

フィッシュアイ画像のオプティカルフローを利用したパワーアシスト車椅子の 操縦支援に関する研究

公立千歳科学技術大学 ○桑島孝, 小田尚樹

パワーアシスト車椅子の周囲環境の認識にフィッシュアイ画像のオプティカルフローを利用する。その際、各オプティカルフローベクトルの信頼度を定義し、重み付けを行うことによってノイズの少ない速度推定値を得ることができる。本稿では、その速度推定値と車椅子の実速度の比較により視野中の障害物の有無を判断する手法を提案する。

1. 概 要

少子高齢社会の背景のもと、著者らはフィッシュアイ画像のオプティカルフローベクトル (OFV) を利用したロボット車椅子の操縦支援制御について研究を行ってきた。先行研究では、エンコーダから得られた実速度値と OFV から求めた速度推定値を利用して、操縦支援制御を提案した⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、屋内環境でロボット車椅子を利用する際、周囲の風景で単色でかつ濃淡の変化が乏しい領域が多々存在するような環境では安定的な OFV が得られずノイズを含んだ速度推定値になり障害物を認識するうえで影響がでる。そこで本稿では、各 OFV の信頼度を定義し、重み付けを行うことで OFV にノイズが含まれるような環境においても安定して障害物の認識を行えるようにすることを目的とする。

2. パワーアシスト制御系の構成

Fig.1 にパワーアシスト制御系の構成図を示す。採用する制御系の基本構成としては、内部に速度フィードバック系を有し、外部に (1) 式で示されるマス-ダンパ系のインピーダンスモデルからアシストする速度を生成する系となっている。

$$v_w^{cmd} = \begin{bmatrix} v_{cmd} \\ \omega_{cmd} \end{bmatrix} = \text{diag} \left[\frac{1}{M_v + D_v}, \frac{1}{M_\omega + D_\omega} \right] \cdot F_{assist} \quad (1)$$

ここで v_w^{cmd} は生成される速度指令値、 M_v 、 M_ω 、 D_v 、 D_ω は並進、回転方向における仮想質量ならびに仮想粘性係数である。図中、 F_{ext} は反力推定オブザーバによって推定された人が押す力である。 $F_{virtual}$ は仮想力である。

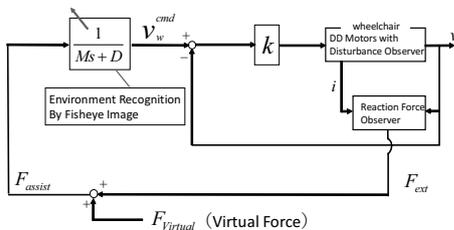


Fig. 1. パワーアシスト制御系の構成

3. フィッシュアイ画像による環境認識

先行研究では、フィッシュアイ画像から得られた速度推定値とエンコーダからの実速度の差を比較することで

周囲の環境を認識し、その結果をもとに仮想力の生成ならびに仮想インピーダンスを動的に変化させる手法を用いて操縦支援を行っていた。

実速度との比較に用いられる速度推定値は Fig.2 に示すフィッシュアイレンズの仮想球面モデルを用いることにより車椅子の並進速度は (2) 式、回転速度は (3) 式で導出することができる⁽¹⁾⁽²⁾。

$$v_i^{est} = \frac{rW}{y_i z_i} \dot{y}_i \dots \dots \dots (2)$$

$$\omega_i^{est} = \frac{x_i}{y_i z_i} \dot{y}_i - \frac{1}{z_i} \dot{x}_i \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 x_i, y_i は、画像上の座標 (x_i, y_i) における OFV を表している。

Fig.3 に示すような ROI(region of interest) 領域を定義し、ROI 領域 (左、中央、右) の各 OFV を使用して平均推定速度 $v_{left}^{est}, v_{center}^{est}, v_{right}^{est}$ を計算する。ROI 領域内の OFV が全て床面から得られていると仮定したとき、各 ROI の推定速度値はエンコーダ信号から得た車椅子の実速度と近い値になる。しかし、ROI 領域内に壁や障害物が映り込んだ場合には、推定速度 $v_{left}^{est}, v_{center}^{est}, v_{right}^{est}$ は異なる値となる。一般的には、車椅子と障害物との間の距離が近いほど、OFV から推定された速度は大きい値となる。したがって、車椅子の実速度と OFV から推定した速度を比較することで、容易に ROI 方向の周囲の環境を判断することが可能となる。しかし、屋内環境では特徴量が少ない環境が多々存在しており、そういった環境では不安定な OFV を含んでしまい、ノイズを含んだ推定値となってしまふ。そこで不安定な OFV によるノイズを低減するために OFV に信頼度を定義して重み付けを行う。具体的な手法については次章で述べる。

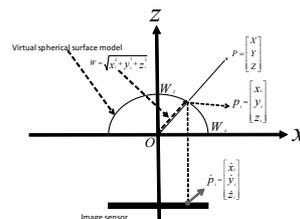


Fig. 2. フィッシュアイカメラ内部の仮想球面モデル

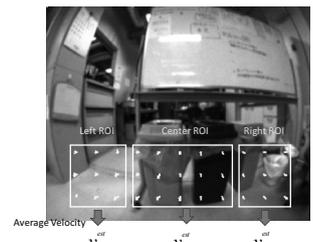


Fig. 3. ROI 領域

4. 信頼度の定義に基づく OFV 利用

OFV はブロックマッチング法を用いて計算される。計算コストを削減するために、Fig.3 の ROI 中の算出例(ベクトル部分)のように、サンプリングポイントを一定間隔ごとに設置しており、サンプリングポイントを始点、現在のフレームの最も相関の高いブロックの中心座標を終点とするベクトルとして計算している。

