

ارائه یک الگوریتم جدید در ترکیب GPS/ABS مبتنی بر منطق فازی برای ناوبری خودرو

علی امین زاده^(۱) - حامد بنی زمان^(۲) - علی تراب^(۳) - علی اکبر صفوی^(۴)

(۱) کارشناسی ارشد - دانشکده برق، دانشگاه شیراز

(۲) دانشجوی دکترا - دانشکده برق، دانشگاه یزد

(۳) کارشناس - شرکت پویا رهیافت

(۴) عضو هیات علمی - دانشکده برق، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش: تابستان ۱۳۸۹

تاریخ دریافت: تابستان ۱۳۸۸

خلاصه: سیستم مکانیاب GPS در صورت قرار گرفتن در شرایط مناسب محیطی (مشاهده حداقل چهار ماهواره GPS با توان سیگنال دریافتی کافی)، قادر است نقاط مکانی را با دقت بالا و به طور پیوسته تولید نماید. با این حال، اغلب در مناطق شهری مانند خیابان‌های با ساختمان و درخت‌های بلند، به دلیل کاهش توان سیگنال و چند مسیره شدن آن، نتیجه مکان تخمین زده شده توسط GPS، همواره دارای خطا است. همچنین، درزیرگذرها و تونل‌ها، سیگنال دریافتی از GPS به علت کافی نبودن تعداد ماهواره‌های در دید گیرنده GPS، سیگنال GPS قابل اطمینان نمی‌باشد. سیستم مکانیاب ABS از حسگرهای نوری نصب شده بر روی چرخ‌های خودرو تشکیل شده است که می‌تواند به طور پیوسته اطلاعات مکانی خودرو را با دقت مناسبی برای فاصله‌های زمانی کوتاه تولید نماید. در این مقاله، سیستم مکانیابی ترکیبی ABS/GPS معرفی شده است. در سیستم پیشنهادی از الگوریتم جدیدی مبتنی بر منطق فازی برای تشخیص وضعیت سیگنال GPS استفاده شده است. این الگوریتم، بر اساس اطلاعات به دست آمده از سیگنال GPS و وضعیت دینامیکی خودرو، سیگنال GPS را به سه حالت "اعتبار GPS"، "عدم اعتبار GPS" و ایست کامل" دسته بندی می‌نماید. سپس سیستم ترکیبی بر اساس دسته‌بندی انجام شده، یکی از سیستم‌های مکانیابی GPS و ABS را به نحو موثری انتخاب می‌نماید. نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار MATLAB نشان دهنده‌ی بهبود قابل ملاحظه‌ای در دقت نقاط مکانی سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم‌های ترکیبی متداول مبتنی بر روش‌های کلاسیک و سیستم GPS است.

کلمات کلیدی: GPS، ABS، منطق فازی، سیستم نظارتی، سیستم‌های مکان‌یابی.

۱- مقدمه

حرکت‌های آهسته خودرو می‌باشد [۱،۲]. نقاط پر رفت و آمد شهری، زیرگذرها و پل‌ها، مکانهای آسیب پذیری در برابر تاثیرات این گونه خطاها می‌باشند [۳].

تاکنون تلاشهای گسترده‌ای در جهت بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های تعیین موقعیت خودرو از طریق ترکیب سیستم‌های مکانیابی مختلف انجام گرفته است [۳-۶]. در بیشتر موارد از GPS به عنوان یک سیستم مکانیابی مرجع و از دیگر سیستم‌های مکانیابی به عنوان یک سیستم مکانیابی کمکی استفاده شده است. ژيروسکوپ، سرعت‌سنج^۳ و قطب‌نمای مغناطیسی از جمله حسگرهای متداولی

در سالهای اخیر سیستم ناوبری خودرو^۱ از جمله موضوعات مطرح و جدید در سیستم حمل و نقل درون/ برون شهری بوده است. سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۲ به عنوان راهکاری کارآمد در سیستم‌های ناوبری مختلف، طیف وسیعی از کاربردهای مکانیابی را به خود اختصاص داده است [۱]. برای تعیین موقعیت مناسب توسط GPS حداقل چهار ماهواره مورد نیاز می‌باشد، اما دقت موقعیت‌یابی، تحت‌تاثیر عوامل مختلفی از جمله خطای ماهواره‌ها و گیرنده، چند مسیره شدن و از بین رفتن سیگنال و همچنین تغییرات فاز سیگنال در طول مانورها و

هستند که به طور گسترده در سیستم‌های مکانیابی خودرو، همراه با GPS مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳].

سیستم ترمز ضدقفل (ABS) که در اغلب خودروهای امروزی موجود می‌باشد شامل انکودرهای نوری بسیار دقیقی است که بر روی چرخ‌های خودرو تعبیه شده است و قادر به اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای دقیق چرخ می‌باشد [۶]. با در دست داشتن سرعت زاویه‌ای مربوط به هر یک از چرخ‌ها، می‌توان پارامترهای لازم برای مکانیابی خودرو را به دست آورد. علاوه بر این، به کارگیری حسگر ABS به عنوان یک سیستم مکانیابی مستقل در مقایسه با دیگر حسگرها مانند ژيروسکوپ، به دلیل وجود آن در اغلب خودروها کاملاً مقرون به صرفه می‌باشد و همچنین از دقت بالایی نیز برخوردار است.

به منظور ترکیب سیستم‌های مکانیابی گوناگون، تکنیک‌های متفاوتی ارائه گردیده است [۷، ۸]. یکی از مهم‌ترین سیستم‌های ترکیب‌کننده، فیلتر کالمن است که به عنوان روشی کاربردی سال‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۸]. از مشکلات عمده این روش می‌توان به وابستگی آن به مدل سیستم و همچنین عدم امکان محاسبه دقیق نویزهای فرایند (R) و اندازه‌گیری (Q) اشاره کرد [۷]. با پیشرفت فن‌آوری‌های محاسباتی در زمینه‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی^۵ به عنوان نسل جدیدی از سیستم‌های ناوبری مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند [۷]. الگوریتم‌های هوش مصنوعی شامل شبکه عصبی مصنوعی^۶، منطق فازی، محاسبات آماری^۷، سیستم‌های خبره و الگوریتم ژنتیک می‌باشد [۹]. سیستم‌های ترکیبی مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند علاوه بر عدم نیاز به مدل دینامیکی سیستم، کاملاً انعطاف‌پذیر بوده و به دلیل تناسب آن با روش فکری ذهن انسان قابل فهم است. یکی از نکات پراهمیت جهت بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم‌های مکانیابی ترکیبی، استفاده از الگوریتم‌های نظارتی می‌باشد [۴]. این گونه الگوریتم‌ها با تشخیص دامنه قابلیت اطمینان^۸ هر یک از سیستم‌های مکانیابی، می‌توانند نحوه کارکرد سیستم ترکیب‌کننده را بهبود بخشد. قطع شدن GPS و تعداد ماهواره‌های در دید، از جمله معیارهای ساده و کاربردی هستند که در سیستم‌های نظارتی جهت تشخیص موجود بودن GPS استفاده می‌شود.

در مرجع [۳]، یک سیستم مکانیابی ترکیبی GPS/INS^۹ مبتنی بر شبکه عصبی معرفی شده است. در این سیستم با تشخیص وصل بودن GPS، عمل آموزش داده‌های INS بر مبنای GPS انجام می‌شود و نتایج حاصل از آن در زمان قطع بودن GPS اعمال می‌گردد. در مرجع [۴]، با در نظر گرفتن یک الگوریتم نظارتی مبتنی بر معیار تعداد ماهواره‌های در دید توانسته است قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی DR/GPS/INS^{۱۰} را افزایش دهد؛ به این صورت که اگر تعداد ماهواره‌های در دید، از یک حد آستانه‌ای از پیش تعیین شده بیشتر باشد، الگوریتم نظارتی سیگنال GPS را معتبر شناخته و در ادامه از فیلتر کالمن برای ترکیب تمامی سیستم‌های مکانیابی استفاده

می‌نماید؛ در غیر این صورت، سیگنال GPS نامعتبر شناخته شده و تنها از مدل دینامیکی خودرو جهت مکانیابی استفاده می‌گردد.

یکی از معیارهای متداول دیگر که می‌تواند خطای GPS را به طور دقیقتری شناسایی کند، میزان توان سیگنال حامل به نویز (C/N₀)^{۱۱} می‌باشد که بسته به شرایط محیطی متفاوت، متغیر است و کاهش آن باعث افزایش خطای GPS می‌شود [۱۰، ۱۱].

از مهم‌ترین مشکلات به کارگیری معیارهای فوق در سیستم‌های نظارتی، حساسیت بالای آن نسبت به تغییرات حول حدآستانه می‌باشد که ناپایداری سیستم ترکیب‌کننده را به همراه خواهد داشت.

