

測域センサを用いた無方向性四輪車による人追従制御

Human Tracking Control of a Non-Directional Four-Wheeled Mobile Robot using a Laser Rangefinder

知能機械工学コース

知能ロボティクス研究室 1245030 門田 達也

1. 諸言

現在の日本では少子化などの要因により人口減少の傾向にある。の影響は工場などの製造業にも影響を及ぼしており、人手不足が相次いでいる。在ではロボットや無人搬送車などを導入するなど、工場の自動化が盛んに行われている。その中の運搬ロボットに人追従運搬ロボットがある。それ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と考えた。

そこで本報告では無方向性四輪車を人追従できるか検証を行う。また、今回提案するシステムでは環境及び被追従対象の認識に二次元平面における距離を取得する測域センサを用い、無方向性四輪車による追従動作の確認を行う。

2. 無方向性四輪車

図1に無方向性四輪車の外観を示す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ではなく、横方向、斜め方向といった、全方向への移動を可能としている。



Fig. 1 Non-directional four-wheeled robot

3. 人追従アルゴリズム

3.1. 被追従対象の位置座標取得

測域センサを用いた無方向性四輪車の人追従アルゴリズムを提案する。具体的なフローチャートを図2に表す。

まず初めに、追従時間の入力を行う。その後、被追従対象の認識を行うこの時測域センサの前方 180°、半径 1.5m の範囲内に存在する被追従対象以外の障害物はないものとする。被追従対象の認識できた場合は追従を開始する。認識できなかった場合は再度測域センサで認識を行う。追従開始後、同様の認識と追従を入力した時間が経過するまでサンプリング周期 0.025[s]で繰り返す。また障害物などの外乱により被追

従対象を見失ってしまった認識場合、後述するカルマンフィルタを用いて、追従対象の位置と速度を推定する。

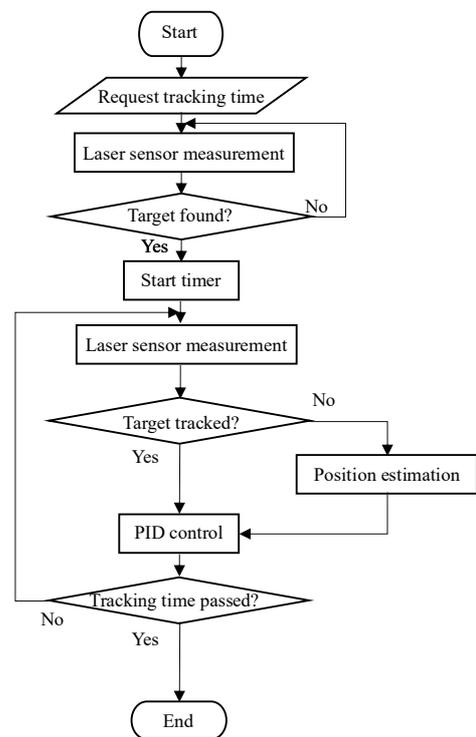


Fig.2 Flow chart of Human tracking algorithm

3.2. カルマンフィルタによる被追従対象の位置推定

カルマンフィルタで被追従対象の位置を推定する状態方程式を式(1)に示す。ただし、ここでは対象はほぼ一定の速度で移動するものとする。

$$x(k) = Ax(k-1) + Bv(k-1) \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ただし、状態変数 $x = [p_x \ p_y \ v_x \ v_y]^T$ はそれぞれ追従対象の位置と速度を示す。速度は前回の測域センサ更新時との差分で求める。

また $v(k)$ は平均値 0, 共分散行列 U の正規性白色雑音とする。観測方程式を式(2)に示す。

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k-1) + \mathbf{w} \quad (2)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ただし追従対象の位置を $\mathbf{y} = [p'_x \ p'_y]^T$ とする。また、観測雑音 \mathbf{w} は平均値 0,共分散行列 R の正規性白色雑音と仮定する。

