دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه کنترل

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان

تشخیص خطای مقاوم با استفاده از یک رویتگر مود لغزشی برای سیستم هواپیمایی بویینگ ۷۴۷

دانشجو

پریسا انصاری

استاد راهنما

دکتر محمد علی صدرنیا

استاد مشاور

دکتر علی کرمی ملائی

بهمن ماه ۹۲

این پایان نامه را با تمام وجودم تقدیم می کنم

به پدر بزرگوارم، استوارترین تکیه گاه من در تمام زندگی ام

به مادر مهربانم که زندگی ام را مدیون مهر و عطوفت او می دانم

به خواهران و برادر عزیزم همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگی ام

با تشکر و سپاس از استاد دانشمند و پرمایه ام، جناب آقای دکتر محمد علی صدرنیا، به خاطر همه راهنمایی های ارزنده شان، که بدون آن انجام این پایان نامه میسر نبود.

همچنین از جناب آقای دکتر علی کرمی ملائی، استاد مشاورم به خاطر همه ی راهنمایی هایشان سپاسگزارم.

و با سپاس بی دریغ خدمت مهندس صادق ابراهیم خانی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری دادند.

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه:

[1] Ansari-Bonab, P. ; Karami-Mollaee, A. ; Sadrnia, M.A. “Adaptive Fuzzy Dynamic Sliding Mode Control Based LTR Observer for Fault Reconstruction” Fuzzy Systems (IFSC), 2013 13th Iranian Conference on, 1-5, 2013.
IEEE CONFERENCE PUBLICATIONS

چکیده

با توجه به اهمیت قابلیت اطمینان در سیستم‌های کنترل، طراحی روشی برای تشخیص و بازسازی خطا اهمیت بسیاری دارد. در این پایان نامه ابتدا با استفاده از رویتگرهای مودلغزشی و بررسی و تحلیل آنها برای بازسازی خطا، به تحلیل یک نوع رویتگر تطبیقی مودلغزشی پرداختیم، سپس یک رویتگر مودلغزشی تطبیقی متفاوت پیشنهاد کرده و پایداری رویتگر پیشنهادی را با استفاده از تئوری پایداری لیاپانوف بررسی کرده‌ایم. برای طراحی رویتگر پیشنهادی نیازی به دانستن حداکثر دامنه خطا نمی‌باشد، و این پارامتر توسط قانون تطبیق بدست می‌آید. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد مناسب این رویتگر تطبیقی در تخمین حالت و خطای محرک است. در ادامه این تحقیق، با توجه به وجود عدم قطعیت و اغتشاش در سیستم، و تاثیر آنها بر فرایند بازسازی خطای محرک، یک رویتگر مودلغزشی تطبیقی پایدار برای تخمین خطای محرک پیشنهاد و همچنین جداسازی اغتشاش از خطای محرک تضمین شده است. مزیت رویتگر پیشنهادی علاوه بر جداسازی اغتشاش از خطای محرک، در عدم نیاز به دانش در مورد حداکثر دامنه خطای محرک نیز می‌باشد. همچنین علاوه بر استفاده از رویتگرهای مودلغزشی در بازسازی خطای محرک، از کنترل مودلغزشی دینامیک تطبیقی برای طراحی یک سیستم حلقه بسته که در مقابل خطای محرک مقاوم است نیز استفاده شده است. روش پیشنهادی یک کنترل تحمل پذیر خطا بوده و در عین حال با فرض محدود بودن خطای محرک، قادر به بازسازی خطا نیز می‌باشد. همچنین برای تخمین حداکثر عدم قطعیت و اغتشاش وارد بر سیستم از قانون تطبیق استفاده شده است. سطح لغزش جدیدی برای این کنترل‌کننده پیشنهاد شده که عمل بازسازی خطای محرک را نیز فراهم می‌کند. همچنین برای تخمین حالت‌های غیرقابل اندازه‌گیری از رویتگر مقاوم LTR استفاده شده، در نهایت پایداری سیستم حلقه بسته با استفاده از روش مستقیم لیاپانوف بررسی و تضمین شده است.

