

ارتقای قابلیت اطمینان زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره با استفاده از سیستم کشف خرابی هوشمند

ابوالفضل محمودنیا^۱، مهران مهدی‌آبادی^۲

دانشگاه آزاد اسلامی قزوین

مجتمع دانشگاهی هوافضا

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۳/۲۲

تاریخ ارزیابی نهایی: ۱۳۹۰/۰۸/۳۰

چکیده

هدف این مقاله افزایش قابلیت اطمینان و سلامت در زیر سیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره با استفاده از سیستم کشف خرابی می باشد. کشف سریع و به موقع خرابی امکان جلوگیری از انتشار و ترمیم آثار آن را امکان پذیر می سازد و سبب می شود تا احتمال از کار افتادگی کامل سیستم کاهش یافته و میزان قابلیت اطمینان آن افزایش یابد. روش پیشنهادی این مقاله عمل کشف خرابی به وسیله روش مبتنی بر داده شبکه عصبی صورت می پذیرد. در این روش پس از مطالعه رفتار دینامیکی چرخ عکس‌العملی از یک مدل صوری در قالب شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به همراه تاخیر خطی جهت فراگیری رفتار دینامیکی چرخ عکس‌العملی استفاده شده است. مدل عصبی بدست آمده پس از تمرین دهی با داده‌های مورد نظر از دقت قابل ملاحظه ای برخوردار گردیده و سرعت و حساسیت بالایی نسبت به وقوع رفتار نامتعارف در عملگر چرخ عکس‌العملی از طریق سیگنال مانده از خود نشان می دهد. در این مقاله به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی یک مدل نرم افزاری از عملگر چرخ عکس‌العملی در نرم افزار MATLAB تهیه شده است.

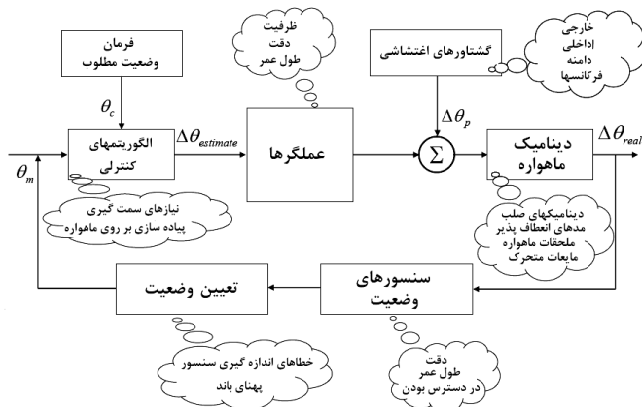
کلیدواژه:

کشف خرابی، شبکه عصبی، سیگنال مانده، چرخ عکس‌العملی.

مقدمه

ارسال می شوند. یکی از مهم ترین بخش های ماهواره که به طور مستقیم با سلامت رابطه دارد، زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره می باشد. شکل ۱ بلوک دیاگرام زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره را نشان می دهد.

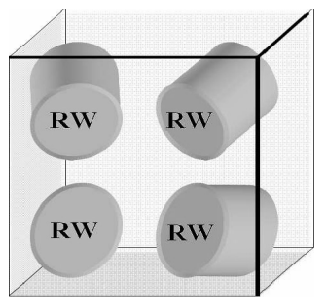
همواره کارایی بالا، میزان قابلیت اطمینان^۱ و سلامتی^۲ از مهمترین معیارها در مهندسی سیستم های فضایی می باشد. پارامتر قابلیت اطمینان به احتمال صحیح کار کردن سیستم در یک بازه زمانی اشاره دارد و پارامتر سلامت سیستم به چگونگی رفتار سیستم در بازه زمانی مشخص اشاره دارد، به گونه ای که اگر خرابی در آن وقوع یافت، بتوان آن را کشف نمود. اولین و مهم ترین مرحله برای جلوگیری از معیوب شدن یک سیستم، کشف خرابی در آن سیستم است. زیرا در این صورت مدت زمان مناسب برای جلوگیری از ایجاد عیب در سیستم وجود خواهد داشت. [۱] ماهواره ها نمونه ای از سیستم های فضایی خود کار، مهم و هزینه بر می باشند که به مأموریت هایی با بازه های زمانی نسبتاً طولانی



