なぞり運動における習熟メカニズムの バイオミメティクスの応用

1715038 清水　豪士

富山県立大学　情報基盤工学講座

December 11, 2020

1.1 本研究の背景

背景

近年, バイオミメティクスといわれる科学技術が発展してきている. しかし, 主に昆虫や動物, 植物に関しての模倣が主に行われていて, 人間に関してのものは少ないのが現状である.

Figure 1: バイオミメティクスの例

1.2 本研究の目的

はじめに
運動学習
提案手法
おわりに

人間の模倣を行うことができれば,AI やロボットなどのシステム制御の部分に活かすことができるのではないかと考える.

目的

- なぞり運動実験で取得した様々なデータを用いて、インピーダンスパラメータである腕の慣性, 粘性, 剛性行列を算出する.
- 算出したインピーダンスパラメータを用いて, 内部モデルの信頼度を算出する.

はじめに
運動学習
提案手法
おわりに

鏡映描写課題

- 鏡に映った自分の手の像を見ながら図形をペンでなぞる課題.
- 手を動かしたときに, 動かす対象物が反転して動くため, うまく図形をなぞるのは難しい.
- しかし, 何度も練習を繰り返していると, 次第に手とその鏡像の動きの関係が学習され, 素早く間違わずになぞることが出来るようになる.

PsychoPy

- PC を使って心理学実験を行うためのツール.
- 刺激画像の表示時間の指定をしたり、刺激画像が表示されてからのボタンを押すまでの反応時間を記録するといったことができる.
- Python というプログラミング言語を用いて PC に指示を出す.

2.1 PsychoPy

Builder

- 自分でプログラムを書くのではなく, アイコンを配置することで実験を作成できる.
- 作成した実験は Python のスクリプトに変換できる.

Coder

- Builder で作った部分をコード化してくれる.
- 直接コードを書くことができる.
- Builder でできない部分を自分で記述できる.

2.1 PsychoPy

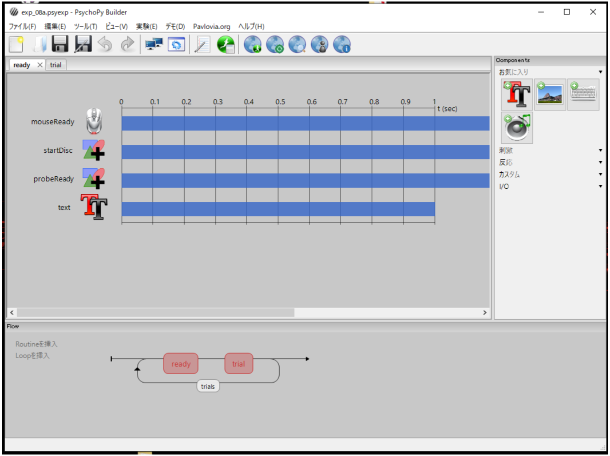

Figure 2: Builder

2.1 PsychoPy

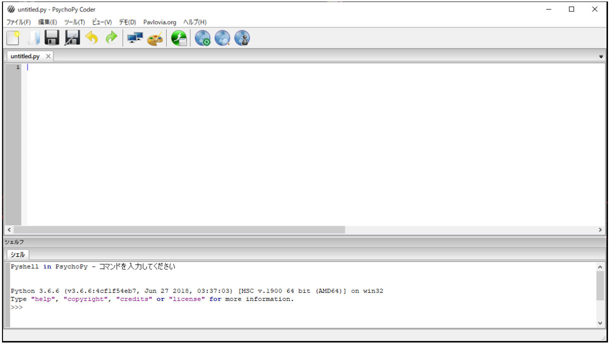

Figure 3: Coder

2.1 実験

実験概要

鏡映描写課題と類似の課題 (なぞり運動) をＰＣで実現させる.

実験条件

- 実験は四角の形をなぞるようになっている.
- 15 回を 1 セットとしている.
- スタート画面で上下反転, 左右反転, 上下左右反転, 反転なしを選択できるようになっている.

2.1 実験

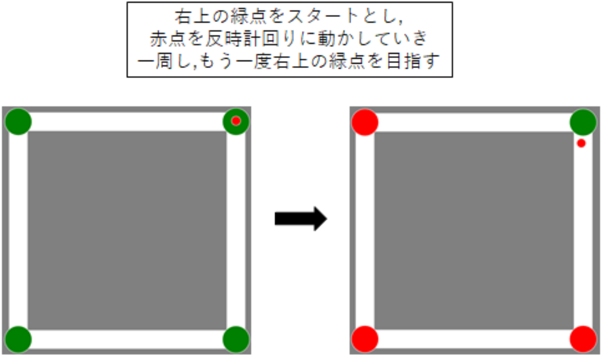

Figure 4: 実際の実験の画像

実験条件

- 上下反転で行う.
  (鏡映描写課題の再現のため)
- データの取得時間間隔は一定.

次ページでは実際に取得したデータをグラフ化したものである.

データ総数の推移を表している.

2.1 実験

Figure 5: データ総数の推移

上記の画像より, この実験では 5〜7 回目の試行回数あたりになるとデータの総数にあまりばらつきが見えなくなってくる.

以上のことより, この実験で習熟を確認できたと考える.

2.2 人間制御者の数学モデル

はじめに
運動学習
提案手法
おわりに

人間制御の数学モデルの論文の紹介を行う

2.3 インピーダンス制御

はじめに
運動学習
提案手法
おわりに

辻さんの論文を紹介する形

4 内部モデルの信頼度の算出

内部モデルの信頼度 β を考慮したカルマンフィルタによる推定を行う.

