クアドロータヘリの重心移動による操作 —ヒューマノイドロボットによる操作—

Quad Rotor Control by Centroid shifting -A Humanoid Robot Rides on a Quad Rotor Helicopter-

学 久納 慎吾 (徳島大) ○正 三輪 昌史 (徳島大)
正 二井見 博文 (産技短大)

Shingo KUNOU, The University of Tokushima

Masafumi Miwa, The University of Tokushima, miw@tokushima-u.ac.jp

Hirofumi NIIMI, College of Industrial Technology

In this study, we set a humanoid robot on the center of experimental quad-rotor helicopter (QRH). When the humanoid tilts, this motion shifts the center of gravity, and it causes the attitude change of the quad rotor helicopter. Then attitude control system generates counter torque to cancel the tilt angle. As the result, small inclination exists when counter torque balances to load torque. This small inclination generates moving thrust, and QRH starts to slide. This result means that we can control QRH with external independent devices attached on it.

Key Words: Quad rotor helicopter, PD control, Attitude control, Center of gravity, External control

1. 緒言

R/C ヘリコプタは大型の無人航空機(UAV)と比較した場合、墜落時のリスクが低い点、運用に必要なコストを抑える事が出来る点、離着陸に必要な面積を減らす事が出来る点で優れており、一般的な空撮だけでなく高圧線の架線作業や農薬散布作業にも用いられている。しかし、R/C ヘリコプタを用いた架線作業や農薬散布などの運搬作業は操作技能の習得が不可欠であり、R/C ヘリコプタが普及し運搬作業に広く用いられるには操縦者の技量に負う作業を簡便化し、より簡単に操作する方法が必要になる。そこで本研究では操作をより簡単に行うため、独立した姿勢制御系を持つ四発ロータヘリコプタ(QRH)の制御系に外部入力を加えて制御する方法を提案する。独立した姿勢制御系を持つ R/C ヘリコプタに対し、操縦者が機体に対して外力を加えることで位置制御を行えば、直感的に機体の操作を行うことができ、操縦技術のない人でも操作が可能になる。また QRH はロータの推力差を利用し任意の方向に機体を傾斜させ推力の水平分力を利用して移動を行う。このことから QRH に外力を加え機体を傾斜させることで移動を行う事が可能である[1]。そこで本研究では独立した姿勢制御系を持つ QRH の制御系に外部入力を加えて制御することを目的とする。今回、姿勢制御に PD 系を持つ QRH に対し重心位置を操作することで機体の移動を行う実験を実施した。

2. 重心移動時の QRH の挙動

重心が変化していないときの、QRH の傾斜 θ に対する P 制御の応答の様子を図 1 に示す。図中の丸は機体の重心を表し、図中の矢印はロータが回転することにより生じる推力を表す。また、図中上部に外部入力を加えるための装置を四角で示す。この装置を駆動させることにより、機体の重心位置が変化する。まず、機体が水平のとき、左右に生じる推力が

$$F_L = F_R = F \quad (1)$$

となる。ここで、F は機体が水平の時のロータ出力である。左右に生じる推力の大きさ及び重心からの距離が等しい場合、推力に起因するトルク T_L 及び T_R の合計は

$$T_L + T_R = 0 \quad (2)$$

となる。次に QRH の姿勢が θ に変化すると、機体の P 制御が働き、図 1 の様に推力が変化することで $T_R > T_L$ となり、 $T_R - T_L$ のトルクで水平に戻そうとする。

Fig. 1 Schematic view of QRH seen from Pitch shaft orientations

Fig. 2 Center of gravity Shift and Thrust Change

このときに発生する操作量は次式となる。

$$K_p \theta = 2\Delta F r \quad (3)$$

ここで、 ΔF は左右のロータに作用する推力変化量、 r は機体中心からロータ軸までの長さ、 K_p は P 制御のゲインである。また、ロータ推力がそれぞれ

$$F_L = F - \Delta F, F_R = F + \Delta F \quad (4)$$

となる。次に重心位置が変化したときの QRH の傾斜角 θ での様子を図 2 に示す。機体の重心の変化により、推力に起因する重心まわりのトルクはそれぞれ $T_L' = -F_L(r+a)$, $T_R' = F_R(r-a)$ となり、この合計が機体に加わるトルクであり、

