

全方向移動型ロボットを用いた複雑な運動の実現

Complicated Movement Realization of Omnidirectional Mobile Robot

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1190047 加治 優太郎

1. 緒言

近年災害地など人の侵入が困難な不整地において、ロボットの導入が盛んに行われている。しかし通常車輪を利用したロボットだと、障害物を回避する際に姿勢を変えて行く必要がある。それによって回転や旋回のスペースが必要である。そこで本研究室では全方向移動型ロボットの研究開発を行っている。特徴としてメカナムホイールを用いることにより、モータ・インホイールでコンパクトに姿勢を変えず全方向に移動できる。しかし、先行研究⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾では全方向移動できるにも関わらず直線的に動かすことが多く、全方向移動ができる特徴を生かしきれていない。

そこで本報告では全方向移動型ロボットを用いて複雑な経路追従させ、本来できる動きを示す。またロボットの制御は制御アルゴリズムがシンプルなPID制御法を用いて経路追従を行う。

2. 全方向移動型ロボット

本研究室では全方向移動型ロボットの研究開発を行っている。特徴としては、4つのメカナムホイールを持っているため全方向移動が可能であり、仕組みとしては各ホイールに45度で等間隔にフリーローラが備わっており、全方向移動が可能となっている。

3. 動力学モデル

全方向移動型ロボットの動力学方程式を導出するために、重心のずれを考慮しない場合の構造モデルを図1に示す。

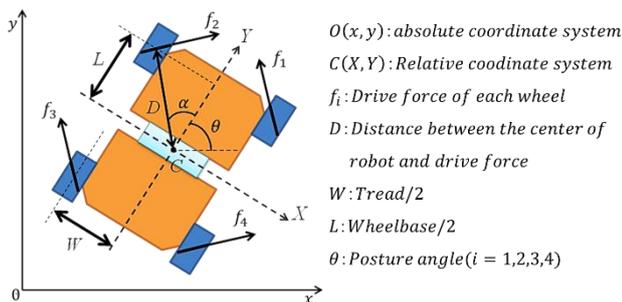


Fig.1 Model of non-directional four-wheeled mobile robot

図1より、駆動力が中心位置に直接作用して、摩擦を考慮したときの動力学方程式は式(1)となる。

$$M_G \ddot{X}_c = K_G^T(\theta)(F - f_f) \quad (1)$$

ただし、

$$M_G = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I_G \end{bmatrix} \quad \ddot{X}_c = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix}$$

$$F = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4]^T, \quad f_f = [f_{f1} \ f_{f2} \ f_{f3} \ f_{f4}]^T$$

$$K_G^T(\theta) = \begin{bmatrix} -\sin(\theta - \frac{\pi}{4}) & \cos(\theta - \frac{\pi}{4}) & -\sin(\theta - \frac{\pi}{4}) & \cos(\theta - \frac{\pi}{4}) \\ \cos(\theta - \frac{\pi}{4}) & \sin(\theta - \frac{\pi}{4}) & \cos(\theta - \frac{\pi}{4}) & \sin(\theta - \frac{\pi}{4}) \\ D & -D & -D & D \end{bmatrix}$$

$$D = \cos(\gamma - \frac{\pi}{4})\sqrt{L^2 + W^2}, \quad \gamma = \tan^{-1}(W/L)$$

ただし、 x はロボットの x 軸方向の位置、 y はロボットの y 軸方向の位置、 M はロボット本体の質量、 I_G はロボットの重心位置での慣性モーメントとする f_i ($i=1, 2, 3, 4$)は各ホイールの駆動力、 f_{fi} は各ホイールが受ける摩擦力を示す。また、 $K_G^T(\theta)$ によりロボットのモデルは非線形となる⁽²⁾。

4. PID制御

本研究では、PID制御法を用いて制御を行った。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(2)に示す。

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

u は制御入力値、 e は目標経路との位置誤差である。

5. 経路追従シミュレーション

先行研究で行われてきた直線経路、曲線経路といった単純な経路追従を主に行ってきたが、本研究では複雑な経路追従を行いたいため図2のような波状経路と円経路の経路追従シミュレーションを行う。

また軌道計画の式をそれぞれ式(3)、(4)に示し、どの経路も初期位置 $(x, y) = (0, 0)$ から20秒間かけて行なった、用いた制御パラメータ K_p, K_I, K_D を表1に示し、また全方向移動型ロボットのパラメータは重量33.4[Kg]、トレッド0.45[m]、ホイールベース0.7[m]である。

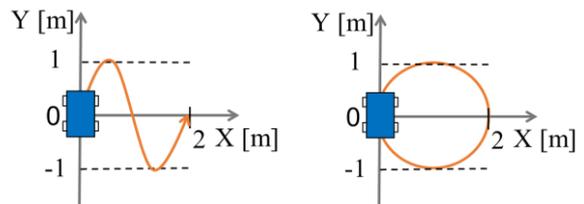


Fig.2 Target path

$$x(t) = 0.1t, y(t) = \sin 0.1\pi t, \theta(t) = \pi/2 \quad (3)$$

$$x(t) = \cos(0.1\pi t + \pi) + 1, y(t) = \sin 0.1\pi t, \theta(t) = \pi/2 \quad (4)$$

Table1 Control parameters

	K_p	K_i	K_d
x	20000 [Kg/s ²]	0.1 [Kg/s ³]	700 [Kg/s]
y	20000 [Kg/s ²]	0.1 [Kg/s ³]	700 [Kg/s]
θ	400 [Kg * m/(s ² * rad)]	0.01 [Kg * m/(s ³ * rad)]	50 [Kg * m/(s * rad)]

