بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه کنترل

عنوان پایان‌نامه:

# ارائه یک روش بهینه‌سازی غیرخطی برای شناسائی سیستم با در نظر گرفتن مدل $ARMA$

نام دانشجو:

**فرزاد سلیمانی قرخلو**

استاد راهنما:

**دکتر مهدی سجودی**

استاد مشاور:

**دکتر حمیدرضا مؤمنی**

زمستان ۹۳

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

**تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد**

**آقای فرزاد سلیمانی قرخلو** پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **ارائه یك روش بهینه سازی غیر خطی برای شناسایی سیستم با در نظر گرفتن مدل ARMA** در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۱۴ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد کنترل پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما | دکتر مهدی سجودی | استادیار | |
| استاد مشاور | دکتر حمیدرضا مومنی | دانشیار | |
| استاد ناظر | دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی | دانشیار | |
| استاد ناظر | دکتر حمید خالوزاده | استاد | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی | دانشیار | |

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم‌افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایش‌نامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب فرزاد سلیمانی قرخلو دانشجوی رشته مهندسی برق – نظریه کنترل ورودی سال تحصیلی۱۳۹۱ مقطع کارشناسی ارشد دانشکده برق و کامپیوتر متعهد می شوم کلِیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف این‌جانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین‌وسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: فرزاد سلیمانی قرخلو

تاریخ:۱۳۹۳/۱۱/۲۱

**آیین‌نامه چاپ پایان‌نامه‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس**

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی-پژوهشی دانشگاه است، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه‌ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسي برق- نظريه كنترل است که در سال ۱۳۹۳ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر مهدی سجودی و مشاوره جناب آقای دکتر حمیدرضا مومني از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: این‌جانب فرزاد سلیمانی قرخلو دانشجوی رشته مهندسي برق- نظريه كنترل مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: فرزاد سلیمانی قرخلو

تاریخ و امضا:۱۳۹۳/۱۱/۲۱

# تقدیم به

## پدر و مادر مهربانم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. کسانی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

## برادر و خواهر عزیزم

که عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.

# سپاسگزاری

که ایزد مقامی ببخشد بلند　　برآنان که در بحر دانش درند

براعمال روشن به سرّضمیر　　همه هست آگه خدای خبیر

استاد برجسته جناب آقای دکتر مهدی سجودی

به استناد آیه شریفه ۱۰ از سوره مبارکه فاطر،که خداوند می فرماید:"إِلَيْهِ يَصْعَدُ الْكَلِمُ الطَّيِّبُ وَالْعَمَلُ الصَّالِحُ يَرْفَعُهُ "، سخنان وکلام ارزشمند به سوی خدا صعود می‌کند و با ابدیت سنخیت پیدا کرده و همواره آثار خود را ظاهر می‌سازد.

بسی شایسته است از تلاش‌های مداوم و کوشش‌های مستمر حضرت عالی در اشاعه تعلیم و تربیت و بسط و توسعه علم ودانش ونیز از روشنی رأی و کارگشایی ثمربخش شما به عنوان استاد راهنما درکمال افتخار سپاسگزاری می‌نمایم.

از دیگر اساتید بزرگ و ارجمند دانشگاه تربیت مدرس جناب آقایان دکتر مومنی، دکتر بهشتی، دکتر ازگلی و... که درس‌های زیادی چه از لحاظ علمی و چه از لحاظ اخلاقی از آن‌ها آموختم سپاسگزاری می‌نمایم و امیدوارم لیاقت پیروی از راه این اساتید را بیابم.

