بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و رباتیک

گروه کنترل

عنوان رساله:

طراحی رویتگر مود لغزشی به‌منظور تشخیص خطای حسگر

دانشجو: عارف نورپناهی

اساتید راهنما

دکتر محمد علی صدرنیا

دکتر محمد حداد ظریف

استاد مشاور

دکتر علی کرمی مولایی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار: بهمن ۱۳۹۳

شماره : ۱۲۴۹/آ.ت.ب
تاریخ : ۹۳/۱۱/۲۰
ویرایش : ------

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای :

عارف نورپناهی رشته : برق گرایش : کنترل

تحت عنوان : طراحی روئیتگر مود لغزشی به منظور تشخیص خطای حسگر

که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : خوب امتیاز ۱۷/۲) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضـــاء
۱ـ استاد راهنما	محمدعلی مهدوریا محمدحداد طریف	استادیار استادیار	
۲ـ استاد مشاور	علی کرمی ملائی	استادیار	
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	حسین قی زادیز	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	سیدمحمدمهدی شریعتی ایران	دانشیار	
۵ ـ استاد ممتحن	علیرضا الفی	استادیار	

رئیس دانشکده :

تقدیم به:

پدر و مادر دلسوزم

و

همسر وفادارم

تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس خدا را که بی اذن و اراده او کلمه‌ای نگارده نخواهد شد. در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از استاد گرانقدر خودم؛ جناب اقای **دکتر محمد علی صدرنیا** سپاس و قدردانی بی اندازه ای داشته باشم، چرا که در طول مدت انجام این پایان‌نامه از هیچ کمک و مساعدتی نسبت به بنده دریغ نکرده‌اند.

تعهد نامه

اینجانب عارف نورپناهی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق و کنترل دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی رویتگر مود لغزشی به منظور تشخیص خطای حسگر تحت راهنمائی محمد علی صدرنیا و محمد حداد ظریف متعهد می شوم .

- 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 می باشد 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

امضای 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 می باشد . 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 نمی باشد.

چکیده:

جوامع مدرن امروزی وابستگی شدیدی به سیستم‌های صنعتی و تکنولوژی روز دارند، که احتمال وقوع خطا در این سیستم‌ها و ایجاد خسارات جانی و مالی وجود دارد. خطای عملگر سبب کاهش عملکرد سیستم کنترل شده و در بعضی مواقع از کار افتادگی کامل سیستم را به‌همراه دارد.

خطای حسگر سبب نشان ندادن مقدار واقعی فرآیند و دور کردن سیستم از نقطه‌ی کار خود می‌شود. در این میان موضوع مربوط به ایمنی، بهره‌وری و بهره‌برداری اقتصادی از سیستم‌ها و تجهیزات صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. از اینرو، تشخیص خطا و ایزوله کردن آن در سیستم‌های بکار رفته در صنعت، امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این پایان‌نامه به تفضیل درباره‌ی خطا و انواع آن می-پردازیم، و تاریخچه‌ای مختصر از نظریه‌ها و تئوری‌هایی که توسط محققین مختلف در این زمینه ارائه شده، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. سپس به شرح کامل مزیت‌ها و پیشرفت‌هایی که تاکنون در استفاده از طراحی رویتگر مود لغزشی در شناسایی و تخمین خطایی که در حسگرهای سیستم کنترل رخ می‌دهد، می‌پردازیم.

در ادامه دو روش رویتگر مود لغزشی و رویتگر مود لغزشی مبتنی بر منطق فازی را برای تشخیص و تخمین خطای حسگر در سیستم پاندول معکوس، بکار می‌بریم و با شبیه‌سازی‌های انجام شده قدرت و کیفیت دو روش مذکور را در شناسایی و بازسازی خطای حسگر نشان می‌دهیم.

