

心拍を利用した自動車椅子制御の検討

Intelligent Wheelchair Controlling Method of using Heart Rate

嶋野 太一^{1*} 篠沢 一彦^{2,3} 今井 倫太^{1†}
Taichi Sono¹ Kazuhiko Shinozawa^{2,3} Michita Imai¹¹ 慶應義塾大学¹ Keio University² 大阪教育大学² Osaka Kyoiku University³ ATR 知能ロボティクス研究所³ Intelligent Robotics and Communication Laboratories, Advanced Telecommunications
Research Institute International

Abstract: Many researches show that the intelligent wheelchair is an important theme in the field of an intelligent system. There are many types of research, ex. safety, planning, and personal adaption. On the other hand, biofeedback technologies are developed in some method. There are some devices that measure bio signals. A lot of researchers found out the correspondence between bio signals and states of mind of a person by using the devices. In this paper, we propose the intelligent wheelchair controlling method using one of typical bio signal, heart rate. Heart rate corresponds to human tension status, so that our system change in the updating ratio of checking the surround environment and modifying the action. We tested our system. The result showed the usefulness of our method.

1 はじめに

車椅子の電動化により、障害者や高齢者の自立性が向上している。電動車椅子の中には、知的制御システムを搭載した、自律移動型のものが存在する。自律移動車椅子は、両手が空いた状態での移動が可能となるため、ユーザに対してより利便性の高い移動手段となりうる。しかし、自律移動において、全ユーザに対して均一な動作を行った場合、ユーザ各々の移動速度や、物体との距離に関する安全感の差異のために、快適な車椅子とならない可能性が高くなる。よって、ユーザに適応した自律移動車椅子システムが必要となる。

ユーザに適応したシステムを構築するに当たり、問題となるのは、その手法である。通常、車椅子を使用するユーザは、自律移動システムの構築に関する知識がない場合が多く、各々に適応したシステムの実装をユーザ自身が行うことは現実的ではない。プログラマがユーザの要望や特性などを逐一取り入れることでも個別適応し

たシステムの構築は可能であるが、ユーザ全員に個別にシステムを構築するのでは、実装者への負担が大きい。故に、システムによって、ユーザの特性を取得することにより、適応的な自律移動を実現する必要がある。

自律移動車椅子において、ユーザへの適応を行うシステムを構築した研究は多く存在する。Wentaoらは、全方位移動型の自律移動車椅子において、ユーザの重心移動による移動を実現するため、ユーザの重心推定を改良したC-SVMによる学習で行っている[1]。古谷らは、予めユーザのジョイスティックによる操作の軌跡を取得しておき、未知の環境と軌跡を取得した際の環境を比較することで、ユーザに適応した軌跡での自律移動を行わせた[2]。一方で、車椅子にかぎらず、システムがユーザに適応する例として、前田らが行った、脳波によるリラクゼーション環境の演出の研究がある。この研究では、脳波からリラクゼーション効果の測定を行い、室内の音環境への反映を行っている[3]。

Wentaoらの研究では、ユーザの重心移動に適応した自律移動を行っているものの、ユーザの内的状態に対する適応ではない。古谷らの研究では、ユーザに適応した軌跡を未知環境で実現することができるものの、事前にユーザが操作した情報を必要とする。前田らの研究では、指標を生体信号に置くことで、医学的な知見を基に、

*連絡先：慶應義塾大学理工学部情報工学科今井研究室
神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
E-mail: sono@ailab.ics.keio.ac.jp

†連絡先：慶應義塾大学理工学部情報工学科今井研究室
神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
E-mail: michita@ailab.ics.keio.ac.jp

ユーザの心的状態に対する適応を行っているものの、車椅子への応用について示されているわけではない。

本研究では、心拍を利用した、ユーザの緊張度合いに適応した自律移動車椅子システムを提案する。心拍によって、ユーザの緊張度合いを計測、自律移動に反映することで、ユーザの内的状態に対して適応したシステムとなる。また、安静状態における心拍の計測は行うものの、計測と実行は自動で行われるため、事前のユーザの操作を必要としない。

以下に、本論文のコンテンツを示す。2章では、本論文で扱う、自律移動車椅子の研究や、生体信号における知見を示す。3章では、本研究で提案するシステムの構成を示す。4章では、システムを使用したケーススタディについて示す。5章において、本論文を総括する。

