

## LiDAR を搭載した 屋内向け高齢者見守りロボットの 直進制御についての研究

### A Study for Straight-running Control of the Indoor Elderly-monitoring Robot System using LiDAR

渡邊 善仁<sup>†</sup>杉本 大志<sup>†</sup>曾利 仁<sup>‡</sup>漆原 史朗<sup>†‡</sup>都築 伸二<sup>†</sup>

Yoshihito WATANABE

Masashi SUGIMOTO

Hitoshi SORI

Shiro URUSHIHARA

Shinji TSUZUKI

#### 1. はじめに

先進国の中でもずば抜けて高齢化が著しく進行する日本 [1]では、独居世帯や老老介護といった問題、またデイケアサービスや特養老人ホームの需要と、それに対する供給バランスの不均衡化が顕在化している [2]。これに連動する形で少子高齢化と労働人口減少が同時進行しており、福祉・介護やデイケアといった介護現場では、介護人材の充足が喫緊課題となっている。このような状況の中で、いわゆる見守りシステムが注目されている。既存技術として、介護者の代わりにロボットを用いる事でコミュニケーションを図る、または癒しを与えて日常生活を穏やかにするロボット技術、着用型の呼吸センサなどを用いたバイタルセンシング技術、加速度センサなどのモーションセンサを活用した転倒検出システムなどの要素技術が開発されており、その需要と重要度は年々高まりを見せている。

本研究は、一人暮らしのお年寄りが生活する住居で稼動する自走式見守りロボットシステムに注目している。このロボットに対して、上位レイヤとして外的要因と内的要因を勘案して行動を決定する柔軟な行動アルゴリズムを、会レイヤとして LiDAR による測距位置を活用し精確に直進・旋回する制御アルゴリズムを実装する。このアルゴリズムでは、外的要因として見守るべき相手を探索するタスクと、内的要因としてロボットの充電を促すタスク 2 つを並列する(図 1)。これらのタスクは Deep Q-Network (DQN) [3, 4] に基づいて実行される。

特に本稿では、この見守りロボットシステムの下位レイヤに着目し、ロボット本体の移動制御に対する改善を試み、その結果について報告する。

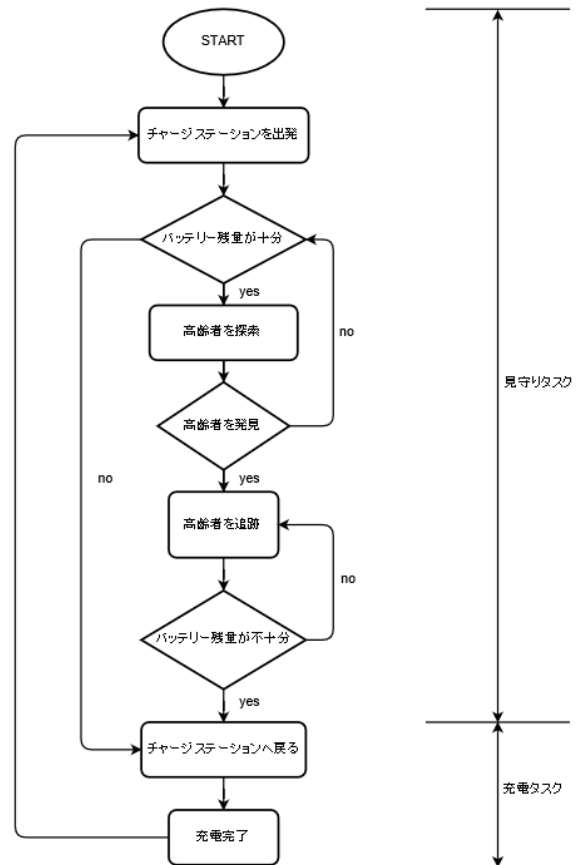


図 1 見守りロボットのシステム像

#### 2. 先行研究とその問題点

杉本、内田らの研究 [5]では、LiDAR による自己位置推定システムを用いて、目的地まで経路探索及び自律走行を行っている。検証実験で得た結果を図 2 に示す。目標地点までの道のりの中で位置を何点かサンプリングし(図中の赤点)、そこを 3 回の移動(図の青い点)の中で目指す。これを繰り返し、目的地まで進むシステムである。

