

بسم الله الرحمن الرحيم

شناسایی سیستم های غیر خطی

♦ تالیف

مهندس سید سلمان احمدی

دکتر مهدی کراری

(استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

تابستان ۱۳۹۲

سرشناسه	: احمدی، سیدسلیمان، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: شناسایی سیستم‌های غیرخطی/ تألیف سیدسلیمان احمدی، مهدی کراری.
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز نشر، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۵۴۴ ص.
شابک	: 978-964-463-528-1
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
موضوع	: سیستم‌های غیرخطی
شناسه افزوده	: کراری، مهدی، ۱۳۳۷ -
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر. انتشارات
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ش۹۳ الف/ QA۴۲۷
رده بندی دیویی	: ۰۰۳/۷۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۸۰۱۹۲



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: شناسایی سیستم‌های غیرخطی
تألیف	: مهندس سید سلمان احمدی - دکتر مهدی کراری
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
لیتوگرافی چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
چاپ اول	: تابستان ۱۳۹۲
تیراژ	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۲۰۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۵۲۸-۱
	تلفن مرکز پخش : ۶۶۴۹۸۸۶۸
	ISBN : 978-964-463-528-1

آدرس : خیابان ولیعصر و روبروی خیابان بزرگمهر ، فروشگاه کتاب مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

این کتاب برای جلوگیری از انتشار غیر مجاز رمزگذاری شده است

فهرست

عنوان

صفحه

پیشگفتار..... I

فصل اول - مقدمه و اصول کلی شناسایی سیستم‌های غیرخطی.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- سیگنال و سیستم.....	۲
۳-۱- مدل‌سازی جعبه سیاه (شناسایی سیستم).....	۲
۴-۱- تعاریف اولیه.....	۳
۵-۱- ساختارهای جعبه سیاه غیرخطی.....	۴
۱-۵-۱- مدل‌های جعبه سیاه خطی.....	۵
۲-۵-۱- مدل‌های جعبه سیاه غیرخطی.....	۶
۶-۱- نگاشت غیرخطی.....	۷
۱-۶-۱- توابع پایه و بسط تابع.....	۷
۲-۶-۱- طبقه‌بندی توابع پایه تک متغیره.....	۸
۳-۶-۱- ایجاد توابع پایه چندمتغیره.....	۸
۴-۶-۱- چند تابع پایه معروف.....	۹
۵-۶-۱- مراحل ایجاد مدل جعبه سیاه.....	۱۰
۷-۱- تفاوت شبیه‌سازی و پیش‌بینی.....	۱۱
۸-۱- فصل‌بندی کتاب.....	۱۳
مراجع.....	۱۴

فصل دوم: شناسایی سیستم‌های خطی.....	۱۵
۱-۲- مقدمه.....	۱۵
۲-۲- روش شناسایی حداقل مربعات.....	۱۵
۱-۲-۲- مرحله اول: انجام آزمایش روی سیستم و جمع‌آوری اطلاعات.....	۱۶
۲-۲-۲- مرحله دوم: تعریف ساختار و تعریف معادله رگرسیون خطی.....	۱۶
۳-۲-۲- مرحله سوم: محاسبه $\hat{\theta}$ (تخمین θ).....	۱۷

۱۹	۲-۲-۴- مشکلات روش حداقل مربعات
۲۰	۲-۲-۵- تفسیر برداری روش حداقل مربعات
۲۲	۲-۳-۳- شناسایی سیستم با استفاده از تابع همبستگی
۲۲	۲-۳-۱- عبور یک فرآیند تصادفی از یک سیستم خطی نامتغیر با زمان
۲۳	۲-۳-۲- مدلسازی اغتشاشات تصادفی
۲۵	۲-۳-۱- مدل AR ، MA و $ARMA$
۲۶	۲-۳-۳- شناسایی سیستم با استفاده از تابع همبستگی عرضی
۲۸	۲-۴- روش شناسایی بازگشتی
۲۸	۲-۴-۱- روش حداقل مربعات بازگشتی
۳۲	۲-۴-۲- روش حداقل مربعات توسعه یافته بازگشتی $RELS$
۳۳	۲-۴-۳- روش متغیرهای کمکی بازگشتی RIV
۳۴	۲-۵- تعیین درجه مدل یا ساختار
۳۴	۲-۵-۱- اصول مهم در تعیین درجه
۳۵	۲-۵-۲- روش فیزیکی در تعیین درجه
۳۵	۲-۵-۳- تعیین درجه با استفاده از پاسخ پله
۳۶	۲-۵-۴- روش‌های بهینه تعیین درجه (روش‌های مبتنی بر شناسایی)
۳۷	۲-۵-۱- اصل برازندگی یا انطباق
۳۸	۲-۵-۲- روش واریانس
۳۸	۲-۵-۳- روش ماتریس کواریانس
۳۹	۲-۵-۴- معیار اطلاعات آکایکا AIC
۳۹	۲-۵-۵- روش تست f
۴۱	۲-۶- شناسایی و تخمین پارامترهای سیستم‌های پیوسته زمان
۴۲	۲-۶-۱- تقریب با معادله دیفرانس
۴۴	۲-۶-۲- روش تابع مدوله کننده
۴۵	۲-۶-۳- تابعی گشتاور پواسن تعمیم یافته
۴۹	مراجع
۵۱	فصل سوم: روش‌های تعیین ساختار
۵۱	۳-۱- مقدمه
۵۲	۳-۲- تعاریف اولیه
۵۳	۳-۳- معیار انتخاب ساختار

