

کنترل تطبیقی

دکتر حمیدرضا رضاعلیخانی
مهندس رضا اعظمی لریستانی

نیاز دانش

تعریفی که از کنترل تطبیقی در دانشنامه آزاد آمده است به شرح زیر است:

"هدف از استفاده از کنترل تطبیقی (به انگلیسی: Adaptive control) آن است که کنترلر طراحی شده بدین روش، بتواند در مقابل تغییرات آرام در سیستم و همچنین خطاهای مدل‌سازی پاسخ مناسب بدهد. تفاوت کنترل تطبیقی و کنترل مقاوم آن است که در کنترل تطبیقی نیازی به دانستن بازه کاری سیستم یا میزان خطای پارامترها نیست. به عبارتی، طراحی از دیدگاه کنترل مقاوم به کنترلی می‌انجامد که در بازه مشخصی به پایداری سیستم می‌انجامد بدون آنکه نیازی به تغییر قوانین کنترلی باشد، ولی، با روش کنترل تطبیقی می‌توان قوانین کنترلی را به گونه‌ای با تغییر شرایط تطبیق داد که سیستم پایدار شود."

ما در اینجا به عنوان مقدمه، به همین توضیح اکتفا می‌کنیم تا جذابیت و دیدگاه‌های محتوایی کتاب حفظ گردد. این کتاب اقتباسی از برخی کتب مهم در زمینه کنترل تطبیقی می‌باشد. دو پیش‌فصل با عنوان‌های "ریاضیات مقدماتی ۱" و "ریاضیات مقدماتی ۲" در خلال فصل‌های کتاب گنجانده شده است که پیشنهاد می‌شود برای فهم و درک بهتر مطالب کتاب، خوانندگان تسلط کافی بر روی این دو پیش‌فصل داشته باشند. در قسمت پیوست‌ها و به منظور مطالعه آزاد مبحثی با عنوان L1 Adaptive آورده شده است. همانطور گفته شد این فصل به عنوان مطالعه آزاد در این کتاب آورده شده است لذا از باز کردن مطالب آن صرف نظر شده است و تحقیق در این زمینه را به خواننده واگذار می‌نماییم. امید است که این کتاب بتواند راهگشا در فهم و تسلط دانشجویان در این زمینه باشد.

در آخر از سرکار خانم مریم مقدسی که ما را در انجام این اثر یاری و همکاری کردند کمال تشکر و قدر دانی را داریم. از همه اساتید، دانشجویان و همه کسانی که این کتاب را مورد مطالعه قرار می‌دهند تقاضا داریم که نظرات و پیشنهادات خود را به ادرس ایمیل زیر با ما در میان بگذارند.

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه ۹

- ۱-۱) کنترل تطبیقی: مبتنی بر شناساگر ۱۰
۱-۲) کنترل تطبیقی: Non-Identifier-Based (مبتنی بر بدون شناساگر) ۱۴
۱-۲-۱) زمان بندی بهره ۱۴
۱-۲-۲) مدل های چندگانه، روش های تحقیق، و ساختارهای سوئیچینگ ۱۵
۱-۳) چرا کنترل تطبیقی ۱۷
۱-۴) خلاصه تاریخچه ۱۹

فصل ۲ مدل های پارامتری ۲۳

ریاضیات مقدماتی ۱ ۳۹

- PR1-1) تئوری سیستم ۳۹
PR1-2) چند جمله ای های اول ۴۲
PR1-3) نرم ها و فضاها ۴۴
PR1-4) ویژگی های توابع و ماتریس ها ۴۷
PR1-5) پایداری ورودی / خروجی ۵۰
PR1-6) فرض Bellman-Gronwall ۵۶

فصل ۳ شناسایی پارامتر: زمان پیوسته ۵۷

- ۳-۱) مقدمه ۵۷
۳-۲) مثال: حالت یک پارامتری ۵۸
۳-۳) مثال: دو پارامتری ۶۳
۳-۴) پایایی تحریک و ورودی های نسبتاً غنی ۶۵
۳-۵) مثال: مسئله بردار ۶۸
۳-۶) الگوریتم های گرادینت مبتنی بر مدل خطی ۷۰
۳-۶-۱) الگوریتم گرادینت با تابع هزینه لحظه ای ۷۱
۳-۶-۲) الگوریتم گرادینت با تابع هزینه انتگرال ۷۶
۳-۷) الگوریتم های کمترین مربعات ۷۷
۳-۷-۱) الگوریتم بازگشتی LS با فاکتور (ضریب) فراموشی ۷۹
۳-۷-۲) الگوریتم مطلق LS ۸۰

