

マルチエコーセンサを利用した移動ロボットのための障害物検知方法の提案 -環境設置鏡面テープを利用した死角領域の低減とハーフミラーを用いた複数平面の計測-

○佐藤 功太(筑波大) 正 大矢 晃久(筑波大)

Obstacle detection for mobile robots using the SOKUIKI sensor capable of detecting multi-echo -Reduction of blind area using mirror tape and measurement of multiple planes using a half mirror-

○ Kota SATO(Univ. of Tsukuba), and Akihisa OHYA(Univ. of Tsukuba)

In this paper we research the following two applications of the SOKUIKI sensor which able to acquire multi-echo. (1) Applying this sensor to obstacle detection in the blind area using mirror reflection of the laser to the mirror tape installed in the environment. (2) Measuring two direction by dividing laser irradiated from the this sensor with a half mirror into two direction.

Keywords: 測域センサ, 障害物検知

1. はじめに

本研究では、北陽電機株式会社によって新たに開発された、マルチエコーを取得可能な測域センサ(以下マルチエコーセンサと記述)を使った移動ロボットのための障害物検知方法について以下の二つを提案する。マルチエコーセンサとは、単一方向のレーザー光で複数の距離値を測定することができるものである。

(1) 環境設置鏡面テープを利用した死角領域の低減

これまで提案した、環境設置鏡面テープを用いたレーザー式測域センサによる障害物検知方法 [1] において、二つのセンサを使って実現していた機能を、マルチエコーセンサを適用することによって、一つのセンサだけで実現する。

(2) ハーフミラー用いた複数平面の測定

センサから照射されるレーザー光をハーフミラーに当て、透過方向と反射方向に分離することにより、複数方向の距離値を測定する。

本原稿では、各障害物検知方法に対するマルチエコーセンサの適用方法について述べる。

2. マルチエコーを取得可能な測域センサ

2.1 マルチエコーセンサとは

北陽電機社製のレーザー式測域センサは、内部にあるミラーを回転させることでレーザー光を走査し、二次元平面上をスキャンする。レーザー光を投光してから反射光(エコー)を受け取るまでの時間によってセンサから物体までの距離値が得られるものである。この時、投光されたレーザーの照射方向に光透過物質や物体の境目、雨や霧、雪などがあると、それらの物体からのエコーがある一方、その先にもレーザーが照射される。後者のレーザーの先に物体があった場合、双方からエコーが返ってくることになる(図1)。この時、それぞれのエコーから距離値を算出可能なセンサをマルチエコーセンサと呼ぶ。

従来の測域センサでは、一番最初に返るエコーから距離値を算出するのに対し、マルチエコーセンサでは複数のエコーが返ってくる際に、それぞれに対して距離値を得ることが出来る。そのため、光透過物質や物体の境目、雨や霧、雪などによるノイズの影

響に強いという特徴がある。

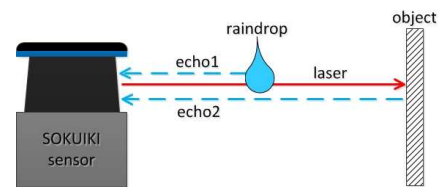


Fig. 1 The multi-echo acquisition

2.2 使用する測域センサ

本研究では、マルチエコーを取得可能な測域センサとして、北陽電機が開発中の UTM-30LX-EW を用いる。UTM-30LX-EW の外観を図2に示し、仕様を表1に示す。UTM-30LX-EW ではマルチエコーを取得可能な数は、最大3つまでとなっている。しかし、UTM-30LX-EW はまだ製品化されていない評価版であり、ここで記す製品名や仕様は製品版で変更の可能性がある。

Table 1 Specification of UTM-30LX-EW



Fig. 2 UTM-30LX-EW

光源	半導体レーザー 905nm
測距範囲	0.1~30m
走査角度	270度
角度分解能	約0.25度
走査時間	25ms
エコー最大取得数	3
サイズ	W60×D60×H85mm
接続形態	ethernet

3. (1) 環境設置鏡面テープを利用した死角領域の低減

3.1 鏡面反射を利用した障害物検知について

本節では、環境設置鏡面テープとマルチエコーセンサを利用した死角領域低減について説明する。これまで、ロボットから死角となる領域の障害物を検出することを目的とした、環境設置鏡面テープを用いたレーザー式測域センサによる障害物検知方法の提

案を行った [1]. その具体的な内容として、環境に設置した鏡面テープにレーザを照射させることにより、本来測定できない方向を計測し、ロボットから死角となる領域の障害物を検出する (図 3). これを移動ロボットの障害物検知に応用することにより、より良い経路計画を実現した.