اخیراً تکنیک‌های جدیدی مبتنی بر سیستم‌های هوشمند ارائه گردیده‌اند که با استفاده از معیارهای مختلف، توانسته‌اند قابلیت اطمینان و پایداری سیستم نظارتی را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهند. در مرجع [۵] روشی کاربردی جهت تعیین قابلیت اطمینان سیگنال GPS مبتنی بر منطق فازی و معیارهای C/N₀ و نرخ محو شدگی ماهواره‌ها^{۱۲} ارائه گردیده است. این پارامترها نقش موثری در تعیین میزان کیفیت سیگنال GPS دارند، به طوری که سیستم فازی با استفاده از این پارامترها قادر به تصمیم‌گیری مطمئنی در مورد اعتبار و یا عدم اعتبار سیگنال GPS خواهد بود. با این حال، به دلیل وابستگی زیاد سیستم نظارتی به سیگنال GPS، در مواردی که اطلاعات به دست آمده از GPS صحیح نباشد، دقت تصمیم‌گیری قابل قبول نخواهد بود.

در این مقاله الگوریتم نظارتی جدیدی مبتنی بر منطق فازی پیشنهاد گردیده است که می‌تواند خطای GPS را بر اساس شرایط محیطی مختلف و اطلاعات دینامیک خودرو (برگرفته از هر دو سیستم مکانیابی GPS و ABS) تشخیص دهد^{۱۳}. در ادامه الگوریتم پیشنهادی با دسته‌بندی اطلاعات ناوبری به دسته‌های "اعتبار GPS"، "عدم اعتبار GPS" و "ایست کامل خودرو"، می‌تواند نحوه کارکرد سیستم ترکیب‌کننده را بهبود بخشد. سیستم ترکیب‌کننده استفاده شده در این مقاله، بر اساس اطلاعات دریافت شده از الگوریتم نظارتی می‌تواند هر یک از سیستم‌های مکانیابی GPS یا ABS را به عنوان سیستم مرجع انتخاب نماید. از مزایای برجسته این سیستم، قابلیت اطمینان و پایداری بالای آن نسبت به دیگر سیستم‌های نظارتی می‌باشد. همچنین الگوریتم پیشنهادی را می‌توان در جهت تشخیص دیگر خطاهای GPS و ABS با افزایش قوانین جدید فازی گسترش داد.

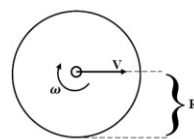
این مقاله از بخش‌های مختلف زیر تشکیل شده است. در بخش دوم، سیستم مکانیابی مبتنی بر ABS معرفی می‌شود. بخش سوم، ساختار سیستم مکانیابی ترکیبی ABS/GPS را بیان می‌کند. الگوریتم نظارتی پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی در بخش چهارم ارائه می‌گردد، که در این بخش پایداری این سیستم نیز مورد آزمایش قرار گرفته است. در بخش پنجم، نتایج آزمایش‌های مختلف بر سیستم ترکیبی پیشنهادی در یک محیط واقعی توضیح داده خواهد شد. سرانجام، در بخش‌های ششم و هفتم به نتیجه‌گیری و ارائه زمینه‌های مطالعاتی آینده پرداخته شده است.

۲- سیستم مکانیابی مبتنی بر ABS

سیستم ABS شامل انکودرهای نوری بسیار دقیقی است که بر روی چرخ‌های خودروهای امروزی تعبیه شده است و قادر به تولید پالس‌های الکتریکی برای اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای هر چرخ می‌باشد. با در دست داشتن سرعت زاویه‌ای هر یک از چرخ‌های عقب، می‌توان سرعت خطی و همچنین جهت حرکت خودرو را برای سیستم مکانیابی ABS محاسبه نمود. در این بخش ابتدا، روش‌های استخراج سرعت خطی و همچنین جهت حرکت خودرو به عنوان پارامترهای مکانیابی مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس به ارائه معادلات سینماتیک خودرو می‌پردازیم.

۱-۲- پارامترهای مکانیابی: سرعت و جهت

شکل (۱) نمونه‌ای از یک چرخ در حال حرکت را نشان می‌دهد. برای محاسبه سرعت خطی هر چرخ نیاز به در دست داشتن سرعت زاویه‌ای و شعاع آن می‌باشد. معادله (۱) رابطه بین سرعت زاویه‌ای و سرعت خطی را با فرض نادیده گرفتن نیروهای وارد بر لاستیک، نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمونه‌ای از یک چرخ در حال حرکت

Fig. (1): A sample of a moving wheel

$$v = R\omega \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{nT}$$

که R شعاع چرخ، n تعداد پالس در هر دور و T دوره تناوب پالس به دست آمده از حسگر ABS می‌باشد. شکل (۲- الف تا ج) با در نظر گرفتن نرخ نمونه برداری 3000 نمونه بر ثانیه و 512 FFT نقطه‌ای، نمونه‌هایی از سیگنال حسگر ABS برای مدت 0.1 ثانیه و طیف فرکانسی آن را در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد. همچنین اسپکتروگرام سیگنال ABS، با پنجره‌ای به طول 500 و 512 FFT نقطه‌ای برای مدت زمان 129 ثانیه در شکل (۲- د) نمایش داده شده است. مطابق شکل، سیگنال ABS در طول زمان دچار تغییراتی شده است. از جمله عوامل تاثیر گذار بر سیگنال ABS می‌توان نویز حرارتی، نویز ناشی از شمع‌های موتور، تغییر جریان لحظه‌ای برق خودرو و ضربه‌های ناگهانی وارد شده به چرخ خودرو را برشمرد.

معادله (۲) رابطه میان سرعت چرخ‌های عقب، سرعت لحظه‌ای و جهت حرکت خودرو را نشان می‌دهد. در این معادله d ، V_{Lk} و V_{Rk} و θ_k به ترتیب فاصله بین چرخ‌های عقب، سرعت‌های لحظه‌ای چرخ چپ و راست، سرعت خطی و جهت حرکت لحظه‌ای خودرو می‌باشد.

$$\theta_k = \text{tg}^{-1}\left(\frac{d}{V_{Rk} - V_{Lk}}\right), \quad v_k = \frac{1}{2}(V_{Rk} + V_{Lk}) \quad (2)$$

بر اساس معادله (۲) و با فرض مقادیر، $R = 0.3556\text{m}$ ، $n = 47 \frac{\text{pulse}}{\text{rev}}$ ، شکل (۳) سرعت به دست آمده از سیگنال ABS (مربوط به شکل (۲- د))، و سرعت GPS را نشان می‌دهد. در مدت زمان آزمایش، خودرو در شرایطی مناسب حرکت کرده است و سرعت GPS می‌تواند به عنوان معیاری مناسب جهت مقایسه با سرعت ABS در نظر گرفته شود. همان طور که از شکل مشخص است، سرعت به دست آمده از ABS و GPS تقریباً بر هم منطبق می‌باشد.

۲-۲- معادلات سینماتیک

شکل (۴) مدل حرکتی خودرو را در محور مختصات X-Y نشان می‌دهد. در این مدل فرض بر این است که در فاصله‌های زمانی کوتاه (کمتر از ۱ ثانیه)، خودرو به صورت مستقیم الخط حرکت می‌کند. همان طور که مشخص است از اختلاف سرعت چرخ‌های عقب، مرکز چرخش لحظه‌ای^{۱۵} پدید خواهد آمد که میزان تغییر جهت حرکت خودرو را در هر لحظه تعیین می‌کند. معادله (۳) روابط سینماتیکی گسسته خودرو را بیان می‌کند.

