

(11) 特許出願公開番号

特開2010-14706

(P2010-14706A)

(43) 公開日 平成22年1月21日(2010.1.21)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

GO 1 B 11/24 (2006.01)

GO 1 B 11/24

A

2 F 0 6 5

G08G 1/015 (2006.01)

G08G 1/015

A

5H180

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2009-116952 (P2009-116952)

(22) 出願日 平成21年5月13日 (2009. 5. 13)

(31) 優先權主張番号 特願2008-149219 (P2008-149219)

(32) 優先日 平成20年6月6日(2008.6.6)

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号

(74) 代理人 100110423

治道 我曾 士理 弁

(74) 代理人 100084010

弁理士 古川 秀利

(74) 代理人 100094695

弁理士 鈴木 憲七

(74) 代理人 100111648

弁理士 梶並 順

(74) 代理人 100122437

弁理士 大宅 一宏

(74) 代理人 100147566

弁理士 上田 俊一

[最終頁に続く](#)

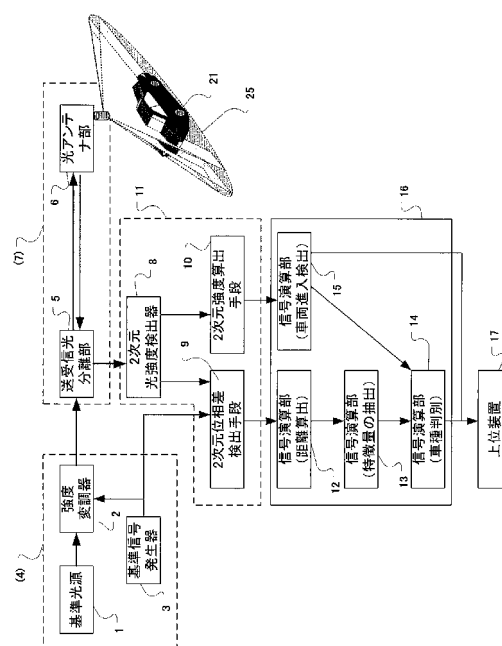
(54) 【発明の名称】 レーザ車両検出システム

(57) 【要約】

【課題】システムの設置性と保守性を向上させるとともに、車両判別のための特徴量の検出精度を高めることのできるレーザ車両検出システムを得る。

【解決手段】強度変調後のレーザ光を車両が通過する所定領域に照射する送信光学系を有する投光部と、所定領域に照射されたレーザ光の反射光を収集する受信光学系を有し、収集した反射光に基づいて所定領域の２次元光強度を検出する受光部と、投光部から所定領域に照射されたレーザ光と受光部で検出された２次元光強度との位相差あるいは遅延時間を検出する比較手段９と、比較手段により検出された位相差あるいは遅延時間に基づいて所定領域を通過する車両の３次元的な立体形状を示す距離画像を生成する第１の信号演算部１２と、第１の信号演算部で生成された距離画像を画像処理することにより所定領域を通過する車両の特徴量を抽出する第２の信号演算部１３とを備える。

【選択図】図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

強度変調後のレーザ光を車両が通過する所定領域に照射する送信光学系を有する投光部と、

前記所定領域に照射された前記レーザ光の反射光を収集する受信光学系を有し、収集した前記反射光に基づいて前記所定領域の 2 次元光強度を検出する受光部と、

前記投光部から前記所定領域に照射されたレーザ光と前記受光部で検出された前記 2 次元光強度との位相差あるいは遅延時間を検出する比較手段と、

前記比較手段により検出された前記位相差あるいは前記遅延時間に基づいて前記所定領域を通過する車両の 3 次元的な立体形状を示す距離画像を生成する第 1 の信号演算部と、

前記第 1 の信号演算部で生成された前記距離画像を画像処理することにより前記所定領域を通過する車両の特徴量を抽出する第 2 の信号演算部と

を備え、

前記投光部および前記受光部は、車両が通過する前記所定領域に対して固定した位置に設置される

ことを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記投光部は、変調周波数を f 、光速を c 、前記投光部と前記所定領域内を通過する車両との最大距離を L としたときに、 $f < c / (2L)$ の関係を満たす変調周波数 f で、レーザ光を連続波変調し、前記所定領域に照射することを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記投光部は、前記レーザ光として、波長 $1.5 \mu m$ 帯を用いることを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記投光部に含まれる前記送信光学系と前記受光部に含まれる前記受信光学系とを同軸の共用光学系とし、

レーザ光の光源と前記共用光学系との間に、送信光と受信光とを分岐する分離部をさらに備える

ことを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記共用光学系は、前記所定領域を通過する車両の表面上の 1 点と前記受光部の光電面上の 1 点とを結像関係とする受信光学系と、前記受信光学系の視野角よりも広い角度範囲に送信光を投光する送信光学系とを共用することを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記分離部は、光路内に設けられた偏光ビームスプリッタに対して送信光を S 偏光で入力して反射ポートに出力させ、前記偏光ビームスプリッタの反射ポートと前記共用光学系との間に設けられた 4 分の 1 波長板により円偏光に変換して空間照射し、前記共用光学系により受信した、対象物からの反射光の偏光を、P 偏光に変換して前記偏光ビームスプリッタの透過ポートに出力させて受信光路に切り替えることを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 7】

請求項 4 または 5 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記分離部は、光路内に設けられた偏光無依存型ビームスプリッタに対して、送信光を入力し透過ポートあるいは反射ポートからの出力光を、前記共用光学系を介して前記所定

10

20

30

40

50

領域に照射し、前記共用光学系により受信した、対象物からの反射光を、前記偏光無依存型ビームスプリッタの前記反射ポートあるいは前記透過ポートに出力させて受信光路に導光するとともに、前記光源と前記偏光無依存型ビームスプリッタとの間に光アイソレータを有すること特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 8】

請求項 4 または 5 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記分離部は、送信光を直交偏光成分に分離する第 1 の偏光ビームスプリッタを介して、P 偏光、S 偏光に対して独立した光路内で 2 分の 1 波長板とファラデーローテータとを通過させた後、第 2 の偏光ビームスプリッタにより合波し、4 分の 1 波長板を介して円偏光に変換した後、前記共用光学系を用いて前記所定領域に照射し、前記共用光学系により受信した、対象物からの反射光を前記第 2 のビームスプリッタにより P 偏光、S 偏光の独立光路に分岐した後、前記第 1 の偏光ビームスプリッタの受信光路へと光路を切り替えることを特徴とするレーザ車両検出システム。

10

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記受光部は、前記所定領域における反射光を独立に受光可能な複数のフォトダイオードを有することを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 10】

請求項 1 ないし 9 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記受光部は、収集する前記反射光のうち、波長が前記送信光の波長の近傍の光を透過させ、他の光を反射させるバンドパスフィルタを前記受信光学系の前段に有することを特徴とするレーザ車両検出システム。

20

【請求項 11】

請求項 1 ないし 10 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記比較手段は、前記位相差を検出する際に、前記受光部の各画素からの光強度信号に対して、前記送信光の強度変調後の信号と同一周波数の局部発振信号を各画素ごとに乗算して乗算信号を算出し、前記乗算信号の直流成分から光強度を検出し、前記乗算信号の交流成分の振動振幅の実効値から位相ずれ量を検出することを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 12】

請求項 1 ないし 11 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記投光部は、前記所定領域を通過する車両の進行方向に対して、両側の斜め上側面の対称位置に設置されることを特徴とするレーザ車両検出システム。

30

【請求項 13】

請求項 1 ないし 12 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記第 2 の信号演算部は、前記第 1 の信号演算部により生成された前記距離画像を、車両進行方向である y 方向に垂直な方向に投影した y 方向投影距離画像データと、前記 y 方向投影距離画像のフレーム間の減算データとに基づき、前記特徴量として、進入車両の有無検出、進入車両の速度、進行方向、軸数および車両の全長全高を計測することを特徴とするレーザ車両検出システム。

40

【請求項 14】

請求項 1 ないし 13 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記第 2 の信号演算部は、前記第 1 の信号演算部により生成された前記距離画像を、車両進行方向に垂直な方向である x 方向に投影した x 方向投影距離画像データに基づき、前記特徴量として、車両の全幅を計測することを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 15】

請求項 1 ないし 14 のいずれかに 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記受光部は、複数の 1 次元光強度検出器を直交に配置して構成されることを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 16】

50

請求項 15 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記受光部は、車両の進行方向に少なくとも 1 個の 1 次元光強度検出器と、車両の進行方向に垂直な方向に少なくとも 1 個の 1 次元光強度検出器とを備えることを特徴とするレーザ車両検出システム。

【請求項 17】

請求項 1 ないし 16 のいずれか 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記投光部および前記受光部の一对で構成され、かつ、投光部で用いられる変調周波数と受光部で用いられる復調周波数とを一致させた投受光部を複数個用いて異なる位置に設置し、それぞれの投光部で用いられる変調周波数と受光部で用いられる復調周波数とを互いに異なる周波数とすることを特徴とするレーザ車両検出システム。

10

【請求項 18】

請求項 17 に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記 2 次元光強度に基づいて前記所定領域への車両の進入あるいは車種を特徴量として検出する第 3 の信号演算部をさらに備え、

複数位置に設置された前記投受光部において、

1 台目の投受光部内の投光部は、前記強度変調後のレーザ光を常時照射し、

1 台目以外の投受光部内の受光部のそれぞれは、1 台目の投受光部内の投光部による照射により得られた 2 次元光強度に基づいて、前記第 3 の信号演算部により検出された特徴量に基づいて、自身の投光部の電源投入、停止を制御する

ことを特徴とするレーザ車両検出システム。

20

【請求項 19】

請求項 1 ないし 14 のいずれか 1 項に記載のレーザ車両検出システムにおいて、

前記第 2 の信号演算部は、前記第 1 の信号演算部により生成された前記距離画像から車輪に対応する楕円形状情報を抽出し、抽出した前記楕円形状情報における車両進行方向の長さとの比、および画像フレーム時間を用いて、車両進入速度を計測することを特徴とするレーザ車両検出システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、通行料金収受システムなどに用いられる通過車両の検出および車種判別装置に関して、特に、レーザ光を照射して対象物の 3 次元形状を表す距離画像を計測する距離画像センサ、および通過車両の走行状態を監視する車種判別装置を含むレーザ車両検出システムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

最近、有料道路の通行料金を無人で自動収受する ETC システムが利用されている。ETC システムでは、車両に設置された ETC 車載器と料金所ゲートに設置されたアンテナとの通信により、車両が料金所付近で停止することなく、自動で料金の支払いを行うことができる。

【0003】

40

すなわち、有料道路の入り口料金所では、車両が ETC レーンを走行すると、ETC 車載器が ETC ゲートのアンテナに対して車種情報を通知し、アンテナは、それを受け車載器側に入り口料金所を表示する。

【0004】

一方、出口側料金所では、車両が ETC レーンを走行すると、ETC 車載器が ETC ゲートのアンテナに対して車種情報と入り口料金所情報とを通知し、アンテナは、それを受け車載器側に計算した通行料金を通知する。

【0005】

通行料金の算出に先だって、通行する車種（大型、中型、小型、軽、牽引）を判別する必要がある。ETC 車載器からの車種情報に基づいて、車種判別も可能である。しかしな

50

がら、ユーザの設定間違いにより車載器と車種情報とに相違がある場合、あるいは入り口での車載器とアンテナとの通信に障害がある場合に、適正な通行料金が算出できないことが考えられる。このため、ETC車載器との通信以外の方法で、より確実に車種判別する方法が要求される。

【0006】

このような車種判別の従来技術においては、複数種類のセンサを道路面およびその近傍に設置して、それらから得られる測定値を総合的に用いることで車種判別を行っていた。例えば、車両の高さは、車両レーン間に複数点对向させた光源と検出器との間での光路遮光の有無を計測して算出される。また、車幅は、カメラによる撮像画像を用いて算出される。さらに、軸数は、料金所入り口側に設置した踏み板への圧力測定から算出される。

10

【0007】

従って、このような従来技術においては、各種センサを所定の位置に設置しなければならず、また、対向するセンサ間は、光軸調整をする必要があるため、設置工事に手間がかかる。また、各センサ間の依存関係も多く、メンテナンスや機器更新の際に、個別センサのみを入れ替える場合にも、上記と同様の調整や設置工事があるため、手間がかかる課題があった。

【0008】

さらに、牽引車の通過に際しては、車両に比較して高さ幅ともに小さな牽引棒を検出する必要がある。しかしながら、現状のシステムでは、空間分解能を向上させるために、対向センサの高さ方向の間隔を狭める構成として、レーン方向のセンサ間での計測情報を統合しているため、センサの数を削減が困難であった。

20

【0009】

これに対して、パルスレーザ光を照射して対象物からの散乱光を受信するシステムで、パルス照射から散乱光受信までの時間差から距離を算出するレーザレンジファインダの技術を用いる車両検知および車種判別に関する従来技術がある（例えば、特許文献1、2参照）。

【0010】

特許文献1では、レーン上方にライン走査機能を持つレーザセンサが設置されている。そして、このレーザセンサにより、レーン横断方向の1次元距離データを取得している。また、複数のレーザセンサをレーンの上右、上左のように異なる方向から照射することで、車両の高さ、幅、軸数、牽引有無を検出し、車種判別を行っている。さらに、ライン走査位置をレーン前後にずらしておき、得られる距離データの時間差から進入速度を計測している。

30

【0011】

ただし、レーザ光の照射は、対象物よりも小径のビームを出射し、受信光視野とビームの射出方向を一致させたまま、ライン走査して単一の光検出器で受光していた。このため、対象とするラインデータを得るためには、高速に走査する機構が必要であった。また、走査機構の動作速度とパルスレーザの繰り返し周波数とにより、空間分解能とデータ更新レートが制限されているため、単一のレーザセンサで車両検出用の2次元距離画像を得るには、速度的に不足であるといった問題がある。

