

小型移動ロボット用バンパシステムの開発

橋本 達矢 (筑波大) 大矢 晃久 (筑波大) 油田 信一 (筑波大)

Development of Bumper System for a Compact Mobile Robot

Tatsuya HASHIMOTO, Akihisa OHYA, Shin'ichi YUTA (University of Tsukuba)

Abstract— The purpose of this research is the development of a practical and safe bumper system for a compact mobile robot. In this research work, we have aimed for a bumper system useful in both hardware and software aspect. A sponge and micro switches enable this bumper to perform a contact detection without any blind spot. The bumper moreover has a shock-absorber to prevent the robot from being damaged and error of odometry to occur in the case of a collision, thus allowing the robot to resume reliably its current task. Our relay circuit makes the wheels of the robot servo-free automatically when bumper sensor detect touch, and keep this state therefore alleviating a burden in software to watch frequently the condition of bumper. In order to detect reliably obstacles in an unknown environment, our bumper system was placed proximity sensors at the floor-level with the possibility to select its orientation. In the end, collision tests were performed to evaluate our system.

Key Words: Mobile Robot, Bumper, Collision, Shock-absorber, Relay, PSD sensor

1. はじめに

近年、移動ロボットはその活躍の場を様々な環境へ広げつつある。ロボットがその環境内で行動するためには、周りの状況を知ることが必要不可欠である。広範囲の周辺環境を認識する方法としては、レーザーレンジセンサやカメラを用いるものが挙げられるが、これらの方法には死角が存在したり、その色や材質により検知できない物もある。センサ等で捕えられなかった障害物にロボットが接触したとき、この接触を検知できないと、無理に進もうとして対象を損傷させたり、ロボットの故障を招くことになる。このような事態を回避するため、移動ロボットには接触を検知するセンサが備わっていなければならない。また、障害物に接触してしまった際にその衝撃からロボットや対象を守るための緩衝機構も必要となる。緩衝機構があれば、オドメトリ誤差の要因となる接触時の車輪の滑りを軽減することもできる。したがって移動ロボットには、接触検知と緩衝機能を兼ね備えたバンパセンサを装備すべきである。

既存のバンパセンサとしては、導電性ゴムを使用したものや、緩衝材とテープスイッチから構成されたもの¹⁾などがあるが、これらにはロボットの安全装置としてまだ改善できる点があると考えた。そこで本研究では、40cm 立方程度の大きさの小型ロボットを対象に、バンパセンサに求められる機能を実現し、なおかつ非接触センサによる接触前障害物検知が可能な新しいバンパシステムの開発を行った。

2. バンパセンサ

2.1 バンパセンサが持つべき機能

本研究では、バンパセンサに求められる機能を検討し、新たに開発するバンパセンサが持つべき機能を以下のように定めた。

- 物体の接触を確実に検出するため、盲点(死角)のない接触センサを装備する。
- ロボット本体を守ると同時に、衝撃によって車輪が滑るのを防ぐため、緩衝機能と接触時にモータへの電力供給を自動的に遮断する機能を備える。また、バンパがロボットの動作の邪魔にならないよ



Fig.1 開発したバンパセンサ

うに、バンパシステム全体として小さくまとめる。

- 死角になりやすいロボット前方の床付近を監視するとともに、可能な限り衝突前に物体の存在を検出するため、非接触センサによる障害物検知を行う。

2.2 バンパセンサの構造

上記の機能を実現するため、様々な試作を行った結果、完成したシステムについて以下に記述する。

バンパセンサの概観を Fig.1 に示す。このバンパセンサは、Fig.2 の構造図に示すように、正面部分に3つ、左右にひとつずつマイクロスイッチを配置し、緩衝材を取り付けたものを、十字形に裁断した厚さ4mmのスポンジ1枚で覆うような形態になっている。マイクロスイッチは十字形のスポンジに内側から押しつける状態で配置されており、通常はスイッチがONになっている。スポンジ表面に物体が当たると、スポンジの端が外側へ膨らむためにマイクロスイッチへの押さえ込みがなくなり、スイッチがOFFになる (Fig.3)。この動作によって物体の接触を検知する。スポンジは、いくつかの素材を比較検討した上で、バンパ表面にはポリエチレンを、緩衝材にはモルトスポンジを用いることとした。

