



تشخیص خطای افزایش و کاهش بهره‌ی موتورهای درون چرخ در خودروهای الکتریکی چهار چرخ محرک

^۱ نسیم باقری، ^۲ حسن علیپور

^۱ گروه مهندسی برق، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران، nasim.bagheri.70@gmail.com

^۲ گروه مهندسی برق، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران، hasan.alipour2006@gmail.com

چکیده

در این مقاله جهت شناسایی خطا برای خودروهای الکتریکی چهار چرخ محرک بدون دیفرانسیل روش جدیدی ارتقاء یافته که از مقایسه نسبت لغزش چرخ‌ها استفاده کرده و خطا تشخیص داده می‌شود، همچنین جهت تعیین مقدار آستانه به‌منظور مقایسه با سیگنال تشخیص خطا از آموزش شبکه عصبی استفاده شده است که با استفاده از روش ارائه شده می‌توان رخداد و محل خطا را تشخیص داد. در نهایت ارزیابی روش پیشنهادی با انجام شبیه سازی در نرم افزارهای MATLAB و CARSIM تایید می‌شود.

واژه های کلیدی: تشخیص خطا، خودروی الکتریکی چهار چرخ محرک، شبکه عصبی، موتور درون چرخ

۱- مقدمه

در سال های اخیر، به دلیل افزایش آلودگی هوا و محدودیت منابع سوخت های فسیلی، استفاده از خودروهای برقی به جای خودروهای درون سوز مورد توجه مجامع بین المللی و مراکز تحقیقاتی قرار گرفته است. یکی از کارهای تحقیقاتی که می تواند در این راستا انجام شود، تهیه شبیه ساز خودروی برقی به منظور بررسی تاثیر عوامل مختلف بر عملکرد این خودرو روی سیکل های رانندگی مختلف می باشد. این شبیه ساز می تواند ابزار مفیدی برای مهندسان جهت کاهش زمان و هزینه طراحی خودرو و همچنین وسیله ای برای ارزیابی تکنولوژی های جدید خودروی برقی باشد. همچنین با تقاضای روزافزون برای عملکرد بهتر سیستم خودرو از یک سو و بهره‌وری بالاتر از لحاظ هزینه از سوی دیگر، پیچیدگی سیستم کنترل به صورت پیوسته در حال افزایش است. این پیشرفت ها به ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم نیاز دارند. یک شیوه متداول برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم، بالا بردن کیفیت و مقاومت اجزای سیستم مانند سگرها، محرک ها، کنترل کننده ها و کامپیوترها است. اما حتی بدین وسیله نیز نمی توان عملکرد بدون خطای سیستم را تضمین نمود. بنابراین نظارت بر فرآیند و تشخیص خطا جزئی از سیستم های کنترل مدرن، شده است. در مرجع [۱] کنترل کننده مقاوم در برابر خطا با استفاده از کنترل مد لغزشی برای سیستم های چند محرک نظیر خودروی الکتریکی چهار چرخ محرک پیشنهاد شده است که در مرجع [۲] از مقایسه نسبت لغزش چرخ جهت شناسایی خطا استفاده شده است.

در مرجع [۳] از تخمین ضریب چسبندگی جاده جهت شناسایی خطا در محرک های الکتریکی خودروی چهار چرخ محرک استفاده شده است. اما روش مذکور، در صورتی که هر چهار موتور گشتاور یکسانی داشته باشد موثر و جوابگو خواهد بود. در مرجع [۴] برای کنترل خودروهای نظیر خودروهای جابجایی بار که سرعت پایینی دارند، از روابط چرخ و موتور DC در جهت شناسایی خطا استفاده شده است. در این مقاله روش جدیدی برای شناسایی خطای محرک خودروهای الکتریکی چهار چرخ محرک پیشنهاد شده است که به دقت می تواند محل خطا را برای خودرو تشخیص دهد. همچنین در ادامه در بخش ۲ مدل دینامیکی خودرو، در بخش ۳ طراحی کنترل کننده، در بخش ۴ تشخیص خطا و در بخش ۵ نتایج شبیه سازی ارائه گردیده است و در نهایت در بخش ۶ نتیجه گیری انجام می شود.

۲- مدل دینامیکی خودرو

رفتار دینامیکی خودرو به فرمان پذیری، قابلیت چرخش خودرو در پیچ ها، قابلیت شتاب گیری، ترمز گیری و نظایر این بستگی دارد. در این بخش مدل ساده‌ی دینامیکی خودرو که برای طراحی سیستم مناسب می باشد مورد ارزیابی قرار می گیرد. با صرف نظر از حرکت های غلتش و شیرجه خودرو در صفحه دو بعدی دارای سه درجه آزادی برای حرکت طولی، جانبی و یاو می باشد. شماتیکی از مدل خودرو در شکل ۱، نشان داده شده است [۵].



اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴

$$\begin{cases} F_{zfl} = m_w g + \frac{Mgl_r}{2(l_r+l_f)} - \frac{Mh_{CG}a_x}{2(l_r+l_f)} - \frac{Mh_{CG}a_y}{4l_s} \\ F_{zfr} = m_w g + \frac{Mgl_r}{2(l_r+l_f)} - \frac{Mh_{CG}a_x}{2(l_r+l_f)} + \frac{Mh_{CG}a_y}{4l_s} \\ F_{zrl} = m_w g + \frac{Mgl_f}{2(l_r+l_f)} + \frac{Mh_{CG}a_x}{2(l_r+l_f)} - \frac{Mh_{CG}a_y}{4l_s} \\ F_{zfl} = m_w g + \frac{Mgl_f}{2(l_r+l_f)} + \frac{Mh_{CG}a_x}{2(l_r+l_f)} + \frac{Mh_{CG}a_y}{4l_s} \end{cases} \quad (2)$$

که ارتفاع مرکز گرانش، a_x و a_y به ترتیب شتاب طولی و جانبی خودرو می باشد. همچنین نسبت لغزش طولی تاثیر به صورت اختلاف نسی بین سرعت های زاویه ای و سرعت طولی وارد بر مرکز تاثیر را می توان به صورت زیر بیان کرد [۵].

$$S_i = \frac{w_i R_{eff} - V_{xi}}{\max(V_{xi}, w_i R_{eff})} \quad (3)$$

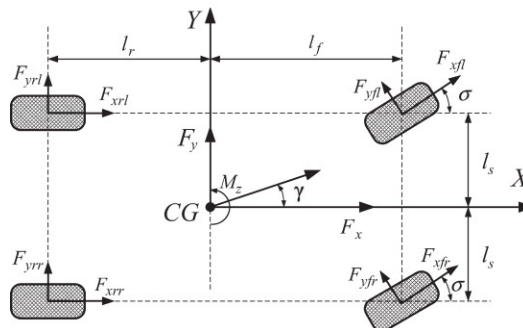
در این رابطه شعاع موثر چرخ، w_i سرعت زاویه ای چرخ i ام می باشد و V_{xi} سرعت طولی مرکز چرخ i ام می باشد که می توان برای چهار چرخ به صورت زیر محاسبه نمود [۵].

$$\begin{cases} V_{xfl} = (V_x - \gamma l_s) \cos \delta + (V_y + \gamma l_f) \sin \delta \\ V_{xfr} = (V_x + \gamma l_s) \cos \delta + (V_y + \gamma l_f) \sin \delta \\ V_{xrl} = V_x - \gamma l_s \\ V_{xrr} = V_x + \gamma l_s \end{cases} \quad (4)$$

۳- طراحی کنترل کننده

برای این طراحی، از روش کنترل مد لغزشی به عنوان یک روش پایه استفاده شده است. روش کنترل مد لغزشی یک روش کنترلی غیرخطی است که قادر به کنترل سیستم حتی زمانی که مدل دقیقی از سیستم در دست نباشد است. در روش کنترل مد لغزشی همچنین سیگنال های محرک ورودی برای موتورهای درون چرخ را می توان به صورت معادله زیر محاسبه نمود:

$$\begin{bmatrix} u_{fl} \\ u_{fr} \\ u_{rl} \\ u_{rr} \end{bmatrix} = -K^{-1} B^{-1} \left(\begin{bmatrix} f_1(v_x, \gamma) \\ f_2(v_x, \gamma) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{v}_{xref} \\ \dot{\gamma}_{ref} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_v + \lambda \int e_v dt \\ e_\gamma + \lambda \int e_\gamma dt \end{bmatrix} \right) + k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & +1 \\ 1 & -1 \\ 1 & +1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{sgn}(S_v) \\ \text{sgn}(S_\gamma) \end{bmatrix}, \quad (5)$$



شکل ۱: مدل خودرو با سه درجه آزادی در صفحه افقی [۵]

در شکل ۱، CG بیانگر مرکز ثقل خودرو می باشد. معادلات خودرو برای حرکت در جهت طولی، جانبی و یار را می توان به صورت زیر بیان کرد [۵].

$$\begin{aligned} \dot{v}_x &= v_y \gamma - \frac{C_D}{M} V_x^2 + \frac{1}{M} ((F_{xfl} + F_{xfr}) \cos \delta \\ &\quad - (F_{yfl} + F_{yfr}) \sin \delta + F_{xrl} + F_{xrr}) \\ \dot{v}_y &= -v_x \gamma + \frac{1}{M} ((F_{yfl} + F_{yfr}) \cos \delta \\ &\quad - (F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + F_{yrl} + F_{yrr}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{1}{I_z} (F_{yfl} \sin \delta - F_{xfl} \cos \delta + F_{xfr} \cos \delta - F_{yfr} \sin \delta) l_s \\ &\quad + (F_{xrr} - F_{xrl}) l_s - (F_{yfr} + F_{yrr}) l_r \\ &\quad + ((F_{xfr} + F_{xfl}) \cos \delta + (F_{xfr} + F_{xfl}) \sin \delta) l_f \end{aligned}$$

که v_x و v_y به ترتیب سرعت های طولی و جانبی و γ نرخ یار خودرو و F_{xi} ، $(i=f, r, rl, rr)$ نیروهای طولی وارد بر چرخ، F_{yi} ، $(i=f, r, rl, rr)$ نیروهای جانبی وارد بر چرخ، M وزن خودرو، ρ_a چگالی هوا، C_D ضریب کشش هوا، A سطح مقطع خودرو و δ زاویه فرمان خودرو، l_r و l_f به ترتیب فاصله از مرکز ثقل خودرو برای محور جلو و عقب و l_s نصف فاصله بین دو چرخ عقب خودرو می باشد. همچنین مجموعه ای از نیروها تعیین کننده دینامیک خودرو هستند، بنابراین لازم است این نیروها شناخته شوند، از جمله این نیروها، نیروی عمودی یا نیروی نرمال تاثیر است. نیروی عمودی، نیرویی است که در سطح جاده به تاثیر وارد می شود و با استفاده از روابط زیر می توان نیروهای عمودی وارد بر مرکز چرخ ها را به صورت زیر محاسبه نمود [۵].



اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴

این منحنی را بر حسب میزان لغزش به دو قسمت پایدار و ناپایدار تقسیم کرده و مشاهده می‌کنیم که در لغزش‌های کوچکتر از $(S_{\mu-max})$ که در آن ضریب چسبندگی یا نیروی طولی \max باشد تایر پایدار است و عملکرد تایر با لغزش‌های بزرگتر از $(S_{\mu-max})$ سبب سرخوردن و لغزش تایر می‌شود. مشاهده می‌شود که در ناحیه پایدار منحنی نیروی طولی بر حسب لغزش تایر تقریباً خطی است. بنابراین با محدود کردن نیروی اعمالی به چرخ، لغزش تایر باید حتماً در ناحیه پایدار حفظ شود. از این رو می‌توان رابطه‌ی بین سیگنال گشتاور تولید شده توسط کنترل‌کننده u_i و لغزش چرخ را به صورت رابطه (۷) در نظر گرفت:

$$\frac{S_i F_{zi}}{u_i F_{zav}} = \xi_i \quad (7)$$

در رابطه فوق $F_{zi}, (i=fl, fr, rl, rr)$ نیروی عمودی وارد بر چرخ i ام S_i لغزش طولی چرخ i ام، F_{zav} متوسط نیروی عمودی وارد بر چرخ‌ها می‌باشد که جهت نرمالیزه کردن رابطه استفاده شده است. همچنین حرکات مکانیکی موتور بسیار آهسته‌تر از دینامیک الکترومغناطیسی موتور است. پس می‌توان در محاسبات از دینامیک و موتورهای محرک و درایو آنها صرف‌نظر کرد. بنابراین موتورهای درون چرخ و درایو آنها می‌توانند به‌وسیله بهره $k_i, (i=fl, fr, rl, rr)$ به‌صورت رابطه (۸) مدل شود [۵].

$$k_i = \frac{T_i}{u_i} \quad (8)$$

که $i \in Q := \{fl, fr, rl, rr\}$ چرخ‌های خاص را نشان می‌دهد، T_i گشتاور خروجی موتور درون چرخ و u_i سیگنال کنترلی گشتاور برای محرک موتور و k_i بهره کنترلی محرک الکتریکی می‌باشد.

ξ_i شیب منحنی خطی شده می‌باشد، برای موتورهای سالم که μ (ضریب چسبندگی بین تایر و جاده)، یکسانی دارند عدد تقریباً یکسانی است ولی در صورت بروز خطا و کاهش بهره موتور خطادار این مقدار برای چرخ معیوب کمتری می‌باشد. بنابراین می‌توان سیگنال تشخیص خطا (res) را به‌صورت رابطه (۹) تعریف کرد:

$$\begin{aligned} res &= |\Delta_l - \Delta_r| \\ \Delta_l &= \xi_{fl} - \xi_{rl} \\ \Delta_r &= \xi_{fr} - \xi_{rr} \end{aligned} \quad (9)$$

در صورتی که تمامی موتورهای خودرو سالم باشند و خطایی اتفاق نیفتاده باشد، res مقدار خیلی کوچک و نزدیک به صفری خواهد داشت ولی در صورت بروز خطا مقدار res افزایش خواهد یافت. بنابراین با مقایسه res

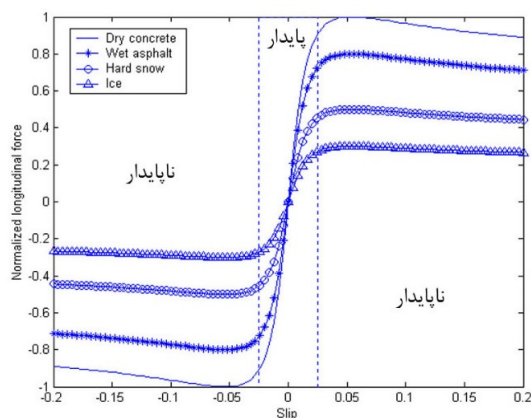
که λ_v و λ_r ضرایب ثابت هستند، e_v و e_r به ترتیب سیگنال خطا برای سرعت طولی و نرخ یاو خودرو و S_v و S_r به ترتیب سطح لغزش برای سرعت طولی و نرخ یاو خودرو می‌باشد که از رابطه زیر می‌توان محاسبه نمود. همچنین مقادیر $f_1(v_x, \gamma)$ و $f_2(v_x, \gamma)$ نیز معادلات فضای حالت سیستم می‌باشد [۶].

