

# 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

## Obstacle detection by LRS with mirror tape installed in the environment for mobile robots

○ 佐藤 功太 (筑波大) 正 大矢 晃久 (筑波大)

Kota SATO, University of Tsukuba, ksato@roboken.cs.tsukuba.ac.jp

Akihisa OYA, University of Tsukuba

In this research, it aims at realizing a better course plan by detecting the obstacle in the blind area from a robot. The approach is that by carrying out specular reflection of the laser to the mirror tape installed in the environment using LRS, the obstacle in the blind area is detected. Thus, the path planning that considers the obstacle in the blind area can be achieved. This paper describes the system configuration, the proposed algorithm, and the effectiveness of the proposed method by experiments.

**Keywords:** LRS, obstacle detection, mobile robots

### 1. はじめに

近年、人間が生活する環境の下で、ロボットが人間の手を加えることもなく、与えられたタスクを実現することが求められている。そのようなタスクとしてナビゲーション型ロボットや警備ロボットが挙げられる。これらの移動ロボットはあらかじめ走行経路を設定し、目的地までを自律走行することが一般的である。その際、移動ロボットが安全に走行することが求められ、障害物を避けながら目的地に到達する必要がある。そのような研究は盛んに行われており、レーザレンジスキャナ (LRS) や超音波センサ、カメラなどの外界センサの情報によって障害物を検出し、衝突を回避することが行われている [1]。しかし、これらの検出方法ではセンサから死角となる領域の検出が不可能であり、死角となる障害物については回避行動として考慮することができない (Fig.1)。

これに対して、腰原らによる、鏡と LRS を組み合わせることによって物体の裏側からも計測可能な人数/形状計測システムが提案されている [2]。また、長谷川らによる、鏡と LRS を組み合わせた室内床面の日用品を計測するシステムが提案されている [3]。いずれも、LRS と鏡を組み合わせることによって、本来計測できない方向に対して計測することが可能になっている。

そこで本研究では、LRS と鏡を使った検出方法をロボットの走行に応用することにより、本来見えなかった障害物を検出し、より良い経路計画を立てられることを示す。具体的には、LRS を使って環境に設置した鏡面テープにレーザを反射させることによって、死角となる領域の障害物を検出する。それにより、ロボットから死角となる領域の障害物も考慮した経路計画を実現する。

### 2. 鏡面反射の利用

本研究では北陽電機社製の LRS, UTM-30LX を用いる [4]。UTM-30LX は、回転させたミラーによって半導体レーザを走査し、得られる距離データを座標に変換するものである。このセンサを使用する際に、環境に設置した鏡面テープを利用した場合、センサから投光されるレーザ光は鏡面テープによって鏡面反射し、Fig.2 の実線矢印のように反射され物体に照射される。

このように、鏡面反射を利用することにより、センサから死角となる障害物の検出が可能となる。この時、反射の法則により

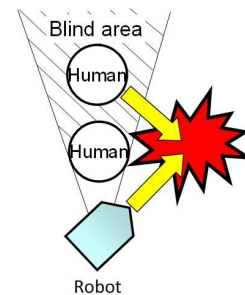


Fig. 1 Blind area from a robot

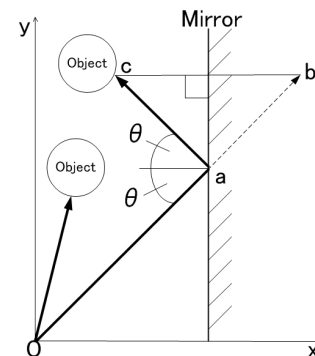


Fig. 2 Detection using specular reflection

レーザの入射角と反射角は反射面に対して等しくなる。また、実際に取得された距離データを座標に変換した場合、Fig.2 の点 b の位置となる。レーザが鏡面テープによって反射した位置を点 a とすると、実際の物体の照射位置である点 c は (1) 式で求めることができる。ここで、センサから取得されるのは点 b の位置のみであるため、点 c を求めるには、(1) 式を見てわかるように点 a と  $\theta$  を何らかの方法によって求める必要がある。

