

(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2004-168304

(P2004-168304A)

(43) 公開日 平成16年6月17日(2004.6.17)

(51) Int. Cl.⁷

B6OR 21/00
G08G 1/16

F I

B6OR 21/00 626F
B6OR 21/00 624C
G08G 1/16 C

テーマコード(参考)

5H180

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2003-420060(P2003-420060)
(22) 出願日 平成15年12月17日(2003.12.17)
(62) 分割の表示 特願平5-330191の分割
原出願日 平成5年12月27日(1993.12.27)

(71) 出願人 000005348
富士重工業株式会社
東京都新宿区西新宿一丁目7番2号
(74) 代理人 100076233
弁理士 伊藤 進
(72) 発明者 土屋 英明
東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士
重工業株式会社内
(72) 発明者 埜 圭二
東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士
重工業株式会社内
(72) 発明者 実吉 敬二
東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士
重工業株式会社内
Fターム(参考) 5H180 AA01 CC04 LL02 LL08 LL15

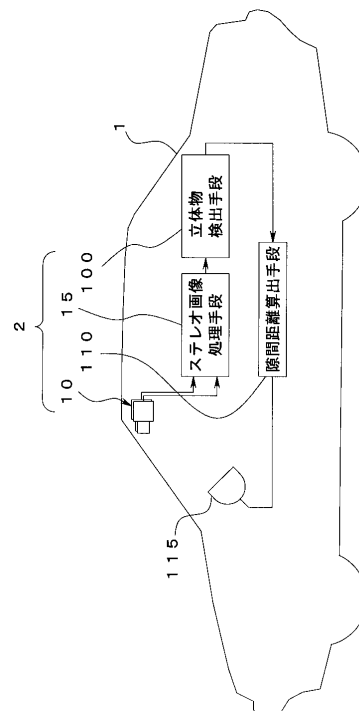
(54) 【発明の名称】 車輛用走行案内装置

(57) 【要約】

【課題】 車輛が狭路を通過する前に進行方向に存在する様々な立体物を確実に検出し、検出した立体物と自車輛との間の隙間を運転者に知らせることにより、運転者の負担を軽減して安全を確保する。

【解決手段】 ステレオ光学系10によって撮像した左右1組のステレオ画像対をステレオ画像処理手段15で処理して画像全体に渡る3次元の距離分布を算出すると、その距離分布情報から道路上の立体物の3次元位置を立体物検出手段100で検出し、さらに、検出した前方の側壁や立体物の縁と自車輛1側部の延長線との間の左右の最近接距離を隙間距離として隙間距離算出手段110で算出し、左右の隙間距離に係わる情報を報知手段115としてのディスプレイに表示して運転者に知らせる。これにより、狭路を通過する前に運転者は安全に通過できるか否かを確認することができ、運転者の負担を軽減して接触事故等を未然に回避することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

車外の撮像画像に基づいて立体物を検出する立体物検出手段と、
前記立体物検出手段で検出した立体物との隙間距離を算出する隙間距離算出手段と、
前記隙間距離算出手段で算出した隙間距離に係わる情報を表示するディスプレイ装置とを備えたことを特徴とする車輛用走行案内装置。

【請求項 2】

前記ディスプレイ装置は、前記隙間距離を表示することを特徴とする請求項 1 記載の車輛用走行案内装置。

【請求項 3】

前記隙間距離算出手段は、前記立体物の自車輛側の縁と自車輛側部との間の距離を隙間距離として算出することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の車輛用走行案内装置。

【請求項 4】

車輛に搭載した撮像系で撮像した車外の対象のステレオ画像対を処理し、このステレオ画像対の対応位置のずれ量から三角測量の原理によって画像全体に渡る距離分布を求めるステレオ画像処理手段を備え、

前記立体物検出手段は、前記ステレオ画像処理手段からの距離分布の情報に対応する被写体の各部分の 3 次元位置を計算し、計算した 3 次元位置の情報を用いて複数の立体物を検出し、

前記隙間距離算出手段は、前記立体物検出手段で検出した複数の立体物の自車輛側の縁と自車輛側部の延長線との間の最近接距離を隙間距離として左右それぞれに算出することを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一に記載の車輛用走行案内装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、峽路通過時の運転者の負担を軽減し、安全を確保する車輛用走行案内装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、自動車等の車輛においては、塀、ガードレール、電柱、駐車車輛等が多数存在する狭路を通過する際の運転者の感覚を補うものとして、例えば、実開平 5 - 68742 号公報に開示されているようなコーナーポールや、棒状の部材が障害物に触れるとスイッチがオンする接触式スイッチからなる触覚センサ等を車体に取り付ける場合があり、これにより、車幅や左右障害物との間の隙間を確認することができる。

【0003】

また、最近では、車輛の側面や四隅に超音波センサを取り付け、超音波を発射して障害物からの反射波を受信することにより距離を計測し、計測した距離を運転者に知らせて狭路を通過する際の負担を軽減しようとする技術が開発されている。

【特許文献 1】実開平 5 - 68742 号公報**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかしながら、前述のコーナーポールのように車体外部に目印となるようなものを取り付ける場合には、運転者の慣れを必要とするため、運転者の負担軽減効果が少ない。また、触覚センサのような接触式のものでは、物体に接触するまで位置の確認ができず、障害物に接触してからではハンドル操作が間に合わないといった事態が生じる。

【0005】

さらに、超音波を用いる技術では、空間分解能が劣るため障害物の位置関係を知ることができないばかりでなく、歩行者の衣服や滑らかな壁等からは発射した超音波が戻ってこないという物体依存性があり、道路上に存在する様々な立体物に対処することは困難であ

10

20

30

40

50

る。

【0006】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、車輛が狭路を通過する前に進行方向に存在する様々な立体物を確実に検出し、検出した立体物と自車輛との間の隙間を運転者に知らせることにより、運転者の負担を軽減して安全を確保することのできる車輛用走行案内装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するため、本発明による車輛用走行案内装置は、車外の撮像画像に基づいて立体物を検出する立体物検出手段と、前記立体物検出手段で検出した立体物との隙間距離を算出する隙間距離算出手段と、前記隙間距離算出手段で算出した隙間距離に係わる情報を表示するディスプレイ装置とを備えたことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明の車輛用走行案内装置は、車輛が狭路を通過する前に進行方向に存在する様々な立体物を確実に検出して自車輛との隙間距離を運転者に知らせることができ、運転者の負担を軽減して安全を確保することができる等優れた効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図面は本発明の一実施例に係り、図1は走行案内装置の全体構成図、図2は走行案内装置の回路ブロック図、図3はディスプレイの画面を示す説明図、図4は車輛の正面図、図5はカメラと被写体との関係を示す説明図、図6はイメージプロセッサの詳細回路図、図7はシティブロック距離計算回路の説明図、図8は最小値検出回路のブロック図、図9は車載のCCDカメラで撮像した画像の例を示す説明図、図10は距離画像の例を示す説明図、図11は車輛の上面図、図12は車輛の側面図、図13は距離画像処理用コンピュータの機能ブロック図、図14は画像の区分方法を示す説明図、図15は検出物体とヒストグラムとの関係を示す説明図、図16は物体の存在領域の検出結果と検出距離の例を示す説明図、図17は物体検出用の3次元ウインドウの形状を示す説明図、図18は物体検出用の2次元ウインドウの形状を示す説明図、図19は物体の輪郭を構成するデータの例を示す説明図、図20は物体の輪郭像と検出された外形寸法の例を示す説明図、図21は側壁検出における探索領域の形状を示す説明図、図22は画像上の側壁探索領域を示す説明図、図23は立体物データの分布状況を示す説明図、図24はハフ変換での直線の想定を示す説明図、図25はパラメータ空間の投票領域を示す説明図、図26は側壁候補領域を示す説明図、図27はヒストグラムと側壁の存在範囲の関係を示す説明図、図28は側壁の検出結果を示す説明図、図29は隙間距離算出の説明図、図30はイメージプロセッサの動作を示すフローチャート、図31はシフトレジスタ内の保存順序を示す説明図、図32はシティブロック距離計算回路の動作を示すタイミングチャート、図33はずれ量決定部の動作を示すタイミングチャート、図34はイメージプロセッサの全体の動作を示すタイミングチャート、図35及び図36は物体検出処理のフローチャート、図37及び図38は側壁検出処理のフローチャート、図39は隙間距離算出処理のフローチャートである。

20

30

40

【0010】

図1において、符号1は自動車等の車輛であり、この車輛1に、運転者に対する高度な支援制御を行なうアクティブドライバアシスト(A DA)システムの一機能を担う走行案内装置2が搭載されており、塀、ガードレール、電柱、駐車車輛等が存在する狭路を通過する際の運転者の負担を軽減し、安全を確保するようになっている。

【0011】

前記走行案内装置2は、車外の対象を撮像する撮像系としての左右1組のカメラからなるステレオ光学系10と、このステレオ光学系10によって撮像した左右1組のステレオ画像対を処理して画像全体に渡る3次元の距離分布を算出するステレオ画像処理手段15

50

と、このステレオ画像処理手段 15 からの距離分布情報を入力し、その距離分布情報から、堀、ガードレール等の道路の境界となる連続した立体物としての側壁や、他の車輛、歩行者、建築物等の道路上の立体物の 3 次元位置を高速で検出する立体物検出手段 100 と、この立体物検出手段 100 で検出した前方の側壁や立体物の縁と自車輛 1 側部の延長線との間の左右の最近接距離を隙間距離として算出する隙間距離算出手段 110 と、この隙間距離算出手段 110 で算出した左右の隙間距離に係わる情報を運転者に知らせる報知手段 115 とを備えている。

【0012】

図 2 は前記走行案内装置 2 のハードウェア構成を示す回路ブロック図であり、前記ステレオ光学系 10 を、例えば電荷結合素子 (CCD) 等の固体撮像素子を用いた CCD カメラを用い、後述するように、近距離用としての左右 1 組の CCD カメラ 11a, 11b、及び、遠距離用としての左右 1 組の CCD カメラ 12a, 12b により構成し、このステレオ光学系 10 に前記ステレオ画像処理手段 15 としての機能を実現するイメージプロセッサ 20 が接続されている。

10

【0013】

さらに、前記イメージプロセッサ 20 に、前記立体物検出手段 100 及び前記隙間距離算出手段 110 としての機能を実現するための距離画像処理用コンピュータ 120 が接続され、この距離画像処理用コンピュータ 120 に前記報知手段 115 としてのディスプレイ 3 が接続されている。

【0014】

前記イメージプロセッサ 20 は、前記ステレオ光学系 10 で撮像した 2 枚のステレオ画像対に対して微小領域毎に同一の物体が写っている部分を探索し、対応する位置のずれ量を求めて物体までの距離を算出する距離検出回路 20a と、この距離検出回路 20a の出力である距離情報を記憶する距離画像メモリ 20b とから構成されている。

20

【0015】

また、前記距離画像処理用コンピュータ 120 は、主として個々の物体を検出する処理を行なうためのマイクロプロセッサ 120a、主として側壁を検出する処理を行なうためのマイクロプロセッサ 120b、主として隙間距離を算出する処理を行なうためのマイクロプロセッサ 120c がシステムバス 121 を介して並列に接続されたマルチマイクロプロセッサのシステム構成となっている。

30

【0016】

そして、前記システムバス 121 には、前記距離画像メモリ 20b に接続されるインターフェース回路 122 と、制御プログラムを格納する ROM 123 と、計算処理途中の各種パラメータを記憶する RAM 124 と、処理結果のパラメータを記憶する出力用メモリ 125 と、ディスプレイ (DISP) 3 を制御するためのディスプレイコントローラ (DISP. CONT.) 126 と、車速センサ 4、ステアリングの操舵角を検出する舵角センサ 5、運転者に対する ADA の支援モードを選択するためのモード設定スイッチ 6 等の車輛 1 に備えられたセンサ・スイッチ類からの信号を入力するインターフェース回路 127 とが接続されている。

【0017】

前記距離画像処理用コンピュータ 120 においては、各マイクロプロセッサ 120a, 120b, 120c が使用するメモリの領域が分けられており、前記イメージプロセッサ 20 からの距離情報に基づいて物体検出処理と側壁検出処理とを並列に実行し、運転者によって前記モード設定スイッチ 6 が操作されて規定の信号が入力されると、検出した立体物のデータから隙間距離算出処理を行なってディスプレイ 3 に表示する。

40

【0018】

図 3 に示すように、前記ディスプレイ 3 の画面には、車輛前方の風景を、後述する距離画像の状態に表示するモニタ部 3a が中央部に設けられており、このモニタ部 3a の側部に、ADA の各モード (クルーズ、ガイド、アシスト、チェック) を表示するモード表示部 3b が設けられ、前記モード設定スイッチ 6 の操作入力に応じて前記モニタ部 3a の該

50

当する表示が点灯するようになっている。

【0019】

また、前記モニタ部3aの上部には、データ表示部3cと、楕円を4分割した形状で車輛の前後左右を表わす位置表示部3dとが設けられ、前記モニタ部3a下部には、A D Aの各モードに応じて、車間距離、速度、左隙間距離、右隙間距離等の文字とともに、算出した数値を表示するモードデータ表示部3eが設けられている。