- ۳-۷-۳) الگوریتم‌های اصلاح شده LS..... ۸۳
- ۳-۸) شناسایی پارامتر براساس DPM..... ۸۵
- ۳-۹) شناسایی پارامتر بر مبنای B-SPM..... ۸۶
- ۳-۱۰) تصویر کردن پارامتر..... ۸۹
- ۳-۱۱) شناسایی پارامتر مقاوم..... ۹۳
- ۳-۱۱-۱) مثال ناپایداری..... ۹۵
- ۳-۱۱-۲) تحریک غالباً غنی..... ۹۶
- ۳-۱۲) قوانین تطبیقی مقاوم..... ۱۰۲
- ۳-۱۲-۱) نرمالیزاسیون دینامیکی..... ۱۰۳
- ۳-۱۲-۲) قوانین تطبیقی مقاوم: σ -اصلاح..... ۱۰۵
- ۳-۱۲-۳) تصویرگر پارامتر..... ۱۱۲
- ۳-۱۲-۴) منطقه مرده..... ۱۱۵
- ۳-۱۳) شناساگرهای فضای حالت..... ۱۱۸
- ۳-۱۴) رویت‌گرهای تطبیقی..... ۱۲۱
- ۳-۱۵) (مورد مطالعاتی) کاربران در لینک Bottleneck شبکه کامپیوتری..... ۱۲۴

فصل ۴

شناسایی پارامتر زمان گسسته

- ۴-۱) مقدمه..... ۱۳۷
- ۴-۲) گسسته‌سازی قوانین تطبیقی زمان پیوسته..... ۱۴۱
- ۴-۳) مدل پارامتری زمان گسسته..... ۱۴۳
- ۴-۴) ورودی‌های نسبتاً غنی..... ۱۴۵
- ۴-۵) الگوریتم‌های گرادیان..... ۱۴۷
- ۴-۵-۱) الگوریتم تصویرگر..... ۱۴۷
- ۴-۵-۲) الگوریتم گرادیان براساس هزینه آنی (لحظه‌ای)..... ۱۴۹
- ۴-۶) الگوریتم‌های LS..... ۱۵۰
- ۴-۶-۱) LS مطلق..... ۱۵۰
- ۴-۷) الگوریتم‌های LS اصلاح شده..... ۱۵۶
- ۴-۹) تصویرگر پارامتر..... ۱۵۸
- ۴-۱۰) شناسایی پارامتر مقاوم..... ۱۶۳
- ۴-۱۰-۱) تحریک غالباً غنی..... ۱۶۴
- ۴-۱۰-۲) اصلاحات قوام..... ۱۶۷
- ۴-۱۰-۳) تصویرگر پارامتر..... ۱۷۳
- ۴-۱۱) مورد مطالعاتی: تخمین پارامتر آنالین ویژگی‌های جریان ترافیک..... ۱۷۵

ریاضیات مقدماتی ۲

- PR2-1-2) روش مستقیم لیاپانوف..... ۱۸۷
- PR2-1-3) توابع شبه لیاپانوف..... ۱۹۱
- PR2-1-4) روش غیر مستقیم لیاپانوف..... ۱۹۲
- PR2-2) پایداری سیستم‌های خطی..... ۱۹۳
- PR2-3) مثبت‌پذیری و پایداری..... ۱۹۷
- PR2-4) روش‌های بهینه‌سازی..... ۲۰۰
- PR2-4-1) پیش‌زمینه علامت‌گذاری و ریاضی..... ۲۰۰
- PR2-4-2) روش شیب نزولی..... ۲۰۲
- PR2-4-3) روش تصویرگر گرادیان..... ۲۰۳
- PR2-5) لم‌های swapping..... ۲۰۶
- PR2-6) سیستم‌های زمان گسسته..... ۲۰۹
- PR2-6-1) تئوری پایداری لیاپانوف..... ۲۰۹

- ۲۱۹.....I/O پایداری (PR2-6-4) ۲۱۶.....توابع حقیقی مثبت (PR2-6-2)
 ۲۲۱.....swapping لم‌های (PR2-6-5) ۲۱۸.....پایداری سیستم‌های آشفته (PR2-6-3)

