

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده : برق و رباتیک

گروه : کنترل

طراحی و شبیه سازی تشخیص خطای حسگر با استفاده از رؤیتگر حالت افزوده

دانشجو :

مریم نقدی سده

استاد یا اساتید راهنما :

دکتر محمدعلی صدرنیا

استاد یا اساتید مشاور :

دکتر جواد عسگری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۹۲

تقدیم به

مادر مهربانم

که از خواسته هایش گذشت

سختی ها را به جان خرید و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کرد

تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

و به خواهر عزیزم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودش

که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبانم بود.

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس بی پایان خداوند را که همه سپاس ها از آن اوست. این مجال را مغتنم شمرده و از استاد راهنمایم جناب آقای دکتر صدرنیا، که اینجانب را در تمامی مراحل پایان نامه مساعدت و همراهی نمودند، تشکر و قدردانی می نمایم. هم چنین از استاد مشاورم، جناب آقای دکتر عسگری که راهنمایی های ارزنده ای فرمودند تقدیر و تشکر می کنم. و از همه اساتید ارجمندی که در مدت تحصیلم از حضور گرانقدرشان بهره بردم خالصانه سپاسگزارم.

تعهد نامه

اینجانب **مریم نقدی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی و شبیه سازی تشخیص خطای حسگر با استفاده از رؤیتگر حالت افزوده تحت راهنمایی جناب آقای دکتر صدرنیا 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 سیستم های صنعتی دارند و با افزایش پیچیدگی و پیشرفت سیستم ها و استفاده از آن ها در محیط ها و کاربردهای حساس مانند کنترل پرواز و نیروگاه ها و مراکز شیمیایی تمایل روز افزونی در زمینه تشخیص خطا ایجاد شده است. چرا که عدم تشخیص به موقع خطا منجر به صدمه دیدن و از بین رفتن بخش قابل توجهی از امکانات و اطلاعات و در برخی موارد نیروی انسانی خواهد شد.

این پایان نامه، طراحی سیستم تشخیص و جداسازی خطای مبتنی بر رؤیتگر را ارائه می دهد. پس از یک مرور اجمالی بر مسأله تشخیص خطا، ساختار رؤیتگر لیونبرگر و رؤیتگر حالت افزوده معرفی می شوند. سپس استفاده از منطق فازی در طراحی رؤیتگر حالت افزوده، برای بدست آوردن پهنای باند رؤیتگر، پیشنهاد می گردد. از رؤیتگر حالت افزوده ترکیب شده با منطق فازی در برنامه تشخیص خطای مقاوم حسگر استفاده می کنیم. نتایج شبیه سازی ها مؤثر بودن کاربرد منطق فازی در طراحی رؤیتگر را نشان می دهند.

کلمات کلیدی: تشخیص و جداسازی خطا، رؤیتگر حالت افزوده، منطق فازی.

لیست مقالات

- 1- Naghdi M., Sadrnia M. A. and Askari J. (2014) "Fault Detection and Isolation for Nonlinear System via ESO", *International Journal of Computer Applications*, vol. 88, no. 16.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

- ۱-۱ چرا تشخیص خطا؟..... ۲
- ۲-۱ مقدمه ای بر روش های تشخیص خطا..... ۳
- ۳-۱ فصل بندی پایان نامه..... ۴

فصل ۲: تشخیص خطا ۷

- ۱-۲ مقدمه ۸
- ۲-۲ خطا و انواع آن ۸
- ۳-۲ دسته بندی خطا ۱۰
- ۱-۳-۲ خطاهای اجزا ۱۰
- ۲-۳-۲ خطاهای محرک ۱۰
- ۳-۳-۲ خطاهای حسگر ۱۱
- ۴-۲ روش های افزونگی تشخیص خطا ۱۲
- ۵-۲ روش های تشخیص خطا ۱۳
- ۱-۵-۲ روش بدون مدل ۱۴
- ۲-۵-۲ روش مبتنی بر مدل ۱۶
- ۶-۲ مسأله مقاوم بودن سیستم FDI ۲۲

فصل ۳: ساختار رؤیتگرهای تشخیص خطا ۲۵

- ۱-۳ مقدمه ۲۶
- ۲-۳ رؤیتگر لیونبرگر ۲۶
- ۳-۳ رؤیتگر حالت افزوده ۲۷
- ۴-۳ تحلیل پایداری ۳۰
- ۵-۳ کاربرد فازی در طراحی رؤیتگر حالت افزوده ۳۱
- ۶-۳ منطق فازی ۳۱
- ۷-۳ مدل فازی سوگینو ۳۴
- ۸-۳ طراحی الگوریتم فازی ۳۴

فصل ۴ : مقایسه عملکرد رؤیتگرهای تشخیص خطا ۳۹

- ۴-۱ دینامیک جانبی خودرو ۴۰
- ۴-۱-۱ مدل دینامیک جانبی خودرو ۴۰
- ۴-۲ تشخیص و جداسازی خطای حسگر ۴۳
- ۴-۳ طراحی رؤیتگرهای تشخیص خطا ۴۳
- ۴-۳-۱ رؤیتگر لیونبرگر ۴۳
- ۴-۳-۲ رؤیتگر حالت افزوده ۴۳
- ۴-۴ تشخیص خطای مقاوم حسگر ۴۵
- ۴-۵ نتایج شبیه سازی ۴۶
- ۴-۵-۱ مقایسه عملکرد رؤیتگرها ۵۸

فصل ۵ : تشخیص و جداسازی خطای سیستم غیر خطی ۵۹

- ۵-۱ مقدمه ۶۰
- ۵-۲ سیستم دینامیکی دو تانک ۶۰
- ۵-۲-۱ معادلات دینامیکی سیستم دو تانک ۶۰
- ۵-۳ طراحی رؤیتگر حالت افزوده ۶۱
- ۵-۴ ارزیابی سیگنال های باقیمانده ۶۲
- ۵-۵ نتایج شبیه سازی ۶۳

فصل ۶ : نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۱

- ۶-۱ نتیجه گیری ۷۲
- ۶-۲ پیشنهادات ۷۲

مراجع ۷۳

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲- مراحل انجام فرآیند تشخیص خطا ۹
- شکل ۲-۲- مکان خطاهای پدید آمده در یک سیستم کنترلی [۱۰] ۱۰
- شکل ۳-۲- وابستگی زمانی خطاها: (a) ناگهانی؛ (b) افزایشی؛ (c) تناوبی [۵] ۱۱
- شکل ۴-۲- مدل های خطا: (a) خطای جمع شونده؛ (b) خطای ضرب شونده [۵] ۱۲
- شکل ۵-۲- افزونگی سخت افزاری [۱۰] ۱۵
- شکل ۶-۲- ساختار کلی روش تشخیص خطای مبتنی بر آنالیز سیگنال [۱۰] ۱۶
- شکل ۷-۲- ساختار کلی طرح تشخیص خطای مبتنی بر مدل [۱۸] ۱۷
- شکل ۸-۲- ساختار ارزیابی باقیمانده [۱۰] ۱۸
- شکل ۹-۲- ریتگر تشخیص خطا [۲۰] ۱۹
- شکل ۱۰-۲- تولید باقیمانده مبتنی بر معادلات برابری [۲۰] ۲۰
- شکل ۱۱-۲- روند روش های FDI [۳] ۲۲
- شکل ۱-۳- فرآیند بکارگیری الگوریتم فازی ۳۲
- شکل ۲-۳- توابع عضویت دوزنقه ای و گوسی ۳۳
- شکل ۳-۳- توابع عضویت ورودی های سیستم فازی برای سیستم دینامیک جانبی خودرو ۳۶
- شکل ۴-۳- توابع عضویت ورودی های سیستم فازی برای سیستم غیرخطی دو تانک ۳۷
- شکل ۱-۴- مدل دوچرخه ۴۱
- شکل ۲-۴- زاویه هدایت ۴۵
- شکل ۳-۴- تأثیر اغتشاش بر سیگنال های باقیمانده با روش ریتگر لیونبرگر ۴۶
- شکل ۴-۴- تأثیر تغییرات پارامتری بر سیگنال های باقیمانده با روش ریتگر لیونبرگر ۴۷
- شکل ۵-۴- تأثیر خطای حسگر بر روی سیگنال های باقیمانده در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری ۴۸
- شکل ۶-۴- تخمین حالت سزعت زاویه ای ۴۹
- شکل ۷-۴- تخمین حالت سرعت جانبی ۴۹
- شکل ۸-۴- تخمین دینامیک های سیستم f_1 ۵۰
- شکل ۹-۴- تخمین دینامیک های سیستم f_2 ۵۰
- شکل ۱۰-۴- خطای ردیابی ۵۱
- شکل ۱۱-۴- تخمین خروجی سرعت زاویه ای در حضور نویز اندازه گیری ۵۲
- شکل ۱۲-۴- تخمین خروجی سرعت جانبی در حضور نویز اندازه گیری ۵۲

شکل ۴-۱۳- تأثیر اغتشاش بر سیگنال باقیمانده r_1	۵۳
شکل ۴-۱۴- تأثیر اغتشاش بر سیگنال باقیمانده r_2	۵۴
شکل ۴-۱۵- تأثیر تغییرات پارامتری بر سیگنال های باقیمانده با روش رؤیتگر حالت افزوده	۵۵
شکل ۴-۱۶- تأثیر تغییرات پارامتری بر سیگنال های باقیمانده با روش رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته	۵۵
شکل ۴-۱۷- تأثیر خطای حسگر بر روی دینامیک های تخمینی سیستم f_1 در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری	۵۶
شکل ۴-۱۸- تأثیر خطای حسگر بر روی دینامیک های تخمینی سیستم f_2 در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری	۵۷
شکل ۴-۱۹- تأثیر خطای حسگر بر روی سیگنال های باقیمانده در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری	۵۷
شکل ۵-۱- سیستم دو تانک	۶۱
شکل ۵-۲- توابع عضویت ورودی	۶۳
شکل ۵-۳- خطای ردیابی	۶۴
شکل ۵-۴- دینامیک های سیستم غیرخطی و تخمین آن ها توسط رؤیتگر بهبود یافته	۶۴
شکل ۵-۵- خروجی های تخمینی در حضور خطای حسگر و اغتشاش توسط رؤیتگر بهبود یافته	۶۵
شکل ۵-۶- سیگنال های باقیمانده در حضور خطای حسگر و اغتشاش توسط رؤیتگر بهبود یافته	۶۶
شکل ۵-۷- دینامیک های تخمینی در حضور خطای حسگر و اغتشاش	۶۶
شکل ۵-۸- نتیجه سیستم جداسازی خطا بدون نویز اندازه گیری	۶۷
شکل ۵-۹- تخمین خروجی دو تانک در حضور خطای حسگر، اغتشاش و نویز اندازه گیری توسط رؤیتگر بهبود یافته	۶۸
شکل ۵-۱۰- تخمین دینامیک های سیستم غیرخطی در حضور خطای حسگر، اغتشاش و نویز اندازه گیری	۶۹
شکل ۵-۱۱- نتیجه سیستم جداسازی خطا در حضور نویز اندازه گیری	۶۹
شکل ۵-۱۲- بزرگ نمایی نتیجه سیستم جداسازی خطا در حضور نویز اندازه گیری	۷۰

فهرست جداول

جدول ۳-۱- مراکز گروه های عضویت خروجی برای سیستم دینامیک جانبی خودرو	۳۶
جدول ۳-۲- مراکز گروه های عضویت خروجی برای سیستم دو تانک	۳۷
جدول ۴-۱- پارامترهای دینامیک جانبی خودرو	۴۲

فهرست علائم و اختصارات

r	سیگنال باقیمانده.....
A	ماتریس حالت
B	ماتریس ورودی کنترل
C	ماتریس خروجی
x	بردار حالت
u	بردار ورودی
y	بردار خروجی
L	ماتریس بهره رُیتگر
n	مرتبه سیستم
w	اغتشاش خارجی نامعلوم
f	دینامیک های سیستم
$\beta_1, \dots, \beta_{n+1}$	بهره های رُیتگر حالت افزوده
ω_0	پهنای باند رُیتگر حالت افزوده
ψ	سرعت زاویه ای
v_y	سرعت جانبی
δ_F	زاویه هدایت
F_{yf}	نیروی اعمالی روی تایرهای جلو

F_{yr}	نیروی اعمالی روی تایرهای عقب
α_f	زاویه انحراف چرخ جلویی
α_r	زاویه انحراف چرخ عقبی
J	گشتاور اینرسی
m	جرم خودرو
l_f	فاصله از مرکز تا محور جلویی خودرو
l_r	فاصله از مرکز تا محور عقبی خودرو
$C_{\alpha f}$	ضریب سختی تایر جلو
$C_{\alpha r}$	ضریب سختی تایر عقب
A_s	سطح مقطع تانک
$S_{p1,2}$	سطح مقطع لوله های اتصالی
$\alpha_{1,2}$	ضریب جریان
g	ثابت گرانش
q_1	ورودی سیستم دو تانک
$h_{1,2}$	ارتفاع سطح آب سیستم دو تانک

فصل ۱ :

مقدمه

۱-۱ چرا تشخیص خطا؟

به دلیل افزایش عملکرد و کارایی سیستم ها، پیچیدگی سیستم های مهندسی جدید و به دنبال آن نیاز برای ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم ها افزایش می یابد. چرا که پیچیدگی سیستم ها، احتمال وقوع خطا را در اجزا فرآیند، حسگرها و محرک های سیستم افزایش می دهد.

عدم تشخیص به موقع خطا منجر به صدمه دیدن و از بین رفتن بخش قابل توجهی از امکانات و اطلاعات و در برخی موارد نیروی انسانی خواهد شد. برای مثال:

- صنایع نفت در آمریکا سالانه در حدود ۲۰ میلیون دلار به دلیل عدم تشخیص به موقع خطا ضرر کرده اند.
- در دو واقعه مشابه در دانمارک و نروژ به علت خطای حسگر، یک کشتی با اسکله برخورد کرد. این حسگر که زاویه پروانه کشتی را تعیین می کرد، به دلیل اطلاعات نادرست خود، باعث ارسال سیگنال های کنترلی غیر صحیح در سیستم کنترلی می شد و لذا با یک خطای ساده ی حسگر، تلفات زیادی بوجود آمد.

بنابراین افزایش تقاضا برای بالا بردن قابلیت اطمینان و ایمنی در سیستم های صنعتی توجه محققین زیادی را به مسأله تشخیص و جداسازی خطا معطوف نموده است. زیرا که یک روش تشخیص دقیق و سریع خطا، می تواند از انتشار خطا در سیستم و پیامدهای ناشی از آن جلوگیری کند. طراحی و آنالیز طرح های تشخیص خطای مبتنی بر افزونگی تحلیلی از ابتدای دهه هفتاد پیشرفت های تئوری زیادی داشته است [۱].

۲-۱ مقدمه ای بر روش های تشخیص خطا

به طور کلی روش های تشخیص خطا به دو گروه اصلی، بدون مدل^۱ و مبتنی بر مدل^۲ دسته بندی می-شوند [۲]. شرح مختصری از روش های پرکاربرد هر دو گروه در [۳] آورده شده است.

روش های بدون مدل، به مدل دینامیکی سیستم برای تشخیص خطا نیاز ندارند [۳]. این روش ها برای وضعیتی که بدست آوردن مدل سیستم مشکل است، مناسب می باشند.

روش تشخیص خطای مبتنی بر مدل تحلیلی یکی از مهم ترین روش ها در حوزه تشخیص خطا است [۴]. روش های رایج مبتنی بر مدل تحلیلی، روش های مبتنی بر رؤیتگر^۳، معادلات برابری^۴ و تخمین پارامتر^۵ هستند [۲،۵] و پرکاربردترین آن ها، روش مبتنی بر رؤیتگر می باشد [۶،۷-۹]. ایده کاربرد رؤیتگرها برای تشخیص خطا به دهه هفتاد میلادی برمی گردد، موقعی که برد^۶ یک فیلتر تشخیص را پیشنهاد کرد که بعداً توسط جان^۷ اصلاح شد، بنابراین به فیلتر تشخیص خطای برد-جان نام گرفت [۱۰].

به دلیل وجود حالت غیرخطی سیستم ها در عمل، تشخیص خطای سیستم های غیرخطی توجه زیادی در سال های اخیر دریافت کرده است [۴]. بنابراین بررسی الگوریتم تشخیص خطا برای سیستم های غیر خطی نقش مهمی در کاربردهای عملی ایفا می کند [۱۱]. کاربرد رؤیتگرها رایج ترین راه برای بدست آوردن عملکرد بالا در تشخیص خطای سیستم های غیرخطی است [۴].

در حالیکه رؤیتگرهای متعارف به مدل ریاضی دقیق سیستم وابسته هستند، رؤیتگر حالت افزوده بر اساس داده ورودی-خروجی اطلاعات حیاتی را برای تشخیص خطا فراهم می کند که با هر روش مبتنی بر

¹Model-free

²Model-based

⁴Observer-based approach

⁵Parity equations approach

⁶Parameter estimation approach

⁶Beard

⁷Jones

رؤیتگر موجود به راحتی انجام نمی شود [۷،۸،۱۱]. تکنیک رؤیتگر حالت افزوده ابتدا توسط پروفیسور هان^۱ مطرح شد [۷]. از رؤیتگر حالت افزوده در زمینه های زیادی استفاده شده است، برای مثال در [۱۱،۱۲،۱۳] برای تشخیص خطا، در [۱۴] برای تشخیص شرایط سطح جاده و در [۱۵] برای کنترل رد اغتشاش.

در این پایان نامه به دنبال آن هستیم که ابتدا با بکارگیری منطق فازی عملکرد رؤیتگر حالت افزوده را بهبود داده و سپس آن را در برنامه تشخیص خطای حسگر استفاده کنیم. با مقایسه ای بر عملکرد رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته نتیجه استفاده از منطق فازی، در طراحی رؤیتگر را نشان می دهیم. از رؤیتگر بهبود یافته برای تشخیص خطای مقاوم دو سیستم خطی و غیرخطی استفاده می کنیم. و در پایان از مدل فازی سوگینو برای ارزیابی سیگنال های باقیمانده سیستم غیرخطی بهره می گیریم.

۳-۱ فصل بندی پایان نامه

در فصل دوم ابتدا خطا و انواع آن، سپس روش های تشخیص خطا، در پایان اهمیت مقاوم بودن سیستم تشخیص خطا را ارائه می نماییم.

در فصل سوم ابتدا ساختار رؤیتگر لیونبرگر و رؤیتگر حالت افزوده را شرح می دهیم، سپس شرح مختصری از منطق فازی را ارائه می کنیم، و در پایان چگونگی استفاده از منطق فازی در طراحی رؤیتگر حالت افزوده را شرح می دهیم.

در فصل چهارم عملکرد رؤیتگر لیونبرگر، رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر ترکیب شده با منطق فازی را برای تولید باقیمانده مقاوم، روی دینامیک جانبی خودرو مقایسه می کنیم.

¹Han

در فصل پنجم رؤیتگر حالت افزوده ترکیب شده با منطق فازی را برای تشخیص خطای حسگر سیستم غیرخطی دو تانک بکار می‌بریم. سپس با استفاده از مدل فازی سوگینو سیگنال‌های باقیمانده را ارزیابی می‌کنیم.

در فصل ششم نتیجه‌گیری می‌کنیم و پیشنهادات را ارائه می‌نماییم.

فصل ٢ :

تشخيص خطا

۲-۱ مقدمه

جوامع مدرن امروزی وابستگی شدیدی به سیستم های صنعتی دارند، که احتمال وقوع خطا در این سیستم ها وجود دارد و عدم تشخیص به موقع خطا منجر به صدمه دیدن و از بین رفتن بخش قابل توجهی از امکانات و اطلاعات و در برخی موارد نیروی انسانی خواهد شد.

تشخیص خطا برای بهبود قابلیت اطمینان، امنیت و کارایی بسیاری از فرآیندها مثل هواپیماها، اتومبیل ها، فرآیندهای شیمیایی و ... دارای اهمیت می باشد [۵].

اگر خطا به موقع تشخیص داده شود، ساختار کنترلر برای تحصیل بهترین واکنش ممکن سیستم، قابل تغییر است [۱]، هم چنین امکان تعمیر و یا تعویض بهنگام قطعه معیوب فراهم می شود.

۲-۲ خطا و انواع آن

تعاریف متعددی برای اصطلاح خطا بکار می رود. لذا در بسیاری از مقاله ها معادل واژه خطا از کلماتی مانند خرابی و عیب نیز استفاده شده است.

خطا^۱ انحراف غیر مجاز حداقل یک پارامتر یا مشخصه سیستم از شرایط مطلوب می باشد [۲،۵]. بنابراین خطا یک حالت است که امکان دارد به شکست^۲ یا نقص عملکردی^۳ سیستم منجر شود [۵].

شکست: یک وقفه دائمی در توانایی سیستم برای انجام یک عمل خواسته شده تحت شرایط عملکردی مشخص می باشد.

نقص عملکردی: یک اختلال متناوب در برآورده کردن عملکرد مطلوب سیستم می باشد.

^۱Fault

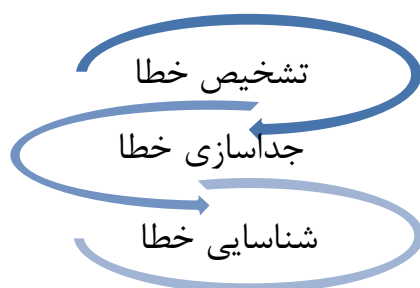
^۲Failure

^۳Malfunction

در راستای مفهوم خطا از چند اصطلاح استفاده می شود که عبارتند از [۳]:

- تشخیص خطا^۱: یعنی اینکه تشخیص داده شود آیا در سیستم خطایی رخ داده است یا خیر؟
- جداسازی خطا^۲: در صورت بروز خطا، مکان خطا مشخص می شود.
- شناسایی خطا^۳: اندازه و رفتار متغیر با زمان خطا مشخص می شود.

