レーザレンジファインダの反射強度を利用した物体及びロボットの位置計測

◯表 允哲, 田中 真英, 長谷川 勉, 辻 徳生, 諸岡 健一, 倉爪 亮 (九州大学)

Measurement of object and robot pose using the reflectance of the laser range finder

◯Yoonseok Pyo, Masahide Tanaka, Tsutomu Hasegawa
Tokuo Tsuji, Ken'ichi Morooka, Ryo Kurazume (Kyushu University)

Abstract: We propose a method for classification of objects on the floor using distance and reflectance acquired by the laser range finder (LRF) installed in the room and a strip of mirror attached to a side wall close to a floor. In addition, we propose a method for measurement of robot pose using the tag which has the encoded reflection pattern optically identified by the LRF.

Key Words: Classification, Robot pose, Reflectance, Laser range finder

1. 緒言

日常環境で生活を支援するサービスロボットにとって，自己位置と周囲の状況を把握することは重要な機能である．しかし，日常環境は複雑で動的に変化するため，ロボット搭載センサのみでこの機能を実現することは困難である．そこで，我々は，床上に設置したレーザレンジファインダ (LRF) を用いて，床上に現れる人の歩行軌跡，ロボット，家具什器，小物の配置変化を計測するシステムを構築している [1]．これは，LRF を 1 個設置するだけでよいため，設置や保守のコストが低いうえ，居住者の全身を撮像するカメラを用いた手法 [2], [3] と異なり，プライバシーの確保ができる．しかし，距離情報のみで物体の識別を行うことは難しい．対象の輪郭の一部しか得られないので外形が似ている物は識別できない．また，ワゴンや車椅子のように複数の車輪を持つ物体を複数の分離したクラスタとして認識する．さらに，円型のロボットは輪郭のみで姿勢を計ることが困難である．このような問題の解決手法として，物体に RF タグや超音波センサを貼り付けて識別や位置計測を行う手法が提案されている [4] [5]．しかし，物に貼り付けるセンサの大きさ、重さ、コストを考えると日常環境で生活を支援する目的には適していない．

本論文では，LRF から取得できる距離情報と反射強度を利用して床上の物体の識別を行う手法とロボットの位置や姿勢を計測する手法を提案する．LRF の距離値から得られる物体の外形，および反射強度から得られる固有の拡散反射係数を利用して，物体識別を行う．材質による反射係数の差が十分大きくない場合は，入射光と同じ方向に反射光を返す再帰反射材でできたテープを貼付する．貼付することにより，他物体との反射特性の差が大きくなる．ロボットや車椅子などは常に床に接地しその対地姿勢が一定なので，床面から一定の高さのレーザが照射される部位にこのテープを貼付することにより，容易に識別できるようになる．さらに，再帰反射材を用いて反射強度をコード化したタグを開発し，このタグをロボットに取り付け，読み込むことにより，ロボットの姿勢計測が可能になった．

2. 床上センシングシステム

床上センシングシステムの計測対象は，室内での居住者生活活動と環境変化であり，歩行軌跡，テーブルや椅子などの家具配置，手押し搬送ワゴンの位置，および床上に置かれた日用小物品である．そのため，LRF をそのレーザ走査面が室内生活空間の床面と平行，床面直上 (約 25mm) になるよう壁際に設置する．これは LRF から得られる床上物体の輪郭情報を利用して，最小限のセンサによる生活行動と環境変化の計測を狙いとしたものである．また，壁面のうち床に接する部分に，長尺のミラーを固定配置する (Fig.1)．ミラーにより，LRF のレーザビームが反射し，床面直上を走査することができる．LRF からの直接ビームと，ミラーによる反射レーザビームの両者が掃引する領域が計測領域となる．物体が床上に存在していないときは，LRF では対向する壁までの距離が得られる．物体が置かれたときは，その物体の輪郭が得られる [6]．

Fig.1　床上センシングシステム

SY0012/12/0000 - 0587 © 2012 SICE

一方，計測できるのは，レーザスキャンで構成される光平面による対象の切断面のうち一部の輪郭のみであり，それも他の物体に隠されることもある．また，居住者による椅子着座やテーブルへの接近の際など，狭い領域に多くのクラスタが出現しその識別が困難になることも多い．このため，対象物識別や追跡を実時間で正確に実行するのは容易ではない．

これらの問題を解決するため，対象表面から得られる位置情報に加え，反射強度を利用して識別を行う．すべての物体の識別ができるわけではないが，識別可能なものを除くことができれば，残りの物体の識別処理は容易になる．

