بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–کنترل

طراحی سیگنال ورودی در شناسایی سیستم برای کنترل مقاوم

وحید آیین‌فر

استاد راهنما :

دکتر حمیدرضا مؤمنی

دیماه ۱۳۸۹

بسمه تعالی

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

آقای وحید آیین فر پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان **طراحی ورودی برای شناسایی سیستم بمنظور کنترل مقاوم** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۲۸ 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 حیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سجاد ازگلی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر بابک اعرابی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های 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 نامه (رساله)ی 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 پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر 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 می کند 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 وحید آئین فر دانشجوی رشته مهندسی برق - کنترل مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: وحید آئین فر

تاریخ و امضا: ۱۱/۲/۱۳۸۹

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

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

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی وحید آئین

امضاء

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم که همـواره بزرگتـرین پشـتیبان زندگی‌ام بوده‌اند و تقدیم به همـه‌ی آنـان کـه مـرا علـم آموختند.

تشکر و قدردانی

لازم می‌دارم از راهنمایی‌های بی‌دریغ و بسیار ارزشمند استاد محترم جناب آقای دکتر حمیدرضا مؤمنی تشکر و سپاسگذاری نمایم چرا که با راهنمایی‌های بی‌دریغ و صبر فراوان، اینجانب را در انجام این پروژه رهنمون شدند.

همچنین از راهنمایی‌های جناب آقای دکتر آرش صادق‌زاده در به انجام رسیدن تحقیق که نقش به سزایی نیز در انتخاب موضوع پژوهش داشتند کمال تشکر و سپاسگذاری را به جای آورم.

وحید آئین فر

دیماه ۱۳۸۹

چکیده

یک نقطه ضعف مهم در ارتباط با طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم برای مدل‌های به‌دست آمده از شناسایی به روش خطای پیش‌بینی این است که روش‌های طراحی کنترل مقاوم بسیار قلیلی مستقیماً با نواحی عدم قطعیت بیضوی، به‌دست آمده از آزمایش شناسایی سیستم سازگار هستند. مدل‌های به‌دست آمده از آزمایش شناسایی سیستم در چارچوب خطای پیش‌بینی در یک مجموعه‌ی عدم قطعیت بیضوی جای می‌گیرند. در این پایان‌نامه، یک روش توام طراحی سیگنال ورودی/کنترل‌کننده‌ی مقاوم ارائه می‌شود که پایداری سیستم حلقه-بسته و ارضای کارایی مقاوم مورد نظر را با استفاده از مدل‌های به‌دست آمده از داده‌های آزمایش تضمین کند. از پارامتری‌کردن بعد محدود طیف سیگنال ورودی برای نمایش مسئله‌ی طراحی ورودی به صورت یک مسئله‌ی بهینه‌سازی محدب استفاده شده است. همچنین از روش طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم H_∞ برای سیستم‌های با عدم قطعیت بیضوی استفاده شده و ویژگی‌های H_∞ داده شده بر روی تابع تبدیل حلقه-بسته به صورت شروط کافی بر روی سیگنال ورودی مورد استفاده در آزمایش شناسایی سیستم ترجمه شده‌اند.

یک فرض پایه که بر روی روش‌های طراحی‌کنترل‌کننده‌های فیدبک وجود دارد این است که این روش‌ها باید به صورت عملی قابل پیاده‌سازی باشند. علاوه بر این به خاطر تبدیل‌های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ، محدودیت در طول کلمه‌ای اعداد و خطاهای گرد کردن در محاسبات عددی و همچنین نیاز به تامین مهندس با تجربه، محدودیت‌هایی در پیاده‌سازی عملی کنترل‌کننده‌ها وجود دارد. بنابراین، لازم است که هر کنترل‌کننده‌ای قادر به تحمل مقداری عدم قطعیت در پارامترهای خود باشد، بدین منظور یک روش نیز برای طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم غیرشکننده در شناسایی سیستم ارائه شده است.