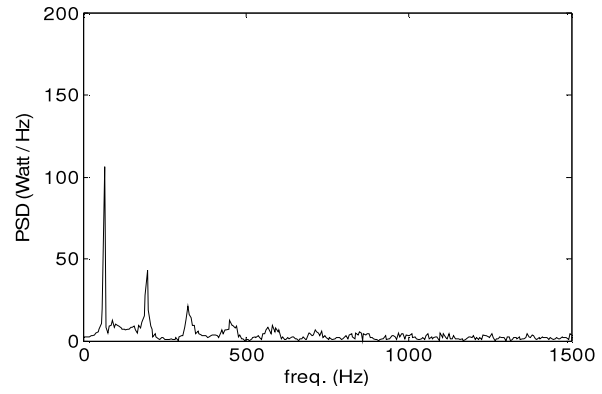
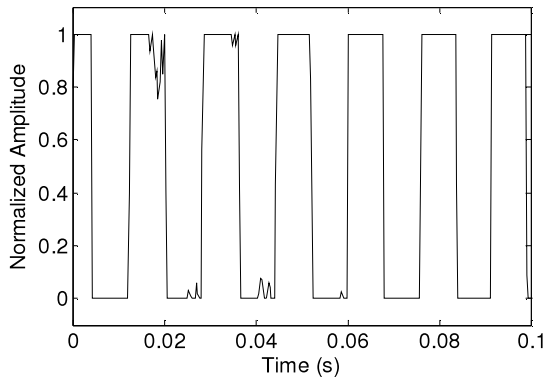
$$x_{k+1} = x_k + \Delta t \cdot v_{k+1} \cdot \cos(\psi_{k+1})$$

$$y_{k+1} = y_k + \Delta t \cdot v_{k+1} \cdot \sin(\psi_{k+1}) \quad (3)$$

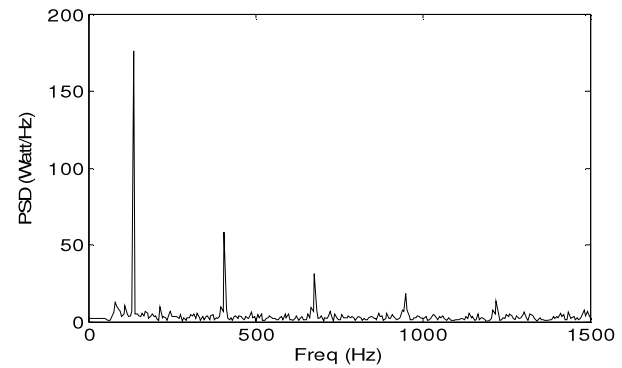
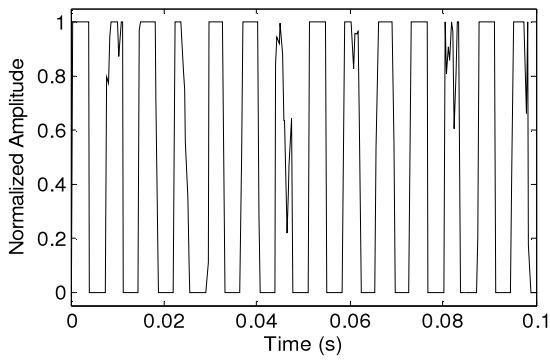
$$\psi_{k+1} = \sum_{i=1}^{k+1} \theta_i$$

در این رابطه، x_k و y_k موقعیت مرکز محور چرخ‌های عقب خودرو، ψ_k زاویه بین جهت بردار سرعت و محور X، و Δt زمان نمونه برداری می‌باشد.

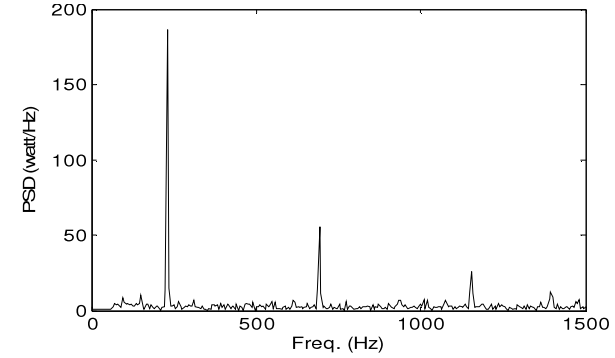
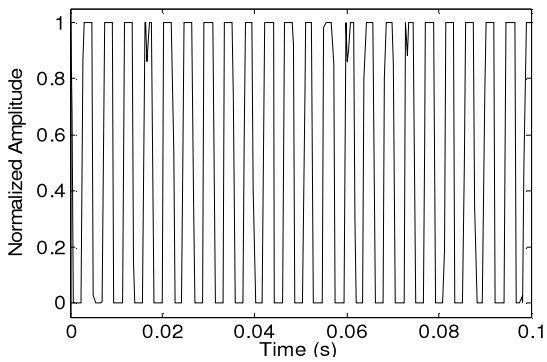
استفاده از معادلات سینماتیک گسسته در مدل دو چرخ عقب، از یک سو محاسبات را ساده‌تر می‌نماید و از سوی دیگر محدودیت‌هایی از جمله خطای مدل را به همراه خواهد داشت. خطای مدل، مکانیابی توسط ABS را در فواصل طولانی دچار مشکل می‌نماید.



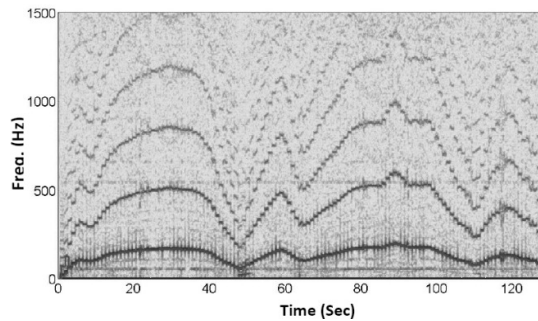
(الف)



(ب)



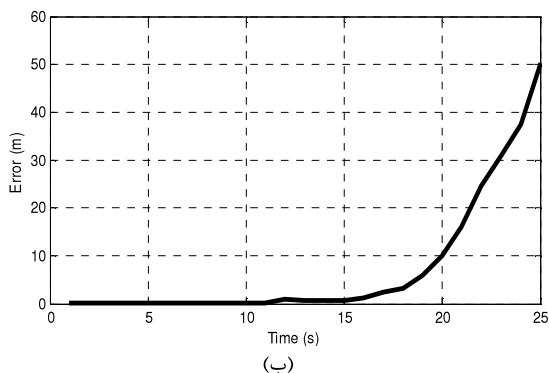
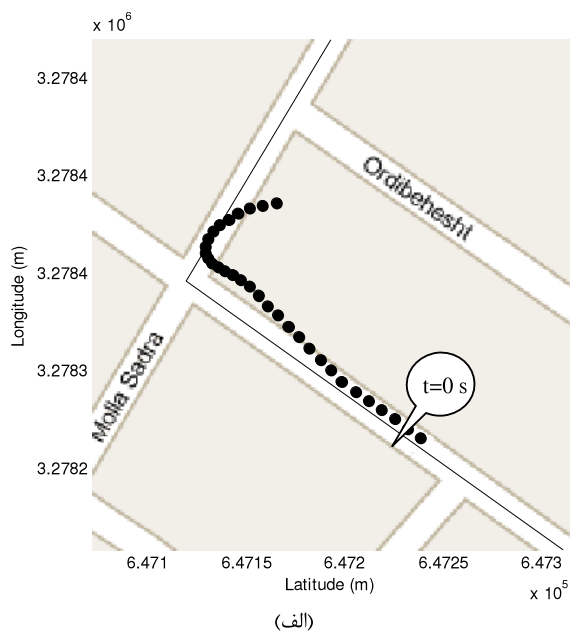
(ج)



(د)

شکل (۲): نمونه‌هایی از سیگنال حسگر ABS و طیف فرکانسی آن؛ (الف) سیگنال و طیف فرکانسی در سرعت 11.5034 km/h، (ب) در سرعت 24.0394 km/h، (ج) در سرعت 39.4934 km/h و (د) اسپکتروگرام سیگنال

Fig. (2): Samples of ABS sensor signals and its frequency spectrum: (a) The signal and its frequency spectrum at 11.5034 km/h speed, (b) At 24.0394 km/h, (c) At 39.4934 km/h, (d) The spectrum signal



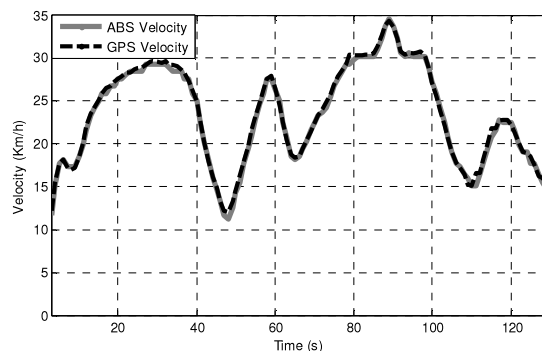
شکل (۵): (الف) نمونه‌ای از مکانیابی ABS؛ (ب) خطای مکانیابی ABS نسبت به مسیر واقعی حرکت

Fig. (5): (a) A sample found by ABS location-finder (b) The ABS location-finding error with respect to the real path

