



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

## 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	شبیه‌سازی استند سه درجه آزادی در حضور کنترل‌کننده	۱
۱-۱-۰	شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQR	۱
۲-۱-۰	شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQDG	۲
۳-۱-۰	شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG	۳
۴-۱-۰	شبیه‌سازی کانال رول-پیچ استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG	۴
۵-۱-۰	شبیه‌سازی سه درجه آزادی استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG	۸

## فهرست شکل‌ها

۱	عملکرد LQR در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۲
۲	عملکرد LQDG در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۳
۳	عملکرد LQIDG در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۴
۴	تغییرات زاویه رول . . . . .	۵
۵	تغییرات زاویه پیچ . . . . .	۵
۶	عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۵
۷	موتور شماره یک . . . . .	۶
۸	موتور شماره دو . . . . .	۶
۹	فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۶
۱۰	موتور شماره سه . . . . .	۷
۱۱	موتور شماره چهار . . . . .	۷
۱۲	فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۷
۱۳	تغییرات زاویه رول . . . . .	۹
۱۴	تغییرات زاویه پیچ . . . . .	۹
۱۵	عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول، پیچ و یاد (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۹
۱۶	تغییرات زاویه یاء . . . . .	۱۰
۱۷	عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول، پیچ و یاد (تعقیب ورودی صفر) . . . . .	۱۰

۲۱	موتور شماره سه	۱۱
۲۲	موتور شماره چهار	۱۱
۲۳	فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول، پیچ و یاو (تعقیب ورودی صفر)	۱۱
۱۸	موتور شماره یک	۱۲
۱۹	موتور شماره دو	۱۲
۲۰	فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول، پیچ و یاو (تعقیب ورودی صفر)	۱۲

## فهرست جدول‌ها

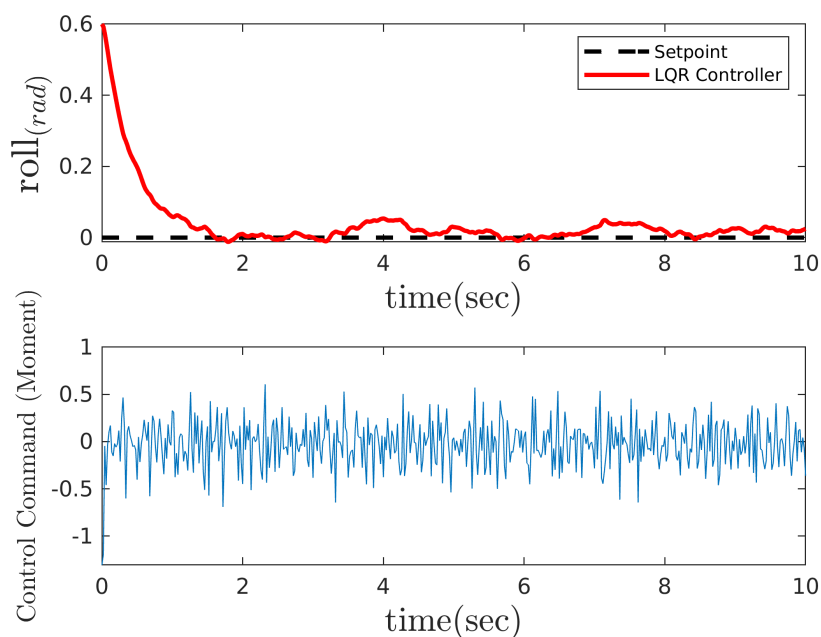
### ۱-۰ شبیه‌سازی استند سه درجه آزادی در حضور کنترل‌کننده

در بخش ؟؟ و ؟؟ کنترل‌کننده خطی مبتنی بر بازی دیفرانسیلی در حالت حلقه‌باز و حلقه‌بسته 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 ؟؟ 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 [۱] استفاده شده است.



