



نامساوی ماتریسی خطی در سیستم و تئوری کنترل

تألیف: مهندس فاطمه محمدی

دکتر مهرداد تاکی (عضو هیأت علمی دانشگاه قم)

دکتر عفت گلپررابوکی (عضو هیأت علمی دانشگاه قم)

سرشناسه	: محمدی، فاطمه، ۱۳۷۱ فروردین.
عنوان و نام پدیدآور	: نامساوی ماتریسی خطی در سیستم و تئوری کنترل/تالیف فاطمه محمدی؛ مهرداد تاکی؛ عفت گلپرابوکی. ویراستار: محمدحسین عباسی
مشخصات نشر	: قم: دانشگاه قم، انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۴۰۴ ص.
شابک	: 978-600-8436-53-9
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: مهندسی ترافیک- الگوهای ریاضی /-Traffic engineering Mathematics models
موضوع	: ترافیک- الگوهای ریاضی / Traffic flow- Mathematical models
موضوع	: مهندسی راه/ Highway engineering
موضوع	: راهها- الگوهای ریاضی / Roads- Mathematical models
موضوع	: ترافیک شهری / City traffic / نظریه کنترل / Control theory
موضوع	: نامساوی های ماتریسی / Matrix inequalities
موضوع	: بهینه سازی ریاضی / Mathematical optimization
شناسه افزوده	: تاکی مهرداد، ۱۳۶۰- گلپرابوکی، عفت، ۱۳۴۹
شناسه افزوده	: دانشگاه قم. انتشارات
رده بندی کنگره	: TE۱۴۵
رده بندی دیویی	: ۶۲۵/۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۴۸۷۶۵



انتشارات دانشگاه قم

عنوان: نامساوی ماتریسی خطی در سیستم و تئوری کنترل
نویسنده: فاطمه محمدی، مهرداد تاکی، عفت گلپرابوکی.

چاپ و صحافی: هوشنگی

طراح جلد: احمدرضا حیدری

صفحه آرا: محمدحسین عباسی

ناظر فنی: علیرضا معظمی

چاپ اول: بهار ۱۳۹۹

شمارگان: ۱۰۰۰

بهاء: ۶۰۰۰۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۴۳۶۵۳-۹

آدرس الکترونیکی: Publication@Qom.ac.ir

کلیه حقوق مادی و معنوی برای ناشر محفوظ است.

قم، بلوار الغدیر، دانشگاه قم، اداره چاپ و انتشارات دانشگاه

تلفن: ۰۲۵-۳۳۴۴۰۳۲۱-۳۲۱۰۲۵-۳۳۴۵۰۳۲۱۰۳۲۵

پیشگفتار

کتاب پیش روی شما براساس یک پژوهش کاربردی به منظور کنترل ترافیک شهری برمبنای ایده‌های موجود در رشته مهندسی برق-کنترل تدوین شده است. در عصر جدید با گسترش جمعیت شهرنشینی، طراحی شبکه ترافیک شهری با هدف حداقل کردن زمان دسترسی بین نقاط مختلف یک مسأله جذاب است. به طور خاص در مورد بزرگراه‌های شهری، طراحی خروجی‌های مناسب و نحوه ارتباط‌دهی بین بزرگراه‌ها، اهمیت اساسی دارد. در این حوزه کمینه بودن زمان لازم برای رفع یک گره ترافیکی دارای اهمیت راهبردی و امنیتی بالایی می‌باشد.

در پژوهش انجام گرفته در مرحله اول می‌بایست صورت مسأله کنترل ترافیک به فرم یک مسأله استاندارد در حوزه مهندسی کنترل بیان شود. پیچیدگی مسأله حاصل، استفاده از ابزار قدرتمند نامساوی‌های ماتریسی خطی در حوزه ریاضیات کاربردی را اجتناب ناپذیر می‌نمود. لذا در مرحله دوم، مسأله بهینه سازی حاصله به فرم یک نامساوی ماتریسی خطی درآمد. هرچند برای دسته معدودی از نامساوی‌های یاد شده، راه‌حل‌های تحلیلی وجود دارد اما از دیدگاه مهندسی روش‌های حل عددی با زمان حل چندجمله‌ای یک قابلیت بسیار مهم بشمار می‌رود. لذا روش حل عددی و روش تبدیل یک مسأله کنترل بهینه به یک نامساوی خطی معرفی می‌گردد.

