

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کنترل

طراحی فیلتر تشخیص عیب به روش H_i/H_∞ در دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ

نگارنده

محمد رئوف روان بد

استاد راهنما

دکتر محمد علی صدرنیا

تقدیم به :

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نسبیم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم
و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی 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.

تقدیم به وجود با ارزشتان...

سپاس از :

اکنون که مراحل پژوهش، تدوین و نگارش پایان نامه به پایان رسیده است نمی توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف پدر و مادر عزیزم که وجودم جز هدیه وجودشان نیست آشکار نمایم. از خانواده عزیزتر از جانم متشکرم که درطول زندگی و دوران تحصیل همراه و مشوقم بودند و با ایثار و از خودگذشتگی و تحمل زحمات این راه یاری ام نمودند. از استاد فرهیخته و فرزانه جناب دکتر صدرنیا که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند، صحیفه‌های سخن را علم پرور نمود و همواره راهنما و راهگشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده اند تقدیر و تشکر می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **محمد رئوف روان بد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق گرایش کنترل دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع طراحی فیلتر تشخیص عیب به روش H_i/H_∞ در دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ تحت راهنمایی دکتر صدرنیا متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضا دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

تشخیص و شناسایی عیب یکی از مهمترین مسائل فرآیندهای صنعتی میباشد. تشخیص به موقع و رفع آن می تواند عاملی برای جلوگیری از پیشرفت عیب و صدمات بیشتر آن باشد. به دلیل تاثیر عدم قطعیت های مدل، اغتشاشات و نویزها، به دست آوردن اطلاعات دقیق عیب، تنها از طرح تشخیص و شناسایی عیب آسان نمی باشد، در نتیجه با استفاده از تخمین عیب می توان اطلاعات دقیقتری از عیب را به دست آورد. یکی از روش های متداول در تشخیص عیب استفاده از رویکردی می باشد. موضوع تشخیص عیب عملکرد برای دوربین سه محور تثبیت شده با ژيروسکوپ (سیستم سنجش از دور) همراه با اغتشاش است. ابتدا شاخص عملکردی H_i/H_∞ را در هر جهت از فضای مانده تولید شده، و سپس یک شاخص طراحی جدید که با حداکثر و حداقل مقادیر تکین غیر صفر تابع تبدیل با معیار اغتشاش به مانده محاسبه می شود. در نتیجه طراحی فیلتر تشخیص عیب می تواند به عنوان مسئله بهینه سازی H_i/H_∞ به گونه ای طراحی شود که معیار نسبت حساسیت/مقاوم بودن حداکثر شود.

کلمات کلیدی: فیلتر تشخیص عیب، دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ، بهینه سازی

فهرست

فصل ۱ مقدمه.....	۱
۱-۱ پیشگفتار.....	۲
۲-۱ تاریخچه کارهای انجام شده.....	۲
۳-۱ مفاهیم اولیه.....	۸
۴-۱ طبقه بندی انواع عیب.....	۸
۱-۴-۱ بر اساس مکان وقوع عیب.....	۹
۱-۴-۲ بر اساس چگونگی ایجاد عیب.....	۱۱
۱-۴-۳ براساس نحوه اضافه شدن عیب.....	۱۳
۵-۱ روش های تشخیص عیب.....	۱۵
۱-۵-۱ روش های مبتنی بر داده و مدل های سیگنال.....	۱۶
۱-۵-۲ روش های مبتنی بر مدل فرآیند.....	۱۸
۱-۵-۳ روش های مبتنی بر دانش.....	۲۴
فصل ۲ معرفی رویتگرها.....	۲۷
۱-۲ مقدمه.....	۲۸
۲-۲ فیلتر کالمن.....	۲۹
۳-۲ رویتگر حالت.....	۳۳
۴-۲ رویتگر $Hi/H\infty$	۳۵

فصل ۳ مدل سازی سیستم.....	۳۷
۱-۳ مقدمه.....	۳۸
۲-۳ بیان مسئله.....	۳۹
۳-۳ طراحی فیلتر تشخیص عیب.....	۴۴
۴-۳ استراتژی تشخیص عیب.....	۴۶
۱-۴-۳ تولید باقیمانده.....	۴۷
۲-۴-۳ ارزیابی باقیمانده.....	۵۰
۳-۴-۳ طراحی فیلتر.....	۵۰
۵-۳ طراحی فیلتر کالمن.....	۵۱
فصل ۴ نتایج شبیه سازی.....	۵۵
۱-۴ مقدمه.....	۵۶
۲-۴ طراحی رویتگرها.....	۵۶
فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات.....	۶۷
۱-۵ مقایسه.....	۶۸
۲-۵ نتیجه گیری.....	۶۸
۳-۵ پیشنهادات.....	۶۹
مراجع.....	۷۰

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱ انواع عیب بر اساس مکان وقوع ۹
- شکل ۲-۱ انواع عیب های حسگر ۱۰
- شکل ۳-۱ عیب ناگهانی ۱۱
- شکل ۴-۱ عیب افزاینده ۱۲
- شکل ۵-۱ عیب متناوب ۱۲
- شکل ۶-۱ عیب جمع شونده در خروجی ۱۳
- شکل ۷-۱ عیب ضرب شونده ۱۴
- شکل ۸-۱ فرآیند چند متغیر همراه با اغتشاش های v و n ، سیگنال های عیب جمع شونده f_l و f_m ۱۵
- شکل ۹-۱ تشخیص عیب به روش تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی ۱۷
- شکل ۱۰-۱ تشخیص عیب به روش مدل های سیگنالی ۱۸
- شکل ۱۱-۱ تشخیص عیب بر اساس مدل ۱۹
- شکل ۱۲-۱ تشخیص عیب بر اساس معادلات برابری ۲۰
- شکل ۱۳-۱ تشخیص عیب به روش تخمین پارامتر ۲۲
- شکل ۱۴-۱ تشخیص عیب با استفاده از مدل های غیر خطی و معادلات برابری ۲۳
- شکل ۱۵-۱ بلوک کنترلر منطق فازی ۲۴
- شکل ۱۶-۱ نمونه هایی از توابع عضویت ۲۵
- شکل ۱۷-۱ فرآیند استنباط فازی ۲۵
- شکل ۱۸-۱ مؤلفه های اصلی رویکرد سیستم خبره ۲۶
- شکل ۱-۲ شمای کلی رویترگر حالت ۳۴

- شکل ۱-۳ شماتیک کلی سیستم TGSCM ۳۹
- شکل ۱-۴ سیستم ایده آل ۵۹
- شکل ۲-۴ خروجی سیستم برای زمانی که نویز و اغتشاش داریم برای روش لیونبرگر ۶۰
- شکل ۳-۴ خروجی سیستم برای زمانی که نویز و اغتشاش داریم برای روش فیلتر کالمن ۶۰
- شکل ۴-۴ خروجی سیستم برای زمانی که نویز و اغتشاش داریم برای روش $Hi/H\infty$ ۶۱
- شکل ۵-۴ عیب با دامنه ۰,۴ ۶۲
- شکل ۶-۴ عیب با دامنه ۰,۲ ۶۲
- شکل ۷-۴ سیگنال باقیمانده همراه با عیب و اغتشاش ۶۳
- شکل ۸-۴ تعیین حد آستانه در روش فیلتر کالمن ۶۳
- شکل ۹-۴ باقیمانده سیستم در روش فیلتر کالمن همراه با عیب و اغتشاش ۶۴
- شکل ۱۰-۴ تعیین حد آستانه در روش $Hi/H\infty$ ۶۵
- شکل ۱۱-۴ باقیمانده همراه با عیب ۰,۲ و اغتشاش روش $Hi/H\infty$ ۶۵
- شکل ۱۲-۴ باقیمانده همراه با عیب ۰,۴ و اغتشاش روش $Hi/H\infty$ ۶۶

فصل ۱ مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

با پیشرفت علم و سیستم های اتوماتیک یکی از وظایف مهم مهندسين کنترل، طراحی سیستم های هوشمند کنترلی می باشد تا در صورت بروز عیب در هریک از سیستم های کنترلی بتواند تصمیم های مناسبی را اتخاذ کند که نتیجه آن جلوگیری از صدمات جبران ناپذیر و همچنین هزینه های بالا به سیستم های تحت کنترل می باشد. از عواقب عدم تشخیص و یا تشخیص دیر هنگام میتوان به از بین رفتن قسمت های مهم تجهیزات و اطلاعات و همچنین در بعضی موارد نیروی انسانی بشود. بنابراین برای جلوگیری از وقوع عیب در سیستم نیاز مبرمی به یک سیستم تشخیص عیب با ویژگی های تشخیص سریع عیب، مکان وقوع آن و نوع عیب اتفاق افتاده می باشد.

۲-۱ تاریخچه کارهای انجام شده

در طی سال های گذشته مطالعات متعددی برای طراحی فیلتر تشخیص عیب (FDF)^۱ و طراحی کنترل کننده برای سیستم های سنجش از دور^۲ (RSS) انجام شده است. از این رو می توان از روش های کنترل مقاوم بهینه [۱]، شناسایی و جبران اختلالات ناشناخته [۲]، جبران و تشخیص عیب شتاب سنج براساس رویتگر تناسبی چندگانه [۳]، کنترل کننده مد لغزشی فازی مقاوم [۴]، جبران اختلال با دقت بالا [۵]، طراحی کنترلر [۶] داخلی اشاره کرد.

- در [۱] مساله تشخیص عیب به روش کنترل مقاوم بهینه در یک حالت حلقه بسته برای دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ (TGSCM)^۳ مورد بررسی قرار گرفته است. با تجزیه و تحلیل عیب های بالقوه، خطای عملگر

^۱ Fault Detection Filter

^۲ Remote Sensing System

^۳ Three-Axis Gyro-Stabilized Camera Mount

و سنسور موجب نقص در انتقال گشتاور می‌شود که می‌توان به عنوان خطای افزایشی موجود در ولتاژ موتور محاسبه شود و براساس آن مدل خطا داده می‌شود. برای تشخیص عیب از فیلتر تشخیص عیب مبتنی بر روی‌نگر برای تولید سیگنال مانده استفاده می‌شود. حساسیت سیگنال مانده به عیب، توسط مقادیر غیر صفر تابع انتقال مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و مقاوم بودن به اغتشاش توسط نرم H_{∞} انجام می‌پذیرد. از یک تابع ارزیابی به منظور ارزیابی سیگنال مانده ایجاد می‌شود، تابع انتخاب شده به صورتی است تا تعادل بین نرمال بودن داده‌ها در برابر نویز و سرعت پاسخ سیستم حفظ گردد. برای تعیین آستانه، بعد از تجزیه و تحلیل میزان بهینه حد آستانه تعیین می‌شود. در این سیستم عیب‌های ایجاد شده به صورت مرحله‌ای و سینوسی تشخیص داده می‌شود با کاهش آستانه ارزیابی زمان تشخیص کوتاه می‌شود.

- در [۲] دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ برای شناسایی و جبران اغتشاش‌های ناشناس در ابتدا تأثیرات اغتشاش‌های گشتاوری و پارامتری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و سپس گشتاورهای مزاحم و اغتشاش پارامتری بعنوان یک عدم قطعیت مدل در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس، روی‌نگر اغتشاش با مدل سیستم و مدل خطا برای رسیدن به تخمین و جبران عیب آنالاین ترکیب می‌شود. پس از آن خطای سیگنال مانده و ورودی مرجع بعنوان سیگنال‌های مرحله‌ای رویت می‌شوند. زمانی که اغتشاش لحظه‌ای داخلی وجود دارد سیستم می‌تواند عملکرد رضایت بخشی داشته باشد. برای تشخیص عیب شتاب سنج از روی‌نگر تناسبی چندگانه برای بهبود دقت و صحت پایداری سیستم استفاده می‌شود. با تجزیه و تحلیل خروجی شتاب سنج، عیب ناشی از شتاب هواپیما می‌تواند بعنوان تابع زمان در نظر گرفته شود سپس یک تابع چندجمله‌ای مرتبه ۲ برای تقریب مکان و نوع عیب سیستم استفاده می‌شود و بر مبنای آن یک روی‌نگر مرتبه ۴^۱ (PMI) برای دستیابی به برآورد خطای آنالاین ایجاد می‌شود. در نهایت مقدار برآورد شده با آستانه مقایسه می‌شود که نتیجه آن برای جبران خروجی شتاب سنج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

^۱ Proportional Multiple-Integral Observer

این روش دارای عملکرد تخمین خوب برای خطاهای سینوسی است و سیستم حلقه بسته پایداری و دقت بهتری در این نوع عیب‌ها دارد.

- برای پلتفرم سه محوره تثبیت شده از کنترل مد لغزشی مقاوم استفاده شده است [۴]. این روش بر اساس کنترل مقاوم که در آن اتصال سه محور را به طور کامل در نظر گرفته است. ابتدا معادله سکوی سه محور تثبیت شده تحلیل می‌شود و مدل خطی آن بدست می‌آید. سپس، کنترل کننده بر اساس مدل بدست آمده طراحی می‌شود. در طی آن منطق فازی برای مقابله با جفت شدن محور ها تعریف می‌شود، و فاکتور جبران سازی فازی تطبیقی به عنوان بخشی از الگوریتم طراحی می‌شود. عملکرد پلتفرم با کنترل کننده مد لغزشی فازی مقاوم و کنترل کننده PI مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این کنترل کننده برای مقاوم بودن در برابر اغتشاش‌های داخلی و خارجی و منطق فازی برای جلوگیری از جفت شدن محورها طراحی شده است.

- برای جبران اغتشاش با دقت بالا در دوربین سه محور تثبیت شده با ژيروسکوپ، از یک استراتژی کنترلی با ترکیب روش اصل مدل داخلی^۱ (IMP) و رویکرد چند منظوره متناسب، استفاده شده است [۵]. با تجزیه و تحلیل بر روی تاثیرات اغتشاش، گشتاور گرانشی و گشتاور اصطکاک را می‌توان به عنوان ثابت های ناشناخته تعیین کرد و گشتاور جابجایی و گشتاور توازن به عنوان شتاب هواپیما و ویژگی های عملکردی زمان می‌باشد. برای جبران اغتشاش یک exo-system تک منظوره مبتنی بر روش کنترلی IMP استفاده می‌شود. برای اغتشاش های دیگر یک تابع چندجمله ای سه منظوره برای تقریب آنها استفاده می‌شود. با آزمایشات ثابت و فراگیر در فرکانس ۰-۲ هرتز این روش در بهبود قابلیت ردگیری اغتشاش در سیستم نسبت به روش های سنتی برتری بیش تری دارد.

- برای سیستم سنجش از دور هوایی یک کنترل کننده داخلی طراحی [۶] شده است. بدین ترتیب که سیستم تثبیت شده با حفظ خط دید، مشاهدات با دقت و وضوح بالا جهت تصویربرداری از زمین موقع حرکت در زمان واقعی سیستم، انجام می پذیرد. مهم ترین عملکرد برای یک ^۱(ISP)، توانایی رد کردن اغتشاشات و عدم تعادل جرم است. این اغتشاشات به طور دقیق در یک سیستم کنترلی معمول بسته به پهنای باند حلقه بسته به طور مستقیم تحت تاثیر رزونانس ساختاری، نویز ژيروسکوپ و غیره قرار می گیرد، که نمی توان سرکوب کرد. در مرحله اول مدل سازی ریاضی یک سیستم تک محور انجام می شود و مشخصه های اغتشاش گشتاور اصلی که بر روی گیرنده های ISP عمل می کنند بر این اساس معرفی می شوند. برای توصیف قسمت های غیر مشترک غیر ثابت هر دو ورودی مرجع و اغتشاشات استفاده شده و سپس روش های طراحی یک کنترل کننده (IMC) به طور دقیق نشان داده شده و عملکرد سیستم حلقه بسته پایدار تحلیل می شود. مانند قابلیت ردگیری عیب و مقاوم بودن در برابر عدم قطعیت. در این روش ردگیری و مقاوم بودن در برابر اغتشاش انجام شده و برای سیستم سه محور تثبیت شده برای سنجش از دور استفاده شده است. روش IMC می تواند به طور موثر دقت حالت پایدار را بهبود بخشد و حداکثر فرکانس را می توان با توجه به قانون نوسان به منظور جلوگیری از اختلالات ردگیری کنیم. علاوه بر این، این ساختار به تغییر پارامترها حساس نیست و می تواند قدرت سیستم حلقه بسته را در برابر خطاهای مدل بهبود بخشد. در این روش اغتشاش هایی که تاثیرات اولیه بر سیستم عامل های پایدار کننده دارد و همچنین عوامل دیگری مانند نویز و سر و صدای ژيروسکوپ در بعضی شرایط قابل ردگیری نیست.

^۱ Inertially Stabilized Platforms

هدف تشخیص عیب این است که هر وقت سیگنال خطا رویت شد سریع و دقیق عیب را تشخیص دهد. یک روش برای انجام این کار، تولید سیگنال های مانده است که بعنوان شاخص های خطا عمل می کند. در این زمینه روش های متعددی با استفاده از روش های مبتنی بر رویکرد برخی راه حل ها مانند استفاده از روش نابرابری ماتریس خطی می باشد [۷].

- در [۸] مسئله تشخیص عیب های سنسور متناوب برای سیستم های خطی متغیر با زمان با عدم قطعیت تصادفی، یک فیلتر مقاوم که دارای مزایای کواریانس خطای میانگین صفر و حداقل تخمین حالت است مورد بررسی قرار گرفته است. سپس باقیمانده مورد نظر تولید و تاثیر کمی از عیب های سنسور آنالیز می شود. در مرحله بعد، برای دستیابی به تشخیص عیب متناوب، عملکرد ارزیابی و آستانه شناسایی طراحی می شود. علاوه بر این، قابلیت تشخیص عیب های حسگر نیز فراهم شده است.

- در [۹] استراتژی تشخیص عیب مقاوم در سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه با استفاده از بازنمایی چند طبقه ارائه شده است. تشخیص مطمئن و کارآمد عیب ها در سیستم های فتوولتائیک اطلاعات مربوط به بهبود ایمنی و بهره‌وری آنها را فراهم می کند. با این حال، داده های جمع آوری شده از سیستم های فتوولتائیک به طور کلی با میزان زیادی از نویزها ترکیب می شوند، که در نهایت قابلیت تشخیص عیب در سیستم مانیتورینگ را کاهش می دهد. بنابراین، برای دستیابی به مشکل اندازه گیری نویز در داده ها، طراحی یک روش تشخیص عیب مقاوم بسیار مهم است. بازنمایی چند طبقه مقیاس داده ها با استفاده از موجک ها، یک تکنیک کارآمد برای جداسازی نویز، برای افزایش عملکرد تشخیص عیب با کاهش اثر نویز و آلامر کاذب، استفاده می شود. یک مدل شبیه سازی برای آرایه فتوولتائیک ساخته شده و سپس باقیمانده های مدل شبیه سازی به عنوان ورودی طراحی شده و برای تشخیص عیب استفاده می شوند.