۵۸	۳-۴- همه رگرسیون‌های ممکن
۵۸	۳-۵- رگرسیون پیشرو و وارونه (تست f)
۵۹	۳-۶- رگرسیون گام به گام
۶۰	۳-۷- تعقیب تطبیق متعامد
۶۴	۳-۸- تعقیب تصویر و تعقیب تصویر متعامد
۶۵	۳-۹- روش Stagewise
۶۶	۳-۱۰- حداقل مجموع مربعات خطای متعامد پیشرو
۶۶	۳-۱۰-۱- حداقل مجموع مربعات خطای متعامد
۷۰	۳-۱۰-۲- حداقل مربعات خطای متعامد پیشرو
۷۲	۳-۱۰-۳- روش حداقل مربعات خطای متعامد پیشروی سریع
۷۴	۳-۱۰-۴- بررسی عملکرد حداقل مربعات خطای متعامد پیشرو با رگرسورهای نویزی و اصلاح این روش
۷۶	۳-۱۰-۵- حداقل مربعات خطای متعامد پیشرو برای ساختار NARMAX
۷۷	۳-۱۰-۶- حداقل مربعات خطای متعامد پیشرو برای ساختار نسبت به پارامترها غیرخطی
۷۸	۳-۱۰-۷- روش‌هایی برای بهبود عملکرد حداقل مربعات خطای پیشرو
۷۸	۳-۱۰-۷-۱- تعیین ساختار مدل مینیمال با بهینه‌سازی مسیر متعامدسازی
۸۱	۳-۱۰-۷-۲- الگوریتم متعامد رگرسیون پیشرو حاصل شده (RFRO)
۸۱	۳-۱۰-۸- تفاوت بین روش تعقیب تطبیق متعامد و OLS-ERR
۸۲	۳-۱۰-۹- مزایای روش OLS-ERR نسبت به روش رگرسیون پیشرو، وارونه و گام به گام
۸۲	۳-۱۰-۱۰- یکتا نبودن رگرسورهای مهم
۸۵	۳-۱۰-۱۱- عملکرد روش حداقل مجموع مربعات خطای متعامد پیشرو
۸۶	۳-۱۱- حداقل خطای شبیه‌سازی
۸۷	۳-۱۱-۱- تفاوت‌های بین SRR و ERR
۸۷	۳-۱۱-۲- روش کاهش
۹۰	۳-۱۲- معیار بهیگی - D و بهیگی - A
۹۳	۳-۱۲-۱- مقایسه بهیگی - A و بهیگی - D با معیار نسبت کاهش خطا
۹۳	۳-۱۲-۲- انتخاب α
۹۳	۳-۱۳- رگرسیون پیشرو متعامد با تخمینگر M
۹۳	۳-۱۳-۱- تخمینگرهای M
۹۷	۳-۱۳-۲- الگوریتم رگرسیون پیشرو متعامد با تخمینگر M
۹۸	۳-۱۴- Ridge regression یا تنظیم