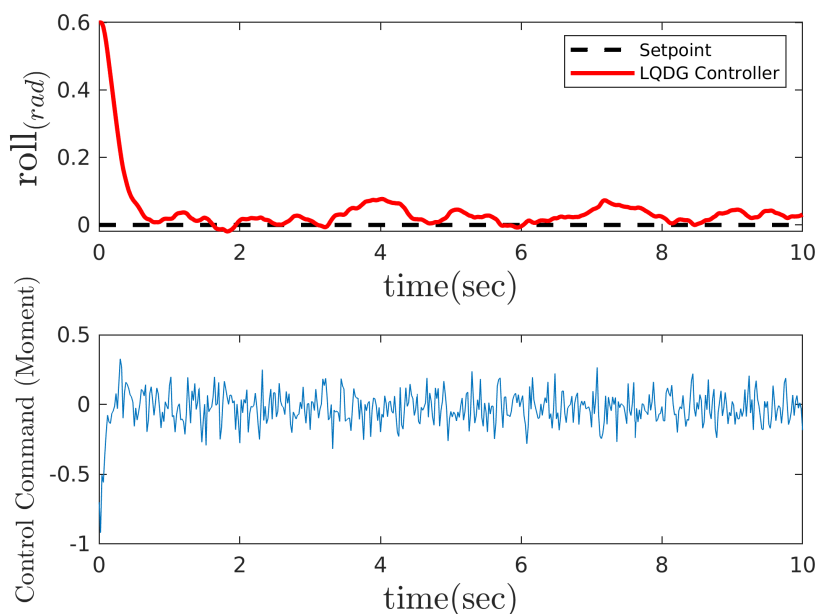


شکل ۱: عملکرد LQR در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر)

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۱-۱-۰)، کانال رول در حضور کنترل‌کننده LQR در حدود پنج ثانیه به تعادل می‌رسد اما دارای خطای ماندگار است.

## ۱-۰-۲ شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQDG

در بخش ۱-۰-۲ شبیه‌سازی کانال رول استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQDG پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده LQDG در بخش‌های ۱-۰-۲ و ۱-۰-۳ بررسی شده است. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۱] استفاده شده است.

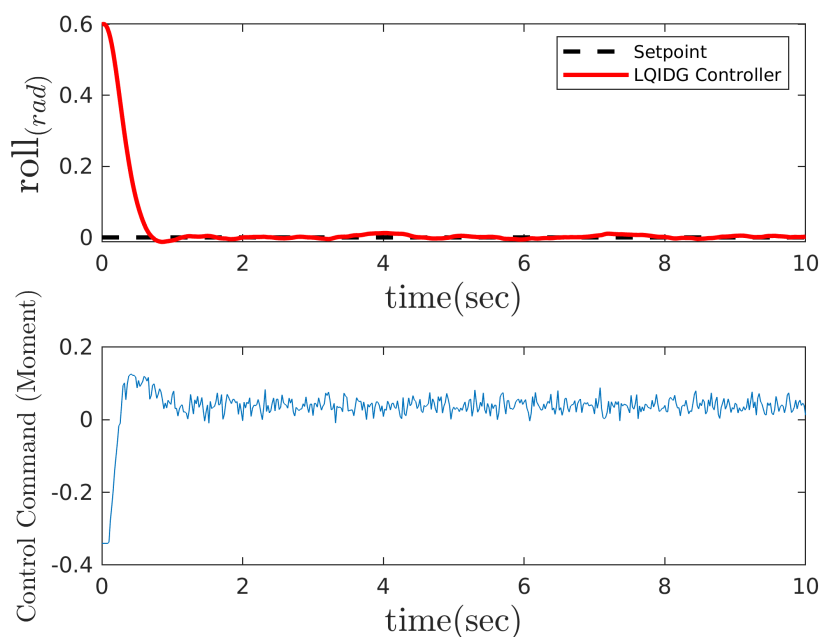


شکل ۲: عملکرد LQDG در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر)

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۱-۲)، کانال رول در حضور کنترل‌کننده LQDG در کمتر از پنج ثانیه به تعادل می‌رسد اما دارای خطای ماندگار است ولی خطای مانگار آن نسبت به کنترل‌کننده بخش ۱-۱-۰ کمتر است. به دلیل خطای ماندگار، در بخش انتگرال‌گیر به کنترل‌کننده اضافه می‌شود تا خطای مانگار استند را کم کند.

