

(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2014-106901

(P2014-106901A)

(43) 公開日 平成26年6月9日(2014.6.9)

(51) Int.Cl.

G06T 7/20 (2006.01)
B60R 21/00 (2006.01)
G08G 1/16 (2006.01)
B60R 21/013 (2006.01)

F 1

G06T 7/20
B60R 21/00
G08G 1/16
B60R 21/013

B

624C
C
B60R 21/013

テーマコード(参考)

5H181

5L096

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号

特願2012-261529 (P2012-261529)

(22) 出願日

平成24年11月29日 (2012.11.29)

(71) 出願人 000000011

アイシン精機株式会社

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

(74) 代理人 100095407

弁理士 木村 满

(74) 代理人 100131152

弁理士 八島 耕司

(72) 発明者 秋田 時彦

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機株式会社内

F ターム(参考) 5H181 AA01 BB13 CC04 LL01 LL04
LL07

5L096 AA06 BA04 CA04 FA09 FA64

FA66 FA67 HA04 JA11

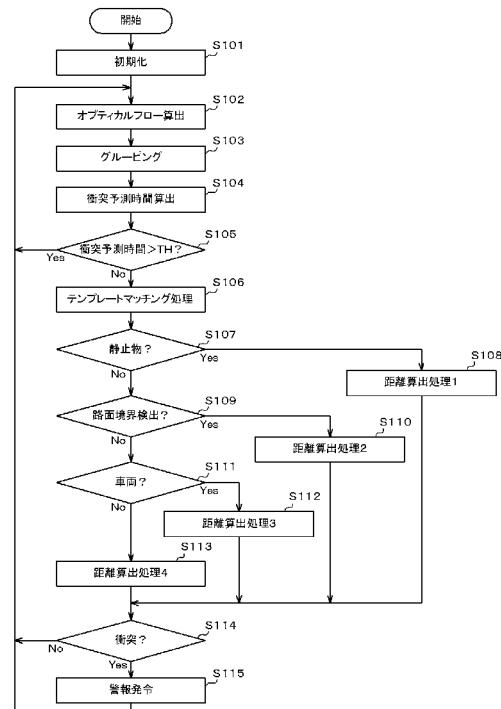
(54) 【発明の名称】距離算出装置、衝突検出システム、距離算出方法、衝突検出方法、及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】自車と障害物が衝突する可能性があるか否かを精度よく判定する。

【解決手段】画像に写る障害物の位置を示すフレームと、当該障害物についてのオプティカルフローの消失点との距離に基づいて、自車両に対する障害物の相対移動方向に直交する方向についての、自車両と障害物との距離を算出する(ステップS108, S110, S112, S113)。そして、自車両と障害物との距離と、撮影装置と自車両の側面までの距離とを比較することにより、自車両と障害物とが衝突するか否かを判定する(ステップS114)。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

車両の進行方向を順次撮影する撮影手段と、
 前記撮影手段によって撮影された第1画像に写る障害物の特徴点を始点とし、前記第1
 画像が撮影された後に撮影された第2画像に写る障害物の特徴点を終点とする複数のオプ
 ティカルフローを算出するオプティカルフロー算出手段と、
 前記車両に対して前記障害物が移動する第1方向に直交する第2方向についての、前記オプ
 ティカルフローの消失点と前記画像に写る障害物との第1距離に基づいて、前記車両
 と前記障害物との前記第2方向についての第2距離を算出する距離算出手段と、
 を備える距離算出装置。

10

【請求項 2】

前記距離算出手段は、
 前記障害物の前記オプティカルフローによって規定されるフレームと、前記消失点の距
 離を前記第1距離として、前記第2距離を算出する請求項1に記載の距離算出装置。

【請求項 3】

前記距離算出手段は、
 前記第1方向が、前記車両の進行方向に交差する場合には、前記オプティカルフローの
 消失点を通り前記第1方向に平行な第1直線と前記障害物との距離を、前記第2距離とし
 て算出する請求項1又は2に記載の距離算出装置。

20

【請求項 4】

前記第2画像に写る障害物の属性を判別する判別手段を備え、
 前記距離算出手段は、
 前記判別手段の判別結果に応じた距離算出手順で、前記第2距離を算出する請求項1乃至
 3のいずれか一項に記載の距離算出装置。

【請求項 5】

前記距離算出手段は、
 前記判別手段によって前記障害物が静止物と判断された場合に、
 前記第2画像における前記消失点から前記障害物までの前記第1距離に基づいて、
 前記車両と前記障害物が衝突するまでの衝突予測時間と、
 前記車両の速度と、
 前記撮影手段のスケールファクタと、
 を用いて前記第2距離を算出する請求項4に記載の距離算出装置。

30

【請求項 6】

前記距離算出手段は、
 前記判別手段によって前記障害物と前記車両が走行する路面の境界が検出された場合に、
 前記第2画像における前記消失点から前記障害物までの前記第1距離に基づいて、
 前記第2画像における前記消失点から前記路面までの距離と、
 前記路面に対する前記撮影手段の高さと、
 を用いて前記第2距離を算出する請求項4又は5に記載の距離算出装置。

40

【請求項 7】

前記距離算出手段は、
 前記判別手段によって前記障害物が前記車両の前方を走行する前方車両と判断された場
 合に、
 前記第2画像における前記消失点から前記障害物までの前記第1距離に基づいて、
 前記第2画像における前記前方車両の幅と、
 予め想定され設定された車両の幅と、
 を用いて前記第2距離を算出する請求項4乃至6のいずれか一項に記載の距離算出装置
 。

【請求項 8】

50

前記距離算出手段は、
 前記判別手段によって前記障害物の属性が判別できなかった場合に、
 前記第2画像における前記消失点から前記障害物までの前記第1距離に基づいて、
 前記第2画像における前記障害物の幅と、
 予め想定された車両の幅に所定の係数を乗じて得られるパラメータと、
 を用いて前記第2距離を算出する請求項4乃至7のいずれか一項に記載の距離算出手段

。

【請求項9】

請求項1乃至8のいずれか一項に記載の距離算出手段と、
 前記距離算出手段によって算出された第2距離に基づいて、前記車両と前記障害物とが
 衝突するか否かを判定する判定手段と、
 を備える衝突検出システム。

【請求項10】

前記障害物の前記オプティカルフローの大きさと、前記第1画像が撮影された時刻から
 前記第2画像が撮影された時刻までの時間とに基づいて、前記撮影手段の視野内にある物体
 が前記車両に衝突するまでの予測時間を算出する予測時間算出手段を備え、
 前記判定手段は、

前記予測時間が経過したときに前記車両が位置するところを予測し、前記車両に接し前
 記第1直線と平行な第2直線と前記第1直線との第3距離と、前記第2距離との比較結果
 に基づいて、前記車両と前記障害物とが衝突するか否かを判定する請求項9に記載の衝突
 検出システム。

【請求項11】

車両の進行方向を順次撮影する工程と、
 撮影された第1画像に写る障害物の特徴点を始点とし、前記第1画像が撮影された後に
 撮影された第2画像に写る障害物の特徴点を終点とする複数のオプティカルフローを算出
 する工程と、

前記車両に対して前記障害物が移動する第1方向に直交する第2方向についての、前記
 オプティカルフローの消失点と前記画像に写る障害物との第1距離を求める工程と、
 前記車両と前記障害物との前記第2方向についての第2距離を算出する工程と、
 を含む距離算出方法。

【請求項12】

請求項11に記載の距離算出方法によって算出された第2距離に基づいて、前記車両と
 前記障害物とが衝突するか否かを判定する工程を含む衝突検出方法。

【請求項13】

コンピュータに、
 車両の前方を撮影することにより得られた第1画像に写る障害物の特徴点を始点とし、
 前記第1画像が撮影された後に、前記車両の前方を撮影することにより得られた第2画像
 に写る障害物の特徴点を終点とする複数のオプティカルフローを算出する手順と、

前記車両に対して前記障害物が移動する第1方向に直交する第2方向についての、前記
 オプティカルフローの消失点と前記画像に写る障害物との第1距離を求める手順と、
 前記車両と前記障害物との前記第2方向についての第2距離を算出する手順と、
 を実行させるためのプログラム。

【請求項14】

コンピュータに、
 前記第2距離に基づいて、前記車両と前記障害物とが衝突するか否かを判定する手順を
 実行させるための請求項13に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、距離算出手段、衝突検出システム、距離算出方法、衝突検出方法、及びプロ

10

20

30

40

50

グラムに関し、更に詳しくは、車両と障害物との距離を算出するための距離算出装置、距離算出方法及びプログラム、並びに車両と障害物との衝突を検出するための衝突検出システム及び衝突検出方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、自車の進行方向を撮影するカメラからの画像を用いて、自車に接近する車両を検出する運転支援システムの実用化が進められている（例えば特許文献1乃至3参照）。