この提案手法では、鏡面テープにレーザを照射させるセンサと、鏡面テープまでの距離を測定するセンサの二つによってシステムを実現している. 二つのセンサを使用する理由は、一方のセンサを鏡面テープによって反射させた場合、レーザの照射方向が反射面が変わるため、その照射方向を計算するのに、反射面を測定する必要があるためである. しかし、この手法では、二つのセンサデータの同期を取らなければならないことや、二つのセンサを使っているためコストがかかるという問題が存在する.

そこで、この手法において、マルチエコーセンサの適用を考える. マルチエコーセンサを使用した場合、鏡面テープにレーザが反射して物体に当たってから返ってくるエコーと、反射面自体から返ってくるエコーの、二つのエコーを取得することができる. そのため、二つのセンサで実現していた機能を、マルチエコーセンサ一つで実現することができる. ここでは、センサ間の同期や、コストがかかる問題を解決することができる.

以降では、鏡面テープが設置された環境でマルチエコーセンサを使った場合、どのような計測結果が得られるかについて実際の実験結果を示す.

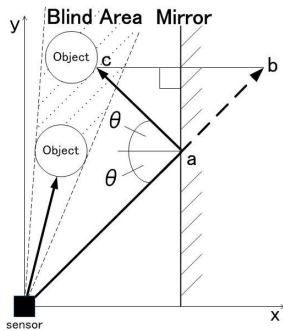


Fig. 3 Object detection in the blind area using mirror reflection

3.2 計測実験

3.2.1 鏡面テープの設置環境

鏡面テープとして使用する素材として、住友スリーエム株式会社製の「プラチナミラー」を使用した. 鏡面テープの設置環境として、エレベータホールに鏡面テープを設置することにし、その設置方法として、幅 10cm のテープを床と水平となるように、エレベータホールを囲むように壁に設置した (図 4, 5).



Fig. 4 The mirror tape

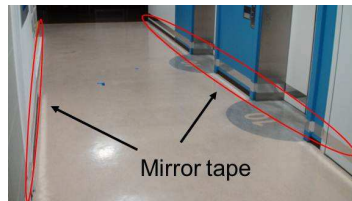


Fig. 5 Setting position of the mirror tape

3.2.2 計測結果

鏡面テープとマルチエコーセンサを利用した計測結果について示す. 図 6, 7 のように、板状の物体をセンサの前方に置き、センサから死角となる板の裏に円筒型の物体を置く. この時、センサを鏡面テープの高さに設置し、どのように計測されるかを見る. その時の計測結果を図 8 に示す. ここで、図 8 は、センサから得られたデータを二次元座標にプロットしたものであり、赤の点はマルチエコーを取得した際に最も短い距離値であり、緑の点は二番目の距離値である. また、青の点は三番目の距離値である.

図 8 において、赤の点では、壁とその間にある板状の物体を検出しているのがわかる. 緑の点と青の点では、壁の向こう側にデータが存在するため、鏡面テープによってレーザが照射し、壁や物体を検出したものと考えられる. 実際に、緑の点の中で板状の物体と思われる点群と、その近くに円筒型の物体を測定したものであると思われるものが見て取れる.

先程述べた通り、レーザが鏡面テープで反射すると、その反射面でレーザの照射方向が変わるため、計測される結果は実際のレーザの照射位置と異なってしまふ. そのため、実際の照射位置への変換が必要になる. レーザは入射角と反射角が反射面で等しくなるという反射の法則に従うため、壁データから反射面を求めることによって、幾何学的に実際のレーザの照射位置を求めることができる [1]. 図 9 は、図 8 を実際の照射位置に変換した結果である. 図 9 において、赤の点は図 8 の赤の点と同じデータであり、壁や板状の物体を検出した結果である. 青の点は、図 8 のデータの中で鏡面テープによって反射したと思われるデータである緑の点と青の点を、実際の照射位置に変換したものである.

