

(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2017-16460

(P2017-16460A)

(43) 公開日 平成29年1月19日(2017.1.19)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
G08G	1/04	(2006.01)	G08G	1/04	D	5H181
G06T	7/20	(2017.01)	G06T	7/20	B	5L096
G08G	1/052	(2006.01)	G08G	1/052		
G01P	3/36	(2006.01)	G01P	3/36	C	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-133473 (P2015-133473)	(71) 出願人	000000295 沖電気工業株式会社 東京都港区虎ノ門一丁目7番12号
(22) 出願日	平成27年7月2日(2015.7.2)	(74) 代理人	100095957 弁理士 亀谷 美明
		(74) 代理人	100096389 弁理士 金本 哲男
		(74) 代理人	100101557 弁理士 萩原 康司
		(72) 発明者	渡辺 孝光 東京都港区虎ノ門一丁目7番12号 沖電気工業株式会社内
		(72) 発明者	渡辺 孝弘 東京都港区虎ノ門一丁目7番12号 沖電気工業株式会社内

最終頁に続く

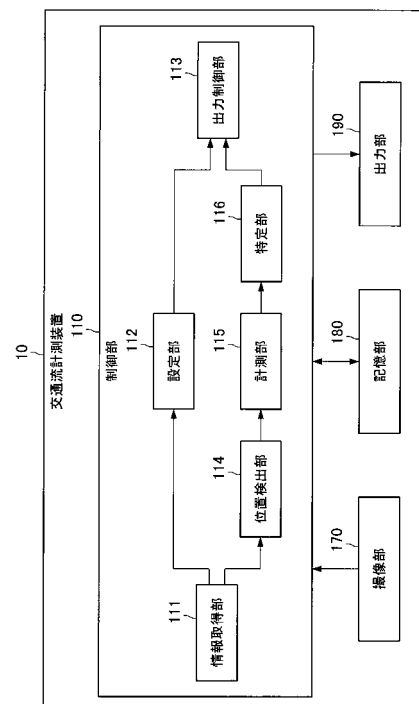
(54) 【発明の名称】 交通流計測装置および交通流計測方法

(57) 【要約】

【課題】 撮像画像に基づいて車両速度を計測する場合において車両速度の計測精度をさらに向上させる技術を提供する。

【解決手段】 道路平面が撮像された撮像画像と撮像時刻とを取得する情報取得部111と、撮像画像から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出する位置検出部114と、検出位置と撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を計測する計測部115と、を備える、交通流計測装置10が提供される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

道路平面が撮像された撮像画像と撮像時刻とを取得する情報取得部と、
前記撮像画像から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出する位置検出部と、
前記検出位置と前記撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、前記抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を計測する計測部と、
を備える、交通流計測装置。

【請求項 2】

前記計測部は、前記検出位置と前記撮像時刻との組み合わせに対してハフ変換を施してハフ空間上で投票ピーク点の位置に応じた組み合わせを前記抽出データとして抽出する、
請求項 1 に記載の交通流計測装置。

【請求項 3】

前記位置検出部は、前記撮像画像からエッジ特徴を検出し、前記エッジ特徴に基づいて前記車両領域を抽出する、
請求項 1 に記載の交通流計測装置。

【請求項 4】

前記計測部は、前記投票ピークの数交通量として計測する、
請求項 1 に記載の交通流計測装置。

【請求項 5】

前記位置検出部は、実サイズに合わせて設定された実空間における車両走行軸における座標を前記検出位置として検出する、
請求項 1 に記載の交通流計測装置。

【請求項 6】

前記位置検出部は、前記車両領域に基づいて実空間における車両走行軸に直交する所定の垂直平面を検出し、前記車両走行軸と前記垂直平面との交点座標を前記検出位置として検出する、
請求項 5 に記載の交通流計測装置。

【請求項 7】

前記位置検出部は、前記所定の垂直平面として車両前面または車両背面を検出する、
請求項 6 に記載の交通流計測装置。

【請求項 8】

前記位置検出部は、実空間における車両進行方向が奥から手前に向かう方向の場合には、前記車両前面を前記垂直平面として検出し、実空間における車両進行方向が手前から奥に向かう方向の場合には、前記車両背面を前記垂直平面として検出する、
請求項 7 に記載の交通流計測装置。

【請求項 9】

前記交通流計測装置は、
第 1 の車両の前記車両速度と第 1 の車両および第 2 の車両の所定位置への到達時間差とに基づいて、前記第 1 の車両と前記第 2 の車両との距離を特定する特定部を備える、
請求項 7 に記載の交通流計測装置。

【請求項 10】

前記特定部は、前記車両速度と前記第 1 の車両および前記第 2 の車両それぞれの車両前面の前記所定位置への到達時間差とに基づいて、前記第 1 の車両と前記第 2 の車両との車頭間距離を特定する、
請求項 9 に記載の交通流計測装置。

【請求項 11】

前記特定部は、前記第 1 の車両の車長と前記車頭間距離とに基づいて、前記第 1 の車両と前記第 2 の車両との車間距離を特定する、

10

20

30

40

50

請求項 10 に記載の交通流計測装置。

【請求項 12】

前記特定部は、前記車両速度と前記第 1 の車両および前記第 2 の車両それぞれの車両背面の前記所定位置への到達時間差とに基づいて、前記第 1 の車両と前記第 2 の車両との車尾間距離を特定する、

請求項 9 に記載の交通流計測装置。

【請求項 13】

道路平面が撮像された撮像画像と撮像時刻とを取得することと、

前記撮像画像から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出することと、

前記検出位置と前記撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、前記抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を計測することと、

を含む、交通流計測方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、交通流計測装置および交通流計測方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

20

近年、カメラによって道路平面が撮像されて得られた撮像画像から交通流を計測する技術が開発されている。かかる交通流計測技術においては、撮像画像から背景差分法に基づいて車両シルエット領域を抽出し、車両シルエット領域を追跡しながら撮像範囲を通過した車両シルエット領域の移動速度を計測することによって車両速度を計測するのが一般的である。

【0003】

しかし、かかる一般的な交通流計測技術においては、撮像画像から背景差分法に基づいて安定的に車両シルエット領域の抽出ができない場合には、車両シルエット領域を正確に追跡することが困難な状況が起こり得る。かかる状況では、撮像範囲を通過した車両シルエット領域の移動速度を精度よく計測することが困難となるため、車両速度を精度よく計測することが困難となり得る。

30

【0004】

そこで、道路平面の撮像画像から抽出される車両シルエット領域に応じた所定の検出位置と撮像画像が撮像された撮像時刻との組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に基づいて、車両速度を計測する技術が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。かかる技術によれば、撮像画像に基づいて車両速度を計測するに際して、車両速度の計測精度を向上させることが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

40

【特許文献 1】特開 2015 - 41187 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、投票ピークの位置に基づいて車両速度を計測するに際して、車両速度の計測精度をさらに向上させるための技術が求められる。特に、道路平面を走行する車両が高速になるにつれて、車両速度の計測結果に生じる誤差が大きくなりやすいため、車両速度の計測精度を向上させるための技術がより強く要求される。

【0007】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところ

50

は、撮像画像に基づいて車両速度を計測する場合において車両速度の計測精度をさらに向上させる技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記問題を解決するために、本発明のある観点によれば、道路平面が撮像された撮像画像と撮像時刻とを取得する情報取得部と、前記撮像画像から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出する位置検出部と、前記検出位置と前記撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、前記抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を計測する計測部と、を備える、交通流計測装置が提供される。

10

【0009】

前記計測部は、前記検出位置と前記撮像時刻との組み合わせに対してハフ変換を施してハフ空間上で投票ピーク点の位置に応じた組み合わせを前記抽出データとして抽出してもよい。

【0010】

前記位置検出部は、前記撮像画像からエッジ特徴を検出し、前記エッジ特徴に基づいて前記車両領域を抽出してもよい。

【0011】

前記計測部は、前記投票ピークの数交通量として計測してもよい。

【0012】

20

前記位置検出部は、実サイズに合わせて設定された実空間における車両走行軸における座標を前記検出位置として検出してもよい。

【0013】

前記位置検出部は、前記車両領域に基づいて実空間における車両走行軸に直交する所定の垂直平面を検出し、前記車両走行軸と前記垂直平面との交点座標を前記検出位置として検出してもよい。

【0014】

前記位置検出部は、前記所定の垂直平面として車両前面または車両背面を検出してもよい。

【0015】

30

前記位置検出部は、実空間における車両進行方向が奥から手前に向かう方向の場合には、前記車両前面を前記垂直平面として検出し、実空間における車両進行方向が手前から奥に向かう方向の場合には、前記車両背面を前記垂直平面として検出してもよい。

