

بسم الله الرحمن الرحيم

کنترل موقعیت ماهواره

محمد کریمی حسین آبادی

صابر زارع آغداش

زمستان ۱۳۹۵

سرشناسه:	کنترل موقعیت ماهواره
عنوان و نام پدیدآور:	Satellite Attitude Control / کنترل موقعیت ماهواره
مشخصان نشر:	تهران، دانشکده علوم و فنون فارابی، ۱۳۹۵
مشخصات ظاهری:	۵۱۰ صفحه، مصور، جدول
شابک:	
قیمت:	۲۵۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا
یادداشت عنوان اصلی:	Satellite Attitude Control
موضوع:	مخابرات در مهندسی نظامی
موضوع:	ماهواره
موضوع:	کنترل موقعیت ماهواره
شناسه افزوده:	ریسمی، حسن آبادی، محمد، ۱۳۶۰ - مولف
شناسه افزوده:	زارع، آغداش، صابر، ۱۳۶۱ - مولف
شناسه افزوده:	دانشکده علوم و فنون فارابی
رده‌بندی کنگره:	پیش چاپ
رده‌بندی دیویی:	پیش چاپ

نام کتاب: کنترل موقعیت ماهواره

نویسنده: محمد کریمی حسین آبادی - صابر زارع آغداش

مدیر اجرایی: یونس خزلی

ویراستار علمی: حمید حیدری - حسین مهدی زاده

ویراستار ادبی: علیرضا شفیعی

تنظیم:

طرح جلد: صابر زارع آغداش

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

تاریخ انتشار: زمستان ۱۳۹۵

ناشر: انتشارات دانشکده علوم و فنون فارابی

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

همکاران، محققان و استادان گرامی و ارجمند می‌توانند نظرات اصلاحی خود را درباره این کتاب به آدرس تهران- صندوق پستی ۴۵۷۳-۱۹۳۹۵ معاونت پژوهش ارسال نمایند.

فهرست

پیش‌گفتار.....	۱۳
فصل ۱: مقدمه.....	۱۷
۱-۱ مقدمه.....	۱۷
۲-۱ معرفی کتاب‌ها و مقالات در موضوع کنترل وضعیت ماهواره.....	۲۰
فصل ۲: ژيروسکوپ.....	۲۵
۲-۱ مقدمه.....	۲۵
۲-۲ خواص ژيروسکوپ.....	۲۹
۳-۲ اثر گردش زمین بر ژيروسکوپ.....	۳۶
۴-۲ چرخش ظاهری ژيروسکوپ.....	۳۸
۴-۲-۱ تبدیل ژيروسکوپ به جایرو.....	۴۳
۴-۲-۲ نحوه متعادل کردن جایرو.....	۴۷
۵-۲ قسمت‌های مختلف المان حساس جایرو.....	۶۴
۵-۲-۱ موتور جایرو.....	۶۵
۵-۲-۲ حلقه‌ی عمودی.....	۶۶
۵-۲-۳ وزنه‌های خنثی‌کننده.....	۶۶
۵-۲-۴ شاخص دنباله‌رو (فالوآپ).....	۶۷
۵-۲-۵ سیم‌های تعلیق المان حساس (رابط نگه‌دارنده).....	۶۷
۵-۲-۶ بالستیک جیوه‌ای.....	۶۷
۵-۲-۷ قسمت فانتوم (نگه‌دارنده المان حساس).....	۶۹
۵-۲-۸ اسپایدر.....	۷۱
۵-۲-۹ سیستم کنترل جایرو.....	۷۲

۷۲	۲-۵-۱۰ موتور ژنراتور.....
۷۳	۲-۵-۱۱ سیستم تغذیه از باتری.....
۷۳	۲-۵-۱۲ تنظیم کننده سرعت (تابلو کنترل).....
۷۳	۲-۵-۱۳ موارد استفاده از جاپرو.....
۷۳	۲-۵-۱۴ جاپرو مهارشده.....
۷۸	۲-۵-۱۵ جاپروی آزاد.....
۸۲	
۸۲	۲-۶-۱ سازمان ساسی انواع ژيروسکوپ.....
۸۲	۲-۶-۲ ژيروسکوپ دو درجه آزادی.....
۸۳	۲-۶-۲ ژيروسکوپ یک درجه آزادی.....
۸۴	۲-۷ تقسیم بندی ژيروسکوپ ها.....
۹۳	فصل ۳: سیستم کنترل وضعیت.....
۹۳	۳-۱ مقدمه.....
۹۸	۳-۲ حسگرهای وضعیت.....
۱۰۰	۳-۳ کنترل کننده الکترونیکی.....
۱۰۰	۳-۴ عملگرهای وضعیت.....
۱۰۰	۳-۵ روش های پایداری سازی و کنترل وضعیت.....
۱۰۲	۳-۵-۱ پایداری سازی چرخان.....
۱۰۳	۳-۵-۲ پایداری سازی چرخان دوگان.....
۱۰۵	۳-۵-۳ پایداری سازی سه محوره.....
۱۰۷	۳-۵-۴ پایداری سازی غیرفعال.....
۱۰۷	۳-۵-۵ پایداری سازی گرادیان جاذبه ای.....
۱۰۹	۳-۵-۶ پایداری سازی مغناطیسی غیرفعال.....