$$s = \begin{bmatrix} S_v \\ S_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_v + \lambda_v \int e_v dt \\ e_r + \lambda_r \int e_r dt \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\text{with } \begin{cases} e_v = v_x - v_{xref} \\ e_r = \gamma - \gamma_{ref} \end{cases}$$

۴- تشخیص خطا

ساختارهای مختلفی برای خودروهای برقی پیشنهاد شده است. در این مقاله ساختار موتور درون چرخ به‌عنوان ساختار برگزیده انتخاب شده است. از آنجایی پایداری در خودروهای الکتریکی چهار چرخ محرک به عملکرد صحیح موتورهای درون چرخ بستگی دارد، لذا در صورت افزایش تعداد موتور، امکان افزایش بروز خطا نیز در محرک‌های الکتریکی وجود دارد. به‌عبارتی می‌توان بیان کرد که تعداد موتور با احتمال بروز خطا رابطه‌ی مستقیمی دارد و می‌تواند باعث ناپایداری خودرو و کاهش ایمنی راننده و سرنشینان شود. بنابراین وجود سیستمی که در صورت بروز خطا در یکی از موتورها بتواند رخداد و محل خطا را تشخیص دهد الزامی به‌نظر می‌رسد. در این مقاله برای شناسایی خطا روش جدیدی پیشنهاد شده است که می‌تواند رخداد خطا و محل موتور معیوب را در خودروی چهار چرخ محرک به دقت تشخیص دهد. در روش پیشنهادی از مقایسه نسبت لغزش چرخ‌ها استفاده می‌کنیم، شکل ۲، منحنی نیروی طولی تایر بر حسب لغزش طولی را نشان می‌دهد [۲].



شکل ۲: منحنی نیروی طولی تایر بر حسب نسبت لغزش چرخ [۲]



اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

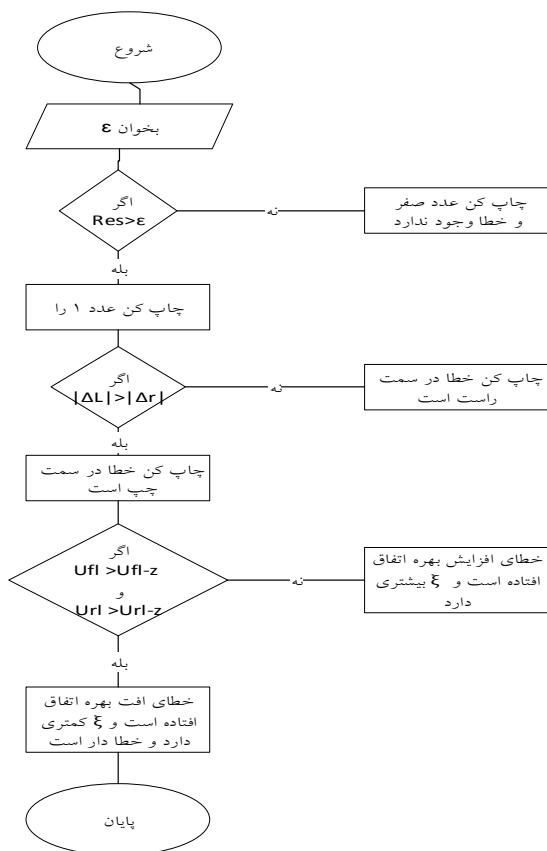
دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴

$$\begin{cases} |\Delta_l| > |\Delta_r| \rightarrow \text{fault in left side} \\ |\Delta_l| < |\Delta_r| \rightarrow \text{fault in right side} \end{cases} \quad (11)$$

مشاهده می‌کنیم خطا در سمتی از خودرو می‌باشد که اختلاف نسبت لغزش به سیگنال ورودی بیشتری دارد. همچنین در سمت خطا دار، چرخ معیوب ξ_i کوچکتری خواهد داشت. در رابطه، ξ_r برای موتور معیوب و ξ_h برای موتور سالم می‌باشد [۳].

$$|\xi_r| < |\xi_h| \quad (12)$$

در این مقاله همچنین نوع خطا نیز تشخیص داده می‌شود. برای خطای محرک دو نوع خطای افزایش بهره و کاهش بهره از مقدار نامی در نظر گرفته شده است. جهت تشخیص نوع خطا نیاز است که مقادیر سیگنال-های کنترلی در چند لحظه‌ی قبل ذخیره شده و با لحظه‌ی فعلی مقایسه شوند. روند تشخیص نوع و محل خطا در فلوجارت نشان داده شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

