

脳波を用いた車いすロボット制御システム

鷹箸 孝典^{†1} 阿部 拓真^{†1} 中沢 実^{†1}

概要: 近年, 人の脳活動を読み取る研究の発展は目覚ましい. 脳活動を読み取るには脳波 (EEG) や機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) など, いくつかの方法が存在する. 非侵襲的な EEG においては, リアルタイムで利用者の思考や感情, 表情の検出や脳波の生データへ容易にアクセスできる製品が世の中に出ている. そこで, 既存の基礎研究に基づいて, 福祉分野における人の脳活動の活用を現実世界で適用させることを目的とし, 利用者が初めて訪れる施設であっても脳波から利用者の意図を読み取り, 容易に目的地まで辿り着くシステムを実現する.

Wheelchair Robot Control System Using EEG

KOUSUKE TAKANOHASHI^{†1} TAKUMA ABE^{†1}
MINORU NAKAZAWA^{†1}

Abstract: In recent years, the development of the study to read the brain activity of human is remarkable. A method to read brain activity includes methods such as electroencephalographic (EEG) or functional magnetic resonance imaging (fMRI). In the non-invasive EEG, the product which can access a thought and the feelings of the user, the detection of the expression and EEG raw data easily in real time appears in the world. Based on existing fundamental researches, I purpose an application by inflection of the brain activity of human in the field of welfare in this study at the reality world. Even if it was the facilities which a user visited for the first time, a system understood the intention of the user from brain waves and realized a system to arrive at the destination.

1. はじめに

近年, 人の脳活動を読み取る研究の発展は目覚ましい. 脳活動を読み取るには脳波 (EEG) や機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) など, いくつかの方法が存在する[1]. 非侵襲的な EEG においては, リアルタイムで利用者の思考や感情, 表情の検出や脳波データへ容易にアクセスできる製品が世の中に出ている[2]. また, fMRI においては, ある画像を見た場合とその画像を想像した場合の差におおよそ違はないといった研究結果が出ている[3].

上記の基礎研究に基づいて, 福祉分野における人の脳活動の活用を現実世界で適用させることが我々の役割であり, 日常生活で車いすを利用する人へ安心できる生活を提供する助けの一つとなることが本研究での最終目的である. 非侵襲的な EEG を用いた車いすへの適用例として従来の応用研究では, 前・右・左の三方向を指定して車いすの制御を行う方法が取られている[4]. しかし, 三方向の指定では常にどの方向に移動したいかを思考しているため, 利用者への負担が大きい. また, 利用者が危ないと判断し, 緊急停止をしたい場合に利用者が思考してから車いすへ命令が届き動作するまでに遅延が生じてしまう.

そこで本研究では, 初めて訪れる施設であっても脳波から利用者の意図を読み取り, 車いすへコマンドを送ること

で容易に目的地まで辿り着くシステムを実現する.

以下, 2章ではシステム構成を示し, 3章ではインタフェースとしての脳波に関して述べ, 4章では車いすロボットの自律移動制御に関して述べる. 5章ではまとめと今後の課題を示す.

2. システム構成

本章では, 本研究を構成するシステムを説明し, 全体像を図 1 に示す. 本システムでは, 脳波測定ヘッドセット (Emotiv EEG[2]), ラップトップコンピュータ, 車いすロボット (JW アクティブ[5]), 各センサ類の Laser Range Finder (以下, LRF) [6,7]や Bluetooth Low Energy (以下, BLE) [8]を用いている. また, LRF は車いすロボットに搭載している. BLE は Raspberry Pi[9]に搭載し, ビーコン端末として使用している.

2.1 構成要素の役割

本節では, 本システムを構成する各要素の役割を説明する. 脳波測定ヘッドセットは利用者から得た脳波データをラップトップコンピュータへ転送する. ラップトップコンピュータは, 脳波データを受け取り, 利用者の意図するコマンドへ変換し, 車いすロボットへ命令を送ることや車いすロボットの現在位置を把握し, ユーザに地図データを表示する. LRF は, 地図データの生成および車いすロボットの自己位置の認識, 利用者の安全を確保するために用いる. BLE を搭載したビーコン端末は施設内の地図データを利用者に示す際に各フロアがそのフロアであることを判断す

^{†1} 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology

るために用い、各フロアの状況に応じて、一台から複数台設置する。

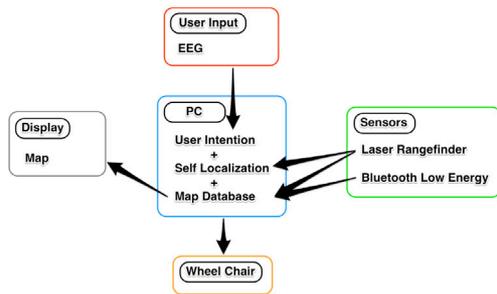


図 1 システム構成

Figure 1 System Configuration.

