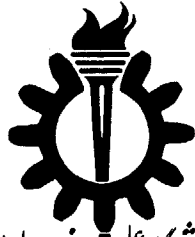
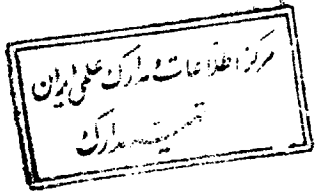


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۳۲۱۲۱

۱۰۶ / ۱ / ۱۳۸۰



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی برق

روشهای شناسایی زیرفضا

حامد مجللی مقدم فومنی

۱۹۶۷۷

پایان نامه ارائه شده جهت اخذ درجه

کارشناسی ارشد

مهندسی برق - کنترل

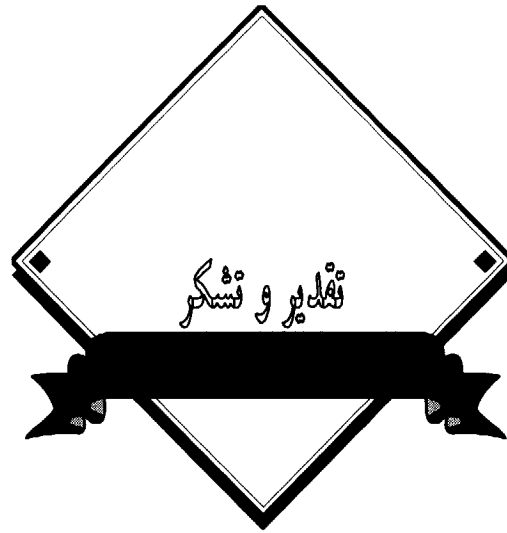
استاد راهنما: دکتر جواد پشتان

آبان ۱۳۷۹

۳۲۱۳۱

چکیده

روشهای شناسایی زیرفضا در خلال دهه گذشته توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. این توجه بخاطر توانایی این روشها در ایجاد مدل‌های فضای حالت دقیق برای سیستمهای خطی چندمتغیره بطور مستقیم از داده ورودی- خروجی می باشد. اساس روشهای زیرفضا بر تئوری تحقق کلاسیک فضای حالت که در دهه ۶۰ توسعه یافته، استوار است و ابزار اساسی این روشها تفکیک به مقادیر استثنایی و تفکیک QR هستند. در این تحقیق، مفاهیم اساسی روشهای زیرفضا مورد بررسی قرار گرفته است و سه الگوریتم زیرفضا در قالب یکسانی بیان شده اند. سپس با بکارگیری الگوریتمهای زیرفضا برای شناسایی تعدادی سیستم واقعی، ویژگیهای این روشها در مقایسه با روشهای کلاسیک شناسایی مورد ارزیابی قرار گرفته و نشان داده شده است که روشهای زیرفضا معایب و مشکلات روشهای کلاسیک را ندارند.



با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر
جواد پُشتان که از حمایت‌های بیدریغ و راهنمایی‌های
ارزشمندشان در طول دوره تحصیلی و ضمن انجام
پایان نامه بهره مند شدم . همچنین از آقایان دکتر
علی‌خاکی صدیق، دکتر محمدرضا جاهد مطلق و
دکتر حسین بلندی که در نشست بررسی این
پایان نامه شرکت نمودند صمیمانه تشکر میکنم .

فهرست مطالب

فصل اول

- ۱..... مقدمه
- ۴..... تاریخچه روشهای زیرفضا:
- ۵..... نگاهی به اهداف و مطالب پایان نامه:

فصل دوم

- ۹..... مقدمه ای بر شناسایی سیستمها
- ۹..... جایگاه مدلسازی و شناسایی سیستم:
- ۱۰..... انواع مدل:
- ۱۰..... مدلسازی ریاضی و شناسایی سیستم:
- ۱۱..... شناسایی سیستم چگونه انجام می شود؟
- ۱۲..... طراحی آزمایش:
- ۱۲..... الف) انتخاب سیگنال ورودی:
- ۱۵..... ب) انتخاب نرخ نمونه برداری:
- ۱۶..... ج) فیلترهای پیش از نمونه برداری:
- ۱۶..... پیش پردازش اطلاعات:
- ۱۷..... انواع روشهای شناسایی سیستم:
- ۱۷..... الف) آنالیز گذرا:
- ۱۷..... ب) تحلیل همبستگی:
- ۱۸..... ج) آنالیز فرکانسی:
- ۲۰..... آنالیز فوریه:
- ۲۰..... ویژگیهای تخمین تابع تبدیل تجربی:
- ۲۱..... آنالیز طیفی:
- ۲۱..... تعیین/انتخاب مدل:

۲۱.....	مجموعه های مدل:
۲۲.....	ساختار مدل:
۲۲.....	رابطه بین مجموعه مدل و ساختار مدل:
۲۲.....	معرفی ساختارهای مدل:
۲۳.....	مدل فضای حالت:
۲۴.....	فرم نوآوری فضای حالت و فیلتر کالمن:
۲۵.....	ویژگیهای ساختار مدل:
۲۵.....	مفهوم شناسایی پذیری:
۲۶.....	پارامتری کردن ساختار مدل بفرم معادله حالت:
۲۷.....	انتخاب روش تخمین پارامتر:
۲۷.....	روشهای خطای پیشگویی:
۲۹.....	روشهای متغیرهای ابزاری:
۳۰.....	نتیجه گیری:

فصل سوم

۳۱.....	الگوریتمهای مبتنی بر تحقق:
۳۳.....	(۳-۱) ویژگیهای ماتریس هنکل پاسخ ضربه:
۳۴.....	(۳-۲) الگوریتم Zeiger و McEwen:
۳۶.....	(۳-۳) الگوریتم Kung:
۳۷.....	(۳-۴) ویژگیهای مدلهای حاصل از الگوریتم تحقق:
۳۷.....	(۳-۴-۱) تحقق بالانس شده و گرامیانهای رویت پذیری و کنترل پذیری:
۳۹.....	(۳-۴-۲) محاسبه تحقق بالانس شده:
۳۹.....	(۳-۴-۳) ویژگیهای مدلهای:
۴۰.....	(۳-۵) اثرات نویز:
۴۲.....	(۳-۷) بحث و نتیجه گیری:

فصل چهارم

۴۴.....	الگوریتمهای مستقیم زیرفضا:
۴۵.....	الف) الگوریتم N4SID:
۴۵.....	(۱) مقدمات:
۵۰.....	(۲) تصویر اصلی:

۵۲	.....(۳) فیلتر کالمن:
۵۵	.....(۴) تفسیر تصاویر اصلی بعنوان حالت‌های فیلتر کالمن:
۵۸	.....(۵) لم شناسایی:
۶۱	.....(۶) الگوریتم:
۶۲	.....(۷) تصویر مایل:
۶۴	.....(۸) حل تقریبی مسئله شناسایی:
۶۸	.....(۹) روش پایدار عددی برای اجرای الگوریتمها:
۷۲	.....(۱۰) نگاهی دیگر به تصاویر مایل:
۷۳	.....(۱۰-۱) تفسیری از حالتها:
۷۳	.....(۱۰-۲) تفسیر هندسی:
۷۴	.....(۱۱) مثال:
۷۹	.....(ب) الگوریتم MOESP:
۷۹	.....(۱) حالت ساده خطای خروجی:
۸۷	.....(۲) حالت کلی:
۹۲	.....(۳) مثالها:

فصل پنجم

۹۸	.....تئوری یکسان برای الگوریتمهای مختلف زیرفضا
۹۹	.....(۵-۱) ساختار زیرفضای سیستمهای خطی:
۱۰۴	.....(۵-۲) دو گام اساسی در شناسایی زیرفضا:
۱۰۴	.....(۵-۲-۱) گام اول: تعیین رشته حالت و یا ماتریس رؤیت پذیری
۱۰۷	.....(۵-۲-۲) گام دوم: یافتن مدل فضای حالت

فصل ششم

۱۱۳	.....کاربرد الگوریتمهای زیرفضا در شناسایی چند سیستم واقعی
۱۱۵	.....(۶-۱) شنوار:
۱۱۸	.....(۶-۲) سیستم گرمایی:
۱۲۱	.....(۶-۳) واحد مولد بخار بویلر:
۱۲۶	.....(۶-۴) فرآیند پیچش:
۱۳۰	.....(۶-۵) فرآیند ساخت حباب شیشه ای:
۱۳۵	.....(۶-۶) فرآیند CSTR:

- ۱۳۹.....: سیستم خشک کن صنعتی: (۶-۷)
- ۱۴۲.....: کوره پخت شیشه: (۶-۸)
- ۱۴۵.....: دیوار دو جداره: (۶-۹)
- ۱۴۸.....: Four-Stage Evaporator (۶-۱۰)

فصل هفتم

- ۱۵۲.....: نتیجه گیری و پیشنهادات
- ۱۵۹.....: لیست مراجع:
- مقاله پذیرفته شده در دومین کنفرانس بین المللی ریاضی کاربردی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۶-۴
- آبان ۱۳۷۹

- ۱۴-۴ قطبهای اصلی سیستم و قطبهای شناسایی شده (مثال دوم) ۹۵
- ۱۵-۴ خروجیهای واقعی و شبیه سازی شده (مثال دوم) ۹۶

فصل پنجم

- ۵-۱ تفسیری از تصویر متمایل در فضای z بعدی ۱۰۲
- ۵-۲ دو گام اساسی روشهای زیرفضا ۱۰۴
- ۵-۳ تخمینهای حالت فیلتر کالمن بر اساس z نمونه اخذ شده ورودی و خروجی ۱۰۸

فصل ششم

- ۶-۱ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (سیستم شوار) ۱۱۶
- ۶-۲ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (سیستم شوار) ۱۱۶
- ۶-۳ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (سیستم شوار) ۱۱۷
- ۶-۴ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش N4SID (سیستم شوار) ۱۱۷
- ۶-۵ سیستم گرمایی ۱۱۸
- ۶-۶ ورودی اعمالی به سیستم گرمایی ۱۱۸
- ۶-۷ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (سیستم گرمایی) ۱۱۹
- ۶-۸ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (سیستم گرمایی) ۱۲۰
- ۶-۹ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (سیستم گرمایی) ۱۲۰
- ۶-۱۰ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش N4SID (سیستم گرمایی) ۱۲۱
- ۶-۱۱ سیستم مولد بخار ۱۲۲
- ۶-۱۲ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (سیستم واحد مولد بخار) ۱۲۳
- ۶-۱۳ ورودی اعمالی به سیستم مولد بخار ۱۲۴
- ۶-۱۴ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (سیستم واحد مولد بخار) ۱۲۴
- ۶-۱۵ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (سیستم واحد مولد بخار) ۱۲۵
- ۶-۱۶ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش CVA (سیستم واحد مولد بخار) ۱۲۵
- ۶-۱۷ فرآیند پیچش ۱۲۶
- ۶-۱۸ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (فرآیند پیچش) ۱۲۸
- ۶-۱۹ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (فرآیند پیچش) ۱۲۸
- ۶-۲۰ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (فرآیند پیچش) ۱۲۹
- ۶-۲۱ ورودیهای اعمالی به سیستم (فرآیند پیچش) ۱۲۹
- ۶-۱۶ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش MOESP (فرآیند پیچش) ۱۳۰