図 9 を見ると、変換後のデータである青の点が壁の間にある板状に再びプロットされているのがわかり、板の裏で隠れていた円筒状の物体が現れているのがわかる. また、下の方に現れている点群は計測を行った際の人間の形状である. この結果から、これまでセンサから死角となる領域にあった物体を計測できるようになっていることがわかる.

以上の結果から、[1] の提案手法において、二つのセンサを使って実現していた機能を、マルチエコーセンサを適用することで、一つのセンサで同じ機能を実現することができた.

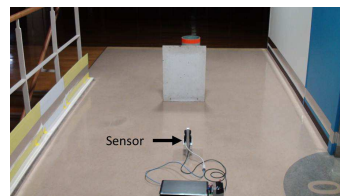


Fig. 6 Experiment's environment (real image)

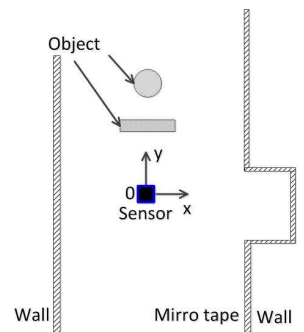


Fig. 7 Experiment's environment (top view)

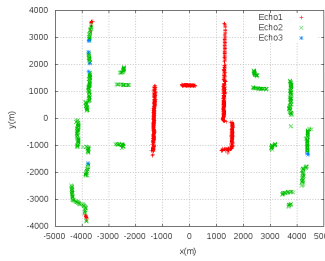


Fig. 8 Multi-echo sensor's data using mirror tape

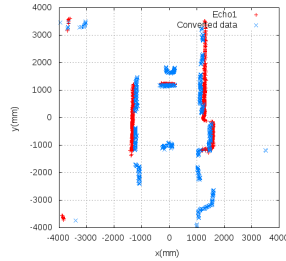


Fig. 9 Convertad multi-echo sensor's data using mirror tape

4. (2) ハーフミラーを用いた複数平面の測定

4.1 ハーフミラーによる複数平面測定について

移動ロボットが自律的に移動する際には、外界センサによる環境情報から特微的な情報を見つけだし、自己位置を推定し移動する必要がある。また、人が混在する環境や屋外環境でロボットが移動する場合、障害物回避と路面状態を確認しながら移動する必要がある。そのため、移動ロボットには多くの環境情報が必要となり、複数の外界センサを使用することで対応を行っている [2]。

外界センサとして、レーザ式の測域センサを使用する場合、広範囲の環境情報を測定することができるが、センサの走査面の情報しか取得することができない。これに対して、一つのセンサで多くの環境情報を取得する方法として、吉田らによるセンサを回転走査することで三次元の環境情報を取得するセンサが提案されている [3]。このセンサでは、広範囲の三次元環境情報を取得することができるが、アクチュエータやジャイロセンサが必要となるなど容易に導入することができない。また、但馬らはセンサの周辺に円錐型の反射鏡を設置し、ロボット周辺を円錐で囲むように走査することで、低い位置にある障害物と路面形状を計測することができる計測方法を提案している [4]。これでは、路面形状と低い位置にある障害物を検出可能になるが、センサの計測範囲が狭まるため、環境情報の取得に乏しくなる。

そこで、本節ではマルチエコーセンサとハーフミラーを利用することで、一つのセンサで多くの環境情報を取得可能な検出方法を提案する。その具体的な方法として、マルチエコーセンサから照射されるレーザ光をハーフミラーに当て、透過方向と反射方向に分離することにより、それぞれの方向から距離値を得る (図.10)。ハーフミラーは光の一部を透過し、一部を反射させる性質を持つため、レーザ光を分離することができる。また、マルチエコーセンサは、一つの照射方向で複数の距離値を得ることができるため、透過方向のエコーと反射方向のエコーの、それぞれの距離値を得ることが出来る。これにより、一つのセンサで複数方向を測定できると考えた。これを移動ロボットの環境認識に応用することで、センサの走査面だけではなく、異なる平面も測定できるようになりセンサー一つで多くの環境情報が得られる。