۱۱۰	۶-۳ عملگرهای کنترل وضعیت
۱۱۵	۷-۳ وسایل تبادل اندازه حرکت
۱۱۶	۱-۷-۳ چرخ عکس‌العملی
۱۱۷	۲-۷-۳ چرخ مونتوم
۱۲۰	۳-۷-۳ جابجایی کنترل اندازه حرکت
۱۲۲	۴-۷-۳ میله گشتاور مغناطیسی یا گشتاور دهنده مغناطیسی
۱۲۴	۷-۳ میراگر نوسان محوری
۱۲۶	۲-۷-۳ میله‌های گرادیان جاذبه‌ای
۱۲۸	۸-۳ حسگرها: کنترل سرعت
۱۲۹	۱-۸-۳ حسگر - ررشید
۱۲۹	۲-۸-۳ حسگر آنالوگ، خود شیدی
۱۳۰	۳-۸-۳ حسگر دیجیتال خود شیدی
۱۳۲	۴-۸-۳ حسگر حضور خورشید
۱۳۲	۵-۸-۳ حسگر ستاره
۱۳۳	۶-۸-۳ حسگر زمین (حسگر تشخیص افق)
۱۳۸	۷-۸-۳ مغناطیس سنج
۱۴۲	فصل ۴: معادلات حرکت وضعی
۱۴۲	۱-۴ مقدمه
۱۴۲	۲-۴ معادلات سینماتیکی حرکت وضعی ماهواره
۱۴۳	۱-۲-۴ دستگاه‌های مختصات
۱۴۶	۲-۲-۴ ماتریس دوران (بر مبنای کسینوس‌های هادی)
۱۵۰	۳-۲-۴ زوایای اوپلر (ماتریس دوران بر مبنای زوایای اوپلر)
۱۵۳	۴-۲-۴ ماتریس دوران بر مبنای مولفه‌های اوپلر (کوآترینون‌ها)
۱۶۱	۳-۴ سرعت زاویه‌ای ماهواره
۱۶۳	۴-۴ معادلات سینماتیکی حرکت وضعی بر حسب زوایای اوپلر

۱۶۴.....	۵-۴ معادلات سینماتیکی حرکت وضعی بر حسب کوآرینئون‌ها
۱۶۵.....	۶-۴ معادلات دینامیکی حرکت وضعی ماهواره
۱۶۵.....	۶-۴-۱ اندازه حرکت زاویه‌ای
۱۶۶.....	۶-۴-۲ تغییر اندازه حرکت زاویه‌ای جسم صلب
۱۶۷.....	۶-۴-۳ ماتریس تانسور اینرسی جسم صلب
۱۷۲.....	فصل ۵: گشاورهای اغتشاشی وارده بر ماهواره
۱۷۲.....	۵-۱ مقدمه
۱۷۲.....	۵-۲ گشاورهای اغتشاشی محیطی
۱۷۲.....	۵-۲-۱ گشاور گرادیان جاذبه‌ای
۱۷۲.....	۵-۲-۲ گشاور مغناطیسی
۱۷۲.....	۵-۲-۳ گشاور آیرودینامیکی
۱۷۲.....	۵-۲-۴ گشاور فشار تشعشع خورشیدی
۱۷۲.....	۵-۲-۵ گشاور ناشی از برخورد ذرات ریز آسمانی
۱۷۲.....	۵-۲-۶ گشاور ناشی از پدیده تغییر شکل ترموالاستیک (تشعشع حرارتی)
۱۷۲.....	۵-۳ گشاورهای اغتشاشی داخلی
۱۷۲.....	۵-۳-۱ گشاور ناشی از حرکت مکانیزم‌های داخلی (مانند آنتن‌ها، ستورهای وضعیت و صفحات خورشیدی)
۱۷۲.....	۵-۳-۲ گشاور ناشی از حرکت سیالات داخلی
۱۷۳.....	۵-۳-۳ گشاور ناشی از عدم تنظیم رانشگرها
۱۷۳.....	۵-۳-۴ گشاور ناشی از تشعشع الکترومغناطیسی آنتن‌های توان بالا
۱۷۳.....	۵-۳-۵ گشاورهای ناشی از اثرات انعطاف‌پذیری سازه‌ای
۱۸۸.....	فصل ۶: کنترل مغناطیسی وضعیت ماهواره
۱۸۸.....	۶-۱ مقدمه