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a \\ y_a \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos(\pi - 2\theta) & -\sin(\pi - 2\theta) \\ \sin(\pi - 2\theta) & \cos(\pi - 2\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_b - x_a \\ y_b - y_a \end{pmatrix} \quad (1)$$

そこで、本研究では点 a と  $\theta$  を求める方法として、鏡面テープに反射させるセンサとは別に反射面までの距離を測定するセンサを使用することを考えた。具体的には、まず鏡面反射を利用する

ために壁に鏡面テープを貼り、その高さに合わせてセンサを設置する。次に、鏡面テープの高さに設置したセンサと位置と方向を合わせたもう一つのセンサを、鏡面テープが貼られていない高さに設置する。このセンサの取り付け位置は鏡面テープが貼られていないため、レーザーが反射せずに反射面である点  $a$  を測定することができる。また、 $\theta$  は反射面の放線ベクトルとレーザーの照射方向のなす角であるため、点  $a$  付近で観測されたデータから直線を算出し、その直線の法線ベクトルと照射方向のなす角によって求めることができる。この二つのセンサにより、点  $a$  と  $\theta$  を求められ、(1) 式より点  $c$  を求めることができる。

次章から、変換アルゴリズム及び走行実験について説明する。

### 3. 変換アルゴリズム

鏡面テープの高さに設置したセンサから得られた距離データを実際の照射位置へと変換するためのアルゴリズムについて説明する。

#### 1) 反射したデータの判別

鏡面テープの高さに設置したセンサから得られた距離データが鏡面テープによって反射したものであるかを判別する (Fig.3)。鏡面テープの高さに設置したセンサから得られた、ある方向の距離データを  $r'_n$  として、その点を  $p'_n$  とする。また、 $p'_n$  の方向に対応する鏡面テープが貼られていない高さに設置したセンサから得られた距離データを  $r_n$  として、その点を  $p_n$  とする。この時、 $p'_n$  が反射したデータかどうかを判別する方法として、 $r'_n$  と  $r_n$  の距離の差が閾値以上であれば、 $p'_n$  を反射したデータと判別する。

#### 2) 近似直線の算出

反射面の直線を算出する方法として、 $p_n$  の近傍点から慣性等価楕円を当てはめ近似直線を算出する (Fig.4)。ここで、慣性等価楕円とは、その楕円の重心まわりの二次モーメントと注目する対象物体のそれぞれの差が最小となる楕円をいう [5]。これを利用してセンサから得られた点列に慣性等価楕円を当てはめ、楕円の長軸を直線の傾きとすることにより近似直線を求める。

#### 3) 反射したデータの変換

$p'_n$  を (1) 式によって、実際の物体の照射位置へと変換する (Fig.5)。この時の条件として、慣性等価楕円の短径を使用する。短径が閾値以内であれば、(1) 式によって変換を行うが、そうでなければ変換しない。

以上のステップを全ての点に対して行う。

### 4. 走行実験

本提案手法の有効性を示すために、ロボットによる走行実験を行った。その方法として、二通りの経路を生成できる環境を用意し、一方は通ることができ、もう一方はロボットから死角となるように障害物を置くことで通路を塞ぐことにする。つまり、ロボットから見ると二通りの経路を生成できるが、実際には一方しか通ることができない環境を用意する。このような環境下で、本手法を利用することで、通路に障害物があることを検出し、走行可能通路に対して経路を生成することを示す。