کلمات کلیدی: تشخیص و بازسازی خطا، مود لغزشی، رویتگر ، منطق فازی.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه..... ۱

۱-تاریخچه..... ۲

۱-۲-اهمیت تشخیص خطا..... ۳

۱-۲-۱-سیستم‌های کنترل تحمل پذیر خطا ٤

۱-۳-اصطلاحات و مفاهیم..... ٥

۱-۳-۱- تعریف خطا ٥

۱-۳-۲-خطا بر اساس مشخصه زمانی..... ٦

۱-۳-۳-خطا بر اساس مشخصه مکانی ۷

فصل ۲:مروری بر روش‌های تشخیص، شناسایی و بازسازی خطا..... ۹

۲-۱-روش افزونگی فیزیکی(physical redundancy) ۱۰

۲-۱-۱-محدودیت چک کردن حسگرها برای تشخیص خطا..... ۱۰

۲-۱-۲-روشی دیگر در محدودیت چک کردن حسگرها ۱۰

۲-۱-۳- تشخیص و جداسازی خطا توسط حسگرهای چندگانه ۱۱

۲-۲-روش افزونگی تحلیلی ۱۲

۲-۳-روش تشخیص و شناسایی خطا مبتنی بر مدل ۱۲

۲-۴-تشخیص و جداسازی خطا با استفاده از مشاهدات چشمی..... ۱۵

۲-۵-تشخیص و جداسازی خطا با استفاده از معادلات برابری..... ۱٦

۲-۵-۱- طراحی معادلات برابری با استفاده از تابع تبدیل ۱۶
۲-۶-رویکرد چند فرضیه ای برای تشخیص خطا..... ۱۹
۲-۷-تشخیص و جداسازی خطا با استفاده از رویتگر حالت ۱۹
۲-۷-۱-مقایسه روش رویتگر حالت با معادلات برابری در تشخیص خطا..... ۲۱
۲-۷-۲- ویژگی‌های تشخیص خطا با استفاده از روش رویتگر حالت ۲۲
۲-۸-روش رویتگر مود لغزشی..... ۲۲
۲-۹- تشخیص و جداسازی خطا مبتنی بر منطق فازی..... ۲۳

فصل ۳: تشخیص و بازسازی خطا با استفاده از روش‌های مود لغزشی..... ۲۵

۳-۱- مقدمه ای بر مود لغزشی..... ۲۶
۳-۱-۱-مروری بر مود لغزشی، و چگونگی عملکرد آن..... ۲۸
۳-۱-۲-مزایا و معایب روش مود لغزشی ۳۲
۳-۲-بازسازی خطا با روش مود لغزشی..... ۳۳
۳-۲-۱-رویتگر اوتکین..... ۳۳
۳-۲-۲- رویتگر اسلوتین..... ۳۷
۳-۲-۳- رویتگر والکت و زاک..... ۳۹
۳-۲-۴-رویتگر ادواردز و اسپرجن..... ۴۰
۳-۳-بازسازی سیگنال خطای محرک و حسگر ۴۶
۳-۳-۱-معادله رویتگر والکت و زاک ۴۶

۳-۴-شبیه سازی.....۵۱

فصل ۴: رویتگر مود لغزشی مبتنی بر منطق فازی، به منظور تشخیص و شناسایی خطا....۶۱

۴-۱منطق فازی ۶۲

۴-۱-۱مجموعه‌های فازی.....۶۲

۴-۱-۲ توابع عضویت.....۶۲

۴-۱-۳ عملگرهای فازی.....۶۳

۴-۱-۴ قوانین اگر-آنگاه فازی.....۶۳

۴-۲ مدل فازی سوگینو.....۶۴

۴-۳ روش طراحی رویتگر تشخیص خطای حسگر.....۶۴

۴-۴ طراحی رویتگر مود لغزشی فازی، جهت شناسایی خطا.....۶۷

۴-۵ شبیه‌سازی پاندول معکوس.....۷۴

فصل ۵: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....۸۴

۵-۱ نتیجه‌گیری.....۸۵

۵-۲ پیشنهادات.....۸۶

۵-۳ منابع و مراجع.....۸۷

فهرست اشکال و جداول

شکل(۱-۱) بررسی شناسایی خطا، از دیدگاه زمان ورود به سیستم ۷

شکل(۱-۲) مکان‌های بروز خطا در یک سیستم و اثرات مخرب خطا ۸

شکل(۱-۳) بررسی شناسایی خطا از دیدگاه نوع مدلی ورودی به سیستم ۸

شکل (۲-۱) سیستم حلقه باز با خطاهای آن ۱۳

شکل (۲-۲) ساختار کلی FDI مبتنی بر مدل ۱۵

شکل (۲-۳) تولید مانده با استفاده از معادلات برابری و تابع تبدیل: (الف) خطای خروجی، (ب)
خطای چند جمله‌ای ۱۷