【0020】

本発明においては、多数の立体物が存在する狭路を通過しなければならないような状況になったとき、運転者が前記モード設定スイッチ6を操作してガイドモードを選択すると、前記モード表示部3bの"ガイド"の表示部分が点灯し、前記ステレオ光学系10で撮像したステレオ画像対を処理した距離画像に基づいて、側壁、電柱、駐車車輛等の道路周辺の立体物の縁と自車輛1側部の延長線との間の左右の距離が算出され、その最小値が最近接距離すなわち隙間距離として求められるようになっている。

10

【0021】

そして、図3に示すように、モードデータ表示部3eの左隙間距離、右隙間距離の文字の下に、隙間距離の数値が表示され、前記位置表示部3dの左右部分が点灯する。この位置表示部3dは、算出した隙間距離が0以下の場合には、そのまま進行すると接触することを警告するため、該当する側が赤色で点灯され、隙間距離が0よりも大きく20cm程度以下の場合には、運転者の不用意なハンドル操作によって接触が起こる危険性があるので該当する側が黄色で点灯され、隙間距離が20cm程度よりも大きい場合は、そのまま進行しても接触のおそれが十分に少ないことを示すため、該当する側が緑色で点灯される。

20

【0022】

すなわち、側壁、電柱、駐車車輛等が存在する狭路を通過する前にモード設定スイッチ6を操作することにより、運転者はディスプレイ3の画面で安全に通過できるか否かを確認することができ、運転者の負担を軽減して接触事故等を未然に回避することができるのである。さらには、隙間距離を運転者が定量的に把握できるため、車輛位置感覚の学習が容易となり、安全運転の促進を図ることができる。

【0023】

尚、簡易的には、前記ディスプレイ3に代えて、例えば隙間距離の値に応じて点灯部分が変化するバーグラフ等による表示器を採用しても良く、また、隙間距離に係わる情報を運転者に知らせる報知手段115として、視覚的な表示に代えて、音、音声等によるものを採用しても良い。

30

【0024】

以下、イメージプロセッサ20による画像処理に係わる機能、距離画像処理用コンピュータ120による立体物検出に係わる機能、及び、モード設定スイッチ6によりガイドモードが選択された場合の隙間距離算出に係わる機能について説明する。尚、画像処理用コンピュータ120における隙間距離算出は、検出した立体物が自車輛1の進行方向に障害物として立ちふさがっていない場合に実行される。

【0025】

前記ステレオ光学系10を構成する左右1組のカメラは、図4に示すように、近距離の左右画像用としての2台のCCDカメラ11a, 11b(代表してCCDカメラ11と表記する場合もある)が、それぞれ車室内の天井前方に一定の間隔をもって取り付けられるとともに、遠距離の左右画像用としての2台のCCDカメラ12a, 12b(代表してCCDカメラ12と表記する場合もある)が、それぞれ、近距離用のCCDカメラ11a, 11bの外側に一定の間隔をもって取り付けられている。

40

【0026】

前記ステレオ光学系10として、直近から例えば100m遠方までの距離計測を行なう場合、車室内のCCDカメラ11, 12の取付位置を、例えば、車輛1のボンネット先端から2mとすると、実際には前方2mから100mまでの位置を計測できれば良い。

50

【0027】

そこで、近距離用のCCDカメラ11a, 11bでは、前方2mから20mまでの位置を計測し、遠距離用のCCDカメラ12a, 12bでは、前方10mから100mまでの位置を計測すれば、近距離用CCDカメラ11と遠距離用CCDカメラ12とで前方10mから20mの間にオーバーラップを有して信頼性を確保しつつ、全ての範囲を計測することができる。

【0028】

以下に、イメージプロセッサ20による距離の算出方法を、近距離用CCDカメラ11を例に説明するが、遠距離用CCDカメラ12に対しても同様の処理により距離の算出が行われる。尚、本実施例による走行案内装置2では、直前の立体物を検出する為に、近距離用CCDカメラ11を用いる。

10

【0029】

すなわち、図5に示すように、近距離用の2台のCCDカメラ11a, 11bの取付間隔をrとして、2台のカメラ11a, 11bの設置面から距離Dにある点Pを撮影する場合、2台のカメラ11a, 11bの焦点距離を共にfとすると、点Pの像は、それぞれのカメラについて焦点位置からfだけ離れた投影面に写る。

【0030】

このとき、右のCCDカメラ11bにおける像の位置から左のCCDカメラ11aにおける像の位置までの距離は、 $r + x$ となり、このxをずれ量とすると、点Pまでの距離Dは、ずれ量xから以下の式で求めることができる。

20

$$D = r \times f / x \quad (1)$$

【0031】

この左右画像のずれ量xは、エッジ、線分、特殊な形等、何らかの特徴を抽出し、それらの特徴が一致する部分を見つけ出すことによっても検出できるが、情報量の低下を避けるため、前記イメージプロセッサ20では、左右画像における同一物体の像を見つけ出す際に画像を小領域に分割し、それぞれの小領域内の輝度あるいは色のパターンを左右画像で比較して対応する領域を見つけ出すことにより、小領域毎の距離分布を全画面に渡って求める。

【0032】

左右画像の一致度の評価すなわちステレオマッチングは、右画像、左画像のi番目画素の輝度(色を用いても良い)を、それぞれ、 A_i 、 B_i とすると、例えば、以下の(2)式に示すシティブロック距離Hによって行なうことができ、左右画像の各小領域間のシティブロック距離Hの最小値が所定の条件を満たすとき、互いの小領域が対応すると判断することができる。

30

$$H = |A_i - B_i| \quad (2)$$

【0033】

このシティブロック距離Hによるステレオマッチングでは、平均値を減算することによる情報量の低下もなく、乗算がないことから演算速度を向上させることができるが、分割すべき小領域の大きさが大き過ぎると、その領域内に遠方物体と近くの物体が混在する可能性が高くなり、検出される距離が曖昧になる。従って、画像の距離分布を得るためにも領域は小さい方が良いが、小さ過ぎると逆に一致度を調べるための情報量が不足する。このため、例えば、100m先にある幅1.7mの車輛が、隣の車線の車輛と同じ領域内に含まれないように、4つに分割される画素数を領域横幅の最大値とすると、前記ステレオ光学系10に対して4画素となる。この値を基準に最適な画素数を実際の画像で試行した結果、縦横共に4画素となる。

40

【0034】

以下の説明では、画像を4x4の小領域で分割して左右画像の一致度を調べるものとし、ステレオ光学系10は、近距離用のCCDカメラ11a, 11bで代表するものとする。

【0035】

50

前記イメージプロセッサ 20 の回路詳細は、図 6 に示され、この回路では、距離検出回路 20 a に、前記ステレオ光学系 10 で撮像したアナログ画像をデジタル画像に変換する画像変換部 30、この画像変換部 30 からの画像データに対し、左右画像のずれ量 x を決定するためのシティブロック距離 H を画素を一つずつずらしながら次々と計算するシティブロック距離計算部 40、シティブロック距離 H の最小値 H_{MIN} 及び最大値 H_{MAX} を検出する最小・最大値検出部 50、この最小・最大値検出部 50 で得られた最小値 H_{MIN} が左右小領域の一致を示すものであるか否かをチェックしてずれ量 x を決定するずれ量決定部 60 が備えられており、また、距離画像メモリ 20 b としてデュアルポートメモリ 90 が採用されている。

【0036】

前記画像変換部 30 では、左右画像用の CCD カメラ 11 a, 11 b に対応して A/D コンバータ 31 a, 31 b が備えられ、各 A/D コンバータ 31 a, 31 b に、データテーブルとしてのルックアップテーブル (LUT) 32 a, 32 b、前記 CCD カメラ 11 a, 11 b で撮像した画像を記憶する画像メモリ 33 a, 33 b が、それぞれ接続されている。尚、前記画像メモリ 33 a, 33 b は、後述するように、シティブロック距離計算部 40 で画像の一部を繰り返し取り出して処理するため、比較的低速のメモリから構成することができ、コスト低減を図ることができる。

【0037】

各 A/D コンバータ 31 a, 31 b は、例えば 8 ビットの分解能を有し、左右の CCD カメラ 11 a, 11 b からのアナログ画像を、所定の輝度階調を有するデジタル画像に変換する。すなわち、処理の高速化のため画像の二値化を行なうと、左右画像の一致度を計算するための情報が著しく失われるため、例えば 256 階調のグレースケールに変換するのである。

【0038】

また、LUT 32 a, 32 b は ROM 上に構成され、前記 A/D コンバータ 31 a, 31 b でデジタル量に変換された画像に対し、低輝度部分のコントラストを上げたり、左右の CCD カメラ 11 a, 11 b の特性の違いを補正する。そして、LUT 32 a, 32 b で変換された信号は、一旦、画像メモリ 33 a, 33 b に記憶される。

【0039】

前記シティブロック距離計算部 40 では、前記画像変換部 30 の左画像用の画像メモリ 33 a に、共通バス 80 を介して 2 組の入力バッファメモリ 41 a, 41 b が接続されるとともに、右画像用の画像メモリ 33 b に、共通バス 80 を介して 2 組の入力バッファメモリ 42 a, 42 b が接続されている。

【0040】

前記左画像用の各入力バッファメモリ 41 a, 41 b には、2 組の例えば 8 段構成のシフトレジスタ 43 a, 43 b が接続され、右画像用の各入力バッファメモリ 42 a, 42 b には、同様に、2 組の例えば 8 段構成のシフトレジスタ 44 a, 44 b が接続されている。さらに、これら 4 組のシフトレジスタ 43 a, 43 b, 44 a, 44 b には、シティブロック距離を計算するシティブロック距離計算回路 45 が接続されている。

【0041】

また、前記右画像用のシフトレジスタ 44 a, 44 b には、後述するずれ量決定部 60 の 2 組の 10 段構成のシフトレジスタ 64 a, 64 b が接続されており、次の小領域のデータ転送が始まると、シティブロック距離 H の計算の終わった古いデータはこれらのシフトレジスタ 64 a, 64 b に送られ、ずれ量 x の決定の際に用いられる。

【0042】

また、シティブロック距離計算回路 45 は、加減算器に入出力ラッチをつなげてワンチップ化した高速 CMOS 型演算器 46 を組み合わせしており、図 7 に詳細が示されるように、演算器 46 を 16 個ピラミッド状に接続したパイプライン構造で、例えば 8 画素分を同時に入力して計算するようになっている。このピラミッド型構造の初段は、絶対値演算器、2 段 ~ 4 段は、それぞれ、第 1 加算器、第 2 加算器、第 3 加算器を構成し、最終段は総

10

20

30

40

50

和加算器となっている。尚、図7においては、絶対値計算と1, 2段目の加算器は半分のみ表示している。

【0043】

また、前記各入力バッファメモリ41a, 41b, 42a, 42bは、シティブロック距離計算の速度に応じた比較的小容量の高速タイプであり、入出力が分離し、クロック発生回路85から供給されるクロックに従って、#1アドレスコントローラ86によって発生されるアドレスが共通に与えられる。また、4組のシフトレジスタ43a, 43b, 44a, 44bとの転送は、#2アドレスコントローラ87によって制御される。

【0044】

前記最小・最大値検出部50は、シティブロック距離Hの最小値HMINを検出する最小値検出回路51とシティブロック距離Hの最大値HMAXを検出する最大値検出回路52とを備えており、前記シティブロック距離計算回路45と同様の高速CMOS型演算器を最小値、最大値検出用として2個使用した構成となっており、シティブロック距離Hの出力と同期が取られるようになっている。 10

【0045】

図8に示すように、最小値検出回路51は、具体的には、Aレジスタ46a、Bレジスタ46b、及び、算術論理演算ユニット(ALU)46cからなる演算器46に、Cラッチ53, ラッチ54, Dラッチ55を接続して構成され、シティブロック距離計算回路45からの出力が、Aレジスタ46aと、Cラッチ53を介してBレジスタ46bとに入力され、ALU46の出力の最上位ビット(MSB)がラッチ54に出力される。このラッチ54の出力は、Bレジスタ46b及びDラッチ55に出力され、演算器46での最小値計算の途中の値が、Bレジスタ46bに保存されるとともに、そのときのずれ量がDラッチ55に保存されるようになっている。尚、最大値検出回路52については、論理が逆になることと、ずれ量を保存しないこと以外は、最小値検出回路51と同様の構成である。 20

【0046】

前述したようにシティブロック距離Hは、一つの右画像小領域に対し、左画像小領域を1画素ずつずらしながら順次計算されていく。そこで、シティブロック距離Hの値が出力される毎に、これまでの値の最大値HMAX、最小値HMINと比較、更新することによって、最後のシティブロック距離Hの出力とほぼ同時に、その小領域におけるシティブロック距離Hの最大値HMAX、最小値HMINが求まるようになっている。 30