در شکل (۱-۲) مراحل انجام فرآیند تشخیص خطا نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- مراحل انجام فرآیند تشخیص خطا

یک سیستم FDI متشکل از زیر سیستم های تشخیص و جداسازی خطا می باشد. بحث تشخیص خطا تقریباً برای تمام سیستم های عملی مورد نیاز است و بعد از آن مقوله جداسازی خطا نیز به همان اندازه اهمیت می یابد. از طرف دیگر شناسایی نوع خطا معمولاً در سیستم ها ضروری نبوده و اهمیت زیادی در سیستم های کنترلی پیدا نمی کند، چرا که به محض وقوع خطا، سیستم را در صورت امکان خاموش می کنند و به سرعت در جهت تعمیر، اقدام می کنند. معمولاً تشخیص و جداسازی خطاها هر دو هم زمان اجرا می شوند.

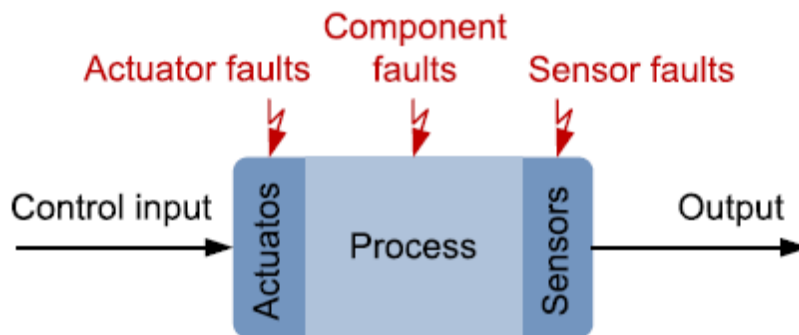
^۱Fault Detection

^۲Fault Isolation

^۳Fault Identification

۲-۳ دسته بندی خطا

همانطور که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است، خطاها می توانند در محرک ها، اجزا فرآیند یا حسگرها رخ دهند. هر یک از این خطاها و اثرات آن ها به طور مختصر در زیر شرح داده شده است.



شکل ۲-۲- مکان خطاهای پدید آمده در یک سیستم کنترلی [۱۰]

۲-۳-۱ خطاهای اجزا

خطاهای اجزا در پارامترهای فیزیکی سیستم تغییر ایجاد می کند. علت ایجاد چنین خطاهایی فرسودگی، پاره‌گی، کهنگی اجزا و ... است. نشی در تانک ها و شکستگی در سیستم جعبه دنده نمونه هایی از خطاهای اجزا هستند [۱۰].

۲-۳-۲ خطاهای محرک

محرک ها برای تبدیل سیگنال های کنترل به سیگنال های تحریک مناسب، مثل گشتاورها و نیروها برای راه اندازی سیستم، لازم هستند. پیامد خطای محرک ها از مصرف انرژی بالاتر تا از دست دادن کامل کنترل می باشد. خطا در پمپ ها و موتورها نمونه هایی از خطاهای محرک هستند [۱۰].

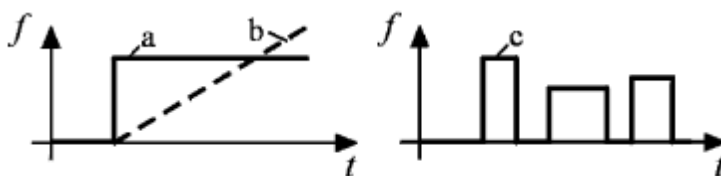
۳-۳-۲ خطاهای حسگر

خطاهای حسگر باعث می شوند اطلاعات اندازه گیری شده به درستی منتقل نشوند. برای مثال در سیستم های حلقه بسته اندازه گیری های بدست آمده توسط حسگرها، برای تولید ورودی های کنترل استفاده می شوند و هر خطایی در حسگرها موجب دور شدن نقطه کار از مقدار بهینه می شود، که تنزل در کارایی سیستم را نتیجه می دهد. بنابراین، تشخیص این خطاها بسیار مهم است. بایاس، تنزل عملکرد (از دست دادن صحت) و ... نمونه های نوعی از خطاهای حسگر هستند [۱۰].

نحوه دیگر دسته بندی خطا بر اساس مشخصه زمانی خطاها می باشد [۵، ۱۰]:

- خطاهای ناگهانی^۱ (پله ای): خطاهای ناگهانی ممکن است در اثر خرابی تجهیزات ایجاد شوند و این نوع خطاها گرچه اثر شدیدی دارند ولی به راحتی تشخیص داده می شوند.
- خطاهای افزاینده^۲ (شیب): خطاهای افزاینده در اثر فرسودگی تجهیزات ایجاد می شوند و به دلیل تغییرات رفتاری آهسته تشخیص آن ها مشکل است.
- خطاهای تناوبی^۳: این خطاها در فاصله های زمانی مشخص بر سیستم اثر می گذارند. مانند حباب های هوا در لوله های گاز.

در شکل (۳-۲) خطاهای ناگهانی، افزاینده و تناوبی نشان داده شده است.



شکل ۳-۲- وابستگی زمانی خطاها: (a) ناگهانی؛ (b) افزاینده؛ (c) تناوبی [۵]

¹Abrupt Faults

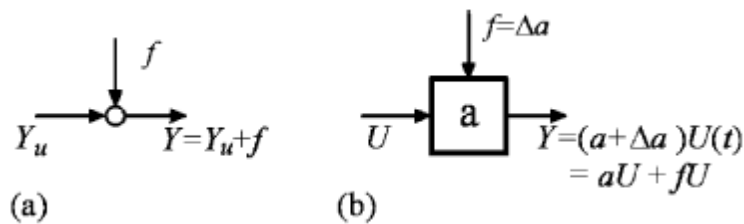
²Incipient Faults

³Intermittent Faults

دسته بندی دیگر خطا بر اساس نحوه مدل کردن آن ها می باشد [۵]:

- خطاهای جمع شونده^۱: این خطاها به صورت جمع شونده در ورودی یا خروجی سیستم ظاهر می شوند، مثل آفت سنسورها.
- خطاهای ضرب شونده^۲: این خطاها سبب ایجاد تغییر در پارامترهای سیستم می شوند و به صورت ضرب شونده در سیستم پدید می آیند.

در شکل (۴-۲) قسمت (a) خطای جمع شونده و قسمت (b) خطای ضرب شونده را نمایش می دهد.



شکل ۴-۲-مدل های خطا: (a) خطای جمع شونده؛ (b) خطای ضرب شونده [۵]

۴-۲ روش های افزونگی تشخیص خطا

تکیه تنها بر کاربران انسانی در مدیریت رویدادهای غیر طبیعی به علت وسعت علل مختلف این شرایط و نیز پیچیدگی سیستم ها امکان پذیر نمی باشد. عدم تشخیص به موقع خطا به ایجاد مشکلات و تبعات اقتصادی، امنیتی و زیست محیطی منتهی می شود.

هدف از بکارگیری روش های تشخیص خطا، مدیریت خطا، بهبود قابلیت اطمینان، کاهش سوانح و میزان پیامدهای آن ها است.

¹Additive Faults

²Multiplicative Faults

- افزونگی سخت افزاری یا فیزیکی: استفاده از روش افزونگی سخت افزاری از روش های قدیمی تشخیص خطا است. این روش از چندین حسگر برای اندازه گیری و کنترل یک متغیر خاص استفاده می کند، بدین صورت که اندازه گیری ها از چندین حسگر با یکدیگر مقایسه می شوند و وجود خطا تشخیص داده می شود. برای مثال سه حسگر یکسان که یک متغیر را اندازه می گیرند، در نظر بگیرید. اگر یکی از این سه سیگنال با دو سیگنال دیگر به طور محسوس تفاوت داشته باشد، نشان دهنده وجود خطا است [۱۶]. مشکل اصلی این روش سنسورهای اضافی برای تولید سیگنال های اندازه گیری است، که هزینه نگهداری بالا و فضای بیشتری برای نصب و قرار گیری لازم دارند. که ضرورت استفاده از روش های دیگر با هزینه کمتر را افزایش می دهد [۱۷]. شکل (۵-۲) ساختار کلی تشخیص خطای مبتنی بر افزونگی سخت افزار را نشان می دهد.

- افزونگی تحلیلی یا تابعی: از اوایل ۱۹۷۰ به دلیل هزینه های زیاد و محدودیت هایی که افزونگی سخت افزاری از نظر وزن و مکان به سیستم تحمیل می کرد روش های جدید تری در حوزه تشخیص خطا ارائه شد.

روش های مبتنی بر افزونگی تحلیلی، از روابط تحلیلی بین متغیرهای اندازه گیری شده سیستم تحت نظارت استفاده می کنند [۱۸]. این روش ها خطا را توسط مقایسه خروجی های اندازه گیری شده با تخمین های آن ها تشخیص می دهند. الگوریتم های تشخیص خطا مبتنی بر افزونگی تحلیلی با استفاده از کامپیوترهای دیجیتال قابل اجرا هستند، و بدین صورت از معایب مربوط به تکنیک های تشخیص خطای مبتنی بر افزونگی سخت افزار اجتناب می کنند [۱۰].

۵-۲ روش های تشخیص خطا

به طور کلی روش های تشخیص خطا به دو گروه اصلی بدون مدل و مبتنی بر مدل فرآیند دسته بندی می شوند [۲،۳].

۲-۵-۱ روش بدون مدل

روش هایی که در این دسته قرار دارند، مانند: روش آنالیز آماری، شبکه های عصبی و...، برای تشخیص خطا از مدل سیستم تحت نظارت استفاده نمی کنند، به جای آن با بکار گیری اطلاعات موجود در یک پایگاه داده به استدلال می پردازند. این روش برای وضعیتی که به دست آوردن مدل سیستم مشکل یا بسیار پیچیده است، مناسب می باشد. مشکل اصلی این روش، نیاز آن به داده غنی از سیستم تحت نظارت می باشد. روش مبتنی بر آنالیز سیگنال، بررسی حد و افزونگی سخت افزاری نیز در این دسته قرار می گیرند.

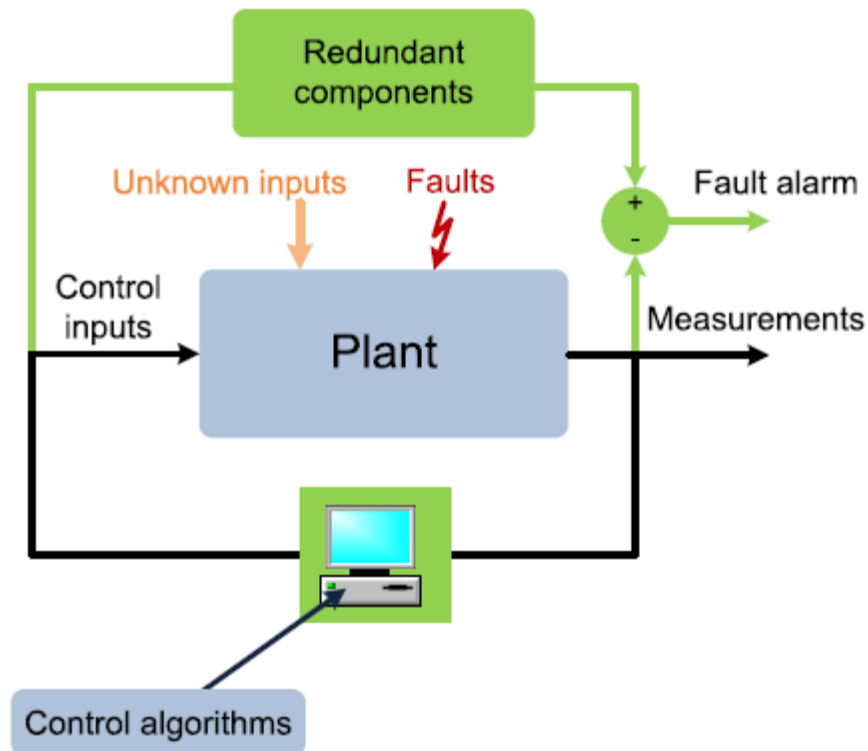
- روش مبتنی بر آنالیز سیگنال: در این روش یک یا چند سیگنال قابل اندازه گیری از سیستم با استفاده از الگوریتم های مختلفی مانند آنالیز طیف فرکانسی، آنالیز دامنه و یا آنالیز روند تغییرات سیگنال و ...، مورد تحلیل قرار گرفته و هر گونه تغییر غیر مجاز در خصوصیات سیگنال، بیانگر وقوع خطا در سیستم است [۱۹].

دیاگرام تشخیص خطای مبتنی بر آنالیز سیگنال در شکل (۲-۶) نشان داده شده است.

- روش بررسی حد: ساده ترین و رایج ترین روش تشخیص خطا، بررسی محدوده متغیرهای قابل اندازه گیری است. در این تکنیک برای متغیر قابل اندازه گیری $Y(t)$ دو آستانه حداقل و حداکثر تعیین می شود. و خطا به صورت زیر تشخیص داده می شود [۹، ۱۰]:

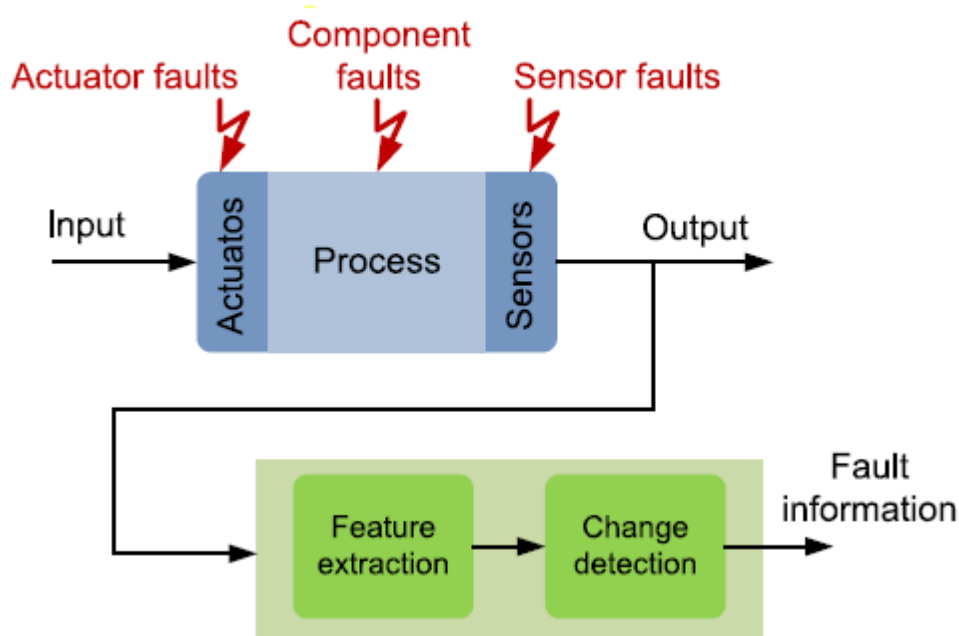
$$\text{اگر } y_{min} \leq y \leq y_{max} \quad \text{خطا رخ نداده}$$

$$\text{اگر } y > y_{max} \text{ یا } y < y_{min} \quad \text{خطا رخ داده}$$



شکل ۲-۵-افزونگی سخت افزاری [۱۰]

روش بررسی حد، ساده است و به راحتی قابل اجرا می باشد. در این روش خطا فقط موقعی قابل تشخیص است که مقدار آن برای عبور از حدود تعیین شده به اندازه کافی بزرگ شده باشد. که در این صورت امکان ایجاد خسارت بیشتری در سیستم را سبب می شود. هم چنین موقعی که نقطه کار سیستم تحت نظارت به سرعت تغییر می کند، این روش در امر تشخیص خطا موفق نیست. بنابراین این روش برای سیستم هایی با رفتار متغیر مناسب نمی باشد [۱۰].



شکل ۲-۶- ساختار کلی روش تشخیص خطای مبتنی بر آنالیز سیگنال [۱۰]

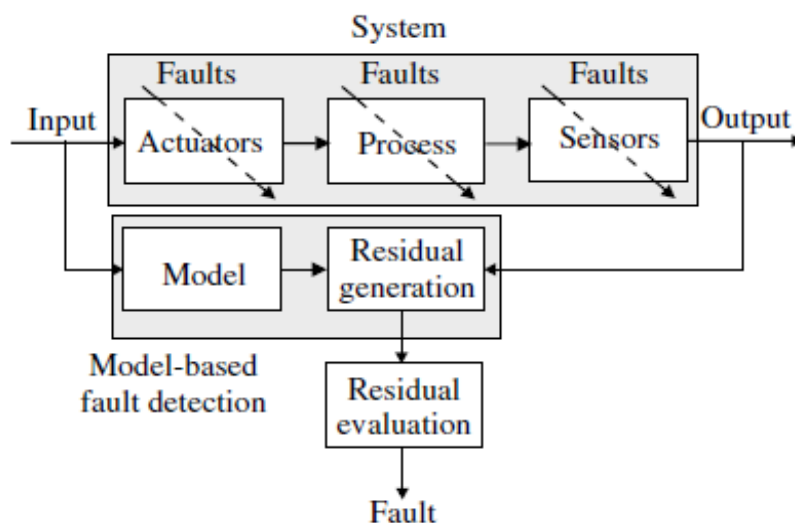
۲-۵-۲ روش مبتنی بر مدل [۱۰]

دسته وسیعی از روش های تشخیص خطا بر اساس روش های مبتنی بر مدل کار می کنند. در تشخیص خطای مبتنی بر مدل، هدف، طراحی مکانیزم تولید سیگنالی است که آشکارسازی سیگنال های خطا را بر عهده دارد. در این روش از یک مدل برای توصیف سیستم مورد نظر استفاده می کنند. که برای تشخیص خطا رفتار سیستم واقعی با رفتار مدل مقایسه می شود. در شکل (۲-۷) دیاگرام روش مبتنی بر مدل نشان داده شده است.

بر اساس مدل استفاده شده به منظور تولید باقیمانده، روش تشخیص خطای مبتنی بر مدل به دو گروه دسته بندی می شود:

- روش مبتنی بر مدل تحلیلی: در این روش مدل سیستم توسط معادلات دیفرانسیل ارائه می شود. در واقع برای تشخیص خطا رفتار سیستم واقعی با رفتار مدل ریاضی مقایسه می شود.

- روش مبتنی بر مدل کیفی : در این روش از توابع کیفی به جای توابع ریاضی برای مدلسازی سیستم استفاده می شود.



شکل ۲-۷- ساختار کلی طرح تشخیص خطای مبتنی بر مدل [۱۸]

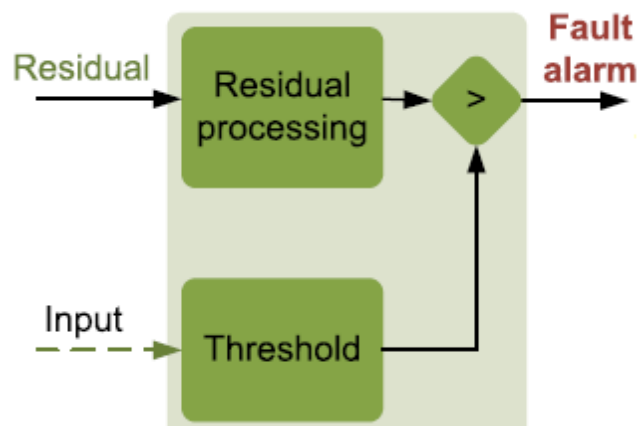
روش تشخیص خطای مبتنی بر مدل شامل دو مرحله است:

مرحله اول، تولید باقیمانده^۱: هدف این مرحله تولید سیگنال باقیمانده است. این سیگنال تفاوت میان متغیرهای اندازه گیری شده سیستم با تخمین های محاسبه شده است. در یک وضعیت ایده ال هنگامی که خطایی حضور ندارد، سیگنال باقیمانده صفر یا نزدیک صفر است، و هنگامی که خطایی رخ می دهد باید به طور قابل ملاحظه ای با صفر فرق کند. تولید باقیمانده به عنوان یک مسأله حیاتی در تشخیص خطای مبتنی بر مدل شناخته شده است، زیرا که اگر به طور صحیح انجام نشود، برخی از اطلاعات خطا می توانند از دست بروند [۱۸].

سیگنال باقیمانده به طور ایده ال فقط باید اطلاعات خطا را حمل کند. برای تشخیص خطای قابل اطمینان، اتلاف اطلاعات خطا در سیگنال باقیمانده تا حد امکان باید کوچک باشد.

^۱Residual generation

مرحله دوم، ارزیابی باقیمانده^۱: بعد از تولید باقیمانده، مرحله دوم در طرح تشخیص خطای مبتنی بر مدل، ارزیابی باقیمانده است. هدف این مرحله تصمیم گرفتن در مورد وقوع خطاها، حتی در حضور اغتشاش ها و نامعینی ها است. همانطور که در شکل (۸-۲) نشان داده شده است، بعد از اینکه یک سطح آستانه تعیین شد، سیگنال باقیمانده با سطح آستانه مقایسه می شود. تصمیم گیری برای اینکه معلوم شود آیا خطایی رخ داده یا خیر، به نتیجه این مقایسه بستگی دارد.