شکل (۲-۴) فرآیند و رویتگر حالت ۲۰

شکل(۳-۱) مدل بلوکی رویتگر مود لغزشی به منظور تشخیص و جداسازی خطا(تخمین) ۵۱

شکل(۳-۲) خروجی و تخمین خروجی بازای خطای پالسی ۷۰

شکل(۳-۳) خطای تخمین خروجی بازای خطای پالسی ۷۱

شکل(۳-۴) حالات و تخمین حالات بازای خطای پالسی ۵۵

شکل(۳-۵) خطا و تخمین خطا بازای خطای پالسی ۵۶

شکل(۳-۶) خروجی و تخمین خروجی بازای خطای سینوسی ۵۷

شکل(۳-۷) خطای تخمین خروجی بازای خطای سینوسی ۵۸

شکل(۳-۸) حالات و تخمین حالات بازای خطای سینوسی ۵۹

شکل(۳-۹) خطا و تخمین خطا بازای خطای سینوسی ۶۰

شکل(۴-۱) طرح کلارک برای شناسایی خطا ۶۵

شکل(۴-۲) طرح رویتگر مود لغزشی ۷۰

شکل(۴-۳) توابع تعلق گوسین فازی ۷۵

شکل(۴-۴) خروجی سیستم و تخمین آن درحالت خطای پالسی ۷۶
شکل(۴-۵) خطای تخمین خروجی سیستم درحالت خطای پالسی ۷۷
شکل(۴-۶) حالات سیستم و تخمین آن در حالت خطای پالسی ۷۸
شکل(۴-۷) خطای رخدادی پالسی و تخمین آن در حالت خطای پالسی.....۷۹
شکل(۴-۸) خروجی سیستم و تخمین آن در حالت خطای سینوسی ۸۰
شکل(۴-۹) خطای تخمین خروجی سیستم در حالت خطای سینوسی.....۸۱
شکل(۴-۱۰) حالات سیستم وتخمین آن در حالت خطای سینوسی ۸۲
شکل(۴-۱۱) خطای رخدادی سینوسی و تخمین آن در حالت خطای سینوسی ۸۲
شکل(۴-۱۱) خطای رخدادی سینوسی مثلثی و تخمین آن ۸۳
جدول(۳-۱) مقادیر پارامترهای معادلات سیستم پاندول معکوس ۵۲

فصل اول

مقدمه‌ای بر خطا و معرفی ماهیت خطا

۱-۱-تاریخچه

با رشد روز افزون علم، انتظارها از سیستم‌های کنترل در صنعت بیشتر شده است. در این میان مسائل مربوط به ایمنی، بهره وری و بهره برداری اقتصادی از سیستم ها و تجهیزات صنعتی از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند. از این رو تشخیص و جداسازی خطا در سیستم‌های بکار رفته در صنعت امروزی غیر قابل انکار می باشد.

در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی مسئله تشخیص و جداسازی خطا مورد توجه بسیاری قرار گرفت و محققان زیادی در این زمینه شروع به تحقیق و فعالیت کردند و برای رویارویی با این پدیده روش‌های مبتنی بر افزونگی تحلیلی و سخت افزاری بسیاری مورد مطالعه قرار گرفت. ظهور و پیدایش میکروکنترلرها در سال ۱۹۷۱ و افزایش کارایی آن‌ها در سیستم‌های اتوماسیونی در سال ۱۹۷۵، شروعی بر محاسباتی شدن هر چه بیشتر نرم افزارهای مبتنی بر نظارت و الگوریتم تشخیص خطا بود.

در سال ۱۹۷۸ اولین کتاب با موضوع روش‌هایی بر پایه مدل در زمینه تشخیص وتعیین خطا با کاربرد ویژه در فرآیندهای شیمیایی توسط هیملبلوا[1] منتشر شد. در همان سال تشخیص نارسایی حسگرها مبتنی بر استفاده از چند رویتگر هم زمان توسط کلارک[2] [۱] ارائه شد. استفاده از تکنیک‌های تخمین پارامترها نیز برای نخستین بار توسط توسزهومان[3] در سال ۱۹۷۷ ارائه شد و پس از آن در سال ۱۹۸۴ خلاصه‌ای از اقدامات صورت گرفته در زمینه تشخیص خطای فرآیند بر پایه‌ی مدل سازی، تخمین پارامتر و حالت توسط ایزرمن[4] ارائه گردید.