40

【0012】

一方、このような問題の改善案として、特許文献2には、複数のフォトダイオードを用いて並列に距離データを取得することで高速化し、単一のレーザセンサで車両検出用の2次元距離画像と2次元強度画像とを取得するセンサについてのアイデアが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】特開平10-269489号公報

【特許文献2】特開2003-281686号公報

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0014】**

しかしながら、従来技術においては、以下のような課題がある。

従来技術は、得られた２次元距離画像から車両判別する方法として、まず立体形状と車両とを関連付けるデータベースを用意しておき、次に、計測した２次元距離画像と該車両データベースとを比較して車種判別をする。しかしながら、このデータベースの具体的なフォーマットや比較方法については、開示も示唆もなされていない。

【0015】

また、立体形状のデータベースを用いる方式においては、データベースが車両の立体形状に依存するため、通過車両の種類の増加に応じてデータベースを追加更新する必要がある。この結果、保守作業の負荷が増大する課題がある。

【0016】

また、計測される距離画像には、車両の表面形状以外に、車両の通過位置や牽引有無により、複雑な画像パターンが形成される。このため、計測精度を向上するためには、車両形状以外のあらゆる条件の組合せによるデータベースの準備が必要となり、非現実的なシステムとなる。

【0017】

一方、上述した特許文献１、２において、レーザセンサの投光部の設置位置と投光方向は、レーン側方のアイランド上から横向き投光、レーン入口のガントリ上から下向き投光、アイランド上にあるポール上から斜め下方など、いくつかのアイディアが示されている。しかしながら、いずれの配置においても、単一のセンサを設置する限りにおいて、投光光が通過車両により遮蔽される問題がある。

【0018】

これらをまとめると、従来の車両検知・車種判別用のシステムにおいては、以下の３点の課題が挙げられる。

- １）複数種類のセンサ（光路遮蔽検出、踏み板、撮像装置）を用いる必要があり、設置・調整の手間がかかる。
- ２）各センサ間の依存関係から、保守性が悪く、個別センサのみ入れ替える場合にも、新規設置と同様の調整や設置工事が必要である。
- ３）２次元検出型のレーザセンサを用いた車両検知・車種判別用のシステムにおいては、単一のレーザセンサを用いた場合には、通過車両による光路遮蔽が発生する。このため、全長・全幅・全高の測定精度が低下し、車種判別における誤検出の発生が避けられない。

【0019】

ここで、光路遮蔽の問題を解決するためには、レーザセンサを異なる位置に複数台設置して、対象物に対して異なる方向から投光して得られた計測データを合成することが考えられる。複数台の２次元検出型レーザセンサを配置してデータを合成することは、上述した特許文献１、２を組み合わせることで、理論的には実現可能である。

【0020】

しかしながら、特許文献１、２は、ともに、パルス光を投光して対象物で反射散乱される光パルスが再び戻ってくるまでの時間（飛行時間）を計測して、レーザ照射方向の距離を算出する方式である。このため、レーン近傍の異なる場所に設置して対象物に対して異なる複数方向からレーザ光を照射する場合、対象物での第１のレーザセンサの投光光による散乱光の一部が、第２のレーザセンサの受光部に漏れこみ、誤検出される場合が考えられる。

【0021】

この誤検出を回避するためには、例えば、受光部の受信ゲート時間を、複数のレーザセンサのパルス繰り返し周波数を一致させて、かつ、同期信号を与え、出射パルスの投光タイミングを時間的にずらすことで実現できる。

【0022】

しかし、この構成では、複数のレーザセンサを同期運転させ、かつ、各センサの投光タイミングを調整する必要があり、設置・調整作業が複雑になる。また、各センサ間で繰り返し周波数を一致させる必要がある。

【 0 0 2 3 】

さらに、保守作業において、複数のレーザセンサのうちの 1 つのみを交換する場合でも、各センサ間の動作タイミングを確認した上で、ゲート時間を調整する必要があり、作業が複雑化する課題があった。

【 0 0 2 4 】

本発明は、以上のような課題を解決するためになされたものであり、システムの設置性と保守性を向上させるとともに、車両判別のための特徴量の検出精度を高めることのできるレーザ車両検出システムを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 5 】

本発明に係るレーザ車両検出システムは、強度変調後のレーザ光を車両が通過する所定領域に照射する送信光学系を有する投光部と、所定領域に照射されたレーザ光の反射光を収集する受信光学系を有し、収集した反射光に基づいて所定領域の 2 次元光強度を検出する受光部と、投光部から所定領域に照射されたレーザ光と受光部で検出された 2 次元光強度との位相差あるいは遅延時間を検出する比較手段と、比較手段により検出された位相差あるいは遅延時間に基づいて所定領域を通過する車両の 3 次元的な立体形状を示す距離画像を生成する第 1 の信号演算部と、第 1 の信号演算部で生成された距離画像を画像処理することにより所定領域を通過する車両の特徴量を抽出する第 2 の信号演算部とを備え、投光部および受光部は、車両が通過する所定領域に対して固定した位置に設置されるものである。

【発明の効果】

【 0 0 2 6 】

本発明に係るレーザ車両検出システムによれば、複数種類のセンサで行っていた車種判別の特徴量検出を 1 種類のレーザ式センサに統合し、所定領域を通過する車両について検出された 2 次元光強度に基づいて車両判別を行うことにより、システムの設置性と保守性を向上させるとともに、車両判別のための特徴量の検出精度を高めることのできるレーザ車両検出システムを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 7 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 におけるレーザ車両検出システムの構成図である。

【図 2】本発明の実施の形態 2 におけるレーザ車両検出システムの機器配置と通過車両に対する投光状態を示す図である。

【図 3】本発明の実施の形態 3 におけるレーザセンサの動作タイミングチャートである。

【図 4】本発明の実施の形態 3 における受光部の構成ブロック図である。

【図 5】本発明の実施の形態 3 におけるレーザ車両検出システムの受信光路における座標関係を示した図である。

【図 6】本発明の実施の形態 4 における信号演算部による特徴量（車両進入）検出の説明図である。

【図 7】本発明の実施の形態 4 における信号演算部による特徴量（車両進入速度）検出の説明図である。

【図 8】本発明の実施の形態 4 における信号演算部による特徴量（通過車両の全長、全高および軸数）検出の説明図である。

【図 9】本発明の実施の形態 4 における信号演算部による特徴量（通過車両の全幅）検出の説明図である。

【図 10】本発明の実施の形態 4 における信号演算部による特徴量（牽引の有無）検出の説明図である。

【図 11】本発明の実施の形態 5 における送受信光学系の実現例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 2】本発明の実施の形態 7 におけるレーザ車両検出システムの低消費電力化を図るための説明図である。

【図 1 3】本発明の実施の形態 8 における 1 次元光強度検出器により結像する領域を示した図である。

【図 1 4】本発明の実施の形態 8 における車両長手方向検出領域での反射光による計測距離データを示した図である。

【図 1 5】本発明の実施の形態 8 における車両長手方向検出領域での反射光による距離計測データを示した図である。

【図 1 6】本発明の実施の形態 8 における車両幅方向検出領域からの反射光による距離プロファイルを示した図である。

【図 1 7】本発明の実施の形態 8 における軸数検出方法についての説明図である。

【図 1 8】本発明の実施の形態 9 における 1 次元光強度検出器により結像する領域を示した図である。

【図 1 9】本発明の実施の形態 9 における車両進入速度計測方法についての説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、本発明のレーザ車両検出システムの好適な実施の形態につき図面を用いて説明する。

【0029】

実施の形態 1 .

図 1 は、本発明の実施の形態 1 におけるレーザ車両検出システムの構成図である。

図 1 におけるレーザ車両検出システムは、光源部 4、送受信光学系 7、受光部 11、および信号処理部 16 で構成され、信号処理部 16 による処理結果は、上位装置 17 に送信される。

【0030】

光源部 4 は、基準光源 1、強度変調器 2、および基準信号発生器 3 を有している。また、送受信光学系 7 は、送受信光分離部 5 および光アンテナ部 6 を有している。また、受光部 11 は、2 次元光強度検出器 8、2 次元位相差検出手段 9、および 2 次元強度算出手段 10 を有している。

【0031】

さらに、信号処理部 16 は、距離算出を行う信号演算部 12、車種特徴量の抽出を行う信号演算部 13、車種判別を行う信号演算部 14、および車両進入検出を行う信号演算部 15 を有している。

【0032】

次に、レーザ車両検出システムの基本動作である 2 次元距離画像の計測概要について説明する。まず、送受信光学系 7 は、光源部 4 で発生する連続波で強度変調されたレーザ光を、対象物である車両 21 が通過する所定の照射領域 25 に照射する。

【0033】

次に、送受信光学系 7 は、照射領域 25 を通過する車両 21 の表面における反射光の分布を再び収集し、受光部 11 に伝送する。反射光は、照射領域 25 内の路面や通過車両 21 の表面の実効的な反射率がそれぞれ異なるため、車両の有無、形状に応じて強度分布が変化する。また、通過車両 21 の有無、表面の凹凸により、送受信光学系 7 との距離が変化するため、反射光の位相分布が変化する。

【0034】

この効果を利用し、受光部 11 内に設置された 2 次元光強度検出器 8 は、送受信光学系 7 から得られる受信信号を光電変換し、受信光としての 2 次元光強度を得る。2 次元強度算出手段 10 は、得られた 2 次元光強度の反射強度分布を算出し、2 次元の反射強度画像を得る。一方、2 次元位相差検出手段 9 は、光源部 4 から得られる送信光と、2 次元光強度検出器 8 から得られる受信光との位相差を検出する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

次に、信号処理部 1 6 内の信号演算部 1 2 は、2 次元位相差検出手段 9 で検出された位相差から、2 次元の距離画像を算出する。次に、信号演算部 1 3 は、信号演算部 1 2 で得られた距離画像から、通過車両 2 1 の全長、全高などの特徴量、あるいは進入速度を算出する。一方、信号演算部 1 5 は、2 次元強度算出手段 1 0 で得られた反射強度画像から、車両進入の有無を検出する。

【 0 0 3 6 】

ここで、2 次元強度算出手段 1 0 および信号演算部 1 5 により車両進入の有無を検出する方法は、位相差を必要とせず、光源部 4 で発生される送信光の情報なしに、検出可能である。そして、この構成は、低消費電力化を図るために活用することができ、後の実施の形態 7 で詳述する。

10

【 0 0 3 7 】

そして、信号演算部 1 4 は、信号演算部 1 5 で得られた車両進入の有無、または、信号演算部 1 3 で得られた特徴量から、車種判別の 1 次データを出力する。さらに、信号演算部 1 4 の出力は、上位装置 1 7 に伝送され、他のレーザセンサの情報と統合され、さらに詳細な車種判別が行われる。

【 0 0 3 8 】

なお、本実施の形態 1 において、受光部 1 1 内の 2 次元位相差検出手段 9 は、光源部 4 から得られる送信光（投光光）として、強度変調された連続光を受信し、この連続光を用いて距離を計測することを想定している。しかしながら、投光光をパルス状に強度変調し、かつ、2 次元位相差検出手段 9 の代わりに、投光パルスと反射光との時間差を検出する手段を用いて距離を計測してもよい。

20

【 0 0 3 9 】

この場合、投光光のパルス出力タイミングと受信信号との同期が必要となるが、連続光と比べ、パルスのデューティ比が小さいため、投光光の出力平均パワーを低くできる利点がある。なお、位相差を求める 2 次元位相差検出手段 9、およびその代替として用いられる時間差を検出する手段は、比較手段に相当する。

【 0 0 4 0 】

以上のように、実施の形態 1 によれば、単一種類のレーザ式車両センサにより、所定領域を通過する車両の 2 次元光強度を取得し、取得した 2 次元光強度に基づいて、各特徴量の検出を可能としている。この結果、従来の複数種類のセンサ信号（全高：車両レーン間に設置した複数点遮光センサ、全幅：カメラによる撮像画像、軸数：路面設置した圧力センサ）の検出信号の合成が不要となり、システムの設置性と保守性を向上させることができる。

30

【 0 0 4 1 】

実施の形態 2 .