- ۱۳۱ ۶-۲۳ فرآیند ساخت حباب شیشه ای
- ۱۳۲ ۶-۲۴ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (فرآیند ساخت حباب شیشه ای)
- ۱۳۲ ۶-۲۵ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (فرآیند ساخت حباب شیشه ای)
- ۱۳۳ ۶-۲۶ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (فرآیند ساخت حباب شیشه ای)
- ۱۳۳ ۶-۲۷ ورودیهای اعمالی به سیستم (فرآیند ساخت حباب شیشه ای)
- ۱۳۴ ۶-۲۸ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش CVA (فرآیند ساخت حباب شیشه ای)
- ۱۳۶ ۶-۲۹ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (فرآیند CSTR)
- ۱۳۷ ۶-۳۰ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (فرآیند CSTR)
- ۱۳۷ ۶-۳۱ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (فرآیند CSTR)
- ۱۳۸ ۶-۳۲ ورودیهای اعمالی به سیستم (فرآیند CSTR)
- ۱۳۸ ۶-۳۳ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش CVA (فرآیند CSTR)
- ۱۳۹ ۶-۳۴ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (سیستم خشک کن صنعتی)
- ۱۴۰ ۶-۳۵ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (سیستم خشک کن صنعتی)
- ۱۴۰ ۶-۳۶ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (سیستم خشک کن صنعتی)
- ۱۴۱ ۶-۳۷ ورودیهای اعمالی به سیستم (سیستم خشک کن صنعتی)
- ۱۴۱ ۶-۳۸ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش MOESP (سیستم خشک کن صنعتی)
- ۱۴۲ ۶-۳۹ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (کوره پخت شیشه)
- ۱۴۳ ۶-۴۰ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (کوره پخت شیشه)
- ۱۴۳ ۶-۴۱ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (کوره پخت شیشه)
- ۱۴۴ ۶-۴۲ ورودیهای اعمالی به سیستم (کوره پخت شیشه)
- ۱۴۴ ۶-۴۳ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش N4SID (کوره پخت شیشه)
- ۱۴۵ ۶-۴۴ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (دیوار دوجداره)
- ۱۴۶ ۶-۴۵ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (دیوار دوجداره)
- ۱۴۶ ۶-۴۶ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (دیوار دوجداره)
- ۱۴۷ ۶-۴۷ ورودیهای اعمالی به سیستم (دیوار دوجداره)
- ۱۴۷ ۶-۴۸ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش N4SID (دیوار دوجداره)
- ۱۴۸ ۶-۴۹ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم N4SID (Four Stage Evaporator)
- ۱۴۹ ۶-۵۰ مقادیر استثنایی حاصل از الگوریتم MOESP (Four Stage Evaporator)
- ۱۴۹ ۶-۵۱ زوایای اصلی حاصل از روش CVA (Four Stage Evaporator)
- ۱۵۰ ۶-۵۲ ورودیهای اعمالی به سیستم (Four Stage Evaporator)
- ۱۵۰ ۶-۵۳ خروجیهای واقعی و خروجیهای شبیه سازی شده با روش MOESP (Four Stage Evaporator)