【0003】

特許文献1に記載された装置は、ステレオカメラを用いて車両前方の障害物の検出を試みる。そして、障害物に衝突するまでの衝突予測時間と閾値との比較結果に基づいて、自車のスロットル及びブレーキを制御する。

【0004】

特許文献2に記載された装置は、単眼カメラに写る障害物の大きさの変化から、衝突予測時間を算出する。そして、算出した衝突予測時間に応じて、ブレーキの制御を行う。

【0005】

特許文献3に記載された装置は、画像に写る障害物のエッジの位置や大きさの変化に基づいて、自車の前方に位置する障害物を検出する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2009-220630号公報

【特許文献2】特開2012-98776号公報

【特許文献3】特開2006-64653号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した装置を用いることで、自車の進行方向に位置する障害物が検出された場合に、車両の速度を減速させたり、衝突の危険性をドライバに報知することが可能となる。

【0008】

しかしながら、ドライバにストレスを与えることなく運転を支援するためには、自車両の進行方向に位置する障害物を画一的に検出するだけではなく、障害物が自車に衝突する可能性を判定する必要がある。

【0009】

本発明は、上述の事情の下になされたもので、自車と障害物が衝突する可能性があるか否かを精度よく判定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するために、本発明の第1の観点に係る距離算出装置は、車両の進行方向を順次撮影する撮影手段と、

前記撮影手段によって撮影された第1画像に写る障害物の特徴点を始点とし、前記第1画像が撮影された後に撮影された第2画像に写る障害物の特徴点を終点とする複数のオプティカルフローを算出するオプティカルフロー算出手段と、

前記車両に対して前記障害物が移動する第1方向に直交する第2方向についての、前記オプティカルフローの消失点と前記画像に写る障害物との第1距離に基づいて、前記車両と前記障害物との前記第2方向についての第2距離を算出する距離算出手段と、

を備える。

【0011】

本発明の第2の観点に係る衝突検出システムは、

本発明の第1の観点に係る距離算出装置と、

前記距離算出装置によって算出された第2距離に基づいて、前記車両と前記障害物とが

10

20

30

40

50

衝突するか否かを判定する判定手段と、
を備える。

【0012】

本発明の第3の観点に係る距離算出方法は、
車両の進行方向を順次撮影する工程と、

撮影された第1画像に写る障害物の特徴点を始点とし、前記第1画像が撮影された後に
撮影された第2画像に写る障害物の特徴点を終点とする複数のオプティカルフローを算出
する工程と、

前記車両に対して前記障害物が移動する第1方向に直交する第2方向についての、前記
オプティカルフローの消失点と前記画像に写る障害物との第1距離を求める工程と、

前記車両と前記障害物との前記第2方向についての第2距離を算出する工程と、
を含む。

【0013】

本発明の第4の観点に係る衝突検出方法は、

本発明の第3の観点に係る距離算出方法によって算出された第2距離に基づいて、前記
車両と前記障害物とが衝突するか否かを判定する工程を含む。

【0014】

本発明の第5の観点に係るプログラムは、
コンピュータに、

車両の前方を撮影することにより得られた第1画像に写る障害物の特徴点を始点とし、
前記第1画像が撮影された後に、前記車両の前方を撮影することにより得られた第2画像
に写る障害物の特徴点を終点とする複数のオプティカルフローを算出する手順と、

前記車両に対して前記障害物が移動する第1方向に直交する第2方向についての、前記
オプティカルフローの消失点と前記画像に写る障害物との第1距離を求める手順と、

前記車両と前記障害物との前記第2方向についての第2距離を算出する手順と、
を実行させる。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、車両に対して障害物が移動する第1方向に直交する第2方向について
の、車両と障害物との距離を算出することができる。このため、自車両と障害物が衝突す
るか否かを精度よく判定することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本実施形態に係る衝突判定システムのブロック図である。

【図2】撮影装置の取り付け位置を説明するための図である。

【図3】自車両と、自車両に接近する接近車両との相対的な位置関係を示す図である。

【図4】撮影装置によって撮影された画像を示す図である。

【図5】撮影装置によって撮影された画像を示す図である。

【図6】判定装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図7】オプティカルフローを示す図である。

【図8】衝突予測時間の算出手順を説明するための図である。

【図9】自車両と接近車両との相対的な位置関係を示す図である。

【図10】オプティカルフローを示す図である。

【図11】衝突予測時間の算出手順を説明するための図である。

【図12】画像に規定されたフレームを示す図である。

【図13】ガードレールについてのオプティカルフローを示す図である。

【図14】オプティカルフロー、及びガードレールの移動軌跡を示すベクトルの位置関係
を示す図である。

【図15】消失点から路面境界までの距離と、路面に対する撮影装置の高さと、消失点か
らフレームまでの距離と、障害物までの距離との関係を示す図である。

10

20

30

40

50

【図16】フレームの幅と、消失点からフレームまでの距離との関係を示す図である。

【図17】自車両と、自車両の接近する接近車両との相対的な位置関係を示す図である。

【図18】自車両と、自車両の接近する接近車両と、フレームとの位置関係を示す図である。

【図19】変形例に係る判定装置のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しつつ説明する。図1は本実施形態に係る衝突判定システム10の構成を示すブロック図である。衝突判定システム10は、自車に接近し衝突する可能性がある物体を検出するためのシステムである。この衝突判定システム10は、図1に示されるように、撮影装置20、判定装置30、及び警報装置40を有している。

【0018】

撮影装置20は、被写体を所定のフレームレートで撮影するCCDカメラである。そして、撮影により取得した画像を電気信号に変換し、画像情報として出力する。撮影装置20は、例えば図2に示されるように、車両100のフロントウインド上部に取り付けられている。

【0019】

図3は、車両100と、当該車両100の前方を走行する車両101との相対的な位置関係を示す図である。例えば、車両100の前方を走行する車両101が、車両100に相対的に接近している場合を考える。図3を参照するとわかるように、矢印a1に示される位置にある車両101は、所定の時間が経過すると矢印a2に示される位置に相対的に移動する。この場合には、撮影装置20によって、まず矢印a1に示される位置にある車両101が撮影され、次に矢印a2に示される位置にある車両101が撮影される。

【0020】

図4は、図3における矢印a1に示される位置にある車両101を撮影することにより得られた画像PH1を示す図である。また、図5は、図3における矢印a2に示される位置にある車両101を撮影することにより得られた画像PH2を示す図である。図4及び図5を参照するとわかるように車両100に車両101が相対的に接近する場合には、画像に写る車両101は、フレーム毎に大きくなる。

【0021】

本実施形態では、上述の画像PH1, PH2などの画像について、xy座標系を定義する。このxy座標系は、撮影装置20の光学中心に対応する点（撮影装置20の光軸とその画像面との交点である画像中心）を原点Xc(FOE:Focus of Expansion)とする。このxy座標系の原点Xcは、画像PH1, PH2の中心と一致している。

【0022】

図1に戻り、判定装置30は、CPU(Central Processing Unit)31、主記憶部32、補助記憶部33、表示部34、及びインターフェース部35を有するコンピュータである。

【0023】

CPU31は、補助記憶部33に記憶されているプログラムに従って、車両100へ衝突する可能性のある車両や、ガードレールなどの障害物を検出する。具体的な処理の内容については後述する。

【0024】

主記憶部32は、RAM(Random Access Memory)等を有している。主記憶部32は、CPU31の作業領域として用いられる。

【0025】

補助記憶部33は、例えばROM(Read Only Memory)、半導体メモリ等の不揮発性メモリを有している。補助記憶部33は、CPU31が実行するプログラム、及び各種パラメータなどを記憶している。また、撮影装置20から出力される画像情報、及びCPU3

10

20

30

40

50

1による処理結果などを含む情報を順次記憶する。

【0026】

表示部34は、LCD(Liquid Crystal Display)などの表示ユニットを有している。

表示部34は、CPU31の処理結果などを表示する。

【0027】

インターフェース部35は、シリアルインターフェースまたはLAN(Local Area Network)インターフェースなどを含んで構成されている。撮影装置20及び警報装置40は、インターフェース部35を介してシステムバス36に接続される。

【0028】

警報装置40は、判定装置30から出力される警報発令指示を受信すると、車両100のドライバに対して、例えば音声による警報を出力する。 10

【0029】

図6のフローチャートは、CPU31によって実行されるプログラムの一連の処理アルゴリズムに対応している。以下、図6を参照しつつ、衝突判定システム10の動作について説明する。図6に示される一連の処理は、車両100のドライバによってイグニッシュンスイッチがオンにされることによって実行される。