کلمات کلیدی: بازسازی خطا، رویتگر مودلغزشی تطبیقی، کنترل مودلغزشی دینامیک.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱ **فصل اول: مقدمه** ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ مرور تحقیقات پیشین ۵

۱-۳ مروری بر ساختار پایان نامه ۱۱

۲ **فصل دوم: تشخیص و بازسازی خطا، مدل‌سازی ریاضی سیستم** ۱۳

۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲ تعاریف ۱۵

۲-۳ خطا و انواع دسته‌بندی آن ۱۷

۲-۴ تشخیص خطا و انواع آن ۱۹

۲-۵ بازسازی خطا ۲۱

۲-۶ مدل‌سازی ریاضی سیستم ۲۲

۲-۶-۱ **معادلات حرکت عرضی هواپیمای بویینگ ۷۴۷** ۲۳

۳ **فصل سوم: بازسازی خطا با استفاده از رویتگر مودلغزشی** ۲۵

۳-۱ مقدمه ۲۶

۳-۲ بررسی عملکرد رویتگر مود لغزشی اوتکین ۲۷

۳-۲-۱ ویژگی‌های حرکت لغزشی ۳۱
۳-۲-۲ نتایج شبیه سازی رویتگر اوتکین برای سیستم هواپیمایی بویینگ ۷۴۷ ..... ۳۲
۳-۲-۳ بررسی خواص دفع اغتشاش برای رویتگر اوتکین ۳۵
۳-۲-۴ صاف کردن سیگنال ناپیوسته توسط تقریب ۳۷
۳-۲-۵ نتایج شبیه‌سازی ویژگی دفع اغتشاش رویتگر اوتکین برای هواپیمای بویینگ ۷۴۷ .....
۳۸
۳-۳ بررسی رویتگر مود لغزشی اسلوتین ۴۰
۳-۳-۱ نتایج شبیه سازی عملکرد رویتگر اسلوتین برای هواپیمای بویینگ ۷۴۷ ..... ۴۱
۳-۴ بررسی عملکرد رویتگر مود لغزشی ادواردز و اسپرجن برای بازسازی خطای محرک ۴۲
۳-۴-۱ الگوریتم عددی برای طراحی رویتگر مود لغزشی مقاوم ادواردز و اسپرجن ۴۶
۳-۴-۲ نتایج شبیه‌سازی رویتگر مود لغزشی مقاوم ادواردز و اسپرجن برای بازسازی خطای محرک هواپیمای بویینگ ۷۴۷ ..... ۴۹
۳-۵ بررسی عملکرد رویتگرهای مود لغزشی تطبیقی برای بازسازی خطای محرک ۵۲
۳-۵-۱ رویتگر تطبیقی با تطبیق جمله‌ی ناپیوسته ۵۲
۳-۵-۲ نتایج شبیه‌سازی رویتگر تطبیقی با تطبیق جمله‌ی ناپیوسته برای بازسازی خطای محرک هواپیمای بویینگ ۷۴۷ ..... ۵۴
۳-۵-۳ رویتگر مود لغزشی تطبیقی برای بازسازی خطای محرک ۵۸

۴-۵-۳ نتایج شبیه‌سازی رویتگر مود لغزشی تطبیقی برای بازسازی خطای محرک برای هواپیمای بوئینگ ۷۴۷..... ۶۳

۴ **فصل چهارم: بازسازی خطای محرک به صورت مجزا از اغتشاش**..... ۶۷

۴-۱ مقدمه..... ۶۸

۴-۲ فرمول‌بندی مسأله..... ۶۹

۴-۳ طراحی رویتگر تطبیقی..... ۷۱

۴-۴ بازسازی خطای محرک به صورت مجزا از اغتشاش..... ۷۳

۴-۵ نتایج شبیه‌سازی..... ۷۴

۵ **فصل پنجم : بازسازی خطا و کنترل تحمل‌پذیر خطا با استفاده از کنترل کننده‌ی مود لغزشی دینامیک تطبیقی مبتنی بر رویتگر LTR**..... ۷۹

