検出領域可変な広視野衝突防止センサシステム

山田 諄, 水野 雄一郎*, 津田 紀生, 古橋秀夫**, 内田悦行**

愛知工業大学電子工学科 (〒470-03 豊田市八草町八千草)

*株式会社中日電子 (〒584 名古屋市緑区鳴海町伝治山)

**愛知工業大学情報通信工学科 (〒470-03 豊田市八草町八千草)

Wide-View Collision Avoidance Sensor System with Variable Detected Area

Jun YAMADA, Yuichiro MIZUNO*, Norio TSUDA, Hideo FURUHASHI**, and Yoshiyuki UCHIDA**

Department of Electronics, Aichi Institute of Technology, Yachigusa, Yakusa, Toyota 470-03

*Chunichi Denshi Co. Ltd., Dennjiyama, Narumi, Midori-ku, Nagoya 458

**Department of Information Network Engineering, Aichi Institute of Technology, Yachigusa, Yakusa, Toyota 470-03

(Received September 12, 1997)

A new type of collision avoidance sensor system to detect an obstacle in a wide area for unmanned trucks has been developed. This sensor system is composed of a semiconductor laser and a CCD camera. The sensor can detect an obstacle in wide area, because a sheet-like laser-beam is used for illumination and a CCD camera is used as a two-dimensional area sensor. The signal from the CCD camera is processed by a simple analog circuit without a complex image processing. The detected area of the sensor system can be varied in any distance and any width by the gate pulse signal which is made from the synchronising signal in video signal. It is concluded that this simple device is possible to be used as a wide-view collision avoidance sensor system with a variable detected area.

Key Words: Safety device, Wide-view collision avoidance sensor system, Semiconductor laser, Unmanned trucks

1. はじめに

我が国のような工業生産国において、工場における搬送システムとしてベルトコンベアを使用することが多いが、搬送システムの自動化がますます進み、より一層の生産性の向上と省力化が求められている。その為、生産ラインの変化や取り扱い物の変化に柔軟に対応できる搬送システムとして、無人搬送車が多く導入されている。無人搬送車を導入することにより、工場内で専用通路を設ける必要がなく、一般作業者の通路を利用できるようになる。しかし、安全性の面からみると、作業者やその他の物が、無人搬送車にとっては障害物となることがある。そのため、衝突を防止するために何らかの安全装置を設ける必要がある。

一般に、無人搬送車の衝突防止センサとして、超音波を用いた方法や光電スイッチを用いた方法があるが¹⁾、超音波を用いた場合、工場内の騒音などによって誤動作を起こす場合がある。また、光電スイッチを用いた場合、一次的にしか障害物を監視できないので、広範囲で検出するためには、複数個用いなければならないが、それでも不監視領域が生じてしまう。また、受光量のみで反応するので、障害物の種類によっては誤動作を起こす場合がある。

これらの欠点を解決するため、半導体レーザーとCCDカ

メラによる比較的簡単な装置を用いた、騒音による誤動作がなく、広範囲に検出可能な衝突防止センサシステムを新たに考案した。半導体レーザーの前面にシリンドリカルレンズを取り付け、垂直方向だけを集光させ、水平方向はそのままレーザー光の広がるシート状レーザービームを前方に照射し、CCDカメラを二次元エリアセンサとして用いることにより、広範囲で検出できるようになる。この場合、CCDカメラからの信号を画像処理ボード等で複雑な後処理を行うのではなく、アナログ的に回路を構成するため、検出回路が簡単で応答速度が速いという特徴がある。

本研究では、このような特徴を活かし、無人搬送車をより安全に停止させる比較的簡単な装置で、小型且つ安価な広視野衝突防止センサシステムを試作し、その有用性を調べることを目的とした。

2. センサシステムの原理と構成

2.1 センサシステムの原理

本研究の原理を説明するための概念図をFig.1に示す。光源として、半導体レーザー(LD)を用い、その前面にシリンドリカルレンズを取り付け、水平方向に広がったシート状のレーザービームをつくる。ここで、レーザー光軸をx軸に、水平方向をy軸に、高さ方向をz軸に取る。レーザー光軸

Fig.1 Basic concepts of a collision avoidance sensor system.

