

یک روش ترکیبی برای تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو

(منطق فازی + اتوماتاهای یادگیر)

مریم جابری محمدرضا میبیدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

mmeybodi@aut.ac.ir jaberi@aut.ac.ir

چکیده: هدف از نصب یک سیستم ناوبری بر روی یک خودرو کمک به راننده برای انتخاب یک مسیر بهینه جهت رسیدن به مقصد است. این سیستم به راننده جهت رسیدن به مقصدش که ممکن است مرکز شهر یا نام یک خیابان و یا یک آدرس شامل پلاک یک ساختمان باشد راهنمایی‌های لازم را می‌کند. در اکثر این سیستم‌های از موقعیت یاب عمومی (GPS) جهت تعیین موقعیت خودرو استفاده می‌شود. از آنجا که دقت سیستم‌های موقعیت یاب از عوامل مختلفی مانند خطای دستگاه و شرایط جوی تأثیر می‌پذیرد، لازم است از روش‌های تطبیق نقشه جهت افزایش دقت در موقعیت تعیین شده خودرو استفاده نمود. تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو وظیفه تعیین موقعیت فعلی خودرو بر روی نقشه شهر را بر عهده دارد. در این مقاله الگوریتم جدیدی برای حل مسأله تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو پیشنهاد می‌شود. این الگوریتم از ترکیب اتوماتاهای یادگیر و منطق فازی حاصل شده است. در روش ترکیبی پیشنهادی از اتوماتای یادگیر برای تنظیم توابع فازی که بر روی پارامترهای ورودی و خروجی مسأله تعریف شده استفاده می‌شود. مزیت این مدل نسبت به روش‌های مشابه پیشین، توانایی در تنظیم هر دو دسته پارامترهای ورودی و خروجی به صورت همزمان و در نتیجه دست یافتن به روشی با خطای کمتر در فرایند تطبیق نقشه می‌باشد. به منظور ارزیابی، روش پیشنهادی برای شهر تهران آزمایش گردیده است و نتایج بدست آمده با نتایج یکی از الگوریتم‌های تطبیق نقشه مبتنی بر منطق فازی موجود مقایسه شده است. نتایج مقایسه حاکی از برتری الگوریتم پیشنهادی دارد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های ناوبری خودرو، تطبیق نقشه، اتوماتاهای یادگیر، منطق فازی

A Hybrid Map Matching Algorithm in Car Navigation Systems (Learning Automata + Fuzzy Logic)

M. Jaberi M. R. Meybobi

Computer Engineering and Information technology Department,

Amirkabir University of Technology,

Tehran, Iran

jaberi@aut.ac.ir

mmeybodi@aut.ac.ir

Abstract: The increase of the importance of positioning systems is proportional with the increase in the use of the car navigation systems. The goal of installing a Car Navigation System on a vehicle is to help the driver to choose an optimum way to get to the destination. This system gives the driver the instructions needed throughout the way, whether it is located downtown or it's the name of a road or an address. In most these systems a GPS¹ is used to show the position of the vehicle. With the errors in the data (data

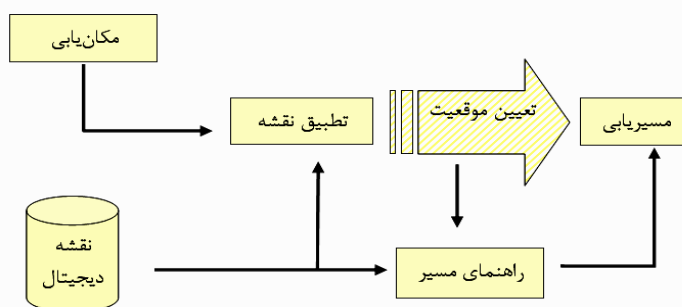
¹ Global Positioning System

errors) received from the GPS or any positioning system, a Map Matching algorithm is needed. In the car navigation system, Map Matching defines the current position of the vehicle in the road network. These algorithms try to define the exact position of the vehicle in the streets on the city map and track motion on the roads using the help of digital maps. In this paper a combined model based on learning automats & fuzzy logic is suggested for map matching in city maps in which is tried to detect the right road that the vehicle is located in and motion in the road mentioned. Comparing this model with other algorithms in this field, optimization in solving map matching problems is obvious.