始めに先ほど述べた波状経路のシミュレーションは $(x,y) = (0.0) \rightarrow (x,y) = (2.0)$ に、20 秒を 1 周期とするような経路を目標経路として行い、円経路は初期位置 $(x,y) = (0.0)$ から 20 秒間かけて時計回りに一周する半径 1m の円を目標経路とした、その結果を図 3 に示す。

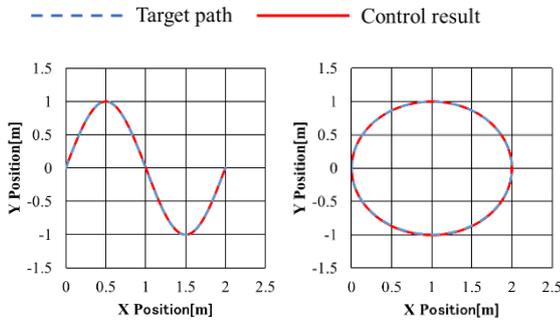


Fig.3 Wave path and circular path

図 3 より、波状経路と円経路共に大きな誤差がなく経路追従を確認できた。しかし、修正量の x と y の比例定数 K_p の値を大きく設定しているためオーバーシュートしてしまいそのため経路の始めに進行経路が波打つような結果になった。しかし K_p の値を小さく設定するとオーバーシュートはなくなるが、本来の経路追従の誤差が大きくなってしまふ。

今回は K_p の値が大きく、オーバーシュートしたが誤差修正後の経路追従は行えているため問題ないとする。

次に初期誤差がある場合での経路制御結果を検証する。初期位置を $(x,y) = (0.0) \rightarrow (x,y) = (0.1)$ とずらして式(2)(3)で示す軌道と同じ波状経路と円経路で行った。その結果を図 4 に示す。

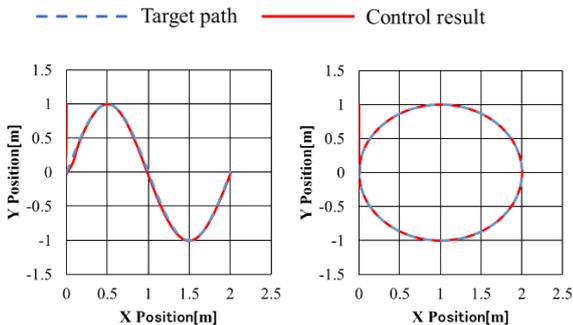


Fig.4 Tracking Error for wave path and circle path

図 4 より、波状経路と円経路共に初期位置誤差を与えても誤差を修正し経路追従することができた。

6. 複雑な経路追従シミュレーション

以上の経路計画から経路の合成や条件を設定することにより複雑な経路設計ができる。例として作成した軌道計画の式を(5)(6)(7)に示す。

$$x(t) = 0.2ta + \{\cos[0.1\pi(t + 10)] + 1\}b \quad (5)$$

$$y(t) = \sin 0.2\pi t a + \{\sin[0.1\pi(t + 10)]\}b \quad (6)$$

$$\theta(t) = \pi/2 \quad (7)$$

ただし

$$a = \begin{cases} 0 < t \leq 10, a = 1 \\ 10 < t \leq 20, a = 0 \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} 0 < t \leq 10, b = 0 \\ 10 < t \leq 20, b = 1 \end{cases}$$

とする。

式(5)(6)は波状経路と円経路の合成であり、初めの 10 秒間で $(x,y) = (0.0) \rightarrow (x,y) = (2.0)$ に、10 秒を 1 周期とするような波状経路を目標経路として、(1.0)から 10 秒間かけて反時計回りに半周する半径 1m の円が目標経路となっている。合成方法として経路を切り替えたいときに変数 a,b が $0 \leftrightarrow 1$ と入れ替わるような条件を置く、その変数 a,b を各経路にかけることにより時間によって追従する経路が変化させることができる。そのシミュレーション結果を図 5 に示す。

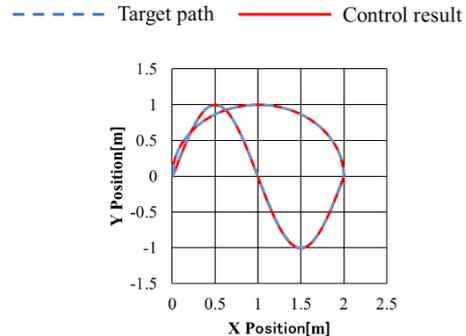


Fig.5 Synthetic route

図 5 より軌道計画の式に条件を加えること経路をほぼ誤差なく合成できることがわかる。

7. 結言

今回は PID 制御法を用いて上記の経路追従シミュレーションを行い、制御法の有効性を検証した。結果、理論上では PID 制御法で複雑な経路追従を行うことができた。また複雑な経路計画を行う上で経路の合成と条件を与えることにより作成することができた。

今後は、実機実験による有効性を検証する必要がある。その際、今回用いた制御パラメータは実機で用いるには大きすぎるため、調整が必要であるほか、外乱などの影響でどのような動きになるかを考察改善していく必要がある。

参考文献

- (1) 原口 雅尚, 王碩玉, 瀋博, 超音波センサと測域センサによる無方向性四輪車の経路計画方法, 日本機械学会中国四国支部第 56 期総会・講演会論文集, K1302, 徳島, 2018 年 3 月。
- (2) 森陽介, 王碩玉, 瀋博, デジタル加速度制御による無方向性四輪車の走行制御, 第 29 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 (BMFSA2016), pp.113-116, 高知, 2016 年 11 月。
- (3) 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経路追従制御, 日本機械学会中国四国学生会第 48 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, S1301, 徳島, 2018 年 3 月。