_i) = \frac{\partial \tilde{\mathbf{x}}_i''}{\partial \mathbf{d}_x}$$

10

(「 $\mathbf{J}_{dx_i}$ 」は、(1-5)式の一次近似の範囲で等しいものとする。)

となる。

【0061】

(1-6)式の評価関数 $E(\mathbf{d}_x)$ を最小化するベクトル $\mathbf{d}_x$ は、評価関数 $E(\mathbf{d}_x)$ をベクトル $\mathbf{d}_x$ で微分し、その微分値を0とおいて、

【数 7】

20

$$\mathbf{A} \mathbf{d}_x = -\mathbf{b} \quad \dots(1-7)$$

$$\text{但し} \quad \mathbf{A} = \sum_i \mathbf{J}_{dx_i} \mathbf{g}_i \mathbf{g}_i^t \mathbf{J}_{dx_i}^t$$

$$\mathbf{b} = \sum_i e_i \mathbf{J}_{dx_i} \mathbf{g}_i$$

を解くことにより求めることができる。

30

【0062】

この場合、 $\mathbf{g}_i$ (輝度勾配)、 e_i (輝度差分) は、基準画像 I_b 及び射影変換された参照画像 I_r' から算出され、ヤコビアン $\mathbf{J}_{dx_i}$ は、座標 $\mathbf{x}$ (x, y) から算出できる。したがって、ベクトル $\mathbf{d}_x$ は、最小二乗法を用いて(1-7)式から求めることができる。

【0063】

以上のようにして求めたベクトル $\mathbf{d}_x$ 、すなわち、微小変化行列 $\mathbf{D}_x$ を用いて、射影変換行列 $\mathbf{H}$ を次の(1-8)式にしたがって更新する。なお、 $\mathbf{I}$ は、 3×3 の単位行列とする。

【0064】

【数 8】

40

$$\mathbf{H} \leftarrow \mathbf{H}(\mathbf{I} + \mathbf{D}_x) \quad \dots(1-8)$$

【0065】

そして、(1-8)式で求めた射影変換行列 $\mathbf{H}$ を用いて、再び(1-6)式の評価関数 $E(\mathbf{d}_x)$ の値を算出する処理を繰り返し、評価関数 $E(\mathbf{d}_x)$ の値が所定の値以下に収束したときの射影変換行列 $\mathbf{H}$ を所望の射影変換行列 $\mathbf{H}$ とする。

【0066】

<ステップ S 2 (第一の道路平面領域抽出手段)>

50

平面領域抽出部 32 において、ステップ S1 で推定した射影変換行列 H を用いて、車両 10 が走行可能な道路平面領域を抽出する。この抽出処理について、図 5 を参照して説明する。

【0067】

ステップ S0 で LOG フィルタ処理及びヒストグラム平坦化処理が施された参照画像 I_r に対して、ステップ S1 で推定した射影変換行列 H が作用され、射影変換画像 I_r' が生成される。

【0068】

次いで、ステップ S0 で LOG フィルタ処理及びヒストグラム平坦化処理が施された基準画像 I_b と、生成された射影変換画像 I_r' との差分画像 ($I_r' - I_b$) を求める。

10

【0069】

この場合、平面上に存在する点は、基準画像 I_b に正確に投影されるため、差分画像 ($I_r' - I_b$) における輝度値は小さくなる。一方、平面上にない点の差分画像 ($I_r' - I_b$) における輝度値は大きくなる。したがって、所定の閾値を設定して差分画像 ($I_r' - I_b$) を 2 値化することにより、道路平面領域 Π_f を抽出することができる。

【0070】

<ステップ S3>

平面パラメータ算出部 30 において、ステップ S1 で推定した射影変換行列 H を用いて、平面 Π の平面パラメータである法線ベクトル n 及び基準カメラ 12 の光学中心 O から平面 Π までの距離 d を求める。

20

【0071】

図 4 に示す関係において、基準カメラ座標系から参照カメラ座標系への回転行列 R 、参照カメラ 14 の光学中心から基準カメラ 12 の光学中心へ向かう並進ベクトル t 、基準カメラ 12 及び参照カメラ 14 の内部パラメータ A_b 、 A_r を用いて、射影変換行列 H は、

【数 9】

$$H = A_r \cdot k(R + \frac{tn^t}{d})A_b^{-1} \quad \dots(3-1)$$

と表される。なお、 k は、0 でない係数であって、画像から得られた射影変換行列 H に定数倍の自由度が存在することを表す。内部パラメータ A_b 、 A_r が既知であるとする、次の (3-2) 式が成立する。

30

【0072】

【数 10】

$$H' = A_r^{-1} H A_b = k(R + \frac{tn^t}{d}) \quad \dots(3-2)$$

【0073】

そこで、射影変換行列 H' を特異値分解する。 U 、 V を正規直交行列、 Σ を射影変換行列 H' の特異値 $\sigma_1 \sim \sigma_3$ ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 > 0$) を要素とする対角行列として、射影変換行列 H' は、

40

【数 11】

$$H' = U \Sigma V^t \quad \dots(3-3)$$

と書き替えることができる。なお、

【数 1 2】

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix} \quad \dots(3-4)$$

である。

【0 0 7 4】

10

(3-2)、(3-3)式から、

【数 1 3】

$$\Sigma = \mathbf{U}^t \mathbf{H}' \mathbf{V} = k \left(\mathbf{U}^t \mathbf{R} \mathbf{V} + \mathbf{U}^t \frac{\mathbf{t} \mathbf{n}^t}{d} \mathbf{V} \right) \quad \dots(3-5)$$

となる。

【0 0 7 5】

20

ここで、

【数 1 4】

$$\mathbf{U}^t \mathbf{R} \mathbf{V} = \mathbf{R}', \quad \mathbf{U}^t \mathbf{t} = \mathbf{t}', \quad \mathbf{n}^t \mathbf{V} = \mathbf{n}'^t \quad \dots(3-6)$$

とすると、次の(3-7)式が得られる。

【0 0 7 6】

【数 1 5】

$$\Sigma = k \left(\mathbf{R}' + \frac{\mathbf{t}' \mathbf{n}'^t}{d} \right) \quad \dots(3-7)$$

30

【0 0 7 7】

基準カメラ座標系の基底ベクトル ($\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$) を導入し、

【数 1 6】

$$\mathbf{n}' = n_1' \mathbf{e}_1 + n_2' \mathbf{e}_2 + n_3' \mathbf{e}_3 \quad \dots(3-8)$$

40

とすると、(3-7)式から得られる3つのベクトル方程式と、 $\mathbf{n}, \mathbf{n}'$ が単位ベクトル、 $\mathbf{V}$ が正規直交ベクトル、 $\mathbf{R}'$ がノルム変化のない回転行列であることから、次の(3-9)式が得られる。

【0 0 7 8】

【数 1 7】

$$(k^2 - \sigma_j^2) n_i'^2 + (k^2 - \sigma_i^2) n_j'^2 = 0 \quad (i \neq j) \quad \dots(3-9)$$

【0 0 7 9】

(3-9)式を $n_1'^2, n_2'^2, n_3'^2$ の連立方程式と考えれば、0でない解を持つに

50

は、行列式が 0 であるから、

【数 1 8】

$$(k^2 - \sigma_1^2)(k^2 - \sigma_2^2)(k^2 - \sigma_3^2) = 0 \quad \cdots(3-10)$$

となる。

【0 0 8 0】

そこで、射影変換行列 H' の特異値 $\sigma_1 \sim \sigma_3$ が、

(I) 重解を持たない場合 ($\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$)

(II) 重解を持つ場合 ($\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$ 又は $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$)

10

(III) 3重解を持つ場合 ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$)

に場合分けして考える。(I) 及び (II) の場合は、 $k = \pm \sigma_1$ 若しくは $k = \pm \sigma_3$ とすると、(3-9) 式から算出される n' が単位ベクトルであることに矛盾する。したがって、いずれの場合でも $k = \pm \sigma_2$ として求められることになる。また、 $k = -\sigma_2$ の場合は 2 台のカメラ (基準カメラ 1 2 及び参照カメラ 1 4) が平面を挟むような配置となるため除外され、 k は σ_2 として求められることになる。なお、(III) の 3 重解の場合は、2 台の基準カメラ 1 2 及び参照カメラ 1 4 の光学中心が一致し、回転のみの場合であるため、除外する。

【0 0 8 1】

(I) 及び (II) の場合、(3-9) 式より、 n' は、

20

【数 1 9】

$$\mathbf{n}' = \begin{pmatrix} n'_1 \\ n'_2 \\ n'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \sqrt{\frac{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}{\sigma_1^2 - \sigma_3^2}} \\ 0 \\ \varepsilon_2 \sqrt{\frac{\sigma_2^2 - \sigma_3^2}{\sigma_1^2 - \sigma_3^2}} \end{pmatrix} \quad (\varepsilon_1, \varepsilon_2 = \pm 1) \quad \cdots(3-11)$$

30

として求まる。

【0 0 8 2】

$\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ のとき、 $n'_2 = 0$ であるから、

【数 2 0】

$$\mathbf{R}' \mathbf{e}_2 = \mathbf{e}_2 \quad \cdots(3-12)$$

を得る。すなわち、 R' は、 e_2 の回りの回転行列である。したがって、次の (3-13)、(3-14)、(3-15) 式を得る。

40

【0 0 8 3】

【数 2 1】

$$\mathbf{R}' = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad \cdots(3-13)$$

【0 0 8 4】

50

【数 2 2】

$$\begin{cases} \sin(\theta) = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_2} n'_1 n'_3 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sqrt{\frac{(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)(\sigma_2^2 - \sigma_3^2)}{(\sigma_1 + \sigma_3)\sigma_2}} \quad \dots(3-14) \\ \cos(\theta) = \frac{\sigma_1 n'^2_3 + \sigma_3 n'^2_1}{\sigma_2} = \frac{\sigma_2^2 + \sigma_1 \sigma_3}{(\sigma_1 + \sigma_3)\sigma_2} \end{cases}$$

【0085】

10

【数 2 3】

$$\frac{\mathbf{t}'}{d} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_2} \begin{pmatrix} n'_1 \\ 0 \\ -n'_3 \end{pmatrix} \quad \dots(3-15)$$

【0086】

20

(II) の場合、 $\sigma_1 = \sigma_2$ (又は、 $\sigma_2 = \sigma_3$) として、(3-13) 式から、

【0087】

【数 2 4】

$$n'_1 = n'_2 = 0, n'_3 = \pm 1 \quad (n'_1 = \pm 1, n'_2 = n'_3 = 0) \quad \dots(3-16)$$

となり、

【数 2 5】

$$\mathbf{R}' = \mathbf{I} \quad \dots(3-17)$$

30

【数 2 6】

$$\frac{\mathbf{t}'}{d} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\sigma_2} \mathbf{n}' \quad \dots(3-18)$$

となる。

【0088】

ここで、(3-11) 式における ε_1 、 ε_2 の符号の違いにより、4つの解の候補が存在する。この4つの候補のうち、「平面上の点が画像に映る」条件を満たす $\mathbf{n}'$ を選択することで2つの候補に絞り込む。さらに、基準カメラ12及び参照カメラ14の位置関係が撮影中に変化しない条件を加え、解を一意に決定する。

40

【0089】

以上のようにして、(3-11)、(3-13)、(3-15) 式、又は、(3-18) 式で求めた $\mathbf{R}'$ 、 $\mathbf{t}'/d$ 、 $\mathbf{n}'$ を(3-6) 式に代入することにより、回転行列 $\mathbf{R}$ と、平面パラメータを構成する $\mathbf{t}/d$ 及び法線ベクトル $\mathbf{n}$ とが求められる。なお、並進ベクトル $\mathbf{t}$ の長さ $|\mathbf{t}|$ (基準カメラ12及び参照カメラ14間の距離) は、設計値や実測値から予め求めることができるため、得られた $\mathbf{t}/d$ から、平面パラメータである距離 d を求めることができる。

50

【0090】

ところで、上述した平面パラメータの算出方法（ステップS3）では、基準カメラ12及び参照カメラ14間の回転行列R及び並進ベクトルtが変動することを前提としているが、これらが車両10に対して固定されているとすれば、予め求めた回転行列R及び並進ベクトルtを用いて、以下に示す方法により、平面パラメータを迅速に算出することができる。

【0091】

この場合、回転行列R及び並進ベクトルtは、例えば、基準カメラ12及び参照カメラ14を車両10に固定した後、整備場のように、車両10を停止させた理想的な環境下で高精度に求めておくことが可能である。そして、走行中等の任意の時刻に算出した平面の射影変換行列Hから平面パラメータを求める際、理想的な環境下で求めた高精度な回転行列R及び並進ベクトルtを用いるため、平面の射影変換行列Hが誤差を含む場合であっても、平面パラメータの精度を悪化させることなく算出することができる。

【0092】

そこで、まず、車両10を停止させた状態において、基準カメラ12及び参照カメラ14によって平面Πを撮像し、例えば、ステップS1の処理によって射影変換行列Hを推定する。次いで、上述した平面パラメータの算出手法を用いて回転行列R及び並進ベクトルtの単位ベクトル t_e を求める。すなわち、(3-6)式及び(3-13)、(3-14)式を用いて回転行列Rを求める。また、(3-6)式及び(3-15)式、又は、(3-18)式を用いて t/d を求め、この t/d を正規化し、並進ベクトルtの単位ベクトル t_e を、

【数27】

$$t_e = \frac{1}{\sqrt{\begin{vmatrix} t \\ d \end{vmatrix}}} \cdot \frac{t}{d} \quad \dots(3-19)$$

として求める。並進ベクトルtの長さ $|t|$ （基準カメラ12及び参照カメラ14間の距離）は、設計値や実測値から予め求めることができるため、(3-19)式の単位ベクトル t_e に $|t|$ を掛けることで、並進ベクトルtが求められる。

【0093】

ここで、ステップS1の処理で射影変換行列Hを高精度に推定できるようにするため、画像の重なり具合を評価し易いような模様を付けた十分広い面積を持つ平面Πを用意するとよい。また、平面Πの向きを変えて上記方法により回転行列R及び並進ベクトルtを求め、その結果を平均化して回転行列R及び並進ベクトルtを一層高精度に求めるとよい。

【0094】

このようにして算出された回転行列R及び並進ベクトルtは、パラメータ記憶部26に記憶される。並進ベクトルtは、単位ベクトル t_e とベクトルの大きさ $|t|$ とに分けて記憶させてもよい。回転行列R及び並進ベクトルtは、前記のようにして算出する代わりに、その他のキャリブレーション方法を利用して算出し、あるいは、基準カメラ12及び参照カメラ14の位置関係を直接計測して求めることもできる。

【0095】

次いで、車両10の走行中等の任意の時刻において、動的な射影変換行列Hを算出する（ステップS1）。

【0096】

(3-2)式を変形して、

10

20

30

40

【数 2 8】

$$\frac{|\mathbf{t}|}{d} \mathbf{n}^t = \mathbf{t}_e^t \left(\frac{\mathbf{A}_r^{-1} \mathbf{H} \mathbf{A}_b}{k} - \mathbf{R} \right) \quad \dots(3-20)$$