- تشخیص عیب و مکان وقوع آن در سیستم های PV^1 خورشیدی در مرجع [۱۰] ارائه شده است. استراتژی تشخیص عیب‌های نیروگاه PV از طریق تولید سیگنالهای نشانگر عیب به نام "مانده" برای هر سلول و مقایسه باقیمانده ها با یک مقدار آستانه می‌باشد. برای تخمین محل عیب روش مبتنی بر رگرسیون به عنوان تابعی از اندازه گیری جریان عیب و سطح تابش استفاده شده است.
- برای سیستم های سوئیچ شونده رویتگر تشخیص عیب مقاوم [۱۱] طراحی شده است. بررسی مشکل تشخیص و شناسایی عیب سیستم های سوئیچ شونده بر اساس مبدل های DC-DC است. در مرحله اول ، مبدل های-DC DC به سیستم های سوئیچ تبدیل می‌شوند. سپس برای دستیابی به هدف تشخیص و تخمین عیب، یک رویتگر حالت مود لغزشی (SMO^2) برای تولید سیگنال باقیمانده طراحی می‌شود. با مقایسه آستانه تنظیم شده و باقیمانده تولید شده توسط SMO ، می‌توان تشخیص داد که آیا یک عیب رخ داده است یا خیر.
- برای سیستم های زمان پیوسته همراه با اغتشاش یک رویتگر شناسای عیب مقاوم H_2 طراحی شده است [۱۲]. برای سیستم‌های چند عاملی با زمان پیوسته رویتگر تخمین عیب توزیع طراحی شده است. برای هر عامل، یک رویتگر تخمین عیب با استفاده از عیب‌های تخمین خروجی طراحی شده و با نشان دادن بردارهای خطای تخمین، پویایی خطا برای سیستم های چند عامل ایجاد شده است. بر اساس روش تجزیه ، نتیجه DFEO برای محاسبه بهره ماتریس رویتگر توزیع شده DFEO داده می‌شود.

^۱ Photo-Voltaic

^۲ Sliding Mode Observer

۳-۱ مفاهیم اولیه

اصطلاحات اولیه شامل: عیب^۱، خرابی^۲، بد عمل کردن^۳، تشخیص عیب^۴، شناسایی عیب^۵، باقیمانده^۶ و اغتشاش^۷ می باشد.

عیب: انحراف غیر مجاز حداقل یک ویژگی سیستم از شرایط قابل قبول، معمول و استاندارد می باشد [۱۳]، [۱۴].

خرابی: خرابی عبارت است از وقفه مداوم سیستم در انجام عملکرد مورد نیاز در شرایط عملیاتی مشخص.

بدعمل کردن: یک بی نظمی متناوب در تحقق عملکرد مورد نظر سیستم می باشد.

تشخیص عیب: تشخیص عیب میزان بروز عیب در سیستم مانیتور شده را تعیین می کند.

شناسایی عیب: نوع عیب، اندازه عیب، مکان وقوع عیب را تعیین می کند.

باقیمانده: یک شاخص عیب بر مبنای مقایسه بین پارامترهای سیستم واقعی و سیستم تخمین است [۱۵].

اغتشاش: یک ورودی ناشناخته و کنترل نشده که بر روی سیستم تاثیر می گذارد.

۴-۱ طبقه بندی انواع عیب

انواع عیب به سه دسته تقسیم بندی می شوند که شامل : ۱- براساس مکان وقوع عیب (شکل ۱-۱). ۲- براساس چگونگی ایجاد عیب ۳- براساس شکل اضافه شدن عیب.

^۱ Fault

^۲ Failuer

^۳ Malfunction

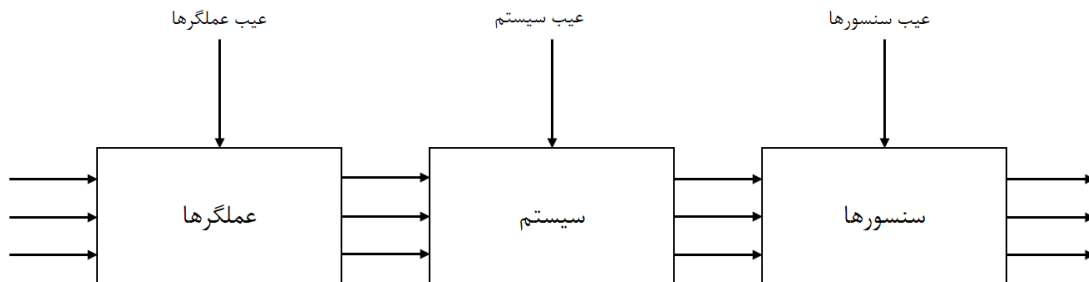
^۴ Fault Detection

^۵ Fault Diagnosis

^۶ Residual

^۷ Disturbance

۱-۴-۱ بر اساس مکان وقوع عیب



شکل ۱-۱ انواع عیب بر اساس مکان وقوع

عیب‌های عملگر^۱: عملگرها برای تبدیل سیگنال‌های کنترلی به سیگنال‌های تحریک مناسب برای سیستم استفاده می‌شوند. عیب عملگر مشخصات سیستم را تغییر نمی‌دهد، اما باعث از دست رفتن کامل یا جزئی از کنترل سیستم می‌شود.

عیب‌های اجزا^۲: عیب‌های اجزا باعث تغییر در مشخصات سیستم می‌شود. علت این نوع خطا شامل فرسودگی، شکستگی، قدیمی بودن اجزای سیستم و ... می‌باشد.

عیب‌های حسگر^۳: خروجی یک حسگر معمولاً تحت تاثیر انواع اغتشاشات داخلی و خارجی است. اغتشاش‌های خارجی توسط محیط اطراف به حسگر وارد می‌شوند، مانند اثر مغناطیسی. اغتشاش‌های داخلی توسط خود حسگر بوجود می‌آیند. این اغتشاش‌ها بر اثر تغییر در منبع تغذیه، مقاومت‌ها، خازن‌ها، سلف‌ها بوجود می‌آید و در نهایت رفتار دینامیکی سیستم تغییر می‌کند.

عیب‌های معمول که برای یک حسگر ایجاد می‌شوند شامل موارد زیر است:

^۱ Actuator Faults

^۲ Plant Fault

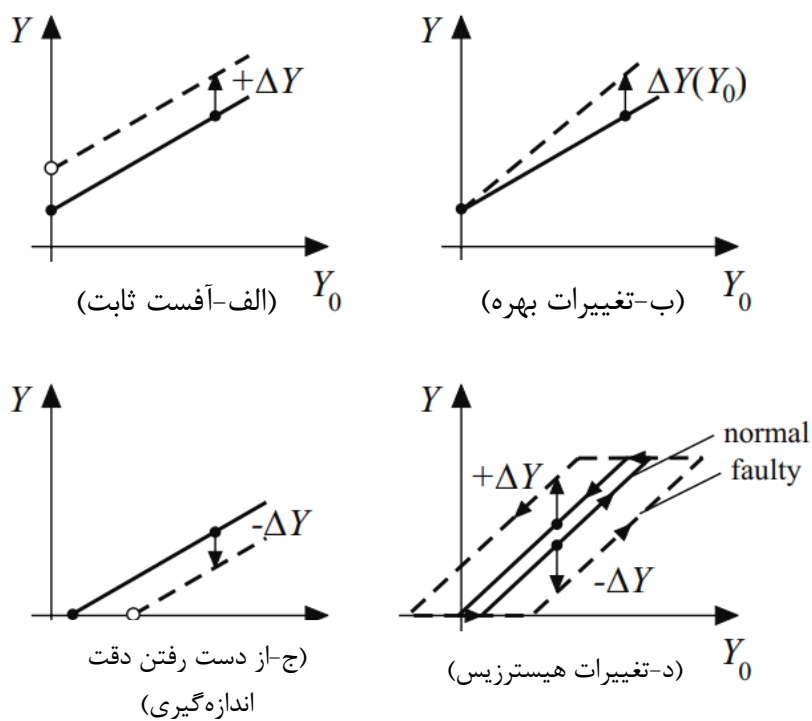
^۳ Sensor Faults

الف) آفست ثابت

ب) تغییرات بهره

ج) از دست دادن دقت اندازه‌گیری

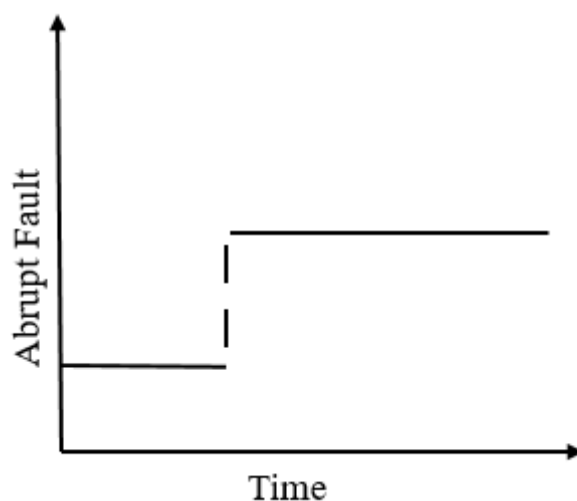
د) تغییرات هیستریزیس



شکل ۱-۲ انواع عیب های حسگر

۲-۴-۱ بر اساس چگونگی ایجاد عیب

عیب ناگهانی^۱: این نوع عیبها مربوط به ایجاد تغییر ناگهانی در یکی از متغیرهای سیستم یا عملگرها و سنسورها هستند که تاثیر زیادی بر عملکرد و پایداری سیستم دارند (شکل ۳-۱). به عنوان نمونه می توان به قطع یا کاهش ناگهانی یک متغیر، نقص ناگهانی در یکی از اجزای مکانیکی و از کار افتادن ناگهانی یک زیر مجموعه از سیستم اشاره کرد.



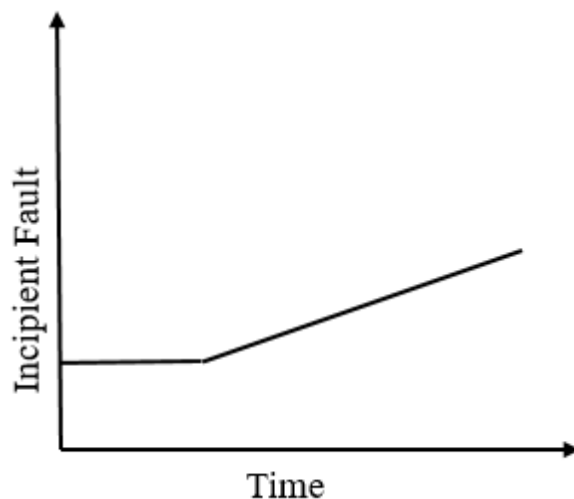
شکل ۳-۱ عیب ناگهانی

عیب افزاینده^۲: این عیبها در مواردی که یکی از پارامترهای فیزیکی سیستم به تدریج از مقدار طبیعی خود منحرف شود، اتفاق می افتد (شکل ۴-۱). به عنوان نمونه می توان به ایجاد نشتی منابع یا خطوط انتقال سیال،

^۱ Abrupt Fault

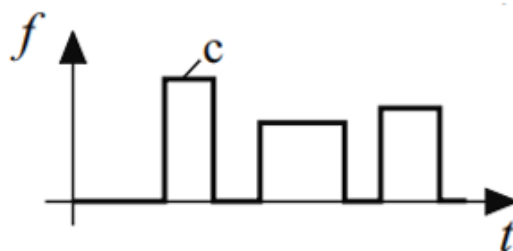
^۲ Incipient Fault

افت تدریجی انرژی یا سیگنال ورودی به سیستم، تغییرات تدریجی بهره‌ی سنسورها در اثر تغییر شرایط محیطی و موارد متعدد دیگر اشاره کرد.



شکل ۴-۱ عیب افزایشنده

عیب متناوب^۱: عیبی که بطور متناوب رخ می‌دهد و از بین می‌رود. بعنوان مثال یکی از متغیرها یا پارامترهای سیستم برای یک بازه‌ی زمانی از وضعیت طبیعی خود منحرف شده و دوباره به حالت عادی بر گردد. (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱ عیب متناوب

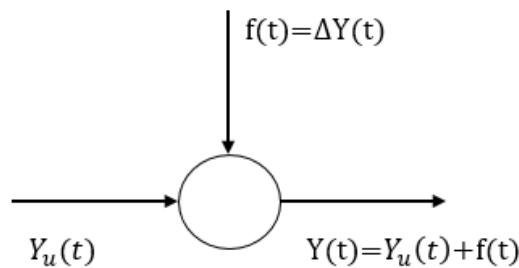
^۱ Intermittent Fault

۳-۴-۱ براساس نحوه اضافه شدن عیب

عیب جمع شونده^۱: عیب‌های جمع شونده با اضافه کردن عیب f ، متغیر Y را تحت تأثیر قرار می‌دهند، عیب جمع شونده مانند آفت در سنسورها). عیب‌های جمع شونده بر روی پایداری سیستم تأثیری ندارند و بطور کلی معادله زیر عیب‌های جمع شونده و اغتشاش در ورودی و خروجی را نشان می‌دهد که در آن $f_l(t)$ عیب جمع شونده در ورودی، $f_m(t)$ عیب جمع شونده در خروجی، $v(t)$ و $n(t)$ بعنوان اغتشاش‌های ورودی و خروجی می‌باشند.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Vv(t) + Lf_l(t) \quad (۱-۱)$$

$$y(t) = Cx(t) + Nn(t) + Mf_m(t) \quad (۲-۱)$$



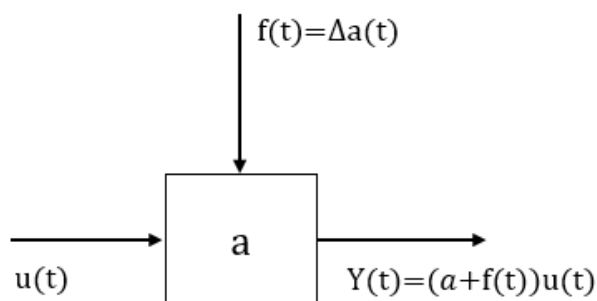
شکل ۶-۱ عیب جمع شونده در خروجی

^۱ Additive Faults

عیب ضربی^۱: عیب های ضربی با ضرب کردن متغیر f در U پارامترهای سیستم را تغییر می دهند. معادله کلی برای عیب های ضربی به شکل زیر می باشد. که در آن ΔA و ΔB و ΔC بعنوان ماتریس های عیب ضرب شونده در سیستم ظاهر می شوند. با توجه به این معادلات عیب های ضربی باعث تغییر در پارامترهای سیستم می شود و پایداری سیستم را تحت تاثیر قرار می دهد و حتی در شرایطی باعث ناپایداری سیستم می شود.

$$\dot{x}(t) = [A + \Delta A]x(t) + [B + \Delta B]u(t) \quad (3-1)$$

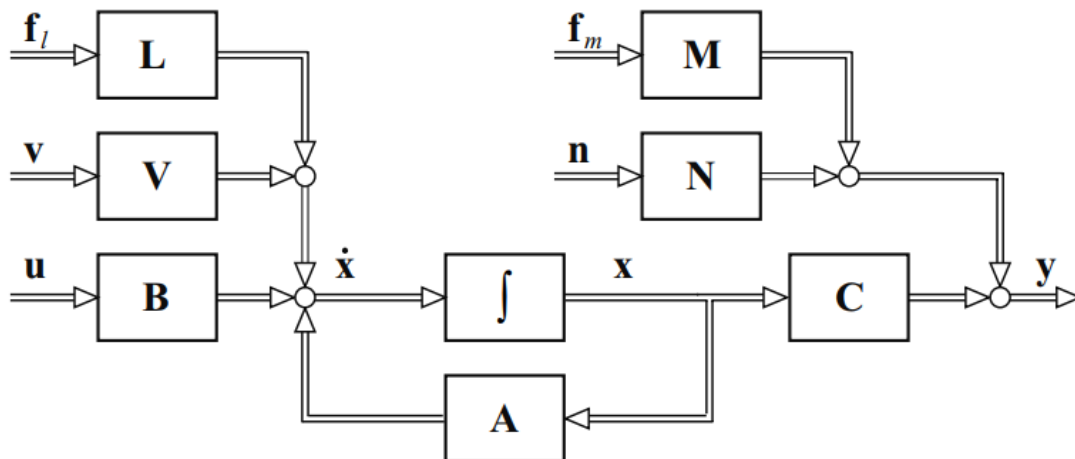
$$y(t) = [C + \Delta C]x(t) \quad (4-1)$$



شکل ۷-۱ عیب ضرب شونده

عیب های جمع شونده اغلب بعنوان جبران کننده سنسورها ظاهر می شوند، در حالی که رایج ترین عیب های ضربی، تغییر در پارامترهای یک فرآیند است [۱۶].

^۱ Multiplicative Fault



شکل ۸-۱ فرآیند چند متغیر همراه با اغتشاش های v و n ، سیگنال های عیب جمع شونده f_l و f_m

۵-۱ روش های تشخیص عیب

تشخیص عیب، میزان بروز عیب در سیستم مانیتور شده را تعیین می کند که شامل تشخیص عیب در فرآیندها، عملگرها و حسگرها با استفاده از وابستگی بین سیگنال های مختلف قابل اندازه گیری است. وظایف مرتبط شامل جداسازی و شناسایی عیب است. جداسازی، مکان عیب و نوع عیب را تعیین می کند در حالی که شناسایی عیب، میزان (اندازه) عیب را تعیین می کند. جداسازی و شناسایی عیب در کنار یکدیگر بعنوان تشخیص عیب شناخته می شوند [۱۷]. وظیفه شناسایی عیب^۱، تعیین نوع عیب و جزئیات بیش تر شامل اندازه عیب، محل و زمان شناسایی می باشد.

^۱ Fault Diagnosis

۱-۵-۱ روش های مبتنی بر داده و مدل های سیگنال

روش های مبتنی بر داده و مدل های سیگنال شامل شامل چهار مورد زیر می باشد:

۱- شبکه های عصبی^۱ ۲-تحلیل مولفه های اصلی (PCA)^۲ ۳-مدل های پارامتری^۳ ۴-تعیین محدوده بررسی^۴

روش های مبتنی بر داده فقط از داده های تجربی موجود استفاده می کنند.