۹۹	۱-۱۴-۳ دیدگاه بیزین روش تنظیم
۱۰۱	۲-۱۴-۳ تخمین گر حداقل مجموع مربعات خطای متعامد پیشروی تنظیم شده محلی
۱۰۲	۳-۱۴-۳ روش های تخمین پارامتر μ
۱۰۶	۴-۱۴-۳ روش LROLS همراه با معیار بهینگی A- و D-
۱۰۸	۵-۱۴-۳ روش LROLS همراه با آماره PRESS
۱۰۹	۶-۱۴-۳ انتخاب ساختار نسبت به پارامترها غیرخطی با روش تنظیم
۱۱۱	۱۵-۳ روش بازگشتی سریع در انتخاب ترم های بااهمیت
۱۱۷	۱-۱۵-۳ روش FRA برای ساختارهای نسبت به پارامتر غیرخطی
۱۱۹	۲-۱۵-۳ روش FRA همراه با بازیابی مدل بطور پسرو
۱۲۴	۱۶-۳ خوشه بندی ترم
۱۲۵	۱۷-۳ بررسی مسئله بهینه سازی همراه با شروطی بر روی مقدار پارامترهای مدل
۱۲۶	۱-۱۷-۳ مسئله بهینه سازی nonnegative garotte
۱۲۶	۲-۱۷-۳ LASSO
۱۲۷	۳-۱۷-۳ بررسی هندسی روش LASSO و روش تنظیم
۱۲۷	۴-۱۷-۳ الگوریتم های پیدا کننده جواب برای LASSO
۱۲۹	۵-۱۷-۳ بهبود روش LASSO
۱۳۰	۱۸-۳ تعقیب پایه
۱۳۰	۱۹-۳ رگرسیون حداقل زاویه LARS
۱۳۳	۲۰-۳ بوت استرپ
۱۳۶	۲۱-۳ تحلیل واریانس (ANOVA)
۱۳۶	۱-۲۱-۳ مقدمه
۱۳۸	۲-۲۱-۳ آنالیز واریانس دو طرفه
۱۳۹	۳-۲۱-۳ مدل
۱۴۱	۴-۲۱-۳ آزمون ANOVA
۱۴۴	۵-۲۱-۳ بررسی تاثیر فاکتورهای مختلف در روش ANOVA
۱۴۵	۶-۲۱-۳ روش های ارائه شده در زمینه تحلیل واریانس
۱۵۲	مراجع
۱۵۹	فصل چهارم: سری ولترا و مدل های حاصل از آن
۱۵۹	۱-۴ مقدمه
۱۵۹	۲-۴ مدل سری ولترا

- ۳-۴- رابطه بین کرنل‌های سیستم پیوسته زمان و کرنل‌های مدل گسسته زمان ۱۶۱
- ۴-۴- مدل تابعی ولترای همگن ۱۶۳
- ۵-۴- ویژگی کرنل‌های ولترا ۱۶۵
- ۶-۴- انواع کرنل‌های سری ولترا ۱۶۵
- ۷-۴- جداسازی پاسخ مدل‌های ولترای همگن با کرنل‌های درجات مختلف ۱۶۸
- ۸-۴- روش‌های شناسایی سیستم بر اساس مدل ولترا ۱۶۹
- ۸-۸-۴- روش‌های شناسایی خطی ۱۶۹
- ۸-۸-۲- روش ورودی ضربه ۱۶۹
- ۸-۸-۳- روش تصادفی ۱۷۰
- ۸-۸-۴- روش حوزه فرکانس ۱۷۲
- ۸-۸-۴-۱- روش چند آهنگی ۱۷۴
- ۹-۴- همگرایی سری ولترا ۱۷۴
- ۱۰-۴- توابع متعامد ۱۷۶
- ۱۱-۴- G- تابعی وینر ۱۷۸
- ۱۱-۴-۱- G- تابعی وینر درجه صفر ۱۷۹
- ۱۱-۴-۲- G- تابعی وینر درجه یک ۱۷۹
- ۱۱-۴-۳- G- تابعی وینر درجه دو ۱۷۹
- ۱۱-۴-۴- G- تابعی وینر درجه سه ۱۸۱
- ۱۱-۴-۵- G- تابعی وینر درجه چهار ۱۸۳
- ۱۱-۴-۶- رابطه کلی G- تابعی وینر ۱۸۴
- ۱۱-۴-۷- ویژگی‌های G- تابعی وینر ۱۸۹
- ۱۲-۴- رابطه بین کرنل‌های وینر و کرنل‌های ولترا ۱۸۹
- ۱۳-۴- G- تابعی وینر چند ورودی ۱۹۰
- ۱۴-۴- شناسایی مدل وینر ۱۹۰
- ۱۴-۴-۱- تخمین کرنل وینر درجه صفر ۱۹۱
- ۱۴-۴-۲- تخمین کرنل وینر درجه یک ۱۹۱
- ۱۴-۴-۳- تخمین کرنل وینر درجه دو ۱۹۱
- ۱۴-۴-۴- تخمین کرنل وینر درجه n ۱۹۳
- ۱۵-۴- تخمین کرنل‌های مدل وینر با ورودی نویز گوسی رنگی ۱۹۴
- ۱۶-۴- تخمین کرنل‌های مدل وینر با ورودی غیرگوسی ۱۹۶
- ۱۷-۴- بررسی اثرات نویز در تخمین کرنل‌های مدل وینر ۱۹۶