فصل هفتم

۷-۱ تفاوت اساسی روشهای زیرفضا و روشهای کلاسیک در بدست آوردن مدل کاهش یافته ۱۵۳

۷-۲ تفاوت اساسی روشهای زیرفضا و روشهای کلاسیک در تعیین حالت‌های سیستم ۱۵۴

فهرست جداول

فصل دوم

۲-۱ ساختارهای مدل مختلف ۲۲

فصل پنجم

۵-۱ قالبی یکسان برای الگوریتمهای مختلف زیرفضا ۱۰۶

فصل ششم

۶-۱ نتایج حاصل از شناسایی سیستم ششوار ۱۱۶

۶-۲ نتایج حاصل از شناسایی سیستم گرمایی ۱۱۹

۶-۳ نتایج حاصل از شناسایی سیستم واحد مولد بخار بویلر ۱۲۳

۶-۴ نتایج حاصل از شناسایی سیستم فرآیند پیچش ۱۲۷

۶-۵ نتایج حاصل از شناسایی سیستم فرآیند ساخت حباب شیشه ای ۱۳۱

۶-۶ پارامترهای CSTR ۱۳۵

۶-۷ نتایج حاصل از شناسایی سیستم CSTR ۱۳۶

۶-۸ نتایج حاصل از شناسایی سیستم خشک کن صنعتی ۱۳۹

۶-۹ نتایج حاصل از شناسایی سیستم کوره پخت شیشه ۱۴۲

۶-۱۰ نتایج حاصل از شناسایی سیستم دیوار دوجداره ۱۴۵

۶-۱۱ نتایج حاصل از شناسایی سیستم Four Stage Evaporator ۱۴۸

فصل اول

مقدمه

فصل اول

مقدمه

مدلهای ریاضی سیستمهای دینامیکی برای تحلیل، شبیه سازی، پیش بینی، تشخیص خطا^۱، آموزش^۲ و کنترل استفاده می شوند. روشهای مختلفی برای تولید مدل از سیستم وجود دارند. برای مثال، نوشتن قوانین فیزیکی و شیمیایی که رفتار سیستم را تشریح می کنند، روشی جهت ایجاد مدل برای سیستمهای ساده است و موسوم به روش جعبه-سفید^۳ می باشد. در بعضی حالات، معادلات سیستم دارای تعدادی پارامتر مجهول هستند که این پارامترها از طریق روشهای تخمین معین می شوند (مدلسازی به روش جعبه-خاکستری^۴). روش دیگر بوسیله شناسایی سیستم ایجاد می شود که در آن ابتدا اندازه گیریها یا مشاهداتی از سیستم جمع آوری می شوند، سپس با استفاده از روش موسوم به جعبه-سیاه^۵ مدل ایجاد می شود. چنین روشی اساساً ابتدا شامل تعریف پارامتری کردن مدل و سپس تعیین پارامترهای مدل بطریقی است که اندازه گیریها حتی الامکان بدرستی توسط مدل تشریح بشوند. نوعاً، این عمل توسط تبدیل مسئله شناسایی به یک مسئله بهینه سازی انجام می شود که در آن متغیرها، پارامترهای مجهول سیستم و قیود مسئله، معادلات مدل و تابع

^۱ Fault Detection

^۲ Training

^۳ White-Box

^۴ Gray-Box

^۵ Black-Box

هدف، اندازه ای از اختلاف بین مشاهدات و مقادیر پیش بینی یا شبیه سازی شده بدست آمده از مدل هستند. مدلها یا سیستمها را می توان به دسته های مختلفی تقسیم نمود مانند خطی و غیرخطی، تغییرناپذیر با زمان یا متغیر با زمان، زمان-گسسته یا زمان-پیوسته، با پارامترهای فشرده^۱ یا پارامترهای گسترده^۲ و... در عمل بسیاری از رفتارهای ورودی-خروجی سیستمهای واقعی و فرآیندهای صنعتی را می توان با دسته مدلهای خطی تغییرناپذیر با زمان با پارامترهای فشرده بخوبی تقریب زد. به زبان ریاضی، این مدلها بوسیله مجموعه معادلات تفاضلی زیر تشریح می شوند:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k \quad (1)$$

$$y_k = Cx_k + Du_k + v_k \quad (2)$$

$$E \begin{bmatrix} w_k \\ v_k \end{bmatrix} \begin{pmatrix} w_l' & v_l' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q^s & S^s \\ (S^s)' & R' \end{pmatrix} \delta_{kl} \geq 0 \quad (3)$$

که در این معادلات داریم:

- بردارها: بردارهای $u_k \in R^{m \times 1}$ و $y_k \in R^{l \times 1}$ اندازه گیریهایی در زمان k بترتیب از m ورودی و l خروجی فرآیند هستند. بردار x_k ، بردار حالت فرآیند در زمان k است و مقادیر عددی n حالت را شامل می شود. این حالتها لزوماً هیچ تفسیر فیزیکی ندارند. البته اگر حالتهای سیستم دارای بعضی معانی فیزیکی باشند، همیشه تبدیلی از مدل فضای حالت برای تبدیل آنها به حالتی با مفهوم فیزیکی یافت می شوند. $w_k \in R^{m \times 1}$ و $v_k \in R^{l \times 1}$ سیگنالهای برداری غیرقابل اندازه گیری هستند. فرض می شود که آنها رشته های برداری نویز سفید دارای توزیع نرمال، متوسط صفر و ایستا باشند.

- ماتریسها: $A \in R^{n \times n}$ ماتریس سیستم نامیده می شود. این ماتریس دینامیکهای سیستم را تشریح می کند. $B \in R^{n \times m}$ ماتریس ورودی است و تبدیل خطی ای را که بوسیله آن ورودیهای معین بر حالتی آینده تاثیر می گذارند را نمایش می دهد. $C \in R^{l \times n}$ ماتریس خروجی است که چگونگی انتقال حالت داخلی را به خروجی نشان می دهد. ماتریس D عبارت تغذیه مستقیم نامیده می شود. در سیستمهای زمان پیوسته این عبارت اغلب صفر است که چنین حالتی بنحاطر نمونه برداری در سیستمهای زمان گسسته وجود ندارد. ماتریسهای $Q_s \in R^{n \times n}$ ، $S_s \in R^{n \times l}$ و $R_s \in R^{l \times l}$ ماتریسهای کواریانس رشته های نویز w_k و v_k می باشند.

حال با جزئیات بیشتری توضیح می دهیم که چرا اغلب ایده خوبی است که داده های فرآیندهای صنعتی را بر مدلهای تشریح شده تطبیق دهیم.

^۱ Lumped

^۲ Distributed