کارهایی را که در گذشته انسان‌ها قادر به انجام آن‌ها نبودند هم اکنون به کمک سیستم‌های کنترل قادر به انجام دادن آن کارها می‌باشند، برای مثال ورود به اعماق زمین و بررسی آتشفشان‌ها و حفره-های حرارتی موجود در زمین که تا امروز برای انسان غیر قابل دسترس بوده است[۲،۳]. از طرف دیگر

[1] Himlbilva
[2] Clark
[3] Human Tusez
[4] Iserman

در بخش‌های تولید برای انجام وظایفی که قبلا توسط اپراتورهای انسانی مورد استفاده قرار می گرفتند، امروزه برای بهره وری و سود دهی بالا به علاوه کاهش خطا و هم‌چنین خستگی و بیماری نیروی‌های انسانی، از سیستم‌های کنترل به جای این نیروها استفاده می‌شود.

با توجه به مفید و مؤثر بودن این سیستم‌های کنترل در صنعت، آن‌ها هنوز مستعد بد عمل کردن و اشتباهات می‌باشند. علل بسیاری وجود دارند که می‌توانند به بد عمل کردن و اشتباه کردن سیستم-های کنترل کمک کنند. این عوامل می‌توانند خارجی باشند که به یک حسگر یا اجزای سیستم آسیب می‌رسانند و یا می‌توانند سایش معمولی و یا پارگی برخی از قطعات سیستم که باعث تخریب در عملکرد کلی سیستم می‌شوند، را قلمداد کرد.

۱-۲-اهمیت تشخیص خطا

به طور کلی زمانی می‌گویند در یک سیستم خطا رخ داده که سیستم شروع به رفتار غیر طبیعی کرده و یا قادر به انجام وظایف خود به نحو احسنت نباشد. در سیستم‌های مورد استفاده در صنعت امروزی نکته حائز اهمیتی که باید بیشتر به آن توجه شود ایمنی و حصول اطمینان از این سیستم‌ها برای جلوگیری از خسارت‌های جبران ناپذیر مالی و جانی و همچنین آلوده ساختن محیط زیست می باشند.

به عنوان مثال، انفجار تاسیسات هسته‌ای اکراین که تلفات مالی و جانی فراوانی بر جا گذاشت و یا سقوط پرواز ۱۹۱ هواپیمایی آمریکا در شیکاکو که جان ۲۷۳ نفر را گرفته بود.

بنابراین شناسایی و تشخیص به موقع خطا و مهم‌تر از آن ایجاد یک اعلان یا هشدار برای اطلاع از وقوع خطا در سیستم‌های کنترل از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱-۲-۱-سیستم‌های کنترل تحمل پذیر خطا

امروزه در همه جا و در سراسر زندگی روزمره، می‌توان اثر سیستم‌های کنترل را به وضوح دید. این سیستم‌ها به صورت مداوم و خستگی ناپذیر در حال کار می‌باشند تا زندگی راحت و مطلوبی برای انسان‌ها فراهم سازند. در سیستم‌های دارای تکنولوژی صنعتی در لحظات غیرقابل پیش بینی شده خطا رخ می‌دهد؛ پیش بینی و جلوگیری از وقوع خطا عمدتا کار مشکلی بوده و بسته به نوع سیستم ممکن است انواع مختلفی از خطاها با درجه اهمیت متفاوت قابل رخ دادن باشند.

برای شناخت خطا و جلوگیری از وقوع آن، هزینه‌های زیادی شده و خواهد شد و دلیل آن هم بخاطر خسارت‌های چشم‌گیری است که هنگام بروز خطا ایجاد می‌شود. هرچند جلوگیری از وقوع خطا در سیستم‌های کنترل غیر ممکن است ولی در صورت داشتن شناختی از خطا و پیش بینی احتمالی وقوع آن، با تغییر ساختار کنترل تا حدی می‌توان خسارت‌های بوجود آمده را کاهش داد. یکی از راه-های رسیدن به این مهم طراحی سیستم‌های کنترل تحمل پذیر خطا می‌باشد. کنترل کننده‌های متداول طراحی شده برای سیستم‌ها ممکن است در هنگام بروز خطا نتایج مطلوبی را نداشته باشند و منجر به ناپایداری و عملکرد نامناسب سیستم‌ها گردند. برای غلبه بر چنین مشکلاتی، کنترل کننده-های جدید مورد نیاز هستند تا در هنگام وقوع چنین مشکلاتی تا حدی از خود مقاومت نشان داده و سیستم را همچنان پایدار نگه دارند. سیستم‌هایی که چنین ویژگی را داشته باشند، سیستم‌های کنترل تحمل پذیر خطا می نامند.

