

ビーム幅選別方式 衝突防止レーザエリアセンサに関する研究

Collision Avoidance Laser Area Sensor by Beam Width Selection Method

津田 紀生^{††}, 山田 諄^{††}
Norio TSUDA, Jun YAMADA

Abstract: Many unmanned trucks are used for a carrier system in automatic factories. When unmanned trucks are driven on the passage of work-peoples, a safety device for preventing collisions is necessary. A new type of collision avoidance sensor was studied, which was simple device composed of a semiconductor laser and a CCD camera. It could detect in wide range, but it could not detect in high luminance. Then the sensor is improved to detect in high luminance, using the laser beam focused the narrow line. The sensor selects the laser light in the extraneous light by the beam width. This sensor can detect an obstacle in the extraneous light of 4000[lx].

1 はじめに

工場内での搬送システムとして、無人搬送車が注目されているが、安全性の面から見るとその搬送車には衝突を防止するためのセンサを取り付ける必要がある。近年使用されている衝突防止センサとしては、光電スイッチ式と超音波式センサ¹⁾がある。光電スイッチ式センサは応答速度は速いが、材質によって検出領域が大きく変わったり、検出視野が狭いという欠点がある。超音波式センサは、広範囲にわたって障害物を検出できるが、騒音による誤動作を起こすため、工場など騒音の多い場所では致命的である。

我々の研究室では、無人台車に取り付ける検出領域可変な広視野衝突防止センサについて研究を行ってきた。この研究では前述のような欠点を解決するため、半導体レーザとCCDカメラを用いた簡単なセ

ンサを製作し、その結果広範囲で障害物を検出でき、騒音による誤動作がなく、誤差が小さい十分な精度を持ったセンサであることを示した。しかし、残念ながら外乱光に弱いという欠点があった。²⁾そこで本研究では、特に外乱光に強いレーザエリアセンサを実現することを目標とした。

このセンサの原理は、レーザ光が障害物に照射され反射散乱した光をCCDカメラで受光する仕組みである。シリンドリカルレンズを用いてレーザ光を集光し、CCDカメラを使用しているため二次元的に広範囲で障害物を検出できる。CCDカメラを使用しているが複雑な画像処理をしていないという大きな特徴があり、これによって高速で応答できるという利点が生まれる。また、アナログ回路を用いているので信号の後処理が簡単であるというのも利点である。しかし、前回まではCCDカメラで受光した光強度を基に検出を行っていたため、レーザの戻り光より強い外乱光の下では検出不可能であった。そこで、今回はレーザ光が細く集光されていることを利用し、

[†] 愛知工業大学大学院 工学研究科
電気電子工学専攻 (豊田市)

^{††} 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

パルス幅からレーザーの戻り光と外乱光の区別を行う「ビーム幅選別方式」を考案し、外乱光に強いセンサを目指した。

2 衝突防止レーザーエリアセンサの原理

このセンサは投光器に半導体レーザー (LD) を用い受光器に CCD カメラを用いている。共振されたレーザー光が障害物に当たり、その反射光を CCD カメラで受光する。図1にレーザーエリアセンサの概略図を示す。

投光器である LD はシリンダリカルレンズを用いて垂直方向のみを集光し、水平方向の広がりを持っているので二次元的に障害物に照射される。照射されたレーザー光は障害物に当たって反射散乱し、その一部が戻り光として CCD カメラで受光される。

本研究では CCD カメラを縦横 90 度回転させて用いた。回転の方向は、垂直走査線が水平方向を走査し、水平走査線が垂直方向を走査するように左回りに 90 度回した方向である。このため速くの点 A での戻り光は画面の右側に、近くの点 B での戻り光は画面の左側に映し出される。CCD カメラで受けた光の明暗を画面左上から右に向かって順次右下まで順番に電気信号に変換し、映像信号として送信する。このとき、明るさに比例して信号の電圧レベルは高くなるので映像信号の光を感知した場所の同期信号からの遅れを見れば障害物の位置を認識できる。

