

# 卒業論文要旨

## 無方向性四輪車の人追従制御

### Human tracking control of a non-directional four wheeled mobile robot

システム工学群

知能ロボティクス研究室 1200160 門田 達也

#### 1. 緒言

現在の日本では少子化などの要因により人口が減少している傾向にある。その影響は工場などの製造業にも影響を及ぼしており、工場などの製造業では人で不足が相次いでいる。現在ではロボットや無人搬送車などを導入するなどの自動化することで対策が行われている。その中に人追従運搬ロボットがある。そのロボットは人の後を追従して荷物を運搬するロボットである。そこで高知工科大学で開発を行っている無方向性四輪車開発を用いて人追従を行うことにより、従来の二輪駆動の四輪車のものより複雑な地形に対応するなどといった自由度の高い人追従運搬が出来る考えた。

そこで本報告では無方向性四輪車の人追従できるか検証を行う。また、人を検知するセンサには測域センサを1つ使い、無方向性四輪車の制御方法には P 制御を用いて人追従を行う。

#### 2. 無方向性四輪車

図 1(左図)に無方向性四輪車の外観を示す。また、図 1(右図)に測域センサを取り付けた無方向性四輪車を示している。無方向性四輪車には 4 つのメカナムホイールが備わっている。メカナムホイールとは車軸方向に対し、45°傾いた複数のフリーローラにより斜め方向へ駆動力がはたらくため前後のみだけではなく、横方向、斜め方向といった、全方向への移動が可能としている。

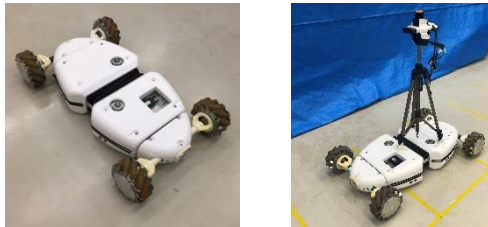


Fig. 1 Non-directional four-wheeled robot without (left) and with a laser range scanner (right)

無方向性四輪車の動力学モデルを図 2 に示す。

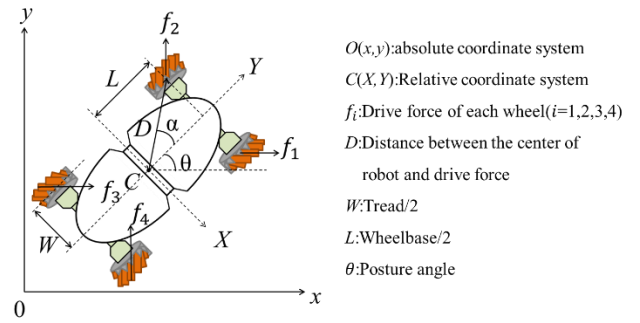


Fig.2 Model of non-directional four-wheeled mobile robot

図 2 より重心は幾何学的中心にあるとしたときの動力学方程式を式(1)に示す。

$$M_G \ddot{X} = K_G^T(\theta) f$$

$$M_G = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I_G \end{bmatrix} \quad \ddot{X} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$f = [f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4]^T$$

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

ただし、 $M$ が無方向性四輪車の質量、 $I_G$ がロボット中心を回転軸とする慣性モーメントである。無方向性四輪車の各パラメータは質量 $M$ が 33.4[Kg]、トレッド $D$ が 0.45[m]である。

#### 3. P制御法

今回の制御法にP制御を用いた。P制御とは式(2)に示すように偏差 $e(t)$ と制御パラメータ $K_P$ の乗算で操作量 $u(t)$ を求める制御法である。

$$u(t) = K_P e(t) \quad (2)$$

#### 4. 測域センサ

本研究では北陽電機(株)製の測域センサUST-10LX(以降USTと記述する)をUSTの外観と計測範囲を図3に示す。主な仕様を表1に示す。USTは270°の範囲を0.25°毎に1080stepで測定し、対象物までの距離を飛行時間法により算出することで、距離を出力することが出来る測域センサである。

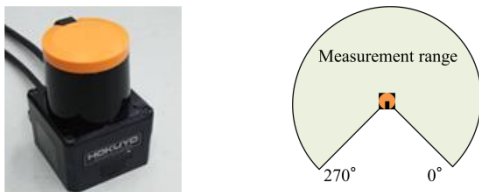


Fig. 3 Appearance of the UST (left) and measurement range of the UST (right)