Keywords: Car Navigation System, Map matching, Learning Automata, Fuzzy Logic

۱- مقدمه

سیستم‌های ناوبری خودرو با هدف کمک به راننده در انتخاب مسیر صحیح و جابه‌جایی در طول مسیر با استفاده از نقشه راهی، طراحی شده‌اند [۱]. از مزایای استفاده از سیستم‌های ناوبری خودرو ترافیک سبک‌تر در خیابان‌ها، مصرف سوخت کمتر، استهلاک کمتر خودروها، آلودگی کمتر هوا، فشار روحی کمتر برای رانندگی و جلوگیری از بروز سوانح و حوادث و خطرات جانی و مالی ناشی از آن می‌باشد. با استفاده از این سیستم‌ها می‌توان محل‌های پر ترافیک را در ساعات مختلف روز به رانندگان اعلام نمود و با پیشنهاد مسیرهای بهتر باعث کاهش ازدحام در محل‌های پرتردد گردید و انجام برخی از وظایفی که مسئولیت آنها با راننده خودرو از آن جمله خواندن نقشه، تشخیص بهترین مسیر به سمت مقصد مورد نظر و راهنمایی راننده در رسیدن به مقصد را بر عهده گیرند. در واقع این گونه سیستم‌ها، به نوعی به راننده کمک می‌کنند تا بتوانند از وضعیت خود در شبکه راهی مطلع شده و مقصد مورد نظر خود را پیدا کنند [2]. یک سیستم ناوبری خودرو از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که مهمترین آنها عبارتند از: مکان‌یاب^۲، مسیر یاب^۳، نقشه دیجیتالی^۴، راهنمای مسیر^۵ و تطبیق نقشه^۶. شکل ۱ اجزای تشکیل دهنده یک سیستم ناوبری خودرو را نشان می‌دهد.



شکل ۱. سیستم ناوبری خودرو و اجزای تشکیل دهنده آن.

یکی از بخش‌های اصلی در هر سیستم ناوبری خودرو، بخش تعیین موقعیت خودرو در نقشه است. روش‌های مختلفی برای تعیین موقعیت خودرو در نقشه مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش DR^V یکی از این روش‌هایی است که به کمک حسگرها و بر اساس محاسبه سرعت و مسافت پیموده شده موقعیت خودرو را تعیین می‌کند. روش دیگر برای تعیین موقعیت خودرو استفاده از امواج رادیویی است. در این روش تعدادی مراکز ثابت و معین در نظر گرفته می‌شود که موقعیت خود را مرتباً به کاربران نزدیک به خود مخابره می‌کنند [2] و روش سوم، مکان‌یابی به کمک سیستم موقعیت‌یاب عمومی^۸ (GPS) است. این سیستم متشکل از سه بخش اصلی می‌باشد. بخش فضائی که شامل ۲۴ ماهواره است که در ارتفاع حدود ۲۰۲۰۰ کیلومتر بالاتر از سطح دریا قرار دارند. بخش کنترل که در بر گیرنده ایستگاه‌های زمینی در سراسر دنیا بوده و هدایت پرواز ماهواره‌ها، یکسان سازی ساعت اتمی آنها و ارسال اطلاعات جهت پخش توسط آنها را به عهده دارد. بخش کاربران که شامل دستگاه‌های

² Positioning

³ Routing

⁴ Digital Map

⁵ Route Guidance

⁶ Map Matching

⁷ Dead Reckoning

⁸ Global Position System(GPS)

گیرنده GPS است که موقعیت وسیله نقلیه را به کمک دریافت سیگنال‌هایی از ماهواره‌ها تعیین می‌کند. این گیرنده‌ها به دلیل وجود خطاهای سنجش نمی‌توانند مستقیماً از طریق سیگنال‌های دریافت شده از ماهواره‌ها، مکان یابی دقیق را انجام دهند. منابع خطاهای سنجش عبارتند از: خطای اندازه‌گیری زمان، خطای اتمسفری، خطای تعدد مسیر^۹، خطای عمدی دسترسی انتخابی^{۱۰}.

با توجه وجود خطا در داده‌های به‌دست آمده از گیرنده GPS، یا هر روش دیگر تعیین موقعیت، به فرایند تطبیق نقشه^{۱۱} نیاز می‌باشد [3]. تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو وظیفه تعیین موقعیت فعلی خودرو بر روی شبکه راه‌های را بر عهده دارد. الگوریتم‌های متعددی برای تطبیق نقشه ارائه شده است. این الگوریتم‌ها در سه گروه قرار می‌گیرند [4]. الگوریتم‌هایی که از اطلاعات هندسی^{۱۲} و یا توپولوژیکی^{۱۳} برای تعیین موقعیت استفاده می‌کنند، الگوریتم‌ها که از روش‌های آماری کمک می‌گیرند و الگوریتم‌ها که از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های هندسی از جمله الگوریتم‌های "تطبیق نقطه با نقطه"^{۱۴}، "نقطه با منحنی"^{۱۵} و "منحنی با منحنی"^{۱۶} تنها از اطلاعات هندسی برای تطبیق نقشه استفاده می‌کنند. مشکل عمده در این الگوریتم‌ها آن است که تنها در شرایطی که خطای تعیین موقعیت و نویز موجود در سیستم ناچیز باشد و همچنین در مواردی که از حسگرهای بسیار قوی استفاده می‌شود ممکن است نتایج مناسبی داشته باشند ولی در مواردی که خطای موقعیت یابی بالا باشد نامناسب هستند. الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های آماری از جمله الگوریتم گزارش توسط اسکات^{۱۷} [6] از طریق تخمین احتمالاتی خیابان صحیح مبادرت به تطبیق نقشه می‌کند. کلیه الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین، تا انجایی که نگارندگان این مقاله اطلاع دارند، مبتنی بر منطق فازی می‌باشند [7] [8] [11].

