



| | |
|--------------|---|
| Title | NHK学生ロボコン優勝を目指して |
| Author(s) | 田中, 颯樹 |
| Citation | 平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2016 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/54665 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

| | | | | | |
|---------------------|---|----------|---------------------------------|----|-----|
| ふりがな 氏名 | たなか さつき 田中 颯樹 | 学部 学科 | 工学部 応用理工 | 学年 | 2 年 |
| ふりがな 共 同 研究者名 | かなもり よしひこ 金森 善彦 | 学部 学科 | 基礎工学部 電子物理 | 学年 | 3 年 |
| | ほりぐち しゅうへい 堀口 修平 | | 基礎工学部 システム科学 | | 1 年 |
| アドバイザー教員 氏名 | 金子 真 | 所属 | 工学研究科 機械工学専攻 知能機械部門 金子・東森研究室 | | |
| 研究課題名 | NHK 学生ロボコン優勝を目指して | | | | |
| 研究成果の概要 | 研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。 必要に応じて用紙を追加してもよい。 | | | | |

1. はじめに

本研究を行った 3 名は、大阪大学工学部・工学研究科所属のロボット製作団体「Robohan」のメンバーである。「Robohan」は NHK 主催の「NHK 学生ロボコン」優勝を目指して活動しているプロジェクトであり、技術の向上とチームでのものづくりの能力を育むことを理念として、日々ロボット製作を行っている。

毎年ルールが大きく変更される点が「NHK 学生ロボコン」の大きな特徴であるが、これまでの大会に共通して、「フィールドを迅速に移動する足回り」を有することが上位入賞には不可欠な要素となっている。これを実現するため、今回の研究ではオムニホイールを 4 輪搭載した自律式足回りの製作及び制御を行った。

2. 研究目的

NHK 学生ロボコン優勝のための、迅速かつ正確な足回りの製作と制御の実現。

3. 理論・研究方法

3. 1 正確な位置・姿勢推定

3. 1. 1 ホイールオドメトリによる位置・姿勢推定

ロボットの位置及び姿勢を推定するため、ホイールエンコーダを搭載した。駆動輪とは独立に回転し、その回転数から初期位置からの相対的な位置及び姿勢を推定することができる。

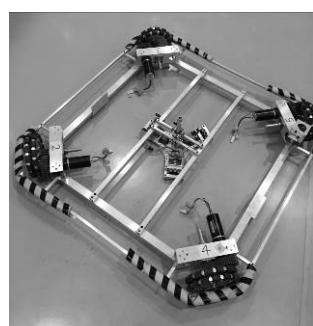


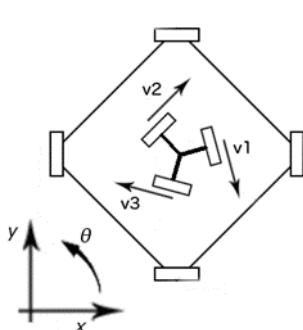
図 3.1 製作した足回り

3.1.2 オムニ三輪ホイールエンコーダの運動学モデル

[図 3.2]のように、ロボット上に固定された原点を持つ車体座標系 ($xy\theta$ 系) を考える。

幾何学的な考察から、各エンコーダーホイールの角速度 $v_1 \sim v_3 [rad/s]$ から車体が進む速度と角速度を求める式は[式 1]のようになる。ここで、 r はエンコーダーホイールの半径、 l は車体中心から各エンコーダーホイールまでの長さを表す。

1 タイムステップごとにエンコーダーから取得した値を式 1 に代入すれば、車体座標系における車体の並進速度と角速度がわかる。これを地面に固定された座標系 ($Xy\theta$ 系) に変換し[式 2]、1 ステップ前の位置・姿勢に加算することで現在の位置と姿勢を推定する。



$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 75^\circ & \cos 45^\circ & -\cos 15^\circ \\ -\sin 75^\circ & \sin 45^\circ & \sin 15^\circ \\ -1/l & -1/l & -1/l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} rv_1 \\ rv_2 \\ rv_3 \end{pmatrix} \quad \text{式 1}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\Theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta & 0 \\ \sin \Theta & \cos \Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad \text{式 2}$$

図 3.2 オムニ三輪の座標系

3.2 迅速で安定した移動制御

3.2.1 台形駆動

速く移動するという点から言えば、モーターが出しうる最大出力で目標経路を走行するのが理想的である。しかし、静止状態からモーターが回転を始める時の特性には個体差が大きく現れ、突然最大出力でモーターが回転すると、安定に走行できない。

目標経路を走行する簡易的な制御法として、台形駆動がある。台形駆動とは一定加速度で、ある速度まで加速し、一定加速度で速度ゼロまで減速するというもので、速度の時間変化が台形になる。