۵-۱ مقدمه..... ۸۰

۵-۲ معرفی سیستم شامل خطا..... ۸۰

۵-۳ طراحی رویتگر LTR برای تخمین سطح لغزش..... ۸۳

۵-۴ کنترل مود لغزشی دینامیک تطبیقی..... ۸۶

۵-۵ نتایج شبیه‌سازی..... ۸۹

۶ **فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات**..... ۹۳

۶-۱ نتیجه‌گیری..... ۹۴

۶-۲ پیشنهادات..... ۹۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

امنیت حمل‌ونقل هوایی و هواپیماها از مهمترین چالش‌های صنعت حمل‌ونقل است. شکل ۱-۱، تعداد تصادفات و تعداد مرگ و میر بر اثر سوانح هوایی را از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تعداد تلفات هوایی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ حدود ۵۰٪ کاهش داشته و همچنین در این بازه زمانی تعداد تصادفات از ۱۱۲ تصادف در سال ۲۰۰۶ به ۹۹ تصادف در سال ۲۰۱۲ رسیده است. کاهش سوانح هوایی به دلیل آموزش‌های بیشتر خلبانان و کادر پرواز و استفاده از تکنولوژی‌های ایمنی در هواپیما می‌باشد.

شکل ۱-۱-تعداد تصادفات و تعداد مرگ‌ومیر ثبت شده‌ی هوایی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ [۱]

مسئله‌ی سقوط هواپیما باعث تراژدی‌های بسیاری مانند مرگ دسته جمعی مسافران می‌شود. همچنین این سوانح با مشکلات زیادی اعم از صرف هزینه‌ی زیاد به دلیل از بین رفتن هواپیما، خدمه آموزش دیده و مهم‌تر از همه از بین رفتن اعتماد مردم همراه است. در طول سه دهه‌ی گذشته با توجه به اهمیت مسئله‌ی قابلیت اطمینان در سیستم‌ها، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی تشخیص و جداسازی خطا توسط محققین انجام شده است. یک خطا ممکن است در هردو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستم هواپیما رخ دهد.

علت بسیاری از سوانح و تصادفات هوایی، اشتباهات انسان‌ها و وقوع خطا در سیستم هواپیماها و بد عمل کردن اجزای سیستم در حلقه‌ی کنترل است [۲]. محرک‌ها[1] و حسگرهای[2] معیوب، ممکن است در نهایت به نتایج و پیامدهای فاجعه‌باری منجر شود، در نتیجه نیاز به طراحی یک روش تشخیص و شناسایی خطا وجود دارد که به طور فعال خطاهای حلقه‌ی کنترل را اصلاح کند، همچنین تشخیص اولیه‌ی تجهیزات از کار افتاده و دارای خطا، یک مسئله‌ی مهم در کنترل هواپیماست. برای ارضاکردن نیازهای ایمنی، قابلیت اطمینان و عملکرد مناسب در صنعت هواپیمایی، تشخیص خطاهای اجزای سیستم، تشخیص خطای حسگرها و محرک‌ها بسیار مهم است، همچنین تشخیص دقیق منبع و شدت هر بد عمل‌کردنی در سیستم باید به طور کامل مشخص شود تا عملیات اصلاح مناسب صورت گیرد. زمانی که کنترل‌کننده‌ی نامی[3] به صورت نادرست و با عملکرد پایین کار می‌کند یک دلیل احتمالی آن، تغییرات ایجاد شده در سیستم دینامیکی به علت یک شکست[4] است. هواپیماهای جدید و مدرن به حسگرهای افزوده مجهز شده‌اند که در صورت خرابی یک حسگر، حسگر دیگر جایگزین آن می‌شود، همچنین آنها سطوح کنترلی زیادی دارند که حتی با وجود چند شکست در سیستم نیز می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. زمانی که در سیستمی محرک‌ها خراب شوند، نه تنها توانایی سیستم کاهش می‌یابد بلکه ممکن است اغتشاش‌ها و انحراف‌های مداومی در سیستم تولید شود، در نتیجه نیازمند محرک‌ها و سیستمی هستیم که این خرابی محرک‌ها را جبران کند[۳].

