

波長の異なるレーザー光をもつ複数の測域センサによる物体認識手法の提案

張 夏荷 (筑波大学), 大矢 晃久 (筑波大学), 加門 崇寛 (北陽電機)

Object Recognition using Multiple SOKUIKI Sensors with Different Wavelength Laser Light

Kaka CHIYOU(Univ. of Tsukuba), Akihisa OHYA(Univ. of Tsukuba) and Takahiro KAMON(Hokuyo Automatic Co., Ltd.)

Abstract—In this study, an object recognition method capable of discriminating objects is going to be proposed by using the detected light intensities of multiple SOKUIKI sensors which utilize different wavelength laser lights. In this paper, the constructed sensor system and the data processing procedure are described. The result of a fundamental experiment is also shown.

1. 緒言

1.1 研究背景

測域センサ(レーザー走査型距離センサ)は、ロボット分野を始めとする様々な分野で使用されており近年開発が盛んに行われている。その計測原理は、対象物にレーザーを照射し物体に反射した光を受光することによって距離を計測している。この時、レーザーをセンサ内の鏡で回転させることによって扇状に周囲を走査し、周囲の距離を2次元に計測する。従って、物体までの距離と赤外線レーザーが照射された角度値のセットが計測値として得られる。

上記二つの計測値では、計測物の形状しか得ることができない。そこで、計測時に副次的に得られる受光強度(受光した反射光の強さ)を、計測値に加えて使用することがある。物体がどの波長の光にどの程度反射するかは、物体表面の材質によって異なり物体の反射特性と呼ばれている。この反射特性に起因し、測域センサの受光強度は、計測する物体の表面材質によって変化する。この性質を利用して、物体を識別する研究がされている。

1.2 関連研究

伊達らは、芝と石の反射特性の違いから、芝刈り時の芝内の石の自動特定手法を提案している [1]。Wurmらは、コンクリートと芝の受光強度の違いから、野外においてロボットの走行可能領域の判定を試みている [2]。また、移動ロボットのための地図生成においても、測域センサの受光強度は利用されている。原らは、幾何的特徴の乏しい環境において測域センサの受光強度を特徴量として併用することによって有効なマップを構築する手法を提案している [3]。また、蜂谷らは受光強度値から計測した物体の濃淡を推定し、濃淡付きの3次元地図の構築を試みている [4]。

上記の研究は測域センサの単一波長のレーザー光の受光強度を特徴量として利用しているが、測域センサに限定しない物体の反射特性を利用した研究では、複数波長の光に対する反射率から、物体の識別や解析を行うことが多い。特に、衛星、農業、医療分野などで研究が盛んである。衛星分野では、竹内らが衛星上の分光放射計で、地球表面の太陽の反射光を波長毎に観測したデータからヒートアイランド現象の予測を試みている [7]。農業分野では、山田らがいちごにレーザー光を照射し、透過光をスペクトル分析していちごの糖度・酸度を推定をしている [5]。医療分野では、Mayankらが複数波長LEDを照射してCMOSカメラで撮影するセンサを開発し、人間の