### ۱-۳-۰ شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG

در بخش ۱-۳-۰ شبیه‌سازی کانال رول استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQIDG پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده LQDG در بخش‌های ۱-۳-۰ و ۱-۳-۱ بررسی شده است. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۱] استفاده شده است.

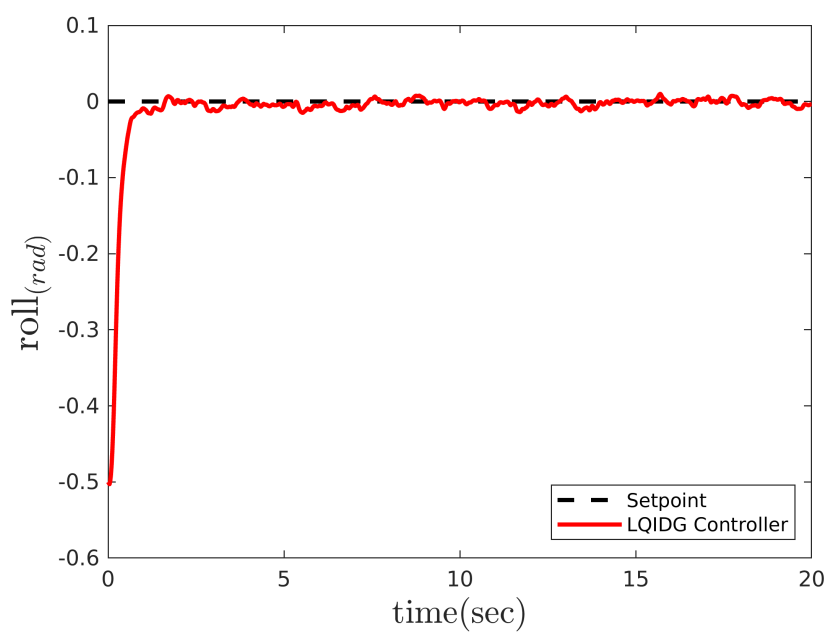


شکل ۳: عملکرد LQIDG در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر)

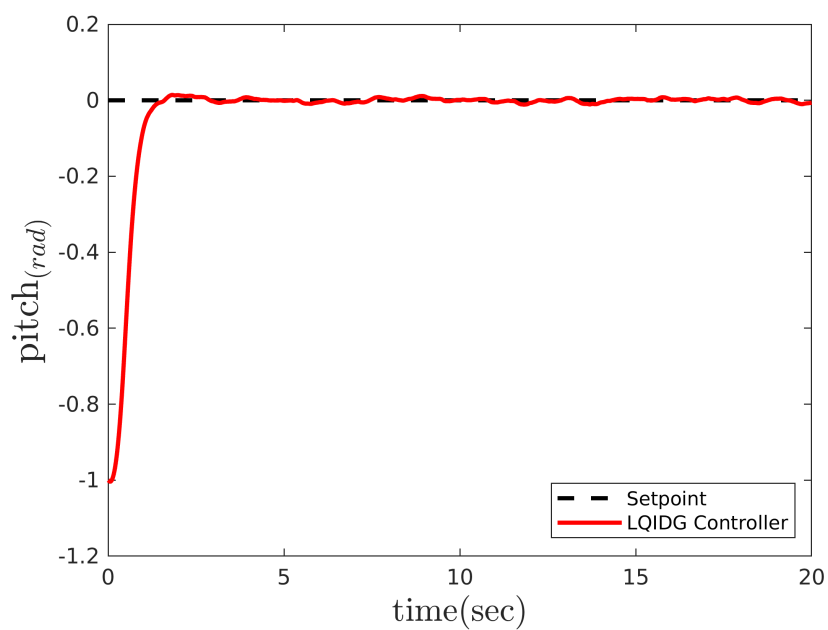
بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۱-۳-۰)، کانال رول در حضور کنترل‌کننده LQIDG در حدود پنج ثانیه به تعادل می‌رسد و خطای ماندگار آن در حدود صفر است.

#### ۴-۱-۰ شبیه‌سازی کانال رول-پیچ استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG

در بخش ۱-۱-۰ شبیه‌سازی کانال رول استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQIDG پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده LQDG در بخش‌های ۱-۱-۰ و ۱-۱-۱ بررسی شده است. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۱] استفاده شده است.