【0016】

前記交通流計測装置は、第1の車両の前記車両速度と第1の車両および第2の車両の所定位置への到達時間差とに基づいて、前記第1の車両と前記第2の車両との距離を特定する特定部を備えてもよい。

【0017】

前記特定部は、前記車両速度と前記第1の車両および前記第2の車両それぞれの車両前面の前記所定位置への到達時間差とに基づいて、前記第1の車両と前記第2の車両との車頭間距離を特定してもよい。

40

【0018】

前記特定部は、前記第1の車両の車長と前記車頭間距離とに基づいて、前記第1の車両と前記第2の車両との車間距離を特定してもよい。

【0019】

前記特定部は、前記車両速度と前記第1の車両および前記第2の車両それぞれの車両背面の前記所定位置への到達時間差とに基づいて、前記第1の車両と前記第2の車両との車尾間距離を特定してもよい。

【0020】

また、本発明のある観点によれば、道路平面が撮像された撮像画像と撮像時刻とを取得

50

することと、前記撮像画像から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出することと、前記検出位置と前記撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、前記抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を計測することと、を含む、交通流計測方法が提供される。

【発明の効果】

【0021】

以上説明したように本発明によれば、撮像画像に基づいて車両速度を計測する場合において車両速度の計測精度をさらに向上させることが可能である。

【図面の簡単な説明】

10

【0022】

【図1】本発明の実施形態の概要を説明するための図である。

【図2】本発明の実施形態に係る交通流計測装置の機能構成例を示す図である。

【図3】設定部により使用されるパラメータの例を示す図である。

【図4】設定部の機能の例を説明するための図である。

【図5】位置検出部の機能の例を説明するための図である。

【図6】検出位置と撮像時刻との組み合わせの例を示す図である。

【図7】図6に示した検出位置と撮像時刻との組み合わせの例に対してハフ変換を施して得られた結果を示す図である。

【図8】交通流計測の動作例を示すフローチャートである。

20

【図9】抽出データに対する最小二乗法による一次近似の例を示す図である。

【図10】車両速度計測の動作例を示すフローチャートである。

【図11】車頭間距離の特定について説明するための図である。

【図12】距離特定の動作例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書および図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0024】

30

また、本明細書および図面において、実質的に同一の機能構成を有する複数の構成要素を、同一の符号の後に異なる数字を付して区別する。また、異なる実施形態の類似する構成要素については、同一の符号の後に異なるアルファベットを付して区別する。ただし、実質的に同一の機能構成を有する複数の構成要素等の各々を特に区別する必要がない場合、同一符号のみを付する。

【0025】

〔概要の説明〕

続いて、本発明の実施形態の概要を説明する。図1は、本発明の実施形態の概要を説明するための図である。図1に示すように、撮像部が組み込まれた交通流計測装置10および道路平面が実空間に存在する。また、撮像部が組み込まれた交通流計測装置10は、撮像方向が道路平面に向けられた状態で設置されている。交通流計測装置10により撮像された撮像画像には道路に設けられたレーンの境界線が映っている。また、図1に示すように、交通流計測装置10のレンズの中心が原点Oに設定されている。

40

【0026】

図1には、交通流計測装置10に撮像部が組み込まれている例が示されているが、撮像部は交通流計測装置10に組み込まれておらず交通流計測装置10の外部に設置されていてもよい。かかる場合、例えば、交通流計測装置10は、撮像部から送信された撮像画像を受信することにより撮像画像を取得してもよい。また、例えば、交通流計測装置10は、記録媒体に記録された撮像画像を読み込むことにより撮像画像を取得してもよい。

50

【 0 0 2 7 】

ここで、撮像部によって道路平面が撮像されて得られた撮像画像 I m g ' から車両速度を計測する技術が提案されている。かかる交通流計測技術においては、撮像画像 I m g ' から背景差分法に基づいて車両シルエット領域を抽出し、車両シルエット領域を追跡しながら撮像範囲を通過した車両シルエット領域の移動速度を計測することによって車両速度を計測するのが一般的である。

【 0 0 2 8 】

しかし、撮像画像 I m g ' から背景差分法に基づいて安定的に車両シルエット領域の抽出ができない場合には、車両シルエット領域を正確に追跡することが困難な状況が起こり得る。かかる状況では、撮像範囲を通過した車両シルエット領域の移動速度を精度よく計測することが困難となるため、車両速度を精度よく計測することが困難となり得る。

10

【 0 0 2 9 】

例えば、撮像部が屋外に設置されるような場合には、天候の変化や日照の変化などが原因となって、安定的に車両シルエット領域の抽出ができなくなる可能性がある。また、手前側の車両に奥側の車両が隠蔽されてしまう現象が生じた場合には、手前側の車両と奥側の車両との間で車両シルエット領域が重複してしまう状況が起こり得るため、安定的に車両シルエット領域の抽出ができなくなる可能性がある。

【 0 0 3 0 】

そこで、道路平面の撮像画像から抽出される車両エッジ特徴に応じた所定の検出位置と撮像画像が撮像された撮像時刻との組み合わせに対して得られる投票ピーク点の位置に基づいて、車両速度を計測する技術が開示されている（例えば、特開 2 0 1 5 - 4 1 1 8 7 号公報参照。）。かかる技術によれば、撮像画像に基づいて車両速度を計測するに際して、車両速度の計測精度を向上させることが可能となる。

20

【 0 0 3 1 】

しかし、投票ピーク点の位置に基づいて車両速度を計測するに際して、車両速度の計測精度をさらに向上させるための技術が求められる。特に、道路平面を走行する車両が高速になるにつれて、車両速度の計測結果に生じる誤差が大きくなりやすいため、車両速度の計測精度を向上させるための技術がより強く要求される。そこで、本明細書においては、撮像画像に基づいて車両速度を計測する場合において車両速度の計測精度をさらに向上させる技術を主に提案する。

30

【 0 0 3 2 】

以上、本発明の実施形態の概要を説明した。

【 0 0 3 3 】

〔 実施形態の詳細 〕

続いて、本発明の実施形態の詳細について説明する。まず、本発明の実施形態に係る交通流計測装置 1 0 の機能構成について説明する。図 2 は、本発明の実施形態に係る交通流計測装置 1 0 の機能構成例を示す図である。図 2 に示すように、本発明の実施形態に係る交通流計測装置 1 0 は、制御部 1 1 0、撮像部 1 7 0、記憶部 1 8 0 および出力部 1 9 0 を備える。

【 0 0 3 4 】

40

制御部 1 1 0 は、交通流計測装置 1 0 の動作全体を制御する機能を有する。撮像部 1 7 0 は、実空間を撮像することにより撮像画像を取得する機能を有し、例えば、単眼カメラにより構成される。記憶部 1 8 0 は、制御部 1 1 0 を動作させるためのプログラムやデータを記憶することができる。また、記憶部 1 8 0 は、制御部 1 1 0 の動作の過程で必要となる各種データを一時的に記憶することもできる。出力部 1 9 0 は、制御部 1 1 0 による制御に従って出力を行う機能を有する。出力部 1 9 0 の種類は特に限定されず、計測結果記録装置であってもよいし、計測結果を通信回線にて他装置へ送信する装置であってもよいし、表示装置であってもよいし、音声出力装置であってもよい。

【 0 0 3 5 】

なお、図 2 に示した例では、撮像部 1 7 0、記憶部 1 8 0 および出力部 1 9 0 は、交通

50

流計測装置 10 の内部に存在するが、撮像部 170、記憶部 180 および出力部 190 の全部または一部は、交通流計測装置 10 の外部に備えられていてもよい。また、制御部 110 は、情報取得部 111 と、設定部 112 と、出力制御部 113 と、位置検出部 114 と、計測部 115 と、特定部 116 とを備える。制御部 110 が備えるこれらの各機能部の詳細については、後に説明する。

【0036】

以上、本発明の実施形態に係る交通流計測装置 10 の機能構成例について説明した。

【0037】

まず、本発明の実施形態に係る交通流計測装置 10 によりキャリブレーションが行われ得る。より詳細には、道路の平面式（以下、「道路平面式」とも言う）を算出する処理と車両の進行方向とを算出する処理とがキャリブレーションとして行われ得る。以下では、図 3 および図 4 を参照しながら、設定部 112 により行われ得るキャリブレーションについて説明する。

【0038】

図 3 は、設定部 112 により使用されるパラメータを示す図である。設定部 112 は、まず、撮像部 170 を構成する撮像素子のサイズと制御部 110 に提供される撮像画像 Img' のサイズとに基づいて、撮像素子の単位 $pixel$ 当たりの撮像画像 Img' のサイズ pix_dot をパラメータとして算出する。撮像画像 Img' は、原点 O から焦点距離だけ離れた撮像素子の撮像面上に撮像された撮像画像 Img に基づいて生成される。また、制御部 110 に提供された撮像画像 Img' は、情報取得部 111 によって取得されて設定部 112 によって利用され得る。

