

飛行ロボットの感覚的モータ制御値操作システム

佐藤 宏樹¹, 本田 泰²

¹ 室蘭工業大学 情報電子工学系専攻

² 室蘭工業大学 しくみ情報系

概要

圧力センサを用いて、感覚的に回転翼飛行ロボットのモータ制御値を制御できる操作機の開発を行った。操作機は圧力センサ値を変換することにより飛行ロボットのモータ制御値を決定し、飛行ロボットに無線で指示を送るようになっている。開発した操作機を用い、飛行実験を行った結果、感覚運動写像による姿勢制御と組み合わせることによって感覚的にモータ制御値を操作することが可能であることがわかった。

Intuitive operating device for motor control of a flying robot

Kouki Sato¹, Yasushi Honda²

¹ Division of Information and Electronic Engineering, Muroran Institute of Technology

² College of Information and Systems, Muroran Institute of Technology

Abstract

We developed an operating device using pressure sensor for a flying robot. The operating device enable us to control motor intuitively. The operating device determines a motor control value from the value of pressure sensor. The motor control value is sent via wireless network. We have carried out flight experiments using the operating device. As a result, we found that the flying robot is able to fly by using the developed operating device combined with the sensory motor mapping for position control.

1 はじめに

”ロボットとは「人間の代わりに作業する装置」である”[1]と考えられる。ロボットが人間の代わりとして行動できるということには、ロボット自身が知能を持ち自律行動できることが求められる。自律行動には反応行動、計画行動、適応行動、協調行動が含まれる。我々はロボットの中でも、回転翼飛行ロボット（以下、飛行ロボットと呼ぶ）に着目し、自律行動実現に向け、研究を進めている[2][3]。

先述のとおり、自律行動の中に適応行動がある。これを飛行ロボットで実現するための方法の一つとして、教師付き機械学習がある。これは適応行動を飛行ロボットに教える際、教師データとして人間の手動操作データを用いる方法である。

しかし、手動での飛行ロボット操縦は複雑な操作や慣れを必要とし、そもそも教師データの取得が困

難であるという問題がある。本研究では、教師データの取得を容易にするため、複雑な操作を必要としない感覚的モータ制御値操作システムの開発を目的とする。

飛行ロボットの操作機に必要な機能としては、飛行ロボットが浮くためのモーター制御値（以下、throttleと呼ぶ）の決定及び、飛行ロボットの姿勢制御があるが、本研究では前者の機能の開発を扱う。後者は感覚運動写像（PI制御）を用いて行う[3][4]。

2 回転翼飛行ロボット

飛行ロボットは4つのモータを持っている[2][3]。これらのモータを回転させることで機体を浮き上がらせる。

飛行ロボットにはジャイロセンサ、加速度センサを搭載しており、計測した姿勢情報を基にBoardComputer（以下、BCと呼ぶ）が各モータに制御値を送る。

この時制御値には外部から入力される throttle も加えられている。throttle の値は 0~300 である。飛行ロボットの BC には BeagleBone Black を使用しており、USB ポートに無線ユニットを接続している。

3 感覚的モーター制御値操作システム

開発した感覚的モーター制御値操作システム(以下、操作機と呼ぶ)を図 1 に、操作機及び飛行ロボットの構成を図 2 に示す。

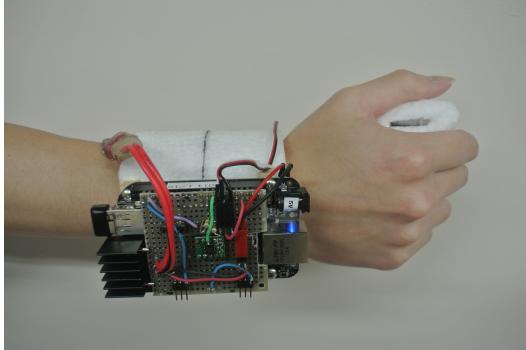


図 1: 操作機の装着図

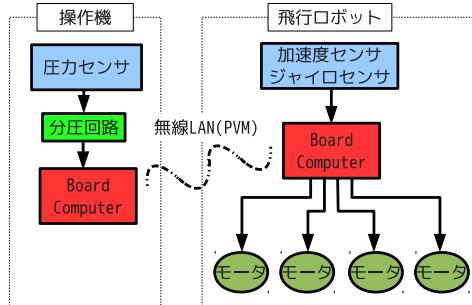


図 2: 操作機と飛行ロボットの構成

操作機は図 1 のように腕に装着して使用する。操作機の BC には飛行ロボットと同じく BeagleBone Black を使用し、飛行ロボットと無線通信を行う。操作機は圧力センサを搭載しており、センサに加えられた圧力に応じて操作機の BC で throttle を決定し、飛行ロボットへと送信する。従来の throttle の操作方法(PCからのキーボード入力)では、throttle を目標数値に操作するために何度も入力する必要があったが、圧力センサを用いることで従来に比べ素早い throttle の変更が可能である。

