



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^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 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

¹Game Theory

²Nash Equilibrium

فهرست مطالب

۱-۰	پیا‌ده‌سازی کنترل‌کننده بر رویه استند سه درجه آزادی	۱
۱-۱-۰	پیا‌ده‌سازی کنترل‌کننده LQR بر رویه کانال پیچ	۱
۲-۱-۰	شبه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQDG	۲
۳-۱-۰	شبه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG	۳
۴-۱-۰	شبه‌سازی کانال رول-پیچ استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG	۴
۵-۱-۰	شبه‌سازی سه درجه آزادی استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG	۵

فهرست شکل‌ها

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

فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . .	۱۰	۱۸
موتور شماره سه	۱۱	۱۹
موتور شماره چهار	۱۱	۲۰
فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . .	۱۱	۲۱
تغییرات زاویه رول	۱۲	۲۲
تغییرات زاویه پیچ	۱۲	۲۳
عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)	۱۲	۲۴
موتور شماره یک	۱۳	۲۵
موتور شماره دو	۱۳	۲۶
فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . .	۱۳	۲۷
موتور شماره سه	۱۴	۲۸
موتور شماره چهار	۱۴	۲۹
فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر) . .	۱۴	۳۰

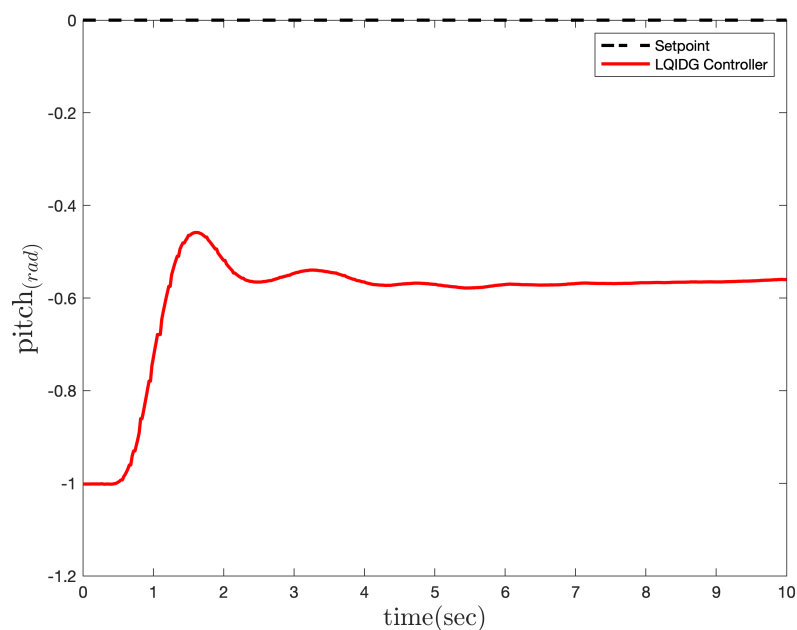
فهرست جدول‌ها

۱-۰ پیاده‌سازی کنترل‌کننده بر رویه استند سه درجه آزادی

؟؟ و ؟؟ کنترل‌کننده خطی مبتنی بر بازی دیفرانسیلی در حالت حلقه‌باز و حلقه‌بسته معرفی شد. در بخش ؟؟ ابتدا کنترل‌کننده LQR و سپس کنترل‌کننده‌های LQDG و LQIDG در بخش‌های ۲-۱-۰، ۳-۱-۰، ۵-۱-۰ و ؟؟ شبیه‌سازی شدند. در این بخش به پیاده‌سازی کنترل‌کننده LQR و سپس کنترل‌کننده‌های LQDG و LQIDG پرداخته خواهد شد.

۱-۱-۰ پیاده‌سازی کنترل‌کننده LQR بر رویه کانال پیچ

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 [۲] استفاده شده است.

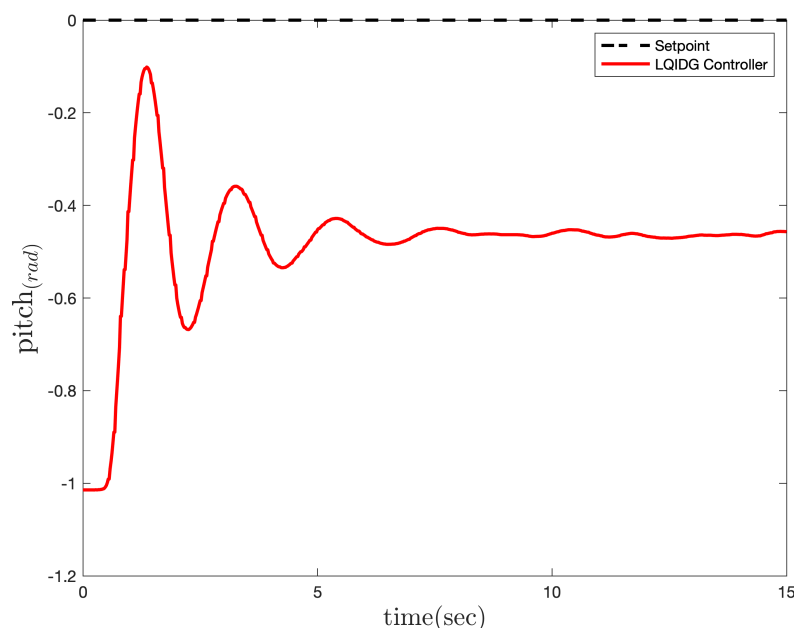


شکل ۱: عملکرد LQR در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر)

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.