2 背景

2.1 個人適応を行う。車椅子

電動車椅子において、個人適応を行うことを目標とした研究はいくつかあり、その中でも、適応する特性によって方向性が異なっている。[4]では、上肢が動かせず、ジョイスティックでの操作が困難な障害者への適応のため、顔筋の中も麻痺しにくい、まぶたの筋肉を利用した、随意性瞬目による電動車椅子の操作法が提案されている。また、ジョイスティックによる操作が可能であっても、高齢者では、対面歩行者とのすれ違い時の操作の判断が困難な場合がある。このような状況に適応するために、対面歩行者の顔の向きを取得し、回避ルートを決断する手法が提案されている [5]。以上のように、電動車椅子における個人適応には、適応する状況やユーザの特性によって定義が異なる。本研究では、電動車椅子の自律移動時における、ユーザの心的状態に適応する手法を提案する。

2.2 実現に必要なパラメータ

ユーザの心的状態に適応するに当たり、自律移動車椅子において、どのパラメータを変更するかが重要となる。自動車運転時のドライバーの心的状態について、緊張状態を基準に定義した研究 [6] を参考にすると、緊張状態時、ドライバーは周囲環境への注意力が高まり、反応速度を早める傾向がある。また、単調運転時には、集中力が低下し、周囲環境への注意力や突発的な環境変化への対応力が低下する傾向にある。本研究では、自律移動車椅子において、ユーザの緊張度合いの変化からくる集中力の変化に適応する手法を提案する。

本研究で使用する自律移動車椅子は、[2] に使用されているものと同様に、事前にデータとして存在するマッ

プにおいて、レーザレンジファインダを用いた SLAM によって自己位置を推定し、指定されたゴールまで走行する方式となっている。ゴールまでの自律移動を行う車椅子において、自動車のドライバーのように、周囲環境への注意力や突発的な環境変化への対応力の変化を実現するには、周囲環境の変化に対応したゴールまでのパスの変更周期と、モータパラメータの変更周期をユーザの状態によって変更する手法が考えられる。以上のように、本研究では、ユーザの緊張状態に応じて、以下のパラメータを変更することで、ユーザへの適応を行う。

- 周囲環境を読み取り、ゴールまでのパスプランを更新する周期 (プランニング周波数)
- パスプランの実現のために、モータパラメータを入力する周期 (コントロール周波数)

2.3 生体信号の利用

本研究では、ユーザの緊張状態を測定するに当たり、生体信号を利用した。生体信号によるユーザの心的状態の測定の研究は、様々な指標によってなされている。[7]では、心電図と脈波の特徴抽出によって、ユーザの感情の推定を行っている。[8]では、心拍情報から、ユーザのリラクゼーションレベルを推定し、リラクゼーション効果を高めるバイオフィードバックを提案している。また、生体信号がユーザによる制御が困難であることを利用し、人と機械の相互同期を図るために、生体信号に同期するシステムを作成した例もある [10]。生体信号をシステムに利用した例の中には、本研究と同様に、電動車椅子に適用した例もある [9]。こちらは、脳波を用いた制御を行っている。

本研究では、ユーザの緊張状態に対応したパラメータを取得する必要がある。ユーザの緊張状態は、心拍変動や発汗等によって測定されている [11]。本研究では、生体信号によって変化させるパラメータとして、自律移動車椅子における幾つかの周波数パラメータを想定している。故に、同じ周期パラメータである、心拍を測定する生体信号として採用した。

2.4 問題設定

心拍によって、自律移動車椅子の挙動変更の周期を変更する場合、心拍を HR 、変更する周波数を $freq_1, freq_2$ とすると、パラメータ間で、以下の式 1 によって表される関係が成り立っているといえる。

$$freq_1 = f(HR), freq_2 = g(HR) \quad (1)$$

本研究では、ユーザ実験によって、個人適応に最適となる写像 f, g を探索することを課題として定義する。

3 システム構成

3.1 心拍による自律移動車椅子の挙動の変更

本研究では、ユーザの心拍と、自律移動車椅子におけるプランやモータパラメータの更新周波数を対応付けることで、ユーザへの個人適応を可能とすることを目的としている。重点を置くのは、心拍から各周波数の写像の最適化であるので、それ以外の部分では、問題なく動作することが保証されている、既存研究の実装を踏襲している [13]。既存研究では、データ上のマップと、周囲の障害物状況を対応付けるため、レーザレンジファインダを搭載した電動車椅子に、PC を接続し、PC を中心としたシステム構成となっている。本研究でもこれを参照し、追加部分として、心拍計からのデータ取得と、心拍データによる各周波数の変更を実装した。