در بسیاری از سیستم‌های کنترل، تنها تعداد محدودی از حالت‌های سیستم که خروجی آن را مشخص می‌کند قابل اندازه‌گیری می‌باشند. در حلقه‌ی کنترل از رویتگر برای تخمین حالت‌های غیرقابل اندازه‌گیری سیستم استفاده می‌شود. در واقع رویتگر با استفاده از اندازه‌گیری‌های موجود در حلقه‌ی کنترل حالت‌های غیرقابل اندازه‌گیری را تخمین می‌زند. بنابراین می‌توان گفت که رویتگر در شرایطی برای یک سیستم طراحی می‌شود که مشخصات سیستم اعم از ورودی‌های کنترلی و

[1] Actuators
[2] Sensors
[3] Nominal controller
[4] Failure

خروجی‌های سیستم کاملاً مشخص باشند. اولین رویتگر پیشنهاد شده، یک رویتگر خطی بود که توسط لیونبرگر[1] طراحی شد[۴]، در آن حالت‌های تخمین زده شده توسط رویتگر به طور نمایی به حالت‌های واقعی سیستم همگرا می‌شدند و همچنین زمانی که سیستم واقعی شامل اغتشاش یا عدم‌قطعیت پارامتری باشد این رویتگر قادر به تخمین حالت‌های سیستم واقعی نیست. در واقع رویتگر لیونبرگر نسبت به عدم‌قطعیت‌ها و اغتشاش مقاوم نیست. با این توضیحات تخمین حالت‌های سیستم با حضور اغتشاش دچار مشکل می‌شود و حالت‌های رویتگر نمی‌توانند به حالت‌های سیستم واقعی میل کنند. در [۵] ، اولین رویتگر مودلغزشی توسط اوتکین[2] پیشنهاد شد که در آن از جمله‌ی غیر خطی ناپیوسته استفاده شده و خروجی‌های تخمین زده شده توسط این رویتگر در مدت زمان محدود به خروجی‌های واقعی سیستم میل می‌کنند، اما تخمین آن دسته از حالت‌های سیستم که جزء خروجی فرایند نیستند به صورت نمایی به مقادیر خود همگرا می‌شوند.

در [۶و۷] ولکات و زاک[3] با اضافه کردن یک جمله‌ی خطی به رویتگر پیشنهاد شده توسط اوتکین توانستند که عملکرد این رویتگر را بهبود بخشند به طوری که خطای تخمین در حضور عدم‌قطعیت‌ها به طور مجانبی همگرا می‌شود. این محققین (ولکات و زاک) با استفاده از محدودیت ساختاری یک روش و الگوریتم برای طراحی این رویتگر پیشنهاد داده‌اند. ولی این روش به دلیل محاسبات زیاد و پیچیده به‌ویژه برای سیستم‌های مرتبه بالا، دارای فرایند طراحی دشوار و پیچیده است. در [۸] ادواردز و اسپرجن[4] رویتگر پیشنهاد شده توسط ولکات و زاک را تغییر داده و عملکرد آن را بهبود بخشیدند. در این رویتگر طراحی شده، ادواردز و اسپرجن یک روش طراحی سیستماتیک را فرمول‌بندی کرده‌اند (برخلاف روش ولکات و زاک که نیازمند یک محاسبات اولیه بسیار زیاد و طولانی است[۶و۷]). علاوه بر این، یک تفاوت دیگر بین رویتگر ادواردز و اسپرجن و رویتگر ولکات و زاک وجود دارد که این تفاوت به سطح لغزش تعریف شده در این رویتگرها مربوط است. در رویتگر

[1] Luenberger
[2] Utkin
[3] Walcott & Zak
[4] Edwards & Spurgeon

تعریف شده توسط ادواردز و اسپرجن خطای تخمین خروجی به عنوان سطح لغزش تعریف شده در حالی که در رویتگر تعریف شده توسط ولکات و زاک ، زیرمجموعه‌ای از خطای تخمین خروجی به عنوان سطح لغزش تعریف می‌شود.