【0047】

前記ずれ量決定部60は、比較的小規模のRISCプロセッサとして構成され、演算器61を中心として、2本の16ビット幅データバス62a, 62b、ずれ量xを保持するラッチ63a、第1の規定値としてのしきい値HAを保持するラッチ63b、第2の規定値としてのしきい値HBを保持するラッチ63c、第3の規定値としてのしきい値HCを保持するラッチ63d、右画像の輝度データを保持する2組のシフトレジスタ64a, 64b、演算器61の出力を受けてずれ量xまたは"0"を出力するスイッチ回路65、そして出力された結果を一時保存する出力バッファメモリ66a, 66b、回路の動作タイミングや演算器61の機能の制御プログラムが書き込まれた16ビット幅のROM67が備えられている。 40

【0048】

前記演算器61は、ALU70を中心として、Aレジスタ71、Bレジスタ72、Fレジスタ73、及び、セクタ74からなり、前記データバス62a(以下、Aバス62aとする)にAレジスタ71が接続されるとともに、前記データバス62b(以下、Bバス62bとする)にBレジスタ72が接続され、ALU70の演算結果で前記スイッチ回路65を作動し、ずれ量xまたは"0"が前記出力バッファメモリ66a, 66bに格納されるようになっている。

【0049】

前記Aバス62aには、各しきい値HA、HB、HCを保持するラッチ63b, 63c, 50

63d、前記最大値検出回路52が接続され、前記Bバス62bには、前記最小値検出回路51が接続されている。さらに、前記Aバス62a及びBバス62bには、前記各シフトレジスタ64a、64bが接続されている。

【0050】

また、前記スイッチ回路65には、前記演算器61が接続されるとともに、前記ラッチ63aを介して前記最小値検出回路51が接続され、後述する3つのチェック条件が演算器61で判定され、その判定結果に応じて前記出力バッファメモリ66a、66bへの出力が切り換えられる。

【0051】

このずれ量決定部60では、得られたシティブロック距離Hの最小値HMINが本当に左右小領域の一致を示しているものかどうかチェックを行い、条件を満たしたもののみ、出力バッファメモリ66a、66bの対応する画素の位置にずれ量xを出力する。 10

【0052】

すなわち、シティブロック距離Hが最小となるずれ量が求めるずれ量xとなる訳であるが、以下の3つのチェック条件を満足した場合にずれ量xを出力し、満足しない場合には、データを採用せずに“0”を出力する。

(1) $H_{MIN} < H_A$ ($H_{MIN} > H_A$ のときには距離を検出できず。)

(2) $H_{MAX} - H_{MIN} < H_B$ (得られた最小値HMINがノイズによる揺らぎより明らかに低くなっていることをチェックするための条件であり、最小値HMINの近傍の値との差でなく、最大値HMAXとの差をチェック対象とすることにより、曲面等の緩やかに輝度の変 20
わる物体に対しても距離検出が行なえる。)

(3) 右画像の小領域内の横方向の隣接画素間の輝度差 $> H_C$ (しきい値HCを大きくするとエッジ検出となるが、輝度が緩やかに変化している場合にも対応可能なように、しきい値HCは通常のエッジ検出レベルよりはずっと低くしてある。この条件は、輝度変化のない部分では、距離検出が行なえないという基本的な原理に基づいており、小領域中の画素毎に行なわれるため、小領域の中でも実際に距離の検出された画素のみが採用されることになり、自然な結果が得られる。)

このずれ量決定部60から出力される最終結果である距離分布情報は、距離画像メモリ20bとしてのデュアルポートメモリ90へ共通バス80を介して書き込まれる。

【0053】

以上のイメージプロセッサ20から出力される距離分布情報は、画像のような形態をしており(距離画像)、CCDカメラ11で撮影した画像、例えば図9に示すように、駐車車両200、300やガードレール400等の立体物を撮像した画像(図9は片方のカメラで撮像した画像を示す)を前記イメージプロセッサ20で処理すると、図10のような画像となる。 30

【0054】

図10に示す距離画像の例では、画像サイズは横400画素×縦200画素であり、距離データを持っているのは黒点の部分で、これは図9の画像の各画素のうち、左右方向に隣合う画素間で明暗変化が大きい部分である。画像上の座標系は、図10に示すように、左上隅を原点として横方向をi座標軸、縦方向をj座標軸とし、単位は画素である。 40

【0055】

この距離画像は、距離画像処理用コンピュータ120に読み込まれ、前方に存在する他の車輛や障害物等の複数の物体が検出され、その位置と大きさが算出され、検出した物体の輪郭像が抽出される。さらには、位置の時間変化による自車との相対速度等も算出することができる。

【0056】

この場合、前記距離画像処理用コンピュータ120では、物体の3次元的位置情報を利用し、道路と物体の区別は道路表面からの高さによって行い、物体と背景の区別は距離の値によって行なう。そのため、前記距離画像処理用コンピュータ120では、まず、前記イメージプロセッサ20からの距離画像の座標系を、自車(車輛1)を取り巻く実空間 50

の座標系に変換し、検出した立体物に対し、位置や大きさを計算する。

【0057】

すなわち、図11及び図12に示すように、実空間の座標系を車輦1固定の座標系とし、X軸を車輦1の右側側方、Y軸を車輦1の上方、Z軸を車輦1の前方、原点を2台のCCDカメラ11a(12b), 11b(12b)の中央の真下の道路面とすると、XZ平面(Y=0)は、道路が平坦な場合、道路面と一致することになり、画像中の距離情報(i, j, Z)から被写体の3次元位置(X, Y, Z)を算出するには、以下の(3), (4)式により一種の座標変換を行なう。

$$Y = CH - Z \times PW \times (j - JV) \quad (3)$$

$$X = r / 2 + Z \times PW \times (i - IV) \quad (4)$$

ここで、CH : CCDカメラ11(CCDカメラ12)の取付け高さ、

PW : 1画素当たりの視野角、

JV, IV : 車輦1の真正面の無限遠点の画像上の座標である。

10

【0058】

また、実空間の3次元座標(X, Y, Z)から画像上の位置(i, j)を算出する式も、前記(3), (4)式を変形し、次のようになる。

$$j = (CH - Y) / (Z \times PW) + JV \quad (5)$$

$$i = (X - r / 2) / (Z \times PW) + IV \quad (6)$$

尚、CCDカメラ11の取り付け位置を、前記実空間のXYZ座標系で示すと、例えば、右側のCCDカメラ11bは、X=0.20m, Y=1.24m, Z=0.0mであり、左側のCCDカメラ11aは、X=-0.20m, Y=1.24m, Z=0.0mとなる。

20

【0059】

図13は、前記距離画像処理用コンピュータ120の機能構成を示すものであり、主として、マイクロプロセッサ120aによる物体認識部130、マイクロプロセッサ120bによる側壁検出部140、マイクロプロセッサ120cによる隙間距離算出部160に大別され、物体認識部130及び側壁検出部140の処理結果が、出力用メモリ125からなる立体物パラメータ記憶部150に記憶され、マイクロプロセッサ120c(隙間距離算出部160)、及び、ADAのための図示しない他の装置に読み込まれる。

30

【0060】

さらに、前記物体認識部130の機能は、物体検出部131、3次元ウインドウ発生部132、及び、物体輪郭像抽出部133に細分され、物体検出部131では、イメージプロセッサ20からの距離画像を格子状に所定の間隔(例えば、8~20画素間隔)で区分し、各領域毎に、走行の障害となる可能性のある立体物のデータのみを選別し、その検出距離を算出する。

【0061】

図14は、車輦1から前方風景を撮像した明暗画像の上に、格子状の領域を設定した説明図であり、実際には、図10の距離画像を、このように区分する。本実施例では、12画素間隔で33個の小領域AR1~AR33に区分する。すなわち、画像を多数の領域に分割して物体を探すことにより、複数の物体を同時に検出することができるようになっている。

40

【0062】

各領域における被写体は、画像上の座標(i, j)と距離データZから、前述の(3), (4)式を使って実空間の3次元位置(X, Y, Z)が算出され、さらに、距離Zに於ける被写体の道路表面からの高さHは、道路表面の高さをYrとすると、次の(7)式で計算することができるが、図11, 12に示すように座標系が設定されているため、車輦1に特別な傾きや上下移動が無い限り、Yr=0.0mと設定することができる。

$$H = Y - Yr \quad (7)$$

50

【0063】

高さHが0.1m程度以下の被写体は、道路上の白線や汚れ、影などであり、走行の障害になる物体ではないと考えられるため、この被写体のデータは棄却する。また、車輛の高さより上にある被写体も、歩道橋や標識などと考えられるので棄却し、道路上の障害となる立体物のデータのみを選別する。これにより、2次元の画像上で物体が道路などと重なり合っている場合でも、道路表面からの高さによってデータを区別し、物体のみを検出できる。

【0064】

次に、このようにして抽出された立体物のデータに対して、予め設定された距離Zの区間に含まれるデータの個数を数え、距離Zを横軸とするヒストグラムを作成する。図15は、例えば図9の画像例における前方右側の駐車車輛300を検出物体とするヒストグラムであり、設定する距離Zの区間の長さや区間の個数は、距離Zの検出限界や精度および検出対象の物体の形状などを考慮して決定する。

10

【0065】

前記ヒストグラムにおいては、入力される距離画像中の距離データには、誤って検出された値も存在するので、実際には物体の存在しない位置にも多少のデータが現れる。しかし、ある程度の大きさの物体があると、その位置の度数は大きな値を示し、一方、物体が何も存在しない場合には、誤った距離データのみによって発生する度数は小さな値となる。

【0066】

従って、作成されたヒストグラムの度数が、予め設定した判定値以上かつ最大値をとる区間があれば、その区間に物体が存在すると判断し、度数の最大値が判定値以下の場合には、物体が存在しないと判断することにより、画像のデータに多少のノイズが含まれている場合においても、ノイズの影響を最小限にして物体を検出できる。

20

【0067】

物体が存在すると判断されると、検出された区間と、その前後に隣接する区間に含まれている立体物のデータの距離Zの平均値を計算し、この値を物体までの距離と見なす。このような物体までの距離検出の処理を全領域について行なった後、各領域の物体の検出距離を調べ、隣接する領域において物体までの検出距離の差異が設定値以下の場合には同一の物体と見なし、一方、設定値以上の場合は別々の物体と見なす。

30

【0068】

具体的には、まず、左端の領域AR1を調べ、物体が検出されている場合には、それを物体S1、距離をZ1とする。次に右隣の領域AR2を調べ、物体が検出されていない場合には、物体S1は領域AR1の内部とその近辺に存在し、その距離はZ1と判定し、物体が検出され、その検出距離がZ2である場合には、距離Z1とZ2の差を調べる。

【0069】

そして、距離Z1とZ2の差が設定値以上の場合、領域AR2で検出された物体は、先に検出された物体S1とは異なると判定し、新たに物体S2、距離Z2とし、さらに右隣の領域を調べて行く。

【0070】

一方、距離Z1とZ2の差が設定値以下の場合には、領域AR2で検出された物体は、先に検出された物体S1であると判定し、その距離はZ1とZ2の平均値とし、さらに右隣の領域を順次調べて行き、連続して物体S1があると判定されれば、距離と存在領域を更新してゆく。

40

【0071】

従来、2次元の画像上で物体の周囲に遠方の背景が写っている場合には物体のデータだけを抽出することは困難であったが、以上のような処理を左端の領域AR1から右端の領域AR33まで行なって距離の値によってデータを区別することにより、複数の物体とその距離、存在領域を背景と区別して検出することができ、さらに、2次元の画像上で複数の物体が重なり合っている場合においても、各々の物体の距離の違いによって、それ

50

らを区別して検出できる。

【0072】

尚、前記設定値は、自動車を検出する場合には4 m ~ 6 m程度、歩行者を検出する場合には1 m ~ 2 m程度にすると良いことが実験的に得られている。

【0073】

図16は、以上の処理で検出した物体の存在領域を枠線で示したものであり、この例では左側の車輦200及び右側の車輦300の2個の物体が検出されている。図の下側に示される数値は各物体の検出距離である。

【0074】

3次元ウインドウ発生部132では、前記物体検出部131で検出された各々の物体について、図17に示すような3次元空間で、検出物体(駐車車輦300)を包含する直方体状の3次元空間領域すなわち3次元ウインドウWD3を設定し、この設定した3次元ウインドウWD3が2次元の画像上でどのように見えるかを計算し、ウインドウ輪郭線の内側を2次元ウインドウWD2として、この中のデータのみを検出対象とする。

【0075】

前記3次元ウインドウWD3の横幅は、物体の存在領域より左右に1領域分だけ拡張した範囲とする。これは、ある領域に物体の左右端の一部分のみが掛かっている場合には、その物体はヒストグラム上で大きな値とならず、別の物体が検出される可能性があるため、このような場合を考慮してウインドウの範囲を拡大しておくものである。

【0076】

また、3次元ウインドウWD3の距離Z方向の長さは、その物体の検出距離におけるヒストグラムの区間長さを、その検出距離の前後に加えた範囲とする。3次元ウインドウWD3の下端は、道路表面の高さに約0.1 mを加えた位置とし、上端は物体検出のために区分した各領域の上端とする。

