



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده‌ی مهندسی هوافضا

پروژه کارشناسی  
مهندسی کنترل

عنوان:

# کنترل وضعیت سه درجه آزادی استند چهارپره به روش کنترل‌کننده مربعی خطی مبتنی بر بازی دیفرانسیلی

نگارش:

علی بنی اسد

استاد راهنما:

دکتر نوبهاری

تیر ۱۴۰۱

سلام

## سپاس

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر نوبهاری که با کمک‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغشان، بنده را در انجام این پروژه یاری داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

## چکیده

در این پژوهش از یک روش مبتنی بر تئوری بازی<sup>۱</sup> استفاده شده است. در این روش سیستم و اغتشاش دو بازیکن اصلی در نظر گرفته شده است. هر یک از دو بازیکن سعی می‌کنند امتیاز خود را با کمترین هزینه افزایش دهند که در اینجا، وضعیت استند امتیاز بازیکن‌ها در نظر گرفته شده است. در این روش انتخاب حرکت با استفاده از تعادل نش<sup>۲</sup> که هدف آن کم کردن تابع هزینه با فرض بدترین حرکت دیگر بازیکن است، انجام می‌شود. این روش نسبت به اغتشاش ورودی مقاوم است. همچنین نسبت به عدم قطعیت مدلسازی مقاومت مناسبی دارد. از روش ارائه شده برای کنترل یک استند سه درجه آزادی چهارپره که به نوعی یک آونگ معکوس نیز هست، استفاده شده است. برای ارزیابی عملکرد این روش ابتدا شبیه‌سازی‌هایی در محیط سیمولینک انجام شده است و سپس، با پیاده‌سازی آن صحت عملکرد آن تایید شده است.

کلیدواژه‌ها: چهارپره، بازی دیفرانسیلی، تئوری بازی، تعادل نش، استند سه درجه آزادی، مدل مبنا، تنظیم‌کننده مربعی خطی

---

<sup>1</sup>Game Theory

<sup>2</sup>Nash Equilibrium

# فهرست مطالب

## فهرست شکل‌ها

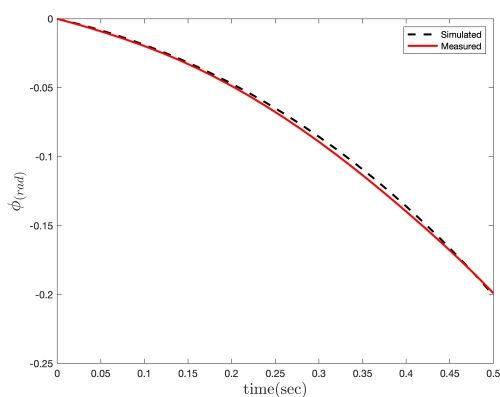
۱	مقایسه وضعیت کانال رول موتور خاموش در شبیه‌سازی و واقعیت	۲
۲	مقایسه وضعیت کانال رول در شبیه‌سازی و واقعیت	۲
۳	مقایسه وضعیت کانال پیچ موتور خاموش در شبیه‌سازی و واقعیت	۳
۴	مقایسه وضعیت کانال پیچ در شبیه‌سازی و واقعیت	۳
۵	مقایسه وضعیت کانال یاو در شبیه‌سازی و واقعیت	۴
۶	مقایسه وضعیت کانال رول-پیچ در شبیه‌سازی و واقعیت	۴
۷	مقایسه وضعیت کانال رول-پیچ-یاو در شبیه‌سازی و واقعیت	۵

## فهرست جدول‌ها

۱	مقایسه پارامترهای کانال رول موتور خاموش قبل و بعد از اصلاح	۲
۲	مقایسه پارامترهای کانال رول قبل و بعد از اصلاح	۲
۳	مقایسه پارامترهای کانال پیچ موتور خاموش قبل و بعد از اصلاح	۳
۴	مقایسه پارامترهای کانال پیچ قبل و بعد از اصلاح	۳
۵	مقایسه پارامترهای کانال یاو قبل و بعد از اصلاح	۴
۶	مقایسه پارامترهای کانال رول-پیچ قبل و بعد از اصلاح	۴
۷	مقایسه پارامترهای کانال رول-پیچ-یاو قبل و بعد از اصلاح	۵