【0039】

図 3 に示すように、ここでは、撮像素子が CCD ($Charge\ Coupled\ Device$) である場合を例として説明するが、 CCD は撮像素子の一例に過ぎない。したがって、撮像素子は $CMOS$ ($Complementary\ Metal\ Oxide\ Semiconductor$) 等であってもよい。

【0040】

ここで、 CCD サイズを ccd_size とし、撮像画像 Img' (横: $width$ × 縦: $height$) のサイズを img_size とすると、設定部 112 は、以下の (数式 1) により pix_dot を算出することができる。一般的に、 CCD サイズは、 CCD の対角線の長さで表されるため、この (数式 1) に示されるように、 CCD サイズが撮像画像 Img' の縦横の 2 乗和の平方根で除されることにより算出される。しかし、このような手法によるパラメータ pix_dot の算出は一例に過ぎないため、他の手法によりパラメータ pix_dot が算出されてもよい。例えば、 CCD の対角線の代わりに CCD の縦または横の長さが用いられてもよい。

【0041】

【数 1】

$$pix_dot = \frac{ccd_size}{\sqrt{width * width + height * height}}$$

・・・ (数式 1)

【0042】

なお、 CCD サイズは、例えば、撮像部 170 から容易に取得される。また、撮像画像 Img' のサイズは、例えば、記憶部 180 から取得される。したがって、制御部 110 は、これらのサイズに基づいて、 CCD の撮像面に撮像される撮像画像 Img の実空間における 3 次元座標と制御部 110 に提供される撮像画像 Img' の 2 次元座標との対応関係を把握することができる。すなわち、制御部 110 は、この対応関係に基づいて、制御部 110 に提供される撮像画像 Img' の 2 次元座標から CCD の撮像面に撮像される撮像画像 Img の実空間における 3 次元座標を把握することができる。

【 0 0 4 3 】

このように算出されたパラメータを用いてキャリブレーションが行われ得る。以下、図 4 を参照しながら、設定部 1 1 2 によりパラメータを用いて行われるキャリブレーションについて説明する。

【 0 0 4 4 】

図 4 は、設定部 1 1 2 の機能を説明するための図である。図 4 に示したように、原点 O を基準とした x y z 座標系（実空間）を想定する。この x y z 座標系において、道路平面式を $R_1 x + R_2 y + R_3 z + R_4 = 0$ とする。また、車両の進行方向を示すベクトルである進行方向ベクトル v を (v_x, v_y, v_z) とする。なお、以下の説明では、図 4 に示したように、原点 O から焦点距離 f だけ離れた点（焦点）を y 軸上に設定し、この焦点を通り y 軸に垂直な平面を撮像面とし、この撮像面上に撮像画像 $I m g$ が撮像されるものとして説明を続けるが、各座標軸の設定はこのような例に限定されない。

【 0 0 4 5 】

道路平面上には、平行な 2 直線があらかじめ描かれている。したがって、撮像画像 $I m g$ には、この平行な 2 直線が映されている。また、道路平面上には、既知の大きさ Q_dis 離れた 2 点 Q_1, Q_2 があらかじめ描かれている。撮像画像 $I m g$ には、2 点 Q_1, Q_2 が、 $Q_1' (x_{s1}, f, z_{s1}), Q_2' (x_{s2}, f, z_{s2})$ として映される。なお、図 4 に示した例では、 Q_1, Q_2 が道路平面上の平行な 2 直線の各々上の点として描かれているが、 Q_1, Q_2 は、道路平面上の点であれば、特に限定されない。

【 0 0 4 6 】

また、撮像画像 $I m g$ に映る 2 直線のうち、第 1 の直線が通る 2 点を $T_1 (x_1, y_1, z_1)$ および $T_4 (x_4, y_4, z_4)$ とし、第 2 の直線が通る 2 点を $T_2 (x_2, y_2, z_2)$ および $T_3 (x_3, y_3, z_3)$ とする。すると、図 4 に示すように、 T_1, T_2, T_3 および T_4 の各々と原点 O とを結ぶ直線と道路平面との交点の座標は、 $t_1 \cdot T_1, t_2 \cdot T_2, t_3 \cdot T_3$ および $t_4 \cdot T_4$ と表される。設定部 1 1 2 は、例えば、以下に示す（前提条件 1）に基づいて、キャリブレーションを行うことができる。

【 0 0 4 7 】

（前提条件 1）

（条件 1）道路平面上の平行な 2 直線の方法ベクトルは同じである。

（条件 2）撮像部 1 7 0 のロールは 0 である。

（条件 3）原点 O から道路平面までの距離を高さ H とする。

（条件 4）道路平面上に Q_dis 離れた Q_1 および Q_2 が存在する。

なお、上記ロールが 0 であるとは、道路平面に対して垂直な方向に設置されている物体が撮像画像 $I m g$ 上においても縦方向に映るように撮像部 1 7 0 が設置されている状態を意味する。

【 0 0 4 8 】

設定部 1 1 2 は、以上に示したように取得される各種データと（条件 1）とに基づいて、以下の（数式 2）および（数式 3）に示される関係式を導き出すことができる。

【 0 0 4 9 】

【数 2】

$$\frac{(x_2 \cdot t_2 - x_1 \cdot t_1)}{(x_4 \cdot t_4 - x_3 \cdot t_3)} = \frac{(f \cdot t_2 - f \cdot t_1)}{(f \cdot t_4 - f \cdot t_3)}$$

・・・（数式 2）

【数 3】

$$\frac{(x_2 \cdot t_2 - x_1 \cdot t_1)}{(x_4 \cdot t_4 - x_3 \cdot t_3)} = \frac{(z_2 \cdot t_2 - z_1 \cdot t_1)}{(z_4 \cdot t_4 - z_3 \cdot t_3)}$$

10

20

30

40

50

・・・ (数式 3)

【 0 0 5 0 】

また、設定部 1 1 2 は、以上に示したように取得される各種データと (条件 2) とに基づいて、以下の (数式 4) に示される関係式を導き出すことができる。なお、ロールが 0 の状態であれば、道路平面式と平行な軸方向 (図 4 に示した例では、x 軸方向) への道路平面に対する垂線の成分が 0 になるため、計算式が簡略化される (例えば、x 軸方向への垂線の成分が 0 であれば、 $R_1 = 0$ として計算できる)。

【 0 0 5 1 】

【数 4】

$$(f \cdot t_2 - f \cdot t_1) \cdot (z_1 \cdot t_1 - z_3 \cdot t_3) - (z_2 \cdot t_2 - z_1 \cdot t_1) \cdot (f \cdot t_1 - f \cdot t_3) = 0$$

・・・ (数式 4)

【 0 0 5 2 】

また、設定部 1 1 2 は、以上に示したように取得される各種データと (条件 3) とに基づいて、以下の (数式 5) に示される関係式を導き出すことができる。

【 0 0 5 3 】

【数 5】

$$H = -(R_4) \sqrt{R_1 \cdot R_1 + R_2 \cdot R_2 + R_3 \cdot R_3}$$

・・・ (数式 5)

【 0 0 5 4 】

また、設定部 1 1 2 は、以上に示したように取得される各種データと (条件 4) とに基づいて、以下の (数式 6) および (数式 7) に示される関係式を導き出すことができる。

【 0 0 5 5 】

【数 6】

$$K_1 = \frac{-R_4}{(R_1 \cdot xs_1 \cdot pix_dot + R_2 \cdot f + R_3 \cdot zs_1 \cdot pix_dot)}$$

・・・ (数式 6)

【数 7】

$$K_2 = \frac{-R_4}{(R_1 \cdot xs_2 \cdot pix_dot + R_2 \cdot f + R_3 \cdot zs_2 \cdot pix_dot)}$$

・・・ (数式 7)

【 0 0 5 6 】

ここで、 K_1 は、原点 O から道路平面上の $Q_1 (x_{r1}, y_{r1}, z_{r1})$ までの距離が原点 O から撮像画像 Img 上の $Q_1' (x_{s1}, f, z_{s1})$ までの距離の何倍になっているかを示す値である。同様に、 K_2 は、原点 O から道路平面上の $Q_2 (x_{r2}, y_{r2}, z_{r2})$ までの距離が原点 O から撮像画像 Img 上の $Q_2' (x_{s2}, f, z_{s2})$ までの距離の何倍になっているかを示す値である。したがって、以下の (数式 8) に示される関係式を導き出すことができる。

【 0 0 5 7 】

10

20

30

40

【数 8】

$$xr1 = xs1 \cdot K1$$

$$yr1 = f \cdot K1$$

$$zr1 = zs1 \cdot K1$$

$$xr2 = xs2 \cdot K2$$

$$yr2 = f \cdot K2$$

$$zr2 = zs2 \cdot K2$$

10

・・・ (数式 8)