3. レーザ反射特性

3.1 日用物品のレーザ反射特性とその反射強度の正規化

対象とする生活環境には，木，紙，プラスチック，木材などの素材でできた種々の物体が存在する．物体毎のレーザ (LRF 赤外レーザ) に対する反射強度は Fig.2,Fig.3 に示すように距離，入射角に依存している．これを距離，入射角に対して正規化することで，物体の固有の正規化反射強度を求めることができる．レーザスキャンによる観測点の距離 r に対する反射強度の実験の結果から，センサの仕様上，距離が 800mm 以下のデータは正確な反射強度が得られない．それらのデータを除き，カーブの当てはめを行い式 (1) を得た．これから距離，入射角の影響を除去した式 (2) を用いて，物体の識別に利用する．

Fig.2　物体毎の距離に対する反射強度

Fig.3　物体毎の入射角に対する反射強度

$$Intensity = K_d\, I_q\, \frac{\cos(\alpha)^{0.196}}{r^{0.287}} \tag{1}$$

$$IntrinsicIntensity = Intensity\, \frac{r^{0.287}}{\cos(\alpha)^{0.196}} \tag{2}$$

K_d = 拡散反射係数

I_q = 光源の強さ

α = 表面法線方向に対する入射角

r = 光源からの距離

3.2 再帰反射材の貼付による反射特性の拡張

物体毎のレーザ反射特性に十分な差がないときはそれらを正規化反射強度のみで識別することはできない．そこで，とくに識別したい対象には，再帰反射材でできたテープを貼付する．これにより，反射特性の差が大きくなり，反射強度のみで識別できるようになる．

実際にどのように反射強度を変えることができるか実験を行った結果を Fig.4 に示す．再帰反射材を使うことにより，他の日用品と反射強度差が明確に表れている．

Fig.4　再帰反射材の反射強度

3.3 ミラー反射光の反射強度の正規化

LRF とロボットとの間に障害物がある場合，測定できない．しかし，ミラーの反射を利用して，対象物の輪郭が得られる場合がある (Fig.5, Fig.6)．この際に，ミラーを経由すると反射強度が減少するため，提案した反射強度の正規化の式（2）を用いてミラーによる反射光の反射強度の正規化を行う．正規化を行うことにより，対象物の反射特性を得ることが可能になる．

Fig.5　オクルージョン領域内のロボット

Fig.6　ミラーからの反射レーザで輪郭を測定した結果

4. 反射強度を用いた移動物体の位置計測

4.1 再帰反射材貼付による移動物体の識別

生活環境内の椅子やワゴンの位置を計測する．椅子はしばしば動かされ，ワゴンはそもそも移動して使用するものである．これらの脚部あるいは車輪などレーザがスキャンする位置に再帰反射材を貼付する．さらに，反射強度を段階的に調節するためにフィルムを上張りする．この方法により，反射強度のみで識別できるようになる．

移動家具の脚部に再帰反射材を貼付した様子を Fig.7 に示す．見かけ上は気がつかない程度の軽微な加工であるが，反射強度により明確に識別できる (Fig.8，Fig.9)．

Fig.7　再帰反射材の貼付位置

Fig.8　再帰反射材の反射強度

Fig.9　椅子とワゴンを識別した結果

4.2 脚配置モデルを用いた移動物体の位置計測

LRF から得られる床上の物体の点群のうち，ワゴン，椅子などの移動物体は再帰反射材貼付により識別できる．しかし，物体の一部しか取得できない場合がある．ワゴン，椅子などの脚の配置情報である脚配置モデルと計測した物体の一部の脚の位置関係を利用して移動物体の位置を決定する．以下のように得られた点群の数に応じて 3 つの場合に分けて処理を行う．

1. 点群が 3 つ以上のとき
   : 任意の点群から他の全ての点群までの距離を求める．そのうち 1 点から伸びる 2 辺が移動体のモデルと一致していれば，それらの辺を構成している 3 つの点は移動体のものであると判定する．これらの点群と脚配置モデルをマッチングして位置を決定する (Fig.10a)．

2. 点群が 2 つのとき
   : 二つの点間の距離が移動体を構成する辺の長さと一致すれば，この 2 つの点は移動体のものであると判定する．これらの点と脚配置モデルをマッチングして位置を決定する．複数の候補がある場合は前時刻の位置と一番近い候補を物体の位置とする (Fig.10b)．

3. 点群が 1 つのとき
   : このときの点群は移動体のものであるとし，前時刻の点群との差分を移動距離として物体の位置を決定する (Fig.10c)．

Fig.10　移動物体の位置を決定する手法

4.3 反射特徴マッチングによるロボット姿勢の計測

水平断面形状が垂直回転軸に対して回転対称である物体は，LRF の距離データのみではその姿勢を決定できない．しかし，実際に断面が円またはそれに近い形状の移動ロボットは少なくない．そのようなロボットの姿勢を計測する方法を開発した．

テープの長さ方向に反射特性の強弱の縦縞をつけてコード化したもの (Fig.11a,b) をロボットの筐体下部周囲に貼付しておく (Fig.11c)，コード化した部分に LRF のレーザを照射し反射強度および距離を計測して (Fig.11d)，位置と姿勢を計算する (Fig.11e).