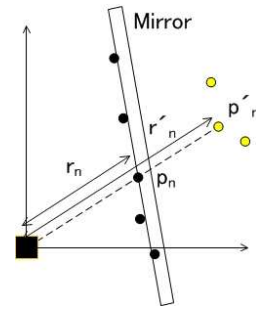


Fig. 3 Distinction of reflection data

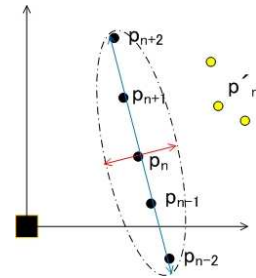


Fig. 4 Line fitting

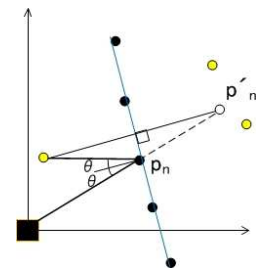


Fig. 5 Conversion of reflection data

#### 4.1 使用するロボット

ロボットへのセンサの取り付け位置として、位置と方向が同じになるようにして、一方を鏡面テープの高さに設置し、もう一方を鏡面テープが貼られていない高さに設置した。ロボットの外観を Fig.6 に示す。

また、ロボットの経路計画として、Distance Transform 法を基本とした高らが提案した指定経路を追従する走行アルゴリズムを実装した [6]。この走行アルゴリズムでは、Distance Transform 法を基本とするが、指定経路上とそれ以外の重みを変えることで、なるべく指定経路上を走行するようなアルゴリズムとなっている。

#### 4.2 実験環境

実験環境として、鏡面テープが貼られている環境である、筑波大学総合研究棟 B のエレベータホールにて行った (Fig.7, Fig.8)。この環境において、Fig.9 のように障害物を設置した。ここで、Fig.9 において、Start がロボットの初期位置であり、Goal が目的地としている。Start から Goal の経路上に障害物があった場合、実装した走行アルゴリズムにより経路を生成する。ロボットの初

期位置から経路を生成した場合、右の通路に対して経路を生成するように配置している。また、右の通路を塞ぐようにして置かれている障害物は、ロボットからは死角となるように配置している。

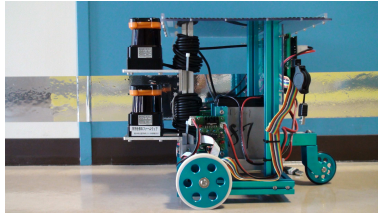


Fig. 6 Robot



Fig. 7 Environment with mirror tape



Fig. 8 Setting position of mirror tape

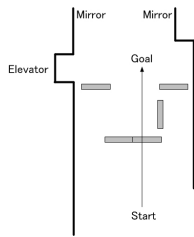


Fig. 9 Experiment environment

### 4.3 実験結果

ロボットの初期位置における、LRSによって取得されたデータをプロットした結果をFig.10とFig.11に示す。Fig.10では、二つのセンサによって得られたデータをそのままx-y座標に投影したものであり、Fig.11では鏡面テープによって反射したデータを変換アルゴリズムによって変換したものである。

また、ロボットの初期位置における、反射したデータを使わずに経路生成した結果をFig.12に記し、反射したデータを使った場合の経路生成した結果をFig.13に記す。Fig.12を見て分かるように、反射したデータを使わない場合、本来通れない通路に対して経路を生成していることがわかる。これに対して、反射したデータを使った場合の経路であるFig.13を見ると、右の通路が通れないことがわかり、通れる通路である左の通路に対して経路を生成している。

実際のロボットが走行した様子をFig.14に記す。実験では、右の通路は塞がれていることを認識し、通れる通路である左の経路に対して走行され、より良い経路が実現されている。これより、鏡とLRSを利用することでロボットから死角となる領域の障害物が検出でき、死角領域の障害物を考慮した経路計画を実現できることを確認した。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、自律型移動ロボットにおける死角領域の障害物を検出する方法として、LRSと環境に設置した鏡面テープを利用した検出方法を提案した。鏡面テープに反射した距離データを変換する方法として、二つのセンサを使ったシステムを構築し、変換するためのアルゴリズムについて述べた。二つのセンサを使用することで、事前に地図を持つことなく、動的に反射データを実際の照射位置へと変換することが可能となった。それにより、鏡面テープを環境に設置するだけで本提案手法を利用できる。また、本システムの実証として実際にロボットを走行させ本提案手法の有効性を示した。

