

移動ロボットの環境認識用光学式距離センサとその利用技術

筑波大学 ○大矢 晃久, 油田 信一

Optical Range Sensor for Mobile Robot's Environment Recognition and Its Application

○Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta, University of Tsukuba

Abstract: Optical Range Sensors which are commercially available are described. The application of the sensors for mobile robot's environment recognition is presented. A project supported by JASMEC for development of a novel optical range sensor is also introduced.

1. はじめに

移動機能を有するロボットが環境中で自律的に行動するために、外界センサとそれを利用した環境認識が極めて重要な技術課題となっている。警備ロボットに代表されるようなサービスロボットが人間と同一エリア内で安全に働くためには、各ロボットのニーズに合わせた適切な環境認識センサと、その有効利用システムの開発が必要である。

現在、移動ロボットが周辺の環境を認識するために用いているセンサには、主に超音波式と光学式のものがある。超音波式距離センサや光学三角測距式距離センサは、一軸方向の距離しか測定できないので、ロボットの周囲に隙間ができないようにセンサを配置する必要がある。また、CCDカメラを2台使用したステレオカメラ方式を3次元センサとして利用する方法は、特徴点の少ない壁や天井等の認識ができない欠点があり、また受動型センサなので外乱光の影響を受けやすく、様々な環境を渡り歩く自律移動ロボットの環境認識には不向きである。

一方、自らスキャニング光を発生し対象物までの距離を測定する光レンジセンサは、光を高速に走査することにより広い範囲を短時間で計測することができるとともに、鏡のような物体を除けば対象物を選ぶこともなく、外乱光にも強いという特徴を有する。このタイプのセンサは、商品として開発され、一般にもよく使われている。

本稿では、移動ロボットの環境認識用光レンジセンサとして、商品化されていて利用可能なものを取りあげ、その利用例を紹介する。また、中小企業基盤整備機構の資金援助を受けて進められているレンジセンサ開発プロジェクトについて述べる。

2. 光レンジセンサ

移動ロボットに利用可能で、市販されている光レンジセンサとしては、ジック(株)の製品(LMS-200)がよく使われている。これは、屋内外で利用でき、最大80mまでの距離を精度良く計測可能な高性能なものであるが、据え置きや大型の車両に搭載するために開発されたため、形状が大きく重量も重く、消費電力も大きい上に実勢価格が30~50万円と高価である。

一方、北陽電機(株)では、従来より産業用途として光レ

ンジセンサの商品開発を進めてきたが、同社のPB9やPBSが小型軽量、低消費電力、低価格な点で評価され、平成13年頃から多くの研究機関で移動ロボット研究にも採用されるようになってきた。しかし、これも測距精度や大きさについて、警備ロボット等のサービスロボットに使用するにはとても十分とは言えず、現在は後述するプロジェクトで移動ロボット用のレンジセンサの開発を行っている。

これらのセンサの概観の比較をFig.1に、また性能、外形、重量、価格の比較をTable1に示す。



Fig.1 光学式距離センサの概観比較(左から、ジック(株)LMS-200、北陽電機(株)PB9、北陽電機(株)PBS、レンジセンサプロジェクトによる試作機URG-X000、比較のためのフロッピーディスク)

3. 光レンジセンサの利用例

移動ロボットが、光学式のレンジセンサを用いて行うことには、環境地図の作成、作成された地図内での自己の現在位置認識、走行時にリアルタイムでの障害物検出や回避などがある。ここでは、光レンジセンサの移動ロボットにおける利用例について紹介する。

3.1 屋内における環境地図作成

レンジセンサで計測される距離データを2次元平面上にプロットしていくことにより、環境の地図を作成することができる。北陽電機(株)のPBSを用いて研究室内で計測した結果をFig.2に示す[1]。また、ロボットの移動に伴って計測されるデータをスキャンマッチングと呼ばれる方法で合成し、ジック(株)のLMS-200を用いて広い範囲の屋内地図を歪みなく作成した結果をFig.3に示す[2]

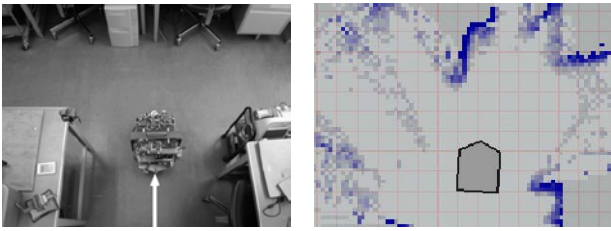


Fig. 2 PBS を用いた屋内の環境計測結果[1]