本実施の形態 2 では、レーザ車両検出システムの機器配置、および光源部 4 の構成例について、具体的に説明する。本実施の形態 2 におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態 1 における図 1 の構成と同様である。

【 0 0 4 2 】

図 2 は、本発明の実施の形態 2 におけるレーザ車両検出システムの機器配置と通過車両に対する投光状態を示す図である。光源部 4、送受信光学系 7、受光部 1 1 を筐体に収納したレーザセンサ 2 3 a、2 3 b が、レーン入り口に路面 2 0 のゲート状の構造物（ETC ゲート）2 2 の上端内側の両側面に設置されている場合を例示している。

40

【 0 0 4 3 】

すなわち、本実施の形態 2 では、光源部 4、送受信光学系 7、受光部 1 1 を筐体に収納したレーザセンサを複数用いる場合を例に説明するとともに、説明を簡略化するために、2 台のレーザセンサ 2 3 a、2 3 b を用いる場合について、詳細に説明する。

【 0 0 4 4 】

ここで、ETC ゲート 2 2 の高さを H、幅を 2 A とする。また、ETC ゲート 2 2 側方

50

には、信号処理部 16 が収納された信号処理部筐体 24 が設置されている。レーザセンサ 23 a、23 b は、路面 20 上で半径 A 程度かつ略同一の照射領域 25 を投光できるように、ビームの広がりや照射中心方向が設定されているものとする。従って、レーザセンサ 23 a は、通過車両 21 の左側面から上面を覆う範囲に、レーザセンサ 23 b は、通過車両 21 の右側面から上面を覆う範囲に投光することになる。

【0045】

図 2 (b) ~ (f) は、ETC ゲート 22 の設置面でのレーンの断面図において、代表的な通過車両とレーザセンサ 23 a、23 b による投光領域の関係を示した説明図である。より具体的には、図 2 (b) は、通過車両 21 がない場合、図 2 (c) は、小型・普通車両 21 a が通過する場合、図 2 (d) は、大型車両 21 b が通過する場合、図 2 (e) は、オートバイ 21 c が通過する場合をそれぞれ示している。また、図 2 (f) は、2 台の通過車両の間につながれた牽引棒 21 d を示している。

10

【0046】

通過車両のない図 2 (b) において、レーザセンサ 23 a、23 b は、路面 20 のみを照明する。これに対して、小型・普通車両 21 a が通過する図 2 (c) において、レーザセンサ 23 a の照射領域は、車両進行方向左側の路面から車輪を含めた車両左側面、車両の上面、そして車両進行方向右側の路面の一部となり、車両の右側面と進行方向右側の路面の一部は、遮蔽される。

【0047】

一方、小型・普通車両 21 a が通過する (c) において、レーザセンサ 23 b の照射領域は、車両進行方向右側の路面から車輪を含めた車両右側面、車両の上面、そして車両進行方向左側の路面の一部となり、車両の左側面と進行方向左側の路面の一部は、遮蔽される。しかしながら、レーザセンサ 23 b は、レーザセンサ 23 a で遮蔽された領域を遮蔽なく照射できる。同様に、レーザセンサ 23 a も、レーザセンサ 23 b で遮蔽された領域を遮蔽なく照射できることになる。

20

【0048】

図 2 (d) は、大型車両 21 b の通過イメージであり、普通車両 21 a が通過する図 2 (c) の場合よりも光路遮蔽領域が増え、レーザセンサ 23 a の照射領域は、車両進行方向左側の路面から車輪を含めた車両左側面、車両の上面のみ、レーザセンサ 23 b の照射領域は、車両進行方向右側の路面から車輪を含めた車両右側面、車両の上面のみとなる。しかしながら、レーザセンサ 23 a、23 b が互いに遮蔽された領域を補間する関係は、先の図 2 (b) と同様に保たれている。

30

【0049】

図 2 (e)、図 2 (f) の場合も、レーザセンサ 23 a、23 b が互いに遮蔽された領域を補間する関係が保たれている。すなわち、図 2 (b) ~ (e) の何れの場合にも、2 つのレーザセンサ 23 a、23 b を用いることにより、通過車両 21 の車軸、そして通過車両 21 あるいは牽引棒 21 d の両側面と上面を遮蔽なく照射することができる。

【0050】

基準光源 1 としては、単一波長で発振する半導体レーザを用い、連続波 (CW) 発振させた光が生成される。そして、連続波 (CW) 発振させた光は、強度変調器 2 により光強度を正弦波状に単一周波数 f で変調される。

40

【0051】

強度変調された光は、送受信光学系 7 に伝送され、送受信光分離部 5 から光アンテナ部 6 へと伝送された後、空間放出され、所定の照射領域 25 を通過する対象物である通過車両 21 へと照射される。

【0052】

ここで、レーザ光源としては、単一波長で CW 出力でき、かつ、強度変調できればなんでもよい。ただし、例えば、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯の半導体レーザを用いるのが適当である。この理由としては、目に対して安全な波長である (クラス 1 相当) こと、受光側に波長フィルタを挿入して可視域の背景光を効果的に分離できること、そして光通信用の安価で信

50

頼性の高い光源を流用できること、が挙げられる。

【 0 0 5 3 】

ここで、強度変調器 2 による正弦波変調の変調周波数 f は、変調周期 $1/f$ が、光が距離 $2L$ を伝搬する時間以下となるように設定し、次式 (1) で与える。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 】

$$f \leq \frac{c}{2L} \quad (1)$$

【 0 0 5 5 】

ここで、 c は光速、 L は対象物との最大距離であり、次式 (2) で表される。

【 0 0 5 6 】

【 数 2 】

$$L = \sqrt{H^2 + (2A)^2} \quad (2)$$

【 0 0 5 7 】

例えば、 $H = 6 \text{ m}$ 、 $A = 3 \text{ m}$ とした場合、 L は 8.48 m となり、 f は 17.7 MHz 程度となる。変調周波数として 20 MHz 以下の正弦波でよいので、立ち上がり特性が ns 程度の半導体レーザであれば駆動電流を直接変調してもよい。これにより、強度変調器が不要となる。

【 0 0 5 8 】

以上のように、実施の形態 2 によれば、複数のレーザセンサを配置して所定の照射領域を照射することにより、遮蔽された領域を補間することが可能となる。さらに、レーザ光源の波長帯を適切な値に設定することにより、上述したような優れた効果を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

実施の形態 3 .

本実施の形態 3 では、レーザ車両検出システムの動作タイミングチャート、受光部 11 の機器構成と動作例、および信号演算部 12 における距離計測原理について説明する。本実施の形態 3 におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態 1 における図 1 の構成と同様である。

【 0 0 6 0 】

図 3 は、本発明の実施の形態 3 におけるレーザセンサの動作タイミングチャートである。完全変調を仮定すると、送信光 $S_T(t)$ は、次式 (3) で表される。

【 0 0 6 1 】

【 数 3 】

$$S_T(t) = \frac{\sqrt{P_T}}{2} [1 + \sin(2\pi f t + \phi_T)] \quad (3)$$

【 0 0 6 2 】

ただし、 P_T は送信光パワー、 ϕ_T は初期位相である。

送信光が対象物で反射されて送受信光学系に戻る際に、反射光は、光路長の変化に応じた位相変化を受ける。今、変調周期 $1/f$ が、光が距離 $2L$ を伝搬する時間以下となるように (上式 (1) 参照) 設定しているため、伝搬距離の変化 ΔL に対する位相変化 $\Delta \phi$ は、次式 (4) で表される。

【 0 0 6 3 】

【 数 4 】

$$\Delta \phi = 2\pi \frac{\Delta L}{L} \quad (4)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 4 】

ここで、 ΔL L であるため、位相変化量は、 $0 \sim 2\pi$ の範囲である。従って、受信光強度 $S_R(t)$ は、次式 (5) で表される。

【 0 0 6 5 】

【 数 5 】

$$S_R(t) = \sqrt{P_{R_DC}} + \sqrt{P_R} \sin(2\pi ft + \phi_T + \Delta\phi) \quad (5)$$

【 0 0 6 6 】

受光部 11 では、上式 (5) の第 1 項の直流成分を強度信号として検出し、強度分布画像として用いる。一方、第 2 項は、2 次元位相差検出手段 9 の内部で、次式 (6) であらわされる局部発振信号 S_{LOC} と乗算される。

【 0 0 6 7 】

【 数 6 】

$$S_{LOC}(t) = A_{LOC} \sin(2\pi ft + \phi_{LOC}) \quad (6)$$

【 0 0 6 8 】

上式 (5) の第 2 項と上式 (6) の局部発振信号 S_{LOC} との乗算結果である乗算信号 $S_{MPL}(t)$ は、下式 (7) となる。

【 0 0 6 9 】

【 数 7 】

$$S_{MPL}(t) = \frac{1}{2} A_{LOC} \sqrt{P_R} [\cos(\Delta\phi + \phi_T - \phi_{LOC}) - \cos(2\pi 2ft + \Delta\phi + \phi_T + \phi_{LOC})] \quad (7)$$

【 0 0 7 0 】

上式 (7) の第 2 項は、バイアスゼロ、2 倍の周波数で正弦的に振動するため、時間平均による信号積分処理 (ローパスフィルタ処理) により、ゼロに収束する。従って信号積分処理後は、下式 (8) の信号 $S_{MPL}(t)$ となる。

【 0 0 7 1 】

【 数 8 】

$$S_{MPL}(t) = \frac{1}{2} A_{LOC} \sqrt{P_R} [\cos(\Delta\phi + \phi_T - \phi_{LOC})] \quad (8)$$

【 0 0 7 2 】

今、上式 (6) の局部発振信号の初期位相 ϕ_{LOC} を送信信号の初期位相 ϕ_T に一致させると、下式 (9) となる。

【 0 0 7 3 】

【 数 9 】

$$\overline{S_{MPL}} = \frac{1}{2} A_{LOC} \sqrt{P_R} [\cos(\Delta\phi)] \quad (9)$$

【 0 0 7 4 】

通常のリックイン検出においては、検出位相の余弦 (あるいは正弦) 成分が得られるため、位相の 2π の不確実性が現れる。しかしながら、本発明の場合、最大計測距離に基づく周波数の設定により位相変化範囲が $0 \sim 2\pi$ であるため、ローパスフィルタ後の局発乗算信号振幅から位相変化量が一意に決まる。これにより、伝搬距離変化 ΔL を不確実性なく算出することができる。

【 0 0 7 5 】

本発明においては、フレーム時間内に、上述した信号処理 (受信信号の強度出力と位相差検出) を、2 次元強度算出手段 10 と 2 次元位相差検出手段 9 とを用いて、2 次元光強度検出器 8 の各画素に対して同時にかつ独立に行い、2 次元バッファに転送する。そして

10

20

30

40

50

、次のフレームで、２次元バッファ内のデータをＡＤ変換する。ＡＤ変換後の数値データは、後段の信号処理部１６内の信号演算部１２～１５で処理され、最終的に数フレーム内で一連の処理を完了する。

【００７６】

次に、受光部１１の機器構成と具体的な動作について説明する。

図４は、本発明の実施の形態３における受光部１１の構成ブロック図である。２次元光強度検出器８の各画素において、光検出用のフォトダイオード３０で検出された光強度は、トランスインピーダンス増幅器３１で電圧信号に変換される。そして、電圧信号に変換された後、分岐して、一方は、強度情報格納用のバッファ３５ａに格納される。

【００７７】

また、他方は、キャパシタ３２を介してＡＣ結合した後、ミキサ３３により局部発振信号と乗算され、ローパスフィルタ３４を通過後に、距離情報格納用バッファ３５ｂに格納される。以上の構造を、全画素に対して独立に持たせ、局部発振信号としては、同一信号源を分岐して供給する。

【００７８】

露光から、バッファ格納までの一連の動作は、１フレーム時間内に行う。フレーム信号の入力によりバッファ３５ａ、３５ｂの格納情報をクリアし、次のフレーム信号入力まで信号蓄積を行う。

【００７９】

バッファ３５ａ、３５ｂからの読み出しは、マルチプレクサ３６ａ、３６ｂにより時系列信号に変換された後、ＡＤ変換器３７ａ、３７ｂにより各々、強度画像の時系列データおよび距離画像の時系列データとして出力され、後段の信号演算部１２～１５に伝送される。

【００８０】

フレームレートとして、例えば、現状で実現可能な電子回路技術レベルを考慮して、 512×512 画素の格納データを $2GS/s$ のＡＤ変換器でサンプルすることを想定して考える。この場合、全画素読み出すための時間は、 $131\mu s$ 程度となり、フォトダイオード３０からバッファ３５ａ、３５ｂへの格納時間は、ＡＤサンプル時間に比べて無視できるほど小さいと仮定すると、フレームレートは、 $7.6kHz$ となる。

【００８１】

通過車両の進入速度として、例えば、通常のＥＴＣの想定値よりも高速の $100km/h$ を仮定したとしても、上述した１フレーム時間内で車両が動く距離は、 $3.6mm$ 程度と見積もられる。後段の演算処理に１０フレーム費やしたと仮定した場合でも、 $3.6cm$ と見積もられる。この値は、普通車両の全長の 100 分の１程度であり、十分な時間精度を持つことが分かる。

【００８２】

また、受光部が撮像する範囲を $5m \times 5m$ 、画素数を 512×512 と仮定すると、面内の空間分解能は、 $9.8mm$ 程度となる。この値は、普通車両の全長の 400 分の１以下であり、十分な計測分解能を持つと見積もられる。

【００８３】

さらに、最大計測距離 $L = 8m$ の位置にセンサを設置して、有効ビット数１０ビットのＡＤ変換器を用いて取得した場合の、距離画像データの分解能は、 $7.8mm$ 程度である。この値は、普通車両の全高の 200 分の１以下と見積もられる。

【００８４】

以上の見積りから、本発明の構成により、受信視野の機械的な走査を行うことなく、高い空間分解能を有した２次元距離画像と強度画像を、十分な時間分解能で得ることが分かる。

【００８５】

次に、信号演算部１２における距離画像の算出について、具体的に説明する。

図５は、本発明の実施の形態３におけるレーザ車両検出システムの受信光路における座

10

20

30

40

50

標関係を示した図である。図 5 (a) は、車両進行方向の断面図であり、図 5 (b) は、車両進行方向に対して垂直な断面図である。座標軸として、(a) の断面と路面方向に平行な方向を x 軸とし、(b) の断面と路面方向に平行な方向を y 軸とし、路面に対して垂直上向き方向を z 軸とする。

【 0 0 8 6 】

なお、以下の説明においては、光アンテナの配置として、レーザセンサ 2 3 a (車両進行方向に対して左上方に設置) の設置を想定する。レーザセンサ 2 3 a は、路面に対して高さ H、路面中心から A の距離に設置し、レーザセンサ 2 3 a の光アンテナの光軸は、アンテナが設置されている y z 平面 (x = 0) 上において、路面中心点 y = 0 と光アンテナ開口中心とを結ぶ直線とする。従って、光アンテナ光軸と路面法線とのなす角 θ_M は、下

10

式 (1 0) となる。

【 0 0 8 7 】

【 数 1 0 】

$$\theta_M = \arctan\left(\frac{A}{H}\right) \quad (10)$$

【 0 0 8 8 】

今、受信光学系の結像範囲を、路面中心 (x 、 y 、 z) = (0 、 0 、 0) を中心として半径 A の範囲とする。光アンテナが見込む角度を $\pm \theta_M$ とした場合、この結像範囲をカバーすることになる。

20

【 0 0 8 9 】

受信光学系は、上記範囲内にある各点を、受光部 1 1 内の 2 次元光強度検出器 8 の光電面上の各画素に 1 対 1 に結像する。2 次元位相差検出手段 9 は、2 次元光強度検出器 8 の各画素に入射した反射光に基づいて、対象物との距離を反映した位相差を各画素ごとに算出する。

【 0 0 9 0 】

図 5 に示すように、反射光の光アンテナに対する入射角として x z 平面上での入射角成分を φ 、y z 平面上での角度 θ となる条件で入射した反射光成分から得られた距離情報を $\Delta L (\varphi 、 \theta)$ とすると、次式 (1 1) の変換式により、(x 、 y 、 z) 座標に変換できる。

30

【 0 0 9 1 】

【 数 1 1 】

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta L(\varphi, \theta) \cdot \sin \varphi \\ \Delta L(\varphi, \theta) \cdot \sin(\theta_M - \theta) \\ H - \Delta L(\varphi, \theta) \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\theta_M - \theta) \end{bmatrix} \quad (11)$$

【 0 0 9 2 】

以上の演算を信号演算部 1 2 において行うことで、入射角 φ 、 θ と距離計測値 ΔL から通過車両の表面形状を示す x y z 3 次元データ、あるいは、x y 2 次元上に z 値を濃淡で表した 2 次元距離画像を構築できる。

40

【 0 0 9 3 】

また、本実施の形態 3 では、受光部 1 1 における 2 次元光強度検出器 8 は、対象物からの反射光を直接結像して光電変換していた。しかしながら、2 次元受光センサと受信光学系との間に光のバンドパスフィルタを設置してもよい。このバンドパスフィルタにより、可視波長域の背景光を効果的に抑圧でき、受光素子の飽和や信号対雑音比の低下を低減できる効果がある。

【 0 0 9 4 】

以上のように、実施の形態 3 によれば、受光部は、所定の照射領域における 2 次元光強度に基づいて、各画素ごとに、同時、かつ独立に、強度画像の時系列データおよび距離画

50

像の時系列データを算出できる構成を備えている。さらに、後段の信号処理部は、数フレーム内で一連の処理を行い、通過車両の表面形状を示す3次元データ、あるいは、2次元上に他の1軸分を濃淡で表した2次元距離画像を構築できる構成を備えている。この結果、システムの設置性と保守性を向上させるとともに、車両判別のための特徴量を、適切な検出速度、適切な検出精度で算出できるレーザ車両検出システムを得ることができる。

【0095】

実施の形態4.