以降では、この考えに基づく検出方法を実現するためのハードウェアについての説明し、実際の計測結果を示す。

4.2 使用するハーフミラー

ハーフミラーとして、誘電体ハーフミラーを使用する。誘電体ハーフミラーとは、反射層に2種類以上の物質できわめて薄く多

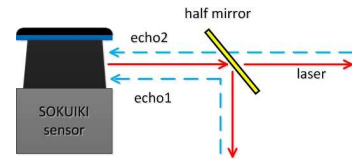


Fig. 10 Separation of the laser through a half mirror

層膜を積層させることで光の吸収を抑え、ある波長の光を反射させることができるものである。このハーフミラーは、波長 905nm の直線偏光が、入射角 45 度で入射した場合、透過率と反射率の分離比が 7:3 となるものである。なお、この結果はハーフミラーの購入元である、株式会社湘南光膜研究所のシミュレーション結果によって示されたものである。

4.3 二つのエコーの分離問題

ハーフミラーによって、レーザを分離し計測する際に、各エコーの距離値が近い場合、二つのエコーを分離できない問題が存在する。それは、二つのエコーの取得時間が近くなると、それぞれのエコーの受光波形が重なり、上手く二つの光を分離出来ずに算出されるためである。この場合、得られるデータとして、取得時間が短いレーザ光に対して、実距離より長い距離値が算出される。つまり、各エコーの距離値が近い場合、一つの距離値しか得られず、その距離値は実距離とは異なったデータになってしまう。

実際に、二つのエコーがどのくらいの距離で分離出来なくなるかの計測データを示す。図 11 のように、センサを 15cm 程度の高さに置き、センサの走査面に対してなす角 35 度となるように、センサの正面にハーフミラーを設置する。また、正面方向には板状の物体を設置する。この時、レーザをハーフミラーによって分離することで、床面と板状の物体を計測する。

計測されたデータを二次元座標にプロットしたものを、図 12, 13 に示す。ここで、図 12 はセンサから板までの距離が 1.5m の時の結果であり、図 13 はセンサから板までの距離が 1.2m の時の結果である。この結果において、赤の点で示された部分は、マルチエコーを取得したときの一番短い距離値であり、値から床面を測定したものと考えられる。また、緑の点は二番目の距離値であり、値から板状の物体を計測したものと考えられる。

結果から、センサから板までの距離が 1.5m の時は床面と板状の物体が見て取れるが、センサから板までの距離が 1.2m になると、板状の物体が消えかき、赤の点の距離値が伸びたようなデータが見て取れる。このように、二つのエコーの距離値がある程度近くなると、本来二つの距離値がでるはずが、一つの距離値として計測されてしまう。ここで、エコーの分離性能は受光強度によって変わるため、上記の結果はあくまで目安に過ぎない。

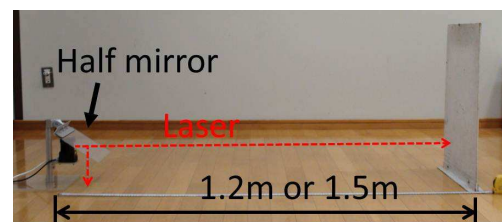


Fig. 11 Separation of the laser through a half mirror

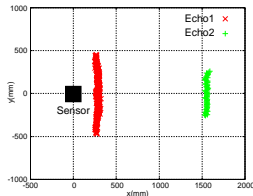


Fig. 12 Multi-echo sensor's data through a half mirror(1.5m between sensor and object)

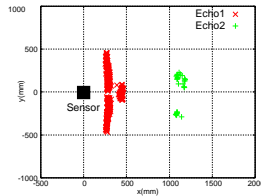


Fig. 13 Multi-echo sensor's data through a half mirror(1.2m between sensor and object)

4.4 計測実験と計測結果

次に、提案手法の有効性を示すために、センサを上向きと下向きにした場合のそれぞれの計測結果と、ハーフミラーによってレーザを上向きと下向きに分離した場合の計測結果を比較する。計測方法として、移動ロボットにマルチエコーセンサとハーフミラーを設置し(図 14, 15), 大学構内の並木道歩道でロボットを移動させ計測を行った。センサの設置方法は、以下の三つで行った。

- (1) 地面に対して、センサを下向き 30 度の俯角を持たせ測定
- (2) 地面に対して、センサを上向き 20 度の俯角を持たせ測定
- (3) 地面に対して、センサを上向き 20 度の俯角持たせ測定。さらにハーフミラーをセンサの正面に下向き 5 度の俯角を付け設置(こうすることでレーザは下向き 30 度の角度で反射する)