操作機-飛行ロボット間のデータの送受信には PVM(Parallel Virtual Machine)[5]を使用している。PVM を用いる利点は汎用性がある点である。PVM を導入できるロボットであればこの操作機を用いることができる。

従来の throttle の決定方法(PCからの入力等)に比べ、自身の力の入れ加減で感覚的にモータの強弱が決定できるシステムであるため、感覚的操縦システムと呼んでいる。

3.1 圧力センサ

圧力センサには FSR402 を用いており、操作機の親指で押す部分に取り付けられている(図 3 の赤い四角参照)。この部分に指で圧力をかけることにより throttle を決定する。

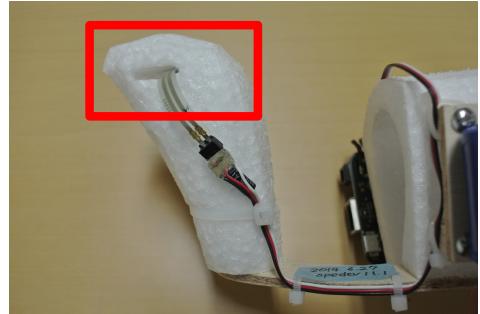


図 3: 圧力センサ搭載位置

圧力センサに掛かる圧力とセンサの出力の関係をテスターを用いて調べると図 4 のようになった。

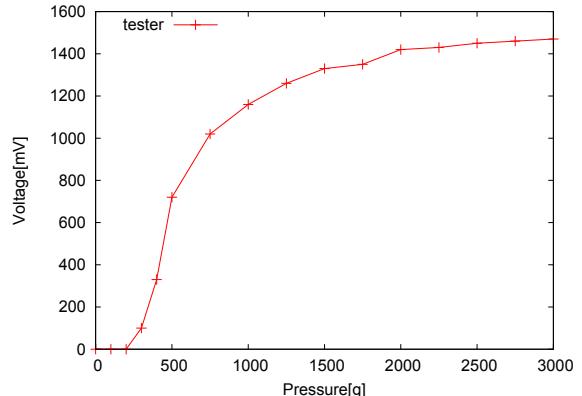


図 4: 圧力センサ F S R 4 0 2 に掛かる圧力とセンサ出力の関係

分圧回路を介した場合の圧力センサの最大出力は計算上 1690[mV] だが、観測できる出力の最大値は約 1500[mV] であった。

3.2 センサ値の throttle 変換

実際に分圧回路を介して A/D 変換された圧力センサ値は約 35~1500 の範囲であった、throttle として使用するために、0~300 の範囲に変換する。変換には(1)式を使用する。図 5 に、実際に(1)式を用

いて圧力センサ値を throttle に変換したグラフを示す。表 1 に(1)式で使用している変数の説明を示す。

$$\text{throttle} = \begin{cases} 0 & (p_s < 50) \\ p_s \cdot \frac{1}{\alpha} & (50 \leq p_s < 1500) \\ 300 & (1500 \leq p_s) \end{cases} \quad (1)$$

記号	定義	範囲または数値
throttle	モーター制御値	$0 \leq \text{throttle} \leq 300$
p_s	圧力センサ値	$35 \leq p_s \leq 1500$
α	調整ゲイン	5