کلیدواژه: شناسایی برای کنترل، کنترل مقاوم، عدم قطعیت بیضوی، بهینه‌سازی محدب، بهینه سازی LMI، کنترل‌کننده‌ی غیرشکننده.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۱-۱- سیستم‌ها و مدل‌ها ۱
۱-۱-۲- مدل‌سازی بر اساس داده‌های آزمایش ۱
۱-۲- تاریخچه‌ی شناسایی برای کنترل ۳
۱-۳- تعریف مسئله ۵
۱-۴- بخش‌های پایان‌نامه ۶

فصل ۲- شناسایی سیستم و طراحی آزمایش ۸
۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- سیستم‌های خطی و تغییر ناپذیر با زمان ۸
۲-۳- مسئله‌ی طراحی آزمایش ۱۰
۲-۴- دقت مدل ۱۱
۲-۴-۱- تخمین پارامتر ۱۱
۲-۴-۲- واریانس مدل ۱۲
۲-۵- کاربرد مدل و معیارهای کیفیت ۱۳
۲-۵-۱- شناسایی برای کنترل ۱۳
۲-۵-۲- محدودیت‌های کیفی در شناسایی حلقه-باز برای کنترل داخل مدل ۱۴
۲-۶- محدودیت‌های کیفیت بر اساس نرم H_∞ ۱۵
۲-۷- طراحی آزمایش حلقه- بسته ۱۶

فصل ۳- طراحی بهینه‌ی ورودی در شناسایی سیستم ۱۷
۳-۱- مقدمه ۱۷
۳-۲- تعریف مسئله ۱۷
۳-۳- پارامتری‌کردن طیف ورودی ۲۱
۳-۳-۱- پارامتری‌کردن بعد محدود ۲۳
۳-۳-۲- پارامتری‌کردن همبستگی جزئی ۲۵
۳-۴- پارامتری‌کردن ماتریس کواریانس ۲۶

۳-۴-۱- پارامتری‌کردن کامل کمینه‌ی ماتریس کواریانس ۲۶
۳-۵- پارامتری‌کردن بر اساس طیف با بعد محدود ۲۹
۳-۶- محدودیت کیفی ۲۹
۳-۶-۱- نمایش محدب محدودیت‌های کیفی ۲۹
۳-۶-۲- کاربرد لم KYP در محدودیت‌های فرکانسی ۳۱
۳-۷- محدودیت‌های کیفی در نواحی بیضوی ۳۲
۳-۷-۱- بازنویسی به فرم مسئله‌ی محدب ۳۴
۳-۷-۲- تخفیف بعد محدود ۳۵
۳-۸- پارامتری‌نمودن محدودیت‌های سیگنال ۳۷
۳-۸-۱- پارامتری‌نمودن محدودیت‌های توان ۳۷
۳-۸-۲- پارامتری‌نمودن محدودیت‌های Point-Wise ۳۸
۳-۹- جنبه‌های قوام ۳۸
۳-۹-۱- پارامتری‌نمودن طیف ورودی ۳۸
۳-۹-۲- کار با مجموعه‌های مدل‌های قیاسی(شهودی) ۳۹
۳-۱۰- طراحی ورودی و شکل‌دهی ناحیه‌ی عدم قطعیت به منظور کنترل مقاوم ۳۹
۳-۱۰-۱- جایابی ناحیه‌ای قطب‌ها ۴۰
۳-۱۰-۲- طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم H_∞ ۴۲

فصل ۴- طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده‌ی مرتبه‌ی ثابت H_∞ در شناسایی سیستم ۴۴

۴-۱- مقدمه ۴۴
۴-۲- روش طراحی کنترل‌کننده‌ی مرتبه‌ی ثابت مقاوم برای سیستم‌های با عدم قطعیت پارامتری بیضوی ۴۴
۴-۲-۱- تعریف مسئله و پیش نیازها ۴۴
۴-۲-۲- طراحی کنترل‌کننده‌ی مرتبه‌ی ثابت ۴۶
۴-۲-۳- پارامتری‌نمودن بعد محدود ۴۹
۴-۳- طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده‌ی مقاوم در شناسایی سیستم ۵۱
۴-۳-۱- شکل‌دهی مجموعه‌ی نامعینی حاصل از شناسایی حلقه-باز ۵۳
۴-۳-۲- پارامتری‌نمودن مسئله‌ی شکل‌دهی مجموعه‌ی نامعینی ۵۴