# چکیده

در سال‌های اخیر شناسایی سیستم با روش‌های بهینه‌سازی محدب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با استفاده از این روش‌ها توانسته‌اند بسیاری از مسائلی که دارای داده‌های زیادی نیستند را به صورت قابل توجهی شناسایی کرده و مدل مناسبی را ارائه دهند. اما به این نتیجه رسدند که این روش‌ها در مسائل دارای اطلاعات زیاد مدل مناسبی را به ما نمی‌دهد. در این گونه مسائل پارامتری که بسیار نمود پیدا می‌کند، زمان شبیه‌سازی و رسیدن به جواب است، چرا که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی ذکر شده زمان بسیار زیادی برای رسیدن به مدل شناسایی لازم است. بنابراین الگوریتم‌هایی از جمله الگوریتم گرادیان تقریبی و الگوریتم‌های نقطه داخلی برای حل این مشکل ارائه شد که در ازای خطای شبیه‌سازی بیشتری مشکل زمان شبیه‌سازی را حل کنند. مدلی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، مدل $ARMA$ می‌باشد. با استفاده از الگوریتم گرادیان تقریبی و مدل مذکور اگرچه خطای این روش به نسبت روش‌های استفاده شده برای شناسایی سیستم‌های کوچک و متوسط مقیاس زیاد می‌باشد، اما روشی سریع برای رسیدن به مدل می‌باشد. در الگوریتم‌های نقطه داخلی با تغییراتی در الگوریتم پایه‌ای زمان شبیه‌سازی مناسبی به دست آمد. حال تنها مسئله‌ای که باقی می‌ماند این است که آیا می‌توان با استفاده از روشی، با حفظ زمان اندک شبیه‌سازی به دست آمده از الگوریتم‌های ارائه شده، خطا را نیز کاهش داد یا نه. با استفاده از روش ارائه شده با تغییراتی در الگوریتم نقطه داخلی، خطا باز هم کاهش یافت.

**کلمات کلیدی:** شناسایی سیستم - بهینه‌سازی محدب - مسائل دارای داده‌های زیاد - مدل $ARMA$ - الگوریتم گرادیان تقریبی - الگوریتم نقطه داخلی

## فهرست مطالب


فهرست مطالب ..... ۱

فهرست شکل‌ها ..... ۴

فهرست جدول‌ها ..... ۵

فصل ۱

**مقدمه** ..... ۶

**۱-۱-** پیشگفتار ..... ۷

۱-۲- تاریخچه ..... ۷

۱-۳- نقد و بررسی شیوه‌های نوین ..... ۱۴

۱-۴- هدف، ضرورت و نوآوری پژوهش ..... ۱۴

۱-۵- ساختار گزارش ..... ۱۵

فصل ۲

**مروری بر ادبیات تحقیق** ..... ۱۷

۲-۱- مقدمه ..... ۱۸

۲-۲- نظریه تحقق قطعی ..... ۱۸

۲-۳- چارچوب احتمال ماکزیمم ..... ۲۰

۲-۴- شناسائی سیستم از سال ۱۹۹۰ تا کنون ..... ۲۱

۲-۴-۱- شناسائی زیرفضاها ..... ۲۲

۲-۴-۲- شناسائی برای کنترل ..... ۲۳

فصل ۳

**معادلات مربوط به الگوریتم‌های استفاده شده** ..... ۲۶

۳-۱- مقدمه ..... ۲۷

۳-۲- تقریب اندازه ..... ۲۷

۳-۲-۱- مسئله پایه‌ای تقریب اندازه ..... ۲۷

۳-۲-۱-۲- تعبیر تقریب ..... ۲۸

۳-۲-۱-۳- تعبیر تخمین ..... ۲۸

۳-۲-۱-۴- تعبیر هندسی ..... ۲۸

۳-۲-۱-۵- تعبیر طراحی ..... ۲۹
۳-۲-۱-۶- مسائل تقریب اندازه وزن‌دار ..... ۲۹
۳-۲-۱-۷- تقریب حداقل مربعات ..... ۳۰
۳-۲-۱-۸- تقریب چبیشف ..... ۳۱
۳-۲-۱-۹- تقریب مجموع قدرمطلق باقیمانده‌ها ..... ۳۱
۳-۲-۲- تقریب تابع محدودیت ..... ۳۲
۳-۲-۲-۲- محدودیت‌های نامنفی روی متغیرها ..... ۳۲
۳-۲-۲-۳- مرزهای متغیر ..... ۳۳
۳-۲-۲-۴- محدودیت یک همسایگی برای متغیرها ..... ۳۳
۳-۳- مسئله حداقل اندازه ..... ۳۳
۳-۳-۱- تعبیر طراحی یا کنترل ..... ۳۴
۳-۳-۲- حل حداقل مربعات معادلات خطی ..... ۳۴
۳-۳-۳- حل با اندازه $l_1$ ..... ۳۵
۳-۴- تقریب تنظیم ..... ۳۵
۳-۴-۱- فرموله کردن دومعیاره ..... ۳۵
۳-۴-۲- تنظیم تیخونوف ..... ۳۶
۳-۵- تنظیم هموار ..... ۳۷
۳-۵-۱- ردیابی خروجی ..... ۳۹
۳-۵-۲- ورودی کوچک ..... ۳۹
۳-۵-۳- تغییرات ورودی کوچک ..... ۴۰
۳-۶- مسائل دارای داده‌های زیاد ..... ۴۰
۳-۶-۱- الگوریتم گرادیان تقریبی ..... ۴۱
۳-۶-۲- الگوریتم نقطه داخلی ..... ۴۳
۳-۶-۲-۱- برنامه‌ریزی خطی ..... ۴۴
۳-۶-۲-۲- روش نیوتن ..... ۴۶