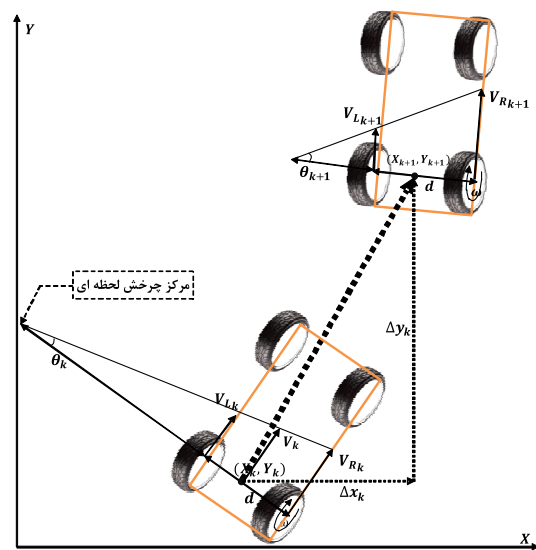
۳- ساختار سیستم مکانیابی ترکیبی

شکل (۷) معماری سیستم مکانیاب را نشان می‌دهد. به طور کلی معماری سیستم مکانیاب از دو بخش اصلی سخت افزار و نرم افزار تشکیل شده است. بخش سخت‌افزاری، تعبیه شده درون خودرو، شامل یک پردازشگر مرکزی است که با نمونه برداری از سیگنال‌های GPS^{۱۶} و ABS در هر ثانیه قادر است اطلاعات مورد نیاز سیستم مکانیابی را فراهم سازد. نرم افزار MATLAB به عنوان بستر پردازشی سیستم مکانیاب، اطلاعات آماده سازی شده از بخش سخت افزاری را دریافت نموده و به سیستم نظارتی فازی هدایت می‌کند.

سیستم نظارتی فازی با استفاده از اطلاعات سرعت، جهت حرکت و موقعیت به دست آمده از GPS و ABS می‌تواند بهترین حالت ممکن (اعتبار GPS، عدم اعتبار GPS و یا ایست کامل) را بر اساس قوانین فازی به دست آمده از تست‌های محیطی انتخاب نماید.



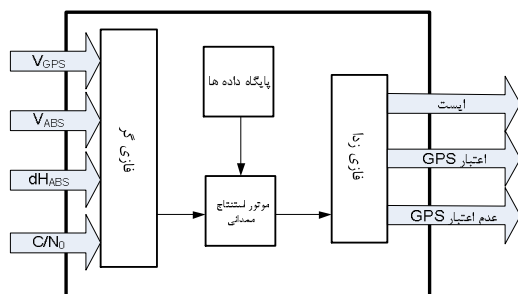
شکل (۳): سرعت‌های به دست آمده از مکانیاب ABS و GPS
Fig. (3): The speeds found by ABS and GPS location-finders



شکل (۴): مدل سینماتیک خودرو
Fig. (4): The vehicle cinematic model

شکل (۵-الف) نمونه‌ای از مکانیابی ABS در 32 ثانیه منطبق بر نقشه را نمایش می‌دهد. مسیر اصلی حرکت خودرو، محور خیابان می‌باشد. همان طور که مشخص است در زمان‌های طولانی مکان‌های به دست آمده از سیستم ABS از محور اصلی منحرف شده است. در شکل (۵-ب) خطای نقاط مکانی به دست آمده از ABS نسبت به محور اصلی خیابان نمایش داده شده است. که در آن، خطا، فاصله هر نقطه تا مسیر واقعی حرکت است. مطابق شکل قابلیت اطمینان سیستم مکانیاب با گذشت زمان کاهش می‌یابد. با این حال به کارگیری سیستم ABS بر مبنای معادله (۳) برای مکانیابی‌های کوتاه مدت ایده مناسبی بوده و کاهش پیچیدگی‌های سخت افزاری و نرم افزاری را نیز به همراه خواهد داشت.

می‌دهد. مطابق شکل، به منظور انتخاب جداگانه هر یک از خروجی‌ها از توابع عضویت ضربه^{۲۰} استفاده شده است. در این سیستم نظارتی از فازی زدای^{۲۱} به دلیل نقش موثر آن در تعیین جداگانه خروجی‌ها استفاده شده است.



شکل (۶): سیستم نظارتی فازی همراه با ورودی و خروجی‌ها

Fig. (6): The fuzzy observation system together with inputs and outputs

سیستم نظارتی فازی با استفاده از سرعت‌های لحظه‌ای GPS و ABS مبتنی بر سه قانون اولیه زیر می‌تواند حالت‌های مختلف "اعتبار GPS"، "عدم اعتبار GPS" و "ایست کامل" را تشخیص دهد.

- 1- IF V_{ABS} is Low and V_{GPS} is Low THEN GPS is Unavailable
- 2- IF V_{ABS} is High and V_{GPS} is High THEN GPS is Available
- 3- IF V_{ABS} is VeryLow and V_{GPS} is Low THEN STOP

قوانین بالا با تشخیص حرکت آهسته خودرو، اعتبار و یا عدم اعتبار سیگنال GPS را تعیین می‌نماید. این قوانین در صورتی از کارایی مناسبی برخوردار است که ورودی‌های سیستم نظارتی (V_{ABS} و V_{GPS}) دارای خطای کمی نسبت به سرعت واقعی خودرو باشد. اما با توجه به وجود خطای لحظه‌ای در V_{ABS} و V_{GPS} ، استفاده از ورودی دیگری با عنوان تغییرات جهت حرکت خودرو (dH_{ABS}) می‌تواند عامل کمک کننده‌ای در کاهش خطای سیستم نظارتی باشد. با توجه به خطای GPS در مانورها و سرعت‌های پایین، سیستم نظارتی فازی با استفاده از ورودی dH_{ABS} می‌تواند این حالت‌ها را تشخیص دهد و خطای تصمیم‌گیری را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

از جمله معیارهای دیگری که برای تشخیص خطای GPS استفاده می‌شود، C/N_0 است [۵]. با توجه به بررسی‌ها و آزمایش‌های مختلف، مقدار C/N_0 کمتر از حد آستانه 15 dB-Hz نشان دهنده تضعیف سیگنال GPS و مقادیر بین 15 تا 25 و بیشتر از 25 را می‌توان به ترتیب سیگنال‌دهی مناسب و عالی در نظر گرفت [۱۰]. جدول (۱) تمامی قوانین فازی به دست آمده را نشان می‌دهد.

سیستم ترکیب‌کننده، با دریافت اطلاعات از سیستم نظارتی فازی عملیات ترکیب سیستم‌های مکانیابی ABS و GPS را انجام می‌دهد. در این مقاله از یک سیستم ترکیب‌کننده انتخابگر^{۱۷} استفاده شده است، که در آن هر یک از سیستم‌های مکانیابی (GPS یا ABS) بسته به حالت مشخص شده در سیستم نظارتی فازی، به کار گرفته خواهد شد. این بدان معنا است که هرگاه حالت "ایست کامل" توسط سیستم نظارتی فازی تعیین گردید، سیستم ترکیب‌کننده، موقعیت قبلی را به عنوان موقعیت فعلی در نظر می‌گیرد؛ همچنین اگر حالت "عدم اعتبار GPS" مشخص شود، مکانیابی توسط ABS انجام می‌گردد و سرانجام با تشخیص "اعتبار GPS"، مکانیابی بر پایه GPS خواهد بود. در پایان، با استفاده از اطلاعات فراهم شده توسط سیستم ترکیب‌کننده و همچنین استفاده از نقشه دیجیتالی، موقعیت خودرو بر روی نقشه نمایش داده می‌شود.

۴- سیستم نظارتی پیشنهادی

۴-۱- الگوریتم سیستم نظارتی فازی

الگوریتم نظارتی پیشنهادی بر اساس منطق فازی طراحی شده است. این الگوریتم می‌تواند خطاهای GPS را بر اساس دینامیک خودرو و شرایط محیطی مختلف برگرفته از سیگنال‌های GPS و ABS تشخیص داده و به سه حالت "اعتبار GPS"، "عدم اعتبار GPS" و "ایست کامل" دسته‌بندی نماید. پارامترهای سرعت (V_{GPS}) و C/N_0 به دست آمده از GPS و همچنین سرعت (V_{ABS}) و تغییر جهت حرکت (dH_{ABS}) به دست آمده از ABS دارای اطلاعات دینامیکی خودرو و شرایط محیطی است که به عنوان ورودیهای فازی در نظر گرفته شده است.

یکی از خصوصیات مهم سیستم نظارتی فازی که آن را از سیستم‌های نظارتی رایج متمایز می‌کند، پایداری آن در برابر کلیدزنی متوالی بین حالت‌های مختلف خروجی است. به عبارتی دیگر این الگوریتم از تغییرات شدید بین حالت‌های خروجی جلوگیری می‌کند.