状態方程式

$$\boldsymbol{x}(t+1) = \boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}(t)\boldsymbol{u}(t) + \boldsymbol{D}(t)\boldsymbol{w}(t) \tag{1}$$

観測方程式

$$\boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{C}(t)\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{v}(t) \tag{2}$$

で表される可制御, 可観測な線形離散時間系を考える.

4 内部モデルの信頼度の算出

条件付き確率密度関数 $p(\boldsymbol{x}(t)|\boldsymbol{Y}(t))$ を内部モデルの信頼度 β を考慮して以下のように変換する.

$$p(\boldsymbol{x}(t)|\boldsymbol{Y}(t)) = \frac{p(\boldsymbol{y}(t)|\boldsymbol{x}(t))^{\beta} p(\boldsymbol{x}(t)|\boldsymbol{Y}(t-1))^{\beta}}{p(\boldsymbol{y}(t)|\boldsymbol{Y}(t-1)} \tag{3}$$

このとき,$p(\boldsymbol{y}(t)|\boldsymbol{x}(t))^{\beta}$ は

$$p(\boldsymbol{y}(t)|\boldsymbol{x}(t))^{\beta} = [(2\pi)^{l} det[\boldsymbol{V}(t)]]^{-\frac{\beta}{2}} \times exp[-\frac{\beta}{2}[\boldsymbol{y}(t) - \boldsymbol{C}(t)\boldsymbol{x}(t)]^{T}\boldsymbol{V}^{-1}(t)[\boldsymbol{y}(t) - \boldsymbol{C}(t)\boldsymbol{x}(t)]] \tag{4}$$

とする.

4 内部モデルの信頼度の算出

$p(\boldsymbol{y}(t)|\boldsymbol{Y}(t-1))$ は

$$p(\boldsymbol{y}(t)|\boldsymbol{Y}(t-1))=[(2\pi)^{l}\det[\boldsymbol{C}(t)\boldsymbol{M}(t|t-1)\boldsymbol{C}^{T}(t)+\boldsymbol{V}(t)]]^{-1/2}$$
$$\times\exp\left[-\frac{1}{2}[\boldsymbol{y}(t)-\boldsymbol{C}(t)\hat{\boldsymbol{x}}(t|t-1)]^{T}[\boldsymbol{C}(t)\boldsymbol{M}(t|t-1)\right.$$
$$\left.\times\boldsymbol{C}^{T}(t)+\boldsymbol{V}(t)]^{-1}[\boldsymbol{y}(t)-\boldsymbol{C}(t)\hat{\boldsymbol{x}}(t|t-1)]\right] \quad (5.16)$$

また,$p(\boldsymbol{x}(t)|\boldsymbol{Y}(t|t-1))^{\beta}$ は

$$p(\boldsymbol{x}(t)|\boldsymbol{Y}(t|t-1))^{\beta}=$$
$$[(2\pi)^{l}det[\boldsymbol{M}(t|t-1)]]^{-\frac{\beta}{2}}\times$$
$$exp[-\frac{\beta}{2}[\boldsymbol{x}(t)-\hat{\boldsymbol{x}}(t|t-1)]^{T}\boldsymbol{M}^{-1}(t|t-1)[\boldsymbol{x}(t)-\hat{\boldsymbol{x}}(t|t-1)]] \quad (5)$$

とする.

4 内部モデルの信頼度の算出

上記の３つの式を (3) 式に代入すると

$$
\begin{aligned}
p(x(t)\,|\,Y(t)) = \Big[(2\pi)^n \det[M(t|t-1)]^{\beta} \det[V(t)]^{\beta} & \\
\times \det\big[[C(t)M(t|t-1)C^T(t) + V(t)]^{-1}\big]\Big]^{-1/2} & \\
\times \exp\Big[-\frac{\beta}{2}\,(y(t) - C(t)x(t)]^T V^{-1}(t)\,[y(t) - C(t)x(t)] & \\
+\Big[-\frac{\beta}{2}[x(t) - \hat{x}(t|t-1)]^T M^{-1}(t|t-1)\,[x(t) - \hat{x}(t|t-1)]\Big] & \\
-\Big[-\frac{1}{2}[y(t) - C(t)\hat{x}(t|t-1)]^T [C(t)M(t|t-1)C^T(t) + V(t)]^{-1} & \\
[y(t) - C(t)\hat{x}(t|t-1)]\Big]\Big] &
\end{aligned}
$$

(3) 式はこのように変化する.

また, exp 内の式は

$$
\begin{aligned}
-\frac{1}{2}\Big[&(y - C\hat{x})^T \left[\beta V^{-1} - (CMC^T + V)^{-1}\right](y - C\hat{x}) \\
&+ (x - \hat{x})^T (C^T \beta V^{-1} C + \beta M^{-1})(x - \hat{x}) \\
&- 2(y - C\hat{x})^T \beta V^{-1} C (x - \hat{x}) \Big]
\end{aligned}
$$

のように変換できる.

そして, この式を S と定義する.

(今後は, この S をどう変換していくか
(β が入っているため, 通常の変換の仕方ではできない))

おわりに

まとめ

- 信頼度 β を考慮したカルマンフィルタによる状態推定について取り組んでいる.

課題

- β を考慮した計算式を最後まで解き, カルマンフィルタによる推定アルゴリズムがどう変化するかを確認する.
- それが終わり次第, どうやってインピーダンスパラメータを算出するか.
- 本論に載せていく論文を読んでいき, 本論を進めていく.