

人に同行する機能と障害物回避および自律帰還機能を有する 移動ロボットシステムの開発

Mobile Robot System Realizing Human Following and Autonomous Returning with Obstacle Avoidance

○学 清水 隆史 (静岡大) 正 山下 淳 (静岡大)
金子 透 (静岡大)

Takahito SHIMIZU, Shizuoka University
Atsushi TAMASHITA, Shizuoka University, tayamas@ipc.shizuoka.ac.jp
Toru KANEKO, Shizuoka University, tmtkane@ipc.shizuoka.ac.jp

In recent years, with the development of industry technology, introduction of autonomous mobile robots to environments close to us is expected. Examples include shopping cart robots automatically returning to the shopping cart shed after shopping, and guide robots directing the way from the current location to the starting location in unknown environment. In this paper, we propose a mobile robot system that has a function of returning to the starting location autonomously while avoiding obstacles which are not present on the way to the current location. We verified the validity of the system by using the wheel mobile robot with LRF.

Key Words: Mobile Robot, Human Support, Laser Range Finder

1. 序論

本研究では、人に同行しながら移動した後、自律的に元の位置まで帰還する移動ロボットシステムの構築を目的とする。

近年のロボット産業の発展に伴い、身近な環境下における自律移動ロボットの導入が期待されている。自律移動ロボットの用途として、物を運んだ後に自動的に元の場所へ戻る荷物運搬や、未知の環境において現在地から出発した場所までの道案内などがある。これらの目的を果たすロボットには、人に同行しながら移動する機能と、設定された位置まで自律的に帰還する機能が必要となる。

本研究では出発地点から目標地点まで向かうことを往路、目標地点から出発地点まで向かうことを復路と呼ぶことにする。往路では人に同行して移動しつつ、復路のナビゲーションのために周囲環境の地図を生成する。復路は往路で生成した地図を利用し、出発地点まで移動する。また、周囲環境の地図の生成にはセンサが必要となる。周囲環境を計測するセンサの一つとして、レーザレンジファインダ（以下LRFと表記）がある。LRFとは、レーザ光の伝播時間により距離を測定するものであり、距離情報を高速かつ正確に計測することができる。

上記の機能を持ち、センサとしてLRFを搭載した移動ロボットの従来研究として、文献[1]がある。文献[1]では、往路の移動の際にLRFの計測データより検出した廊下の柱の角や平坦な壁面をランドマークとして記録する。復路の移動の際はランドマークを元に自己位置推定をし、往路と同じ経路を辿り出発地点まで帰還する。そのため、往路での移動経路により、出発地点への帰還には不適当な経路を辿る可能性がある。また、復路の移動の際に、往路では存在しなかった障害物（未知障害物）が復路の経路上に存在した場合、障害物が経路から移動するまで行動を停止する。そのため、障害物が経路に残り続けた場合、出発地点まで帰ることが出来ないといった問題が生じる。

そこで、本研究では往路は人に同行して移動しつつ距離データを取得することで地図を生成し、復路は往路で生成した

地図を用いて未知障害物を回避しつつ出発した位置へ帰還する移動ロボットシステムを構築する。

2. 研究の概要

本研究ではLRF搭載車輪型移動ロボットを用いる（図1）。LRFは地面に対して水平に搭載する。また、ロボットの動作環境は静的環境における段差の無い平面とし、2次元空間でナビゲーションを行う。



Fig. 1 LRF-equipped mobile robot

ロボットの動作の概略を図2に示す。往路では、ロボットは人に同行しながら移動を行う。この際に、LRFから得られる距離情報を用いて往路の周囲環境の2次元地図を生成する。

復路では、往路で生成した周囲環境の地図を用い、人工ポテンシャル法によりポテンシャル場を形成する。ロボットは形成されたポテンシャル場の勾配方向に沿って移動する。また、LRFを用いて周囲環境の計測を行い、ポテンシャル場の再形成を行うことで、未知障害物を回避する。

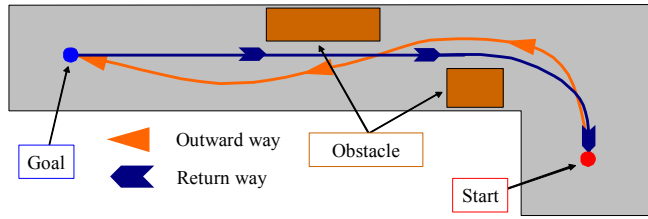


Fig. 2 Outline of robot movement

3. 往路での動作

3.1 人への同行機能

ロボットが人に同行しながら移動するには、コントローラなどによる手動操作や、ロボットが自動で人を追尾する[2]など様々な手法がある。本研究ではロボットを手動で操作することで往路の移動を行う。