コード	角度	コード	角度
1111	0.0°	1101	180.0°
1110	22.5°	1010	202.5°
1100	45.0°	0100	225.0°
1000	67.5°	1001	247.5°
0000	90.0°	0010	270.0°
0001	112.5°	0101	292.5°
0011	135.0°	1011	315.0°
0110	157.5°	0111	337.5°

Fig.11　反射コード化を用いた反射特徴マッチングの原理図

線	距離	反射強度
$\overline{BP_1\,BP_2}$	98mm	High
$\overline{BP_2\,BP_3}$	87mm	Low
$\overline{BP_3\,BP_4}$	157mm	High
$\overline{BP_4\,BP_5}$	141mm	Low
$\overline{BP_5\,BP_6}$	194mm	High
$\overline{BP_6\,BP_7}$	195mm	Low
$\overline{BP_7\,BP_8}$	243mm	High
$\overline{BP_8\,BP_9}$	223mm	Low
$\overline{BP_9\,BP_{10}}$	344mm	High
$\overline{BP_{10}\,BP_1}$	325mm	Low

Fig.12　反射境界点を用いた反射特徴マッチングの原理図

また，我々はロボットの位置と姿勢を計測するもう一つの手法を開発した．まず Fig.12a のように反射強度の強弱が現れる境界点の距離を変えて反射テープを貼り付けておく (Fig.12b，Fig.12c)．次に，LRF を用いて走査して，ロボットの輪郭，反射強度の境界点を得る (Fig.12d)．最後に，得られた境界点間の距離とロボットモデルをマッチングすることでロボットの位置と姿勢を測る (Fig.12e).

二つの手法の比較は Table.1 に示す．反射強度の境界間の距離を利用する手法は，対象物の形状に関係なく適用できるという利点がある.

	反射特徴マッチング	
特徴	反射コードの並び方	反射強度の境界間の距離
対象	円形のロボット	形状は関係ない
計測条件	四つの反射コード (90 度)	二つの境界点

Table 1　二つの手法の比較

5.　実験

提案した LRF の反射強度を利用した物体及びロボットの位置計測の検証実験を行った．Fig.13 に実験を行った環境を示す．椅子とワゴンに再帰反射材を貼付した．反射強度をコード化したタグを貼り付けたロボット (ルンバ，スマートパル) を動作させた．壁面ミラーと LRF による床上センシングシステムで 得られたデータ (Fig.14) を示す．また，提案した手法で識別及び計測の処理を行った結果，Fig.15 のように，ワゴン，椅子などが識別でき，位置姿勢も測定できた．二つのロボットの識別および位置と姿勢の計測もできている．さらに，オクルージョン内のロボットも反射特徴マッチングでロボットの位置姿勢を測定した結果を Fig.16 で示す.

Fig.13　実験環境

Fig.14　取得した LRF データ

Fig.15　識別と計測の結果

Fig.16　鏡による反射データを用いたオクルージョン処理

6.　結言

LRF から取得できる距離情報と反射強度を利用して床上の物体の識別を行う手法とロボットの位置や姿勢を計測する手法を開発した．この手法を用いて、実機実験を行い，提案手法の動作を確認した．

文献

[1] 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

[2] T. Mori, T. Matsumoto, M. Shimosaka, H. Noguchi and T. Sato, “Multiple Persons Tracking with Data Fusion of Multiple Cameras and Floor Sensors Using Particle Filters”, Workshop on Multi-camera and Multi-modal Sensor Fusion Algorithms and Applications (M2SFA2 2008), 2008.

[3] S. Odashima, T. Sato, T. Mori, “Household Object Management via Integration of Object Movement Detection from Multiple Cameras”, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.3187-3194, 2010.

[4] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N.H. Hoffman, T. Kanade and M. Kakikura, “3D Ultrasonic Tagging System for Observing Human Activity”, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.785-791, 2003.

[5] T. Deyle, H. Nguyen, M. Reynolds and C. Kemp, “RF Vision: RFID Receive Signal Strength Indicator (RSSI) Images for Sensor Fusion and Mobile Manipulation”, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.5553-5560, 2009.

[6] Y. Nohara, T. Hasegawa, K. Murakami, “Floor Sensing System Using Laser Range Finder and Mirror for Localizing Daily Life Commodities”, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.1030-1035, 2010.