の関係が得られる。法線ベクトル $\mathbf{n}$ は単位ベクトル、 $|\mathbf{t}|/d$ はスカラーであるので、(3-20) 式で算出したベクトルを正規化することで、平面 Π の法線ベクトル $\mathbf{n}$ を求めることができる。

10

【0097】

また、並進ベクトル $\mathbf{t}$ の長さ $|\mathbf{t}|$ は、設計値や実測値から分かっているため、基準カメラ 12 の光学中心から平面 Π までの距離 d は、次の (3-21) 式から算出することができる。

【0098】

【数 2 9】

$$d = \frac{|\mathbf{t}|}{\left| \mathbf{n} \mathbf{t}_e^t \left(\frac{\mathbf{A}_r^{-1} \mathbf{H} \mathbf{A}_b}{k} - \mathbf{R} \right) \right|} \quad \dots(3-21)$$

20

【0099】

このように、予め求めた回転行列 $\mathbf{R}$ 及び並進ベクトル $\mathbf{t}$ を用いることにより、任意の方法で推定した射影変換行列 $\mathbf{H}$ から、法線ベクトル $\mathbf{n}$ 及び距離 d を迅速に算出することができる。

【0100】

さらに、基準カメラ 12 及び参照カメラ 14 間の回転行列 $\mathbf{R}$ 及び並進ベクトル $\mathbf{t}$ が予め求められている場合、射影変換行列 $\mathbf{H}$ 及び平面パラメータ（法線ベクトル $\mathbf{n}$ 、距離 d ）を、これらの既知のパラメータを用いて迅速且つ高精度に求めることができる。

30

【0101】

すなわち、(3-1) 式を書き替えると、射影変換行列 $\mathbf{H}$ は、

【数 3 0】

$$\mathbf{H} = \mathbf{A}_r \mathbf{R} \mathbf{A}_b^{-1} + \mathbf{A}_r \mathbf{t} \frac{\mathbf{n}^t}{d} \mathbf{A}_b^{-1} \quad \dots(1'-1)$$

と展開することができる。なお、射影変換行列 $\mathbf{H}$ は、構成するパラメータから算出されるため、定数倍の不定性を示す係数 k を 1 とすることができる。この場合、射影変換行列 $\mathbf{H}$ の第 1 項は、並進ベクトル $\mathbf{t}$ が既知であるため定数であり、第 2 項は $\mathbf{n}/d$ の変数となる。したがって、第 2 項を推定することで、射影変換行列 $\mathbf{H}$ を求めることができる。

40

【0102】

そこで、 $\mathbf{n}/d$ を微少量変化させたときの射影変換行列 $\mathbf{H}$ の微小変化行列を $\mathbf{D}$ とすると、

【数 3 1】

$$\mathbf{D} = \mathbf{A}_r \mathbf{t} \delta \mathbf{n}''^t \mathbf{A}_b^{-1} \quad \dots (1'2)$$

$$\text{但し } \delta \mathbf{n}'' = \delta \left(\frac{\mathbf{n}}{d} \right)$$

である。なお、 $n'' = n / d$ とし、その微小変化量を $\delta n''$ とする。

【0 1 0 3】

微小変化行列 D を n / d の微小変化量 $\delta n''$ に書き替え、(1-5) 式に対応する評価関数 $E(\delta n'')$ をテーラ展開して一次近似すると、

【数 3 2】

$$\begin{aligned} E(\delta \mathbf{n}'') &\doteq \sum_i \left[\tilde{I}_r(\tilde{\mathbf{x}}_i) + \nabla \tilde{I}_r(\tilde{\mathbf{x}}_i) \frac{\partial \tilde{\mathbf{x}}_i''}{\partial \mathbf{d}_{xi}} \frac{\partial \mathbf{d}_{xi}}{\partial \delta \mathbf{n}''} \delta \mathbf{n}'' - \tilde{I}_b(\tilde{\mathbf{x}}_i) \right]^2 \\ &= \sum_i \left[\mathbf{g}_i^t \mathbf{J}_{dxi}^t \mathbf{J}_{\delta n''} \delta \mathbf{n}'' + e_i \right]^2 \quad \dots (1'3) \end{aligned}$$

$$\text{但し } \mathbf{d}_{xi} = \frac{\partial \mathbf{d}_{xi}}{\partial \delta \mathbf{n}''} \delta \mathbf{n}'', \quad \mathbf{J}_{\delta n''} = \mathbf{J}_{\delta n''}(\mathbf{d}_{xi}) = \frac{\partial \mathbf{d}_{xi}}{\partial \delta \mathbf{n}''} \quad 20$$

(「 ∇ 」は、(1-5) 式の一次近似の範囲で等しいものとする。)

となる。

【0 1 0 4】

(1'-3) 式の評価関数 $E(\delta n'')$ を最小化する微小変化量 $\delta n''$ は、評価関数 $E(\delta n'')$ を微小変化量 $\delta n''$ で微分し、その微分値を 0 とする微小変化量 $\delta n''$ として求めることができる。この場合、 g_i (輝度勾配)、 e_i (輝度差分) は、基準画像 I_b 及び参照画像 I_r から算出され、ヤコビアン J_{dxi} は、座標 x (x, y) から算出され、ヤコビアン $J_{\delta n''}$ は、基準カメラ 1 2 及び参照カメラ 1 4 の内部パラメータ A_b 、 A_r 、並進ベクトル t から算出できる。したがって、微小変化量 $\delta n''$ は、最小二乗法を用いて、

【数 3 3】

$$\mathbf{A} \delta \mathbf{n}'' = -\mathbf{b} \quad \dots (1'4)$$

$$\text{但し } \mathbf{A} = \sum_i \mathbf{J}_{\delta n''}^t \mathbf{J}_{dxi} \mathbf{g}_i \mathbf{g}_i^t \mathbf{J}_{dxi}^t \mathbf{J}_{\delta n''}$$

$$\mathbf{b} = \sum_i e_i \mathbf{J}_{\delta n''}^t \mathbf{J}_{dxi} \mathbf{g}_i$$

から求めることができる。

【0 1 0 5】

以上のようにして求めた微小変化量 $\delta n''$ から、(1'-2) 式を用いて射影変換行列 H の微小変化行列 D を求め、射影変換行列 H を次の (1'-5) 式にしたがって更新する。

【0 1 0 6】

【数 3 4】

$$\mathbf{H} \leftarrow \mathbf{H} + \mathbf{D} \quad \dots(1'5)$$

【0 1 0 7】

また、微小変化量 $\delta n''$ を前回の演算で求めた n'' ($= n / d$) に加算し、次の (1' - 6) 式にしたがって更新する。

【0 1 0 8】

【数 3 5】

$$n'' \leftarrow n'' + \delta n'' \quad \dots(1'6)$$

【0 1 0 9】

そして、(1' - 5) 式で求めた射影変換行列 H と、(1' - 6) で求めた n'' とを用いて、再び (1' - 3) 式の評価関数 $E(\delta n'')$ の値を算出する処理を繰り返し、評価関数 $E(\delta n'')$ の値が所定の値以下に収束したときの射影変換行列 H を所望の射影変換行列 H とする。

【0 1 1 0】

さらに、射影変換行列 H が収束した際の n'' から、平面パラメータである法線ベクトル n 及び距離 d は、

【数 3 6】

$$n = \frac{n''}{|n''|} \quad \dots(1'7)$$

【数 3 7】

$$d = \frac{1}{|n''|} \quad \dots(1'8)$$

として求めることができる。

【0 1 1 1】

このように、予め求めた回転行列 R 及び並進ベクトル t を用いることにより、射影変換行列 H を迅速且つ高精度に推定できるとともに、法線ベクトル n 及び距離 d を射影変換行列 H から直ちに算出することができる。

【0 1 1 2】

<ステップ S 4>

ステップ S 4 は物体を検出する処理であり、図 6 に示すステップ S 4 1 ~ ステップ S 4 6 のサブルーチン処理からなる。

【0 1 1 3】

ステップ S 4 1 において、基準カメラ 1 2 及び参照カメラ 1 4 によって、立体領域をステレオ計測し、物体の各エッジ点のワールド座標 C_w を求める。

【0 1 1 4】

ステップ S 4 2 において、ワールド座標 C_w の高さ方向の座標 Y_w (図 7 参照) に基づき、平面からの高さにより物体の候補点を抽出する。具体的には、図 7 に示すように、平面からの高さが T_{min} (例えば、20 cm) 以上であって T_{max} (例えば、2.5 m) 未満の空間に存在する候補点 ($T_{min} \leq Y_w < T_{max}$) を抽出する。これにより、道路上に設けられた歩道橋、トンネルの入口部、看板等の少なくとも一部が除外され、他

10

20

30

40

50

の車両やガードレール等の車両 10 の走行に関わり合いのあり得る部分のみが抽出されやすくなる。これにより、図 7 の候補点 P a は抽出され、候補点 P b は除外される。

【0115】

また、車幅方向である X w 方向及び前後方向である Z w 方向についても、所定範囲内に制限して候補点の抽出を行うようにしてもよい。これにより、車両 10 が通過する可能性のない箇所に対して無駄な投票処理を行うことが防止され、計算量を低減することができる。この場合、例えば、図 8 に示すように x 方向については $-10 \sim 10$ m、z 方向については $0 \sim 40$ m の範囲に制限するとよい。

【0116】

ステップ S 4 3 において、物体の各候補点をその X w、Z w 座標に応じて図 8 に示す投票面 50 上に設けた一定サイズの柵目（セル）単位に投射する。投票面 50 は、ワールド座標系の直交する 2 軸である座標 X w と座標 Z w（図 16 参照）の座標面として表される。このとき、同物体のセルに対して複数の候補点が重複して投射される場合には、その重複数を記録する。このように重複数を考慮しながら候補点を投射する処理を投票と呼び、重複数を投票数と呼ぶ。投票の処理では、前記ステップ S 4 2 において T m i n 未満の点及び T m a x 以上の点が予め除外されているため、歩道橋、トンネルの入口部、看板等に対応する点の投票数は 0 又は十分に小さい値となる。なお、図 8 及び図 9 に示す投票面 50 は、説明上の模式的なものであって、他の図 5 等とは関連付けられていない。

【0117】

ステップ S 4 4 において、投票面 50 上に投票された候補点を隣接する群毎にグループ分けするクラスタリング処理を行う。クラスタリング処理によって分けられた群をクラスタと呼ぶ。クラスタリング処理としては、最短距離法（Nearest Neighbor Method）を挙げることができ、最短距離法で用いる特徴量としては幅（座標 X w）及び奥行き（座標 Z w）を用いるとよい。このようなクラスタリング処理によれば、検出物体のモデルが不要であって、種々の形状の物体を検出することができる。

【0118】

このステップ S 4 4 のクラスタリング処理によって、例えば、図 9 に示すように、投票面 50 上で 3 つのクラスタ 52 a、52 b 及び 52 c が得られる。

【0119】

なお、ステレオ計測における対応探索のミス（マッチングミス）によるノイズを除去することを目的として、クラスタリング処理を行った後にクラスタに対して膨張収縮処理を行うようにしてもよい。物体をステレオ計測する際にマッチングミスがあると、計測される 3 次元位置には誤差が生じるため、計測された物体形状には凹凸（ノイズ）が生じ、このノイズによりクラスタ形状が異なることがある。膨張収縮処理では、膨張により凹凸部をつなげ、収縮により元の大きさに戻すため、ノイズの影響を抑えた形状にすることができる。

【0120】

ステップ S 4 5 において、クラスタリング処理によって分けられた各クラスタ 52 a、52 b、52 c が物体であるか又はノイズであるかを判断し、ノイズによるクラスタを除去する。

【0121】

具体的には、まず、得られた各クラスタ 52 a、52 b 及び 52 c に対してそれぞれ合計投票数を求める。つまり、クラスタ 52 a の合計投票数は 38 であり、クラスタ 52 b の合計投票数は 21 であり、クラスタ 52 c の合計投票数は 3 である。また、各クラスタ 52 a、52 b 及び 52 c における面積上の重心 g の奥行きである座標 Z w の値 Z g を基準とした閾値 T h z と各合計投票数とを比較し、合計投票数が閾値 T h z 以下であるクラスタはノイズであるとして除去する。閾値 T h z は以下の（4-1）式で表される。

【0122】

10

20

30

40

【数 3 8】

$$Thz = Kg \times (1/Zg)^2 \dots (4-1)$$

【0 1 2 3】

ここで、 Kg は係数であって、例えば、1 m 先に物体が存在するとした場合の最小の合計投票数である。(4-1) 式は、画像中に映し出される物体の面積が距離の二乗に反比例して小さくなるという現象に基づいて設定されている。

【0 1 2 4】

このような、ステップ S 4 5 の処理によって、例えば、合計投票数の少ないクラスタ 5 2 c はノイズとして除去される。また、歩道橋、トンネルの入口部、看板等の合計投票数が小さい物体もノイズとして除去される。

【0 1 2 5】

ノイズが除去された投票面は、図 5 の例に則してより実際に近いデータとして示すと、図 10 に示すようになり、この投票面 5 0 が所定の記憶部に記録される。図 10 から明らかなように、この投票面 5 0 には、比較的近い前方で車線変更を行っているトラックに対応したクラスタ 5 4 a と、該トラックより前方を走る乗用車に対応したクラスタ 5 4 b と、ガードレールに対応したクラスタ 5 4 c が抽出されている。また、投票面 5 0 には、設計者の確認用に座標 Xw 、座標 Zw 及び自転車である車両 1 0 が模式的に示されている。

【0 1 2 6】

ステップ S 4 6 において、残ったクラスタ 5 4 a ~ 5 4 c を物体として認識し、対応する物体位置領域を切り出して、所定の記憶部に記憶する。

【0 1 2 7】

ステップ S 4 (図 3 参照) の物体抽出処理はこのようなステップ S 4 1 ~ S 4 6 により構成されているが、各ステップについて以下さらに詳細に説明する。

【0 1 2 8】

ステップ S 4 1 は、図 11 に示すステップ S 4 1 1 ~ ステップ S 4 1 7 のサブルーチン処理からなる。

【0 1 2 9】

ステップ S 4 1 1 (基準画像特徴点抽出手段) において、基準画像 I_b からエッジ及び特徴点を抽出するソーベルフィルタ処理を行う。このソーベルフィルタ処理とは、画像輪郭抽出のためのフィルタ処理であって、画素毎にその近傍の画素に所定の係数をそれぞれ乗算し、結果を合計する処理であって、垂直方向、水平方向の二つの係数行列を用いてこの処理を行う。

【0 1 3 0】

すなわち、自動車のように、表面が鏡面反射している物体は、見る角度によって反射光が変化するため、同じ点を左右の画像で観測しても輝度が異なってしまう。そのため、左右の画像間での領域ベースマッチングがうまく行かず、ステレオ距離計測が不正確となることがある。そこで、テクスチャレスな部分や鏡面反射している部分はステレオマッチングをせずに、エッジ部分のみステレオマッチングを行い、距離の計測をする。そのため、先ず入力画像にソーベルフィルタ処理を行い、エッジや特徴点を抽出し、この後二値化し、図 12 に示すエッジ画像 6 0 を作成する。図 12 から明らかなように、この時点のエッジ画像 6 0 には、路面の白線等の物体検出の処理には無関係な部分も抽出されている。