الف) شبکه های عصبی [۱۸]: شبکه های عصبی با موفقیت برای تشخیص مدل مورد استفاده قرار گرفته اند و به همین ترتیب برای تشخیص عیب مناسب هستند.

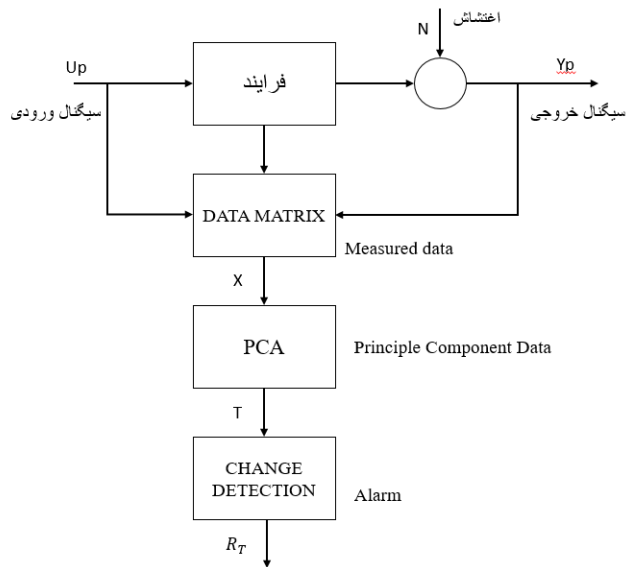
ب) تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی (PCA): برای تبدیل مجموعه ای از متغیرهای وابسته به مجموعه ای از مقادیر غیر مرتبط به نام اجزای اصلی، از یک روش متعامد استفاده می کند که توسط ماتریس تبدیل خطی $P_{[m \times r]}$ تعریف می شود. (تعیین آن به چندین مرحله محاسبه ماتریس نیاز دارد)، که ماتریس داده های ورودی $X_{[N \times m]}$ را به یک گروه از داده های متعامد (قائم) $T_{[n \times r]}$ تبدیل می کند. این روش با در نظر گرفتن تعداد زیادی از متغیرهای وابسته، ابعاد این مجموعه داده ها را کاهش می دهد، درحالی که تغییرات در این مجموعه را در نظر می گیرد. این امر باعث می شود پردازش و نظارت بر داده های بزرگ بعدی ممکن شود. (شکل ۹-۱)

^۱ Neural Nets

^۲ Principal Component Analysis

^۳ Parametric Models

^۴ Limit Checking

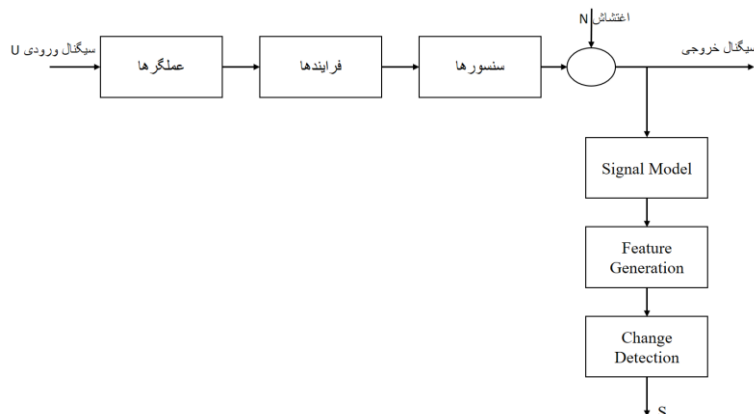


شکل ۹-۱ تشخیص عیب به روش تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی

پ) مدل های پارامتری: مدل های سیگنال پارامتری ^۱ARMA می توانند به صورت زیر مورد استفاده قرار بگیرند. (شکل ۱۰-۱)

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^p \theta_i \varepsilon_{t-i}$$

^۱ Autoregressive Moving Average



شکل ۱۰-۱ تشخیص عیب به روش مدل های سیگنالی

ت) بررسی حدود [۱۹]: دو مقدار حد آستانه، مقدار حداکثر Y_{max} و مقدار حداقل Y_{min} وجود دارد. حالت عادی وقتی است که $Y_{min} \leq Y(t) \leq Y_{max}$ باشد. مزیت بزرگ این روش، ساده و قابلیت اطمینان آن است. توزیع داده های وضعیت همیشه به صورت گاوسی نیست، در چنین مواردی می توان از مدل های مختلط گاوسی استفاده کرد.

۲-۵-۱ روش های مبتنی بر مدل فرآیند

روش های مبتنی بر مدل فرآیند شامل موارد زیر است:

- ۱- معادلات برابری^۱ - رویکردهای حالت^۲ و تخمین حالت^۳ - تخمین پارامتر^۴ - مدل های غیرخطی (شبکه های عصبی)^۵

^۱ Parity Equations

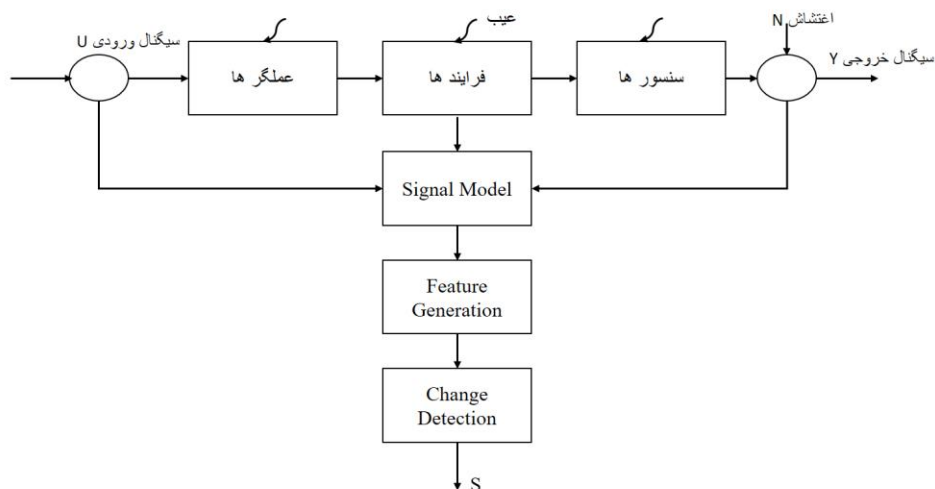
^۲ State Observers

^۳ State Estimation

^۴ Parameter Estimation

^۵ Nonlinear Models

روش های مبتنی بر مدل مبتنی بر مفهوم افزونگی تحلیلی می باشند [۲۰]. ماهیت این مفهوم ، مقایسه خروجی های واقعی سیستم تحت نظارت با خروجی های حاصل از یک مدل ریاضی تحلیلی است، که شامل دو مرحله است: تولید باقیمانده و ارزیابی باقیمانده.



شکل ۱-۱۱ تشخیص عیب بر اساس مدل

در این روش فرض می شود که ساختار و پارامترهای مدل دقیقاً شناخته شده هستند و عیب ها می توانند به عنوان تغییرات متغیر حالت مدل شوند. با محدود کردن مقایسه به سیستم های خطی، معادلات حالت سیستم به صورت زیر می باشند:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (۵-۱)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (۶-۱)$$

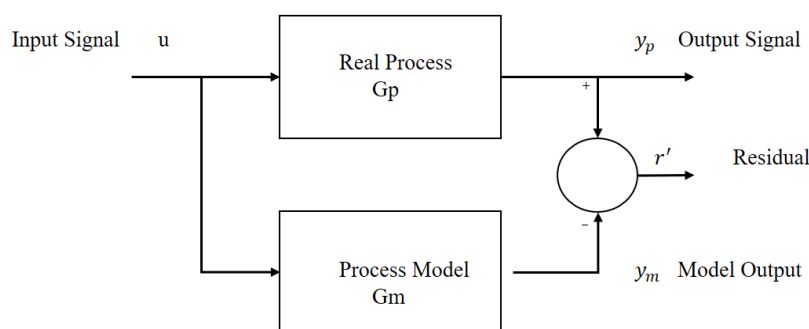
A و B و C ماتریس های شناخته شده هستند. و خروجی $y(t)$ بصورت کلی بدین ترتیب است:

$$y(t) = f(u(t). \omega(t). x(t). \theta(t)) \quad (7-1)$$

معادله (7-1)، که در آن $u(t)$ خروجی ها و ورودی های قابل اندازه گیری، $x(t)$ و $\omega(t)$ متغیرهای حالت و اغتشاش (بیش تر غیر قابل اندازه گیری)، و θ پارامترهای فرایند می باشند. عیب های فرایند باعث تغییر در متغیرهای حالت و پارامترهای مدل می شوند. براساس مدل فرایند می توان $x(t)$ یا $\theta(t)$ را با مشاهده $y(t)$ و $u(t)$ مشاهده کرد. ارزیابی باقیمانده با تعیین حد آستانه انجام می شود [21].

۱-۲-۵-۱ معادلات برابری

این روش رفتار فرایند را با یک مدل فرایند نامی، یعنی رفتار بدون عیب مقایسه می کند. ایده اصلی این است که با استفاده از اندازه گیری های واقعی، معادلات ریاضی سیستم (روابط افزونگی تحلیلی) را بررسی کند. در شکل زیر تفاوت سیگنال ها بین فرایند و مدل با مانده ها بیان شده است.



شکل ۱-۲-۱ تشخیص عیب براساس معادلات برابری

این فرآیند با استفاده از تابع تبدیل $G_p(s)$ و مدل فرآیند $G_m(s)$ تعریف شده است. یک روش مبتنی بر مدل ساده این است که از مدل ثابت GM استفاده کرده و آن را به صورت موازی با فرایند اجرا و در نتیجه یک خطای خروجی ایجاد می‌شود.

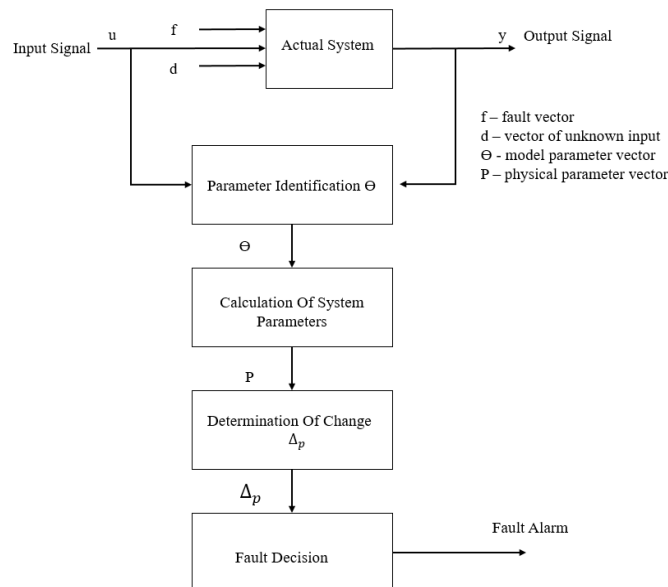
$$r'(s) = [G_p(s) - G_m(s)]u(s) \quad (۸-۱)$$

۱-۵-۲-۲ رویکردهای حالت و تخمین حالت

تغییرات در رفتار ورودی / خروجی یک فرآیند منجر به تغییر خطای خروجی و متغیرهای حالت می‌شود. روش کلی استفاده از رویکر برای تخمین حالت های سیستم و مقایسه خروجی سیستم واقعی با خروجی تخمین و بدست آوردن خطای تخمین است. از خطای تخمین برای بعنوان باقیمانده برای تشخیص عیب استفاده می‌شود.

۱-۵-۲-۳ تخمین پارامتر

در بیشتر موارد عملی پارامترهای فرایند شناخته نشده است. اگر ساختار مدل شناخته شده باشد، می‌توان آنها را با روش تخمین پارامتر تعیین کرد. خطاهای یک سیستم دینامیکی در پارامترهای فیزیکی (اصطکاک ، جرم ، مقاومت ، خازن ، سلف و غیره) تعریف می‌شود. شکل (۱-۱۳) ایده کلی شناسایی پارامتر را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۳ تشخیص عیب به روش تخمین پارامتر [۱۶]

شناسایی عیب‌ها از طریق برآورد پارامترهای مدل ریاضی به روش زیر است :

۱- انتخاب مدل پارامتری یک سیستم

۲- تعیین رابطه بین پارامترهای مدل θ_i و پارامترهای فیزیکی p_i $\theta = f(p)$

۳- شناسایی مسیر پارامتر مدل θ با استفاده از ورودی u و خروجی y سیستم واقعی

۴- تعیین مسیر پارامترهای فیزیکی p $p = f^{-1}(\theta)$

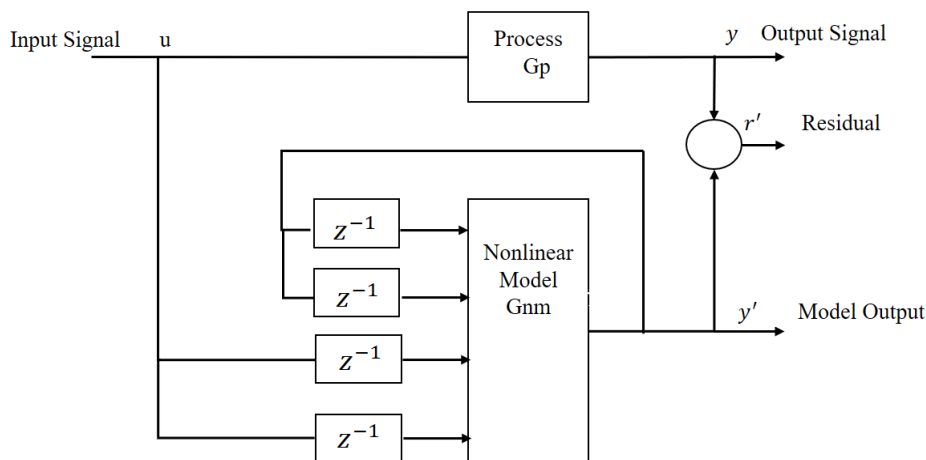
۵- محاسبه انحراف بردار Δp ، از مقدار نامی آن براساس مدل نامی

۶- تصمیم‌گیری در مورد عیب با استفاده از روابط بین عیب‌ها و تغییرات در پارامترهای فیزیکی Δp_i

۴-۲-۵-۱ مدل‌های غیرخطی

بسیاری از فرایندهای صنعتی به دلیل عدم دانش دقیق در مورد سیستم و رفتار به شدت غیرخطی، با رویکردهای مدل‌سازی معمولی مناسب نیستند. در مواردی که مدل‌های فرآیند ریاضی G_p در دسترس نباشند، می‌توان از

مدل غیرخطی برای تولید باقیمانده استفاده کرد. یک روش برای ساختن یک مدل غیرخطی G_{NM} استفاده از شبکه های عصبی است. شبکه های عصبی نیازی به دانش خاصی درباره ساختار فرآیند ندارند. شبکه های عصبی می توانند به عنوان مدل های جعبه سیاه برای سیستم های استاتیک چند متغیره و مدل های غیرخطی استفاده شوند. (شکل ۱۴-۱)



شکل ۱۴-۱ تشخیص عیب با استفاده از مدل های غیر خطی و معادلات برابری [۱۷]

شبکه های عصبی شامل بسیاری از پارامترها هستند ، اما این پارامترها معمولاً برای تفسیر فیزیکی سیستم مدل شده مناسب نیستند. اما ، پس از اتمام مدل سازی فرایند، تشخیص عیب با معادلات برابری قابل اجرا است.

$$r'(s) = [G_p(s) - G_M(s)]u(s) \quad (۹-۱)$$

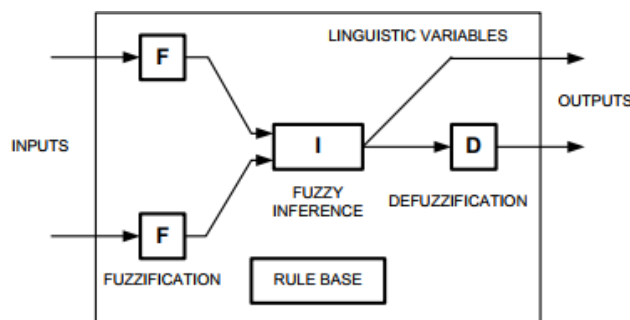
شبکه های عصبی [۲۲] برای تشخیص مدل نیز می توانند با مدل های مختلف فرآیند ترکیب شوند و برای ارزیابی باقیمانده استفاده شوند.

۳-۵-۱ روش‌های مبتنی بر دانش

روش‌های مبتنی بر دانش به صورت کلی به دو دسته ۱-منطق فازی ۲-سیستم‌های خبره (بر مبنای تجربه) تقسیم می‌شوند.

۱-۳-۵-۱ منطق فازی

به جای تصمیم ساده در مورد وجود عیب یا نداشتن عیب، میزان عیب سیستم به عنوان خروجی کنترلر فازی به اپراتورها ارائه می‌شود. یک مدل مبتنی بر قانون قابل تفسیر، بر اساس دانش متخصص موجود و داده‌های اندازه‌گیری شده، می‌باشد [۲۳]. نمودار بلوک کنترلر منطق فازی در شکل (شکل ۱-۱۵) نشان داده شده است.

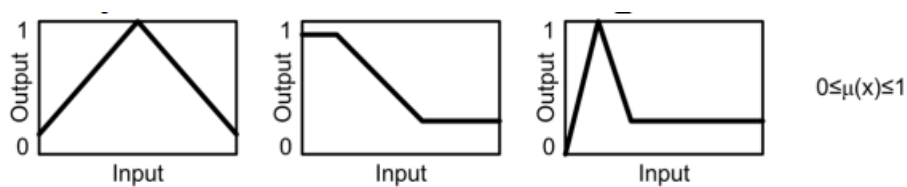


شکل ۱-۱۵ بلوک کنترلر منطق فازی [۱۷]

استنتاج فازی مراحل زیر را شامل می‌شود:

- فازی سازی

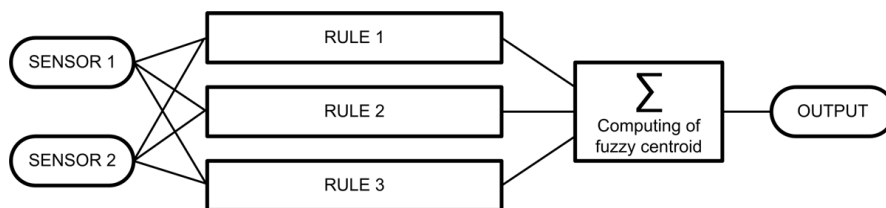
ورودی‌ها به یک کنترلر با استفاده از توابع عضویت، فازی سازی می‌شوند، تابع عضویت یک نمایش گرافیکی از میزان مشارکت هر ورودی است. شکل برخی از توابع عضویت در (شکل ۱-۱۶) آورده شده است.