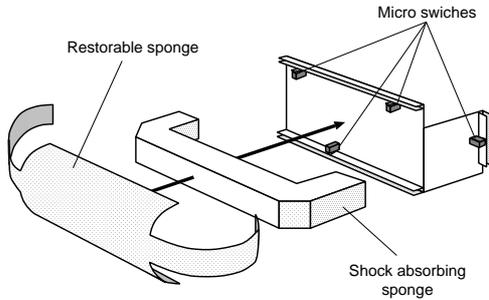


Fig.2 バンパセンサの構造図

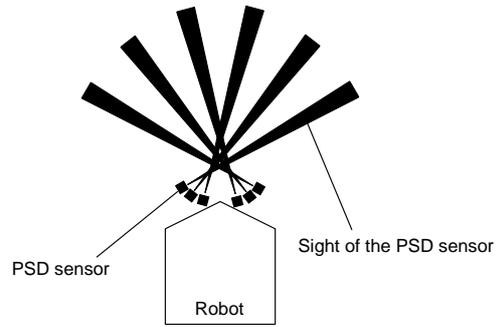


Fig.5 PSD センサの配置

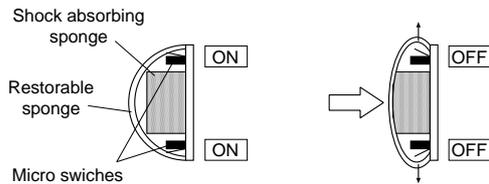


Fig.3 接触時のバンパセンサの動作

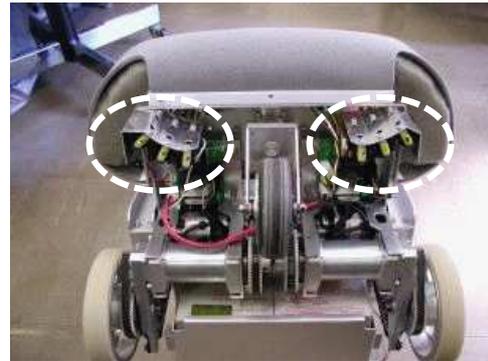


Fig.6 バンパ下部に装着した PSD センサ

3. 非接触物体接近検知センサ

3.1 PSD センサの特徴

非接触で物体の接近を検知するために使用するセンサについて検討した。このセンサは、ロボットに接触する前に障害物を検知することから、数十 cm の検出範囲を持つものが望ましい。また、バンパに装備するため、小型・軽量でなければならず、安価である方がよい。以上のことを考慮して、この非接触センサには SHARP 製 PSD センサ GP2D12 を使用することとした。Fig. 4 にその概観を示す。

GP2D12 は赤外線式で、センサからおよそ 80cm までの測距が可能である。内蔵された回路により、対象物までの距離に応じたアナログ電圧を出力し、距離と出力電圧の関係はほぼ反比例のグラフを描く²⁾。この出力電圧から、適当なパラメータを用いた変換式によって PSD センサと対象との距離を得ることができる。

このセンサは外部回路を必要とせず、対象の色や材質の影響を受けにくい。また、指向性が強いために特定の軸上にある対象物のみを捕えることができる。よって複数の PSD センサを適切に配置することで、状況に応じた有効な使い方ができると考えた。



Fig.4 PSD センサ (SHARP 製 GP2D12) の概観

3.2 PSD センサの配置

この PSD センサは、主にロボット上部に取り付けられたカメラや距離センサの死角となりやすいロボット周辺の低い領域を監視するためのものであり、バンパセンサと互いの検知領域を妨げないためにもバンパ下

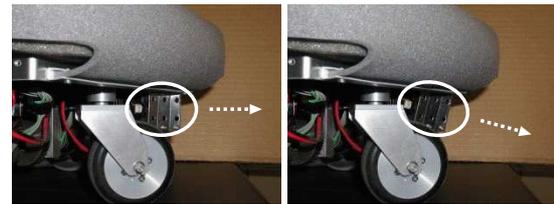


Fig.7 PSD センサの取り付け角度 (左:正面向き、右:下向き)

