

自律移動車椅子ロボット実験システムの開発

横道 政裕*・川口 毅也†・甲斐 崇浩‡

Development of Experiment System for Autonomous Wheelchair Robot

Masahiro YOKOMICHI, Toshiya Kawaguchi, Takahiro KAI

Abstract

Since early 2000's, an autonomous wheelchair robot system for supporting handicapped people has been developed at the author's laboratory. The wheelchair robot was equipped with desktop PC, IR and Ultrasonic sensors. In addition, the control programs have been developed such that they can cooperate with commercial software *Webots*. Recently, the system has been renewed in order to use micro computer boards with embedded Linux which can run open-source robot control software *Player/Stage/Gazebo* and to use Laser Range Finder.

In this report, the authors describes some parts of the renewal works, they are, (1) development of motor control software which can run with PSG. (2) modeling of the measurement error of LRF and implementation on simulation software. Developed softwares and models are evaluated by experiments.

1 はじめに

当研究室ではこれまでに、自律移動を可能とする車椅子ロボットの開発を行ってきた¹⁾。従来のシステムでは、入出力の自由度の高さを考慮してデスクトップPCを搭載し、センサとしては超音波センサ及び赤外線センサを距離センサとして搭載し、障害物回避行動や目的地への到達制御などの研究を行ってきた²⁾。

しかしながら、デスクトップPCは車椅子に対して大きく重いものであり、それを搭載したままでは人間が搭乗することは困難である。また、AC電源を供給する必要があるため、バッテリー駆動も不可能である。また、赤外線センサや超音波センサは、計測距離が短く、また計測精度も低いいため、目的地への到達や軌道計画、また、近年研究が進展しているSLAM(Self Localization and Mapping)を実行するには不十分である。一方で、ロボットの制御プログラムとしては、単独で動作するC言語プログラムを作成し、また、シミュレーション環境としては商用のソフトウェアである*Webots*を用いてきた。制御プログラム中でマクロ

宣言することで実機用の制御プログラムとシミュレーション用の制御プログラムとの間の違いを吸収するようにしていたが、制御アルゴリズムが複雑になる場合や新しくセンサなどのデバイスを追加する場合に、プログラムが肥大化し、その開発及び実験・シミュレーション間の連携が困難になってきている。

これらの問題点を解決するために、本システムでは、

- デスクトップPCを組み込みLinuxが動作するボードマイコンに変更する。
- LRF (Laser Range Finder) を搭載する。
- カメラ、ジャイロセンサなどの入出力機器の追加、削除の自由度を向上させるために、マイコン群が協調動作するシステムを構築する。
- 制御・シミュレーションソフトとして、オープンソースソフトウェアの*Player/Stage/Gazebo*³⁾を使用する。

こととした。

*Player/Stage/Gazebo*は2000年代初頭に南カリフォルニア大学で開発が開始され、現在ではオープンソースソフトウェアとして活発に開発が続けられており、

*情報システム工学科 准教授

†情報システム工学科 4年生

‡教育研究支援技術センター

数多くの移動ロボットプロジェクトで使用されているソフトウェアである。

本稿ではシステム開発作業のうち、マイコンボードを用いた車椅子のモータ制御モジュール (Player 用ドライバ) の開発と、LRF の計測誤差モデルの作成と 3D シミュレーション環境 (Gazebo) への実装について述べる。

2 システム構成

本研究で開発したシステムの構成は以下の通りである。

電動車椅子: 松永製作所製 MD-100(図 1)

マイコンボード: Atmark Techno 製 Armadillo-300

LRF: 北陽電機製 URG-04LX

D/A コンバータ: DACS 技研製 82ADA-KC



図 1: 車椅子ロボット

これらのデバイスは図 2 に示すように接続されている。Armadillo-300 は CPU として Digi International 社製 NS9750B を搭載しており、Linux(kernel-2.6.12, Debian 4.0) が動作するため、PC 用に開発されたロボット制御プログラムを容易に移植する事が可能である。また、カメラやジャイロセンサ、追加の LRF を搭載する場合には、それぞれのセンサを個別のマイコンボードに接続し、TCP/IP を用いて通信を行うことで協調動作させることが可能となる。