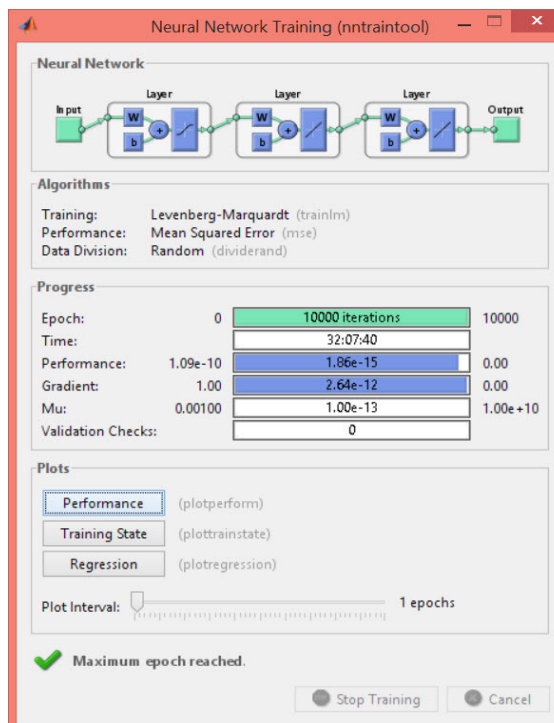


شکل ۴: فلوجارت تشخیص خطا

با یک مقدار آستانه که از طریق شبکه عصبی محاسبه شده، خطا تشخیص داده می‌شود که در ادامه به محاسبه سطح آستانه می‌پردازیم.

۳-۱ تعیین مقدار آستانه با شبکه عصبی

برای تعیین مقدار آستانه، از اطلاعات مربوط به ۹ تست برای آموزش یک سیستم شبکه عصبی استفاده شده است. در این تست‌ها فرض شده است که ۵٪ خطای کاهش بهره در موتور جلو سمت چپ وجود دارد. همچنین برای تنظیم شبکه عصبی از ۱۰۰۰۰ تکرار استفاده شده است. شکل ۳، نمایی از عملیات تنظیم شبکه عصبی مذکور را در متلب نشان می‌دهد.



شکل ۳: تصویری از بهینه سازی با شبکه عصبی

سپس نتایج بدست آمده برای مقدار آستانه را با res مقایسه و خطا تشخیص داده می‌شود.

$$\begin{cases} res > \varepsilon \rightarrow \text{with fault} \\ res \leq \varepsilon \rightarrow \text{no fault} \end{cases} \quad (10)$$

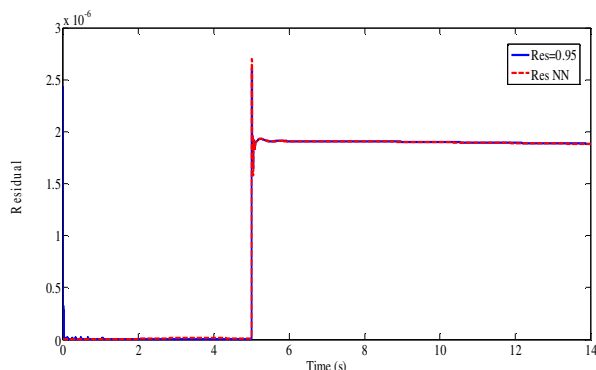
همچنین برای تشخیص اینکه خطا در چه سمتی از خودرو می‌باشد از قاعده‌ی زیر تبعیت می‌کنیم [۳].



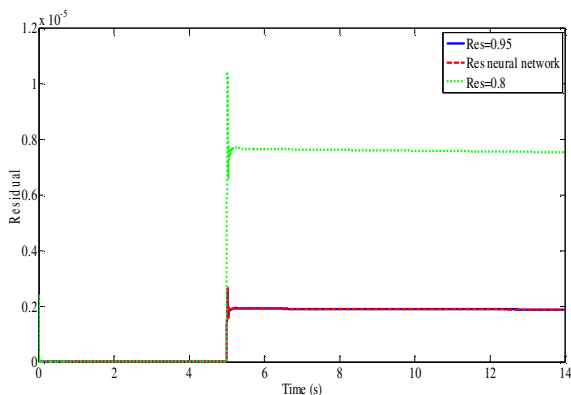
اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴

بزرگتر از ϵ را تولید کرده و خطا تشخیص داده می‌شود. از این رو چون در ساختار کنترل کننده پیشنهادی از روش کنترل مد لغزشی استفاده شده است و این کنترل کننده مقاومت زیادی در برابر اغتشاش و عدم قطعیت در مدل و پارامترها دارد، انتظار می‌رود که خودرو بتواند خطای رخ داده را تحمل کند. در ضمن با بروز خطا سیستم تشخیص خطا به سرعت عمل کرده و محل و میزان خطا را تشخیص می‌دهد و کنترل کننده را اصلاح می‌نماید. شکل ۷، سیگنال‌های Δ_r و Δ_l و رزیجوآل را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که Δ_l بعد از ۵ ثانیه نسبت به Δ_r افزایش پیدا کرده است که این نشان‌دهنده وجود خطا در سمت چپ موتور می‌باشد. شکل ۸، منحنی ξ برای چهار چرخ را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که بعد از ۵ ثانیه چرخ معیوب (سمت چپ در جلو) دارای ξ کوچکتری نسبت به چرخ‌های سالم در سمت چپ و راست خودرو دارد. شکل ۹، نیز نمودار سیگنال‌های کنترلی برای چهار چرخ محرک با وجود خطا در لحظه ۵ ثانیه را برای مسیر مستقیم نشان می‌دهد.