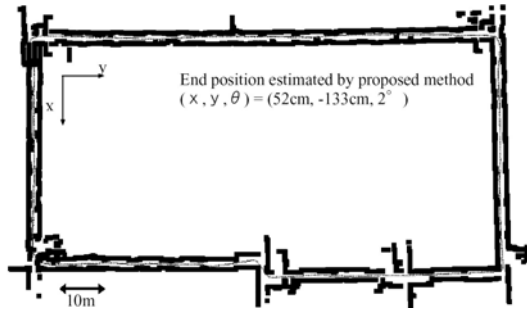


Fig. 3 LMS-200 を用いて作成した広範囲の屋内地図[2]

3.2 屋内環境における教示再生走行

一度人間が教示した走行経路を、2回目以降はロボットが自律的に走行する方法を教示再生走行という。ロボットは、教示時に自らが持つセンサで計測される環境情報を記録しておき、自律走行時には記録した情報と現在の環境計測情報を比較して、教示されたのと同じ経路を走行する。センサとして、ジック(株)のLMS-200を用い、人間が押しに行った経路を帰りは自律走行して帰還することのできる台車が開発されている[3]。

3.3 屋内環境における対象物の発見と位置認識

環境中に存在する対象物体を発見し、その位置を認識するのも光レンジセンサは用いられている。サービスを行う対象の人間の位置を求めるのに、北陽電機(株)のPB9を用いた方法や[4]、ジック(株)のLMS-200を全方位カメラと併用する方法などが提案されている[5]。

3.4 屋外における環境認識

ジック(株)のLMS-200をロボットの前方向斜め下方向に向けて設置し、ロボットの走行に伴って蓄積される距離データから屋外環境の形状を構築することができる。大学構内で計測実験を行った結果をFig. 4に示す[6]。

4. レンジセンサ開発プロジェクト[7]

4.1 プロジェクトの概略

中小企業総合事業団(平成16年7月1日より独立行政法人中小企業基盤整備機構)の戦略的基盤技術力強化事業で、平成15年度より平成17年度までの計画で、「移動ロボットの環境認識用レンジセンサシステムの開発」が進められている。これは、次世代知能ロボットの普及を促進させるために重要な技術開発として同事業のロボット部品分野で採択されたものである。

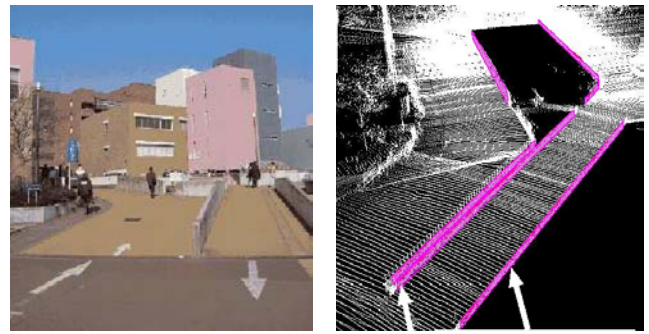


Fig. 4 LMS-200 を用いて作成した屋外の3次元地図[6]

本プロジェクトは、このような背景の下で、警備ロボットを中心に、移動機能も持つ多くの種類のサービスロボットをターゲットとして計画され、各種外界センサの中で最も環境認識に有効とされる光レンジセンサを、自律移動ロボットに特化した仕様で、世界に先駆けて商用レベルの製品開発を企てている。また、この光レンジセンサをロボットシステムへ容易に実装するための組み込み環境の整備も併せて行い、同じフィールドで人間と共存して活動する次世代知能ロボットの普及に拍車を掛けることを目的としている。

4.2 コンソーシアムの構成

本プロジェクトは、油田信一プロジェクトリーダー(筑波大学)、嶋地直広サブリーダー(北陽電機(株))のもとで、Table 2に示すようなコンソーシアムを構成して進められている。(社)日本ロボット工業会を管理法人として、光センサについて高い技術を有する中堅企業である北陽電機(株)と、特に警備用のロボットシステムを開発する上で高性能なロボットセンサを強く必要としている警備会社、総合警備保障(株)及びロボットインテグレータの(株)テムザック、さらに移動ロボットについての研究実績を有する筑波大学等が参加して7組織により構成されている。センサのメカ企業とユーザ企業及び産学の有機的な協力によって、ユーザのニーズと先端技術及び現実的開発能力を活かした開発が行われ、関連企業からも注目される中、センサの開発が進められている。