本実施の形態4では、レーザ車両検出システムの信号演算部13における特徴量の抽出方法について、具体的に説明する。本実施の形態4におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態1における図1の構成と同様である。

10

【0096】

まず、車両の進入検出方法について説明する。

図6は、本発明の実施の形態4における信号演算部13による特徴量(車両進入)検出の説明図である。処理の準備として、信号演算部13は、信号演算部12により算出された、通過車両21の表面形状のxyz3次元データのうち、y方向の投影画像データ(y方向に対して数値積算)61a、61bを算出する(図6の左側に示した(a1)、(b1)参照)。ここで、投影画像データ61aは、通過車両がない場合の積算結果であり、投影画像データ61bは、通過車両が進入してきた場合の積算結果である。

【0097】

次に、信号演算部13は、連続するフレーム間で、この投影画像データを減算(現在のフレーム画像から1フレーム前のフレーム画像を減算)した減算画像データ62a、62bを算出する(図6の右側に示した(a2)、(b2)参照)。ここで、減算画像データ62aは、通過車両がない場合の減算結果であり、減算画像データ62bは、通過車両が進入してきた場合の減算結果である。なお、図6においては、説明を簡単にするため、レーザセンサは23bを想定しており、通過車両の右上方側面から投光する場合を想定している。

20

【0098】

受信視野内に通過車両がない場合には、図6(a1)に示すように、路面の距離データ63aのみが現れる。フレーム減算画像62aの値は、図6(a2)に示すように、全画素ともゼロとなる。

30

【0099】

一方、通過車両が進入した場合には、図6(b1)に示すように、車両の投影距離画像63bが画面左側から現れる。また、車両が前進方向に進行する場合には、車両の投影データの車両前方側のエッジは、図6の左側から右側に移動する。このため、フレーム間の減算画像62bは、図6(b2)に示すように、正值の分布64a、64bが現れる。なお、車両後方側のエッジが現れている場合には、負値の分布65となる。従って、このような投影画像に基づく減算処理結果を用いることで、信号演算部13は、車両進入の有無を検出できる。

【0100】

次に、この減算画像を用いた車両進入速度の検出について説明する。図7は、本発明の実施の形態4における信号演算部13による特徴量(車両進入速度)検出の説明図である。まず、フレーム間の減算画像71において、地上より所定の高さ h_0 (通過車両の最低地上高よりも高い高さであり、図6(a)中の点線参照)に対応する1ラインのデータ74を抽出する。得られた1次元のデータ74は、位置 $X[m] = X_1$ において、幅 ΔX で正值ピークを持つ。フレームレートを $TF[s]$ とすると、車両の進入速度は、 $\Delta X / TF[m/s]$ で表される。

40

【0101】

さらに、連続するフレーム間で同じ計測を行った場合、車両前進に伴い1次元データ78のピーク位置 $X = X_2$ は右側に移動する(図6(b)参照)。逆に、車両が後退する場合には、ピーク位置は、左側に移動する。従って、 X_2 と X_1 の値を比較することで、X

50

2 > X 1 の場合に車両前進、X 2 < X 1 の場合に車両後退を検出することができる。以上のような処理により、信号演算部 1 3 は、車両の有無、進入速度、前進後退を検出することができる。

【0102】

次に通過車両の全長、全高および軸数の計測方法について説明する。

図 8 は、本発明の実施の形態 4 における信号演算部 1 3 による特徴量（通過車両の全長、全高および軸数）検出の説明図である。図 8（a）は、車両全体が受光部視野範囲に入った場合の y 方向投影距離画像のフレーム減算データ 8 1 を示している。車両の進行により、車両の前方方向エッジ部分 8 2 a、8 2 b、8 2 c は、正值を取るのに対して、車両の後方方向エッジ 8 3 a、8 3 b、8 3 c は、負値となる減算データが得られる。

10

【0103】

まず、信号演算部 1 3 は、y 方向投影距離画像のフレーム減算データ 8 1 において、路面位置から高さ h 0 および h 1 のそれぞれに相当するライン 8 4 a、8 4 b での画素切り出しを行う。ここで、h 0 は、通過車両の最低地上高さより高く、h 1 は、最低地上高さよりも低い値に設定されている。

【0104】

画素切り出しにより得られた $h = h_0$ に対するラインプロファイル 8 5 a には、 $X = X_P$ の位置に車両前端に相当する正值ピーク、負値ピーク $X = X_N$ の位置に車両後端に相当する負値ピークが現れる。得られた各ピーク位置の差 $X_P - X_N$ により、通過車両の全長を算出できる。

20

【0105】

一方、画素切り出しにより得られた $h = h_1$ に対するラインプロファイル 8 5 b を見ると、 $X_N < X < X_P$ の位置に、車軸位置に対応した正負ピークのペアが表れる。従って、このプロファイル 8 5 b に対して正值のしきい値 8 6 を設定して、しきい値 8 6 以上、かつ $X_N < X < X_P$ の範囲におけるパルス数を計数することで、軸数を検出することができる。

【0106】

また、図 8（a）の y 方向投影距離画像のフレーム減算データ 8 1 に正值のしきい値処理を行った結果を図 8（b）に示す。これにより得られたデータ 8 7 に対して、信号演算部 1 3 は、x 方向に投影（画素平均）してラインプロファイル 8 8 を算出する。このラインプロファイル 8 8 は、車両前端エッジを車両の前後方向に投影したデータに対応する。このため、ラインプロファイル 8 8 が正值をとる z 方向長さを算出することで、通過車両の全高を算出することができる。以上のような処理により、信号演算部 1 3 は、車両の全長、全高および軸数を計測することができる。

30

【0107】

次に通過車両の全幅を計測する方法について説明する。

図 9 は、本発明の実施の形態 4 における信号演算部 1 3 による特徴量（通過車両の全幅）検出の説明図である。図 9（a）は、車両前端が受光部視野範囲に入った場合の y 方向投影距離画像のフレーム減算データ 9 1 を示す。車両の進行により、車両の前方方向エッジ部分 9 2 a、9 2 b は正值を取るのに対して、車輪後方エッジ 9 3 a は負値となる減算データが得られる。

40

【0108】

路面位置から通過車両の最低地上高より高い位置の h_0 に相当するライン 9 4 におけるラインプロファイル 9 5 には、車両前端エッジの位置に相当する正值ピークが $X = X_P$ の位置に現れる。得られた X_P が X 方向の中心線 9 6（ $X = A [m]$ ）よりも左側 $0 < X < A$ の場合には、以下のように車幅検出し、それ以外の場合には、車幅検出処理を行わない。

【0109】

通過車両の表面形状の x y z 3 次元データのうち、車両進入側のエリア（ $0 < X < A$ ）に対して x 方向の投影画像データ（X 方向に対して数値積算）を算出する。図 9（b）（

50

c) に x 方向の投影画像データ ($0 < X < A$) 97b、97c を示す。これにより、車両表面形状の進行方向への投影データ 98b、98c が得られる。

【0110】

X 方向の中心 96 の面に車両が交差していないため、レーザセンサ投光において、車両の幅方向 (y 方向) の光路遮蔽が発生しない。従って、投影データ 98b、98c の y 方向の幅を計測することで、精度の高い車幅計測ができる。

【0111】

y 方向の幅を計測する方法として、例えば、x 方向の投影画像データ ($0 < X < A$) 97b、97c を z 方向に投影 (積算平均) した積算プロファイル 99b、99c を算出して、99b、99c が正値を取る y 方向長さを算出することで、車両幅を算出することができる。以上のような処理により、信号演算部 13 は、車両の全幅を計測することができる。

10

【0112】

次に通過車両における牽引の有無を検出する方法について説明する。

図 10 は、本発明の実施の形態 4 における信号演算部 13 による特徴量 (牽引の有無) 検出の説明図である。ここでは、通過車両の条件として、牽引車両 101a、101b が受光部視野範囲に入り、かつ牽引棒 101c が受光視野における X 方向の中心付近を通過する場合を考える。

【0113】

図 10 (a) に、距離画像の y 方向投影画像 100 を示す。受信視野中心に牽引棒 101c がくるため、車両 101a、101b による光路けられがなく、牽引棒を検出することができる。

20

【0114】

図 10 (b) に、図 10 (a) の y 方向投影距離画像をフレーム間で減算したデータ (現在のフレーム画像から 1 フレーム前のフレーム画像を減算) 102 を示す。車両の進行により、車両の前方方向のエッジ 103a、103b、103c は、正値をとり、車両の後方エッジ 104a、104b、104c、104d は、負値をとり、牽引棒は、上下方向に動かないためゼロとなる。

【0115】

y 方向投影距離画像のフレーム減算データ 102 において、路面位置から通過車両の最低地上高よりも高い位置 h_0 に相当するライン 105 におけるラインプロファイル 106 を、図 10 (b) の下に示す。ラインプロファイル 106 には、車両前方エッジに相当する正値ピークが $X = X_P$ の位置に、車両後方エッジに相当する負値ピークが $X = X_N$ の位置に現れる。

30

【0116】

ここで、正値ピーク位置 X_P が x 方向の中心線 107 ($X = A [m]$) よりも左側 $0 < X_P < A$ の場合で、かつ、負値ピーク位置 X_N が中心線 107 よりも右側 $A < X_N$ の場合において、信号演算部 13 は、中心線 107 を含む YZ 平面で通過車両の表面形状の x y z 3 次元データを切り出す。

【0117】

図 10 (c) に、中心線 107 を含む YZ 平面での、通過車両の表面形状の x y z 3 次元データの切り出しデータ 108a を示す。切り出し面 107 は、牽引棒 101c と路面とに交差するため、108a の中には、路面を示すライン 109a、109b と牽引棒を示す曲線 109c が表れる。

40

【0118】

図 10 (d) には、参考までに牽引棒が存在しない場合の中心線 107 を含む YZ 平面での、通過車両の表面形状の x y z 3 次元データの切り出しデータ 108b を示す。この場合、108b の中には、路面を示すライン 109a のみが表れる。従って、牽引棒を示す曲線 109c の存在を検出することで、牽引棒の有無を検知できる。

【0119】

50

牽引棒の曲線 109c の検出は、例えば、次のようにして行うことができる。

まず、信号演算部 13 は、Y Z 平面で通過車両の表面形状の x y z 3 次元データの切り出しデータ 108a を y 方向に対して投影 (y 方向に対して数値積算) し、積算プロファイル 110 を算出する。この積算プロファイルには、路面位置 $h = 0$ および、高さ h が $h_1 < h < h_2$ の範囲内に正值のピークを持つ。ただし、 h_1 は、最小地上高よりも低い位置、 h_2 は、車両の高さよりも低い位置とする。

【0120】

従って、 $h_1 < h < h_2$ の範囲内に正值ピークが存在するかどうかを検出することで、牽引棒有無を検知できる。以上のような処理により、信号演算部 13 は、牽引車両の牽引棒の有無を検出することができる。

10

【0121】

以上のように、実施の形態 4 によれば、通過車両の表面形状の x y z 3 次元データに対して、フレーム間の減算、平面データの取り出し、座標軸方向への投影 (数値積算)、しきい値処理といった簡単な画像処理を施すことにより、通過車両の所望の特徴量を高速に演算することができる。

【0122】

なお、本実施の形態 4 において、y 方向投影距離画像からフレーム減算データを得るために、1 フレーム時間はなれた y 方向投影距離画像の減算によりフレーム減算データを算出することを説明した。しかしながら、通過車両の速度に合わせて N (N は、2 以上の整数) フレーム間の減算を行ってもよい。これにより、低速度で進入した車両に対して、エッジ検出の感度を引き上げることができる。

20

【0123】

実施の形態 5 .