2.1 電動車椅子のモータ制御

電動車椅子 MD-100 は、ジョイスティックコントローラから左右の独立した DC モーターに制御電圧を付加することでジョイスティック操作に応じた走行を行う。また、速度調整つまみを調整することで制御電圧

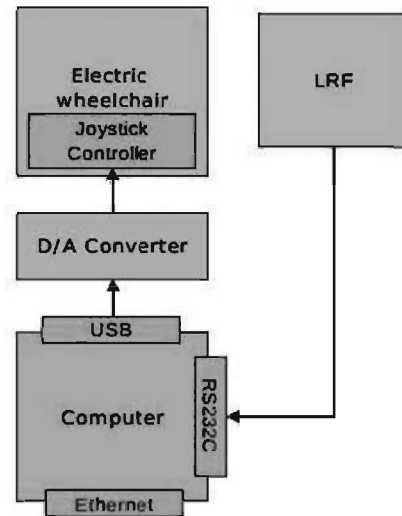


図 2: システムの構成

のレンジを調整することができ、走行速度を全体的に調整することが可能である。これまでの研究により、MD-100 ではジョイスティックから左右のモーターを制御する電圧は 3 種類あることがわかっている。ここではそれぞれを「並進電圧 (V_f)」、「操舵電圧 (V_s)」、そして「基準電圧」と定義する。このうち「基準電圧」は一定値であることがわかっているため、実際には、コンピュータからは D/A コンバータを介して V_f と V_s の 2 つの電圧を操作することとなる。

2.2 レーザーレンジファインダ URG-04LX

本研究で使用する LRF URG-04LX の主要な仕様を表 1 に示す。従来用いていた赤外線センサ及び超音波

表 1: URG-04LX の仕様

項目	仕様
重量	約 160(g)
検出距離及び検出体	[0.06:4](m)、白 ケ ン ト 紙 70(mm ²) 以上
測距精度	[0.06:1](m): ±10(mm)、 [1:4](m): 距離の 1%
測距分解能	1(mm)
角度範囲	240(deg)
角度分解能	約 0.36(deg) (360(deg)/1024 分割)
測定時間	100(msec)/scan

センサの測定範囲がそれぞれ数 10(cm)、約 1(m)であ

ることを考えると、広範囲の障害物を検出可能であることがわかる。

2.3 Player/Stage/Gazebo

本研究で使用する移動ロボット制御ソフトウェアである *Player/Stage/Gazebo* の概略を述べる。それぞれのソフトウェアは以下の役割を持っている。

Player: ロボットのハードウェアやシミュレーション環境と制御・実験ソフトウェアとの通信を行うミドルウェア

Stage: 二次元シミュレーションソフトウェア

Gazebo: 三次元シミュレーションソフトウェア

Player では、サーバとハードウェアとの間のデータのやりとりを、デバイスドライバを介して行う。そしてユーザプログラムとの間ではそれぞれのデバイスの種類 (LRF, カメラ, 車輪型移動ロボットなど) に応じたインターフェイスに沿ってデータのやりとりを行う。また、シミュレーション環境とサーバの間ではプラグインと呼ばれるドライバを介してデータのやりとりを行う。さらに、いくつかの制御アルゴリズムについてはそのドライバが用意されており、別プロセスとしてではなく、サーバプロセス上の別スレッドとしてロボット制御を行うことも可能である。ユーザプログラムとしては、C, C++, Python を用いてプログラムを記述する事が可能である。

本研究で使用するハードウェアに関しては、LRF 用のデバイスドライバは用意されているが、D/A コンバータを用いたモータ制御部分に関してはデバイスドライバが用意されていないため、新規に作成する必要がある。

Gazebo は、3D レンダリングエンジンとして *Ogre3D*, 物理計算エンジンとしては *ODE*, *bullet* を用いており、環境の記述には XML 言語を用いている。カメラや LRF などのよく使用されるデバイスや、二輪速度差移動ロボットなどの一般的な移動手段については *Controller* という機能によって測定値の取得や物体の移動を実現する事が可能である。特に本研究で使用する LRF については、SICK 社製 LMS-200 用のコントローラが用意されており、このソースファイルを修正することで、URG-04LX 用のコントローラを作成することが可能であるが、測定誤差のない数値を出力するようになっていたため、より現実に近いシミュレーションや、粒子フィルタを用いた SLAM などのシミュレーションをする際には、測定誤差を考慮したコントローラを作成する必要がある。