【0 1 3 1】

なお、図 12 では、説明の便宜上エッジ画像 6 0 を模式的に示しており、実際には、図 13 で示すような画像データが得られる。

【0 1 3 2】

ステップ S 4 1 2 において、白線等の道路平面にあるエッジは検出対象ではないため、エッジ画像 6 0 から道路平面領域抽出処理 (ステップ S 2) で得られた平面領域 Π_f (図

10

20

30

40

50

5 参照)の部分を除去する処理を行う。具体的には、エッジ画像60と平面領域 Π_f との二値的な排他処理を行い図14に示す修正エッジ画像62を得る。この際、エッジ画像60における上部の所定幅の領域や下部のボンネットの領域等は検出対象がないことが明らかであって、しかもこれらの領域はエッジ画像60上の場所が固定されていることから、これらの部分に対しても所定の領域指定手段により除去する。

【0133】

なお、エッジ画像60から平面部分が完全に取り除けなくとも、後述するように車両10の通過する空間に限定した処理を行うので、検出対象として誤検出されることはない。

【0134】

ステップS413において、修正エッジ画像62上に残った各エッジ点に対応する参照画像 I_r 上の探索範囲としてのエピポーララインEPを設定する(図15参照)。エピポーララインEPは、修正エッジ画像62上におけるエッジ点の参照画像 I_r 上に対応する点を含む直線として、参照カメラ14の内部パラメータ、基準カメラ12の内部パラメータ、参照カメラ14と基準カメラ12との回転行列R及び並進ベクトルtに基づいて算出されるが、詳しくは後述する。

【0135】

ステップS414において、道路平面領域抽出処理(ステップS2)で得られた平面領域 Π_f に射影変換行列の逆行列をかけて参照画像 I_r 上における参照平面領域 Π_{fr} を求めて、参照画像 I_r 上に投影する。

【0136】

ステップS415において、参照画像 I_r 上におけるエピポーララインEPから参照平面領域 Π_{fr} の部分を除去する処理を行い、エピポーララインEPは非平面領域に限定される。

【0137】

ステップS416において、エッジ点に対応する基準画像 I_b 上の小領域に対して、参照画像 I_r のエピポーララインEP上で領域ベースマッチング処理を行う。この領域ベースマッチング処理とは、基準画像 I_b におけるエッジ点を中心とした小さいマッチングウィンドウを作成し、該マッチングウィンドウと参照画像 I_r におけるエピポーララインEP上の小ウィンドウとの類似度の計算を順次行う処理である。領域ベースマッチング処理によって最も類似度の高い点がエッジ点の対応点(ウィンドウ)として求められる。

【0138】

この際、まず、基準画像 I_b から参照画像 I_r へ領域ベースマッチング処理を行い、計算された類似度を閾値と比較し、マッチングが成功したと判断されたとき、今度は参照画像 I_r から基準画像 I_b へ領域ベースマッチングを行い、先の基準画像 I_b の点に一致した場合に、マッチングが成立すると判断する。このような領域ベースマッチングを行うことで、繰り返しパターンによるマッチングミスを抑えることができる。ここで用いる閾値としては、類似度の最大値に対する第1閾値と、類似度の最大値から類似度の2番目の最大値との差に基づく第2閾値を設けて判断してもよい。

【0139】

類似度の計算には、例えば、正規化相互相関関数(ZNCC)を類似度関数として用いることができる。正規化相互相関関数ではパターンの類似度を計算しているため、基準画像 I_b と参照画像 I_r とに全体的な輝度のオフセットずれがある場合であってもマッチングのミスが発生しにくい。正規化相互相関関数は、次の(4-2)式により求められる。

【0140】

【数 3 9】

$$ZNCC = \frac{\sum_{\mathbf{x} \in R} (I_b(\mathbf{x} + \mathbf{u}) - \bar{I}_b)(I_r(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - \bar{I}_r)}{\sqrt{\sum_{\mathbf{x} \in R} (I_b(\mathbf{x} + \mathbf{u}) - \bar{I}_b)^2} \sqrt{\sum_{\mathbf{x} \in R} (I_r(\mathbf{x} + \mathbf{v}) - \bar{I}_r)^2}} \quad \dots(4-2)$$

【0 1 4 1】

10

ここで、 I_b 、 I_r はそれぞれ基準画像と参照画像を示し、 R はウィンドウ領域を示す。また $\mathbf{x}$ はウィンドウ内のピクセルの位置を示す。また、 $\mathbf{u}$ 及び $\mathbf{v}$ はそれぞれ基準画像、参照画像のウィンドウの基準位置を示す。

【0 1 4 2】

また、基準画像 I_b 及び参照画像 I_r の種類や必要な計算速度等に基づいて他の類似度関数（SSD（2乗残差和）、NSSD及びSAD（絶対値和）等）を用いてもよい。

【0 1 4 3】

このステップS 4 1 6における領域ベースマッチング処理は、基準画像 I_b に関しては平面領域 Π_f が除かれた部分のエッジ点のみが処理対象となり、一方、参照画像 I_r に関してはエピポーラインEP上のうち参照平面領域 Π_{fr} が除かれた部分のみが処理対象となる。したがって、計算負荷が大幅に削減されるとともに、平面領域の点を検出してしまうことがない。また、計算負荷が低減されることから、計算のためのハードウェアに関して低廉化を図ることができる。

20

【0 1 4 4】

ステップS 4 1 7（第一の物体位置算出手段）において、領域ベースマッチングの成立した基準画像 I_b 上の点（ウィンドウ）と参照画像 I_r 上の点（ウィンド）に基づいて、三角測量の原理に基づくステレオ計測により対応する点のカメラ座標 C_c を計算する。

【0 1 4 5】

ステップS 4 1 8において、カメラ座標 C_c を自車である車両10を基準としたワールド座標 C_w に変換する。具体的には、図16に示すように、カメラ座標系を基準カメラ12の光学中心を原点とし、光軸を座標軸 Z_c として含む直交座標 X_c 、 Y_c 、 Z_c と表す。また、ワールド座標系は座標軸 Y_w を法線ベクトル $\mathbf{n}$ 方向に、座標軸 X_w 、 Z_w を平面 Π 上に設けた直交座標系 X_w 、 Y_w 、 Z_w と表す。なお、座標軸 Z_w は車両の前後方向とし、原点は、車両に対する物体位置を求める際に基準とする車両の特定位置（の平面 Π 上の位置）とする。さらに、ワールド座標系の原点からカメラ座標系の原点へ向かうベクトルを $[t_{wx}, t_{wy}, t_{wz}]^t = t_w$ として表す（ t_{wy} は距離 d に等しい）。各パラメータをこのように表したとき、ワールド座標 C_w は、以下の（4-3）式で表される。

30

【0 1 4 6】

【数 4 0】

40

$$\mathbf{C}_w = \mathbf{R}_w \cdot \mathbf{C}_c + t_w \quad \dots(4-3)$$

【0 1 4 7】

ここで、法線ベクトル $\mathbf{n}$ を（4-4）式で表したとき、回転行列 $\mathbf{R}_w$ は、（4-5）式で表される。

【0 1 4 8】

【数 4 1】

$$\mathbf{n}=(n_x,n_y,n_z)^t \quad \cdots(4-4)$$

【 0 1 4 9】

【数 4 2】

$$\mathbf{R}_w=\begin{pmatrix} \cos \pi & -\sin \pi & 0 \\ \sin \pi & \cos \pi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

但し $\varphi=\arctan\left(\frac{n_x}{n_y}\right)$ (ロール角)

…(4-5)

$\theta=\arctan(-n_z)$ (ピッチ角)

ϕ : Zw軸に対するカメラ光軸の向き(ヨー角)

10

20

30

40

50

【0150】

なお、説明を簡単にするために、図11のフローチャートでは、ステップS413～ステップS418の処理を直列的に示したが、實際上、修正エッジ画像62に表される各エッジ点毎にステップS413～ステップS418を実行し、対応するワールド座標Cwを求める。

【0151】

このようにして、修正エッジ画像62上の各エッジ点は奥行きである座標軸Zwに基づいて、例えば、図17に示すような奥行き画像64として表すことができる。この奥行き画像64では、座標軸Zwの値（又はワールド座標系の原点からの距離）に応じた大きさの点が示されている。各点は、座標軸Zwの値に応じて色の変化するグラデーション状の点で表してもよい。奥行き画像64は設計者の動作確認のために供されるものであり実際上は設けなくてもよいが、該奥行き画像64を生成するために必要なワールド座標Cwは所定の記憶部に記録しておく。

10

【0152】

上述したように、ステップS41の処理（ステップS411～S418）によれば、基準画像I_b及び参照画像I_rに基づいて、物体のエッジ点毎にワールド座標Cwを求めることができる。この際、平面領域Π_fを除外した部分について処理を行うので、計算負荷の低減が図られる。このうち、ステップS413～S416は参照画像対応部探索手段ということができる。

【0153】

20

<ステップS5>

ステップS5は物体の相対速度を算出する処理であり、図18に示すステップS51～ステップS55のサブルーチン処理からなる。

【0154】

ステップS51において、連続する時刻の基準画像I_bから物体領域の重なり割合Rateを算出する。

【0155】

ステップS52において、連続する時刻における物体の重心移動距離L_gを算出する。

【0156】

ステップS53（同一物体判定手段）において、重なり割合Rate及び重心移動距離L_gに基づいて閾値判定による同一物体の判定を行う。

30

【0157】

ステップS54において、物体の位置を高精度に求めるため再計算して位置ベクトルP_tを求める。

【0158】

ステップS55において、位置ベクトルP_tに基づいて、物体の相対速度ベクトルV_{obs_{t-rel}}を算出する。

【0159】

ステップS5（図3参照）はこのようなステップS51～S55により構成されているが、各ステップについて以下さらに詳細に説明する。なお、ステップS51～S55についての説明では、検出された各物体のうち、基準画像I_bにおけるトラック70（図5参照）に対する処理を例示的に説明するが、他の検出物体である乗用車72やガードレール74についても同様の処理が行われる。ステップS51は、図19に示すステップS511～ステップS517のサブルーチン処理からなる。

40

【0160】

ステップS511において、前時刻のステップS517で記憶されたテンプレート80aを所定の記憶領域から呼び出す。ここで、テンプレート80aとは投票面50（図20参照）におけるクラスタ54aに対応したトラック70の基準画像I_bにおける像を領域指定して記録したものであり、例えば、平面から1.5mの高さの領域として記録されている。

50

【0161】

概念的には、図20に示すように、点P0は、投票面50上の点であり、光学中心Oから一定角度で走査し、クラスタ54aに当たる点とする。点P0に基づいてワールド座標Cwが計算できる。点Prを点P0と同じ幅位置と奥行位置であり、且つ道路平面Π上の点とする。点Prは、道路平面Π上の点であることから高さが0である。点Pxは、点P0と同じ幅位置と奥行位置であり、且つ道路平面Πから1.5mの高さをもつ点とする。次に点Pr、Pxを用いてカメラ座標Ccに変換する。カメラ座標Ccに変換後、透視投影行列を用いて基準画像I_b上の座標に変換すればよい。このようにして前時刻のクラスタ54aに対応したテンプレート80aが求められて、記録されている。同様に、乗用車72に対応した前時刻のクラスタ54b及びガードレール74に対応した前時刻のクラスタ54cに対しても図21に示すテンプレート80b及びテンプレート80cが記録されている。

【0162】

また、前記ステップS418で各物体の高さが求められていることから、各テンプレート80a、80b及び80cの高さは求められた物体の高さに応じて設定してもよい。

【0163】

ステップS512において、現時刻のメインルーチン処理におけるステップS0で取得した基準画像I_bを読み出す。なお、ここではLOGフィルタやヒストグラム平坦化等の処理を施す前の原画像を用いるものとする。

【0164】

ステップS513（テンプレートマッチング手段）において、各テンプレート80aを用いて、現時刻に取得した基準画像I_b上でテクスチャに基づくテンプレートマッチングを行い、類似度の最も高い位置に各テンプレート80aを移動させる。テンプレートマッチングの具体的手法としては、前記のZNCC（4-2）式や、SSD、SAD等を用いたマッチングを挙げることができる。

【0165】

ステップS514において、前記ステップS46で記録したデータに基づいて、現時刻に求められたクラスタ54aを呼び出す。

【0166】

ステップS515（物体位置領域算出手段）において、呼び出したクラスタ54aに対してそれぞれ対応する物体位置領域82aを求める。この物体位置領域82aは前記ステップS511で説明した手順によって求められる。物体位置領域82aは、平面的なクラスタ54aに基づいて求める方法以外にも、図17に示されるような奥行き画像64における各エッジ点の3次元的な空間位置に基づいて求める方法を採用してもよい。

【0167】

ステップS516（重なり割合算出手段）において、前記ステップS513で移動したテンプレート80aと、前記ステップS515で求められた物体位置領域82aとの重なり割合Rateを次の（5-1）式で算出する。

【0168】

【数43】

$$\text{Rate} = (R_{t-1} \cap R_t) / \min(R_{t-1}, R_t) \quad \cdots (5-1)$$

$$\text{Rate} = (R_{t-1} \cap R_t) / \min(R_{t-1}, R_t) \quad \cdots (5-1)$$

【0169】

ここで、R_{t-1}は、移動したテンプレート80aの領域であり、R_tは、対応する物体位置領域82aである。また、∩は領域の重なり部分を示す演算子であり、min(R_{t-1}, R_t)はR_{t-1}とR_tの面積の小さいいずれか一方を選択する関数である。

【0170】

10

20

30

40

50

(5-1)式によれば、移動したテンプレート80aと物体位置領域82aが完全に一致する場合には $Rate = 1$ となり、一致する部分が全くない場合には $Rate = 0$ となる。また、概念的には、図21に示すように、基準画像 I_b 上でテンプレートを示す R_{t-1} と物体位置領域を示す R_t に対して重複する部分 $R_{t-1} \cap R_t$ の割合を求めることになる。

【0171】

重なり割合 $Rate$ が所定の閾値 Tha ($0 < Tha < 1$) 以上である場合には、対応する前時刻の投票面50におけるクラスタと現時刻の投票面50におけるクラスタを同一物体に基づくものであると仮判定されてトラッキングされる。トラッキングとは、異なった時刻に得られたクラスタの対応付けを行う処理であり、これにより物体の動作が検出可能となる。

10

【0172】

ステップS517において、前記ステップS515で求められた物体位置領域82aを新たなテンプレート80aとして所定の記憶部に記録する。この新たなテンプレート80aは、前記のとおり次回処理時のステップS511で呼び出される。

【0173】

このように、ステップS51 (ステップS511~S517) においては、テンプレート80aに基づいてテンプレートマッチングを行うとともに、投票面50のクラスタ54aから物体位置領域82aを求めるため、2重のトラッキング処理を行っており、これらの結果の重なり割合 $Rate$ を求めてトラッキング処理の信頼性を高めている。実際には、このステップS51で求めたトラッキングの関連づけはステップS53で最終的に確認