در این مقاله روش جدیدی برای حل مسأله تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو پیشنهاد میشود. این الگوریتم از ترکیب اتوماتاهای یادگیر و منطق فازی حاصل شده است. در روش ترکیبی پیشنهادی از اتوماتای یادگیر برای تنظیم توابع فازی که بر روی پارامترهای ورودی و خروجی مسأله تعریف شده استفاده می‌شود. مزیت این مدل نسبت به روش‌های مشابه پیشین، توانایی در تنظیم هر دو دسته پارامترهای ورودی و خروجی به صورت همزمان و در نتیجه دست یافتن به روشی با خطای کمتر در فرایند تطبیق نقشه می‌باشد. به منظور ارزیابی، روش پیشنهادی برای شهر تهران آزمایش گردیده است و با نتایج یکی از الگوریتم‌های تطبیق نقشه مبتنی بر منطق فازی ارایه شده در [7] مقایسه شده است. نتایج مقایسه حاکی برتری الگوریتم پیشنهادی داشته است.

ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتاهای یادگیر و در بخش ۳ فرایند تطبیق نقشه به اختصار شرح داده می‌شود. در بخش ۴ روش پیشنهادی تطبیق نقشه ارائه میگردد. نتایج آزمایشها و مقایسه آن با نتایج یکی از الگوریتم‌های تطبیق نقشه مبتنی بر منطق فازی در بخش ۵ آمده است. بخش ۶ نتیجه‌گیری میباشد.

۲- اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر، ماشینی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد؛ هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالاتی ارزیابی و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا برگردانده می‌شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تاثیر می‌پذیرد. هدف نهایی این است که اتوماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداکثر برساند [12]. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، به صورت ساده در شکل ۲ نشان داده شده است.

⁹ Multi path

¹⁰ Selective Availability

¹¹ Map Matching

¹² Geometric Information

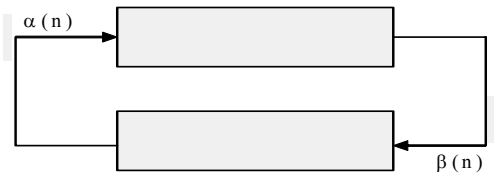
¹³ Topological Information

¹⁴ Point to Point

¹⁵ Point to Curve

¹⁶ Curve to Curve

¹⁷ Scott



شکل ۲. تعامل اتوماتای یادگیر و محیط

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می توان توسط چهارتایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل های اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودی های اتوماتا، $p = \{p_1, \dots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عمل ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می باشد. مدل های خطی مورد استفاده در به روز رسانی احتمالات عمل ها، در واقع به گونه ای هستند که احتمالات اعمال در گام بعدی از روی ترکیب خطی احتمال فعلی آن نتیجه می شوند یک نمونه از الگوریتم های یادگیری خطی به صورت زیر تعریف می شود: فرض کنید عمل α_i در مرحله n انتخاب شود؛ در صورتی که عمل انتخاب شده مطلوب باشد بردار احتمال توسط رابطه (۱):

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i \end{aligned} \quad (1)$$

و در صورتی که پاسخ نامطلوب باشد بردار احتمال توسط رابطه (۲):

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= (b/r - 1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i \end{aligned} \quad (2)$$

به روز می شود. در روابط بالا، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می باشند. و در واقع احتمال اعمال به کمک ترکیبی خطی از احتمال حالت قبل و به کمک ضرایب پاداش و جریمه تعیین شده محاسبه می شوند. سه الگوریتم یادگیری که برای بروز رسانی بردار احتمال اقدامها به کار گرفته می شوند عبارتند از مدل L_{R-P}^{18} ، مدل L_{R-EP} و مدل L_{R-I}^{19} .

۳- تطبیق نقشه

در این بخش در ابتدا فرایند تطبیق نقشه توضیح داده می شود و سپس مدلی مبتنی بر منطق فازی که اساس الگوریتم پیشنهادی می باشد شرح داده می شود.