فصل ۵- طراحی کنترل‌کننده‌ی غیرشکننده در شناسایی سیستم ۵۶

۵-۱- مقدمه ۵۶
۵-۲- طراحی کنترل‌کننده‌ی غیرشکننده ۵۶
۵-۲-۱- لزوم طراحی کنترل‌کننده‌ی غیر شکننده ۵۶
۵-۲-۲- تعریف مسئله ۵۷
۵-۲-۳- طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم غیرشکننده ۵۹

۵-۳- طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده‌ی غیرشکننده ۶۰
۵-۳-۱- تعریف مسئله ۶۰
۵-۳-۲- پارامتری‌نمودن مسئله‌ی طراحی توام ورودی و کنترل‌کننده‌ی غیرشکننده ۶۲
فصل ۶- شبیه سازی نتایج بر روی یک سیستم واقعی ۶۴
۶-۱- مقدمه ۶۴
۶-۲- طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل مقاوم ۶۴
۶-۳- طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم غیرشکننده در شناسایی سیستم ۶۸
فصل ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۲
۷-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۷۲
۷-۲- پیشنهادات جهت ادامه‌ی پژوهش ۷۳
فهرست مراجع ۷۵
واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۷۸
واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۸۱

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
بردار پارامترها	θ
بردار تخمین پارامترها بر اساس N داده	$\hat{\theta}_N$
بردار پارامترهای اولیه	$\bar{\theta}$
طیف سیگنال	Φ
تابع حساسیت	S
تابع مکمل حساسیت	T
ضریب غیرشکنندگی	F
تابع تبدیل واقعی سیستم	G_0
طول داده‌های آزمایش	N
مجموعه‌ی مدل	M
ماتریس کواریانس	P_N
ماتریس کواریانس مجانبی	P

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۶-۱ : حداقل انرژی و کنترل‌کننده‌ی طراحی شده توسط (۶-۷)..... ۶۶
جدول ۶-۲ : ضریب غیرشکنندگی و پارامترهای کنترل‌کننده طراحی شده توسط (۶-۱۵)..... ۷۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ : روند شناسایی از آزمایش تا کاربرد مدل ۱۰
شکل ۲-۲ : ساختار کنترل داخلی مدل..... ۱۴
شکل ۴-۱: ساختار سیستم استاندارد حلقه-بسته‌ی فیدبک واحد..... ۴۶
شکل ۶-۱ : طیف طراحی شده ی بهینه : خط ضخیم ممتد :$\gamma = 1.173$، خط نازک ممتد $\gamma = 1.2$ ، خط چین : $\gamma = 5$ ۶۶
شکل ۶-۲ : طیف طراحی شده ی بهینه : خط ضخیم ممتد :$\gamma = 5$ با استفاده از روش ارائه شده در [۸]، خط چین :$\gamma = 5$ با استفاده از روش ارائه شده در فصل چهارم..... ۶۸
شکل ۶-۳ : طیف ورودی‌های بهینه؛ خط ممتد ضخیم : $\alpha = 100$، خط چین : $\alpha = 500$، خط ممتد نازک : $\alpha = 1000$ ۷۱

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

۱–۱–۱– سیستم‌ها و مدل‌ها

یک سیستم مجموعه‌ای از اجزاء است که با یکدیگر همکاری می‌کنند، برای مثال : بدن انسان، یک برج تقطیر یا اقتصاد ایران.