شکل ۱۶-۱ نمونه هایی از توابع عضویت

- استنباط مبتنی بر قانون

همه قوانین به طور موازی با استفاده از استدلال فازی ارزیابی می شوند. فرآیند استنتاج فازی از توابع عضویت ، عملیات استنتاج و قوانین اگر-آنگاه فازی استفاده می کند.(شکل ۱۷-۱)



شکل ۱۷-۱ فرآیند استنباط فازی

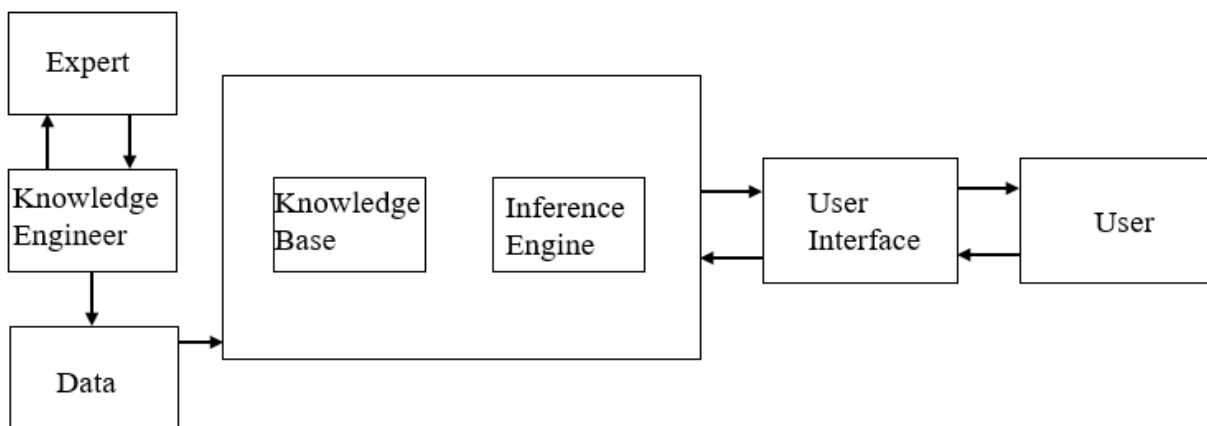
- غیرفازی سازی

در این مرحله باید اطلاعات فازی به غیر فازی تبدیل شود. این کار با ترکیب نتایج فرآیند استنباط و سیستم فازی انجام می گیرد. x^* مقدار متغیر غیر فازی ساز، $\mu_i(x)$ تابع عضویت ترکیب شده، x متغیر خروجی:

$$x^* = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\int \mu_i(x) dx} \quad (۱۰-۱)$$

۱-۵-۳ سیستم های خبره

سیستم های خبره [۲۴] دارای طیف گسترده ای از برنامه های کاربردی برای کارهای تشخیصی هستند که اساس کار تخصص و تجربه است ، اما درک عمیق از خصوصیات سیستم یا در دسترس نیست یا به دست آوردن آن بسیار پرهزینه است. این رویکرد برای سیستم های شبه استاتیکی که در مجموعه ای از قوانین ثابت کار می کنند، ارائه می شود. اجزای اصلی این روش عبارتند از: دانش پایه و موتور استنتاج.



شکل ۱-۱۸ مؤلفه های اصلی رویکرد سیستم خبره

دانش در قالب قوانین تولید نشان داده شده است. کسب دانش همیشه یکی از بزرگترین مشکلات در طراحی سیستم خبره محسوب می شود، منبع اصلی دانش ، تجربه متخصصان حوزه از جمله مهندسين مجرب و کاربران سیستم های صنعتی می باشند. مزایای اصلی سیستم خبره عبارتند از: قوانین می توانند به راحتی اضافه یا حذف شوند، استنتاج و استنباط آسان است، و معایب آن عبارتند از: فقدان عمومیت ، عدم استفاده از شرایط جدید ، عدم توانایی در بروز پدیده های متغیر زمان ، عدم توانایی در رشد و توسعه و همچنین هزینه های نگهداری بالایی دارد.

فصل ۲ معرفی رویتگرها

با افزایش تقاضا برای پیشرفت، بازدهی و کیفیت محصول و ادغام سیستم‌های کنترل خودکار در فرآیندهای پرهزینه، زمینه نظارت، تشخیص و شناسایی عیب نقش مهمی دارد. روش‌های کلاسیک نظارت، متغیرهای منفرد محدود و هشدار دهنده اپراتورها را بررسی می‌کند. با این وجود، این امر با در نظر گرفتن اطلاعاتی که در کلیه اندازه‌گیری‌ها و اقدامات خودکار پنهان شده است که می‌تواند به طور چشم‌گیری بهبود یابد.

طی دهه‌های گذشته، تحقیقات نظری و تجربی روش‌های جدیدی را برای تشخیص و شناسایی عیب‌ها ارائه داده‌اند. تشخیص عیب^۱، مشخص می‌کند که آیا عیب در سیستم رخ داده است یا خیر و شناسایی عیب^۲ محل و علت عیب را مشخص می‌کند.

به طور کلی روش‌های تشخیص عیب به دو گروه اصلی، بدون مدل و مبتنی بر مدل دسته بندی می‌شوند:

روش بدون مدل: به مدل دینامیکی سیستم برای تشخیص عیب نیاز ندارند. این روش برای زمانی که بدست آوردن مدل سیستم مشکل است، مناسب می‌باشد.

روش تشخیص عیب مبتنی بر مدل: روش تشخیص عیب مبتنی بر مدل تحلیلی یکی از مهم‌ترین روش‌ها در حوزه تشخیص عیب است. روش‌های مبتنی بر مدل تحلیلی شامل، روش‌های مبتنی بر رویتگر، معادلات برابری و تخمین پارامتر هستند و پرکاربردترین آن‌ها، روش مبتنی بر رویتگر می‌باشد.

تشخیص عیب برای سیستم‌های غیر خطی نقش مهمی در کاربردهای عملی ایفا می‌کند. استفاده از رویتگرها رایج‌ترین روش برای این منظور می‌باشد.

^۱ Fault Detection

^۲ Fault Diagnosis

معمولا بیش تر رویتگرها به مدل ریاضی دقیق سیستم وابسته هستند. اما رویتگر حالت افزوده براساس داده ورودی- خروجی اطلاعات لازم برای تشخیص عیب را فراهم میکند و نیازی به مدل ریاضی دقیق سیستم ندارد. از آنجا که رویتگرهای حالت از یک خطای خروجی اندازه گیری شده بین فرآیند و خروجی مدل قابل تنظیم استفاده می کنند، رویتگرهای حالت، متغیرهای حالت را مطابق با شرایط اولیه و با زمان سیگنال های ورودی و خروجی اندازه گیری شده تنظیم می کنند. رویتگرها کاربردهای متفاوتی دارند از جمله: ۱- تخمین متغیرهای حالت برای کنترل ۲- عیب یابی ۳- پیش بینی رفتارهای دینامیکی و

۲-۲ فیلتر کالمن

فیلتر کالمن یک فیلتر پیش بینی کننده بازگشتی است، که مبتنی بر تکنیک های فضای حالت و الگوریتم های بازگشتی است [۲۵]. این فیلتر حالت های دینامیکی سیستم را تخمین می زند. نویز و اغتشاش موجود در سیستم بیش تر بعنوان نویز سفید فرض می شود. برای بهبود حالت های تخمینی، فیلتر کالمن از اندازه گیری های بهم ریخته که مربوط به دینامیک های حالت سیستم می باشند استفاده می کند.

فیلتر کالمن از دو مرحله تشکیل شده است:

۱. پیش بینی

۲. اصلاح

در مرحله اول حالت با مدل دینامیکی پیش بینی می شود، در مرحله دوم مدل مشاهده و سپس اصلاح می شود. به نحوی که کوواریانس خطا به حداقل برسد. از این جهت یک تخمین گر بهینه است. این روش برای هر مرحله از زمان با حالت مرحله زمانی قبلی بعنوان مقدار اولیه تکرار می شود. به همین دلیل فیلتر کالمن فیلتر بازگشتی نامیده می شود.

فیلتر کالمن به شکل کلی زیر می‌باشد:

$$x_k = Fx_{k-1} + Bu_{k-1} + \omega_{k-1} \quad (1-2)$$

F ماتریس انتقال حالت و x_{k-1} بردار حالت برای زمان $k-1$ ، B ماتریس کنترل ورودی است که بر روی بردار کنترل u_{k-1} اعمال می‌شود، و ω_{k-1} بردار نویز فرآیند است که به صورت نویز گوسین با میانگین صفر و کواریانس خطای Q فرض می‌شود.

مدل فرآیند با مدل اندازه‌گیری شده، رابطه بین حالت و اندازه‌گیری در مرحله زمانی k را نشان می‌دهد.

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (2-2)$$

z_k بردار اندازه‌گیری، H ماتریس اندازه‌گیری و v_k بردار نویز اندازه‌گیری شده که به صورت نویز سفید (نویز گوسین) با میانگین صفر و کواریانس R است.

نقش فیلتر کالمن ارائه تخمین x_k در زمان k با توجه به تخمین اولیه x_0 است، سری اندازه‌گیری $z_1, z_2, \dots, z_k$ و اطلاعات سیستم توسط F و B و H و R توصیف می‌شوند. اگرچه قرار است ماتریس کواریانس نشان دهنده آمار نویز باشد، اما در بسیاری از کاربردهای عملی آمار واقعی نویز ناشناس می‌باشد. بنابراین Q و R معمولاً بعنوان پارامترهای تنظیم مورد استفاده قرار می‌گیرند که کاربر با تنظیم این پارامترها می‌تواند عملکرد مطلوب سیستم را بدست آورد.

Q، کواریانس نویز فرآیند و R، کواریانس نویز اندازه‌گیری می‌باشد. Q و R متناسب با نویز سیستم تعیین می‌شوند تا بهترین عملکرد را داشته باشیم. با این حال، اما در سیستم‌های واقعی تعیین اندازه نویز ممکن نمی‌باشد. برای سیستم مورد بررسی در این پژوهش ما نویز سیستم را از نوع، نویز سفید با میانگین صفر انتخاب کردیم.

در طراحی فیلتر کالمن تعیین Q و R بسیار مهم است. R را می توانیم با پردازش اندازه گیری ها در حالی که خروجی ثابت است، بدست آورد. با حذف نویز از میانگین داده ها، می توانیم کوواریانس R را از قسمت باقیمانده داده ها محاسبه کرد.

اما تعیین Q، آنقدرها هم ساده نیست. Q، بطور کلی بصورت تجربی و شهودی بدست می آید و نکته ی مهم برای تعیین Q، باید دینامیک های مدل نشده و عدم قطعیت ها را بطور کلی بعنوان نویز فرآیند مدلسازی می کنیم. الگوریتم کلی فیلتر کالمن به صورت زیر خلاصه می شود:

پیش بینی:

$$\hat{x}_k = F\hat{x}_{k-1}^+ + Bu_{k-1} \quad \text{تخمین حالت پیش بینی شده} \quad (3-2)$$

$$P_k^- = FP_{k-1}^+ F^T + Q \quad \text{کوواریانس خطای پیش بینی} \quad (4-2)$$

اصلاح:

$$\tilde{y}_k = z_k - H\hat{x}_k^- \quad \text{باقی مانده اندازه گیری} \quad (5-2)$$

$$K_k = P_k^- H^T (R + HP_k^- H^T)^{-1} \quad \text{بهره کالمن} \quad (6-2)$$

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- - K_k \tilde{y}_k \quad \text{تخمین حالت به روز شده} \quad (7-2)$$

$$P_k^+ = (I - K_k H) P_k^- \quad \text{کوواریانس خطا به روز شده} \quad (8-2)$$

در معادلات فوق، عملگر $(\wedge)$ به معنای تخمین متغیر است. $\hat{x}$ تخمین X است. بالانویس های + و - به ترتیب برای تخمین های پیش بینی شده برای حالت قبل و برای حالت اصلاح شده می باشند. تخمین حالت پیش بینی شده بوسیله تخمین حالت اصلاح شده قبلی اصلاح می شود. اصطلاح جدید P، کوواریانس خطای حالت نامیده می شود. کوواریانس خطایی که فیلتر بعنوان خطای تخمین منظور می کند. کوواریانس برای متغیر تصادفی X به

صورت $cov(x) = E[(x - \hat{x})(x - \hat{x})^T]^T$ تعریف می‌شود که در آن E مقدار پیش‌بینی شده (میانگین) آرگومان خود را بیان می‌کند. می‌توان مشاهده کرد که کوواریانس خطا در مرحله پیش‌بینی به دلیل جمع با Q بزرگتر می‌شود، این بدان معنی است که فیلتر از تخمین حالت بعد از مرحله پیش‌بینی نامعلوم‌تر است. در مرحله روزرسانی، ابتدا باقیمانده $\tilde{y}_k$ محاسبه می‌شود. باقیمانده اندازه‌گیری، تفاوت بین اندازه‌گیری واقعی z_k و اندازه‌گیری تخمینی $H\hat{x}_k$ است. باقیمانده $\tilde{y}_k$ در بهره کالمن K_k ، برای اصلاح تخمین پیش‌بینی $\hat{x}_k$ ضرب می‌شود. پس از به دست آوردن تخمین حالت به روز شده، فیلتر کالمن کوواریانس خطای به روز شده، P_k^+ را محاسبه می‌کند، که در مرحله زمانی بعدی استفاده خواهد شد. یک نکته مهم برای فیلتر این است که کوواریانس خطای به روز شده از کوواریانس خطای پیش‌بینی شده کوچکتر است، به این معنی که فیلتر پس از استفاده از اندازه‌گیری در مرحله به روزرسانی، از تخمین حالت مطمئن‌تر است. برای اجرای فیلتر کالمن به مقادیر اولیه نیاز داریم. به عنوان مقادیر اولیه، تخمین حالت قبل از مشاهده، $\hat{x}^+$ ، و حدس اولیه ماتریس کوواریانس خطا، P را داریم. همراه با Q و R ، $\hat{x}^+$ ، P^+ برای دستیابی به عملکرد مطلوب نقش مهمی دارند. یک قانون کوچک وجود دارد که "جهل اولیه" نام دارد و این بدان معنی است که کاربر باید یک P^+ بزرگ را برای همگرایی سریع‌تر انتخاب کند. سرانجام، می‌توان با اجرای مراحل پیش‌بینی و به روزرسانی برای هر مرحله زمانی $k=1, 2, 3, \dots$ ، پس از آغاز ارزیابی‌ها، فیلتر کالمن را پیاده‌سازی کرد. توجه داشته باشید که فیلترهای کالمن بر اساس این فرض که مدل‌های فرآیند و اندازه‌گیری خطی هستند، بدست می‌آید، یعنی می‌توان با ماتریس‌های F ، B و H بیان کرد و نویز فرایند و اندازه‌گیری از نوع افزودنی گوسین است. از این رو، یک فیلتر کالمن فقط در صورت رضایت از فرضیات، تخمین بهینه را ارائه می‌دهد.

۳-۲ رویتر حالت

برای طراحی رویتر حالت از یک خطای خروجی بین یک فرآیند اندازه‌گیری شده و یک خروجی مدل قابل تنظیم استفاده می‌شود. رویترهای حالت، متغیرهای حالت را مطابق با شرایط اولیه و با زمان سیگنال‌های ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده تنظیم می‌کنند [۲۶].

یک فرآیند خطی متغیر با زمان در نظر گرفته می‌شود که مدل فضای حالت آن به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (۹-۲)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (۱۰-۲)$$

در اینجا p سیگنال ورودی $u(t)$ و r سیگنال خروجی $y(t)$ فرض می‌شود، زیرا روش تشخیص عیب به ویژه برای فرآیندهای چند متغیره مناسب می‌باشد. با این فرض که ساختار و پارامترهای مدل شناخته شده باشد، از یک رویتر حالت برای بازسازی متغیر حالت غیر قابل اندازه‌گیری بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + Le(t) \\ e(t) = y(t) - C\hat{x}(t) \end{cases} \quad (۱۱-۲)$$

با توجه به شکل $e(t)$ یک خطای خروجی است. با جایگذاری رابطه (۱۱) در رابطه (۱۰) رویتر حالت زیر را نتیجه می‌دهد:

$$\dot{\hat{x}}(t) = [A - LC]\hat{x}(t) + Bu(t) + Ly(t) \quad (۱۲-۲)$$

یکی از شروط مهم برای طراحی رویتر این است که باید سیستم رویت‌پذیر باشد.

برای هر انحراف حالت اولیه $[\hat{x} - x]$ در صورت پایدار بودن رویتگر، می توان با تعیین مناسب ماتریس بازخورد حالت L با روش هایی مانند جایابی قطب رویتگر مطلوبی را طراحی نمود.

۴-۲ رویتگر H_i/H_∞

برای هدف تشخیص عیب، اغلب از فیلتر تشخیص عیب مبتنی بر رویتگر برای تولید باقیمانده استفاده می شود [۲۷].

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + B_f f(t) + B_d d(t) \\ y(t) = Cx(t) + D_d d(t) \end{cases} \quad (۱۶-۲)$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) = c\hat{x}(t) \\ r = R(y(t) - \hat{y}(t)) \end{cases} \quad (۱۷-۲)$$

$\hat{x}$ و $\hat{y}$ به ترتیب بردارهای تخمین حالت و خروجی، $f(t)$ و $d(t)$ به ترتیب سیگنال خطای ورودی و اغتشاش ورودی، r سیگنال باقیمانده، L بهره ماتریس رویتگر و R پُست فیلتر می باشند. با تعریف $e = x - \hat{x}$ بر اساس معادلات (۱۷-۲) و (۱۶-۲) و جایگذاری روابط به معادله زیر می رسیم:

$$\begin{cases} \dot{e} = (A - LC)e + (B_d - LD_d)d + B_f f \\ r = R(Ce + D_d d) \end{cases} \quad (۱۸-۲)$$

اولین مسئله مهم در طراحی فیلتر تشخیص عیب مقاوم برای سیستم‌های دارای اغتشاش و خطا ایجاد رابطه بهینه بین مقاوم بودن باقیمانده r^1 به ورودی ناشناخته d^2 و حساسیت به عیب f^3 می‌باشد.