شکل ۱. بلوک دیاگرام عملکرد زیرسیستم تعیین وضعیت [۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد mahmoodnia@gmail.com

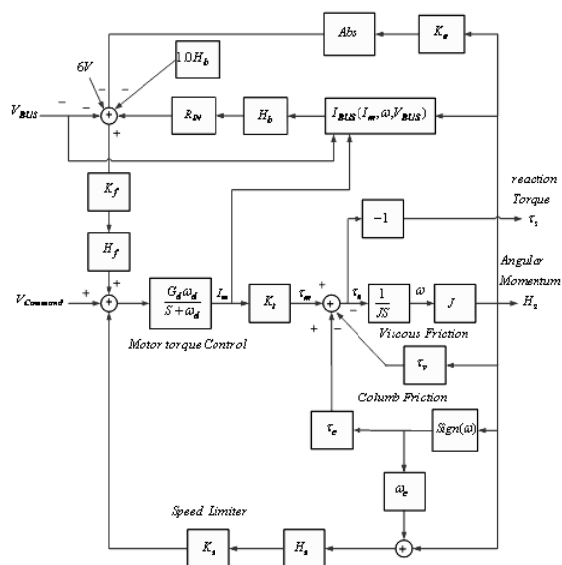
۲. پژوهشیار mahdiabadi@yahoo.com



شکل ۲. چیدمان عملگرهای چرخ عکس‌عملی به‌همراه چرخ یدک در زیرسیستم [۲]

مدلسازی چرخ عکس‌عملی

همانطور که در بالا بدان اشاره شد زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره از ترکیب سه عملگر چرخ عکس‌عملی در کنار هم تشکیل شده است، از اینرو جهت پیاده‌سازی سیستم کشف خرابی می‌بایست این فرایند را بر روی تمام اجزای زیرسیستم تعمیم داد. در اینجا یک مدل نرم‌افزاری از چرخ عکس‌عملی در نرم‌افزار MATLAB طبق [۷] طراحی و پیاده‌سازی گردیده است که به‌عنوان بستر تست و آزمایش روش پیشنهادی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در پیاده‌سازی این مدل کلیه بخش‌های مربوط به کنترل گشتاور موتور، محدود کننده سرعت، اصطکاک، معادلات دیسک و گشتاورهای موتور به‌همراه جزییات مربوطه منظور گردیده است. شکل ۳ مدل کامل و غیرخطی چرخ عکس‌عملی که در MATLAB پیاده‌سازی شده است را نشان می‌دهد. در ادامه از این مدل جهت بررسی کارایی سیستم تشخیص خرابی استفاده می‌شود.



شکل ۳. بلوک دیاگرام مدل کامل چرخ عکس‌عملی [۳]

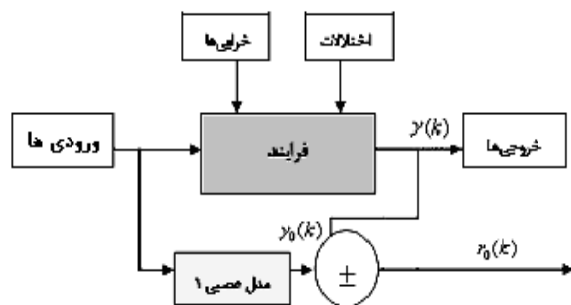
وظیفه این زیرسیستم، کنترل وضعیت ماهواره در فضا و خنثی کردن اختلالات و گشتاورهای مزاحم محیطی وارده بر ماهواره می‌باشد. از این‌رو این زیرسیستم همواره به‌عنوان یک موضوع مطالعاتی جهت ارائه الگوریتم‌های کشف خرابی شناخته می‌شود. [۴،۳،۶] زیرا ارتقای قابلیت اطمینان زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره به‌طور مستقیم بر روی قابلیت اطمینان ماهواره در فضا تأثیر می‌گذارد. در ادامه یک مدل کامل از زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره طبق مرجع [۷] مورد پیاده‌سازی قرار گرفته است تا به‌عنوان بستر آزمایش مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پس از معرفی انواع روش‌های تشخیص خرابی به‌تشریح الگوریتم‌های تشخیص خرابی مبتنی بر شبکه عصبی پرداخته شده و در نهایت روش پیشنهادی مقاله به‌همراه آزمایش‌های صورت پذیرفته بر روی آن آرایه شده است.

زیرسیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره

معمولاً به منظور پیاده‌سازی این زیرسیستم در اکثر ماهواره‌ها، از سه چرخ عکس‌عملی در راستای سه محور اصلی ماهواره استفاده می‌شود. هر یک از این عملگرهای چرخ عکس‌عملی دارای یک موتور الکتریکی و یک دیسک سنگین هستند. با اعمال جریانی به موتور الکتریکی، گشتاوری تولید می‌شود که باعث تغییر سرعت زاویه‌ای دیسک حول محور روتور می‌شود. طبق قانون سوم نیوتن، بر اساس این چرخش، یک گشتاور عکس‌عملی با همان دامنه و در جهت مخالف تولید خواهد شد. تغییر سرعت چرخ عکس‌عملی با اعمال قانون کنترلی لازم به موتورها، سبب می‌شود که روتور از سرعت صفر به سرعت لازم برسد و پس از تولید گشتاور لازم، موتور مجدداً خاموش می‌شود. این تغییر سرعت موجب می‌شود تا گشتاور مورد نیاز جهت دستیابی به وضعیت مطلوب ماهواره تولید شود. به منظور افزایش قابلیت اطمینان در زیرسیستم‌های مبتنی بر چرخ عکس‌عملی از یک چرخ عکس‌عملی افزونه یا یدک استفاده می‌شود. این عملگر طبق شکل ۲ در کنار سه چرخ عکس‌عملی اصلی قرار گرفته و به محض آنکه یکی از چرخها از کار بیافتد و یا خرابی غیرقابل ترمیم در آنها روی دهد چرخ عکس‌عملی یدک جایگزین چرخ معیوب در سیستم خواهد شد.

کشف خرابی مبتنی بر شبکه عصبی

فرایند و مقادیر تخمین زده شده آنها به دست می آید که در اصطلاح به آنها سیگنال‌های مانده^۳ اطلاق می‌شود. سپس در مرحله دوم، از این سیگنال‌ها جهت شناسایی و تعیین خرابی استفاده می‌شود. ساختار یک سیستم کشف خرابی با استفاده از یک مدل عصبی تهیه شده از سیستم در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴. ساختار یک سیستم کشف خرابی مبتنی بر شبکه عصبی [۱]

در این ساختار نیاز به تولید و تمرین دهی یک شبکه متناسب با رفتار سیستم می‌باشد. فرایند تمرین دهی این شبکه با استفاده از داده‌های سالم موجود از سیستم که می‌تواند از خود سیستم در حال اجرا جمع‌آوری شده باشد و یا اینکه از مدل تهیه شده از سیستم تولید شده باشد، صورت می‌پذیرد. پس از پایان فرایند تمرین دهی می‌توان از مدل عصبی بدست آمده در کنار سیستم واقعی جهت تولید سیگنال‌های مانده سود برد. سیگنال‌های مانده ابزارهایی تشخیصی هستند که به اختلاف میان خروجی مدل صوری تولید شده از سیستم و خروجی واقعی سیستم اشاره دارد. انحراف این سیگنال از مقدار صفر نشان‌دهنده بروز رفتار نامتعارف در سیستم اصلی می‌باشد. از این رو همواره بر اساس حدود آستانه در نظر گرفته شده بر روی آن میتوان وقوع و یا عدم وقوع خرابی در سیستم اصلی را گزارش داد.