図 2 は [0, 0] からスタートし、[2, 0] まで実走した様子である。自律走行中の実際の走行経路を青線で示している。この検証実験では青い点で毎回停止するので、一回の移動に(青点から青点)約 0.5[s] かかる。今回 2[m] 先の目的地まで移動するのに、30[s] を要した。

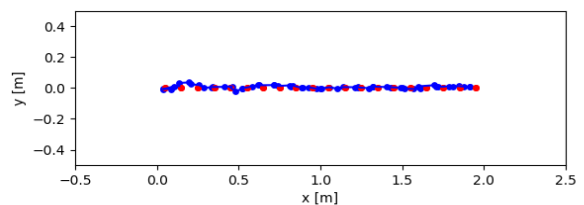


図 2 先行研究 [5] での検証実験

以上の問題点を考慮し、本研究では先行実験に比して止まることなく、より速やかに目的地まで移動する制御方法を検討する。

<sup>†</sup> 愛媛大学 Ehime University

<sup>‡</sup> 津山工業高等専門学校 NIT, Tsuyama College

<sup>†‡</sup> 香川高等専門学校 NIT, Kagawa College

### 3. 提案システムとそのシステム構成

本研究は、見守りロボットの移動の部分に着目する。見守りロボットは前節で説明したように、高齢者を見守るにあたって多くの移動を伴う。そこで本研究では、移動用ロボットのデモ機を作成し、PID 制御を用いて常にデモ機が動いた状態で滑らかに目的地まで移動する方法を検討する。

#### 3.1 見守りロボットシステムのハード構成

見守りロボットシステムのハード構成について述べる。マイコンは、プライマリマイコンとして NVIDIA Jetson Xavier NX(以下, Jetson NX)を、センサ用セカンダリマイコンとして Arduino UNO (以下, Arduino)を採用している。環境認識としてのセンサは LiDAR(YDLIDAR-X4)を用いる。また、クローラはモータドライバ(TA7291P)を用いて、DC モータに対して PWM 制御を行う。なお、Jetson NX の電源はモバイルバッテリー(19V, 4.5A), クローラのモータ用の電源は DC9V 出力の四角電池を用いる。構成図を図 3 に示す。

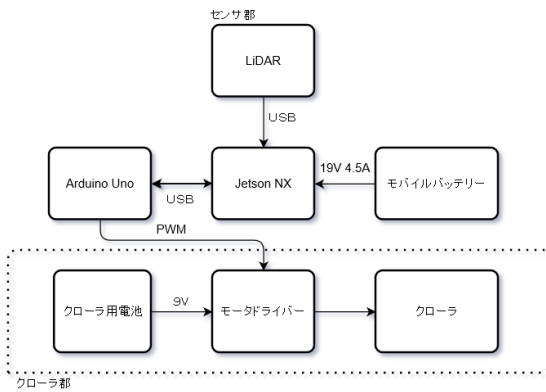


図 3 ハードウェア構成図

#### 3.2 見守りロボットシステムのシステム構成

見守りロボットシステムのシステム構成を述べる。まず地図作成システムでは、LiDAR で自己位置推定を行っている。LiDAR データは ROS[6]を用いて、極座標から直交座標に変換しそれを Jetson NX に送っている。センサ用マイコンの Arduino には、左右のモータの個体差を考慮し異なる PWM 値を送るように設定している。移動システムは右車輪の PWM 値を固定し、左車輪の PWM 値を PID 制御によって制御し移動ロボットが限りなく直進に近い形で目的地に移動するように設定している。構成図を図 4 に示す。