からz方向へ、ある高さのところにCCDカメラを設置する。レーザー光が障害物に照射され、反射散乱した光を、可視カットフィルタを前面に取り付けたCCDカメラで検出する。カメラに傾きを持たせることにより、点Aから、点Bまでの映像信号を取り込むことができる。このとき、近くの点Cでの戻り光は、画面の上の方、つまり、垂直同期信号から近いところに輝度信号が現れ、また遠くの点Dでの戻り光は、画面の下の方、つまり、垂直同期信号から、点Cよりも遅いところに信号が現れる。このように、x方向の距離情報を垂直同期信号からの時間で表すことができる。そこで、同期信号から任意の遅れと任意の幅を持つゲートパルスを作り、ゲートパルスの遅れ時間やゲート幅を変えることにより、検出できるx方向の距離範囲を任意に変えることができる。

この衝突防止センサシステムは、三角測量法を利用し²⁾、CCDカメラを2次元エリアセンサとして用いているが、コンピュータによる2次元画像処理を行うのではなく、同期信号からの1次元時系列処理を行うだけなので、信号処理回路は簡単なアナログ回路で構成でき、応答速度が速いという特徴を持つ。

2.2 システムの構成

本研究において試作した装置のブロック図をFig.2に示す。システムは投光部、受光部、及び検出回路からなる。

2.2.1 投光部

投光部は、LDとシリンドリカルレンズからなる。LDを一つだけ用いた場合、CCDカメラの視野全体にレーザー光が十分拡がらないため、LDを二つ使用し投光ビームを拡げることで、検出領域を拡げた装置を試作した。使用したLDは、シャープ製のLT022PDで、発振波長780nm、定格出力3mWである。本研究では、光出力2.4mWの連続光として使

Fig.2 Block diagram of a collision avoidance sensor system.

用した。シリンドリカルレンズは、大きさ12mm×25mm、焦点距離12.5mmであり、レーザー光が3m先で集光するように調整した。これにより、レーザー光は垂直方向だけが集光され、水平方向はそのままレーザー光の拡がりが残る。実際には、CCDカメラからのビデオ信号をモニタに接続し、モニタによりレーザースポットの幅を測定しながらLD-レンズ間の微調整を行った。その結果3m付近でのレーザー光の垂直方向の幅は約5mmであった。

2.2.2 受光部

CCDカメラは、A Shin Electronics Co., LTD.製のASC-307M-AAで、レンズ付きOEMタイプの安価なモノクロカメラである。レンズの収差をモニタを通して測ったところ、40cm先での最大の収差は、2.7cmであった。また、このカメラのレンズも3m付近で焦点が合うように調節した。カメラの前面にシグマ光機製の可視カットフィルタSCF-50S-70Rを取り付けることにより、波長700nmより長い波長だけを通過させることができる。このCCDカメラの視野角は、全角で、水平方向72.8°、垂直方向54°である。レーザー光軸からカメラの中心までの高さは、8-30cmの間で可変出来る構造になっているが、実験の結果高さが低いほど検出領域が広いことが分かったので、本報告では高さ8cmの結果についてのみ述べる。

2.2.3 検出回路

CCDカメラのビデオ信号から、垂直同期信号を取り出す。これから、ワンショット・マルチバイブレータを用い、CR遅延回路によりある幅を持たせたパルスを二つ作る。このパルスを組み合わせることによりパルス幅可変の垂直ゲートパルスを構成することができる。同様に、水平同期信号から水平ゲートパルスを作る。この二つのゲートパルスのANDを取ることで、複合ゲートパルスを作ることができる。

また、コンパレータによって、映像信号をしきい値と比較させた。しきい値を設定することで、外乱光で動作しないようにしている。コンパレータの出力と複合ゲートパルスとのANDを取ることで、ゲートパルス内に障害物があるかないかを判断できる。本研究では、AND回路の出力でLEDが点灯するようにした。

2.3 出力波形

試作した検出回路の各部における実際の出力波形をFig.3に示す。Figure 3(a)が、CCDカメラのビデオ信号である。波形の中央部分がレーザー光の反射光で明るくなり、信号として現れているのが分かる。また、垂直帰線期間から、Fig.3(b)に示す垂直同期信号を取り出す。垂直同期信号Aと垂直同期信号Bとの間が、1/2画面を表している。垂直同期信号からFig.3(c)に示されるような垂直ゲートパルスを作る。垂直ゲートパルスの間に、あるしきい値以上の映像信号が現れたとき、Fig.3(d)のような出力信号が現れる。設定したゲート以外の時刻に、しきい値以上の映像信号が現れても、出力信号は現れない。したがって、垂直ゲートパルスの位置、幅を変えることによって、障害物を検出できるx方向の距離範囲を変えることが出来る。