【0077】

前記3次元ウインドウWD3から前記2次元ウインドウWD2を求めるには、3次元ウインドウWD3の8個の頂点の各座標(X_n , Y_n , Z_n)から、前述の(5), (6)式を用いて画像上の座標(i_n , j_n)を計算し、これらの点を包絡する多角形を計算する。図18は、先に図16で示した検出物体の内の1個(駐車車輦300)について、2次元ウインドウWD2を設定した例を示したものである。

【0078】

物体輪郭像抽出部133では、前記2次元ウインドウWD2内の各データを順次サーベイし、3次元ウインドウWD3に含まれるデータのみを選別し、検出した物体の輪郭像を抽出する処理を行ない、検出物体の自車輦1との位置関係を検出する。

【0079】

すなわち、まず、物体毎に2次元ウインドウWD2内の各データを順次サーベイし、距離データを持っている画素について、前述の(3), (4)式を用いて3次元位置(X , Y , Z)を計算した後、距離や高さの値が3次元ウインドウWD3の範囲内にあるデータのみを抽出し、他は棄却する。

【0080】

このようにして抽出したデータを、2次元の画像上に投影して表示すると図19のようになる。さらに、これらのデータの外形を線分で連結すると、図20に示すような物体の輪郭像が得られる。この輪郭像の左右端および上端の画像上での座標(i , j)を検出し、続いて、その物体の検出距離Zと(3), (4)式を用いて、3次元空間での物体の左右端と上端の位置を算出すると、左右端の位置から物体の横幅が求まり、上端の位置から物体の高さが求まる。図20においては、幅1.7 m、高さ1.3 mの物体と判別できる。

【0081】

一方、マイクロプロセッサ120bによる側壁検出部140の機能は、立体物データ抽出部141、側壁直線検出部142、及び、側壁範囲検出部143に細分され、側壁と道

10

20

30

40

50

路との区別を道路表面からの高さによって行ない、側壁と遠方の背景との区別を、前後方向と横方向の距離によって行なうことにより、側壁が存在すると推定される周辺のデータのみを抽出し、続いて側壁のデータは水平方向に直線的に並んでいる特徴に注目してこれをハフ変換によって検出し、位置を求める。

【0082】

すなわち、前記立体物データ抽出部141は、前記距離分布の情報の中から予め設定された道路表面より上にあるデータのみを抽出し、前記側壁直線検出部142は、抽出した立体物データの中から、予め設定された側壁の探索領域内のデータのみを抽出し、これをハフ変換で処理して側壁の有無と側壁の位置を示す直線式とを検出する。また、前記側壁範囲検出部143は、側壁の位置を示す直線式に基づいて、側壁が存在すると推定される側壁候補領域を設定し、この側壁候補領域内の立体物データの分布状態から側壁の前後端の位置を検出する。

10

【0083】

詳細には、側壁は立体物の一種であるから、まず、立体物データ抽出部141で、道路表面より上にある立体物のデータを距離画像の中から抽出する。この際、高さHが0.1m程度以下の立体物は、前述したように、道路上の白線や汚れ、影等と考えられるため、この立体物のデータは棄却する。また、車輛の高さより上にある立体物も、歩道橋や標識等と考えられるので棄却し、道路上の立体物のデータのみを選別する。

【0084】

また、前記立体物データ抽出部141では画面に写っている広範囲の立体物のデータが抽出されるが、これら全てを処理することは合理的でないため、側壁直線検出部142では側壁を探索する領域に制限を設ける。

20

【0085】

この場合、距離画像が計測される範囲を上から見ると、CCDカメラ11の視野に制限されて図21のようになっており、道路を通常走行している場合には、側壁は車輛1の左側と右側に、車輛1と概ね平行に存在する。一方、遠くの側壁は、距離データの精度の面から検出が困難になり、且つ、検出の必要性も小さい。そこで、これらを考慮し、図示したような左側と右側の2つの探索領域SL, SRを設定し、左側と右側の側壁を別々に検出して行く。

【0086】

すなわち、左右両側の側壁を検出するには、まず、側壁直線検出部142で左側の探索領域SLを設定して側壁直線検出処理及び側壁範囲検出処理を行なって左側の側壁を検出した後、再び側壁直線検出部142で右側の探索領域SRを設定し、同様の処理を繰り返して右側の側壁を検出するのである。

30

【0087】

各探索領域SL, SRに含まれる立体物データを抽出するには、前記立体物データ抽出部141で抽出された各データの被写体の3次元位置(X, Z座標)を計算し、この3次元位置(X, Z)と各探索領域SL, SRとを、それぞれ比較して判定する。

【0088】

例えば図22に示すような状況では、画像上に前記各探索領域SL, SRを図示すると破線のようになり、これらの探索領域内にも、目的とする側壁の他に様々な立体物が存在する。さらに、距離画像にはノイズ状の偽データも含まれており、実際には物体が存在しない空間にデータのみが分散して存在する。これらのデータを模式的に示すと図23のようになり、この中で側壁は、そのデータが直線状に並んでいる特徴がある。そこで、ハフ変換を使用してデータの列の直線式を検出することによって側壁の検出を行なう。

40

【0089】

このハフ変換による直線式の検出について説明すると、まず、図24の立体物データPi(座標Xi, Zi)に対し、このデータPiの点を通る直線Fiを想定する。この直線の式は、以下の(8)式で示される。

$$X = a f i x Z + b f i \quad (8)$$

50

【0090】

次に図25に示すように、縦軸が式(8)の傾き $a f$ 、横軸が切片 $b f$ のパラメータ空間を設定し、式(8)のパラメータ $a f i$ 、 $b f i$ に相当する位置に投票を行う。

【0091】

ここで、傾き $a f i$ の値は、前述したように側壁は車輦1と概ね平行と考えられるため、一般道路では、例えば $\pm 20^\circ$ ($a f i: \pm 0.36$)程度の範囲で変化させれば実用上十分である。また、切片 $b f i$ の値は、左側の側壁を検出する場合、車輦1の左脇である例えば $X = -1\text{m}$ から -10m 程度の範囲、右側の側壁を検出する場合には、例えば $X = +1\text{m}$ から $+10\text{m}$ 程度の範囲に制限する。このように、制限範囲を例えば $\pm 10\text{m}$ 程度にするのは、あまり遠く離れた側壁の検出は実用面の必要性が小さいためである。

10

【0092】

このような制限により、パラメータ空間上で投票が行われる範囲は、図25に示すような矩形領域となり、この矩形領域はさらに格子状に分割されて各格子毎に投票される。式(8)の傾き $a f i$ は、所定の変化範囲内(例えば $\pm 10^\circ \sim \pm 20^\circ$)であり、格子間隔 $a f$ 毎に順次変化させて設定する。切片 $b f i$ は、設定された傾き $a f i$ と立体物データ $P i$ の座標($X i$, $Z i$)を式(8)に代入して算出され、これが前記制限範囲内であればパラメータ空間の該当する格子に投票される。

【0093】

検出される側壁の位置、すなわち直線式の傾きと切片の検出精度は、格子間隔 $a f$ 、 $b f$ によって決定され、格子間隔 $a f$ 、 $b f$ の設定は、側壁の情報を利用する外部装置側の要求に基づいて行なわれる。例えば、道路を通常走行する場合の衝突等の危険の検知として利用する場合には、格子間隔 $a f$ は $1 \sim 2^\circ$ 程度、格子間隔 $b f$ は $0.3 \sim 0.6\text{m}$ 程度が良い。

20

【0094】

以上のようにして探索領域内の全立体物データに対してパラメータ空間への投票を行なう際、図24に示すように、直線的に並んだデータが存在すると、このデータの列と一致するように設定した直線のパラメータ $a f i$ 、 $b f i$ に相当するパラメータ空間の格子は多くの得票を得て、左右の投票領域 $S L$ 、 $S R$ 毎に局所極大値が現れる。

【0095】

側壁が存在し、明確な立体物データの列があるとパラメータ空間の局所極大値は大きな値を示し、一方、側壁が無く、複数の物体が分散して存在する状態では局所極大値は小さい値を示す。従って、パラメータ空間の左右の投票領域 $S L$ 、 $S R$ 毎に局所極大値を検出し、検出した局所極大値が判定値以上であれば側壁が存在すると判定することができる。判定値は設定する探索領域の大きさや格子の間隔等を考慮して設定する。

30

【0096】

次に、前記側壁直線検出部142で側壁有りと判定された場合には、側壁範囲検出部143で側壁の前後端の位置を検出する。局所極大値の格子に相当するパラメータ $a f$ 、 $b f$ を読み出すと、側壁は、次の直線式(9)に沿って存在すると推定され、図24の例で検出された直線式を図示すると図26に示す直線 $F f$ となる。

$$X = a f \times Z + b f \quad (9)$$

40

【0097】

まず、直線 $F f$ を中心として幅 $0.3\text{m} \sim 1.0\text{m}$ 程度の領域を側壁候補領域 $T f$ とすると、この領域は、さらに図26のように Z 方向に区分される。側壁候補領域 $T f$ の幅は、前記パラメータ空間の格子の間隔 $b f$ にデータの誤差等を考慮して設定する。

【0098】

次に、前記探索領域内の立体物データを順次サーベイし、側壁候補領域 $T f$ 内にあるデータのみを抽出した後、区分毎に立体物データの個数をカウントし、ヒストグラムを作成する。これを模式的に示すと図27のようになり、側壁が存在する部分では大きな度数を示す。従って、度数が判定値以上の区分を検出することによって、この範囲に側壁が存在すると判断することができ、その両端の3次元位置を計算して側壁の前後端位置とする。

50

図 2 4 の例では、探索領域 S R の上端が側壁（ガードレール 4 0 0）の後端位置とみなされる。図 2 8 は以上の処理で検出した側壁を枠線で示したものであり、この例では、右側のガードレール 4 0 0 が検出される。

【 0 0 9 9 】

以上のようにして、距離画像から道路上の各物体の位置、形状等のパラメータが求められ、立体物パラメータ記憶部 1 5 0 に書き込まれると、マイクロプロセッサ 1 2 0 c からなる隙間距離算出部 1 6 0 では、自車両 1 と検出した物体との間の左右の隙間距離を算出する。

【 0 1 0 0 】

例えば前述した図 9 の画像例では、駐車車両 2 0 0 , 3 0 0 の自車両 1 側の前方の縁の X 座標を X L , X R、ガードレール 4 0 0 の前方の端の X 座標を X W R とすると、図 2 9 に示すように、自車両 1 の左側の延長線と左側の駐車車両 2 0 0 の縁との間の距離 D L は、自車両 1 の車幅を W として以下の (1 0) 式で算出され、また、自車両 1 の右側の延長線と右側の駐車車両 3 0 0 との間の距離 D R は (1 1) 式で算出され、さらに、自車両 1 の右側の延長線と右側のガードレール 4 0 0 との間の距離 D W R は (1 2) 式で算出される。

$$\begin{aligned} D L &= | X L | - W / 2 && (1 0) \\ D R &= | X R | - W / 2 && (1 1) \\ D W R &= | X W R | - W / 2 && (1 2) \end{aligned}$$

【 0 1 0 1 】

そして、(1 0) , (1 1) , (1 2) 式による計算を各縁について行う。そして、左右それぞれの最小値を求めると、この最小値が最近接距離すなわち隙間距離となり、この隙間距離に若干の余裕、例えば相手車のバックミラー等のための余裕を加えてディスプレイ 3 に出力し、前述の図 3 のようにディスプレイ 3 に表示させる。

【 0 1 0 2 】

尚、図 9 の画像例では、ガードレール 4 0 0 との距離 D W R より駐車車両 3 0 0 との距離 D R の方が小さいので、右側隙間距離として駐車車両 3 0 0 との距離 D R を採用し、ディスプレイ 3 に出力する。

【 0 1 0 3 】

また、ディスプレイ 3 に表示する隙間距離の数値には、例えば 1 m といったしきい値を設け、このしきい値以上の数値は表示しないようになっている。これは、隙間が十分大きい場合には、数値を表示する意味が少ないからである。

【 0 1 0 4 】

次に、イメージプロセッサ 2 0 及び距離画像処理用コンピュータ 1 2 0 の動作について説明する。

【 0 1 0 5 】

図 3 0 は、イメージプロセッサ 2 0 の動作の流れを示すフローチャートであり、まず、ステップ S101 で左右の C C D カメラ 1 1 a , 1 1 b によって撮像した画像を入力すると、ステップ S102 で、入力したアナログ画像を A / D コンバータ 3 1 a , 3 1 b で所定の輝度階調を有するデジタル画像に A / D 変換した後、L U T 3 2 a , 3 2 b で、低輝度部分のコントラスト増強、左右の C C D カメラ 1 1 a , 1 1 b の特性補償等を行ない、画像メモリ 3 3 a , 3 3 b に記憶する。

【 0 1 0 6 】

これらの画像メモリ 3 3 a , 3 3 b に記憶される画像は、C C D カメラ 1 1 a , 1 1 b の C C D 素子の全ラインのうち、その後の処理に必要なラインのみであり、例えば 0 . 1 秒に 1 回の割合（テレビ画像で 3 枚に 1 枚の割合）で書き換えられる。