3. インタフェースとしての脳波

本章では、車いすロボットを制御するためのインタフェースとなる脳波について述べる。本研究の目的のひとつに、利用者の負担軽減がある。そこで、利用者が思考する方向指定の方法を既存研究の三方向指定から目的地指定することで負担の軽減を図る。

3.1 目的地指定の仕組み

まず、BLE を用いてあらかじめ車いすロボットによって生成された施設の地図データと利用者に表示するための地図データ、その地図データにおける目的地となる地点を取得する。このデータは車いすの自律移動と利用者へ視覚化するために使用する。利用者へ視覚化する際には、目的地となる地点を地図データとともに数字で表示し、利用者の脳波から読み取るデータと紐づけることにより目的地指定を実装している。各フロアに設置するビーコン端末を図 2 に、利用者へ表示する地図データを図 3 に示す。

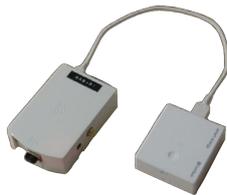


図 2 各フロアに設置するビーコン端末

Figure 2 Beacon Terminal to Placed on Each Floor.

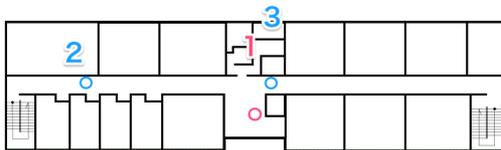


図 3 利用者へ視覚化する地図データ

Figure 3 Map Data to Visualize to the User.

3.2 脳波データの取得

本節では、脳波データに関して説明する。利用者から脳波データの取得するためのハードには、前述した Emotiv EEG を用い、利用者の意図を学習するソフトウェアには Emotiv EEG の SDK に含まれている Emotiv Control Panel の

Cognitiv Suite を用いている。図 4 に脳波データの取得に用いたハードウェアとソフトウェアを示す。また、脳波を使用して車いすロボットを動作させるまでに学習と訓練のフローを事前に行っておく必要がある。

まず、学習である。利用者の意図は、数字画像を思い浮かべることで車いすへのコマンドとして認識させる。そのため、学習は視覚情報や聴覚情報のノイズを削減するために暗室で行い、表示している数字画像を見続ける。今回、数字のパターンは 1~3 までの 3 パターンを学習させている。

次に訓練である。ここでは学習させたデータに対して、利用者がコマンドの出力に慣れるための訓練を行う。今回は、三時間程度実施した。訓練の様子イメージを図 5 に示す。



図 4 脳波取得に用いたハードウェアとソフトウェア[2]

Figure 4 Hardware and Software that was used for the acquisition of EEG data.

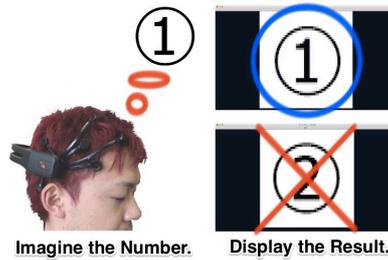


図 5 訓練の様子イメージ

Figure 5 State Image of Training.

3.3 脳波データの認識

学習・訓練を行った後、利用者の意図したものがどの程度正確に出力されているかを検証する。その際の認識率の測定方法について説明する。測定方法は、利用者に対してランダムに数字画像を表示させ、取得した脳波データに対してフィルタ処理をかけたものとの認識結果が同じかどうかをもって成功・失敗を判断する。また、試行回数は連続 10 回を 5 セットで、ノイズの少ない静かな部屋（以下、静音部屋）と生活音のある部屋（以下、通常部屋）で行った。