مدل‌های ریاضی[۱] سیستم[۲]ها در همه‌ی علوم و کاربردها مانند سیستم‌های مکانیکی، فرآیندهای صنعتی، اقتصادی و بیولوژیکی نقش پایه‌ای ایفا می کنند. به وسیله ی مدل‌های ریاضی می‌توانیم سیستم‌ها را بررسی کرده و رفتار آنها را پیش‌بینی کنیم. موضوع اصلی این پایان‌نامه، ساخت و معتبرسازی[۳] مدل‌ها با استفاده از داده‌های ورودی-خروجی[۴] به‌دست آمده از آزمایش[۵] به منظور شناسایی سیستم[۶]ها، و کنترل این مدل‌ها می‌باشد.

مدل ریاضی عملکرد یک سیستم را به زبان ریاضی بیان می‌کند، همچنین یک مدل می‌تواند به منظور پاسخ گویی به سؤالات در مورد سیستم استفاده شود و این در حالی است که خود مدل‌ها نیز می‌توانند از اطلاعات فیزیکی که از سیستم داریم ساخته شوند. همچنین مدل‌ها می‌توانند از داده‌های به‌دست آمده از آزمایش[۷] ساخته شوند که به آن پرداخته می‌شود،[۱].

۱–۱–۲– مدل‌سازی بر اساس داده‌های آزمایش

شناسایی سیستم به ساخت و اعتباردهی مدل‌های ریاضی سیستم‌های دینامیکی از داده‌های ورودی– خروجی آزمایشگاهی مربوط می‌شود. در روند آزمایش، سیستم اطلاعات مربوط به خود را به وسیله‌ی اندازه گیری[۸]های ورودی - خروجی مشخص می‌کند.

محتوی اطلاعات داده‌ها به این بستگی دارد که آزمایش چگونه طراحی شده است. همچنین این نکته نیز مهم است که اطلاعات با کاربرد مورد نظر مدل[۹] متناسب باشد، مانند طراحی کنترل[۱۰] یا شبیه سازی[۱۱]،[۱].

1- Mathematical models
2- System
3- Validation
4- Input – Output data
5- Experiment
6- System identification
7- Experimental Data
8- Measurement
9- Model application
10- Control Design
11- Simulation

اطلاعات به دست آمده از آزمایش بر روی سیستم‌های واقعی به سیگنال تحریک کننده‌ی ورودی[1] بستگی دارد که معمولا خود سیگنال ورودی نیز به وسیله‌ی محدودیت‌هایی بر روی توان و دامنه محدود می‌باشد،[۲].

در آزمایش‌های صنعتی زمان بسیار با ارزش است. مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی به دلیل وجود ثابت‌های زمانی بزرگ و تعدد سیگنال‌های کنترلی ورودی ممکن است وقت گیر باشد، بنابراین به دست آوردن داده‌ها از آزمایش برای شناسایی هزینه بر است.

مشکل عملی دیگری که مهندسان با آن روبرو هستند محدودیت ظرفیت تحریک کننده‌ها[2] می‌باشد. مثلا ممکن است دستکاری یا متوقف کردن تولید ممنوع باشد یا اینکه یک فرآیند صنعتی ممکن است در حالت حلقه - باز[3] ناپایدار باشد،[۱]. بنابراین طراحی آزمایش برای بدست آوردن تخمین سیستم با دقت مورد نظر و کاهش دادن زمان و هزینه‌ی آزمایش ضروری است.

مقاوم بودن طراحی ورودی برای شناسایی سیستم نیز یکی از نکات مهم است، مخصوصاً وقتی که مدل به منظور کنترل سیستم استفاده می‌شود.

با توجه به نوع تابع هزینه[4]ی مورد نظر در مسئله، طراحی ورودی می‌تواند به عنوان یک مسئله‌ی بهینه سازی[5] محدود حل شود. در روش خطای پیش بینی(PEM)[6] معمولا تابعی از حد مجانبی[7] ماتریس کواریانس[8] تخمین پارامتر[9] به عنوان معیاری از صحت مدل[10] مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماتریس کواریانس به طیف ورودی[11] بستگی دارد که می‌توان از شکل دادن[12] طیف ورودی برای به‌دست آوردن ماتریس کواریانس کوچک و بهبود دقت تخمین استفاده کرد. در مواردی که محدودیت‌های توان وجود دارد، معمولا محدودیت‌های دامنه در حوزه ی زمان به طور تقریبی به حوزه ی فرکانس تبدیل می‌شوند.