【 0 1 0 7 】

次に、ステップ S103 へ進むと、左右画像用の画像メモリ 3 3 a , 3 3 b から入力バッファメモリ 4 1 a , 4 1 b , 4 2 a , 4 2 b へ、共通バス 8 0 を介して、例えば 4 ラインずつ左右画像データが読み込まれ、読み込んだ左右画像のマッチング、すなわち一致度の評価が行なわれる。

【0108】

その際、左右の画像毎に、前記画像メモリ33a, 33bから前記入力バッファメモリ41a, 41b, 42a, 42bへの読み込み動作と、シフトレジスタ43a, 43b, 44a, 44bに対する書き込み動作とが交互に行なわれる。例えば、左画像では、画像メモリ33aから一方の入力バッファメモリ41aに画像データが読み込まれている間に、他方の入力バッファメモリ41bからシフトレジスタ43bへ読み込んだ画像データの書き出しが行なわれ、右画像では、画像メモリ33bから一方の入力バッファメモリ42aに画像データが読み込まれている間に、他方の入力バッファメモリ42bからシフトレジスタ44bへ読み込んだ画像データの書き出しが行なわれる。

【0109】

図31に示すように、前記シフトレジスタ43a, 43b, 44a, 44bには、左右の4×4画素の小領域の画像データ(1, 1) ... (4, 4)が保存され、一方のシフトレジスタ43a(44a)には1, 2ラインのデータが、もう一方のシフトレジスタ43b(44b)には3, 4ラインのデータが、それぞれ1画素毎に奇数ライン、偶数ラインの順序で入る。前記各シフトレジスタ43a, 43b, 44a, 44bは、それぞれが独立した転送ラインを持ち、4×4画素のデータは例えば8クロックで転送される。

【0110】

そして、これらのシフトレジスタ43a, 43b, 44a, 44bから8段のうちの偶数段の内容が同時にシティブロック距離計算回路45に出力され、シティブロック距離Hの計算が始まると、右画像のデータはシフトレジスタ44a, 44b内に保持されて、クロック毎に奇数ライン、偶数ラインのデータが交互に出力され、一方、左画像のデータはシフトレジスタ43a, 43bに転送され続け、奇数ライン、偶数ラインのデータが交互に出力されつつ、2クロック毎に1画素分右のほうにずれたデータに置き換わっていく。この動作を、例えば100画素分ずれるまで(200クロック)繰り返す。

【0111】

その後、一つの領域に対する転送が終了すると、#2アドレスコントローラ87内の左画像用アドレスカウンタに右画像用アドレスカウンタの内容(次の4×4画素の領域の先頭アドレス)がセットされ、次の領域の処理が始まる。

【0112】

シティブロック距離計算回路45では、図32のタイミングチャートに示すように、まず、ピラミッド型構造初段の絶対値演算器に8画素分のデータを入力し、左右画像の輝度差の絶対値を計算する。すなわち、右画素の輝度から対応する左画素の輝度を引き算し、結果が負になった場合、演算命令を変えることにより、引く方と引かれる方を逆にして再び引き算を行なうことにより、絶対値の計算を行なう。従って、初段では引き算を2回行なう場合がある。

【0113】

次いで、初段を通過すると、2段目から4段目までの第1ないし第3加算器で二つの同時入力データを加算して出力する。そして、最終段の総和加算器で二つの連続するデータを加え合わせて総和を計算し、必要とする16画素分のシティブロック距離Hを2クロック毎に最小・最大値検出部50へ出力する。

【0114】

次に、ステップS104へ進み、前記ステップS103で算出したシティブロック距離Hの最大値HMAX、最小値HMINを検出する。前述したように、この最大値HMAXの検出と最小値HMINの検出とは、互いに論理が逆になることと、ずれ量を保存しないこと以外は、全く同じであるため、以下、代表して最小値HMINの検出について説明する。

【0115】

まず、最初に出力されてきたシティブロック距離H(ずれ量x=0)が、図8に示す最小値検出回路51のCラッチ53を介して、演算器46のBレジスタ46bに入力される。次のクロックで出力されてきたシティブロック距離H(ずれ量=1)は、Cラッチ53と演算器46のAレジスタ46aとに入れられ、演算器46では、同時に、Bレジスタ

10

20

30

40

50

4 6 b との比較演算が始まる。

【0 1 1 6】

前記演算器 4 6 での比較演算の結果、Bレジスタ 4 6 b の内容よりも A レジスタ 4 6 a の内容の方が小さければ、次のクロックのときに、Cラッチ 5 3 の内容（すなわち A レジスタ 4 6 a の内容）が B レジスタ 4 6 b に送られ、このときのずれ量が D ラッチ 5 5 に保存される。このクロックで同時に、次のシティブロック距離 H（ずれ量 = 2）が A レジスタ 4 6 a と C ラッチ 5 3 に入れられ、再び比較演算が始まる。

【0 1 1 7】

このようにして、計算途中での最小値が常に B レジスタ 4 6 b に、そのときのずれ量が D ラッチ 5 5 に保存されながら、ずれ量が 1 0 0 になるまで計算が続けられる。計算が終了すると（最後のシティブロック距離 H が出力されてから 1 クロック後）、B レジスタ 4 6 b と D ラッチ 5 5 の内容はずれ量決定部 6 0 に読み込まれる。 10

【0 1 1 8】

この間に、前述したシティブロック距離計算回路 4 5 では次の小領域の初期値が読み込まれ、時間の無駄を生じないようにしており、一つのシティブロック距離 H を計算するのに、例えば 4 クロックかかるが、パイプライン構造をとっているため、2 クロック毎に新たな計算結果が得られる。

【0 1 1 9】

そして、前記ステップ 104 でシティブロック距離 H の最小値 H MIN、最大値 H MAX が確定すると、ステップ S105 では、ずれ量決定部 6 0 にて、前述した 3 つの条件がチェックされ、ずれ量 x が決定される。 20

【0 1 2 0】

すなわち、図 3 3 のタイミングチャートに示すように、Bバス 6 2 b を介して最小値 H MIN が演算器 6 1 の B レジスタ 7 2 にラッチされるとともに、この B レジスタ 7 2 の値と比較されるしきい値 H A が A バス 6 2 a を介して A レジスタ 7 1 にラッチされる。そして A L U 7 0 で両者が比較され、しきい値 H A よりも最小値 H MIN の方が大きければ、スイッチ回路 6 5 がリセットされ、以後のチェックの如何に係わらず常に 0 が出力されるようになる。

【0 1 2 1】

次に、A レジスタ 7 1 に最大値 H MAX がラッチされ、この A レジスタ 7 1 にラッチされた最大値 H MAX と B レジスタ 7 2 に保存されている最小値 H MIN との差が計算されて、その結果が F レジスタ 7 3 に出力される。次のクロックで A レジスタ 7 1 にしきい値 H B がラッチされ、F レジスタ 7 3 の値と比較される。A レジスタ 7 1 にラッチされたしきい値 H B よりも F レジスタ 7 3 の内容の方が小さければ同様にスイッチ回路 6 5 がリセットされる。 30

【0 1 2 2】

次のクロックからは、隣接画素間の輝度差の計算が始まる。輝度データが保存されている 2 組のシフトレジスタ 6 4 a , 6 4 b は 1 0 段構成であり、それぞれ、シティブロック距離計算部 4 0 の 1 , 2 ライン用のシフトレジスタ 4 4 a と、3 , 4 ライン用のシフトレジスタ 4 4 b の後段に接続されている。前記シフトレジスタ 6 4 a , 6 4 b の出力は最後の段とその 2 つ手前の段から取り出され、それぞれが、A バス 6 2 a と B バス 6 2 b とに出力される。 40

【0 1 2 3】

輝度差の計算が始まる時、前記シフトレジスタ 6 4 a , 6 4 b の各段には小領域中の各場所の輝度データが保持されており、初めに前回の小領域の第 4 行第 1 列の輝度データと、今回の小領域の第 1 行第 1 列の輝度データとが、演算器 6 1 の A レジスタ 7 1 と B レジスタ 7 2 とにラッチされる。

【0 1 2 4】

そして、A レジスタ 7 1 の内容と B レジスタ 7 2 の内容の差の絶対値が計算され、結果が F レジスタ 7 3 に保存される。次のクロックで A レジスタ 7 1 にしきい値 H C がラッチ 50

され、Fレジスタ73の値と比較される。

【0125】

前記演算器61での比較結果、Aレジスタの内容(しきい値HC)よりもFレジスタ73の内容(輝度差の絶対値)のほうが大きければ、前記スイッチ回路65からずれ量xあるいは"0"が出力され、Aレジスタの内容よりもFレジスタ73の内容のほうが小さければ"0"が出力されて、出力バッファメモリ66a, 66bの該当する小領域の第1行第1列に当たる位置に書き込まれる。

【0126】

前記演算器61で隣接画素間の輝度差としきい値HCとの比較が行なわれている間に、シフトレジスタ64a, 64bは1段シフトする。そして今度は、前回の小領域の第4行第2列と、今回の小領域の第1行第2列の輝度データに対して計算を始める。このようにして小領域の第1列、第2列に対し交互に計算を行なった後、第3列、第4列に対して同様に計算を進める。

10

【0127】

計算中は、シフトレジスタ64a, 64bの最終段と最初の段がつながってリングレジスタになっており、小領域全体を計算した後にシフトクロックが2回追加されるとレジスタの内容が計算前の状態に戻り、次の小領域の輝度データが転送され終わったときに、最終段とその前の段に今回の小領域の第4行のデータが留められる。

【0128】

このように、ずれ量決定のための計算中に次のデータをAバス62a, Bバス62bに用意したり、結果の書き込みを行なうため、計算に必要な2クロックのみで一つのデータが処理される。この結果、初めに行なう最小値HMIN、最大値HMAXのチェックを含めても、例えば43クロックで全ての計算が終了し、一つの小領域に対して、シティブロック距離Hの最小値HMIN、最大値HMAXを求めるのに要する時間は十分に余裕があり、さらに機能を追加することも可能となっている。

20

【0129】

そして、ずれ量xが決定されると、ステップS106で、出力バッファメモリ66a, 66bからデュアルポートメモリ90へ、ずれ量xを距離分布情報として出力し、イメージプロセッサ20における処理が終了する。

【0130】

この出力バッファメモリ66a, 66bは、前述した入力バッファメモリ41a, 41b, 42a, 42bと同様、例えば4ライン分の容量があり、2組の一方に書き込んでいる間にもう一方から前記デュアルポートメモリ90へ距離分布情報を送り出す。

30

【0131】

前記デュアルポートメモリ90へ書き込まれた距離分布情報からは、CCDカメラ11, 12の取付け位置と焦点距離等のレンズパラメータとから、各画素に対応する物体のXYZ空間における3次元位置を算出することができ、情報量の低下なく車外の対象物までの距離を正確に検出することができる。

【0132】

ここで、イメージプロセッサ20の全体のタイミングについて、図34に示すタイミングチャートに従って説明する。

40

【0133】

まず初めに、同期を取っている左右のCCDカメラ11a, 11bからのフィールド信号を0.1秒毎(3画面に1画面の割合)に、画像メモリ33a, 33bに書き込む。

【0134】

次に、取り込み終了信号を受けて、4ライン毎のブロック転送が始まる。この転送は、右画像、左画像、結果の距離分布像の順に3ブロック転送する。

【0135】

この間に、一方の入出力バッファメモリに対してずれ量の計算が行われる。そして、ずれ量の計算時間を考慮し、所定時間待機してからもう一方の入出力バッファメモリに

50

対して転送を始める。

【0136】

一つの右画像の4×4画素の小領域に対するシティブロック距離Hの計算は、左画像について100画素ずらしながら計算するため、100回行われる。一つの領域のシティブロック距離Hが計算されている間に、その前の領域のずれ量が各チェックを経て距離分布として出力される。

【0137】

処理すべきライン数を200とすると4ライン分の処理を50回繰り返すことになり、計算の開始時に最初のデータを転送するための4ライン分の処理時間、計算終了後に最後の結果を画像認識部に転送するための4ライン分の処理時間と、計8ライン分の処理時間がさらに必要となる。

10

【0138】

最初の入力画像ラインの転送を開始してから最後の距離分布を転送し終わるまでの時間は、実際の回路動作の結果、0.076秒である。

【0139】

一方、図35及び図36のフローチャートは、マイクロプロセッサ120aで実行される物体検出処理であり、ステップS201で道路表面の位置を設定すると、ステップS202で、イメージプロセッサ20からの距離画像を格子状の領域に区分し、ステップS203で、最初の領域のデータを読み込む。

【0140】

次に、ステップS204へ進んで、領域内の最初のデータをセットすると、ステップS205で、被写体の3次元位置(X, Y, Z)、すなわち距離と高さを算出し、ステップS206で、距離Zに於ける道路表面の高さを算出し、ステップS207で、道路面より上にあるデータを選別する。