۱-۲ مرور تحقیقات پیشین

رویتگر مودلغزشی به طور گسترده‌ای توسط محققین برای تخمین حالت‌های غیرقابل اندازه‌گیری سیستم و یا تخمین پارامترهای نامعلوم در زمینه‌های مختلف مهندسی مانند رباتیک، کنترل خودرو، موتورهای الکتریکی و غیره استفاه شده است. مزیت عمده رویتگرهای مودلغزشی طراحی ساده، همگرایی در زمان محدود و مقاوم بودن در مقابل عدم قطعیت می‌باشد.

پیاده‌سازی سخت‌افزاری ساده، مقاوم بودن نسبت به عدم‌قطعیت پارامتری، اغتشاش و نویز اندازه‌گیری و نهایتاً پاسخ دینامیکی سریع، باعث افزایش تحقیقات در زمینه‌ی توسعه و کاربرد رویتگرهای مودلغزشی در کاربردهای مهندسی شده است. این رویتگر نسبت به فیلتر کالمن که برای پیاه‌سازی نیاز به اطلاعات دقیق از مدل خطی سیستم دارد نیازمند اطلاعات کمتر از مدل سیستم برای طراحی و پیاده‌سازی است [۹].

رویتگر مودلغزشی از نوع تطبیقی مدل مرجع برای تخمین سرعت در موتور القایی بدون حسگر در [۱۰] پیشنهاد شده است. در [۱۱و۱۲] رویتگر و کنترل‌کننده‌ی مودلغزشی به طور همزمان برای موتور القایی بررسی شده و همچنین، تضمین پایداری سیستم حلقه بسته نیز تحلیل شده است. روش رویتگر تطبیقی مود لغزشی در [۱۳] و روش رویتگر مرتبه‌ی دو مودلغزشی در [۱۴] برای موتور القایی ارائه شده است. در [۱۵] رویتگر مودلغزشی مرتبه‌ی بالا برای شناسایی پارامترهای نامعلوم سیستم‌های غیرخطی به کار گرفته شده است. رویتگرهای مود لغزشی به عنوان حسگر می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند علاوه بر آن برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز کنترل خودرو استفاده شوند همچنین برای اهداف تشخیص خطا در بسیاری از سیستم‌ها کاربردهای فراوانی دارند [۱۶]. در [۱۷]

برای تخمین سرعت و موقعیت موتورهای رلوکتانسی[1] از رویتگر مودلغزشی استفاده شده است. در [۱۸] به جای استفاده از حسگرهای موقعیت و سرعت در موتورهای رلوکتانسی رویتگر مودلغزشی جایگزین شده و نتایج شبیه‌سازی و پیاده‌سازی عملی، عملکرد مطلوب‌تر این روش را نشان می‌دهد. در [۱۹] برای تخمین ورودی نامعلوم سیستم‌هایی که حالت‌های آنها قابل اندازه‌گیری است از رویتگر مودلغزشی استفاده می‌شود.

روشهای مود لغزشی دارای خواص مقاوم پذیری بالایی هستند به طوری که نسبت به عدم‌قطعیت همسان[2]، کاملاً غیر حساس هستند، همچنین دارای یک مفهوم طراحی نسبتاً سرراستی می‌باشند [۵و۲۰]. علاوه بر آن، این روشها برای مقابله با هردو عدم‌قطعیت ساختاری و غیرهمسان[3] می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند [۲۱] . باتوجه به خواص گفته شده روشهای مود لغزشی برای تشخیص خطای مقاوم نتایج مناسبی را ارئه می‌دهد[۲۰].