با توجه به گسل عمیقی بین رشته‌های مختلف دانشگاه در کشور و روزآمد نبودن سرفصل‌های درسی، متأسفانه یک مهندس بایستی مدت زیادی را صرف فراگیری مبانی تئوری مورد نیاز بنماید. در این کتاب نیز با استفاده از کتاب Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory تألیف آقایان Venkataramanan و Eric Feron، Laurent El Ghaoui، Stephen Boyd و Balakrishnan و کتاب Linear Matrix Inequalities in Control تألیف آقایان Weiland Siep و Carsten Scherer اصول و مفاهیم مورد نیاز بیان شده است. در قسمت‌های مختلف با توجه به روحیات دانشجویان مهندسی از مثال‌های عددی برای تبیین بهتر مسائل بهره گرفته شده است. فصلی از این کتاب همچنین به معرفی جعبه ابزارهای موجود برای حل عددی نامساوی‌های ماتریسی خطی اختصاص دارد.

بخش‌های مختلف این کتاب به شرح ذیل هستند. فصل اول مقدمه، اصول و مفاهیم اولیه راجع به نامساوی‌های ماتریسی خطی را بیان می‌کند. در فصل دوم شمول دیفرانسیل خطی معرفی می‌شود. فصل سوم به طراحی پسخور حالت به سیستم شمول دیفرانسیل خطی می‌پردازد. در فصل چهارم روش‌های لور و ضرب‌کننده معرفی می‌شوند. در فصل پنجم روش طراحی کنترل‌کننده بیان می‌شود. فصل ششم به آموزش حل نامساوی‌های ماتریسی خطی با نرم افزار می‌پردازد و در فصل هفتم مسأله کنترل ترافیک فرمول بندی و حل می‌شود.

مولفان: فاطمه محمدی - مهرداد تاکی - عفت گلپر رابوکی

فهرست مطالب

۱	مقدمه، اصول و مفاهیم اولیه.....
۱	۱.۱ تاریخچه‌ی مختصری از بکارگیری LMI در تئوری کنترل.....
۸	۲.۱ نامساوی‌های ماتریسی خطی.....
۱۲	۱.۲.۱ برخی ویژگی‌های LMI.....
۱۵	۲.۲.۱ مجموعه محدب.....
۲۰	۳.۲.۱ توابع محدب.....
۲۳	۴.۲.۱ بهینه‌سازی محدب.....
۲۴	۵.۲.۱ فرم کلی مسائل بهینه‌سازی محدب.....
۲۷	۶.۲.۱ برنامه‌ریزی خطی (LP):.....
۳۰	۷.۲.۱ ماتریس‌ها به عنوان متغیرها.....
۳۲	۸.۲.۱ قید برابری خطی.....
۳۲	۳.۱ برخی از مسائل استاندارد.....
۳۳	۱.۳.۱ مسائل LMI.....
۳۳	۲.۳.۱ مسائل مقادیر ویژه.....
۳۶	۳.۳.۱ مسائل مقادیر ویژه تعمیم یافته.....
۳۷	۴.۳.۱ مسائل محدب.....
۳۹	۵.۳.۱ حل مسائل استاندارد LMI.....
۴۰	۴.۱ الگوریتم بیضی.....

۴۶	.....	۵.۱ روش نقطه - داخلی
۴۶	.....	۱.۵.۱ مرکز تحلیلی LMI
۴۹	.....	۲.۵.۱ مسیر مراکز
۵۰	.....	۳.۵.۱ روش مراکز
۵۳	.....	۴.۵.۱ روش نقطه داخلی و ساختار مسائل
۵۵	.....	۶.۱ نامساوی‌های ماتریسی خطی اکید و غیراکید
۵۷	.....	۱.۶.۱ کاهش به LMI اکیدا شدنی
۵۸	.....	۲.۶.۱ مثال: نامساوی لیپانوف
۶۲	.....	۷.۱ نتایج گوناگون در نامساوی ماتریس
۶۲	.....	۱.۷.۱ حذف عبارت‌های نیمه معین
۶۳	.....	۲.۷.۱ حذف متغیرهای ماتریس
۶۵	.....	۳.۷.۱ روش S
۶۸	.....	۸.۱ برخی از مسائل LMI با راه‌حل‌های تحلیلی
۶۸	.....	۱.۸.۱ نامساوی لیپانوف
۶۹	.....	۲.۸.۱ لم حقیقی - مثبت
۷۴	.....	۳.۸.۱ لم حقیقی - کراندار
۷۵	.....	۴.۸.۱ مسائل دیگر
۷۷	.....	۲ شمول دیفرانسیل خطی
۷۷	.....	۱.۲ شمول دیفرانسیلی
۷۸	.....	۱.۱.۲ شمول‌های دیفرانسیلی خطی