شکل ۵: منحنی مقایسه رزیجوآل و مقدار آستانه بدست آمده از شبکه عصبی در مسیر مستقیم



شکل ۶: منحنی مقایسه رزیجوآل و مقدار آستانه بدست آمده از شبکه عصبی در مسیر مستقیم

۵- نتایج شبیه سازی

یک خودروی کلاس C با کنترل کننده پیشنهادی در محیط نرم افزار MATLAB و CARSIM شبیه سازی شده است. پارامترهای خودروی مفروض در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱: پارامترهای مدل خودروی مفروض

پارامترها	واحد	مقدار	سمبل
جرم خودرو	kg	۱۵۵۴	M
جرم معلق خودرو	kg	۱۲۷۰	m
جرم کل چرخ	kg	۷۱	m_w
شعاع موثر تایر	m	۰/۳۰۸	R_{ef}
نصف فاصله ی عرضی بین مراکز دو چرخ	m	۰/۷۷	l_s
فاصله ی طولی بین مرکز چرخ جلو و مرکز گرانش	m	۱/۰۱۶	l_f
فاصله ی طولی بین مرکز چرخ عقب و مرکز گرانش	m	۱/۵۶۴	l_r
ضریب کشش آئرو دینامیک	-	۰/۳	C_d
اینرسی یاو خودرو	$kg.m^3$	۱۵۳۶/۷	I_z

خودروی مفروض با سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت در مسیر مستقیم در جاده‌ای با ضریب اصطکاک ۰/۸۵ در حال حرکت است. در لحظه ۵ ثانیه در موتور جلو سمت چپ خطایی اتفاق می‌افتد و منجر به کاهش بهره‌ی کنترلی این موتور به اندازه ۰/۸ مقدار اولیه می‌شود که در مقاله حاضر، دقتی در حدود ۵٪ قابل قبول در نظر گرفته شده است. شکل ۵ و ۶ منحنی مقایسه RES با مقدار آستانه بدست آمده از شبکه عصبی را در مسیر مستقیم نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵، مشاهده می‌شود که شبکه عصبی توانسته است که سیگنال RES را به درستی دنبال کند، که از سیگنال خروجی این شبکه عصبی به عنوان سیگنال آستانه (ϵ) جهت مقایسه با سیگنال RES استفاده می‌شود. در شکل ۶، در لحظه ۵ ثانیه در موتور جلو سمت چپ خطایی اتفاق می‌افتد و منجر به کاهش بهره‌ی کنترلی به اندازه ۰/۸ مقدار اولیه می‌شود که ما در این مقاله خطایی در حدود ۵٪ را قابل قبول در نظر گرفته‌ایم، بنابراین با توجه به شکل ۶، مشاهده می‌شود خطا بیشتر از مقدار قابل قبول بوده، سیگنال RES عددی

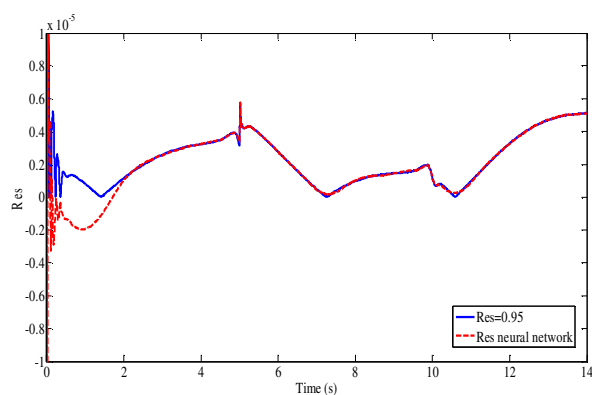


اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

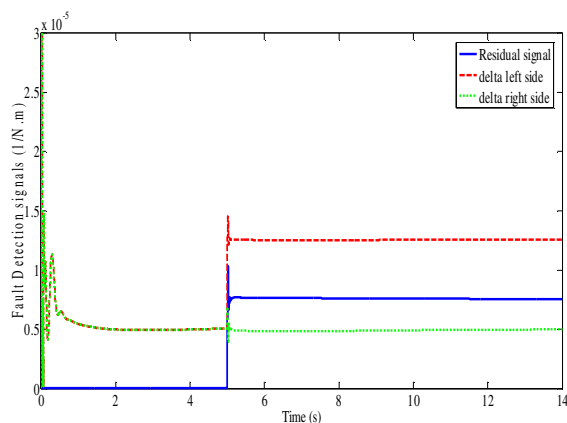
دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴

در آزمایشی دیگر خودروی مفروض با سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت در مانور فرمان سینوسی با دامنه ۲۰ درجه در جاده‌ای با ضریب اصطکاک ۰/۸۵ در حال حرکت است. در لحظه ۵ ثانیه در موتور جلو سمت چپ خطایی اتفاق می‌افتد و منجر به کاهش بهره‌ی کنترلی این موتور به اندازه ۰/۸ مقدار اولیه می‌شود که مطابق آزمایش قبل، دقتی در حدود ۵٪ را قابل قبول در نظر گرفته شده است.