روش پیشنهادی

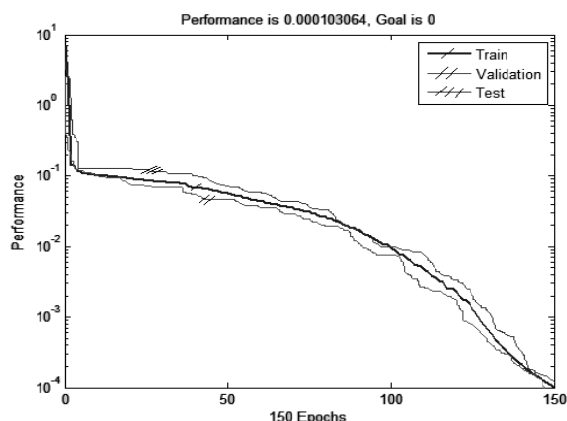
پس از بررسی و مطالعه آخرین روش‌های ارائه شده در [۳]، [۴]، [۵]، [۶] بر روی مدل چرخ عکس‌العملی به عنوان بخشی از زیر سیستم تعیین و کنترل وضعیت ماهواره، مشکلات و ضعف‌های عمده روش‌های کنونی را می‌توان، عدم حساسیت به تغییرات و خرابی‌های بسیار کوچک اشاره کرد. در ادامه مقاله و روش پیشنهادی از ساختار جدیدی برای شبکه عصبی پیشرونده چندلایه استفاده شده است که تا حد زیادی میزان حساسیت به خرابی را در سیستم کشف خرابی ارتقاء داده است.

سیستم های کشف خرابی به سه دسته کلی روشهای مبتنی بر مدل کمی، مبتنی بر مدل کیفی و روشهای مبتنی بر داده تقسیم می‌شوند [۸]. در مواقعی که سیستم مورد نظر یک سیستم پیچیده و با رفتار دینامیکی و غیرخطی باشد و امکان مدلسازی دقیق به دلیل کمبود آگاهی از رفتار و حالات سیستم و چگونگی وقوع خرابی های آن وجود نداشته باشد به روشهای مبتنی بر داده روی آورده می‌شود. در این روش‌ها بر اساس تحلیل داده‌های صحیح ورودی و خروجی سیستم یک مدل صوری از سیستم تهیه می‌شود که به عنوان ابزاری جهت تولید سیگنال مانده و کشف خرابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های عصبی از جمله الگوریتم‌های مبتنی بر داده ای هستند که طی دهه اخیر به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های تشخیص خرابی به کار گرفته شده‌اند.

توانایی شبکه‌های عصبی در جهت مدلسازی و یادگیری رفتار دینامیک سیستم‌ها سبب شده است تا به‌عنوان روشی جذاب در این زمینه شناخته شود. همچنین قدرت بالا در برخورد با ورودی‌های ناشناخته و معیوب و مقاومت در برابر اختلالات ورودی از دیگر مزایای مدلسازی سیستم‌ها با شبکه عصبی می‌باشد. از آنجاییکه شبکه‌های عصبی هیچ‌گونه نیازی به آگاهی از رفتار ریاضیاتی و روابط موجود میان پارامترهای سیستم ندارند، می‌توانند یک مدل از سیستم را در قالب یک جعبه سیاه که تنها بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌ها کار می‌کند، فراهم سازد. هرچه مدل حاصل از فرایند تمرین دهی دقیق‌تر باشد و در واقع هر چه شبکه ارائه شده به‌شکل بهتری رفتار سیستم را فراگرفته باشد، آنگاه مدل عصبی موجود ابزار مناسب‌تری جهت مقایسه با فرایند سیستم بوده و می‌توان سیگنال‌های مانده حساس‌تر و دقیق‌تری را تولید نمود. حساسیت و دقت این سیگنال‌ها سبب افزایش دقت تصمیم‌گیری، کشف خرابی‌های کوچک و افزایش قابلیت اطمینان تشخیص خرابی در کل سیستم خواهد شد.

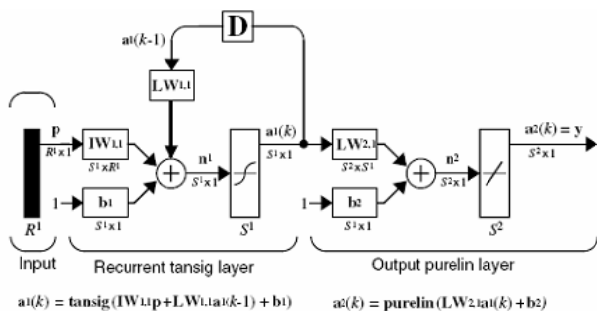
تشخیص خرابی مبتنی بر شبکه عصبی به دو مرحله اصلی تولید و ارزیابی مانده‌ها خلاصه می‌شود. در مرحله اول که به آن کشف خرابی نیز گفته می‌شود سیگنال‌هایی از طریق محاسبه میزان اختلاف میان مقادیر واقعی پارامترهای