本実施の形態 5 では、レーザ車両検出システムの送受信光学系 7 における、送受信光分離部 5 と光アンテナ部 6 の構成例について、詳細に説明する。本実施の形態 5 におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態 1 における図 1 の構成と同様である。

【0124】

図 11 は、本発明の実施の形態 5 における送受信光学系 7 の実現例を示す図である。図 11 (a) は、偏光分離方式の光送受信分離部と光アンテナ 114 (6) とを組み合わせ

30

て実現する例である。

【0125】

光源部 4 より、直線偏光のうち S 偏光が入力することを前提とする。まず、S 偏光は、コリメートレンズ 111a により略平行とされた後、偏光ビームスプリッタ 112a に入力する。偏光ビームスプリッタ 112a において、S 偏光は、反射されて光路が下側に折り曲げられ、4 分の 1 波長板 113 を透過することにより円偏光に変換される。光アンテナ 114 (図 1 の光アンテナ部 6 に相当) によりビーム径が拡大されて、所定の照射領域 25 を通過する車両 21 へ照射される。

【0126】

一方、車両 21 での反射光は、光アンテナ 114 を再度透過して、4 分の 1 波長板 113 に入射する。いま、対象物である車両 21 で反射される際に、偏光の変化が無視できると仮定できる場合には、4 分の 1 波長板 113 を通過後の反射光成分は、P 偏光となる。P 偏光が偏光ビームスプリッタ 112a に入射すると、透過ポートから出力されるため、反射光は、送信光路から分離されて受信光路へと伝送され、集光レンズ 111b を通って 2 次元光強度検出器 8 に導かれる。

40

【0127】

ここで、使用する偏光ビームスプリッタ 112a、4 分の 1 波長板 113 は、集光作用や発散作用がなく、透過波面収差も無視できる理想的な素子を仮定する。

【0128】

受信光路については、光アンテナ 114 を構成する対物レンズ 115b と接眼レンズ 1

50

1 5 a と集光レンズ 1 1 1 b の曲率、厚さ、および面間隔は、車両 2 1 の表面上の 1 点が 2 次元光強度検出器 8 の光電面上の 1 点と結像する条件に設定する。

【0 1 2 9】

一方、送信光路については、光アンテナ 1 1 4 を構成する対物レンズ 1 1 5 b と接眼レンズ 1 1 5 a とコリメートレンズ 1 1 1 a の各曲率、厚さ、および面間隔によって決まる送信光の広がり角度が、上述のように設定した受信光路の視野角よりも大きくなるように設定する。これにより、車両 2 1 の表面付近で、受光素子の視野範囲よりも広い範囲を投光できるため、照明光を均一化できるメリットがある。

【0 1 3 0】

上述した図 1 1 (a) の構成では、送信光と受信光の分離度 (消光比) を高く確保できるメリットがある。しかしながら、対象物である車両 2 1 での反射の際に偏光変化が生じた場合に、受信光量が変化する問題が考えられる。そこで、図 1 1 (b) は、これを解決するため、偏光無依存型の光送受信分離部と光アンテナ 1 1 4 を組み合わせて実現する例を示している。

【0 1 3 1】

光源部 4 には、特に偏波状態は規定しない。送信光は、コリメートレンズ 1 1 1 a により略平行とされた後、偏光無依存型ビームスプリッタ 1 1 2 b に入力され、1 : 1 の分岐比で透過ポートと反射ポートとに分岐される。このうち、反射ポートにより下側に折曲げられ、光アンテナ 1 1 4 によりビーム径が拡大されて、対象物である通過車両 2 1 へ照射される。

【0 1 3 2】

車両 2 1 による反射光は、光アンテナ 1 1 4 により再収集されて、偏光無依存型ビームスプリッタ 1 1 2 b に伝送される。偏光無依存型のビームスプリッタを用いているため、車両 2 1 での反射の際の偏光変化に関係なく、2 分の 1 の光量の反射光が受信光路へ伝送され、集光レンズ 1 1 1 b を通って 2 次元光強度検出器 8 に導かれる。

【0 1 3 3】

一方、反射ポート側 (送信部側) に分岐した反射光成分が基準光源方向に漏洩するのを防ぐため、光アイソレータ 1 1 6 を偏光無依存型ビームスプリッタ 1 1 2 b とコリメートレンズ 1 1 1 a との間に設置する。以上により、図 1 1 (a) の構成において、対象物による偏光変化が生じた際の受信光量の変化を抑えることができる。

【0 1 3 4】

上述した図 1 1 (b) の構成では、送信光に定偏光の光源が不要となり、非偏波保持系のため低コスト化が可能となる。しかしながら、偏光無依存型ビームスプリッタ 1 1 2 b の通過に伴い、1 回の分岐で光量が 5 0 % に低下する。従って、送受信の往復光路で受ける光路損失は 6 d B となり、反射光の信号強度低下が問題となる。そこで、図 1 1 (c) は、これを解決するため、送信光および受信光を直交 2 偏光に分けた後、独立した光路で送受信光を分離する構成により実現する例を示している。

【0 1 3 5】

光源部 4 より、直線偏光光が入力することを前提とする。まず、直線偏光光は、コリメートレンズ 1 1 1 a により略平行とされた後、第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 1 2 a に入力する。第 1 の偏光ビームスプリッタ 1 1 2 a では、入射光のうち、P 偏光成分は透過、S 偏光成分は反射される。

【0 1 3 6】

P 偏光光路として、ファラデーローテータ 1 1 7 a と 2 分の 1 波長板 1 1 8 a とを含み、第 2 の偏光ビームスプリッタの透過ポートに入力する光路を、S 偏光光路として、反射ミラー 1 1 6 a、ファラデーローテータ 1 1 7 b と 2 分の 1 波長板 1 1 8 b、反射ミラー 1 1 6 b を含んで第 2 の偏光ビームスプリッタ 1 1 2 c の反射ポートに入力する光路とする。

【0 1 3 7】

各光路とも、ファラデーローテータ 1 1 7 a、1 1 7 b により 4 5 度偏光回転された後

10

20

30

40

50

、2分の1波長板118a、118bに入射する。2分の1波長板118a、118bにおいて、ファラデーローテータ117aによる偏光回転を相殺するように、主軸を設定する（S偏光軸と主軸とのなす角を22.5度）。

【0138】

これにより、P偏光側の光路を通る送信光は、P偏光のまま、S偏光側の光路を通る送信光はS偏光のまま、第2の偏光ビームスプリッタ112cに入射する。第2の偏光ビームスプリッタ112cによりP偏光の送信光とS偏光の送信光とが合成された後、4分の1波長板113により円偏光に変換されて、光アンテナ114に入射する。光アンテナ114によりビーム径が拡大されて、対象物である通過車両21へ照射される。

【0139】

以上により、光源部4の直交偏光成分のP偏光、S偏光の成分比に関係なく、すべてのパワーを対象物である車両21に投光できる。

【0140】

対象物である車両21での反射光は、光アンテナ114を再度透過して4分の1波長板113を通過して、再び直交2偏光に変換され、第2の偏光ビームスプリッタ112cに入射する。第2の偏光ビームスプリッタにより、P偏光成分はP偏光側光路に、S偏光成分はS偏光光路に伝送される。

【0141】

P偏光光路に再入射した反射光のP偏光成分は、2分の1波長板118aにより、+45度偏光が回転する。さらに、ファラデーローテータ117aにより、+45度偏光回転を受けるため、S偏光に変換される。他方、S偏光光路に再入射した反射光のS偏光成分も、2分の1波長板118bとさらにファラデーローテータ117aにより、それぞれ+45度ずつの偏光回転を受けるため、P偏光に変換される。

【0142】

従って、P偏光光路に入射した反射光のP偏光成分は、S偏光となって、第1の偏光ビームスプリッタで反射されて、受信側光路へと切り替わる。また、S偏光光路に入射した反射光のS偏光成分も、P偏光に変換され、第1の偏光ビームスプリッタで透過されて、受信側光路へと切り替わる。結果として、通過車両に偏光回転作用がある場合の受信光レベルの安定化を図ることができる。

【0143】

以上のように、実施の形態5によれば、反射光の偏光成分比に依存せずに、すべての反射光パワーを受信光路へと導くことができる。これにより、対象物である車両での反射の際に偏光変化がある場合でも、安定した反射光パワーを受信光路に導くことができる。また、P偏光、S偏光各々独立に伝送光路をもつため、偏光分離による光路損失を抑えられ、信号強度低下をさせない利点がある。

【0144】

実施の形態6

本実施の形態6では、レーザ車両検出システムを複数台設置する場合の具体的な運用方法について説明する。本実施の形態6におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態1における図1の構成と同様であり、複数のレーザセンサの配置は、先の実施の形態2における図2の構成と同様である。

【0145】

レーザセンサを2系統設置する場合には、第1のレーザセンサ23aの投光時における対象物による反射光の一部が、第2のレーザセンサ23bの受光部にもれこんで誤検出するクロストークの問題がある。

【0146】

これを回避するため、レーザセンサ23a、23bそれぞれに用いる変調周波数を f 、 $f + \Delta f$ （ $\Delta f \neq 0$ ）と異なる値に設定する。第1のレーザセンサ23aの投光による反射光が、第2のレーザセンサ23bの受光部に漏洩した場合の受信光強度 $S_R(t)$ は、次式（12）で表される。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 7 】

【 数 1 2 】

$$S_R(t) = \sqrt{P_{R_DC}} + \sqrt{P_R} \sin(2\pi f t + \phi_T + \Delta\phi) \quad (12)$$

【 0 1 4 8 】

一方、第 2 のレーザセンサ 23b の受光部に入力する局部発振信号 $S_{LOC}(t)$ は、次式 (13) となる。

【 0 1 4 9 】

【 数 1 3 】

$$S_{LOC}(t) = A_{LOC} \sin(2\pi(f + \Delta f)t + \phi_{LOC}) \quad (13)$$

10

【 0 1 5 0 】

従って、乗算信号 $S_{MPL}(t)$ は、次式 (14) となる。

【 0 1 5 1 】

【 数 1 4 】

$$S_{MPL}(t) = \frac{1}{2} A_{LOC} \sqrt{P_R} [\cos(2\pi\Delta f \cdot t + \Delta\phi + \phi_T - \phi_{LOC}) - \cos(2\pi(f + \Delta f)t + \Delta\phi + \phi_T + \phi_{LOC})]$$

(14)

20

【 0 1 5 2 】

上式 (14) において、第 1 項はバイアスゼロ、周波数 Δf で正弦的に振動し、第 2 項もバイアスゼロ、周波数 $(f + \Delta f)$ で正弦的に振動する。このため、いずれの項も、時間平均による信号積分処理 (ローパスフィルタ処理) によりゼロに収束する。従って、2 系統のレーザセンサで異なる変調周波数に設定することで、クロストークを効果的に抑圧することができる。

【 0 1 5 3 】

また、受光素子と受信光学系との間に光のバンドパスフィルタを設置する構成において、2 系統のレーザセンサの光源波長を異なる値に設定し、かつバンドパスフィルタの中心波長を光源波長に一致させる。これによりクロストークを効果的に抑圧することができる。

30

【 0 1 5 4 】

変調周波数の設定、波長の設定のいずれの運用方法においても、複数台のレーザセンサには同期信号を与えることなく、完全に非同期運用でクロストークを効果的に抑圧できる。従って、各センサを独立に交換、設置、更新することが可能となり、取り付け保守作業が簡単化する利点がある。

【 0 1 5 5 】

以上のように、実施の形態 6 によれば、複数のレーザセンサを併用する際に、それぞれの投光部で用いられる変調周波数を互いに異なる周波数とすることにより、同期運転無しにレーザセンサ相互のクロストークの抑圧を図ることができる。この結果、システムの設置性と保守性を向上させるとともに、車両判別のための特徴量の検出精度を高めることが可能となる。

40

【 0 1 5 6 】

実施の形態 7 .

本実施の形態 7 では、レーザ車両検出システムを複数台設置する場合の運用方法として、特に低消費電力化に着目して説明する。本実施の形態 7 におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態 1 における図 1 の構成と同様であり、複数のレーザセンサの配置は、先の実施の形態 2 における図 2 の構成と同様である。

【 0 1 5 7 】

先の実施の形態 4 において、1 台のレーザセンサにより、車種判別を行うために必要な

50

特徴量として、車両の進入検出、進入速度の計測、軸数の計測、車両の全長、全幅、全幅の計測、牽引棒の検出すべてを行えることを説明した。ただし、大型車両で前端部の地上高が高い車両については、送信光のビーム広がり制限から、車幅の計測を、本来よりも小さな値に誤計測する可能性がある。

【 0 1 5 8 】

これを回避するためには、2台のレーザセンサにより車両の両側面の距離計測することは有効である。しかしながら、頻度は、低いと考えられる。また、通過車両の台数が少ない時期、時間帯においては、計測に使用しない投光パワー自体が無駄となる。

【 0 1 5 9 】

このため、本実施の形態7では、2台のうちの片方のレーザセンサの投光光を停止することで低消費電力化を図る方法について説明する。なお、説明を簡略化するために、2台のレーザセンサを用いる場合の低消費電力化について説明するが、この方法は、3台以上の場合にも適用可能である。

【 0 1 6 0 】

まず、1台目のレーザセンサ23aのみ投光し、2台目のレーザセンサ23bは、送信部の電源を停止し、受光部のみを動作させる。レーザセンサ23bの受光部のうち、2次元強度算出手段10により得られた反射強度画像をモニタする。

【 0 1 6 1 】

図12は、本発明の実施の形態7におけるレーザ車両検出システムの低消費電力化を図るための説明図である。図12(a)は、進入車両がない場合、図12(b)は、普通車両21aが進入する場合、図12(c)は、大型車両21bが進入する場合であり、それぞれ、1台目のレーザセンサ23aのみ投光した状態と、その結果として、2台目のレーザセンサ23bの受光部内の2次元強度算出手段10により得られた反射強度画像を示している。

【 0 1 6 2 】

これを見ると、(a)の進入車両がない場合には、レーザセンサ23aの投光光によって路面が照明された強度画像120cが得られる。これに対して(b)(c)のように、進入車両がある場合には、画面左側に車両によるコントラスト120a、120bが現れる。

【 0 1 6 3 】

この場合に、図12(b)に示したように、レーザセンサ23aの投光光は、進入車両により遮蔽された部分122aが生じる。この遮蔽部分の信号強度は、進入車両がない場合の路面の強度に比べて低くなる(図12(a)参照)。従って、信号演算部15は、2次元強度算出手段10により算出された反射強度画像に基づいて、信号強度が変化する画素エリア122aの平均強度をモニタし、所定値を下回った段階で車両の進入を検出できる。

【 0 1 6 4 】

2台目のレーザセンサ23bにおいて、この車両進入の検出信号に基づいて、光源部4の電源を再投入することで、通過車両の台数が少ない時期の消費電力を抑えることができる。

【 0 1 6 5 】

また、図12(c)に示すように、モニタする画素エリアを122bの領域に設定することで、投光光の遮蔽領域が大きな大型車両のみを検出することができる。従って、レーザセンサ23bの光源部4を、この大型車両の進入信号に基づき、電源再投入することで、車幅の計測誤差が生じる可能性の高い大型車両以外は、片方のレーザセンサ23aの投光部のみの運用とすることができ、消費電力を抑えることができる。

【 0 1 6 6 】

本実施の形態7における光源部の制御信号となるのは、制御しようとする自機の2次元強度算出手段10で得られる強度画像に基づいており、レーザセンサ23a、23b間に制御信号を接続する必要はない。従って、設置作業と保守作業が簡単になる利点がある。

【0167】

以上のように、実施の形態7によれば、通常時は、2台目のレーザセンサによる投光を行わず、1台目のレーザセンサからの投光により得られる反射強度画像をモニタし、モニタ結果に応じて車両進入あるいは車種を判断し、必要に応じて投光用の光源部の電源を再投入する構成を備えている。この結果、通過車両が少ない時間帯等に、2台目の投光部の電源を停止させておくことができ、低消費電力化、高寿命化を図ることができる。

【0168】

実施の形態8.