۷۹	..... ۲.۱.۲ تعمیم به سیستم‌ها
۸۰	..... ۲.۲ برخی از LDI های خاص
۸۰	..... ۱.۲.۲ سیستم‌های خطی تغییرناپذیر با زمان
۸۰	..... ۲.۲.۲ LDI چند وجهی
۸۱	..... ۳.۲.۲ LDI های نرم - کراندار
۸۲	..... ۴.۲.۲ LDI های نرم - کراندار قطری
۸۴	..... ۳.۲ تجزیه و تحلیل سیستم غیر خطی از طریق LDIs
۸۵	..... ۱.۳.۲ یک شرط مشتق
۸۷	..... ۲.۳.۲ شرایط ناحیه
۸۸	..... ۴.۲ تجزیه و تحلیل سیستم خطی از LDI
۸۹	..... ۱.۴.۲ پایداری تربیعی
۱۰۰	..... ۲.۴.۲ تبدیل مختصات
۱۰۱	..... ۳.۴.۲ مرزهای پایداری تربیعی
۱۰۳	..... ۴.۴.۲ نرخ فروپاشی
۱۰۹	..... ۳ طراحی پسخور حالت برای شمول‌های دیفرانسیل خطی
۱۰۹	..... ۱.۳ کنترل کننده‌های پسخور حالت ایستا
۱۱۳	..... ۲.۳ خواص حالت
۱۱۴	..... ۱.۲.۳ پایدارسازی تربیعی
۱۲۳	..... ۲.۲.۳ بیضی‌های نگهدارنده
۱۲۴	..... ۳.۲.۳ محدودیت‌های ورودی کنترلی

۱۲۵	۳.۳ خواص ورودی به حالت
۱۲۷	۱.۳.۳ مجموعه های قابل دستیابی با ورودی های انرژی-واحد
۱۳۵	۲.۳.۳ مجموعه های قابل دستیابی با ورودیهای انرژی-واحد مولفهای
۱۳۹	۳.۳.۳ مجموعه های قابل دستیابی با ورودی های پیک-واحد
۱۴۳	۴.۳ خواص خروجی به حالت
۱۴۴	۱.۴.۳ کران‌هایی برای انرژی خروجی
۱۵۲	۵.۳ خواص خروجی به ورودی
۱۵۲	۱.۵.۳ بهره $L2$ و RMS
۱۶۱	۲.۵.۳ اتلافی
۱۶۶	۳.۵.۳ کنترل کننده های پسخور حالت دینامیکی در مقایسه با ایستا
۱۶۷	۶.۳ تعریف رویتگر حالت و طراحی رویتگر حالت برای سیستم‌های LTI
۱۶۹	۷.۳ کنترل کننده های مبتنی بر رویتگر برای سیستم‌های غیر خطی
۱۷۳	۴ روش‌های لور و ضرب کننده
۱۷۳	۱.۴ تجزیه و تحلیل سیستم‌های لور
۱۷۵	۱.۱.۴ پایداری
۱۷۸	۲.۱.۴ مجموعه‌های قابل دستیابی با ورودی انرژی - واحد
۱۸۰	۳.۱.۴ کران‌های انرژی خروجی
۱۸۳	۴.۱.۴ بهره $L2$
۱۸۶	۲.۴ محدودیت‌های تربیعی انتگرالی
۱۸۷	۱.۲.۴ پایداری