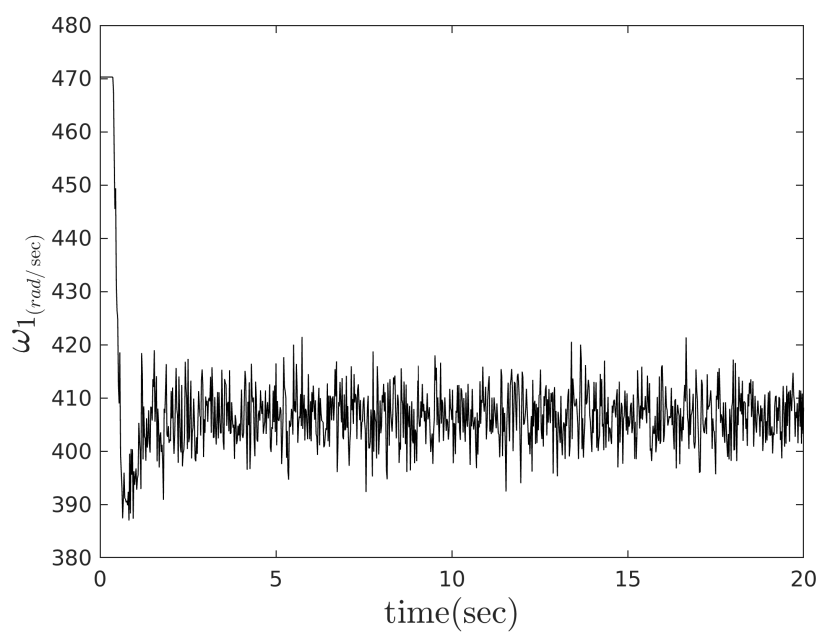


شکل ۴: تغییرات زاویه رول

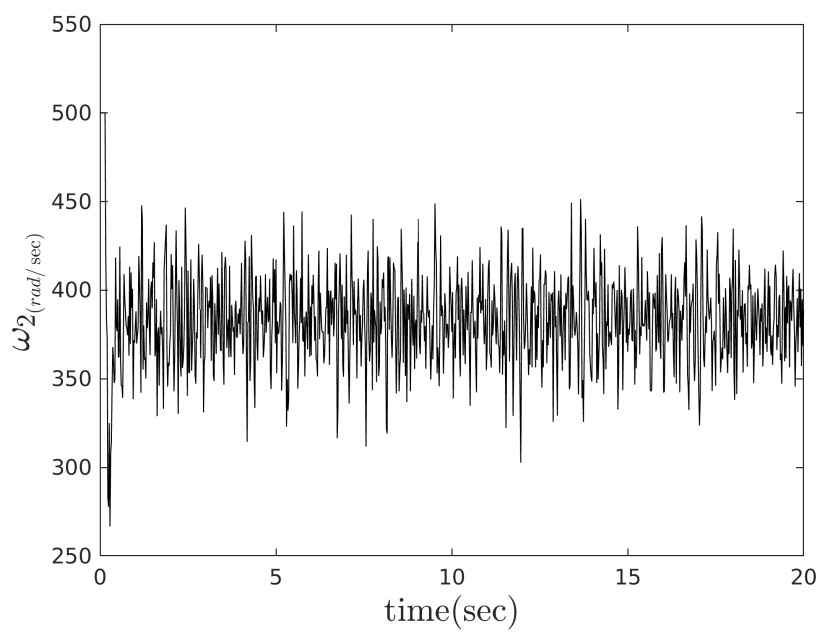


شکل ۵: تغییرات زاویه پیچ

شکل ۶: عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

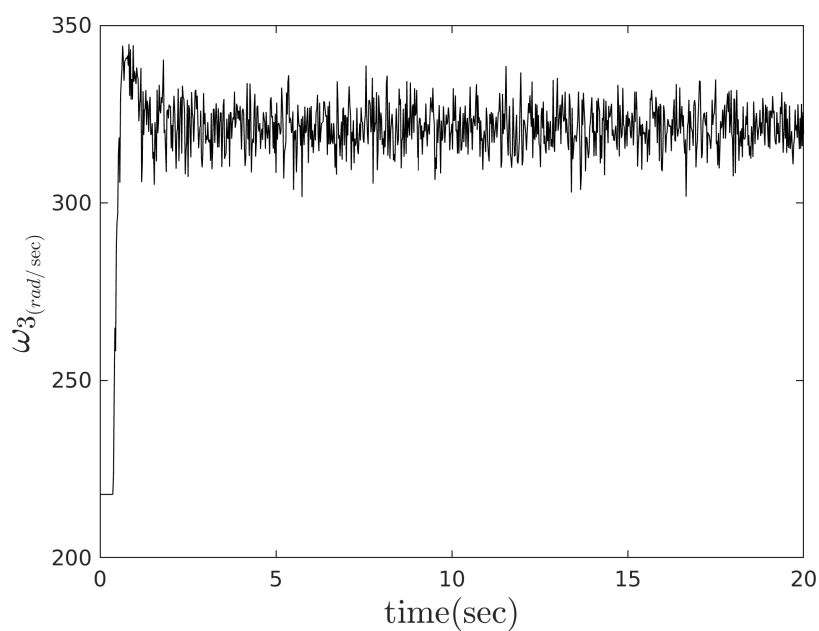


شکل ۷: موتور شماره یک

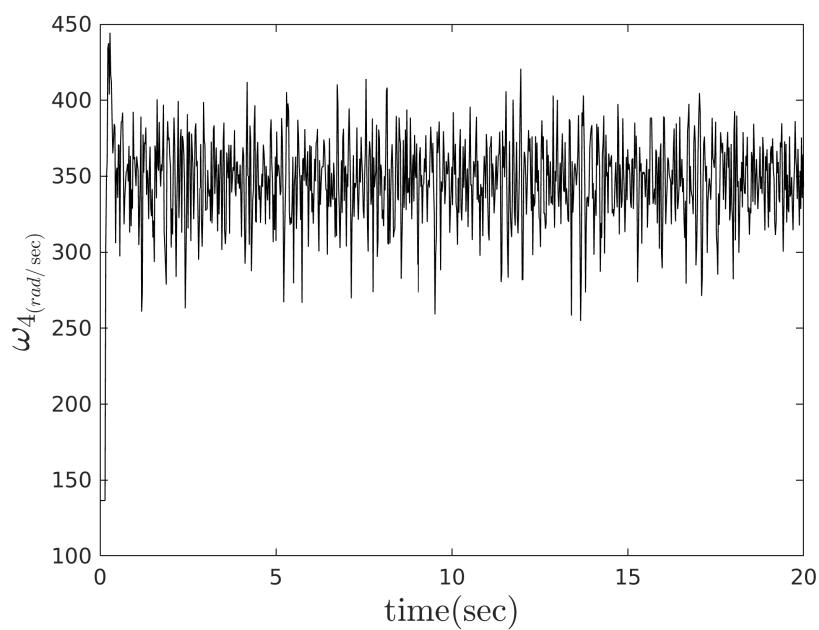