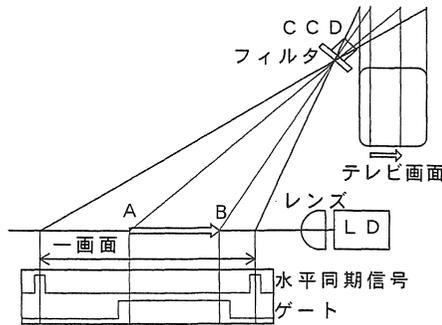


図1 レーザエリアセンサの概略図

2-1 ビーム幅選別方式の原理

以前までのセンサは光強度を基にして出力を行うものであった。CCD カメラから送られてきた映像信号がしきい値を越えたところを出力とするものである。この方法では、レーザーの戻り光よりも強い外乱光があった場合外乱光を検出してしまい、高照度での使用が不可能であった。

そこで本研究では「ビーム幅選別方式」を考案し

た。ビーム幅選別方式のブロック図をゲート回路と共に図2に示す。

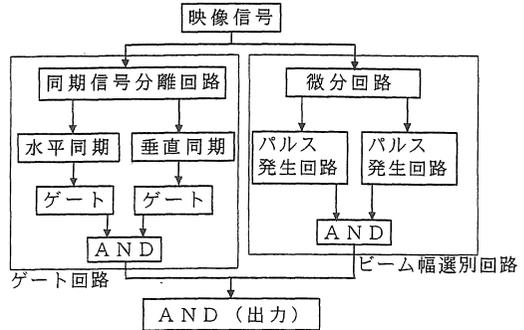


図2 ブロック図

この方法は光強度のみに頼らず、レーザーが細く集光されていることを利用した方法である。映像信号から送られてきた信号を微分し、微分のプラス側とマイナス側でのパルスを作る。そして、AND 回路でそれぞれのパルスの AND を取る。

ビーム幅選別方式の動作原理を説明するため、信号の模式図を図3に示す。図のように、CCD カメラから送られてきた映像信号中にレーザーの戻り光よりも大きな外乱光があったとしても、細い光であるレーザー光だけを出力するものである。

まず微分回路で入力信号を微分し、その後のパルス発生回路によって微分の立ち上がりとしち下がりをもとにしたパルスを作る。その2つのパルスの AND を取ることによって幅の細い光だけを出力するようにした。ここでは微分の立ち上りを基にしたパルス幅を任意に設定できるようにし、細く集光されたレーザー光だけを出力できるように設定する。これによって、レーザーの戻り光よりも幅の細い光だけを選別し、検出する。

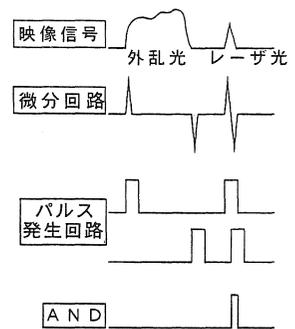


図3 信号の流れ

2-2 検出領域可変の仕組み

図2のように、CCD カメラからの映像信号は、微分回路だけではなく同期信号分離回路にも送られている。これは同期信号分離回路を利用してセンサの検出領域を可変するためである。

ビーム幅選別方式衝突防止レーザーエアセンサに関する研究

同期信号分離回路では、映像信号を水平同期信号と垂直同期信号に分離し、それを別々にゲートに送る。ゲート回路では、送られてきた信号を基にそれぞれゲート信号を作り出す。本研究ではCCDカメラを90度回転させたので、水平同期信号からのゲート信号により検出距離を決め、垂直同期からのゲート信号により検出角度を決めている。この2つの信号の同期信号からの遅れ時間とパルス幅を変えることで、検出領域を任意に設定できるようにした。

最後にAND回路で、ゲート信号とビーム幅選別信号のANDを取る。つまり、設定した領域内で幅4[mm]よりも細い光があったとき出力を出し、装置を作動させる。本来衝突防止センサの出力によりブレーキやブザーを作動させるべきであるが、本研究ではLEDを点灯させて出力を表示した。