از دیگر ویژگی‌های رویتگرهای مودلغزشی می‌توان به کاربرد سیگنال تزریقی معادل خطای خروجی[4] اشاره کرد که این سیگنال نوع فرکانس پایین جمله‌ی غیرخطی ناپیوسته بوده که قادر است اغتشاش موجود در سیستم را ردیابی کند و می‌توان با توسعه دادن آن، در کاربردهای تشخیص خطا از آن استفاده کرد.

ادواردز و همکارانش در ارائه‌ی کار انجام شده در[۸و۲۲و۲۳] از روشی برای طراحی رویتگر مودلغزشی استفاده کردند که با دیگر روش‌های مود لغزشی مانند روش چن و سیف[5] [۲۴] ، و هچنین با روش کار اسریدهار و همکارانش [6] در [۲۵] و با کار یانگ و سیف[7] در [۲۶] متفاوت است به طوری که حرکت لغزشی در تمامی زمان‌ها حتی در حضور خطا در سیستم نیز پایدار است. همچنین در

[1] Reluctance motor
[2] Matched uncertainty
[3] Unmatched uncertainty
[4] Equivalent output error injection signal
[5] Chen & Saif
[6] Sreedhar et al.
[7] Yang & Saif

رویتگر ادواردز و همکارانش در [۲۳] از سیگنال معادل خطای تزریقی خروجی که پایه و اساس حرکت لغزشی است استفاده شده، و با استفاده مناسب از این سیگنال می‌توان خطا را توسط آن بازسازی کرد. در طرح ارائه شده توسط ادواردز و اسپرجن شرط لازم و کافی برای طراحی رویتگر مود لغزشی نیز ارائه شده، بنابراین طراح می‌تواند در همان ابتدا تشخیص دهد که آیا این روش برای سیستم مورد بررسی‌اش قابل اجرا است یا خیر.

به طورکلی استفاده از روش رویتگر مودلغزشی برای تشخیص خطا از ۱۵سال قبل پیشنهاد شده است. اسریدهار و همکارانش یک سری تحقیقات به همراه شبیه‌سازی برای هردو خطای محرک و حسگر و همچنین پردازش این خطاها معرفی کردند[۲۵]. نتایج شبیه‌سازی‌های ارائه شده در [۲۵] نشان می‌دهد که رویتگر مودلغزشی پیشنهاد شده برای تشخیص خطا در مقایسه با رویتگرهای خطی نسبت به عدم‌قطعیت‌ها مقاوم است. در صورتی که رویتگرهای خطی مقاوم نبوده و در صورت وجود خطاهای مدل‌سازی به راحتی از کار می‌افتند و ممکن است هشدارهای اشتباهی برای وجود خطا اعلام کنند.

در [۲۷] واتانابه و هیملبلا[1]، یک روش تشخیص خطای مبتنی بر رویتگر ارائه کردند که به یک‌سری عدم‌قطعیت‌های خاص در سیستم، حساسیت کمی داشت. یانگ و سیف روش خود را با استفاده از یک رویتگر مودلغزشی تطبیقی، برای تنظیم آستانه توسعه دادند که تنظیم آستانه برروی حساسیت تشخیص خطا تأثیر زیادی می‌گذاشت. آن‌ها در روش خود پیشنهاد کردند که استفاده از آستانه‌ی متغیر با زمان[2] می‌تواند منجر به عملکرد مطلوب شود، همچنین آن‌ها رویتگر خود را برای یک دسته‌ی خاصی از سیستم‌های غیرخطی که دارای پارامترهای متغیرند طراحی کردند به طوری که برای طراحی این رویتگر از خطی‌سازی استفاده شده و در نتیجه نسبت به عدم‌قطعیت‌ها مقاوم نبوده و ممکن است هشدارهای خطای اشتباهی تولید کند. روش طراحی آن‌ها بسیار مشابه با روش طراحی