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

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

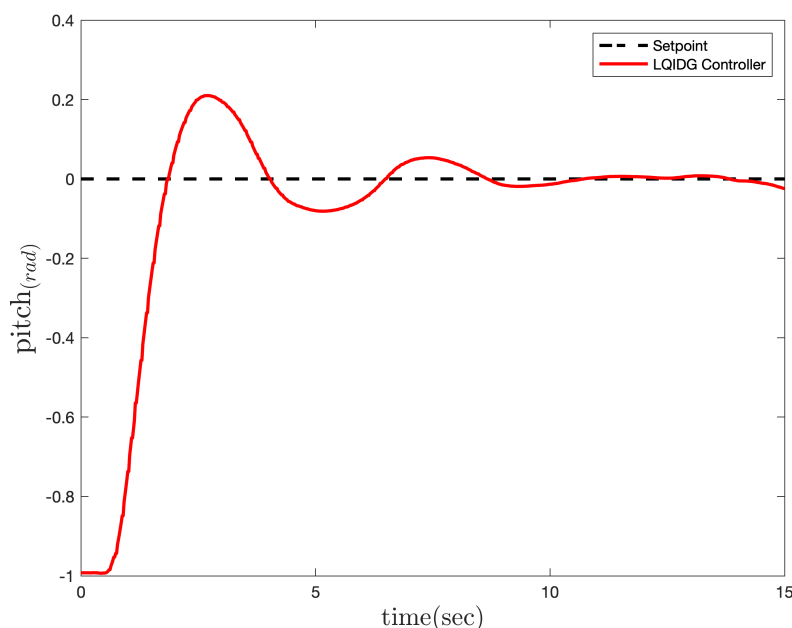


شکل ۵: عملکرد LQDG در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر)

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۴)، کانال رول در حضور کنترل‌کننده LQDG در کمتر از پنج ثانیه به تعادل می‌رسد اما دارای خطای ماندگار است ولی خطای ماندگار آن نسبت به کنترل‌کننده بخش ۴ کمتر است. به دلیل خطای ماندگار، در بخش انتگرال‌گیر به کنترل‌کننده اضافه می‌شود تا خطای ماندگار استند را کم کند.

۳-۱-۵ شبیه‌سازی کانال رول استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG

در بخش ۴ شبیه‌سازی کانال رول استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQIDG پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده LQDG در بخش‌های ۴ و ۴ بررسی شده است. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۲] استفاده شده است.



شکل ۹: عملکرد LQDG در کنترل زاویه رول (تعقیب ورودی صفر)

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۹؟)، 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

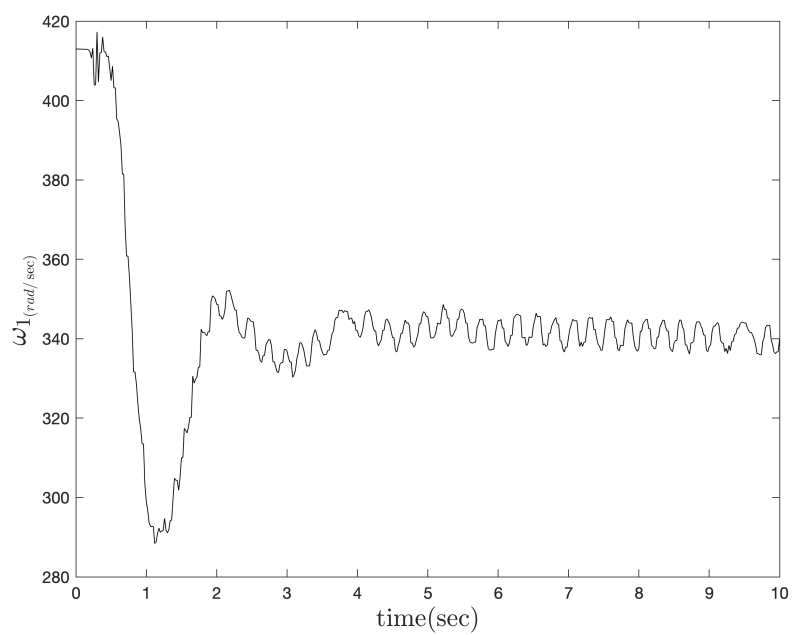
در بخش ۹؟ شبیه‌سازی کانال رول استند چهارپره انجام شد. در این بخش به بررسی عملکرد چهارپره در حضور کنترل‌کننده LQIDG پرداخته می‌شود. کنترل‌کننده LQDG در بخش‌های ۹؟ و ۹؟ بررسی شده است. در شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی ضرایب وزنی از روش TCACS [۲] استفاده شده است.