فصل ۵

- ۲۲۳.....کنترل تطبیقی مدل مرجع زمان پیوسته
- ۵-۱ (۵-۱) مقدمه..... ۲۲۳
 ۵-۲ (۵-۲) طرح‌های MRAC ساده..... ۲۲۶
 ۵-۲-۱ (۵-۲-۱) مثال اسکالری: تنظیم تطبیقی..... ۲۲۶
 ۵-۲-۲ (۵-۲-۲) مثال اسکالری: MRAC مستقیم بدون نرمالیزاسیون..... ۲۳۰
 ۵-۲-۳ (۵-۲-۳) مثال اسکالری: MRAC غیرمستقیم بدون نرمالیزاسیون..... ۲۳۲
 ۵-۲-۴ (۵-۲-۴) مثال اسکالری: MRAC مستقیم با نرمالیزاسیون..... ۲۳۵
 ۵-۲-۵ (۵-۲-۵) مثال اسکالری: MRAC غیرمستقیم با نرمالیزاسیون..... ۲۴۰
 ۵-۲-۶ (۵-۲-۶) مسئله برداری (سیستم مرتبه n): اندازه‌گیری حالت کامل..... ۲۴۵
 ۵-۳ (۵-۳) MRC برای دستگاه‌های SISO..... ۲۴۷
 ۵-۳-۱ (۵-۳-۱) بیان مسئله..... ۲۴۷
 ۵-۳-۲ (۵-۳-۲) طرح‌های MRC: پارامترهای دستگاه شناخته شده..... ۲۴۹
 ۵-۴ (۵-۴) MRAC مستقیم با قوانین تطبیقی نرمالیزه نشده..... ۲۵۶
 ۵-۴-۱ (۵-۴-۱) درجه نسبی..... ۲۵۶
 ۵-۴-۲ (۵-۴-۲) درجه نسبی..... ۲۶۰
 ۵-۴-۳ (۵-۴-۳) درجه نسبی بزرگتر از ۲..... ۲۶۴
 ۵-۵ (۵-۵) MRAC مستقیم با قوانین تطبیقی نرمالیزه شده..... ۲۶۴
 ۵-۶ (۵-۶) MRAC غیرمستقیم..... ۲۶۷
 ۵-۶-۱ (۵-۶-۱) MRAC غیرمستقیم با قوانین تطبیقی نرمالیزه نشده..... ۲۶۷
 ۵-۶-۲ (۵-۶-۲) MRAC غیرمستقیم با قانون تطبیقی نرمالیزه..... ۲۷۰
 ۵-۷ (۵-۷) MRAC مقاوم..... ۲۷۲
 ۵-۷-۱ (۵-۷-۱) MRC: پارامترهای دستگاه معلوم..... ۲۷۳
 ۵-۷-۲ (۵-۷-۲) MRAC مستقیم مقاوم..... ۲۷۸
 ۵-۸ (۵-۸) طراحی کنترل کروز تطبیقی..... ۲۹۲
 ۵-۹ (۵-۹) کنترل حالت تطبیقی هواپیما..... ۲۹۷

فصل ۶

- ۳۱۳.....کنترل جایابی قطب تطبیقی زمان پیوسته
- ۶-۱ (۶-۱) مقدمه..... ۳۱۳
 ۶-۲ (۶-۲) طرح‌های APPC ساده: بدون نرمالیزاسیون..... ۳۱۴
 ۶-۲-۱ (۶-۲-۱) مثال اسکالری: تنظیم تطبیقی..... ۳۱۴
 ۶-۲-۲ (۶-۲-۲) مثال اسکالری: ردیابی تطبیقی..... ۳۱۸
 ۶-۳ (۶-۳) طرح‌های APPC: روش چندجمله‌ای..... ۳۲۲

۶-۵) کنترل درجه دوم خطی تطبیقی..... ۳۳۶	۶-۲-۷) قوانین تطبیقی مقاوم برای طرح‌های
۶-۶) موضوعات پایدارپذیری و APPC	APPC..... ۳۴۷
اصلاح شده..... ۳۴۱	۶-۳-۷) APPC مقاوم: روش چند جمله‌ای-۳۴۹
۶-۶-۱) مثال ساده عدم پایدارپذیری..... ۳۴۱	۶-۸) مورد مطالعاتی: طراحی ALQC برای
۶-۶-۲) طرح‌های APPC اصلاح شده..... ۳۴۳	هوایمای جنگی F-16..... ۳۵۳
۶-۷) طرح‌های APPC مقاوم..... ۳۴۵	۶-۸-۱) طراحی کنترل LQ با زمان‌بندی بهره-۳۵۶
۶-۷-۱) PPC: پارامترهای معلوم..... ۳۴۵	۶-۸-۲) طراحی کنترل LQ تطبیقی..... ۳۵۶