3.2 2次元地図生成

往路の移動中に周囲環境の地図を生成する。地図生成のための周囲環境の計測にはLRFを用いる。しかし、LRFの計測範囲の限界やオクルージョンなどにより、一回の計測で周囲環境全体を計測できない。そこで、ロボットを移動させながら複数回計測を行い、各計測データを統合することで周囲環境の地図を生成する。

計測データの統合には、正確なロボットの自己位置推定が重要となる。本研究ではロボットの自己位置同定をオドメトリにより行う。オドメトリとは、車輪の回転数から走行距離や回転角度を推定する方法であるが、車輪のスリップなどにより誤差が累積するという欠点がある。

そこで、LRFの各計測データをICPアルゴリズムを用いて位置合わせすることで、オドメトリの誤差の低減を行う[3]。ICPアルゴリズムとは、複数の計測データ間で重複して計測された部分を利用して、繰返し計算により誤差関数を最小化する解を求める手法である。ICPアルゴリズムを用いることで、より正確な自己位置推定が出来るため、生成地図の誤差を低減することができる。

4. 復路での動作

復路のナビゲーションには人工ポテンシャル法を利用する。人工ポテンシャル法とは、Khatibによって提案された手法である[4]。この方法は、空間に仮想的なポテンシャル場を形成し、ロボットをポテンシャル場の勾配方向にそって移動させることで、目標とする位置まで到達させる。しかし、文献[4]の手法では、目標位置以外の局所最小点である停留点が発生する可能性がある。停留点が発生すると、ロボットが目標の位置に到達する前に動作を終了してしまう。

停留点の発生を防ぐために、本研究ではポテンシャル場の形成にラプラスポテンシャルを用いた手法[5]を使用する。この手法では、ラプラス微分方程式の解が局所最小点を持たないことを利用し、停留点が存在しないポテンシャル場を形成する。ラプラスポテンシャルを用いて、図3(a)で示される環境におけるポテンシャル場を形成すると、図3(b)のようになる。図3(b)において、Z方向がポテンシャルの大きさである。

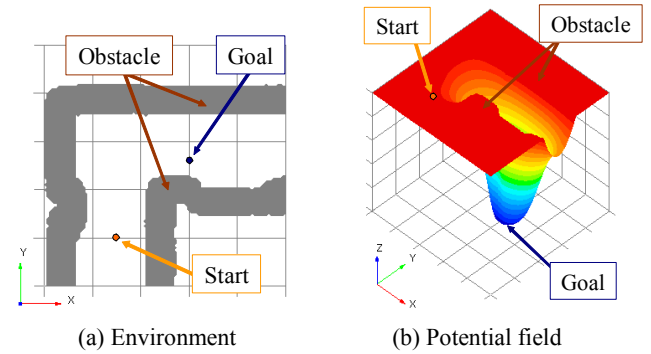


Fig. 3 Laplace potential field

ロボットは行動を開始する前に、ラプラスポテンシャルにより領域全体のポテンシャル場の形成を行う。本研究ではロボットの動作する空間をコンフィグレーション空間（以下C空間と表記）とし、C空間においてポテンシャル場を形成する。C空間とは、ロボットと障害物が接触・衝突する領域を想定し、ロボットを大きさの無い点（代表点）として表現する空間のことである。また、ロボットの大きさの分だけ障害物を拡張したものをC障害物という。C空間では、ロボットと障害物の接触を、代表点のC障害物領域内での有無で判定でき、接触のチェックが容易となる。本研究で用いるロボットは多角形状のため、姿勢の変化によってC障害物に変化し、計算コストが増加する。そこで、本研究ではロボットを円形と仮定する。円形と仮定した場合、ロボットの姿勢が変化してもC障害物に変化しない。そのため、計算コストを抑えることができる。

ポテンシャル場の形成が完了したら、ロボットの移動を開始する。ポテンシャル場の勾配方向を算出し、ロボットの進行方向を勾配方向に沿うように微調整し、ロボットを移動させる。その後、ロボットの自己位置推定を行い、その位置でのポテンシャル場の勾配方向を求める。以上の手順を繰り返すことにより目標の位置へとロボットをナビゲーションする。