部に取り付けることとした。また一般的に使用されている超音波センサでは斜め前方の壁を検出することが困難であるため、PSD センサでロボットの斜め前方を監視すれば効果的だと考えられる。

そこで、Fig.5 で示すように、個々の検出範囲が交差するような配置を検討した。PSD センサを放射状に配置すると、その強い指向性故にそれぞれの検出範囲間に位置する障害物を検知できないという問題が生じる。このような問題を回避するためには、検出範囲を交差させる配置が有効である。

実際に PSD センサを配置した状況を Fig.6 に示す。これは、アルミ板の内側にセンサを配置することで、センサの破損を防ぎ、アルミ板に開けた穴から赤外線の投光・受光を行うことで外乱を入りにくくした。また、Fig.7 に示すように、バンパ台座への取り付け角度を変えられるようにした。これは、ロボットが行動する環境によって PSD センサで監視する領域を変更できると便利だと考えたからである。例えば、ロボットのために整備された屋内環境で使用する場合は、センサが地面に対して平行な方向を向くように取り付けすることで広範囲を監視することができる。一方、整備されていない屋外などの環境で使用する場合は、少し下向きに取り付けて前方の地面を監視することで、ロボットの行動を妨げる段差や障害物を検知できると考えた。

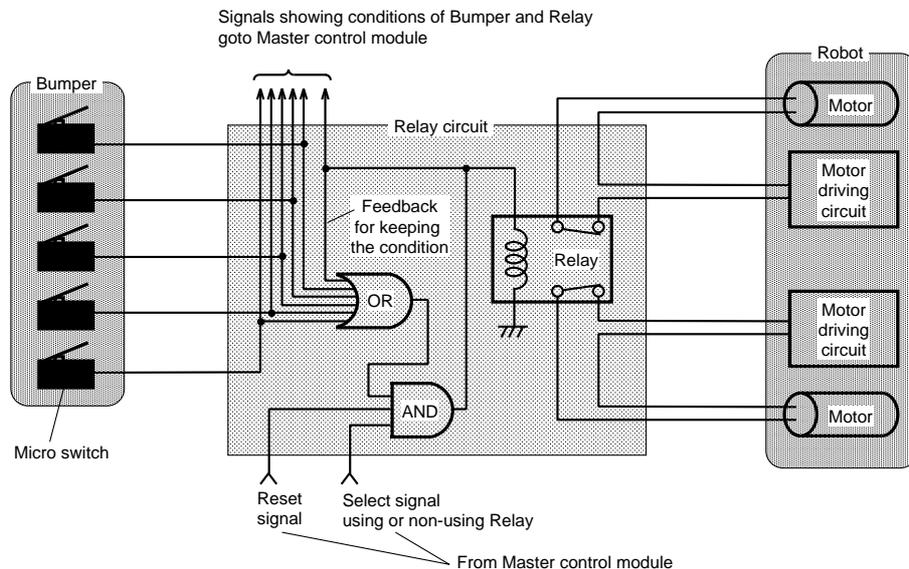


Fig.8 リレー回路の概略図

4. インタフェース

開発したバンパセンサを使用する際に、ロボットの統括制御部にセンサデータを取り込むためのインタフェースを用意した。

4.1 リレー回路による電源遮断

ロボットの安全と、衝突時に生じるオドメトリ誤差を軽減するため、バンパセンサで接触を検出すると同時にモータとモータドライバ回路を切断するリレー回路を開発した。Fig.8にリレー回路の概略を示す。このリレー回路は、通常は接点が閉じられていて回路的に接続された状態にあるが、バンパセンサに内蔵された5つのマイクロスイッチのいずれかが障害物の接触を検出するとリレーの操作コイルに電流が流れ、モータとモータドライバ回路との接点を開放するものである。これはたつきによって、モータには電力が供給されずフリー状態が実現される。

しかし、マイクロスイッチが障害物の接触を検出している間だけ回路を切断したのでは、衝突の反動でロボットが後退し障害物から離れると、回路が接続されて再び障害物に向かっていくという事態が発生する。このような問題を避けるため、リレー回路には一度接触を検出して回路を開放すると、その状態を保持する機能を備えた。この機能により、ロボットが異常な動作を起こした場合でもバンパセンサを押すことで簡単にその動作を止めることが可能となる。このフリー状態の保持は、リセット信号を入力することで解除できるようにした。ただし、ロボットが障害物に接触した状態で停止すると、リセット信号によってフリー状態を解除しても、またすぐにフリー状態になってしまうため、その状態から脱出することができなくなってしまう。そこで、リレーの使用/不使用を選択する信号を用意することで、ロボットが動作中にソフトウェア的にリレーの使用状態を切り替えられるようにした。