結果として、静音部屋では 7 割弱の認識率、通常部屋では 5 割の認識率となった。

4. 電動車いすロボットの自律走行

本章では脳波インタフェースから目的地情報を受け取り、その目的地へ自律走行する車いすロボットについて述べる。

4.1 ハードウェア構成

走行系に JW アクティブを用いており、外部からの操作のためにアカデミックパックを使用し、ラップトップコンピュータと通信する。内界センサに JW アクティブのホイールに内蔵したロータリーエンコーダを用いた。外界センサとして、マップマッチング用の LRF[6]を設置高度 1.5[m]のセンサ架台に設置している。また、人物や障害物検出用の LRF[7]を左フットサポート下に設置している。本研究で使用するハードウェアの構成を図 6 に、各種センサ類との接続関係を図 7 に示す。

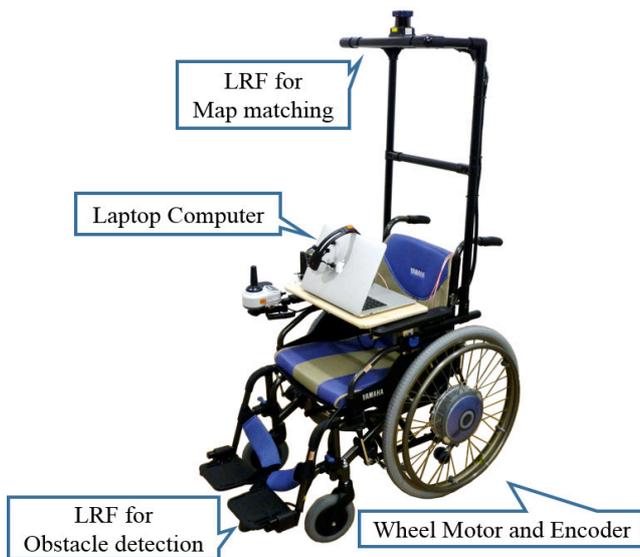


図 6 ハードウェア構成
Figure 6 Hardware Configuration.

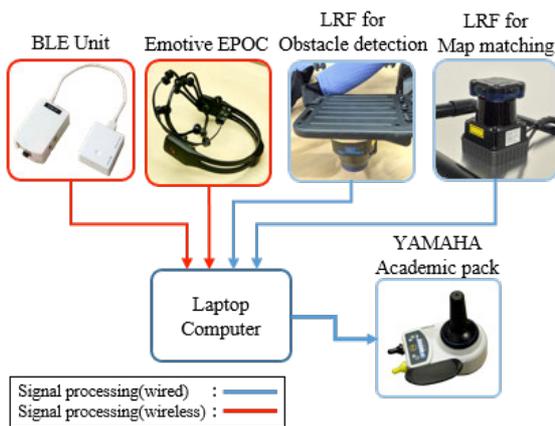


図 7 ラップトップコンピュータへの接続構成

Figure 7 Connection configuration to the laptop computer.

4.2 自己位置の認識

本ロボットは、あらかじめ作成した環境地図上の自己位置を認識し、目的地までの経路を走行する環境地図ベースの自律走行機能と、走行経路上の障害物回避機能を併用した自律走行手法を用いている。

目的地まで自律的に走行するために、自己位置を認識す

ることが重要である。自己位置の認識には、車輪に内蔵されたロータリーエンコーダから取得できる情報からデッドレコニング[10]により行うが、長距離を走行した場合に誤差が累積する。本研究では、あらかじめ、車いすロボットを手動操作して環境地図を生成する。作成した環境地図と、自律走行時に取得できる局所的な環境地図をマッチングし、この誤差の補正を行う。マッチングアルゴリズムに Iterative Closest Point(ICP) [11]アルゴリズムを用いており、常に環境地図上の自己位置を認識している。そして、あらかじめ指定した目的地までの通過点を辿り、最終目的地まで走行する。図 8 に本研究で生成した環境地図を示す。

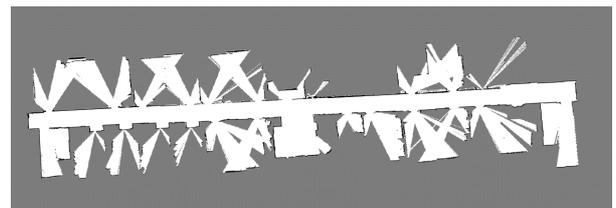


図 8 自律走行に用いる環境地図
Figure 8 Map for Autonomous Driving.