また、Fig.3(e)は、この映像信号の一部を拡大したものである。負の方向へ等間隔で付加されているのが水平同期信号を表している。水平同期信号からの時間が、水平方向(y方向)の位置を表す。この水平同期信号から、Fig.3(f)のような水平ゲートパルスを作ることにより、障害物を検出できるy方向の幅を変えることが出来る。

垂直ゲートパルスと水平ゲートパルスを組み合わせることにより、Fig.4のように、任意の幅、距離にゲートを設定することができる。また、これを応用しゲートパルスを複数用いることで、Fig.4に示すような複数の領域を同時に検出することも可能である。

3. システムの性能試験

3.1 性能試験の条件

本研究では、レーザー光が障害物に当たり、反射散乱した光の一部をCCDカメラにより受光し、障害物の有無を判

Fig.3 Output signal waveforms from a CCD camera.

Fig.4 Schematic for explanation of a variable detected area by a combined gate pulse.

断する。可視カットフィルタを取り付けることにより、波長700nm以上の光のみが受光されるようにしたが、太陽光や蛍光灯のような外乱光には、波長700nm以上の赤外光も含んでおり、CCDカメラへの受光量が飽和してしまう程の強い光が入射した場合、またはレーザー光が反射散乱してきた戻り光量よりも強い光が同時に入ってきた場合には正常に動作しない場合があった。

そこで、基礎的な性能試験を行うために、外部から直接太陽光が入らないような実験室内で、蛍光灯を点灯し照度数100-1000lxの状態で行った。また、上部から蛍光灯の光が直接CCDカメラに入らないように、CCDカメラの上にひさしを取り付けた。

また、本来は、無人台車に取り付けるべきものであるが、試験的に、試作した衝突防止センサを固定し、障害物を近づけることで、その特性を調べた。

障害物として材質や色の異なるものを用いたが、大きさは全て幅6cm、長さ15cmのものを用いた。障害物は、センサの中心軸と障害物表面の垂線が、ほぼ平行になるように置いて測定を行った。

3.2 検出領域

最初にレーザー光がどの程度広がっているかを調べた。障害物をセンサの中心線からセンサに平行でy方向にずらして行き、センサが応答する境界をx方向の各距離で求め、これを検出領域とした。距離50cmにおける検出領域の広がりを、最大検出角度とすると、LD一つの時は全角で約60°であった。これはCCDカメラの水平方向の視野角より狭い。そこで、LDを二つ使い、二つのLDを左右に約10°傾けて設置し、レーザー光をカメラの視野角全体に広げた。その結果、LDを二つ用いたときの最大検出角は約73度であった。

本センサシステムにおいては、コンパレータのしきい値の設定によって、検出領域に差が生じる。そこで、しきい値を200mV、250mV、300mVと変化させ、実際の検出領域を求めた。しきい値が低いほど検出領域は広がるが、あまり低すぎると外乱光との区別が十分でなく誤動作を起こす恐れがある。また、しきい値を高く設定すれば外乱光に対してより強くなるが、検出領域は狭くなる。そのため、しきい値を200mVとして以後の試験を行った。

障害物として、同じ大きさで色々な材質を用いたときの

Fig.5 Detected area for various materials.

検出領域の試験結果をFig.5に示す。縦軸はセンサからのx方向の距離を示し、横軸はセンサの中心からセンサから見て右側をプラスで、左側をマイナスとしたy方向の距離を表す。ここでは、白い紙の他に、木材、布、プラスチック、段ボールを用いた。木材は地肌そのままの角材を、布は濃紺のジーパンの切れ端を、プラスチックは淡い黄色の光沢のないものを用いた。白い紙を用いたときは、最大検出距離4.5m、距離2.5mにおいて最大検出幅160cmが、距離3mにおいて検出幅150cmが得られた。また、布でも、センサから3m離れたところで、およそ100cmの検出領域があるのが分かる。全体的に布以外は、センサから3m離れたところでも、150cm以上の検出領域があることが分かった。