برای تعیین بهره رویتگر H_i/H_∞ ابتدا معادله ریکاتی جبری (۲۱-۲) را حل و با جایگذاری در رابطه (۱۹-۲) بهره آن بدست می‌آید.

$$L^* = (B_d D_d^T + Y C^T) Q^{-1} \quad (19-2)$$

$$R = Q^{-1/2}, \quad Q = D_d D_d^T \quad (20-2)$$

$$Y(A - B_d D_d^T Q^{-1} C)^T + (A - B_d D_d^T Q^{-1} C)Y - Y C^T Q^{-1} C Y \\ + B_d (I - D_d^T Q^{-1} D_d)^2 B_d^T = 0 \quad (21-2)$$

L ، بهره رویتگر و $Y \geq 0$ که با حل معادله ریکاتی (۲۱-۲) بدست می‌آید. $R(s)$ پست فیلتر می‌باشد.

¹ Residual

² Disturbance

³ Fault

فصل ۳ مدلسازی سیستم

در بسیاری از سیستم ها مساله تشخیص عیب^۱ (FD) نقش مهمی ایفا می کند، زیرا عیب های عملگر یا سنسور همیشه وجود دارد که می تواند باعث خسارت شدید در عملکرد سیستم و یا حتی منجر به ناپایداری سیستم شود [۲۸]. سیستم سنجش از دور هواپیما به طور گسترده ای در شناسایی، نقشه برداری و اکتشافات منابع استفاده می شود [۲۹]. در طول حرکت هواپیما برای تصویربرداری بار اپتیکال برای حفظ پرواز یکنواخت در یک خط مستقیم مورد نیاز است اما با توجه به تاثیرات اختلالات جوی، هواپیما تکان های پیچیده مزاحمی دارد که به طور مستقیم بر کیفیت تصاویر تاثیر می گذارد. یکی از تکنیک های موثر برای جداسازی حرکات ناخواسته هواپیما، بارگذاری اپتیکی (دوربین هوایی، لیدیار یا اسپکترومتر) می باشد که با استفاده از یک دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ^۲ (TGSCM) انجام می پذیرد [۳۰، ۳۱]. با این حال، در بسیاری از سیستم های واقعی مشکل تشخیص عیب نقش مهمی ایفا می کند، زیرا عیب های عملگر یا سنسور همیشه وجود دارد، که می تواند باعث خسارت شدید عملکرد سیستم و حتی منجر به ناپایداری سیستم شود.

تکنیک بهینه سازی مقاوم برای طراحی^۳ FDF دارای دو مرحله است، مرحله اول طراحی، حداکثر کردن معیار نسبت حساسیت به مقاوم بودن میباشد و مرحله دوم با استفاده از نرم H^∞ خطا را بین عیب و سیگنال مانده به حداقل برسانیم [۳۲]. سیستم مورد بررسی دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ (TGSCM) معمولا در محیط لرزش کار می کند، بنابراین وقوع عیب در سیستم اجتناب ناپذیر است و ممکن است دچار عیب و یا ناپایداری سیستم (TGSCM) شود [۳۳]. با افزایش نیاز در کیفیت ایمنی سیستم و کیفیت تصاویر، مسئله

^۱ Fault Detection

^۲ Three-Axis Gyro-Stabilized Camera Mount

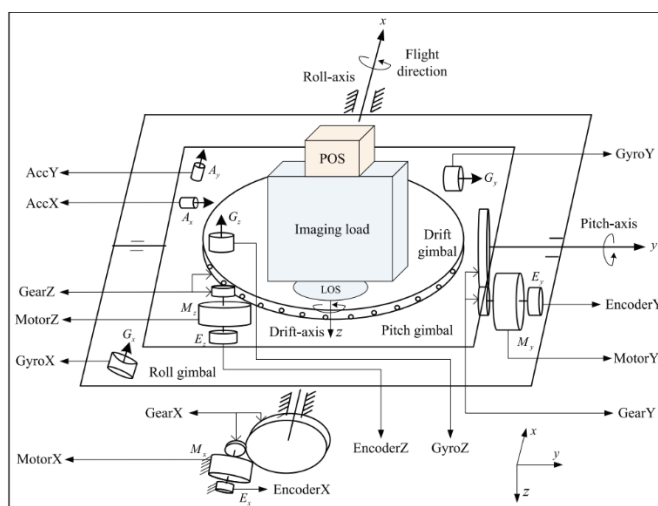
^۳ Fault Detection Filter

تشخیص عیب (FD) برای سیستم کنترل TGSCM بطور چشمگیری اهمیت پیدا می کند؛ به طور کلی، عیب های سیستم TGSCM شامل عیب عملگر و عیب سنسور می شود.

۲-۳ بیان مسئله

M_x ، M_y و M_z گشتاورهای موتور DC هستند. G_x ، G_y و G_z سه نسبت اندازه گیری سیستم ژيروسکوپ. A_x و A_y شتاب سنج های افقی برای اندازه گیری شتاب هواپیما می باشند. E_x ، E_y و E_z برای اندازه گیری زاویه های نسبی محورها استفاده می شوند. جهت های سه محور به ترتیب شامل x ، y و z مشخص شده اند. معادلات سیستم دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ [۱]، با استفاده از معادله نیوتن - اوایلر بدست می آید و به شرح زیر است:

$$\begin{cases} \frac{dH_x}{dt} + H_z\omega_y - H_y\omega_z = T_x \\ \frac{dH_y}{dt} + H_x\omega_z - H_z\omega_x = T_y \\ \frac{dH_z}{dt} + H_y\omega_x - H_x\omega_y = T_z \end{cases} \quad (۱-۳)$$



شکل ۱-۳ شماتیک کلی سیستم TGSCM

$H = [H_x \ H_y \ H_z]^T$ اینرسی حرکت زاویه‌ای، $\omega = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$ اینرسی سرعت زاویه‌ای، $T = [T_x \ T_y \ T_z]^T$ گشتاور خارجی است که به بدنه محورها اعمال می‌شود.

نشانه‌های $J_{rx}, J_{ry}, J_{rz}, J_{px}, J_{py}, J_{pz}, J_{dx}, J_{dy}, J_{dz}$ به ترتیب زمان‌های اینرسی roll gimbal, pitch gimbal و drift gimbal در امتداد محورهای x, y, z می‌باشند. $\theta_r, \theta_p, \theta_d$ به ترتیب، زوایای نسبی بین roll gimbal و pitch gimbal، pitch gimbal و roll gimbal و pitch gimbal و drift gimbal می‌باشند. سپس سینماتیک TGSCM می‌تواند چنین بیان شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} (J_{rx} + J_{px} + J_{dx})\dot{\omega}_r + T_{cr} = T_x \\ (J_{py} + J_{dy})\dot{\omega}_p + T_{cp} = T_y \\ J_{dz}\dot{\omega}_d + T_{cd} = T_z \\ \dot{\theta}_r = \omega_r \\ \dot{\theta}_p = \omega_p \\ \dot{\theta}_d = \omega_d \end{array} \right. \quad (2-3)$$

که در آن اثرات اتصال گیমبال‌ها بدین صورت است:

$$T_{cr} = J_{dz}\dot{\theta}_p\dot{\theta}_d - \gamma(J_{px} + J_{dx} - J_{pz} - J_{dz})\dot{\theta}_r\dot{\theta}_p\theta_p \quad (3-3)$$

$$T_{cp} = -J_{dz}\dot{\theta}_d\dot{\theta}_r + (J_{px} + J_{dx} - J_{pz} - J_{dz})\dot{\theta}_r\dot{\theta}_p\theta_p \quad (4-3)$$

$$T_{cd} = J_{dz}\dot{\theta}_r\theta_p \quad (5-3)$$

برای TGSCM، زوایای θ_r و θ_p کمتر از ۵ درجه هستند، و سرعت‌های زاویه‌ای $\dot{\theta}_r, \dot{\theta}_p$ و $\dot{\theta}_d$ کمتر از ۱۰ درجه بر ثانیه می‌باشند، بنابراین حاصلضرب آنها کوچک می‌شود. بنابراین، در مقایسه با سایر اختلالات مانند گشتاور

عدم تعادل جرم و اصطکاک گشتاور، اثرهای جفت شوندگی T_{cr} ، T_{cp} و T_{cd} کاملاً ضعیف هستند. بدین ترتیب، معادلات (۳-۳)، (۴-۳)، (۵-۳) را می توان به سه معادله مستقل زیر ساده کرد:

$$roll\ gimbal \begin{cases} J_x \dot{\omega}_r = T_x \\ \dot{\theta}_r = \omega_r \end{cases} \quad (۶-۳)$$

$$pitch\ gimbal \begin{cases} J_y \dot{\omega}_p = T_y \\ \dot{\theta}_p = \omega_p \end{cases} \quad (۷-۳)$$

$$drift\ gimbal \begin{cases} J_z \dot{\omega}_d = T_z \\ \dot{\theta}_d = \omega_d \end{cases} \quad (۸-۳)$$

که در آن $J_x = J_{rx} + J_{px} + J_{dx}$ ، $J_y = J_{py} + J_{dy}$ ، $J_z = J_{dz}$ لحظه های اینرسی^۱ می باشند.

با توجه به معادله ولتاژ حرکتی معمولی و معادله سینماتیک ساده شده، مدل پویا یک سیستم گیمبال واحد برای TGSCM می تواند به صورت زیر خلاصه شود:

$$\begin{cases} L_a \frac{d i_a}{d t} + R_a i_a = u_a - N K_e \omega_l \\ T_l = N K_T i_a \\ (N^s J_m + J_l) \frac{d \omega_l}{d t} = T_l + T_d \\ \frac{d \theta_l}{d t} = \omega_l \end{cases} \quad (۹-۳)$$

^۱ Moments Of Inertial

ولتاژ ورودی موتور: u_a

جریان خروجی موتور: i_a

اندوکتانس آرمیچر: L_a

مقاومت آرمیچر: R_a

نسبت گیربکس: N

ضریب نیروی الکتریکی برگشتی: k_e

ضریب گشتاور موتور: k_T

لحظه بی تحرکی موتور: J_m

لحظه بی تحرکی گیمبال واحد: J_l

گشتاور کنترل: T_l

اغتشاش‌های گشتاور: T_d

نسبت زاویه‌ای گیمبال: ω_l

زاویه حالت: θ_l

در حالت عادی تصویربرداری هوایی، ورودی مرجع $\theta_{ref} = 0$ و دقت اشاره گر 0.2 درجه (1σ) و دقت سرعت پایدار زاویه ای 0.3 درجه به ثانیه می رسد (1σ).

خطای حسگر نیز می تواند به عنوان یک عیب افزودنی در ولتاژ ورودی موتور u_a در نظر گرفته شود. براین اساس، U_a^F نشان دهنده ولتاژ ورودی با در نظر گرفتن یک موتور معیوب می باشد، u_a ولتاژ کنترل را از خروجی کنترلر نشان می دهد و f ولتاژ خطا را نشان می دهد. بنابراین:

$$U_a^F = U_a + f \quad (۱۰-۳)$$

در مرحله اول ، باید معادله حالت سیستم یک گیمبال را بدست آوریم. از این رو، $u = I_{ref}$ ورودی کنترل، $x = [i_a \ \omega_l \ \theta_l]^T$ متغیر حالت و y خروجی اندازه گیری شده، و بدین ترتیب معادله فضای حالت تک گیمبال به صورت زیر بیان می شود:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + B_f f + B_d d \\ y = Cx + D_d d \end{cases} \quad (۱۱-۳)$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{K_{IP} + R_a}{L_a} & -\frac{NK_e}{L_a} & \cdot \\ NK_T & \cdot & \cdot \\ \frac{N^2 + J_m + J_l}{\cdot} & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad (۱۲-۳)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{K_{IP}}{L_a} \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (۱۳-۳)$$

$$B_f = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (۱۴-۳)$$

$$B_d = \begin{bmatrix} \dot{} \\ \frac{\dot{}}{N^r + J_m + J_l} \\ \dot{} \end{bmatrix} \quad (۱۵-۳)$$

$$C = [\cdot \quad \cdot \quad ۱] \quad D_d = [\cdot \quad \cdot \quad ۱] \quad d = [T_d \quad V_d]^T \quad (۱۶-۳)$$

واریانس V_d برای ماتریس نویز D_d با توجه به بدترین حالت ۰,۱ در نظر گرفته شده است.

۳-۳ طراحی فیلتر تشخیص عیب

برای هدف تشخیص عیب ، اغلب از فیلتر تشخیص عیب مبتنی بر رویتگر برای تولید باقیمانده استفاده می شود.

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \\ r = R(y - \hat{y}) \end{cases} \quad (۱۷-۳)$$

که $\hat{x}$ و $\hat{y}$ به ترتیب بردارهای تخمین حالت و خروجی را نشان می دهند ، r سیگنال باقیمانده است ، L بهره ماتریس رویتگر و R پُست فیلتر است.

با تعریف $e = x - \hat{x}$ و جایگذاری در معادله (۱۷-۳) به معادله (۱۸-۳) میرسیم:

$$\begin{cases} \dot{e} = (A - LC)e + (B_d - LD_d)d + B_f f \\ r = R(Ce + D_d d) \end{cases} \quad (۱۸-۳)$$

تشخیص عیب مبتنی بر رویتگر شامل دو مرحله است: تولید باقیمانده و ارزیابی باقیمانده. از معادله (۱۸-۳) دیده می شود که r سیگنال باقی مانده نه تنها از عیب f بلکه از ورودی ناشناخته d نیز تحت تأثیر قرار می گیرد. علاوه بر این، TGSCM از اغتشاشات چند منبع غیر خطی که دارای اندازه و متغیرهای بزرگی هستند تأثیر گرفته و به طور مستقیم بر عملکرد تشخیص عیب تأثیر می گذارد. بنابراین، اولین مسئله مهم بهبود عملکرد تشخیص عیب، طراحی یک فیلتر تشخیص عیب است به طوری که یک رابطه بهینه بین مقاوم بودن باقیمانده r به ورودی ناشناخته d و حساسیت به عیب f بدست آورد.

مقاوم بودن باقیمانده r به ورودی ناشناخته d بوسیله $\|G_{rd}(s)\|_\infty$ و حساسیت از باقیمانده r به عیب f توسط $\sigma_i(G_{rf}(j\omega))$ نشان داده می شود. سپس می توان طراحی فیلتر تشخیص عیب را به عنوان یک مسئله بهینه سازی زیر فرموله کرد:

$$\max_{H,R(s)} J_{H_i/H_\infty} = \frac{\sigma_i(G_{rf}(j\omega))}{\|G_{rd}(s)\|_\infty} \quad (۱۹-۳)$$

که در آن $\sigma_i(G_{rf}(j\omega))$ ، λ مین مقادیر تکین غیرصفر $G_{rf}(j\omega)$ است و J_{H_i/H_∞} معیار نسبت حساسیت / مقاوم بودن، تشخیص عیب مقاوم می باشد. با توجه به باقی مانده (۱۹-۳) یک رابطه بهینه بین حساسیت به عیب و مقاوم بودن به اغتشاش به دست می آید، FD مبتنی بر بهینه سازی H_i/H_∞ یک رویکرد کارآمد برای تشخیص عیب مقاوم برای یک سیستم در معرض اغتشاشات ناشناخته محدود شده فراهم می کند. علاوه بر این

$\|G_{rf}(s)\|_{\infty} = \inf_{\omega \in [0, \infty)} \sigma_{\min}(G_{rf}(j\omega))$ اغلب برای اندازه گیری بهترین و بدترین حالت، حساسیت از باقیمانده به عیب استفاده می شود و

$$\max_{H.R(s)} J_{H_{\infty}/H_{\infty} = \frac{\|G_{rf}(s)\|_{\infty}}{\|G_{rd}(s)\|_{\infty}}} , \max_{H.R(s)} J_{H_{-}/H_{\infty} = \frac{\|G_{rf}(s)\|_{-}}{\|G_{rd}(s)\|_{\infty}}} \quad (۲۰-۳)$$

فیلتر تشخیص عیب H_i/H_{∞} بهینه می باشد، جاییکه کمترین مقادیر تکین غیر صفر $G_{rf}(j\omega)$ می باشد. مسئله دیگر برای بهبود عملکرد تشخیص عیب، ارزیابی باقیمانده است، که مربوط به انتخاب عملکرد ارزیابی $J(r)$ و آستانه J_{th} است.

$$\begin{cases} J(r) < J_{th} & \text{fault-free case} \\ J(r) > J_{th} & \text{faulty case} \end{cases} \quad (۲۱-۳)$$

بدیهی است که آستانه J_{th} به دلیل وجود اغتشاش های ناشناخته معمولاً مثبت است. هر چه J_{th} بزرگتر باشد، میزان خطای هشدار کاذب کوچکتر است، اما تشخیص عیب ضعیف تر می شود.

۴-۳ استراتژی تشخیص عیب

اولین قدم تشخیص عیب تولید سیگنال باقیمانده است. پس از تولید باقیمانده، مرحله ارزیابی باقیمانده است که مربوط به انتخاب تابع ارزیابی و حد آستانه است.

۳-۴-۱ تولید باقیمانده

برای تولید باقیمانده از فیلتر تشخیص عیب مرسوم (۳-۲۲) به عنوان رویکرد تشخیصی استفاده می شود:

$$\hat{\Sigma}_{ob} \cdot \begin{cases} \dot{\hat{i}}_a = -\frac{K_{IP} + R_a}{L_a} \hat{i}_a - \frac{NK_e}{L_a} \hat{\omega}_l + \frac{K_{IP}}{L_a} I_{ref} + L_v(y - \hat{\theta}_l) \\ \dot{\hat{\omega}}_l = \frac{NK_T}{N^2 + J_m + J_l} \hat{i}_a + L_v(y - \hat{\theta}_l) \\ \dot{\hat{\theta}}_l = \hat{\omega}_l + L_v(y - \hat{\theta}_l) \\ \hat{y} = \hat{\theta}_l \end{cases} \quad (۳-۲۲)$$

سیگنال باقیمانده r از خروجی y و تخمین $\hat{\theta}_l$ به شرح زیر است:

$$r(s) = R(s)\varepsilon(s) \quad , \quad \varepsilon(s) = y(s) - \hat{\theta}_l(s) \quad (۳-۲۳)$$

با ترکیب کردن معادلات (۳-۱۱) و (۳-۲۲) و (۳-۲۳) به معادله (۳-۲۴) می رسیم:

$$r(s) = R(s)(G_{ef}(s)f(s) + G_{ed}(s)d(s)) \quad (۳-۲۴)$$

ماتریس‌های تابع تبدیل برابر است با:

$$G_{ef}(s) = C(sI - A + LC)^{-1}B_f \quad (۳-۲۵)$$

$$G_{ed}(s) = C(sI - A + LC)^{-1}(B_d - LD_d) + D_d \quad (۳-۲۶)$$

براین اساس حساسیت از باقیمانده به عیب را می توان با مقادیر تکین غیر صفر $\sigma_i(R(j\omega)G_{ef}(j\omega))$ ارزیابی

کرد، و همچنین مقاوم بودن از باقیمانده به ورودی ناشناخته توسط $\|R(s)G_{ed}(s)\|_\infty$ ارزیابی می شود. بنابراین،

معیار نسبت حساسیت / مقاوم بودن توسط معادله زیر برآورد می شود:

$$\max_{H,R(s)} J_{H_i/H_\infty} = \frac{\sigma_i(R(j\omega)G_{ef}(j\omega))}{\|R(s)G_{ed}(s)\|_\infty} \cdot \omega \in [0, \infty) \quad (27-3)$$

با جایگزینی $G_{ef}(s)$ و $G_{ed}(s)$ به (27-3)، به معادله زیر می‌رسیم:

$$J_{H_i/H_\infty} = \frac{\sigma_i(R(j\omega)C(j\omega I - A + LC)^{-1}B_f))}{\|R(s)(C(sI - A + LC)^{-1}(B_d - LD_d) + D_d)\|_\infty} \cdot \omega \quad (28-3)$$

$$\in [0, \infty)$$

برای حل این معادله از لم زیر استفاده می‌کنیم:

لم ۱: با در نظر گرفتن یک سیستم نامی که شرایط زیر را داشته باشد:

سیستم نامی:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + B_f f + B_d d \\ y = Cx + D_f f + D_d d \end{cases} \quad (29-3)$$

۱. (C, A) قابل رویت باشند

۲. $\begin{bmatrix} A - j\omega I & B_d \\ C & D_d \end{bmatrix}$ کامل باشد.

