

# 強化学習を用いた羽ばたき型 UAV の 空中姿勢制御システムの開発

岩城 慶<sup>†</sup> 伊勢 岳起<sup>†</sup> 滝口 千波<sup>†</sup> 田 祐在<sup>†</sup>

野沢 大智<sup>††</sup> 中野 久幹<sup>†</sup> 西野 巧<sup>†</sup> 渡邊 孝信<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院 基幹理工学研究科      <sup>††</sup> 早稲田大学 基幹理工学部電子物理システム学科

## 1. はじめに

近年、マルチコプター型ドローンをはじめとする無人飛行体(UAV)の応用が広がっている。本研究室では、次世代のドローンとして羽ばたき型ロボットの開発に取り組み、重心移動機構[1]によって垂直飛行と水平飛行の2つの羽ばたき飛行モードを切り替えられる新しい飛行体を実現している。しかし操縦には熟練が必要であり、気流の激しい中ででの操縦が困難という問題を抱えている。この問題を解決するため、強化学習を用いた自律飛行の実現を目指している。本研究では、最初のトライアルとして機体の姿勢、ピッチ角度を強化学習で制御するシステムを構築した。

## 2. システムの概要

図1に今回開発したシステムの概要図を示す。制御モジュールを古典制御モジュールと強化学習モジュールでの切り替えが可能なシステムになっている。制御に関する計算は Windows PC 上で行う。コントローラ及び機体上の基盤との無線通信機として 920MHz 帯通信対応のマイコンボード Lazurite SubGHz を使用した。

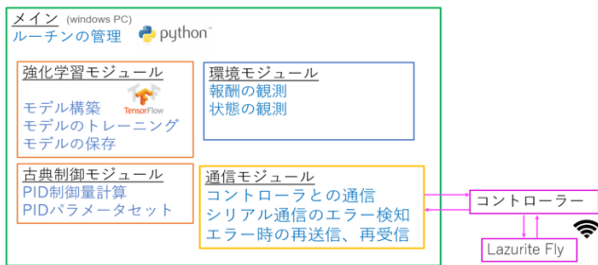


図1. 開発したシステムの概要図

また、本研究では Q 学習を発展させた DQN(Deep Q-Network) 法を強化学習アルゴリズム[2]として採用した。羽ばたき型ロボットのピッチ角度と羽ばたき周波数を4フレーム分入力として与え、報酬が高くなるように予測・出力を行い、重心移動機構をプログラムで制御する。

## 3. 実験方法

機体を手を持った状態から羽ばたかせ、40 ステップの間飛行し続ける、もしくは墜落するまでを 1 epoch とし、計 75 epoch の学習を行った。ピッチ角度が 45° に近いほど高い報酬を与えた。表1に報酬とピッチ角度の関係を示す。

表1. ピッチ角度に応じた報酬の値

ピッチ角度	40° ~50°	35° ~40° 50° ~55°	30° ~35° 55° ~60°	else
報酬	1.0	0.5	0.3	0

## 4. 結果と考察

図2に学習前のネットワークによる制御の際のピッチ角度の推移、図3に75 epoch の学習を行った後のピッチ角度の推移を示す。

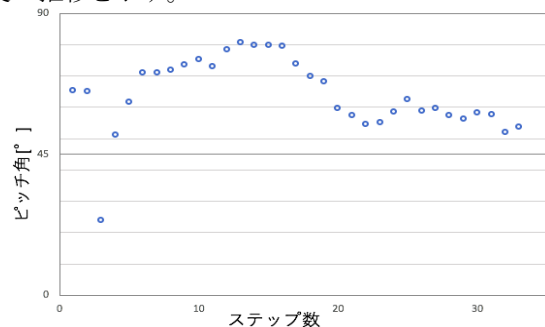


図2. ピッチ角度の推移(学習前・epoch=0)

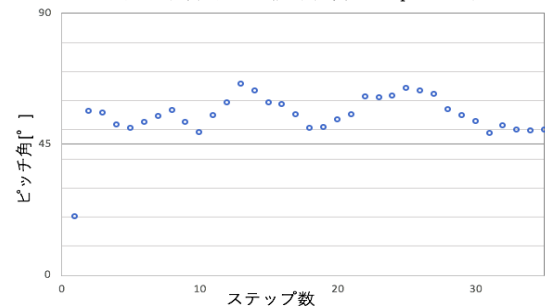


図3. ピッチ角度の推移(学習後・epoch=75)

学習前の場合でピッチ角度が 60° 付近で飽和しているが、ピッチ角度が 75° 以上の時に加速度センサから計算されるピッチ角度が過小評価されるため、実際は安定した飛行ができていない。一方、学習後は明らかにピッチ角度が 50° 付近に安定しており、実際の飛行も学習前より格段に安定化した。ピッチ角度の制御方法をネットワークが適切に学習できたためと考えられる。

## 5. 今後の課題

今回強化学習によって制御したのはピッチ角度のみであり、羽ばたき周波数は手動で制御した。完全な自動制御に向けて、次はピッチ角度以外のパラメータも制御する必要がある。また、小型カメラを搭載してその映像を用いた制御法も目指す予定である。

## 参考文献

- [1] KOOPMANS, J.A., et al. Passively stable flapping from hover to fast forward through shift in wing position., International Journal of Micro Air Vehicles, 7.4:407-418, 2015.
- [2] 小高知宏, "強化学習と深層学習", オーム社, 2017.