また、復路移動中もLRFによる周囲環境の計測を行い、ポテンシャル場の再形成を行う。ポテンシャル場の再形成の例を図4に示す。橙色の矢印はポテンシャル場の勾配方向、灰色の点はC障害物である。また、紺色の点は地図データ、緑の線は勾配方向に沿った場合のロボットの移動経路である。未知障害物がある場合（図4(a)）は、往路の地図から形成されたポテンシャル場において、未知障害物の存在する位置のポテンシャル値を高くする。その後ポテンシャル場の再形成を行うと、未知障害物付近の勾配方向が変化し（図4(b)）、未知障害物を回避する経路が導出される。

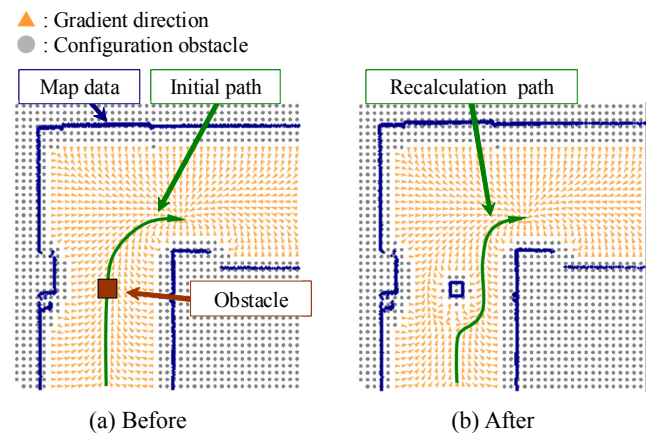


Fig. 4 Reconstruction of potential field

5. 実験

5.1 実験装置

本研究では、MobileRobots社製の車輪移動ロボットPioneer3を用いる。このロボットは、2駆動輪1キャストの機構である。駆動輪は10mm/sec単位で独立して速度を設定することができる。ロボットの操作にはテンキーを用いる。

センサはSICK社製の型式LMS200 - 30106のLRFを用いる。センシング範囲は180度方向の1平面で、0.5度の分解能を持つ。

計算機の仕様は、CPUがIntel Core 2Duo T9300 2.5GHz、メモリが3.5GBである。

5.2 実験条件

本実験では、実際に荷物をロボットに載せ、目標地点まで運び、出発地点まで戻る実験を行う。往路の実験環境を図5(a)に、復路の実験環境を図5(b)に示す。床面に段差は無く、また移動物体は存在しないものとする。



Fig. 5 Environment

5.3 実験結果

往路では、ロボットに荷物を載せ、テンキーでロボットを操作しながら荷物を目標地点まで運んだ。往路で生成した地

図とロボットの移動の様子を図6に示す。出発地点は三角、目標地点は四角、ロボットの軌跡は赤い点、LRF計測データは青い点で示されている。緑の矢印は移動方向を示している。図6より、人がロボットを操作しながら移動し、周囲環境の地図を生成していることが分かる。

図6を用いて形成したポテンシャル場の勾配方向を図7に示す。橙色の矢印はポテンシャル場の勾配方向、灰色の丸はC障害物を示す。ポテンシャル場の勾配方向に沿ったロボットの移動経路を緑の線で示す。

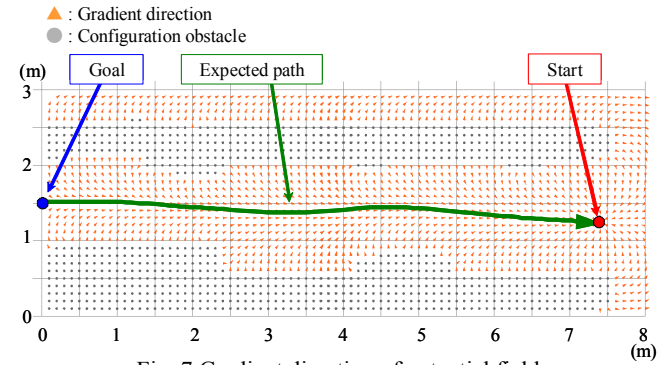


Fig. 7 Gradient direction of potential field

目標地点に到達し荷物を降ろした後、ロボットは復路の移動を開始する。復路では、往路で閉じていたドアが開いたままとなった。このドアは往路で生成した地図に記されておらず、未知障害物となる。未知障害物である開いたままのドア（図5(b)）周辺における、再形成前と後のポテンシャル場の勾配方向を図8に示す。往路の地図から生成したポテンシャル場の勾配方向（図8(a)）が、ポテンシャル場の再形成によって変化し（図8(b)）、未知障害物を避ける方向に変化していることが分かる。