اولین نقطه‌ی ضعف این مدل‌ها این است که شدیداً تحت تاثیر اطلاعات اولیه‌ای است که از سیستم داریم. ثانیاً حل مسئله در حوزه ی فرکانس اطلاعاتی درباره‌ی اینکه چگونه سیگنال ورودی را در حوزه‌ی زمان تولید کنیم به ما نمی‌دهد و ورودی می‌تواند به صورت نویز سفید فیلتر شده[13] بیان شود. اما توزیع‌های احتمال متعددی می‌توانند برای تولید نویز سفید استفاده شوند. در کاربردهای عملی

1- Exciting input signal
2- Actuator Capacity
3- Open - Loop
4- Cost Function
5- Optimization problem
6- Prediction Error Method
7- Asymptotic
8- Covariance matrix
9- Parameter estimate
10- Model accuracy
11- Input Spectrum
12- Shape
13- Filtered White noise

محدودیت‌های سیگنال ورودی در حوزه‌ی زمان باید در نظر گرفته شوند و محدودیت‌های توان که معمولاً در حوزه‌ی فرکانس بیان می‌شوند تضمین نمی‌کنند که این محدودیت‌ها اعمال شده‌اند،[۲].

هنگامی که قرار است مدلی از داده‌ها ساخته شود، جنبه‌های متعددی متقابلاً با یکدیگر عمل می‌کنند. انتخاب ساختار مدل[1] یکی از جنبه‌های مهم است. شرایط آزمایش یکی دیگر از جنبه‌های مهم است و سؤالاتی که باید به آنها جواب داد عبارتند از :

- چه مقادیر یا سیگنال‌هایی برای ورودی یا خروجی مناسب هستند؟
- چه مدت زمانی برای آزمایش مناسب است؟
- هر چند وقت یکبار باید اندازه گیری صورت گیرد؟
- اگر سیستم تحت فیدبک عمل می‌کند، بهتر است که داده‌ها تحت شرایط حلقه – باز جمع آوری شوند یا حلقه – بسته؟
- چگونه باید سیگنال‌های تحریک کننده انتخاب شوند؟

و بسیاری از سؤالات دیگر که به آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۲- تاریخچه‌ی شناسایی برای کنترل

شناسایی برای مدت زمان طولانی قلمرو ریاضی دانان، آماردانان، آنالیز کننده‌های سری‌های زمانی و اقتصاددانان بوده است. تاریخچه‌ی شناسایی سیستم به کارهای گاوس و لژاندر در قرن ۱۸و۱۹ باز می‌گردد. تئوری کنترل نیز قلمرو مهندسین بوده است، که در زمینه‌های مهندسی که در آن مدل‌های قابل اطمینانی بر پایه ی تئوری‌های پایه‌ای، مانند کاربردهای الکتریکی، مکانیکی و هوا فضا، کاربرد داشته است. اما با این وجود تکنیک‌های تخمین برای کنترل سیستم‌های با ساختار مشخص ولی با پارامترهای نامعین و یا تا حدودی نامعین مورد استفاده قرار گرفته بودند. سال ۱۹۶۵ شروع شناسایی مدل‌های جعبه‌ی سیاه[2] در جامعه‌ی کنترل بود. در [۳]، چارچوب حداکثر شباهت (ML)[3] برای شناسایی مدل‌های ورودی- خروجی مطرح گردید، که باعث ظهور چارچوب مشهور خطای پیش بینی شد.