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ۹؟)، 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.

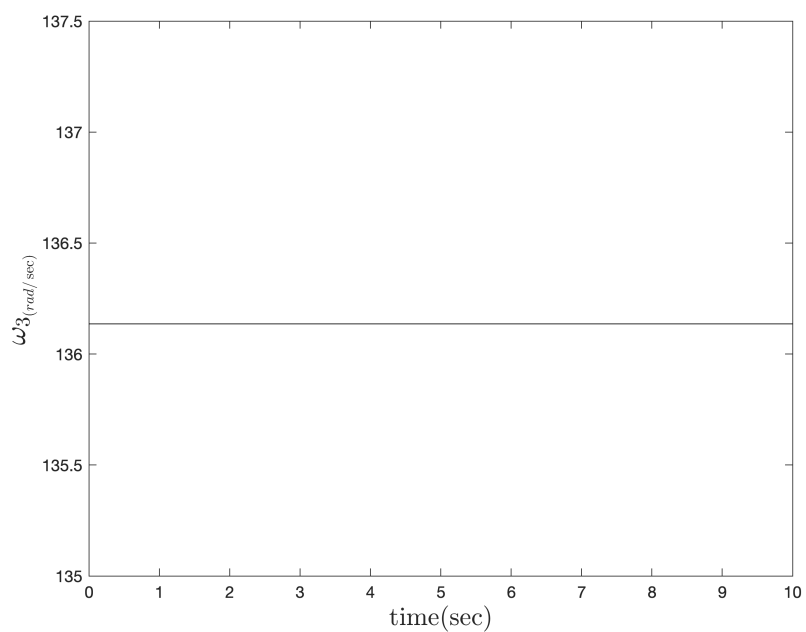
۵-۱-۰ شبیه‌سازی سه درجه آزادی استند در حضور کنترل‌کننده LQIDG

در بخش ؟؟ شبیه‌سازی کانال رول 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 [۲] استفاده شده است.

بر اساس خروجی شبیه‌سازی (شکل ؟؟)، 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.