【0030】

最初のステップS101では、CPU31の衝突判定システム10の起動直後の初期化処理として、不図示のタイマ、フラグ、パラメータ、変数等の初期化を行う。 20

【0031】

次のステップS102では、最も新しい1組の画像PHから、オプティカルフローを算出する。

【0032】

具体的には、CPU31は、画像PH1, 画像PH2を構成する画素についての特徴量を算出する。例えば、図4に示される画像PH1を構成する画素M(x, y)それぞれの特徴量f(x, y)は、画像の輝度勾配を示す関数I(x, y)を用いると次式(1)によって表される。

【0033】

【数1】

$$f(x, y) = I_{xx} \cdot I_{yy} - I_{xy}^2 - k(I_{xx} + I_{yy})^2 \dots (1)$$

【0034】

ただし、Ix x、Iy y、Ix yはそれぞれ次式(2)～(4)によってそれぞれ表される。また、kは定数である。

【0035】

【数2】

$$I_{xx} = \sum \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 \dots (2)$$

【0036】

【数3】

$$I_{yy} = \sum \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \dots (3)$$

【0037】

【数4】

$$I_{xy} = \sum \left(\frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \right) \dots (4)$$

30

40

50

【0038】

CPU31は、まず、式(1)を用いて画像PH1を構成する画素M(x,y)についての特徴量f(x,y)を算出する。そして、CPU31は、画素M(x,y)の周囲にある画素の輝度の平均値AVG(x,y)を算出し、特徴量f(x,y)を、輝度の平均値AVG(x,y)を4乗したもので除する。CPU31は、これにより得られた比較値V($= f(x,y) / AVG(x,y)^4$)を、予め設定された閾値と比較して、比較値Vが閾値以上の場合に、このときの画素M(x,y)を特徴点として抽出する。

【0039】

これにより、図4に示されるように、画像PH1から特徴点P1～P4が抽出される。CPU31は、画像PH2に対しても同様の処理を施す。これにより、図5に示されるように、画像PH2から特徴点Q1～Q4が抽出される。なお、ここでは説明の便宜上、各画像から、特徴点が4つ抽出される場合について述べたが、実際は、1枚の画像から複数の特徴点が抽出される。

10

【0040】

画像PH1, PH2から特徴点を抽出すると、CPU31は、画像PH1の特徴点を始点とし、画像PH2の特徴点を終点とするオプティカルフローを規定する。

【0041】

例えば、画像PH1の特徴点P1は、画像PH2の特徴点Q1に対応する。また、画像PH1の特徴点P2は、画像PH2の特徴点Q2に対応する。また、画像PH1の特徴点P3は、画像PH2の特徴点Q3に対応する。また、画像PH1の特徴点P4は、画像PH2の特徴点Q4に対応する。

20

【0042】

そこで、CPU31は、図7に示されるように、xy座標系に、特徴点P1を始点とし、特徴点Q1を終点とするオプティカルフローOP1を規定する。同様に、特徴点P2, P3, P4をそれぞれ始点として、特徴点Q2, Q3, Q4をそれぞれ終点とするオプティカルフローOP2, OP3, OP4をそれぞれ規定する。

【0043】

図7に示されるように、本実施形態では説明の便宜上、車両101に関するオプティカルフローが4本である場合について説明している。しかしながら、実際は、車両101を撮影した画像からは、数十或いは数百の特徴点が抽出され、数十或いは数百本のオプティカルフローが規定される。

30

【0044】

図6に戻り、次のステップS103では、CPU31は、数十或いは数百本のオプティカルフローのうちから、ノイズ成分を多く含むオプティカルフローを除外し、残りのオプティカルフローをグルーピングする。

30

【0045】

例えば、車両101が完全な直線運動をしている場合には、各オプティカルフローと一致する直線それは、消失点VPで交わるはずである。そこで、CPU31は、オプティカルフローと一致する直線が、消失点VPから著しく離れている場合に、このオプティカルフローを除外し、残りのオプティカルフローを同一の移動体に関連するオプティカルフローとみなしてグルーピングする。ここでは車両101に関するオプティカルフローOP1～OP4が、車両101のオプティカルフローとしてグルーピングされる。

40

【0046】

次のステップS104では、CPU31は、オプティカルフローを用いて、障害物が車両100に衝突するまでの衝突予測時間TTCを算出する。衝突予測時間TTCを算出する際には、障害物が車両100に対してZ軸方向に相対移動するときと、障害物が車両100に対してZ軸と交差する方向へ相対移動するときとで、異なる処理が行われる。そこで、まず障害物が車両100に対してZ軸方向に相対移動するときに行われる衝突予測時間算出処理について説明する。

【0047】

50

図8は、衝突予測時間の算出手順を説明するための図である。図8における点R P 1は、図3において矢印a 1に示される位置にある車両101を構成する後部バンパーの右側端部を示す点である。そして、図8における点R Q 1は、図3において矢印a 2に示される位置にある車両101を構成する後部バンパーの右側端部を示す点である。この点R P 1は、特徴点P 1に対応し、点R Q 1は、特徴点Q 1に対応している。以下、説明の便宜上、点R P 1、点R Q 1それぞれを、対応点R P 1、対応点R Q 1ともいう。また、車両101を構成する後部バンパーの右側端部を便宜上指標点ともいう。

【0048】

図8におけるXYZ座標系は、車両100に搭載された撮影装置20の光学中心を原点Oとする直交座標系である。このXYZ座標系におけるZ軸は、撮影装置20の光軸と一致する。Y軸は、図8では不図示であるが、X軸及びZ軸と直交する。XYZ座標系におけるX座標及びY座標は、画像PH1, PH2に規定されたxy座標系におけるx座標及びy座標と一致する。図8における直線LN1は、撮影装置20の画像面IMを含む平面を示している。そして、直線LN2は、車両100の最も+Z側にある部分を含む衝突面を示している。

10

【0049】

本実施形態では、XYZ座標系の原点Oは、撮影装置20の光学中心と一致する。したがってXYZ座標系の原点Oから直線LN1までの距離は、撮影装置20の焦点距離fと等しい。また、原点Oと直線LN2との距離はLであるものとする。

20

【0050】

画像PH1が撮影されたときに、図3における矢印a 1に示される位置にある車両101は、画像PH2が撮影されたときには、図3における矢印a 2に示される位置に移動している。この場合、図8を参照するとわかるように、特徴点P 1を始点とし、特徴点Q 1を終点とするオプティカルフローOP1に対応するXYZ座標系でのベクトルは、始点を対応点R P 1とし、終点を対応点R Q 1とするベクトルMV0となる。

30

【0051】

オプティカルフローOP1は、撮影装置20の画像面IM内における特徴点の移動軌跡を示している。そして、ベクトルMV0は、XYZ座標系における対応点の移動軌跡を示している。車両101が、車両100に対してZ軸に平行に相対移動する場合には、ベクトルMV0はZ軸に平行となる。また、特徴点P 1及び対応点R P 1は、XYZ座標系において原点Oを通る直線LN3上に配置される。そして、特徴点Q 1及び対応点R Q 1は、XYZ座標系において原点Oを通る直線LN4上に配置される。

30

【0052】

したがって、対応点R Q 1と一致している車両101の指標点が、X座標をX1とするX軸上の点CP1に到達するまでの軌跡を示すベクトルMV2の大きさ|MV2|と、特徴点P 1のX座標x2と、特徴点Q 1のX座標x1と、ベクトルMV0の大きさ|MV0|との幾何学的な関係は、次式(5)で示される。

【0053】

【数5】

$$|MV2| = \frac{|MV0|}{\left(\frac{x1}{x2} - 1\right)} \dots (5)$$

40

【0054】

ここで、ベクトルMV0の大きさ|MV0|は、画像PH1が撮像された時刻から画像PH2が撮像された時刻までの時間tと、車両100に対する車両101の相対移動速度Vとの積(=V・t)である。また、ベクトルMV2の大きさ|MV2|は、指標点が対応点R Q 1からX軸上の点CP1まで移動するのに要する時間TTCCと、相対移動速度Vとの積(=V・TTCC)である。

50

【0055】

そこで、上記式(5)の $|MV_2|$ に($V \cdot TTC_c$)を代入し、 $|MV_0|$ に($V \cdot t$)を代入して、両辺を相対移動速度Vで除することで、次式(6)が導かれる。

【0056】

【数6】

$$TTC_c = \frac{\Delta t}{\left(\frac{x_1}{x_2} - 1\right)} \dots (6)$$

10

【0057】

また、車両101の指標点が、対応点RQ1から直線LN2で示される衝突面上の点CP2に到達するまでの軌跡を示すベクトルMV1は、Z軸と平行である。そして、ベクトルMV1の大きさ $|MV_1|$ とベクトルMV2の大きさ $|MV_2|$ との関係は、X軸から対応点RQ1までの距離Z1と、X軸と点CP2までの距離Lを用いると次式(7)で示される。