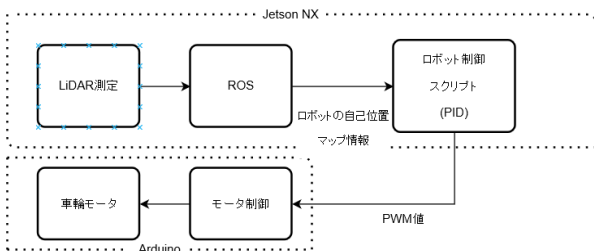


図 4 システム構成図

本研究での自己位置推定システムは LiDAR によって測定を行い、ROS を運用する事で SLAM を活用している。SLAM とは LiDAR から得た現在の周辺の形状データをエリアマップの形状と比較することにより、現在の自己位置を推定するシステムである[6]。エリアマップが用意されてなくても自己位置推定を行いながら、エリアマップ作製を行う。

#### 3.3 本研究で用いる PID 制御

PID 制御とは、比例(Proportional, P), 積分(Integral, I), 微分(Differentiation, D)の要素を単体または組み合わせる形で所望の動作を実現する制御方法である。本研究で使用する P 制御の式は、時間領域では

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (3.1)$$

で示される。同様に PI 制御は

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3.2)$$

となり、PID 制御は

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.3)$$

で示される。

PID 制御では、各パラメータの調整が必要である。本研究ではパラメータ調整方法に限界感度法を適用する[7]。

手順としてまず微分ゲイン  $K_d$ , 積分ゲイン  $K_i$  を 0 とし P 動作だけ行えるようにする。微分ゲイン  $K_d$  を徐々に上げていき制御量が安定限界に達し、一定振幅振動を継続するようになったら比例ゲイン  $K_p$  の増加を止める。この時の比例ゲインを  $K_u$  とする。振動周期を  $P_u$  として、これらを表 1 にあてはめる：

表 1 限界感度法

制御種類	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$0.50K_u$	---	---
PI	$0.45K_u$	$0.83P_u$	---
PID	$0.60K_u$	$0.50P_u$	$0.125P_u$

#### 3.4 本実験で使用するプログラムの概要

本実験で使用する Arduino スケッチ及び Python スクリプトのフローチャートを、それぞれ図 5, 6 に示す。

### 4. 走行実験

#### 4.1 実験環境

実験環境として、幅 1.8[m]長さ 15[m]の廊下を使用した。実際のコースを図 7 に示す。スタートを [0, 0], ゴールを [15, 0]にそれぞれ設定して、直線移動制御を実施する。

## 4.2 実験結果

### 4.2.1 P制御のとき

$K_p = 200$ ,  $K_p = 350$ ,  $K_p = 600$ それぞれで実走した際の測定結果を、それぞれ図8から10に示す。図中で青線がデモ機が走行した軌跡、赤線が目標値である。