障害物の材質を紙として、色を変えたときの検出領域の違いの試験結果をFig.6に示す。ここでは、青、黄、赤、緑の光沢のない折り紙を用いた。青、緑以外は、ほとんど同じような検出領域を示した。青、緑はレーザー光を他の色の紙よりも吸収してしまうため、検出領域が少し狭くなったものと思われる。それでも、青い紙での最大検出幅は、センサから2.5m離れたところで、140cmもあることが分かる。このように障害物の材質や色により、戻り光量が異なるため、検出領域に差が現れる。しかしここで求めた検出領域は、このセンサにより検出できる最大の領域であり、例えばゲートの設定により距離3mで検出幅120cmとすれば、ここで試験したどの障害物でも検出できる。

実際にゲートを設定したとき、白い紙の障害物による検出結果の一例をFig.7に示す。これは、ゲートを距離2-4mに、幅を4mの所で中心線から左側は20cmに、右側は40cmに設定したときの結果である。この時の検出結果を実線で、また、ゲートを設定しないときの最大検出領域を点線で示す。このように、センサとして働く領域を、中心線から非対称な任意の範囲に設定して使用することも可能であることが分かる。これは無人台車が壁に沿って走行するとき、壁側の一部を不感帯にしたり、左折するとき右側を不感帯にするなど、実用上重要な機能となる。

Fig.6 Detected area for various color papers.

Fig.7 Example of an asymmetric detected area with the combined gate pulse.

る。

3.3 検出誤差

次に、白い紙を用い、センサの中心線上でセンサからの距離が1m、2m、3mの地点で応答するようにあらかじめゲートを設定しておき、各場所、各材質において、それぞれ遠くから障害物を近づけていき、LEDが点灯し始めた距離を5回測定して、検出特性やバラツキ誤差を求めた。ここでは材質として、白い紙、木材、布の3種類を用いた。

センサが動作し始めた距離を、5回測定したときの平均値をFig.8に示し、これを検出特性とする。このように、材質に関わらず、ほぼ同じ距離で応答していることが分かる。しかし、中心から離れた所では、少し誤差が増えている。これは、安価なCCDカメラを用いたため、レンズの収差により画面の両端へ行くに従って、画像が歪んでしまうためだと思われる。また、本来検出特性は、左右対称になるはずであるが、左端の方が誤差が大きい。これは、各設定距

Fig.8 Detected characteristic for three materials at each distance.

離において同じような傾向を示しているの、CCDカメラやレーザー光軸の取り付け誤差によるものと思われる。しかし、検出誤差は両端を除き5%以内に収まっている。

同じ条件でセンサが動作し始める距離を、5回測定したときのバラツキ誤差をFig.9に示す。各材質ともほぼ同じようなバラツキ誤差特性を示している。中央部におけるバラツキ誤差は0.5%以内であり、両端にいくに従い、又距離が長くなるに従い誤差が増えている。これは両端や、距離が長くなると受光光量が減少するためであると考えられる。しかし、バラツキ誤差は2%以内に収まっており、衝突防止センサとしては十分な精度があると思われる。

前節で述べたように検出領域は障害物の材質や色により異なる結果が得られたが、検出領域内にゲートを設定して用いれば検出特性や誤差が障害物によらないと言う点が、このセンサの特徴の一つである。これは戻り光量ではなく、距離情報により検出しているためである。

4. まとめ

半導体レーザーとCCDカメラを用いた、検出領域可変な

Fig.9 Error characteristic in 5 measurements at each distance.

広視野衝突防止センサシステムを新たに考案し、試験機を試作し、その有用性について検討した。その結果、比較的簡単な装置で広視野衝突防止センサとして使用できる可能性があることを明らかにした。

今回試作した衝突防止センサシステムの特性として、最大検出距離は約4.5mで、最大検出幅は距離2.5mにおいて約1.6mが得られた。バラツキ誤差は、材質によらず2%以内に収まり、衝突防止センサとしては十分な特性を持つことが分かった。また、本装置は、材質によらずにほぼ一定の距離で動作する、複雑な画像処理を行う必要がなく応答速度が速い、センサとして働く領域を任意に設定して使用できる等の特徴を持つ。しかし、外乱光対策に関しては、まだ十分であるとは言えない。

今回は、試験的に障害物を動かすことでその基礎的な特性を調べたが、実際に無人台車に取り付けて、工場内の粗面上での移動や振動による影響などについても今後検討を重ねる必要がある。

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, 1984).
- 2) レーザー協会編集: レーザー応用技術ハンドブック(朝倉書店, 1981).