20

【0141】

そして、ステップS208へ進んで最終データか否かを調べ、最終データでない場合、ステップS209で領域内の次のデータをセットすると、前述のステップS205へ戻って処理を繰り返し、最終データの場合にはステップS208からステップS210へ進む。

【0142】

ステップS210では、ヒストグラムを作成し、ステップS211で、このヒストグラムの度数が判定値以上で、かつ最大値となる区間を検出する。ヒストグラムの度数が判定値以上で、かつ最大値となる区間が検出された場合、ステップS212で、その区間に物体が存在すると判断し、その物体までの距離を検出する。

30

【0143】

そして、ステップS213で、最終領域か否かを調べ、最終領域でない場合には、ステップS214で、次の領域のデータを読み込み、前述のステップS204へ戻って同様の処理を続行し、最終領域である場合には、ステップS215へ進み、各物体の距離と存在領域の検出を終了し、ステップS216以降へ進む。

【0144】

ステップS216では、最初の物体のパラメータをセットし、次いで、ステップS217で、3次元ウインドウWD3の下端の高さ及び距離範囲を設定し、ステップS218で、この3次元ウインドウWD3に基づいて2次元ウインドウWD2の形状を算出してステップS219へ進む。

40

【0145】

ステップS219では、2次元ウインドウWD2内のデータを読み出し、ステップS220で被写体の3次元位置を算出すると、ステップS221へ進んで、3次元ウインドウWD3内に含まれるデータを選別して抽出する。

【0146】

その後、ステップS222へ進み、前記ステップS221で抽出したデータを2次元の画像上に投影すると、ステップS223で、各データを線分で連結して輪郭像を作成する。続いて、ス

50

ステップS224で、物体の形状、寸法、位置、速度を算出し、ステップS225で、最終物体か否かを調べる。

【0147】

最終物体でない場合には、ステップS226で次の物体のパラメータをセットして前述のステップS217へ戻り、最終物体である場合には、ステップS227へ進んで、各物体の位置、形状、速度、加速度、衝突の可能性等のパラメータを出力用メモリ125に書き込み、処理を終了する。

【0148】

また、マイクロプロセッサ120bでは、前記マイクロプロセッサ120aによる物体検出処理と並列して図37及び図38に示す側壁検出処理を行なう。この側壁検出処理では、最初に、ステップS301で道路表面の位置を設定すると、ステップS302で、距離画像から最初の距離データを読み込む。

10

【0149】

次に、ステップS303へ進み、被写体の位置(X, Z座標)と高さ(Y座標)とを計算し、ステップS304で、距離Zに於ける道路表面の高さH(Y座標)を計算し、ステップS305で、道路面より上、且つ自車輦1の高さ以下にあるデータを立体物データとして抽出する。

【0150】

そして、ステップS306へ進んで最終データか否かを調べ、最終データでない場合、ステップS307で次の距離データを読み込むと前述のステップS303へ戻って処理を繰り返し、最終データの場合にはステップS306からステップS308へ進む。

20

【0151】

ステップS308では、最初の立体物データを読み込み、ステップS309で、被写体の位置(X, Z座標)を計算すると、続くステップS310で、計算した位置(X, Z座標)が探索領域内か否かを調べる。

【0152】

計算した位置(X, Z座標)が探索領域外であるときには、前記ステップS310からステップS312へジャンプし、探索領域内のとき、前記ステップS310からステップS311へ進んでパラメータ空間へ投票し、ステップS312へ進む。

【0153】

ステップS312では、処理した立体物データが最終データか否かを調べ、最終データでないときには、ステップS313で、次の立体物データを読み込んで、前述のステップS309からの処理を繰り返し、最終データのとき、ステップS314へ進んで、パラメータ空間上の局所極大値を検出する。

30

【0154】

次いで、ステップS315へ進むと、検出した局所極大値が判定値以上か否かを調べ、判定値よりも小さいとき、ステップS316で側壁は存在しないと判定し、判定値以上のとき、ステップS317で、側壁が存在すると判定して、ステップS318へ進む。

【0155】

ステップS318では、前記ステップS314で検出した局所極大値の格子に相当するパラメータ、すなわち局所極大点を示す直線式のパラメータ(a_f, b_f)を読み込み、次いで、ステップS319で側壁候補領域を設定する。

40

【0156】

そして、ステップS320へ進み、探索領域内の最初の立体物データを読み込むと、ステップS321で、被写体の位置(X, Z座標)を計算し、ステップS322で、側壁候補領域内にあるデータを抽出した後、ステップS323で、処理したデータが探索領域内の最終データか否かを調べる。

【0157】

探索領域内の最終データでないときには、前記ステップS323からステップS324へ分岐して探索領域内の次の立体物データを読み込んで、前述のステップS321へ戻り、探索領域内

50

の最終データであるときには、前記ステップS323からステップS325へ進んで、側壁候補領域内のデータを使ってヒストグラムを作成する。

【0158】

次に、ステップS326へ進み、作成したヒストグラムの度数が判定値以上の区間を検出すると、ステップS327で、ヒストグラムの度数が判定値以上の区間の両端の3次元位置、すなわち側壁の前後端位置を算出し、ステップS328で、側壁の有無、位置、方向、前後端の位置等のパラメータを出力用メモリ125へ書き込んでプログラムを終了する。尚、このプログラムは、左側の側壁について実行した後、右側の側壁について実行する。

【0159】

以上の処理により、前方に存在する壁、駐車車両等の自車両1からの位置と大きさがわかり、マイクロプロセッサ120cで図39の隙間距離算出処理のプログラムが実行される。

【0160】

この隙間距離算出処理では、ステップS401で、出力用メモリ125から道路上の各物体の自車両1側の縁の位置及び側壁の端部の位置を入力すると、ステップS402で、各物体の縁及び側壁の端部と、自車両1の側部の延長線との間のX方向の距離を左右別々に求める。

【0161】

次いで、ステップS403へ進み、前記ステップS402で求めた各距離の最小値を左右別々に求め、ステップS404で左右それぞれの最小値を隙間距離として若干の余裕を加え、ディスプレイコントローラ126を介してディスプレイ3に数値を表示する。

【図面の簡単な説明】

【0162】

【図1】 走行案内装置の全体構成図

【図2】 走行案内装置の回路ブロック図

【図3】 ディスプレイの画面を示す説明図

【図4】 車両の正面図

【図5】 カメラと被写体との関係を示す説明図

【図6】 イメージプロセッサの詳細回路図

【図7】 シティブロック距離計算回路の説明図

【図8】 最小値検出回路のブロック図

【図9】 車載のCCDカメラで撮像した画像の例を示す説明図

【図10】 距離画像の例を示す説明図

【図11】 車両の上面図

【図12】 車両の側面図

【図13】 距離画像処理用コンピュータの機能ブロック図

【図14】 画像の区分方法を示す説明図

【図15】 検出物体とヒストグラムの関係を示す説明図

【図16】 物体の存在領域の検出結果と検出距離の例を示す説明図

【図17】 物体検出用の3次元ウィンドウの形状を示す説明図

【図18】 物体検出用の2次元ウィンドウの形状を示す説明図

【図19】 物体の輪郭を構成するデータの例を示す説明図

【図20】 物体の輪郭像と検出された外形寸法の例を示す説明図

【図21】 側壁検出における探索領域の形状を示す説明図

【図22】 画像上の側壁探索領域を示す説明図

【図23】 立体物データの分布状況を示す説明図

【図24】 ハフ変換での直線の想定を示す説明図

【図25】 パラメータ空間の投票領域を示す説明図

【図26】 側壁候補領域を示す説明図

【図27】 ヒストグラムと側壁の存在範囲の関係を示す説明図

10

20

30

40

50

- 【図 28】 側壁の検出結果を示す説明図
- 【図 29】 隙間距離算出の説明図
- 【図 30】 イメージプロセッサの動作を示すフローチャート
- 【図 31】 シフトレジスタ内の保存順序を示す説明図
- 【図 32】 シティブロック距離計算回路の動作を示すタイミングチャート
- 【図 33】 ずれ量決定部の動作を示すタイミングチャート
- 【図 34】 イメージプロセッサの全体の動作を示すタイミングチャート
- 【図 35】 物体検出処理のフローチャート
- 【図 36】 物体検出処理のフローチャート (続き)
- 【図 37】 側壁検出処理のフローチャート
- 【図 38】 側壁検出処理のフローチャート (続き)
- 【図 39】 隙間距離算出処理のフローチャート

10

【符号の説明】

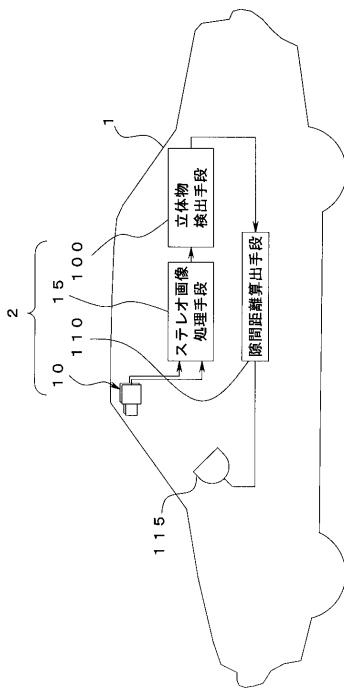
【0163】

- 1 車輜
- 2 走行案内装置
- 3 ディスプレイ
- 10 ステレオ光学系
- 15 ステレオ画像処理手段
- 100 立体物検出手段
- 110 隙間距離算出手段