Y هم با حل معادله جبری ریکاتی زیر بدست می‌آید:

$$Y(A - B_d D_d^T Q^{-1} C)^T + (A - B_d D_d^T Q^{-1} C)Y - Y C^T Q^{-1} C Y + B_d (I - D_d^T Q^{-1} D_d)^{-1} B_d^T = 0 \quad (30-3)$$

برای طراحی رویتر باید ابتدا رویت پذیر بودن سیستم بررسی شود در ادامه داریم:

$$\text{rank} \begin{bmatrix} SI - A \\ C \end{bmatrix} = \text{rank} \begin{bmatrix} S + \frac{K_{IP} + R_a}{L_a} & \frac{NK_e}{L_a} & \cdot \\ -\frac{NK_T}{N^\gamma + J_m + J_l} & S & \cdot \\ \cdot & -1 & S \\ \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} = 3 \quad (31-3)$$

$$\begin{aligned} & \text{rank} \begin{bmatrix} A - j\omega I & B_d \\ C & D_d \end{bmatrix} \\ &= \text{rank} \begin{bmatrix} \frac{K_{IP} + R_a}{L_a} - j\omega & -\frac{NK_e}{L_a} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{NK_T}{N^\gamma + J_m + J_l} & -j\omega & \cdot & 1 & \cdot \\ \cdot & 1 & -j\omega & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & 1 & \cdot & \cdot \end{bmatrix} = 4 \end{aligned} \quad (32-3)$$

بنابراین ، شرایط قابل مورد نیاز (۲و۱) برآورده می شوند تا بتوانیم از روابط موجود در لم ۱ برای محاسبه گین رویتر L و پُست فیلتر R استفاده کنیم. با استفاده از لم ۱، بهترین راه حل بین حساسیت به عیب و مقاوم بودن نسبت به ورودی ناشناخته حاصل می شود.

۳-۴-۲ ارزیابی باقیمانده

پس از تولید باقیمانده، مرحله ارزیابی باقیمانده است که مربوط به انتخاب تابع ارزیابی و حد آستانه است. از آنجا که ارزیابی در کل زمان معمولاً غیر ممکن است، ارزیابی باقیمانده می تواند با استفاده از یک نرم زمان محدود انجام شود.

$$J(r) = ||r||_{\tau.T} = \sqrt{\int_{t_1}^{t_2} r^T r dt} . T = t_2 - t_1 \quad (3-33)$$

$$r_d(s) = r(t)|_{f=}. \quad (3-34)$$

$$r_f(s) = r(t)|_{d=}. \quad (3-35)$$

برای موارد بدون عیب با استفاده از لم ۱ داریم :

$$||R(s)G_{ed}(s)||_{\infty}=1$$

$$J(rd) \leq ||d||_{\tau.T} \leq \delta , \delta > 0 . \quad (3-36)$$

که در آن پارامتر δ سوپریمم نرم ۲، اغتشاش نامیده می شود.

در نهایت براساس روابط و لم های موجود می توانیم فیلتر تشخیص عیب را طراحی کنیم.

۳-۴-۳ طراحی فیلتر

برای طراحی فیلتر باید ابتدا شرط زیر برقرار باشد:

$$\begin{bmatrix} A - j\omega I & B_d \\ C & D_d \end{bmatrix} \quad (3-37)$$

معادله روبه رو برای همه ی ω پایدار بماند.

$$L^* = (B_d D_d^T + Y C^T) Q^{-1} \quad (38-3)$$

$$R^*(s) = Q^{-1} \left(\frac{1}{s} \right) \quad (39-3)$$

$$Q = D_d D_d^T \quad (40-3)$$

$$R(s) = Q^{-1} \left(\frac{1}{s} \right) (I + C(SI - A + L^* C)^{-1} (L - L^*)) \quad (41-3)$$

$$\begin{cases} \dot{X}_R = A_R x_R + B_R (y - \hat{y}) \\ r = C_R x_R + D_R (y - \hat{y}) \end{cases} \quad (42-3)$$

برای طراحی فیلتر $(3-43)$ بهره L به روش جایابی قطب انجام می پذیرد و قطب های در نظر گرفته شده برای آن برابر است با:

$$[-۴,۹۱+۵,۷۷۸۳j \quad -۴,۹۱-۵,۷۷۸۳j \quad -۶۹,۶۸]$$

$$A_R = A - L^* C, B_R = L - L^*, C_R = Q^{-1} \left(\frac{1}{s} \right) * C, D_R = Q^{-1} \left(\frac{1}{s} \right) \quad (43-3)$$

در معادلات فوق L^* بهره رویتگر، $R(s)$ پست فیلتر می باشند.

۳-۵ طراحی فیلتر کالمن

تحلیل فیلتر کالمن برای سیستم های پیوسته کاری بسی مشکل است. زیرا اندازه گیری ها و حالت های سیستم متغیرهایی پیوسته می باشند و به روز رسانی حالت های قبل و بعد فیلتر کالمن تعریف نشده است. اما با گسسته سازی فیلتر پیوسته و میل دادن زمان گسسته سازی به صفر معادلات فیلتر کالمن به دست می آیند. هدف استفاده از فیلتر کالمن، مقایسه نتایج روش های طرح شده با یکدیگر می باشد.

$$\dot{X} = Ax + Bu + Fw \quad (44-3)$$

که در آن، w یک فرآیند گاوسی و با میانگین صفر و کواریانس Q است. و اندازه‌گیری به صورت زیر می‌باشد:

$$y = Cx + Du + v \quad (45-3)$$

فیلتر تخمین زننده حالت از دو معادله دیفرانسیل تشکیل شده است:

$$\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + Bu + K(y - A\hat{X} + Du) \quad (46-3)$$

$$\dot{P} = AP + PA^T + FQF^T - KRK^T \quad (47-3)$$

$$K = PC^T R^{-1} \quad (48-3)$$

R ، کواریانس خطای اندازه‌گیری و کواریانس پیشین

K ، بهره فیلتر کالمن

با مساوی صفر قرار دادن $\dot{P}$ معادله دیفرانسیل ریکاتی به معادله دیفرانسیل جبری ریکاتی تبدیل می‌شود و با حل آن بهره فیلتر بدست می‌آید.

$$Q = \lambda^2; \quad \lambda = 0.01 \quad (49-3)$$

$$R = 1 \quad (50-3)$$

۶-۳ طراحی رویتگر لیونبرگر

برای طراحی این رویتگر ابتدا قطب های سیستم را نزدیک محور موهومی قرار می دهیم. که برابر است با $[-۱-j \quad -۱-j \quad -۲]$ ، و قطب های رویتگر را ابتدا در $[۱۰-j \quad ۱۰-j \quad -۱۰+j]$ و نتارج را بررسی و سپس در $[۱۰-j \quad ۵-j \quad ۵-j]$ قرار می دهیم که بهره رویتگر برای هر دو حالت در زیر آورده می شود.

$$L_1 = [۲۸۰, ۴۳۳ \quad ۴۵۰ \quad ۳۶]; \quad (۵۱-۳)$$

$$L_2 = [۱۱, ۳۳۱۴ \quad ۸۰ \quad ۱۶]; \quad (۵۲-۳)$$

یک شرط مهم بعد از تعیین قطب های رویتگر، این است که رویتگر پایدار بماند. نتایج سیستم برای هر دو حالت تقریباً یکسان می باشد و تغییر محسوسی در نتایج نداریم.

۷-۳ تعیین حد آستانه

روش به کار رفته برای تعیین حد آستانه بدین صورت است که ابتدا روش های مورد بررسی طراحی می شوند و سپس از سیستم زمانی که اغتشاش و عیب وجود ندارد خروجی می گیریم. بدین ترتیب بالاترین حدی که خروجی سیستم برای هر روش داشته باشد بعنوان حد آستانه آن روش در نظر گرفته می شود.

فصل ۴ نتایج شبیه سازی

۱-۴ مقدمه

در این بخش شبیه سازی سیستم دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ ارائه می شود و عملکرد رویتگر لیونبرگر، فیلتر کالمن و رویتگر H_i/H_∞ بررسی و مقایسه می شود.

برای مقایسه سه روش نسبت به همدیگر ابتدا تمامی داده های مورد نیاز هر روش مشخص می شود و سپس تخمین حالت سیستم را برای هر سه روش بدست می آوریم.

دلیل استفاده از دو روش رویتگر لیونبرگر و فیلتر کالمن، نشان دادن تاثیر نویز بر روی تخمین را نشان دهیم (رویتگر لیونبرگر) و تاثیر اغتشاش بر روی تخمین (فیلتر کالمن) می باشد و در نهایت بهتر بودن روش H_i/H_∞ نسبت به دو روش دیگر را نشان می دهیم.

۲-۴ طراحی رویتگرها

در فصل قبل سیستم TGSCM به صورت کامل معرفی شد. سیستم خطی تحت اغتشاش و خطاهای جمعی به شرح زیر است:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + B_f f + B_d d \\ y = Cx + D_d d \end{cases} \quad (1-4)$$

$$A = \begin{bmatrix} -70.8.82 & -425.64 & . \\ 7.06 & . & . \\ . & 1 & . \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

$$B = \begin{bmatrix} 238.23 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

$$C = [\cdot \quad \cdot \quad 1] \quad (4-4)$$

$$B_f = \begin{bmatrix} 58.82 \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad \text{خطای جمعی در ورودی} \quad (5-4)$$

$$B_d = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot \\ 0.97 & \cdot \\ \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad \text{اغتشاش در ورودی} \quad (6-4)$$

$$D_d = [\cdot \quad 0.1] \quad \text{اغتشاش در خروجی} \quad (7-4)$$

شرط اصلی برای طراحی رویتگر، رویت پذیر بودن سیستم است که این امر در فصل قبل بررسی شد.

ابتدا بهره رویتگر مربوط به هر روش را مشخص می‌کنیم.

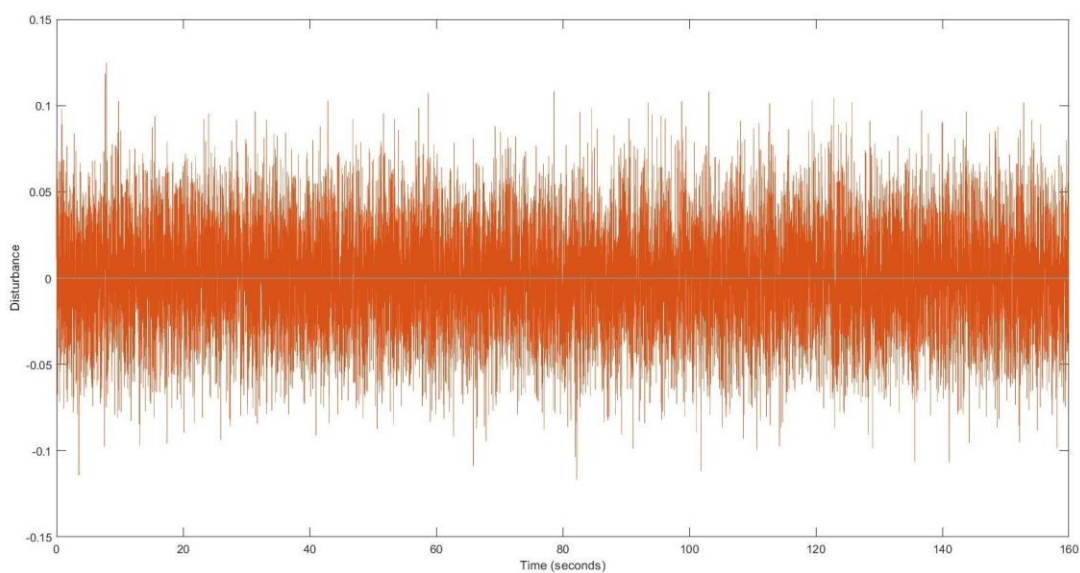
$$L_1 = [280.4533 \quad 450 \quad 36]^T \quad \text{بهره رویتگر لیونبرگر} \quad (8-4)$$

$$L_2 = [11.3314 \quad 80 \quad 16]^T$$

$$\begin{cases} L = [256.9936 \quad 433.75 \quad 75.5]^T \\ L^* = [-10.733 \quad 1.7767 \quad 1.8851]^T \end{cases} \quad \text{بهره رویتگر } H_i/H_\infty \quad (9-4)$$

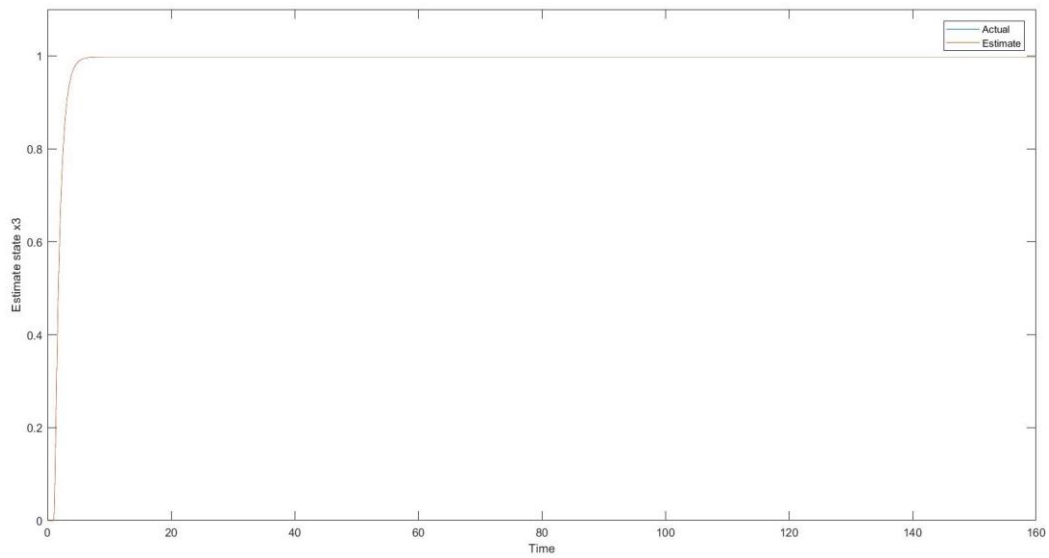
این سه روش در حالت های ۱- سیستم ایده آل ۲- وجود نویز در سیستم ۳- وجود نویز و اغتشاش در سیستم و در دو مرحله تخمین سیستم و تشخیص عیب با همدیگر مقایسه می کنیم.

ابتدا اغتشاش اعمالی به سیستم را مشخص می کنیم:



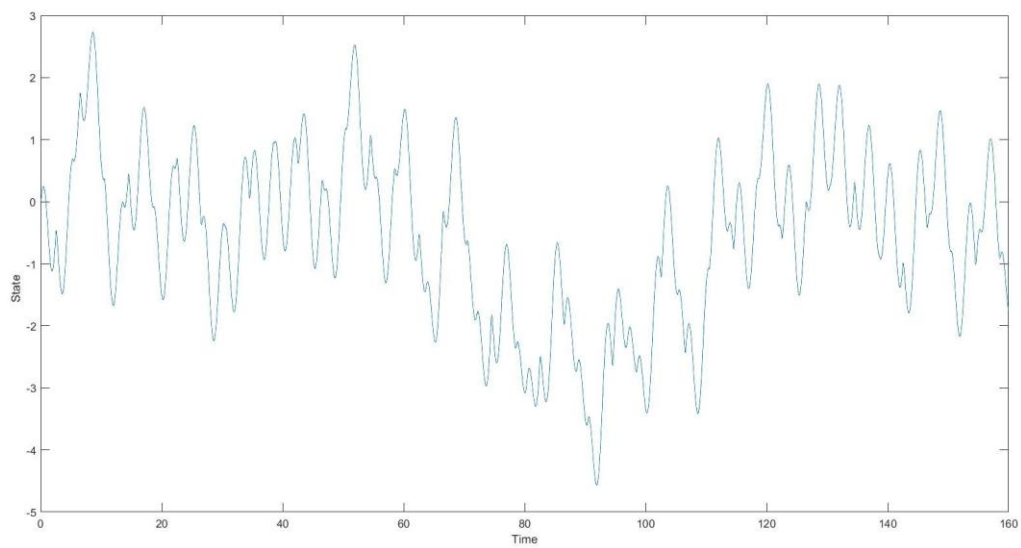
شکل ۴-۱ اغتشاش اعمالی به سیستم

برای مقایسه ابتدا در مرحله تخمین نتایج هر روش را در سه حالت گفته شده بررسی می کنیم:



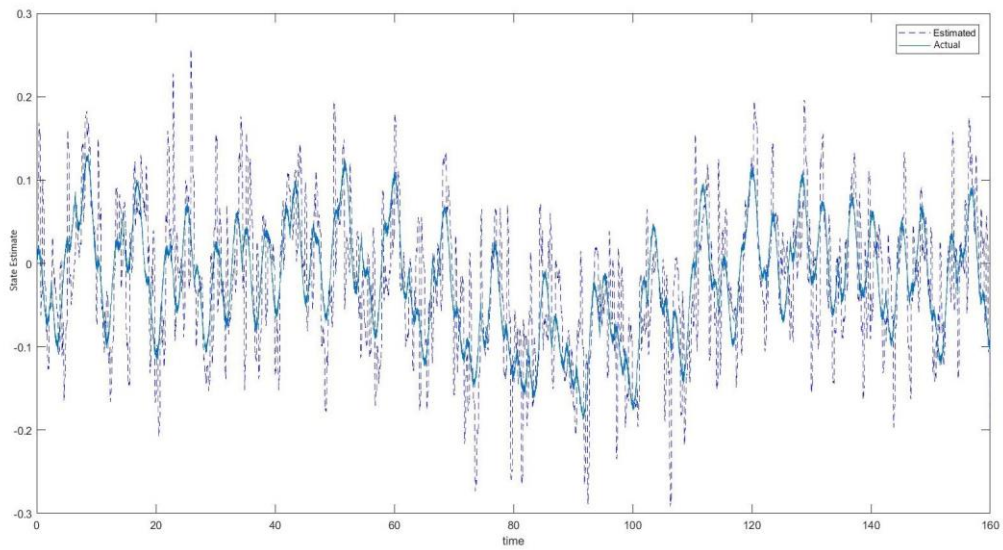
شکل ۱-۴ سیستم ایده آل

نتایج هر سه روش برای سیستم ایده آل یکسان می باشد و تخمین معتبری دارند.

