

BMI を用いた制御システムの構築

日永 早弥[†] 河辺 徹[†] 田中 謙次^{††}

[†]筑波大学大学院 システム情報工学研究科 ^{††}(株)リコー 研究開発本部

1 はじめに

本稿では、人の脳内に流れる信号と機械とを直接結びつけることで、考えるだけで機械を操作できるインターフェイス Brain Machine Interface (BMI) を用いた制御システムの構築について検討する。

近年、取得した脳波の信号処理や信号の識別に関する研究 [1] が進み、BMI を用いた障害者に対する、運動やコミュニケーションの補助、リハビリテーションへの応用などが数多く提案されている [2][3].

本研究では、車いす等の移動型マンーマシンシステムを対象とし、図 1 に示すように、通常時は自動制御による動作を行い、危険時に脳内信号を用いて回避動作を行うことを想定する。

通常時と危険時に制御に生じる切替に対処するため、PD コントローラと不連続指数安定器を用いた新しい制御手法を提案し、車いすをモデル化した二輪移動ロボットを用いたシミュレーションにより、提案手法の有効性を検証する。

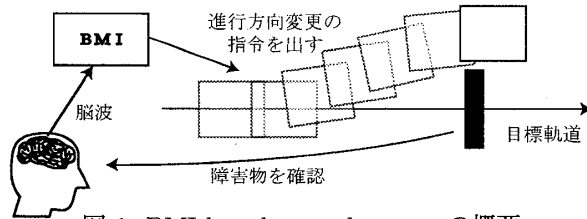


図 1: BMI based control system の概要

2 BMI を前提とした制御システム

2.1 提案手法

平常時と危険回避時における切り替えに対応するためには、以下の 2 つの条件を満たす制御手法が必要となる。

1. 目標軌道を (x, y) 座標と姿勢角 θ で与える
2. 制御則により軌道上に不連続となる点が生じない

1. は平常時、危険回避時のいずれにおいても精度よく制御を行うためのものである。また、2. は、制御則

の不連続点で制御対象が予測不可能な挙動をとることを防ぐためである。

2.2 モデルの導出

本稿で使用した二輪移動ロボットのモデルを図 2 に示す。

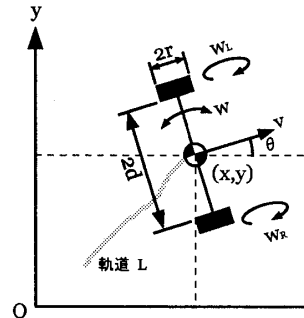


図 2: 二輪移動ロボットのモデル

入力 u を車体の並進速度 $v (= u_1)$ 、車体の角速度 $w (= u_2)$ とすると、Chained form [4] を用いて式 (1) のようにモデル化できる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \tan\theta \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \tan\theta \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_2 \quad (1)$$

Chained form の入力 u を決めるための制御則は様々な手法が知られている。今回はその中で、理想状態の応答がよく、安定性の保障があり、観測誤差も比較的少ない不連続指数安定器 [5] を用いることにした。その制御則を式 (2), (3) に示す。ここで、 λ は収束速度を決める設計パラメータである。

$$v = \begin{bmatrix} -\lambda & 0 & 0 \\ \alpha & -\lambda & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \tan\theta \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{2\lambda}{x} \left(\frac{2y}{x} - \tan\theta \right) \quad (x \neq 0) \quad (3)$$

2.3 PD コントローラを用いた不連続指数安定器

前節で述べた不連続指数安定器は式 (3) からわかるように、 α の式に x の割り算が存在するため、 $x = 0$ の時に制御不可になってしまう。これを防ぐためには、あらかじめ α の値を決めて固定しておき、 x, y, θ に応じた値の更新を行わないことが考えられる。しかし、その場合、式 (2) からわかるように、 y の情報が制御入力にフィードバックされないため、 y 方向の誤差に対処できず、目標軌道に追従できない。そこで、PD

Construction of BMI based Control Systems

[†] Saya HINAGA (hinaga@acs.cs.tsukuba.ac.jp)
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba(†)

[†] Tohru KAWABE (kawabe@cs.tsukuba.ac.jp)
Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba(†)

^{††} Kenji TANAKA (kenji.tk.tanaka@nts.rioh.co.jp)
Research and Development Group, Ricoh Co., Ltd.(††)

コントローラを用いて y の誤差をフィードバックすることを考える。PD 制御とは、入力値の制御を出力値と目標値との偏差（比例）とその微分の2つの要素によって行う方法のことである。PD 制御と不連続指数安定器を組み合わせることで、Chained form を全ての点において滑らかに制御することができる。