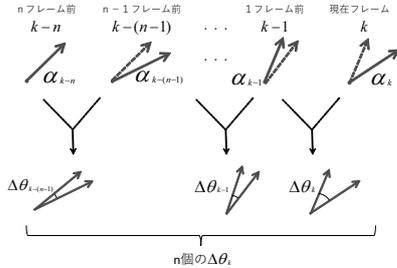


Fig. 4. OFV の角度差の導出方法

計算した OFV の時系列で、方向が不連続でばらつきがある不安定な OFV は速度推定値に誤差を生じさせるノイズの要因となる。そこで不安定な OFV によるノイズの低減を行うにあたり、OFV の安定性を判断するための信頼度を定義する。Fig.4 は連続するフレームにおける OFV の方向の変化から OFV の角度差を導出する過程を示している。連続するフレームのうち現在フレーム k における OFV を α_k 、1 フレーム前 $k-1$ における OFV を α_{k-1} としたとき、2 つの OFV の角度差 $\Delta\theta_k^i$ は (4) 式で導出することができる。過去 n フレームまで遡り n 個 (実験では $n = 5$ とした) の角度差 $\Delta\theta_k^i$ を導出した後 (5) 式で n フレーム間における角度差の平均値 $\overline{\Delta\theta}_k^i$ を求める。なお、添字の i は i 番目の OFV であることを示している。

$$\Delta\theta_k^i = \cos^{-1}\left(\frac{\alpha_k \alpha_{k-1}}{|\alpha_k||\alpha_{k-1}|}\right) \dots \dots \dots (4)$$

$$\overline{\Delta\theta}_k^i = \frac{\sum_{j=0}^{n-1} \Delta\theta_{k-j}^i}{n} \dots \dots \dots (5)$$

平均値 $\overline{\Delta\theta}_k^i$ が小さい値である時、OFV はばらつきが少なく安定していると判断する。そこで平均値 $\overline{\Delta\theta}_k^i$ に上限および下限の閾値を定め、(6) 式に示す条件に従って信頼度 R_i を定義する。

$$R_i = \begin{cases} 1 & (\overline{\Delta\theta}_k^i \leq \theta_{th}^{low}) \\ 1 - \frac{\Delta\theta_k^i - \theta_{th}^{low}}{\theta_{th}^{up} - \theta_{th}^{low}} & (\theta_{th}^{low} \leq \overline{\Delta\theta}_k^i \leq \theta_{th}^{up}) \dots \dots (6) \\ 0 & (\theta_{th}^{up} \leq \overline{\Delta\theta}_k^i) \end{cases}$$

この時、 θ_{th}^{up} を上限値、 θ_{th}^{low} を下限値として閾値を定めている。各 OFV から (2),(3) 式で計算される車椅子の速度から ROI 領域の平均速度を求める際、信頼度 R_i を重みとした加重平均により (7) 式のように速度推定を行うこととする。これにより、ノイズの低減が期待できる。

$$\begin{bmatrix} \bar{v}^{est} \\ \bar{\omega}^{est} \end{bmatrix} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i \begin{bmatrix} v_i^{est} \\ \omega_i^{est} \end{bmatrix}}{\sum_{i=1}^m R_i} \dots \dots \dots (7)$$

5. 実験結果

Fig.5 のような環境において、矢印に沿ってロボット車椅子を前進させる実験を行った。単色で濃淡の変化が乏しい領域を含む環境において、OFV から正しく速度を推定できているかどうかを検証し、最終地点で障害物の存在を正しく認識できているかどうかを検証した。並進速度において、従来手法の重み付けなしの推定値、ならびに信頼度による重み付けを行った推定値をエンコーダからの実速度と比較したグラフを Fig.6 に示す。

実験結果では、Fig.6 において障害物が遠くにあり ROI 領域に単色で濃淡の変化が乏しい床が写り込んでいる区間 (~約 6.0[s]) において、従来手法の速度推定値はノイズを多く含んでいる。それに対し、太線で示されている提案した手法の信頼度を用いた重み付けによる速度推定値はノイズが少なく、一定の精度で推定されていることを確認した。また、障害物に接近した際 (約 6.0[s]~8.0[s]) においては実際の速度よりも大きな速度が推定され障害物の接近を認識できることを確認した。



Fig. 5. 実験環境

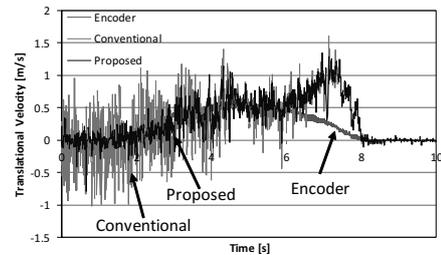


Fig. 6. 並進速度推定結果

6. まとめ

OFV の信頼度を定義し重み付けを行うことでノイズの少ない速度推定値を得る手法を提案した。本手法の効果は実験結果により確認を行った。今後の課題として、本提案手法を用いたアシスト制御の動作検証を行っていく予定である。

参考文献

- (1) 及川貴才, 小田尚樹, "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", 平成 28 年精密工学会北海道支部 学術講演会, A-05, 2016
- (2) Takatoshi Oikawa, Naoki Oda, "Collision Avoidance Assistance for Power Assist Wheelchair", IEEE Int. Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control(SAMCON2017),SS3-3,2017