4.3 開発の内容と目標

本プロジェクトでは、汎用性の高い超小型・低価格を重視したローエンドの2Dレンジセンサと、ハイエンドとなる3Dレンジセンサを開発し、さらにこれらのセンサを警備ロボットに適用させる際に必要な環境地図作成や経路計画システムを開発し、このセンサを利用するための環境を整備する。光レンジセンサのロードマップと、本研究で開発するセンサの位置付けをFig. 5に示す。

4.3.1 超小型軽量2Dレンジセンサ

家庭内等の狭い屋内環境で働くホーム警備ロボットを主な対象として、位相差方式のレーザ測距原理を用いた、超小型軽量で低価格な2次元のレーザレンジセンサを開発する。本センサは、光強度をAM変調し、反射波の位相を検出

して距離を測定する方式を採用しており、高精度化を図るとともに、360° 方向に対して 1.5m の測距範囲の実現を目標とする。さらに、信号処理系にデジタル信号処理を導入して LSI 化による低価格化を実現する。当初目的とした、3 年の開発期間で実現を目指す具体的なセンサの仕様等は Table 3 に示す通りである。

Table 3 超小型軽量 2D レンジセンサについて
当初目標とした仕様

項目	目標値
検出距離	1.5m
光源	クラス 1 レーザ光 (ソフトウェアの指示による発光及びその停止の機能付き)
測定精度	±10mm (標準白色紙)
検出エリア	(水平) 360 度
分解能	最小検出体 5mm@0.5m
応答速度	50ms 以下
外形	φ30 × 70mm
重量	200g

4.3.2 3D 高性能レンジセンサ

広範囲の屋内外を対象として働く施設警備ロボット用途を想定して、新しい方式のレーザ測距原理を用いた、長距離で 3 次元検出が可能な高性能レンジセンサを開発する。本センサは、屋外でも利用し、また 30m の測距範囲を実現するため、レーザ安全基準クラス 1 を保ちつつ高出力のレーザを利用できるパルス方式を採用する。また、ロボットの環境認識方法に自由度を提供するため垂直方向へもスキャンでき、水平スキャンを 20msec 程度で行うという特徴を持たせる。本センサでは、従来マイクロ波で用いられていた電子回路技術を適用すると共に光学系や信号処理系に新規の方式を導入し、2 次元の機械的スキャンを行うことにより従来の高精度レンジセンサ以上の性能を有しながら大幅な小型軽量化と低価格化を実現する。3 年の開発期間で実現を目指す具体的なセンサの仕様等を Table 4 に示す。

Table 4 3D 高性能レンジセンサが目標としている仕様

項目	目標値
検出距離	30m
光源	クラス 1 レーザ光 (ソフトウェアの指示による発光及びその停止の機能付き)
測定精度	±10mm (標準白色紙)
検出エリア	(水平) 180 度 (垂直) 45 度
分解能	最小検出体 (水平) 16mm@3m 110mm@20m (垂直) 16mm@3m 110mm@20m
応答速度	20ms/水平走査 以下
外形	100 × 100 × 100mm
重量	500g

4.3.3 環境モデル作成システム

本プロジェクトでは、屋内外の環境で働く警備ロボットを対象として開発するセンサのデータを有効に使うための環境モデル作成システムの開発も行っている。これにより、開発するレンジセンサシステムのさらに実用的な有効性を確認する。

警備用ロボットは、あらかじめ決められた経路を安定走行することが求められる。そこで、ロボットにはまず地図を与え、ロボットは走行中には記憶した地図データと、現在位置でのレンジセンサからのデータを照らし合わせることで自己位置を認識し、それにより安定した走行を実現する。一方、警備ロボットシステムの普及を促進させるためには、システム導入時の手間の簡略化が必要である。そこで、ロボットがレンジセンサより得られたデータを記憶し、走行しながら地図を作成するシステムを開発する。また、ユーザが簡易に経路を設定できるユーザインタフェースの実現も目指す。

5. まとめ

本稿では、移動ロボットの環境認識用光レンジセンサとして、商品化されていて利用可能なものを取りあげ、その利用例を紹介した。また、中小企業基盤整備機構の資金援助を受けて進められているレンジセンサ開発プロジェクトについて述べた。