۱۹۷	۴-۱۷-۱- تاثیر نویز در ورودی سیستم بر روی تخمین کرنل‌ها
۱۹۸	۴-۱۷-۲- تاثیر نویز درون سیستم بر روی تخمین کرنل‌ها
۱۹۸	۴-۱۷-۳- تاثیر نویز در خروجی سیستم بر روی تخمین کرنل‌ها
۱۹۸	۴-۱۸- بررسی وجود مدل وینر
۲۰۰	۴-۱۹- نمایش کرنل‌ها با استفاده از توابع متعامد یکه
۲۰۴	۴-۲۰- تخمین ضرایب بسط حاصل از نمایش کرنل‌ها با توابع متعامد یکه
۲۰۴	۴-۲۰-۱- روش‌های شناسایی خطی
۲۰۴	۴-۲۰-۲- روش تصادفی
۲۰۶	۴-۲۱- نمایش مدل وینر با فیلتر خطی و چندجمله‌ای هرمیتی
۲۰۷	۴-۲۲- مدل سری هامرشتن
۲۰۸	۴-۲۳- مدل سری اریسون
۲۰۸	۴-۲۴- مدل سری زاده
۲۱۰	مراجع
۲۱۳	فصل پنجم: کاهش پیچیدگی سری ولترا
۲۱۳	۵-۱- مقدمه
۲۱۴	۵-۲- تبدیل کرنل درجات بالا به درجات پایین
۲۱۷	۵-۳- تقریب کرنل‌های ولترا
۲۱۸	۵-۴- روش SVD-PARAFAC
۲۲۰	۵-۴-۱- تخمین پارامترهای مدل مبتنی بر SVD-PARAFAC
۲۲۳	۵-۵- روش تجزیه چند حافظه‌ای
۲۲۵	۵-۶- توابع متعامد یکه
۲۲۷	۵-۷- توابع متعامد یکه تعمیم‌یافته
۲۳۲	۵-۸- کران بالای خطای تقریب برای مدل‌سازی با یکسری توابع پایه متعامد
۲۳۴	۵-۹- معیار نرخ همگرایی تحمیلی
۲۳۵	۵-۱۰- تخمین قطب بهینه تابع لاگر برای کرنل درجه یک
۲۳۹	۵-۱۱- تخمین بهینه قطب لاگر متناظر با کرنل‌های درجه یک با استفاده از تخمین دلخواهی از قطب‌های لاگر
۲۴۰	۵-۱۲- تخمین قطب بهینه تابع لاگر برای کرنل‌های ولترا درجات بالاتر از یک
۲۴۵	۵-۱۳- تخمین قطب بهینه توابع لاگر برای کرنل‌های درجات بالاتر از یک با استفاده از تخمین دلخواهی از قطب‌های لاگر

۲۴۸	۱۴-۵- شناسایی با توابع پایه متعامد کاتز
۲۴۸	۱۵-۵- تخمین قطب تابع کاتز کرنل ولترای درجه یک
۲۴۸	۱-۱۵-۵- رابطه بین تابع کاتز و لاگر
۲۴۹	۲-۱۵-۵- بسط پاسخ ضربه سیستم خطی با تابع کاتز
۲۵۲	۳-۱۵-۵- تخمین قطب بهینه تابع کاتز برای کرنل درجه یک
۲۵۳	۱۶-۵- تخمین قطب تابع کاتز برای کرنل‌های ولترای درجات بالاتر از یک
۲۵۷	۱۷-۵- تخمین قطب‌های توابع پایه کاتز و ضرایب آنها با روش بهینه‌سازی غیرخطی
۲۶۴	۱۸-۵- تخمین قطب‌های توابع متعامد یک‌تعمیم یافته
۲۷۰	مراجع