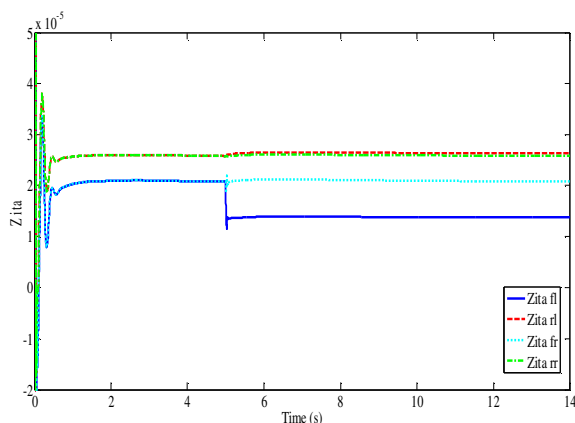
شکل ۱۰ و ۱۱ منحنی مقایسه res با مقدار آستانه بدست آمده از شبکه عصبی را در مانور فرمان سینوسی نشان می‌دهد. در شکل ۱۰، نیز مشاهده می‌گردد که شبکه عصبی میزان سیگنال res را در مانور سینوسی نیز به‌درستی ردیابی می‌کند. همچنین در شکل ۱۱، مشاهده می‌گردد که در زمان ۵ ثانیه خطایی در محرک اتفاق می‌افتد که بیشتر از ۵٪ خطا قابل قبول فرض شده می‌باشد، بنابراین سیگنال res عددی بزرگتر از ε را تولید کرده و خطا تشخیص داده می‌شود. شکل ۱۲، منحنی سیگنال-های Δ_l و Δ_r و رزیجووال را در مانور فرمان سینوسی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در این حالت نیز Δ_l بعد از ۵ ثانیه نسبت به Δ_r افزایش پیدا کرده است که این نشان‌دهنده وجود خطا در سمت چپ موتور می‌باشد. شکل ۱۳، منحنی ξ برای چهار چرخ را در مانور فرمان سینوسی نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که بعد از ۵ ثانیه چرخ معیوب (سمت چپ در جلو) دارای ξ کوچکتری نسبت به چرخ‌های سالم در سمت چپ و راست خودرو دارد. شکل ۱۴، نیز منحنی سیگنال‌های کنترلی برای چهار چرخ محرک با وجود خطا در لحظه ۵ ثانیه را برای مانور فرمان سینوسی نشان می‌دهد.



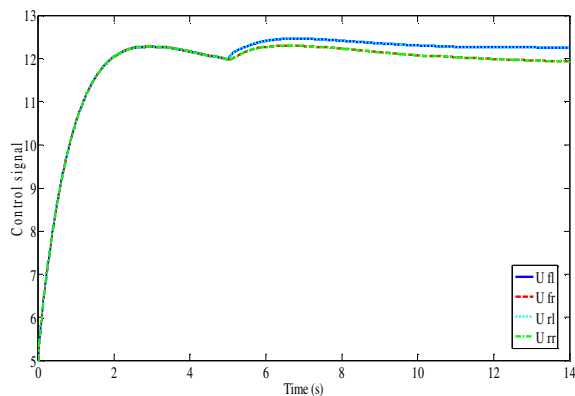
شکل ۱۰: منحنی مقایسه رزیجووال و مقدار آستانه بدست آمده از شبکه عصبی در مانور سینوسی



شکل ۷: سیگنال‌های تشخیص خطا با بروز خطا در زمان ۵ ثانیه در موتور جلو سمت چپ در مسیر مستقیم