3 ドライバとモデルの作成

3.1 モータ制御ドライバの作成

本システムにおける車椅子の移動制御は、前節で述べた通り D/A コンバータを介して車椅子の並進電圧及び操舵電圧を発生させることで実現される。また、多くの移動ロボットにおいては、ロボットに対する移動命令は

- 各車輪の (回転角) 速度
- 並進速度と姿勢角速度
- 次ステップにおける目的地

など、様々な形式で表現され、さらに車輪の回転量を元にしてユーザプログラムに対してオドメトリと呼ばれる移動量を送信する機能が実装されている。そこで本研究では、ユーザプログラムから送られる並進速度と姿勢角速度の命令に対してそれに応じた並進電圧及び操舵電圧を発生させる部分及び、オドメトリ情報を供給する機能を実装することとした。

本研究で使用する MD-100 については、文献²⁾において既に並進電圧及び操舵電圧に対する並進速度 v 及び姿勢角速度 $\dot{\theta}$ の関係が実験データを元にモデル化されている。使用したデータのグラフを下図に示す。

図からも v, V_t の間、 $\dot{\theta}, V_s$ の間の相関が強く、 $\dot{\theta}, V_t$

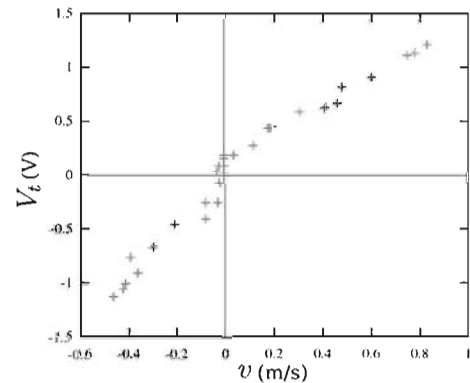
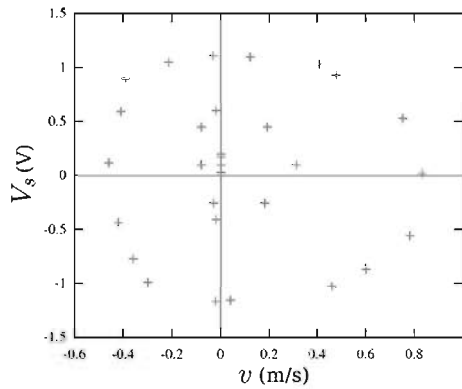
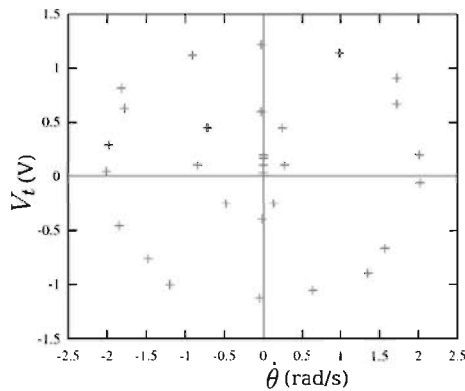
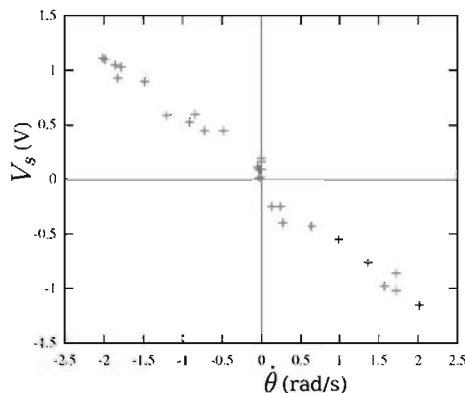


図 3: v と V_t の関係

の間、 v, V_s の間の相関が弱いことが分かる。実際に後者の相関係数はそれぞれ 0.0029, -0.03 と低い数値であり、 V_t を v のみの関数、そして V_s を $\dot{\theta}$ のみの関数としてモデル化することが可能であると考えられる。図 3, 5 から原点近傍でグラフが不連続となっていることがわかることから、本研究ではそれぞれを原点を境界とする二つの一次関数でモデルを近似的に導出することにする。最小二乗法で得られた結果は以下の通りで