۲۷۳	فصل ششم: مدل‌های بلوک‌گرا
۲۷۳	۱-۶- مقدمه
۲۷۴	۲-۶- انواع ساختارها در مدل‌های بلوک‌گرا
۲۷۵	۳-۶- مدل‌های بلوک‌گرا درجه دوم
۲۷۹	۴-۶- رابطه بین ساختار مدل‌های بلوک‌گرا با سایر ساختارهای غیرخطی
۲۷۹	۱-۴-۶- رابطه مدل‌های بلوک‌گرا با ساختار مدل ولترای
۲۸۱	۲-۴-۶- رابطه مدل‌های بلوک‌گرا با ساختار چندجمله‌ای
۲۸۴	۵-۶- تعیین نوع مدل بلوک‌گرا
۲۸۵	۱-۵-۶- رابطه مدل وینر و هامرشتین با حالت ماندگار مدل چندجمله‌ای NARX
۲۸۶	۲-۵-۶- رابطه مدل وینر و هامرشتین با مقادیر ویژه سیستم
۲۸۸	مراجع

۲۸۹	فصل هفتم: شناسایی مدل‌های بلوک‌گرا
۲۸۹	۱-۷- مقدمه
۲۹۱	۲-۷- روش پارامتری کردن بیش از حد
۲۹۱	۱-۲-۷- شناسایی مدل هامرشتین با استفاده از روش پارامتری کردن بیش از حد
۲۹۳	۲-۲-۷- شناسایی مدل هامرشتین - وینر با استفاده از روش پارامتری کردن بیش از حد
۳۰۲	۳-۷- روش‌های تکراری
۳۰۲	۱-۳-۷- شناسایی سیستم هامرشتین با روش تکراری
۳۰۴	۱-۱-۳-۷- مشکل روش N-G و اصلاح‌هایی بر روش N-G
۳۰۶	۲-۳-۷- شناسایی سیستم وینر با روش تکراری

۳۰۸	۳-۳-۷- شناسایی سیستم هامرشتین - وینر با روش تکراری
۳۱۱	۴-۷- روش‌های جداسازی بخش خطی و غیرخطی با استفاده از نوع ورودی
۳۱۱	۱-۴-۷- جداسازی با سیگنال DC
۳۱۲	۲-۴-۷- جداسازی بخش‌های خطی و غیرخطی با استفاده از PRBS
۳۱۴	۵-۷- روش حداقل مربعات جداپذیر
۳۱۴	۱-۵-۷- شناسایی مدل هامرشتین با روش حداقل مربعات جداپذیر
۳۱۶	۲-۵-۷- شناسایی مدل وینر با روش حداقل مربعات جداپذیر
۳۱۷	۶-۷- شناسایی در حوزه فرکانس
۳۱۸	۱-۶-۷- شناسایی مدل هامرشتین در حوزه فرکانس
۳۲۵	۲-۶-۷- شناسایی مدل وینر در حوزه فرکانس
۳۲۸	۳-۶-۷- شناسایی مدل هامرشتین - وینر در حوزه فرکانس
۳۳۱	۴-۶-۷- شناسایی مدل وینر - هامرشتین در حوزه فرکانس
۳۳۲	۷-۷- روش‌های شناسایی با استفاده از تابع همبستگی (روش‌های تصادفی)
۳۳۲	۱-۷-۷- شناسایی مدل هامرشتین با روش تحلیل همبستگی
۳۳۵	۲-۷-۷- شناسایی مدل وینر - هامرشتین با روش تصادفی
۳۳۹	۳-۷-۷- تشخیص نوع مدل بلوک‌گرا براساس همبستگی عرضی مرتبه یک و مرتبه دو
۳۴۰	۸-۷- شناسایی مدل‌های بلوک‌گرا با عامل غیرخطی سخت
۳۴۱	۱-۸-۷- شناسایی مدل هامرشتین با فرض معلوم بودن ساختار عامل غیرخطی
۳۴۲	۲-۸-۷- شناسایی مدل هامرشتین با غیرخطی سخت ناحیه مرده و پیش‌بار
۳۴۲	۱-۲-۸-۷- اصل جداسازی ترم کلیدی
۳۴۳	۲-۲-۸-۷- شناسایی مدل هامرشتین با اصل جداسازی ترم کلیدی
۳۴۷	۳-۸-۷- شناسایی مدل هامرشتین با عامل غیرخطی لقی
۳۵۰	۴-۸-۷- شناسایی سیستم وینر با عامل غیرخطی ناحیه مرده و پیش‌بار
۳۵۱	۵-۸-۷- شناسایی سیستم وینر با عامل تکه‌ای خطی
۳۵۴	۶-۸-۷- شناسایی مدل وینر با عامل غیرخطی لقی
۳۵۵	۷-۸-۷- شناسایی سیستم وینر - هامرشتین با عامل غیرخطی لقی
۳۵۷	۹-۷- روش شتاب‌زده یا کورکورانه
۳۵۹	۱-۹-۷- تخمین بلوک غیرخطی خروجی
۳۶۱	۲-۹-۷- تخمین تابع تبدیل مربوط به بلوک خطی
۳۶۳	۳-۹-۷- تخمین غیرخطی ورودی
۳۶۵	مراجع