本実施の形態8では、先の実施の形態1で説明した2次元光強度検出器8を、複数の1次元光強度検出器により構成する方法について説明する。本実施の形態8におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態1における図1の構成と同様である。

【0169】

図13は、本発明の実施の形態8における1次元光強度検出器により結像する領域を示した図である。先の図2で説明した路面20上のレーザ光の照射領域25のうち、送受信光学系の光軸との交点である $(x, y) = (0, 0)$ を中心として、車両進行方向(+x方向)の車両長手方向検出領域131、および車両幅方向検出領域132に対応する領域からの反射光を、各々対応する位置に設置した1次元光強度検出器8x、8yとで検出する。

【0170】

車両長手方向の検出領域131は、図13(b)に示すように、中心部をさらに分割して131a、131bに対応する2個の1次元検出器で別々に検出する構成としてもよい。このような分割構成をとることにより、1次元検出器を同一平面上に配置できるため、結像光学系の設計が簡易になる利点がある。

【0171】

次に、図13に示すような複数の1次元光強度検出器を用いた特徴量の抽出方法について説明する。なお、1次元光強度検出器により検出された光強度から、1次元の距離画像を得る方法は、先の実施の形態1で説明した2次元における方法と同じである。

【0172】

まず、車両の進入検出と進入速度の計測および進入方向の検出について説明する。図14は、本発明の実施の形態8における車両長手方向検出領域131での反射光による計測距離データを示した図である。

【0173】

図14(a)のように、車両の進入がない場合には、検出される距離データは、路面のみとなり、平坦なプロファイル140となる。次に、路面から、高さ h_0 (通過車両の最低地上高以上)で、しきい値処理をした後のプロファイル141a、およびある時間経過後のしきい値処理後の距離データ141bも平坦なままであるので、両者の差分データ141cも平坦となる。

【0174】

一方、図14(b)のように、車両の進入があった場合、検出距離データ142は、車両の表面形状を示す凹凸を持つ。図14(a)と同様に、 h_0 でしきい値処理を行うと、車両の前方端よりも後方で値を持ったプロファイル143aとなる。時間経過後のしきい値処理後の距離データ143bは、143aをx方向に平行移動した形となるため、両者の差分(現在のフレームから、1フレーム前のデータを減算)を取ると、得られたデータ143cは、位置 $X = X_1$ で、幅 ΔX で正值のピークを持つ。フレームレートを $TF[s]$ とすると、車両の進入速度は $\Delta X / TF [m/s]$ と計算できる。

【0175】

さらに、図14(c)のように、連続的にデータを取得した場合、車両の前進に伴い、上述した差分後の1次元プロファイル145cにおけるピーク位置 $X = X_2$ は、右側に移動する。逆に、車両が後退する場合には、このピーク位置は、左側に移動する。従って、 X_2 と X_1 の値を比較することで、 $X_2 > X_1$ で車両前進、 $X_2 < X_1$ で車両後退を検出

できる。以上より、信号演算部 13 は、1 次元光強度センサを用いて得られた距離データから、車両進入の有無、進入速度、進入方向を検出することができる。

【0176】

次に、通過車両の全長の計測方法について説明する。

図 15 は、本発明の実施の形態 8 における車両長手方向検出領域 131 での反射光による距離計測データを示した図である。車両の進入により、距離計測データは、表面形状を示す凹凸を持つプロファイル 151 となる。先の図 14 と同様に、 h_0 でしきい値処理を行うと、車両の全長を表すプロファイル 152 が得られる。

【0177】

また、車両全長が検出領域 131 よりも長い場合には、車両の前端エッジをある検出位置 $X = X_P$ で検出してから、同じ位置に車両後端エッジが現れるまでの時間 T_{PN} をカウントし、前述した車両進入速度の計測値 $\Delta X / T_F$ に乗算すればよい。

【0178】

ここで、車両の前端と後端の各エッジの検出は、しきい値処理後のプロファイル 152 のフレーム間減算データ 153 において、正值を先端エッジ、負値を後端エッジとすればよい。以上より、信号演算部 13 は、1 次元光強度センサを用いて得られた距離データから、通過車両の全長を検出することができる。

【0179】

次に、車幅と車高の検出方法について説明する。

図 16 は、本発明の実施の形態 8 における車両幅方向検出領域 132 からの反射光による距離プロファイル 162 a、162 b を示した図である。車両幅検出領域により検出できる距離情報の断面は、破線 161 を含み紙面に垂直な面となる。

【0180】

このプロファイル 162 a、162 b の高さ h_M により、車高に関する情報が計測できる。また、プロファイル 162 a、162 b を、図 14 と同様に、 h_0 でしきい値処理を行うと、車両の幅 W_M を表すプロファイル 163 a、163 b が表れる。これら h_M 、 W_M の最大値を求めることで、車両の全高、全幅を計測できる。以上より、信号演算部 13 は、1 次元光強度センサを用いて得られた距離データから、通過車両の全高、全幅を検出することができる。

【0181】

次に、軸数の検出方法について説明する。

図 17 は、本発明の実施の形態 8 における軸数検出方法についての説明図である。先の図 16 の場合と同様に、車両幅方向検出領域 132 により、破線 161 を含み紙面に垂直な面の距離情報が得られる。破線 161 により切り取られる車両表面の距離情報は、170 a、170 b のプロファイルとなる。

【0182】

次に、このプロファイル 170 a、170 b から高さ h_0 、 h_1 に相当する y 座標を検索し、 $h = h_0$ に相当する抽出成分 171 a、171 b と、 $h = h_1$ に相当する抽出成分 172 a と 172 b とが得られる。ここで、 h_0 は進入車両の最小地上高よりも大きく、 h_1 は最小地上高よりも小さな値とする。

【0183】

破線断面 161 上に車軸が存在する場合には、車輪が地面と接しているため、172 b のように正の値が表れる。一方、破線断面 161 上に車軸が存在しない場合には、172 a のようにゼロとなる。

【0184】

次に、171 a と 171 b との差分、および 172 a と 172 b との差分を演算すると、それぞれ 173 b、174 b となる。差分値 173 b は、車両前端的通過とともに正值を、車両後端通過により負値を取る。また、差分値 174 b は、車輪の前方方向エッジで正值、後方エッジで負値を取る。

【0185】

10

20

30

40

50

この性質を利用して、図 17 (b) に示すように、 $h = h_0$ における差分値が 173 a の正値から 173 f の負値まで遷移する間の期間において、 $h = h_1$ における差分値が正値（あるいは負値）となる回数をカウントすることで、車軸数を計測できる。

【0186】

図 17 (b) の場合、 $h = h_1$ における差分値が正値となるのは、174 b と 174 d の 2 回であるため、軸数は 2 である。以上より、信号演算部 13 は、1 次元光強度センサを用いて得られた距離データから、車幅、車高、車軸数を検出することができる。

【0187】

なお、車両幅方向検出領域 132 は、送受信光学系の光軸を含む面となるため、車両長手方向には垂直な投光・受光の光路となる。従って、車両の長手方向の遮蔽を受けないため、車幅の計測精度が向上する。

10

【0188】

また、牽引棒の有無については、次のように検出する。先の図 15 の全長計測において求めた車両前端位置 $X = X_P$ と後方端位置 $X = X_N$ の位置関係が、 $0 < X_P < A$ 、かつ $A < X_N$ （ただし、 A は車両長手方向検出領域 131 の半分の長さ）の条件となるとき、破線 161 を含み紙面に垂直な面は、2 台の車両の間となる。

【0189】

このような条件において、破線 161 を含み紙面に垂直な面での距離情報を算出すると、牽引棒がある場合には、先に示した図 10 (c) のようなプロファイルが得られ、牽引棒がない場合には、先に示した図 10 (d) のようなプロファイルが得られる。従って、牽引棒を表す曲線 109 c の存在有無を検出することで、牽引棒検出が実現できる。以上より、信号演算部 13 は、1 次元光強度センサを用いて得られた距離データから、牽引棒を検出することができる。

20

【0190】

以上のように、実施の形態 8 によれば、2 次元光強度検出器の代わりに、1 次元の光強度検出器を 2 個あるいは 3 個組合せることにより、車両の進入検出、進入速度の計測、軸数の計測、車両の全長、全幅、全高の計測、牽引棒の検出すべてを行うことができる。

【0191】

そして、このような計測は、先の実施の形態 3 で説明した 2 次元光強度検出器を用いた構成の場合と同様に、光路走査を行うことなく実現できる。

30

【0192】

なお、車両長手方向の検出領域 131 を広げた領域とし、長手方向の 1 次元光強度検出器の光電面直前でシリンドリカルレンズを用いて集光する構成としてもよい。これにより、幅の狭い通過車両（オートバイ等）の通過位置が、車幅方向へのずれに対する許容度を増加させる効果がある。

【0193】

また、本実施の形態 8 においては、 x 方向の 1 次元光強度検出器の検出領域は、レーンに対して、1 本だけの場合を説明した。しかしながら、レーンに平行して複数本の検出領域を設けてもよい。これにより、オートバイの車幅方向のずれ、あるいは併走の場合の検出漏れに対する許容度を増加させることができる。

40

【0194】

実施の形態 9 .

本実施の形態 9 では、先の実施の形態 8 で説明した複数の 1 次元光強度検出器のうち、車両の長手方向の検出器を取り除いて、車両幅方向の検出器のみで構成する方法について説明する。本実施の形態 9 におけるレーザ車両検出システムの全体構成は、先の実施の形態 1 における図 1 と同じである。

【0195】

また、車両の長手方向の検出器を用いるのは、車両の進入検出、進入速度の計測、および進入方向の検出のみである。これ以外の計測（車幅、全長、全幅、全高の計測、牽引棒の検出）については、先の実施の形態 8 と共通であるため、説明を省略する。

50

【 0 1 9 6 】

図 1 8 は、本発明の実施の形態 9 における 1 次元光強度検出器により結像する領域を示した図である。先の図 2 で説明した路面 2 0 上のレーザ光の照射領域 2 5 のうち、送受信光学系の光軸との交点である $(x, y) = (0, 0)$ を中心として、車両進行方向 $(+x$ 方向) の車両幅方向検出領域 1 8 2 に対応する領域からの反射光を、対応する位置に設置した 1 次元光強度検出器 8 y で検出する。

【 0 1 9 7 】

図 1 9 は、本発明の実施の形態 9 における車両進入速度計測方法についての説明図であり、より具体的には、車両幅方向検出領域に対応する 1 次元光強度検出器 8 y で検出される距離プロファイルを示す図である。図 1 9 において、車両は左から進入して、1 6 1 のラインで距離検出される。従って、図 1 9 中の車両のうち、1 6 1 よりも右側 1 9 2 が距離検出された距離画像を示す。また、点線で示された領域 1 9 3 は、検出した距離画像のうち、前輪 1 9 4 およびその周辺を示す解析範囲を示す。

【 0 1 9 8 】

本実施の形態 9 では、車両幅検出用の 1 次元検出器 8 y の後段に接続される位相差検出手段 9 で検出した 1 次元画素間の位相差データを信号処理部 1 2 に伝送して距離算出を行う。

【 0 1 9 9 】

ここで、信号処理部 1 2 は、フレームレート $TF [s]$ ごとに算出される 1 次元距離データをある一定期間格納する。今、格納データを、y 軸に 1 次元光強度検出器 8 y の座標

【 0 2 0 0 】

【 数 1 5 】

$$\Delta X = V \cdot TF \quad (15)$$

【 0 2 0 1 】

ここで、V は、車両の進入速度を示す。

従って、TF として固定値のフレームレートを仮定すると、X 軸方向の 1 画素の長さ ΔX は、車両の進入速度に応じて増減する。

【 0 2 0 2 】

一方、Y 軸としては、路面 2 0 上のレーザ光の照射領域 2 5 のうちの検出領域 1 8 2 を、光アンテナ 6 を用いて縮小して結像させる。検出領域 1 9 2 の幅を $W [m]$ とし、1 次元検出器の画素数を m とすると、画素あたり $W / m [m]$ として長さを校正できる。

【 0 2 0 3 】

今、X 軸方向の画素長を校正するため、車両側面からレーザ光を照射する際に、車輪部分に対応する距離画像が円形状の形状 (図 1 9 の符号 1 9 4 に相当) となる先見情報を用いる。