مطمئن اقدام نمود. برای این منظور تعداد ۵۰۰۰۰ رکورد داده شامل ورودی و خروجی عملگر چرخ عکس‌العملی از مدل پیاده‌سازی شده از آن طبق مرجع [۳] و در شرایط اجرایی ایده‌آل و بدون خرابی تولید شد و سپس طی فرایند یادگیری بر اساس الگوریتم انتشار به عقب به شبکه مورد نظر اعمال شد. نمودار کارایی تولید شده از فرایند تمرین دهی شبکه عصبی پیشرونده در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷. نمودار کارایی شبکه عصبی با ۱۵۰ دوره تمرین دهی

پس از تست شبکه‌های عصبی گوناگونی نظیر شبکه خودچرخشی و شبکه MLP با یک تاخیر در ورودی طبق مراجع [۹،۸] نتایج به دست آمد که نشان‌دهنده این مطلب بود که شبکه عصبی پیشروی پیشنهادی از قدرت بالاتری جهت تولید سیگنال مانده برخوردار می‌باشد در واقع این شبکه توانسته است تا رفتار دینامیکی چرخ عکس‌العملی را به نحو بهتری فرا بگیرد. در روش شبکه خودچرخشی المان یک بارخورد از خروجی لایه مخفی به ورودی همان لایه وجود دارد. این حالت خودچرخشی به شبکه اجازه می‌دهد تا الگوی زمانی و توابع رفتار دینامیکی چرخ ایجاد شوند. در [۸] از یک شبکه المان با دو نرون در لایه ورودی، بیست و پنج نرون در لایه مخفی و یک نرون در لایه خروجی بهره برده شده است. ساختار سطح پایین این شبکه در شکل ۸ آمده است.



شکل ۸. ساختار شبکه سه لایه المان

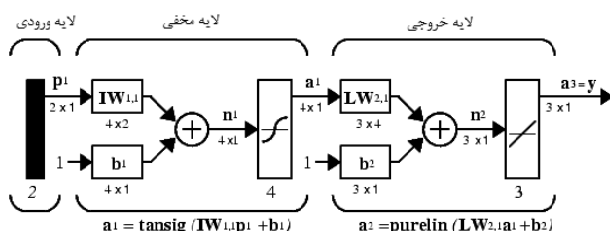
طبق [۱۰] مدل دینامیکی هر سیستم غیر خطی را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌های گذشته سیستم و به فرم رابطه (۱) نوشت:

$$y = \varphi(u(k), u(k-1), \dots, u(k-n), y(k-1), \dots, y(k-m)) \quad (1)$$

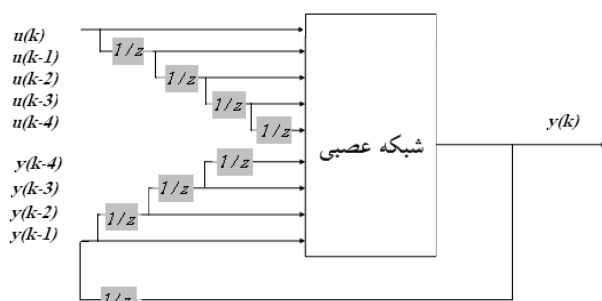
در روش پیشنهادی از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه به همراه تاخیر خطی جهت مدل‌سازی رفتار عملگر استفاده شده است. بدین منظور پس از مطالعه دقیق رفتار چرخ عکس‌العملی، رابطه (۱) به شکل رابطه (۲) برای نمایش رفتار دینامیکی غیرخطی عملگر چرخ عکس‌العملی، بدست آمد.

$$y = \varphi(u(k), u(k-1), u(k-2), u(k-3), \dots, u(k-4), y(k-1), y(k-2), y(k-3), y(k-4)) \quad (2)$$

طبق این رابطه بدست آمده در روش پیشنهادی از شبکه عصبی پرسپترون با ۹ نرون در لایه ورودی، ۳۰ نرون در لایه میانی و یک خروجی استفاده شده است. ورودی‌های این شبکه شامل آخرین ۵ ورودی عملگر در لحظه جاری و چهار لحظه گذشته بوده و ۴ ورودی دیگر آخرین چهار خروجی از عملگر در چهار لحظه گذشته می‌باشد. شکل ۵ ساختار سطح پایین از یک شبکه پیشرو دو لایه را نشان می‌دهد. هم چنین در شکل ۶ شبکه عصبی در کنار بلاک‌های تاخیر استفاده شده بر سر ورودی‌ها دیده می‌شود.