3.2 ハードウェア構成

提案システムのハードウェア構成を図 1 に示す。

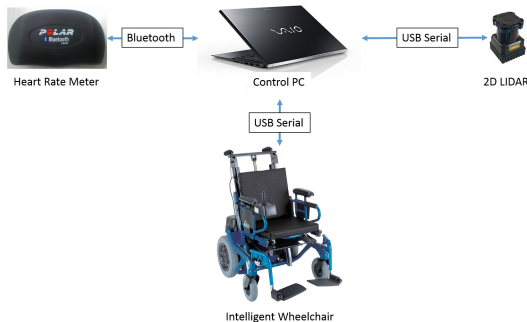


図 1: ハードウェア構成 [12][13][14][15]

ハードウェアは、制御用の PC を中心とした設計となっている。電動車椅子は、今仙製造所の製品 [12] を用い、左右のフットペダルの下に北陽電機のレーザレンジファインダーを設置している [13]。これらは、USB シリアル通信によって PC と接続している。心拍計には、Polar 社の H7 型 [14] のものを用いている。心拍計は、Bluetooth 通信によって、一秒ごとに、心拍数と、心拍の打鍵間隔である RR 間隔のデータを自動送信している。提案システムでは、制御 PC によってデータを受け取り、車椅子の挙動変化に適用している。

3.3 ソフトウェア構成

提案システムのソフトウェアの概観を図 2 に示す。

提案システムは ROS によって実装されている。図 2 中の黒で表されている部分は、従来研究で用いられてい

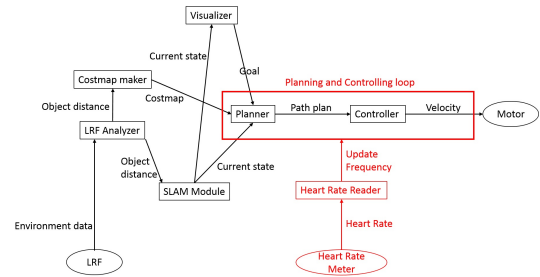


図 2: ソフトウェア概観

る、自律移動車椅子の SLAM によるゴール指定駆動の手法を参照している。ビジュアライザ上で示したゴールに対して、レーザレンジファインダによって周囲の状況を取得、SLAM によって、現在地情報と障害物の位置を計算し、ゴールまでのパスプランを導出、それに従ってモータを制御するという動作となっている。

赤で示した部分が、本研究で追加実装した部分である。式 1 に対応する周波数変更を実現している。

4 予備実験

提案システムを実装した自律移動車椅子において、予備実験を行った。

4.1 環境設定

予備実験においては、以下の図 3 に示す環境と軌道を設定した。

車椅子は、最初のゴール設定と緊急時の停止操作を除き、ユーザによる操作ではなく、完全な自律移動を行う設定とした。予備実験におけるユーザの平常時の心拍数は 75bpm 前後であった。今回は、心拍のパラメータの中でも、周波数と近いオーダーを持つ心拍数を使用することとした。各周波数 と心拍数の対応式は、以下の式 2 に従うものとした。式のとおり、心拍数を bps に換算したものと同期する設定とした。車椅子の移動速度は、ユーザが少し遅いと感じる程度とした。

$$freq_1, freq_2 = HR/60 \quad (2)$$

4.2 結果

図 4 に、実験中の心拍数の推移を示す。

図 4 のとおり、59~107 秒と、135~187 秒において、心拍数の増加が見られた。これらは、図 3 における最初の直線で、壁よりを進んだ時点と、連続の曲がり角に入った時点であった。また、ユーザに自由記述でのアンケートを行ったところ、以下の記述を得た。



図 3: 実験環境

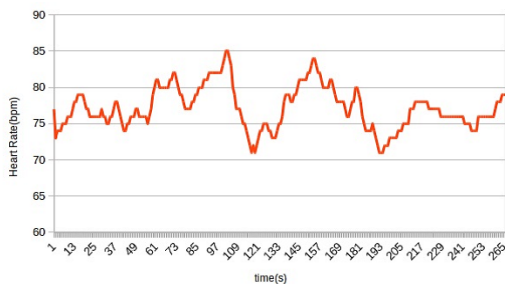


図 4: 心拍数の推移

- 最初、壁よりを進んだ際に恐怖を感じたが、その後すぐに壁から離れた。
- 曲がり角に差し掛かった際、一度ぶつかりかけたが、すぐに速度が低下した。
- 連続の曲がり角では、慎重な動きをしているようだった。
- 全体としては、自分に車椅子が適応しているという感覚はなかった。

