

建築現場での資材運搬ロボットの経路追従制御

Trajectory tracking control of construction material transportation robots

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1180167 森 優

1. 緒言

我が国では、少子高齢化問題が進み続け、肉体労働に消極的な若者の増加もあり、建設現場では労働力不足が問題視されている。そのため、労働者不足の負担軽減のために、建設現場でのロボットの導入が期待されている。本研究では、建設資材運搬用ロボットの開発を目指す。先行研究⁽¹⁾では、山彦型ロボットの軌道計画法の提案と、軌道計画法による経路追従精度の向上効果があることは確認された。また先行研究⁽²⁾では、PID 制御法を用いて直線経路、曲線経路追従のシミュレーションを行い、制御法の有効性を検証し理論上ではPID 制御法は、経路追従精度の向上に有効であることが確認された。そこで本報告では、実際の走行実験においてもPID 制御法の有効性があるかを検証し PID 制御法を用いて経路追従制御を行う場合、経路追従精度向上の効果について定量的に検討する。

2. 山彦型ロボット

我々の研究室には、図1に示すような両輪独立駆動型移動ロボット(通称山彦型ロボット)を開発している。特徴としては、両側の幾何学的中心にそれぞれ一個ずつ独立駆動車輪を、前後の幾何学的中心にそれぞれ一個ずつフリー・オムニホイールを設けている。このことにより、駆動輪の負荷を低減でき、より重たい建材物を運べる。また、非ホロノミックではあるが2つの駆動輪の速度を調整することにより、ゼロ半径旋回ができ、ロボットの運動方向を調節することができる。

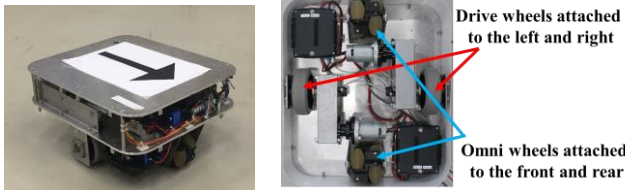


Fig. 1 Two-wheel drive type mobile robot

2.1 運動学モデル

今回用いたロボットの構造モデルを図2に示す。

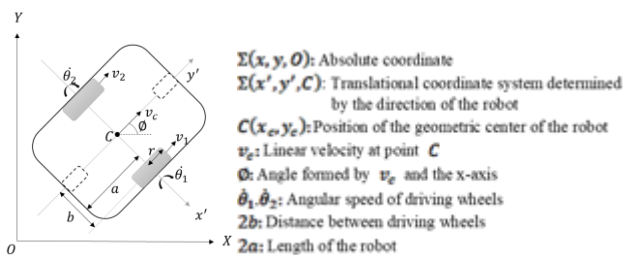


Fig. 2 Model of Yamabiko type robot

図2に示す座標系において、 r は駆動輪の半径であり、 ω はロボットの角速度である。式(1)はロボット本体の移動速度と絶対座標系中の軸成分との関係を表す。式(2)は駆動輪角速度とロボット本体の移動速度・回転速度との関係、すなわち順運動学を表す。運動解析を行う。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 \\ \sin\phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_c \\ \omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_c \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{2b} & -\frac{r}{2b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.2 動力学モデル

式(3)に示すラグランジュの運動方程式を用いて、ロボットの動力学方程式を求める。

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial E}{\partial \dot{\theta}_i} \right] - \frac{\partial E}{\partial \theta_i}, (i=1,2) \quad (3)$$

移動ロボットは水平面での移動のみのため、位置エネルギーは働かないものとする。移動ロボットの運動エネルギーは式(4)のようになる。

$$E = \frac{M}{2} \frac{r^2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2}{4} + \frac{I}{2} \frac{r^2 (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1)^2}{L^2} + \frac{J_\omega + k^2 J_0}{2} (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) \quad (4)$$

ここで M はロボットの質量、 I は負荷のないロボットの慣性モーメント、 J_ω は駆動輪の慣性モーメント、 J_0 はDCモータの慣性モーメント、 k はギヤ比である。

式(3), (4)より、求められた動力学方程式を式(5)に示す。

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$A_{11} = \frac{r^2 M}{4} + \frac{r^2 I}{(2b)^2} + (J_\omega + k^2 J_0), A_{12} = \frac{r^2 M}{4} - \frac{r^2 I}{(2b)^2}$$

$$A_{21} = \frac{r^2 M}{4} - \frac{r^2 I}{(2b)^2}, A_{22} = \frac{r^2 M}{4} + \frac{r^2 I}{(2b)^2} + (J_\omega + k^2 J_0)$$

3. PID 制御

本研究では、PID 制御法を用いて、山彦型ロボットの運搬作業の実現への可能性について検討する。PID 制御とは、目標軌道と制御量との偏差の比例、積分、微分の線形結合によって操作量が決定される制御法であり、具体的な制御アルゴリズムを式(5)に示す。

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

u は制御入力値、 e は目標経路との位置誤差である。

4. 経路追従制御実験

PID 制御法での資材運搬ロボットの経路追従での有効性検討のため、直線経路、曲線経路の 2 通りの計画経路を用意して実機走行を行った。時間概念を含まない経路の形状をそれぞれ図 3, 4 に示し、時間概念を含む直線経路の軌道は式(6)、曲線経路の軌道は式(7)により計算されるとする。 x_d, y_d は目標位置で、 ϕ は目標姿勢角である。