شکل ۸: موتور شماره دو

شکل ۹: فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)



شکل ۱۰: موتور شماره سه



شکل ۱۱: موتور شماره چهار

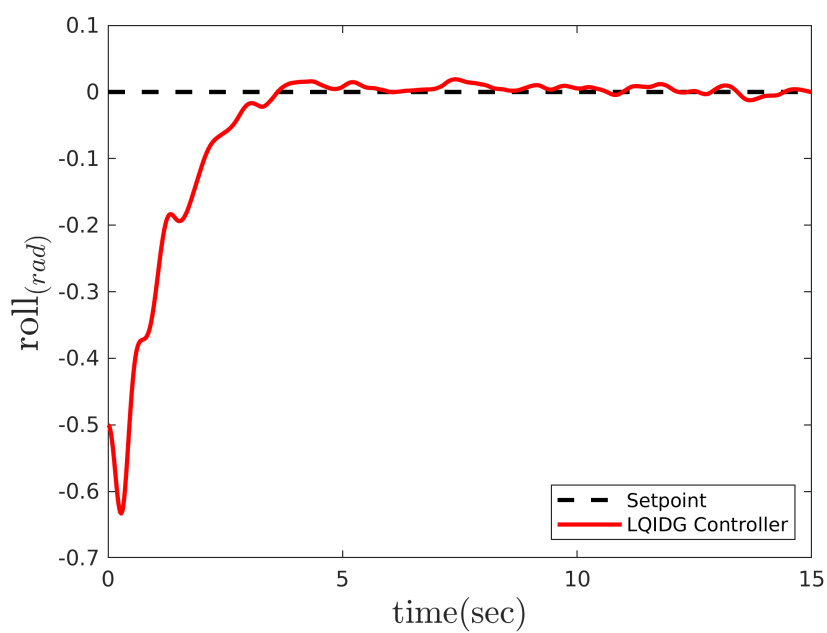
شکل ۱۲: فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۱-۳-۰)، کانال رول در حضور کنترل‌کننده LQIDG در حدود پنج