【0058】

【数7】

$$|MV_1| = |MV_2| \cdot \left(1 - \frac{L}{Z_1}\right) \dots (7)$$

20

【0059】

ここで、上述したように、ベクトルMV2の大きさ $|MV_2|$ は、指標点が対応点RQ1からX軸上の点CP1まで移動するのに要する時間TTCcと、相対移動速度Vとの積($= V \cdot TTC_c$)である。また、ベクトルMV1の大きさ $|MV_1|$ は、指標点が対応点RQ1から直線LN2上の点CP2に到達するまでの衝突予測時間TTCと、相対移動速度Vとの積($= V \cdot TTC$)である。

【0060】

相対移動速度Vは、オプティカルフローOP1～OP4に関する情報を用いても求めることができない。そこで、上記式(7)の $|MV_2|$ に($V \cdot TTC_c$)を代入し、 $|MV_1|$ に($V \cdot TTC$)を代入して、両辺を相対移動速度Vで除することで、相対移動速度Vを含む項を含まない次式(8)を導く。

30

【0061】

【数8】

$$TTC = TTC_c \cdot \left(1 - \frac{L}{Z_1}\right) \dots (8)$$

【0062】

上記式(8)のLは、X軸と直線LN2で示される衝突面との距離であり、撮影装置20の取り付け位置と車両100の前端との距離にほぼ等しい既知の値である。このため、CPU31は、X軸と対応点RQ1との距離Z1の値がわかれれば、上記式(8)を用いて、車両101が車両100に衝突するまでの衝突予測時間TTCを算出することが可能となる。

40

【0063】

そこで、CPU31は、次式(9)を用いて距離Z1を算出する。なお、fは撮影装置20の焦点距離である。また、hは、画像PH1, PH2を構成する画素のy軸方向の配列間隔である。また、hは、車両100が走行する路面と撮影装置20との距離である。また、ybは、図5に示されるように、画像PH2における、特徴点Q1と車両100が走行する路面との距離である。

【0064】

50

【数9】

$$Z1 = \frac{f \cdot h}{\delta \cdot y b} \cdots (9)$$

【0065】

C P U 3 1 は、上記式(9)を用いて、距離 Z 1 を算出すると、算出した距離 Z 1 を上記式(8)に代入して、車両 1 0 1 が車両 1 0 0 に衝突するまでの衝突予測時間 T T C を算出する。

【0066】

次に、障害物が車両 1 0 0 に対して Z 軸と交差する方向へ相対移動するときに行われる衝突予測時間算出処理について説明する。 10

【0067】

例えば、車両 1 0 0 が + Z 方向へ進行し、車両 1 0 1 が Z 軸と交差する方向へ進行する場合を考える。この場合、撮影装置 2 0 の光学中心を原点 O とする X Y Z 座標系では、車両 1 0 1 は、車両 1 0 0 の進行方向と車両 1 0 1 の進行方向とが合成された方向へ、相対的に移動することになる。

【0068】

例えば、図 9 の矢印 a 1 に示される位置にある車両 1 0 1 は、所定の時間が経過すると矢印 a 2 に示される位置に相対的に移動する。この場合には、撮影装置 2 0 によって、まず矢印 a 1 に示される位置にある車両 1 0 1 が撮影され、次に矢印 a 2 に示される位置にある車両 1 0 1 が撮影される。 20

【0069】

図 1 0 には、C P U 3 1 によって規定されたオプティカルフロー O P 1 ~ O P 4 が示されている。車両 1 0 1 が、車両 1 0 0 に対して Z 軸に交差する方向へ相対的に移動することにより車両 1 0 0 に接近する場合は、オプティカルフロー O P 1 ~ O P 4 の消失点 V P は、x y 座標系の原点 O と一致しない。

【0070】

しかしながら、図 1 1 を参照するとわかるように、車両 1 0 0 の進行方向と車両 1 0 1 の進行方向が交差する場合にも、オプティカルフロー O P 1 、ベクトル M V 0 、ベクトル M V 2 相互間の幾何学的関係は、車両 1 0 0 の進行方向と障害物の移動方向が等しいときのオプティカルフロー O P 1 等との関係と等価である。このため、上記式(5)は成立する。したがって、図 9 における矢印 a 2 に示される位置にある車両 1 0 1 が、車両 1 0 0 に衝突するまでの衝突予測時間 T T C は、上記式(8)で表される。 30

【0071】

図 1 1 に示されるように、直線 L N 5 は、原点を通り、ベクトル M V 0 と直交する直線である。また、点 C P 3 は、対応点 R Q 1 と点 C P 1 とを通る直線と、直線 L N 5 との交点である。説明の便宜上、図 1 1 では、点 C P 3 と点 C P 1 とが、ある程度離して記載されている。しかしながら、実際には、点 C P 3 と点 C P 1 との距離は、原点 O と直線 L N 2 で示される衝突面との距離 L 等に比べて著しく小さい。このため、ベクトル M V 2 と平行で、対応点 R Q 1 を始点とし、点 C P 3 を終点とするベクトル M V 3 は、ベクトル M V 2 と大きさが等価であるものとして取り扱っても差し支えない。 40

【0072】

そこで、C P U 3 1 は、車両 1 0 1 が直線 L N 5 によって示される面に衝突するまでの時間 T T C c 0 を、時間 T T C c の近似値として、次式(10)に基づいて算出する。なお、x v p は消失点 V P の X 座標である。

【0073】

【数10】

$$\text{TTCc } 0 = \frac{\Delta t}{\frac{(xvp - xl) \cdot \frac{1 + \frac{xvp \cdot x2}{f^2}}{(xvp - x2) \cdot \frac{1 + \frac{xvp \cdot xl}{f^2}}{}} - 1}{}} \dots(10)$$

【0074】

CPU31は、上記式(10)で算出した時間TTCc0を、時間TTCcとして、上記式(8)へ代入して、車両101が車両100に衝突するまでの衝突予測時間TTCを算出する。

10

【0075】

図6に戻り、次のステップS105では、CPU31は、ステップS104で算出した衝突予測時間TTCが、予め設定された閾値THより大きいか否かを判定する。そして、衝突予測時間TTCが閾値THよりも大きいと判定した場合には(ステップS105: Yes)、ステップS102へ戻る。以降、CPU31は、ステップS105での判定が否定されるまで、ステップS102～S105の処理を繰り返し実行する。一方、CPU31は、衝突予測時間TTCが閾値TH以下であると判定した場合には(ステップS105: No)、ステップS106へ移行する。

20

【0076】

ステップS106では、CPU31は、画像PH2に写る障害物の検出を試みる。具体的には、CPU31は、画像PH2に、障害物の検出を行う領域を規定するフレームFMを設定する。このフレームFMは、図12に示されるように、グルーピングされた1群のオプティカルフローOP1～OP4を含み、フレームFMによって囲まれる領域が最も小さくなるように設定される。本実施形態では、フレームFMが障害物が位置する領域を示す指標となる。

【0077】

図12に示される例では、グルーピングされたオプティカルフローOP1～OP4のうちの3つのオプティカルフローOP1, OP2, OP4の終点によって、フレームFMが規定されている。

30

【0078】

CPU31は、フレームFMを設定すると、フレームFMに囲まれる画像に対して、テンプレートのマッチングを行う。マッチングに用いるテンプレートとしては、例えば車両の後部の画像、ガードレールの画像などが考えられる。CPU31は、種々のテンプレートをフレームFMに囲まれる画像に対してマッチングさせて、各テンプレートについての相関値をそれぞれ算出する。

【0079】

次のステップS107では、CPU31は、ステップS106で算出された相関値から、自車前方に位置する障害物が、ガードレールや標識に代表される静止物であるかいなかを判定する。例えば、自車前方にガードレールが位置していた場合には、ステップS106で算出される相関値は、ガードレールの画像をマッチングさせたときに最も大きくなる。そこで、CPU31は、ガードレールの画像の相関値が、ステップS106で求めた相関値のうちで最も大きく、かつ所定の閾値を上回る場合に、フレームFMに囲まれる画像が、ガードレールなどの静止物の画像であると判定する(ステップS107: Yes)。そして、ステップS108へ移行する。

40

【0080】

ステップS108では、CPU31は、距離算出処理1を実行する。この距離算出処理1は、車両100に対する障害物の移動方向に直交する方向における、当該車両100と障害物との距離wxを算出するための処理である。障害物が静止物である場合や、車両100に対する障害物の移動方向が、XYZ座標系におけるZ軸に平行な方向である場合に