شکل ۸-۲-ساختار ارزیابی باقیمانده [۱۰]

به طور کلی رایج ترین روش های تولید باقیمانده مبتنی بر مدل تحلیلی به سه دسته تقسیم می شوند:

۱. روش مبتنی بر رؤیتگر

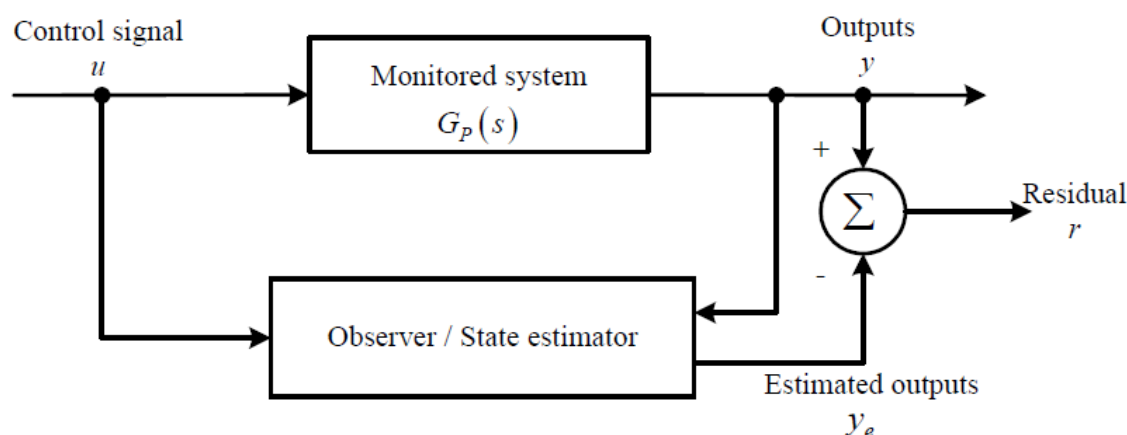
اگر یک سیستم رؤیت پذیر باشد، رؤیتگرها برای تخمین حالت های سیستم با استفاده از داده های اندازه گیری شده می توانند استفاده شوند. حالت های تخمین زده شده برای رؤیت خروجی های سیستم استفاده می شوند. رؤیتگرهای تشخیص خطا از خطای بین خروجی اندازه گیری شده و خروجی تخمین زده شده به عنوان باقیمانده استفاده می کنند. طرح کلی این روش در شکل (۹-۲)

¹Residual evaluation

نشان داده شده است. در این شکل، y_e خروجی تخمین زده شده، y خروجی اندازه گیری شده و r باقیمانده می باشد. باقیمانده مطابق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$r = y_e - y \quad (۱-۲)$$

رؤیتگرها به دانش دقیق از پارامترهای مدل سیستم نیاز دارند. معمولاً برای سیستم های عملی مدل دقیق سیستم ها در دسترس نیست، بنابراین طراحی مقاوم برای رؤیتگرهای تشخیص خطا مهم است [۲۰].



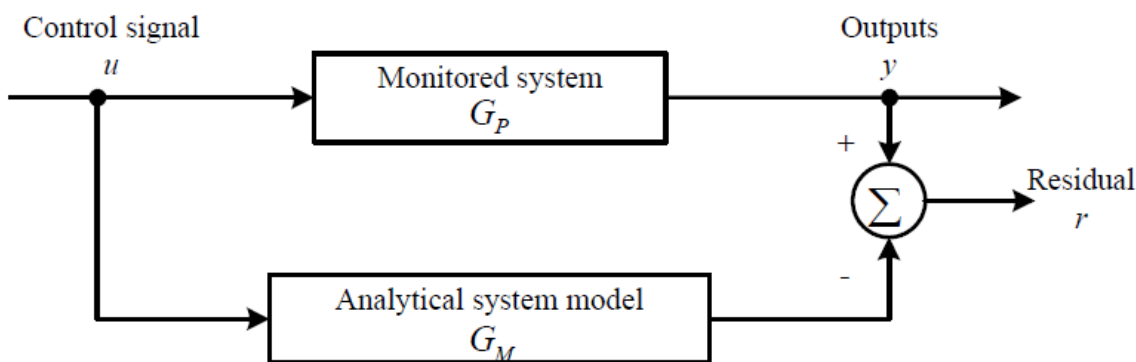
شکل ۲-۹- رؤیتگر تشخیص خطا [۲۰]

۲. روش معادلات برابری

روش معادلات برابری یک روش ساده و مستقیم برای تولید سیگنال باقیمانده است [۵،۲۱]. مطابق شکل (۲-۱۰) اساس کار این روش استفاده از تابع تبدیل سیستم می باشد. G_P سیستم مانیتور شده را ارائه می کند، و G_M مدل تحلیلی سیستم است. باقیمانده r بر اساس معادلات برابری به صورت ریاضیاتی در (۲-۲) نمایش داده شده است. در رابطه (۲-۲)، u ورودی کنترل سیستم است.

$$r = (G_P - G_M) \quad (۲-۲)$$

در حالیکه از لحاظ محاسباتی کارآمدترین و ساده ترین روش برای پیاده سازی است، روش مبتنی بر معادلات برابری فرض می کند که پارامترهای مدل، شناخته شده و ثابت هستند. بنابراین باقیمانده های مبتنی بر این روش به دلیل عدم قطعیت های سیستم در معرض عدم صحت مدل هستند. برای غلبه بر مشکل مدل های نادقیق، معادلات برابری مقاوم در میانه دهه هشتاد معرفی شدند [۲۰].



شکل ۲-۱۰- تولید باقیمانده مبتنی بر معادلات برابری [۲۰]

در [۵] آیزرمن بیان کرده که روش معادلات برابری برای تشخیص و جداسازی خطاهای جمع شونده مناسب است. از آنجاییکه هر باقیمانده فقط توسط یک خروجی تحت تاثیر قرار می گیرد، این روش به طور خاص برای تشخیص خطاهای حسگر مناسب است [۲۱].

۳. روش تخمین پارامتر

به طور کلی تخمین پارامتر را می توان به عنوان روشی برای تعیین پارامترهای یک سیستم که دقیقاً شناخته شده نیستند، بکار برد. این روش به طور خاص برای تشخیص خطاهای ضرب شونده مناسب است [۵]. الگوریتم تشخیص خطا بر مبنای انحراف مقادیر پارامترها از مقدار نامی آن ها شکل می - گیرد. این روش از مدل تابع تبدیل سیستم برای تشخیص خطا استفاده می کند.

$$P(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + b_m s^m}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_n s^n} \quad (3-2)$$

در (۳-۲) پارامترهای فرآیند، a_i و b_i ، تخمین زده می شوند.

خروجی سیستم به صورت زیر می باشد:

$$y(t) = -a_1 \dot{y}(t) - a_2 \ddot{y}(t) - \dots + b_0 u(t) + b_1 \dot{u}(t) + \dots = \Psi^T(t) \theta \quad (4-2)$$

θ بردار پارامترها است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\theta^T = [a_1 \ a_2 \ \dots \ b_0 \ b_1 \ \dots] \quad (5-2)$$

$\Psi^T(t)$ بردار داده ها است که به صورت زیر تعریف می شود:

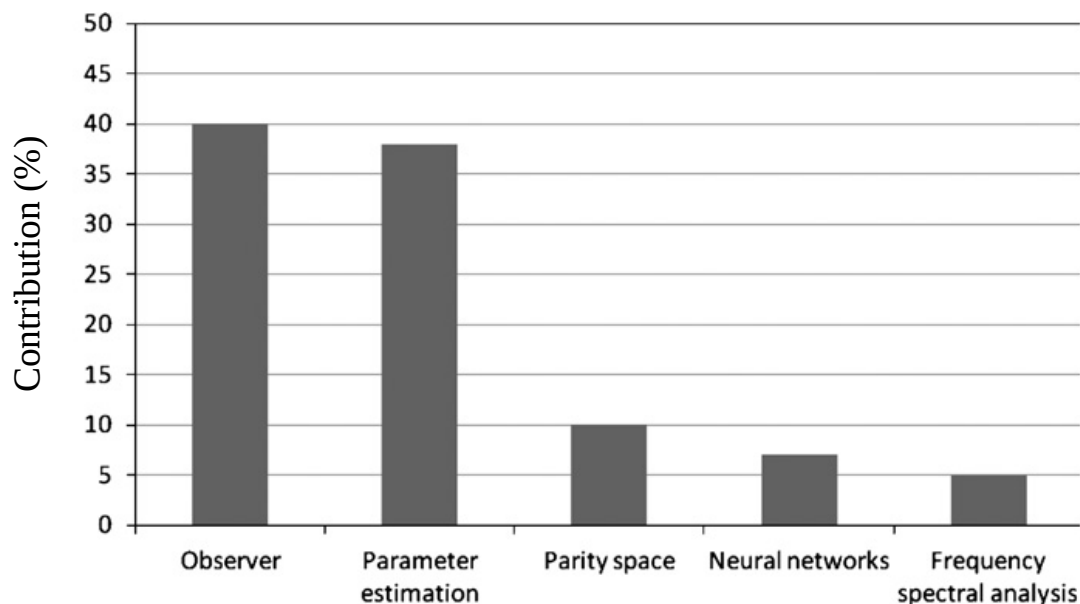
$$\Psi^T(t) = [-\dot{y}(t) - \ddot{y}(t) \ \dots \ u(t) \ \dot{u}(t) \ \dots] \quad (6-2)$$

اگر از روش حداقل مربعات برای مینیمم کردن خطای تخمین پارامتر استفاده شود، رابطه زیر حاصل می شود [۲۱]:

$$\hat{\theta} = (\Psi^T \Psi)^{-1} \Psi^T y \quad (7-2)$$

پارامترهای متعددی در یک فرآیند موجودند که در مجموع تشکیل یک بردار پارامتر را می دهند. هر پارامتر در این بردار، سیگنال باقیمانده مربوط به خود را دارا است که از تفاضل مقدار پارامتر در مدل با مقدار پارامتر تخمین زده شده، بر اساس مقادیر ورودی و خروجی بدست می آید.

در ۱۹۹۷، آیزرمن و باله^۱ مقاله ای منتشر کردند که در آن روند طرح های FDI مبتنی بر مدل مطرح شده است [۳]، در شکل (۲-۱۱) روند روش های FDI نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۱-روند روش های FDI [۳]

۲-۶ مسأله مقاوم بودن سیستم FDI

در روش FDI مبتنی بر مدل، داشتن یک مدل دقیق از سیستم تحت نظارت حیاتی است. مدلی با دقت بالا تشخیص صحیح خطا را افزایش می دهد [۱۸]. مشکل اصلی در بحث مقاوم بودن یک سیستم FDI ناشی از عدم قطعیت ها در پارامتر های فیزیکی دستگاه تحت نظارت است. در بسیاری از موارد حتی اگر مدل ریاضی هم دقیق باشد مقادیر برخی پارامترها فقط به طور تقریبی در دسترس هستند. دستگاه های دینامیکی همواره در معرض ورودی های ناخواسته هستند که به عنوان اغتشاشات شناخته می شوند. این ورودی ها معمولاً به صورت توابعی تصادفی هستند که از محیط اطراف دستگاه نشأت می گیرند. حسگرها نیز در معرض نویز هستند، که بر سیگنال خروجی آن ها تأثیر می گذارد.

¹Balle

در نتیجه در شرایط بدون خطا باقیمانده مخالف صفر است، و امکان ایجاد هشدارهای اشتباه وجود دارد. در هر نوع طراحی، سیستم تشخیص خطا باید نسبت به عدم قطعیت پارامتری، نویز و اغتشاش مقاوم باشد، یعنی اثر موارد ذکر شده روی باقیمانده در مقایسه با خطا کم باشد.

فصل ۳ :

ساختار رؤیتگرهای تشخیص خطا

۳-۱ مقدمه

یکی از روش‌هایی که به طور گسترده برای تولید باقی مانده استفاده می‌شود، روش‌های افزونگی تحلیلی مبتنی بر رؤیتگر است، که در فرآیند‌های عملی با موفقیت بکار برده شده‌اند [۸]. مشکل رایج روش‌های مبتنی بر رؤیتگر، وابستگی آن‌ها به مدل دقیق سیستم می‌باشد [۸، ۱۱]. و بیشتر اوقات یک مدل دقیق از سیستم دینامیکی در دسترس نیست. رؤیتگر حالت افزوده (ESO)^۱ در مقایسه با رؤیتگرهای متداول نیاز به مدل دقیق سیستم را تا حدود زیادی از بین می‌برد [۸]. استقلال از مدل، طراحی ساده و آسان، تخمین مؤثر و مقاوم بودن از ویژگی‌های رؤیتگر حالت افزوده است.

در ادامه ابتدا ساختار رؤیتگر لیونبرگر و سپس ساختار رؤیتگر حالت افزوده معرفی می‌شود.

۳-۲ رؤیتگر لیونبرگر^۲

یک سیستم خطی تغییرناپذیر با زمان را به صورت زیر در نظر بگیرید:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx \end{cases} \quad (۳-۱)$$

به طوریکه $x \in R^n$ ، $u \in R^r$ و $y \in R^m$ به ترتیب بردارهای حالت، ورودی و خروجی سیستم می‌باشند. A ، B و C ماتریس‌های مدل فضای حالت سیستم هستند. فرض می‌شود که سیستم رؤیت پذیر باشد. در بسیاری از کاربردهای واقعی، اندازه‌گیری تمام متغیرهای حالت امکان پذیر و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. برای مثال، در برخی شرایط ممکن است که به علت نویز فراوان محیط، اندازه‌گیری تمام و یا برخی از متغیرهای حالت میسر نباشد. لذا در این موارد با معلوم بودن ساختار و پارامترهای مدل سیستم از یک رؤیتگر حالت استفاده می‌شود.

^۱Extended State Observer

^۲Lunberger Observer

برای سیستم (۳-۱) معادله رؤیتگر به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \quad (۳-۲)$$

$L \in R^{n \times m}$ ماتریس بهره رؤیتگر است. با تعریف خطای تخمین به صورت $e = x - \hat{x}$ ، معادله دینامیکی خطا به صورت زیر نوشته می شود:

$$\dot{e} = (A - LC)e \quad (۳-۳)$$

برای اینکه خطای تخمین به سمت صفر میل کند باید مقدار L را طوری انتخاب کرد که تمامی مقادیر ویژه ماتریس $(A - LC)$ سمت چپ محور موهومی بیافتد [۲۲].

در ادامه برای مواجه شدن با پیامدهای واقعی مانند اغتشاش و نامعینی، تکنیک رؤیتگر حالت افزوده معرفی می شود.

۳-۳ رؤیتگر حالت افزوده

تکنیک رؤیتگر حالت افزوده ابتدا توسط پروفیسور هان مطرح شد. در آغاز، طراحی ESO به علت لزوم تنظیم چندین پارامتر، پیچیده و زمان بر بود. جائو^۱ [۲۳] تکنیک ESO را با کاهش تعداد پارامترهای تنظیم به یک پارامتر، بهبود داد و باعث شد این روش کاربردی تر شود. رؤیتگر حالت افزوده در زمینه های زیادی به ویژه در زمینه کنترل رد اغتشاش بکار برده شده است. تشخیص خطای مبتنی بر ESO به دانش اندکی از مدل سیستم نیاز دارد، مانند مرتبه سیستم.

یک سیستم دینامیکی را در نظر بگیرید، که به صورت زیر توصیف شده است:

$$y^{(n)} = f(y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)}, w(t)) + bu(t) \quad (۴-۳)$$

¹Gao

n مرتبه سیستم، y خروجی سیستم، u ورودی کنترل، $w(t)$ اغتشاش خارجی نامعلوم، $f(\cdot)$ دینامیک-های سیستم و b یک مقدار ثابت است. در تمام سیستم های فیزیکی f و b کراندار هستند [۱۱].

فرم فضای حالت معادله (۳-۴) به صورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_n = f(x_1, \dots, x_n, w) + bu(t) \\ y = x_1 \end{cases} \quad (۳-۵)$$

ایده اصلی ESO، گسترش مدل فضای حالت معادله (۳-۴) می باشد، بدین صورت که f ، یک حالت افزوده معادله در نظر گرفته می شود، $x_{n+1} = f$ در نتیجه فرم فضای حالت جدید به صورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_n = x_{n+1} + bu(t) \\ \dot{x}_{n+1} = h(t) = \dot{f}(x_1, \dots, x_n, w) \\ y = x_1 \end{cases} \quad (۳-۶)$$

فرض شده که h و f نامعلوم هستند. ساختار رؤیتگر حالت افزوده خطی برای معادله (۳-۴) به صورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 + \beta_1 e \\ \vdots \\ \dot{z}_n = z_{n+1}(t) + bu(t) + \beta_n e \\ \dot{z}_{n+1} = \beta_{n+1} e \\ e = y - z_1 \end{cases} \quad (۳-۷)$$

z_{n+1} تخمین حالت اضافه شده ی f است. $z_1, z_2, \dots, z_n$ حالت های تخمین زده شده و $\beta_1, \dots, \beta_{n+1}$

بهره های رؤیتگر هستند. $e = y - z_1$ خطای ردیابی رؤیتگر می باشد.

برای بدست آوردن بهره های رؤیتگر حالت افزوده خطی، $\beta_1, \dots, \beta_{n+1}$ می توان از روش جاییابی قطب استفاده کرد. مانند رابطه زیر:

$$(s + \omega_0)^{n+1} = s^{n+1} + \beta_1 s^n + \dots + \beta_{n+1} \quad (۸-۳)$$

ω_0 به عنوان پهنای باند رؤیتگر^۱ شناخته شده است، و تنها پارامتری است که برای طراحی رؤیتگر تنظیم می شود.

ساختار رؤیتگر حالت افزوده غیرخطی برای معادله (۳-۴) به صورت زیر می باشد [۱۲]:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 + \beta_1 g_1(e, a, \delta) \\ \vdots \\ \dot{z}_n = z_{n+1}(t) + bu(t) + \beta_n g_n(e, a, \delta) \\ \dot{z}_{n+1} = \beta_{n+1} g_{n+1}(e, a, \delta) \\ e = y - z_1 \end{cases} \quad (۹-۳)$$

تابع $g_i(\cdot)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$g_i(e, a, \delta) = \begin{cases} |e|^a \text{sign}(e) & |e| > \delta \\ \frac{e}{\delta^{1-a}} & |e| \leq \delta \end{cases} \quad (۱۰-۳)$$

معادله (۱۰-۳) یک تابع بهره غیرخطی است که سرعت همگرایی حالت های رؤیتگر را افزایش می دهد؛ هنگامی که خطای ردیابی کم است، بهره بالا و هنگامی که خطای ردیابی زیاد است، بهره کم تولید می - کند [۱۲]. $\delta > 0$ و a بین صفر و یک انتخاب می شود.

با انتخاب درست پارامترهای رؤیتگر داریم:

$$\begin{cases} z_i(t) \rightarrow x_i(t) & (i = 1, \dots, n+1) \\ t \rightarrow \infty \end{cases} \quad (۱۱-۳)$$

^۱Observer bandwidth

برای تعیین بهره های رؤیتگر حالت افزوده غیرخطی نیز می توان از روش جایابی قطب استفاده کرد.

۳-۴ تحلیل پایداری

با در نظر گرفتن $e_i = x_i - z_i$ معادله خطا به صورت زیر بدست می آید:

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = e_2 - \beta_1 e_1 \\ \vdots \\ \dot{e}_n = e_{n+1} - \beta_n e_1 \\ \dot{e}_{n+1} = -\beta_{n+1} e_1 + h \end{cases} \quad (۱۲-۳)$$

به طوریکه:

$$\dot{e} = A_e e + B h \quad (۱۳-۳)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = [1 \quad \cdots \quad 0 \quad 0], L = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \\ \beta_{n+1} \end{bmatrix}$$

$$A_e = A - LC = \begin{bmatrix} -\beta_1 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \ddots & \\ -\beta_n & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ -\beta_{n+1} & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

رؤیتگر حالت افزوده خطی، پایدار ورودی کراندار-خروجی کراندار است، اگر ریشه های معادله مشخصه

A_e :

$$\lambda(s) = s^{n+1} + \beta_1 s^n + \cdots + \beta_{n+1} \quad (۱۴-۳)$$

در سمت چپ محور موهومی قرار گیرند و h کراندار باشد.

۳-۵ کاربرد فازی در طراحی رؤیتگر حالت افزوده

با طراحی صحیح پارامترهای رؤیتگر حالت افزوده می توان دقت تخمین و سرعت همگرایی رؤیتگر را افزایش داد. در این پایان نامه، برای نیل به این هدف از منطق فازی برای بدست آوردن پهنای باند رؤیتگر استفاده می کنیم. ابتدا به معرفی کلی منطق فازی می پردازیم.

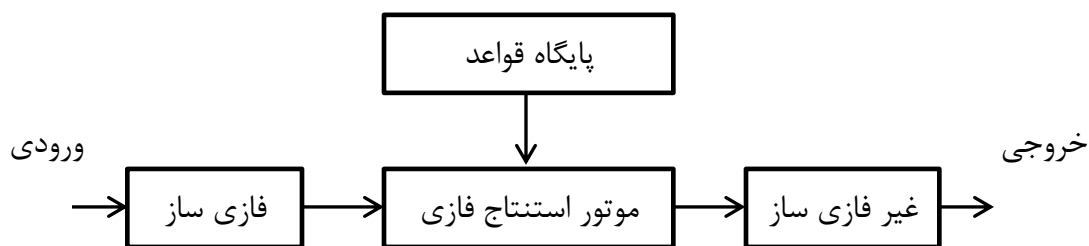
۳-۶ منطق فازی

نظریه فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی زاده ارائه گشت. سیستم های کنترل فازی در محدوده وسیعی هم چون مهندسی کنترل، پردازش اطلاعات، پزشکی، صنعت موتور و ربات کاربرد دارند. استفاده از این نظریه جهت سیستم هایی که به نوعی دچار تغییرات و عدم قطعیت می باشند کاربرد فراوانی پیدا کرده است.

ساختار یک سیستم استنتاج فازی از بلوک های اصلی زیر تشکیل شده است:

۱. پایگاه قواعد: شامل تعدادی قاعده فازی می باشد.
۲. پایگاه داده: توابع عضویت مجموعه های فازی را که در قواعد فازی استفاده شده است، مشخص می کند.
۳. موتور استنتاج: عملیات استنتاج را بر اساس قواعد انجام می دهد.
۴. فازی ساز: ورودی های غیر فازی را به مقادیر فازی تبدیل می کند.
۵. غیرفازی ساز: نتایج استنتاج فازی را به خروجی غیر فازی تبدیل می کند.

ساختار کلی سیستم فازی در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- فرآیند بکارگیری الگوریتم فازی

- مجموعه های فازی

مجموعه های فازی به وسیله یک تابع عضویت که مقادیری در بازه $[0,1]$ اختیار می کند، مشخص می شوند. نحوه نمایش یک مجموعه فازی در فضای جهانی u به صورت زیر است:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in u\}$$

به طوریکه $\mu_A(x)$ تابع عضویت نامیده می شود.

