



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

شهریور ۱۴۰۰

سلام افلا

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^۱ 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^۲ که هدف آن کم کردن تابع هزینه با فرض بدترین حرکت دیگر بازیکن است، انجام می‌شود. این روش نسبت به اغتشاش خارجی و نویز سنسور مقاوم است. همچنین نسبت به عدم قطعیت مدل‌سازی نیز از مقاومت مناسبی برخوردار است. از روش ارائه شده برای کنترل یک استند سه درجه آزادی چهارپره که به نوعی یک آونگ معکوس نیز هست، استفاده شده است. عملکرد این روش با اجرای شبیه‌سازی‌های مختلف مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. همچنین، عملکرد آن در حضور نویز و اغتشاش و عدم قطعیت مدل از طریق شبیه‌سازی ارزیابی خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: چهارپره، بازی دیفرانسیلی، تئوری بازی، تعادل نش، استند سه درجه آزادی، شبیه‌سازی، تابع هزینه

¹Game Theory

²Nash Equilibrium

فهرست مطالب

۲	۱ مقدمه
۲	۱-۱ تاریخچه
۳	۲-۱ تعریف مسئله
۴	۱-۲-۱ ساختار بالگرد
۵	۲-۲-۱ ساختار چهارپره
۶	۳-۱ نظریه بازی
۶	۱-۳-۱ تاریخچه نظریه بازی
۶	۲-۳-۱ تعادل نش
۷	۲ بازی دیفرانسیلی
۸	۱-۲ بازی حلقه باز
۱۰	۲-۲ بازی همراه با بازخورد
۱۱	۳ مدل سازی چهارپره
۱۲	۱-۳ فرضیات مدل سازی
۱۳	۲-۳ معادله گشتاور
۱۵	۱-۲-۳ گشتاورهای ناشی از آیرودینامیک پره ها

۱۶	۲-۲-۳ گشتاور ناشی از نیروی تکیه‌گاه
۱۸	۳-۳ گشتاورهای ناشی از اصطکاک بیرینگ‌ها
۱۹	۱-۳-۳ استخراج معادله نهایی دینامیک دورانی
۲۱	۴-۳ استخراج فرم فضای حالت
۲۳	۵-۳ خطی‌سازی
۲۴	۱-۵-۳ خطی‌سازی به فرم چند ورودی چند خروجی
۲۸	۲-۵-۳ خطی‌سازی به فرم یک ورودی یک خروجی
۳۳	۶-۳ شبیه‌سازی کانال‌های مختلف استند سه درجه آزادی در محیط سیمولینک
۳۳	۱-۶-۳ شبیه‌سازی کانال رول در محیط سیمولینک
۳۴	۲-۶-۳ شبیه‌سازی کانال پیچ در محیط سیمولینک
۳۶	۳-۶-۳ شبیه‌سازی کانال یاو در محیط سیمولینک
۳۷	۴-۶-۳ شبیه‌سازی کانال رول-پیچ در محیط سیمولینک
۳۹	۷-۳ شبیه‌سازی استند سه درجه آزادی در حضور کنترل‌کننده
۴۰	۱-۷-۳ شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQR

فهرست شکل‌ها

- ۱-۱ استند کنترل وضعیت سه درجه آزادی چهارپره [۴] ۳
- ۲-۱ بالگرد شینوک [۵] ۴
- ۳-۱ جهت چرخش پره‌های چهارپره [۶] ۵
- ۱-۳ شماتیک استند چهارپره ۱۲
- ۲-۳ مدل کانال رول استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۳
- ۳-۳ مدل کانال رول استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۳
- ۴-۳ نمایی از داخل بلوک Quad System ۳۴
- ۵-۳ مدل کانال رول استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۴
- ۶-۳ مدل کانال رول استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۵
- ۷-۳ نمایی از داخل بلوک Quad System ۳۵
- ۸-۳ مدل کانال رول استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۶
- ۹-۳ مدل کانال یاو استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۶
- ۱۰-۳ نمایی از داخل بلوک Quad System ۳۷
- ۱۱-۳ مدل کانال رول-پیچ استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و خروجی‌ها ۳۷

۱۲-۳	مدل کانال رول-پیچ استند چهارپره شبیه‌سازی شده در سیمولینک و نمایش ورودی و
۳۸	خروجی‌ها
۳۸	۱۳-۳ نمایشی از داخل بلوک Quad System

فهرست جدول‌ها

۱-۳	پارامترهای شبیه‌سازی استند چهارپره [۱۳]	۲۲
-----	---	----

۱-۵ شبیه‌سازی استند سه درجه آزادی در حضور کنترل‌کننده

در بخش ۱-۲ و ۲-۲ کنترل‌کننده خطی مبتنی بر بازی دیفرانسیلی در حالت حلقه باز و حلقه بسته معرفی شد. در این بخش ابتدا کنترل‌کننده LQR و سپس کنترل‌کننده‌های LQDG و LQIDG شبیه‌سازی می‌شوند.

۱-۱-۰ شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQR

در بخش ۱-۶-۳ شبیه‌سازی کانال رول استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQR پرداخته می‌شود. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۱۴] استفاده شده است.

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] dreamstime. boeing ch chinook, 2021. [Online; accessed June 8, 2021], Available at <https://cutt.ly/onRvD7x>.
- [6] wired. the physics of drones, 2021. [Online; accessed June 8, 2021], Available at <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>.
- [7] nobelprize.org. Jean tirole, 2021. [Online; accessed October 17, 2021], Available at <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2014/tirole/facts/>.
- [8] J. Engwerda. Linear quadratic differential games: An overview. *Advances in Dynamic Games and their Applications*, 10:37–71, 03 2009.
- [9] P. Abeshtan. Attitude control of a 3dof quadrotor stand using intelligent back-stepping approach. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2016.

-
- [10] P. Zipfel. *Modeling and Simulation of Aerospace Vehicle Dynamics*. AIAA education series. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000.
 - [11] A. Sharifi. Real-time design and implementation of a quadcopter automatic landing algorithm taking into account the ground effect. *MSc Thesis (PhD Thesis)*, 2010.
 - [12] M. A. A. Bishe. Attitude control of a 3dof quadrotor stand using a heuristic nonlinear controller. January 2018.
 - [13] 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.
 - [14] 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

LQDG Controller for 3DOF Quadcopter Stand

By:

Ali BaniAsad

Supervisor:

Dr. Nobahari

August 2021