【 0 2 0 4 】

すなわち、車両の進入速度が下式 (1 6) の想定値 $V_{nominal}$ よりも速い場合には、図 1 9 の符号 1 9 5 に示されるような縦長の楕円となり、遅い場合には、図 1 9 の符号 1 9 6 に示されるような横長の楕円となる。

【 0 2 0 5 】

【 数 1 6 】

$$V_{nominal} = \frac{\Delta Y}{TF} \quad (16)$$

【 0 2 0 6 】

従って、抽出された車輪部分に対応する距離画像の楕円形状のうち、Y 軸方向長に対する X 軸方向長の比 α をとることで、車両の進入速度 V を、次式 (1 7) で算出することができる。

10

20

30

40

50

【 0 2 0 7 】

【 数 1 7 】

$$V = \alpha \frac{(W/m)}{TF} \quad (17)$$

【 0 2 0 8 】

車輪部の抽出は、例えば次のように、先の実施の形態 8 の途中までのプロセスを利用して行う。すなわち、図 1 7 (b) において、車両の前端の通過の際の差分値 1 7 3 a を用いて、この差分値がゼロから正値に遷移する時間から、前側車輪の後端通過の際の差分値 1 7 4 c の値が正値から負値に遷移する時間までの距離画像 (図 1 9 の破線部分 1 9 3 に相当) を格納する。

10

【 0 2 0 9 】

格納された距離画像内には、前輪 1 8 4 が含まれるため、この中から楕円パターンを抽出する。楕円パターンの抽出は、パターンマッチングの手法を用いる。

【 0 2 1 0 】

抽出された楕円パターンの画素情報に基づき、楕円の X 軸方向長および Y 軸方向長を算出して、両者の比を算出することで、 α を求めることができる。

【 0 2 1 1 】

このように、本実施の形態 9 では、先の実施の形態 8 において車両速度検出に必要なだった車両の長手方向の検出器が不要となる。さらに、先の実施の形態 8 と組み合わせると、対向する 2 台のセンサのみを用いて、車両の進入検出、進入速度の計測、軸数の計測、車両の全長、全幅、全高の計測、牽引棒の検出のすべてを行うことができる。

20

【 0 2 1 2 】

以上のように、実施の形態 9 によれば、車両の長手方向の検出器が不要となることにより、構成が簡素になり、低コスト化、信頼性向上を図ることができる。さらに、進入車両の種類や大きさが異なる場合でも、車輪の形状は、常に円形であるため、車種依存性が無く、計測信頼性が向上する。さらに、車両前輪は、操舵する機能上、側面から車輪自体が車体フェンダー等により遮蔽されない。この結果、常に車輪の円形状が見通せることになり、計測精度が向上する。

【 符号の説明 】

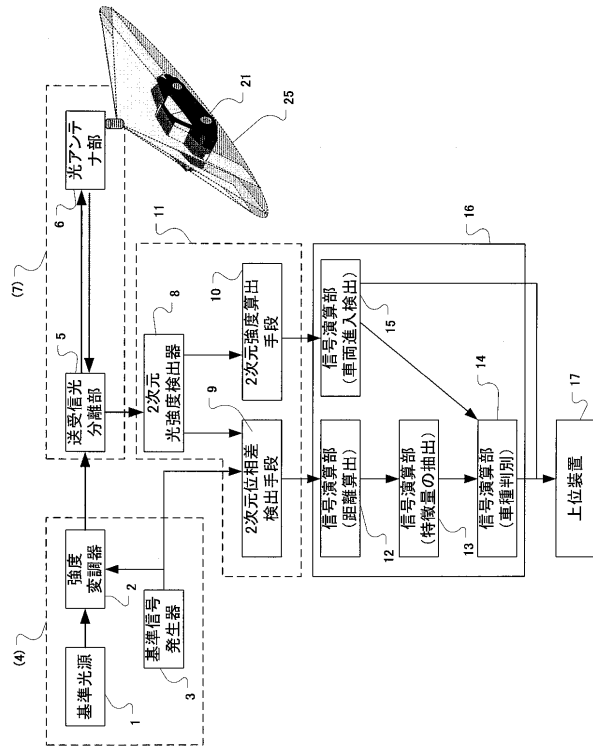
30

【 0 2 1 3 】

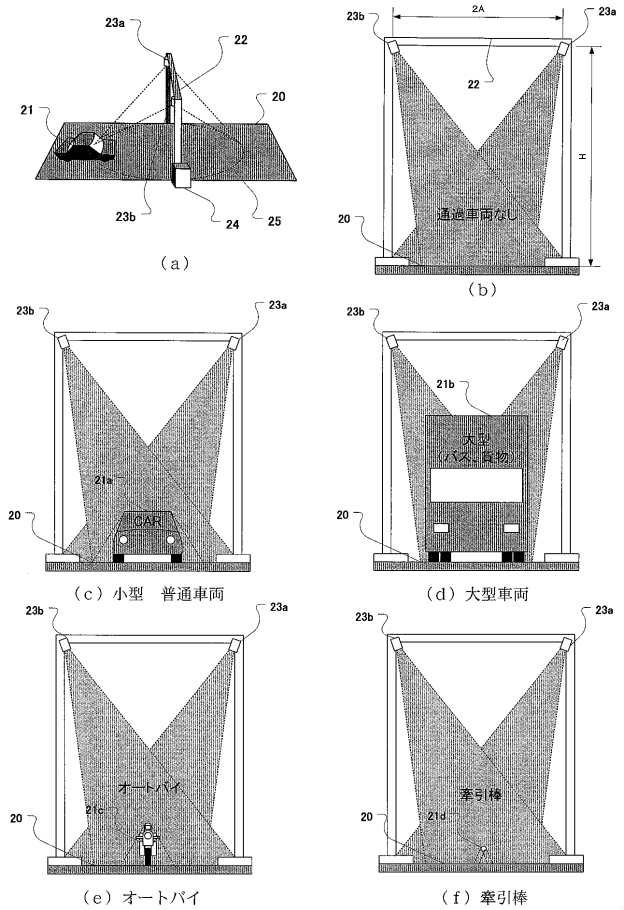
1 基準光源、2 強度変調器、3 基準信号発生器、4 光源部、5 送受信光分離部、6 光アンテナ部、7 送受信光学系、8 2次元光強度検出器、8 x、8 y 1次元光強度検出器、9 2次元位相差検出手段、10 2次元強度算出手段、11 受光部、12 信号演算部 (第1の信号演算部)、13 信号演算部 (第2の信号演算部)、14 信号演算部、15 信号演算部 (第3の信号演算部)、16 信号処理部、21 車両 (対象物)、23 a、23 b レーザセンサ、25 照射領域、30 フォトダイオード、31 トランスインピーダンス増幅器、32 キャパシタ、33 ミキサ、34 ローパスフィルタ、35 a 強度情報格納用バッファ、35 b 距離情報格納用バッファ、36 a 強度情報格納用マルチプレクサ、36 b 距離情報格納用マルチプレクサ、37 a 強度情報格納用 A/D 変換器、37 b 距離情報格納用 A/D 変換器。