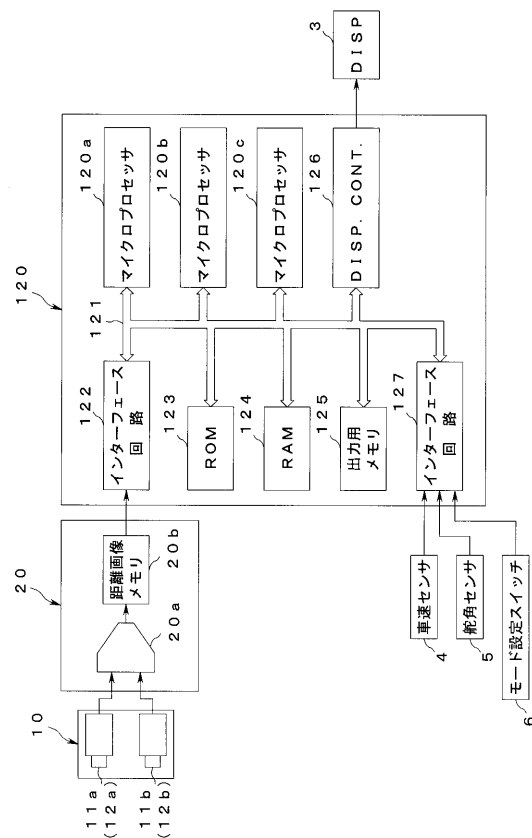
20

代理人 弁理士 伊藤 進

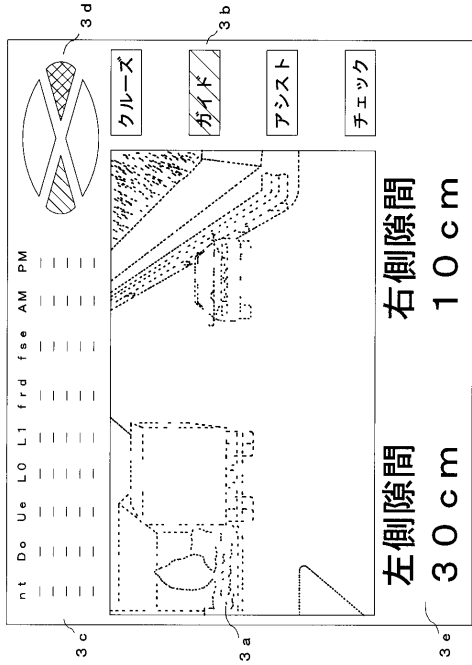
【図 1】



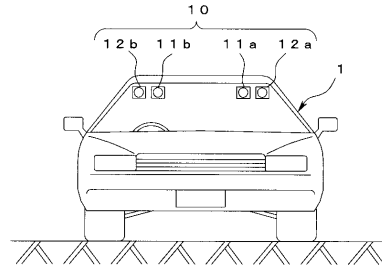
【図 2】



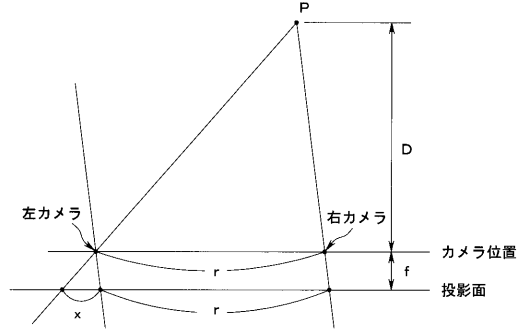
【図3】



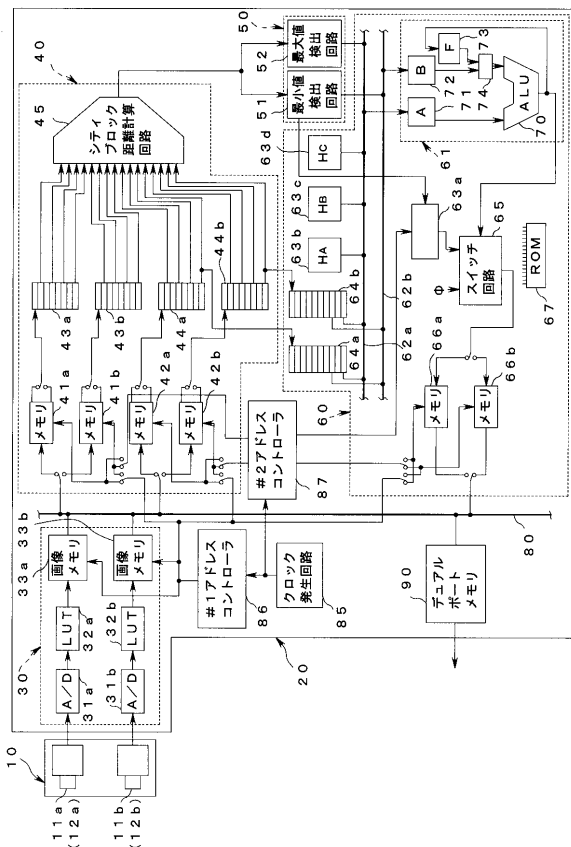
【図4】



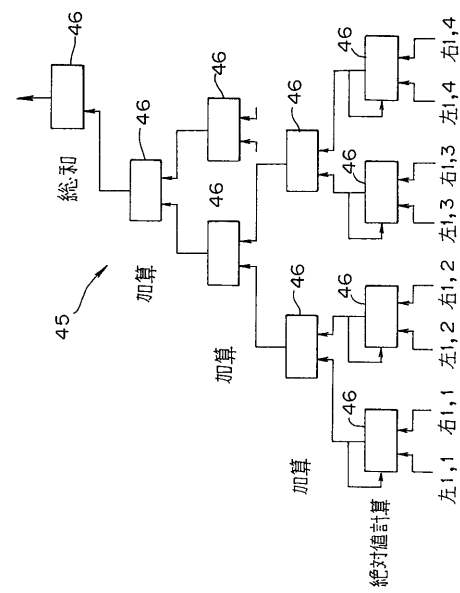
【図5】



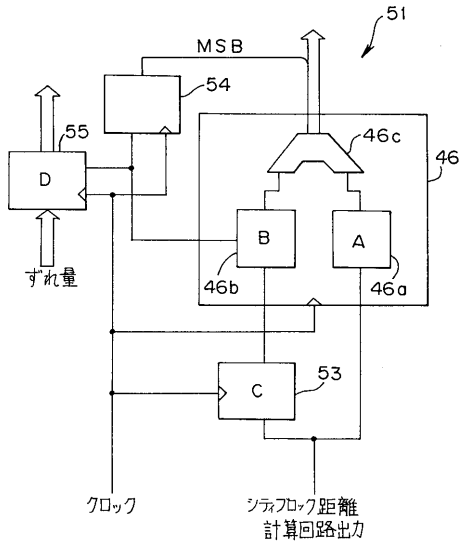
【図6】



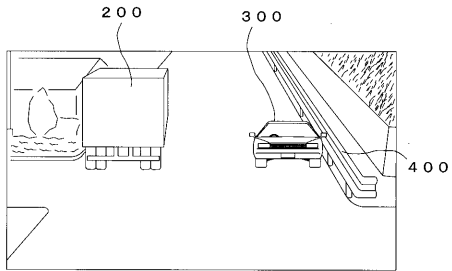
【図7】



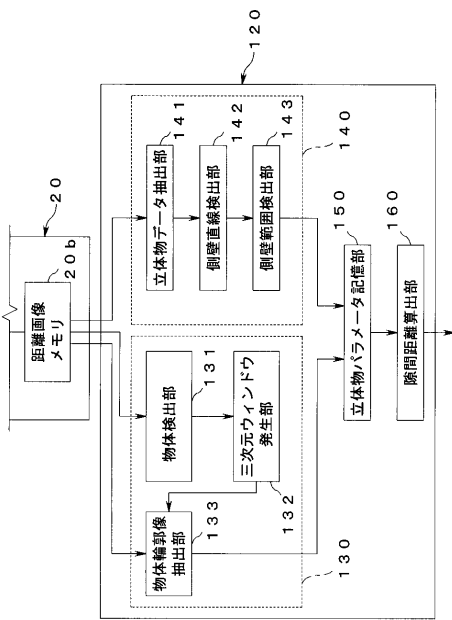
【図 8】



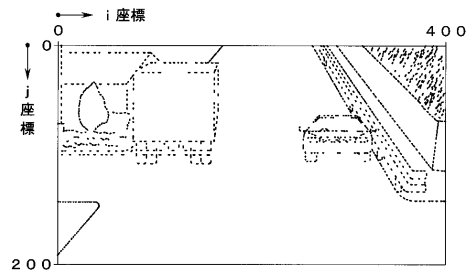
【図 9】



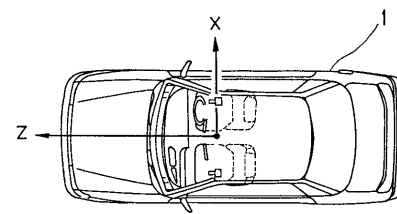
【図 13】



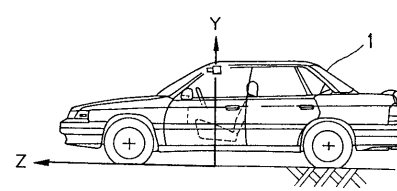
【図 10】



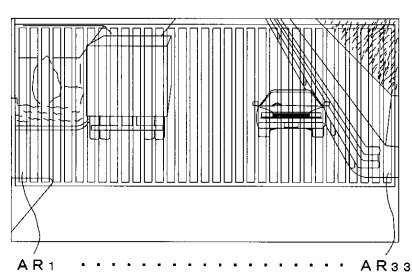
【図 11】



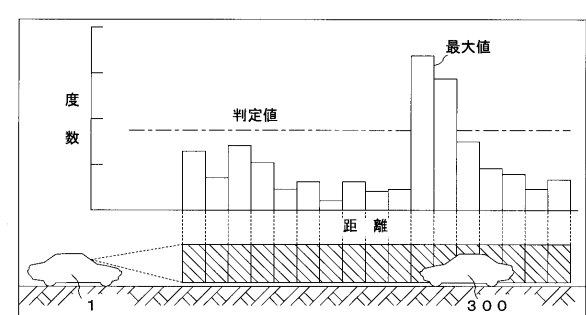
【図 12】



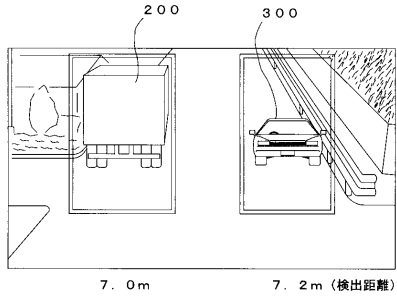
【図 14】



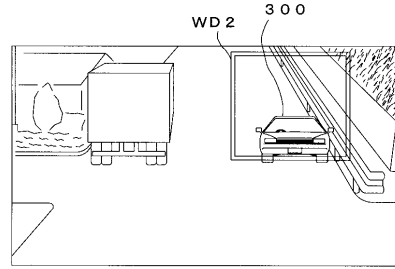
【図 15】



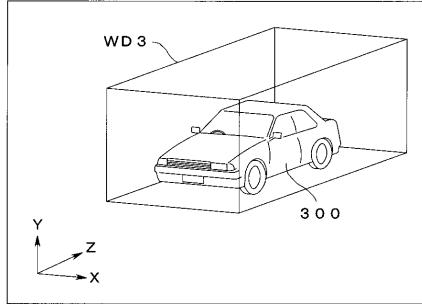
【図 16】



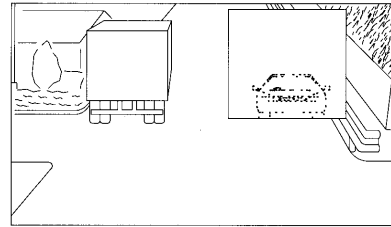
【図 18】



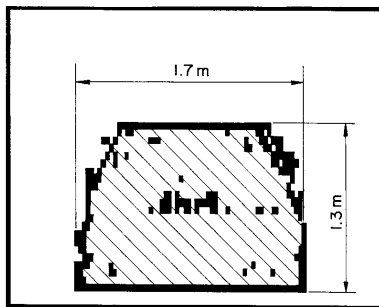
【図 17】