فرایند تطبیق نقشه به منظور نگاشت موقعیت دریافت شده از سیستم های موقعیت یاب (GPS) به نقشه های دیجیتالی به کار می رود. اگر سیستم تعیین موقعیت یاب در وسیله نقلیه و همچنین نقشه های دیجیتالی به حد کافی دقیق باشند، فرایند تطبیق نقشه براحتی انجام می گیرد. یعنی تنها کافی است موقعیت بدست آمده را به نزدیک ترین خیابان تطبیق دهیم. اما همان طور که گفته شد سیستم های تعیین موقعیت معمولاً بخاطر برخی اختلالات صوتی و موجی و همچنین وجود ساختمان های بلند در مناطق شهری قادر نیستند بصورت دقیق موقعیت وسیله نقلیه را بر روی نقشه تعیین دهند. با انجام عمل تطبیق می توان موقعیت دقیق وسیله نقلیه را تحت شرایط گوناگون محیطی و جغرافیایی بر روی نقشه بدست آورد [۱]. برای تطبیق هر یک از نقاط دریافتی از گیرنده مکان یاب می بایست فرایندی انجام گیرد تا خیابان مناسب انتخاب شود. بدین منظور ابتدا خیابان هایی که احتمال دارد اتومبیل در آن واقع شده باشد پیدا کرده و سپس و از میان آنها خیابان صحیح را انتخاب می شود. بدین منظور در ابتدای کار، محدوده ای مشخص در اطراف نقطه دریافتی از GPS را به عنوان همسایگی مجاز نقطه در نظر گرفته و خیابان هایی که در این شعاع قرار دارند به عنوان خیابان های کاندیدا انتخاب می شوند. در بررسی وضعیت خودرو و انتخاب خیابانی که اتومبیل در آن واقع شده است، دو پارامتر مهم و تاثیر گذار عبارتند از:

۱- فاصله میان موقعیت به دست آمده برای خودرو از طریق سیستم ناوبری با نقطه تصویر شده بر روی خیابان.

¹⁸ Linear Reward-Penalty Schema

¹⁹ Linear Reward-Inaction Schema

۲- تشابه شکل ظاهری خیابان مورد نظر با خط سیر طی شده توسط خودرو.

اگر نقطه p_c با مختصات $p_c = (x_c, y_c)$ به عنوان موقعیت بدست آمده توسط روش‌های مکان‌یابی در نظر گرفته شود و به ازای هریک از خیابان‌های کاندیدا سعی گردد این نقطه را بر روی خیابان مذکور، نگاشت نمود و نقطه‌ای که از این نگاشت بدست می‌آید را $p_r = (x_r, y_r)$ نامید، آنگاه می‌توان به کمک رابطه (۳) میزان نزدیکی این دو نقطه را محاسبه نمود.

$$D(p_c, p_r) = \frac{1}{1 + \frac{\|p_c - p_r\|^2}{\sigma^2}} \quad (۳)$$

در این رابطه پارامتر D بیانگر میزان فاصله میان دو نقطه p_c و p_r بوده و σ به عنوان انحراف معیار استاندارد از خطای فیلتر سیستم معرفی می‌شود که به کمک گیرنده‌های GPS قابل اندازه‌گیری است. به همین ترتیب اگر سرعت حرکت و جابجایی خودرو به کمک بردار \vec{v}_c نشان داده شود و با نگاشت این بردار بر روی خیابان مذکور بردار \vec{v}_r حاصل شود، می‌توان به منظور تعیین میزان شباهت میان این دو بردار از رابطه (۴) که در واقع از زاویه میان دو بردار کمک می‌گیرد استفاده نمود:

$$V(\vec{v}_c, \vec{v}_r) = \frac{(\vec{v}_c \cdot \vec{v}_r)^2}{\|\vec{v}_c\|^2 \|\vec{v}_r\|^2} = \cos^2 \theta_\delta \quad (۴)$$

در این رابطه θ_δ زاویه میان دو بردار \vec{v}_c و \vec{v}_r تعریف می‌شود و پارامتر V برابر با کسینوس زاویه میان دو بردار \vec{v}_c و \vec{v}_r است [6]. دو پارامتر معرفی شده در روابط (۳) و (۴) به عنوان پارامترهای ورودی مسئله در نظر گرفته می‌شوند که به کمک آنها می‌توان معیاری برای سنجش میزان درستی خیابان مورد بررسی بدست آورد. این دو رابطه به گونه‌ای هستند که هر چه دو نقطه p_c و p_r به هم نزدیک‌تر باشند مقدار D به یک نزدیکتر خواهد شد و همچنین هر چه جهت‌های دو بردار سرعت به هم نزدیکتر باشند مقدار پارامتر V به یک نزدیکتر خواهد بود.