40

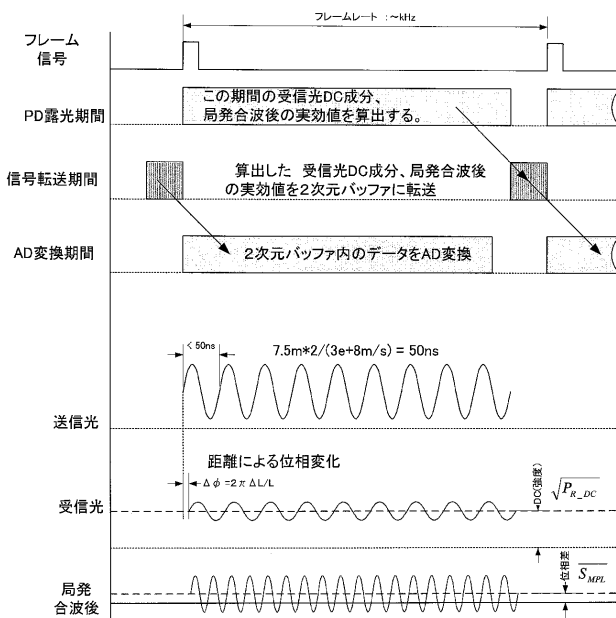
【 図 1 】



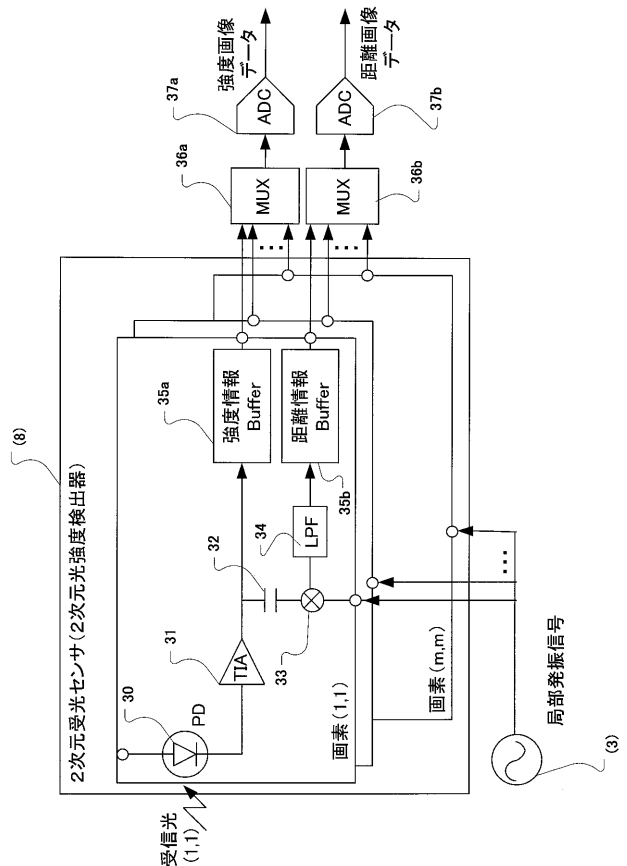
【 図 2 】



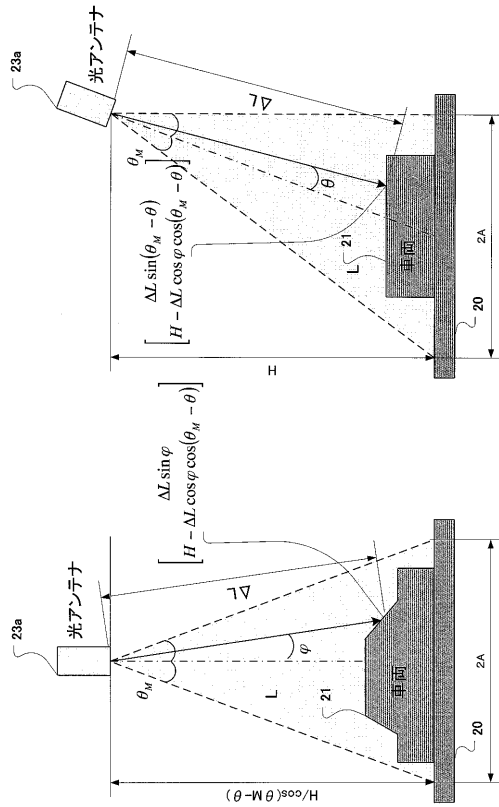
【 図 3 】



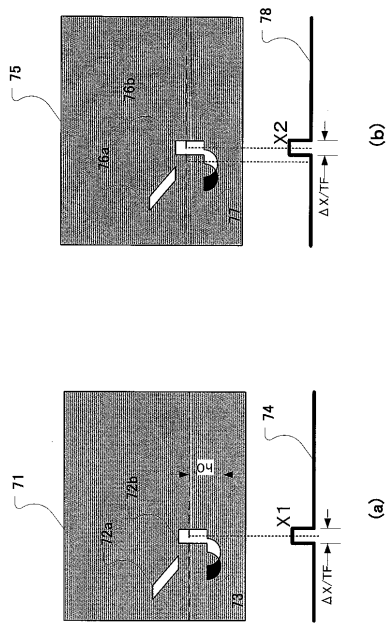
【 図 4 】



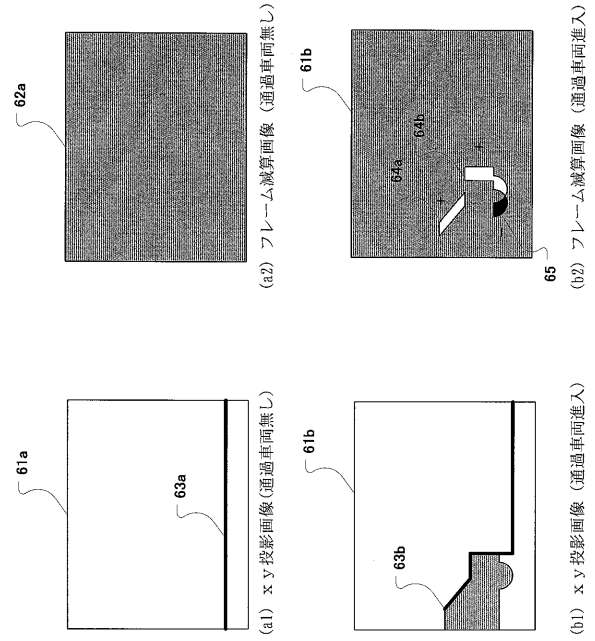
【図 5】



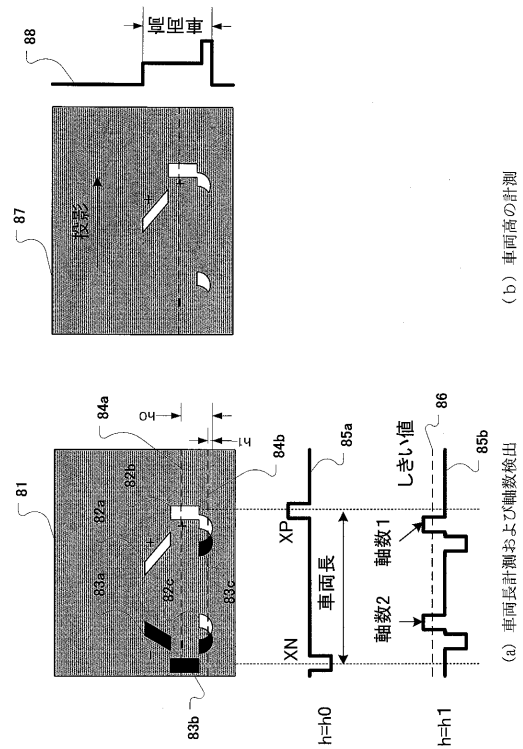
【図 7】



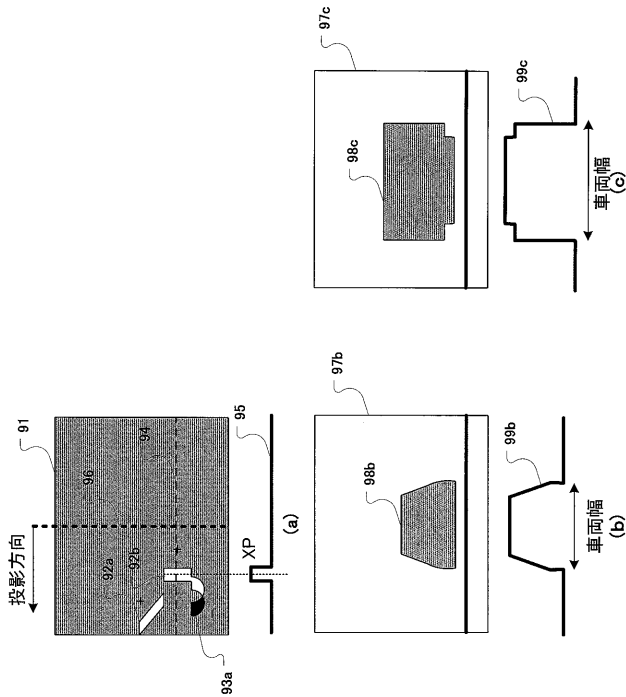
【図 6】



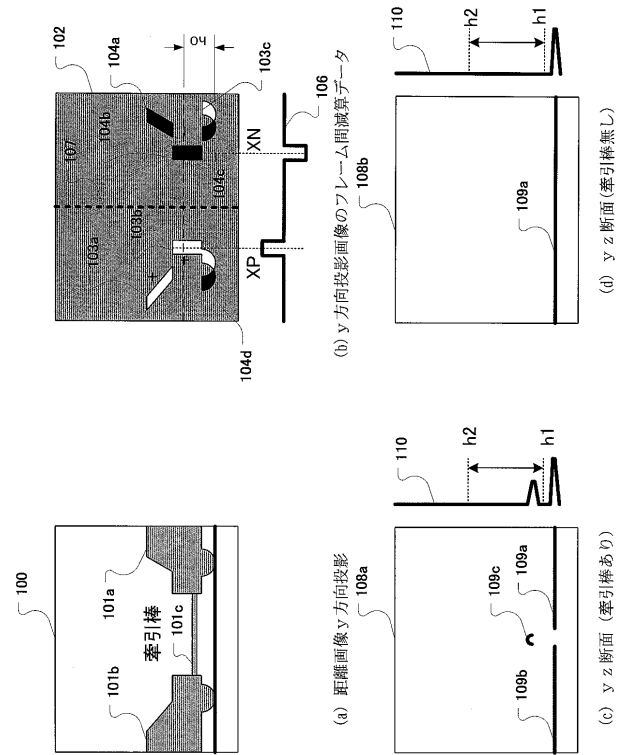
【図 8】



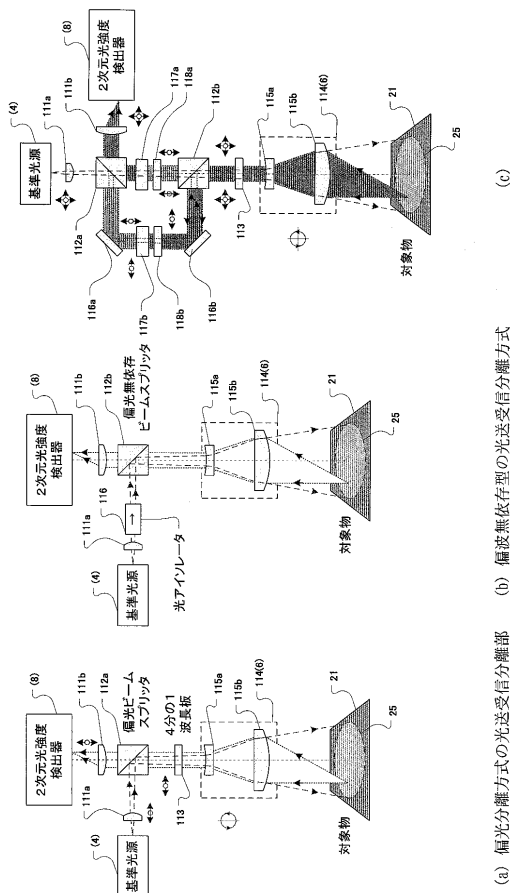
【 図 9 】



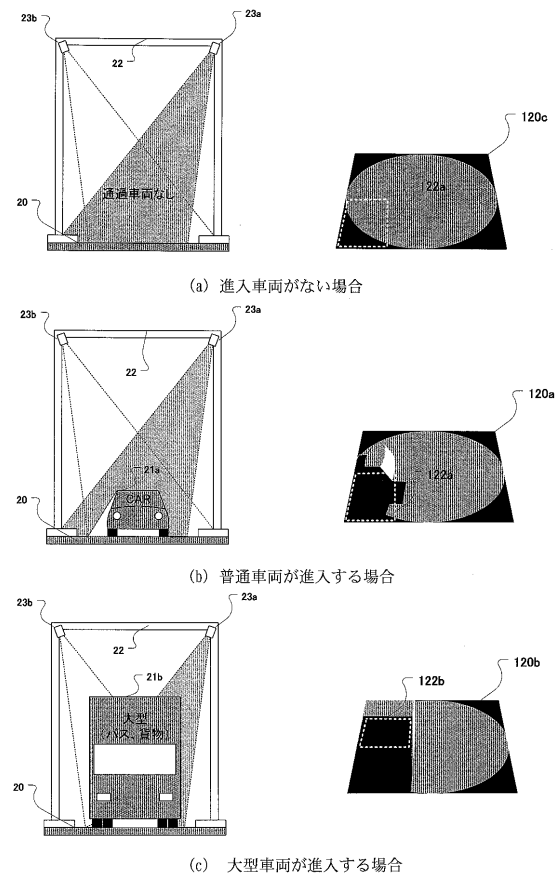
【 図 1 0 】



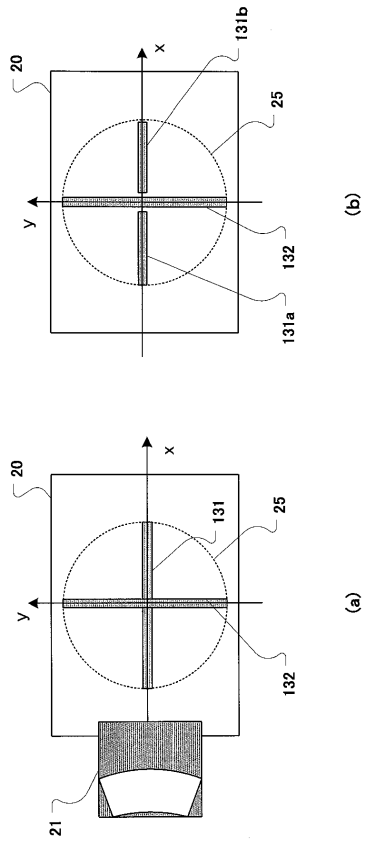
【 図 1 1 】



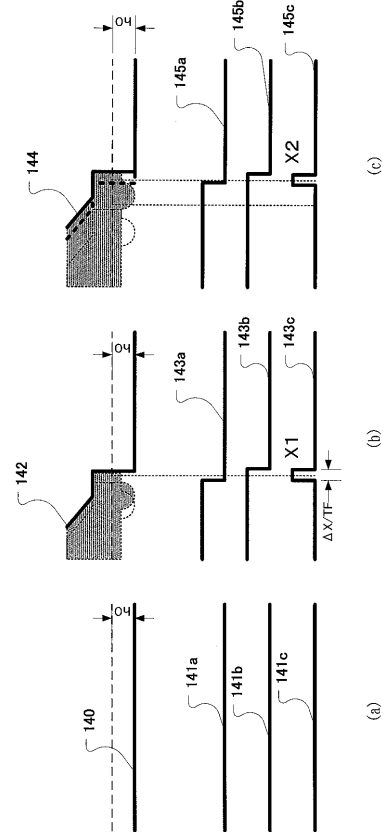
【 図 1 2 】



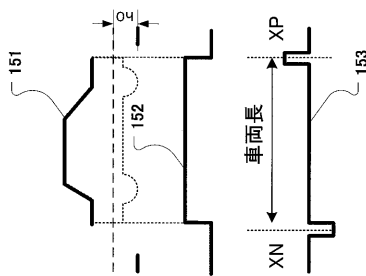
【図 13】



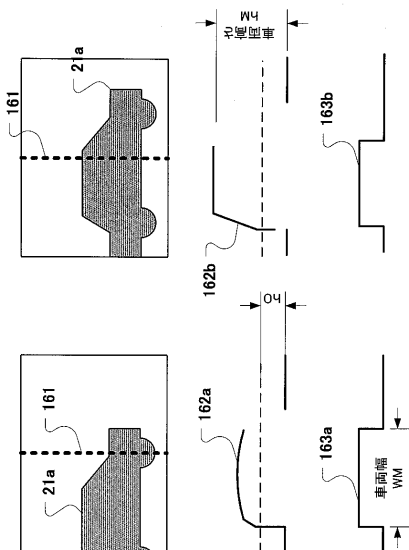
【図 14】



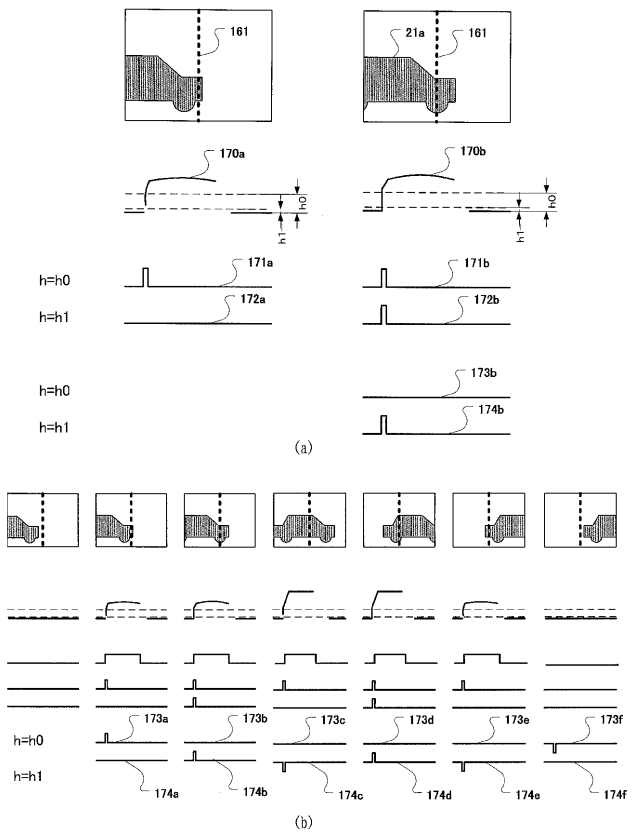
【図 15】



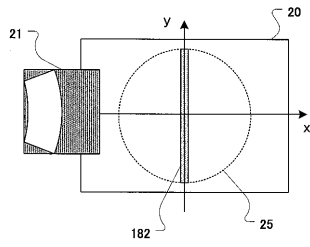
【図 16】



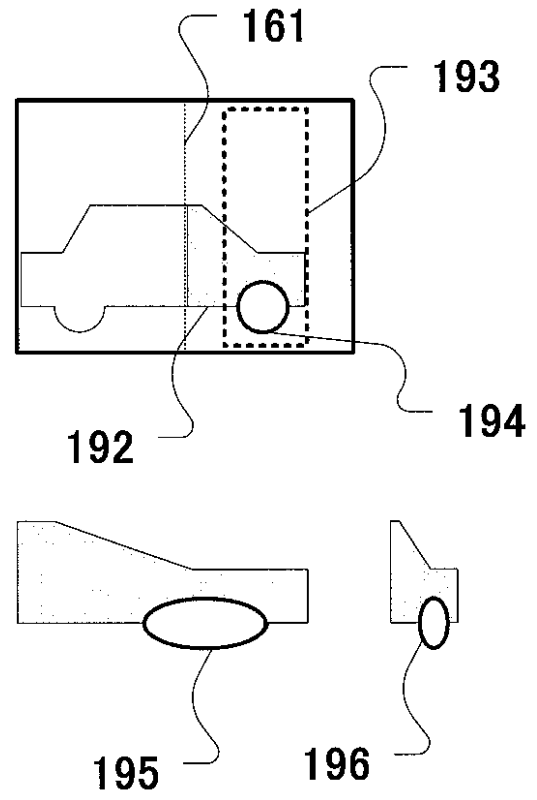
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

- (72)発明者 安藤 俊行
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 今城 勝治
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 亀山 俊平
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 玉川 恭久
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 平野 嘉仁
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 濱川 典之
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 峠 誠
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 2F065 AA06 AA53 BB05 CC11 FF04 GG06 GG22 HH09 JJ02 JJ03
JJ05 JJ18 JJ25 JJ26 LL08 LL36 LL37 NN08 QQ01 QQ03
QQ13 QQ31 QQ38 QQ42
5H180 AA01 CC03 CC04 CC14 EE07 EE10