از سال ۱۹۶۵ تا ۱۹۸۰ کنترل بر پایه‌ی مدل به سیستم‌های دینامیکی و پروسه‌ها، که مدل آنها با استفاده از تکنیک‌های جدید شناسایی به دست می‌آمدند، اعمال شد. در آنجا روش غالب این بود که دو گام شناسایی و کنترل از یکدیگر مجزا باشند. در ابتدا با روش‌های شناسایی سیستم، مدل سیستم به دست می‌آمد و سپس با به‌کارگیری روش‌های طراحی کنترل‌کننده بر پایه‌ی مدل، بر پایه‌ی قانون معادل

1- Model Structure
2- Black-Box
3- Maximum Likelihood

بودن قطعی[1] کنترل‌کننده طراحی می‌شد. به عبارت دیگر فرض می‌شد که مدل، رفتار سیستم واقعی را نشان می‌دهد و نا معینی برای مدل سیستم در نظر گرفته نمی‌شد،[۴].

روش متداول شناسایی سیستم که بر پایه‌ی خطای پیش‌بینی می‌باشد باعث می‌گردد که در شناسایی یک پروسه، علاوه بر مدل نامی، یک مجموعه‌ی نامعینی حاصل گردد که بردار پارامتر تخمین زده شده با یک احتمال از پیش تعیین شده در این مجموعه‌ی نامعینی قرار گیرد. از دهه‌ی ۸۰ تئوری‌های کنترل مقاوم شکل گرفتند و طراحی کنترل مقاوم با وجود نامعینی‌های ساختاری و غیرساختاری مورد توجه قرار گرفت.

کارهای اولیه در زمینه‌ی طراحی ورودی به دهه‌ی ۷۰ و متمرکز بر روی صحت پارامترهای تخمین تابع تبدیل ورودی-خروجی باز می‌گردد. طراحی بهینه‌ی ورودی برای شناسایی سیستم یک زمینه‌ی فعال تحقیق در دهه‌ی ۷۰ با معیارهای مختلف برای سنجش کیفیت مدل به دست آمده از شناسایی بود. تابع هدفی که در آن زمان کمینه می‌شد، معیارهای متفاوتی از ماتریس کواریانس بود. یکی از مهمترین پیشرفت‌هایی که حاصل شد، پارامتری‌کردن طیف ورودی بود به گونه‌ای که ماتریس اطلاعات بتواند به صورت تابع خوش تعریفی از تعداد متناهی پارامتر طیف بیان شود.

در [۵] با ارائه‌ی پارامتری‌نمودن طیف ورودی، یک روش برای پارامتری‌نمودن مسئله‌ی طراحی ورودی و نمایش به صورت نامساوی‌های ماتریسی خطی ارائه شده است. در این روش نرم بینهایت معیارهای مختلفی همچون واریانس تخمین و یا تابع تبدیل نویز یا یکی از سیگنال‌های ناخواسته به خروجی کمینه می‌شود و طیف سیگنال ورودی بهینه جهت انجام آزمایش شناسایی سیستم طراحی می‌گردد. این روش به طور مفصل در فصل سوم بیان شده است.

مسئله‌ی طراحی کنترل‌کننده‌ی فیدبک حالت H_∞ در [۶] مورد بررسی قرار گفته است. مشکل اصلی روش ارائه شده در این مقاله این است که پارامترهای نامعین تنها در یکی از ماتریس‌های فضای حالت A یا C ظاهر می‌شوند و حالتی که هر دو ماتریس A و C شامل پارامترهای نامعین باشند قابل بررسی نیست. علاوه بر این از یک ماتریس لیاپانوف ثابت برای همه‌ی مدل‌های درون مجموعه‌ی مدل استفاده شده است که بسیار محافظه کارانه می‌باشد.

در [۷و۸] یک روش شکل‌دهی ناحیه‌ی عدم قطعیت بیضوی به‌دست آمده از آزمایش شناسایی سیستم به منظور طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم ارائه شده است. در این رساله، یک روش طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده‌ی مقاوم مرتبه‌ی ثابت ارائه شده است. در این روش توام از یک روش طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم مرتبه‌ی ثابت مبتنی بر روش چندجمله‌ای‌های مثبت استفاده شده و با مسئله‌ی طراحی سیگنال ورودی در شناسایی سیستم ترکیب شده است. در این روش از یک چندجمله‌ای مرکزی و تابع لیاپانوف ثابت برای همه‌ی مدل‌های داخل مجموعه‌ی عدم قطعیت استفاده

1- Certainty equivalence principle

شده است که باعث پیدایش محافظه کاری در روش می‌شود. اصول کلی این روش نیز در فصل سوم بیان شده است.

