

# 人の荷台と協調する マスタースレーブ型搬送ロボットに関する研究

知能システム制御研究室 兼子 由衣

## 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。通信販売等の利用増加により宅配便の取扱い個数は大幅に増加しており、それにより不在による再配達も増加している。一方で、相対的な労働時間の長さ・所得額の低さによる就業者数の伸び悩みが起きており、就業者は近年横ばいの動きをしている [1]。結果として配送者一人あたりの負担が深刻になっている。したがって、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。それを受け、宅配・郵便業界では作業の無人化を目指す取り組みが注目を浴びている。

このような背景から本研究では、配送者の負担を軽減し、宅配・郵便業界の人手不足を解消するために、追従ロボットによる運搬支援システムの構築を行う。先行研究では人検出の方法として、測域センサを使用して人の腰部の形状を検出する方法 [2]、RGB カメラを使用して服の色を検出し、特定の人を判別する方法 [3]、深度センサを使用して人の特徴量を求める方法 [4] などがある。これらの課題は人の誤検出、誤追従である。また、ロボットと人の距離が近い場合に人検出箇所がセンサの検出範囲外に位置するという問題も挙げられる。

そこで本研究では、屋内・屋外に関わらず追従ロボットがより精度の高い運搬支援システムを提供するために、追従対象者に目印となるものを携帯させ、そこから得られる情報を追従経路作成に用いる方法を提案する。人の誤検出、誤追従が発生せず、追従対象者の位置が正確に把握できるため、精度の高い追従が期待できる。

## 2. コンセプト

提案する人追従システムのイメージを Fig. 1 に、システム概要図を Fig. 2 に示す。追従に仮想連結モデルを使用し、GNSS (Global Navigation Satellite System; 全地球航法衛星システム) 受信機から得た RTK (Real Time Kinematic) を使用した GNSS 情報を用いて独自のアルゴリズムで追従経路作成を行う。追従対象者の GNSS 受信機をインターネットに繋ぎ、RTK を使用した GNSS 情報を受信する。その情報をロボット制御用 PC で取得し、追従経路を作成する。追従対象者にはユーブックス (u-blox) 社の 2 周波 RTK 受信モジュール ZED-F9P を携帯させる。

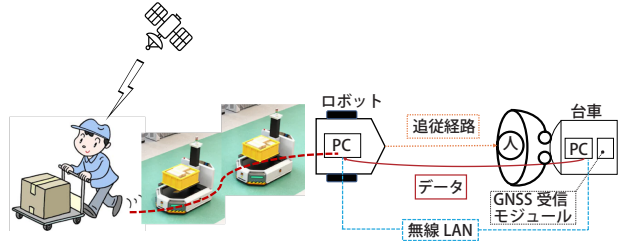


Fig. 1 人追従イメージ

Fig. 2 システム概要図

また、屋外屋内問わず追従可能にするためモバイル・ルータを使用し、無線でインターネットに接続する。

## 3. 人追従システム

### 3-1 GNSS 情報取得

RTK とは移動局が取得した衛星データと基準局の観測データを使ってその差分を計算し、移動局を基準局の距離を cm レベルの精度で算出する技術である。NMEA フォーマットという GPS 測位モジュールとして内部で測位した結果を出力する時のデータ形式から、必要な情報だけを抜き出し、追従対象者の測定ログとした。測定ログは 1s に 1 行 (1 データセット) 取得される。

### 3-2 追従経路作成

受信した追従対象者の座標をロボット制御用 PC で 4 個ずつ読み込み、これを基に 5 次補間曲線を作成する。この曲線を繋げたものを目標経路とする。目標経路算出のイメージ図を Fig. 3 に示す。5 次補間曲線を  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5$  とおいて、第  $(n-1)$  経路の終端角度、曲率と第  $n$  経路の初期角度、曲率の連続性を保証する経路作成法を提案する。Fig. 3 に示すように 3 点を通る円の方程式から曲率  $\kappa$  を求める。曲率の定義や円の方程式を用いて  $a_0 \sim a_5$  は (1) 式で求められる。

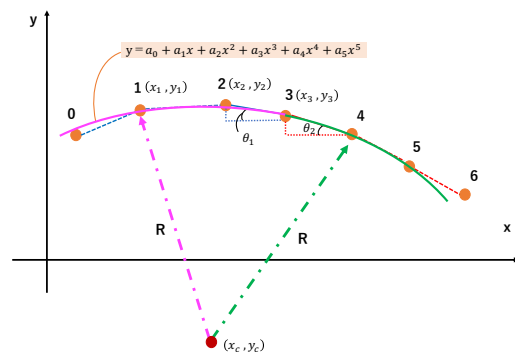


Fig. 3 目標経路算出のイメージ

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} y_0 \\ \frac{dy}{dx}(0) \\ \frac{d^2y}{dx^2}(0) \\ y_f \\ \frac{dy}{dx}(x_f) \\ \frac{d^2y}{dx^2}(x_f) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & x_0^3 & x_0^4 & x_0^5 \\ 0 & 1 & 2x_0 & 3x_0^2 & 4x_0^3 & 5x_0^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6x_0 & 12x_0^2 & 20x_0^3 \\ 1 & x_f & x_f^2 & x_f^3 & x_f^4 & x_f^5 \\ 0 & 1 & 2x_f & 3x_f^2 & 4x_f^3 & 5x_f^4 \\ 0 & 0 & 2 & 6x_f & 12x_f^2 & 20x_f^3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