【0058】

設定部 112 は、(数式 8) に示される関係式から、道路平面上の 2 点 (Q1 および Q2) の距離の測定値 Q_dis' を、以下の (数式 9) により算出することができる。

【0059】

【数 9】

$$Q_dis' = \sqrt{(xr1 - xr2)^2 + (yr1 - yr2)^2 + (zr1 - zr2)^2}$$

20

・・・ (数式 9)

【0060】

設定部 112 は、測定値 Q_dis' と既知の大きさ Q_dis との差分が最も小さくなる場合における R1、R2、R3 および R4 を、(数式 1) ~ (数式 9) に基づいて算出することができる。このように R1、R2、R3 および R4 が算出されることにより、道路平面式 $R1x + R2y + R3z + R4 = 0$ が決定される。

【0061】

以上に説明したような道路平面式の算出手法は、一例に過ぎない。したがって、設定部 112 は、他の手法により道路平面式を算出することも可能である。例えば、道路平面上の平行な 2 直線間の距離が既知であれば、この道路平面上の平行な 2 直線間の距離を用いることにより、(条件 2) を使用しないで道路平面式を算出することができる。

30

【0062】

また、設定部 112 は、進行方向ベクトル $v(vx, vy, vz)$ を算出することもできる。より詳細には、設定部 112 は、道路平面上の平行な 2 直線のうちの少なくともいずれか一方の直線の方法を算出することにより、進行方向ベクトル v を算出することができる。例えば、設定部 112 は、座標 $t2 \cdot T2$ と座標 $t3 \cdot T3$ との差分を進行方向ベクトル v として算出してもよいし、座標 $t1 \cdot T1$ と座標 $t4 \cdot T4$ との差分を進行方向ベクトル v として算出してもよい。

【0063】

以上に説明したような手法により、設定部 112 は、キャリブレーションを行うことができる。このようなキャリブレーションにより算出された道路平面式 $R1x + R2y + R3z + R4 = 0$ および進行方向ベクトル $v(vx, vy, vz)$ を交通量および車両速度の計測のために利用することができる。図 4 に示すように、設定部 112 は、進行方向ベクトル $v(vx, vy, vz)$ と平行な車両走行軸 A を設定してもよい。上記のように xyz 座標が実空間の実サイズに合わせて設定されれば、車両走行軸 A も実空間において実サイズに合わせて設定され得る。

40

【0064】

また、図 4 に示すように、設定部 112 は、計測範囲 E1 を設定してもよい。そうすれば、計測範囲 E1 から抽出される車両領域に基づいて交通量および車両速度が計測される。例えば、設定部 112 は、入力操作に基づいて計測範囲 E1 を設定してもよいし、進

50

行方向ベクトル $v(v_x, v_y, v_z)$ に基づいて自動的に計測範囲 E_1 を設定してもよい。ただし、撮像範囲自体を計測範囲とする場合などには、計測範囲の設定は特になされなくてもよい。以下では、説明を簡便にするため、撮像範囲自体を計測範囲とする場合を主に説明する。出力制御部 113 は、設定部 112 によって設定された各種情報を出力部 190 に出力させてもよい。

【0065】

以上、設定部 112 により行われるキャリブレーションについて説明した。

【0066】

続いて、道路平面が撮像された撮像画像 Img に基づいた交通量計測の詳細について説明する。上記したように、撮像部 170 から制御部 110 に対して撮像画像 Img が提供される。さらに、撮像部 170 は計時機能を有しており、撮像画像 Img の撮像時刻が撮像部 170 によって検出されると、検出された撮像時刻が制御部 110 に提供される。情報取得部 111 は、このようにして撮像部 170 から提供された撮像画像 Img と撮像時刻とを取得する。

10

【0067】

続いて、位置検出部 114 は、撮像画像 Img から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出する。所定の検出位置は車両走行軸 A における座標であってもよい。すなわち、位置検出部 114 は、車両走行軸 A における座標を検出位置として検出してよい。位置検出部 114 による検出について、図 5 を参照しながらさらに詳細に説明する。図 5 は、位置検出部 114 の機能の例を説明するための図である。なお、図 5 に示した例は、位置検出部 114 による検出の一例に過ぎないため、位置検出部 114 による検出は、図 5 に示した例に限定されない。

20

【0068】

図 5 を参照すると、道路平面上を車両 M が走行している。まず、位置検出部 114 は、撮像画像 Img から車両領域を抽出する。車両領域はどのように抽出されてもよい。例えば、車両領域は、車両 M が図 5 上で映る前後のフレームにおける撮像画像 Img 同士の差分によって抽出されるシルエットから特定される領域であってもよい。あるいは、背景画像と撮像画像 Img との差分により抽出されるシルエットであってもよい。

【0069】

加えて、撮像映像上の車両 M 上には車両輪郭およびフロントガラス等によりエッジ特徴が多数検出される。そこで上記処理によって抽出されたシルエットに基づいた車両領域から、位置検出部 114 ではさらにエッジ特徴を検出し、エッジ特徴に基づいて車両領域を検出すると、撮像環境の変化に対してより高精度な車両領域抽出が行われ得る。

30

【0070】

具体的には、位置検出部 114 は、上記処理によって抽出されたシルエットに基づいてエッジ特徴を検出し、検出されたエッジ特徴の集まりを車両領域として抽出してもよい。ただし、エッジ検出処理だけでは、1 台の車両 M が映った領域が複数のエッジ領域に分断されて抽出されてしまう可能性がある。そこで、位置検出部 114 は、閾値未満の距離にあるエッジ特徴同士を一つのエッジ領域にまとめてよい。具体的には、位置検出部 114 は、各エッジ特徴に対してラベリング処理を行い、ラベル付けされたエッジ特徴同士が閾値未満の距離にあれば、そのエッジ特徴同士を一つのエッジ領域にまとめてよい。

40

【0071】

続いて、位置検出部 114 は、上記したように車両領域に基づいて検出位置を検出する。例えば、位置検出部 114 は、車両領域に基づいて車両走行軸 A に直交する所定の垂直平面を検出し、車両走行軸 A と所定の垂直平面との交点座標を検出位置として検出すればよい。所定の垂直平面は限定されないが、車両前面であってもよいし、車両背面であってもよい。すなわち、位置検出部 114 は、所定の垂直平面として車両前面または車両背面を検出してよい。

【0072】

あるいは、位置検出部 114 は、所定の垂直平面として車両前面を検出するか車両背面

50

を検出するかを状況に応じて変更してもよい。例えば、位置検出部 114 は、進行方向ベクトル v が奥から手前に向かう方向の場合には、車両前面を垂直平面として検出し、進行方向ベクトル v が手前から奥に向かう方向の場合には、車両背面を垂直平面として検出してもよい。このようにすれば、奥側の面よりも手前側の面がより鮮明に撮像画像 Img に映る可能性が高いため、検出精度がより高まることが期待される。

【0073】

ここでは、進行方向ベクトル v が右奥から左手前に向かう方向の場合に所定の垂直平面として車両前面 $F1$ を検出する手法の一例を説明する。まず、図 5 に示すように、位置検出部 114 は、撮像画像 Img から抽出される車両領域に基づいて、車両前面最低点 $m1'$ を検出する。車両前面最低点 $m1'$ は、車両 M の車体のうち地上からの高さが最も低い点である。車両前面最低点 $m1'$ はどのように検出されてもよいが、例えば、進行方向ベクトル v が右奥から左手前に向かう方向の場合には、車両走行軸 A に垂直な平面に対して画像上で最下点となるエッジ線（車両領域の左下の線分）上の点（例えば、中点）が車両前面最低点 $m1'$ として検出される。

10

【0074】

続いて、位置検出部 114 は、実空間上の車両前面最低点 $m1$ から道路平面に最低地上高 h の長さの垂線を下してその交点 $m0$ を通過する車両走行軸 A に垂直な平面を車両前面 $F1$ として検出する。ここで、最低地上高 h は、あらかじめ決められた値であってもよいし、これまでに検出された最低地上高に基づいて定められる値であってもよい。あらかじめ決められた値を最低地上高 h として使用する場合には、例えば、あらかじめ決められた値として複数の車両における最低地上高の平均値が使用されてもよい。図 5 には、車両 M が道路平面に接する接地点 $D0$ と車体低平面との距離が最低地上高 h として示されている。

20

【0075】

なお、ここでは、進行方向ベクトル v が右奥から左手前に向かう方向の場合に所定の垂直平面として車両前面 $F1$ を検出する手法を説明したが、進行方向ベクトル v が左手前から右奥に向かう方向の場合にも同様にして、最低地上点 $m1'$ として車両背面の下部のエッジ線（車両領域の左下の線分）上の点（例えば、中点）が最低地上点 $m1'$ として検出され、同様の手法により車両背面が検出され得る。