3.2.2 軌跡追従制御

[1]によると、経路にそって走行する車輪移動ロボットの代表的な制御法の一つとして、目標速度で目標経路上を走行する仮想的なターゲットを考え、それにロボットを追従させるという手法がある。

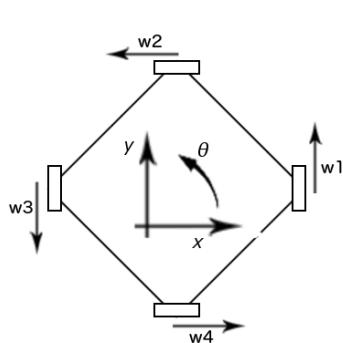
本研究ではこのフィードバック的手法を採用し、仮想的なターゲットを台形駆動させることにした。

仮想的なターゲットと実際のロボットの距離及び速度差に比例して並進運動の制御量を決め、姿勢角の差と姿勢の角速度の差に比例して回転運動の制御量を決定する。

3.2.3 オムニ四輪の運動学モデル

駆動輪は四輪であるため、三輪のエンコーダユニットとは別の運動学モデルに従う。

[図 3.3]のように座標設定すると、各ホイールの角速度 $w_1 \sim w_4 [rad/s]$ から車体の移動速度・角速度が計算できる[式 3]。車体が変形しないという条件の下でこれを逆に解けば、任意の移動速度と角速度を得るための各ホイールの角速度が計算できる[式 4]。ここで、 R はホイールの半径、 L は車体中心からホイールまでの長さを表す。



$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1/4L & 1/4L & 1/4L & 1/4L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R w_1 \\ R w_2 \\ R w_3 \\ R w_4 \end{pmatrix} \quad \text{式 3}$$

$$\begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1/2R & L/R \\ -1/2R & 0 & L/R \\ 0 & -1/2R & L/R \\ 1/2R & 0 & L/R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad \text{式 4}$$

図 3.3 オムニ四輪の座標系

式 4

3.3 可視化・記録システム

ロボットが自己位置推定した結果及び仮想的なターゲットへの追従の様子を直感的に理解するために、可視化システムを構築した[図 3.4]。

ロボットは内部で処理した結果をシリアル通信で Bluetooth 接続されたコンピュータに送信する。送られてきたデータはコンピュータで動作しているサーバーによって処理され、WebSocket 通信を介して Web ブラウザに送られる。Web ブラウザ上では、3D グラフィックと時系列グラフを用いてデータを可視化する。Web ブラウザ上でボタンをおすことで、データの記録を開始・停止することができる。保存されたログは後で何度も再生することができる。ロボットの様子を詳しく調べることができる。

サーバーには Web フレームワーク Tornado (Python) を、Web ブラウザでの 3D グラフィックには three.js (javascript) を利用した。

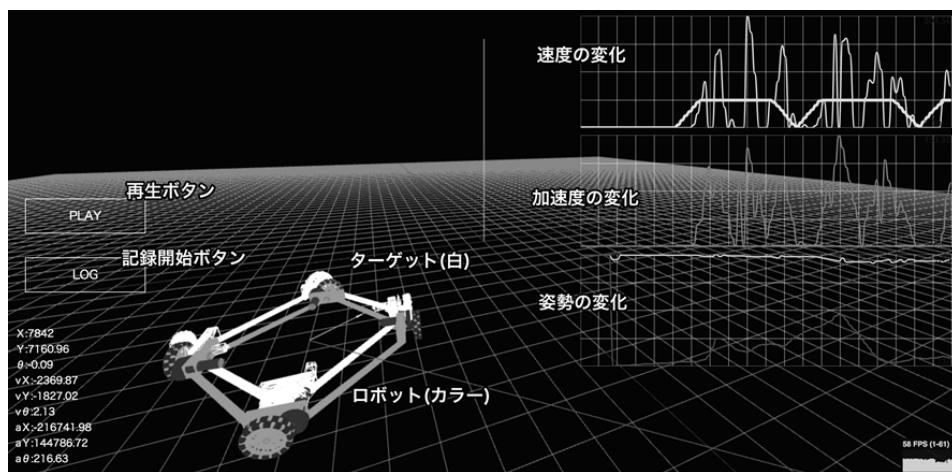


図 3.4 可視化・記録システムの画面例

4. 実験内容

- (1) 自己位置推定の精度の確認 ~正確さ
- (2) 仮想ターゲットへの追従性能の確認 ~安定性
- (3) 台形駆動における最適な加速度の探索 ~迅速さ

これらの目的のため、正方形の閉経路の走行実験を行った。

まず、経路走行後に初期位置に正確に戻ってくれば、(1)を達成できたと言える。次に、正確に自己位置推定できているという仮定のもとで、ターゲットとロボットのずれを数値化することで追従性能を確認できる。それを最小化するようにフィードバックパラメータを調整する。最後に、良好に追従できている場合は、経路を一周する時間を短縮するようにターゲットの駆動加速度を上昇させる。ただし、(2)と(3)はトレードオフの関係にあると考えられる。