Table 1. Main Specification of the UST

|                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| Scan angle          | 270°                   |
| Scan time           | 25 msec/scan           |
| Angular resolution  | 0.25°                  |
| External dimensions | 50×50×70m <sup>3</sup> |

## 5. 測域センサでの人の認識

USTから得られた距離と角度をxy座標系に変換して得られた $x_i, y_i (i = 1, 2, \dots, 1080)$ から人の検知を行った. 実験風景を図3に示し, 以下の手順で人の検知を行う. また本実験ではUSTで測定する部位を腰とする.

- ① 検知対象の腰幅の範囲を事前に設定する.(0.3m~0.6m)
- ② 検知した物体の右端を $(x_R, y_R)$ , 左端を $(x_L, y_L)$ とし,  
 $x_R - x_L$ が①で設定した範囲内ならその物体が腰であると決定する.
- ③ ②で得られた腰の右端 $(x_R, y_R)$ , 左端 $(x_L, y_L)$ からその平均をとりその座標を腰の中心 $(x_C, y_C)$ , とする

## 6. 実機実験

追従対象の目標位置 $(x_G, y_G)$ を(0,1.2)とし, 追従対象の腰の位置 $(x_C, y_C)$ との誤差を $(e_x, e_y)$ として実験を行った. また今回は無方向性四輪車の姿勢は常に $\pi/2$ になるように行った. 実験モデルを図4に実験風景を図5, Pパラメータを表2に示す.

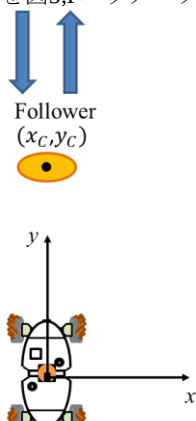


Fig. 4 Experimental model

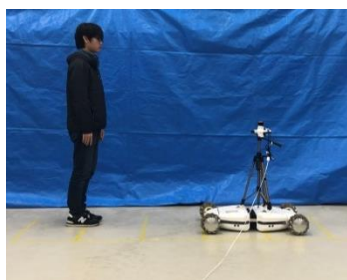


Fig. 5 Experimental scenery

Table 2. Control parameters

|          | $K_P$ |
|----------|-------|
| $x$      | 400   |
| $y$      | 400   |
| $\theta$ | 400   |

実験タスクは以下のようにして行う

追従対象は初期位置が(0,1.5)になるような位置に立ち, 無方向性四輪車が動き始めて3秒静止し, y軸方向へ前進する. その後y軸方向に後退し, 静止する.

実験結果を図6, 図7に示す.

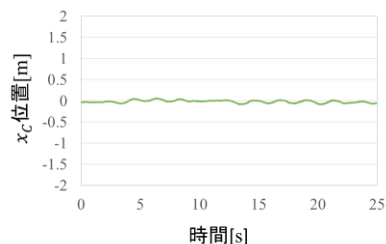


Fig. 6  $x_C$  coordinates with respect to time



Fig. 7  $y_C$  coordinates with respect to time

x軸方向において追従対象は意識的に動いてはならず図6からわかる通り計測された $x_C$ は常に目標位置である0に近い値のためx軸方向においては追従できていることがわかる. y軸方向においても計測された $y_C$ は前進しているときは大きく, 後退しているときは小さくなってはいるが, 目標位置の1.2mに近づこうとしていることが確認できる. よって追従できていることがわかる.

## 7. 結言

今回は測域センサを用いた無方向性四輪車の人追従を行い有効性の検証をした. その結果, 追従対象が前後方向に移動する場合, 無方向性四輪車は人追従できることが確認できた. 今後は横方向, 斜め方向への追従が確認を行い, 無方向性四輪車の姿勢角度も考慮した追従方法の開発していき追従精度の向上を行う必要がある.

## 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 優, 王碩玉, 瀋博, 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支部第56期総会・講演会論文集, K1301, 徳島, 2018年3月.
- (3) 加治 優太郎, 王碩玉, 瀋博, 全方向移動型ロボットの複雑な運動の実現, 日本機械学会中国四国支部第57期総会・講演会論文集, K1301, 山口, 2019年3月.