به منظور افزایش دقت تخمین پارامترها، در ابتدا پارامترهای مربوط به هر کانال تخمین زده شده است و در ادامه پارامترهای مشترک کانال‌ها اصلاح شدند. برای افزایش دقت، در کانال‌های رول و پیچ، ابتدا پارامترها به صورت موتور خاموش اصلاح شدند و سپس، پارامترهای مربوط به موتور اصلاح شدند. در فرایند اصلاح پارامتر، بعد از هر مرحله اصلاح پارامتر اشاره شده در بالا، پارامترهای اصلاح شده‌ی مرحله قبلی ثابت فرض شده‌اند و سایر پارامترها تخمین زده شده‌اند. برای اصلاح پارامتر هر مرحله چندین آزمایش با سناریوهای مختلف انجام شده است، اما برای رعایت ایجاز از آوردن تمامی آزمایش‌ها پرهیز شده است.

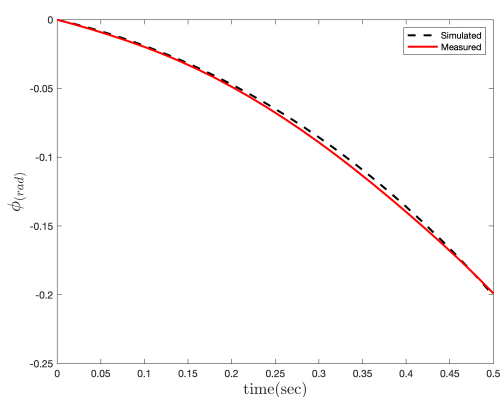
برای انجام آزمایش، استند از شرایط اولیه مختلف و با ورودی‌های مختلف رها شده و از خروجی سنسور داده برداری شده است. سپس، مدل و داده‌های ثبت شده‌ی سنسور (وضعیت استند) به جعبه ابزار Parameter Estimator داده شده‌اند. وضعیت استند در شبیه‌سازی و واقعیت بعد از اصلاح پارامترهای مختلف در ادامه مقایسه شده است.



پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$A_1$	7.312	4.152
$A_5$	0.0087	0.0190
$A_6$	0.51	0.65

جدول ۱: مقایسه پارامترهای کانال رول موتور خاموش شکل ۱: مقایسه وضعیت کانال رول موتور خاموش در شبیه‌سازی و واقعیت قبل و بعد از اصلاح

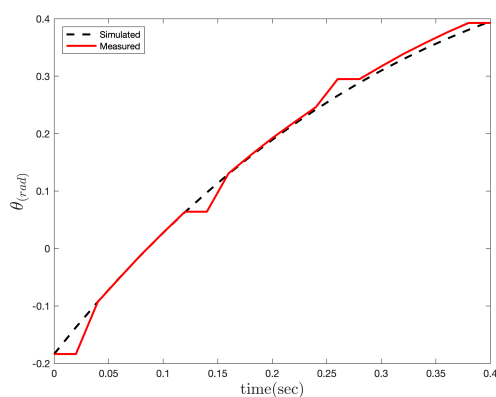
در ادامه اصلاح پارامترهای موتور کانال رول چهارپره آورده شده‌است.



پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$A_3$	$1.1 \times 10^{-4}$	$5.47 \times 10^{-5}$

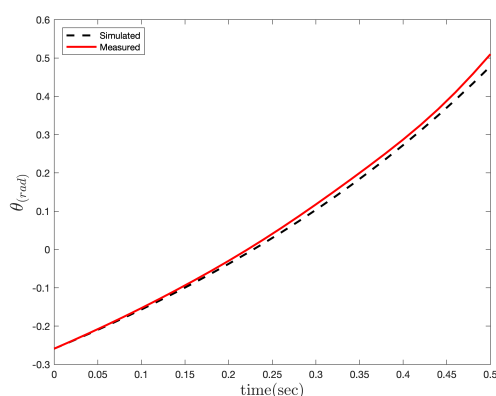
جدول ۲: مقایسه پارامترهای کانال رول قبل و بعد از شکل ۲: مقایسه وضعیت کانال رول در شبیه‌سازی و اصلاح واقعیت در ابتدا خروجی اصلاح پارامترهای کانال پیچ حالت موتور خاموش و سپس حالت کلی آورده شده‌است.