انگیزه طراحی این سیستم‌ها بر می‌گردد و به دهه ی ۷۰ میلادی و به دنبال دو تصادف هواپیمایی پرواز دلتا ۱۰۸۰ در ۱۲ آوریل ۱۹۷۷ و پرواز ۱۹۱ هواپیمایی آمریکا در ۲۵ می ۱۹۷۵، پس از تحقیقات فراوان دلیل دو تصادف وجود خطا در اطلاعات رسیده به خلبان گزارش شده است. با مطالعه سقوط پرواز ۱۹۱ هواپیمایی معلوم گردید که در صورت وجود سیستم کنترل تحمل پذیر خطا

(FTES) امکان جلوگیری از سقوط هواپیما وجود داشت[۴] و همچنین با شبیه سازی سقوط بوئینگ ۷۴۷ معلوم شد که با تغییر در ساختار کنترل کننده امکان فرود سالم هواپیما وجود داشت.

۱-۳-اصطلاحات و مفاهیم

خطا (Fault): انحراف حداقل یک ویژگی رفتاری و یا پارامتر سیستم از شرایط قابل قبول و استاندارد

شکست (Failure): وقفه دائمی یک سیستم در حال کار، که توانایی انجام یک عملکرد مطلوب در یک شرایط عملیاتی مشخص را دارد.

اشتباه (Error): اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده یک متغیر خروجی با مقدار واقعی آن.

بد عمل کردن (Malfunction): یک بی نظمی متناوب در برآورده کردن عملکرد مطلوب سیستم می باشد.

اغتشاش (Disturbance): یک ورودی ناشناخته و غیرقابل کنترل از جنس دینامیک مدل نشده که در فرکانس‌های پایین نمود پیدا می‌کند.

اختلال (Perturbation): نوعی ورودی کنشی به سیستم است که باعث خروج موقتی سیستم از حالت جاری و فعلی خودش می‌شود.

مانده (Residual): نشان دهنده وقوع خطا در سیستم، که بر اساس اختلاف بین سیگنال فرایند و مدل محاسبه می‌شود.

۱-۳-۱- تعریف خطا

تشخیص خطا (Fault Detection): اشاره به وجود خطا در سیستم و زمان وقوع آن.

جداسازی خطا (Fault Isolation): تعیین نوع، مکان و زمان وقوع، این مرحله بعد از تشخیص خطا می‌باشد.

تعیین خطا (Fault Determination): بیانگر مدت زمان مواجهه شدن سیستم با خطا و میزان دامنه خطا می‌باشد.

شناسایی خطا (Fault Identification) : معرف مکان، نوع، میزان و زمان خطای رخ داده در سیستم است.

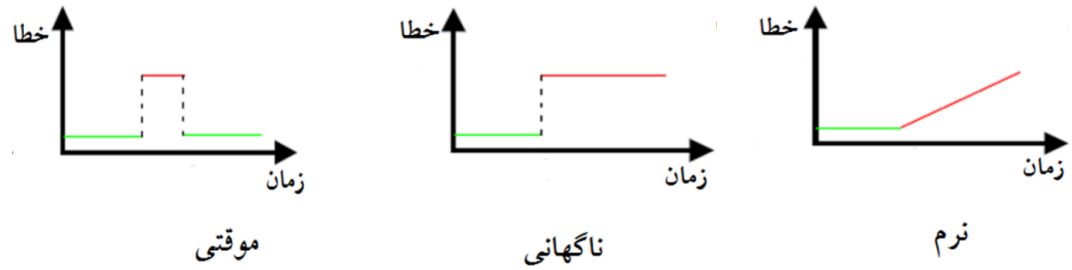
بازسازی خطا (Fault Reconstructions): بیانگر شکل نموداری خطا، که معرف تمام ویژگی‌های خطا می‌باشد.

۱-۳-۲-خطا بر اساس مشخصه زمانی

خطای ناگهانی (Abrupt Fault): خطای مدل شده‌ای است که شبیه تابع پله بوده و بیانگر خرابی در قسمتی از سیستم است که بر عملکرد و پایداری آن تاثیر مستقیم و نیاز فوری به اصلاح می‌باشد.