図4: v と V_s の関係図5: $\dot{\theta}$ と V_t の関係図6: $\dot{\theta}$ と V_s の関係

ある。

$$V_t = \begin{cases} 1.32402v + 0.127906 & v > 0 \\ 0 & v = 0 \\ 2.07369v - 0.108783 & v < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$V_s = \begin{cases} -0.499211\dot{\theta} + 0.104181 & \dot{\theta} > 0 \\ 0 & \dot{\theta} = 0 \\ -0.469278\dot{\theta} - 0.169476 & \dot{\theta} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

得られた関係を元に速度命令値に対して各電圧を発生させるドライバを作成した。

また、2輪速度差制御型の移動ロボットの運動学方程式は、平面上の位置を (x, y) 、姿勢角を θ としたときに、

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos \theta \\ \dot{y} &= v \sin \theta \\ \dot{\theta} &= u \end{aligned} \quad (3)$$

(u : 姿勢角速度命令値)と記述することが可能なので、各制御時間間隔内で速度命令値が一定である場合について式(3)を積分することで位置、姿勢の変化量を計算し、その値をオドメトリとして出力することとした。

3.2 LRF のモデルの作成

2.3節で述べたように、*Gazebo*において標準で提供されているLRFのコントローラは計測誤差を含まない値を出力するようになっている。そこで、実際にURG-04LXで計測実験を行い、そのデータを元に計測誤差のモデルを作成することとした。

実験は、宮崎大学工学部A棟2Fの東側の壁に対してLRFを正対させ、LRFの正面部分と壁との距離を0.2(m)、0.5(m)、1(m)、2(m)、そして4(m)と変化させて各50回の測定を行った。距離1(m)における測定結果を直行座標系に変換したグラフを図7に示す。

壁との距離と測定結果との間に0.05(m)ほどのオフセットが発生しているが、これはどの測定においても同様であった。これは、LRFの中心でなく、本体正面からの距離を元にLRFを設置したためであると考えられる。測定距離と、スキャン毎の測定値の平均値、標準偏差とのグラフをそれぞれ図8, 9に示す。

図9において、距離が短い部分で標準偏差が大きくなっているが、これは距離が短い分だけスキャン角度が広くなり、入射角が大きくなることで測定誤差が大きくなっているためであると考えられる。そこで、表1における測定精度の公称値を考慮し、本研究では、

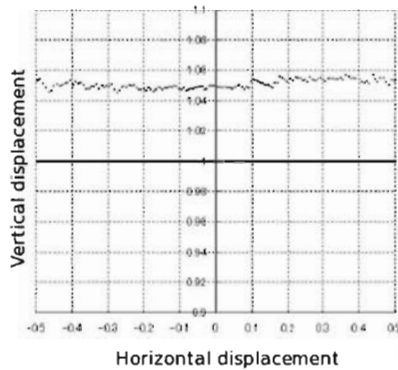


図 7: LRF の測定結果

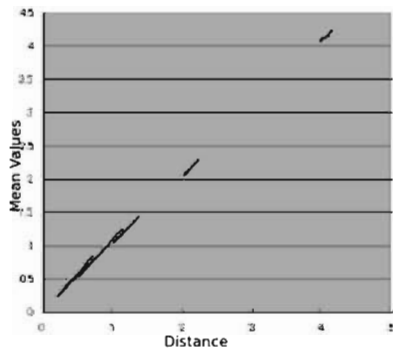


図 8: 距離と測定値の平均値の関係

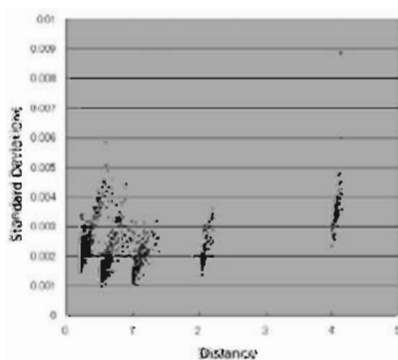


図 9: 距離と、測定値の標準偏差の関係

距離の真値を $r(m)$ としたときに、測定誤差の平均値 μ を r の一次関数、標準偏差 σ を二次関数としてモデル化し、係数を最小二乗法を用いて導出した。また、測定誤差のヒストグラムを見ると、ほぼ正規分布にしたがっていると判断できたので、確率分布としては正規分布を用いることとする。最小二乗法を用いて得られたモデルを次式に示す。

$$\begin{aligned} \mu &= 1.004587r + 0.058826 \\ \sigma &= 0.000199r^2 - 0.000488r + 0.002334 \quad (4) \end{aligned}$$