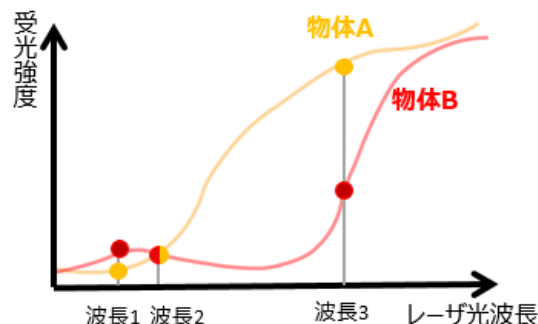


Fig. 1 二つの物体に対する測域センサのレーザー光波長による受光強度の変化

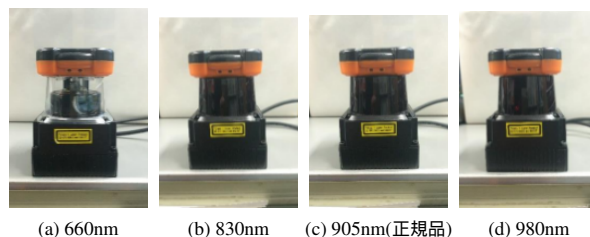


Fig. 2 UTM-30LX(波長 905nm) 及びそのレーザー光波長を変更する改造を行った測域センサの外観

静脈を撮影可能なシステムを構築している [6]。

1.3 研究のアプローチ

単一波長による測域センサの受光強度を特徴量とする研究では、物体識別に限界がある。そこで、筆者らは測域センサにおいても複数波長のレーザー光の受光強度を計測することによって、従来の単一波長では識別できなかった物体について識別が可能になると考えた。Fig. 1 は、ある二つの物体について、測域センサのレーザー光の波長による受光強度変化を模式的に示したグラフである。単一の測域センサの受光強度を計測する場合、仮に用いているレーザーが波長2であると、受光強度値が同一になり二つの物体の判別は不可能である。その一方で、複数波長の測域センサの受光強度を計測すると、波長による受光強度値の差異があれば判別することが可能になる。

本研究では、波長の異なるレーザー光を用いた複数の測域センサの受光強度値による物体認識手法の構築を目標とする。そのためには、レーザー光の波長の異なる測域センサで物体材質によって受光強度値がどのように異なるか調査を行い、手法の実現可能性を検討する必要がある。本稿では、まず波長の異なるレーザーを用いた測域センサを用意し、対象物の材質