次に算出した5次補間曲線を用いて、ロボットの角速度  $\omega$  を算出する。  $V$  は GNSS より取得した追従対象者の速度である。  $\tan \theta = \frac{dy}{dx}$  であるので  $\kappa$  は

$$\kappa = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \cos \theta \quad (3)$$

と表せる。曲率半径  $R$  を用いると  $R\omega = V$  と表されるので、  $\omega$  は (4) 式によって求められる。

$$\omega = \kappa V = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} V \cos \theta \quad (4)$$

### 3.3 ロボット運動学

本研究で用いるロボットは対向二輪駆動であり、 Fig. 4 に概要を示す。対向二輪駆動モデルは Fig. 5 に示すように、左右の車輪速度  $V_L$ ,  $V_R$  を、ロボットの中心速度  $V$  と回転速度  $\omega$ 、車輪間の距離  $W$  を用いて (5) 式で求めることができる。ロボットの旋回角度は  $\theta$  とする。

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{W}{2} \\ 1 & -\frac{W}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5)$$

サンプリング時間を  $T_s$  とする。 (5) 式で求めた  $V_L$ ,  $V_R$  から左右の車輪の回転角度  $\phi_L$ ,  $\phi_R$  は、車輪の半径を  $r_c$  として (6), (7) 式から求まる。ロボットは左右の車輪の回転角度を入力することで走行する。

$$\phi_L = \frac{(V_L(k) + V_L(k-1))T_s}{2r_c} + \phi_L(k-1) \quad (6)$$

$$\phi_R = \frac{(V_R(k) + V_R(k-1))T_s}{2r_c} + \phi_R(k-1) \quad (7)$$

## 4. 実データによる検証

実際に歩行して測定した GNSS 情報を用いて追従経路をあらかじめ作成し、その経路をロボットに走行させる追従検証を行った。取得した実データは RTK を使用した GNSS 情報とする。実際に人が歩行した経路とロボットの走行経路を比較した。ロボットが走行時の角度、角速度の推移を Fig. 6(a) に示す。

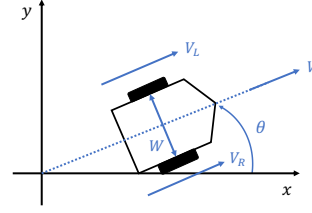


Fig. 4 対向二輪駆動モデルの概要

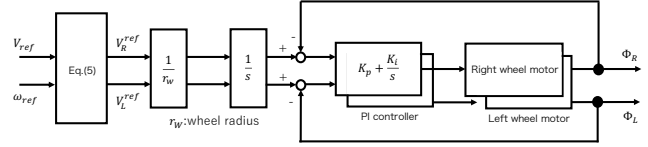
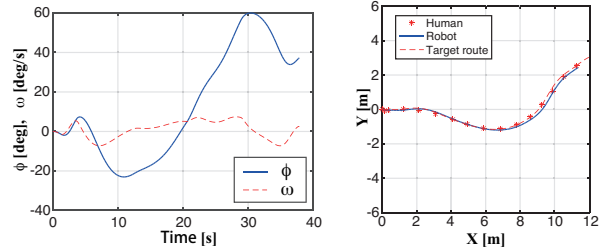


Fig. 5 車輪角度制御システム

また、実際に人が歩行した経路とロボットの走行経路の比較を Fig. 6(b) に示す。 Fig. 6(b) では X 軸が 11m の時点で約 0.2m ほど差が確認できるが、追従に支障が出るものではないと考える。 RTK を使用した GNSS 情報を用いて曲率の連続性を保つアルゴリズムで作成した追従経路は、人の歩行経路を高精度で再現できるという結果を得た。よって提案手法を用いての高精度の追従は実現できると考える。



(a) ロボットの角度・角速度の軌道 (b) ロボットと人の経路比較

Fig. 6 検証結果

## 5. まとめ

本研究は宅配・郵便業界で人手不足が懸念されており、配送者一人あたりの負担が深刻になっていることを背景として、追従ロボットによる運搬支援システムを構築することを目的とした。高精度の測定が可能な RTK 対応の GNSS 受信機を追従対象者に携帯させ、座標情報を基に追従経路を作成した。実データを用いた検証により人の歩行経路を高精度でロボットが追従できることを確認し、システムの有効性を示した。

## 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, pp. 52-53, 2018
- [2] 清水, 小出, Ardiyanto, 他: 移動ロボットのためのレーザ距離センサを用いた人物追跡と状態向き推定の統合, SICE SI2015, pp. 2604-2607, 2015
- [3] 志村, 安藤, 吉見, 他: Multi-Kinect 搭載ロボットによる RGB-D 特徴に基づいた人物追従に関する研究, ROBOMECH2014, 1P1-C05, 2014
- [4] 下山, 浅田, 加藤, 他: 人物追従ロボットのための深度センサによる頭部と胴体情報を用いた追従制御法の提案とその評価, 日本機械学会論文集, Vol. 87, No. 901, 2021