20

【0174】

次に、ステップS52の処理内容について説明する。ステップS52は、図22に示すステップS521~ステップS524のサブルーチン処理からなる。

【0175】

ステップS521において、前記ステップS46で記録したデータに基づいて、現時刻に求められたクラスタ54aを呼び出す。

【0176】

ステップS522 (物体重心位置算出手段) において、クラスタ54aの現時刻の重心 g_T を求めて、図10に示すように投票面50に記録する。

30

【0177】

ステップS523において、前時刻にステップS533を実行したときに記録したクラスタ54aの前時刻の重心 g_0 を読み出す。

【0178】

ステップS524 (物体重心間移動量算出手段) において、図10に示すように、クラスタ54aの重心 g_0 と重心 g_T との重心移動距離 L_g を算出する。

【0179】

このように、ステップS52 (ステップS521~S524) においては、クラスタ54aの前時刻の重心 g_0 と現時刻の重心 g_T との重心移動距離 L_g を求めており、短時間の移動距離として合理的なもののクラスタ同士を対応づけることができる。実際には、このステップS52で求めたトラッキングの関連づけは次のステップS53で最終的に確認

40

【0180】

次に、ステップS53の処理内容について説明する。ステップS53は、図23に示すステップS531~ステップS534のサブルーチン処理からなる。

【0181】

ステップS531において、対応する物体毎に、前記ステップS516で求めた重なり割合 $Rate$ と閾値 Tha とを比較し、 $Rate \geq Tha$ であればステップS532へ移り、 $Rate < Tha$ であればステップS534へ移る。

【0182】

50

ステップ S 5 3 2 において、対応する物体毎に、前記ステップ S 5 2 4 で求めた重心移動距離 L_g と閾値 T_{hb} とを比較し、 $L_g \leq T_{hb}$ であればステップ S 5 3 3 へ移り、 $L_g > T_{hb}$ であればステップ S 5 3 4 へ移る。この閾値 T_{hb} は、自車の走行速度と対向車の走行速度を考慮して、処理上の演算周期に物体が移動可能な合理的な距離として固定値で設定されている。

【0183】

ステップ S 5 3 3 においては、対応付けられた 2 つの物体は同一物体であるとして確定認識され、記録される。また、重心 g_0 を $g_0 \leftarrow g_T$ として入れ替えて所定の記憶部に記憶する。

【0184】

一方、ステップ S 5 3 4 においては、対応付けられた 2 つの物体は別物体であったものとして認識される。この場合、対応付けられなかった物体については、画像の前後関係に基づいて撮像範囲内に入ってきた新たな物体として認識する登録処理を行い、又は撮像範囲から抜け出た物体として所定の削除処理を行う。

【0185】

このように、ステップ S 5 3 (ステップ S 5 3 1 ~ S 5 3 4) においては、前記ステップ S 5 2 までの処理で対応付けられた 2 つの物体について、重なり割合 R_{ate} と重心移動距離 L_g に基づいて、同一物体か否かの確認を一層確実に行うことができる。

【0186】

なお、このステップ S 5 3 1 ~ S 5 3 4 は、予め仮に対応付けられた 2 つの物体に対して行うものとして説明したが、前時刻検出の各物体と、現時刻検出の各物体に対して総当たりの行って、対応付けを行ってもよい。

【0187】

また、ステップ S 5 3 2 で用いられる閾値 T_{hb} は固定値であるものとして説明したが、車両 10 から重心 g_0 までの座標 Z_w 方向の距離 Z_g に基づいて変化する関数としての閾値 $T_h(Z_g)$ を閾値判定に用いてもよい。この場合、ある物体の重心 g_0 までの座標 Z_w 方向の距離が Z_{g1} であったとすると、閾値は $T_h(Z_{g1})$ として表される。また同様に、閾値を自車速 $|V_v|$ に基いて変化する関数としての閾値 $T_h(|V_v|)$ を閾値判定に用いてもよい。

【0188】

次に、ステップ S 5 4 及びステップ S 5 5 の処理内容について説明する。ステップ S 5 4 は、図 2 4 に示すステップ S 5 4 1 ~ ステップ S 5 4 4 からなり、ステップ S 5 5 は、図 2 6 に示すステップ S 5 5 1 ~ S 5 5 3 からなる。

【0189】

ステップ S 5 4 1 (注目点決定手段) において、基準画像 I_b における物体の注目点 P_c を特定する。この注目点 P_c は、ステップ S 5 1 3 のテンプレートマッチングにより移動したテンプレート 80 a の領域内に設定し、例えば、テンプレート 80 a の中心点や、物体の角部等の特徴的な点として特定すると、常に物体上の略同一点に特定される。

【0190】

ステップ S 5 4 2 において、注目点 P_c に対応させたエピポーラライン E_P を参照画像 I_r 上に設定する。このとき、クラスタ 5 4 a を利用することで、トラック 70 までの概略距離を算出できることから、これに基づいてエピポーラライン E_P を必要十分な程度に短く設定できる。

【0191】

クラスタを利用した注目点 P_c の概略距離の算出方法を説明する。まず、クラスタ 5 4 a の重心 g_T (図 10 参照) より Z_w 座標を求める。これを注目点 P_c の Z_w 座標に仮設定し、注目点 P_c の画像座標 (u_{pc}, v_{pc}) とともに、次の (5-2) 式に代入して対応する X_w 座標を算出する。ここで、 λ は定数倍の自由度を表す。

【0192】

10

20

30

40

【数 4 4】

$$\lambda \begin{bmatrix} u_{pc} \\ v_{pc} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A}_b \left(\mathbf{R}_w^t \mid -\mathbf{R}_w^t \mathbf{T}_w \right) \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots(5-2)$$

【0193】

10

こうして求めた投票面 50 上の位置 (X_w , Z_w) と基準カメラの位置 (t_{wx} , t_{wz}) を通る直線を設定し、その直線に沿ってクラスタ 54a の点を探索して、車両 10 に最も近い点の Z_w 座標を注目点 P_c の概略距離とすればよい。

【0194】

ステップ S543 において、前記ステップ S416 と同様に注目点 P_c に対応する基準画像 I_b 上の点に対して、参照画像 I_r のエピポーラライン EP 上で領域ベースマッチング処理を行う。

【0195】

ステップ S544 (第二の物体位置算出手段) において、前記ステップ S417 と同様に、マッチングの成立した基準画像 I_b 上の点と参照画像 I_r 上の点に基づいて、ステレオ計測によって対応する点のカメラ座標 C_c を計算する。さらに、前記ステップ S418 と同様に、求められたカメラ座標 C_c をワールド座標 C_w に変換する。求められた物体の位置であるワールド座標 C_w は、図 25 に示すように、投票面 50 上において 2 次元的な位置ベクトル P_t として表す。

20

【0196】

次に、図 26 のステップ S551 において、物体の前時刻に検出した位置ベクトル P_{t-1} を読み出す。この位置ベクトル P_{t-1} は、前時刻処理時のステップ S553 で所定の記憶部に記録されている。

【0197】

ステップ S552 (物体移動ベクトル算出手段) において、次の (5-3) 式により物体の相対速度ベクトル (移動ベクトル) $V_{obst-rel}$ を算出する。

30

【0198】

【数 4 5】

$$\mathbf{V}_{obst_rel} = (\mathbf{P}_t - \mathbf{P}_{t-1}) / \Delta t \quad \dots(5-3)$$

【0199】

ここで、 Δt は処理の演算周期であり、単位時間あたりの位置ベクトル P_t の変化として相対速度ベクトル $V_{obst-rel}$ が求められる。

40

【0200】

ステップ S553 において、次の処理に供するために、位置ベクトル P_t を $P_{t-1} \leftarrow P_t$ と代入して記憶部に記録する。ここで記録する位置ベクトル P_t は、ステップ S517 において新たなテンプレート 80a として記憶した物体位置領域 82a に対して、ステップ S541 ~ S544 と同様の処理を行い更新したものである。

【0201】

このようなステップ S54 及び S55 の処理によれば、エピポーラライン EP を十分に短く設定していることから、ステップ S543 における領域ベースマッチングでマッチングミスの発生する頻度が十分に低くなり物体の距離を一層正確に算出することができる。また、注目点 P_c は常に物体上の略同一点に設定されることから、幅方向 (座標 X_w 方向

50

）の移動を含めて物体の経時的な相対移動を示す相対速度ベクトル $V_{\text{obst-rel}}$ を正確に算出することができる。

【0202】

この結果、トラック70、乗用車72及びガードレール74の相対速度ベクトル $V_{\text{obst-rel}}$ であるベクトル V_{r1} 、 V_{r2} 及び V_{r3} が、図25に示すようにベクトル表示される。図25から明らかなように、ベクトル V_{r1} からはトラック70が左方向に向かって進路変更していることが判断され、ベクトル V_{r2} からは乗用車72が前方に向かって車両10よりもやや速い速度で進行していることが判断される。また、ベクトル V_{r3} からは静止物であるガードレール74が車両10の進行方向と逆方向に相対的に移動していることが判断される。なお、図25における自車速度ベクトル V_v はステップS6及びS7

10

【0203】

次に、エピポーララインの設定方法について説明する。ステレオ3次元計測をするためには基準画像 I_b に映る観測点M1の位置と参照画像 I_r に映る観測点M1の位置をそれぞれ求める必要がある。図27に示すように、観測点M1は基準画像 I_b 上の点 m_b に投影されており、点 m_b は観測点M1と基準カメラ12の光学中心Oを通る直線 L_e 上に存在する。直線 L_e 上の点を探せば、観測点M1を見つけることができ、参照画像 I_r 上に投影される直線 L_e がエピポーラライン EP となる。つまり、基準画像 I_b 上に投影された観測点M1を参照画像 I_r と対応をつけるには、参照画像 I_r 中でのエピポーラライン EP 上を探索すればよいこととなる。なお、図27における点M0及びM2は、同一の点 m_b に

20

【0204】

このエピポーラ拘束の関係式を求める。参照カメラ座標 X_r と基準カメラ座標 X_b の間には、前記の回転行列 R 及び並進ベクトル t を用いて、 $X_r = R \cdot X_b + t$ の関係が成り立つ。

【0205】

このとき、基準カメラ12の正規化画像座標 $X^{\wedge}_b a$ 、参照カメラ14の正規化画像座標 $X^{\wedge}_r a$ 及び並進ベクトル t は同一平面上に存在する。すなわち、スカラー三重積が0になるので、

【数46】

30

$$\tilde{X}_{ra} \cdot (t \times R \cdot \tilde{X}_{ba}) = \tilde{X}_{ra}^t [t]_x R \cdot \tilde{X}_{ba} \quad \dots(5-4)$$

となる。

【0206】

ただし、

【数47】

$$[t]_x = \begin{pmatrix} 0 & -t_3 & t_2 \\ t_3 & 0 & -t_1 \\ -t_2 & t_1 & 0 \end{pmatrix} \quad \dots(5-5)$$

40

と表すことにする。ただし、 t_1 、 t_2 、 t_3 は並進ベクトル t の要素を示す。ここで、正規化画像座標と画像座標との関係より、 $m^{\wedge}_b = A_b X^{\wedge}_b a$ 、 $m^{\wedge}_r = A_r X^{\wedge}_r a$ を代入して整理すると、基礎行列 (Fundamental Matrix) F は次の (5-6) 式及び (5-7) 式で表される。

【0207】

【数 4 8】

$$\mathbf{F} = \mathbf{A}_r^{-1} [\mathbf{t}]_x \mathbf{R} \mathbf{A}_b^{-1} \quad \dots(5-6)$$

【0 2 0 8】

【数 4 9】

$$\tilde{\mathbf{m}}_r^t \mathbf{F} \tilde{\mathbf{m}}_b = 0 \quad \dots(5-7)$$

10

【0 2 0 9】

(5-7) 式により、空間の観測点 M 1 が基準画像 I_b に投影される位置を $\mathbf{m}$ としたとき、 $\mathbf{l}' = \mathbf{F} \mathbf{m}$ とすると、 $\mathbf{m}^t \mathbf{l}' = 0$ より、参照画像 I_r 中では、

【数 5 0】

$$l_1' u' + l_2' v' + l_3' = 0 \quad \dots(5-8)$$

となり、参照画像 I_r 中における観測点 M 1 に対応したエピポーラライン E P となる。ここで、「'」は参照画像であることを示し、 l_1' 、 l_2' 、 l_3' は参照画像のエピポーラライン E P のパラメータを示す。また、 u' 、 v' は参照画像の画像座標を示す。

20

【0 2 1 0】

また、観測点 M 1 の概略位置が既知である場合には、直線 L e の長さを制限することによりエピポーラライン E P を短く設定することができる。

【0 2 1 1】

参照画像 I_r に投影される位置を $\mathbf{m}'$ としたとき、 $\mathbf{l} = \mathbf{F}^t \mathbf{m}'$ とすると、 $\mathbf{l}^t \mathbf{m} = 0$ より、参照画像 I_r 中では、

【数 5 1】

$$l_1 u + l_2 v + l_3 = 0 \quad \dots(5-9)$$

30

となり、観測点 M 1 における基準画像 I_b におけるエピポーラライン E P となる。なお、このエピポーラライン E P の説明で用いたパラメータ u 及び u' は、後述するベクトル u 及び u' とは異なるものである。

【0 2 1 2】

<ステップ S 6>

このステップ S 6 は、自車である車両 1 0 の自車速度ベクトル V_v (図 2 5 参照) を求めるために、道路平面 Π を仮想的に上方から見た V P P 画像を生成するための処理であり、図 2 8 に示すステップ S 6 1 ~ ステップ S 6 3 のサブルーチン処理からなる。すなわち、ステップ S 6 1 において、基準画像 I_b を V P P 画像に変換 (以下、V P P 変換とも呼ぶ) するための変換式 H_{VPP} を算出する。この後、ステップ S 6 2 において、求められた変換式 H_{VPP} を用いて、前記基準画像 I_b を V P P 画像 I_v に変換し、記録する (図 3 3 参照)。さらに、ステップ S 6 3 において、同じ変換式 H_{VPP} を用いて前記平面領域 Π_f を V P P 変換して記録する (図 3 4 参照)。以下、各ステップ S 6 1 ~ S 6 3 について詳細に説明する。

40

【0 2 1 3】

なお、V P P 画像 I_v を撮像する仮想的なカメラを想定し、説明上これを仮想カメラと呼ぶ。

50

【0214】

先ず、図29のステップS611において、基準カメラ12の内部パラメータ A_b の逆行列 A_b^{-1} を読み込む。内部パラメータ A_b は、次の(6-1)式で表される。

【0215】

【数52】

$$A_b = \begin{pmatrix} \alpha_1 & s_1 & C_{x1} \\ 0 & \beta_1 & C_{y1} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots(6-1)$$

