

1. はじめに

近年、宅配・郵便業界で人手不足が懸念されている。人手不足による就業者一人当たりの負担が増加している。それを改善するために労働時間削減と稼働率向上により労働効率性を向上させることが求められている [1][2]。そのような背景から、ロボットが人に追従する運搬支援システムを構築することによって荷物運搬の負荷を軽減し、就業者一人当たりの負担を軽減させることを目的に人追従ロボットの開発を行う。先行研究では、人追従時の移動経路を教示し、教示経路をもとに目的地まで追従させる手法を提案している [3]。この手法では、位置 (x, y) のみを教示しており、人の姿勢角については触れていないためロボットの姿勢角が最後の追従経路の角度に依存する。そのため、対象物がセンサの測定可能範囲内に入らず、対象物を発見できない可能性がある。それでは人に追従できないため、人追従時に人の姿勢角を高精度に推定し、人の姿勢を教示する必要がある。そこで本研究では、人の姿勢推定に最小二乗法を用いた楕円近似と楕円フィッティングを採用した。最初に正面を向いている状態の人に楕円近似を行うことで人の輪郭に近い楕円を作成する。次に、作成した楕円を回転させ、人の測定点に対応させることで姿勢推定が可能になると考える。また、人を計測するとき単一のセンサでは計測出来ない死角が存在する。そこで2つのセンサをステレオ型に配置することでより多くの測定点の取得を目指す。追従動作には仮想連結モデルを用いることでロボットの人追従機能の実装を目指す。

2. 追従ロボットの概要

本研究に用いる追従ロボットの外観を Fig.1(a) に示す。ロボットには北陽製光測域センサ (URG-04LX-UG01) を搭載しており、その外観を Fig.1(b) に示す。深度情報の測定にはこの光測域センサを用いた。

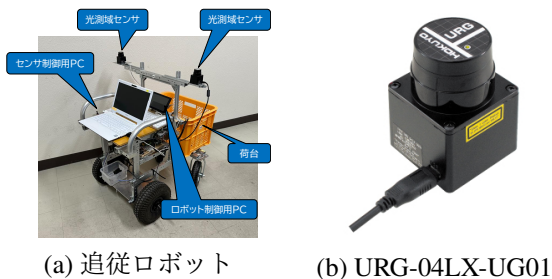


Fig. 1 追従ロボットの概要

3. 追従システムの概要

3-1 左右のセンサの測定点の合成方法

3-1-1 センサの向きの補正

センサの向きの補正值の求め方の図を Fig.2 に示す。まず、ステレオ型に配置したセンサで平らな板を計測し、板の傾きを求めてそれらの差を求める。この操作を 10 回行い、平均値を求める。この平均値を右センサの傾きの補正值とし、今後の計測では合成前にあらかじめ補正しておく。

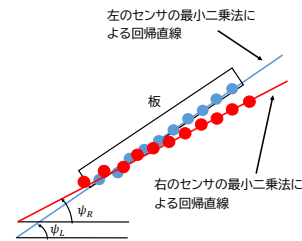


Fig. 2 向きの補正值の求め方

3-1-2 センサの位置の補正

位置の補正は x 軸方向の補正と y 軸方向の補正を分けて行う。 x 軸方向の補正方法の図を Fig.3(a), y 軸方向の補正方法の図を Fig.3(b) に示す。

まず、 x 軸方向の補正方法の解説を行う。 Fig.3(a) のような突起がある木箱を計測し、先端の x 座標を求めて、それらの差を求める。この操作を複数回行い、平均値を求める。この平均値を右センサの x 軸方向の補正值とし、今後は合成前にあらかじめ補正しておく。

次に、 y 軸方向の補正方法の解説を行う。 Fig.3(b) のように左右のセンサの測定点が重なっている範囲内の左のセンサの隣り合う測定点を結ぶ直線を引く。その直線と右のセンサの測定点の y 軸方向の差の平均値を求め、 y 軸方向の補正值とする。 y 軸方向の補正值の計算は毎走査ごとにプログラム内で行う。

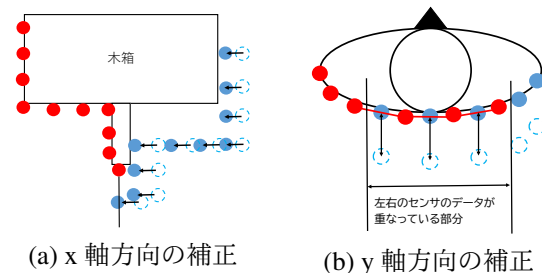


Fig. 3 左右点群の位置補正

3.2 姿勢推定法

人の姿勢推定は最小二乗法を用いた楕円近似と人の輪郭の測定点に楕円を対応させる楕円フィッティングの2通りの手法を用いて行う。人の姿勢推定法の図を Fig.4 に示す。