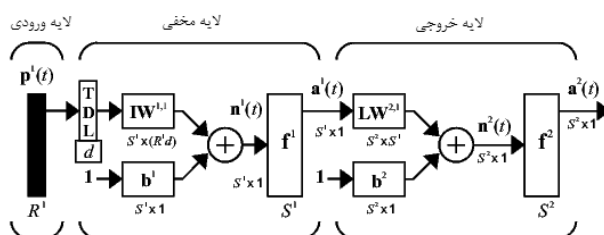
شکل ۵. یک ساختار دولایه سطح پایین از شبکه عصبی MLP



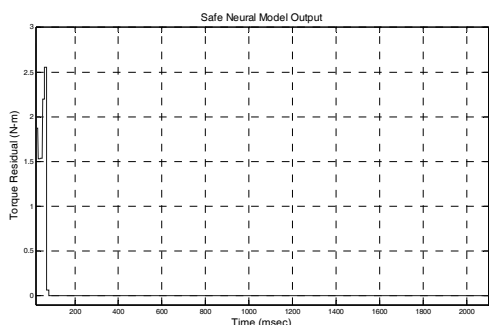
شکل ۶. نمای سطح بالا از شبکه عصبی به همراه ورودیهای تاخیردار [۶]

پس از پیاده‌سازی و تولید شبکه عصبی مورد نظر و با ساختار معماری ارائه شده در بالا باید نسبت به تمرین دهی آن با داده‌های

شبکه MLP با یک خط تاخیر شامل یک شبکه پیشرو^۴ به همراه یک خط تاخیر زمانی در ورودی می‌باشند. به این شبکه‌ها در اصطلاح شبکه‌های عصبی با تاخیر زمانی متمرکز^۵ نیز گفته می‌شود. البته این دسته از شبکه‌ها تنها بخشی از کلاس شبکه‌های دینامیکی هستند که مشخصه دینامیکی آن تنها در لایه ورودی از یک شبکه پیشرو چند لایه لحاظ می‌شود. شمای شکل ۹ یک ساختار دو لایه از شبکه عصبی پیشرونده با تاخیر زمانی متمرکز نشان می‌دهد.



شکل ۹. ساختار دو لایه سطح پایین از شبکه عصبی پیشرونده با تاخیر زمانی متمرکز



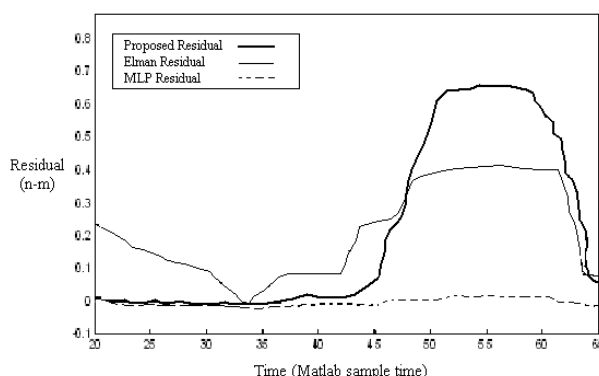
شکل ۱۱. رفتار شبکه عصبی حالت سلامت چرخ عکس‌العملی

پس از اطمینان از صحت عملکرد شبکه عصبی در حالت سلامت سیستم، نحوه عملکرد آن در شرایط وقوع خرابی بررسی می‌شود. بدین منظور سه خرابی افزایش دما، افت جریان موتور و افت ولتاژ باس که به‌عنوان خرابی‌های شایع چرخ عکس‌العملی هستند و به‌صورت جداگانه بر روی مدل پیاده‌سازی شده اعمال می‌شوند.