با توجه به مطالب فوق، ارائه‌ی یک روش طراحی توام که از یک تابع لیاپانوف وابسته‌ی پارامتری برای طراحی کنترل‌کننده‌ی مرتبه‌ی ثابت استفاده می‌کند، می‌تواند در کاهش محافظه‌کاری و ارائه‌ی جواب‌های بهینه‌تر مناسب باشد.

۱-۳- تعریف مسئله

در این پایان‌نامه، هدف ارائه‌ی روشی برای طراحی سیگنال ورودی در شناسایی سیستم برای کنترل مقاوم می‌باشد. به عبارت دیگر سیستم را باید به گونه‌ای شناسایی کنیم که برای مدل و ناحیه‌ی عدم قطعیت به‌دست آمده از آزمایش شناسایی، بتوان یک کنترل‌کننده‌ی مقاوم طراحی نمود که پایداری و کارایی مقاوم را تضمین کند و از آنجائیکه سیگنال ورودی تنها کمیت تاثیر گذار بر روی آزمایش و ناحیه‌ی عدم قطعیت می‌باشد، این امر با طراحی بهینه‌ی سیگنال ورودی امکان پذیر است. همچنین مانند سایر مسائل کلاسیک طراحی ورودی، انرژی سیگنال ورودی از اهمیت فراوانی برخوردار است و همیشه به دنبال انجام آزمایش با حداقل انرژی هستیم. بنابراین با در نظر گرفتن مفاهیم تئوری کنترل مقاوم و مطالب بیان شده، هدف به دست آوردن بزرگترین ناحیه‌ی عدم قطعیتی است که بتوانیم برای آن کنترل‌کننده‌ی مورد نظر را طراحی کنیم.

در اینجا مسئله‌ی طراحی ورودی در شناسایی سیستم و همچنین مسئله‌ی طراحی کنترل‌کننده را در یک مسئله‌ی طراحی واحد در نظر می‌گیریم. روش متداول در طراحی کنترل‌کننده این است که ابتدا مدلی از سیستم به‌دست آورده و سپس برای این مدل کنترل‌کننده طراحی کنیم. اما از آنجایی که مدل به دست آمده از آزمایش شناسایی سیستم همواره با عدم قطعیت همراه است، استفاده از روش‌های طراحی کنترل‌کننده ی مقاوم راهکاری مناسب برای کنترل این مدل‌ها می‌باشد. در اینجا هدف ارائه‌ی روشی است که دو مرحله‌ی شناسایی (به طور خاص، طراحی ورودی) و طراحی کنترل‌کننده را به طور همزمان انجام دهد که تداعی‌گر مفهوم ***شناسایی برای کنترل*** می‌باشد. بهینه‌سازی مجموعه‌ی نامعینی که تابعی از طیف ورودی است، باید در مسئله‌ی توام شناسایی و کنترل انجام شود. بنابراین باید مسئله‌ی شکل‌دهی ناحیه‌ی عدم قطعیت را به یک مسئله‌ی بهینه سازی محدب با بعد محدود تبدیل کنیم. از این رو نیازمند یک پارامتری کردن با بعد محدود از سیگنال ورودی می‌باشیم. در انتها مسئله‌ی کلی طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده به یک مسئله‌ی بهینه سازی بر حسب پارامترهای سیگنال ورودی و کنترل‌کننده تبدیل می‌شود.