ロボットが障害物の接触やリレー回路の動作を認識できるように、リレー回路からは5つのマイクロスイッチとリレーの状態を6ビットのセンサデータとして出力し、これをロボットの統括制御部にパラレル I/O を通して取り込む。

4.2 インタフェース回路

バンパセンサは広範囲を監視するセンサが見落とししてしまった障害物に接触または接近したことを検出するためのものであり、非常用センサとしての役割を担うことを想定している。よって、バンパセンサや PSD センサから多量または複雑なセンサデータがロボットの統括制御部に取り込まれることで、その処理に時間を取られることは好ましくない。そこで、必要最小限のセンサデータのみを得られるようにインタフェース回路を用意した。その構成を Fig. 9 に示す。PSD センサが出力したアナログ電圧をインタフェース回路で距離データに変換することで、統括制御部の負担を軽減することができる。

このインタフェース回路には H8 マイコンボードを使用している。H8 マイコンボードを用いた理由は、PSD センサ GP2D12 が出力するアナログ値をデジタル化するための A/D 変換器を持ち、センサデータ等の送受信に十分な数の入出力ポートがあるからである。また、シリアル通信が可能なので、今後汎用ノート PC を搭載したロボットでの使用も可能とする予定である。

4.3 ソフトウェア

ユーザーが、プログラム中でバンパセンサからのセンサデータを容易に使用できるようにソフトウェアを整備した。

バンパの状態は Tch_get 関数を、PSD センサの状態は Psd_get 関数を使用して得ることとする。Tch_get 関数は統括制御部の入力ポートの状態をビット列として返す関数で、これによってバンパセンサとリレーの状態を知ることができる。一方、Psd_get 関数は指定した変数へのポインタを引数として渡すことによってそれぞれの PSD センサで測定した距離を得られる関数で、一度呼び出すと PSD センサ 6 つ分の距離をまとめて知ることができる。この時、インタフェース回路と統括制御部の間では、PSD センサの距離データがひとつずつ順番にやりとりされており、関数が呼ばれてから 6 つ分の距離が得られるまでに要する時間は、統括制御部の処理速度にもよるが、およそ 3 ミリ秒である。

