

1. はじめに

近年、少子高齢化に伴い、車椅子が移動手段として使用されるようになり、介護施設での使用や個人での使用など、需要が増加している。しかし、自操式車椅子では搭乗者にとって不便な点が多く挙げられる。先行研究では段差移動支援ロボットに関する研究 [1] や本研究室で研究を行なっている車椅子移動補助ロボットの自動連結システムの構築 [2] が行われている。従来の研究では、自操式車椅子に対する移動補助を目的としたロボットの研究は行われているが、車椅子とその搭乗者を近くでサポートする支援ロボットは未だ研究は行われていない。そこで本研究では、車椅子搭乗者の意思を汲み取る伴走型支援ロボットの開発し、後方及び横から車椅子を追従し、荷物を運搬する等の車椅子搭乗者を支援するシステムの構築を目指す。車椅子搭乗者の手元に配置する赤外線センサーでジェスチャーを認識し、支援ロボットに命令を送る。本研究で扱う移動補助ロボットには、移動機構として対向二輪駆動ユニット、視覚機構として Kinect v2 を搭載している。本論文では伴走型支援システムを構築する手法を提案し、実機実験により本提案システムの有効性を示す。

2. 伴走型支援走行システムの概要

本研究のコンセプト図を Fig. 1 に示す。伴走型支援走行システムではまず搭乗者ハンドサインによる合図を Leap Motion によって認識し、後方追従の場合はハンドル位置を、並列追従の場合は最近傍点を Kinect を用いて取得する。取得した距離情報を元に移動ロボットの追従制御を行う。また、ハンドサインによる合図で車椅子後方から並列状態へ、または並列状態から後方へ隊列移動を行う。

3. Leap Motion を使用したハンドサイン取得について

Leap Motion 本体を車椅子搭乗者の右手元に配置し、それに手をかざしてハンドサインを行う。ハンドサインの種類によって、後方追従走行開始、並列追従走行開始、隊列移動指示、各動作の停止をそれぞれ行う。Fig. 2 にハンドサインの種類とそれに付随する各動作を図解として示す。ハンドサインで移動ロボットの動作を変更する際は、停止指示を出す必要がある。

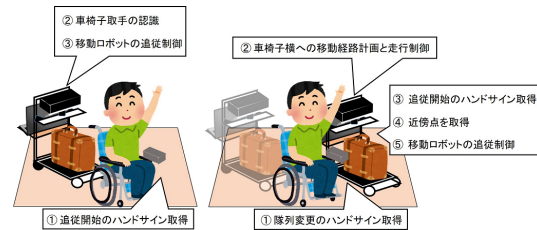


Fig. 1 コンセプト図

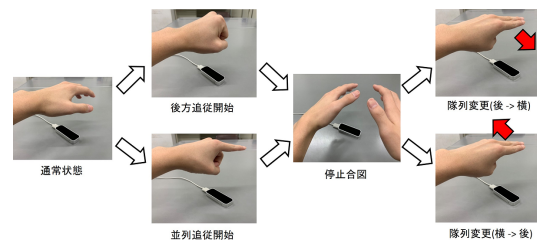


Fig. 2 ハンドサインの種類と各動作

4. 車椅子位置情報の取得について

4.1 後方追従走行

追従対象である車椅子後方から追従する場合、ハンドル位置情報を取得する。ハンドル位置取得手法について以下に示す。Fig. 3(1) にハンドル取得手法の図解を、Fig. 4(1) に Kinect による取得画面を示す。

- Fig. 4(1) 中の黒で囲まれた範囲で z 座標が最小となる点 (ハンドル A) の座標を取得する。
- Fig. 4(1) 中の青の点線で囲まれた範囲で z 座標が最小となる点 (ハンドル B) の座標を取得する。ただし青の範囲はハンドル A を基準に縦 40pixel の範囲、かつ 1 で求めた最小点の周り横 80pixel の赤で囲まれた部分を除いた範囲である。
- 2つのハンドルの内、 x 座標の値が小さい方を左ハンドル $H_L(x_{h_L}, z_{h_L})$ 、 x 座標の値が大きい方を右ハンドル $H_R(x_{h_R}, z_{h_R})$ とする。

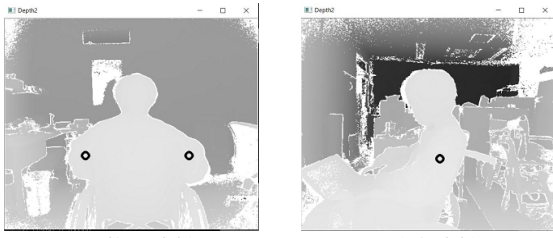
4.2 並列追従走行

車椅子横で追従する場合、最小点探索により最近傍点を取得する。Fig. 3(2) に Kinect による取得画面を、Fig. 4(2) に図解を示す。Fig. 4 中の赤枠内のみ範囲を限定し、値に飛び値が発生しないよう調整を行っている。