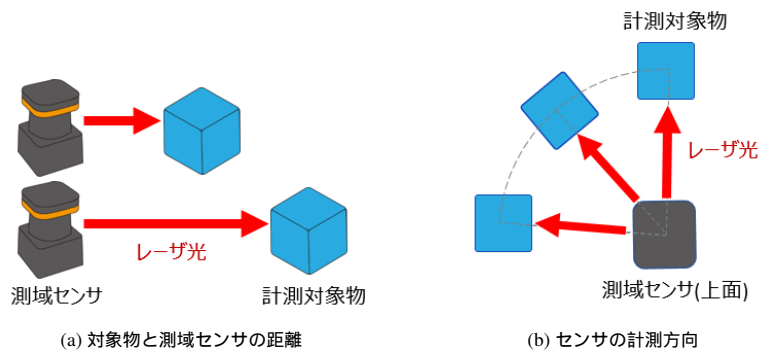


Fig. 3 今回調査した受光強度の変化要因

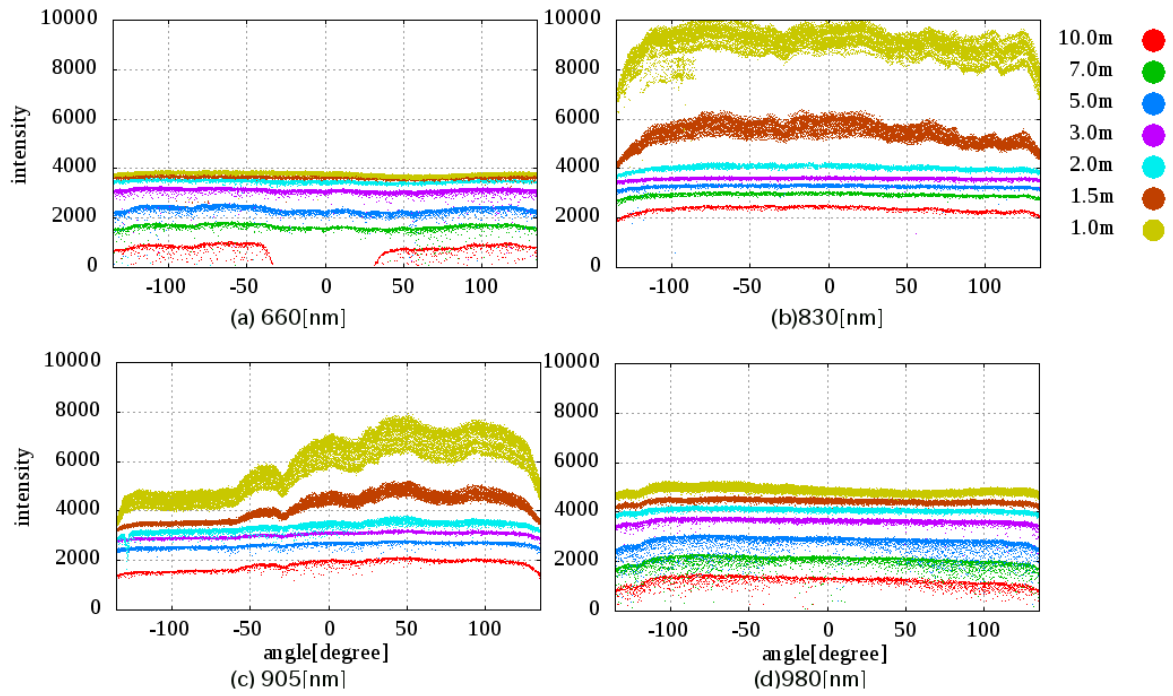


Fig. 4 センサごとの計測方向、計測距離による受光強度値の変化

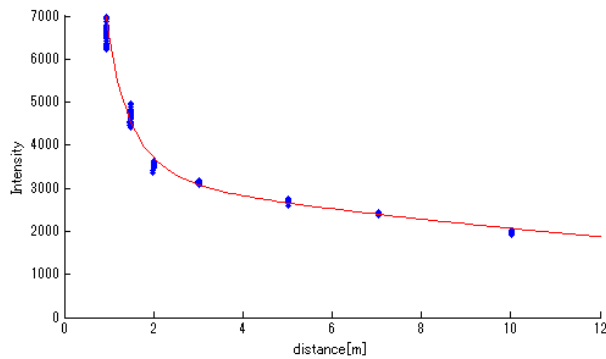


Fig. 5 距離に対する受光強度値の変化と近似曲線 (波長 905nm、計測報告 100 度の場合)

に起因しない受光強度変化に対して行った補正について述べる。また、多くの物体に対する受光強度特性を調査するために、センサをロボットに搭載して効率的にデータ収集を行うシステムを構築し、これを用いて得られた基礎的な結果についても報告する。

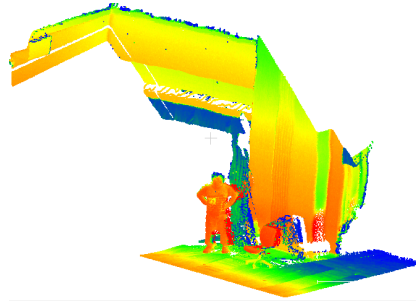
2. 受光強度の取得と補正

測域センサの受光強度は対象物体の材質以外にも、以下の条件によって変化する。

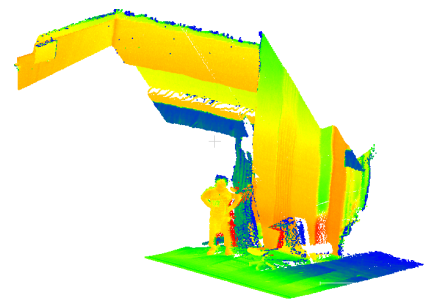
- 1) 対象物と測域センサの距離
- 2) 対象物に対する測域センサのレーザー光の入射角度



(a) 計測環境



(b) 計測結果 (補正前)



(c) 計測結果 (補正後)

Fig. 6 905nm の測域センサの受光強度の補正結果

(受光強度値について、最大を赤、最小を青とするカラースケールで表示)

3) 測域センサの計測方向

1) は測域センサのレーザー光が距離が遠くなる程減衰すること
原因である。2) は光の反射の角度依存性に起因する。3) は、
レーザー光をセンサ内部でミラーにより回転走査していること
による。本手法は、物体材質によって受光強度が異なること
に着目し物体認識手法の構築を試みるので、これらすべてに
起因する受光強度変化を除去するのが望ましい。しかし、2)
の入射角度の推定は容易ではないため、本稿では 1), 3) による
受光強度変化について調査を行い、補正を試みた。

2.1 使用した測域センサ

本研究では、北陽電機(株)製の測域センサ UTM-30LX を 1
台と、UTM-30LX のレーザー光波長を変更した 3 台の計 4 台の
測域センサを使用する。レーザー光波長を変更した測域センサ
は、UTM-30LX の発光素子、受光素子、反射光受光用のフィル
ター、増幅アンプを取り替えることによって実現している。
UTM-30LX のレーザー光波長は 905nm、変更品のレーザー光波長
は 660nm、830nm、980nm である。UTM-30LX 及び改造した
測域センサ 4 台の外観を Fig. 2 に示す。