3 実験装置

試作した衝突防止レーザーエアセンサは投光器、受光器、回路部からなっている。実験の装置図を図4に示す。

装置全体の大きさは図示したとおり、高さ13.5[cm]、幅4.5[cm]、奥行き5.5[cm]と小型であり、アルミ製のケースの中に投光器と受光器が一緒に納められている。

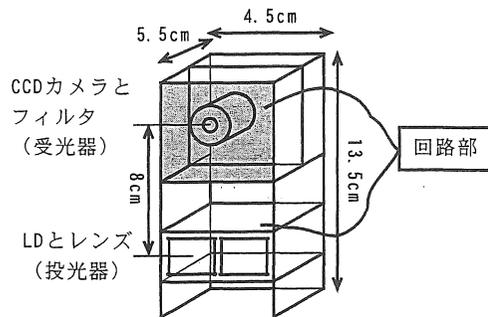


図4 装置図

3-1 投光器

投光器は半導体レーザー(LD)とシリンドリカルレンズで構成されている。LDはシリンドリカルレンズを用いて集光したため水平方向の広がりを保ったが、LDの広がり角がCCDカメラの視野角に達しなかったため、LDとシリンドリカルレンズを2組用いた。投光器の様子を図5に示す。

LDにはSHARP製の型番LT022PDO、発振波長780[nm]、発振出力3[mW]のものを用いた。しかし、3[mW]で発

振し続けるとLDの寿命が短くなるため、ここでは光出力を低く抑え、2.4[mW]で連続発振させた。LDの前面にはシリンドリカルレンズを取り付け、レーザー光を集光させた。2つのLDの交差角度は11°、LD間の距離1.5[cm]、LDとシリンドリカルレンズの間は12[mm]とした。これらは光軸調整が容易なように微調整が可能な構造にした。

シリンドリカルレンズとは、入射光の広がりの垂直方向のみを集光し、水平方向の広がりを保つレンズである。本研究では大きさ13[mm]×12[mm]、焦点距離12.5[mm]のものを用いた。このシリンドリカルレンズを用いてLDを集光し、レーザー光の幅が3[m]先で約4[mm]となるようにした。

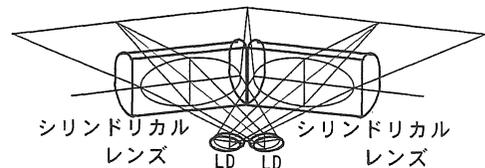


図5 投光器

3-2 受光器

受光器はCCDカメラと可視カットフィルタで構成される。CCDカメラにはShin Electronics CO.,LTD.製のモノクロカメラASC-307M-AAを用いた。このカメラの視野角は横方向72.8°、縦方向54°である。また、レンズの収差をモニタを通して確認したところ、40[cm]先での最大収差は2.7[cm]であった。カメラの焦点は3[m]先で合わせた。

このCCDカメラの前面に可視カットフィルタを取り付けた。本研究で用いたフィルタはシグマ光機株式会社製のSCF-50S-70Rである。フィルタは、CCDカメラが可視光を取り込んで飽和しないために取り付けた。これにより、波長700[nm]以下の光はカットされる。

3-3 回路部

回路部はLD駆動回路と、ビーム幅選別回路、ゲート回路によって構成される。

3-3-1 LD駆動回路

LDの駆動にはSHARP製の駆動用IC:IR3C07を用いて連続発振させた。

半導体レーザーの出力は周囲の温度変化で容易に変化する。温度が変化しても一定出力が得られるよ

うにモニタ光を検出して駆動電流にフィードバックする APC (Automatic Power Control) 機能を持たせ、サージが入るのを防ぎスロースタータにした。³⁾

