



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

۱-۰-۰ تخمین پارامترهای کانال رول	۲
----------------------------------	---

## فهرست شکل‌ها

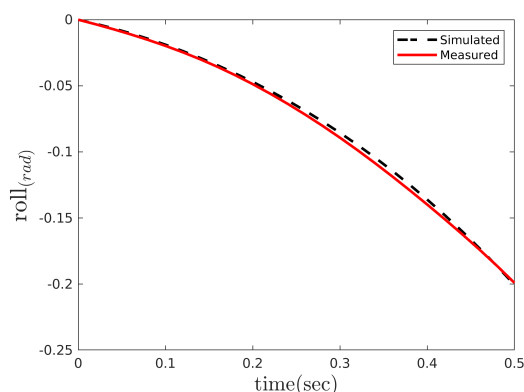
۱	مقایسه وضعیت کانال رول موتور خاموش شبیه‌سازی و واقعیت	۲
۲	مقایسه وضعیت استند در آزمایش چهارم و شبیه‌سازی، پس از تخمین پارامترهای کانال	
	رول	۲

## فهرست جدول‌ها

۱	مقایسه پارامترهای کانال رول موتور خاموش قبل و بعد از اصلاح	۲
---	--	---

به علت زیاد بودن پارامترهای شبیه‌سازی چهارپره ابتدا پارامترهای هر کانال به صورت جداگانه (بدون در نظر گرفتن تاثیر متقابل دیگر کانال‌ها) اصلاح شدند. سپس، پارامترهای کانال رول-پیچ و در نهایت کانال رول-پیچ-یاو (با در نظر گرفتن تاثیر متقابل دیگر کانال‌ها) اصلاح شدند. برای افزایش دقت پارامترها، برای 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 گفته شده در بالا، پارامترهای اصلاح شده‌ی مرحله قبلی ثابت فرض می‌شدند و سایر پارامترها به جعبه‌ابزار Parameter Estimator داده می‌شدند. برای اصلاح پارامتر هر مرحله چندین آزمایش با سناریوهای مختلف انجام شده است و خروجی اصلاح پارامتر بر اساس تمام آزمایش‌های معتبر است، اما در گزارش از آوردن تمامی آزمایش‌ها پرهیز شده است و تنها خروجی یک آزمایش آورده شده است.

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

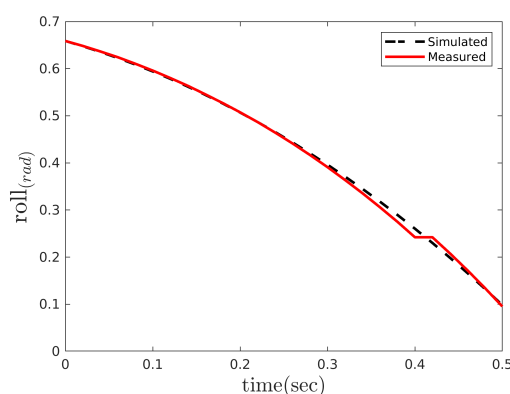


پارامتر	مقدار پارامتر	مقدار پارامتر بعد از اصلاح
$A_1$	7.312	4.152
$A_5$	0.0087	0.0190
$A_6$	0.51	0.65

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

### ۱-۰-۰ تخمین پارامترهای کانال رول

برای اصلاح پارامترهای رول چندین آزمایش انجام شد و با استفاده از داده‌های ثبت شده از وضعیت استند در کانال رول و جعبه‌ابزار Parameter Estimator، پارامترهای کانال رول اصلاح شدند. برای انجام آزمایش هر یک از موتورهای دو و چهار با دور مختلف شروع به حرکت کردند و از خروجی سنسور داده برداری شد. سپس، مدل و داده‌های ثبت شده‌ی سنسور (وضعیت استند در کانال رول) به جعبه‌ابزار Parameter Estimator داده شد. وضعیت کانال رول استند در شبیه‌سازی و واقعیت بعد از اصلاح پارامترهای کانال رول در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مقایسه شده است.



شکل ۲: مقایسه وضعیت استند در آزمایش چهارم و شبیه‌سازی، پس از تخمین پارامترهای کانال رول



## 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] P. Abeshtan. Attitude control of a 3dof quadrotor stand using intelligent back-stepping approach. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2016.

- 
- [11] P. Zipfel. *Modeling and Simulation of Aerospace Vehicle Dynamics*. AIAA education series. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000.
  - [12] A. Sharifi. Real-time design and implementation of a quadcopter automatic landing algorithm taking into account the ground effect. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2010.
  - [13] M. A. A. Bishe. Attitude control of a 3dof quadrotor stand using a heuristic nonlinear controller. January 2018.
  - [14] 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.
  - [15] Model-based design, 2021. [Online; accessed December 16, 2021], Available at <https://www.pngegg.com/en/png-xdlhx>.
  - [16] 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 Controller for 3DOF Quadcopter Stand**

By:

**Ali BaniAsad**

Supervisor:

**Dr. Nobahari**

July 2022