カルマンフィルタの計算手順について説明する。カルマンフィルタは以下の 2 ステップにより計算される。ただし、ここでは $\hat{\mathbf{x}}$ は現時刻での推定値を表し、 $\tilde{\mathbf{x}}$ は次時刻での推定値を表すものとする。

i. フィルタリングステップ。

$$\mathbf{G}_k = \mathbf{P}'_k \mathbf{C}^T (\mathbf{R} + \mathbf{C} \mathbf{P}'_k \mathbf{C}^T)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \tilde{\mathbf{x}}_k + \mathbf{G}_k (\mathbf{y}_k - \mathbf{C} \tilde{\mathbf{x}}_k) \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_k \mathbf{C}) \mathbf{P}'_k \quad (5)$$

ii. 予測ステップ

$$\tilde{\mathbf{x}}_{k+1} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}}_k + \mathbf{B} \bar{\mathbf{u}}_k \quad (6)$$

$$\mathbf{P}'_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{P}_k \mathbf{A}^T + \mathbf{B} \mathbf{U} \mathbf{B}^T \quad (7)$$

4. 実験

実験の事前にカルマンフィルタにおける雑音を求める。測域センサで静止状態の被追従対象に対し 50 スキャン行い被追従対象の位置 p_x, p_y ,速度 v_x, v_y を求め、その分散を計算した。結果を表 1 に示す。

Table 1 Variance

σ_{px}^2	0.000535[m ²]
σ_{py}^2	0.00121[m ²]
σ_{vx}^2	1.52[m ² /s ²]
σ_{vy}^2	1.82[m ² /s ²]

実験では被追従対象と無方向性四輪車との目標相対距離を 1.2[m]とし、センサから得られた値との偏差を PID 制御することにより追従動作を行う。本実験で使用した制御パラメータを表 2 に示す。

Table 2 Control parameters

	K_p	K_i	K_d
y	600	0.05	400

実験では脛部を計測できるように測域センサは地面から 25cm の高さの位置になるよう無方向性四輪車に取り付けた。測域センサは Ethernet でパソコンと接続し無方向性四輪車の制御はパソコンとの無線通信で実機走行を行なった。実験時の様子を図 3 に示す。

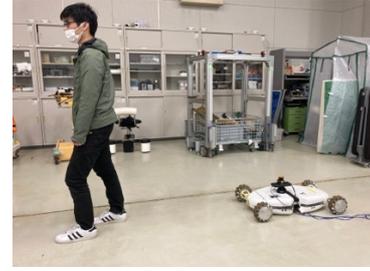


Fig.3 Experimental scenery

今回の実験では被追従対象は無方向性四輪車の前方 1.2[m]に立ち、開始とともに前後のみの移動を 27[s]間で一往復行う。実機実験により得られた無方向性四輪車と被追従対象との相対的な位置関係を図 4 に示す。

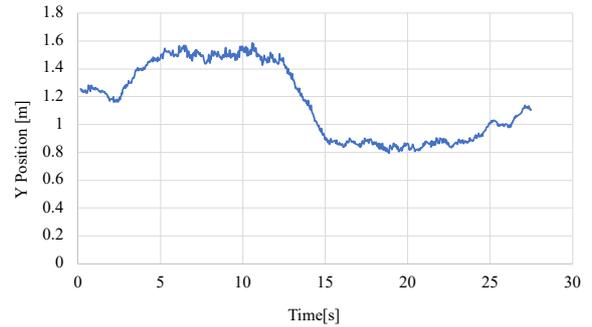


Fig. 4 y coordinates with respect to time

実験の結果、被追従対象を認識し、追従動作ができた。また図 3 より被追従対象が前進時では 1.6[m]、後進時では 0.8[m]の距離を保ち追従していることがわかる。

5. 結言

今回は提案する無方向性四輪車におけるレーザーセンサを用いた人追従動作について実験を行い、提案した人追従アルゴリズムの有効性を検証した。

今後の展開では前後方向のみの移動ではなく実際の現場での運搬環境を想定し、右左折や旋回などを交えた経路での追従動作の開発を行いたいと考える。その場合において無方向性四輪車の特性である全方向への平行移動を利用した追従法の開発を行いたいと考える。また進路上における障害物想定した回避手法の開発を行いたいと考える。

文献

- (1) 原口 雅尚, 王 碩玉, 瀧 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) 小澤 真由美, 萬 礼応, 松村 哲也, 高橋 正樹, レーザレンジファインダを用いた歩行計測システムの提案, 日本機械学会論文集(C 編)79 巻 901 号(2013-5), pp325-3