50

は、距離 w_x は、車両 100 と障害物との X 軸方向の距離を表す。

【0081】

例えば、ガードレール G R のような静止物は、車両 100 の進行方向に平行な直線に沿って相対移動しながら、車両 100 に接近する。このため、ガードレール G R が車両 100 に接近する場合には、図 13 に示されるように、例えばオプティカルフロー O P 5 ~ O P 8 が規定される。この場合には、フレーム F M、オプティカルフロー O P 5、及びガードレールの移動軌跡を示すベクトル M V 5 の X Y Z 座標系における位置関係は、図 14 に示されるようになる。なお、図 14 中の、 w_1 は、画像 P H 2 における消失点 V P からフレーム F M の端までの距離であり、 w_x は、車両 100 と障害物との距離である。また、 v_z は、車両 100 の速度であり、S f は、撮影装置 20 のスケールファクタである。

10

【0082】

そこで、C P U 31 は、次式(11)を用いて、車両 100 の進行方向に直交する方向(X Y Z 座標系における X 軸方向)に関する車両 100 と障害物との距離 w_x を算出する。

【0083】

【数 11】

$$w_x = \frac{w_1 \cdot v_z \cdot TTC}{S_f} \dots (11)$$

【0084】

ステップ S 107 の処理において、ガードレールなどの静止物の画像をマッチングさせたときの相関値が所定の閾値以下となつた場合には、C P U 31 は、フレーム F M に囲まれる画像が静止物の画像ではないと判定し(ステップ S 107 : N o)、ステップ S 109 へ移行する。

20

【0085】

ステップ S 109 では、C P U 31 は、フレーム F M に囲まれる領域に写る障害物と路面との境界の検出を試みる。例えば障害物が、車両 100 の前方を走行する車両 101 であつて、当該車両 101 の後方へ直射日光があたっているときには、画像 P H 2 に対して画像処理を実行することにより、当該車両 101 のタイヤと路面との境界を検出することができる。一方、当該車両 101 の前方へ直射日光があたると、当該車両 101 の後方に影ができるため、画像 P H 2 に対して画像処理を実行したとしても、当該車両 101 のタイヤと路面との境界を検出するのが困難になる。

30

【0086】

C P U 31 は、画像 P H 2 に対する画像処理によって、フレーム F M に囲まれる領域に写る障害物と路面との境界が検出できたときには(ステップ S 109 : Y e s)、ステップ S 110 へ移行する。

【0087】

ステップ S 110 では、C P U 31 は、距離算出処理 2 を実行する。この距離算出処理 2 では、ステップ S 108 で実行される距離算出処理 1 と比較して、演算に用いられる数式が異なる。

40

【0088】

例えば図 5 に示されるように、車両 101 と路面との路面境界 B L が検出された場合は、画像 P H 2 における消失点 V P から路面境界までの距離 v_1 と、路面に対する撮影装置 20 の高さ H と、画像 P H 2 における消失点 V P からフレーム F M までの距離 w_1 と、車両 100 と障害物 102 までの距離 w_x との関係は、図 15 に示されるようになる。そこで、C P U 31 は、次式(12)を用いて、距離 w_x を算出する。

【0089】

【数12】

$$wx = \frac{w1}{v1} \cdot H \cdots (12)$$

【0090】

ステップS109の処理において、画像PH2に対する画像処理によって、フレームFMに囲まれる領域に写る障害物と路面との境界が検出できなかったときには（ステップS109：No）、CPU31は、ステップS111へ移行する。

【0091】

ステップS111では、CPU31は、ステップS106で算出された相関値から、車両100の前方に位置する障害物が、車両であるか否かを判定する。例えば、車両100の前方に車両が位置していた場合には、ステップS106で算出される相関値は、車両の画像をマッチングさせたときに最も大きくなる。そこで、CPU31は、車両の画像をマッチングさせたときの相関値が、ステップS106で求めた相関値のうちで最も大きく、かつ所定の閾値を上回る場合に、フレームFMに囲まれる画像が、車両の画像であると判定する（ステップS111：Yes）。そして、ステップS112へ移行する。

10

【0092】

ステップS112では、CPU31は、距離算出処理3を実行する。この距離算出処理3では、ステップS108, S110で実行される距離算出処理1, 2と比較して、演算に用いられる数式が異なる。

20

【0093】

フレームFMに囲まれる画像が車両の画像である場合には、フレームFMの幅は、概ね車両100の前方を走行する前方車両の幅に対応した大きさになる。例えば、図16に示されるように、画像PH2におけるフレームFMの幅をwobjとし、消失点VPからフレームFMまでの距離をw1とする。また、前方車両の幅をWcとすると、車両101までの距離wxは、次式(13)で示される。そこで、CPU31は、次式(13)を用いて、距離wxを算出する。なお、前方車両の幅Wcは、一般的な車両の幅を想定したものであり、例えばその値を1.7mとすることが考えられる。幅Wcの値は、予め設定され、判定装置30に記憶されている。

30

【0094】

【数13】

$$wx = \frac{w1}{wobj} \cdot Wc \cdots (13)$$

【0095】

また、ステップS111の処理において、車両の画像をマッチングさせたときの相関値が所定の閾値以下となつた場合には、CPU31は、フレームFMに囲まれる画像が車両の画像ではないと判定し（ステップS111：No）、ステップS113へ移行する。

【0096】

ステップS113では、CPU31は、距離算出処理4を実行する。この距離算出処理4では、ステップS112で実行される距離算出処理3と比較して、演算に用いられるパラメータが異なる。一般に、走行する車両100の前方に障害物が存在する場合は、この障害物は車両である蓋然性が極めて高い。そこで、CPU31は、上記式(13)のパラメータWcを、当該パラメータWcよりも値が小さいパラメータWukに代えることにより得られる次式(14)を用いて、距離wxを算出する。パラメータWukの値は、前方車両の幅Wcに所定の係数を乗じることにより決定され、例えば所定の係数は1前後とすることが考えられる。パラメータWukの値は、予め設定され、判定装置30に記憶されている。

40

【0097】

ステップS113で算出される距離wxは、車両100と障害物との実際の距離よりも

50

小さくなる。このため、衝突が生じる前に余裕をもって、ドライバへ警報等を発令することが可能となる。

【0098】

【数14】

$$wx = \frac{w1}{wobj} \cdot Wuk \cdots (14)$$

【0099】

次のステップS114では、CPU31は、ステップS108, S110, S112, S113で算出した距離wxに用いて、障害物が車両100に衝突するか否かを判定する。この判定の際には、障害物が車両100の進行方向と平行な方向へ相対移動するときと、障害物が車両の進行方向と交差する方向へ相対移動するときとで、異なる処理が行われる。そこで、まず障害物が車両の進行方向と平行な方向へ相対移動するときに行われる判定処理について説明する。

10

【0100】

図17は、XYZ座標系における車両100, 101、及びフレームFMとの位置関係を示す図である。図17を参照するとわかるように、車両101が矢印A1に示されるようにZ軸に平行に移動する場合、すなわち、車両100の進行方向と、車両100に接近する障害物の相対的な移動方向が平行な場合には、消失点VPは、XYZ座標系におけるZ軸上に規定される。

20

【0101】

この場合CPU31は、撮影装置20から車両100の右側面までの距離Wcr、或いは撮影装置20から車両100の左側面までの距離Wclと、距離wxとを比較する。そして、距離Wcr、或いは距離Wclの値が、距離wxの値より小さい場合には、車両101などの障害物と車両100が衝突する可能性がないと判定する(ステップS114: No)。また、距離Wcr、或いは距離Wclの値が、距離wxの値以上の場合には、車両101などの障害物と車両100が衝突する可能性があると判定する(ステップS114: Yes)。

【0102】

次に、障害物が車両の進行方向と交差する方向へ相対移動するときに行われる判定処理について説明する。

30

【0103】

図18は、XYZ座標系における車両100, 101、及びフレームFMとの位置関係を示す図である。ベクトルA2に示されるように、車両101が、車両100の進行方向と交差する方向に相対移動しながら、車両100に接近するときは、CPU31は、衝突予測時間TTCが経過したときに車両100に接し、ベクトルA2と平行な2本の直線Lr, Llと、消失点VPを通りベクトルA2に平行な直線Lcとの距離dr, dlを、次式(15)及び(16)を用いてそれぞれ算出する。なお、xvpは、消失点VPのX座標である。また、距離Lcfは、撮影装置20から車両100の前端までの距離であり、距離Lcrは、撮影装置20から車両100の後端までの距離である。

40

【0104】

【数15】

$$dr = \frac{\frac{Sf}{xvp} \cdot Wcr + Lcr - TTC \cdot vz}{\sqrt{\left(\frac{Sf}{xvp}\right)^2 + 1}} \cdots (15)$$

【0105】

【数16】

$$dl = \frac{\frac{Sf}{xvp} \cdot Wcl + Lcf + TTC \cdot vz}{\sqrt{\left(\frac{Sf}{xvp}\right)^2 + 1}} \dots (16)$$

