

生体信号により操作される電動車椅子の安全走行支援に関する研究

島田 将成

1 はじめに

建物内の廊下のような狭い空間内において、移動ロボットやビークルに障害物を回避させる機能を装備させることは、それらの走行の安全性を確保する上で重要である。これらの機能を実現するには、車載センサを用いて周囲の環境を認識し、障害物との衝突の危険性がある場合にはロボット自らが移動を制御し、回避動作を行う制御システムを構築する必要がある。

本研究は、着脱が容易な簡易型脳波検出装置 (Brain Computer Interface:BCI) を用いて眼電位や筋電位を測定し、これら生体信号から推定されるジェスチャを基に移動制御が行える電動車椅子 Emu の安全走行支援システムの構築を目的としている。このシステムは、壁に囲まれた廊下環境において、レーザレンジセンサ (LRS) による壁面検出を行い、壁との衝突を回避することで走行の安全性を確保する。

2 システムの概要

本研究では、制御対象として Fig.1 に示すような車体前面に LRS を搭載し、左右独立駆動が可能な駆動輪を持つ電動車椅子を用いる。これにコンピュータと BCI を USB(RS232C) 経由で接続し、制御を行う。



Fig.1 LRS 搭載の電動車椅子 (出典：自作)

2.1 生体信号による電動車椅子の走行制御

本研究でサポートを目的としている車椅子は、前後進、左右旋回、停止が可能である。車椅子に搭乗したユーザの生体信号 (眼電位と筋電位) を BCI によって取得し、それらがコンピュータに送信された上でジェスチャ認識が行われる²⁾。ユーザの各ジェスチャとそれに対応する車椅子の動作を Table1 に示す。

Table1 ジェスチャと車椅子動作の対応表

ジェスチャ	使用電位	動作
奥歯を 1 回噛み締める	筋電位	前進
奥歯を 2 回連続で噛み締める	筋電位	後進
左に視線を向ける	眼電位	左旋回
右に視線を向ける	眼電位	右旋回
眉間にしわを寄せる	眼電位	停止

なお、今回の実験では車椅子の操作に生体信号ではなくジョイスティックを用いた。

2.2 センサ情報による自己位置認識

車椅子の移動制御には、環境内における自己位置の認識が必要となる。現在自分が環境のどこにいるのかが分かれば、移動経路を計画することができる。これには、車体の並進速度や旋回速度など、内部状態を計測するセンサ (内界センサ)、環境に存在するものの状態を計測する環境認識センサ (外界センサ) を用いる¹⁾。

内界センサには、回転式エンコーダ (車輪の回転速度を計測)、ジャイロ (車体旋回速度を計測) を利用する。車椅子の初期位置を既知として、内界センサによって車体の動きを時々刻々測定し、それを積分することで現在位置を計算することができる。エンコーダとジャイロにより自己位置を認識する方法をデッドレコニングという。

外界センサとしては、LRS を利用する。これは障害物にレーザを発射し、反射して戻ってくるまでの時間を計測することで距離を測定する (Time-of-flight 法)。Table2 に LRS の仕様を示す。

Table2 LRS の仕様 (SICK 社 LM200)

レーザ照射角	前面 180[deg]
方位分解能	0.5[deg]
距離測定範囲	最大 8.1[m]
スキャン周波数	75[Hz] (実際は約 10[Hz])

平坦な路面上を走行する車椅子の自己位置認識には、Fig.2 に示すように走行環境に固定した座標系 (地上固定座標系) を定義し、座標値で自己位置を表現する¹⁾。

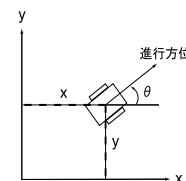


Fig.2 地上固定座標系 (出典：自作)

2.3 アシスト機能による衝突回避

速度 v で走行する車椅子が、壁に一定の距離 (法線距離 y_w) まで接近した場合は、壁との衝突を回避するため、Fig.3 に示すように、壁より距離 y 離れた壁に平行な仮想経路を生成し、その経路上に沿って走行するように車体を制御する。これをアシスト機能と称する。