فصل ۴

**شبیه‌سازی و ارائه نتایج** ..... ۴۸
۴-۱- مقدمه ..... ۴۹

۴-۲- تعریف سیستم و ورودی و خروجی آن ..... ۵۰
۴-۳- تعریف ساختار ..... ۵۱
۴-۴- شناسایی ..... ۵۲
۴-۴-۱- شناسایی با استفاده از روش بهینه‌سازی محدب ..... ۵۳
۴-۴-۲- شناسایی با استفاده از الگوریتم گرادیان تقریبی ..... ۶۰
۴-۴-۳- شناسایی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی ..... ۶۳
۴-۴-۳-۱- روش نیوتن ساده ..... ۶۳
۴-۴-۳-۲- روش نیوتن میراشونده ..... ۶۵
۴-۴-۳-۳- روش نیوتن ترکیبی ..... ۶۶
۴-۴-۴- شناسایی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی بهبود یافته ..... ۶۹
۴-۵- ارزیابی مدل ..... ۷۴

فصل ۵

**جمع‌بندی و پیشنهادات** ..... ۷۷

فهرست مراجع ..... ۸۰

# فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
**شکل ۴-۱** فلوچارت شناسائی ..... ۴۹
**شکل ۴-۲** خروجی داده واقعی مورد بررسی برای شناسایی ..... ۵۱
**شکل ۴-۳** مدلسازی یک فرآیند تصادفی رنگی ..... ۵۲
**شکل ۴-۴** خطای شبیه‌سازی روش شناسایی سیستم با استفاده از روش بهینه‌سازی محدب با تابع هزینه تیخونوف برای ۵۰۰ مشاهده ..... ۵۵
**شکل ۴-۵** زمان شبیه‌سازی روش شناسایی سیستم با استفاده از روش بهینه‌سازی محدب با تابع هزینه تیخونوف برای ۵۰۰ داده ..... ۵۶
**شکل ۴-۶** خطای شبیه‌سازی شناسایی سیستم با استفاده از تابع هزینه تیخونوف بر حسب تعداد مشاهده ..... ۵۸
**شکل ۴-۷** زمان شبیه‌سازی شناسایی سیستم با استفاده از تابع هزینه تیخونوف بر حسب تعداد مشاهده ۵۹
**شکل ۴-۸** خطای شبیه‌سازی شناسایی با استفاده از الگوریتم گرادیان تقریبی ..... ۶۱
**شکل ۴-۹** زمان شبیه‌سازی شناسایی با استفاده از الگوریتم گرادیان تقریبی ..... ۶۲
**شکل ۴-۱۰** خطای شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی با سه روش نیوتن ساده، نیوتن میراشونده و نیوتن ترکیبی ..... ۶۸
**شکل ۴-۱۱** زمان شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی با سه روش نیوتن ساده، نیوتن میراشونده و نیوتن ترکیبی ..... ۶۹
..... ۷۲
**شکل ۴-۱۲** خطای شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف ..... ۷۲
**شکل ۴-۱۳** زمان شبیه‌سازی شناسایی با استفاده از الکوریتم‌های مختلف ..... ۷۳
**شکل ۴-۱۴** مقایسه داده‌های واقعی با خروجی مدل به دست آمده از روش الگوریتم نقطه داخلی تعمیم یافته ..... ۷۴
**شکل ۴-۱۵** خطای شبیه‌سازی برای خروجی‌های سیستم برای شناسایی سیستم با استفاده از روش نقطه داخلی پیشنهادی ..... ۷۵
**شکل ۴-۱۶** تابع همبستگی مدل شناسایی شده از طریق الگوریتم نقطه داخلی تعمیم یافته ..... ۷۵