【0106】

CPU31は、距離dr, dlを算出すると、これらの距離dr, 或いは距離dlと、距離wxを比較する。そして、距離dr、或いは距離dlの値が、距離wxの値より小さい場合には、車両101などの障害物と車両100が衝突する可能性がないと判定する(ステップS114:No)。また、距離dr、或いは距離dlの値が、距離w1の値以上の場合には、車両101などの障害物と車両100が衝突する可能性があると判定する(ステップS114:Yes)。

10

【0107】

CPU31は、ステップS114で、障害物と車両100が衝突する可能性がないと判定した場合には(ステップS114:No)、ステップS102に戻り、以降ステップS102～S114の処理を繰り返す。一方、CPU31は、ステップS114で、障害物と車両100が衝突する可能性があると判定した場合には(ステップS114:Yes)、ステップS115へ移行する。

20

【0108】

ステップS115では、CPU31は、警報装置40へ警報の発令を指示する。これにより、車両100のドライバに対して、障害物が車両100に衝突する可能性があることが報知される。ステップS115の処理が終了すると、CPU31は、ステップS102へ戻る。そして、ステップS102以降の処理を繰り返し実行する。

【0109】

以上説明したように、本実施形態では、画像に写る障害物の位置を示すフレームFMと、当該障害物についてのオプティカルフローの消失点VPとの距離w1が求められる。そして、距離w1を用いて、車両100に対する障害物の相対移動方向に直交する方向についての、車両100と障害物との距離wxが算出される(ステップS108, S110, S112, S113)。これにより、距離wxと、車両100に搭載された撮影装置20と車両100の側面までの距離とを比較することにより、車両100と障害物とが衝突するか否かを精度よく判定することができる(ステップS114)。

30

【0110】

そして、判定結果に基づいて、障害物と車両100とが衝突する可能性がある場合に限り、車両100のドライバに警報を発令することが可能となる(ステップS115)。したがって、ドライバの運転を、適切に支援することが可能となる。

【0111】

本実施形態では、画像に写る障害物が静止物か、或いは車両であるか否かが判断される(ステップS107, S109, S111)。そして、判断結果に応じた手順で、消失点VPからフレームFMまでの距離w1が算出される。このため、障害物の種類に応じて、衝突可能性の正確な判定が可能となる。したがって、ドライバの運転を、適切に支援することができる。

40

【0112】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態によって限定されるものではない。例えば、上記実施形態に係る判定装置30の機能は、ハードウェアによっても実現することができる。

【0113】

一例として、図19には変形例に係る判定装置30のブロック図が示されている。図19に示されるように、この判定装置30は、記憶部30a, オプティカルフロー算出部3

50

0 b、予測時間算出部 3 0 c、属性判別部 3 0 d、距離算出部 3 0 e、及び判定部 3 0 f を有している。

【0 1 1 4】

例えば、オプティカルフロー算出部 3 0 b は、図 6 に示されるステップ S 1 0 2 , S 1 0 3 に係る処理を実行する。予測時間算出部 3 0 c は、ステップ S 1 0 4 , S 1 0 5 に係る処理を実行する。属性判別部 3 0 d は、ステップ S 1 0 6 , S 1 0 7 , S 1 0 9 , S 1 1 1 に係る処理を実行する。距離算出部 3 0 e は、ステップ S 1 0 8 , S 1 1 0 , S 1 1 2 , S 1 1 3 に係る処理を実行する。判定部 3 0 f は、ステップ S 1 1 4 , S 1 1 5 に係る処理を実行する。記憶部 3 0 a は、上記各部 3 0 b ~ 3 0 f の処理結果や、撮影装置 2 0 から出力される画像情報を記憶する。

10

【0 1 1 5】

第 1 の実施形態において判定装置 3 0 の補助記憶部 3 3 に記憶されているプログラムは、フレキシブルディスク、C D - R O M (Compact Disk Read-Only Memory)、D V D (Digital Versatile Disk)、M O (Magneto-Optical disk) 等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に格納して配布し、そのプログラムをコンピュータにインストールすることにより、上述の処理を実行する装置を構成することとしてもよい。

【0 1 1 6】

また、プログラムをインターネット等の通信ネットワーク上の所定のサーバ装置が有するディスク装置等に格納しておき、例えば、搬送波に重畠させて、コンピュータにダウンロード等するようにしても良い。

20

【0 1 1 7】

なお、本発明は、本発明の広義の精神と範囲を逸脱することなく、様々な実施形態及び変形が可能とされるものである。また、上述した実施形態は、本発明を説明するためのものであり、本発明の範囲を限定するものではない。

【産業上の利用可能性】

【0 1 1 8】

本発明の距離算出装置、距離算出方法、及びプログラムは、車両と障害物との距離を算出するのに適している。また、本発明の衝突検出システム、衝突検出方法、及びプログラムは、車両と障害物との衝突の検出に適している。

30

【符号の説明】

【0 1 1 9】

- 1 0 衝突判定システム
- 2 0 撮影装置
- 3 0 判定装置
- 3 0 a 記憶部
- 3 0 b オプティカルフロー算出部
- 3 0 c 予測時間算出部
- 3 0 d 属性判別部
- 3 0 e 距離算出部
- 3 0 f 判定部
- 3 1 C P U
- 3 2 主記憶部
- 3 3 補助記憶部
- 3 4 表示部
- 3 5 インタフェース部
- 4 0 警報装置
- 1 0 0 , 1 0 1 車両
- 1 0 2 障害物
- B L 路面境界
- C P 1 ~ C P 3 点