فصل هشتم: شبکه‌های عصبی..... ۳۶۹

۱-۸- مقدمه ۳۶۹

۲-۸- شبکه‌های عصبی ۳۷۰

۳-۸- تخمین پارامترهای شبکه عصبی (یادگیری شبکه عصبی) ۳۷۴

۱-۳-۸- یادگیری شبکه عصبی با روش‌های بهینه‌سازی غیرخطی ۳۷۵

۲-۳-۸- یادگیری شبکه عصبی با الگوریتم خطی/غیرخطی ترکیبی ۳۷۸

۴-۸- روش‌هایی برای بهبود یادگیری شبکه عصبی ۳۸۰

۵-۸- شناسایی سیستم با شبکه عصبی پیش‌خور ۳۸۱

۶-۸- شناسایی سیستم با شبکه عصبی بازگشتی ۳۸۳

۷-۸- شبکه یادگیری جهانی ۳۸۹

۸-۸- شبکه عصبی تابع پایه شعاعی ۳۹۰

۱-۸-۸- بهینه‌سازی غیرخطی ۳۹۰

۲-۸-۸- انتخاب C_i و σ_i ها و تخمین بهینه α_i ها ۳۹۱

۳-۸-۸- خوشه‌بندی داده‌ها ۳۹۱

۴-۸-۸- انتخاب C_i ها و تخمین بهینه σ_i ها و α_i ها ۳۹۲

۵-۸-۸- تخمین بهینه C_i ، σ_i و α_i ها ۳۹۲

۹-۸- نگاشت خود سازمانده و نحوه استفاده از آن برای شناسایی سیستم‌های غیرخطی ۳۹۳

مراجع ۳۹۷

فصل نهم: مدل‌های فازی و عصبی- فازی ۴۰۳

۱-۹- مقدمه ۴۰۳

۲-۹- مجموعه فازی ۴۰۴

۳-۹- قوانین IF-THEN فازی ۴۰۶

۴-۹- استدلال فازی و جمع‌آوری قوانین فازی ۴۰۷

۵-۹- غیرفازی‌سازی ۴۰۸

۶-۹- مدل‌های فازی ۴۰۹

۷-۹- مدل‌های زبانی ۴۱۱

۸-۹- مدل فازی تاکاگی - سوچنو ۴۱۲

۹-۹- شناسایی سیستم‌های غیرخطی با مدل‌های فازی ۴۱۴

۴۱۴	۹-۹-۱- تخمین پارامترهای مدل در بخش تالی $f_i(\phi(k))$
۴۱۵	۹-۹-۱-۱- تخمین پارامترها براساس حداقل مربعات خطای جهانی
۴۱۶	۹-۹-۱-۲- تخمین پارامتر براساس حداقل مربعات خطای محلی
۴۱۶	۹-۹-۲- تعیین متغیرهای بخش مقدم قوانین فازی
۴۱۸	۹-۹-۳- تخمین پارامترهای توابع عضویت
۴۱۹	۹-۹-۳-۱- خوشه‌بندی c - میانگین
۴۲۰	۹-۹-۳-۲- خوشه‌بندی c - میانگین فازی
۴۲۳	۹-۹-۳-۳- خوشه‌بندی با روش نگاشت خود سازمانده
۴۲۴	۹-۹-۳-۴- خوشه‌بندی مدل‌های c - رگرسیون فازی
۴۲۶	۹-۹-۳-۵- خوشه‌بندی فضای ورودی - خروجی
۴۲۹	۹-۱۰-۱- مدل‌های عصبی - فازی
۴۳۲	۹-۱۰-۱-۱- مدل سلسله مراتبی
۴۳۳	۹-۱۰-۲- شبکه عصبی - فازی پیش‌خورد
۴۳۴	۹-۱۰-۳- شبکه عصبی - فازی بازگشتی
۴۳۸	مراجع
۴۴۳	فصل دهم: موجک
۴۴۳	۱۰-۱-۱- مقدمه
۴۴۳	۱۰-۲-۱- محلی‌سازی زمان فرکانس
۴۴۵	۱۰-۳-۱- تبدیل موجک
۴۴۷	۱۰-۴-۱- سری موجک
۴۴۹	۱۰-۵-۱- تحلیل مولتی‌رزولوشن
۴۵۱	۱۰-۶-۱- شناسایی سیستم با استفاده از موجک
۴۵۴	۱۰-۶-۱-۱- شناسایی با استفاده از شبکه موجک
۴۵۵	۱۰-۶-۱-۱-۱- شبکه موجک تطبیقی
۴۵۶	۱۰-۶-۱-۲- شبکه موجک مشبک ثابت
۴۶۰	۱۰-۶-۱-۳- ابر شبکه موجک
۴۶۲	۱۰-۶-۱-۴- شبکه‌های عصبی موجک فازی
۴۶۳	۱۰-۶-۲- شناسایی با استفاده از تحلیل مولتی‌رزولوشن
۴۶۶	مراجع