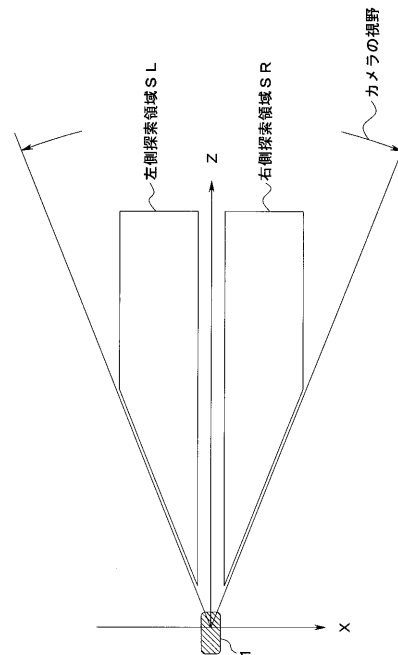
【図 19】



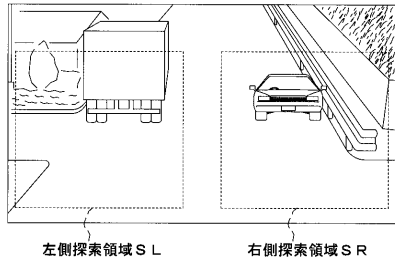
【図 20】



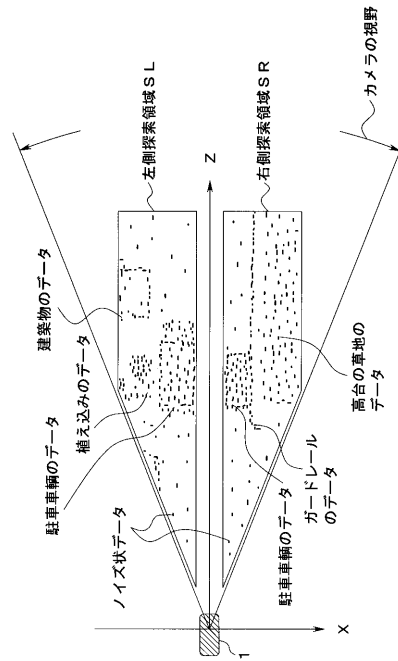
【図 21】



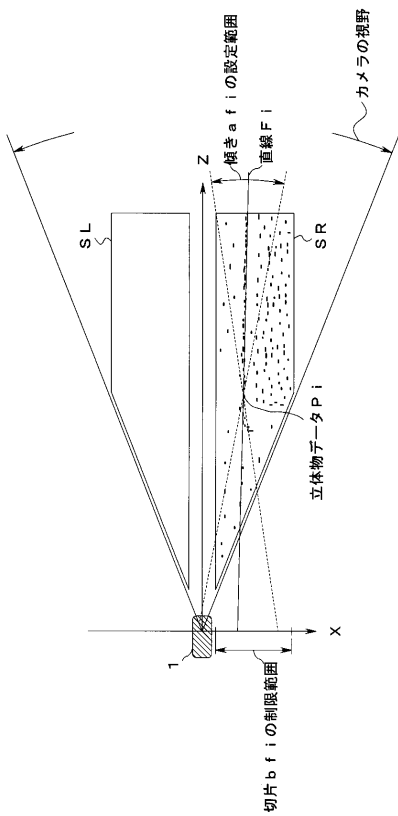
【 図 2 2 】



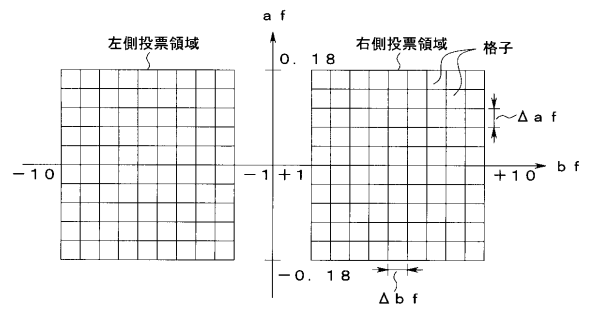
【 図 2 3 】



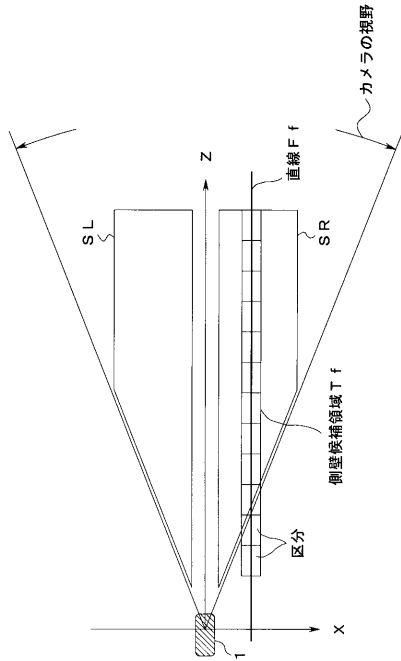
【 図 2 4 】



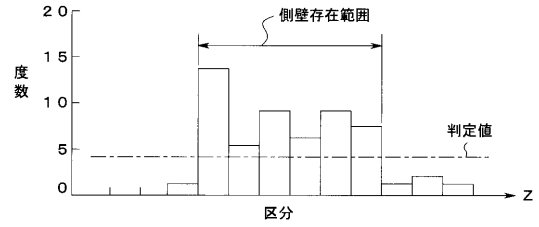
【 図 2 5 】



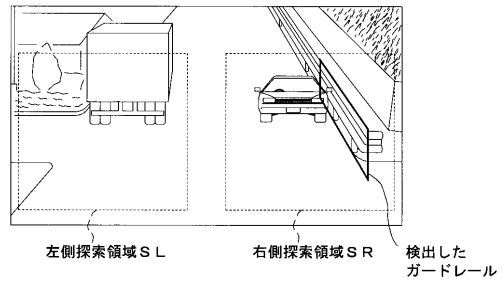
【図 26】



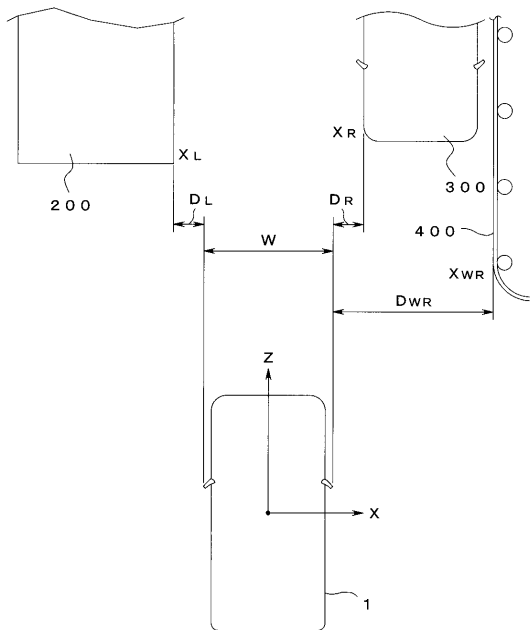
【図 27】



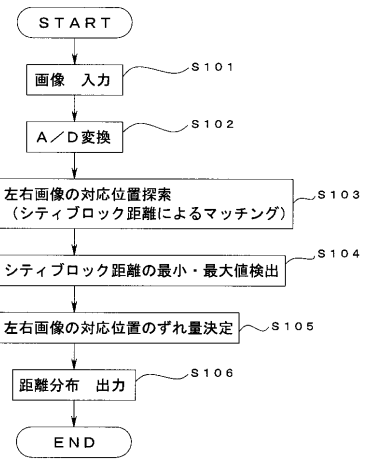
【図 28】



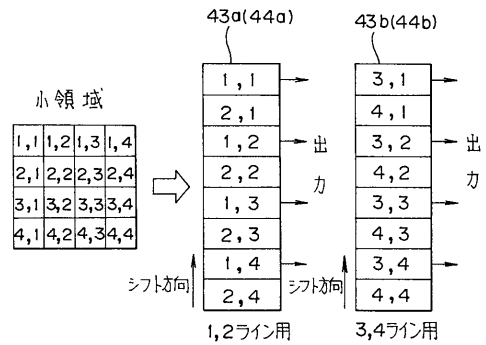
【図 29】



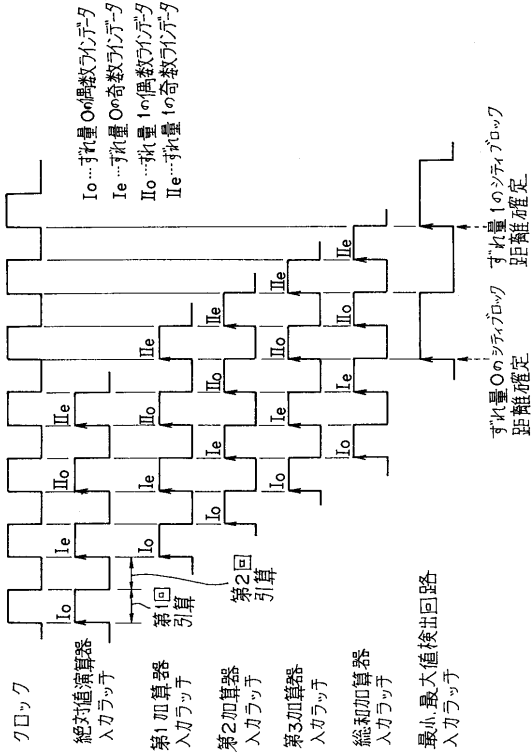
【図 30】



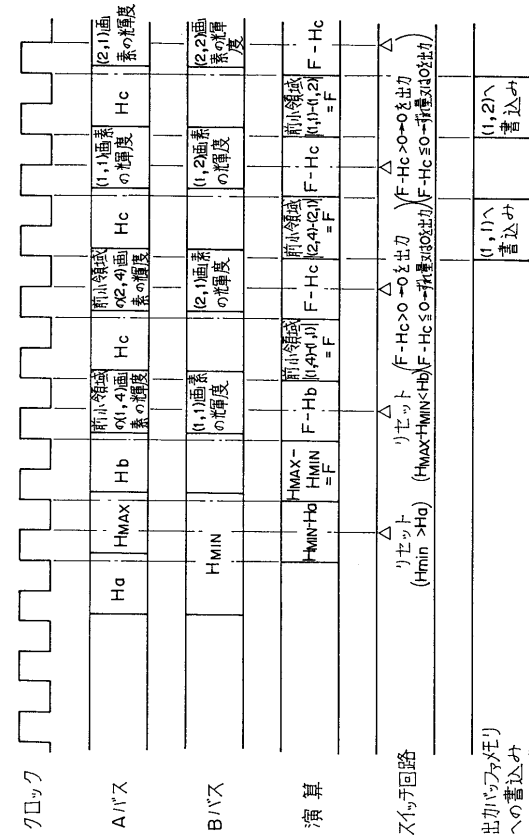
【図 31】



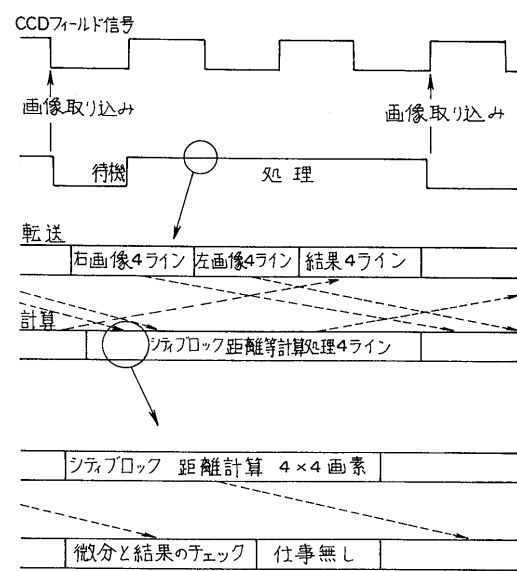
【 図 3 2 】



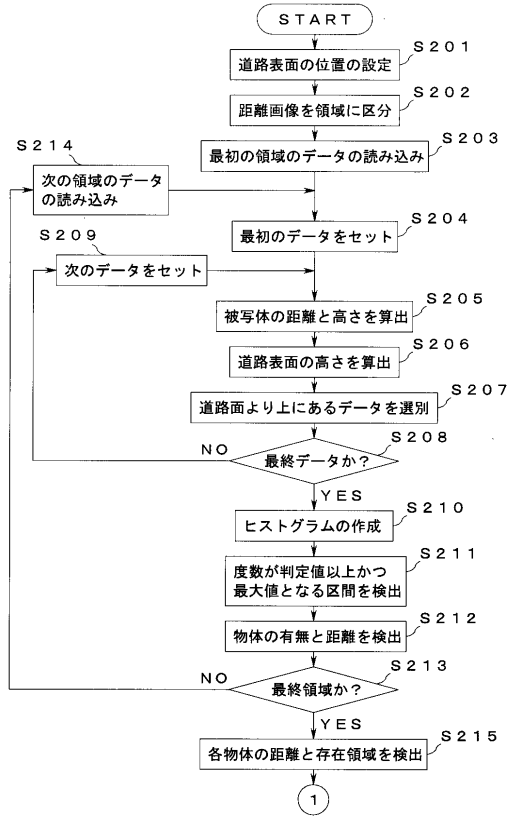
【 図 3 3 】



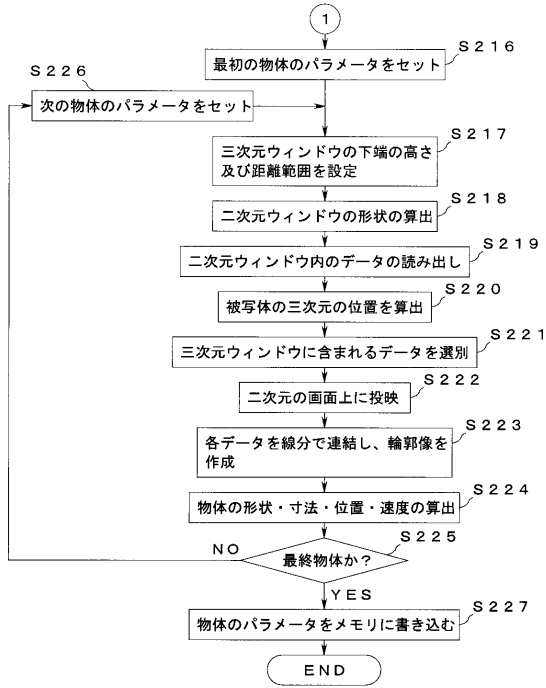
【 図 3 4 】



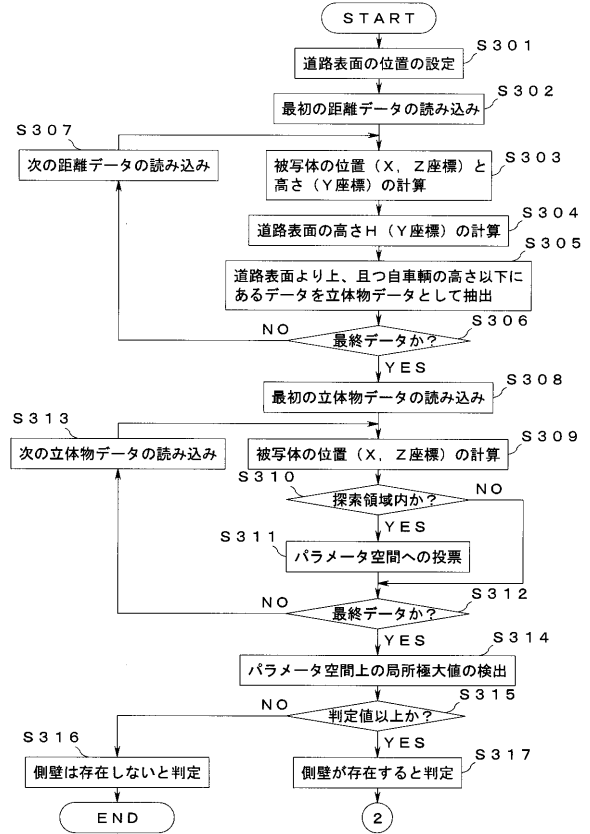
【 図 3 5 】



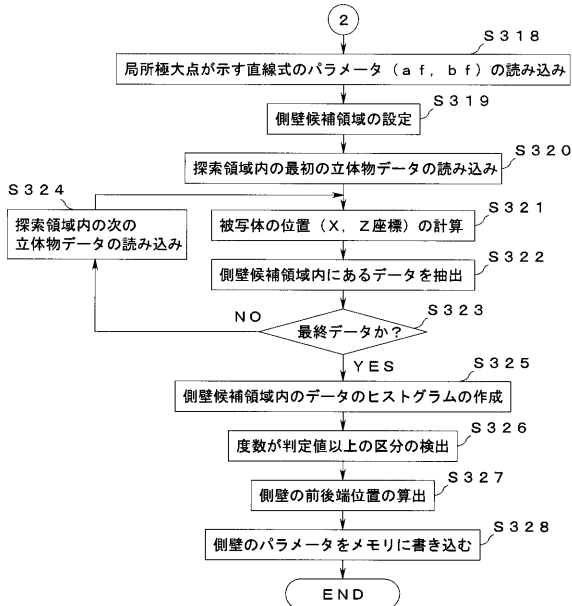
【図36】



【図37】



【図38】



【図39】