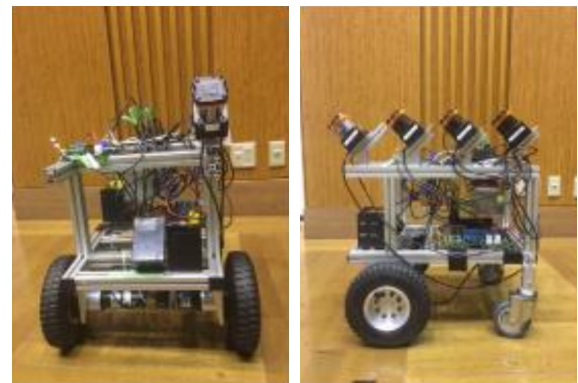
2.2 受光強度の取得

受光強度が、Fig. 3 に示すような計測対象物までの距離、セ
ンサの計測方向によりどのように変化するか調査を行った。
具体的には、白く塗った木板に対して、センサの距離を 1~
10[m]、センサの計測方向を-135~-135 度に変化させて受光
強度の計測を行った。なお、測域センサを回転させること
によって、全ての照射方向においてレーザー光が木板に対して直
角に入射するようにしている。

結果を Fig. 4 に示す。Fig. 4 はセンサごとの計測方向、計測
角度による受光強度値の変化を示したグラフで、センサの計
測方向を横軸、受光強度を縦軸にとっている。また、Fig. 4
では、計測距離ごとに色を変えて表示している。全てのレー
ザ光の波長の測域センサにおいて、計測物の距離が遠くなる程
受光強度が低くなっている。また、同一距離においても、セ
ンサからの計測方向によって受光強度が変化しており、測域
センサごとによっても傾向が異なっている。

2.3 受光強度の補正

Fig. 4 に示したデータより、センサ毎に各計測方向に対す
る距離と受光強度値の関係を表すグラフを求めておく。Fig. 5
に、905nm の測域センサの計測方向 100 度における距離と受
光強度値の関係とその近似曲線の例を示す。あるセンサで計



(a) ロボット正面

(b) ロボット横

Fig. 7 計測システム外観

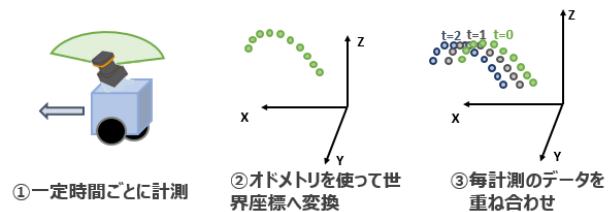


Fig. 8 計測結果の 3 次元点群化の手順

測方向 A、計測距離 D、受光強度 I が得られた場合、そのセン
サで計測方向 A に対する近似曲線から、計測距離 D のときに
想定される基準物 (白い木板) の受光強度を読み取りこれを
 I_{ref} とする。 I/I_{ref} を受光強度として用いることで、距離や計
測方向に関する依存性を取り除いた補正ができる。Fig. 6(a)
のような環境を計測した場合の結果として、Fig. 6(b) に補正
前の受光強度画像、Fig. 6(c) に補正後の受光強度画像を示す。
Fig. 6(b),(c) において、受光強度値は最大値を赤、最小値を青
とするカラースケールで表現している。(b) に比べて (c) では、
床面等で距離に依存して受光強度が変化する度合いが軽減さ
れていることがわかる。なお、このデータ取得には、後述す
る計測システムを利用している。

3. 計測システムの構築

手法構築のためには多くの物体について、波長の異なる複
数測域センサによる受光強度値の調査を行う必要がある。そ
こで、測域センサをロボットに取り付け、ロボットを走らせる
ことによって周囲の環境を計測するシステムを構築した。



Fig. 9 計測を行った対象物一覧
(左から、水入りと空ペットボトル (2L・500ml)、乾燥・湿潤状態のコンクリート)

3.1 センサのロボットへの取り付け

本研究で使用した移動ロボットの外観を Fig. 7 に示す。ロボットは前輪 2 輪にモータを配した二輪駆動、前輪操舵方式である。ロボットサイズは高さ 40cm、幅 30cm、長さ 60cm である。レーザスキャナは水平 45 度上方に傾けて並列に 15cm 間隔で取り付けてあり、前方 (Fig.6(b) では左) からレーザ波長 660nm, 830nm, 905nm, 980nm の順である。

3.2 計測点群の 3 次元点群化

Fig. 8 に示すように一定時間毎に計測したデータをロボットのオドメトリ (現在位置) を使って座標変換する。毎時刻のデータを重ね合わせることで、3 次元点群化する。