- توابع عضویت

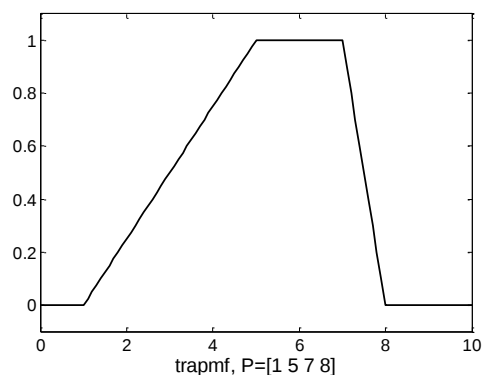
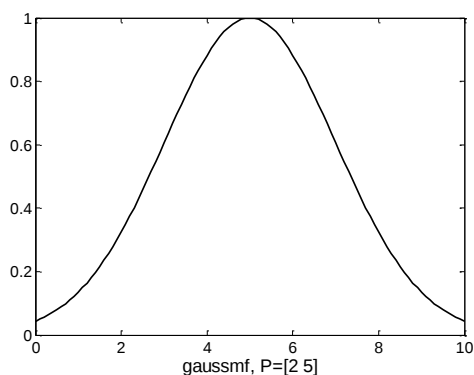
تابع عضویت یک منحنی است که چگونگی نگاشت فضای ورودی را به بازه $[0,1]$ مشخص می کند. مقدار $\mu_A(x)$ بیانگر مقدار عضویت یا درجه عضویت x در مجموعه مرجع است که مقدار عضویت نیز بیانگر درجه تعلق x به مجموعه فازی A می باشد.

$$\mu_A(x) : x \rightarrow [0,1]$$

چندین نوع تابع عضویت وجود دارد. مانند تابع عضویت های گوسی^۱، دوزنقه ای^۲ و ...، برای نمونه تابع عضویت های گوسی و دوزنقه ای در شکل (۳-۲) نشان داده شده اند.

^۱Gaussian

^۲Trapezoidal



شکل ۳-۲-توابع عضویت دوزنقه ای و گوسی

• عملگرهای فازی

عملگرهای فازی، عملگرهایی روی مجموعه های فازی هستند. عملگرهای اساسی به صورت زیر هستند:

عملگر مکمل که معادل عملگر منطقی NOT است.

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (۱۵-۳)$$

عملگر اجتماع که معادل عملگر منطقی OR است.

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (۱۶-۳)$$

عملگر اشتراک که معادل عملگر منطقی AND است.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (۱۷-۳)$$

• قوانین اگر-آنگاه فازی

به طور کلی قانون فازی به فرم زیر نوشته می شود:

if x is A then y is B

به طوریکه A و B ترم های زبانی هستند که توسط مجموعه های فازی روی دامنه x و y مشخص شده اند.

قسمت "*x is A*" مقدم یا فرض نامیده می شود، درحالیکه قسمت "*y is B*" نتیجه یا تالی نامیده

می شود.

۷-۳ مدل فازی سوگینو

این مدل فازی که هم چنین به نام مدل فازی TSK شناخته می شود، توسط تاکاگی^۱، سوگینو^۲ و کانگ^۳ در تلاش برای دست یافتن به روشی سیستماتیک برای بدست آوردن قوانین فازی از یک مجموعه اطلاعات ورودی-خروجی معرفی گردید. برای نمونه یک قانون فازی در مدل فازی سوگینو به ترتیب زیر بیان می شود:

if x is A then $y = f(x)$

A مجموعه فازی در مقدم و $y = f(x)$ یک تابع غیر فازی در تالی جمله شرطی فوق می باشند. معمولاً $y = f(x)$ یک چند جمله ای از متغیر ورودی x است.

اگر $y = f(x)$ یک چند جمله ای درجه اول باشد، سیستم استنتاج فازی را مدل فازی درجه اول سوگینو می نامند و وقتی $y = f(x)$ یک مقدار ثابت داشته باشد، مدل فازی درجه صفر سوگینو نامیده می شود. چون هر قانون یک خروجی غیر فازی دارد، خروجی ها توسط یک متوسط وزنی بدست می آید و بنابراین از غیر فازی کردن که وقت گیر است، جلوگیری می شود [۲۴].

۸-۳ طراحی الگوریتم فازی

هدف اصلی در استفاده از منطق فازی برای رؤیتگر حالت افزوده، انتخاب پارامتر ω_0 به گونه ای است که سرعت همگرایی و دقت تخمین رؤیتگر افزایش یابد. در الگوریتم طراحی شده، ورودی سیستم فازی ترکیب سیگنال باقیمانده و انتگرال آن است و خروجی پارامتر ω_0 است.

¹Takagi
²Sugeno
³Kang

در این پایان نامه از سیستم دینامیک جانبی خودرو و سیستم دو تانک به عنوان نمونه های شبیه سازی استفاده شده است. چگونگی طراحی سیستم فازی برای هر دو سیستم در ادامه شرح داده شده است.

در طراحی این الگوریتم برای سیستم دینامیک جانبی خودرو، برای هر ورودی پنج گروه فازی و برای هر خروجی سه گروه فازی اختصاص دادیم. در این کار از توابع عضویت گوسی برای متغیر ورودی استفاده می کنیم، که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mu_{A^l(input)} = \exp \left[- \left(\frac{input - C^l}{2\sigma^l} \right)^2 \right] \quad (18-3)$$

C^l مرکز گروه های عضویت و $2\sigma^l$ پهنای گروه های عضویت می باشد. شکل توابع عضویت اختصاص داده شده به ورودی های سیستم فازی در شکل (3-3) نشان داده شده است.

سیستم فازی از مجموع قوانین فازی به صورت زیر تشکیل شده است:

Rule 1: If input is PL then output is L

Rule 2: If input is PS then output is M

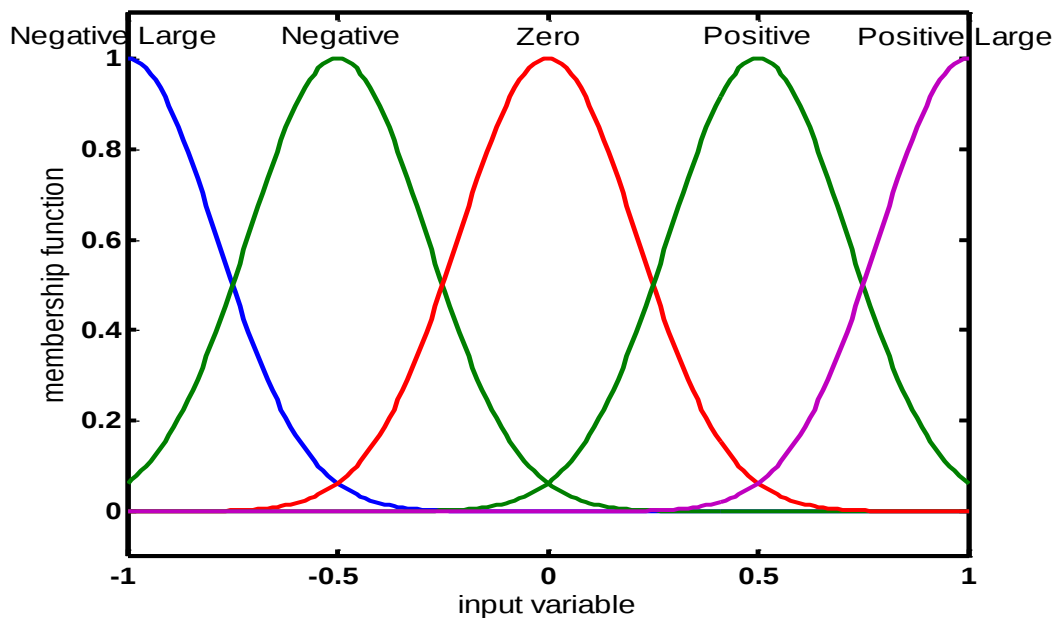
Rule 3: If input is Z then output is S

Rule 4: If input is NS then output is M

Rule 5: If input is NL then output is L

به طور مشخص، با استفاده از مدل استنتاج فازی ممدانی، فازی ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز داریم:

$$\omega_0 = \frac{\sum_{l=1}^m \bar{\omega}_0^l \mu_{A^l(input)}}{\sum_{l=1}^m \mu_{A^l(input)}} \quad l = 1, \dots, m; \quad m = 5 \quad (19-3)$$



شکل ۳-۳- توابع عضویت ورودی های سیستم فازی برای سیستم دینامیک جانبی خودرو

برای خروجی از توابع عضویت گوسی و زیگموئید استفاده می کنیم. از آنجا که غیرفازی سازی به صورت میانگین گیری از مراکز است، تنها مراکز گروه های خروجی را می آوریم. در بازه [0 100] مراکز گروه های عضویت خروجی بدین صورت می باشند:

جدول ۳-۱- مراکز گروه های عضویت خروجی برای سیستم دینامیک جانبی خودرو

گروه فازی خروجی	Large	Medium	Small
مرکز	58.36	9	1.07

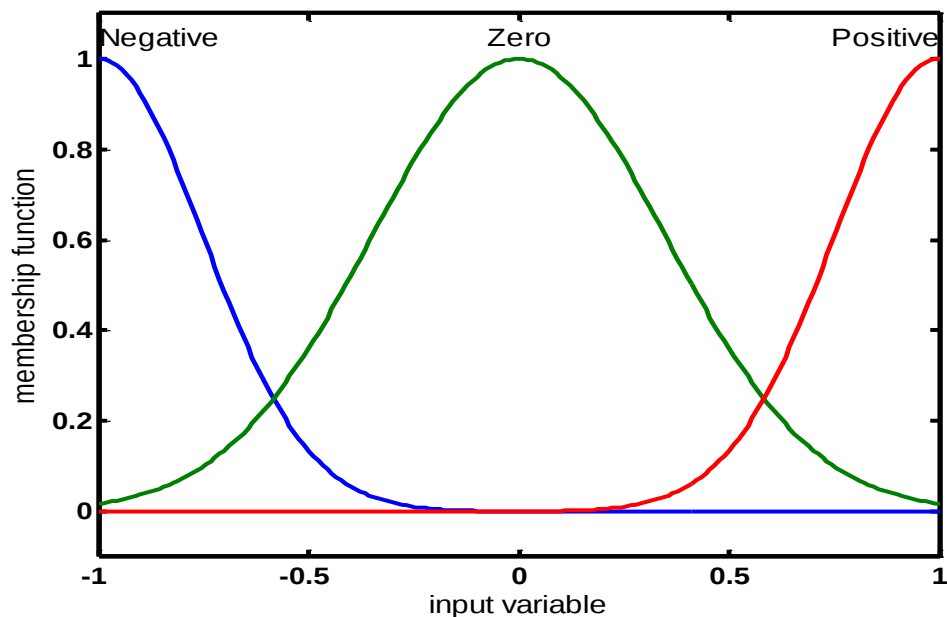
در طراحی این الگوریتم برای سیستم غیرخطی دو تانک، برای هر ورودی سه گروه فازی و برای هر خروجی دو گروه فازی اختصاص دادیم. شکل توابع عضویت اختصاص داده شده به ورودی های سیستم فازی در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.

سیستم فازی از مجموع قوانین فازی به صورت زیر تشکیل شده است:

Rule 1: If input is L then output is L

Rule 2: If input is Z then output is S

Rule 3: If input is N then output is L



شکل ۳-۴- توابع عضویت ورودی های سیستم فازی برای سیستم غیرخطی دو تانک

برای خروجی از توابع عضویت دوزنقه ای استفاده کردیم. مراکز گروه های عضویت خروجی در بازه [0 50]

بدین صورت می باشند:

جدول ۳-۲- مراکز گروه های عضویت خروجی برای سیستم دو تانک

گروه فازی خروجی	Large	Small
مرکز	27.9778	2.2

حال سیستم های فازی طراحی شده برای سیستم دینامیک جانبی خودرو و سیستم دو تانک را در

ساختار رژیتر استفاده و نتایج شبیه سازی را در فصول بعدی بررسی می کنیم.

فصل ۴ :

مقایسه عملکرد رؤیتگرهای تشخیص خطا

در این فصل عملکرد رؤیتگر لیونبرگر، رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر حالت افزوده ترکیب شده با منطق فازی را در امر تولید باقیمانده مقاوم، بررسی می کنیم. در قالب یک نمونه شبیه سازی، مقایسه عملکرد رؤیتگرها روی سیستم دینامیک جانبی خودرو نشان داده می شود. ابتدا به معرفی دینامیک جانبی خودرو می پردازیم.

۴-۱ دینامیک جانبی خودرو

دینامیک جانبی خودرو فاکتور بسیار مهمی در قابلیت هدایت، پایداری و امنیت رانندگی در خودرو می باشد. با گسترش تکنیک های رایانه ای و الکترونیکی و کاربرد آن ها در سیستم خودرو، سیستم های کنترل دینامیک جانبی خودرو گسترش یافته اند و در موارد بسیاری خودروها به این تجهیزات مجهز شده اند، مانند برنامه الکترونیکی پایداری (ESP)^۱، سیستم ضد قفل ترمز (ABS)^۲ و این سیستم ها برای کمک به راننده در موقعیت های متفاوت رانندگی طراحی شده اند [۲۵].

تصمیم های اشتباه منجر به موقعیت های خطرناک می شود. بنابراین جلوگیری از تصمیم های اشتباه این سیستم ها که توسط حسگرها یا محرک های معیوب اتخاذ می شود، بسیار مهم است.

۴-۱-۱ مدل دینامیک جانبی خودرو

اکثر تحقیقات پیشین روی کنترل جانبی خودرو، بر مدل دوچرخه^۳ تکیه کرده اند. در این پایان نامه نیز سیستم تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر، برای مدل دوچرخه طراحی می شود. شکل (۴-۱) نشان دهنده مدل دوچرخه است. در مدل دوچرخه دو تایر هر محور قابل ترکیب به یک تایر در مرکز محور هستند.

^۱Electronic Stabilization Program

^۲Anti-lock Braking Syatem

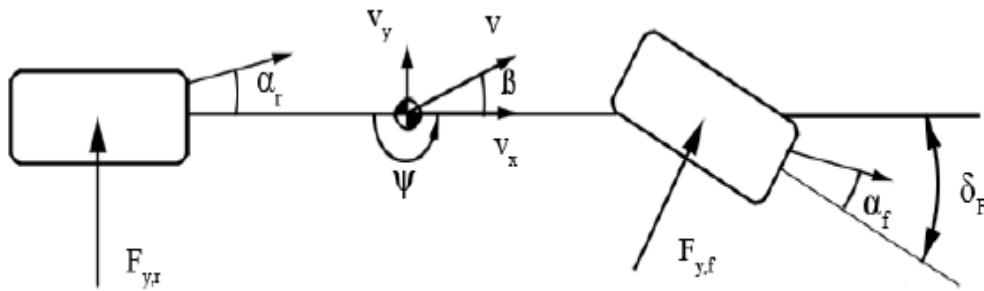
^۳Bicycle model

این مدل بر اساس فرض های زیر می باشد:

۱. جاده یکنواخت.

۲. شتاب طولی کم، $\dot{v}_x \approx 0$.

۳. بدون زاویه هدایت چرخ عقب.



شکل ۴-۱-مدل دوچرخه

مدل دینامیک جانبی خودرو دارای دو متغیر حالت v_y و ψ است. ψ سرعت زاویه ای^۱ و v_y سرعت جانبی^۲ را نمایش می دهند. زاویه هدایت، δ_F ، به عنوان ورودی سیستم می باشد. معادلات دینامیک جانبی خودرو به صورت زیر می باشند:

$$\begin{cases} m(\dot{v}_y + v_x\psi) = F_{yf}\cos\delta_F + F_{yr} \\ J\dot{\psi} = l_f F_{yf}\cos\delta_F - l_r F_{yr} \end{cases} \quad (۴-۱)$$

m جرم خودرو، J گشتاور چرخشی اینرسی، l_f و l_r به ترتیب فاصله از مرکز تا محور جلویی و عقبی خودرو می باشد. F_{yf} و F_{yr} به ترتیب نیروهای اعمالی روی تایرهای جلو و عقب خودرو هستند و به صورت

^۱Yaw rate

^۲Lateral velocity

زیر تعریف می شوند:

$$\begin{cases} F_{yf} = C_{\alpha f} \alpha_f \\ F_{yr} = C_{\alpha r} \alpha_r \end{cases} \quad (۲-۴)$$

$C_{\alpha f}$ و $C_{\alpha r}$ به ترتیب ضریب سختی چرخش چرخ های جلویی و عقبی هستند و مطابق با ضریب اصطکاک سطح جاده تغییر می کنند. α_f و α_r به ترتیب زاویه های انحراف چرخ های جلو و عقب خودرو را نمایش می دهند که به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\begin{cases} \alpha_f = \delta_F - \tan^{-1} \left(\frac{v_y + l_f \psi}{v_x} \right) \\ \alpha_r = \tan^{-1} \left(\frac{-v_y + l_r \psi}{v_x} \right) \end{cases} \quad (۳-۴)$$

مقادیر مربوط به پارامترهای دینامیک جانبی خودرو در جدول (۱-۴) آورده شده است [۲۶]:

جدول ۱-۴- پارامترهای دینامیک جانبی خودرو

$m=1850 \text{ kg}$	$J=3870 \text{ kg-m}^2$
$l_f=1.52931 \text{ m}$	$l_r=1.53069 \text{ m}$
$C_{\alpha f}=103600 \text{ N/rad}$	$C_{\alpha r}=179000 \text{ N/rad}$

۲-۴ تشخیص و جداسازی خطای حسگر

مسأله اصلی در تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر، تولید یک هشدار است هنگامی که یک وضعیت غیر عادی در سیستم تحت نظارت به وجود می آید و همچنین مشخص کردن بخش مرتبط با این وضعیت غیر عادی. به طور کلی تشخیص و جداسازی خطا به وسیله بانکی از رؤیتگرها قابل دستیابی است. بدین صورت که اگر سیستم تحت نظارت m حسگر داشته باشد از m رؤیتگر برای تشخیص خطای حسگر استفاده می کنیم. هر کدام از رؤیتگرها از تمام ورودی های سیستم استفاده می کنند ولی تنها از یک خروجی استفاده می کنند. به همین دلیل این نوع پیکر بندی را روش رؤیتگر اختصاصی (DOS)^۱ می نامند.

۳-۴ طراحی رؤیتگرهای تشخیص خطا

۱-۳-۴ رؤیتگر لیونبرگر

در این بخش ابتدا برای تشخیص و جداسازی خطا از دو رؤیتگر لیونبرگر استفاده می کنیم. بدین صورت که رؤیتگر اول مستقل از خطای حسگر دوم و رؤیتگر دوم مستقل از خطای حسگر اول می باشد. ماتریس بهره رؤیتگر اول L_1 ، و رؤیتگر دوم L_2 ، به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$L_1 = \begin{bmatrix} 27.0515 \\ 139.0361 \end{bmatrix} \quad L_2 = \begin{bmatrix} -6.5037 \\ 27.0515 \end{bmatrix}$$

۲-۳-۴ رؤیتگر حالت افزوده

برای تشخیص و جداسازی خطا توسط رؤیتگر حالت افزوده، ابتدا معادله (۴-۱) را به صورت زیر بازنویسی می کنیم:

¹Dedicated Observer Scheme

$$\begin{cases} \dot{\psi} = f_1(\delta, \psi, v_x, v_y) + \frac{l_f C_{af} \delta_F}{J} \\ \dot{v}_y = f_2(\delta, \psi, v_x, v_y) + \frac{C_{af} \delta_F}{m} \end{cases} \quad (۴-۴)$$

به طوریکه:

$$\begin{cases} f_1(\delta, \psi, v_x, v_y) = \frac{1}{Jv_x} (C_{ar} l_r - C_{af} l_f) v_y - \frac{1}{Jv_x} (C_{ar} l_r^2 + C_{af} l_f^2) \psi \\ f_2(\delta, \psi, v_x, v_y) = \frac{-1}{mv_x} (C_{af} + C_{ar}) v_y + \left(\frac{1}{mv_x} (C_{ar} l_r - C_{af} l_f) - v_x \right) \psi \end{cases} \quad (۵-۴)$$

خروجی سیستم $y(t)$ ، ورودی سیستم $u(t)$ و ثابت b_0 به صورت زیر هستند:

$$y(t) = \begin{bmatrix} \psi \\ v_y \end{bmatrix}, u(t) = \begin{bmatrix} \delta_F \\ \delta_F \end{bmatrix}, b_0 = \begin{bmatrix} \frac{l_f C_{af}}{J} \\ \frac{C_{af}}{m} \end{bmatrix}$$

بنابراین رؤینگر حالت افزوده غیرخطی برای هر یک از خروجی های سیستم دینامیک جانبی خودرو به

صورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{cases} \dot{z} = Az + Bu + Lg(e, a, \delta) \\ \hat{y} = Cz \end{cases} \quad (۶-۴)$$

به طوریکه:

$$z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0], L = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}, \beta_1 = 2\omega_0, \beta_2 = \omega_0^2$$

z_1 تخمین خروجی های سیستم و z_2 تخمین دینامیک های سیستم می باشد. تابع $g(e, a, \delta)$ به صورت