表 1: (1) 式に使用する記号の定義

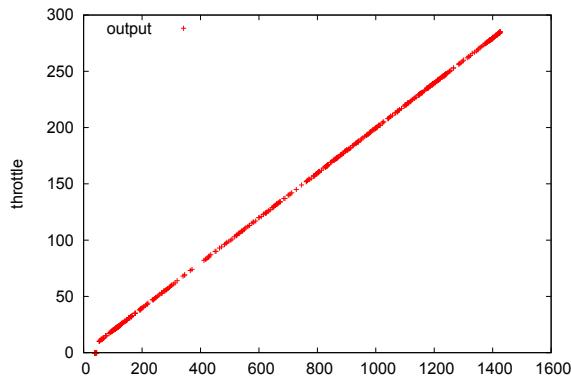


図 5: (1) 式を用いた throttle 変換

4 操作機と飛行ロボットの通信

操作機と飛行ロボットの通信は無線でアドホック通信を行なっている。また、操作機と PC はシリアル通信を行なっている。その概略図を図 6 に示す。

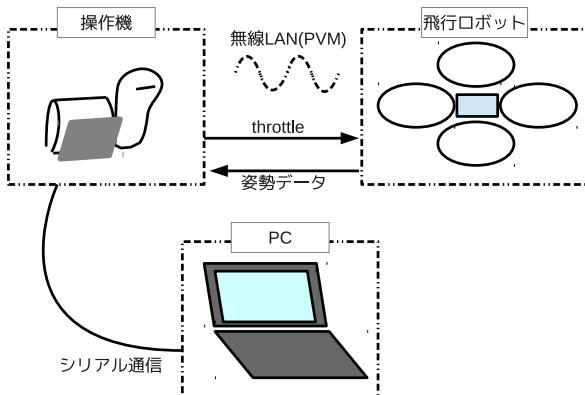


図 6: 操作機と飛行ロボットの通信概略図

操作機から飛行ロボットへは throttle を送信している。飛行ロボットは搭載している各種センサから得た姿勢情報を基に、感覚運動写像を用い、各モータへの出力値を計算している [2][3]。そこに操作機から送られてきた throttle を足しあわせ、最終的なモータ出力値を決定している。

また、飛行ロボットから操作機へは飛行ロボットの姿勢情報を送っており、PC で throttle と共に表示させることができる。

5 操作実験

実際に開発した操作機での飛行ロボット操作実験を複数回行った。飛行した飛行ロボットの高度をモーションキャプチャで測定し [6]、操作機から送られてくる throttle との関係を調べる。

飛行ロボットに取り付けたマーカーとマーカーの名前を図 7 に示す。

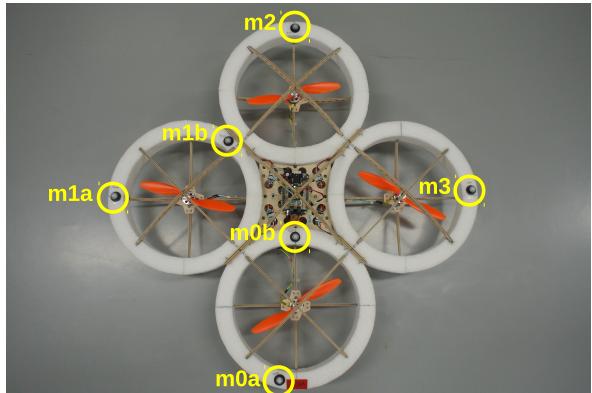


図 7: 飛行ロボットのマーカーと対応する名前

図 8、9 に操作実験で測定した高度と throttle のグラフを示す。図 9 は飛行ロボットを意図的に上昇、下降するように操作した。図 10 には図 8 の throttle と高度の関係を示す。なお、高度の測定には、飛行ロボットに取り付けているマーカーで一番姿勢に影響されない中央付近のマーカー m0b を使用した。図 8、9 で、throttle 上昇前にマーカー m0b の最小値が約 130[mm] になっているが、これは飛行ロボットの上部にマーカーを取り付けているためである。

これらの結果から、圧力センサを用いて throttle を決定し、感覚運動写像と同時に用いることによって、飛行ロボットを飛行させることができることがわかった。

図 8 を見ると、throttle は一定に近い値を取り続けているが高度下がっている箇所がある。これは一定の throttle を送っていても徐々にモータを回すための電圧が小さくなるためだと考えられる。しかし、高度が下がってくれれば更に圧力を加え throttle を上昇させることで飛行を続けることが可能であることがわかった。

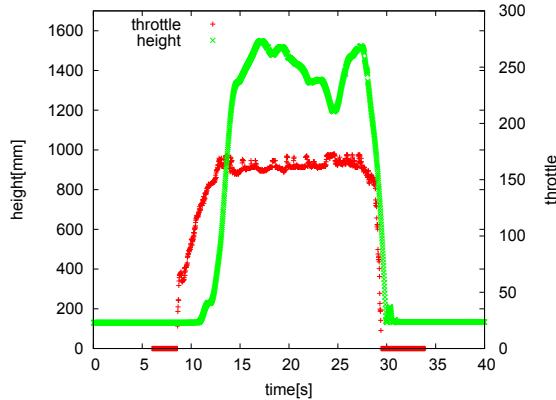


図 8: throttle とマーカー m0b の高度 (1)