۱۸۸	۶-۲ تاریخچه و تحقیقات انجام شده.....
۱۹۳	۶-۳ معادلات عملگرهای مغناطیسی.....
۱۹۶	۶-۴ خطی سازی معادلات حرکت وضعی ماهواره.....
۱۹۷	۶-۴-۱ خطی سازی معادلات سینماتیک.....
۱۹۷	۶-۴-۲ خطی سازی ماتریس دوران.....
۱۹۸	۶-۴-۳ خطی سازی رابطه سرعت زاویه‌ای.....
۱۹۸	۶-۴-۴ خطی سازی مشتق کوآرنیون‌ها.....
۱۹۹	۶-۴-۵ خطی سازی معادلات دینامیکی.....
۱۹۹	۶-۴-۶ خطی سازی مدل دینامیکی.....
۲۰۱	۶-۴-۷ خطی سازی گسترش میدان جاذبه‌ای.....
۲۰۲	۶-۴-۸ خطی سازی گسترش کنترل مغناطیسی.....
۲۰۴	۶-۵ معادلات حالت خطی شده.....
۲۰۶	۶-۶ شبیه‌سازی معادلات خطی شده و مقایسه با معادلات غیرخطی.....
۲۰۹	۶-۷ مدل‌سازی میدان مغناطیسی زمین.....
۲۱۰	۶-۷-۱ تعیین میدان مغناطیسی زمین در دستگاه بدنی.....
۲۱۱	۶-۷-۲ شبیه‌سازی میدان مغناطیسی زمین.....
۲۱۴	۶-۸ ضمیمه.....
۲۲۳	فصل ۷: آنالیز و سنتز.....
۲۲۳	۷-۱ مقدمه.....
۲۲۸	۷-۲ مشخصه‌های عملکرد و پایداری مقاوم.....
۲۲۹	۷-۳ تبدیل کسری خطی و نمایش عدم قطعیت.....
۲۳۱	۷-۴ عدم قطعیت خطی مولفه‌های در معادلات حالت.....

۲۳۴	۵-۷ مقادیر تکن (استثنایی) ساختاردار.....
۲۳۹	۶-۷ خوش وضعی و عملکرد LFT ها.....
۲۴۰	۷-۷ آنالیز μ
۲۴۱	۸-۷ عملکرد مقاوم.....
۲۴۲	۹-۷ طراحی کنترل کننده با ستر μ
۲۴۷	فصل ۸: طراحی کنترل کننده و شبیه سازی.....
۲۴۷	۸-۱ مقدمه.....
۲۴۹	۸-۲ به دست آوردن نرم LFT.....
۲۵۱	۸-۳ انتخاب ساختار متصا کرده داخلی.....
۲۵۲	۸-۴ انتخاب توابع وزنی.....
۲۵۶	۸-۵ طراحی کنترل کننده با ستر μ
۲۶۵	۸-۶ طراحی نسل اول.....
۲۶۷	۸-۶-۱ آنالیز μ کنترل کننده نسل اول.....
۲۶۹	۸-۶-۲ شبیه سازی زمانی طراحی نسل اول.....
۲۷۱	۸-۷ طراحی نسل دوم.....
۲۷۳	۸-۷-۱ آنالیز μ کنترل کننده نسل دوم.....
۲۷۵	۸-۷-۲ شبیه سازی زمانی طراحی نسل دوم.....
۲۷۶	۸-۸ طراحی نسل سوم.....
۲۷۷	۸-۸-۱ آنالیز μ کنترل کننده نسل سوم.....
۲۷۹	۸-۸-۲ شبیه سازی زمانی طراحی نسل سوم.....
۲۸۵	۸-۹ شبیه سازی L.T.I با اختلالات تصادفی (L.T.I.D) با کمک Matlab.....

پیش گفتار

کتاب کنترل موقعیت ماهواره، از آن مجموعه کتاب‌های درسی است که به سبب گسترده بودن طیف کاربردی، از جذابیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند انگیزه لازم را در فراگیران ایجاد نماید. گستردگی موضوع به حدی است که هریک از واژه‌های مندرج در فصل‌های مختلف کتاب می‌تواند چندین واحد درسی را پوشش دهد.