خطای نرم (Incipient Fault): بیانگر تغییرات پارامتری کندی بوده که در اثر کهنگی سیستم رخ می‌دهد. این نوع خطا صدمه ناگهانی ندارد ولی شناسایی آن مشکل می‌باشد و با تابع شیب مدل می-شود.

خطای موقتی (Intermittent Fault): این نوع خطاها به صورت متناوب ظاهر می‌شود و سپس ناپدید می‌گردند همانند یک اتصال جزئی در سیم.



(ج) (ب) (الف)

شکل(۱-۱) بررسی شناسایی خطا، از دیدگاه زمان ورود به سیستم[۵]

۱-۳-۳-خطا بر اساس مشخصه مکانی

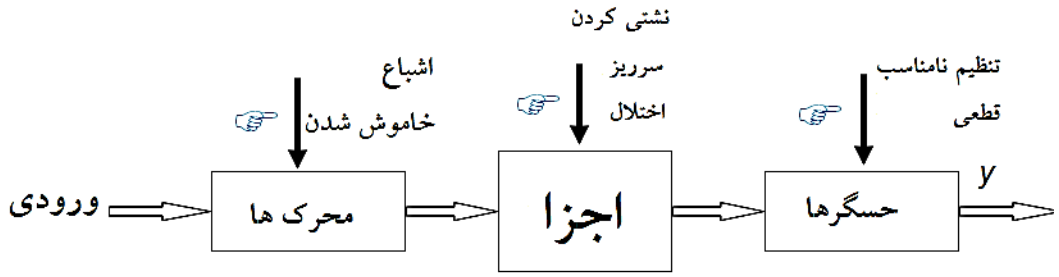
خطای محرک (Actuator Fault): سبب از بین رفتن کامل یا جزئی از عملیات کنترل می شود. و به صورت $f_a(x,u,t)$ در معادلات حالت که به شکل (۲-۱) است[۵]:

$$\begin{cases}\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + f_a(x,u,t)\\ y(t) = Cx(t) + Du(t) + f_s(x,u,t)\end{cases} \quad (۱-۲)$$

ظهور پیدا می‌کند.

خطای حسگر (Sensor Fault): این خطا شامل اطلاعات نادرستی است که از حسگرهای دارای خطا به سیستم می‌رسد. در بعضی از مواقع که از لحاظ ابعاد و هزینه محدودیت نباشد از دو یا چند حسگر برای حصول ایمنی بیشتر استفاده می‌شود. که به صورت $f_s(x,u,t)$ در معادلات حالت که به شکل (۲-۱) است، ظهور پیدا می‌کند.

خطای اجزا (Component Fault): شامل خطاهایی هستند که در اجزای سیستم رخ می‌دهند و نشانگر تغییر در پارامترهای فیزیکی سیستم می‌باشند که معمولا تغییر در رفتار دینامیکی سیستم را به همراه دارند.



شکل(۱-۲) مکان‌های بروز خطا در یک سیستم و اثرات مخرب خطا[۵]

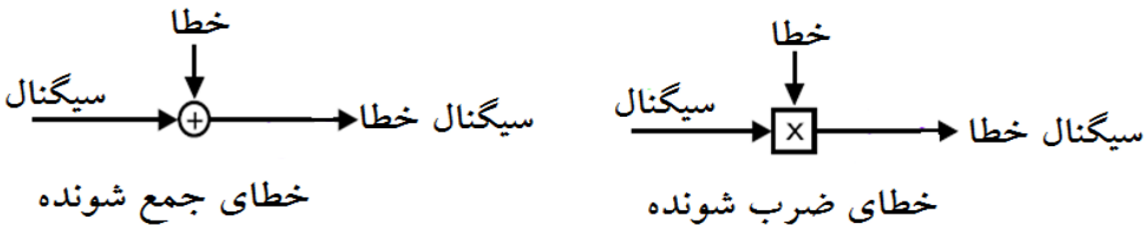
۱-۳-۴-خطا بر اساس مدل کردن در سیستم ها

الف) خطای جمع شونده (Additive Fault):

در این حالت خطا به صورت جمع شدن با متغیری که خطا در آن رخ داده مدل می‌شود.

ب) خطای ضرب شونده (Multiplicative Fault):

در این حالت خطا در متغیری که خطا در آن رخ داده ضرب می‌شود و این خطا اغلب به صورت تغییر پارامتر در فرآیندها ظاهر می‌شود.



شکل(۱-۳) بررسی شناسایی خطا از دیدگاه نوع مدلی ورودی به سیستم[۷]