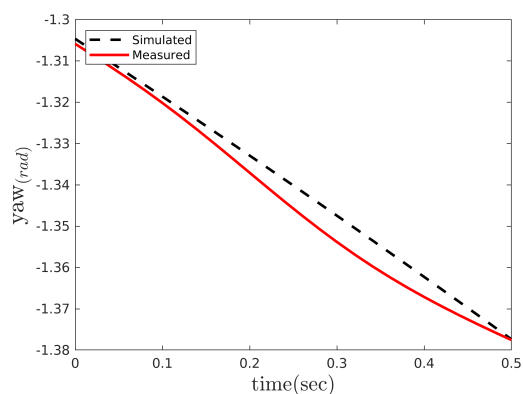
پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$B_1$	4.53	4.36
$B_5$	0.007	0.012
$B_6$	4.13	4.428

جدول ۳: مقایسه پارامترهای کانال پیچ موتور خاموش شکل ۳: مقایسه وضعیت کانال پیچ موتور خاموش در شبیه‌سازی و واقعیت قبل و بعد از اصلاح  
لازم به ذکر است، برای اصلاح سایر پارامترهای کانال رول، پارامترهای اصلاح شده در بخش بالا ثابت در نظر گرفته شده‌است.



پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$B_3$	$1.1 \times 10^{-4}$	$7.13 \times 10^{-5}$

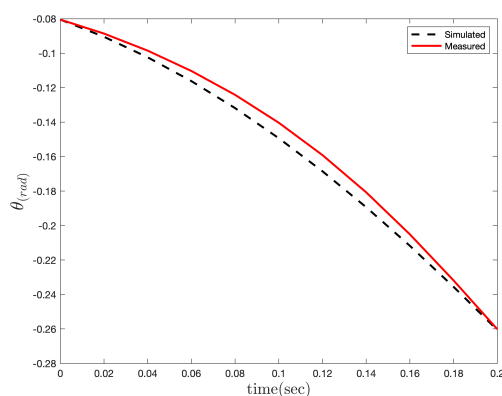
جدول ۴: مقایسه پارامترهای کانال پیچ قبل و بعد از شکل ۴: مقایسه وضعیت کانال پیچ در شبیه‌سازی و واقعیت اصلاح  
مقایسه وضعیت شبیه‌سازی و واقعیت چهارپره در کانال یاو و پارامترهای اصلاح شده آورده شده‌است.



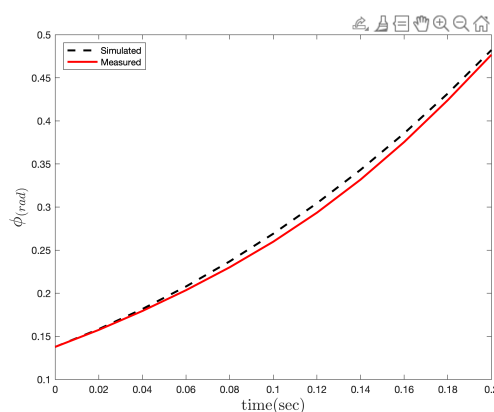
پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$C_2$	$5.45 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$
$C_3$	0.014	0.017

جدول ۵: مقایسه پارامترهای کانال یاء قبل و بعد از شکل ۵: مقایسه وضعیت کانال یاء در شبیه‌سازی و واقعیت

در این قسمت اصلاح پارامترهای کانال رول-پیچ با اثر متقابل کانال‌ها بر یکدیگر انجام شده‌است.



(ب) کانال پیچ



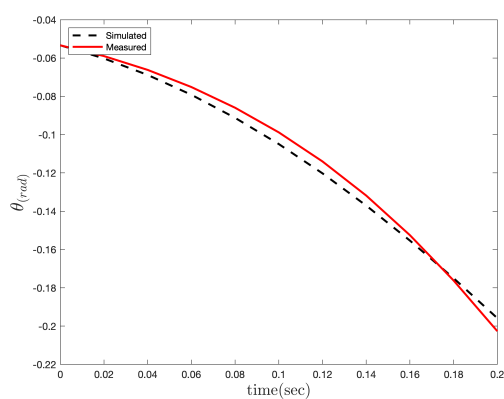
(آ) کانال رول

شکل ۶: مقایسه وضعیت کانال رول-پیچ در شبیه‌سازی و واقعیت

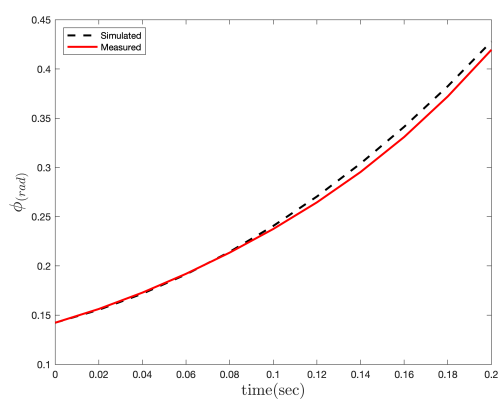
پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$A_4$	0.0015	0.0020
$B_4$	-0.0015	-0.0027