3-3-2 ビーム幅選別回路

ビーム幅選別回路は、増幅回路、微分回路、コンパレータ (2つ)、パルス発生回路、AND回路で構成される。ビーム幅選別回路の実際の波形を図6に示す。

図のように、外乱光中にレーザの戻り光があったとしても、外乱光は検出することなく、レーザの戻り光だけを出力する回路である。

まず増幅回路では、CCDカメラから送られてきた映像信号を増幅し、次の微分回路で良く微分できるようにしている。微分回路では信号を微分し、信号の立ち上がりとしきい値の傾きに比例して出力を出している。コンパレータでは微分回路から送られてきた信号としきい値を比較して出力を行っている。ここでは微分のプラス側の信号はプラス側のしきい値で、マイナス側はマイナスのしきい値で比較している。そしてパルス発生回路では、コンパレータから送られてきた信号をきっかけにしてプラス側、マイナス側、それぞれでのパルスを作っている。パルスはどちらもプラス側に出力されるようにした。また信号の立ち上がりからできるパルス幅を可変にし、検出できる光の幅を選別できるようにした。AND回

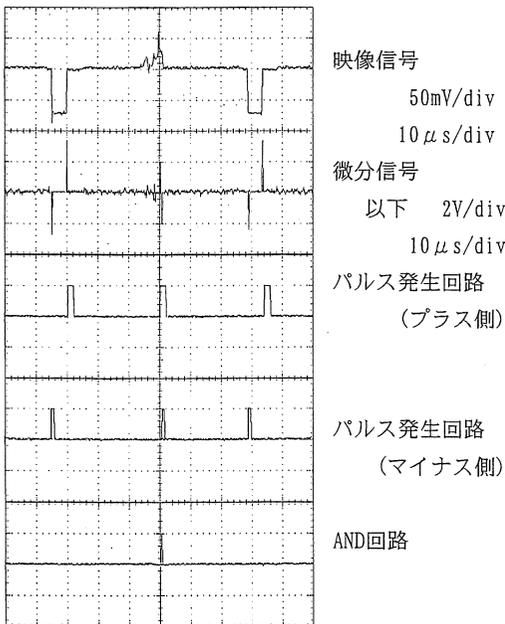


図6 ビーム幅選別回路の実際の波形

路では、パルス発生回路から送られてくる信号のANDをとった。これにより、細く集光されたレーザの戻り光だけを出力した。

3-3-3 ゲート回路

ゲート回路は、同期信号分離回路、パルス発生回路 (2つ)、NAND回路、AND回路から成っており、検出領域を任意に設定するために作られた回路である。垂直・水平同期信号とゲートパルスの波形を図7、図8に示す。

まず同期信号分離回路では、CCDカメラのビデオ信号から垂直同期信号と水平同期信号を取り出している。そして取り出された同期信号の立ち上がり、立ち下がりからそれぞれからパルスを作り、このパルス幅を可変にすることによって検出領域を変化させている。この動作を垂直同期信号と水平同期信号のそれぞれについて行う。次にパルス発生回路で作られた2つのパルスのNANDをとり、それぞれのゲート範囲を設定している。そして最後に垂直同期信号からのNANDと、水平同期信号からのNANDを取る。これによって、検出距離と検出角度を任意に設定することができる。