فصل ۷

۷-۱) مقدمه..... ۳۶۵	کنترل تطبیقی برای سیستم‌های زمان گسسته..... ۳۶۵
۷-۲) MRAC..... ۳۶۵	۷-۲-۴) MRAC غیرمستقیم..... ۳۷۵
۷-۲-۱) مثال اسکالری..... ۳۶۶	۷-۳) کنترل و پیش‌بین تطبیقی..... ۳۷۸
۷-۲-۲) مورد کلی: MRC..... ۳۶۹	۷-۳-۱) کنترل یک پله به جلوی تطبیقی..... ۳۸۳
۷-۲-۳) MRAC مستقیم..... ۳۷۲	۷-۴) APPC..... ۳۸۵

فصل ۸

۸-۱) مقدمه..... ۳۹۷	کنترل تطبیقی سیستم‌های غیرخطی..... ۳۹۷
۸-۲) خطی سازی فیدبک..... ۳۹۸	۸-۷) کنترل تطبیقی عصبی..... ۴۱۹
۸-۳) توابع کنترل لیاپانوف..... ۴۰۵	۸-۷-۱) شبکه‌های عصبی برای شناسایی..... ۴۲۰
۸-۴) پسگام‌ها (Back stepping)..... ۴۰۷	۸-۷-۲) کنترل تطبیقی عصبی..... ۴۲۳
۸-۵) پسگام تطبیقی با توابع تنظیم..... ۴۱۲	۸-۸) مورد مطالعاتی: کنترل غیرخطی تطبیقی
۸-۶) پسگام تطبیقی با میرایی غیرخطی: طراحی	ردیابی مسیر وسیله نقلیه..... ۴۲۹
مودولار..... ۴۱۶	

پیوست B..... ۴۳۹	
مراجع..... ۴۶۹	

فصل ۱

مقدمه

مطابق با دیکشنری وبستر تطبیق به معنای تغییر (خود) به طوری که رفتاری فرد با شرایط جدید یا تغییر یافته انطباق پیدا کند. لغات و واژه‌های سیستم‌های تطبیقی و کنترل تطبیقی در اوایل سال ۱۹۵۰ استفاده شد. این تعریف کلی از سیستم‌های تطبیقی برای برچسب زدن به روش‌ها و رویکردها در حوزه‌های متنوعی استفاده شده است با این وجود مسائل فرض شده و روش‌های دنبال شده اغلب دارای حوزه‌های کمتری می‌باشند. در این کتاب از تعریف خاص کنترل تطبیقی استفاده می‌کنیم: کنترل تطبیقی، ترکیبی از یک تخمین‌گر پارامتری است که ارزیابی‌های پارامتری را با یک قانون کنترل برای کنترل دسته‌ای از دستگاهها، به صورت online ارزیابی می‌کند که پارامترهایشان به طور کامل شناخته نشده‌اند و یا با روشی غیر قابل پیش‌بینی با زمان می‌توانند تغییر کنند. انتخاب تخمین‌گر پارامتری، انتخاب قانون کنترل و روشی که آنها ترکیب می‌شوند تا دسته متفاوتی از ساختارهای کنترل تطبیقی را ایجاد کنند، در این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرد. کنترل تطبیقی همان‌طور که در بالا تعریف شد به کنترل تطبیقی مبتنی بر شناساگر نیز اشاره دارد که آن را از دیگر روش‌های مبتنی بر غیر شناساگر متمایز می‌کند. در اینجا مسائل مشابه با کنترل بدون استفاده از تخمین‌گر پارامتر online، حل می‌شوند. طراحی (خلبان اتوماتیک) autopilots برای هواپیمای با عملکرد بالا یکی از انگیزه‌های اولیه برای تحقیق فعال در کنترل تطبیقی در اوایل دهه ۱۹۵۰ بود. هواپیماها فراتر از دامنه گسترده‌ای از سرعت‌ها و ارتفاعات عمل می‌کنند و دینامیک آنها غیرخطی است و متغیر با زمان می‌باشد. برای نقطه عملیاتی