【0076】

また、進行方向ベクトル v が左奥から右手前に向かう方向の場合には、最低地上点 $m1'$ として車両前面の下部のエッジ線（車両領域の右下の線分）上の点（例えば、中点）が最低地上点 $m1'$ として検出され、同様の手法により車両前面が検出され得る。進行方向ベクトル v が右手前から左奥に向かう方向の場合にも同様にして、最低地上点 $m1'$ として車両背面の下部のエッジ線（車両領域の右下の線分）上の点（例えば、中点）が最低地上点 $m1'$ として検出され、同様の手法により車両背面が検出され得る。

30

【0077】

以上の例において説明したような手法により、車両領域に基づいて検出位置が検出され得る。位置検出部 114 によって検出位置が検出されれば、検出位置と撮像時刻との組み合わせが得られる。図 6 は、検出位置と撮像時刻との組み合わせの例を示す図である。続いて、計測部 115 は、このようにして得られた検出位置と撮像時刻との組み合わせから交通量および車両速度を計測する。

40

【0078】

ここで、通行車両は通常、一定の運動をしているとみなせるため、検出位置と撮像時間との組み合わせは一定の法則を満たすことになる。そこで、計測部 115 は、一定の法則を満たす組み合わせに対して投票を行い、投票度数のピーク（以下、「投票ピーク」とも言う。）を、1 台の車両領域に基づいて検出された組み合わせの集合が満たすとみなせばよい。したがって、投票ピークの数だけ車両が通過したとみなすことが可能であるため、計測部 115 は、投票ピークの数交通量として計測すればよい。

【0079】

50

なお、投票ピークは、投票度数が閾値を超える場合であり、かつ、投票度数が極大となる場合であってもよい。あるいは、投票ピークは、投票度数が閾値を超える場合であるか、または、投票度数が極大となる場合であってもよい。すなわち、投票ピークは、投票度数が閾値を超える場合、および、投票度数が極大となる場合のうち少なくともいずれか一方であってもよい。

【 0 0 8 0 】

かかる手法によれば、投票ピークの数交通量として計測すればよい。ため、車両シルエット領域を追跡処理し、撮像範囲内で追跡処理に成功した車両シルエット領域の数をカウントする必要がない。そのため、車両シルエット領域を正確に追跡することが困難な状況が生じている場合であっても、交通量を精度よく計測することが可能となる。したがって、かかる手法によれば、撮像画像に基づいて交通量を計測する場合において交通量計測の精度を向上させることが可能となる。

10

【 0 0 8 1 】

具体的な例を用いてさらに説明を続ける。例えば、図 5 に示した例のように略直線上を車両が走行する場合には、車両はほぼ等速直線運動をすることが推測される。したがって、図 6 に示したように、撮像時刻と検出位置との各々の組み合わせを 2 次元座標上にプロットすると、1 台の車両領域に基づいた検出位置は、撮像時刻の変化とともにほぼ直線に沿って変化することが推測される。

【 0 0 8 2 】

そこで、検出位置と撮像時刻との組み合わせが直線的に変化すべきであると推測し、計測部 115 は、各々の組み合わせを通過する直線の集合に対して投票を行い、投票度数がピークとなる直線を 1 台の車両領域に基づいて検出された組み合わせの集合が満たすとみなせばよい。したがって、計測部 115 は、投票度数がピークとなる直線の数交通量として計測すればよい。また、計測部 115 は、直線の傾きを車両速度として特定することも可能である。

20

【 0 0 8 3 】

ここで、投票度数がピークとなる直線をどのように検出するかに関しては特に限定されない。例えば、計測部 115 は、投票度数がピークとなる直線を検出するため、検出位置と撮像時刻との組み合わせに対してハフ変換を施してもよい。かかる場合、撮像時刻を X とし、検出位置を Y とすると、以下の (式 1) に示すような関係によって、X - Y 平面が ρ - θ 平面に変換され得る。

30

【 0 0 8 4 】

【 数 1 0 】

$$\rho = X \cdot \cos \theta + Y \cdot \sin \theta$$

・・・ (数式 1 0)

【 0 0 8 5 】

ここで、 ρ は、X - Y 平面上において原点 O から直線までの距離に相当し、 θ は、X 軸と原点 O から直線までの垂線とのなす角度に相当する。X - Y 平面における一つの直線は、 ρ - θ 平面においては、曲線の交点として表される。図 7 は、図 6 に示した検出位置と撮像時刻との組み合わせに対してハフ変換を施して得られた結果を示す図である。図 7 に示した例では、投票ピーク点 P 1、P 2 が示されており、計測部 115 は、投票ピーク点の数に相当する「2」を交通量として計測すればよい。出力制御部 113 は、交通量「2」を出力部 190 に出力させてよい。

40

【 0 0 8 6 】

以上、道路平面が撮像された撮像画像 *Img* に基づいた交通量計測の詳細について説明した。続いて、かかる交通量計測の動作例について説明する。図 8 は、交通量計測の動作例を示すフローチャートである。なお、図 8 に示したフローチャートは、交通量計測の動作の一例を示したに過ぎない。したがって、交通量計測の動作は、図 8 のフローチャート

50

によって示される動作例に限定されない。

【0087】

図8に示すように、まず、交通流計測装置10において情報取得部111は、撮像部170によって道路平面が撮像された撮像画像と撮像画像を撮像した時刻に相当する撮像時刻とを取得する(ステップS11)。続いて、位置検出部114は、撮像画像から車両領域を抽出し(ステップS12)、車両領域に基づいて所定の検出位置を検出する(ステップS13)。続いて、計測部115は、検出位置と撮像時刻との組み合わせに対してハフ変換を施し、 ρ - θ 平面上における投票ピーク点の数を交通量として計測する(ステップS15)。出力制御部113は、交通量を出力部190に出力させてよい。

【0088】

以上、交通量計測の動作について説明した。ここで、投票ピークの位置に基づいて車両速度を特定することを想定する。より詳細には、上記したように、 θ がX-Y平面における原点Oから直線までの垂線とX軸とのなす角度に相当し、車両速度がX-Y平面における直線の傾きに相当することを考慮すれば、投票ピーク点の θ を用いて、 $\tan(|\theta| - 90)$ により車両速度を特定することも想定される。図7に示した例では、投票ピーク点P1、P2の各々の θ を用いて、それぞれの $\tan(|\theta| - 90)$ により2台の車両の各々の速度を特定することが可能である。

【0089】

しかし、車両速度の計測精度をさらに向上させるための技術が求められる。特に、道路平面を走行する車両が高速になるにつれて、車両速度の計測結果に生じる誤差が大きくなりやすいため、車両速度の計測精度を向上させるための技術がより強く要求される。そこで、本実施形態においては、計測部115は、検出位置と撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を特定する。

【0090】

かかる構成によれば、投票ピークの位置に応じた抽出データに対してさらに最小二乗法による一次近似が行われ、一次近似の結果に基づいて車両速度が特定される。すなわち、投票ピークの位置に応じた抽出データに対してのみ上記処理を行うことで、最小二乗法による一次近似の対象から近似精度を劣化させるはずれ値をあらかじめ除外することが可能である。したがって、車両速度の計測精度をさらに向上させることが可能となる。特に、道路平面を走行する車両が高速になるにつれて車両速度の計測結果に生じる誤差が大きくなってしまう可能性を低減し、車両速度の計測精度を向上させることが可能となる。

【0091】

このような車両速度の計測についてさらに具体的に説明する。まず、計測部115は、投票ピークの位置を基準とした所定範囲内の組み合わせを抽出データとして抽出する。ここで、所定範囲はあらかじめ定められていてよい。例えば、所定範囲は、X-Y(撮像時刻-検出位置)平面において投票ピークとなる直線の傾きを θ_1 とし、所定の幅を $W_i(0)$ とした場合、 $\theta_1 - W_i$ 所定範囲 $\theta_1 + W_i$ であってもよい。

【0092】

上記したようにX-Y平面は ρ - θ 平面にハフ変換されてよい。かかる場合、計測部115は、ハフ空間上において投票ピーク点の位置(θ, ρ)に応じた組み合わせを抽出データとして抽出してよい。このとき、計測部115は、ハフ空間上において投票ピーク点の位置(θ, ρ)を基準とした所定範囲内の組み合わせを抽出データとして抽出すればよい。所定範囲はあらかじめ定められていてよい。例えば、所定範囲は、図7に示したように、 θ - ρ 平面において投票ピーク点P1の θ を θ_1 とし、所定の幅を $W_i(0)$ とした場合、 $\theta_1 - W$ 所定範囲 $\theta_1 + W$ であってもよい。