40

50

F M フレーム

G R ガードレール

I M 画像面

M 画素

M V 0 ~ M V 5 ベクトル

O P 1 ~ O P 8 オプティカルフロー

P H , P H 1 , P H 2 画像

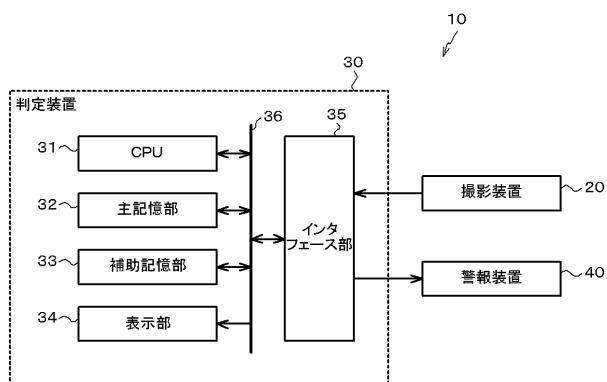
P 1 ~ P 4 特徴点

Q 1 ~ Q 4 特徴点

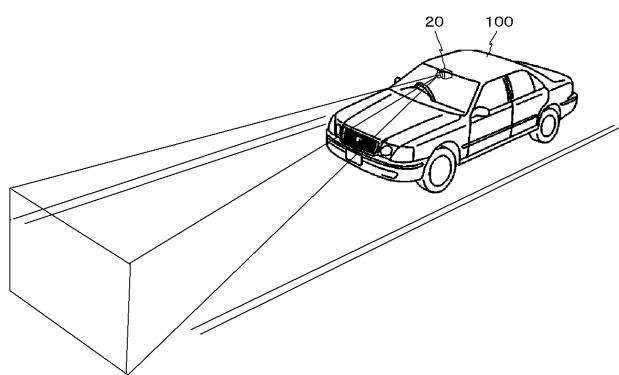
V P 消失点

10

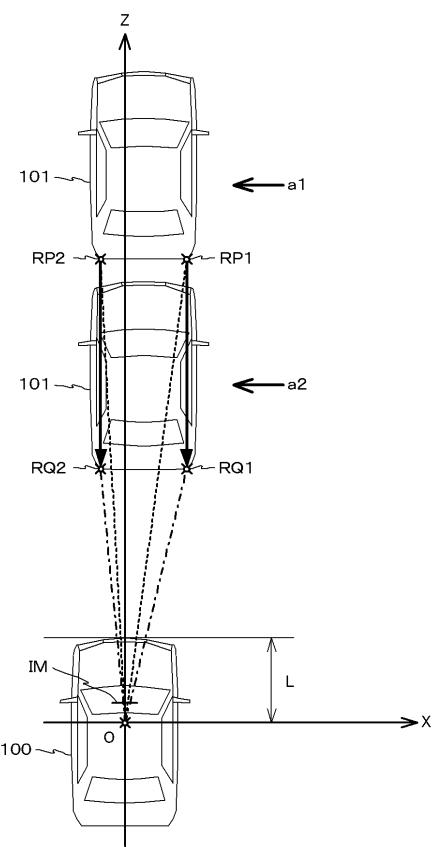
【図 1】



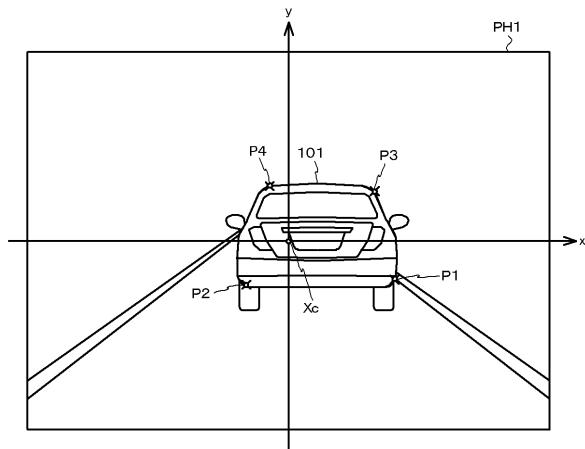
【図 2】



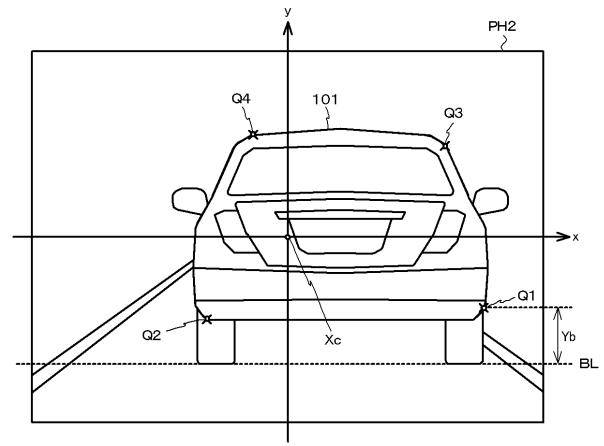
【図 3】



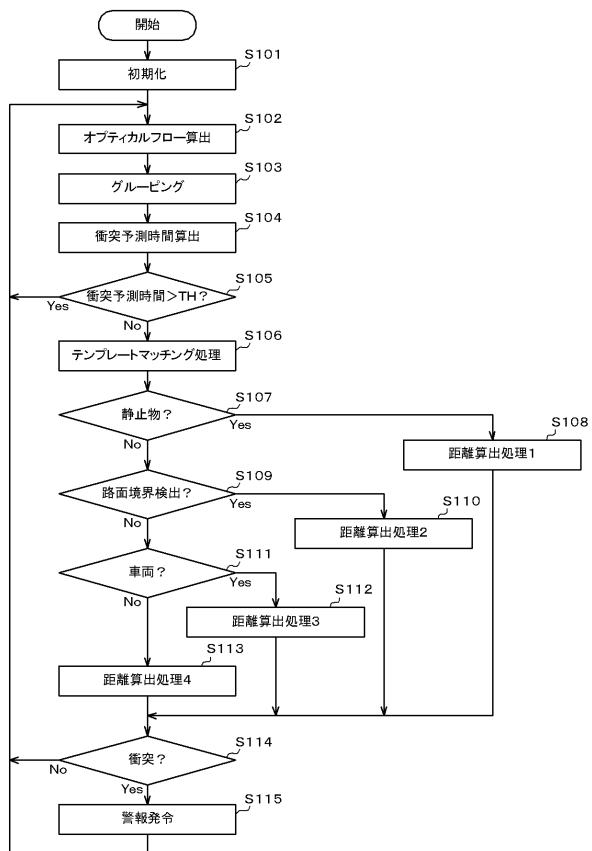
【図4】



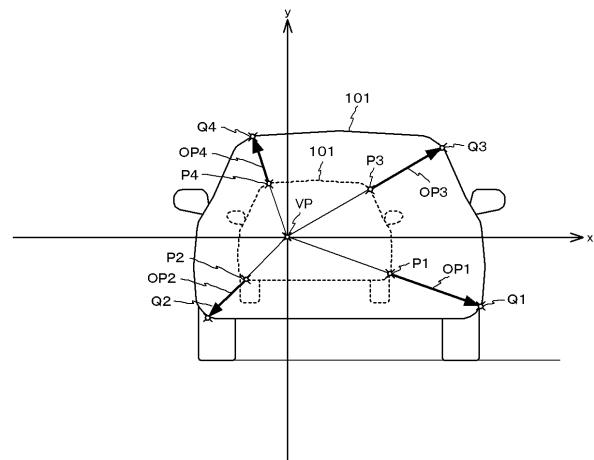
【図5】



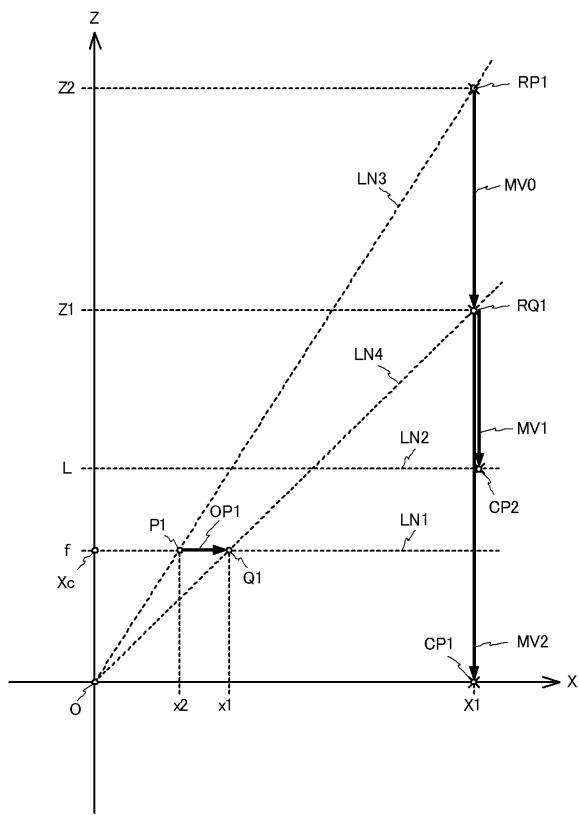
【図6】