ثانیه و کانال پیچ در حدود هشت ثانیه به تعادل می‌رسد و خطای ماندگار آن در حدود صفر است.

### ۵-۱-۰ شبیه‌سازی سه درجه آزادی استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG

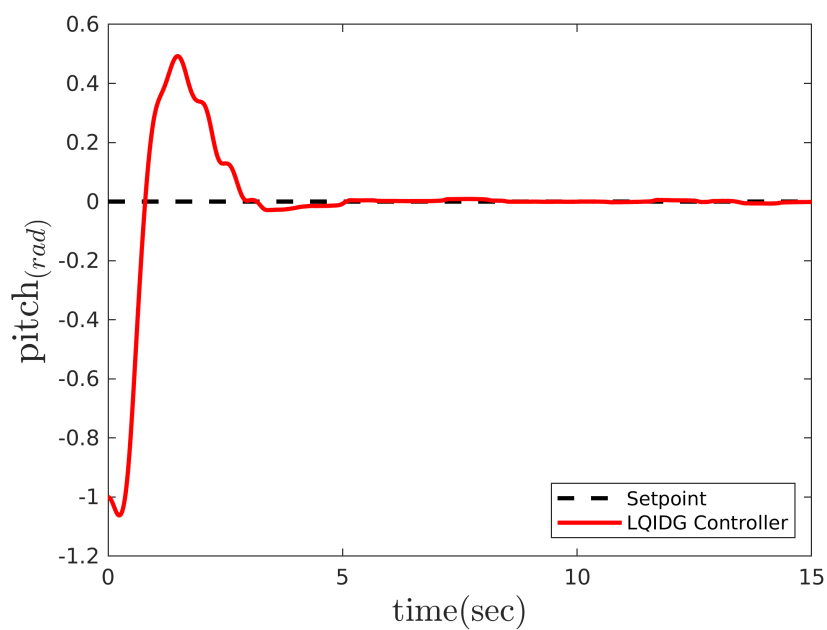
در بخش؟؟ شبیه‌سازی سه درجه آزادی استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQIDG پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده LQDG در بخش‌های؟؟ و؟؟ بررسی شده است. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۱] استفاده شده است.



(I)