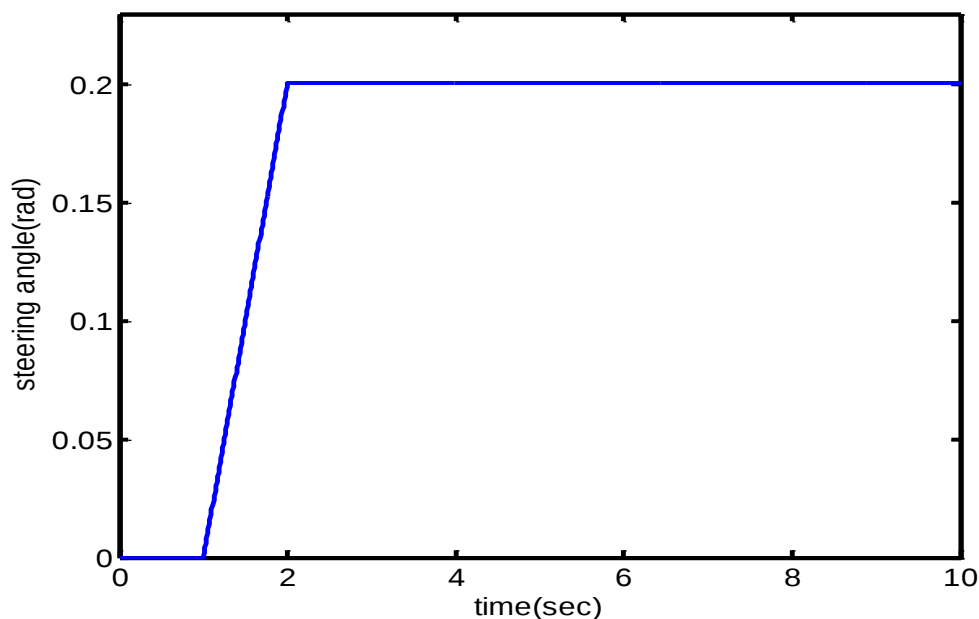
زیر تعریف می شود:

$$g(e, a, \delta) = \begin{cases} |e|^a \text{sign}(e) & |e| > \delta \\ \frac{e}{\delta^{1-a}} & |e| \leq \delta \end{cases} \quad (۷-۴)$$

برای طراحی رُیتگر حالت افزوده غیرخطی، پهنای باند رُیتگر و پارامترهای تابع غیرخطی به صورت زیر انتخاب شده اند:

$$\begin{cases} \omega_0 = 4.5 \\ a = 0.5, \delta = 0.01 \end{cases}$$

برای رُیتگر بهبود یافته پهنای باند رُیتگر، ω_0 ، توسط سیستم فازی طراحی شده در بخش (۳-۸) انتخاب می شود و تابع غیرخطی $g(\cdot)$ را استفاده نمی کنیم. در شبیه سازی ها $v_x = 25(\frac{m}{s})$ و زاویه هدایت را به شکل زیر در نظر گرفتیم:



شکل ۴-۲- زاویه هدایت

۴-۴ تشخیص خطای مقاوم حسگر

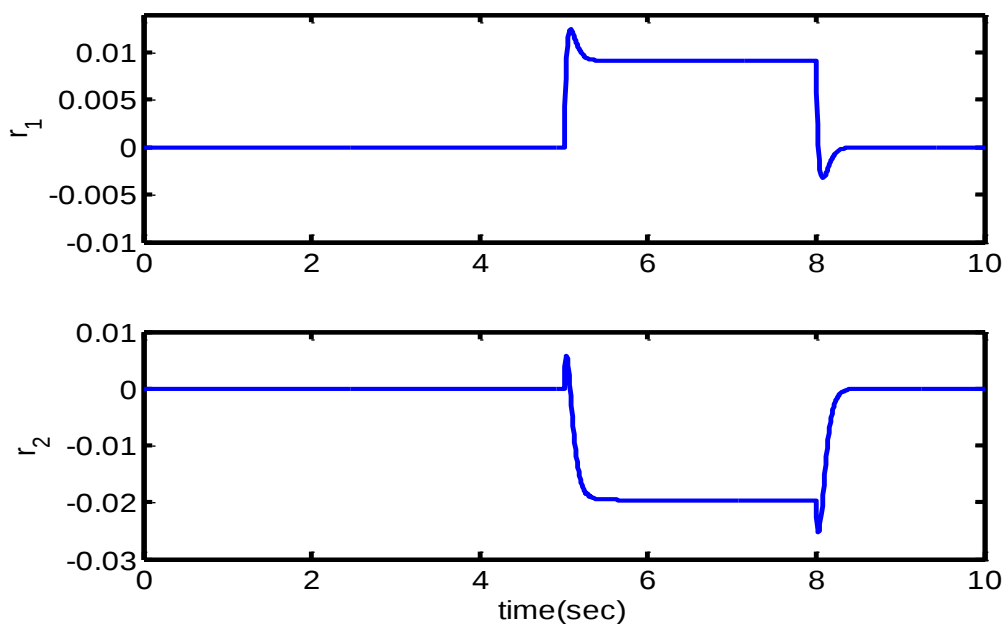
به رُیتگری، رُیتگر مقاوم گفته می شود که در عدم حضور خطا باقیمانده هایی با مقدار صفر یا نزدیک به صفر تولید نماید. در ابتدا باقیمانده ها را در حضور اغتشاش بررسی می کنیم. و در مرحله بعد نسبت به عدم قطعیت پارامتری به ارزیابی باقیمانده ها می پردازیم.

۴-۵ نتایج شبیه سازی

تمام شبیه سازی ها با زمان نمونه برداری $0.01(sec)$ انجام شده اند.

• رویتگر لیونبرگر

برای بررسی تأثیر اغتشاش بر روی سیگنال های باقیمانده، یک اغتشاش ثابت با دامنه 0.5 در فاصله زمانی $t = 5 - 8(sec)$ به سیستم اعمال می نماییم. شکل (۳-۴) تأثیر اغتشاش بر باقیمانده های تولید شده توسط رویتگر لیونبرگر را نشان می دهد.



شکل ۳-۴- تأثیر اغتشاش بر سیگنال های باقیمانده با روش رویتگر لیونبرگر

مشکل اصلی در بکارگیری تخمین حالت برای تشخیص خطا عدم قطعیت پارامترهای مدل و خطاهای ناشی از آن می باشد. این موضوع سبب می شود یک مصالحه اجتناب ناپذیر بین حساسیت سیستم تشخیص خطا و نرخ هشدار اشتباه صورت گیرد. برای بررسی تأثیر عدم قطعیت پارامترهای مدل بر روی

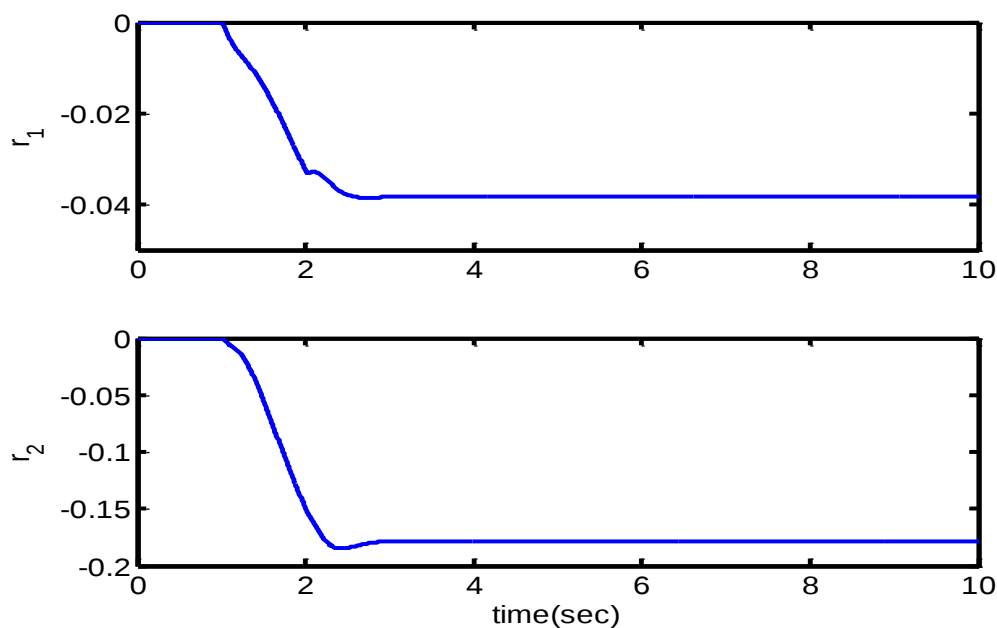
سیگنال های باقیمانده، مقادیر پارامترهای سیستم را تغییر می دهیم. تغییرات اعمال شده بر روی پارامترهای سیستم به صورت زیر می باشند:

$$c_{af(new)} = c_{af(nom)} - 25\%$$

$$c_{ar(new)} = c_{ar(nom)} - 25\%$$

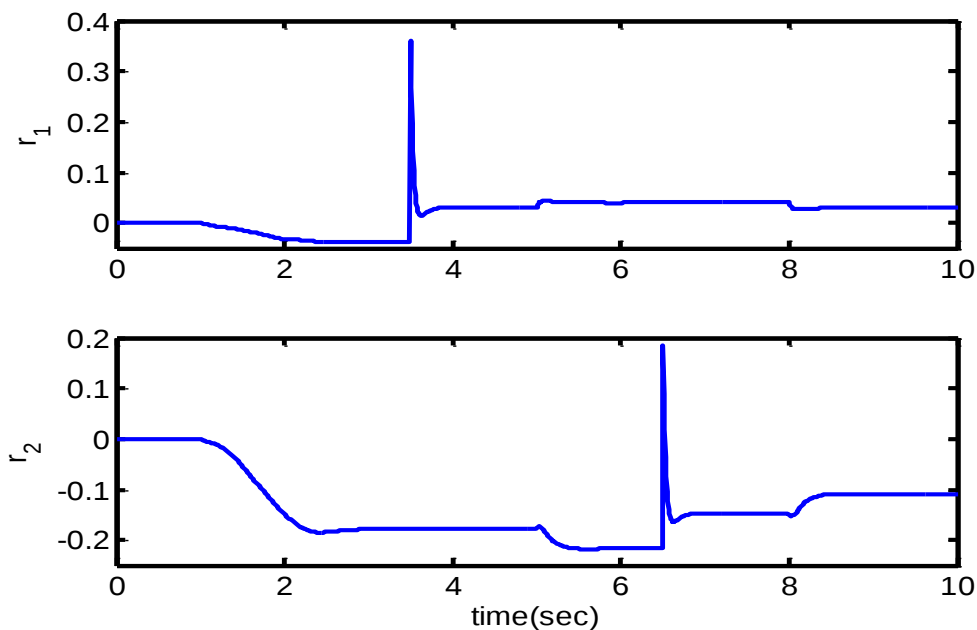
$$m_{(new)} = m_{(nom)} + 25\%$$

شکل (۴-۴) تأثیر عدم قطعیت پارامتری بر باقیمانده های تولید شده توسط رژیتر لیونبرگر را نشان می دهد.



شکل ۴-۴- تأثیر تغییرات پارامتری بر سیگنال های باقیمانده با روش رژیتر لیونبرگر

در نهایت یک خطای ناگهانی با دامنه 0.4 در زمان $t \geq 3.5(\text{sec})$ به حسگر سرعت زاویه ای و در زمان $t \geq 6.5(\text{sec})$ به حسگر سرعت جانبی اضافه نموده و شبیه سازی را تکرار می کنیم.

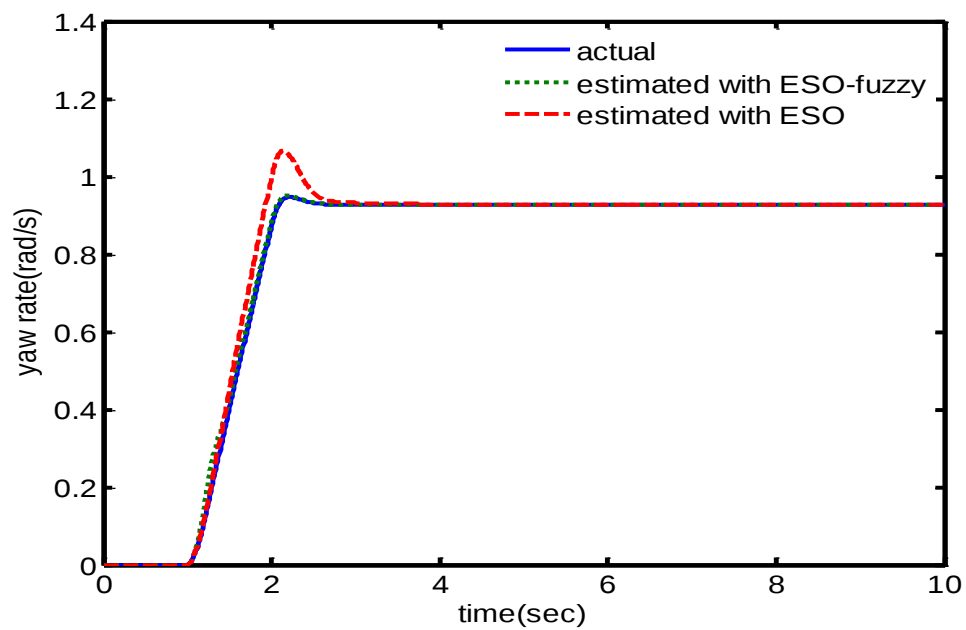


شکل ۴-۵- تأثیر خطای حسگر بر روی سیگنال های باقیمانده در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری

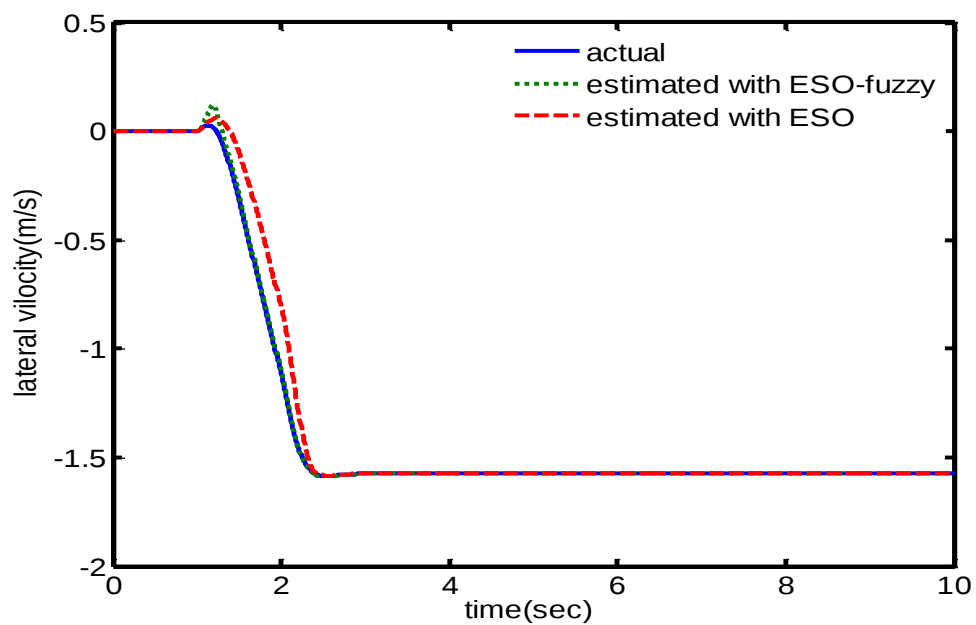
با توجه به شکل های (۳-۴)، (۴-۴) و (۵-۴) برای مواجهه با پیامدهایی همچون اغتشاش و عدم قطعیت پارامتری از رؤیتگر حالت افزوده استفاده می کنیم. زیرا رؤیتگر حالت افزوده در برابر اغتشاشات و نامعینی-ها عملکرد مطلوبی دارد.

• رؤیتگر حالت افزوده

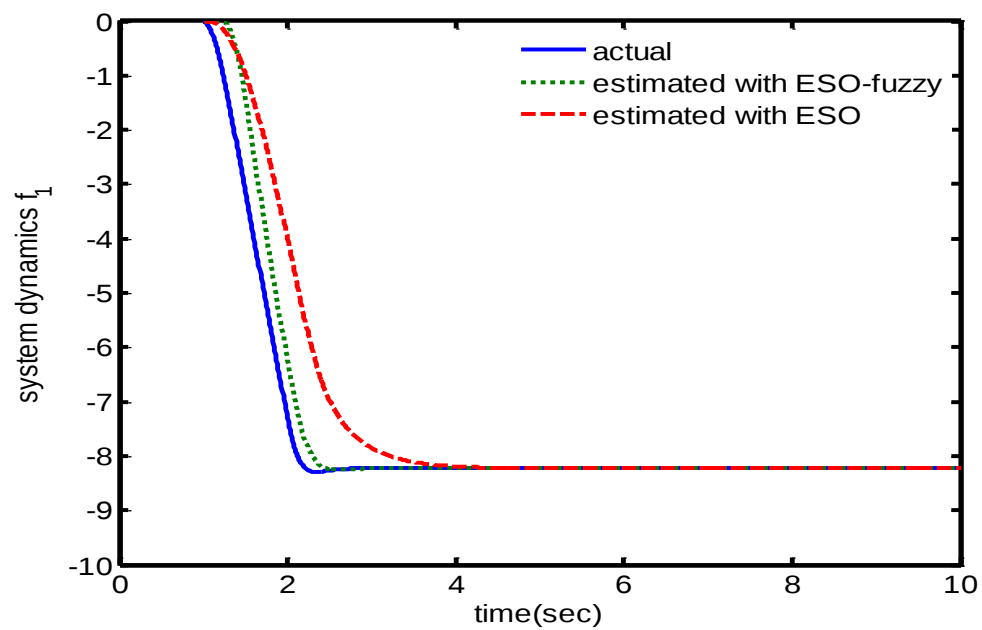
در این قسمت ابتدا برای نشان دادن تأثیر استفاده از منطق فازی در طراحی رؤیتگر، شبیه سازی ها در حالت تعادل سیستم انجام شده اند. شکل های (۶-۴)، (۷-۴)، (۸-۴) و (۹-۴) به ترتیب تخمین حالت ها و تخمین دینامیک های سیستم را نشان می دهند.



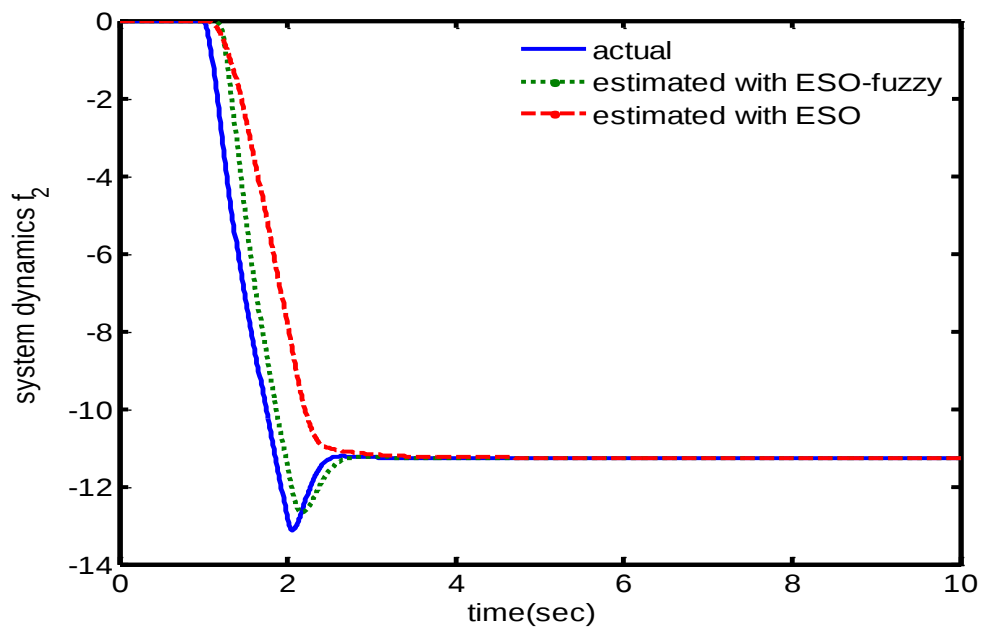
شکل ۴-۶- تخمین حالت سزعت زاویه ای



شکل ۴-۷- تخمین حالت سرعت جانبی

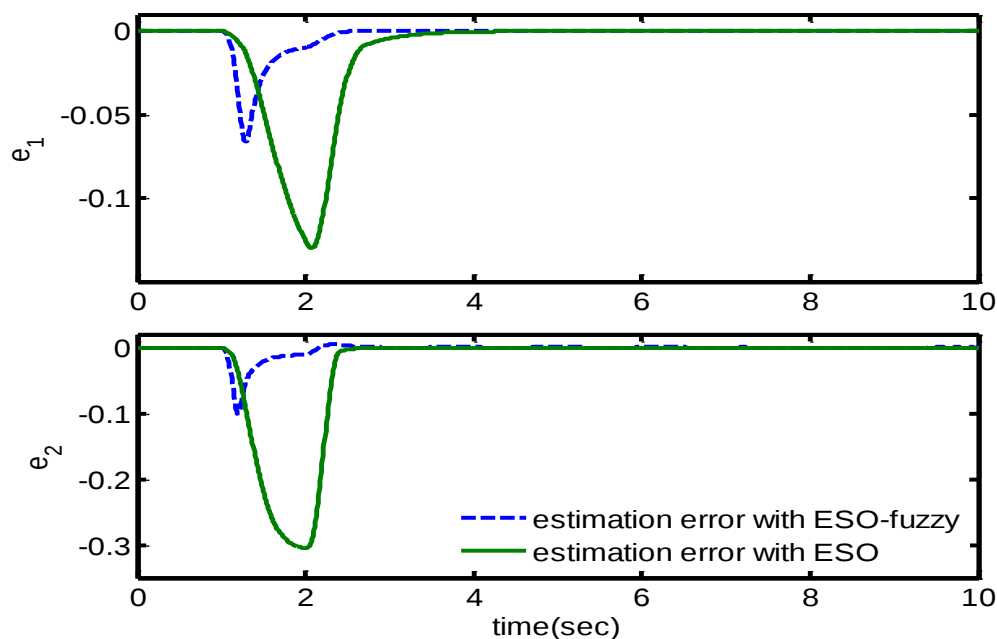


شکل ۴-۸- تخمین دینامیک های سیستم f_1



شکل ۴-۹- تخمین دینامیک های سیستم f_2

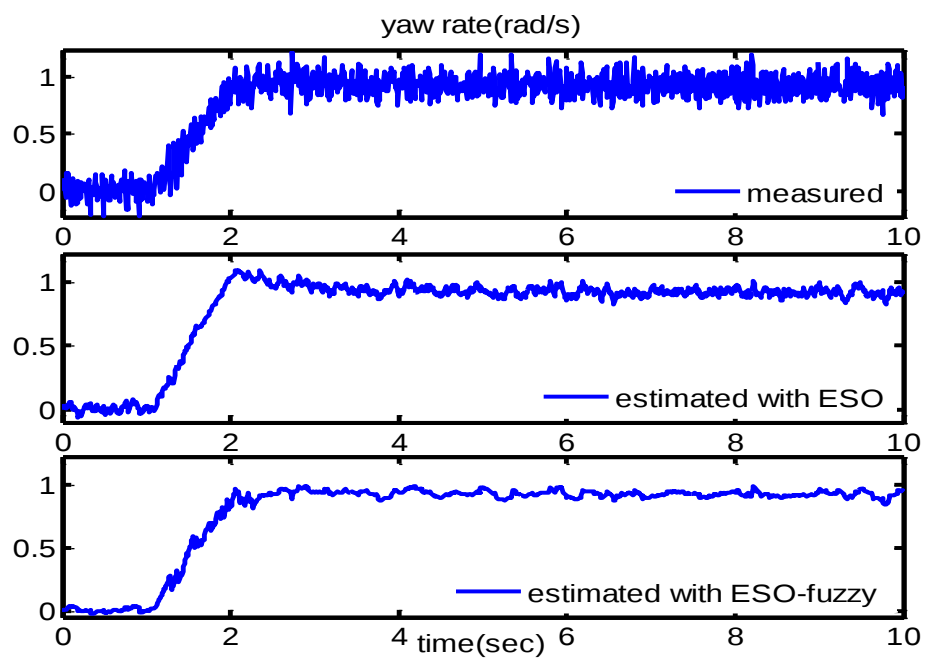
از شکل های (۴-۶)، (۴-۷)، (۴-۸) و (۴-۹) مشاهده می شود علاوه بر همگرا شدن سریع متغیرهای حالت تخمین زده شده به متغیرهای حالت واقعی، دینامیک های سیستم تخمین زده شده با سرعت خوبی به دینامیک های سیستم واقعی همگرا می شوند.