10

【0216】

ここで、 α_1 、 β_1 、 s_1 、 C_{x1} 及び C_{y1} は、基準カメラ12のキャリブレーションにより定まる定数である。

【0217】

ステップS612において、道路平面 Π に対する位置姿勢パラメータである法線ベクトル n 及び距離 d (図16参照)を読み込む。

【0218】

ステップS613において、法線ベクトル n 及び距離 d を用いて、基準カメラ12の光軸であるベクトル e_{oz} (図30参照)を法線ベクトル n に一致させる回転行列 R_n を次の(6-2)式～(6-5)式に基づいて算出する。 20

【0219】

【数53】

$$\mathbf{e}_{oz} = (0,0,1)^t \quad \dots(6-2)$$

【0220】

30

【数54】

$$\cos\theta_n = \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{e}_{oz}}{\|\mathbf{n}\| \|\mathbf{e}_{oz}\|} \quad \dots(6-3)$$

【0221】

【数55】

$$\mathbf{c}_n = (c_{n1} \ c_{n2} \ c_{n3})^t = \frac{\mathbf{n} \times \mathbf{e}_{oz}}{\|\mathbf{n} \times \mathbf{e}_{oz}\|} \quad \dots(6-4)$$

40

【0222】

【数 5 6】

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Rn} = & \begin{pmatrix} c_{n1}^2(1 - \cos\theta_n) + \cos\theta_n & c_{n1}c_{n2}(1 - \cos\theta_n) - c_{n3}\sin\theta_n & c_{n1}c_{n3}(1 - \cos\theta_n) + c_{n2}\sin\theta_n \\ c_{n1}c_{n2}(1 - \cos\theta_n) + c_{n3}\sin\theta_n & c_{n2}^2(1 - \cos\theta_n) + \cos\theta_n & c_{n2}c_{n3}(1 - \cos\theta_n) - c_{n1}\sin\theta_n \\ c_{n1}c_{n3}(1 - \cos\theta_n) - c_{n3}\sin\theta_n & c_{n2}c_{n3}(1 - \cos\theta_n) + c_{n1}\sin\theta_n & c_{n3}^2(1 - \cos\theta_n) + \cos\theta_n \end{pmatrix} \\
 & \dots(6-5)
 \end{aligned}$$

【0 2 2 3】

これらの(6-2)式～(6-5)式を図30も参照しながら説明すると、式中で縦二重線で囲まれた部分はノルムを示し、ベクトル e_{0z} は、カメラ座標系における光軸である座標 Z_c (図16参照)の単位ベクトルを示す。また、 c_n は、法線ベクトル n とベクトル e_{0z} に垂直な単位ベクトルであり、角度 θ_n は法線ベクトル n とベクトル e_{0z} とのなす

10

20

30

40

50

角度である。なお、図30におけるベクトル e'_{0x} 、 e'_{0y} 及び e'_{0z} は、仮想カメラ座標系を示す直交単位ベクトルであり、一転鎖線は車両10の前後方向を示す。

【0224】

ステップS614において、投影距離、スケール、画像中心を指定し、道路平面 Π を上方から見た仮想カメラの内部パラメータ A_{vpp} を設定する。内部パラメータ A_{vpp} は、仮想カメラ座標上の画像を画像座標上に変換するための行列であり、次の(6-6)式で表される。

【0225】

【数57】

$$\mathbf{A}_{vpp} = \begin{pmatrix} \alpha_{vpp} & 0 & C_{x_vpp} \\ 0 & \beta_{vpp} & C_{y_vpp} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots(6-6)$$

10

【0226】

ここで、 $\alpha_{vpp} = d_{vpp} \cdot k_{x-vpp}$ 、 $\beta_{vpp} = d_{vpp} \cdot k_{y-vpp}$ である。また、 d_{vpp} は投影距離[m]であり、 k_{x-vpp} 及び k_{y-vpp} はVPP画像 I_v のX座標方向及びY座標方向のスケール[pixel/m]である。さらに、 C_{x-vpp} 及び C_{y-vpp} はVPP画像 I_v 中心のX座標及びY座標である。

20

【0227】

この内部パラメータ A_{vpp} により投影距離に道路平面のパラメータである距離 d を指定すると、検出した道路平面 Π 上に投影される。

【0228】

ステップS615において、車両前後方向とVPP画像の縦軸を一致させるために画像を角度 θ_v 及び角度 $-\phi$ だけ回転させる変換式である回転行列 R_v を算出する。すなわち、図30及び(6-7)式に基づいて基準カメラ12の光軸方向の単位ベクトル e_{0z} をVPPカメラ座標系からみたベクトル u を設定し、該ベクトル u を仮想カメラ座標系における e'_{0x} 、 e'_{0y} 平面に正射影したベクトル u' を(6-8)式に基づいて設定する。

30

【0229】

【数58】

$$\mathbf{u} = \mathbf{R}_n \mathbf{e}_{0z} = (u_x, u_y, u_z)^t \quad \dots(6-7)$$

【0230】

【数59】

$$\mathbf{u}' = (u_x, u_y, 0)^t \quad \dots(6-8)$$

40

【0231】

ベクトル u 及び u' をこのように定義するとき、角度 θ_v はベクトル u' と仮想カメラ座標 e'_{0y} とのなす角度であり(6-9)式で表される。

【0232】

【数 6 0】

$$\theta_v = \arctan\left(\frac{u_x}{u_y}\right) \dots(6-9)$$

【0 2 3 3】

また、角度 ϕ は車両前後方向に対するカメラ光軸であるベクトル e_{0z} とのなす角度であり予め求めておく。求める回転行列 R_v は、次の (6-10) 式で表される。

10

【0 2 3 4】

【数 6 1】

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_v &= \text{Rotate}(\mathbf{e}'_{0z} - \phi) \text{Rotate}(\mathbf{e}'_{0z}, \theta_v) \\ &= \begin{pmatrix} \cos(-\phi) & -\sin(-\phi) & 0 \\ \sin(-\phi) & \cos(-\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_v & -\sin\theta_v & 0 \\ \sin\theta_v & \cos\theta_v & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &\dots(6-10) \end{aligned}$$

20

【0 2 3 5】

ステップ S 6 1 6 において、 A_b^{-1} 、 R_n 、 R_v 及び A_{vpp} に基づいて、VPP 変換のための変換式 H_{vpp} を算出する。変換式 H_{vpp} は、次の (6-11) 式で表される。なお、 $R_{vp} = R_v R_n$ である。

【0 2 3 6】

【数 6 2】

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{vpp} &= \mathbf{A}_{vpp} \cdot \mathbf{R}_v \cdot \mathbf{R}_n \cdot \mathbf{A}_b^{-1} \dots(6-11) \\ &= \mathbf{A}_{vpp} \cdot \mathbf{R}_{vpp} \cdot \mathbf{A}_b^{-1} \end{aligned}$$

30

【0 2 3 7】

つまり、変換式 H_{vpp} では、基準画像 I_b を行列 A_b^{-1} 、 R_n 、 R_v 、及び A_{vpp} で順に変換することと等価な処理が行われる。実際には 1 つの変換式 H_{vpp} で一度に変換が可能であるが、変換の過程を概念的な理解が容易となるように、各行列 A_b^{-1} 、 R_n 、 R_v 、及び A_{vpp} による変換を説明する。

【0 2 3 8】

まず、基準画像 I_b (図 5 参照) に対して逆行列 A_b^{-1} による変換を行うと画像座標からカメラ座標系への変換が行われ、図 3 1 に示すカメラ座標系基準画像 I_{bc} が得られる。

40

【0 2 3 9】

次に、このカメラ座標系基準画像 I_{bc} に対して回転行列 R_n による変換を行うと、カメラ座標系基準画像 I_{bc} は角度 θ_n だけ回転して道路平面 Π に平行になるとともに遠方部分が拡大され、第 1 変換画像 I_{v1} が得られる。図 3 2 に示すように、この第 1 変換画像 I_{v1} は縦軸に対して角度 $(\theta_v - \phi)$ だけ傾いた画像として得られる。

【0 2 4 0】

さらに、第 1 変換画像 I_{v1} に対して回転行列 R_v による変換を行うと、第 1 変換画像 I_{v1} は角度 $(\theta_v - \phi)$ だけ回転して車両前後方向と VPP 画像の縦軸が一致することになり第 2 変換画像 I_{v2} が得られる。

50

【0241】

最後に、第2変換画像 I_{V2} に対して仮想カメラの内部パラメータ A_{VPP} による変換を行うと、スケール変換が行われて所望の大きさのVPP画像 I_V (図33参照) が得られる。

【0242】

このような一連の行列式 $A_{VPP} R_V R_n A_b^{-1}$ によって、変換式 H_{VPP} が構成されており、基準画像 I_b に対して変換式 H_{VPP} によるVPP変換を行うことによりVPP画像 I_V (図33参照) が得られる。前記のとおり、このVPP変換は、ステップS62において行われる。得られたVPP画像 I_V は記憶部に記録される。

【0243】

なお、このVPP画像 I_V は、内部パラメータ A_{VPP} の設定により、図33に示すように画像の左上部が原点であって、車幅方向がX方向 (図33における右方向)、車両前後方向がY方向 (図33における下方向) として規定される。

【0244】

図33から了解されるように、VPP画像 I_V は、道路平面 Π を上方の高い距離から眺めたような画像となり、道路の幅は略一定に映し出される。また、基準画像 I_b 上のトラック70や乗用車72は、画像上方部が拡大するように歪曲して映し出される。

【0245】

また、この後ステップS63においては、平面領域 Π_f (図5参照) に対して変換式 H_{VPP} によるVPP変換を行い、上方から眺めた平面領域 Π_f であるVPP平面画像 I_{Vf} (図34参照) を求めて記録する。このVPP平面画像 I_{Vf} はVPP画像 I_V における道路平面 Π の領域を示すことになる。得られたVPP平面画像 I_{Vf} は記憶部に記憶される。このVPP平面画像 I_{Vf} は、道路平面と同じ形状となっており、図34に示す例では、前方の他のトラック70や路側部等の水平でない構造物や、道路平面と同一レベルでない面が除外された略V形状となっている。

【0246】

<ステップS7 (移動体速度算出手段)>

ステップS7は、前記ステップS6で求めたVPP画像 I_V 及びVPP平面画像 I_{Vf} に基づいて、車両10の自車速度ベクトル V_V (図25参照) を求めるための処理であり、図35に示すステップS71～ステップS77のサブルーチン処理からなる。なお、以下の説明においては、現時刻の処理で得られたVPP画像 I_V 及びVPP平面画像 I_{Vf} をVPP画像 $I_V(t)$ 及びVPP平面画像 $I_{Vf}(t)$ と表し、前時刻に得られたものをVPP画像 $I_V(t-1)$ 及びVPP平面画像 $I_{Vf}(t-1)$ と表して区別する。また、ワールド座標系では車両10の前後方向が座標 Z_w (図10参照) として規定されているが、前記のとおり、VPP画像 I_V では前後方向がY軸と規定されているため、以下のステップS7に関する説明では車両10の前後方向に対応するパラメータには添え字「Y」又は「y」を付けて表す。

【0247】

ステップS71において、前時刻処理時のVPP画像 $I_V(t-1)$ 、VPP平面画像 $I_{Vf}(t-1)$ 及び画像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 、 $\Delta \theta_{yaw-0}$ を呼び出す。画像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 、 $\Delta \theta_{yaw-0}$ は、前時刻処理時のステップS77で記録されたパラメータであり、前時刻におけるVPP画像 $I_V(t)$ とVPP画像 $I_V(t-1)$ とのマッチングによるずれ量を表す。

【0248】

ステップS72において、VPP画像 $I_V(t)$ とVPP画像 $I_V(t-1)$ とのマッチングを行うための探索範囲を設定する。具体的には、画像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 、 $\Delta \theta_{yaw-0}$ を中心とした所定幅を有する範囲として $\Delta X = \Delta X_{MIN} \sim \Delta X_{MAX}$ 、及び $\Delta Y = \Delta Y_{MIN} \sim \Delta Y_{MAX}$ 、 $\Delta \theta_{yaw} = \Delta \theta_{yaw-MIN} \sim \Delta \theta_{yaw-MAX}$ が設定される。ステップS73において、VPP画像 $I_V(t)$ とVPP画像 $I_V(t-1)$ とを前記ステップS72で設定した探索範囲内で相対的に移動させて、VPP画像マッチングを行う。探索範囲は画

10

20

30

40

50

像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 、 $\Delta \theta_{yaw-0}$ を基準とした範囲に設定されているため、VPP画像マッチングに要する時間は短時間で足りる。また、自車速度ベクトル V_V は急激に変化することはないため、類似度が最大となる箇所が画像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 、 $\Delta \theta_{yaw-0}$ を中心とした探索範囲からずれることはない。ステップ S 7 3 における VPP画像マッチングの詳細な処理については後述する（図 3 6 参照）。

【0 2 4 9】

ステップ S 7 4 において、前記ステップ S 7 3 で求めた VPP画像マッチングの結果を参照して、VPP画像 $I_V(t)$ と VPP画像 $I_V(t-1)$ との類似度が最大となる箇所（後述する NSSD (ΔX 、 ΔY 、 $\Delta \theta_{yaw}$) が最小となる箇所）を検出し、その箇所における VPP画像 $I_V(t)$ と VPP画像 $I_V(t-1)$ とのずれ量を移動量 $move(\Delta X_f, \Delta Y_f, \Delta \theta_{yaw-f})$ として求める。ここで、 ΔX_f 、 ΔY_f 及び $\Delta \theta_{yaw-f}$ は VPP画像 $I_V(t)$ と VPP画像 $I_V(t-1)$ との類似度が最大となる箇所における ΔX 、 ΔY 及び $\Delta \theta_{yaw}$ の値である。

【0 2 5 0】

ステップ S 7 5 において、移動量 $move(\Delta X_f, \Delta Y_f)$ に基づいて下記の (7-1) ~ (7-3) 式により車両 10 の自車速度ベクトル V_V の大きさを求める。

【0 2 5 1】

【数 6 3】

$$v_x = \frac{d_{vpp}}{\alpha_{vpp}} \frac{\Delta x_f}{\Delta t} [m/s] \quad \cdots(7-1) \quad 20$$

【0 2 5 2】

【数 6 4】

$$v_z = \frac{d_{vpp}}{\beta_{vpp}} \frac{\Delta y_f}{\Delta t} [m/s] \quad \cdots(7-2)$$

30

【0 2 5 3】

【数 6 5】

$$|V_V| = \sqrt{v_x^2 + v_z^2} [m/s] \quad \cdots(7-3)$$

【0 2 5 4】

ここで、 V_x 及び V_z は、車両 10 の幅方向及び車両前後方向の速度であり、 d_{vpp} 、 α_{vpp} 及び β_{vpp} は前記 (6-6) 式において定義される係数及び数値である。また、前記のとおり Δt は演算周期である。(7-2) 式及び (7-3) 式で、車両前後方向の速度を V_z として添え字「y」でなく「z」を用いているのは、他の処理に対して整合性を考慮し VPP画像の座標からワールド座標系に戻しているためである。