# فهرست جدول‌ها

**جدول ۴-۱** نتایج شناسایی سیستم با استفاده از بهینه‌سازی محدب و تابع هزینه تیخونوف برای ۵۰۰ داده ..... ۵۴
**جدول ۴-۲** نتایج شناسایی سیستم با استفاده از بهینه‌سازی محدب و تابع هزینه تیخونوف برای ۲۰۰۰ داده ..... ۵۷
**جدول ۴-۳** ضرایب بهینه به دست آمده برای شناسایی سیستم با استفاده از تابع هزینه تیخونوف برای داده‌های متفاوت ..... ۵۸
**جدول ۴-۴** نتایج شناسایی سیستم با استفاده از الگوریتم گرادیان تقریبی ..... ۶۱
**جدول ۴-۵** نتایج شناسایی با الگوریتم نقطه داخلی با روش نیوتن ساده ..... ۶۴
**جدول ۴-۶** نتایج شناسایی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی با روش نیوتن میراشونده ..... ۶۵
**جدول ۴-۷** نتایج شناسایی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی با روش نیوتن ترکیبی ..... ۶۷
**جدول ۴-۸** نتایج شناسایی با استفاده از الگوریتم نقطه داخلی بهبودیافته ..... ۷۰

# فصل ۱

# مقدمه

## ۱-۱- پیشگفتار

در سال‌های اخیر روش‌های بهینه‌سازی برای شناسائی سیستم‌ها (اعم از سیستم‌های خطی و غیرخطی) و مدل‌سازی سری‌های زمانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. دلیل این توجه موفقیت، ساده‌سازی بهینه‌سازی و کمینه کردن بعد در فرآیندها و نیز پیدایش کلاس جدیدی از الگوریتم برای بهینه‌سازی محدب غیردیفرانسیلی می‌باشد.

## ۱-۲- تاریخچه

همانطور که اشاره شد روش شناسائی سیستم‌های موجود و به خصوص سیستم‌های غیرخطی در بسیاری از مقالات مورد توجه قرار گرفته است. اما در موارد خاصی در شناسائی چنین سیستم‌هایی به مشکل برخواهیم خورد.

برای مثال برای سیستم‌هایی که در فضای حالت هستند و معادلات آن‌ها به صورت مدل فضای حالت بیان می شوند شبیه‌سازی‌های انجام شده در مواردی به مدل اصلی حاصل از داده‌های تجربی سازگاری ندارد و یا در مسائلی که سیستم‌های مورد بررسی دارای چرخه حدی پایدار یا ناپایدار هستند با شناسائی نمی‌توان به طور کامل آن‌ها را پایدار و به مدل نزدیک کردو...

به نظر می‌رسد که می‌توان با استفاده از اصول بهینه‌سازی و به خصوص بهینه‌سازی محدب این‌گونه سیستم-ها را به پایداری بسیار نزدیک کرد و نیز به مدل شباهت بسیاری داشته باشد. ما در این سمینار و فصل‌های پیش رو می خواهیم تاثیر بهینه‌سازی و به‌خصوص بهینه‌سازی محدب را در شناسائی سیستم‌های غیرخطی مورد بررسی قرار دهیم.

اکنون به بررسی یک تاریخچه مختصر در زمینه شناسائی سیستم و سپس کارهای انجام شده در زمینه بهینه‌سازی محدب در شناسائی سیستم خواهیم پرداخت.

همه چیز از سال ۱۹۶۵ آغاز شد. طوری که دو مقاله که اولی توسط هو و کالمن و دومی توسط آستروم و بهلین به چاپ رسید داده شد و این دو مقاله نقطه عطفی در پیدایش شناسائی سیستم‌ها قرار گرفت. مقاله هو-کالمن[۱] یک حل اولیه برای نظریه حقیقی‌سازی فضای حالت ارائه داد که مسیر رابه سمت حقیقی‌سازی تصادفی و در نهایت به شناسائی زیرفضاها منجر شد[۱]. مقاله آستروم-بهلین[۲] یک پایه واساس را برای روش‌های پیش‌بینی خطا بر اساس مدل‌های ورودی-خروجی پارامتری قرار داد[۲].