شکل ۸: مقادیر ξ برای چهار چرخ در مسیر مستقیم

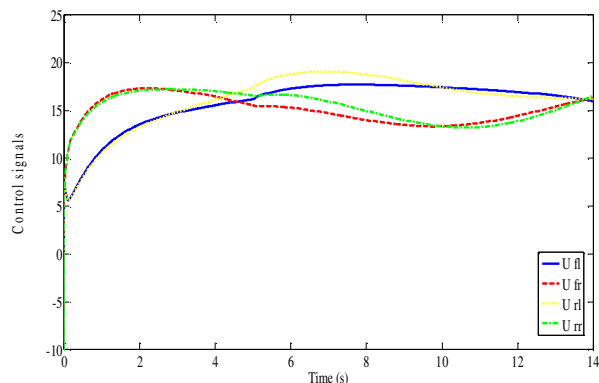


شکل ۹: سیگنال کنترلی با وجود خطا در لحظه ۵ ثانیه برای مسیر مستقیم

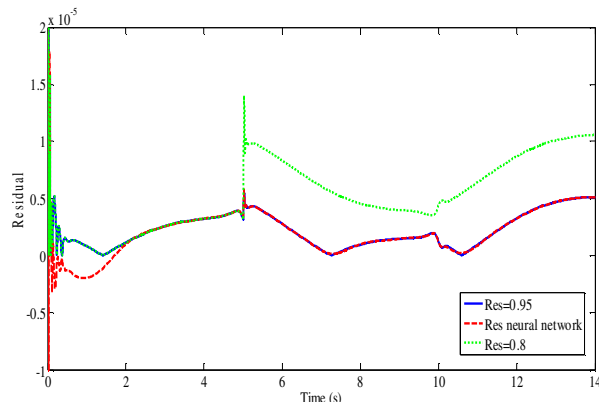


اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴



شکل ۱۴: سیگنال کنترلی با وجود خطا در لحظه ۵ ثانیه برای مانور فرمان سینوسی



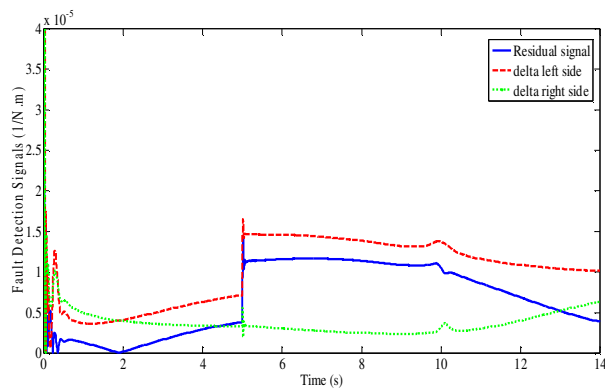
شکل ۱۱: منحنی مقایسه رزیدجوال و مقدار آستانه بدست آمده از شبکه عصبی با بروز خطا در ۵ ثانیه در مانور سینوسی

۶- نتیجه گیری

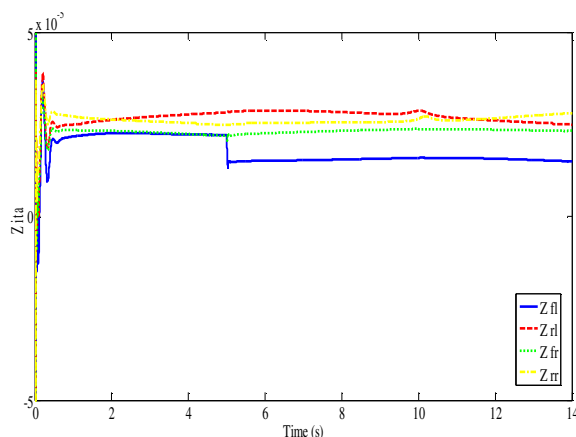
در این مقاله یک روش جدید جهت تشخیص خطا برای خودروی چهار چرخ محرک بدون دیفرانسیل پیشنهاد شده و ارزیابی روش پیشنهادی با انجام شبیه سازی در محیط نرم افزارهای MATLAB و CARSIM تایید گردیده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که سیستم تشخیص خطای پیشنهاد شده ضمن اینکه بسیار دقیق بوده و محل بروز خطا را به سرعت تشخیص می دهد و می تواند ضمن پایداری خودرو، ایمنی راننده و سرنشینان را نیز افزایش دهد. همچنین روش ارائه شده می تواند در صنعت تولید خودرو جهت تشخیص بروز خطا موتورهای محرک استفاده عملی داشته باشد.

۷- مراجع

- [1] R.Wang and J.Wang, "Passive Actuator Fault-Tolerant Control for a Class of Over actuated Nonlinear Systems and Applications to Electric Vehicles", Vehicular Technology, pp.972-985, 2013.
- [2] R. Rajamani, "Vehicle Dynamics and Control [2 ed.]", Springer US, 2012.
- [3] R.wang and J. wang, "Actuator-Redundancy-Based Fault Diagnosis for Four-wheel Independently Actuated Electric Vehicles," Intelligent Transportation Systems, vol.15, pp.239-249, 2104.
- [4] R. Loureiro, S. Benmoussa, "Integration of Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control of Health Monitoring of a Class of MIMO Intelligent Autonomous Vehicle", Vehicular Technology, pp.30-39, 2014.
- [5] R. Wang, J. Wang, "Fault-tolerant control with active fault diagnosis for four-wheel independently driven electric ground vehicle", IEEE, vol.60, no.9, pp.4276-4286, 2011.
- [6] H. Alipour, M.B.B. Sharifian, and M. Sabahi, "A modified integral sliding mode control to lateral stabilization of 4-wheel



شکل ۱۲: سیگنالهای تشخیص خطا با بروز خطا در زمان ۵ ثانیه در موتور جلو سمت چپ در مانور فرمان سینوسی



شکل ۱۳: مقادیر ζ برای چهار چرخ در مانور فرمان سینوسی



اولین همایش ملی کاربرد سیستم های هوشمند در مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر - ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۴

- [9] Z. Shuai, and H. Zhang, "Lateral motion control for four-wheel-independent-drive electric vehicles using optimal torque allocation and dynamic message priority scheduling," *Control Engineering Practice Elsevier*, pp. 55-66, 2014.
- [10] S. Yim, J. Choi, and K. Yi, "Coordinated Control of Hybrid 4WD Vehicles for Enhanced Maneuverability and Lateral Stability," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no. 4, pp. 1946-1950, 2012.
- Independent drive electric vehicles", *Veh Syst Dyn*, vol.52, no.12, pp.1584-1606, 2014.
- [7] Y. G. Dong, J. X. Jian, Q. Z. Yong, and B. C. Tong, "Lateral stability region conservativeness estimation and torque distribution for FWIA electric vehicle steering," *Sci China Tech Sci*, Volume 58, pp 669-676, 2014.
- [8] K. Nam, H. Fujimoto, and Y. Hori, "Advanced Motion Control of Electric Vehicles Based on Robust Lateral Tire Force Control via Active Front Steering," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol.19, no. 1, pp. 289-299, 2014.