برای انتخاب مناسب‌ترین خیابان از بین خیابان‌های کاندیدا از تابع $F(D, V) = \alpha D(k) + \beta V(k)$ استفاده می‌شود که در این رابطه $D(k)$ فاصله نقطه دریافتی از GPS از k امین خیابان کاندید و $V(k)$ کسینوس زاویه بین بردار سرعت خودرو (دریافتی از GPS) جهت k امین خیابان کاندید می‌باشند. در رابطه فوق $\alpha > 0$ و $\beta > 0$ از پارامترهای مهم در تعیین مقدار $F(D, V)$ می‌باشند. تعیین مقادیر مناسب برای این دو پارامتر در کارایی الگوریتم تطبیق نقش به سزایی دارد. الگوریتم متفاوتی برای تنظیم این دو پارامتر پیشنهاد شده است که الگوریتم مبتنی بر منطق فازی از آن جمله است [6]. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله می‌تواند به عنوان الگوریتمی برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد. قبل از ارائه الگوریتم پیشنهادی که در بخش بعدی به آن پراخته می‌شود. شکل ۳ مراحل اصلی یک الگوریتم تطبیق نقشه را نشان می‌دهد. پارامتر F_T به عنوان یک آستانه در انتخاب خیابان صحیح مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مراحل تطبیق نقشه به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخش اول "تعیین موقعیت خودرو"^{۲۰} در خیابان است. در این بخش سعی می‌شود خیابان صحیح از میان خیابان‌های کاندیدا انتخاب گردد. برای این کار $F(D, V)$ بدست آمده برای خیابان‌های کاندیدا با هم مقایسه شده و بزرگترین مقدار برگزیده می‌شود. در صورتی که این مقدار بزرگتر از آستانه F_T بزرگتر باشد خیابان مورد نظر به عنوان خیابان صحیح انتخاب شده و الگوریتم وارد بخش دوم می‌شود. در غیر اینصورت الگوریتم در همین بخش باقی مانده و برای نقطه بعدی دریافتی از گیرنده GPS تکرار می‌شود. بخش دوم "پیگیری حرکت خودرو" [8] در خیابان انتخاب شده می‌باشد. در این بخش به ازای هر نقطه دریافتی از گیرنده GPS مقدار تابع $F(D, V)$ برای خیابان صحیح محاسبه شده و در صورتی که از آستانه F_T بزرگتر باشد نقطه دریافتی از GPS بر روی خیابان منتخب نگاشت می‌شود و الگوریتم برای نقطه بعدی دریافتی از گیرنده GPS تکرار می‌شود.

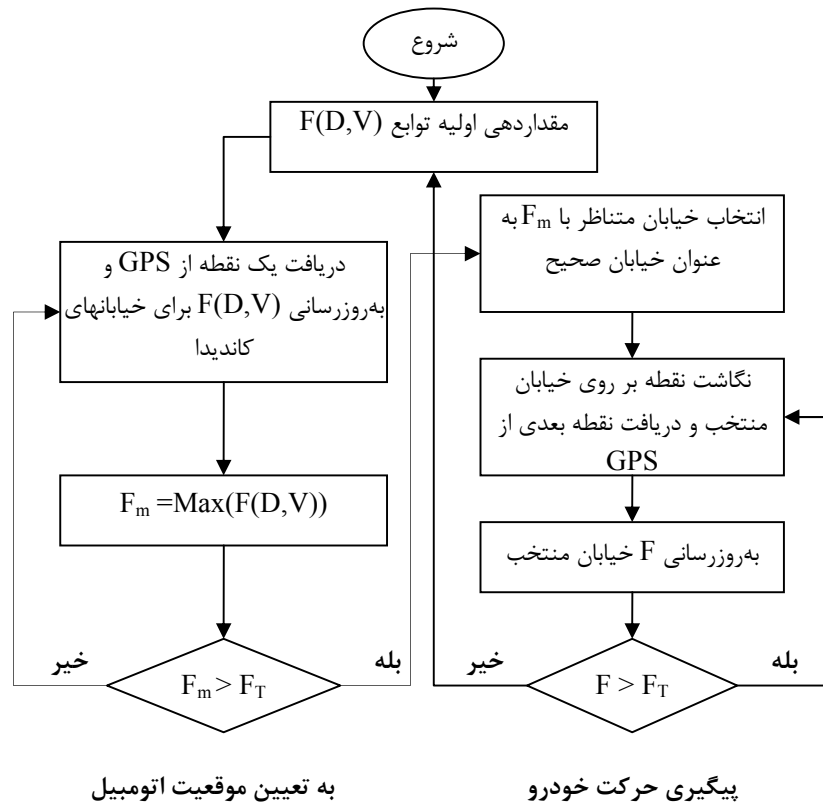
^{۲۰} Position Fixing

^{۲۱} Tracking

به طور خلاصه با توجه به مراحل اصلی الگوریتم تطبیق نقشه توضیح داده شده، هدف تعیین مقدار $F(D,V)$ به صورتی است که دو شرط زیر در آن برقرار باشد.