(1), (2), (3) の計測結果をそれぞれ図 16, 17, 18 に示す。ここで、それぞれの結果において白の点はロボットの走行軌跡であり、赤の点、緑の点、青の点は図 8 の表記に従う。図 16 は、センサを下向きにして計測したデータであり、地面形状について多くの情報を取得しているが、上方の環境情報が少ないことが分かる。反対に、図 17 は、センサを上向きに計測したデータであるため、上方の環境情報は多く取得されているが、地面形状については情報が少ない。これらに対し、ハーフミラーを利用した計測方法である図 18 は、上方の環境情報と地面の情報共に取得されていることがわかる。このことから、ハーフミラーとマルチエコーセンサを利用することで、上向きのセンサと下向きのセンサで得られた環境情報に近い情報を計測可能になることがわかり、多くの環境情報を取得していることがわかる。

5. まとめと今後の課題

本研究では、マルチエコーセンサを使った応用例を二つ提案し、それらの計測結果を示した。環境設置鏡面テープを利用した死角領域の低減では、従来の二つのセンサで実現した計測方法に対し、マルチエコーセンサを利用することで、一つのセンサによって同様の機能を実現することができた。ハーフミラーを用いた複数平面の測定では、センサから照射されるレーザ光をハーフミラーによって、透過方向と反射方向に分離することで、センサの走査面だけではなく、異なる平面も同時に測定する方法を実現することができた。

今後の課題として、マルチエコーセンサを使った応用方法について、他の活用方法も検討していきたい。

参考文献

- [1] 佐藤 功太, 大矢 晃久: "環境設置鏡面テープを用いた LRS による移動ロボットのための障害物検知", 日本機械学会ロボティクス・

メカトロニクス講演会'11 講演論文集, 1P1-K16 (2011.5).

- [2] 鈴木 太郎, 中村 敦, 長田 真一, 三好 大地: "つくばチャレンジ 2009 における屋外自律移動システムの開発", 第 10 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会'09 講演論文集, 3B1-3, (2009.12).
- [3] 吉田 智章, 入江 清, 小柳 栄次, 友納 正裕: "ジャイロオドメトリを利用した 3D スキャニングプラットフォーム", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10 講演論文集, 2A2-D26 (2010.5).
- [4] 但馬 竜介, 伊藤 誠吾: "移動ロボットの安全確保と路面検出のための円錐走査レーザ距離計測", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'10 講演論文集, 1P1-E02 (2010.5).

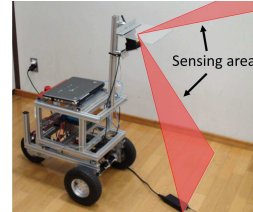


Fig. 14 The robot and setting position of multi-echo sensor and half mirror

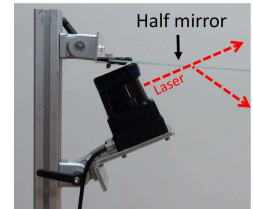


Fig. 15 Multi-echo sensor and half mirror

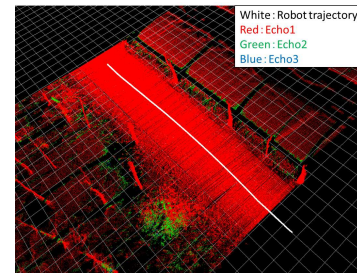


Fig. 16 (1)Multi-echo sensor's data(sensor located 30 degrees downward)

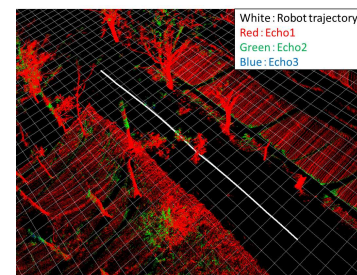


Fig. 17 (2)Multi-echo sensor's data(sensor located 20 degrees upward)

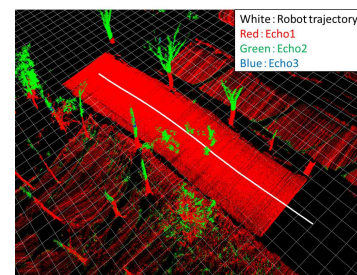


Fig. 18 (3)Multi-echo sensor's data through a half mirror(sensor located 20 degrees upward)