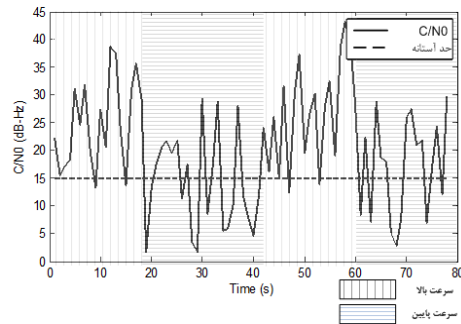
سیستم نظارتی پیشنهادی بر اساس حرکت‌های آهسته و مانورهای خودرو در نواحی پر رفت آمد شهری طراحی شده است. تغییر بایاس^{۱۸} و تغییر فاز زمانی^{۱۹} سیگنال GPS از عوامل ایجاد خطای موقعیت‌یابی در طول مانورها و حرکت‌های آهسته خودرو می‌باشند [۱۲]. شکل (۶) سیستم نظارتی فازی شامل پایگاه داده‌ها و موتور استنتاج را همراه با ورودی و خروجی‌های آن نشان می‌دهد. جهت پیاده‌سازی این سیستم از موتور استنتاج مدانی و توابع عضویت ورودی مثلثی و دوزنقه‌ای استفاده شده است شکل (۸ - الف تا د). توابع عضویت ورودی بر اساس آزمایشات مختلف محیطی به گونه‌ای طراحی شده است که کمترین خطای سیستم مکانیابی و بیشترین پایداری را به همراه داشته باشد. شکل (۸ - ه) توابع عضویت خروجی سیستم نظارتی فازی را نشان

۲-۴- بررسی پایداری سیستم نظارتی فازی

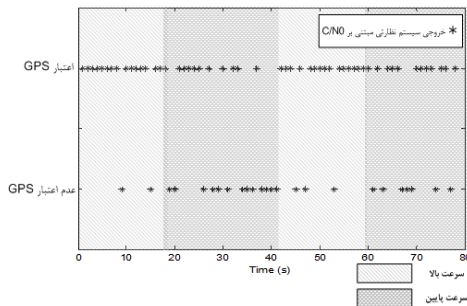
در این بخش پایداری سیستم نظارتی مبتنی بر منطق فازی در برابر تغییرات C/N_0 حول "حدآستانه" بررسی خواهد شد. شکل (۹-الف) مقادیر C/N_0 دریافتی از GPS را برای مدت زمان ۸۰ ثانیه و در دو وضعیت مختلف خودرو (سرعت کم و سرعت زیاد) نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های (۹-ب و ج) نتیجه تصمیم‌گیری سیستم نظارتی مبتنی بر C/N_0 و سیستم نظارتی پیشنهادی، حول حدآستانه 15 dB-Hz ، را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در سرعت‌های پایین (کمتر از 10 km/h) سیستم نظارتی مبتنی بر C/N_0 دچار تغییرات تصمیم‌گیری زیادی بین اعتبار و یا عدم اعتبار GPS گردیده است که این خود باعث ناپایداری سیستم نظارتی می‌گردد؛ اما از آن جایی که الگوریتم نظارتی فازی بر اساس سرعت‌های پایین طراحی شده است، پایداری بهتری را از خود نشان می‌دهد. با این حال این دو الگوریتم نظارتی، در سرعت‌های بالا (بیشتر از 20 km/h) پایداری یکسانی را از خود نشان می‌دهند.

همچنین شکل (۱۰) تعداد کلیدزنی‌های سیستم نظارتی فازی و سیستم نظارتی مبتنی بر C/N_0 را حول حدآستانه، در چهار آزمایش مختلف نشان می‌دهد. مدت زمان انجام هر آزمایش ۶۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. شرایط تست بگونه‌ای فراهم شده است که می‌توان سیستم‌های تحت آزمایش را در سرعت‌ها و C/N_0 های مختلف به‌خوبی مورد بررسی قرار داد.

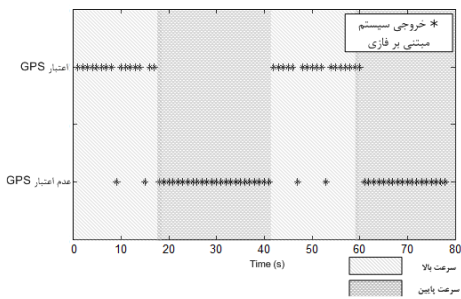
همان‌طور که نمودار نمایش می‌دهد تعداد کلیدزنی سیستم نظارتی فازی نسبت به C/N_0 کمتر بوده و این نشان‌دهنده پایداری بالاتر آن است.



(الف)



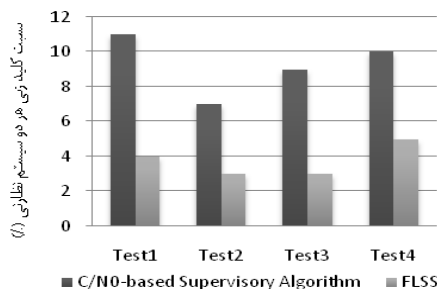
(ب)



(ج)

شکل (۹): (الف) مقادیر C/N_0 دریافتی از GPS، (ب) نتیجه تصمیم‌گیری سیستم نظارتی مبتنی بر C/N_0 ، (ج) نتیجه تصمیم‌گیری سیستم نظارتی پیشنهادی

Fig. (9): (a) The C/N_0 received from GPS, (b) The result of determination of observation system based on C/N_0 , (c) The result of determination based on proposed system of observation



شکل (۱۰): مقایسه پایداری سیستم نظارتی پیشنهادی و سیستم نظارتی مبتنی بر C/N_0 در چهار آزمایش مختلف

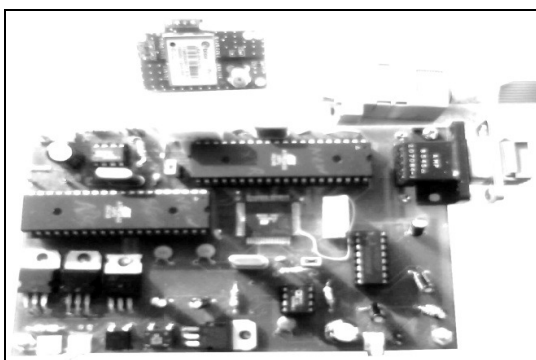
Fig. (10): The comparison of proposed stability observation system and a system based on C/N_0 for 4 different tests

۵- مشخصات سخت افزاری و بررسی نتایج

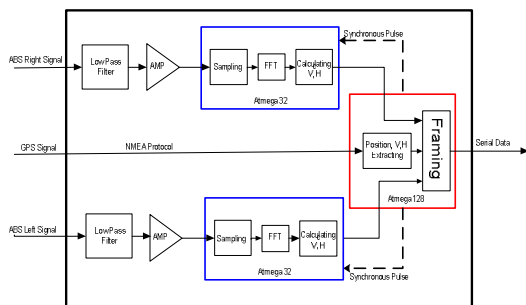
۵-۱- پیاده سازی سخت افزاری

در این تحقیق، آزمایش‌های مختلفی برای بررسی عملکرد سیستم ترکیبی GPS/ABS و الگوریتم نظارتی انجام گرفته است. در این آزمایش‌ها از یک گیرنده GPS محصول شرکت Ublox و حسگرهای ABS خودرو پژو ۲۰۶ استفاده شده است. (شکل (۱۱))

شکل (۱۲-الف) نمایی کلی از سخت افزار به کار گرفته شده درون خودرو را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۱۲-ب) دیاگرام بلوکی آن را با جزئیات بیشتر نشان می‌دهد. مطابق شکل، به منظور کاهش میزان نویز، سیگنال خروجی حسگرهای ABS ابتدا از یک فیلتر پایین گذر عبور داده می‌شوند. سپس، سیگنال‌های ABS فیلتر شده، به میزان مناسب تقویت گردیده و برای نمونه‌برداری^{۲۲} و فراهم سازی اطلاعات به میکروکنترلرهای AVR-Atmega32 هدایت می‌شوند. میکروکنترلر با اعمال تبدیل فوریه (FFT) 512 نقطه‌ای بر روی سیگنال نمونه برداری شده و تشخیص فرکانس آن، سرعت لحظه‌ای خودرو را محاسبه می‌نماید. از سویی دیگر، به منظور استخراج اطلاعات سرعت، جهت و C/N_0 از GPS، سیگنال GPS به میکروکنترلر AVR-Atmega128 ارسال می‌شود. علاوه بر این، میکروکنترلر AVR-Atmega128 وظیفه همزمان سازی میکروکنترلرهای دیگر و گردآوری اطلاعات به دست آمده از GPS و حسگرهای ABS را دارد. در پایان، بسته‌های اطلاعاتی با نرخ 1 بسته بر ثانیه از طریق درگاه سریال به کامپیوتر مرکزی ارسال می‌شود. در این تحقیق، از نرم افزار MATLAB به دلیل بستر پردازشی مناسب استفاده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۱۲): (الف) نمایی کلی از سخت افزار به کار گرفته شده درون خودرو، (ب) دیاگرام بلوکی بخش سخت افزار