比例ゲインの数値を上げていくことによって、目標値に接近しつつ直線上を追従する様に走行している事が分かる。

以上から、P制御だけでもほぼ直線上を走っていることが実験的に確認出来た。



図7 実験環境

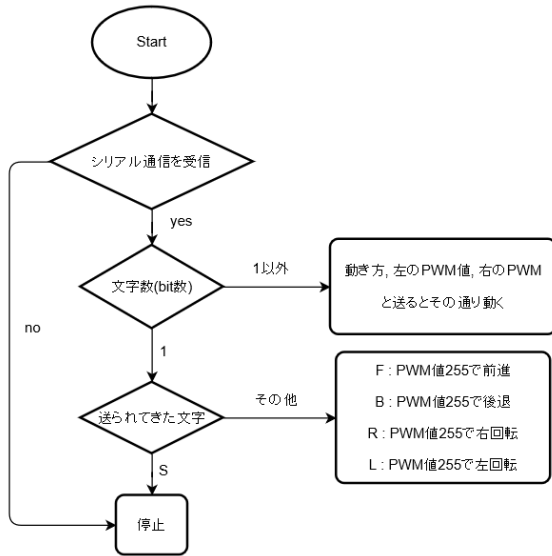


図5 Arduino スケッチのフローチャート

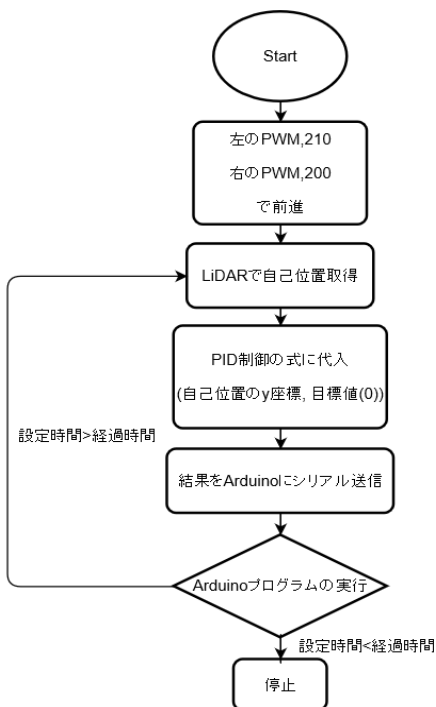


図6 Python スクリプトのフローチャート

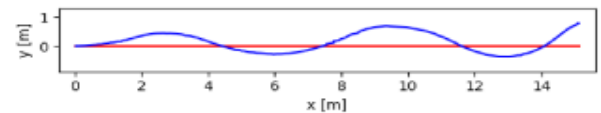


図8  $K_p = 200$ の時の走行結果

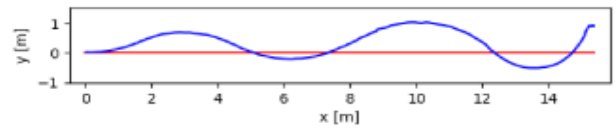


図9  $K_p = 350$ の時の走行結果

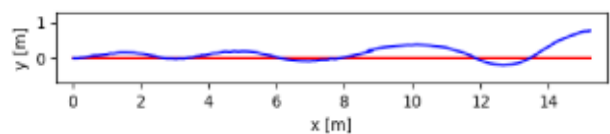


図10  $K_p = 600$ の時の走行結果

### 4.2.2 PI制御のとき

$K_p = 350$ の時、安定周期を確認できたので、3.3節に従い  $K_u = 350$ ,  $P_u = 22$ としてPI制御を行った。PI制御の走行結果を図12に示す。 $K_p = 350$ の時のP制御の時と比べて、直進性を持った走行をしていることが確認出来る。しかし  $K_u = 600$ の時のP制御の時のほうが目標値に近い形で走行していることも、同時に実験的に確認出来た。

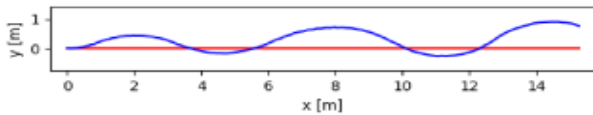


図 12  $K_u = 350$ ,  $P_u = 22$  の時の  
PI 制御時における走行結果

#### 4.2.3 PID 制御のとき

$K_u = 350$ ,  $P_u = 22$  として PID 制御を行った。測定結果を図 13 に示す。 $K_u = 350$  の時の P 制御, PI 制御の時と比べて, より目標値である直線に近接している事がわかる。

