

## 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

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、広角画像中に写る床面に生じるオプティカルフローベクトルを求め、ロボット車椅子の並進速度及び回転速度の推定を行う。また、得られた速度情報をパワーアシスト系の中の速度フィードバック制御へ応用することによって、障害物へ接近する際に減速効果を働かせるような操縦支援制御について検討する。

### 1. 概 要

少子高齢社会の背景のもと、著者らはビジョンベースによるパワーアシスト制御をロボット車椅子 (Fig.1) に構築する研究を行ってきた<sup>1)</sup>。過去の研究ではステレオカメラによるパワーアシスト制御を行ってきたが、本研究では、単眼の広角カメラ (Fig.2) から得られる情報を用いることによってパワーアシスト制御を構築することを目的とする。広角カメラにはフィッシュアイレンズを採用している。広角画像を用いることによって広範囲の環境情報を利用できるため、より多角的な操縦支援が可能になると考えられる。本稿では、広角画像を用いたロボット車椅子の並進速度及び回転速度を推定する手法について述べ、将来的に推定した速度をパワーアシスト系の中の速度フィードバック制御に利用することによって障害物に接近した際に減速効果を働かせるような操縦支援制御を目指している。



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 参照) 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。

$V_c = [0, 0, v_z]^T$  をロボット車椅子の並進速度、 $\Omega_c = [0, \omega_y, 0]^T$  をロボット車椅子の回転速度とし、点  $P$  の座

標が  $P = [X, Y, Z]^T$  であるとき、広角カメラから見た点  $P$  の速度は (1) 式によって表される。

$$\dot{P} = \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = -(V_c - \Omega_c \times P) = \begin{bmatrix} -\omega_y Z \\ 0 \\ -v_z + \omega_y X \end{bmatrix} \quad (1)$$

次に、仮想球面モデル上での座標における時間微分  $\dot{p}_i$  は (2) 式のように表せる。 $\dot{x}_i$  と  $\dot{y}_i$  は床面に生じる OFV から取得するため、点  $P$  の適用箇所には広角画像の中央より下部領域の全域を利用している。

$$\dot{p}_i = \frac{dp_i}{dt} = \begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{z}_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2)$$

また、Fig.5 に示すように仮想球面モデルの中心から床面までの距離を  $r$  とおくことで、 $p_i$  は (3) 式のようにも表せる。

$$p_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \frac{W}{r} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3)$$

(1) 式, (2) 式, (3) 式を用いて、 $r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$  で



Fig. 3. 広角画像

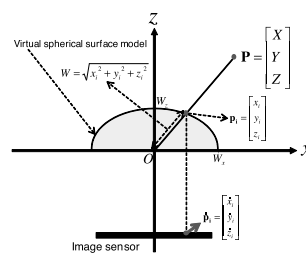


Fig. 4. 広角カメラ内部の仮想球面モデル

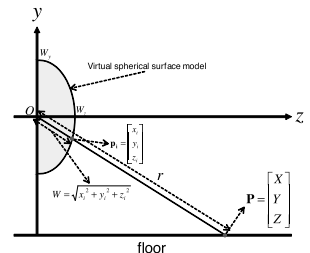


Fig. 5. 仮想球面モデルと床面の位置関係

あることより,  $\dot{x}_i, \dot{y}_i$  について解く.

$$\dot{x}_i = \frac{d}{dt} \left( \frac{W}{r} X \right) = -\frac{WZ}{r} \omega_y + \frac{WXZ}{r^3} v_z \dots\dots\dots (4)$$

$$\dot{y}_i = \frac{d}{dt} \left( \frac{W}{r} Y \right) = \frac{WYZ}{r^3} v_z \dots\dots\dots (5)$$

(5) 式を  $v_z$  について解くことで (6) 式が得られる.

$$v_z = \frac{r^3}{WYZ} \dot{y}_i \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式を (4) 式に代入して式を整理することで (7) 式が得られる.

$$\omega_y = \frac{r}{WZ} \left( \frac{X}{Y} \dot{y}_i - \dot{x}_i \right) \dots\dots\dots (7)$$