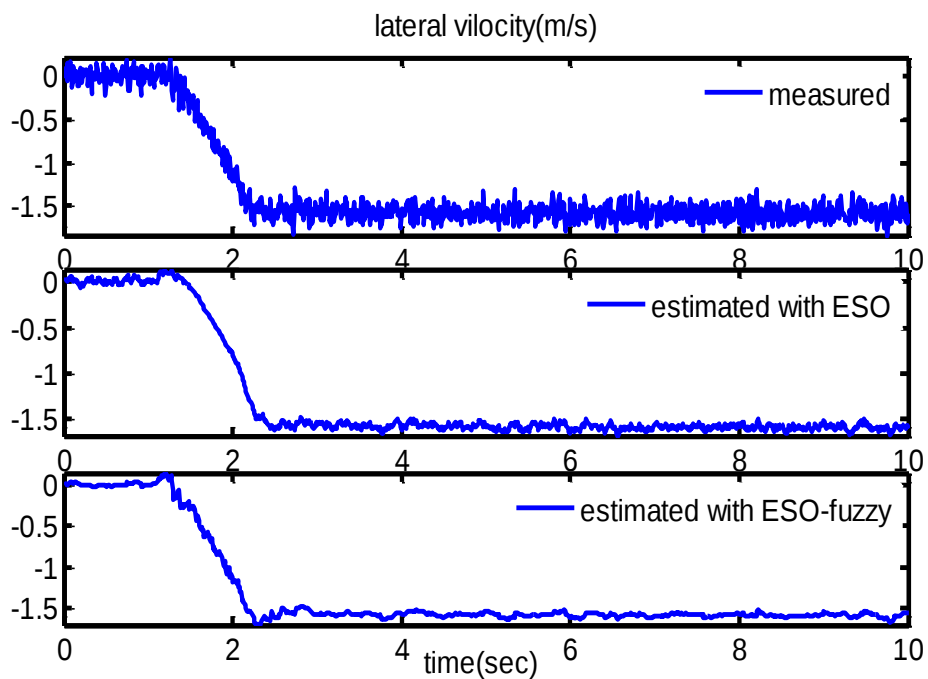
شکل ۴-۱۰- خطای ردیابی

با توجه به شکل (۴-۱۰) می توان نتیجه گرفت که با کاربرد منطق فازی در طراحی رؤیتگر حالت افزوده سرعت همگرایی آن افزایش می یابد.

برای بررسی تأثیر نویز اندازه گیری بر عملکرد رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته به خروجی های سیستم نویز اندازه گیری با واریانس 1% و میانگین صفر اضافه کرده و شبیه سازی را تکرار می کنیم. از شکل های (۴-۱۱) و (۴-۱۲) مشاهده می شود که هر دو رؤیتگر قادر به فیلتر کردن نویز اندازه گیری می باشند.

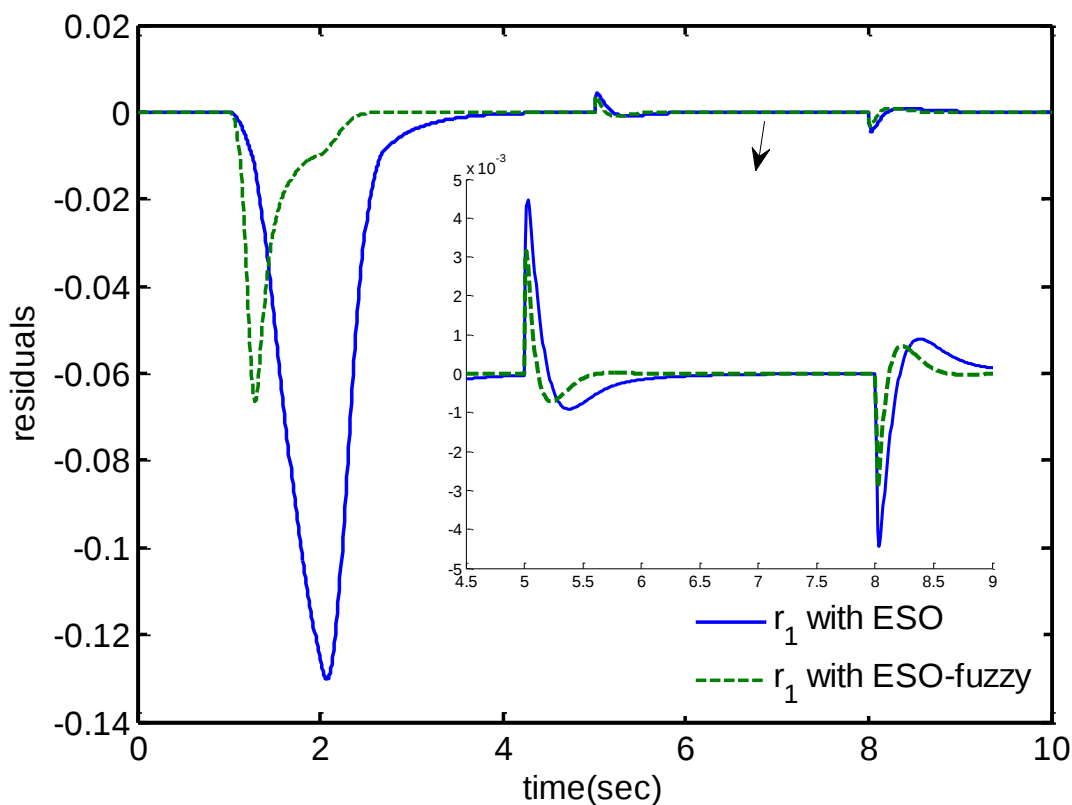


شکل ۴-۱۱- تخمین خروجی سرعت زاویه ای در حضور نویز اندازه گیری

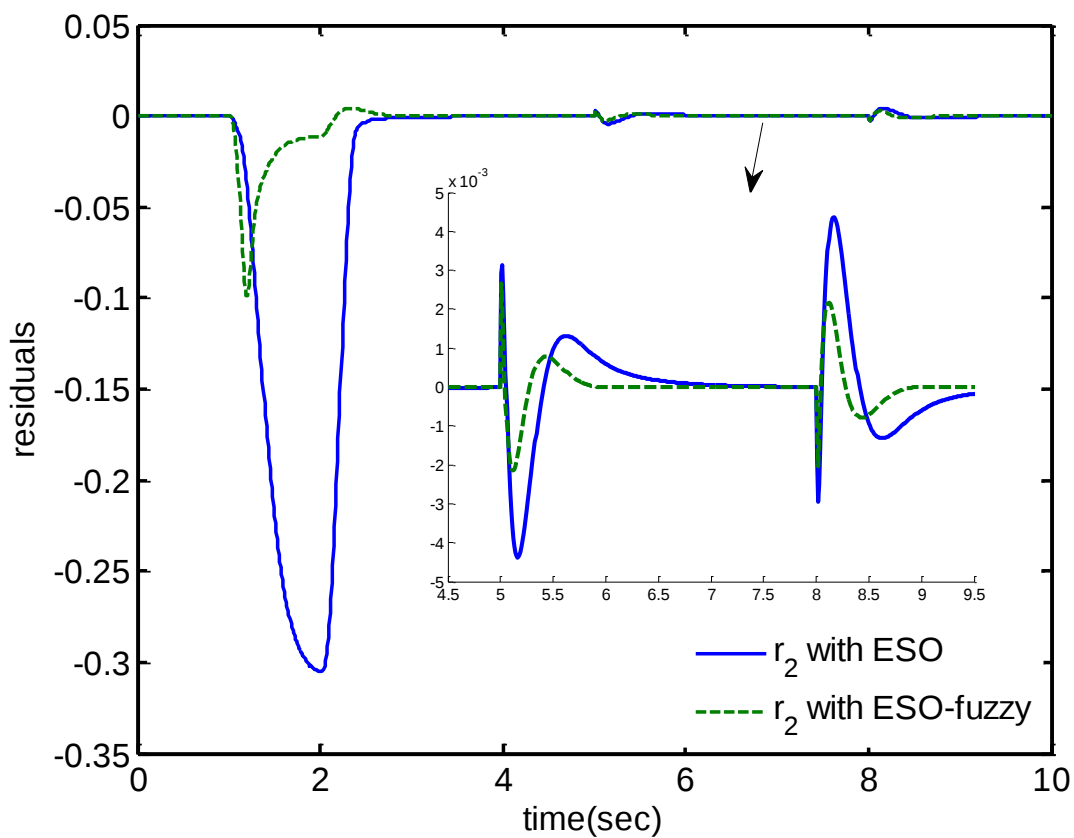


شکل ۴-۱۲- تخمین خروجی سرعت جانبی در حضور نویز اندازه گیری

برای بررسی تأثیر اغتشاش بر روی سیگنال های باقیمانده، یک اغتشاش ثابت با دامنه 0.5 در فاصله زمانی $t = 5 - 8(sec)$ به سیستم اعمال می نماییم، سپس قوام رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته را در برابر اغتشاش ارزیابی می کنیم. همانطور که در شکل های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) مشاهده می شود باقیمانده های تولید شده در حضور اغتشاش، برای هر دو رؤیتگر نزدیک به صفر هستند. اما باقیمانده های بدست آمده توسط رؤیتگر بهبود یافته در برابر اغتشاش مقاوم تر می باشند.



شکل ۴-۱۳- تأثیر اغتشاش بر سیگنال باقیمانده r_1



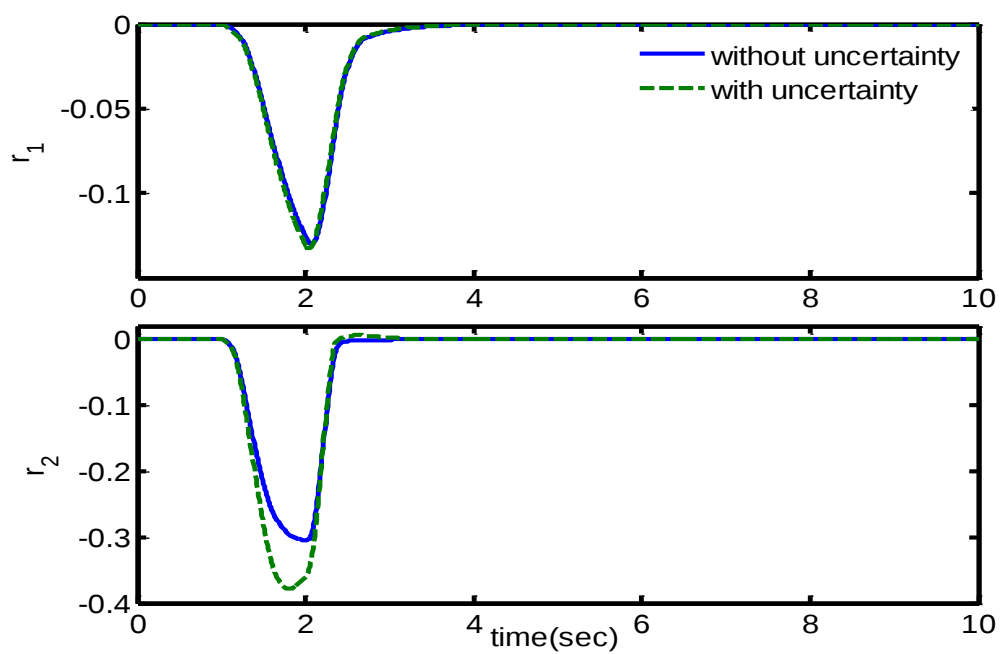
شکل ۴-۱۴- تأثیر اغتشاش بر سیگنال باقیمانده r_2

برای بررسی تأثیر عدم قطعیت پارامتری بر روی سیگنال های باقیمانده، مقدار پارامترهای سیستم را تغییر داده و قوام رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته را در برابر این تغییرات ارزیابی می کنیم. تغییرات اعمال شده بر روی پارامترها به صورت زیر می باشند:

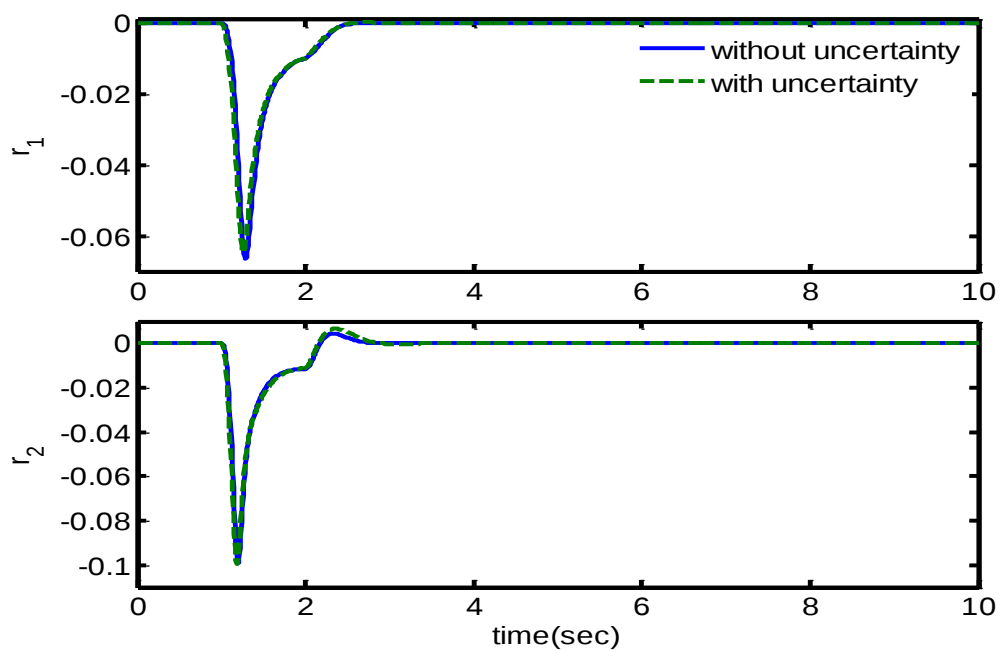
$$c_{af(new)} = c_{af(nom)} - 25\%$$

$$c_{ar(new)} = c_{ar(nom)} - 25\%$$

$$m_{(new)} = m_{(nom)} + 25\%$$



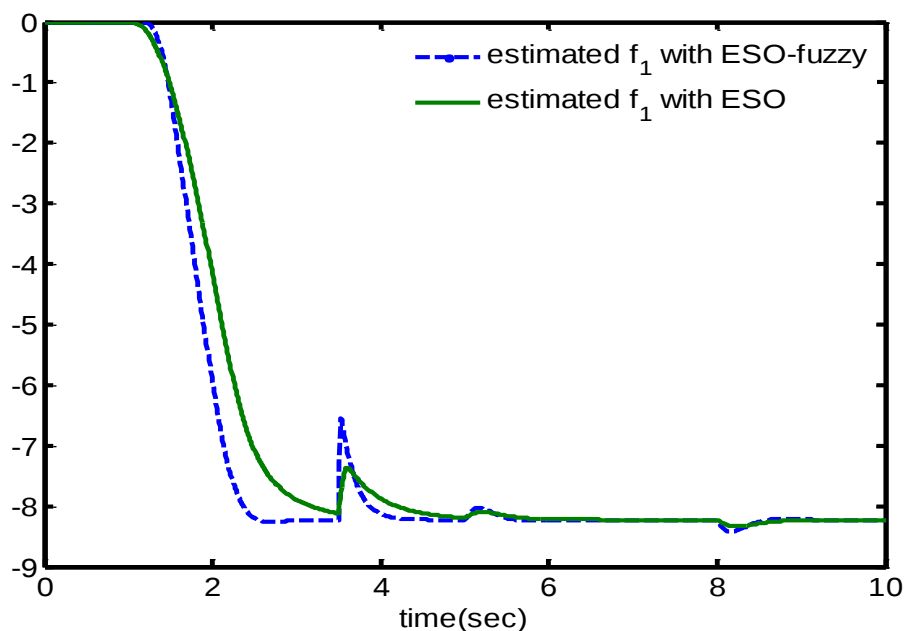
شکل ۴-۱۵- تأثیر تغییرات پارامتری بر سیگنال های باقیمانده با روش رؤیتگر حالت افزوده



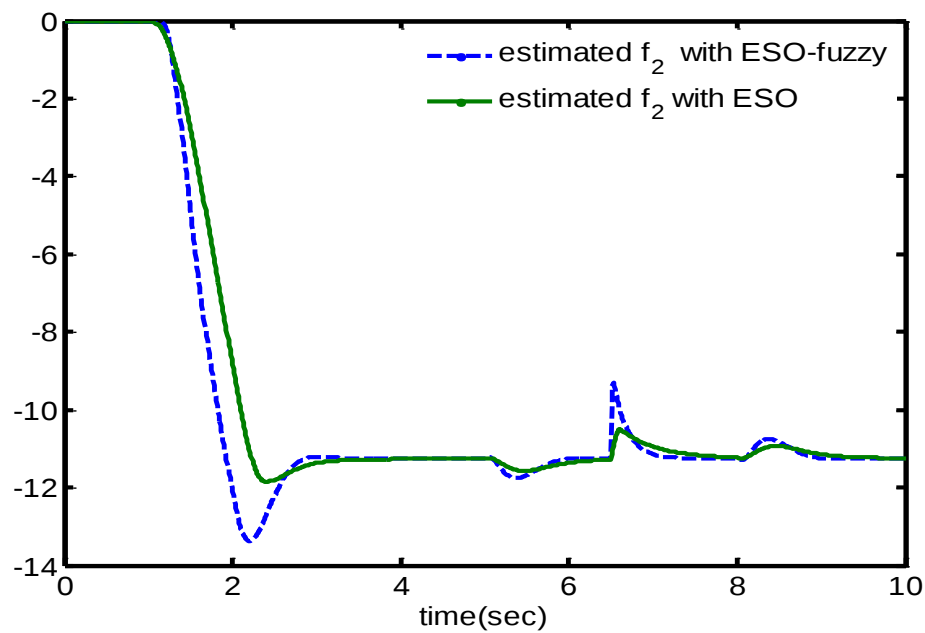
شکل ۴-۱۶- تأثیر تغییرات پارامتری بر سیگنال های باقیمانده با روش رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته

با توجه به شکل های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) در میابیم که باقیمانده های بدست آمده توسط رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته در برابر عدم قطعیت پارامتری مقاوم تر می باشند.

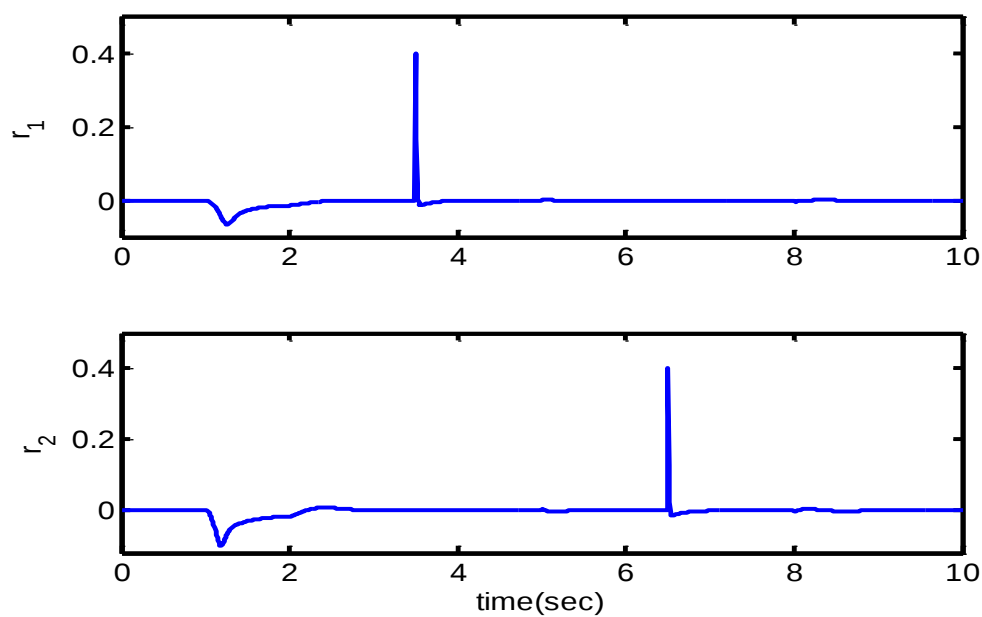
برای نشان دادن کارایی رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته در امر تشخیص خطای مقاوم، در حضور اغتشاش و عدم قطعیت پارامتری یک خطای ناگهانی با دامنه 0.4 در زمان $t \geq 3.5(\text{sec})$ به حسگر سرعت زاویه ای و در زمان $t \geq 6.5(\text{sec})$ به حسگر سرعت جانبی اضافه نموده و شبیه سازی را تکرار می کنیم. شکل (۴-۱۷) و (۴-۱۸) دینامیک های ناشناخته سیستم در حضور خطای حسگر ها را نشان می دهند. شکل (۴-۱۹) سیگنال های باقیمانده در حضور خطای حسگرها را نشان می دهد که بیانگر اختلاف مقدار واقعی از مقدار تخمینی سرعت زاویه ای و سرعت جانبی می باشد. مشاهده می گردد که روش استفاده شده برای تشخیص خطا نسبت به اغتشاش و عدم قطعیت پارامتری غیر حساس و نسبت به خطا حساس می باشد.