5. ロボットの制御

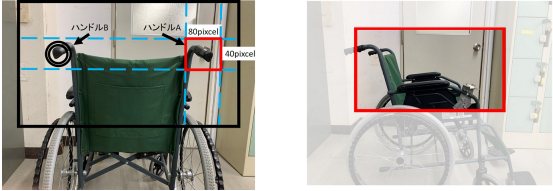
5.1 追従走行

初期座標を $H_0(x_0, z_0)$ とする。ロボットは距離 z_0 を目標追従距離とし、追従対象者との距離を保つ



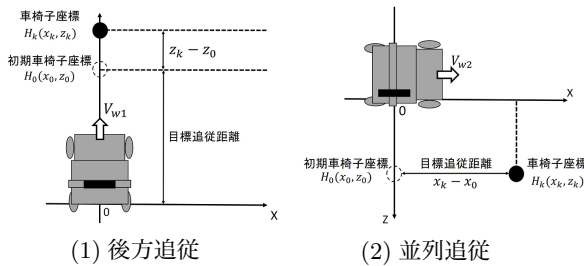
(1) 後方追従 (2) 並列追従

Fig. 3 Kinect 取得画面



(1) 後方追従 (2) 並列追従

Fig. 4 取得手法



(1) 後方追従 (2) 並列追従

Fig. 5 制御図解

て追従を行う。 θ は移動ロボットのタイヤの回転角、 r はタイヤの半径である。ロボットの目標追従速度 V_{w1} は式 (1) 以下で算出する。式 (1) の V_{w1} が式 (2) の車椅子速度 V_k と一致すれば良いため式 (3) ようになる。 θ_k について整理すると式 (4) となる。 K_{v1} 調整ゲインとする。式 (4) の θ_k を目標値として与え PI 制御系を構成する。 Fig. 5(1) に図解を示す。

$$V_{w1} = r\theta \quad (1)$$

$$V_k = \frac{d}{dt}(z_k - z_0) \quad (2)$$

$$r \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{\Delta t} = \frac{z_k - z_0}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\theta_k = K_v(z_k - z_0) + \theta_{k-1} \quad (4)$$

また、並列追従走行の場合は $x_k - x_0$ の値を目標追従距離とし、追従対象者とこの距離を保って追従を行う。 Fig. 5(2) に図解を示す。また、制御理論は上記と同様である。

5.2 隊列変更時の経路計画

移動ロボットの隊列移動を行うために移動経路を三次補間による経路計画を行う。移動する経路の始点 (x_0, y_0, θ_0) と終点 (x_f, y_f, θ_f) を決め、以下の三次補間の一般式に代入することで、隊列移動に適した経路を作成することができる。

$$x(y) = b_0 + b_1y + b_2y^2 + b_3y^3 \quad (5)$$

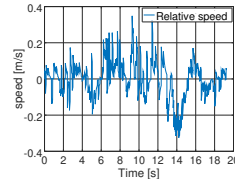


Fig. 6 後方相対速度

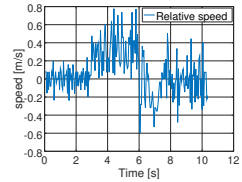


Fig. 7 並列相対速度



Fig. 8 後方から並列



Fig. 9 並列から後方

始点、終点の情報は dat ファイル内に書き込んだものを読み込んで計算している。

6. 実験と考察

6.1 追従実験

後方、並列追従走行共に車椅子は Kinect から見てハンドルの中点、及び最近傍点が点 $(0.0, 0.75)$ [m] に位置するように設置した。 Fig. 6 に後方追従走行、 Fig. 7 に並列追従走行で取得した車椅子と移動ロボットの相対速度データを示す。約 0.2 [m/s] の遅れが発生した後、減速し 0.0 [m/s] に収束していることが見て取れるため、追従走行は行えていると言える。

6.2 隊列移動実験

Leap Motion で隊列変更の合図を送っている。移動ロボットの隊列移動の様子を、後方から並列の場合は Fig. 8 に、並列から後方の場合は Fig. 9 に示す。以上より隊列移動が可能であると言える。

7. まとめ

本研究では、日常生活において車椅子搭乗者を支援を目的とする移動ロボットに対し、簡単なハンドサインによって、遠隔からの隊列移動指示や追従開始及び停止指示や機能の切り替え可能である伴走型支援システムの構築を目的としてきた。実機実験で搭乗者のハンドサイン認識から追従走行または隊列移動までの一連の動作を移動ロボットで行うことができることを証明し、伴走型支援システムの有効性を示した。

参考文献

- [1] 池田秀俊, 神田暉ら: 手動車椅子と受動制御マニピュレータを有する介護ロボットによる強調段差移動, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.1, pp.45-54, 2015
- [2] 本池優菜, 竹森史暁: 自立移動型双腕ロボットによる車椅子利用者のための人追従制御, 第 25 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.16-17, 2016
- [3] 中野栄二, 小森谷清ら: 大学院情報理工学高知能移動ロボティクス, 講談社, 2014