H

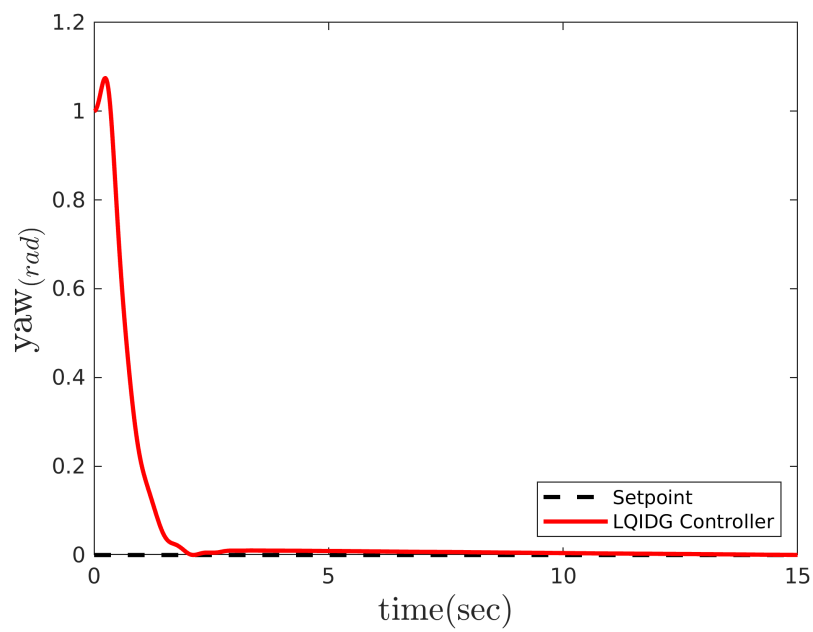
شکل ۱۳: تغییرات زاویه رول



شکل ۱۴: تغییرات زاویه پیچ

شکل ۱۵: عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول، پیچ و یاد (تعقیب ورودی صفر)



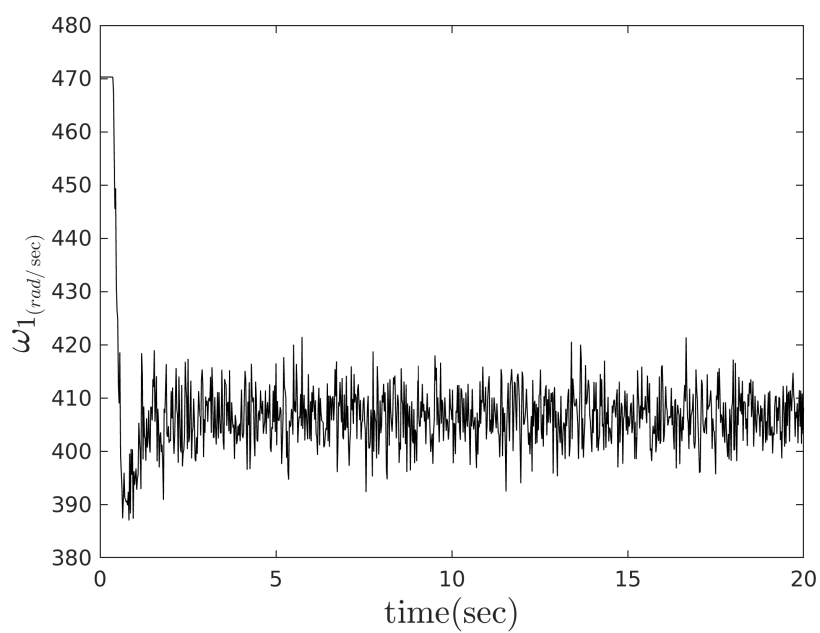


(I)

H

شکل ۱۶: تغییرات زاویه یارو

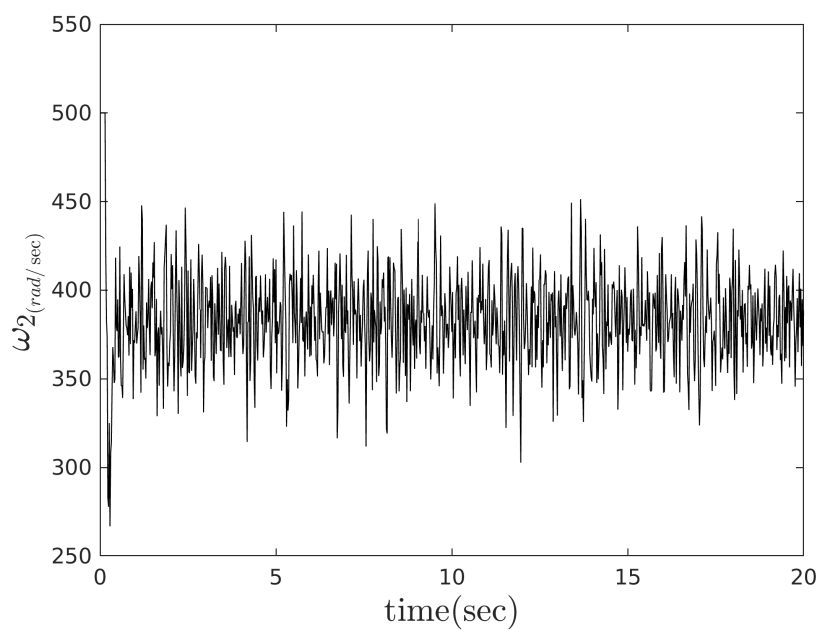
شکل ۱۷: عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول، پیچ و یارو (تعقیب ورودی صفر)