۱- مقدار $F(D,V)$ ی مربوط به خیابان که خودرو در آن قرار دارد بیشترین مقدار را در میان $F(D,V)$ های مربوط خیابان های کاندیدا داشته باشد.

۲- مقدار $F(D,V)$ ی مربوط به خیابان که خودرو در آن قرار دارد بزرگتر از آستانه F_T باشد.
با این توضیحات در ادامه الگوریتم پیشنهادی شرح داده می شود.



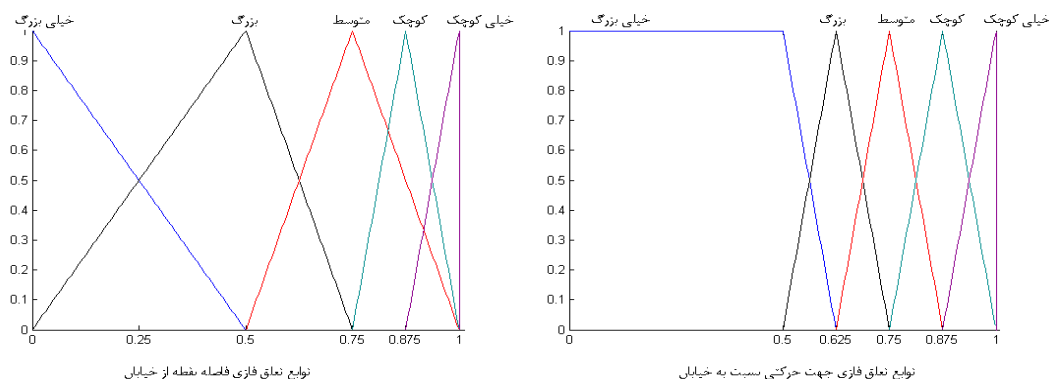
شکل ۳. الگوریتم تطبیق نقشه

۴- الگوریتم پیشنهادی

در این بخش یک الگوریتمی ترکیبی برای حل مسأله تطبیق نقشه در سیستم های ناوبری خودرو پیشنهاد می گردد. در این روش از منطق فازی و اتوماتای یادگیر برای سنجش میزان صحت خیابان های کاندیدا و پیدا کردن بهترین خیابانی که خودرو در آن واقع است استفاده می شود. در واقع الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم مبتنی بر منطق فازی که در بخش قبلی به آن اشاره شد می باشد که در آن از اتوماتای یادگیر برای تنظیم توابع عضویت پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شده است. هر تابع عضویت مجهز به یک اتوماتای یادگیر می باشد. وظیفه این اتوماتای یادگیر تنظیم مرکز تابع عضویت به طریقی است که تطبیق نقشه به نحو بهینه انجام گیرد. در ادامه چگونگی تنظیم توابع عضویت توسط اتوماتای یادگیر توضیح داده می شود.

فرض کنید ورودی سیستم فازی D و V (مطابق با روابط (۳) و (۴)) و خروجی آن $y = F(D,V)$ باشد. برای دو پارامتر ورودی D و V پنج ناحیه فازی به صورت خیلی کوچک، کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ تعریف شده و مدل اولیه ای برای این توابع معین می گردد. این تعریف به گونه ای خواهد بود که در محدوده هایی با نرخ داده ای بالاتر، تراکم توابع عضویت نیز بیشتر باشد، این کار باعث می شود تا تفکیک

بیشتر بر روی مقادیر ورودی وجود داشته باشد و به تبع آن دقت انتخاب توابع و انجام محاسبات آن بالاتر رود مدل اولیه این توابع در شکل نشان داده شده است که در آن مطابق با توزیع داده‌ای، در ناحیه نزدیک به یک، تراکم توابع عضویت تعریف شده بیشتر است.



شکل ۴. تعریف اولیه توابع تعلق فازی ورودی

۱- برای پارامترهای ورودی D و V هریک ۵ اتوماتای یادگیر یکی برای هر تابع عضویت و برای خروجی ۲۵ اتوماتای یادگیر یکی برای هر یک از ۲۵ تابع عضویت، در مرکز تابع عضویت، ایجاد می‌شود. در هر یک از این اتوماتاها تعدادی عمل (m عمل) تعریف می‌گردد و احتمال هر یک از اتوماتاهای یادگیر در لحظه شروع فرایند یادگیر با احتمال $\frac{1}{m}$ مقدار دهی می‌شوند.