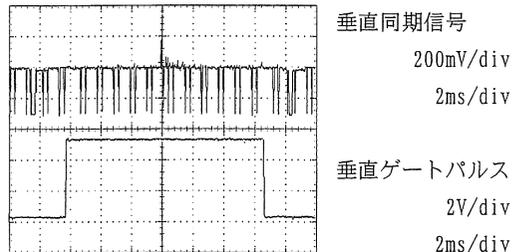


図7 垂直同期信号とゲートパルス

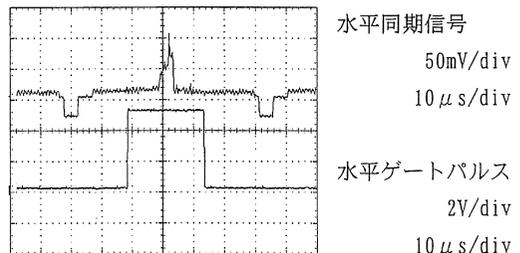


図8 水平同期信号とゲートパルス

4 測定結果と考察

4-1 測定条件と照度設定

本研究は無人搬送車に取り付けるセンサを作るこ

とが目的であるので、本来は無人台車に取り付けて測定を行うべきだが、ここではレーザエリアセンサを固定し、逆に障害物を移動させて測定を行った。

障害物には幅6[cm]の白い紙を用いて測定を行った。また、測定では障害物の受光面がCCDカメラと垂直になるようにして行った。

照度設定のために、室内に暗幕を張り太陽光が入射してくるのを防いだ。各照度の設定には蛍光灯と照度計を用いた。蛍光灯で障害物を照らして意図的に外乱光を作り出し、照度計でその時の照度を測り、目的の外乱光を作り出した。

4-2 レーザ光と外乱光の比

外乱光を強くしていくとレーザの戻り光がどのように変化するかを調べた。この結果を図9に示す。

図より距離が近いときほど戻り光が強いことが分かる。そのため1[m]では6000[lx]、2[m]では8000[lx]でCCDカメラが飽和している。また、2000[lx]でレーザ光と外乱光の比が等しくなり、4000[lx]ではレーザ光は外乱光の半分の大きさになっている。

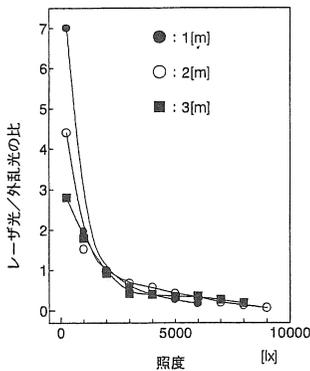


図9 レーザ光と外乱光の比

4-3 照度別検出領域

外乱光の強さによって検出領域にどのような違いが見られるか調べるため、垂直ゲート信号と水平ゲート信号をいっばいに開き、最大検出領域を調べた。この結果を図10に示す。

図より照度が高いときほど検出領域が狭いことが分かる。これは、照度を上げると受光する外乱光が強くなるため、ビーム幅選別回路で用いた増幅回路のゲインを下げた結果、距離が遠くなるとレーザの戻り光を良く微分できず、パルス発生回路でパルスが作れなかったためだと考えられる。

またグラフより、4000[lx]くらいまでなら距離300[cm]、幅150[cm]の検出領域が得られることが分かる。これは衝突防止センサとしては十分広い検出領域である。同じレーザパワーでも、光強度を基にした方法では1000[lx]程度の外乱光にしか耐えられなかったのに対し、ビーム幅選別方式では耐えられる外乱光が4000[lx]にまで上がった。これはこれまでの研究と比べて約4倍である。

また、4000[lx]というのは図9を見てみると、レーザ光が外乱光に対して半分の大きさであり、レーザ光が外乱光よりも小さくてもビーム幅選別方式なら障害物を検出できることが分かる。

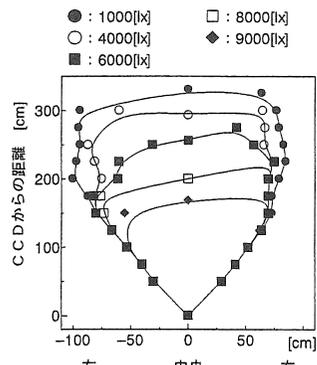


図10 照度別検出領域

4-4 誤差

4-4-1 照度別検出特性

障害物を検出、測定する際に、どれだけの正確性があるかを確かめるために、中心ライン上各距離1[m]、2[m]、3[m]のところであらかじめゲートを設定し、障害物を遠くから近くに近づけていき、LEDが点灯したところの距離を求め、照度別の検出特性を調べた。この結果を図11に示す。