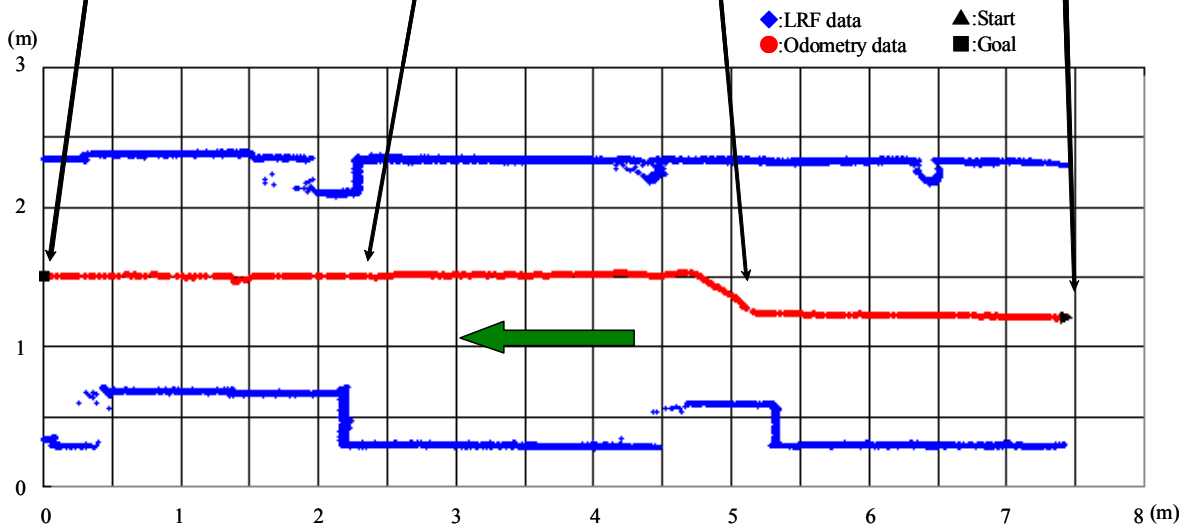


Fig. 6 Generated 2-D map and trajectory of mobile robot on the outward way

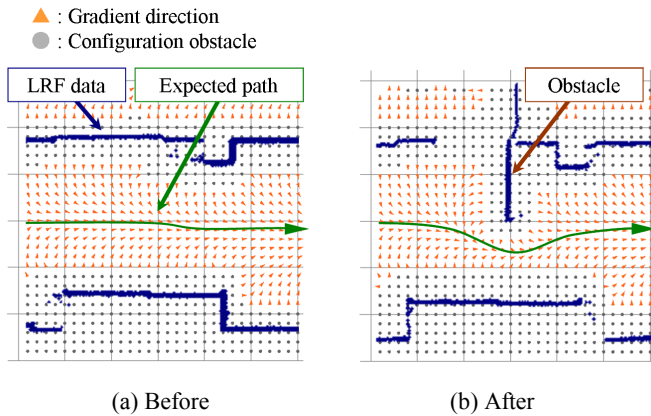


Fig. 8 Reconstruction of potential field around obstacle

実際の復路のロボットの軌跡と移動の様子を図9に示す。ロボットが未知障害物であるドアを回避していることが分かる(図9, 黒円内の経路)。この結果より, 提案手法によりロボットは実験環境において未知障害物を回避しながら移動し, 出発地点へと帰還できることが示された。

6. 結論

本研究では, 静的2次元環境において, 生成した地図を利用したラプラスポテンシャル法による出発地点への帰還を行うロボットシステムの構築を行った。

地図生成にICP アルゴリズムを用いることで, 自己位置推定の修正を行い誤差の少ない地図生成を行うことができた。

経路の導出には, 生成地図を用いたラプラスポテンシャル法を適用することで, 出発地点への帰還を達成することができた。また周囲環境の計測にLRFを用いることで, 未知障害物を高速に検出することが可能である。LRFによる計測デー

タを用いてポテンシャル場の再形成を行うことで, 未知障害物を回避する経路が導出できた。

今回の実験より, ラプラスポテンシャルによる経路導出およびポテンシャル場の再形成による経路の更新が, 未知障害物を回避しながらの出発地点への帰還の達成に有効であることが確認できた。

今後の課題としては, 地図生成時の移動物体の除去が挙げられる。本研究の実験の前提条件として, 往路, 復路ともに移動物体は存在しないものとしたが, 実環境では多くの移動物体が存在する。提案手法では移動物体が存在する場合, 静止物体として地図に記されてしまうため, 地図上からの移動物体の除去が必要となる。移動物体の除去の方法としては, 時間毎の各計測データの差分より移動物体を検出, 除去するといった方法が考えられる。