پیشرفت نظریه شناسائی در ادبیات کنترل در ادامه پیشرفت طراحی کنترل بر اساس مدل در حدود سال ۱۹۶۰ تحقق یافت. در سال‌های قبل در دهه ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ بسیاری از کنترل‌ها بر اساس دیاگرام‌های بود[۳] و نایکوئیست[۴] و نیکولز[۵] یا تحلیل پاسخ پله سیستم صورت می‌گرفت.

این روش‌ها به طراحی کنترل سیستم‌های یک ورودی-یک خروجی[۶] محدود بود. در سال ۱۹۶۰ کالمن یک ارائه در مورد فضای حالت مطرح کرد و یک پایه و اساس برای فضای حالت که بر پایه نظریه کنترل بهینه بود، با کنترل بهینه مربعی خطی[۷] تحت عنوان یک اساس برای طراحی کنترل بر پایه مدل قرار داد.

دسترسی به این روش‌های طراحی کنترل بر اساس مدل بر جامعه علمی تاثیر گذاشت تا دانشمندان پایه و اساس کنترل مدرن را بنا نهادند.

در اوایل بسیاری از کارهای انجام شده در زمینه شناسائی بوسیله جوامع آماری و اقتصادی صورت گرفت حتی با این وجود نظریه تخمین پارامترها نقش خود را در زمینه کاری گاوس[۸] و فیشر[۹] که به ترتیب در سال‌های ۱۸۰۹ و ۱۹۱۲ به تحقیقات در این زمینه می‌پرداختند، ایفا می‌کند[۳]. بسیاری از پیشرفت‌های

---

[۱] Ho-Kalman
[۲] Åström-Bohlin
[۳] Bode Chart
[۴] Nyquist Chart
[۵] Nichols Chart
[۶] Single-Input Single-Output (SISO)
[۷] Linear Quadratic (LQ)
[۸] Gauss
[۹] Fisher

نظریه فرایندهای تصادفی ایستا در بین سال‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۷۰ صورت گرفت. نظریه شناسائی در بسیاری از علوم کاربردهای فراوانی دارد اما هدف ما بیان کاربردهای این نظریه در علوم مهندسی است. لازم به ذکر است یک مرور تاریخ تحلیل شناسائی سیستم‌ها و سری‌های زمانی در زمینه جوامع آماری را می‌توان در دیستلر[۱] یافت[۴].

اگرچه نتایج زیادی در راستای شناسائی در زمینه‌های آماری و اقتصادی به دست آمد اما سال تولد شناسائی در زمینه کنترل ۱۹۶۵ با دو مقاله داده شده توسط هو-کالمن و آستروم-بهلین می‌باشد[۵]. مقاله هو-کالمن اولین حل را برای تعیین فضا حالت مینیمال را از پاسخ ضربه ارائه داد، حل این مسئله حقیقی‌سازی قطعی بعدها توسط آکیک[۲] در سال ۱۹۷۴ و دیگران به حقیقی‌سازی تصادفی گسترش یافت، جایی که یک مدل مارکوف برای یک فرایند صددرصد اتفاقی بر اساس کوواریانس به دست آمد[۶]. این فناوری که بر اساس تحلیل همبستگی مرکزی بود به فرایندهایی که شامل ورودی قابل اندازه‌گیری بودند گسترش یافت و به شناسائی فضای حالت زیر فضا منتهی شد.

مقاله آستروم-بهلین به جامعه کنترل چارچوب احتمالی ماکزیمم[۳] را که با تحلیل سری‌های زمانی برای تخمین پارامترهای مدل‌های معادلات مختلف تبدیل شده بود، معرفی کرد. که در ادبیات آماری با نام‌هایی همچون میانگین حرکتی خودبازگشتی[۴] و یا میانگین حرکتی خودبازگشتی با ورودی برون‌زاد[۵] شناخته می‌شود. این مدل‌ها و چارچوب احتمالی ماکزیمم موفقیت عظیمی به چارچوب پیش‌گوئی خطای شناسائی[۶] دادند.

