

学習に基づく四軸回転翼型ヘリコプタの飛行制御

榎本 昇平, 松本 成行, 長谷川 修

東京工業大学大学院

1. はじめに

近年, 無人移動型ロボットの研究が盛んに行われており, 特に構造が容易で移動範囲が大きく, 垂直離着陸可能なロボットとして四軸回転翼型ヘリコプタの開発・実用化の動きが活発化している [1].

四軸回転翼型ヘリコプタの制御ではモデルベース制御が一般的だが, モデル情報が変動する場合や, センサノイズが混入する場合には, 制御性能が劣化してしまうといった問題がある.

データ指向型制御である Just-In-Time (以降 JIT) 予測制御はデータベースに大量に蓄えられた入出力データを用いて, 望ましい出力を得るための入力を予測し制御を行う手法であり, モデル情報の変動に強い制御手法である [2].

JIT 予測制御はデータ数が多くなるにつれて制御性能が向上する. しかし, データ数が多くなりすぎると計算時間が増え, 制御周期が落ち, かえって制御性能が落ちてしまうという問題がある. 扱うデータ数は制御性能が保てる数に保たなければならない. しかし, データには偏りがあり, それを手動で精査し, 必要なデータだけを抽出するのは困難である.

一般的に, 効率的なデータの圧縮方法として, K-平均法が広く用いられている. ところが, K-平均法はKの数を与える必要があるため, 本手法においては制御性能を保てるデータ数を事前に決定しなければならない.

一方で Shen 等によって, 事前にデータ数を決定する必要がない効率的なデータ圧縮手法として Self-Organizing Incremental Neural Network (以降 SOINN) が提案されている [3].

本稿では SOINN を用いてデータの圧縮を行い, 事前に保持するデータ数を決めることなく, データの重なりを排除したデータベースを構築し, 高い応答性を保ったまま稼働する SOINN-JIT 予測制御を提案し, その有効性を検証する.

2. 従来手法

2.1 JIT 予測制御

JIT 予測制御では学習した入出力データに基づ

いて入力と出力をPステップ先まで予測し, 参照値との差を小さくする入力を決定する. すなわち時刻 t における入力 $u(t)$, 出力 $y(t)$, 参照値 $r(t)$ とすると, その直前までの入力と出力が

$$y(t-m+1), \dots, y(t), u(t-n+1), \dots, u(t)$$

であるとき, t 以降の P ステップの出力 $y(t+1), \dots, y(t+P)$ と, P ステップの参照値 $r(t+1), \dots, r(t+P)$ との差を小さくなるような P ステップ入力 $u(t+1), \dots, u(t+P)$ を入出力データベースの中から k 最近傍法を用いて見つけ出し, 時刻 $t+1$ における入力を予測し決定する [2] [4].

2.2 SOINN

SOINN は Growing Neural Gas を拡張した教師なし追加学習手法であり, ひとつの重みベクトルを保持するノードが自律的に増殖・消滅するニューラルネットワークモデルである [3].

3. 提案手法

提案手法である SOINN-JIT 予測制御は, 蓄積された入出力データ集合を SOINN により精査しデータ数を圧縮し, 圧縮されたデータ集合を用いて JIT 予測制御を行う. その概要図を図 1 に示す.

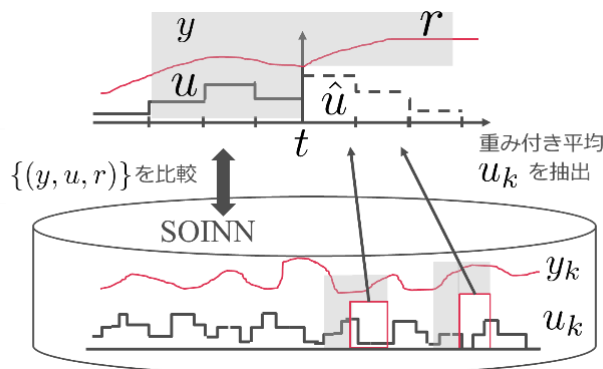


図 1 : SOINN-JIT 予測制御

4. 評価実験

4.1 実験方法

提案手法を四軸回転翼型ヘリコプタの飛行制御へ適応し, 従来手法と比較することで, 有効性を検証する. 検証には Parrot 社製の四軸回転翼機の ARDrone を使用した. 学習する入出力データは, 従来手法 [2] を参考にし, フィードバック制御を行いながらランダムな入力を与えることで集めた. このとき入出力データは, x 方向では 15 万 [個], y 方向では 1 万 [個], 5 万 [個], 50 万

Learning based autopilot system for a Quadcopter

Shohei Enomoto, Tokyo Institute of Technology
Nariyuki Matsumoto, Tokyo Institute of Technology
Osamu Hasegawa, Tokyo Institute of Technology

[個]集め, SOINN-JIT 予測制御では 5 万[個]を 8 千[個]へと圧縮したものを使用した.