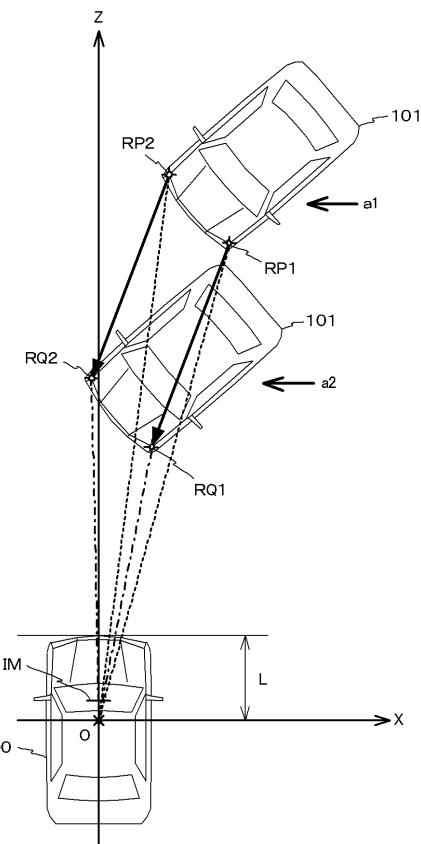
【図7】



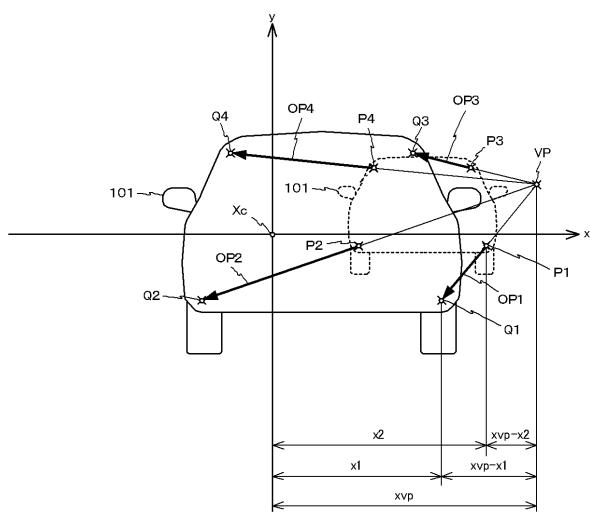
【図 8】



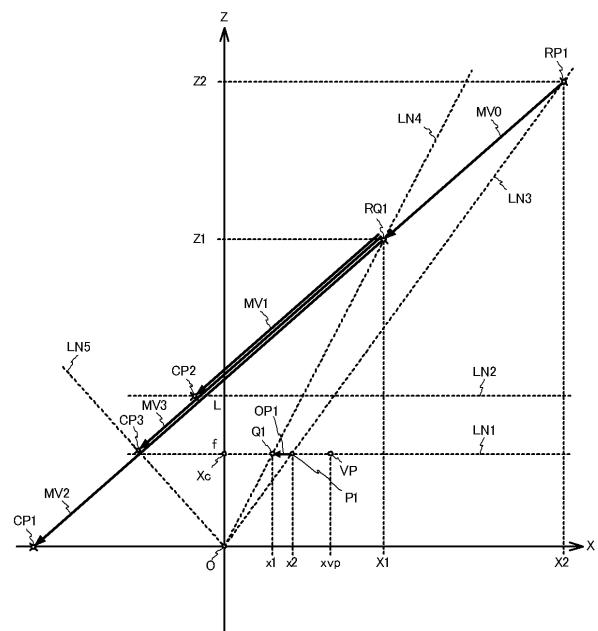
【図 9】



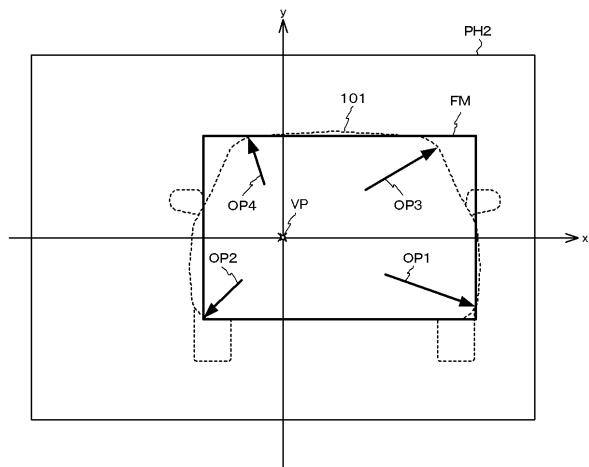
【図 10】



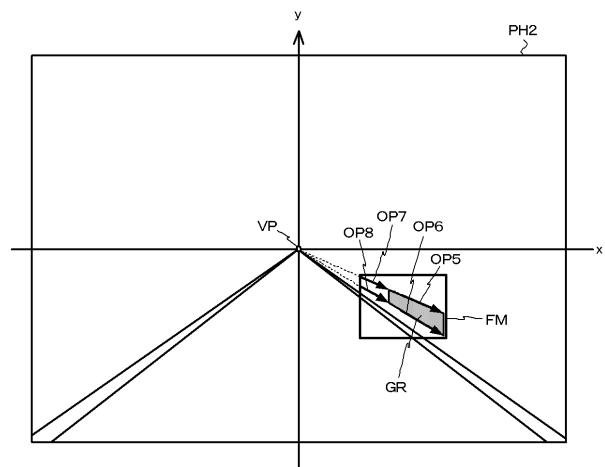
【図 11】



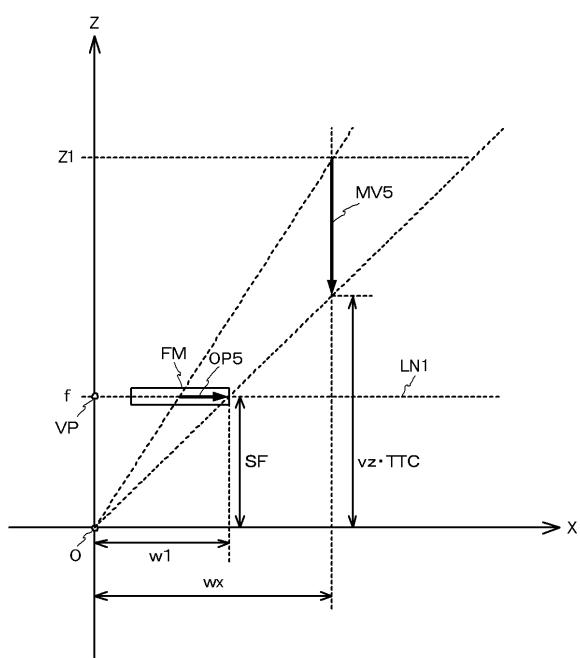
【図 1 2】



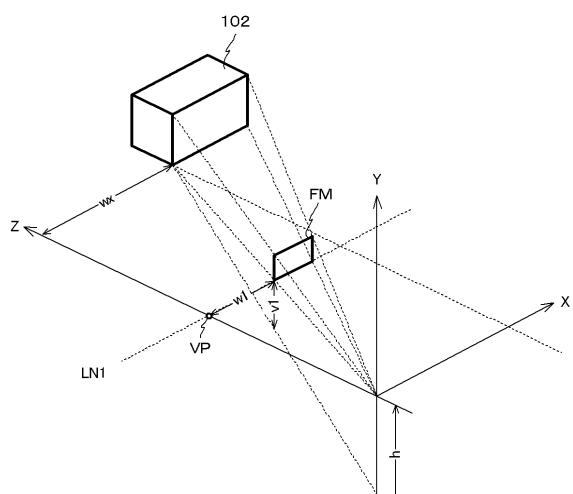
【図 1 3】



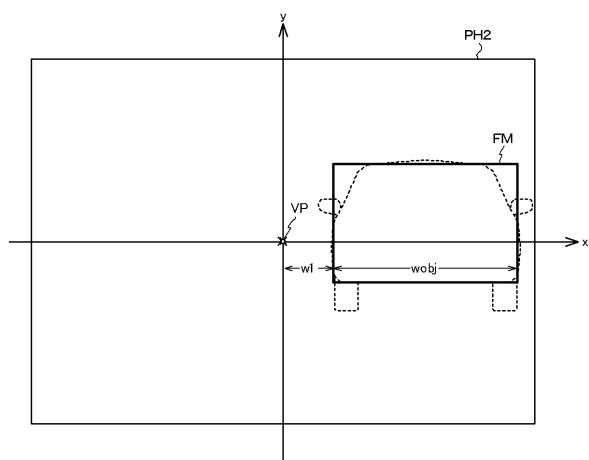
【図 1 4】



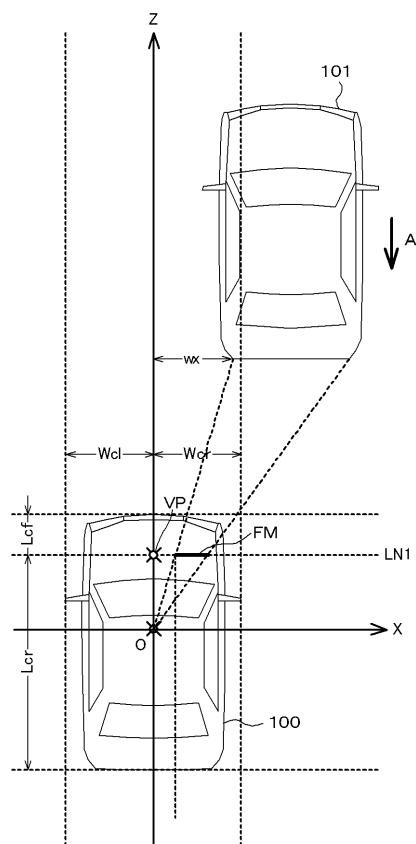
【図 1 5】



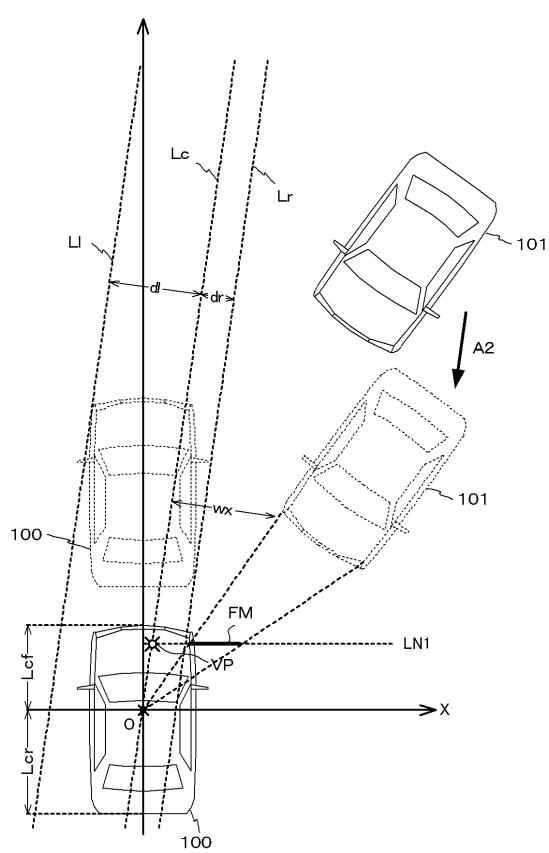
【図16】



【図17】



【図18】



【図19】

