

冗長な構造を持つロボットに対する累積サンプルに基づく制御

学籍番号: 09c07032 石黒研究室 岡留 有哉

1 はじめに

実環境でロボットを動作させるためには、外乱やダイナミクスの変化に対応することのできる柔軟性と、そのような柔軟なロボットを制御するための制御手法とが必要となる。そこで、そのような柔軟性を持つロボットの制御手法として累積サンプルに基づく制御手法を提案する。この手法は過去に取得した制御対象の状態・制御入力サンプルと、制御対象の現在の状態のみからサンプルに対して重み付けを行い、次の制御入力をサンプルから選択するものである。この手法の特徴は、累積サンプルから直接制御入力を求めるため、制御対象のモデルが必要ないことにある。本研究では、累積サンプルに基づく制御手法を冗長な構造を持つ Spring Binary Manipulator (SBM) のシミュレータと人間上肢型ロボティックアームによるリーチングタスクに適用し、制御を行った。

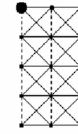


図1 Spring Binary Manipulator

2 累積サンプルに基づく制御手法

制御対象を動作させて累積サンプルを取得する。取得する累積サンプルは

$$X = \{x_i \mid i = 1, \dots, N\} \quad (1)$$

$$U = \{u_i \mid i = 1, \dots, N\} \quad (2)$$

となる。 X は制御対象の状態サンプル、 U は与えた制御入力サンプル、 N はサンプル数である。これらの累積サンプルを用いて重み付けにより制御信号の選択を行う。重み付けは、制御対象の現在の状態に近い状態サンプルを K 個選択し、選択されたデータに対して重み付けを行う。 K 個のサンプルを選択する際には現在の状態と状態サンプルのユークリッド距離:

$$d(x(t), x_i) = \|x(t) - x_i\|_2 \quad (3)$$

を用いる。選択されたサンプルのインデックスを $\kappa = \{\kappa_i \mid \kappa_i \in KNN\}$ とする。選択されたサンプルから始まる動作の軌跡 $x_{\kappa_i+j} (j = 0, \dots, p)$ に対して重み付けを行う。 p は軌跡の長さとする。重みは (3) 式を用いて次式で計算する。

$$w_i = \min_{j < p} \{d(G, x_{\kappa_i+j})\} \quad (4)$$

G は目標の状態、 c は正定数とする。ここで求めた i 番目の重みをに対する選択確率 $P(i)$ を次の Soft-Max 関数:

$$P(i) = \frac{\exp(-w_i T)}{\sum_{j=1}^K \exp(-w_j T)} \quad (5)$$

で定義し、この確率に従ったルーレット選択により、サンプルを選択し、制御入力 u_{κ_i} を与える。このように、直接制御入力を累積サンプルから選択するため、制御対象のモデル化を行う必要がない。

3 シミュレーション

シミュレータとして SBM を作成した。図 1 が作成した SBM である。黒点が質点、大きい黒点が手先、縦方向の点線が制御可能なリンク、リンクが交差した部分は接続していない。SBM は Binary Manipulators (BM)¹⁾ のリンクをすべてバネダンパで置き換えたものである。SBM ではバネの自然長の長短を切り替えて姿勢を変化させ、リーチングタスクを行う。

リーチングタスクは一定回数制御入力を与え、その間にどれだけ手先が目標付近へ移動するかを調べた。図 2 と図 3~図 5 に利用した状態サンプルと得られた手先の軌跡にカーネル密度推定を行い、手先の存在密度を二次元濃淡で表したものである。図 3~図 5 の矢印で示した白点がリーチングタスクの目標である。Soft-Max 関数の逆温度 T は 100 とする。

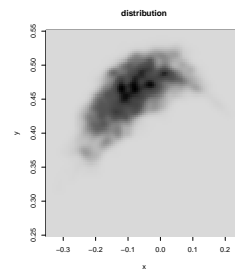


図2 軌跡サンプルの密度推定

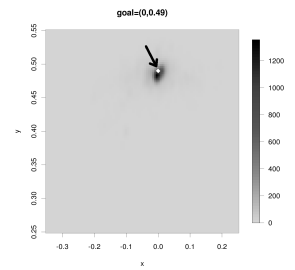


図3 目標 (0, 0.49)

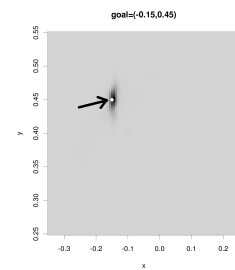


図4 目標 (-0.15, 0.45)

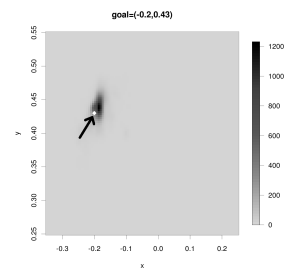


図5 目標 (-0.2, 0.43)

目標付近への手先の存在密度が高くなっており、リーチングが達成されていることが分かる。

4 おわりに

累積サンプルに基づく制御手法で、冗長な構造を持つ SBM の制御が可能であることを示した。また、この制御手法は実機である人間上肢型ロボティックアームにも同様に適用できる。しかし、累積サンプルに密度の高い位置が存在する場合、制御の精度が悪くなる。この問題の解決を今後の課題としたい。

参考文献

- [1] Yoon Young Kim, Gang-Won Jang, and Sang Jun Nam: "Inverse Kinematics of Binary Manipulators by Using the Continuous-Variable-Based Optimization Method" IEEE Transactions on Robotics, Vol.22, No.1, pp.33-42, February, 2006