【0093】

図9は、抽出データに対する最小二乗法による一次近似の例を示す図である。図9を参照すると、X-Y平面上に抽出データがプロットされている。計測部115は、かかる抽

10

20

30

40

50

出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を特定する。例えば、計測部 115 は、以下の（数式 11）および（数式 12）により、抽出データに対する最小二乗法による一次近似の結果として、X - Y 平面上における直線 $Y = aX + b$ を算出することができる。

【0094】

【数 11】

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

10

・・・（数式 11）

【0095】

【数 12】

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n X_i Y_i \sum_{i=1}^n X_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

20

・・・（数式 12）

【0096】

図 9 に示すように、車両速度を $V1$ とし、検出開始位置を $X0$ とすると、この直線は $Y = V1(X - X0)$ とも表すことが可能である。したがって、計測部 115 は、抽出データに対する最小二乗法による一次近似の結果として得られる傾き a を、車両速度 V として特定することが可能である。そして、出力制御部 113 は、車両速度 V を出力部 190 に出力させてよい。なお、ここでは、投票ピーク点 $P1$ の位置に応じた車両速度を特定する例を説明したが、同様の手法によって投票ピーク点 $P2$ の位置に応じた車両速度を特定することも可能である。

30

【0097】

以上、道路平面が撮像された撮像画像 Img に基づいた車両速度計測の詳細について説明した。続いて、かかる車両速度計測の動作例について説明する。図 10 は、車両速度計測の動作例を示すフローチャートである。なお、図 10 に示したフローチャートは、車両速度計測の動作の一例を示したに過ぎない。したがって、車両速度計測の動作は、図 10 のフローチャートによって示される動作例に限定されない。

【0098】

図 10 に示すように、計測部 115 は、投票ピーク点 (θ, ρ) の位置に基づいて、検出位置と撮像時刻との組み合わせを抽出データとして抽出する（ステップ S21）。より具体的には、計測部 115 は、投票ピーク点の位置 (θ, ρ) を基準とした所定範囲内の組み合わせを抽出データとして抽出すればよい。続いて、計測部 115 は、検出位置と撮像時刻との組み合わせに対して、最小二乗法による一次近似を行う（ステップ S22）。

【0099】

続いて、計測部 115 は、最小二乗法による一次近似の結果に基づいて車両速度を特定する（ステップ S23）。より具体的には、計測部 115 は、最小二乗法による一次近似の結果として得られた X - Y 平面上における直線の傾きを車両速度として特定することが可能である。

50

【 0 1 0 0 】

以上、車両速度計測の動作について説明した。このようにして特定された車両速度は、種々の距離の特定に利用されてよい。そうすれば、種々の距離も車両速度によるため、種々の距離の特定精度も向上する。例えば、特定部 1 1 6 は、前方車両（第 1 の車両）の車両速度と前方車両および後方車両（第 2 の車両）の所定位置への到達時間差とに基づいて、前方車両および後方車両との距離を特定してもよい。ここで、前方車両および後方車両の距離は特に限定されない。例えば、前方車両と後方車両との距離は、前方車両の前面と後方車両の前面との距離（以下、「車頭間距離」とも言う。）であってもよい。

【 0 1 0 1 】

続いて、かかる車頭間距離の特定について説明する。図 1 1 は、車頭間距離の特定について説明するための図である。図 1 1 に示すように、計測部 1 1 5 は、上記した手法により、前方車両 M 1 の車両速度 V_1 を計測する。また、図 1 1 を参照すると、交通流計測装置 1 0 による撮像範囲に基準位置 N_0 が含まれている。特定部 1 1 6 は、 $Y = N_0$ と前方車両 M 1 の動きを示す $Y = V_1 (X - X_0)$ との交点によって前方車両 M 1 の前面 F 1 が基準位置 N_0 に到達した時刻 J_1 を検出する。

10

【 0 1 0 2 】

続いて、特定部 1 1 6 は、同様の手法により、後方車両 M 2 の前面 F 2 が基準位置 N_0 に到達した時刻 J_2 を検出する。そして、特定部 1 1 6 は、前方車両 M 1 の車両速度 V_1 と前方車両 M 1 の前面 F 1 および後方車両 M 2 の前面 F 2 の基準位置 N_0 への到達時間差（ $J_2 - J_1$ ）とに基づいて、前方車両 M 1 と後方車両 M 2 との車頭間距離 D を特定する。ここで、上記したように、通行車両が一定の運動をしているとみなすと、特定部 1 1 6 は、前方車両 M 1 の運動をモデル化した車両通行モデル L を用いて、 $L (J_2 - J_1)$ により車頭間距離 D を特定することができる。

20

【 0 1 0 3 】

特に、上記したように車両がほぼ等速直線運動をすることが推測される場合、図 1 1 に示すように、時刻 J_2 においては、前方車両 M 1 の位置 N_1 は $N_0 + V_1 (J_2 - J_1)$ と表すことができるため、特定部 1 1 6 は、前方車両 M 1 と後方車両 M 2 との車頭間距離 D を、 $N_1 - N_0 = (N_0 + V_1 (J_2 - J_1)) - N_0 = V_1 (J_2 - J_1)$ により特定することができる。

【 0 1 0 4 】

なお、ここでは車頭間距離 D を特定する例を説明したが、車間距離を特定することも可能である。例えば、特定部 1 1 6 は、前方車両 M 1 の車長を特定すればよい。前方車両 M 1 の車長を特定する手法は特に限定されないが、例えば、特開 2 0 1 3 - 1 4 8 9 7 1 号公報に開示されている車長を特定する手法を用いることが可能である。特定部 1 1 6 は、車頭間距離 D から車長を減じることによって、車間距離を特定することが可能である。

30

【 0 1 0 5 】

また、特定部 1 1 6 は、車両の前面の代わりに車両の背面を利用することによって、同様な手法により車尾間距離を特定することも可能である。また、特定部 1 1 6 は、車尾間距離から後方車両の車長を減じることによって、車間距離を特定することが可能である。後方車両の車長を特定する手法としても、特開 2 0 1 3 - 1 4 8 9 7 1 号公報に開示されている車長を特定する手法を用いることが可能である。また、出力制御部 1 1 3 は、各種の距離（例えば、車頭間距離、車間距離、車尾間距離など）を出力部 1 9 0 に出力させてよい。

40

【 0 1 0 6 】

以上、道路平面が撮像された撮像画像 Img に基づいた種々の距離特定の詳細について説明した。続いて、かかる距離特定の動作例について説明する。図 1 2 は、距離特定の動作例を示すフローチャートである。なお、図 1 2 に示したフローチャートは、距離特定の動作の一例を示したに過ぎない。したがって、距離特定の動作は、図 1 2 のフローチャートによって示される動作例に限定されない。

【 0 1 0 7 】

50

図 1 2 に示すように、特定部 1 1 6 は、前方車両 M 1 と後方車両 M 2 との間における基準位置 N 0 への到達時間差を計測する（ステップ S 3 1）。続いて、特定部 1 1 6 は、基準位置 N 0 への到達時間差と前方車両 M 1 の車両速度とに基づいて車頭間距離を特定する（ステップ S 3 2）。続いて、特定部 1 1 6 は、前方車両 M 1 の車長を特定し（S 3 3）、車頭間距離から車長を減じることによって、車間距離を特定する（ステップ S 3 4）。

【 0 1 0 8 】

以上、種々の距離特定の詳細について説明した。

【 0 1 0 9 】

[効果の説明]

以上に説明したように、本発明の実施形態によれば、道路平面が撮像された撮像画像と撮像時刻とを取得する情報取得部 1 1 1 と、撮像画像から抽出される車両領域に基づいて所定の検出位置を検出する位置検出部 1 1 4 と、検出位置と撮像時刻との複数の組み合わせから当該組み合わせに対して得られる投票ピークの位置に応じた組み合わせを抽出データとして抽出し、抽出データに対する最小二乗法による一次近似に基づいて車両速度を計測する計測部 1 1 5 と、を備える、交通流計測装置 1 0 が提供される。

【 0 1 1 0 】

かかる構成によれば、投票ピークの位置に応じた抽出データに対してさらに最小二乗法による一次近似が行われ、一次近似の結果に基づいて車両速度が特定される。すなわち、最小二乗法による一次近似の対象からはずれ値をあらかじめ除外することが可能である。したがって、車両速度の計測精度をさらに向上させることが可能となる。特に、道路平面を走行する車両が高速になるにつれて車両速度の計測結果に生じる誤差が大きくなってしまいう可能性を低減し、車両速度の計測精度を向上させることが可能となる。

【 0 1 1 1 】

また、このようにして計測された車両速度を利用して各種の距離を特定することが可能となる。例えば、上記したように、車頭間距離、車間距離、車尾間距離などが各種の距離として特定され得る。車両速度および各種の距離は、様々な場面に用いられ得る。例えば、車両速度および各種の距離は、道路平面を走行する車両の渋滞状況に利用されてもよいし、道路平面上において起きた車両事故の解析に利用されてもよい。