$$T_{total} = 2\Delta F r - 2Fa = K_p \theta - 2Fa \quad (5)$$

となる。式(3)より、 θ が

$$\theta = \theta_e = 2Fa/K_p \quad (7)$$

をみたすとき $T_{total} = 0$ となり、図 QRH2 の様に静止角度 θ_e を維持したまま機体が水平に移動することになる。 θ_e は QRH が P 制御を行う時に生じる定常偏差であり、 a の変化に比例する。このことから機体の重心を変化させることで QRH の傾斜を制御できる。

(a) Test QRH (b) Forward tilt posture
Fig. 3 Test QRH With Humanoid Robot

Table 1 Specification of Test QRH

Size	600x700x700(mm)
Rotor axis distance	520mm
Rotor diameter	330mm
Weight	2.51kg

(a) Pitch axis

(b) Pitch axis (enlarged view)

Fig. 4 Attitude Change of Test QRH with Arm Tilting

Fig. 5 Flight test

Table2 QRH Attitude

Control period (sec)	Average attitude angle (degree)	
	Roll	Pitch
4-11	-0.7	-1.7
23-29	-0.5	-2.1

3. 実験装置及び実験方法

3.1 実験装置

実験に使用した QRH (enRoute : Zion Pro 520 Quadcopter)とヒューマノイドロボットの外観を図 3(a)に示す。実験機は QRH の中央部にヒューマノイドロボット(JO-zero:姫路ソフトウェア)を搭載した。実験機の仕様を表 1 に示す。ヒューマノイドロボットは機体の重心を変化させるための装置である。QRH の制御系は ArduinoPilotMega2.0 (3DRobotics、以下 APM) を用い制御用ソフトに arducopter 2.9 (DIY Drones)を使用し、姿勢制御に PD 制御を採用した。QRH の操作は R/C 送信機 (T12FGH : 双葉電子工業)で行い、ヒューマノイドロボットの操作は赤外線リモコン(RM-A205 : victor)で行った。また、APM は XBeeProZB (Digi international)を通し PC にフライトログを記録している。

3.2 実験方法

実験では実験機の離着陸を R/C 送信機からマニュアル操縦で行った。機体の姿勢制御は APM の PD 制御にまかせ、水平維持を行った。図 3(b)の様に実験機にはヒューマノイドロボットを前傾することで外力を与えた。ヒューマノイドロボットの傾斜はあらかじめモーションを設定しておき、赤外線リモコンでコマンド操作を行った。

4. 実験結果

図 4 および表 2 に機体姿勢に関する実験結果を示す。この実験では Pitch についての傾斜実験を行った。図中の 0 秒から 4 秒まではマニュアル操作にて機体を離陸させ、実験開始位置まで移動させた時の傾斜の変化である。その後機体が水平になった 4 秒においてヒューマノイドロボットの操作コマンドを入力し、8 秒間ヒューマノイドロボットを傾けた。このときの機体が 1.7° 程度傾斜している。12 秒から 20 秒まではマニュアル操作で機体の位置を戻し、23 秒から再度ロボットアームを傾けた。なお、ヒューマノイドロボットを操作している時は R/C コントローラの入力はニュートラルとした。この時、機体は 2.1° 程度傾斜した。図中より機体が傾斜していることが確認できる。このとき機体が移動した。以上の実験結果から、ヒューマノイドロボットを QRH に搭載し、重心位置を操作することで移動制御を行う方法は有効であることが判る。

5. 結論

本研究では直感的に QRH を操作する方法として、独立した姿勢制御系を持つ QRH の制御系に外部入力を加えて制御する方法を提案した。姿勢制御に PD 制御を採用した QRH に対しロボットを駆動し外力を加え、機体の重心を操作することで機体の方位制御を行った。

文 献

- [1] Masafumi Miwa, Shingo Kunou, Shinji Uemura, Akitaka Imamura and Hirofumi Niimi: Attitude Control of Quad-Rotor Helicopter with Mass Balance, Proc. of the ISEM12 in Taipei, Taipei, Nov. 2012.