۱۸۹	۲.۲.۴ بهره $L2$
۱۹۰	۳.۴ ضرب کننده برای سیستم‌هایی با پارامترهای ناشناخته.....
۱۹۲	۱.۳.۴ پایداری.....
۱۹۴	۲.۳.۴ مجموعه های قابل دستیابی با ورودی انرژی-واحد.....
۱۹۹	۵ ترکیب کنترل کننده.....
۱۹۹	۱.۵ مقدمه.....
۲۰۰	۲.۵ ترکیب کنترل کننده تک هدفه.....
۲۰۰	۱.۲.۵ ترتیب.....
۲۰۳	۲.۲.۵ از تجزیه تحلیل به ترکیب- یک روش متداول.....
۲۱۲	۳.۲.۵ طراحی H_{∞}
۲۱۴	۴.۲.۵ طراحی حقیقی مثبت.....
۲۱۴	۵.۲.۵ طراحی $H2$
۲۱۵	۶.۲.۵ طراحی تعمیم یافته $H2$
۲۱۶	۷.۲.۵ طراحی به منظور محدود کردن نُرم پیک تا پیک.....
۲۱۹	۳.۵ طراحی کنترل کننده چند هدفه و مختلط.....
۲۲۲	۴.۵ حذف پارامترها.....
۲۲۳	۱.۴.۵ دوگانه‌سازی.....
۲۲۴	۲.۴.۵ تبدیل تصویری.....
۲۲۵	۴.۴.۵ حذف برای طراحی عملکرد تربیعی.....
۲۲۹	۵.۴.۵ حذف برای طراحی های $H2$

۲۳۰	.....	۵.۵ مسائل پسخور حالت
۲۳۵	.....	۶ آموزش حل نامساوی‌های ماتریسی با استفاده از نرم‌افزار متلب
۲۳۵	.....	۱.۶ یادآوری
۲۳۷	.....	۲.۶ معرفی دستورهای مهم LMI در نرم‌افزار متلب
۲۳۷	.....	۱.۲.۶ آغاز تعریف LMIها
۲۳۸	.....	۲.۲.۶ تعریف متغیرها با استفاده از دستور Imivar
۲۴۲	.....	۳.۲.۶ تعریف LMIها با استفاده از دستور lmiterm
۲۴۵	.....	۴.۲.۶ پایان تعریف LMIها با استفاده از دستور getlmis
۲۴۵	.....	۵.۲.۶ تعیین حل‌کننده
۲۶۷	.....	۳.۶ تعریف و حل LMIها با استفاده از YALMIP
۲۶۸	.....	۱.۳.۶ روند حل LMI با استفاده از YALMIP
۲۸۹	.....	۷ بررسی پایداری سیستم‌های ترافیکی
۲۸۹	.....	۱.۷ مقدمه
۲۹۱	.....	۲.۷ دسته‌بندی مدل‌های ترافیکی
۲۹۱	.....	۱.۲.۷ بر اساس تعبیر فیزیکی
۲۹۲	.....	۲.۲.۷ بر اساس درجه جزئیات
۲۹۵	.....	۳.۲.۷ مدل‌سازی گسسته یا پیوسته
۲۹۶	.....	۴.۲.۷ مدل‌سازی قطعی یا تصادفی
۲۹۶	.....	۳.۷ مدل‌های ماکروسکوپی
۲۹۸	.....	۱.۳.۷ مدل مرتبه اول یا LWR

۳۰۳	.....	مدل مرتبه دوم یا PW
۳۰۵	.....	مدل ARZ
۳۰۸	.....	مدل METANET
۳۱۹	.....	شبیه‌سازی سیستم‌های ترافیکی با مدل METANET
۳۲۶	.....	فرمول‌بندی مسئله
۳۳۲	.....	طراحی کنترل‌کننده
۳۳۸	.....	تجزیه و تحلیل یک روش کلی
۳۴۹	.....	تعمیم روش کلی بیان شده به سیستم اصلی
۳۵۷	.....	محاسبه ماتریس‌های سیستم با استفاده از مدل METANET
۳۵۷	.....	محاسبه حالت پایدار متغیرهای حالت
۳۶۰	.....	روش اول، محاسبه ماتریس‌های سیستم با استفاده از چهار پارامتر
۳۶۵	.....	روش دوم، محاسبه ماتریس‌های سیستم با استفاده از دو پارامتر
۳۶۸	.....	نتیجه‌گیری
۳۷۱	.....	فهرست مراجع
۳۷۵	.....	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۳۸۷	.....	کلمات کلیدی