جدول ۶: مقایسه پارامترهای کانال رول-پیچ قبل و بعد از اصلاح

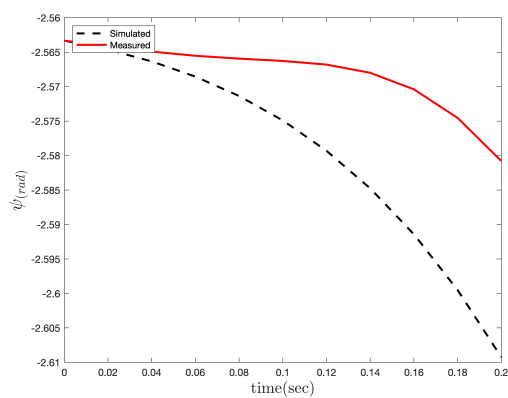
در پایان اصلاح پارامترهای کانال رول-پیچ-یاو با اثر متقابل تمام کانال‌ها بر یکدیگر انجام شده‌است.



(ب) کانال پیچ



(آ) کانال رول



(ج) کانال یاو

شکل ۷: مقایسه وضعیت کانال رول-پیچ-یاو در شبیه‌سازی و واقعیت

پارامتر	مقدار اولیه	مقدار بعد از اصلاح
$A_2$	-0.9521	-1.5652
$B_2$	0.9523	1.5707
$C_1$	-0.0017	-0.0085

جدول ۷: مقایسه پارامترهای کانال رول-پیچ-یاو قبل و بعد از اصلاح

## مراجع

- [1] L. Sprekelmeyer. *These We Honor: The International Aerospace Hall of Fame*. 2006.
- [2] M. J. Hirschberg. A perspective on the first century of vertical flight. *SAE Transactions*, 108:1113–1136, 1999.
- [3] T. Lee, M. Leok, and N. H. McClamroch. Geometric tracking control of a quadrotor uav on  $se(3)$ . In *49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, pages 5420–5425, 2010.
- [4] <http://gcrc.sharif.edu>. 3dof quadcopter, 2021. [Online; accessed November 2, 2021], Available at <https://cutt.ly/yYMvhYv>.
- [5] wired. the physics of drones, 2021. [Online; accessed June 8, 2021], Available at <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>.
- [6] nobelprize.org. Jean tirole, 2021. [Online; accessed October 17, 2021], Available at <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2014/tirole/facts/>.
- [7] B. Djehiche, A. Tcheukam, and H. Tembine. Mean-field-type games in engineering. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 1(1):18–73, 2017.
- [8] W. L. Brogan. *Modern control theory*. 1974.
- [9] J. Engwerda. Linear quadratic differential games: An overview. *Advances in Dynamic Games and their Applications*, 10:37–71, 03 2009.
- [10] R. Pordal. Control of a single axis attitude control system using a linear quadratic integral regulator based on the differential game theory.

- 
- [11] P. Abeshtan. Attitude control of a 3dof quadrotor stand using intelligent back-stepping approach. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2016.
  - [12] P. Zipfel. *Modeling and Simulation of Aerospace Vehicle Dynamics*. AIAA education series. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000.
  - [13] A. Sharifi. Real-time design and implementation of a quadcopter automatic landing algorithm taking into account the ground effect. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2010.
  - [14] M. A. A. Bishe. Attitude control of a 3dof quadrotor stand using a heuristic nonlinear controller. January 2018.
  - [15] E. Norian. Design of status control loops of a laboratory quadcopter mechanism and its pulverizer built-in using the automatic tool code generation. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2014.
  - [16] K. Ogata. *Modern Control Engineering*. Instrumentation and controls series. Prentice Hall, 2010.
  - [17] A. Karimi, H. Nobahari, and P. Siarry. Continuous ant colony system and tabu search algorithms hybridized for global minimization of continuous multi-minima functions. *Computational Optimization and Applications*, 45(3):639–661, Apr 2010.



Sharif University of Technology  
Department of Aerospace Engineering

Bachelor Thesis

# **LQIDG Controler for 3DOF Quadcopter Stand**

By:

**Ali BaniAsad**

Supervisor:

**Dr. Nobahari**

July 2022