1. 基本は楕円近似による姿勢推定を行うことで追従対象の人の姿勢を推定する。楕円近似による人の姿勢推定で誤作動があったときに以下の方法で姿勢推定を行う。
2. 初めの10走査分で楕円近似で求めた楕円を人の輪郭の測定点に重ねる
3. 重ねた楕円の中心から測定点までの距離 d_s と偏角を求める
4. 求めた偏角の楕円の中心から楕円までの距離 d_k を求める
5. 求めた距離 d_s と d_k の差 err_i を求める
6. 求めた距離の差 err_i の $1 \sim K/2$ までの合計 f_1 と $K/2 \sim K$ までの合計 f_2 を求める
7. 楕円の長径の傾きを θ_f 、距離の合計 f_1, f_2 の差を $f_r = f_2 - f_1$ 、調整ゲインを k_r とすると、楕円の長径の傾き θ_f は $\theta_f = \theta_f - k_r \times f_r$ のように求められる
8. 求めた距離の差 err_i の $1 \sim K$ までの合計 F を求める
9. 楕円の回転変換した回数を $loop$ としたとき、 $loop$ 回目の楕円の回転変換と $loop - 1$ 回目の楕円の回転変換の差 $|F_{loop} - F_{loop-1}|$ を求める
10. $|F_{loop} - F_{loop-1}| < 0.1$ となるまで $3 \sim 9$ の操作を繰り返し行う

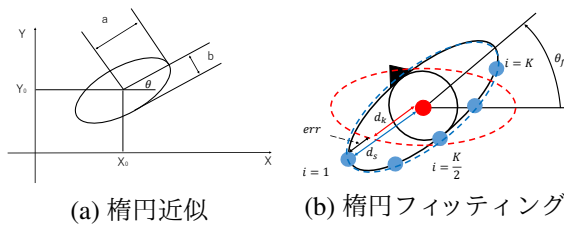


Fig. 4 人の姿勢推定法

3.3 連結モデル

追従方法は仮想連結モデルを採用する。仮想連結モデルのモデル式を式 (1)、式 (2) に示す。先行車の速度 V_1 と角速度 ω_1 、連結点の旋回角度 ϕ より、追従車の速度 V_2 と角速度 ω_2 を求めることで追従可能になる。

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \ell_1 \sin \phi \\ \frac{1}{\ell_2} \sin \phi & -\frac{\ell_1}{\ell_2} \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \omega_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\phi = \theta_1 - \theta_2 \quad (2)$$

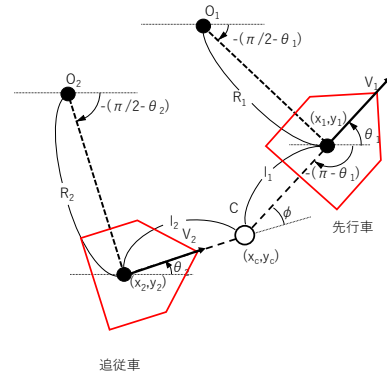


Fig. 5 連結モデル

4. 実機実験

実際にロボットを動かして実験を行った。人が前進運動した場合の人とロボットの経路を Fig.6(a)、人が左に旋回した場合の人とロボットの経路を Fig.6(b) に示す。Fig.6(a) より人が前進した場合は追従動作を行えていることが分かる。Fig.6(b) より人が曲がった場合も人とロボットの追従経路はほぼ同じ経路を通っているため追従できていることが確認できた。

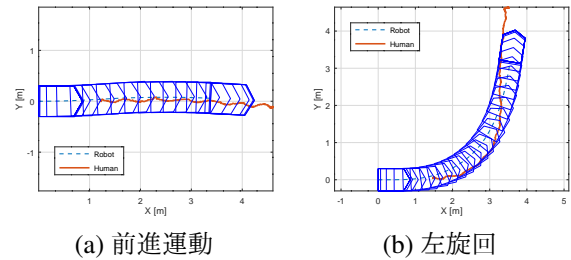


Fig. 6 追従実験の結果

5. まとめ

本研究は配送者の負担を削減することを目的に、人追従ロボットの構築を行った。ロボットの追従は仮想連結モデルにより可能になる。問題点としては、服のしわをセンサが測定すると人の姿勢推定の精度が悪くなる場合があり、そのときロボットが追従出来ない場合がある。そこで今後人の姿勢推定の精度を上げる必要がある。

参考文献

- [1] 荻野, 関, 大橋: 宅配・郵便業界における人手不足について, ファイナンス, 財務省, 52/53(2018)
- [2] 運送業の人手不足は国内ワースト 2|業界が抱える課題とその対策 <https://bowgl.com/transportation-industry-manpower-shortage/> 2021年2月7日アクセス
- [3] 坂井, 伊藤, 廣井: LRFを用いた人追従時の移動軌跡の記録と軌道追従に関する基礎的検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-F08(2014).