فصل یازدهم: روش‌های چندمدلی ۴۶۹

۱-۱-۱- مقدمه ۴۶۹

۱-۲-۱- روش‌های مختلف تقسیم‌بندی فضای کاری سیستم ۴۷۰

۱-۲-۱-۱- مشبک ۴۷۱

۱-۲-۱-۲- خوشه‌بندی فضای ورودی ۴۷۱

۱-۲-۱-۳- روش مبتنی بر نقاط قرار گرفتن داده‌ها ۴۷۱

۱-۲-۱-۴- بهینه‌سازی غیرخطی ۴۷۲

۱-۲-۱-۵- الگوریتم‌های ایجاد درخت اکتشافی ۴۷۲

۱-۳-۱- تعیین ساختار مدل‌های چندمدلی ۴۷۲

۱-۳-۱-۱- اصول الگوریتم جستجو با افق نامحدود ۴۷۵

۱-۳-۱-۲- الگوریتم جستجو با افق محدود ۴۷۶

۱-۳-۱-۴- تخمین پارامتر ۴۷۹

۱-۳-۱-۱- تخمین جهانی ۴۷۹

۱-۳-۱-۲- تخمین محلی ۴۷۹

۱-۳-۱-۳- مقایسه پیچیدگی محاسباتی تخمین جهانی با تخمین محلی ۴۸۰

۱-۳-۱-۴- مقایسه قوام مدل حاصل از تخمین جهانی با تخمین محلی ۴۸۱

۱-۳-۱-۵- اثر روی هم افتادگی توابع اعتبار ۴۸۳

۱-۳-۱-۶- رابطه بین یادگیری محلی و جهانی و ویژگی تنظیم در یادگیری محلی ۴۸۴

۱-۴-۱- الگوریتم LOLIMOT ۴۸۶

۱-۴-۱-۱- مدل‌های خطی تکه‌ای ۴۸۹

۱-۴-۱-۲- نمایش کانونیکال ۴۹۰

۱-۴-۱-۳- شناسایی سیستم توسط مدل‌های تکه‌ای خطی ۴۹۱

۱-۴-۱-۷- تابع صفحه لولا ۴۹۶

۱-۴-۱-۸- درخت صفحه لولا ۴۹۸

۱-۸-۱- مقایسه الگوریتم HHT و LOLIMOT و مدل‌های حاصل از آنها و مدل‌های ۵۰۰

تکه‌ای خطی ۵۰۰

مراجع ۵۰۱

فصل دوازدهم: ارزیابی مدل ۵۰۳

۱-۱۲- مقدمه ۵۰۳

۵۰۴	 ارزیابی مدل برای سیستم‌های خطی	۲-۱۲
۵۰۶	 ارزیابی مدل برای سیستم‌های غیرخطی	۳-۱۲
۵۰۷	 $R_{\varepsilon(au)}(k) = E\{\varepsilon(k)\varepsilon(k-k)u(k-k)\} = 0, \forall k \geq 1$	۱-۳-۱۲
۵۰۹	 $R_{u^* \varepsilon^*}(k)$ تابع همبستگی	۲-۳-۱۲
۵۱۰	 $R_{u^* \varepsilon}(k)$ تابع همبستگی	۳-۳-۱۲
۵۱۱	 $R_{u^* \varepsilon^*}(k)$ و $R_{\varepsilon^* \varepsilon^*}(k)$ توابع همبستگی	۴-۳-۱۲
۵۱۳	 آزمون‌های چند جهت	۵-۳-۱۲
۵۱۹	 ارزیابی مدل با بررسی تأخیرهای خروجی در مانده‌ها	۶-۳-۱۲
۵۲۱	 ارزیابی مدل در سیستم‌های غیرخطی چند ورودی - چند خروجی	۷-۳-۱۲
۵۲۳	 مراجع	
۵۲۵	 نمایه	