Fig. (12): (a) A schematic of the hardware used inside the vehicle, (b) The hardware block diagram

۵-۲- بحث و بررسی نتایج آزمایشی

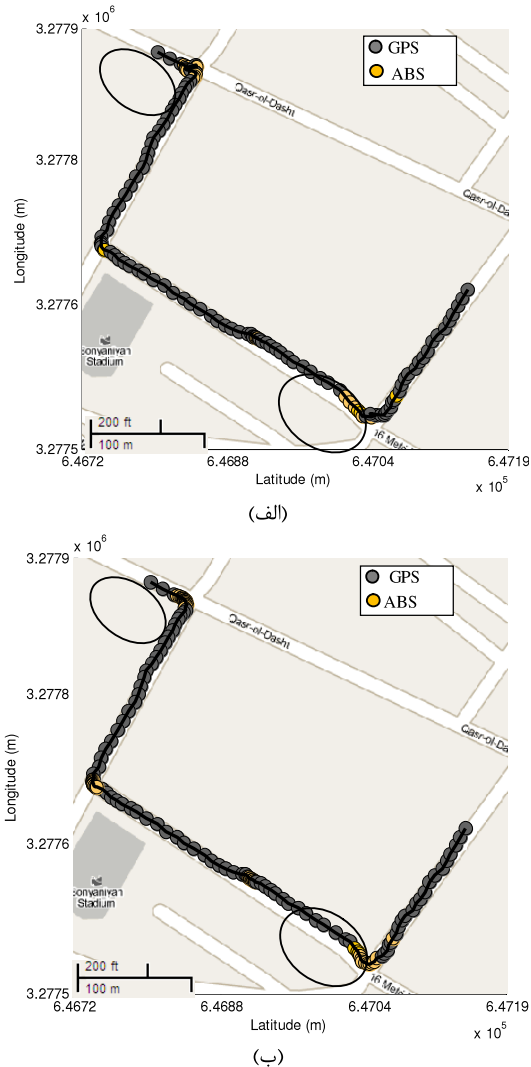
در این بخش برای تحلیل عملکرد سیستم مکانیابی پیشنهادی، نتایج آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی آزمایش‌ها در یک محیط واقعی در شهر شیراز انجام شده است. نقشه دیجیتالی شیراز، اطلاعات طول و عرض جغرافیایی محور خیابان‌ها را به عنوان معیار مقایسه سیستم مکانیابی ترکیبی فراهم کرده است.

در ابتدا عملکرد الگوریتم پیشنهادی با سیستم‌های مبتنی بر C/N_0 مقایسه شده است. شکل (۱۳-الف) نقشه GIS^{۲۳} مسیر آزمایش تحت استاندارد UTM^{۲۴} و موقعیت به دست آمده از GPS را نشان می‌دهد. ابتدا، GPS در شرایطی مناسب و در محیطی باز، بر روی چندین ماهواره قفل شده و موقعیت صحیحی را فراهم می‌کند. سپس خودرو در نواحی پر رفت آمد شهر، در امتداد محور اصلی خیابان حرکت کرده و در مدت زمان 134 ثانیه مسیری به طول 1.6 کیلومتر را پیموده است. به منظور مقایسه دقیق‌تر میان الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم مبتنی بر C/N_0 ، مسیر آزمایش به گونه‌ای انتخاب شده است که شامل ساختمان‌ها و درخت‌های بلند در دو سمت مسیر حرکت خودرو باشد. این شرایط باعث کاهش چشمگیر توان دریافتی سیگنال GPS می‌گردد (شکل (۱۳-ب)). همان گونه که شکل (۱۳-الف) نشان می‌دهد، در زمان‌های بین 3 تا 21 ثانیه و 99 تا 115 ثانیه، نقاط به-دست آمده از GPS به دلیل کاهش C/N_0 دارای پراکندگی زیاد نسبت به مسیر اصلی حرکت خودرو می‌باشد.



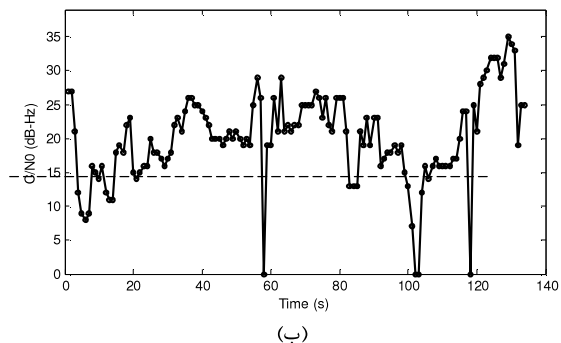
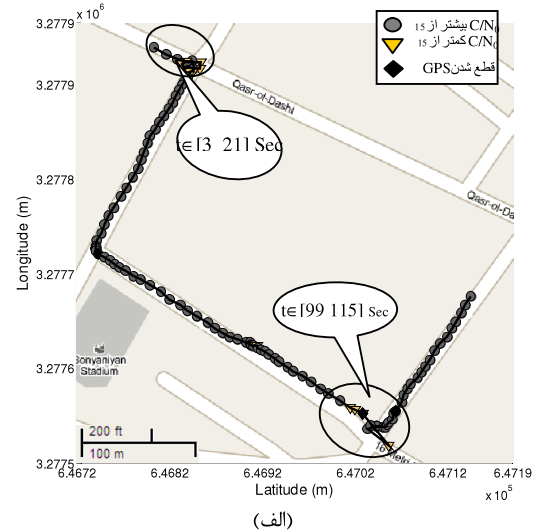
شکل (۱۱): خودرو تحت آزمایش و سخت افزارهای مورد استفاده
Fig. (11): The vehicle under test and its hardware used

در ادامه به منظور بررسی جامع تر از عملکرد سیستم مکانیابی پیشنهادی در محیط‌های واقعی، از دو مسیر آزمایش با شرایط محیطی متفاوت استفاده شده است که در ادامه با جزئیات توضیح داده خواهد شد.



شکل (۱۴): (الف) نتیجه اعمال الگوریتم نظارتی مبتنی بر C/N0؛ (ب) نتیجه اعمال الگوریتم نظارتی پیشنهادی.

Fig. (14): (a) The result of applying observation algorithm based on C/N0, (b) The result of applying the proposed observation algorithm



شکل (۱۳): (الف) موقعیت به دست آمده از GPS بر روی نقشه مسیر؛ (ب) C/N0 به دست آمده از PS

Fig. (13): (a) The location found from GPS on the road map, (b) C/N0 obtained from PS

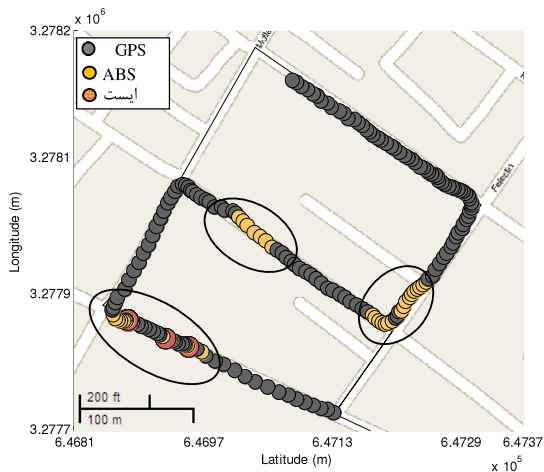
شکل‌های (۱۴-الف و ب) به ترتیب نتیجه اعمال الگوریتم نظارتی مبتنی بر C/N0 و الگوریتم پیشنهادی را بر روی داده‌های GPS (نمایش داده شده در شکل (۱۳-الف)) نشان می‌دهد. مطابق شکل (۱۴-الف) نتایج حاصل از الگوریتم نظارتی مبتنی بر C/N0 در نقاطی که C/N0 دارای تغییرات زیادی حول حد آستانه (15dB-Hz) است، ناپایدار می‌باشد. همچنین این الگوریتم به دلیل استفاده از تنها معیار C/N0 در تصمیم‌گیری، قادر به تشخیص خطای نقاطی که از C/N0 بالایی برخوردار هستند، نمی‌باشد. شکل (۱۴-ب) نتیجه اعمال الگوریتم نظارتی پیشنهادی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، الگوریتم پیشنهادی در اغلب موارد توانسته است، نقاط GPS دارای خطا را به خوبی تشخیص داده و با جای گذاری مناسب سیستم ABS خطای کلی مکانیابی را کاهش دهد. همچنین شکل (۱۵) خطای نقاط GPS، سیستم نظارتی مبتنی بر C/N0 و سیستم نظارتی پیشنهادی را نسبت به مسیر اصلی حرکت نشان می‌دهد. همان گونه که انتظار می‌رود، سیستم نظارتی پیشنهادی دارای خطای مکانیابی کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها است.