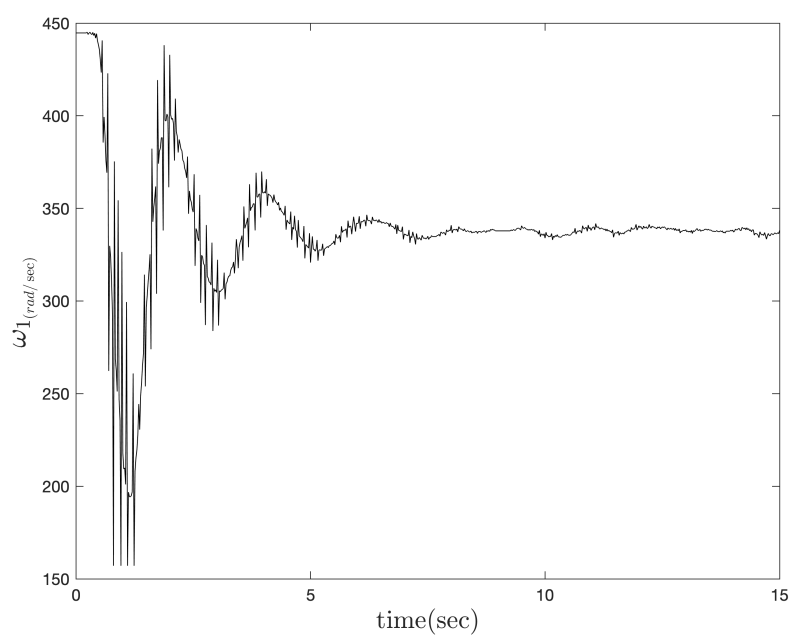


شکل ۲: موتور شماره یک

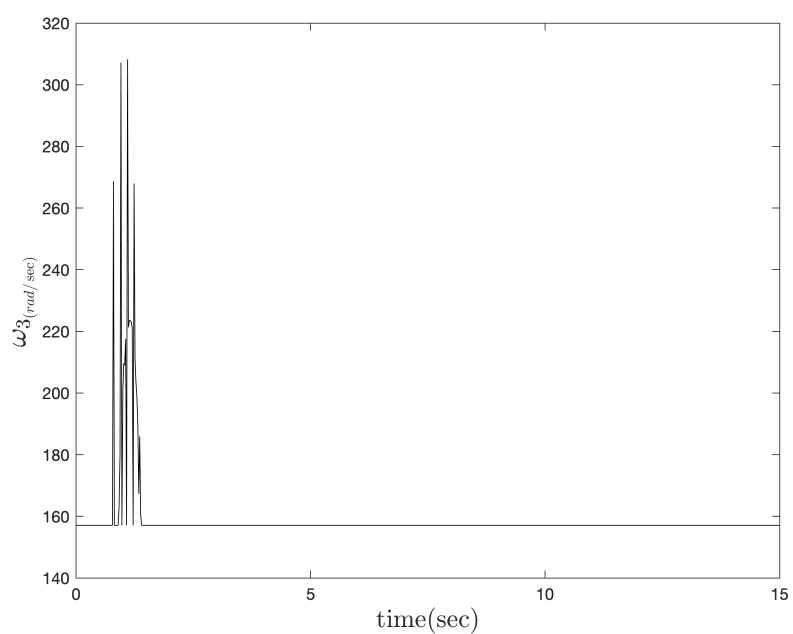


شکل ۳: موتور شماره سه

شکل ۴: فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

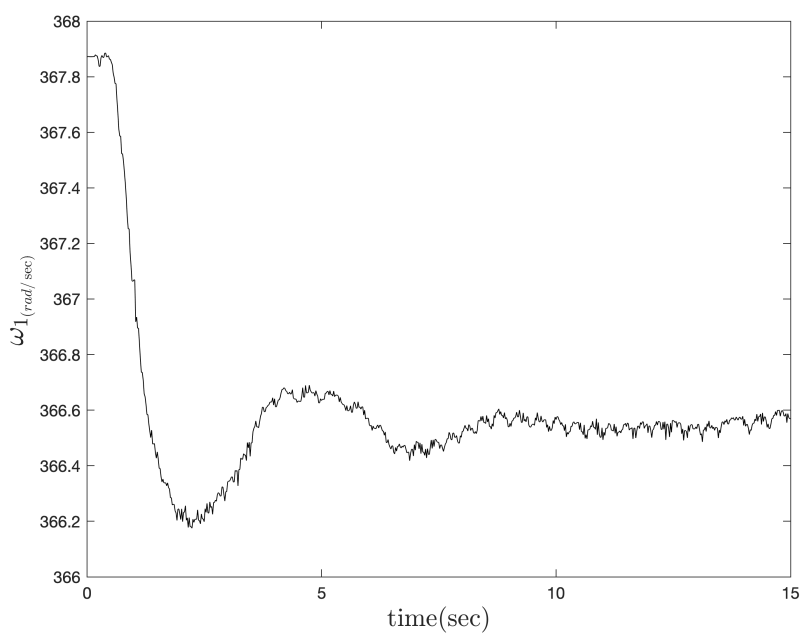


شکل ۶: موتور شماره یک

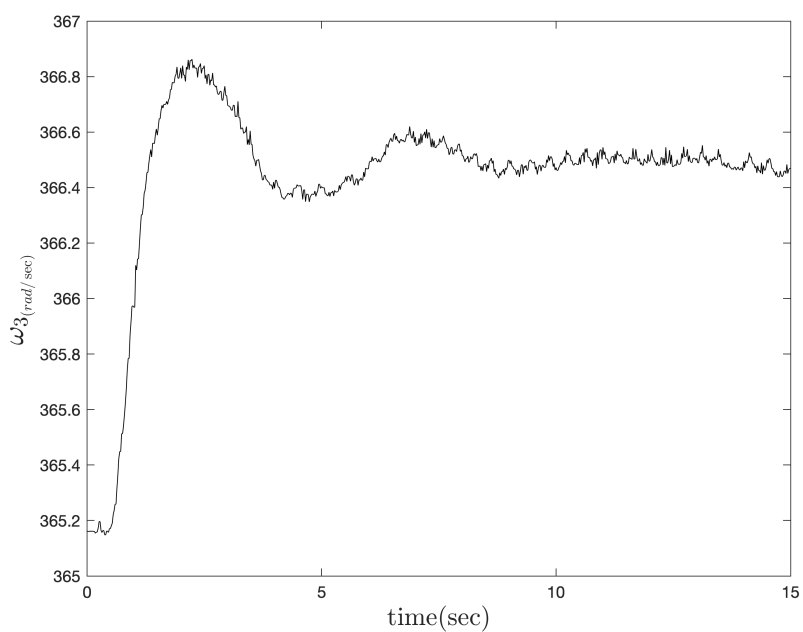


شکل ۷: موتور شماره سه

شکل ۸: فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