شکل ۴-۱۷- تأثیر خطای حسگر بر روی دینامیک های تخمینی سیستم، f_1 ، در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری



شکل ۴-۱۸- تأثیر خطای حسگر بر روی دینامیک های تخمینی سیستم، f_2 ، در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری



شکل ۴-۱۹- تأثیر خطای حسگر بر روی سیگنال های باقیمانده در حضور اغتشاش و با عدم قطعیت پارامتری

پس از اینکه خطا با موفقیت تشخیص داده شد، به ارزیابی باقیمانده ها می پردازیم. برای جداسازی خطاها باید بررسی کرد که آیا باقیمانده ها از مقدار آستانه ای که برای آن ها مشخص شده تجاوز کرده اند یا خیر.

برای ارزیابی باقیمانده های سیستم دینامیک جانبی خودرو از رابطه زیر استفاده کردیم.

$$\begin{cases} \text{if } \|r_i\|^4 \geq T & \text{fault is occurred} \\ \text{if } \|r_i\|^4 < T & \text{fault is not occurred} \end{cases}$$

که T آستانه جداسازی و $\|r_i\|$ نرم باقیمانده است. برای حسگر سرعت زاویه ای $T = 0.025$ و برای حسگر سرعت جانبی $T = 0.018$ انتخاب شده است.

۴-۵-۱ مقایسه عملکرد رؤیتگرهای تشخیص خطا

رؤیتگر حالت افزوده در مقایسه با رؤیتگر لیونبرگر ساختار ساده ای دارد و در برابر اغتشاش و عدم قطعیت پارامتری مقاوم می باشد. در واقع ساختار رؤیتگر حالت افزوده بطور ذاتی در برابر نامعینی ها و اغتشاشات مقاوم است.

همگرایی حالت های رؤیتگر حالت افزوده ترکیب شده با منطق فازی نسبت به رؤیتگر حالت افزوده با تابع غیرخطی سریعتر است. و هم چنین رؤیتگر حالت افزوده ترکیب شده با سیستم فازی از مقاومت بیشتری در برابر اغتشاش و عدم قطعیت پارامتری برخوردار می باشد.

فصل ۵ :

تشخیص و جداسازی خطای سیستم غیر خطی

۵-۱ مقدمه

تمام دستگاه های دینامیکی به طور ذاتی غیرخطی هستند. یکی از روش هایی که برای تشخیص خطای سیستم های غیرخطی استفاده می شود، خطی سازی این سیستم ها حول نقطه کارشان و سپس استفاده از تکنیک های تشخیص خطای موجود، برای سیستم های خطی است. و به علت وجود خطای خطی سازی از روش های مقاوم استفاده می شود. ولی اگر سیستمی به شدت غیرخطی باشد یا ناحیه عملیاتی آن وسیع باشد، خطای خطی سازی بزرگ خواهد شد و اثر آن باعث هشدارهای اشتباه می شود و خطاها به درستی تشخیص داده نمی شوند. بنابراین تشخیص خطای سیستم های غیرخطی حائز اهمیت می باشد [۱۰].

در این فصل سیستم تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر حالت افزوده، برای سیستم دو تانک آزمایشگاهی که یک سیستم غیرخطی است طراحی می گردد.

۵-۲ سیستم دینامیکی دو تانک

سیستم دو تانک شامل یک پمپ و دو تانک استوانه ای می باشد. دو تانک توسط لوله های استوانه ای کوچکی بهم وصل شده اند. سیستم دو تانک در شکل (۵-۱) نشان داده شده است [۲۷].

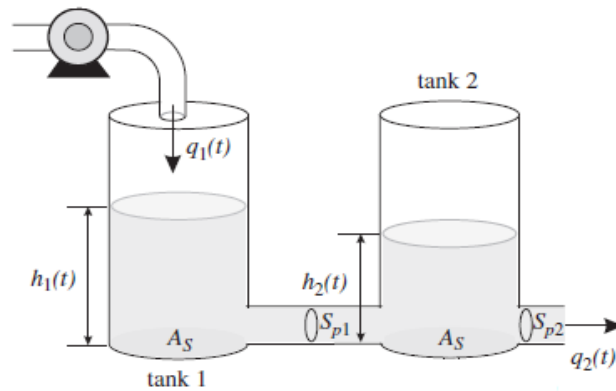
۵-۲-۱ معادلات دینامیکی سیستم دو تانک

$$\begin{cases} A_s \frac{dh_1}{dt} = -a_1 S_{p1} \text{sign}(h_1 - h_2) \sqrt{2g|h_1 - h_2|} + q_1 \\ A_s \frac{dh_2}{dt} = a_1 S_{p1} \text{sign}(h_1 - h_2) \sqrt{2g|h_1 - h_2|} - a_2 S_{p2} \sqrt{2gh_2} \end{cases} \quad (۵-۱)$$

$A_s = 100 \text{cm}^2$ سطح مقطع تانک ها، $S_{p1} = 0.5 \text{cm}^2$ سطح مقطع لوله اتصالی بین دو تانک،

$S_{p2} = 0.5 \text{cm}^2$ سطح مقطع لوله خروجی، $a_{1,2} = 0.5$ ضرایب جریان در لوله ها، $g = 9.81 \text{m/s}^2$ ثابت

گرانث و ورودی قابل کنترل می باشد. h_1 و h_2 خروجی های قابل اندازه گیری سطح آب سیستم دو تانک می باشند.



شکل ۵-۱- سیستم دو تانک

۵-۳ طراحی رُویتگر حالت افزوده

معادله (۵-۱) را به صورت زیر باز نویسی می کنیم:

$$\begin{cases} \frac{dh_1}{dt} = f_1 + \frac{1}{A_s} q_1 \\ \frac{dh_2}{dt} = f_2 \end{cases} \quad (۵-۲)$$

به طوریکه:

$$\begin{cases} f_1 = -\frac{1}{A_s} [a_1 S_{p1} \text{sign}(h_1 - h_2) \sqrt{2g|h_1 - h_2|}] \\ f_2 = \frac{1}{A_s} [a_1 S_{p1} \text{sign}(h_1 - h_2) \sqrt{2g|h_1 - h_2|} - a_2 S_{p2} \sqrt{2gh_2}] \end{cases} \quad (۵-۳)$$

بنابراین رُویتگر حالت افزوده خطی برای هر یک از خروجی های سیستم دو تانک به صورت زیر نوشته می شود:

$$\begin{cases} \dot{z} = Az + Bu + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = Cz \end{cases} \quad (۵-۴)$$

به طوریکه:

$$z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0], L = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}, \beta_1 = 2\omega_0, \beta_2 = \omega_0^2$$

z_1 تخمین خروجی های سیستم و z_2 تخمین دینامیک های سیستم می باشد.

برای رؤیتگر حالت افزوده $\omega_0 = 2$ و برای رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته، ω_0 توسط سیستم فازی طراحی شده در بخش (۳-۸) انتخاب می شود. در شبیه سازی ها ورودی را $u = 24.8 \text{ cm}^3/\text{s}$ در نظر می گیریم.

۴-۵ ارزیابی سیگنال های باقیمانده

پس از تشخیص خطا نوبت ارزیابی سیگنال های باقیمانده است. در این بخش با استفاده از مدل فازی سوگینو، حسگر معیوب را شناسایی می کنیم. سیستم فازی شامل دو ورودی و دو خروجی است. ورودی های سیستم فازی سیگنال های باقیمانده هستند. در این کار از توابع عضویت دوزنقه ای برای متغیر ورودی استفاده می کنیم. شکل توابع عضویت اختصاص داده شده به ورودی های سیستم فازی در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. توابع عضویت ورودی برای سیگنال های باقیمانده، R_{h_1} و R_{h_2} ، مشابه هستند. خروجی سیستم فازی مکان وقوع خطا را شناسایی می کند. بدین صورت که اگر خطایی در حسگری رخ دهد، خروجی مربوط به آن یک می شود.

پنج قانون در قالب قوانین اگر-آنگاه به صورت زیر تدوین شده است:

Rule 1: IF R_{h_1} Positive AND R_{h_2} Zero THEN $h_1 + \Delta h_1 = 1$

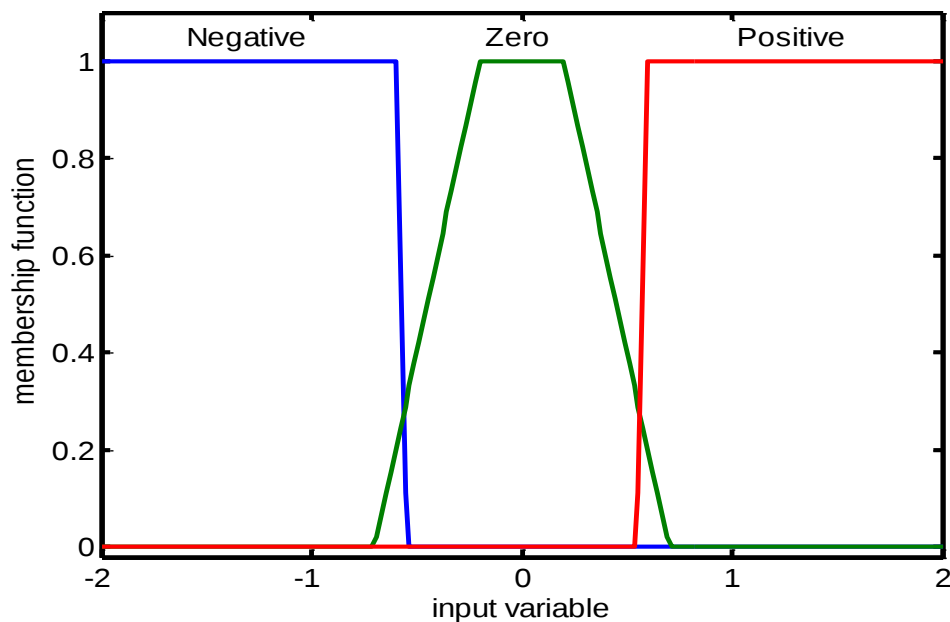
Rule 2: IF R_{h_1} Negative AND R_{h_2} Zero THEN $h_1 - \Delta h_1 = 1$

Rule 3: IF R_{h_2} Positive AND R_{h_1} Zero THEN $h_2 + \Delta h_2 = 1$

Rule 4: IF R_{h_2} Negative AND R_{h_1} Zero THEN $h_2 - \Delta h_2 = 1$

Rule 5: IF R_{h_1} Zero AND R_{h_2} Zero THEN $h \pm \Delta h = 0$

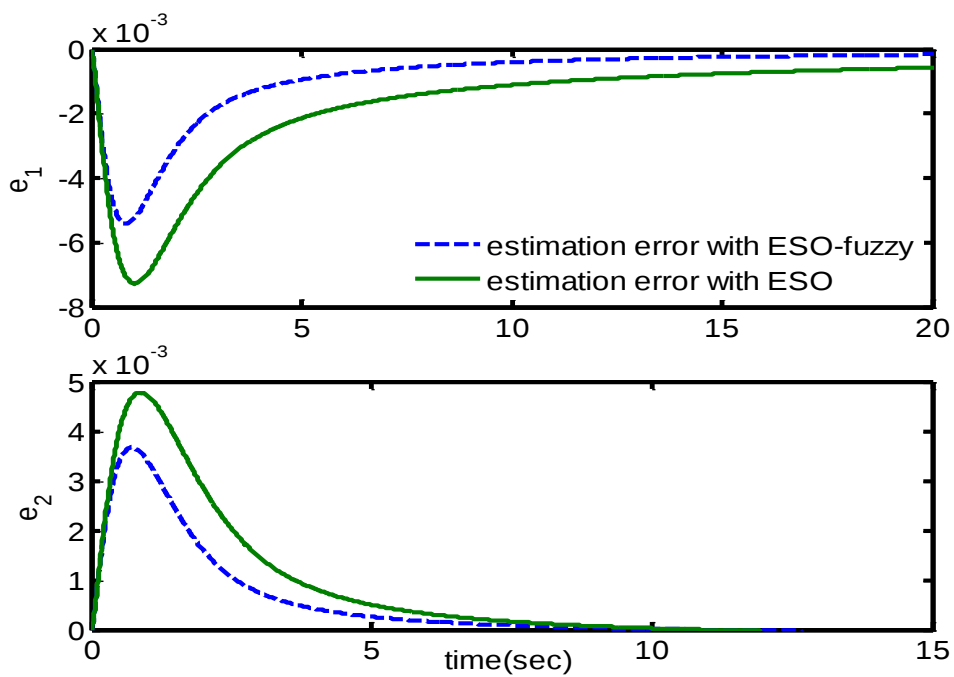
برای مثال عبارت $h_1 \pm \Delta h_1 = 1$ بدین مفهوم است که حسگر سطح آب تانک یک معیوب است.



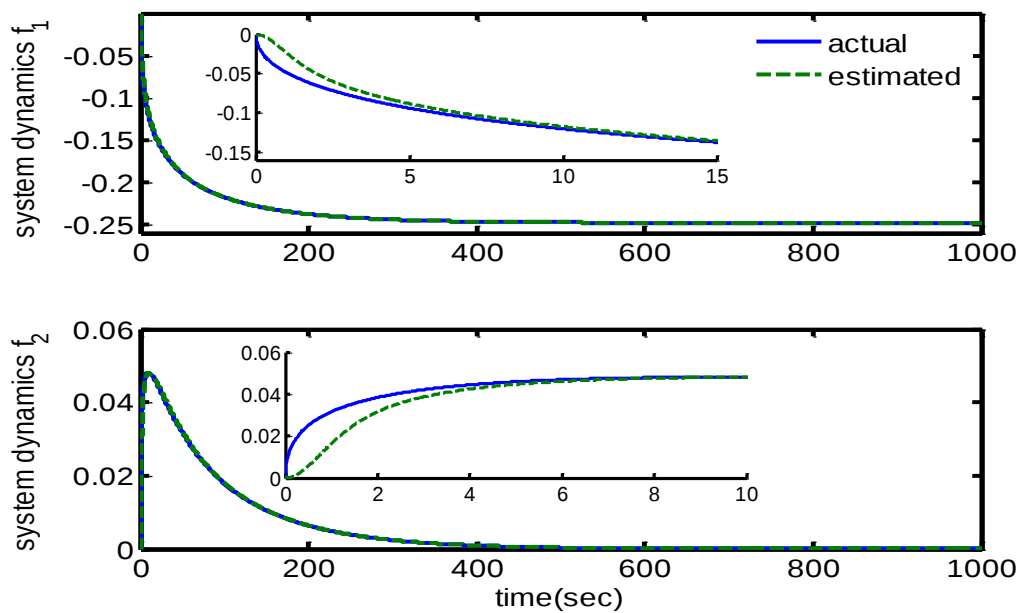
شکل ۵-۲-توابع عضویت ورودی

۵-۵ نتایج شبیه سازی

ابتدا برای زمانی که سیستم در حالت تعادل است، شبیه سازی ها با زمان نمونه برداری 0.01(sec) انجام شده اند. شکل (۵-۳) نشان می دهد که کاربرد منطق فازی در طراحی رژیتر حالت افزوده برای سیستم غیرخطی سرعت همگرایی آن را افزایش داده است. برای نیل به هدف تشخیص و جداسازی خطای مقاوم از رژیتر حالت افزوده بهبود یافته استفاده می کنیم.



شکل ۵-۳- خطای ردیابی



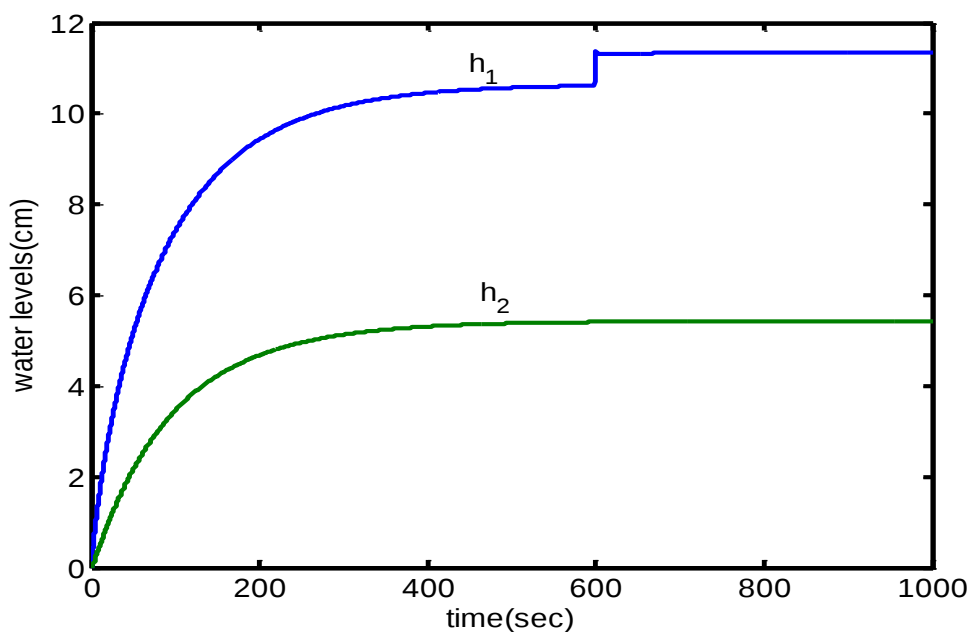
شکل ۵-۴- دینامیک های سیستم غیر خطی و تخمین آن ها توسط رؤیتگر بهبود یافته

شکل (۴-۵) نشان دهنده سرعت و دقت بسیار خوب رؤیتگر بهبود یافته در تخمین دینامیک های سیستم غیر خطی است.

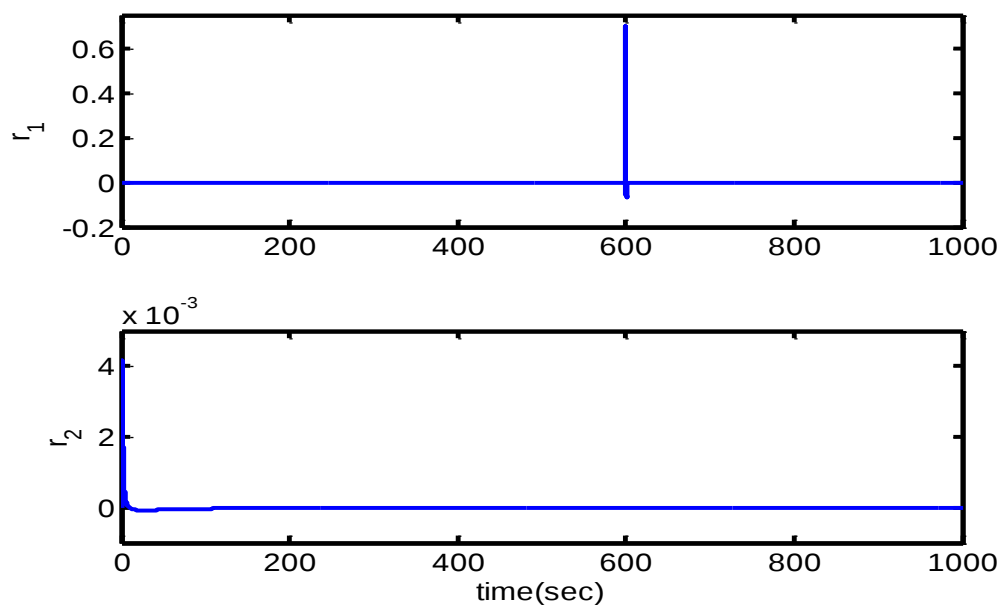
- تشخیص و جداسازی خطا بدون نویز اندازه گیری:

برای نشان دادن کارایی رؤیتگر بهبود یافته در امر تشخیص خطای مقاوم حسگر، در حضور اغتشاش ثابت با دامنه 0.5، یک خطای ناگهانی با دامنه 0.7(cm) در زمان $t \geq 600(sec)$ به حسگری که سطح آب تانک شماره یک، h_1 ، را اندازه می گیرد اضافه و شبیه سازی را تکرار می کنیم. نتایج تشخیص خطا با استفاده از رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته در شکل های (۵-۵)، (۶-۵) و (۷-۵) نشان داده شده است.