شکل (۱۷)، نتایج ترکیب سیستم‌های مکانیابی GPS و ABS بر اساس الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است، سیستم نظارتی مبتنی بر منطق فازی به خوبی توانسته است هر یک از موارد خطای GPS را شناسایی کرده و سیستم مکانیابی مناسب را جایگزین کند.

شکل‌های (۱۸-الف و ب) به ترتیب طول و عرض جغرافیایی به دست آمده از سیستم ترکیبی پیشنهادی GPS/ABS، سیستم GPS و مسیر اصلی حرکت خودرو (محور اصلی خیابان) را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها، واضح است که میزان انحراف موقعیت سیستم ترکیبی از محور اصلی خیابان در مقایسه با سیستم GPS، کم بوده و از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. جهت واضح‌تر شدن موضوع، جدول (۲) میزان خطای مربع میانگین (MSE^{۲۵}، معادله (۴)) سیستم ترکیبی GPS/ABS و GPS را نسبت به مسیر اصلی حرکت خودرو در سه آزمایش مختلف انجام شده در مسیر "الف"، نشان می‌دهد.

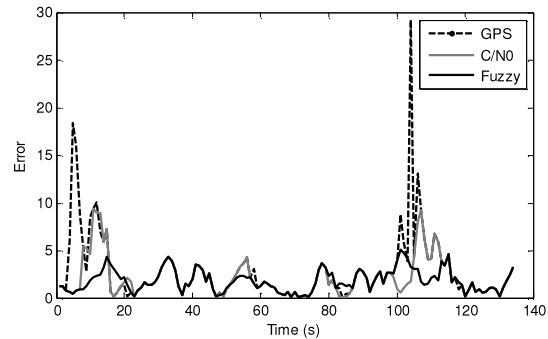
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n ((x_k - x_{true,k})^2 + (y_k - y_{true,k})^2) \quad (4)$$

که در این رابطه، x_k و y_k موقعیت خودرو، $x_{true,k}$ و $y_{true,k}$ موقعیت مسیر واقعی حرکت و n تعداد کل نقاط می‌باشند. با توجه به مقادیر به دست آمده، سیستم ترکیبی توانسته است MSE را به طور متوسط به میزان ۶۷٪ و ۴۲٪ (به ترتیب برای عرض و طول جغرافیایی) نسبت به سیستم GPS کاهش دهد.



شکل (۱۷): مکانیابی سیستم ترکیبی GPS و ABS بر اساس الگوریتم پیشنهادی

Fig. (17): The location-finding of combined GPS and ABS systems based on the proposed algorithm

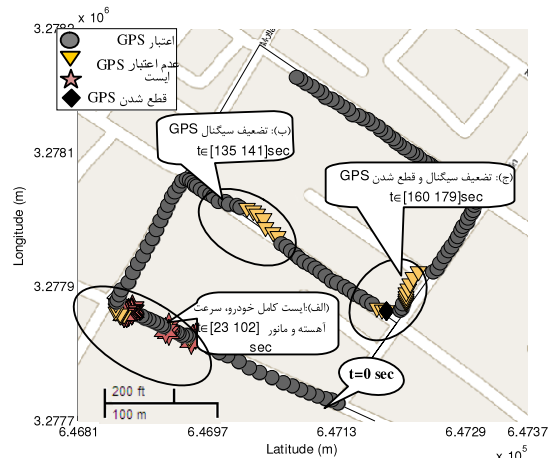


شکل (۱۵): خطای نقاط GPS، سیستم نظارتی مبتنی بر C/N0 و سیستم نظارتی پیشنهادی

Fig. (15): The error points of GPS, observation system based on C/N0 and the proposed observation system

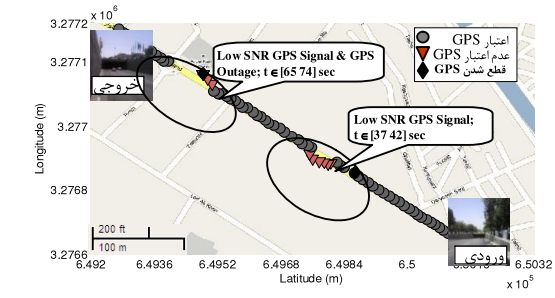
۵-۲-۱- مسیر آزمایش "الف"

به منظور بررسی عملکرد سیستم پیشنهادی در محیط‌های با C/N0 کم و شرایط دینامیکی مختلف خودرو، مسیر آزمایش "الف" را در منطقه‌ای با ترافیک نسبتاً بالا و دارای ساختمان‌های بلند در دو سمت خیابان انتخاب نموده‌ایم. شکل (۱۶) نقشه مسیر آزمایش "الف" و موقعیت به دست آمده از GPS را نشان می‌دهد. در این آزمایش خودرو در امتداد محور اصلی خیابان حرکت کرده و در مدت زمان ۷ دقیقه مسیری به طول ۳ کیلومتر را پیموده است. در طول انجام آزمایش چندین توقف پشت چراغ راهنما وجود داشته و سرعت خودرو بین ۰ تا ۶۰ کیلومتر بر ساعت متغیر بوده است. همان‌طور که شکل (۱۶) نشان می‌دهد، در موارد مختلف دچار خطا شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، GPS اغلب در لحظاتی که خودرو سرعت پایینی (بین ۰ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت) برخوردار بوده است، خودرو در شرایط مانور بوده است و یا خودرو در شرایط توقف کامل بوده است دچار خطای نسبتاً زیادی شده است. همچنین پایین بودن توان سیگنال دریافتی از GPS از دیگر عوامل موثر در ایجاد خطا در مسیر "الف" می‌باشد.

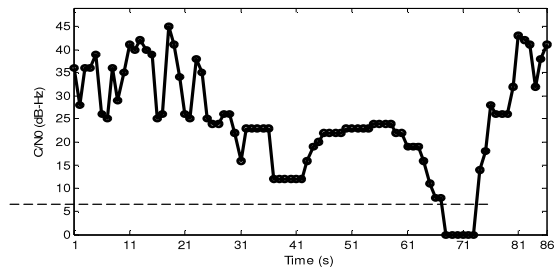


شکل (۱۶): موقعیت به دست آمده از GPS بر روی نقشه مسیر آزمایش "الف"

Fig. (16): The location found from GPS on the road map of (a)



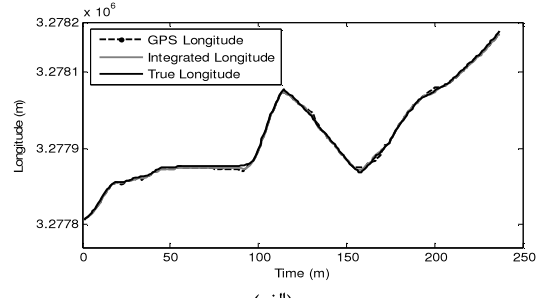
(الف)



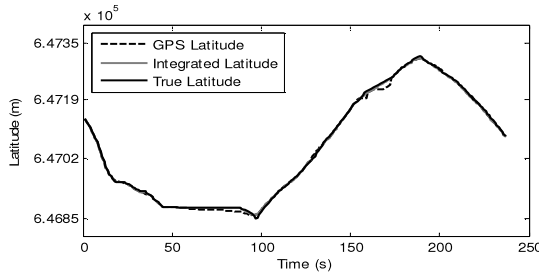
(ب)



(ج)



(الف)



(ب)

شکل (۱۸): (الف) طول جغرافیایی سیستم ترکیبی GPS/ABS، سیستم GPS و محور اصلی خیابان؛ (ب) عرض جغرافیایی سیستم ترکیبی GPS/ABS، سیستم GPS و محور اصلی خیابان

Fig. (18): (a) The geographical altitude of combined GPS/ABS systems, GPS and street principle axis, (b) The geographical latitude of combined GPS/ABS system, the GPS system and the principle axis of the street

۵-۲-۲- مسیر آزمایش "ب"

به منظور بررسی عملکرد سیستم مکانیابی پیشنهادی در شرایط قطعی کامل سیگنال GPS، مسیر آزمایش (ب) را در تونلی به طول 700 متر انتخاب نموده‌ایم. شکل (۱۹-الف) نقشه GIS مسیر آزمایش "ب" و موقعیت به دست آمده از GPS را نشان می‌دهد. مطابق شکل، در دو مورد پی در پی، ابتدا C/N₀ کاهش یافته (37 تا 42 ثانیه) و سپس سیگنال GPS برای مدت زمان 10 ثانیه (65 تا 74 ثانیه) قطع شده است. همچنین شکل (۱۹-ب) تغییرات C/N₀ سیگنال دریافتی از GPS را در مدت زمان انجام آزمایش نشان می‌دهد. همان گونه که انتظار می‌رفت، با کاهش مقدار C/N₀ از حد آستانه (15 dB-Hz)، نقاط مکانی به دست آمده از GPS از خطای بیشتری برخوردار می‌باشد. هدف این آزمایش، بررسی عملکرد سیستم مکانیابی پیشنهادی در تونل‌ها و زیرگذرها، و همچنین بیان ABS به عنوان یک سیستم مکانیابی مستقل در موقعیت‌یابی‌های کوتاه مدت می‌باشد.