【0 2 5 5】

自車速度ベクトル V_V の大きさは、周知のとおり直交する 2 方向速度成分で形成される斜辺部の長さとして表されることから (7-3) 式が成り立つ。

【0 2 5 6】

(7-3) 式及び (7-4) 式により、自車速度ベクトル V_V の大きさと角度 θ_{yaw} が求まることから自車速度ベクトル V_V が決定され、該自車速度ベクトル V_V を図 2 5 上に表す。なお、角度 θ_{yaw} は、車両 10 の回転角度として用いることもできる。

50

【0257】

ところで、車両10の回転角度をより厳密に求めるためには、VPP画像 $I_V(t-1)$ を ΔX 及び ΔY 方向に並進的に移動させるだけではなく、回転を含んだ移動をさせた上で類似度の演算を行うとよい。この場合、画像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 を中心とした所定幅を有する範囲として $\Delta X = \Delta X_{MIN} \sim \Delta X_{MAX}$ 、 $\Delta Y = \Delta Y_{MIN} \sim \Delta Y_{MAX}$ 及び回転角度としての $\omega = \Delta \theta_{MIN} \sim \Delta \theta_{MAX}$ が設定され、3自由度の移動を行う。

【0258】

ステップS76において、自車速度ベクトル V_V 、角度 θ_{YAW} を記録する。また、ステップS74で求めた ΔX_f 、 ΔY_f 、 $\Delta \theta_{yaw-f}$ を次回処理時の画像マッチング移動量 ΔX_0 、 ΔY_0 、 $\Delta \theta_{yaw-0}$ として用いるために、 $\Delta X_0 \leftarrow \Delta X_f$ 、 $\Delta Y_0 \leftarrow \Delta Y_f$ 、 $\Delta \theta_{yaw-0} \leftarrow \Delta \theta_{yaw-f}$ と代入した後に記録する。 10

【0259】

次に、ステップS73におけるVPP画像マッチングの第1の処理方法について説明する。この第1の処理方法は図36におけるステップS731～S735の処理からなる。なお、このステップS731～S735の処理は、前記ステップS72で設定された探索範囲としての $\Delta X = \Delta X_{MIN} \sim \Delta X_{MAX}$ 、及び $\Delta Y = \Delta Y_{MIN} \sim \Delta Y_{MAX}$ 、 $\Delta \theta_{yaw} = \Delta \theta_{yaw-MIN} \sim \Delta \theta_{yaw-MAX}$ の領域について個別に実行されるが、繰り返し制御についての説明を省略して1回分の処理についてのみ説明する。

【0260】

まず、ステップS731において、VPP平面画像 $I_{Vf}(t-1)$ を現時刻で設定されている $\Delta \theta_{yaw}$ 回転し、 ΔX 及び ΔY の方向に移動させる。（図37の「S731」参照）。なお、回転の中心は、VPP画像における光学中心の位置（ C_{x-vpp} 、 C_{y-vpp} ）とする。 20

【0261】

ステップS732（第二の道路平面領域抽出手段）において、VPP平面画像 $I_{Vf}(t)$ と前記ステップS731で移動したVPP平面画像 $I_{Vf}(t-1)$ との共通領域 $R(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta_{yaw})$ を求める（図37の「S732」参照）。

【0262】

ステップS733において、VPP画像 $I_V(t-1)$ をその時点で設定されている $\Delta \theta_{yaw}$ 回転し、 ΔX 及び ΔY の方向に移動させる（図37の「S733」参照）。 30

【0263】

ステップS734において、共通領域 $R(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta_{yaw})$ 、VPP画像 $I_V(t)$ 及び移動したVPP画像 $I_V(t-1)$ に基づいて、次の(7-4)式によりVPP画像マッチングとしてNSSDを計算する。

【0264】

【数66】

$$NSSD(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta_{yaw})$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{x_i \in R(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta_{yaw})} \{I_V(t-1) \text{ move}(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta_{yaw})(x_i) - I_V(t)(x_i)\}^2 \quad \dots(7-4) \quad 40$$

【0265】

ここで、 x_i は共通領域 $R(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta_{yaw})$ に含まれるピクセルの座標であり、 N は、共通領域 $R(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta_{yaw})$ に含まれるピクセルの総数であり、 $I_V(t-1) \text{ move}(\Delta X, \Delta Y)$ は、ステップS734でVPP画像 $I_V(t-1)$ を $\Delta \theta_{yaw}$ 回転し、 ΔX 及び ΔY だけ移動した画像を示す。

【0266】

この(7-4)式により、VPP画像 $I_V(t)$ とVPP画像 $I_V(t-1)$ を $\Delta \theta_{yaw}$ 50

回転し、 ΔX 及び ΔY だけ移動した画像とのピクセル毎の輝度差の二乗和が正規化された値として求められ、次のステップ S 7 3 5 において、移動量 $move(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta_{yaw})$ 毎に類似度として $NSSD(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta_{yaw})$ が記録される。 $NSSD(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta_{yaw})$ は正規化されていることから共通領域 $R(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta_{yaw})$ の面積の大小に拘わらずに相互比較が可能となる。

【0 2 6 7】

このようなステップ S 7 の処理によれば、対応点探索を行うことがないため、ロバスト性が高い。また平面の位置姿勢パラメータに基づいて平面に平行な V P P 画像を生成するため、車両姿勢の変動等による影響を受けず耐振動性が高い。實際上、道路平面 Π には不規則であっても地模様等何らかの模様や特徴部が存在していることから、このような部分に基づいて自車速度ベクトル V_v を求めることができる。

【0 2 6 8】

さらに、平面領域 Π_f に基づく共通領域 $R(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta_{yaw})$ 内で V P P 画像マッチングを行うことから、他の車両や路側部等の余分な部分が削除されて高精度且つ高速な演算が遂行される。

【0 2 6 9】

また、V P P 画像マッチングにおける類似度として、 $NSSD$ に代えて前記の $ZNC C$ 等を用いてもよい。

【0 2 7 0】

次に、ステップ S 7 3 における V P P 画像マッチングの第 2 の処理方法について説明する。この第 2 の処理方法は、基本的には前記ステップ S 1 及び前記非特許文献 1 で説明した濃度勾配法と同じ方法であり、前記射影変換行列 H に相当する移動回転行列 M を微小量変化させながら 2 つの画像が最も重なるように収束させる。

【0 2 7 1】

まず、適当に真値に近い初期値としての移動回転行列 M を設定しておき、次の (7-5) 式により、V P P 画像 $I_v(t-1)$ を移動回転変換する。ここで、 $I_r(x)$ を V P P 画像 $I_v(t-1)$ の座標 $x(x, y)$ における輝度値とする。なお、移動回転行列 M は、 3×3 の行列である。また、移動回転行列 M の初期値としては、前時刻のステップにて算出された値を用いるとよい。

【0 2 7 2】

【数 6 7】

$$\tilde{I}_{vpp}(t-1)(\tilde{\mathbf{x}}) = I_{vpp}(t-1)(\mathbf{M}\tilde{\mathbf{x}}) \quad \cdots(7-5)$$

(「 $\sim$ 」は、変換された後の輝度値を表す。)

【0 2 7 3】

移動回転行列 M の各パラメータを微小量変化させたとき、変換された V P P 画像 $I_v(t-1)$ 上の座標 $x(x, y)$ が座標 $x''(x'', y'')$ に変化するものとする、

【数 6 8】

$$\tilde{\mathbf{x}}'' \sim (\mathbf{I} + \mathbf{D}_x) \tilde{\mathbf{x}} \quad \cdots(7-6)$$

の関係が得られる。なお、 $\mathbf{I}$ は 3×3 の単位行列であり、 $\mathbf{D}$ は移動回転行列 M の各パラメータの微小変化量をパラメータとする 3×3 の微小変化行列であり次の (7-7) 式で表される。

【0 2 7 4】

10

20

30

40

【数 6 9】

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 0 & -\omega & dx \\ \omega & 0 & dy \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdots (7-7)$$

【0 2 7 5】

ここで、 ω は微小回転角度、 dx 及び dy は x 方向及び y 方向の微小移動量である。また、 ω 、 dx 及び dy をまとめて 1 つのパラメータ Θ としても表す。このパラメータ Θ を引数とし、(7-5)、(7-6) 式の関係を用いて、移動回転変換された VPP 画像 $I_v(t-1)$ と VPP 画像 $I_v(t)$ との重なり状態を示す評価関数 $E(\Theta)$ は、次の (7-8) 式で表される。 10

【0 2 7 6】

【数 7 0】

$$E(\Theta) = \sum_{\mathbf{x}_i \in R_{\text{plane}}} [\tilde{I}_{vpp(t-1)}(\tilde{\mathbf{x}}_i'') - I_{vpp(t)}(\tilde{\mathbf{x}}_i)]^2 \cdots (7-8)$$

20

(「 i 」は、画素番号を表す。)

と表すことができる。ここで、 R_{plane} は、VPP 平面画像 $I_{vf}(t-1)$ 、 $I_{vf}(t)$ における道路平面 Π に相当する領域である。

【0 2 7 7】

この (7-8) 式は前記 (1-5) 式と等価なものであり、基準画像 I_b と VPP 画像 $I_v(t)$ 、参照画像 I_r と VPP 画像 $I_v(t-1)$ 、行列 D_x と行列 D がそれぞれ対応する。

【0 2 7 8】

したがって、前記と同様の方法により、 g_i (輝度勾配)、 e_i (輝度差分)、ヤコビアン J_{Θ_i} を算出し、微小変化行列 D を最小二乗法を用いて求めることができる。 30

【0 2 7 9】

以上のようにして求めた微小変化行列 D を用いて、移動回転行列 M を次の (7-9) 式にしたがって更新する。

【0 2 8 0】

【数 7 1】

$$\mathbf{M} \leftarrow \mathbf{M}(\mathbf{I} + \mathbf{D}) \cdots (7-9)$$

40

【0 2 8 1】

そして、(7-9) 式で求めた移動回転行列 M を用いて、再び (7-8) 式の評価関数 $E(\Theta)$ の値を算出する処理を繰り返す。この繰り返しの処理において移動回転行列 M は最小二乗法を解いて得られる微小変化行列 D を用いて、 $M \leftarrow M(\mathbf{I} + \mathbf{D})$ として更新される。評価関数 $E(\Theta)$ の値が所定の値以下に収束したときの M の各成分より $\Delta \theta_{yaw}$ 、 ΔX 、 ΔY を式 (7-10) を用いて求めることができる。

【0 2 8 2】

【数 7 2】

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M} = & \begin{pmatrix} \cos \Delta \theta_{yaw} & -\sin \Delta \theta_{yaw} & -C_{x_vpp} \cos \Delta \theta_{yaw} + C_{y_vpp} \sin \Delta \theta_{yaw} + C_{x_vpp} + \Delta X \\ \sin \Delta \theta_{yaw} & \cos \Delta \theta_{yaw} & -C_{x_vpp} \sin \Delta \theta_{yaw} + C_{y_vpp} \cos \Delta \theta_{yaw} + C_{y_vpp} + \Delta Y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots(7-10) \\
 & \hspace{10em} 10 \\
 & \hspace{10em} 20 \\
 & \hspace{10em} 30 \\
 & \hspace{10em} 40
 \end{aligned}$$

【0283】

このようなステップ S 7 3 の第 2 の処理方法では、前記の第 1 の処理方法で求めた $\Delta \theta_{yaw}$ 、 ΔX 、 ΔY を初期値として第 2 の処理方法を用いることで、一層正確に $\Delta \theta_{yaw}$ 、 ΔX 、 ΔY を求めることができる。

【0284】

<ステップ S 8>

ステップ S 8 は、検出した物体が静止物体であるか移動物体であるかを判断する処理であり、図 3 8 に示すステップ S 8 1 ～ S 8 4 のサブルーチン処理からなる。

【0285】

ステップS81において、前記ステップS55で求められた各物体の相対速度であるベクトル V_{r1} 、 V_{r2} 及び V_{r3} を読み出す。これらのベクトルは図25における各矢印で示されている。

【0286】

ステップS82において、前記ステップS7において求めた車両10の自車速度ベクトル V_v を読み出す。この車両10の自車速度ベクトル V_v は図25の原点を基点に示されている。

【0287】

ステップS83において、検出された各物体の絶対速度ベクトル $V_{ABS}N$ ($N=1, 2, 3 \dots$)を算出する。絶対速度 $V_{ABS}N$ は $V_{ABS}N = V_{rN} + V_v'$ としてベクトル加算により求められる。ただし、 V_v' は相対速度 V_{rN} に含まれる、自車両のモーションによる速度分である。図39に各物体毎に求められた絶対速度ベクトル $V_{ABS}N$ を示す。図39から明らかなように、静止物体であるガードレール74については、 $V_{ABS}3 = 0$ となる。

【0288】

ステップS84において、絶対速度 $V_{ABS}N$ に基づいて、検出された各物体が静止物体であるか移動物体であるかを調べる。具体的には、各物体の絶対速度のベクトルの大きさ $|V_{ABS}N|$ と閾値 Th_{ABS} を比較して、 $Th_{ABS} \geq |V_{ABS}N|$ であるとき対象となる物体は静止物体であり、 $|V_{ABS}N| > Th_{ABS}$ であるときは移動物体であると判断される。これにより、 $V_{ABS}3 = 0$ であるガードレール74は静止物体として判別され、トラック70及び乗用車72は移動物体として識別される。

【0289】

このように、ステップS8の処理によれば、検出された物体の絶対速度を精度よく求めることができ、物体が静止物か否かを正確に判断することができる。この判断結果の情報は、例えば、車両10と物体との所定の接近注意喚起手段に供することができる。

【0290】

また、ステップS7及びS8の処理によれば、VPP画像 I_v の平面領域 Π_f のみを用いて移動量を算出することにより、移動する物体と静止物とが混在する環境下においても正確に自車速度ベクトル V_v を求めることができる。

【0291】

さらに、例えば路面等一定の高さ（距離）にある物体を撮像して、路面を基準として速度計測を行うように定めた場合に、路面に対して高さのある物体が撮像され、該物を基準として速度計測を行うと高さに基づく速度検出の誤差が発生することが知られているが、ステップS7及びS8の処理によれば、平面領域 Π_f のみを用いることにより高さのある物体を除外して算出できるので、高さに基づく誤差が発生しない。

【0292】

またステップS7及びS8の処理によれば、平面までの距離も検出するため、例えば歩道等路面に対して高さのある平面が画像中の大半を占める場合にも、その高さを考慮して速度を算出できる。

【0293】

なお、本実施の形態において求められる平面領域 Π_f は、車両10が走行する略水平な道路平面 Π に対応する領域であって、「平面」であっても垂直な面やレベルの異なる他の面は除外される。

【0294】

また、上記の説明では、基準カメラ12と参照カメラ14が設けられているものとしたが、必要に応じてより多くのカメラを設けてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0295】