در سال ۱۹۷۰ بوکس و جنکینز[۷] کتاب خود را تحت عنوان (تحلیل سری‌های زمانی ،پیش‌بینی و کنترل) به چاپ رساندند، که یک نیروی پیشران اصلی برای کاربردهای شناسائی بود. این کتاب یک نسخه کامل برای

1Deistler
2Akaike
۳ ML(Maximum Likelihood framework)
۴ARMA (AutoRegressive Moving Average)
۵ARMAX (AutoRegressive Moving Average with eXogeneous inputs)
۶ PEI (PredictionError Identification)
7Box & Jenkins

شناسائی را ارائه داد، طوری که در آن همه روش‌ها از تحلیل داده‌های اولیه گرفته تا تخمین مدل در آن ذکر شده بود[۷].

در زمینه روش‌های زمانی تحلیل سری‌های زمانی، به تحلیل همبستگی برای ساختار مدل قطعی وابسته است. برای حدود ۱۵ سال این کتاب به عنوان کتاب مرجع برای شناسائی سیستم‌ها بود. دیگر مراجع مهم در این زمان مقاله بررسی و تحلیل آستروم و ایخوف[1] در سال ۱۹۷۱[۸] و نشریه (موضوع خاص در شناسائی سیستم و تحلیل سری‌های زمانی) که در سال ۱۹۷۴ توسط *IEEE* در کنترل اتوماتیک به چاپ رساندند، بودند.

مطلبی را که آستروم و ایخوف به چاپ رساندند بسیاری از سوالاتی را که در آن موقع بی‌جواب مانده بودند را نشان می‌داد. یکی از این سوالات شناسائی سیستم‌های حلقه بسته بود برای حالتی که در آن روش‌های بر پایه هنکل با شکست مواجه شدند. در اواسط دهه ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ چارچوب پیشگویی خطا به طور کامل بر نظریه شناسائی غالب شد و شاید بسیار مهم‌تر از کاربردهای شناسائی گردید. تقریبا همه فعالیت‌های این زمان بر تحقیق در مورد پارامترهای صحیح متمرکز شده بود.

در سال ۱۹۷۶ اولین تلاش برای شناسائی سیستم از منظر یک مسئله تقریب صورت گرفت که در آن بهترین تقریب ممکن را از سیستم صحیح نشان می‌داد که توسط لیونگ[2] در سال ۱۹۷۶ [۹]و اندرسون و همکارانش[3] در سال ۱۹۷۸ [۱۰] و لیونگ و کینز[4] در سال ۱۹۷۹[۱۱] صورت پذیرفت.

بعد از این سال دید رایج به ترتیب از سیستم صحیح به تقریب صحیح تغییر یافت به طوری که تقریب خطای مدل (خطای بایاس و خطای واریانس) مرکز اصلی توجه و تحقیق قرار گرفت.

برای یک مهندس کنترل، علاقه اولیه، مدل و یا به طور خاص مدل تابع تبدیل است تا پارامترهایی که تنها برای توصیف وسیله مورد نظر و مدل آن کاربرد دارد. تحقیقات در زمینه خطای بایاس و خطای واریانس با

1Åström & Eykhoff
2Ljung
3Anderson et al
4Ljung and Caines

سرعت قابل ملاحظه‌ای از زمینه خطای پارامترها به آن مدل تابع تبدیل گسترش یافت، و این به دلیل برخی تحلیل‌های قابل توجه لیونگ که بر اساس اجازه دادن به افزایش درجه معادلات تا بی‌نهایت می‌باشد. در این زمینه دو مقاله چاپ شدند که یکی توسط خود لیونگ در سال ۱۹۸۵[۱۲] و دیگری توسط وهلبرگ و لیونگ[1] در سال ۱۹۸۶ بود[۱۳].

کار در ارتباط با تحلیل بایاس و واریانس مدل‌های شناسائی شده در سال‌های بین ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ زمینه دیگری از شناسائی را به نام مسئله طراحی پدیدار کرد. با یک درک از تاثیر شرایط تجربی، انتخاب ساختار مدل و انتخاب معیار کیفیت مدل شناسائی شده، متغیرهای طراحی برای مدل شناسائی شده می‌توانند تنظیم شوند.کار در این زمینه را بسیاری از دانشمندان آغاز کرده بودند که از این دست می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: گیورز و لیونگ[2] در سال ۱۹۸۶[۱۴]. کتاب شناسائی سیستم توسط لیونگ در سال ۱۹۸۶، تاثیر به سزایی در جامعه مهندسی در این زمینه داشت. این کتاب شناسائیی سیستم را از منظر مسئله طراحی برای مسائلی که مدل در آنها نقش اصلی را ایفا می‌کند.

