

ニューラルネットワークを用いたバルーンロボット制御

永田紘也^{†1} 飯塚博幸^{†1} 山本雅人^{†1} 鈴木恵二^{†2} 川村秀憲^{†1}

概要: 今日のライブやコンサートにおける演出に使われる舞台装置はステージや天井のバトンという装置に固定されているため、会場の空間を3次元的に移動できない。バルーンロボットとは低エネルギーで3次元空間を安全に移動できる屋内用のロボットである。本研究では複数台のバルーンロボットにより編隊飛行を行い、会場の空間を演出できるシステムの開発を目標とした。そのアプローチとして3次元での位置推定システムの開発、バルーンロボットの制作、およびバルーンロボットのPID制御プログラムの開発を行った。また、制御アルゴリズムをPIDからニューラルネットワークを用いたものに変更し、シミュレーションを行った。

キーワード: バルーンロボット, ニューラルネットワーク, ニューラルPID

1. はじめに

PID制御では目標値への追従性を決定する最適なゲインの設定が重要になる。しかしながら、最適なパラメータを導き出すにはシミュレーションやトライアルアンドエラーを行う必要がある。屋内イベント会場のためのエンターテインメント用バルーンロボットシステムの開発^[1]においてはPIDゲインの調整が課題であった。本研究では従来のPID制御に加えニューラルネットワークを用いたPIDゲインコントローラ^[2]によって最適な制御を実現することを目標とした。



図1. 用いるバルーンロボット

2. バルーンロボット

用いるバルーンロボット(図1)は球型で直径2[m]のビニール製のバルーンにヘリウムガスを充填し、マイコンと6つのプロペラを取り付けた構造をしている。それぞれのプロペラは赤道上に配置してあり、2つは上下移動用、残り4つは水平移動・水平回転用としている。バルーンは自由度4(3次元空間X, Y, Z+ヨー回転Yaw)であり、プロペラの出力を操作して予め指定されている経路に沿って飛行を行うことを目標としている。マイコンにはLinuxをインストールしたRaspberry Pi 2を搭載しており比較的複雑な計算も容易にこなすことができる。

バルーン的位置は地上に設置したカメラによる推定とバルーン内部に搭載したセンサ(加速度, ジャイロ, 地磁気)による推定の結果を勘案し推定している。また、地上の管制用コンピュータからの位置情報や制御信号は5[GHz]帯Wi-Fiを2系統および429[MHz]帯, 1216[MHz]帯による4系統の冗長化した無線通信により受信している。これらの信号は確実にバルーンに届かなければならないため冗長化しており、4系統での通信をすることによってランダムなパケットロスの発生率を低く保っている。

2.1 外部からの位置推定

カメラによる測位は地上に設置した位置と姿勢(位置および向き)が既知である赤外線カメラ6台によって行う。まず、バルーン下部に取り付けた赤外線LEDによるマーカを同時に撮影する。次に得られた画像中から明るい領域を赤外線マーカとして認識し、カメラから赤外線マーカへ向かうベクトルを計算する。最後に、6台分のベクトルの交点をバルーン位置として利用する。誤差の関係でベクトルどうしが交わることは無いため実際にはそれぞれのベクトルからの2乗距離の和が最小となる点をバルーン位置をして採用している。

2.2 内部での位置推定

カメラによる位置推定ではバルーン位置は推定できるがヨー回転は得られない。そのためヨー回転はバルーンに取り付けた地磁気およびジャイロセンサのみから推定している。飛行する空間でのヨー回転0.0[rad]の方向と磁北の方向から地磁気センサの出力にオフセットを掛けヨー回転を得られるようにした。また、ジャイロセンサによりヨー回転の変化量を推定しており、地磁気とジャイロによる推定の結果に重みをつけて足しあわせ、現在のヨー回転としている。

^{†1} 北海道大学大学院
Hokkaido University

^{†2} はこだて未来大学
Future University Hakodate

3. ニューラルネットワークを用いたPID制御

3.1 ニューラルPIDのシステム

本手法でのブロック線図は図2のようになる。図中の r は目標値, e は誤差, u は操作量, y は出力値である。従来のPID制御におけるPIDゲインを状況に応じて変化させることで目標値への追従性を向上させることができると考えた。

PIDゲインコントローラへは将来の目標値や過去の操作量等を入力することが考えられる。また、学習においては目標軌跡からの誤差を用いる。学習初期においては不適切なPIDゲイン出力が予想され、実際に飛行させるには危険である為ある程度適当なPIDゲインが出力されるようになるまでシミュレータを用いる。