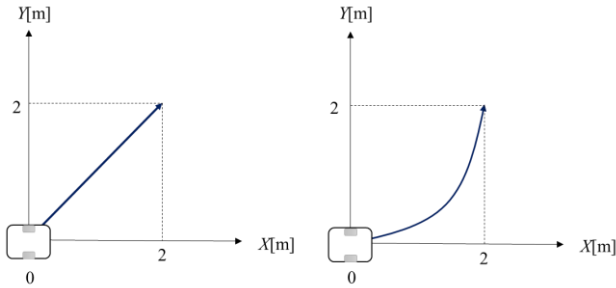


Fig.3 Linear target path Fig. 4 Curved target path

$$t = 0 \sim 20[s], x_d(t) = 0.1t, y_d(t) = 0.1t$$

$$\phi(t) = \arctan\left(\frac{y_d(t) - y(t)}{x_d(t) - x(t)}\right) \quad (6)$$

$$t = 0 \sim 20[s], x_d(t) = \sqrt{-y_d(t)^2 + 4y_d(t)}$$

$$y_d(t) = 0.1t, \phi(t) = \arctan\left(\frac{y_d(t) - y(t)}{x_d(t) - x(t)}\right) \quad (7)$$

実機実験では、図 5 のようにパソコンとロボットをケーブルで繋げ、天井部に取り付けられたカメラでロボットに取り付けた赤色の楕円状のマーカの位置を計測しながら、パソコンとの有線通信により実機走行を行った。実機実験での調整した PID 制御のパラメータを表 1 に示す。パラメータの選択は試行を重ねたうえで決定した。

Table 1. Control parameters

	K_p	K_i	K_D
x	20.2	0.8	4.1
y	20.2	0.8	4.1
θ	19.5	0.7	3.9

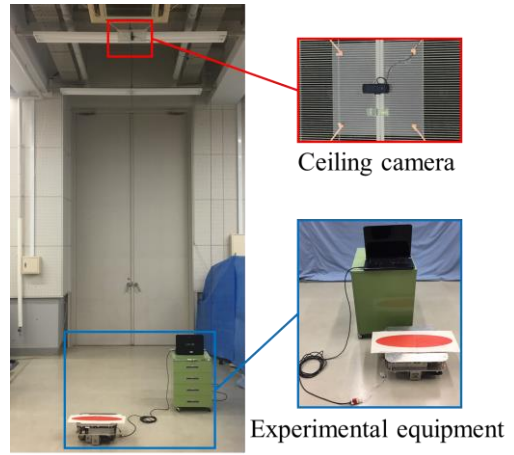


Fig. 5 Experimental equipment

図 6 は、 $(x, y) = (0, 0) \rightarrow (x, y) = (2, 2)$ の経路を直線で実機走行を行った結果であり、図 7 は、曲線で実機走行を行った結果である。姿勢角 ϕ は、開始 0 rad に設定した。

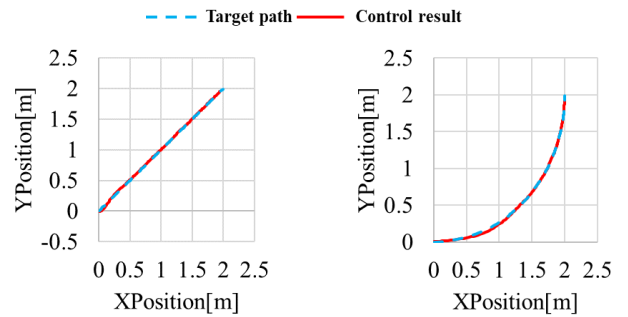


Fig. 6 Linear target path Fig.7 Curved target path

図 6, 図 7 より実機走行では大きな誤差なく経路追従することはできた。しかし、時間的な遅れが PID 制御だとしても起こるため誤差が微量残った。図 7 の曲線経路の実機走行では、動き始め 50cm もの大きな誤差が出た。それは静止摩擦力が駆動力よりも大きかったのではないかと考えられた。そのため、実機走行の様子を見て動き始めの動作が速くみられた。

5. 結言

今回は PID 制御法を用いて直線経路、曲線経路追従の実機走行を行い、制御法の有効性を検証した。少し誤差は見られたが、資材運搬を行うことはできると考える。今後の課題として、単純な経路でしか行っていないため、少し複雑な経路での経路追従制御を行いたいと考える。また、PID 制御のパラメータの検討や、他の制御法の検討をしていき、実際に資材の搭載による重心偏移の問題などに対して、制御法の改良をしていく。

参考文献

- (1) Y.N.Wang, S.Y.Wang, Y.L.Jiang, K. Hamakuchi, K. Ishida, Y. Kobayashi, & M. G. Fujie, Trajectory planning to improve the motion performance for a nonholonomic wheeled mobile robot. ICIC Express Letters, 8(1): 295-301, 2014
- (2) 森優, 王碩玉, 瀋博, 上田康浩, 安井利彰, 建築現場での資材運搬ロボットの運動制御, 第 30 回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会 講演論文集 (BMFSA2017), pp131-134, 大阪, 2017 年 11 月.