این مشاهده که کیفیت مدل می‌تواند تنظیم گردد، از طریق انتخاب متغیرهای طراحی مناسب به سمت متغیرهای واقعی نهایی برای آن دسته از مدل‌هایی که ساخته شدند یک راه برای یک سری فعالیت‌ها و کارهای جدیدی را در سال‌های بین ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ باز کرد. کاربرد اصلی این الگوی جدید یک راه‌حل برای مواردی است که که در آن طراحی بر اساس طراحی کنترل‌کننده بر مبنای مدل می‌باشد،است.

بنابراین شناسائی برای کنترل از حدود سال ۱۹۹۰ بسیار مورد توجه قرار گرفت. چراکه این مسئله بسیاری از جنبه‌های شناسائی و نظریه کنترل مقاوم را در بر می‌گیرد. همچنین این مسئله توجه به زمینه‌هایی همچون طراحی تجربی، شناسائی حلقه بسته، شناسائی در حوزه فرکانس، تخمین عدم قطعیت و تحلیل و طراحی کنترل مقاوم را به خود جلب می‌کند.

1Wahlberg and Ljung
2Gevers and Ljung

یکی از مشکلات روش تحلیل همبستگی مرکزی که توسط آکیک ارائه شد این است که نمی‌توان آن را به سادگی در کنار اجزای تصادفی به داده‌های خروجی گسترش داد. در سال‌های ۱۹۹۰ به بعد تیم‌های تحقیقاتی بسیاری در این زمینه مشغول به تحقیق بودند که می‌توان به این افراد اشاره کرد: لاریمور[۱] در سال ۱۹۹۰[۱۵]، فن اوورسچی و ده مور[۲] در سال ۱۹۹۴[۱۶]، ورهاگن[۳] در سال ۱۹۹۴[۱۷]، ویبرگ[۴] در سال ۱۹۹۵[۱۸].

این افراد اولین راه‌حل‌ها را در زمینه شناسائی زیرفضاها را مورد بررسی قرار دادند و این راه‌حل‌ها زمینه را برای کارهای بیشتر در این زمینه را فراهم کرد، به طوری که ارتباط آن‌ها با نظریه تحقق تصادفی در زمینه راه‌کارهای حل عددی بهبودهای فراوانی را حاصل کرد که در این زمینه می‌توان به افراد زیر اشاره کرد: چویی و ماسیجوسکی[۵] در سال ۱۹۹۶[۱۹]، کاتایاما و پیچی[۶] در سال ۱۹۹۹[۲۰]، و چیوسو و پیچی[۷] در سال ۲۰۰۲[۲۱] اشاره کرد.

کار حدود بیست ساله روی شناسائی برای کنترل نتایج بسیار زیادی را حاصل داشت که در نهایت توسط چند نفر در قالب یک مقاله مروری توسط چند نفر ارائه گردید که از این قبیل می‌توان به مقاله داده شده توسط گیورز[۸] در سال ۲۰۰۵ اشاره کرد[۲۲]، همچنین مقاله ارائه شده در جالمارسون[۹] در سال ۲۰۰۶[۲۳] نیز از این قبیل مقاله‌ها بود.

همانطور که اشاره شد شناسائی سیستم‌ها درباره تخمین مدل‌های سیستم‌های دینامیکی از داده‌های ورودی-خروجی می‌باشد. علاوه بر این پایه و اساس شناسائی سیستم‌ها بر روش‌های آماری استوار است. که همانطور که اشاره شد یکی از این روش‌ها تخمین احتمالی ماکزیمم و تحلیل مجانبی بایاس و واریانس می‌باشد.

1Larimore
2Van Overschee and De Moor
3Verhaegen
4Viberg
5e.g. Chui and Maciejowski
6Katayama and Picci
7Chiuso andPicci
8Gevers
9Hjalmarsson