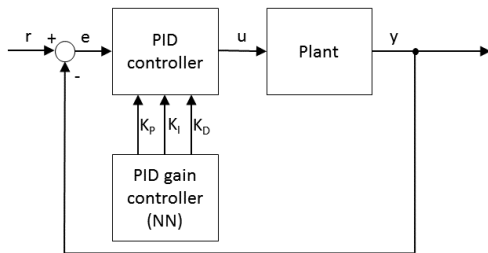


図2. ニューラルPIDのブロック線図

3.2 バルーンの挙動の学習

シミュレーションを行う為まずバルーンの挙動を再現する必要がある。バルーンの挙動は3層ニューラルネットワークを用い、各自由度において時刻 $t = T_0$ における速度 v_{T_0} と操作量 u_{T_0} の2入力から時刻 $t = T_0 + \Delta t$ における速度 v_{T_1} を出力するよう学習を行なった。このとき、バルーンの各次元はそれぞれ独立であると仮定しニューラルネットワークを4つに分割し別々に学習を進めた。学習の結果、それぞれの次元における予測の平均誤差は以下の表のとおりとなった。

表1. 各次元における予測の平均誤差

次元	平均誤差	次元	平均誤差
X (左右)	0.038[m/s]	Z (前後)	0.012[m/s]
Y (上下)	0.012[m/s]	Yaw (回転)	7.6[deg/s]

学習に用いたネットワークの構造について述べる。入力層のノード数は2, 中間層のノード数は2, 出力層のノード数は1であり、入力層および中間層には閾値ユニットを設けた。また、中間層および出力層では活性化関数として \tanh を用い、確率的勾配降下法により重みを調整した。

データセットは実際の飛行ログから収集した155,490個のデータのうち9割を学習データ, 残りの1割をテストデータとして利用した。ログを収集した際の飛行ルートは各軸ともにそれぞれ充分動くよう考慮し設定した(図3)。また、各次元における学習曲線を図4に示す。

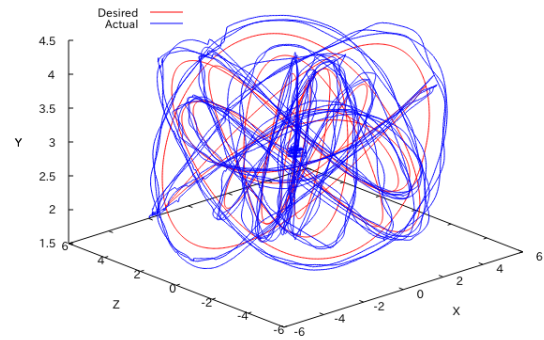


図3. 学習用データにおける飛行軌跡

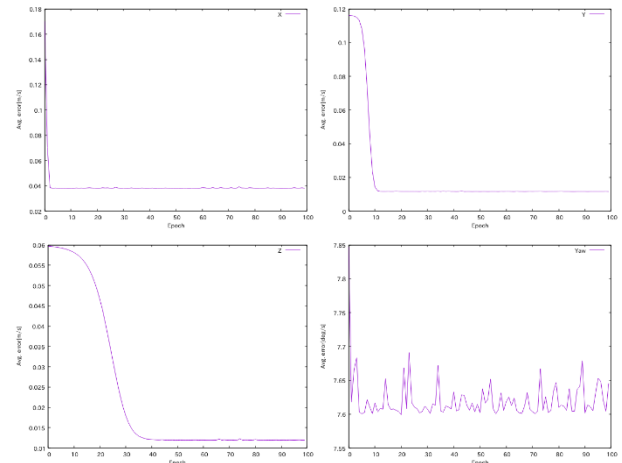


図4. 各次元における学習率(左上から順に X, Y, Z, Yaw)

XとZには物理的な差異はないが、学習の結果の平均誤差や学習曲線を見ると大きく異なっていることがわかる。これは各次元を分離したことや学習データ中のノイズなどに起因していると考えられるため、この改善は今後の課題である。

4. まとめと今後の展望

エンターテインメント用バルーンロボットの制御にニューラルネットワークを用いて目標軌道への追従性を向上させることを目標としたが、本研究ではその前段階としてまずバルーンの飛行シミュレーションを行うためその挙動をニューラルネットワークに学習させるということを行った。しかし、学習がうまく行かなかったため今後は挙動学習部分を見直し、その後PIDゲインコントローラ学習させて実際のバルーンロボットでの飛行に利用する予定である。

参考文献

- [1] 永田 紘也, 飯塚 博幸, 山本 雅人, 鈴木 恵二, 川村 秀憲: “屋内イベント会場のためのエンターテインメントバルーンロボットシステムの開発,” WTP2016 Conference Proceedings, pp.11-12 (2016).
- [2] 山本 透, 沖 俊任, 兼田 雅弘: “ニューラルネットワークを併用したセルフチューニングPID制御系の一設計,” 計測自動制御学会論文集 Vol.34, No.7, pp.682-688 (1998).