[1] Watanabe & Himmelblau
[2] Time-varying threshold

ولکات و زاک در [۶] است ولی در مقایسه با آن دارای یک مزیت است، به این ترتیب که تخمین پارامترهای نامشخص نیز علاوه بر تشخیص خطا انجام می‌گیرد[۲۶]. در سال ۲۰۰۱ چن وسیف در [۲۴] استفاده از دینامیک‌های مرتبه‌ی دوم سطح لغزش را پیشنهاد کردند به این ترتیب که روش تشخیص خطا می‌تواند فرکانس‌های مرتبه‌ی بالای ناخواسته که به دلیل دینامیک‌های مدل‌نشده‌ی سیستم به وجود می‌آیند را فیلتر کند. موضوع کلیدی اشاره شده در کار چن وسیف، انتخاب بهره‌ی رویتگر است که به اندازه‌ی عدم‌قطعیت و اندازه‌ی اغتشاش بستگی دارد، یک بهره‌ی بزرگ ممکن است خطا را از بین ببرد و یک بهره‌ی کوچک نمی‌تواند حرکت لغزشی خطای تخمین خروجی را تضمین کند. روشی که آن‌ها انتخاب کردند مشابه کار یانگ و سیف در [۲۶] است به این ترتیب که از آستانه (بهره‌ی سوئیچینگ) استفاده کردند.

در [۲۸] روش رویتگر مودلغزشی برای تشخیص خطا با روش رویتگر ورودی نامعلوم مقایسه شده و این نتیجه بدست آمده که روش رویتگر مودلغزشی تحت شرایط محدودیتی[1] کمتری می‌تواند طراحی شود. همچنین این مسئله اثبات شد که تشخیص دادن خطاهای بزرگ و ناگهانی برای همه‌ی سیستم‌های غیرخطی ممکن است و اینکه رویتگر مودلغزشی در مقایسه با رویتگر ورودی نامعلوم، خطاهای اولیه را بهتر تشخیص می‌دهد.

یو و کاواجی[2] یک روش تشخیص خطا با استفاده از رویتگر مود لغزشی برای دسته‌ای از سیستم‌های خطی با خطای محرک توسعه دادند، کار انجام شده توسط آن‌ها دارای مزیت‌های مقاوم بودن و ساده بودن طراحی است، هدف آن‌ها ساختن سیگنال مانده و تخمین و بازسازی خطا است. نتایج تشخیص خطایی که به دست آمده نشان می‌دهد که مقدار خطای بدست آمده با مقدار واقعی‌اش یک تفاوت کوچک دارد در حالی که با روش بازسازی سیگنال خطا، مقدار خطا دقیق بدست آمده

[1] Restrictive condition
[2] Yeu & Kawaji

است[۲۹]. بعدها در سال ۲۰۰۲ ما و همکارانش[1]، از روش رویتگر مودلغزشی برای تشخیص خطای سیستم‌های غیرخطی با عدم‌قطعیت‌های دارای باند نامشخص، استفاده کردند، در روش پیشنهاد شده توسط آن‌ها خطا به صورت یک تابع غیرخطی فرض شده و با استفاده از یک شبکه عصبی مقدار خطا تخمین زده می‌شد[۳۰].

در [۳۱]، طراحی یک رویتگر چندگانه‌ی مودلغزشی برای یک مدل چندگانه[2] نشان داده شده که در آن، تخمین بردار حالت برای یک سیستم دینامیکی غیرخطی و متعاقباً ماندن برروی یک سطح از قبل تعریف شده در فضای حالت بدست می‌آید. این روش به طور عمده بر مسئله‌ی طراحی رویتگر غیرخطی برای تخمین حالت‌های سیستم‌های خطی که دارای ورودی‌های نامعلوم هستند، تأکید دارد.