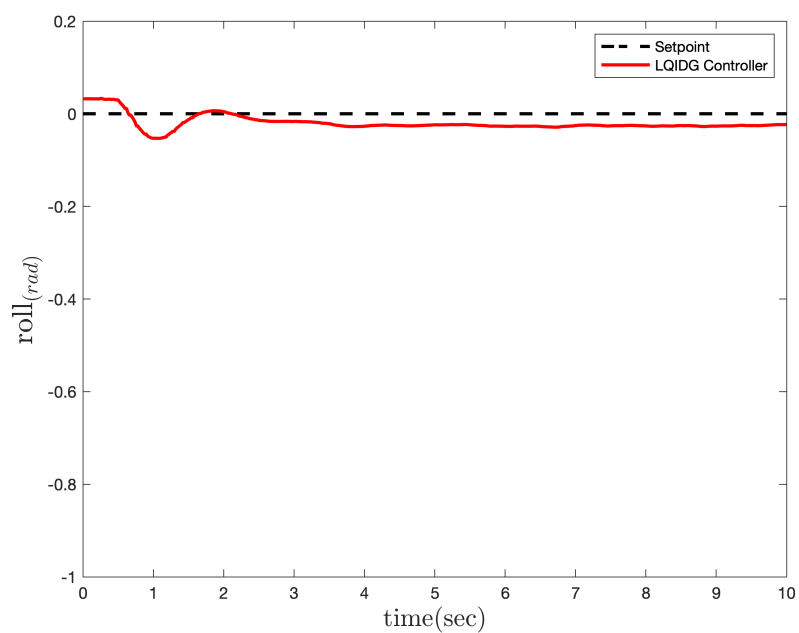


شکل ۱۰: موتور شماره یک

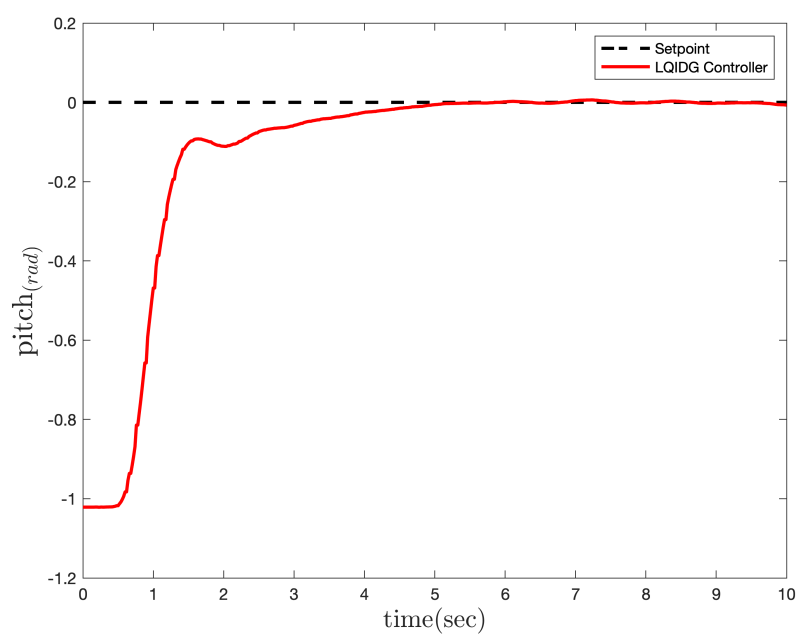


شکل ۱۱: موتور شماره سه

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

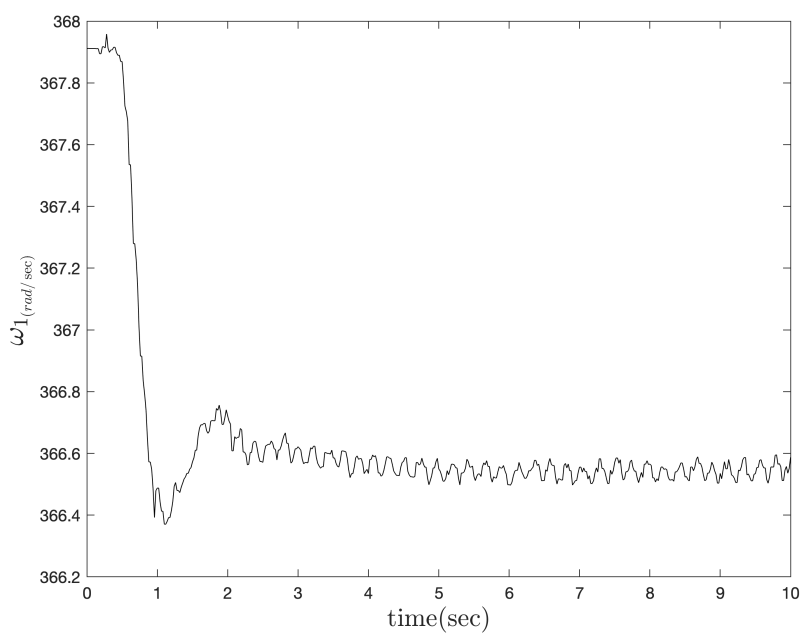


شکل ۱۳: تغییرات زاویه رول

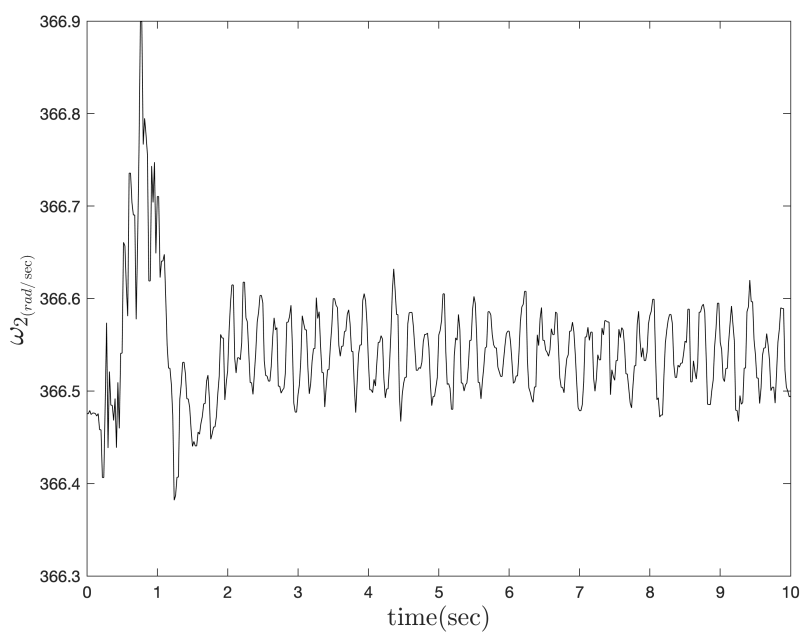


شکل ۱۴: تغییرات زاویه پیچ

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