しかし, これも PI 制御の時と同様に  $K_u = 600$  の時の P 制御の時のほうが目標値に近い形で走行している。

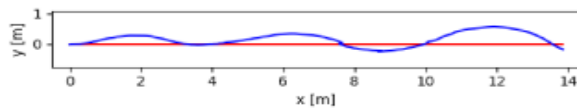


図 13  $K_u = 350$ ,  $K_u = 22$  の時の  
PI 制御時における走行結果

## 5 おわりに

本論文では見守りロボットにおける移動制御に着目し, LiDAR と ROS を搭載した実ロボットを用い PID 制御によって任意の目的地へ精確に移動する制御アルゴリズムを提案した。この提案手法を実ロボットに実装させることで, ほぼ直線的に移動することを実験的に確認した。実際に実ロボットを走行させた結果, 検証実験において PID 制御に於ける比例ゲインを調整する事により, 実ロボットの走行経路は目標軌道に近接する事を実験的に確認した。さらに限界感度法を適用し PI, PID 制御による制御系を構築したところ, P 制御のみの場合に比べて発散または振動する結果となった。

また, いずれの結果に於いてもスタート地点から離れていくにつれて, 振幅が大きくなり発散している。この原因としては自己位置推定に誤差が生じたものだと考えられる。それによって生じた誤差を考えず, 振動周期  $P_u$  を選択したため, PI 制御, PID 制御の結果に誤差が生じたものとする。その一方で, 先行実験と比べ速やかにデモ機を走行させることに成功した。実際を用いた検証実験では, 一番直線に近い走行をした  $K_p = 600$  の時の P 制御で 15 [m] を約 45[s] で通過した。先行実験と比べて約 5 倍のスピードで走行している。しかし, 走行時に於ける誤差は走行に比例する形で大きくなることを確認した。

今後の課題は, 直線移動の制御だけでなく, 旋回や転回, 後退などを必要とするような更なる複雑な環境下で, 精密な走行を可能とする制御方法を提案する事となる。例えば, PID 制御ではなく現代制御論を使用し, 状態オブザーバと最適レギュレータを組み合わせた併合系による状態ふいっどバック制御系の構成を検討している。自己位置推定シス

テムには本質的にガウス白色ノイズが混入する可能性もある為, 推定精度をさらに向上させる上でもカルマンフィルタを利用したい。このような取り組みを行う形で, 実際に見守りロボットが走行する状況下での精密な制御を目指す。

また, 見守り対象者となる高齢者は平屋やワンルームを好んで居住するとは限らない。この事情に対応する上で, 本見守りロボットシステムを拡張して, 居住家屋の各階に見守りロボットを配置し強調して作業する様に, マルチエージェントシステムとしてロボットを運用したり, 群ロボットとして取扱い監視システムとして実現する事も今後検討していきたい。

## 謝辞

本研究成果は, JSPS 科研費 21K03979(代表: 杉本 大志)の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] D. Jack, "The Issue of Japan's Aging Population", Law School International Immersion Program Papers, Vol.8 (2016).
- [2] 杉本 大志, 都築 伸二, 平野 雅嗣, 吉岡 崇, 野中 摂護, "高齢者見守りロボットにおける居住者追跡アルゴリズムの検討 -高齢者追跡機能の効率化-", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 in Kanazawa (2020).
- [3] V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver, et al., "Playing Atari With Deep Reinforcement Learning", NIPS Deep Learning Workshop (2013).
- [4] A. Nair, P. Srinivasan, S. Blackwell, et al., "Massively Parallel Methods for Deep Reinforcement Learning", In Proc. of ICML Deep Learning Workshop (2015).
- [5] M. SUGIMOTO, et al., "An Experimental Study for Tracking Ability of Deep Q-Network under the Multi-Objective Behaviour using a Mobile Robot with LiDAR", In Proc. of 2020 International Conference on Big data, IoT, and Cloud Computing (2020).
- [6] T. Stahl, et al., "ROS-based localization of a race vehicle at high-speed using LIDAR", In Proc. of the 3rd International Conference on Power, Energy and Mechanical Engineering (2019)
- [7] J. Ziegler & N. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers" Trans. of the ASME, Vol.64 (1942).