導出されたモデルを元に、Gazebo 上でのコントローラの実装を行った。

4 評価実験

前節で作成したドライバ及びモデルの有効性を検証するために評価実験を行った。

4.1 モータ制御ドライバの評価実験

現在車椅子ロボットは車輪部分に不具合があるために、駆動電圧に対して適切な車輪の回転を行うことができなかった。そのため、Player サーバを起動し、ユーザプログラムからいくつかの速度命令を発生させ、D/A コンバータからの出力電圧を測定した。なお、ここでの実験では、 $v \mapsto V_f$ のモデルとして、 y 切片を 0.1 と固定した線形モデルを用いた。実験結果を図 10 に示す。図中の実線はモデルの数値である。図から、モ

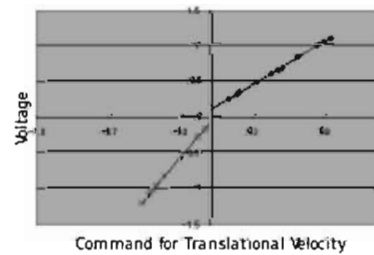


図 10: v と V_f の実験結果

デルに従った電圧が発生していることが確認できる。

4.2 LRF モデルの評価実験

本実験では、Gazebo 上で幅、高さが 1(m) の壁を設置し、その前方に LRF を設置して(図 11 参照)壁との

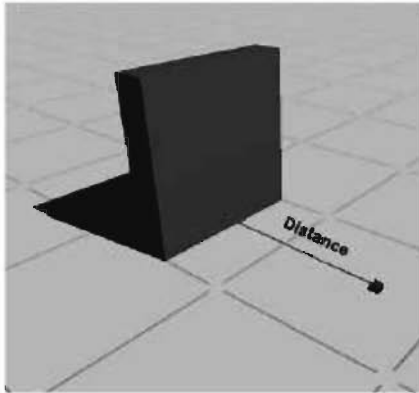


図 11: 実験環境

距離を 0.2(m), 0.5(m), 1.0(m), 2.0(m), 4.0(m) と変化させて測定値を 50 回取得した。それぞれの距離におけるシミュレーション環境から取得された測定値の平均値のグラフを下図に示す。図 8 とほぼ同一の結果が得

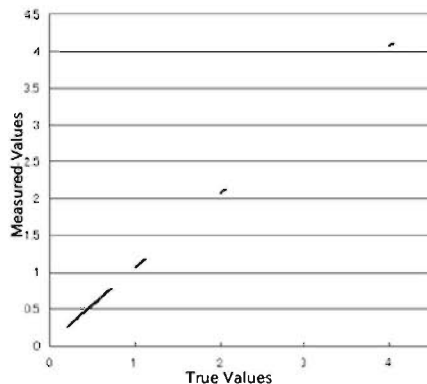


図 12: シミュレーション環境での距離と測定値の平均値の関係

られていることが分かる。

5 おわりに

本稿では、自律移動車椅子ロボットの開発の一つのステップとして行った、モータ制御ドライバの開発及び LRF のシミュレーション用モデルの開発について説明した。今回開発したドライバやモデルを用いて、*Player/Stage/Gazebo* を用いた実機での実験やシミュレーションを行うことが可能となる。

今後の課題としては、

- カメラやジャイロセンサなどのドライバの開発と搭載
- 実機での制御実験

などが挙げられる。

参考文献

- (1) 横道、光来出、甲斐、“屋外環境を考慮した自立移動車椅子ロボットの行動ルールの拡張”、宮崎大学工学部紀要 第 38 号 pp. 373-379 (2009)
- (2) K.Kamimura, T.Kai, M.Yokomichi, and T.Kitazoe, “Simulation Study for Intelligent Wheelchair Vehicle with Ultrasonic and Infrared Sensors”, Proc. of AROB 2005, IS2-4 (2005)
- (3) B. P. Gerkey, R. T. Vaughan, and A. Howard, “The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems,” Proc. the International Conference on Advanced Robotics(ICAR2003), pp. 317-323 (2003)