دلیل اصلی ترکیب مسئله‌ی شناسایی سیستم و طراحی کنترل‌کننده یا همان مفهوم شناسایی برای کنترل این است که عملکرد به‌دست آمده از یک سیستم حلقه بسته علاوه بر ساختار کنترل‌کننده به مدل و ناحیه‌ی عدم قطعیت نیز وابسته می‌باشد. از آنجائیکه ساختار ناحیه‌ی عدم قطعیت به طیف سیگنال ورودی، مورد استفاده در شناسایی سیستم بستگی دارد، می‌توان با شکل دادن به ناحیه‌ی عدم قطعیت توسط سیگنال ورودی، به سمت دستیابی به پایداری و کارایی مقاوم مطلوب‌تر حرکت نمود.

یک فرض پایه که بر روی روش‌های طراحی کنترل‌کننده‌های فیدبک وجود دارد این است که این روش‌ها باید به صورت عملی قابل پیاده‌سازی باشند. علاوه بر این به خاطر تبدیل‌های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ، محدودیت در طول کلمه‌ای اعداد و خطاهای گرد کردن در محاسبات عددی و همچنین نیاز به تامین مهندس با تجربه، محدودیت‌هایی در پیاده سازی عملی کنترل‌کننده‌ها به وجود آمده است. بنابراین، لازم است که هر کنترل‌کننده ای قادر به تحمل مقداری عدم قطعیت در پارامترهای خود باشد. از آنجائیکه شکنندگی کنترل‌کننده به دلیل نادرستی‌ها در پیاده سازی کنترل‌کننده به طور کلی باعث تخریب کارایی سیستم کنترل فیدبک می‌شود، طراحی کنترل‌کننده ی غیرشکننده به یک موضوع مهم در ارتباط با طراحی سیستم‌های کنترل تبدیل شده است. به همین دلیل، یک روش طراحی کنترل‌کننده‌ی غیرشکننده نیز با مسئله‌ی طراحی ورودی و طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاوم ترکیب شده است که باعث بالا رفتن کارایی این روش به ویژه در موارد عملی و پیاده سازی کنترل‌کننده می‌شود.

۱-۴- بخش‌های پایان‌نامه

موضوع این پایان‌نامه طراحی ورودی در چارچوب شناسایی سیستم با هدف ارائه‌ی مدل مناسب برای طراحی کنترل‌کننده می‌باشد. در طراحی ورودی، مسئله‌ی اصلی انتخاب تحریک کننده برای آزمایش است که با استفاده از سیگنال ورودی می‌توان ماتریس کواریانس و در نتیجه ناحیه‌ی عدم قطعیت را به گونه‌ای شکل داد که قادر به طراحی کنترل‌کننده‌ی مقاومی باشیم که سیستم را پایدار کرده و کارایی مقاوم مورد نظر ما را تضمین کند..

در ادامه و در فصل دوم اصول شناسایی سیستم به ویژه روش خطای پیش بینی ارائه شده و مسئله‌ی طراحی آزمایش شناسایی سیستم در این چارچوب نیز بررسی شده است.

در فصل سوم مسئله‌ی طراحی ورودی در شناسایی سیستم ارائه شده است و روش معمولی که برای پارامتری کردن[1] طیف ورودی و درنتیجه کل مسئله‌ی طراحی ورودی استفاده می‌شود ارائه شده است. همچنین یک روش که برای نمایش مسائل طراحی ورودی به صورت بهینه سازی محدب موجود می‌باشد، ارائه شده است.

در فصل چهارم کنترل مدل‌های به‌دست آمده از آزمایش شناسایی سیستم بررسی شده و روش طراحی کنترل‌کننده ی مرتبه‌ی ثابت مقاوم برای سیستم‌های با عدم قطعیت پارامتری بیان شده است. همچنین یک روش نوین برای طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده‌ی مقاوم مرتبه‌ی ثابت ارائه شده است. در این فصل از روش ارائه شده در فصل دوم برای پارامتری کردن طیف ورودی و روش طراحی کنترل‌کننده‌ی مرتبه‌ی ثابت استفاده شده و روشی ترکیبی برای طراحی توام سیگنال ورودی و کنترل‌کننده‌ی مقاوم در آزمایش شناسایی سیستم ارائه شده است.

1- Parameterization