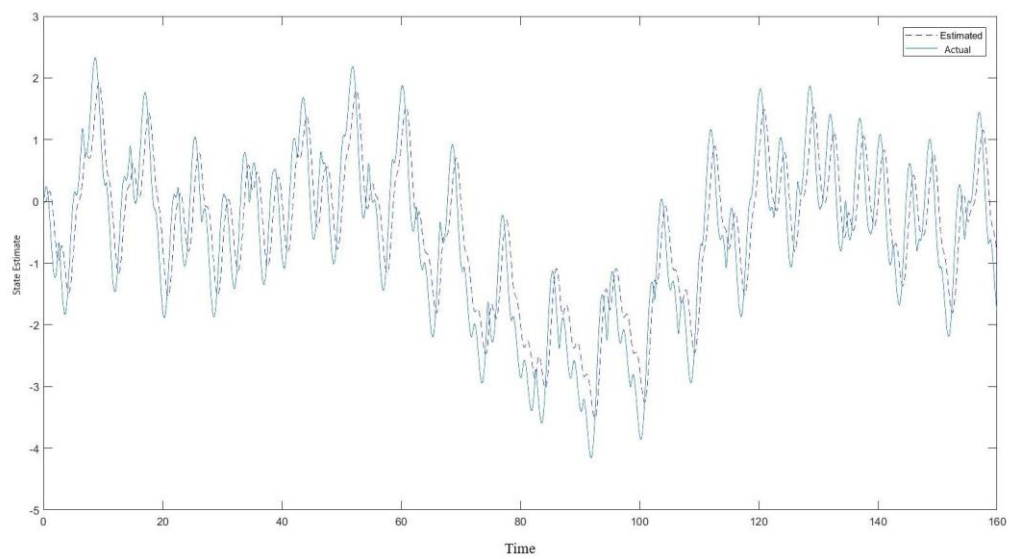


شکل ۳-۴ حالت سیستم

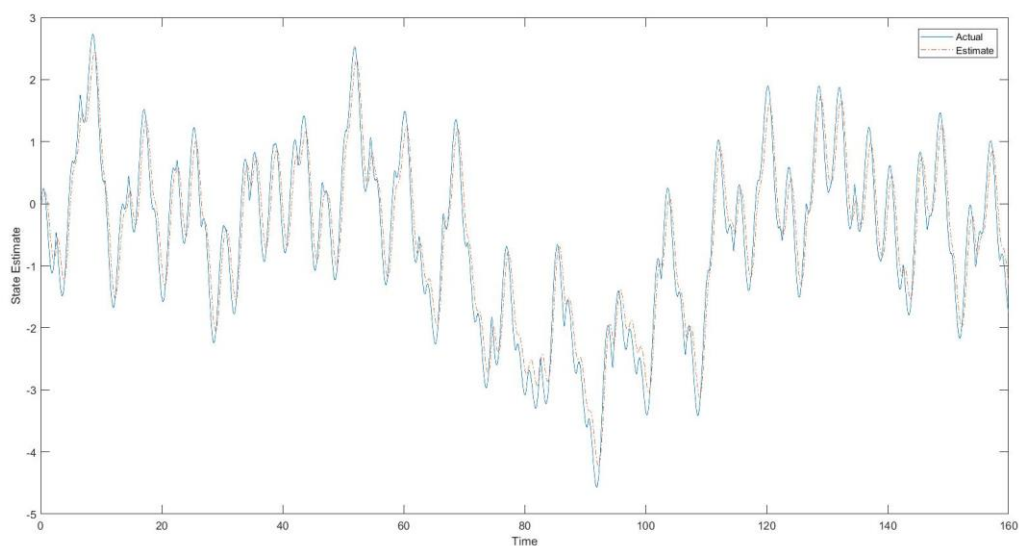
شکل (۳-۴) حالت سیستم است که با هر سه روش مورد بحث تخمین زده می شود.



شکل ۴-۴ خروجی سیستم برای زمانی که نویز و اغتشاش داریم برای روش لیونبرگر



شکل ۴-۵ خروجی سیستم برای زمانی که نویز و اغتشاش داریم برای روش فیلتر کالمن

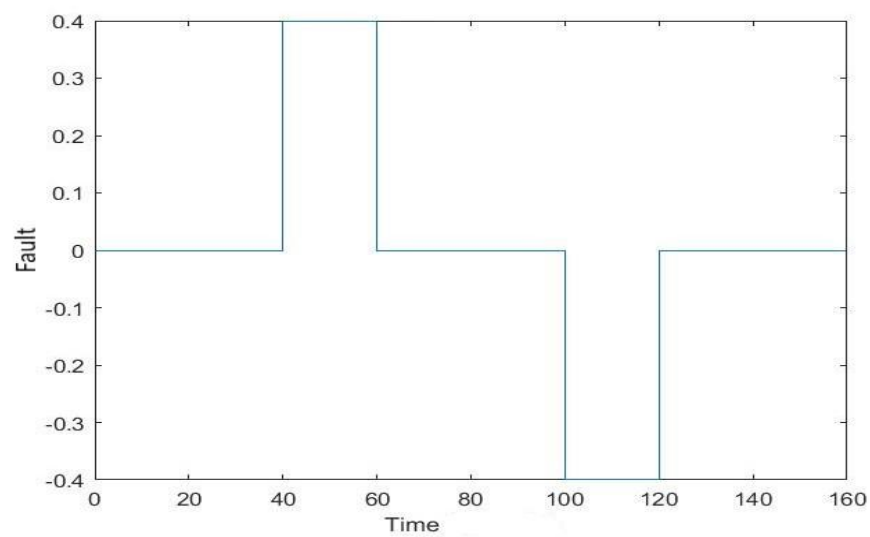


شکل ۴-۶ خروجی سیستم برای زمانی که نویز و اغتشاش داریم برای روش H_i/H_∞

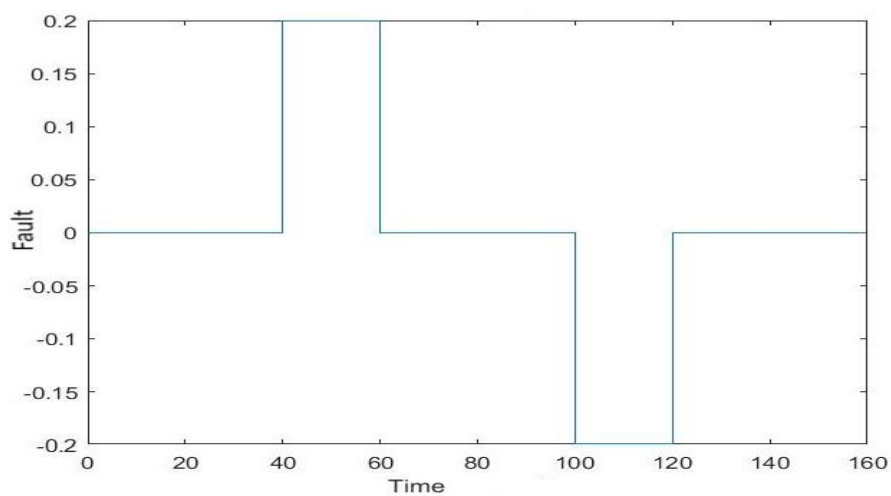
با مقایسه نتایج با حضور نویز و اغتشاش نتایج فیلتر کالمن از روی تگر لیونبرگر بهتر و نتایج روش H_i/H_∞ نسبت به دو روش دیگر بهتر و تخمینی معتبر دارد.

مرحله دوم برای مقایسه تشخیص عیب با استفاده از روش های مطرح شده می باشد و با اضافه کردن عیب به سیستم نتایج را با یکدیگر مقایسه می کنیم.

در ابتدا نوع عیب ورودی به سیستم را مشخص می کنیم:

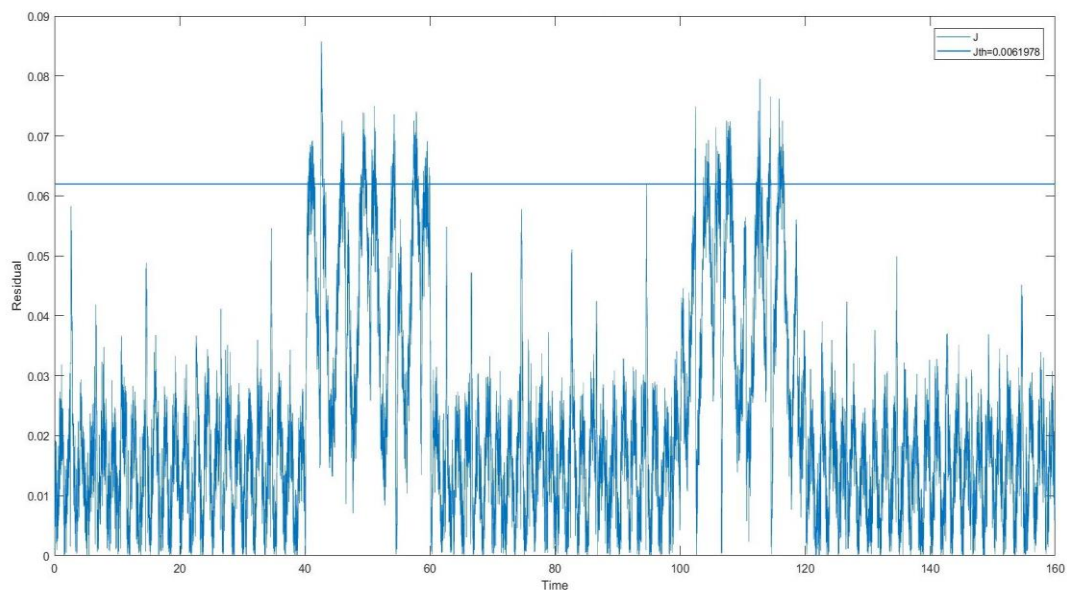


شکل ۴-۷ عیب با دامنه ۰,۴



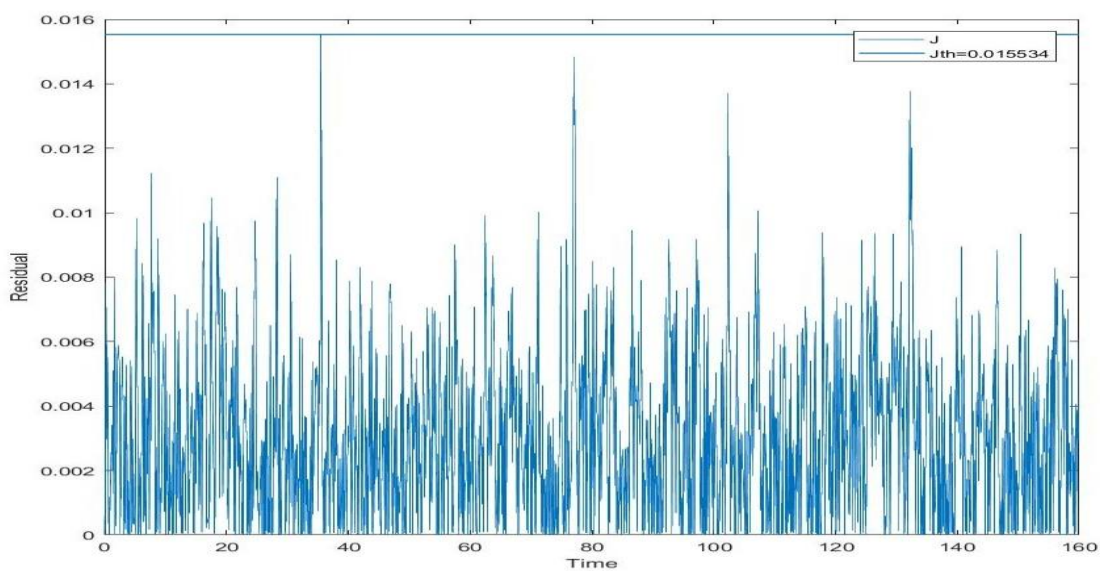
شکل ۴-۸ عیب با دامنه ۰,۲

ابتدا سیگنال باقیمانده روی تگر لیونبرگر را بررسی میکنیم



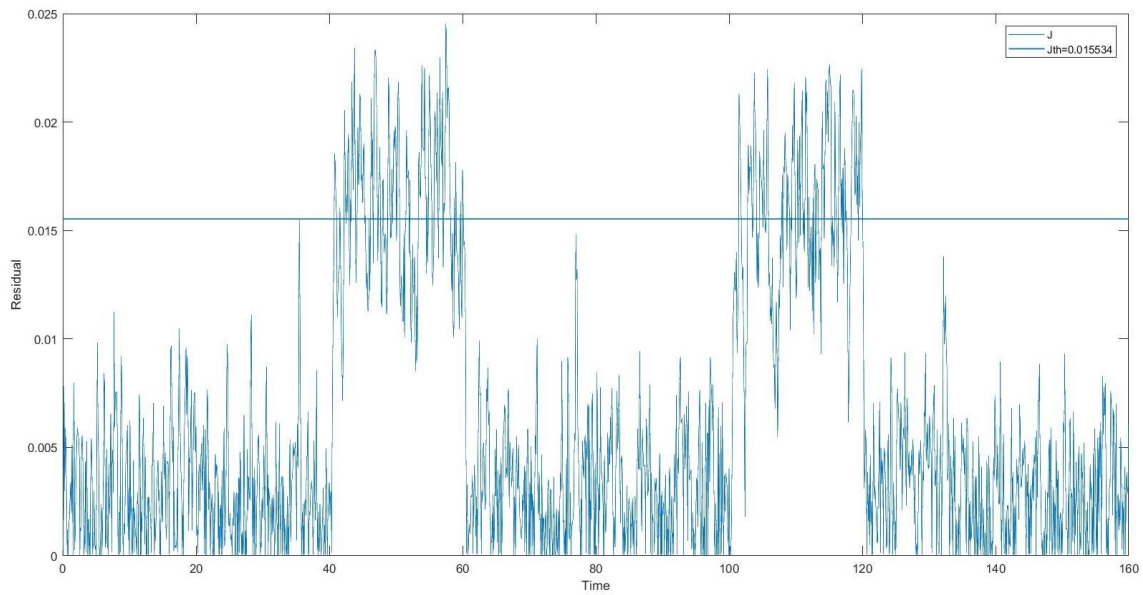
شکل ۴-۹ سیگنال باقیمانده همراه با عیب و اغتشاش

حد آستانه در این 0.061978 بدست می آید. قدرت تشخیص عیب در این روش بسیار پایین می باشد و دو اصل تشخیص عیب یعنی سرعت تشخیص و تشخیص عیب با دامنه های کوچک در این روش محقق نمی شود.



شکل ۴-۱۰ تعیین حدآستانه در روش فیلتر کالمن

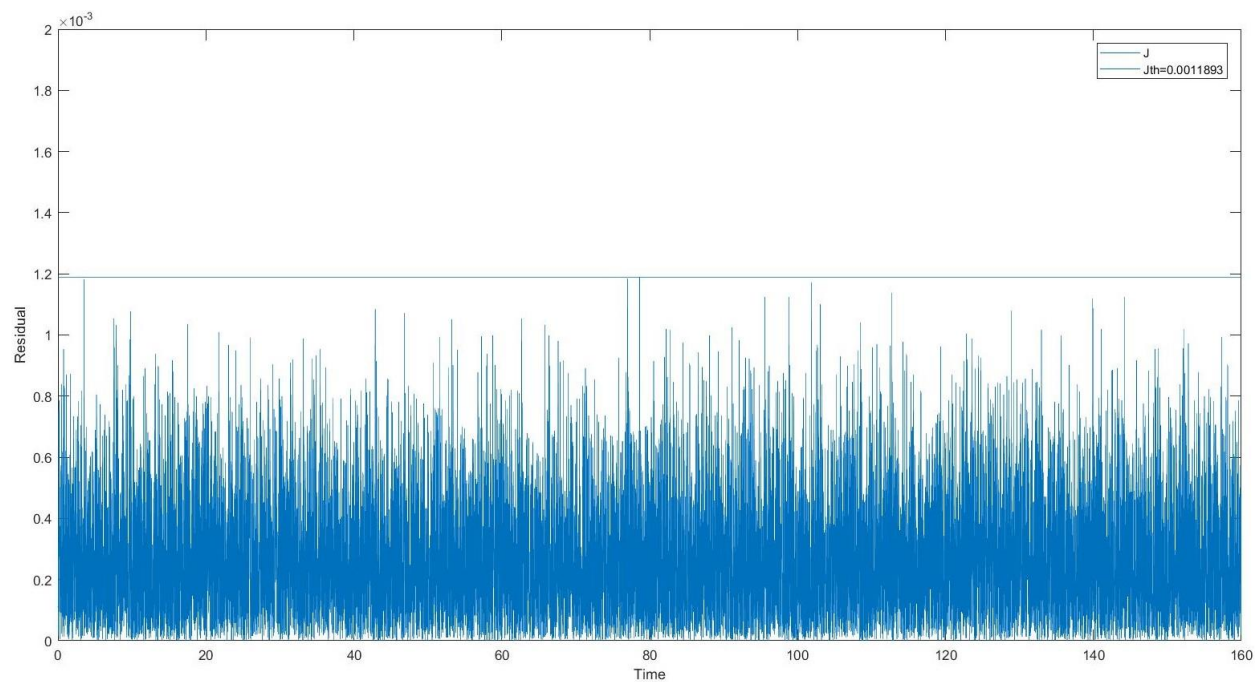
حدآستانه در روش فیلتر کالمن پس از تحلیل 0.015534 بدست می آید.