参考文献

- [1] 竹内他: “移動ロボット用センサ情報処理ミドルウェアの開発”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P2-3F-C6 (2003)
- [2] 石岡他: “オドメトリと LRF のスキャンマッチングを用いた移動ロボットの確率的自己位置推定とマップ構築”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1P1-L1-74 (2004)
- [3] 三澤他: “自律的帰還機能を持つ荷物運搬用台車”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-L1-73 (2004)
- [4] T. Munekata, et al.: “A Walk Support System for Two Distant Persons using Mobile Robots”, IEEE Int'l Symp. on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp. 45-49 (2003)
- [5] 宜保他: “全方位視覚センサとレーザ距離センサによる人間の位置トラッキング”, 電気学会電子・情報・システム部門大会, MC3-22P2-I07, pp. 578-579 (2002)
- [6] 大野他: “屋外移動ロボットのための LRF を用いた構造物壁面の地図作成と自己位置修正”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-H-47 (2004)
- [7] 油田他: “移動ロボットの環境認識用レンジセンサシステムの開発”, 日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P2-L2-22 (2004)

Table 1 光学式距離センサの性能比較

	LMS-200	PB9	PBS	URG-X000
光源	レーザ	赤外 LED	赤外 LED	レーザ
計測範囲	180 度	162 度	216 度	270 度
最小角度分解能	0.25 度	1.8 度	1.8 度	0.35 度
最大測定距離	80m	5m	3m	2.5m
距離精度	10mm	100mm	100mm	10mm
外形	155*185*156	60*70*120	60*55*60	Φ30(光学部)*70
重量	4500g	500g	300g	200g
価格	50 万円	7 万円	12 万円	————

Table 2 レンジセンサ開発プロジェクトのコンソーシアム構成

機関名	組織の概要	資本金等	従業員数
(社)日本ロボット工業会	ロボットの業界団体 (全国規模)	————	14 人
北陽電機(株)	産業用センサ及び制御機器製造業	5 千万円	150 人
(有)キズクリ設計事務所	光学測定機及び光学部品設計	300 万円	10 人
総合警備保障(株)	警備の請負と保障	167 億 2,650 万 2,000 円	12,786 人
(株)テムザック	ロボット製造業	4 億 7 千万円	16 人
筑波大学知能ロボット研究室	————	————	3 人+4 人
大阪電気通信大学ロボット工学(前山)研究室	————	————	1 人+3 人

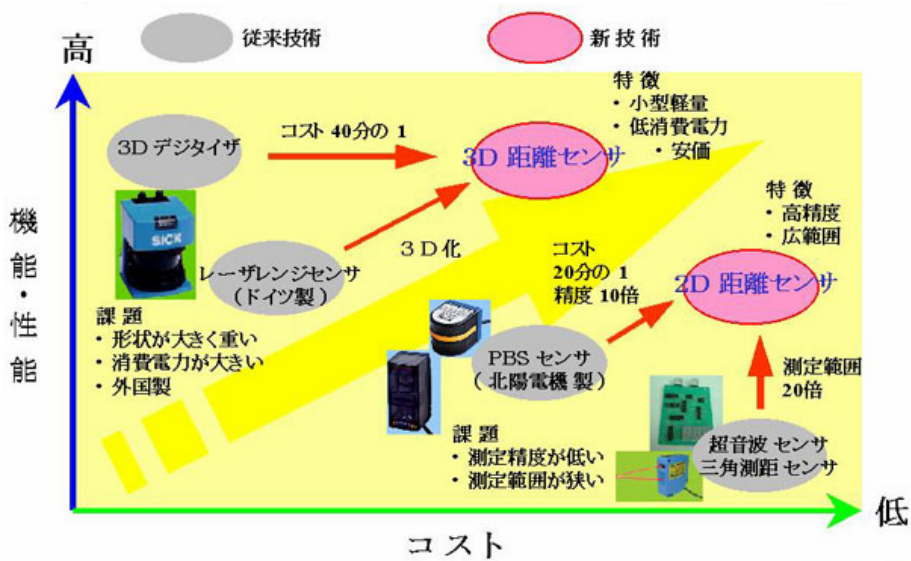


Fig. 5 光レンジセンサのロードマップと本研究で開発するセンサの位置付け