3 シミュレーション

3.1 条件

目標軌道を直線として、一定間隔毎に脳からの信号を読み取り、危険回避信号として、右または左の信号を検知した場合に半楕円の軌道に切り替えるシミュレーションを行った。

具体的には、100ms 毎に 0（信号なし）、1 又は 2（左、右）とその強さ（0~1 の値）を読み取り、信号なしの場合は通常の軌道に沿って直進する。右または左の信号を受取った場合には指定の方向へ半楕円の軌道に沿って危険回避走行を行う。このとき、軌道となる半楕円の半径は信号の強さに応じて変化する。また、通常時に走行する軌道は、 x 軸方向の直線 ($y = 0$) と y 軸方向の直線 ($x = 1$) の2種類とした。

このシミュレーションを従来の不連続指数安定器による方法と提案手法の両方に対して行い、その結果を比較・考察した。

3.2 結果

y 軸方向の直線 ($x = 1$) を通常時の軌道とした場合には、提案手法は問題なく制御が行えたが、従来手法では、通常の直線軌道にもうまく追従させることができなかった。 x 軸方向の直線 ($y = 0$) では、図3、図4の通り、提案手法でも従来手法でも目標軌道に追従することはできている。ただし、従来手法では軌道を切り替えた後に目標軌道から外れており、追従性に問題が残る。

3.3 考察

提案手法では目標軌道に関係なく危険回避と目標軌道追従の制御切り替えが可能である。一方、従来手法で y 軸方向に走行できない理由は、2.3 節で述べた式 (3) において $x = 0$ となることに加え、姿勢角 θ の影響も無視できない。具体的には、ロボットが y 軸方向に進むということは、 $\tan\theta$ は無限大となり、その結果、式 (3) が成立せず、通常軌道にも追従できなくなっている。

4 結論

車いすなどの BMI を用いた制御システムの構築のために、従来の不連続指数安定器を改良し、PD コントローラと組み合わせた制御手法を提案した。また、シミュレーションにより、提案手法の有効性を示した。

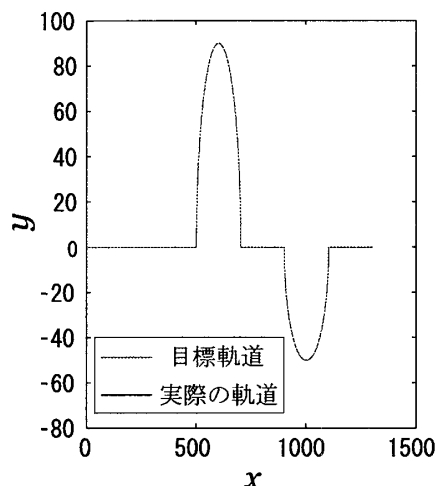


図3: 提案手法のシミュレーション結果 (x 軸方向)

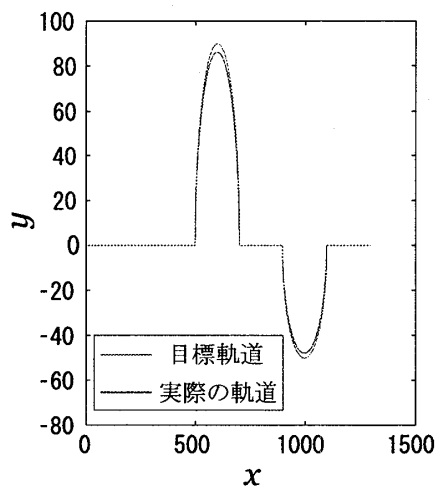


図4: 従来手法のシミュレーション結果 (x 軸方向)

参考文献

- [1] Kenji Tanaka, et.al: Stepwise Feature Selection by Cross Validation for EEG-based Brain Computer Interface, Proceedings of 2006 IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.9422-9427 (2006).
- [2] Jonathan R. Wolpaw, et.al: Brain-computer interfaces for communication and control, Clinical Neurophysiology, No.11, pp.767-791 (2002).
- [3] 小池康晴: 脳を読む技術の工学応用, 計測と制御, vol.46, No.10, pp.778-783 (2007).
- [4] 小林啓吾: Chained Form による非ホロノミック系の表現と制御, 計測と制御, vol.45, No.7, pp.568-573 (2006).
- [5] 成清辰生, 杉田澄雄: Chained form で記述された非ホロノミック系の指数安定化, 計測自動制御学会論文集, vol.32, No.8, pp.1310-1312 (1996).