評価は, ヘリコプタが y 方向 -0.5[m]から 0[m]へ進むときの, 0[m]への収束の速さで行った. 比較する手法は, フィードバック制御, フィードバック制御+JIT 予測制御, フィードバック制御+ SOINN-JIT 予測制御である. 制御周期は 110[ms], 実験評価データはそれぞれ 150[step]とし, 5 回実験を行いその平均を結果とした. なお, 使用した計算機のスペックは Intel Core i7, CPU 3.0[GHz]である.

4.2 実験結果

5 万[個]の入出力データを使用した従来手法と提案手法の比較結果を図 2 に, それぞれの目標値応答実験の 10[step]から 50[step]までの目標値からの平均誤差を図 3 に, 予測時の所要時間を図 4 に示す.

フィードバック制御に JIT 予測制御を加えた従来の制御手法では, データ数が多いほうが制御性能は高いが, データ数が多くなりすぎると計算速度が増加することで制御周期が落ちてしまい, 制御性能が劣化してしまっていることが分かる.

一方, 提案手法である SOINN-JIT 予測制御では, 従来手法よりも少ないデータ数で従来手法と同等の制御性能を示していることが確認できる. これは SOINN-JIT 予測制御ではデータの重なりと偏りが少なく圧縮できているためだと考えられ, これにより提案手法は従来手法の問題点を解決できることを示した.

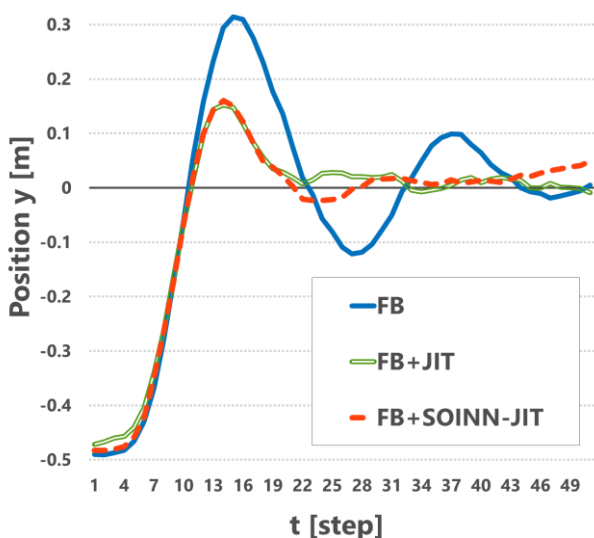


図 2 : 従来手法と提案手法の制御性能の比較

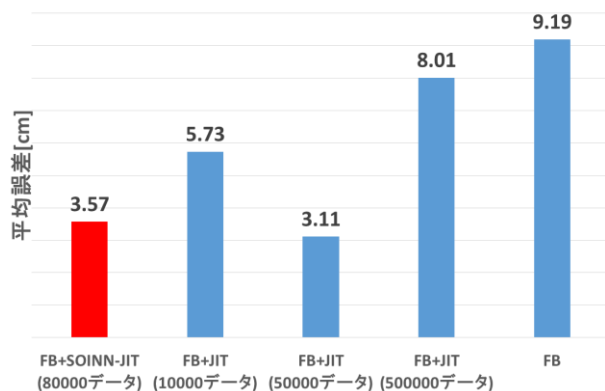


図 3 : 平均誤差

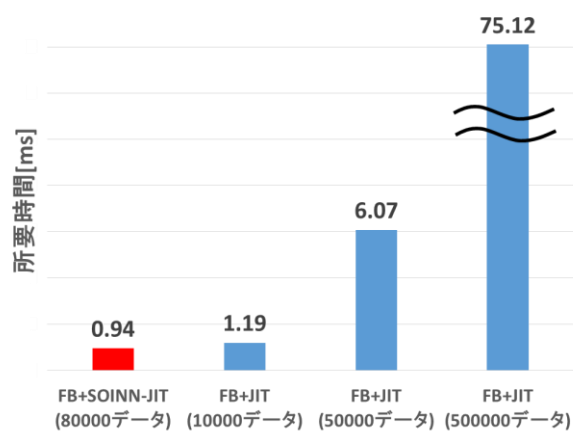


図 4 : 所要時間

5. おわりに

本研究では四軸回転翼型ヘリコプタの制御手法の一つの開発として, SOINN-JIT 予測制御の提案を行い, 有効性の検証を行った. 提案手法は従来手法よりも少ないデータ数で従来手法と同等の制御性能を示し, 制御性能を劣化させることなくデータの圧縮を行えることを示した.

謝辞

本研究は JST CREST による支援を得て行われました. 記して感謝いたします.

参考文献

- [1]木下 篤彦, 島田 徹, 笠原 拓造: “回転翼型マイクロ UAV を用いた深層崩壊箇所の災害調査”, 砂防学会誌, 2013.
- [2]N. Nakapong, S. Yamamoto: “Just-In-Time Predictive Control for a Two-Wheeled Robot”, International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2012.
- [3]F. Shen, O. Hasegawa: “An Incremental network for on-line unsupervised classification and topology learning”, Neural Networks, 2005.
- [4]山本 茂: “データ指向型制御としての Just In-Time 法の可能性”, 電気学会論文誌 C, 2013.