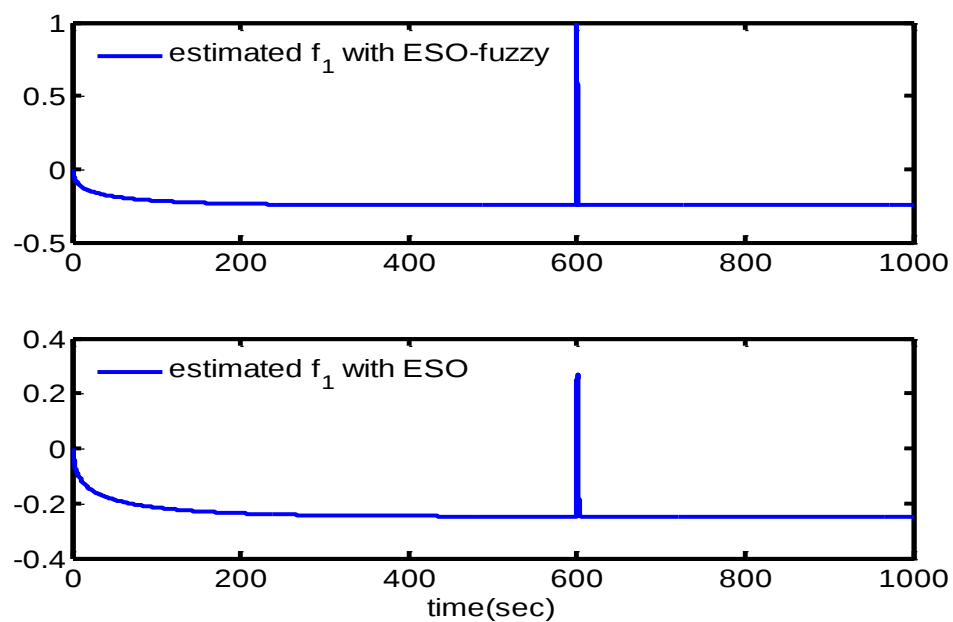
شکل های (۵-۵) و (۶-۵) به ترتیب تأثیر خطای حسگر را بر خروجی های تخمینی سیستم غیر خطی و سیگنال های باقیمانده نشان می دهند.



شکل ۵-۵- خروجی های تخمینی در حضور خطای حسگر و اغتشاش توسط رؤیتگر بهبود یافته



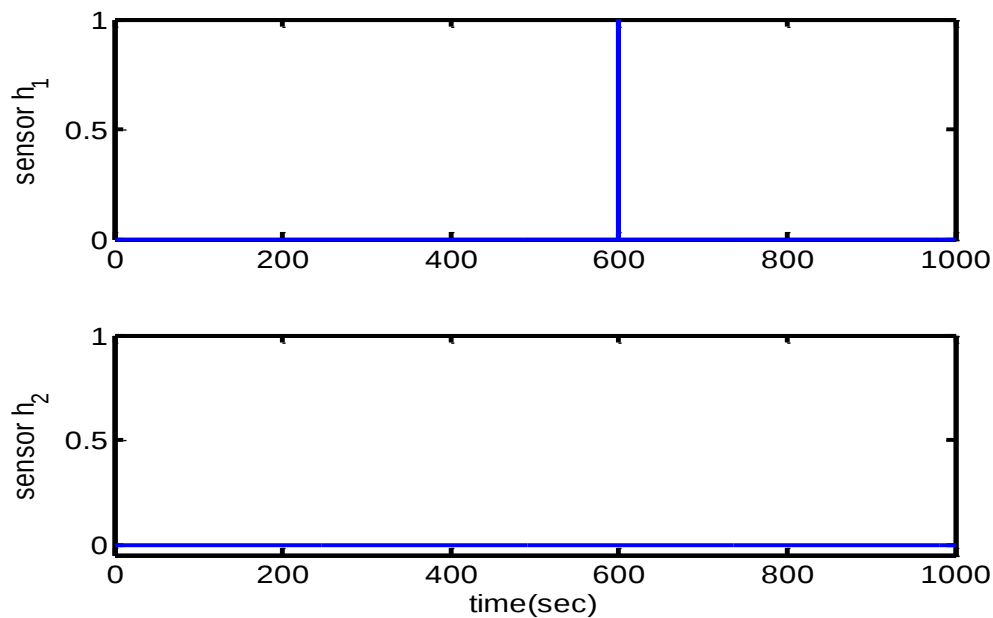
شکل ۵-۶-سیگنال های باقیمانده در حضور خطای حسگر و اغتشاش توسط رونیتر بهبود یافته



شکل ۵-۷-دینامیک های تخمینی در حضور خطای حسگر و اغتشاش

شکل (۷-۵) میزان تأثیر خطای حسگر بر دینامیک های سیستم غیرخطی را، که توسط رؤیتگر حالت افزوده و رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته تخمین زده شده اند، نشان می دهد.

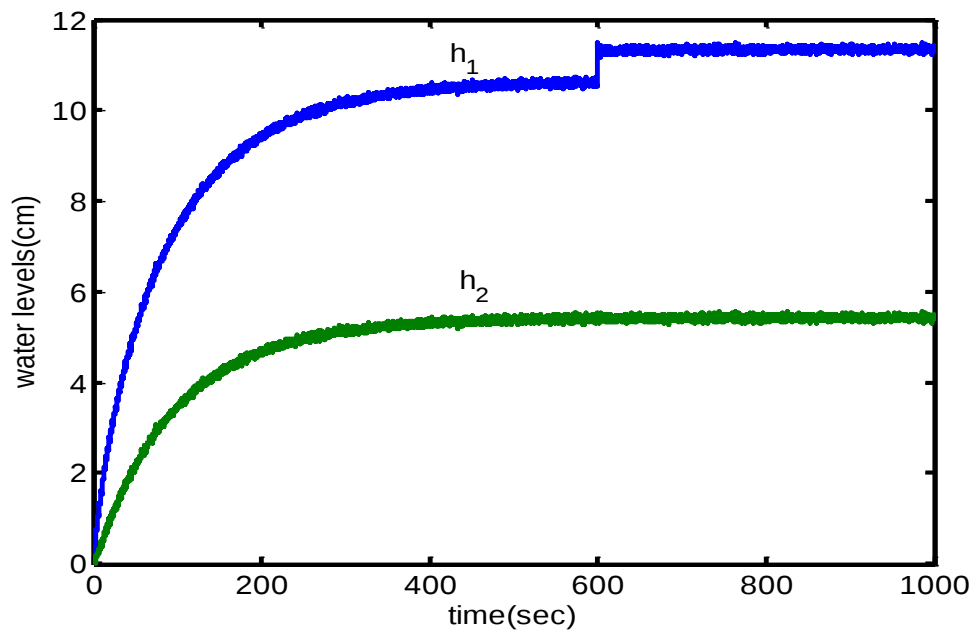
معمولاً اینکه خطا از چه نوعی است یا اینکه مثلاً دامنه آن چقدر است برای تشخیص خطای حسگر اهمیت ندارد. آنچه مهم است تشخیص به موقع و شناسایی سریع بخش خراب است. شکل (۸-۵) نشان می دهد که خطا در حسگر تانک شماره یک رخ داده، بنابراین حسگر معیوب با موفقیت شناسایی شده است.



شکل ۸-۵-نتیجه سیستم جداسازی خطا بدون نویز اندازه گیری

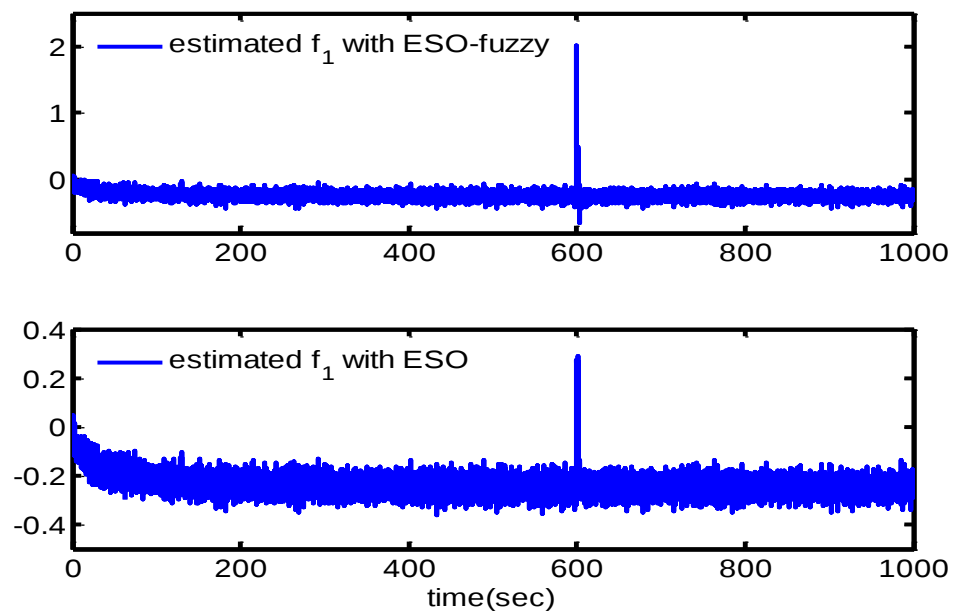
- تشخیص و جداسازی خطا با نویز اندازه گیری:

به خروجی حسگرها نویز اندازه گیری با واریانس 5% و میانگین صفر اضافه کرده و شبیه سازی را تکرار می کنیم. شکل های (۹-۵) و (۱۰-۵) خروجی های رؤیتگر را در حضور خطا، اغتشاش و نویز اندازه گیری نشان می دهند.

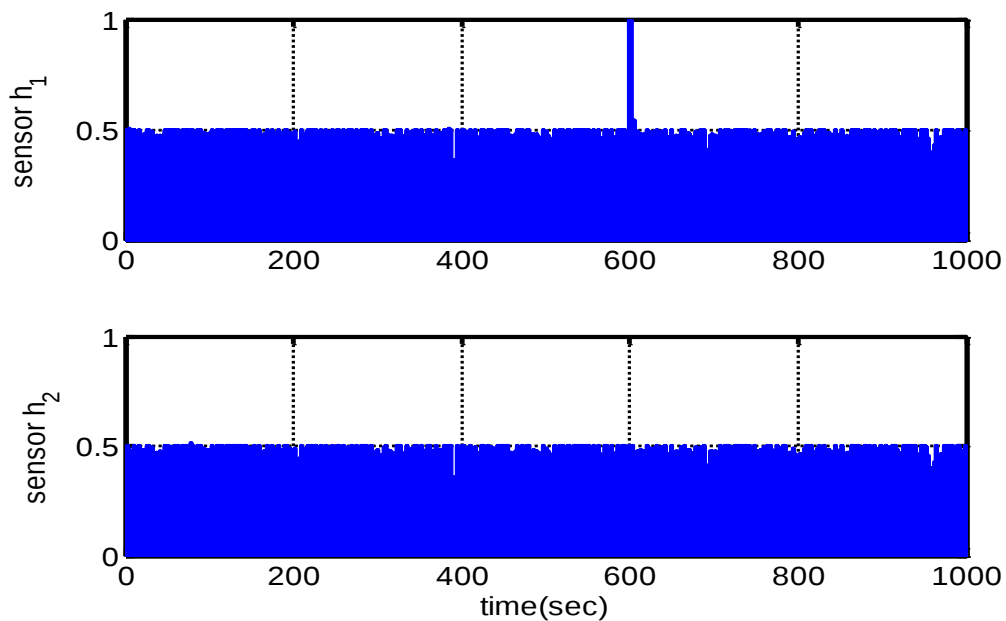


شکل ۹-۵- تخمین خروجی دو تانک در حضور خطای حسگر، اغتشاش و نویز اندازه گیری توسط رؤیتگر بهبودیافته

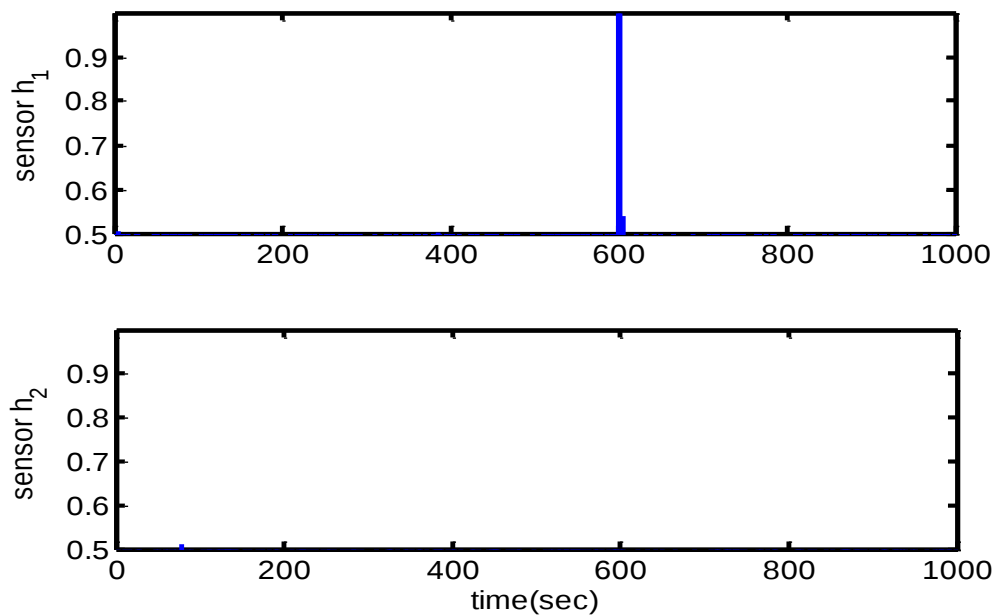
با توجه به شکل های (۷-۵) و (۱۰-۵) مشاهده می شود که اثر خطا روی دینامیک های تخمین زده شده توسط رؤیتگر بهبود یافته بیشتر است. که از این اثر می توان برای جداسازی خطا استفاده کرد.



شکل ۵-۱۰- تخمین دینامیک های سیستم غیرخطی در حضور خطای حسگر، اغتشاش و نویز اندازه گیری



شکل ۵-۱۱- نتیجه سیستم جداسازی خطا در حضور نویز اندازه گیری



شکل ۵-۱۲-بزرگ نمایی نتیجه سیستم جداسازی خطا در حضور نویز اندازه گیری

همانطور که در شکل (۵-۱۱) و (۵-۱۲) مشاهده می شود با وجود نویز اندازه گیری و اغتشاش، حسگر معیوب به درستی شناسایی شده است.

بدین ترتیب از نتایج شبیه سازی مشاهده می شود که هدف سیستم تشخیص و جداسازی خطا توسط رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته و مدل فازی سوگینو با موفقیت محقق شده است.

فصل ۶ :

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری

تشخیص خطای مبتنی بر رؤیتگر نیازمند رؤیتگر های دقیق و مقاوم است. در شرایطی که مدل سیستم درگیر اغتشاشات خارجی و عدم قطعیت پارامتری است، بکارگیری رؤیتگر حالت افزوده در برنامه تشخیص خطا اهمیت پیدا می کند. اگر چه کمی طول می کشد تا باقیمانده تولید شده توسط رؤیتگر حالت افزوده به حالت تعادل برسد، اما بر خلاف رؤیتگرهای متداول دارای این مزیت است که به اطلاعات کمی از مدل سیستم نیاز دارد و به همین دلیل از قوام خوبی در برابر اغتشاشات و عدم قطعیت پارامترهای سیستم برخوردار می باشد.

با بکارگیری منطق فازی عملکرد رؤیتگر حالت افزوده را بهبود دادیم، به صورتی که سرعت همگرایی رؤیتگر و هم چنین توانایی آن در تولید باقیمانده های مقاوم افزایش یافت. شبیه سازی ها نشان می دهند که تشخیص و جداسازی خطا با استفاده از رؤیتگر حالت افزوده بهبود یافته رضایت بخش می باشد. هم چنین هدف شناسایی حسگر معیوب، با استفاده از مدل فازی سوگینو برای سیستم غیرخطی دوتانک با موفقیت محقق شده است.

۶-۲ پیشنهادات

با افزایش تقاضا برای بالا بردن قابلیت اطمینان در سیستم های صنعتی، طراحی سیستم های تشخیص و جداسازی خطا حائز اهمیت است، که در این پایان نامه با استفاده از رؤیتگر حالت افزوده به آن پرداختیم. در ادامه کار پیشنهاد می شود:

- استفاده از الگوریتم های بهینه سازی، مانند الگوریتم بهینه سازی پرندگان، برای بهینه کردن پهنای باند رؤیتگر حالت افزوده.
- جداسازی خطا با استفاده از دینامیک های تخمینی سیستم و منطق فازی.

- [1] Heredia G., Ollero A., Begar M. and Mahtani R. (2008) "Sensor and actuator fault detection in small autonomus helicopters", *Mechatronics*, 49, pp. 90-99.
- [2] Samy I., Postlethwaite I. and Gu D. (2011) "Survey and application of sensor fault detection and isolation schemes", *Control Engineering Practice*, 19, pp. 658-674.
- [3] Ma J. and Jiang J. (2011) "Applications of fault detection and diagnosis methods in nuclear power plants: Areview", *Progress in Nuclear Energy*, 53, pp. 255-266.
- [4] Fang M. Tian Y. and Gao L. (2007) "Fault diagnosis of nonlinear system based on generalized observer", *Applied Mathematics and Computation*, 185, pp. 1131-1137.
- [5] Isermann R. (2005) "Model-based fault-detection and diagnosis–status and applications", *Annual Reviews in Control*, 29, pp. 71-85.
- [6] Zarei J. and Poshtan J. (2011) "Sensor Fault Detection and Diagnosis of a Process Using Unknown Input Observer", *Mathematical and Computational Applications*, 16, 1, pp. 31-42.
- [7] Liang R., Lin P. P. and Ye D., (2010) "Fault Detection Based on the Estimated Parameter of System Model", International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.
- [8] Ye D., Zhang C. and Lin P. P. (2009) " Fault Diagnosis by an Observer-Based Fuzzy Decision system", International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics.
- [9] Kiyak E. and Caliskan F. (2012) "Application of Fuzzy Logic in Aircraft Sensor Fault Diagnosis", *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, 4, 6.
- [10] Abid M., (2010), PhD. Thesis, "Fault detection in nonlinear systems: An observer-based approach", University of Duisburg,
- [11] Lin P. P., Ye D., Gao Z. and Zheng Q. (2012) "Intelligent Process Fault Diagnosis for Nonlinear Systems with Uncertain Plant Model via Extended State Observer and Soft Computing", *Intelligent Control and Atuomation*, 3, pp. 346-355.
- [12] Yan B., Tian Z., Shi S. and Weng Z. (2008) "Fault diagnosis for a class of nonlinear systems via ESO", *ISA Transactions*, 47, pp. 386–394.
- [13] Ge N., (2010), Thesis of Master Science, "A study on Fault Detection and Self Recnnfiguration", Mechanical Engineering, Cleveland State University,

- [14] Ye M., (2008), Master. Thesis, "Road Surface Condition and Identification and Vehicle Anti-Skid Control, Departement of Mechanical Engineering, Cleveland State University,
- [15] Goforth F. J., Zheng Q. and Gao Z. (2012) "A noval practical control approach for rate independent hysteretic systems", *ISA Transactions*, 51, pp. 477-484.
- [16] Venkatasubramanian V., Rengaswamy R., Yin K. and Kavuri S. N. (2003) "A Review of Process Fault Detection and Diagnosis Part I: Quantitative Model-based Methods", *Computers and Chemical Engineering*, 27, pp. 293-311.
- [17] Borker J. and Szabo' Z. (2009) "Fault detection and isolation in nonlinear systems", *Annual Review in Control*, 33, pp. 113-123.
- [18] Mendonca L. F., Sousa J. M. C. and Sa'da Costa (2009) "An architecture for fault detection and isolation based on fuzzy methods", *Expert Syatems with Application*, 36, pp. 1092-1104.
- [۱۹] میرآبادی ۱،، زارعی خ. و صندیدزاده م.ع. (۱۳۸۹) "تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی"، *مجله مهندسی حمل و نقل*، سال دوم، شماره اول.
- [20] Liu L., (2006), PhD. Thesis, "Robust fault detection and diagnosis for permanent magnet synchronous motors", College of Engineering, Florida State University, USA,
- [21] Börner M., Straky H., Weispfenning T. and Isermann R. (2002) "Model based fault detection of vehicle suspension and hydraulic brake systems", *Mechatronics*, 12, pp. 999-1010.
- [22] Wang W. and Gao Z., (2003) "A Comparison Study of Advanced State Observer Design Techniques", *Proceedings of the American control Conference*, Denver, Colorado.
- [23] Gao Z., (2003) "Scaling and Parameterization Based Controller Tuning", *Proceeding of American Control Conference*, Denver, pp. 4989-4996.
- [24] Takagi T. and Sugeno M. (1985) "Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modelling and Control", *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics*, 15, 1, pp. 116-132.
- [25] Oudghiri M., Chadli M. and Elhajjaji A., (2008) "Control and Sensor Fault-Tolerance of Vehicle Lateral Dynamics", *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control (IFAC)*, Seoul, Korea.
- [26] Ding S. X. (2008) "*Model-based fault diagnosis techniques design schames algoritms and tools*", Berlin: Spiringer-Verlg.

- [27] Oblak S., Skrjanc I., and Blazic S. (2007) "Fault detection for nonlinear systems with uncertain parameters based on the interval fuzzy model", *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 20, pp. 503-510.

Abstract

Current modern societies depend on industrial systems intensively. With the growing of complexity and progress of systems and use of them in the sensitive environments such as flight control, powerhouses and chemical plants, increasing tendency has been created in field of fault detection. If the fault is not timely detected then significant part of equipment, information and in some cases manpower losses and damages.

This thesis presents designing of fault detection and isolation system based on observer. After glancing review upon fault detection, the structure of Luenburger observer and extended state observer would be introduced. Then use of fuzzy logic in designing of extended state observer is suggested for computation of the observer bandwidth. We use the composition of extended state observer and fuzzy logic in program of robust sensor fault detection. The results of simulations show effectiveness of usage of fuzzy logic in observer design.

Keywords: Fault detection and isolation, Extended state observer, Fuzzy logic.



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering

**Design and Simulation of Sensor Fault Detection Using Extended State
Observer**

Maryam Naghdi Sedeh

Supervisor:

Dr Mohammad Ali Sadrnia

Advisor:

Dr Javad Askari

February 2014