【 0 1 1 2 】

[変形例の説明]

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【 0 1 1 3 】

例えば、上記の例では、車両がほぼ等速直線運動をする場合について説明した。しかし、車両の走行状況はかかる例に限定されず、カーブした道路平面上を車両が走行する場合であってもよい。かかる場合であっても車両はほぼ等速運動をすることが推測されるため、カーブした道路平面に沿って車両走行軸 A が設定されれば、1 台の車両領域に基づいた検出位置は、上記の例と同様に、撮像時刻の変化とともにほぼ直線に沿って変化することが推測されるからである。なお、かかる場合には、計測範囲 E 1 もカーブした道路平面に沿って設定されればよい。

【 0 1 1 4 】

さらに、車両がほぼ等速運動をする場合ではなく、車両の速さが変化する場合であってもよい。例えば、撮像時刻と検出位置との各々の組み合わせを 2 次元座標上にプロットすると、1 台の車両領域に基づいた検出位置が、撮像時刻の変化とともにほぼ曲線に沿って変化することが推測される場合もあり得る（一例として、車両が等加速度運動する場合には、1 台の車両領域に基づいた検出位置が、撮像時刻の変化とともに放物線に沿って変化することが推測される）。

【 0 1 1 5 】

かかる場合には、検出位置と撮像時刻との組み合わせが曲線上を変化すべきであると推測し、計測部 1 1 5 は、各々の組み合わせを通過する曲線の集合に対して投票を行い、投票度数がピークとなる曲線を 1 台の車両領域に基づいて検出された組み合わせの集合が満たすとみなせばよい。したがって、計測部 1 1 5 は、投票度数がピークとなる曲線の数交通量として計測すればよい。また、計測部 1 1 5 は、投票度数がピークとなる曲線それぞれの微分によって各車両速度を特定することも可能である。さらに、計測部 1 1 5 は、投票度数がピークとなる曲線それぞれの二階微分によって各車両の加速度を算出することも可能である。

【 0 1 1 6 】

制御部 1 1 0 を構成する各ブロックは、例えば、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory) などから構成され、記憶部 1 8 0 により記憶されているプログラムが CPU により RAM に展開されて実行されることにより、その機能が実現され得る。あるいは、制御部 1 1 0 を構成する各ブロックは、専用のハードウェアにより構成されていてもよいし、複数のハードウェアの組み合わせにより構成されてもよい。

【 0 1 1 7 】

尚、本明細書において、フローチャートに記述されたステップは、記載された順序に沿って時系列的に行われる処理はもちろん、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的に又は個別的に実行される処理をも含む。また時系列的に処理されるステップでも、場合によっては適宜順序を変更することが可能であることは言うまでもない。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 8 】

- 1 0 交通流計測装置
- 1 1 0 制御部
- 1 1 1 情報取得部
- 1 1 2 設定部
- 1 1 3 出力制御部
- 1 1 4 位置検出部
- 1 1 5 計測部
- 1 1 6 特定部
- 1 7 0 撮像部
- 1 8 0 記憶部
- 1 9 0 出力部
- A 車両走行軸
- D 車頭間距離
- E 1 計測範囲
- M 車両
- M 1 前方車両
- M 2 後方車両
- P 1、P 2 投票ピーク点
- V (V 1) 車両速度