شکل ۴-۲ باقیمانده سیستم در روش فیلتر کالمن همراه با عیب و اغتشاش

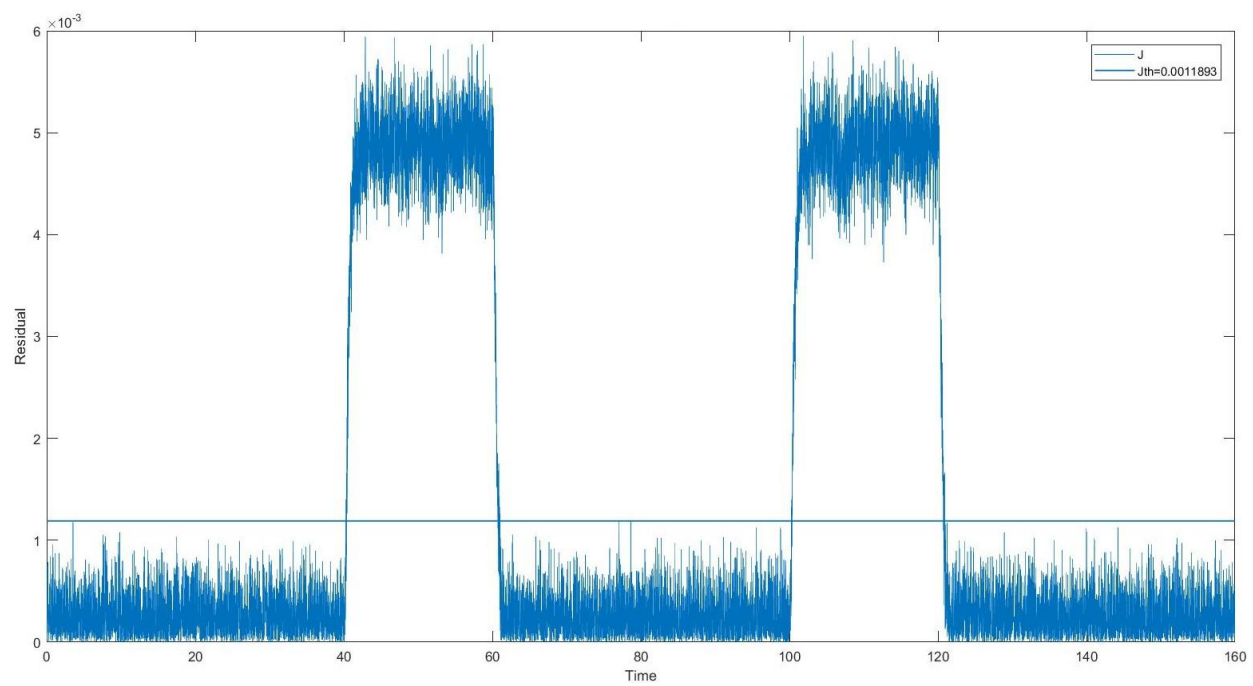
در فیلتر کالمن سرعت تشخیص عیب نسبت به روش دیگر بهتر و همچنین دامنه تشخیص در این روش نسبت به روش قبل بیشتر است.

و اما در روش H_i/H_∞ در مرحله اول حدآستانه را بدست می‌آوریم و با اضافه نمودن اغتشاش و عیب با دامنه های ۰,۲ و ۰,۴ نتایج بررسی می‌شود.



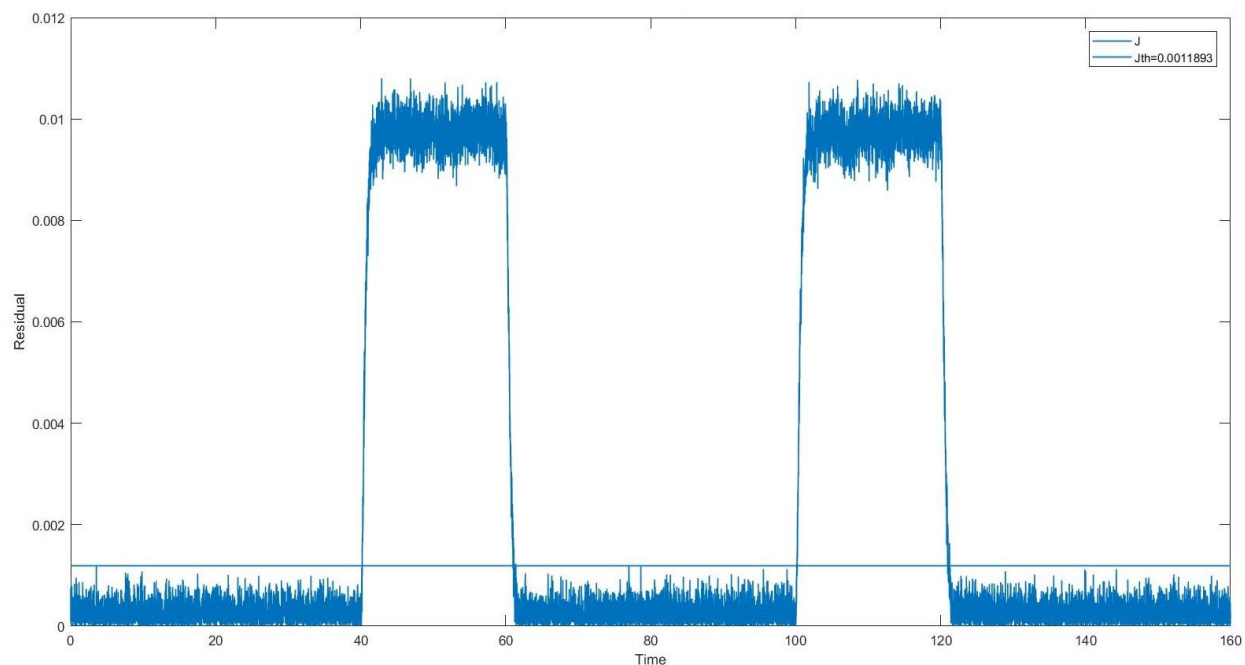
شکل ۳-۴ تعیین حد آستانه در روش H_i/H_∞

بعد از تحلیل حد آستانه در این روش ۰,۰۰۱۱۸۹۳ بدست می آید.



شکل ۴-۴ باقیمانده همراه با عیب ۰,۲ و اغتشاش روش H_i/H_∞

همانطور که مشاهده می شود در این روش سرعت تشخیص عیب بسیار بیشتر از دو روش دیگر می باشد و همچنین با تعیین مناسب هشدار عیب می توان عیب های با دامنه کوچک را هم تشخیص داد.



شکل ۴-۵ باقیمانده همراه با عیب ۰,۴ و اغتشاش روش H_i/H_∞

نتیجه تشخیص عیب با اضافه کردن عیب با دامنه بیشتر هم رضایت بخش بوده و نتایج در این روش بسیار بهتر از دو روش فیلتر کالمن و لیونبرگر می باشد.

فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۵ مقایسه

روش H_i/H_∞ با دو روش فیلتر کالمن و لیونبرگر مقایسه نمودیم. همانطور که می‌دانیم در مسئله تشخیص عیب دو عامل زمان تشخیص و همچنین تشخیص عیب‌های با دامنه کوچک بسیار مهم می‌باشد چه بسا سیستمی بتواند عیب به وجود آمده را تشخیص دهد اما با تاخیر که سبب متحمل شدن ضررهای مالی و در شرایطی نادر ضررهای جانی شود که با طراحی سیستم‌های تشخیص عیب، با تشخیص به موقع و زودهنگام می‌توان از همچنین مشکلاتی با هزینه بسیار کمتر پیشگیری نمود. و اما نتایجی که بررسی نمودیم در هر سه روش عیب‌های اعمالی تشخیص داده می‌شد اما با تفاوت‌هایی اساسی بدین صورت که سرعت تشخیص عیب در روش فیلتر کالمن نسبت به لیونبرگر تا حدودی بهتر است اما در هر دو روش نمی‌توان عیب‌های با دامنه‌های کوچک را تشخیص داد به این دلیل که برای جلوگیری از هشدار وقوع عیب کاذب حد آستانه را نمی‌توان از ۲ الی ۳ درصد با توجه به تحلیل نتایج بیشتر گرفت که دیگر نمی‌توان سیستم‌های تشخیص خودکار برای آن طراحی نمود و در صورت طراحی آلام‌های کاذب بسیاری را شامل می‌شود چون با کمترین تغییر در سیگنال باقیمانده آلام کاذب دارند. در روش H_i/H_∞ با توجه به سیگنال باقیمانده می‌توان از وقوع هشدار عیب کاذب جلوگیری کرد و دارای سیستم تشخیص عیب خودکار با اطمینان بالا است که هم سرعت تشخیص عیب در آن مطلوب می‌باشد و همچنین می‌تواند عیب‌های کوچک را هم تشخیص دهد.

۲-۵ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه یک فیلتر تشخیص عیب برای دوربین سه محوره تثبیت شده با ژيروسکوپ به‌مراه دو روش فیلتر کالمن و لیونبرگر جهت مقایسه طراحی کردیم و همچنین در مورد مفاهیم پایه و روش‌های تشخیص عیب و روش‌های تولید سیگنال مانده توضیح داده شد و سپس با شبیه‌سازی سیستم و مقایسه با دو روش طراحی شده

دیگر توانستیم اثربخش بودن بیش تر روش H_i/H_∞ را نسبت به دو روش دیگر نشان دهیم و همچنین وقوع عیب در سیستم را با تعیین مناسب حد آستانه با سرعت بالا تشخیص دهیم.

۳-۵ پیشنهادات

- ۱- استفاده از روش t-S برای شرایط مختلف این سیستم برای حفظ کیفیت تصاویر، و تعیین تابع ارزیابی با قواعد اگر آنها فاز می باشد.
- ۲- طراحی کنترل کننده مقاوم جهت جبران اغتشاش های اعمالی به سیستم که نتیجه آن می تواند تخمین بهتر حالت های سیستم باشد.

مراجع

- [١] M. Zhong and S. Li, "Robust optimal H_i/H_∞ fault detection and its applications in a TGSCM control system," *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. ٤٠, no. ٣, pp. ٧١٩–٧٣٢, ٢٠١٦.
- [٢] S. Li, M. Zhong, and Y. Zhao, "Estimation and compensation of unknown disturbance in three-axis gyro-stabilized camera mount," *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. ٣٧, no. ٦, pp. ٧٣٢–٧٤٥, ٢٠١٥.
- [٣] S. S. Li, M. Y. Zhong, and Y. Zhao, "Accelerometer error estimation and compensation for three-axis gyro-stabilized camera mount based on proportional multiple-integral observer," *Sci. China Technol. Sci.*, vol. ٥٧, no. ١٢, pp. ٢٣٨٧–٢٣٩٥, ٢٠١٤.
- [٤] Z. Zhou, B. Zhang, and D. Mao, "MIMO fuzzy sliding mode control for three-axis inertially stabilized platform," *Sensors (Switzerland)*, vol. ١٩, no. ٧, ٢٠١٩.
- [٥] S. Li and M. Zhong, "High-precision disturbance compensation for a three-axis gyro-stabilized camera mount," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. ٢٠, no. ٦, pp. ٣١٣٥–٣١٤٧, ٢٠١٥.
- [٦] S. Li, M. Zhong, and J. Qin, "The internal model control design of three-axis inertially stabilized platform for airborne remote sensing," *٢٠١٢th IEEE Int. Symp. Instrum. Control Technol. ISICT ٢٠١٢ - Proc.*, pp. ٥–١٠, ٢٠١٢.
- [٧] J. Liu, J. L. Wang, and G. H. Yang, "An LMI approach to minimum sensitivity analysis with application to fault detection," *Automatica*, vol. ٤١, no. ١١, pp. ١٩٩٥–٢٠٠٤, ٢٠٠٥.
- [٨] J. Zhang, P. D. Christofides, X. He, Z. Wu, Y. Zhao, and D. Zhou, "Robust

- detection of intermittent sensor faults in stochastic LTV systems,” *Neurocomputing*, vol. 388, pp. 181–187, 2020.
- [9] F. Harrou, B. Taghezouit, and Y. Sun, “Robust and flexible strategy for fault detection in grid-connected photovoltaic systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 180, pp. 1103–1116, 2019.
- [10] A. Dhoke, R. Sharma, and T. K. Saha, “An approach for fault detection and location in solar PV systems,” *Sol. Energy*, vol. 194, pp. 197–208, 2019.
- [11] J. Li, K. Pan, D. Zhang, and Q. Su, “Robust fault detection and estimation observer design for switched systems,” *Nonlinear Anal. Hybrid Syst.*, vol. 34, pp. 30–42, 2019.
- [12] K. Zhang, B. Jiang, P. Shi, and J. Xia, “Robust H_∞ fault diagnosis observer design for continuous-time multi-agent dynamic systems with disturbances,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 21, pp. 1072–1077, 2015.
- [13] R. Isermann, “Model-based fault-detection and diagnosis - Status and applications,” *Annu. Rev. Control*, vol. 29, no. 1, pp. 71–85, 2005.
- [14] A. Khan, *Observer-based Fault Detection in Nonlinear Systems*. 2011.
- [15] X. Feng, “Predictive Control Approaches to Fault Tolerant Control of Wind Turbines,” no. August, 2014.
- [16] R. Isermann, “Fault-diagnosis systems: An introduction from fault detection to fault tolerance,” *Fault-Diagnosis Syst. An Introd. from Fault Detect. to Fault Toler.*, pp. 1–470, 2006.
- [17] D. Miljković, “Fault detection methods: A literature survey,” *MIPRO 2011 - 34th Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron. - Proc.*, pp. 700–705, 2011.

- [18] P. M. Frank, "Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy. A survey and some new results," *Automatica*, vol. 26, no. 3, pp. 459–474, 1990.
- [19] S. Verron, T. Tiplica, and A. Kobi, "Fault detection of univariate non-Gaussian data with Bayesian network," *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 94–99, 2010.
- [20] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin, and S. N. Kavuri, "A review of process fault detection and diagnosis part I: Quantitative model-based methods," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 27, no. 3, pp. 293–311, 2003.
- [21] P. M. Frank and X. Ding, "Survey of robust residual generation and evaluation methods in observer-based fault detection systems," *J. Process Control*, vol. 9, no. 6, pp. 431–444, 1999.
- [22] M. J. Fuente and C. Represa, "A Comparative Study of Neural Networks Based Approach for Fault Detection," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 30, no. 18, pp. 471–476, 1997.
- [23] "Fault Detection in Hydraulic System Using Fuzzy Logic," *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2179, no. 1, pp. 966–971, 2009.
- [24] C. Angeli, "Diagnostic Expert Systems: From Expert's Knowledge to Real-Time Systems," *Adv. Knowl. Based Syst. Model. Appl. Res.*, vol. 1, Jan. 2010.
- [25] Y. Su, Y. Guo, and D. Huang, "Kalman filter-based phase estimation of continuous-variable quantum key distribution without sending local oscillator," *Phys. Lett. Sect. A Gen. At. Solid State Phys.*, vol. 383, no. 20, pp. 2394–2399, 2019.
- [26] S. Guo, B. Jiang, F. Zhu, and Z. Wang, "Luenberger-like interval observer

- design for discrete-time descriptor linear system,” *Syst. Control Lett.*, vol. 126, pp. 21–27, 2019.
- [27] S. X. Ding, “Model-based fault diagnosis techniques: Design schemes, algorithms, and tools,” *Model. Fault Diagnosis Tech. Des. Schemes, Algorithms, Tools*, pp. 1–473, 2008.
- [28] J. Huang, L. Yu, M. Zhang, F. Zhu, and Z. Han, “Actuator fault detection and estimation for the Lur’e differential inclusion system,” *Appl. Math. Model.*, vol. 38, no. 7–8, pp. 2090–2100, 2014.
- [29] J. Chen, H. Guo, P. Liu, and Y. Wang, “The summary on atmospheric disturbance problems in the motion imaging of high resolution earth observation system,” *Proc. 2011 Int. Conf. Electron. Mech. Eng. Inf. Technol. EMEIT 2011*, vol. 8, pp. 3999–4003, 2011.
- [30] S. Li, M. Zhong, and Y. Zhao, “Estimation and compensation of unknown disturbance in three-axis gyro-stabilized camera mount,” *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 37, no. 6, pp. 732–740, Jul. 2010.
- [31] J. Xu and Q. Du, “The research of a gyro-stabilized platform and POS application technology in airborne remote sensing,” *Int. Symp. Photoelectron. Detect. Imaging 2009 Mater. Device Technol. Sensors*, vol. 7381, p. 73812A, 2009.
- [32] Y. Li, H. R. Karimi, Q. Zhang, D. Zhao, and Y. Li, “Fault Detection for Linear Discrete Time-Varying Systems Subject to Random Sensor Delay: A Riccati Equation Approach,” *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, vol. 65, no. 9, pp. 1707–1716, 2018.
- [33] Y. Wang, S. Zhang, Y. li, and G. Zhuang, “Fault detection for singular

networked control systems with randomly occurring delays and partially known distribution transmission delays,” *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 37, no. 4, pp. 446–456, 2015.

Abstract

Fault detection and diagnosis form one of the most important concerns in industrial processes. Timely fault detection and correction can contribute to the prevention of fault progression and further damage. Acquisition of accurate fault information only through fault detection is not easy due to the effects of the model uncertainties, noises, and disturbances. Therefore, more accurate fault information can be obtained through fault estimation. One of the conventional fault detection methods involves the use of observers. The research topic is the actuator fault detection in a Three-axis Gyro-stabilized camera mount (remote sensing system) with disturbance. First, the H_i/H_∞ performance indicator is measured in every direction of the generated residual space and then a new design criterion is calculated with the maximum and minimum nonzero singular values of the transfer function and the disturbance to residual ratio. Therefore, the fault detection filter can be designed as an H_i/H_∞ optimization problem such that the sensitivity to robustness criterion is maximized.

Key Words: Fault Detection Filter, Three-Axis Gyro-Stabilized Camera Mount, Optimization



Shahrood University of Technology

Faculty of electrical engineering

MSc Thesis in Control Engineering

Fault Detection Filter Design Using H_i/H_∞ on TGSCM

By: Mohammad Raouf Ravanbod

Supervisor

Dr Mohammad Ali Sadrnya

January ۲۰۲۱