今後の課題として、本稿では本提案手法の有効性を静的な環境下による走行によって示したが、今後、人間やロボットが行き交う動的な環境下でロボットを走行させ、本提案手法の有効性の評価を行いたいと考えている。また、マルチエコーを取得可能なLRSを利用することより、二つのセンサによって実現した本システムを、一つのセンサによって実現していきたいと考えている。

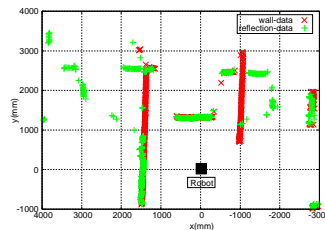


Fig. 10 Wall data and Reflection data

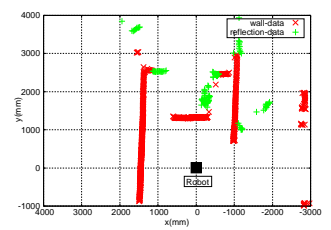


Fig. 11 Wall data and Converted of reflection data

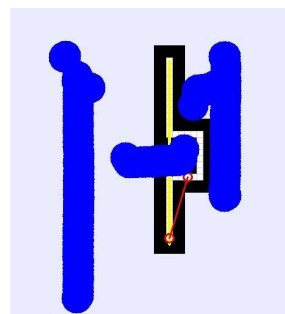


Fig. 12 Path

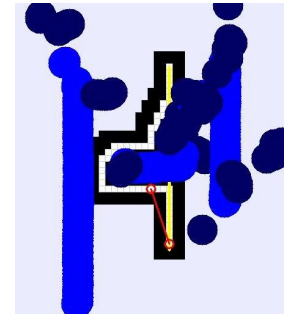


Fig. 13 Path with reflection data

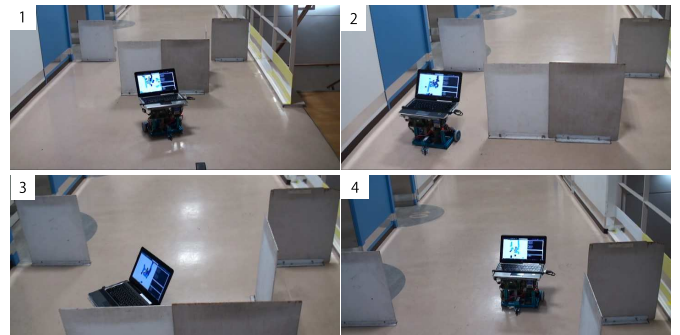


Fig. 14 Running of robot

## 参考文献

- [1] A. Corominas Murtra, et al: "Autonomous Navigation for Urban service Mobile Robots", *Intelligent Robots and systems(IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on*, pp.4141-4146, 2010.
- [2] 腰原 裕一, 川田 浩彦, 大矢 晃久, 油田 信一: "複数の鏡と測域センサを用いた高速/形状計測システム", 第10回システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp.2125-2128, 2009.
- [3] 長谷川 勉, 野原 康伸, 村上 剛司: "生活環境における日用品情報構造化のための床面センシングシステム", 日本ロボット学会誌, Vol.28 No.9, pp.1144-1147, 2010.
- [4] 北陽電機株式会社: <http://www.hokuyo-aut.co.jp/>
- [5] 坪内 孝司, 金山 裕, 油田 信一: "濃度勾配の方向による領域生成と最小二乗あてはめを用いた線分抽出", 日本ロボット学会誌, Vol.4 No.3, pp.220-230, 1986.
- [6] 高 承明, 大矢 晃久, 油田 信一: "指定経路を追従する移動ロボットのための障害物回避走行アルゴリズム", 第10回システムインテグレーション部門講演会予稿集, 2009.