最後に, (3) 式から解いた X, Y, Z を (6) 式, (7) 式に代入することにより, 並進速度である (8) 式, 回転速度である (9) 式が得られる.

$$v_z = \frac{rW}{y_i z_i} \dot{y}_i \dots\dots\dots (8)$$

$$\omega_y = \frac{x_i}{y_i z_i} \dot{y}_i - \frac{1}{z_i} \dot{x}_i \dots\dots\dots (9)$$

### 3. 速度フィードバック制御への応用の検討

前章では, 単眼の広角カメラのみによって OFV が床面上で生じていることを前提にパワーアシスト車椅子の並進速度及び回転速度の計算式を導出した. そのため, 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, また, カメラに写る障害物から生じる OFV は距離が近いほど大きく検出されることとなる. その結果, 障害物が存在する場合には実際の速度よりも速く推定される現象が起こる. その速度情報をあえて速度フィードバック制御に利用することによって, 障害物へ接近する際に減速効果を働かせることが可能であり, パワーアシスト制御の操縦支援に利用することを検討している. 現段階で想定している速度フィードバックによるパワーアシスト制御系を Fig.6 に示す.

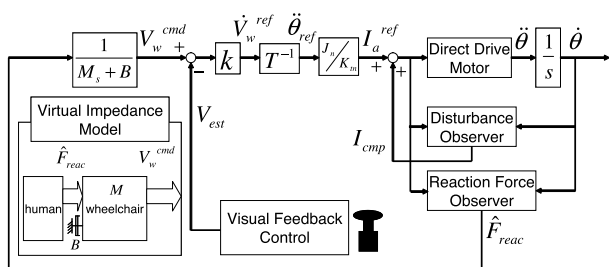


Fig. 6. 速度フィードバックによるパワーアシスト制御系

### 4. 実験結果

広角カメラから推定した速度とエンコーダから得た実速度で比較を行った. 並進運動時の並進速度と回転運動時の回転速度について比較したグラフを Fig.7 に示す. 実験結果では, 並進速度は一定の精度で推定できていることを確認したが, ノイズを多く含む結果となった. このノイズは, 並進運動時に検出される OFV は小さいという特徴があるため, 量子化誤差の影響により発生したものであると考えられる. 回転速度は高い精度で推定できていることを確認した. また, 障害物へ接近する際の並進速度の比較も行った. その比較グラフを Fig.8 に示す. 実験結果では, 障害物に接近した際には実速度よりも大きい速度が推定される結果となった. この効果を利用することにより, 前章で検討した速度フィードバック制御への応用が可能であると考えられる.

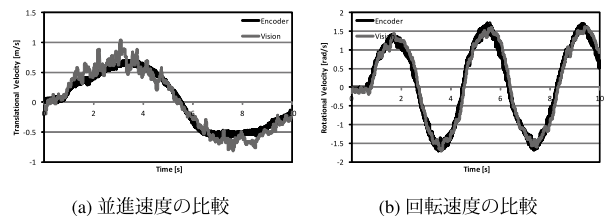


Fig. 7. 実速度と推定速度の比較

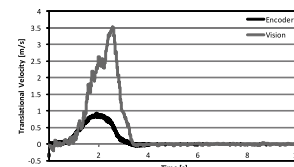


Fig. 8. 障害物へ接近する際の並進実速度と推定並進速度の比較

### 5. まとめ

単眼の広角カメラのみの情報から, ロボット車椅子の並進速度及び回転速度の推定方法について検討した. 推定方法の有効性を示すため, エンコーダから得た実速度と本手法で推定した速度の比較を行い, 一定の精度で速度を推定できることを確認した. また, 障害物への接近時での速度推定では, 実速度よりも推定速度が大きく上回る効果を確認した. 今後の展開としては, ノイズの低減を行うことによって, より精度の高い速度推定を検討し, 広角カメラによるビジュアル速度フィードバック制御へ展開していく.

### 参考文献

(1) 小田尚樹, 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