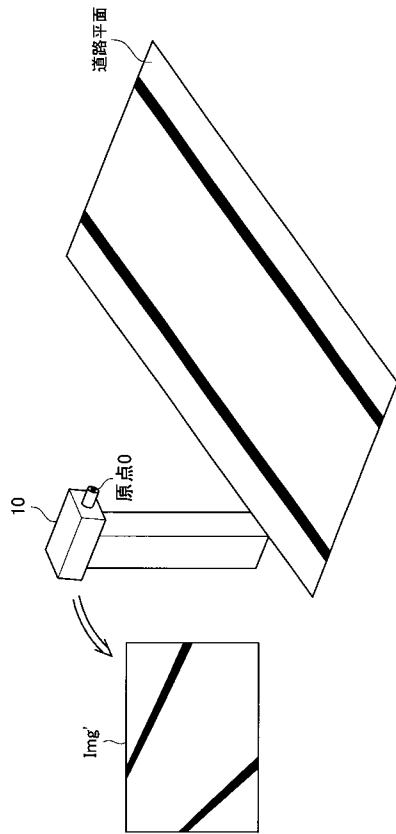
10

20

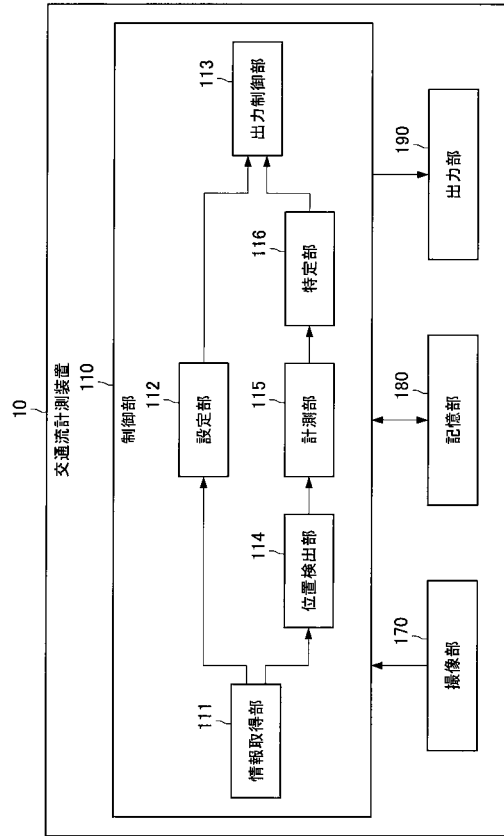
30

40

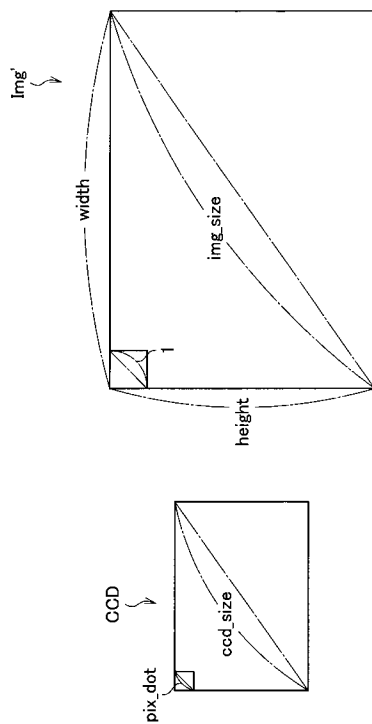
【 図 1 】



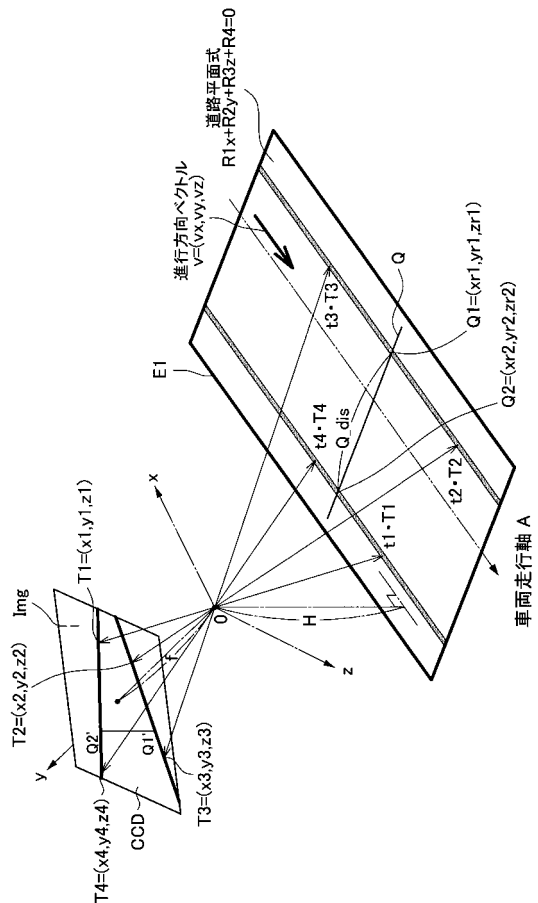
【 図 2 】



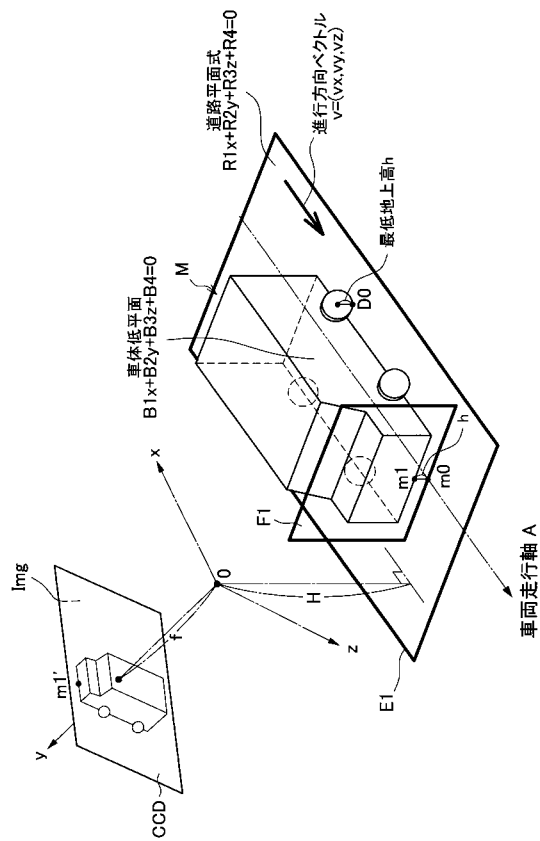
【 図 3 】



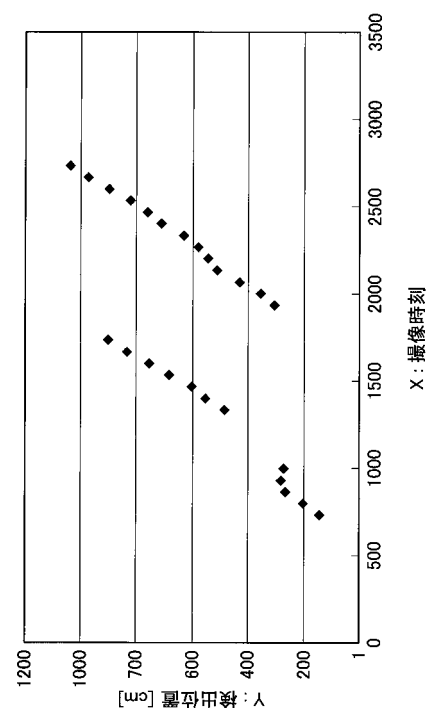
【 図 4 】



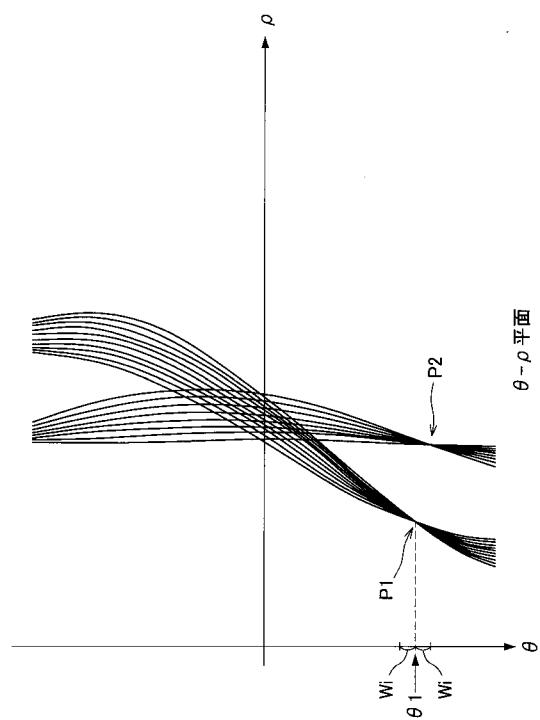
【図5】



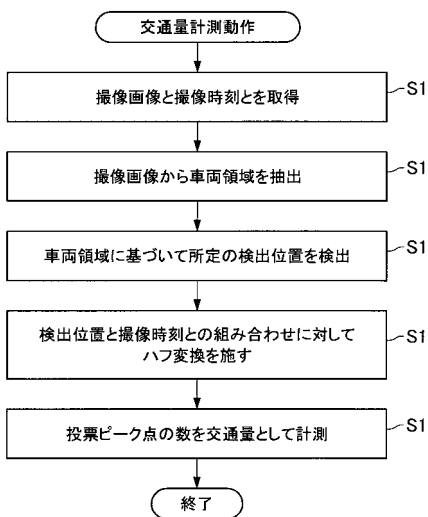
【図6】



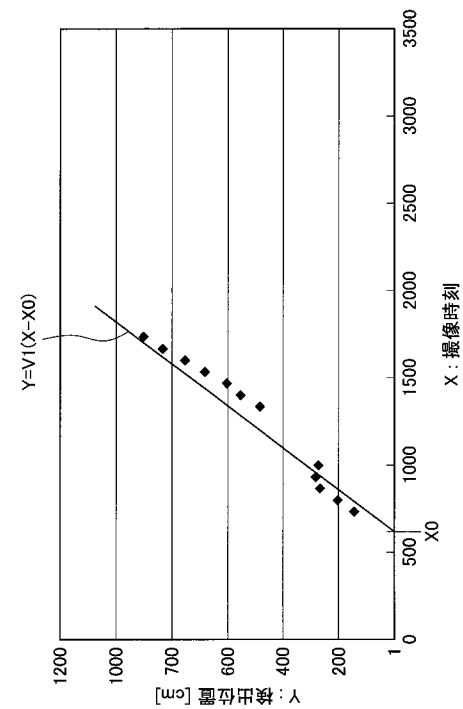
【図7】



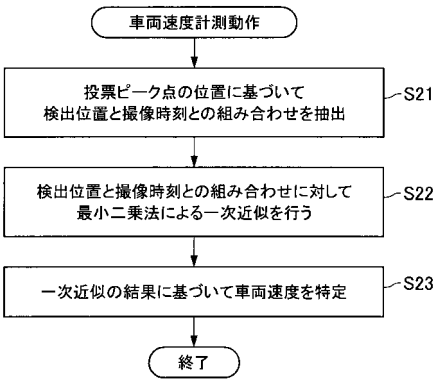
【図8】



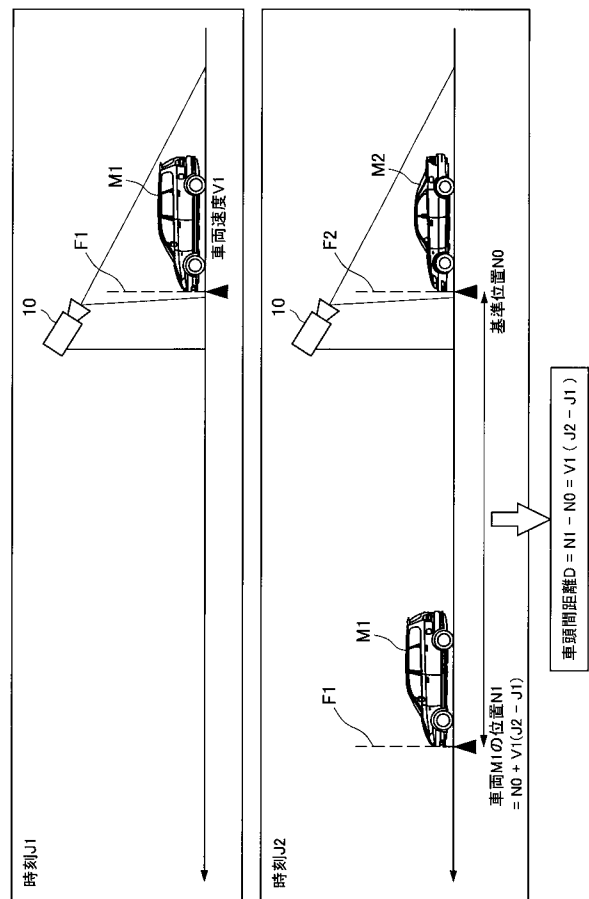
【図 9】



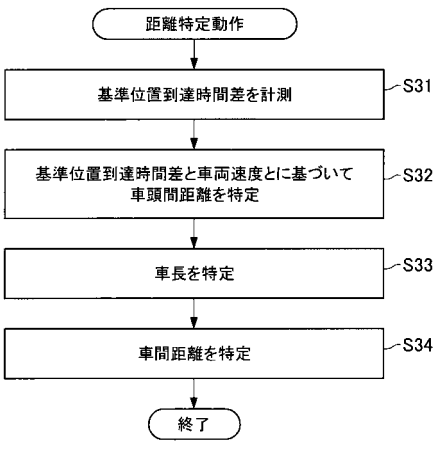
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5H181 AA01 BB15 CC04 DD02 DD03
5L096 AA06 BA04 FA69 GA32 HA02