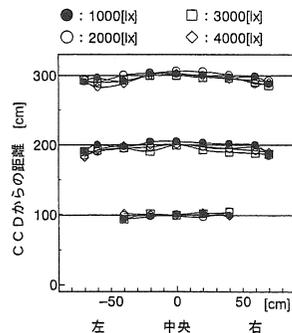


図11 照度別検出特性

図より、照度によらずほぼ同じ位置で動作しており、バラツキが少ないことが分かる。照度別に特性を見てみると、各距離の中心ライン上では設定した位置で動作できている。距離が遠くなり、領域の端の方に行くに従って動作位置に差が出ていることが分かる。

4-4-2 照度別検出誤差

図11での誤差を調べるため、各距離、各照度での検出領域中央での誤差をそれぞれ0%とし誤差を表した。この結果を図12に示す。

各距離での照度による誤差を比べると、中心ラインをはずれ、領域の端の方に行くにしたがって誤差が大きくなっていることが分かる。これらの誤差がでる原因として、レンズの収差による画面の歪みや戻り光の強さの違いが考えられる。

しかし、最大誤差は8%程度に収まっており、衝突防止センサとしては十分な精度であると言える。

図10と比較してみると、照度によって検出領域は大きく変わるが、誤差はさほど変わらないことから、検出領域内でゲートを設定すれば、照度によらず十分に障害物を検出できることが分かった。

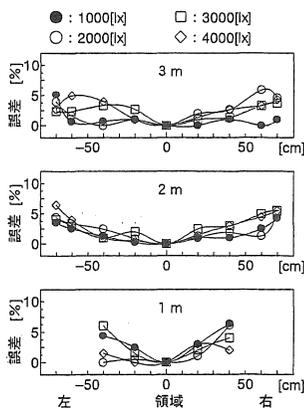


図12 照度別検出誤差

5 総括

我々の研究室では、無人搬送車のための衝突防止センサを実現するため、半導体レーザとCCDカメラを用いた簡単なセンサ製作した。これは誤差やバラツキが少なく十分な精度を持っていたが、外乱光に弱いという欠点があった。そこで本研究では特に、外乱光に強いセンサを実現することを目的とし、研究を行った。

このセンサはLDから発振されたレーザ光が障害物に当たり、その戻り光をCCDカメラで受光し、CCDカメラの映像信号を信号処理して検出を行う仕組みである。

障害物の検出には、外乱光と戻り光の区別を行う「ビーム幅選別方式」という方法を考案した。そのためにCCDカメラを縦横90度傾け、一水平走査期間中に光ビーム幅に相当するパルスを出力するようにした。CCDカメラから送られてきた映像信号を微分し、微分の立ち上がりとしち下がりからそれぞれパルスを作る。それらのパルスのANDを取ることで、細く集光された光だけを出力するようにした。また、立ち上がりから作られるパルス幅を可変にし、4[mm]以下の細い光だけを選別して出力するようにした。これにより、レーザ光幅よりも細い光に作動するレーザエリアセンサが実現した。

一方、CCDカメラの映像信号は垂直同期信号と水平同期信号に分離し、それら二つの同期信号からゲートパルスを作り、ゲートパルスのANDを取ることで検出領域を任意に設定できるようにした。

この方法で測定を行い、これまでの研究では1000[lx]までの外乱光にしか耐えられなかったセンサが、4000[lx]まで耐えられるようになった。また誤差に関しては、最大誤差が8%以内に収まった。これは衝突防止センサとして十分な精度を持つと言える。

今後の課題としては、もちろん直射日光のような強い光の下でも駆動するレーザエリアセンサを実現することである。また、可視カットフィルタではなく、干渉フィルタで測定を行ってみるのも課題にあげられる。

参考文献

- 1) 高橋清、小長井誠：センサエレクトロニクス、昭晃堂
- 2) 水野雄一郎、津田紀生、山田諄、古橋秀夫、内田悦行：無人台車の広視野衝突防止センサに関する研究、愛知工業大学研究報告Vol. 32(1997)、山田諄、水野雄一郎、津田紀生、古橋秀夫、内田悦行：検出領域可変な広視野衝突防止センサシステム、レーザ研究Vol. 25(1997) 870
- 3) SHARP : SEMICONDUCTOR DATA BOOK

(受理 平成11年3月20日)