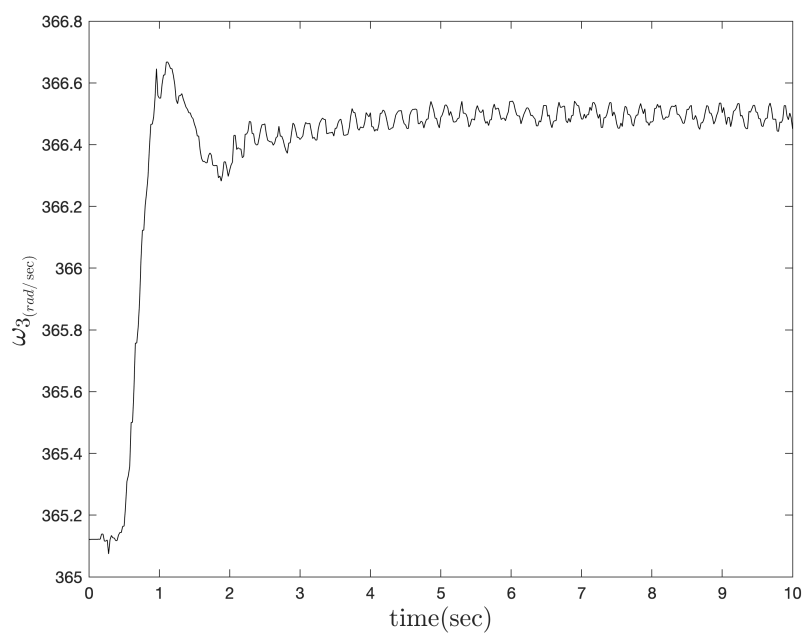


شکل ۱۶: موتور شماره یک

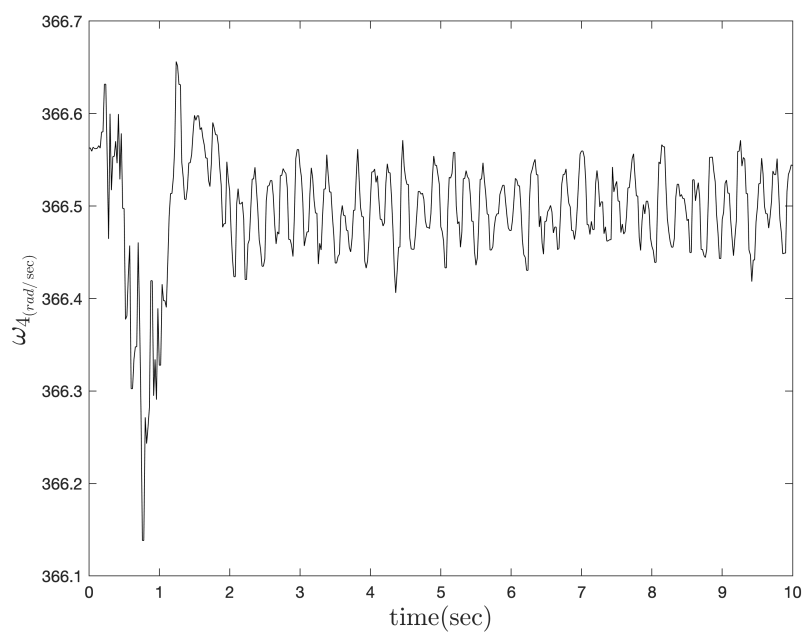


شکل ۱۷: موتور شماره دو

شکل ۱۸: فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

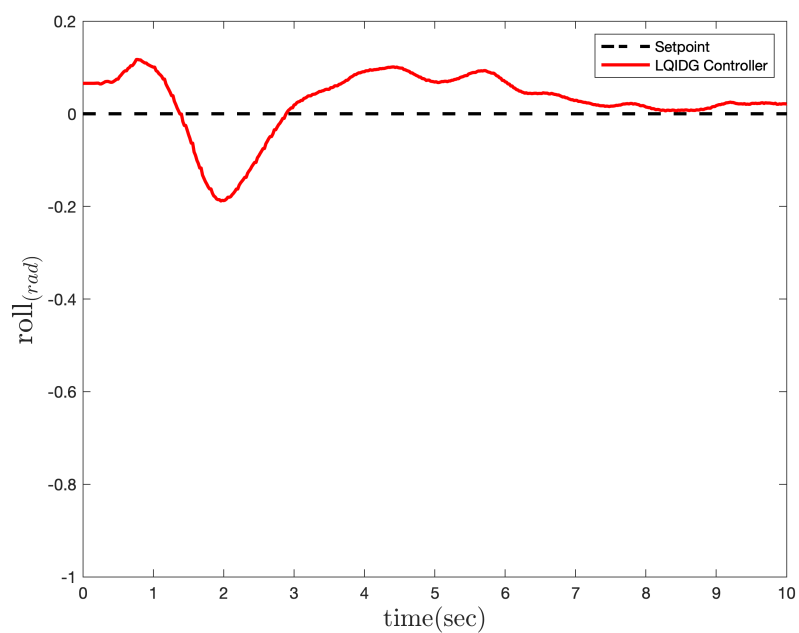


شکل ۱۹: موتور شماره سه

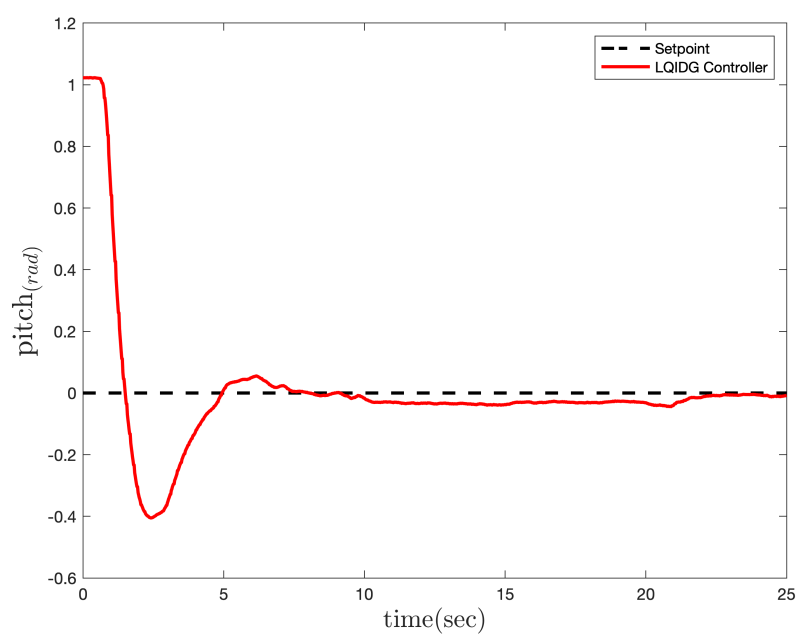


شکل ۲۰: موتور شماره چهار

شکل ۲۱: فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