خرابی افزایش دما

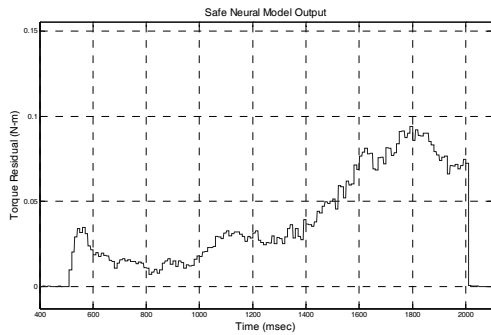
به منظور پیاده‌سازی خرابی افزایش دما و بررسی عملکرد سیستم کشف خرابی در مدل مورد نظر متغیر اصطکاک در لحظه ۵۰۰ میلی‌ثانیه، به میزان صد درصد افزایش یافته است. خروجی حاصل از سیگنال مانده در طول زمان اجرای مدل به همراه خرابی افزایش دما در شکل ۱۰ آمده است. همانطور که از سیگنال قابل فهم است مقدار انحراف سیگنال از صفر از لحظه اعمال خرابی افزایش یافته است.

نمودار مقایسه رفتار سه شبکه عصبی پیشنهادی، خودچرخشی و شبکه MLP با یک تاخیر در ورودی در برخورد با یک خرابی رویداده در چرخ عکس‌العملی در شکل ۸ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سیگنال تولید شده مبتنی بر شبکه عصبی پیشرو با تاخیر زمانی نسبت به سایر سیگنال‌ها در لحظه ۴۰ از دامنه بیشتری برخوردار می‌باشد و در سایر لحظات خروجی سیگنال مانده آن کاملاً به صفر نزدیک می‌باشد.



شکل ۱۰. مقایسه روش پیشنهادی با سایر شبکه‌های به‌کاررفته جهت کشف خرابی در عملکرد چرخ عکس‌العملی. در لحظه ۴۰ خرابی افت ولتاژ روی داده است

همانطور که مشاهده گردید روش پیشنهادی این مقاله از دامنه



شکل ۱۴. سیگنال مانده خرابی افت ولتاژ

نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد تا با ارائه روش پیشنهادی، کیفیت فرایند کشف خرابی مبتنی بر شبکه عصبی در عملگر چرخ عکس‌العملی زیر سیستم تعیین و کنترل ماهواره بهبود یابد. در این روش از ساختار جدیدی از شبکه عصبی چندلایه پیشرونده به همراه تاخیر خطی جهت مدل‌سازی رفتار دینامیکی چرخ عکس‌العملی استفاده شده است. هرچه دقت مدل عصبی ایجاد شده از سیستم دقیق‌تر بوده باشد سیگنال مانده تولید شده از حاصل اختلاف خروجی آن با خروجی واقعی سیستم بزرگتر خواهد بود. همانطور که مشاهده شد سیگنال تولیدی این روش نسبت به دو روش دیگر در شکل ۶ بزرگتر می‌باشد. این قابلیت سبب خواهد شده تا اختلالات و خرابی‌هایی با اندازه ناچیز از طریق انحراف سیگنال مانده از صفر نشان داده شده و کشف گردد. کشف صحیح و سریع خرابی‌های رویداده در سیستم سبب می‌شود تا زمان لازم برای برطرف نمودن خرابی و جلوگیری از انتشار اثرات آن در کل سیستم وجود داشته باشد، در نهایت این امر سبب خواهد شد تا احتمال از کارافتادگی سیستم کاهش یافته و میزان پارامترهای قابلیت اطمینان و سلامت سیستم در آن افزایش یابد.