(İ)

H

شکل ۱۸: موتور شماره یک

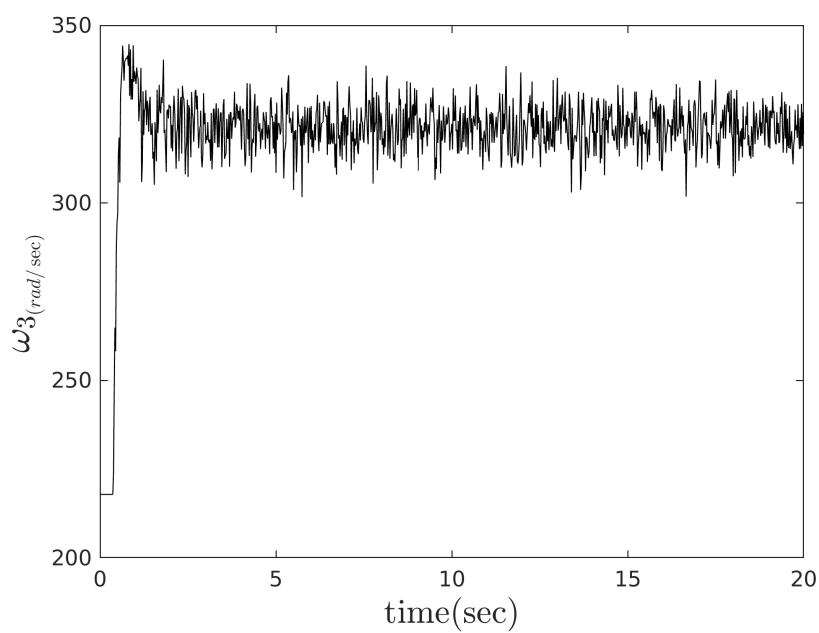


(İ)

H

شکل ۱۹: موتور شماره دو

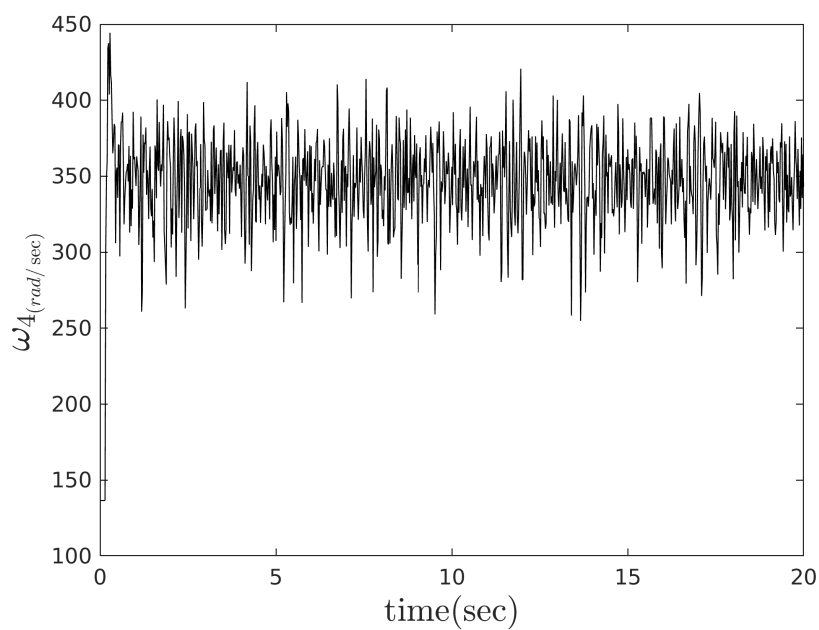
شکل ۲۰: فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول، پیچ و یاد (تعقیب ورودی صفر)



(İ)

H

شکل ۲۱: موتور شماره سه



(İ)

H

شکل ۲۲: موتور شماره چهار

شکل ۲۳: فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول، پیچ و یاو (تعقیب ورودی صفر)

## مراجع

- [1] 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 Controler for 3DOF Quadcopter Stand**

By:

**Ali BaniAsad**

Supervisor:

**Dr. Nobahari**

August 2021