4.3 考察

被験者の自由記述の文面と、心拍数の推移を比較すると、被験者が車椅子の挙動に恐怖を感じ、心拍数が増加した際に、車椅子の挙動が慎重なものとなっていると

みられる結果となっている。これより、心拍数によってプランニング周波数とコントロール周波数を変更する方式は、データの上では、被験者の緊張度合いに適応してるといえる。しかし、被験者自身の感覚からすると、自身に車椅子が適応しているという感覚がないという意見が出ている。これは、心拍数と緊張度合いの変化が無意識のレベルでのものであるため、被験者の意識にのぼらず、実感が得られなかったと考えられる。よって、ユーザに適応されていると感じさせるためには、心拍数の変動に対し、各周波数の変化を大きくする必要があると考えられる。

また、実験環境では、環境変化がなかったため、実験中に起こった挙動の変化は、基本的にコントロール周波数の変更によって起こっていると考えられる。プランニング周波数の変化による挙動の変更の効果を探るためには、廊下に面したドアの開閉や対面歩行者などの環境変化を加えた実験を行う必要がある。

5 総括

本研究では、ユーザの心的状態に適応する車椅子の一環として、ユーザの心拍数に対応した挙動変更を行う自動車椅子を作成した。心拍の変化に応じて、周囲環境の変化の認識と、モータの挙動の変更の頻度が変更されるシステムとした。予備実験によって、ユーザの心拍数の変化に応じて、挙動の変化が起こることが実証できた。しかし、ユーザ自身が適応されている感覚を得るには、心拍数の変化にたいし、大きく挙動を変更する必要がある。今後は、挙動の変更を大きくするような写像への変更と、効果を実証する実験を行っていく。また、プランニング周波数の変更による効果の測定のため、環境が変化する場合における実験を行っていく。さらに、今回の実験では、心拍数を変数とした写像を使用したが、RR 間隔を使用した実装も検討し、検証を行う。

参考文献

- [1] Guo, Wentao, et al. "A new motion control method for omnidirectional intelligent wheelchair based on improved Fuzzy Support Vector Machine." *Mechatronics and Automation (ICMA), 2015 IEEE International Conference on.* IEEE, 2015.
- [2] 古谷誠悟; 金井祐輔; 今井倫太. 状況依存表現を含む走行命令を実現する自律走行車椅子システムの提案. *人工知能学会全国大会論文集*, 2015, 29: 1-4.
- [3] 一井亮介; 前田陽一郎; 高橋泰岳. 脳波情報を用いたリラクゼーション・サウンド生成システムの構

- 築. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム
シンポジウム 講演論文集, 2011, 27.0: 33-33.
- [4] 奥川恭平, et al. 随意性瞬目を用いた電動車いすの
環境認識に基づく走行制御と実験的検証. 日本機
械学会論文集, 2014, 80.813: DR0125-DR0125.
- [5] 村上佳史, et al. 知的車椅子のための歩行者の顔の
観察に基づく衝突回避. 日本ロボット学会誌, 2002,
20.2: 206-213.
- [6] 山越健弘; 山越憲一; 日下部正宏. 単調運転時の生
体反応計測と生理活性度指標の基礎的検討. 自動
車技術会論文集, 2005, 36.6: 205-212.
- [7] 野中悠葵. 心的状態変化時における心臓循環器系生
体信号の特徴量抽出. ライフサポート, 2006, 18.2:
85-86.
- [8] 長谷川貴之; 横山清子. コンピュータと心拍情報と
の対話機能によるリラクゼーションバイオフィー
ドバックシステム. 電子情報通信学会技術研究報
告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, 2003,
103.470: 35-38.
- [9] Jayabhavani, G. N., N. R. Raajan, and R. Ru-
bini. "Brain mobile interfacing (BMI) system em-
bedded with wheelchair." Information & Com-
munication Technologies (ICT), 2013 IEEE Con-
ference on. IEEE, 2013.
- [10] 中條明彦, et al. 生体信号を利用したゲーム (S61
ムパソコン・ユーザビリティ-知的クラスター「札幌
IT カロツツェリアの創成」). In: 年次大会講演論
文集: JSME annual meeting. 一般社団法人日本
機械学会, 2004. p. 295-296.
- [11] 森園武明; 加藤嶺介; 横森求. 走行環境変化による
ドライバーへの心理的影響. 日本人間工学会大会
講演集, 2007, 43.0: 60-61.
- [12] http://www.imasengiken.co.jp/emc/emc_600_610.html
- [13] <http://en.manu-systems.com/UTM-30LX-EW.shtml>
- [14] http://www.polar.com/ja/products/accessories/H7_heart_rate_sensor
- [15] <http://www.sony.jp/vaio/products/p2/>