3.3 計測実験

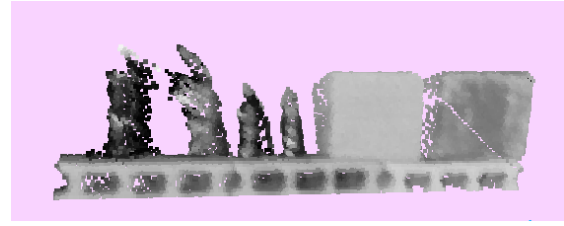
構築したシステムで水入りのペットボトルと空のペットボトル、乾燥状態と湿潤状態のコンクリートについて計測を行った。計測時の環境を Fig. 9 に示す。Fig. 10 に各測域センサによって計測された 3 次元点群を示す。Fig. 10 は計測結果のうち、コンクリート及びペットボトル部分を切り出したものである。各点群の受光強度値は最大を白、最小を黒とするグレースケールで表現している。ペットボトルや乾燥状態と湿潤状態のコンクリートから、同一波長において物体の材質、水分含有の有無により受光強度が異なることが分かる。また、空のペットボトルより、同一材質でもレーザ波長によって受光強度が異なるものが存在することが確認された。

4. 結言

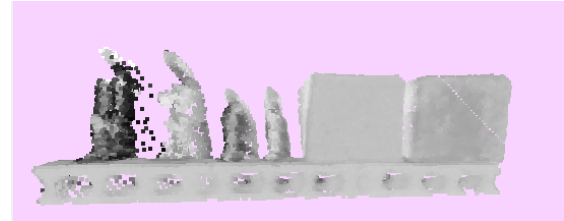
本研究では、波長の異なる複数のレーザ光の測域センサの受光強度値による物体認識手法の構築を目的としている。本稿では、まず波長の異なるレーザを用いた測域センサを用意し、対象物の材質に起因しない受光強度変化に対して行った補正について述べ、補正により計測対象物までの距離及びセンサの計測方向に起因する受光強度変化が軽減することを確認した。次に、多くの物体に対する受光強度特性を調査するため、センサをロボットに搭載して効率的にデータ収集を行うシステムの構築について述べ、計測実験から材質や水分含有の有無により計測される受光強度が異なることが分かった。今後は、構築したシステムを用いて多くの物体の受光強度を計測し、目標とする物体認識手法を確立していく予定である。

参考文献

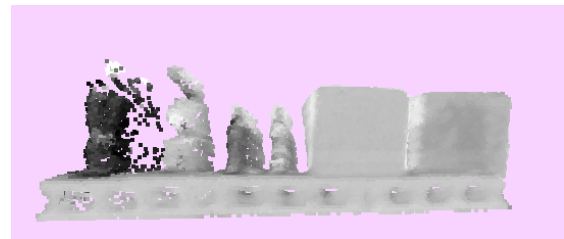
- [1] 大川真弥, 滝田好宏, 伊達央: "刈払ロボットのための LIDAR の受光強度情報を用いた植生に含まれる石質障害物の検出手法 (環境光及び計測対象の湿潤条件を考慮した反射強度の補正式の提案)", 日本機械学会論文集, 2014
- [2] Kai M. Wurm, et al.: "Improving Robot Navigation in Structured Outdoor



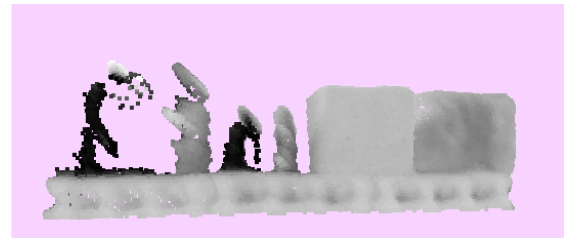
(a) 660nm



(b) 830nm



(c) 905nm



(d) 980nm

Fig. 10 波長の異なる測域センサを用いた対象物の受光強度画像 (受光強度値について、最大を白、最黒をとるグレースケールで表示)

Environments by Identifying Vegetation from Laser Data", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009

- [3] 原祥亮, 他: "測域センサの受光強度付きスキャナデータを用いた移動ロボットの環境マップ構築", 第 12 回ロボティクスシンポジウム, 2007
- [4] 蜂谷孝治, 他: "測域センサ「URG」の反射強度出力を用いた濃淡付き三次元環境地図の構築", 第 7 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門後援会, 2006
- [5] 山田久也, 他: "イチゴ非破壊品質測定装置の実用化", 照明学会誌, 2009
- [6] Mayank Goel, et al.: "Hyper Cam: Hyperspectral Imaging for Ubiquitous Computing Applications", ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2015
- [7] 竹内渉, 他: "MODIS と ASTER のスペクトル分解による地表面温度分布図の作成", 写真測量とリモートセンシング, 2003