5. 結果

正方形経路の走行結果を[図 5.1][図 5.2][図 5.3]に示す。追従すべきターゲットのX座標、Y座標、Θ座標変化（細線）と、実際のロボットの座標（太線）を重ねて表示している。ターゲットの動きとしては、1秒間加速、2秒間等速で移動した後、1秒間減速して速度をゼロにする動作を、+Y方向→+X方向→-Y方向→-X方向の順に行わせた。

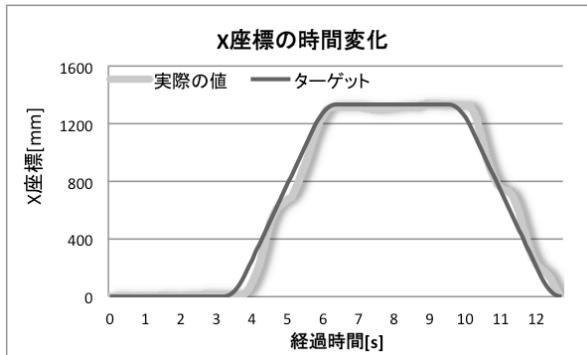


図 5.1 ターゲットとロボットの比較(X座標)

X、Y座標の時間変化を見ると、ターゲットが進む向きに追従する時は遅れが生じております、最大 15cm ほどターゲットと離れるという結果になった。遅れによる誤差は徐々に小さくなるが、ターゲットに追いつくと再び遅れが生じていた。経路を一周して戻ってきた時の初期位置とのずれは 1.5cm 未満であつた。

Θ座標の姿勢角の誤差は、走行の中盤で大きくなり、約 10° となったが、その後 0° に収束した。

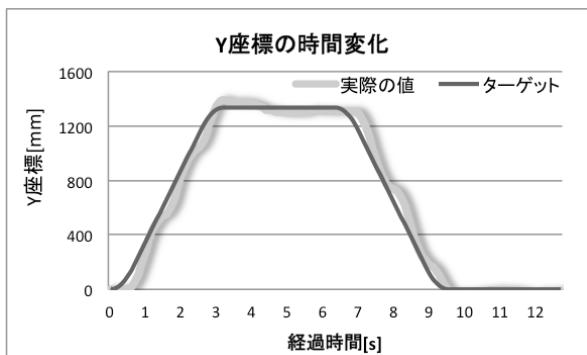


図 5.2 ターゲットとロボットの比較(Y座標)

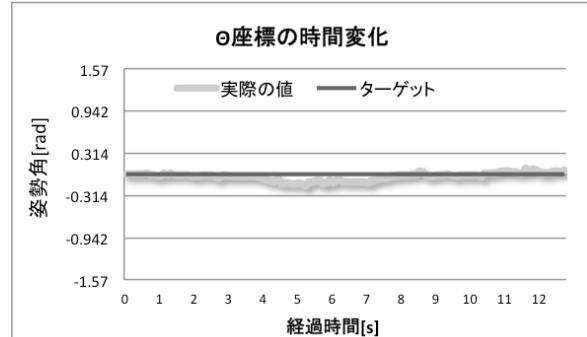


図 5.3 ターゲットとロボットの比較(Θ座標)

6. 考察

実験の目的の一つ目である、自己位置推定の精度は十分に高いことが確認できた。

追従性能については、車体の1辺が約 68cm であるから、それに対してターゲットとの距離は 2.2%以内に保たれている。しかし実際の走行を見るとなめらかに追従できているとは言い難く、停止と発進を繰り返していた。軌跡追従制御では、ターゲットに仮想的に引っ張られてロボットが動くという性質上、遅れは必ず生じる。また、完全にターゲットに追従することは不可能なので実際の軌道はなめらかではなく振動的になると考えられる。

7. 今後の展望

本研究によりフィードバック制御をするための環境は出来たので、次は力学モデルから計算された必要トルクを出せるようにモーターの電流制御をするフィードフォワード制御を実装する。フィードフォワード制御で生じた誤差をフィードバック制御で補うようにすればより安定で迅速な移動制御が可能になると考えられる。

参考

[1] 熊谷正朗 「ロボット基礎工学 車輪移動ロボット」 2015年12月1日閲覧

<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/wheelrobot.html>