【図1】本発明の移動体周辺監視装置が適用される車両の説明図である。

【図2】図1に示す車両に搭載される演算処理装置の機能構成ブロック図である。

【図3】図1に示す演算処理装置における処理の全体の流れを説明するフローチャートで

10

20

30

40

50

ある。

【図 4】 一对の撮像手段間での 2 次元射影変換を説明するための模式図である。

【図 5】 平面領域を抽出する手順の説明図である。

【図 6】 物体抽出処理の処理内容を示すフローチャートである。

【図 7】 候補点を高さの制限に基づいて抽出する様子を示す模式図である。

【図 8】 投票処理の処理の様子を示す模式図である。

【図 9】 投票面上で行うクラスタリング処理の様子を示す模式図である。

【図 10】 投票面を示す図である。

【図 11】 物体の各エッジ点のワールド座標を求める処理内容を示すフローチャートである。

【図 12】 エッジが抽出されたエッジ画像を示す図である。

【図 13】 エッジが抽出されたエッジ画像の実際の画像データである。

【図 14】 平面領域が除去された修正エッジ画像を示す図である。

【図 15】 エピポーララインが設定された参照画像を示す図である。

【図 16】 ワールド座標系とカメラ座標系との関係を示す模式図である。

【図 17】 奥行き画像を示す図である。

【図 18】 物体の相対速度を算出する処理内容を示すフローチャートである。

【図 19】 物体領域の重なり具合を調べる処理内容を示すフローチャートである。

【図 20】 クラスタに基づいてテンプレートを作成する処理内容を示す模式図である。

【図 21】 テンプレートが設定された基準画像を示す図である。

【図 22】 重心移動距離を算出する処理内容を示すフローチャートである。

【図 23】 物体同一判定の処理内容を示すフローチャートである。

【図 24】 同一物体の位置を再計算する処理内容を示すフローチャートである。

【図 25】 物体の相対速度が記録された投票面を示す図である。

【図 26】 物体の相対速度を算出する処理内容を示すフローチャートである。

【図 27】 エピポーララインを設定する処理を説明するための模式図である。

【図 28】 V P P 画像を生成するための処理内容を示すフローチャートである。

【図 29】 V P P 画像変換式を算出する処理内容を示すフローチャートである。

【図 30】 法線ベクトル、カメラ座標系、及び基準カメラの光軸との関係を示す座標図である。

【図 31】 カメラ座標系基準画像を道路平面に平行となるように変換する処理の説明のための図である。

【図 32】 第 1 変換画像を回転変換する様子を示す模式図である。

【図 33】 基準画像を V P P 変換する様子を示す模式図である。

【図 34】 道路平面領域を V P P 変換する様子を示す模式図である。

【図 35】 自車速度を算出する処理内容を示すフローチャートである。

【図 36】 V P P 画像マッチングの処理内容を示すフローチャートである。

【図 37】 V P P 画像マッチングの処理内容を示す模式ブロック図である。

【図 38】 物体の絶対速度を算出するための処理内容を示す模式ブロック図である。

【図 39】 物体の絶対速度が記録された投票面を示す図である。

【符号の説明】

【0 2 9 6】

1 0 … 車両

1 4 … 参照カメラ

1 8、2 0 … 画像処理部

2 4 … 演算制御部

2 8 … 射影変換行列算出部

3 2 … 平面領域抽出部

3 6 … 物体相対速度算出部

4 0 … 自車速度算出部

1 2 … 基準カメラ

1 6 … 演算処理装置

2 2 … 画像記憶部

2 6 … パラメータ記憶部

3 0 … 平面パラメータ算出部

3 4 … 物体検出部

3 8 … 仮想投影面画像生成部

4 2 … 物体絶対速度算出部

10

20

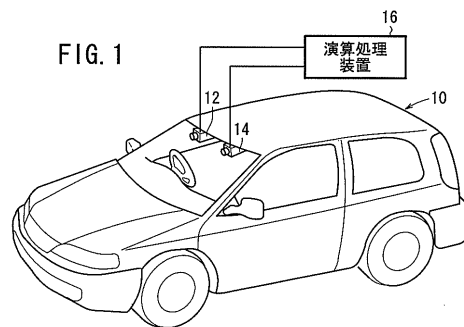
30

40

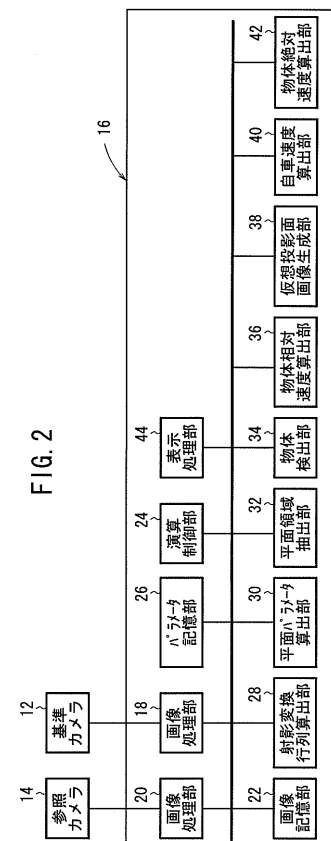
50

- 4 4 … 表示処理部
 5 2 a ~ 5 2 c、5 4 a ~ 5 4 c … クラスタ
 6 0 … エッジ画像
 8 0 a ~ 8 0 c … テンプレート
 A_b 、 A_r … 内部パラメータ
 C_w … ワールド座標
 H … 射影変換行列
 I_r … 参照画像
 d … 距離
 t … 並進ベクトル
 5 0 … 投票面
 6 2 … 修正エッジ画像
 8 2 a … 物体位置領域
 C_c … カメラ座標
 E_P … エピポーラライン
 I_b … 基準画像
 Π … 平面
 n … 法線ベクトル