ここで、仮想経路に対する車椅子の横偏差を y_d 、方位を θ_d 、壁との法線角度 θ_w とする。車椅子を仮想経路上に

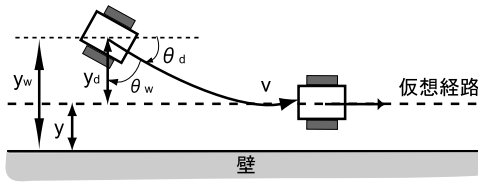


Fig.3 壁に沿った走行制御 (出典：自作)

沿って走行させるための条件は、 $y_d \rightarrow 0$, $\theta_d \rightarrow 0$ である。 $y_d \rightarrow 0$ を実現するための左右車輪の目標速度を式 (1) に示す。 v_1^* は右車輪の速度、 v_2^* は左車輪の速度、 v^* は車椅子の任意の目標速度、 L はトレッド長、 K_1 , K_2 は制御の特性を決定する定数である¹⁾。

$$\begin{cases} v_1^* = v^* [1 + \frac{L}{2} \{ \frac{-1}{\cos\theta_d} (K_1 y_d + K_2 \sin\theta_d) \}] \\ v_2^* = v^* [1 - \frac{L}{2} \{ \frac{-1}{\cos\theta_d} (K_1 y_d + K_2 \sin\theta_d) \}] \end{cases} \quad (1)$$

2.4 LRS による壁面の検出

単純な平面の壁で囲まれた廊下環境では、LRS で水平方向を観測したとき、平面を観測した場合は Fig.4 に示すように、レーザ観測点は一直線上に並ぶ。これにより、観測点の中から直線上に並ぶ観測点を抽出することで平面部分を特定し、壁までの法線距離 y_w を測定することができる³⁾。

LRS からは、0.5[deg] ごとに周囲の対象物までの距離情報が得られる。屋内環境では、壁面が複数存在するため、LRS による観測点には複数の直線が含まれている。この直線要素を直線セグメントと呼ぶ⁴⁾。

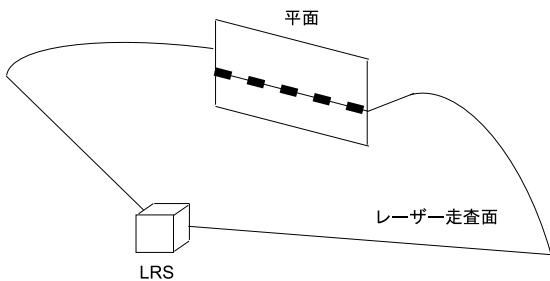


Fig.4 LRS による壁面検出 (出典：参考文献³⁾ より参照)

2.5 直線セグメントのクラスタリング

理想的には LRS により観測される壁面と同数の直線セグメントが抽出されるのが望ましいが、実際の観測では観測雑音や障害物等の影響により、分断された多数の直線セグメントが抽出される結果となる。これに対処するため、法線距離や法線角度を用いて、類似する直線セグメント同士を同一の壁面に起因するものとみなしてグループ化 (クラスタリング) を行う⁴⁾。

2.6 システムの処理の流れ

Fig.5 にシステム全体の処理の流れをフローチャートで示す。

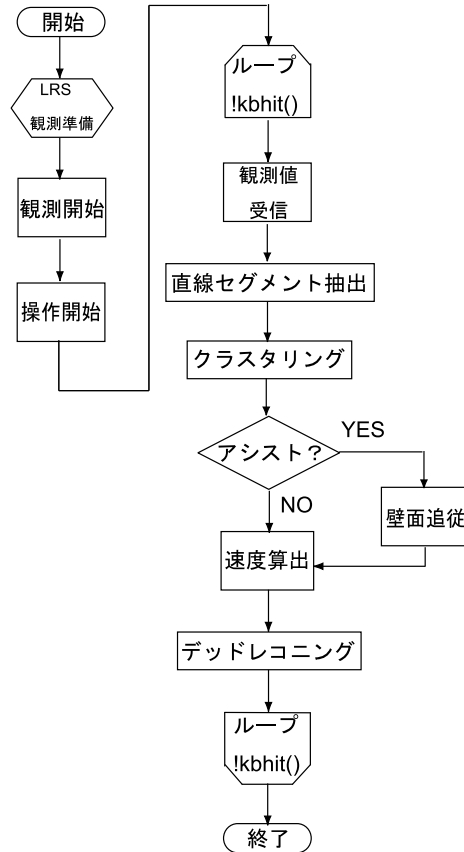


Fig.5 処理の流れ (出典：自作)