وانگ و همکارانش[3] در [۳۲]، یک روش تشخیص خطا معرفی کردند که در آن از یک شبکه‌ی عصبی تابع پایه شعاعی[4] برای تخمین خطاها استفاده شده است. تأکید آن‌ها در این روش بر رویتگر مود لغزشی است که برای تشخیص خطای سیستم‌های غیرخطی شامل عدم‌قطعیت به کار گرفته شده، هدف اصلی آن‌ها از استفاده کردن از شبکه‌ی عصب توابع پایه شعاعی بدست آوردن مشخصات غیرخطی خطاهای موجود در سیستم است.

اگر سیگنال خطا را مانند یک سیگنال ناشناخته مدل کرده ودر نظر بگیریم، رویتگرهای مود لغزشی قادرند این خطا را بازسازی کنند یا اینکه خطا راتشخیص داده و جداسازی کنند. اخیراً ادواردز و همکاران در [۲۲و۲۳] با استفاده از یک رویتگر توانسته اند سیگنال خطا را بازسازی کنند ولی اگر در سیستم اصلی مثلاً اغتشاش یا عدم‌قطعیت مدل نشده یا عدم‌قطعیت پارامتریک یا حتی اغتشاش داخلی نیز وجود داشته باشد این بازسازی خطای آن‌ها دقیق نخواهد بود[۲۲و۲۳]. بنابراین در همه‌ی

[1] Ma et al.
[2] Multiple model
[3] Wang et al.
[4] Radial basis

این حالت‌ها بایستی بازسازی خطای مقاوم[1] انجام گیرد. در [۳۳]، ادواردز و تان[2] برای طراحی این رویتگر گفته شده یک روش طراحی پیشنهاد کردند برای مثال در این روش بهره‌ی L_2 از اغتشاش به بازسازی خطا حداقل می‌شود تا اغتشاش در سیگنال خطای بازسازی شده کمترین تأثیر را بگذارد.

در [۲۳] از یک رویتگر مود لغزشی بر اساس رویتگر معرفی شده در [۸] برای بازسازی خطا استفاده شده است. در این طرح ارائه شده، در فرایند بازسازی خطا، به طور صریح اغتشاش خارجی در نظر گرفته نشده و در نتیجه نسبت به آن مقاوم نمی‌باشد. وجود اغتشاش بر روی خطا می‌تواند باعث دیده نشدن خطا و هشدارهای اشتباه شود. دیده نشدن خطا موجب خرابی محرک و آسیب دیدن سیستم می‌شود.

در [۳۳] بر اساس طرح ارائه شده در [۲۳] یک رویتگر مقاوم مود لغزشی برای بازسازی خطا ارائه شده، همچنین این رویتگر بهره L_2 از اغتشاش به بازسازی خطا را حداقل می‌کند. با وجود اینکه در این تحقیق تاثیر اغتشاش بر روی بازسازی خطا به طور کامل حذف نشده ولی تاثیر آن حداقل شده است. در [۳۴] یک روش برای ترکیب خطا و اغتشاش ارائه شده که در آن بردار خطای افزوده (اغتشاش و خطا) بازسازی می‌شود، اگرچه این روش ارائه شده، جداسازی خطا و اغتشاش را به طور موفقیت آمیزی انجام می‌دهد ولی برای طراحی چنین سیستمی، نیاز به برآورده شدن قیدها و شروط بسیاری است، همچنین در فرایند بازسازی خطا و به طور کلی در سیستم‌های کنترل نیازی به ساخت مستقیم اغتشاش نیست و تنها، کاهش اثر اغتشاش و دفع آن هدف می‌باشد. در [۳۵] دو روش ارائه شده در [۲۳] و [۳۴] مقایسه و بررسی شده‌اند، در نهایت به این نتیجه رسیده شده که برای دفع اغتشاش در فرایند بازسازی خطا نیاز به بازسازی اغتشاش نمی‌باشد.

[1] Robust fault reconstruction
[2] Edwards and Tan