پیشگفتار

شناسایی سیستم به معنای به دست آوردن یک مدل ریاضی برای ارتباط بین ورودی و خروجی یک سیستم با استفاده از اطلاعات یک آزمایش واقعی و عملی روی آن سیستم است. شناسایی سیستم از چند مرحله اساسی یعنی انجام آزمایش (اعمال یک ورودی خاص به سیستم)، جمع اوری اطلاعات ورودی و خروجی، تعریف ساختار برای مدل (تعریف یک رابطه ریاضی با پارامترهای مجهول بین ورودی و خروجی)، تعیین پارامترهای مجهول ساختار در نظر گرفته شده با استفاده از اطلاعات جمع اوری شده و ارزیابی مدل تشکیل می‌شود. یکی از مهمترین بخش‌های شناسایی سیستم تعریف ساختار مناسب می‌باشد.

با توجه به اینکه در اغلب موارد مدل‌سازی کامل (یعنی بدست آوردن یک مدل ریاضی که تمام جوانب و جزئیات سیستم را نشان دهد) عملاً غیرممکن است، معمولاً ابتدا با فرض‌های ساده‌کننده‌ای ساختارهای ساده‌تری برای مدل سیستم در نظر می‌گیرند. مثلاً اگر سیستم گسترده است (باید با معادلات دیفرانسیل یا مشتقات جزئی مدل شود)، آنرا فشرده فرض می‌کنند (با معادلات دیفرانسیل معمولی مدل می‌کنند). یا اگر پارامترهای سیستم کمی با زمان تغییر می‌کند آنرا نامتغیر با زمان در نظر می‌گیرند. اگر بعد از تخمین پارامترهای ساختار مفروض، مدل بدست آمده هدف ما را از مدل‌سازی برآورده ننمود (در بخش ارزیابی مدل رد شد)، آنوقت به سراغ ساختارهای پیچیده‌تر می‌رویم.

یکی از فرض‌های ساده‌کننده معمول این است که فرض کنیم سیستم تحت مطالعه در محدوده کاری مورد نظر خطی است و از روش‌های شناسایی سیستم‌های خطی استفاده نمود. این روش‌ها در کتاب "شناسایی سیستم" که توسط اینجانب تألیف شده است مفصلاً بحث شده‌اند. حال اگر سیستم مورد مطالعه عوامل غیرخطی شدیدی داشته باشد و یا محدوده کاری مورد نظر ما وسیع باشد به طوری که نتوان یک سیستم خطی که در تمام شرایط تقریباً صدق کند بدست آورد؛ آنوقت باید به سراغ روشهای شناسایی غیرخطی که در این کتاب بحث می‌شوند رفت.

همانطور که در این کتاب ملاحظه می‌شود روش‌های شناسایی غیرخطی بر اساس تئوری‌های ریاضی قوی‌تر و سنگین‌تری نسبت به روش‌های شناسایی خطی پایه‌گذاری شده‌اند. مطالعه این روش‌ها به دو دسته از محققان توصیه می‌شود. دسته اول کسانی که به دنبال مدل‌سازی دقیق یک سیستم واقعی هستند که با روش‌های خطی نمی‌توان آنها را با دقت قابل قبولی مدل نمود؛ مثل سیستم‌های هوافضا، سیستم‌های بیولوژیکی، سیستم‌های اقتصادی، بخش‌هایی از سیستم‌های قدرت و مخابرات و دسته دوم محققینی که به دنبال یک موضوع تحقیقاتی مناسب برای انجام رساله کارشناسی ارشد و یا دکترای خود هستند. گسترش این روش‌ها می‌تواند یک موضوع تحقیقاتی خوب برای دانشجویان گرایش کنترل و کاربرد آنها در بعضی از سیستم‌ها می‌تواند به عنوان موضوع

تحقیقاتی مناسب برای رساله سایر دانشجویان انتخاب شود. با توجه به افزایش بسیار زیاد متقاضیان دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا در سال‌های اخیر، این کتاب می‌تواند راه‌گشایی برای کار تحقیقاتی ایشان باشد.

هرچند تلاش زیادی شده است تا متن کتاب خالی از اشکال باشد ولی تجربه نشان می‌دهد علیرغم تلاش‌ها هیچ کتابی بدون اشکال نیست. لذا از کلیه خوانندگان و صاحب نظران در خواست می‌نمایم تا با ارسال اشکالات (چه ویرایشی و چه علمی) ما را در کامل کردن این اثر یاری نمایند.

مهدی کراری

استاد دانشکده برق

زمستان ۱۳۹۱

karrari@aut.ac.ir

سید سلمان احمدی

ahmadi_salman@aut.ac.ir

www.ketab.ir