3 実験

3.1 実験環境

Fig.6 に示すような、実際の廊下環境 (道幅 2.2[m]) において、正確な壁面の検出と追従が可能であるかをジョイスティックを用いた走行実験によって検証した。アシスト機能の作動を検証するため、時折故意に左右の壁面に対する接近動作を行った。

車椅子の並進速度は最高で 0.2[m/s] とし、壁との法線距離 y_w が 1.0m 以下になったらアシスト機能を作動させる。また、廊下の研究室入口付近の壁面には凹凸が存在し、通路には走行を妨げる障害物はなく、車輪・路面間には滑りがないものとする。



Fig.6 廊下環境 (出典：自作)

3.2 実験結果

実際に走行させてみたところ、正確に壁面の検出ができており、衝突することなく走行が可能であることが分かった。Fig.7 に OpenGL で作成した走行時の LRS 観測点の様子、Fig.8 に仮想経路に対する車椅子の横偏差 y_d の履歴を示す。

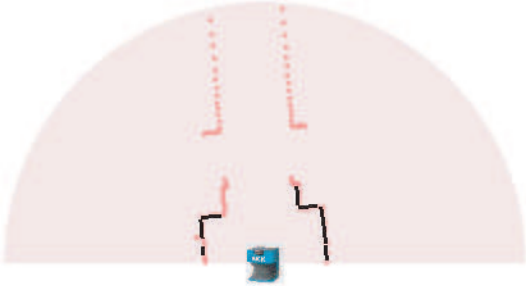


Fig.7 OpenGLによるLRSの観測点表示 (出典：自作)

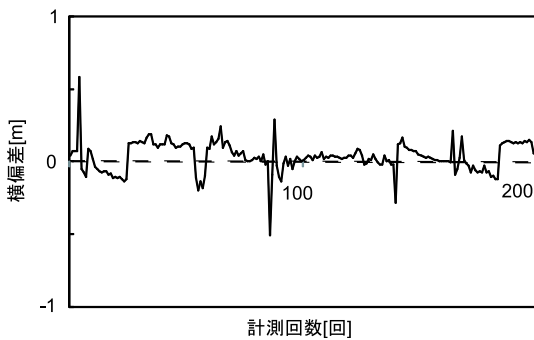


Fig.8 走行時の横偏差 (出典：自作)

3.3 考察

Fig.7より、廊下環境の壁面の形状、直線セグメント（黒線）が正確に検出できていることが分かる。また、Fig.8のグラフが示すように、多少の乱れはあるものの横偏差 y_d が0付近の値をとっていることがわかる。以上より、直線セグメントが正しく抽出されたことで正常にアシスト機能が作動し、かつ、壁面への追従が正しく行われたことにより、衝突することなく走行できたと考えられる。

4 現状の問題点と今後の展望

今回の実験では、壁面に対して斜めから接近していたため、正常に壁面の追従を行うことができた。しかし、本システムは壁面に対して真正面 ($\theta_d = 90^\circ$) から接近すると制御不能になるという問題点が存在するため、改良する必要がある。これは式 (1) において、 $v_1^* = v_2^* = \infty$ となり、計算不能に陥ることが原因だと考えられる。この問題を解決することで壁面との正面衝突の防止が可能となる。

また、本研究は最終的にジョイスティック操作ではなく、眼電位や筋電位などの生体信号によって操作を行う予定である。今後、実装すると共に、ジョイスティック

操作にはない問題が発生する可能性があるため、適宜改良していきたい。

参考文献

- 1) 橋本雅文. 移動ロボット, pp.1-9, (2006)
- 2) 村田真依子, 高橋和彦, 橋本雅文. 生体信号による電動車椅子の移動制御に関する一考察, 日本機械学会2007年度年次大会講演論文集, pp.327-328, (2007)
- 3) 橋本雅文. 狭小屈曲通路における自立走行車の制御アルゴリズム構築, pp.2-4, (2006)
- 4) 板羽史博. 移動ロボットの内界センサ系のモデルベースト故障診断, pp.18-25, 同志社大学工学部, 2005年度卒業論文, (2005)