また, ロボットを手動で操作するよりも, 自動で人を追尾する方が便利である。よって, 人の追尾機能の追加も必要である。

文 献

- [1] 三澤正志, 吉田智章, 油田信一, "自律的帰還機能を持つ荷物運搬用電動台車の開発", 日本ロボット学会誌, vol.25, no.8, pp.1199-1206, 2007.
- [2] 奥迫伸一, 坂根茂幸, "レーザレンジファインダを用いた移動ロボットによる人の追跡", 日本ロボット学会誌, vol.25, no.5, pp.605-613, 2006.
- [3] Paul J. Besl and Neil D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes," Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.14, no.2, pp.239-256, 1992.
- [4] Oussama Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots," International Journal of Robotics Research, vol.5, no.1, pp.90-98, 1986.
- [5] 佐藤圭祐, "極小点のないポテンシャル場を用いたロボットの動作計画", 日本ロボット学会誌, vol.11, no.5, pp.702-709, 1993.

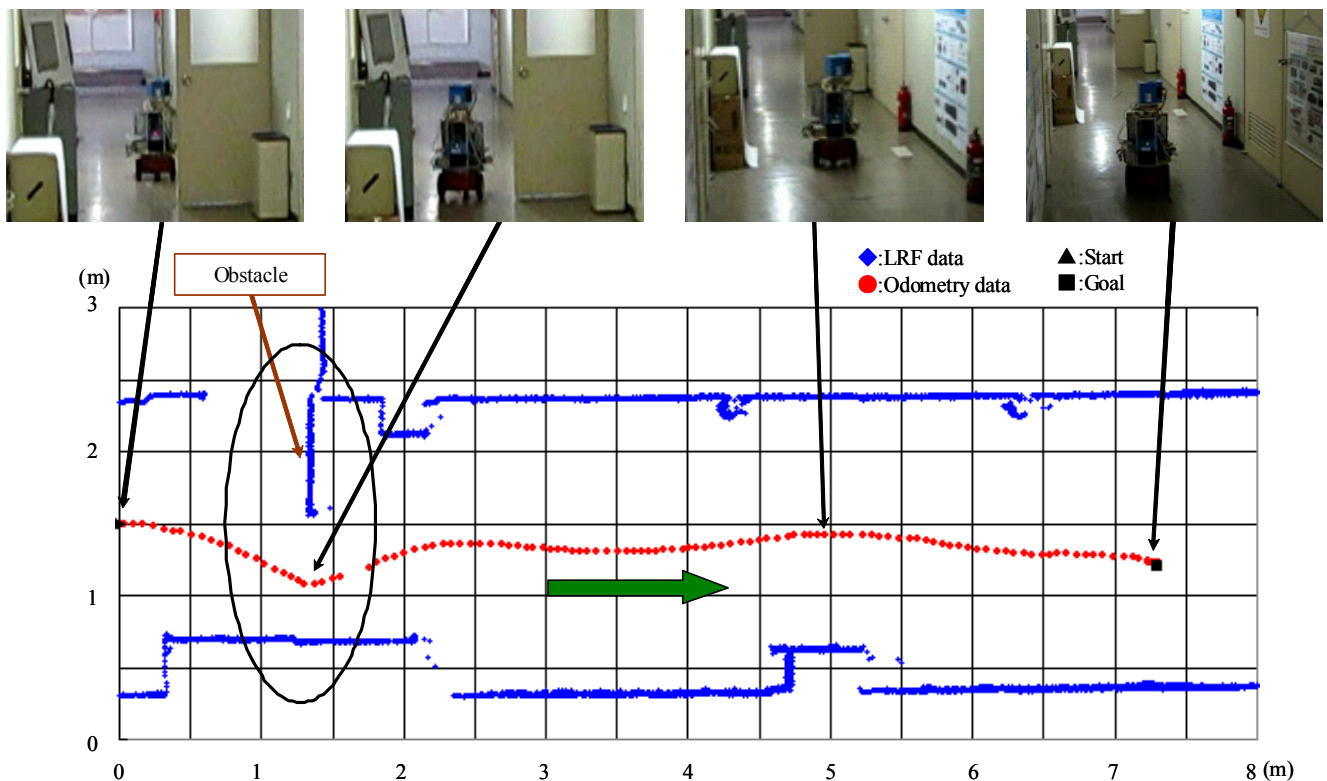


Fig. 9 Generated 2-D map and trajectory of mobile robot on the return way