برای هر یک از نقاط دریافتی از گیرنده GPS (داده‌های آموزشی) مراحل زیر تکرار می‌شود. شرط پایان الگوریتم برای هر داده آموزشی عبارت است از کوچکتر شدن خطای محاسبه شده از یک مقدار معین ϵ و یا تکرار حلقه فرایند تا بیش از ۱۰۰۰ تکرار.

۲- خیابان‌های کاندیدای مربوط به نقطه دریافتی از گیرنده GPS معین می‌شود.

گام ۳ تا ۵ برای هر یک از خیابان‌های کاندیدا اجرا می‌شود

۳- هر یک از اتوماتاهای یادگیر یکی از اعمال خود را با توجه به بردار احتمال اعمال انتخاب می‌کند که در نتیجه برای هر یک از پارامترهای ورودی D و V پنج تابع عضویت و برای خروجی ۲۵ تابع عضویت ایجاد می‌شود.

۴- برای هر یک از خیابان‌های کاندیدا مقدار پارامترهای D و V طبق روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود و سپس میزان عضویت هر یک پارامترهای D و V با توجه به توابع عضویت ایجاد شده در گام پیشین محاسبه می‌شود.

۵- با توجه به میزان عضویت‌های بدست آمده برای پارامترهای D و V قوانین فازی فعال شده و مقدار تابع خروجی تعیین می‌شود.

۶- با توجه به خروجی‌های به دست آمده برای خیابان‌های کاندیدا اعمال اتوماتاهای یادگیر پاداش یا جریمه داده می‌شود. برای اعمال پاداش و یا جریمه به اتوماتاهای یادگیر، ابتدا مقادیر y های بدست آمده برای خیابان‌های کاندیدا با هم مقایسه و خیابانی که دارای بزرگترین مقدار y می‌باشد انتخاب می‌شود. و سپس بردارهای احتمالات اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت پارامترهای D و V پارامترهای ورودی D و V طبق مراحل زیر به روزرسانی می‌شود.

الف: اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی y را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده نباشد و مقدار خطا برای خیابان صحیح از مقدار ثابت Max_Error بیشتر باشد، آنگاه به تمامی عمل‌های انتخاب شده (مقادیر انتخاب برای مراکز توابع عضویت ورودیها) توسط اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت پارامترهای D و V جریمه تعلق می‌گیرد.

ب: اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی y را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده باشد و مقدار خروجی y مربوط به خیابان صحیح از F_T کوچکتر باشد آنگاه به تمامی عمل‌های انتخاب شده (مقادیر انتخاب برای مراکز توابع عضویت ورودیها) توسط اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت پارامترهای D و V جریمه تعلق می‌گیرد.

ج: اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی y را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده باشد و مقدار خروجی y مربوط به خیابان صحیح از F_T بزرگتر باشد آنگاه به تمامی عمل‌های انتخاب شده (مقادیر انتخاب برای مراکز توابع عضویت ورودیها) توسط اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت پارامترهای D و V پاداش تعلق می‌گیرد.

۷- بردارهای احتمالات اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت پارامترهای خروجی طبق مراحل زیر به روزرسانی می‌شود.

الف: اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی y را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده نباشد آنگاه به تمامی عمل‌های انتخاب شده (مقادیر انتخاب برای مراکز توابع عضویت خروجی) توسط اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت خروجی جریمه تعلق می‌گیرد.

ب: اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی y را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده باشد و مقدار تابع y مربوط به خیابان صحیح از F_T کوچکتر باشد آنگاه به تمامی عمل‌های انتخاب شده (مقادیر انتخاب برای مراکز توابع عضویت خروجی) توسط اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت خروجی جریمه تعلق می‌گیرد.

ج: اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی y را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده باشد و مقدار تابع y مربوط به خیابان صحیح از F_T بزرگتر باشد آنگاه به تمامی عمل‌های انتخاب شده (مقادیر انتخاب برای مراکز توابع عضویت خروجی) توسط اتوماتاهای یادگیر توابع عضویت خروجی پاداش تعلق می‌گیرد.

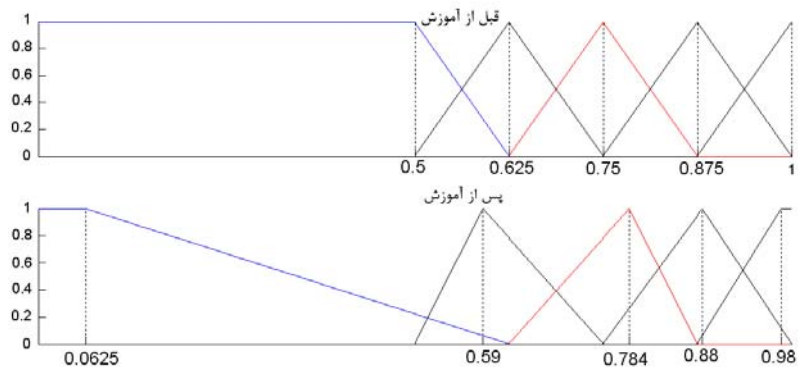
از طریق فرایند تطبیق توابع عضویت، خیابان صحیح بالاترین مقدار y را در بین خیابان‌های کاندیدا دارا خواهد شد علاوه بر مقدار y برای خیابان صحیح از آستانه F_T بزرگتر خواهد شد. بدین ترتیب با پیدا کردن تخمین دقیق‌تری از تابع y یافتن خیابان صحیح و پیگیری خودرو بر روی آن دقیقتر انجام می‌گیرد.