【図 1】

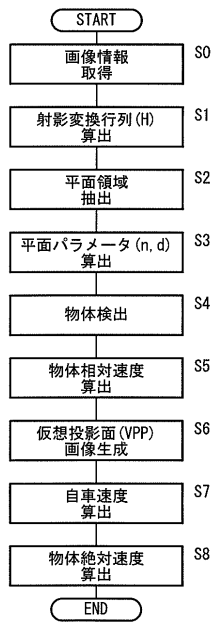


【図 2】

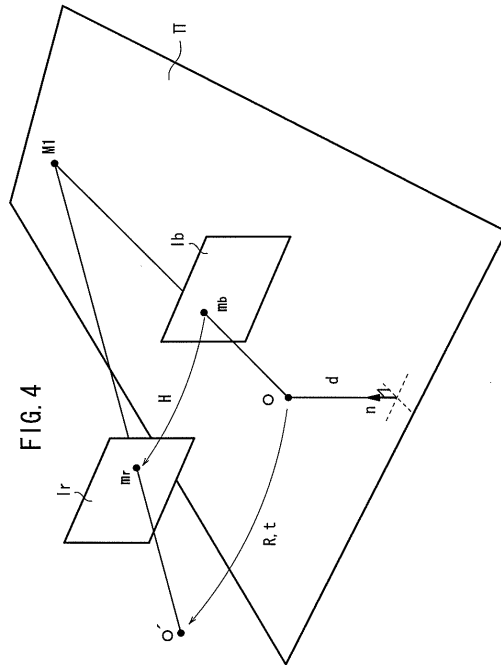


【図 3】

FIG. 3

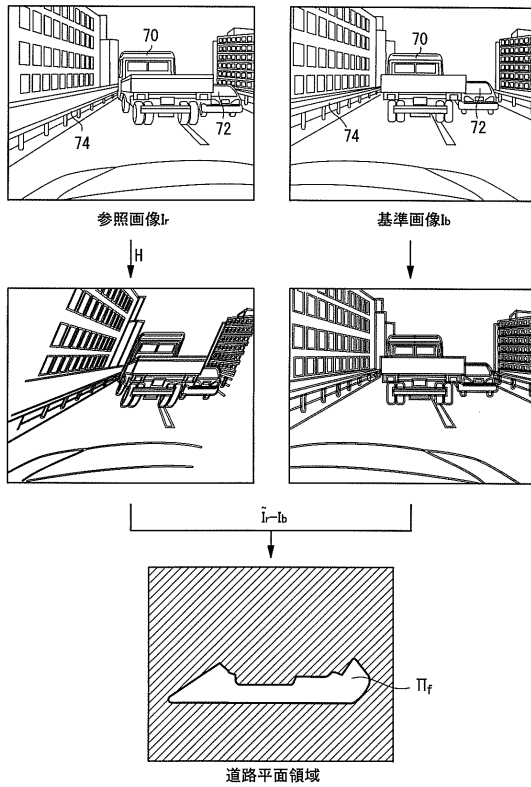


【図 4】



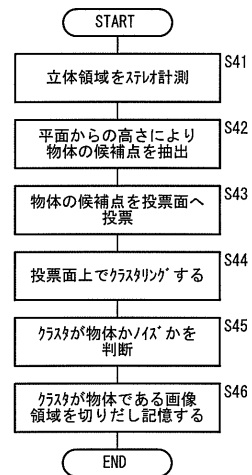
【図 5】

FIG. 5

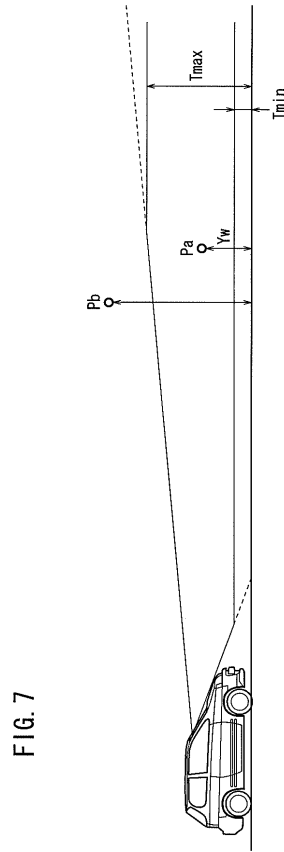


【図 6】

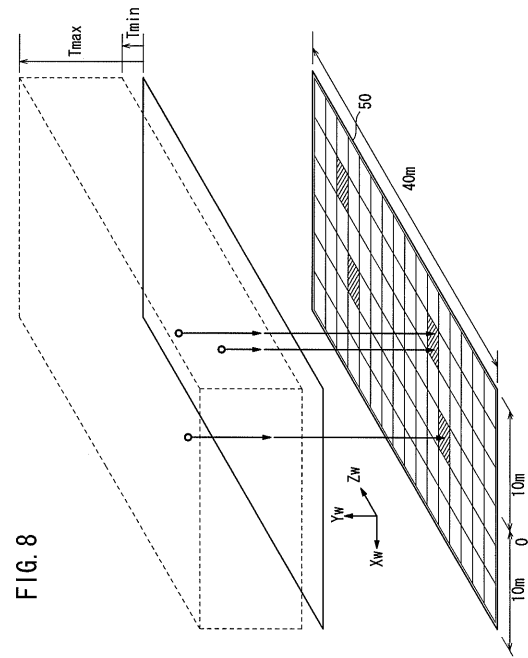
FIG. 6



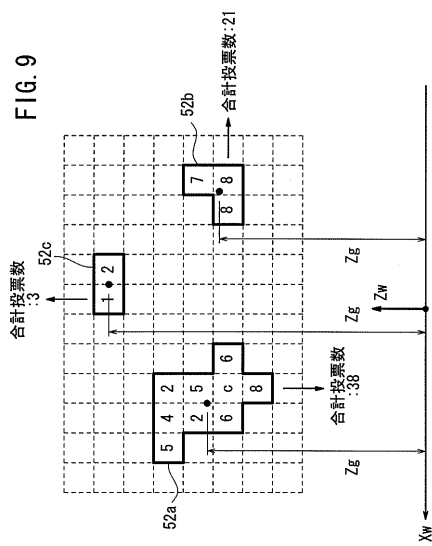
【図 7】



【図 8】

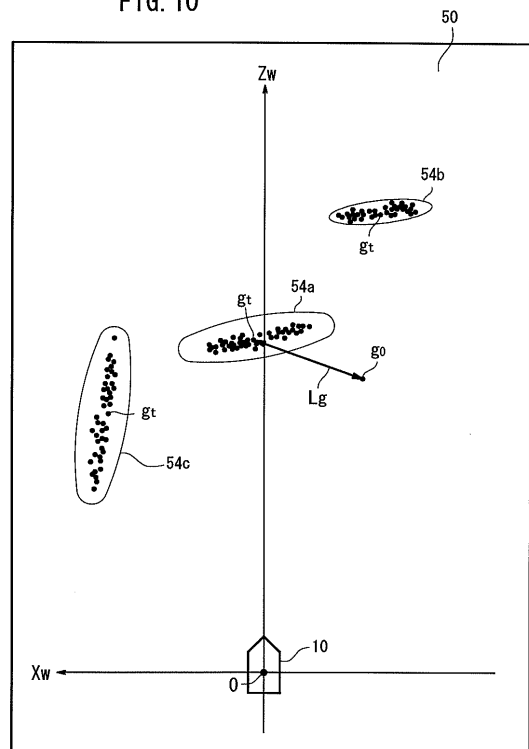


【図 9】

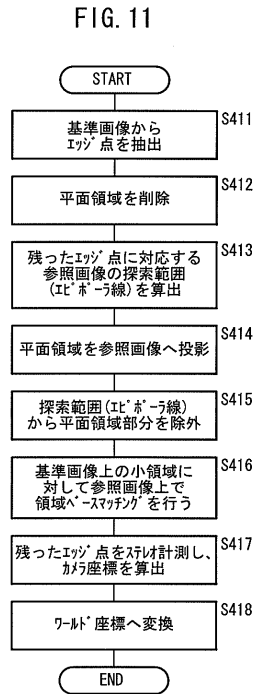


【図 10】

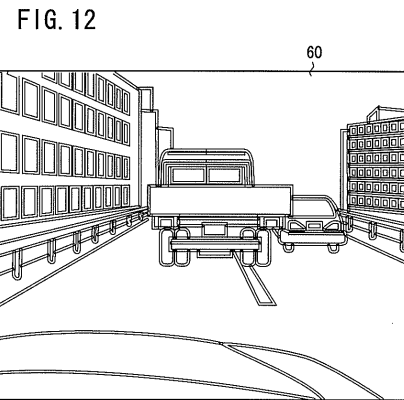
FIG. 10



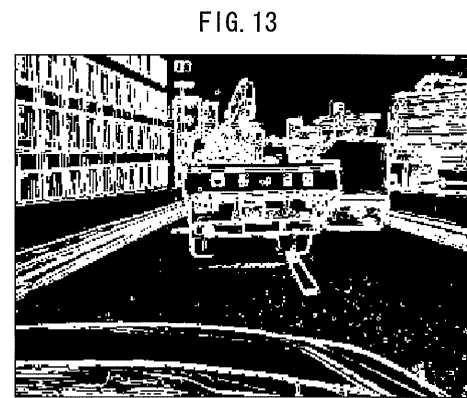
【図 1 1】



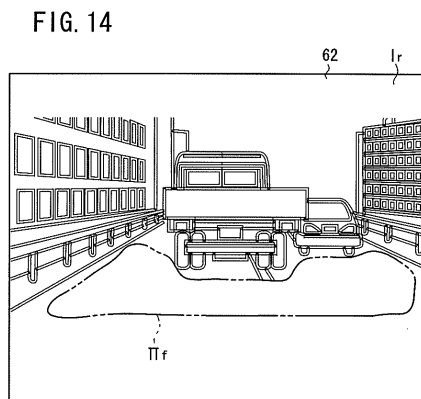
【図 1 2】



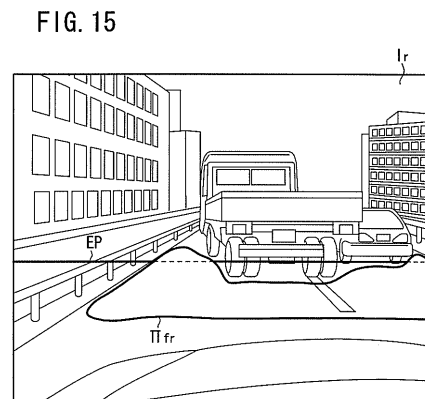
【図 1 3】



【図 1 4】

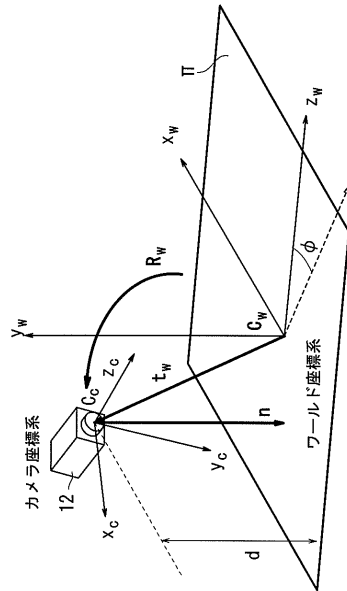


【図 1 5】



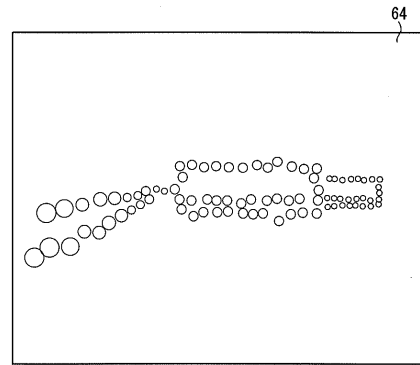
【図 16】

FIG. 16



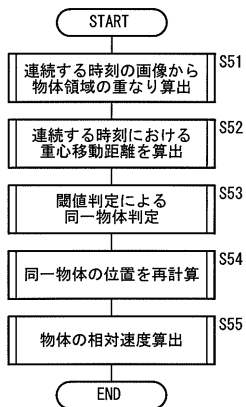
【図 17】

FIG. 17



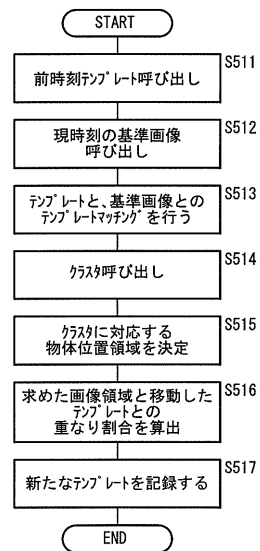
【図 18】

FIG. 18



【図 19】

FIG. 19



【図 20】

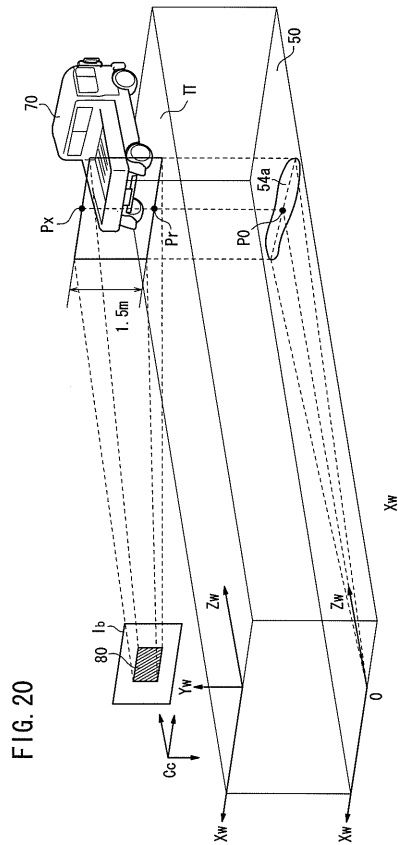
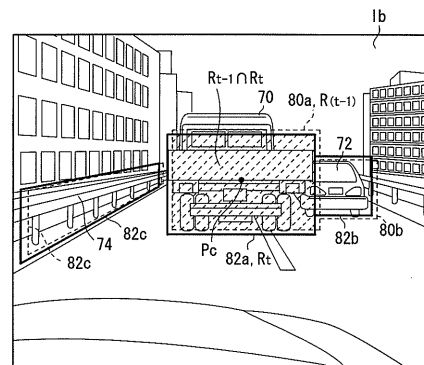


FIG. 20

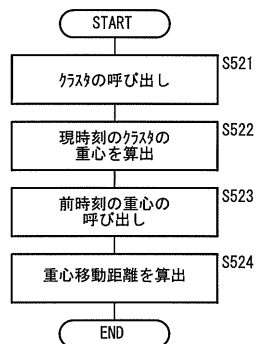
【図 21】

FIG. 21



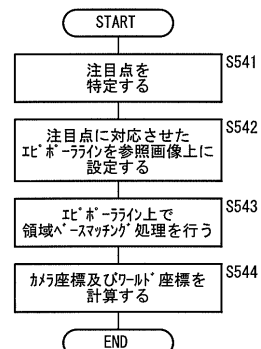
【図 22】

FIG. 22



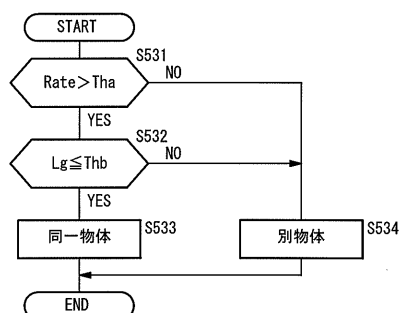
【図 24】

FIG. 24

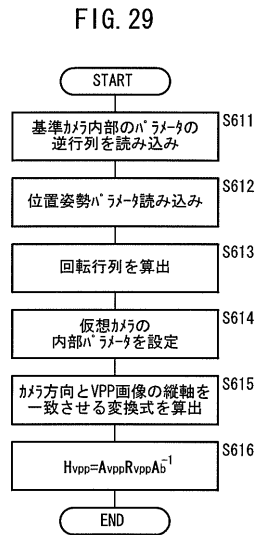


【図 23】

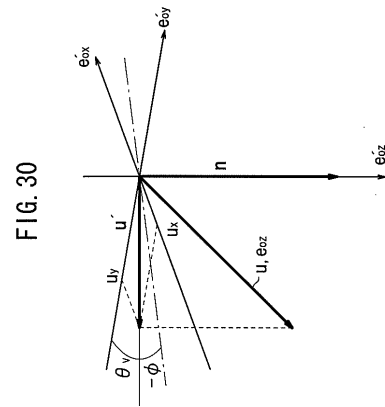
FIG. 23



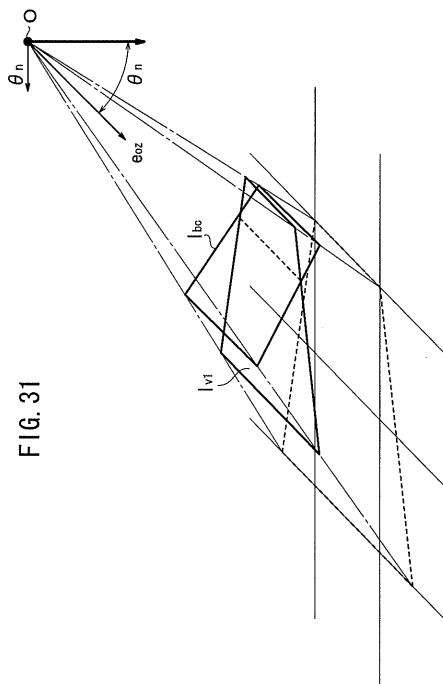
【図 29】



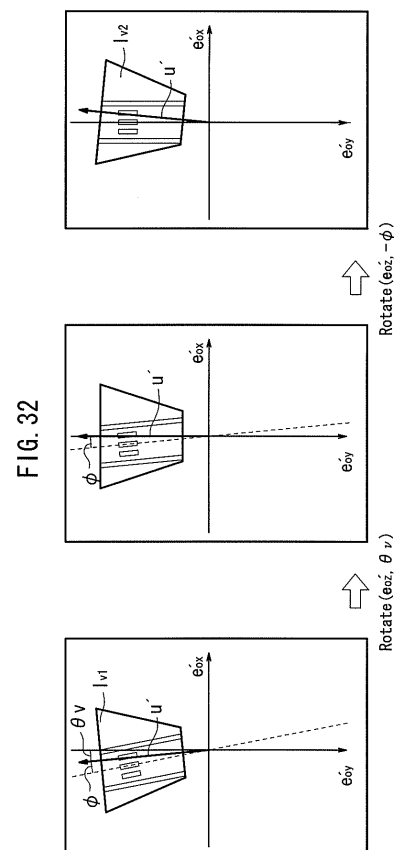
【図 30】



【図 31】

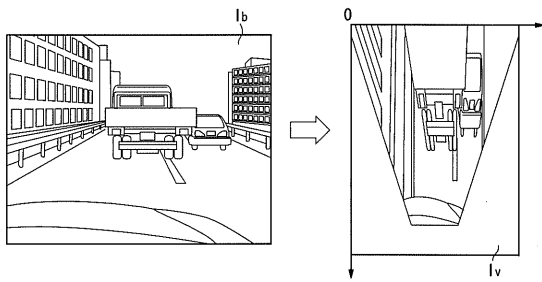


【図 32】



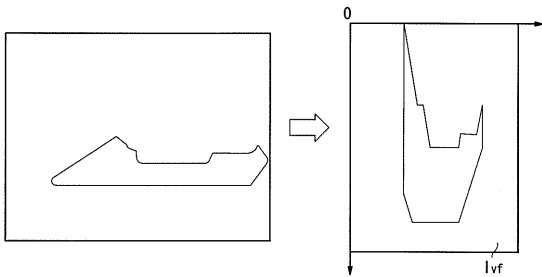
【図 3 3】

FIG. 33



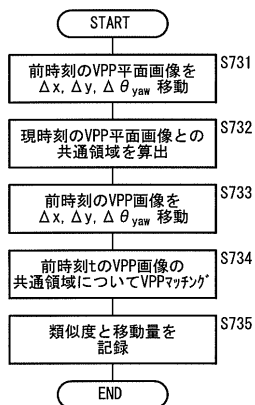
【図 3 4】

FIG. 34



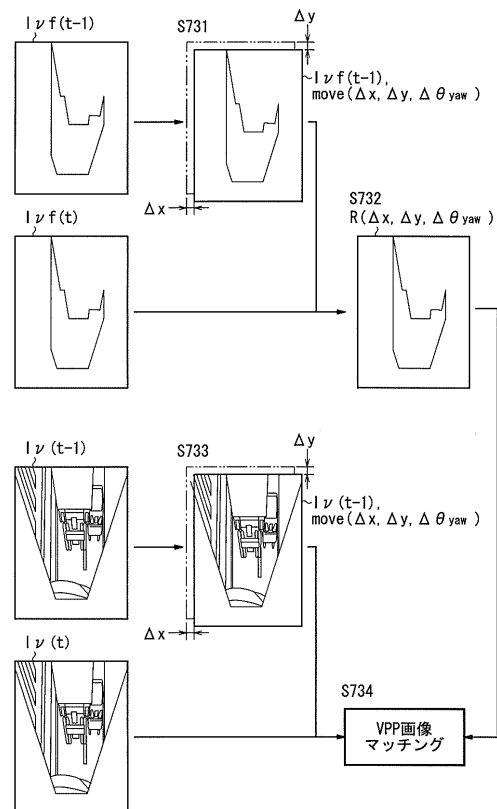
【図 3 6】

FIG. 36



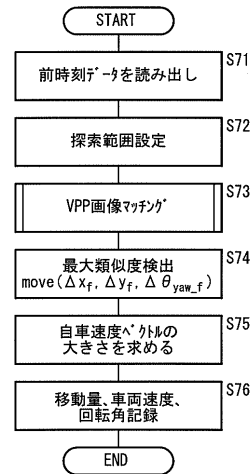
【図 3 7】

FIG. 37

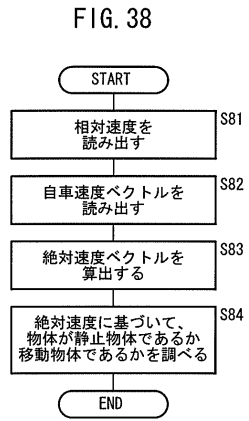


【図 3 5】

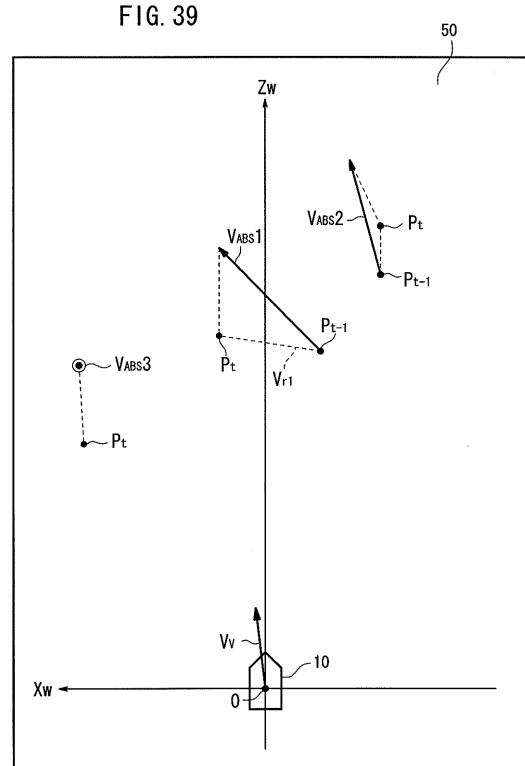
FIG. 35



【図 38】



【図 39】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
G 0 6 T	1/00	(2006.01)	G 0 1 C 3/06	V
G 0 8 G	1/16	(2006.01)	G 0 6 T 1/00	3 1 5
			G 0 6 T 1/00	3 3 0 B
			G 0 8 G 1/16	C

(72)発明者 奥富 正敏
東京都目黒区大岡山 2-1-2 東京工業大学内

(72)発明者 藤巻 朋
埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内

F ターム(参考) 2F065 AA03 AA17 AA35 AA37 BB15 CC11 DD06 FF01 FF05 FF09
JJ03 JJ05 JJ26 QQ01 QQ08 QQ13 QQ18 QQ24 QQ25 QQ29
QQ31 QQ38 QQ42
2F112 AC06 BA05 BA06 CA05 FA03 FA08 FA09 FA21 FA27 FA38
FA39 FA41
5B057 AA16 BA02 DA07 DB03 DC08 DC32
5C054 CC05 CH02 EA05 FA00 FC01 FC12 GB02 GB12 HA30
5H180 AA01 CC04