

## 広角カメラを用いたパワーアシスト車椅子の衝突回避支援に関する研究

千歳科学技術大学 ○及川貴才, 小田尚樹

本稿ではパワーアシスト車椅子に搭載した単眼の広角カメラを用いて、画像上に生じるオプティカルフローから推定した車椅子の速度を利用したパワーアシスト制御系を構成する。その際、推定された速度に応じて衝突を未然に回避するための支援制御を提案する。

### 1. 概要

少子高齢社会の背景のもと、著者らはビジュアルフィードバックを活用したロボット車椅子 (Fig.1) のパワーアシスト制御系について研究を行ってきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。広角カメラ (フィッシュアイレンズ Fig.2 を採用) を利用したアシスト制御についても検討してきたが<sup>(2)(3)</sup>、並進方向に対する衝突回避のための支援制御にとどまっていた。そこで本稿では、広角画像の視野を有効に活用することで、並進方向に加えて回転方向に対する操縦支援を含めた拡張を行う。具体的には、オプティカルフローから推定した速度を利用し、その速度に応じて並進/回転方向の粘性係数を動的に変更することで衝突を未然に回避するための効果を付与することを目的とする。



Fig. 1. パワーアシスト車椅子の概観



Fig. 2. 広角カメラの概観

### 2. オプティカルフローに基づく速度推定

速度推定を行うにあたって、広角画像 (Fig.3) に写る床面に生じるオプティカルフローベクトル (OFV) を求め、Fig.4 に示す広角カメラの仮想球面モデル図から並進速度及び回転速度を推定する。Fig.4 は点  $P$  がフィッシュアイレンズを通して撮像素子上の点  $p_i$  に投影される様子を示している。並進速度は (1) 式、回転速度は (2) 式から導出することが可能となる<sup>(2)</sup>。

$$v_z = \frac{rW}{y_i z_i} \dot{y}_i \dots \dots \dots (1)$$

$$\omega_y = \frac{x_i}{y_i z_i} \dot{y}_i - \frac{1}{z_i} \dot{x}_i \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $r$  は点  $O$  から点  $P$  までの距離、 $W$  は点  $O$  から点  $p_i$  までの距離、 $x_i, y_i, z_i$  は点  $p_i$  の三次元座標であり、カメラと床平面の位置関係から得られる。 $\dot{x}_i, \dot{y}_i$  は OFV から得られる。

### 3. パワーアシスト制御系

前章の速度推定は、OFV が床面上で生じていると仮定して計算を行う。それにより、並進方向においては、カメラと床面の間に障害物が存在した場合には実際の障害物までの距離よりも大きな値が計算に用いられる。また近い物体ほど OFV は大きくなる傾向がある。その結果、障害物が存在する場合には (1) 式の速度計算値は実速度よりも大きく推定されることとなる。この効果に基づき、推定速度と実速度の差を比較するのみで、簡易な回避支援効果を付与することが可能となり、具体的な方法については次章にて述べる。採用するアシスト系の基本構成については Fig.5 に示す。内部にビジョンベースの速度フィードバック系を有し、外側に (3) 式の通りマス-ダンパ系のインピーダンスモデルからアシスト速度を生成する系となっている。

$$V_w^{cmd} = \text{diag} \left[ \frac{1}{M_v + D_v}, \frac{1}{M_\omega + D_\omega} \right] \cdot F^{human} \dots (3)$$

ここで、 $M_v, D_v$  は並進方向の仮想質量、粘性係数を表し、 $M_\omega, D_\omega$  は回転方向の仮想慣性、粘性係数を表している。 $F^{human}$  は反力推定オブザーバによって推定された人の操作力 (並進、回転要素のベクトル) である。

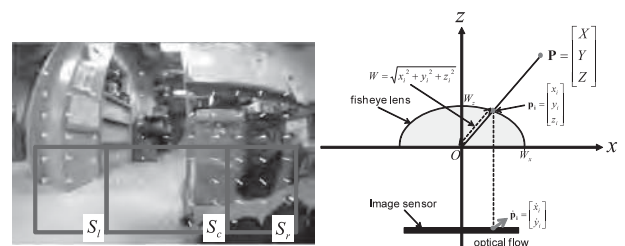


Fig. 3. 広角画像と ROI 領域 Fig. 4. 広角カメラ内部の仮想球面モデル

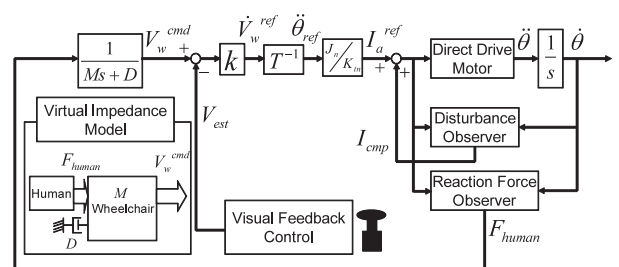


Fig. 5. パワーアシスト制御系

#### 4. 粘性係数の動的変更に基づく衝突回避支援

衝突回避支援を行うにあたり、広角画像 (Fig.3) に3つのROI (Region Of Interest) 領域を設け、並進方向については  $S_c$  領域を、回転方向については  $S_r$  領域、 $S_l$  領域を用い、それぞれの領域内における推定並進速度の平均値とエンコーダから得られる実速度を比較し、(4)式、(5)式における条件式が成り立つ場合に初期粘性係数  $D^{normal}$  に  $D^{avoid}$  を加算することによって仮想粘性抵抗を高め、衝突回避支援を実現する (後進動作については適用外とした)。ここで、 $v_c^{vision}$ 、 $v_r^{vision}$ 、 $v_l^{vision}$  はそれぞれ  $S_c$ 、 $S_r$ 、 $S_l$  領域内での推定並進速度、 $v^{enc}$  はエンコーダから得られる実速度、 $v_{th}$ 、 $\omega_{th}$  は閾値を表す。