پی‌نوشت

1. Reliability
2. Safety
3. Residual Signal
4. Feed Forward
5. Focused Time Delay Neural Network

مراجع

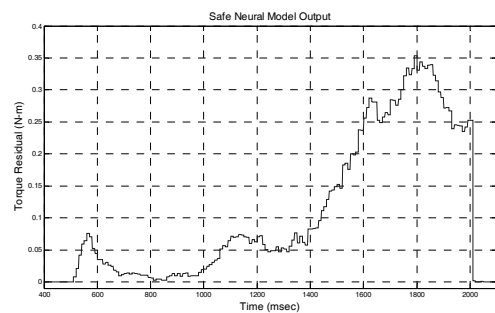
1. Josef korbicz, Jan M, Kosciły, Wojciech Cholwa, "Fault Diagnosis, Models, Artificial Intelligence and Applications", Springer, July 2004.
2. Wertz, J.R., "Spacecraft attitude determination and control",

خرابی افت جریان موتور

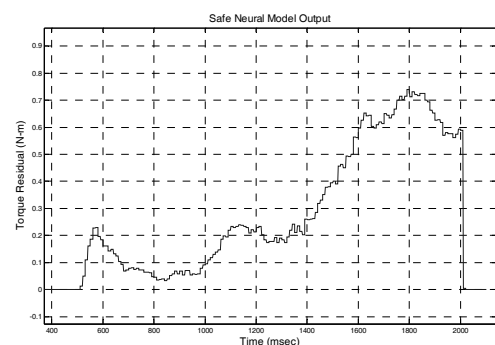
به منظور پیاده‌سازی خرابی افت جریان موتور و بررسی عملکرد سیستم کشف خرابی در مدل مورد نظر جریان موتور در لحظه ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌ثانیه از مقدار نرمال ۰/۱۹ به ۰/۰۶ کاهش یافته است. پس از اجرای مدل، خروجی حاصل از سیگنال مانده بصورت شکل ۱۱ نمایان می‌شود. همانطور که از سیگنال قابل فهم است مقدار انحراف سیگنال از صفر از لحظه اعمال خرابی افزایش یافته است.

خرابی افت ولتاژ باس

به منظور پیاده‌سازی خرابی افت ولتاژ باس و بررسی عملکرد سیستم کشف خرابی در مدل مورد نظر ولتاژ باس در لحظه ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌ثانیه از مقدار نرمال ۸ به ۵ ولت کاهش می‌یابد. پس از اجرای مدل، خروجی حاصل از سیگنال مانده بصورت شکل ۱۲ نمایان می‌شود. همانطور که از سیگنال قابل فهم است مقدار انحراف سیگنال از صفر از لحظه اعمال خرابی افزایش یافته است.



شکل ۱۲. سیگنال مانده تولید شده به ازای اعمال خرابی افزایش دما



شکل ۱۳. سیگنال مانده نشان‌دهنده خرابی افت جریان موتور از زمان ۵۰۰ تا ۲۰۰۰

7. Bill Bialke, "High Fidelity Mathematical Modeling of Reaction Wheel Performance", American Astronautically Society, 1998.
8. Venkat Venkatasubramanian, Raghunathan Rengaswamy, Kewen Yin. "A review of process fault detection and diagnosis", Part I, Part II, Part III, presented at Elsevier, Computer and Chemical Engineering 2003.
9. Al-Dein, Al-Zyoud and Khorasani, "Neural Network-Based Actuator fault diagnosis for attitude control subsystem of an unmanned Space Vehicle", International join conference on Neural Network, Vancouver, Canada, July 2006.
10. Zhongqi Li, Liying Ma, and Khashayar Khorasani, "Fault Detection in Reaction Wheel of a Satellite Using Observer-Based Dynamic Neural Networks", Department of Electrical and Computer Engineering Concordia University, Montreal, Quebec H3G 1M8 Canada.
3. Al-Dein, Al-Zyoud and Khorasani, "Neural Network-Based Actuator fault diagnosis for attitude control subsystem of an unmanned Space Vehicle", International join conference on Neural Network, Vancouver, Canada, July 2006.
4. Silvio Simani, Cesare Fantuzzi and J. Patton, Jan M, Kosciy, Wojciech Cholwa, "Model-based Fault Diagnosis Technique in Dynamic Systems Using Identification Methods", Springer, Feb 2004.
5. Al-Dein, Al-Zyoud and Khorasani, "Neural Network-Based Actuator fault diagnosis for attitude control subsystem of an unmanned Space Vehicle" International join conference on neural Network, Vancouver, Canada, July 2006.
6. Z. Q. Li, L. Ma and Khorasani, "A Dynamic Neural Network-based Reaction Wheel Fault Diagnosis for Satellite". International joins conference on neural Network, Vancouver, Canada, July 2006.