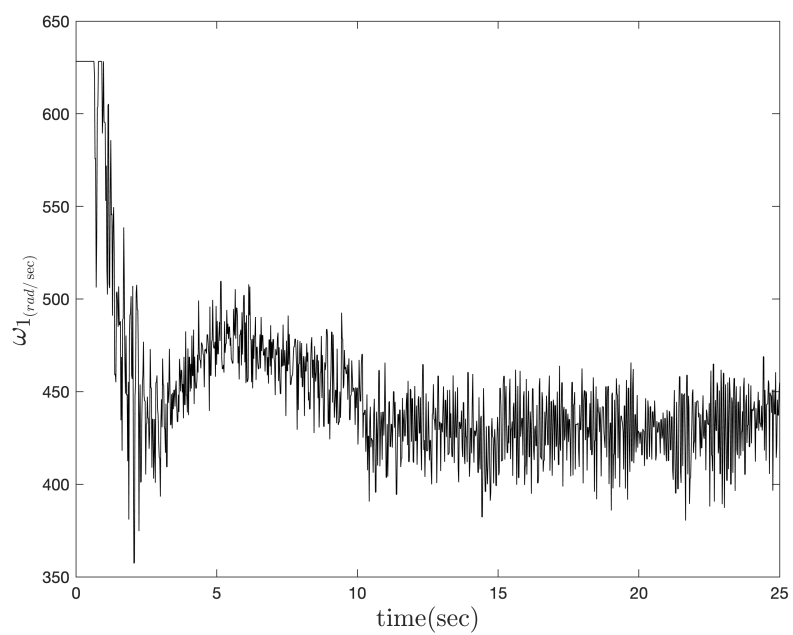


شکل ۲۲: تغییرات زاویه رول

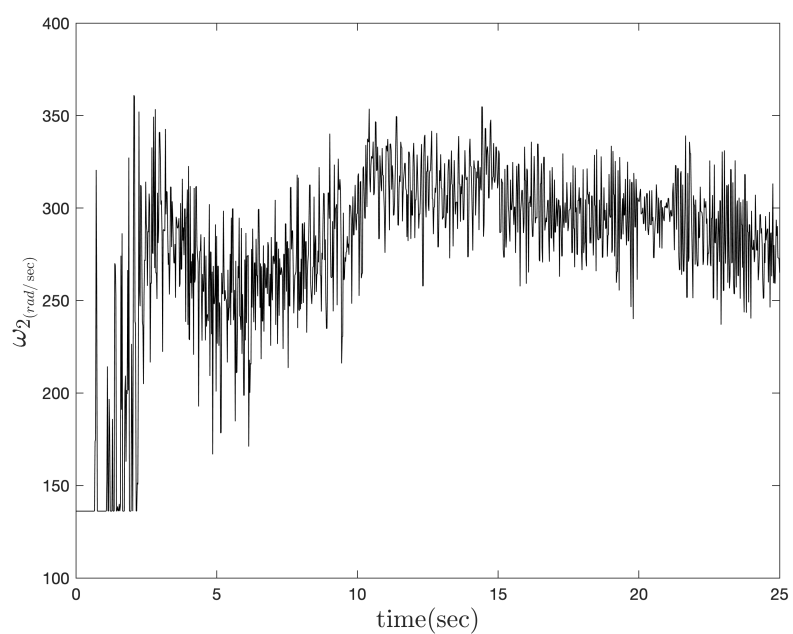


شکل ۲۳: تغییرات زاویه پیچ

شکل ۲۴: عملکرد کنترل‌کننده LQIDG در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

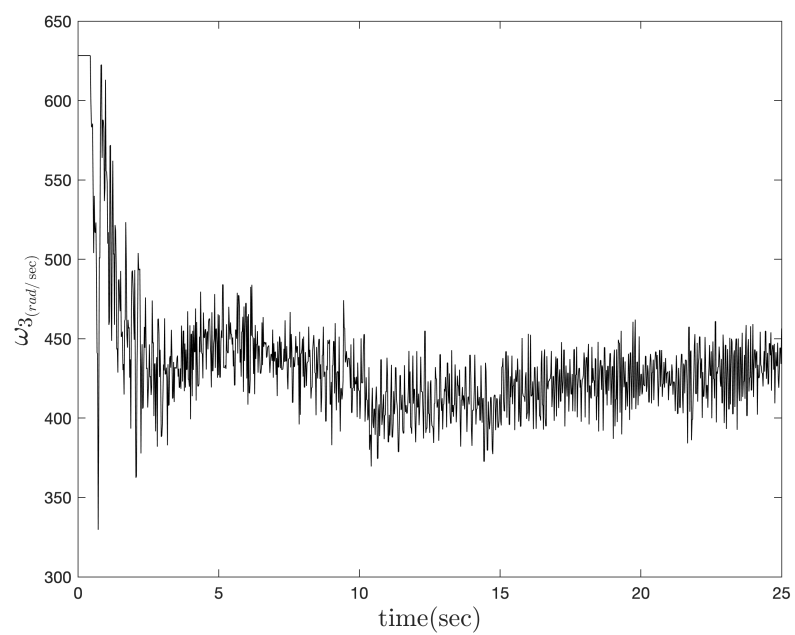


شکل ۲۵: موتور شماره یک

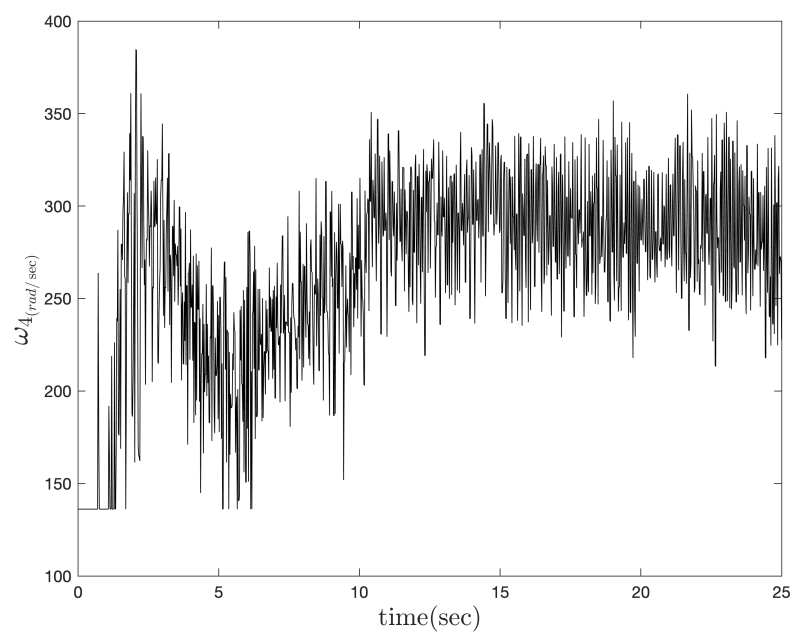


شکل ۲۶: موتور شماره دو

شکل ۲۷: فرمان کنترل‌کننده موتور یک و دو در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)



شکل ۲۸: موتور شماره سه



شکل ۲۹: موتور شماره چهار

شکل ۳۰: فرمان کنترل‌کننده موتور سه و چهار در کنترل زاویه رول و پیچ (تعقیب ورودی صفر)

مراجع

- [1] Model-based design, 2021. [Online; accessed December 16, 2021], Available at <https://www.pngegg.com/en/png-xdlhx>.
- [2] 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