以下に関数の仕様を示す。

- unsigned char Tch_get(void);
 - 戻り値: マイクロスイッチとリレーの状態

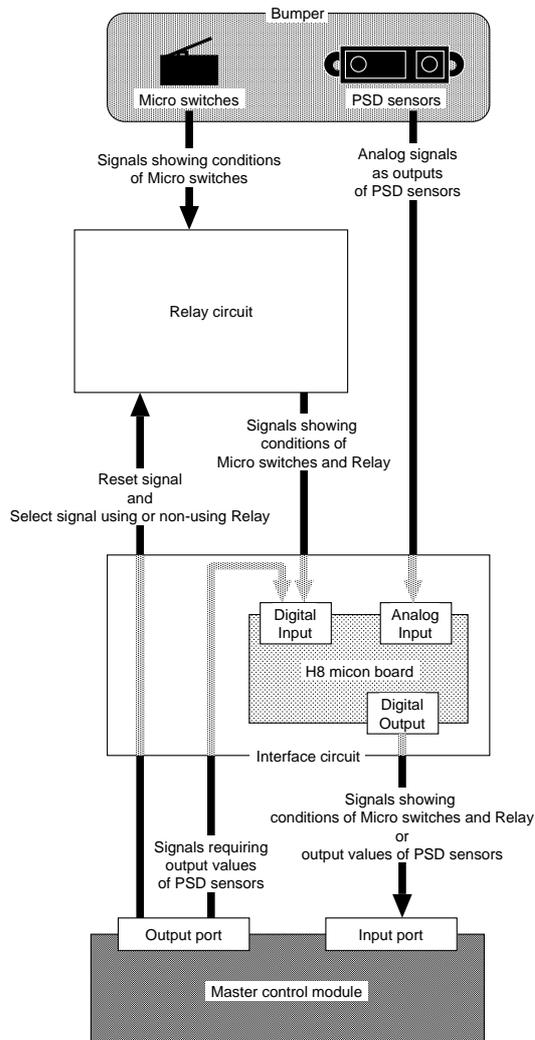


Fig.9 インタフェース回路の構成

- void Psd_get(int &P0, int &P1, int &P2, int &P3, int &P4, int &P5);
 - 引数: 距離が入る変数へのポインタ
 - Px: PSDx で測定した距離が入る変数

5. 評価実験

5.1 衝突実験

開発したバンパセンサが衝突時の衝撃を緩和していることを確認するため、衝突実験を行った。Fig. 10 にその概要を示す。実験では、壁からおよそ 1.5 メートルの位置からロボットを直進させ、入射角 70° で壁に衝突させた。0.1 秒間隔でバンパセンサの状態を監視し、接触を検知するとモータをフリー状態に移行した後、後進でスタート地点に戻る。このとき初期位置からの X 軸方向と Y 軸方向についてのずれを 5 回ずつ計測し、それぞれの絶対値の平均を求めた。この実験を、開発したバンパセンサでリレーを使用しない場合とリレーを使用する場合の 2 種類に関して、いくつかの速度で試みた。実験の結果を Table. 1 に示す。

この結果から、本研究で開発したバンパセンサが衝突時の衝撃を緩和し、車輪の滑りを防ぐのに効果的であることが分かった。また、リレーを使用することで衝突時の車輪の滑りをほとんどなくすと同時に、頻繁にバンパセンサの状態を監視するというソフトウェアの負担も軽減できている。

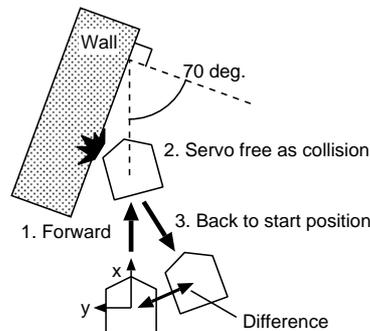


Fig.10 衝突実験の概要

Table 1 X 軸方向と Y 軸方向における初期位置からのずれ

| 速度 | リレー不使用 | リレー使用 |
|----------|--------------|--------------|
| | X 軸方向, Y 軸方向 | X 軸方向, Y 軸方向 |
| 50cm/sec | 2mm, 8mm | 1mm, 4mm |
| 60cm/sec | 2mm, 10mm | 2mm, 3mm |
| 70cm/sec | 3mm, 12mm | 3mm, 2mm |

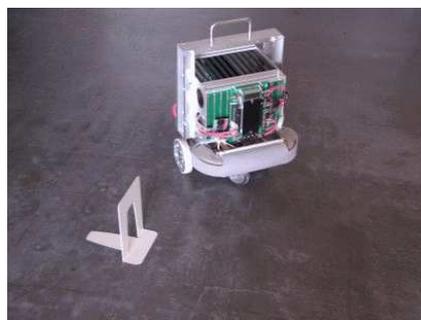


Fig.11 ブックエンドを回避して走行するロボット

5.2 障害物回避実験

PSD センサによって接触前に障害物を検出し、回避できることを確認するため障害物回避実験を行った。その様子を Fig.11 に示す。この実験から、厚みのない金属製のブックエンドや、超音波センサでは検出しにくいスポンジ、斜め前方の壁なども検出できることが確認された。

6. まとめ

安全装置として実用的な障害物の接触・接近検出センサの開発を目的として、新しいバンパシステムの開発とその評価実験を行った。本研究で開発したバンパセンサとリレー回路をロボットに搭載することで、その安全性を高めることができた。また PSD センサを取り付けることで、ロボット周辺の低い領域も監視することができるようになった。

参考文献

- 株式会社東京センサ バンパスイッチ
<http://www.t-sensor.co.jp/BUMPER/TOP/index.html>
- SHARP OPTOELECTRONIC/
POWER DEVICES GP2D12/GP2D15,
http://www.sharp.co.jp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2d12_j.pdf