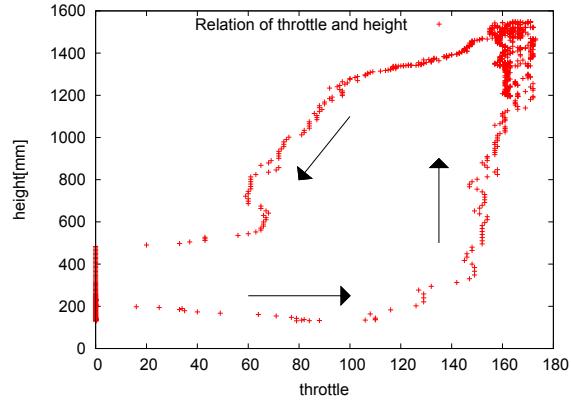


図 10: 図 8 の throttle と高度の関係

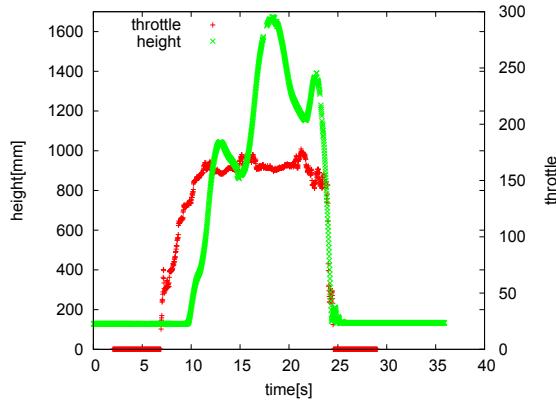


図 9: throttle とマーカー m0b の高度 (2)

また、図 9 を見ると、意図した動き通り飛行ロボットの高度が大きく上下している。それに対応する throttle を見てみると、飛行ロボットの高度が大きく変わる前に約 20 度の throttle 変更を行なっていることがわかる。つまり、この飛行ロボットの高度を操作機により操作できている事がわかる。

図 10 を見ると、throttle が 150 を超えた辺りから飛行ロボットが急激に上昇していることが分かる。このことから throttle が約 150 を超えた時に飛行ロボットの 揚力 > 重力 となっていると考えられる。また、着陸するため throttle を弱めた際は緩やかに高度が下がっているのが見て取れる。

6 まとめ

回転翼飛行ロボットの感覚的モーター制御値操作機の開発を行った。操作機は飛行ロボットが浮くための throttle 決定機能がある。その throttle は、操作機に搭載されている圧力センサの値によって決まり、圧力が掛かるほど throttle は大きくなる。圧力センサは操作機の前方、手で握る部分に取り付けら

れており、指で握ることにより操作を行う。実際に開発した操作機を用いて飛行ロボットの操作実験を行い、モーションキャプチャで飛行ロボットの高度を測定した。その結果、throttle の値が約 150 になると、飛行ロボットが上昇することが見て取れた。よって、圧力センサを用いた感覚的モーター制御値操作機で飛行ロボットの飛行が可能なことが分かった。

開発した操作機はデータ送受信に PVM を用いているので、飛行ロボット以外にも PVM を使用出来るものなら操作できる汎用性がある。今後、この操作機に追加する機能としては飛行ロボットの運動操作機能が考えられる。

本研究で得られた throttle 操作情報と、運動操作情報を教師データとして機械学習を行うことによって、様々な環境において適応行動が可能な飛行ロボットが実現できるであろう。また、複数の飛行ロボットによる 3 次元交通流の実現のためにも、ダイナミックに変化する周囲の状況に応じて行動できる飛行ロボットのための機械学習が可能となる。

参考文献

- [1] 浅田稔, 國吉康夫, "岩波講座ロボット学 4 ロボットインテリジェンス", 岩波書店, (2006).
- [2] 橋本理寛, 本田泰, 第 18 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 33-36, (2012).
- [3] 佐藤宏樹, 橋本理寛, 本田泰, 第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 45-48, (2013).
- [4] 本田泰, 第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 53-56, (2013).
- [5] <http://www.csm.ornl.gov/pvm/>
- [6] 佐々木卓哉, 本田泰, 第 19 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集, 49-52, (2013).