در فصل اول این کتاب به تاریخچه‌ای از فناوری ماهواره و زیرسیستم‌های آن و همچنین مروری بر کتاب‌ها و مقالات در موضوع کنترل وضعیت ماهواره پرداخته شده است و کارهای تحقیقاتی انجام شده بر اساس الگوریتم مورد استفاده، دسته‌بندی شده‌اند. در فصل دوم، مروری بر زیرسکوپ‌ها به عنوان ابزاری قدرتمند برای تعیین موقعیت ماهواره، هواپیما، کشتی و به‌طور کلی هر سیستم ناوبری استفاده می‌شود، شده است.

در فصل سوم، سیستم کنترل وضعیت ماهواره را جزء آن به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل تمامی روش‌های پایدارسازی ماهواره، همه انواع عملگرها و حسگرهای مورد استفاده در این سیستم بررسی و مقایسه شده‌اند. با توجه به بررسی‌های انجام شده در فصل سوم، روش پایدارسازی سه محوره با استفاده از حسگرهای مغناطیسی و میله گرادیان جاذبه‌ای کمکی، به‌عنوان روش مناسب برای کنترل وضعیت ماهواره مورد نظر انتخاب گردیده است.

در فصل چهارم، معادلات کامل غیرخطی حرکت وضعی ماهواره پایدار شده‌ی سه محوره از معادلات پایه‌ای فیزیک مکانیک استخراج شده است. در این فصل ابتدا معادلات سینماتیکی حرکت وضعی ماهواره بعد از معرفی دستگاه‌های مختصات مورد استفاده،

ماتریس دوران، زوایای اوایلر و کواترنیون‌ها به دست آمده است. سپس معادلات دینامیکی ماهواره با فرض صلب بودن آن استخراج شده است.

در فصل پنجم تمامی گشتاورهای اغتشاشی وارد بر ماهواره که بر حرکت وضعی آن تأثیر می‌گذارند، بیان شده، سپس بعضی از مهم‌ترین آن‌ها بررسی شده و معادلات دقیق آن‌ها آمده است.

در فصل ششم ابتدا تاریخچه‌ای کامل از بحث کنترل مغناطیسی وضعیت ماهواره بیان شده و در ادامه، معادلات عملگرهای مغناطیسی به دست آمده است. سپس با استفاده از معادلات غیر خطی حرکت وضعی و بر اساس کواترنیون‌ها که در فصل سوم بیان شده است، معادلات خطی استخراج شده است. سیستم خطی شده به دست آمده، یک سیستم چند متغیره و متغیر بازمانده است. در انتهای این فصل، با استفاده از ضمیمه الف، شبیه‌سازی میدان مغناطیسی زمین انجام شده است.

در فصل هفتم بعد از بیان تاریخچه‌ای مختصر نظریه آنالیز و سنتز μ به صورت فشرده توضیح داده شده است.

در فصل هشتم، نحوه طراحی کنترل‌کننده مقاوم μ برای سیستم خطی شده فصل پنجم، با جزئیات کامل آورده شده است. ایده استفاده از کنترل μ برای حل این مسئله برای نخستین بار در دنیا در این کتاب پیشنهاد شده و در فصل هفتم به آن پرداخته شده است. این ایده بر اساس تبدیل مسئله از حالت متغیر بازمانده به حالت دارای نیم قطعیت استوار است. در انتهای فصل هشتم، کنترل‌کننده طراحی شده با شبیه‌سازی‌های دقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل نهم، فناوری شبیه‌سازی سخت‌افزار در حلقه و روش‌های نوین پیاده‌سازی آن به صورت کامل بررسی شده است. سپس جدیدترین فناوری نرم‌افزاری برای پیاده‌سازی آزمایشات فوق بر اساس نرم‌افزار ۲ Matlab/Simulink/Xpc Target توضیح داده شده است. در ادامه شبیه‌سازی سخت‌افزار در حلقه سیستم کنترل وضعیت ماهواره بررسی شده

و سپس معماری سطح بالای یک آزمایشگاه پیشرفته برای پیاده‌سازی آزمایشات سخت‌افزار در حلقه کنترل وضعیت ماهواره بیان شده است.

مسلم است که این اثر خالی از اشکال نیست. به همین دلیل بسیار مایه افتخار است که کارشناسان عزیز این حوزه، ما را از نظرها و ایده‌های خود مطلع نمایند تا در چاپ‌های بعدی این کتاب و کتاب‌های مشابه از آن‌ها استفاده شود. به همین منظور خواهشمند است انتقادات و پیشنهادات خود را به آدرس پست الکترونیکی zareagdash@yahoo.com ارسال فرمایید.

محمد کریمی حسین آبادی - صابر زارع آغداش - زمستان ۱۳۹۵