نقاط مکانی به دست آمده از سیستم ترکیبی GPS/ABS در شکل (۱۹-ج) نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، در موارد قطع شدن GPS و یا در C/N₀‌های پایین، سیستم مکانیابی ABS توانسته است جایگزین مطمئنی برای GPS باشد. البته توجه به این نکته حائز اهمیت است که در صورت طولانی شدن مدت قطعی GPS (بیش از 20 ثانیه)، خطای نقاط مکانی ABS با گذشت زمان افزایش می‌یابد.

شکل (۱۹): (الف) موقعیت به دست آمده از GPS بر روی نقشه مسیر آزمایش "ب"، (ب) C/N₀ به دست آمده از GPS، (ج) مکانیابی سیستم ترکیبی GPS و ABS مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی

Fig. (19): (a) The location founded from GPS on the test road map, (b) C/N₀ founded from GPS, (c) The location finding of the combined GPS and ABS systems based on the proposed algorithm

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، الگوریتم جدیدی مبتنی بر تجربه‌های حرکتی خودرو در شرایط محیطی مختلف ارائه گردیده است. در این الگوریتم از منطق فازی به گونه‌ای بهره گرفته شده است که می‌تواند به عنوان ناظر بر سیستم‌های ترکیبی، نحوه عملکرد سیستم ترکیب‌کننده را بهبود بخشد. در این مقاله از یک سیستم ترکیب‌کننده انتخاب‌گر استفاده شده است که می‌تواند سیستم مکانیابی مناسب (GPS یا ABS) را بسته به نوع حالت مشخص شده توسط الگوریتم نظارتی به کار گیرد. نتایج حاصل از تست پایداری و آزمایش‌های محیطی در مناطق مختلف شهری نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی توانسته است حالت‌های مختلف موجود را شناسایی کرده و همچنین در مقایسه با کلید زنی مبتنی بر C/N₀ کاملاً پایدار باشد. به طور کلی سیستم ترکیبی GPS/ABS در مقایسه با GPS تنها، عملکرد کاملاً مناسب‌تری داشته است.

امکان پذیر بوده و همچنین استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی سیستم فازی باعث بالا بردن قابلیت اطمینان الگوریتم خواهد شد.

پی نوشت:

- 1- Car Navigation System
- 2- GPS
- 3- Odometer
- 4- Anti-Lock Breaking System
- 5- Artificial Intelligence
- 6- Artificial Neural Network
- 7- Probabilistic
- 8- Reliability Domain Validity
- 9- Inertial Navigation System
- 10- Dead Reckoning
- 11- Carrier to Noise Ratio

این کمیت در گیرنده GPS محاسبه می گردد.

12- Fading Satellite Ratio

این کمیت از ماتریس موقعیت فضایی ماهواره‌ها به دست می آید.

۱۳- در این مقاله منظور از سیستم مکانیابی ABS، مکانیابی مبتنی بر اطلاعات به دست آمده از حسگرهای ABS نصب شده بر روی چرخ‌های خودرو می باشد.

۱۴- مقادیر n و R با توجه به مشخصات خودرو تحت آزمایش به دست آمده است.

15- Instantaneous Center of Rotation

۱۶- گیرنده GPS اطلاعات مکانیابی خودرو را در قالب پرتکل NMEA فراهم می کند.

17- Selective Fusion System

18- Bias Shift

19- Time Phase Shift

20- Singleton

21- Center of Singleton

۲۲- فرکانس نمونه برداری ۳۰۰۰ نمونه در ثانیه در نظر گرفته شده است.

23- Geographic Information System

24- Universal Transverse Mercator

25- Mean Square Error

همچنین نشان داده شد که ایده پیاده سازی چنین سیستمی کاملاً عملی بوده و با توجه به مجهز بودن خودروهای امروزی به حسگرهای ABS می توان آن را عنوان یک سیستم مکانیابی ارزان قیمت و قابل دسترس برای مکانیابی های کوتاه مدت به کار گرفت.

Table (2): The comparison of mean square error of combined system and GPS

جدول (۲): مقایسه مربع خطای میانگین سیستم ترکیبی با GPS

		Latitude MSE (m)	Longitude MSE (m)
Test Route 1	GPS	27.4232	14.0682
	GPS/ABS	6.7634	8.9742
Test Route 2	GPS	23.3844	15.6234
	GPS/ABS	8.5672	9.1288
Test Route 3	GPS	19.2168	15.4328
	GPS/ABS	7.5732	8.1464
Average	GPS	23.3415	15.0415
	GPS/ABS	7.6346	8.7498

۷- مطالعات آینده

با توجه به ظرفیت تحقیقاتی الگوریتم پیشنهادی، چندین زمینه مختلف حول این موضوع قابل بررسی است:

- در این مقاله از یک سیستم ترکیب کننده انتخاب گر ساده استفاده شده است، که می توان آن را با هر یک از سیستم های مبتنی بر فیلتر کالمن یا الگوریتم های هوشمند جایگزین کرد و به طور خاص نتایج سیستم ترکیب کننده را با حضور الگوریتم نظارتی فازی مورد بررسی قرار داد.
- بدون افزایش حسگرهای دیگر یا استفاده از معادلات دینامیکی پیچیده تر می توان دقت مکانیابی بر پایه ABS را برای فواصل طولانی تر بسط داد، که در این راستا روش های مبتنی بر شبکه های عصبی می تواند ایده مناسبی باشد.
- تکمیل سیستم فازی ارائه شده با شناسایی قوانین تجربی جدید که حالت های دیگری از خطاهای GPS را پوشش می دهد

مراجع

- [1] J. Collin, H. Kusniemi; "HSGPS under heavy signal masking - accuracy and availability analysis", In Conf. on Navi. in 21st Century Stockholm, Sweden, pp.277-288, 2003.
- [2] G.D. Macgougan, "High sensitivity GPS performance analysis in degraded signal environments", University of Calgary, 2003.
- [3] Kai-Wei Chiang; Y.-W.H., "An intelligent navigator for seamless INS/GPS integrated land vehicle navigation applications", Jou. of App. Soft Comp., p.722-733, 2008.
- [4] G. Fiengo, D.D.D., L. Glielmo, "A hybrid procedure strategy for vehicle localization system", Jou. of Cont. Engi. Prac., p.14-25, 2009.
- [5] J.H. Gao, W.a.Y., "The aiding of MEMS INS/GPS integration using artificial intelligence for land vehicle navigation", IAENG Int. Jou. of Comp. Sci., 2007.
- [6] P. Bonnifait, P.B., Paul, C. Crubill, D. Meizel, "Data fusion of four ABS sensors and GPS for an enhanced localization of car-like vehicles, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Rob. & Auto., Seoul, Korea, p.1597-1602, 2001.
- [7] K.W. Chiang; "INS/GPS integration using neural networks for land vehicular navigation applications, department of geomatics engineering", The University of Calgary, Canada, UCGE Report 20209, 2004.
- [8] H. Banizaman, M. Taban, A. Torab, "Implementation car navigation system based on GPS and EKF using multi-model framework", 16th Iran. Conf. on Elec. Eng. (ICEE2008), Tehran, Iran, 2008.

- [9] V. Honavar, L. Uhr; "Artificial intelligence and neural networks: Steps toward principled integration", Academic Press, Boston, 1994.
- [10] Guojiang Gao, Gérard Lachapelle, "A novel architecture for Ultra-Tight HSGPS-INS integration", Jou. of Glob. Posi. Sys., Vol.7, No.1, pp.46-61, 2008.
- [11] A. Schmid, "Carrier to noise power estimation for enhanced sensitivity Galileo/GPS receivers", IEEE/VETECS, Vol.4, pp.2629-2633, 2005.
- [12] S.R. Swanson, "A fuzzy navigational state estimator for GPS/INS integration", IEEE/PLANS, p.541-548, April 1998.