$$D_v = \begin{cases} D_v^{normal} + D_v^{avoid} & \text{if } v_c^{vision} > v^{enc} + v_{th} > 0 \\ D_v^{normal} & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

$$D_\omega = \begin{cases} D_\omega^{normal} + D_\omega^{avoid} & \text{if } \left\{ \begin{array}{l} \omega > \omega_{th} \cap \\ v_r^{vision} > v^{enc} + v_{th} \\ \omega < -\omega_{th} \cap \\ v_l^{vision} > v^{enc} + v_{th} \end{array} \right. \\ D_\omega^{normal} & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

(4)式は、 $S_c$  領域で推定された並進速度が実際の並進速度よりも閾値分上回った際に粘性係数  $D_v^{avoid}$  を加算している。これにより、車椅子の進行方向に障害物が存在する場合、衝突を未然に回避するための粘性抵抗の付与を意図している。画像両端の  $S_l$  領域、 $S_r$  領域については、(5)式のように同様に回転方向の粘性抵抗の加算の条件に用いる。これにより、壁などに接近するような回転運動に対して粘性抵抗を付与することができる。また、 $\omega_{th}$  は微小な回転運動によって不用意な粘性抵抗の増加を避ける目的で設定している。

#### 5. 実験結果

Fig.6の実験環境にて、矢印の方向へ壁に沿ってロボット車椅子を前進させる実験を行った。回転地点においては壁に向かって回転動作を加えることによって回転方向の粘性抵抗が生じることを検証し、障害物が存在する終着地点においては並進方向の粘性抵抗が生じることを検証した。 $S_l$  領域、 $S_c$  領域にて推定した並進速度と実際の並進速度を比較したグラフを Fig.7、Fig.8に、推定した回転速度と実際の回転速度を比較したグラフを Fig.9に、粘性係数の変動グラフを Fig.10に示す。

実験結果では、並進速度においては、Fig.7の障害物が遠い区間 (~約 8.0[s]) においては一定の精度で推定されていることを確認した。また、障害物が接近した際 (約 8.0[s]~) においては実際の速度よりも高い速度が推定されていることを確認した。

Fig.8では、左側の壁が常に  $S_l$  領域に写り込んでいる影響から、全体にわたって実際の速度よりも高い速度が推定されていることを確認した。回転速度 (Fig.9) においても、一定の精度で推定され、回転地点は約 3.5[s]~

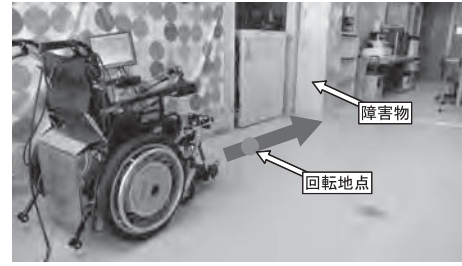


Fig. 6. 実験環境

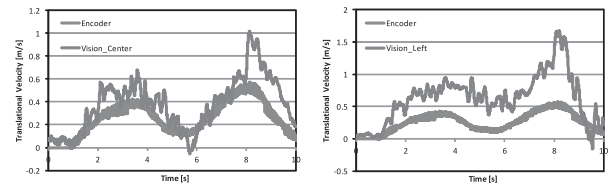


Fig. 7.  $S_c$  領域での並進速度推定結果 Fig. 8.  $S_l$  領域での並進速度推定結果

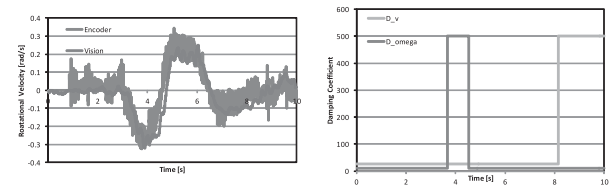


Fig. 9. 回転速度推定結果 Fig. 10. 粘性係数の変化

4.5[s]の区間に対応し、この区間で壁に向かう負方向の旋回動作をしている。また、Fig.8の  $S_l$  領域における推定並進速度が実速度よりも大きく上回っていることから、(5)式を満たし、その区間において Fig.10のとおり粘性係数が増加していることがわかる。Fig.10の約 8.0[s]以降の並進方向の粘性係数についても、Fig.7の約 8.0[s]以降の推定速度の増加に対応して変更されている様子が確認できる。

#### 6. まとめ

オプティカルフローから推定した速度を利用して、並進/回転速度の粘性係数を動的に変更することで衝突回避のアシスト制御を提案した。本手法は、障害物までの距離を導出することなく容易に実装することが可能である。支援制御の効果は実機実験により確認を行った。今後の課題として、移動障害物の考慮や複雑環境下における動作検証などを行っていく予定である。

#### 参考文献

- (1) 小田高樹, 清水博之, "ビジュアルフィードバックによる電動車椅子のパワーアシスト制御", 電気学会論文誌 D, Vol.128-D, No.1, pp.41-47, 2008
- (2) 及川貴才, 小田高樹, "広角カメラを用いたパワーアシスト車椅子のビジュアル速度フィードバック制御に関する検討", 平成 27 年精密工学会北海道支部学術講演会, B-06, 2015
- (3) Takatoshi Oikawa, Naoki Oda, "Assistive Control using Monocular Fisheye Camera for Power Assist Wheelchair", IEEJ Int. Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control (SAMCON2016), TT9-2, 2016