4.3 障害物回避

ロボットの障害物回避機能には車いすの左フットサポートの下部に設置した LRF を用いる。この LRF は地面から 0.1[m]の位置に地面に対して 3deg 下向きに仰角を持たせて固定している。そのため LRF の設置高度以下の障害物を検出することが可能である。図 9 に示すように、ロボット前方に 1.5[m]四方の障害物検出エリアを設定し、このエリア内に障害物を検出すると回避行動をとる。また、前方 0.5[m]以内に障害物を検出した際は 3 秒間停止する。3 秒後も検出し続けられれば回避行動をとる。これは歩行者などが検出エリアに立ち込んだ際に有効である。回避方法は非常に単純で、車椅子ロボット前方から左右のエリアを比較し、より広いエリアの方向へ移動するように走行する。障害物を検出しなければ通常の自律走行処理へ戻る。

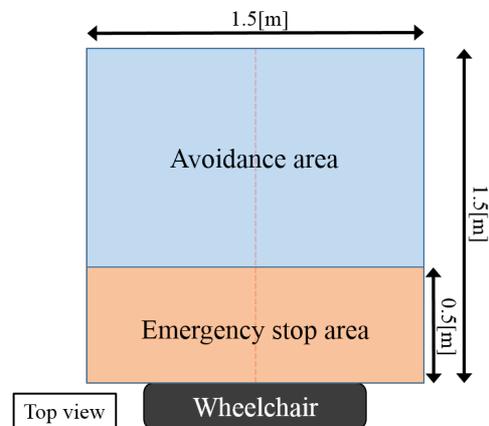


図 9 障害物の検出領域
Figure 9 Area to detect obstacles.

5. まとめと今後の課題

本研究では、脳波をインタフェースとした車いすロボットの制御に、目的地指定という方法をとった。これにより、従来の三方向指定に比べて利用者への負担や安全性の問題を改善することが可能となる。また、本手法と従来手法を組み合わせることにより、より実用的なシステムを構築することが期待できる。しかし、脳波データの認識率と誤認識率については通常利用において利用者が不快感を抱かないほどに向上させる必要があるため、現在は生データの分析を行っている。また、目的地指定に重要となる BLE を搭載したビーコン端末についてもボタン電池で数年動くような小型モジュールに置き換えることにより、実用性を高めることが求められる。

自律走行においては、あらかじめ作成した環境地図を元に自律走行するが、自己位置を認識する精度が低く実環境との誤差が大きい。また、現時点では、あらかじめ作成する環境地図のマッチングを自動的に行うことができるが、歪みが多く最終的に手作業によって修正しなければならない。そのため、新しい走行環境への対応に時間がかかる問題がある。この解決のため、自己位置推定と環境地図生成を同時に行う Simultaneous Localization and mapping (SLAM) [12] の導入を予定している。

参考文献

- 1) NICT-独立行政法人 情報通信研究機構
<http://www.nict.go.jp/glossary/4otfsk000000kts6.html>
- 2) Emotiv
<http://emotiv.com/epoc.php>
- 3) Giorgio Ganisa, William L. Thompsona, Stephen M. Kosslyn, Brain areas underlying visual mental imagery and visual perception: an fMRI study, *Cognitive Brain Research* 20 (2004) 226-241
- 4) 脳波で電動車いすをリアルタイム制御
<http://www.riken.jp/pr/press/2009/20090629/>
- 5) JW アクティブ
<http://www.yamaha-motor.co.jp/wheelchair/lineup/active/>
- 6) 北陽電機株式会社 UTM-30LX-EW
<http://www.hokuyo-aut.co.jp/02sensor/07scanner/download/products/utm-30lx-ew/>
- 7) 北陽電機株式会社 UBG-04LX-F01
<http://www.hokuyo-aut.co.jp/02sensor/07scanner/download/products/ubg-04lx-f01/>
- 8) Bluetooth Low Energy
<https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/BLE.aspx>
- 9) Raspberry Pi
<http://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>
- 10) Peter Corke: Robotics Vision and Control, springer tracts in advanced robotics 73, Springer (2011).
- 11) 八木康史, 斉藤秀雄, 岡谷貴之, 増田健, 横瀬浩一, 柳井啓司, 和田俊和, 安田宗樹, 片岡駿, 田中和之: コンピュータビジョン最先端ガイド3, アドコム・メディア株式会社 (2010).
- 12) Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, and Dieter Fox, 上田隆一 (訳): 確率ロボティクス, 毎日コミュニケーションズ (2007).