۶- نتایج آزمایش‌ها

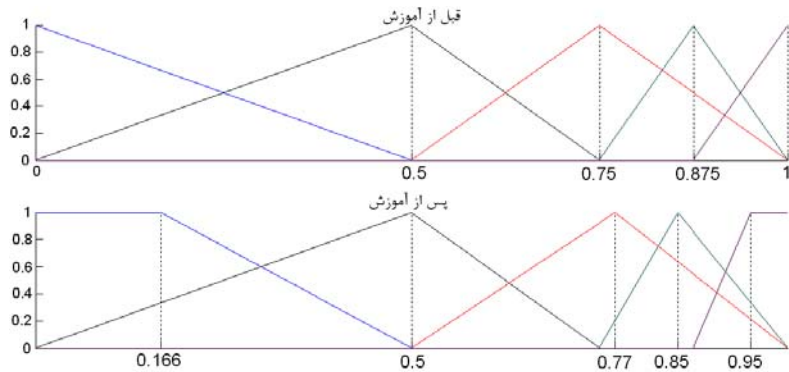
در این بررسی داده‌های مورد نیاز برای آموزش و تست مسأله، اطلاعات مربوط به شهر تهران می‌باشد. داده‌های مذکور اطلاعات نقاط مربوط به سفرهای مختلف انجام گرفته در شهر تهران است که توسط یک گیرنده GPS که در داخل خودرو قرار گرفته، جمع آوری شده است. سعی شده که داده‌های آموزشی جمع آوری شده پوشش دهنده مدل‌های مختلف خیابان‌های شهر تهران باشد و به همین دلیل سفرها به منظور جمع‌آوری اطلاعات در مناطق مختلف شهر تهران مانند نواحی متمرکز و فشرده، نواحی نیمه فشرده، نواحی باز و با خیابان‌های پهن، میادین و گوشواره‌ها، انجام گرفته است. از بین اطلاعات جمع آوری شده مربوط به 10 سفر، 4000 نقطه به عنوان نقاط آموزشی استفاده شده است برای این داده‌های آموزشی، خیابان صحیح و همچنین قطعه کمانی که خودرو بر روی آن قرار دارد معلوم است تا به کمک آنها بتوان فرایند آموزش را انجام داد. الگوریتم پیشنهادی برای سه مدل یادگیر خطی اتوماتاهی یادگیر یعنی مدل یادگیری پاداش-جزا، پاداش-جزای جزئی و پاداش-عدم‌مجازات، آزمایش شده است و بهترین نتایج که برای الگوریتم مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر زمانیکه از الگوریتم یادگیری L_{R-gp} استفاده می‌شود، گزارش شده است. F_T برای تمامی آزمایشها 1,2 در نظر گرفته شده است. برای آزمایش‌های بیشتر می‌توان به [13] مراجعه نمود.

آزمایش ۱: این آزمایش به منظور بررسی تغییرات توابع عضویت در حین فرایند یادگیری انجام گرفته است. برای این آزمایش از الگوریتم

یادگیری L_{R-gp} با پارامترهای $a = 0.5$ و $b = 0.05$ استفاده شده است. هر یک از اتوماتاهای یادگیر دارای 10 عمل با احتمال اولیه $\frac{1}{10}$ می‌باشند. اشکال ۵ (الف و ب) چگونگی همگرایی توابع فازی پارامترهای ورودی D و V در ابتدای الگوریتم و پس از اتمام یادگیری نشان می‌دهد. جدول ۱ نشان می‌دهد که احتمال کدامیک از اعمال اتوماتاهای یادگیر به مقدار ۱ همگرا شده است. عمل اتوماتای یادگیری که احتمال انتخابش به ۱ همگرا شده است مقدار راس تابع عضویت متناظر با آن اتوماتای یادگیر می‌باشد. بطور مثال اتوتای یادگیر تابع عضویت سرعت = بزرگ به عمل $p5$ همگرا شده است. شکل ۶-الف نمودار همگرایی احتمال این عمل از اتوماتای یادگیر را نشان می‌دهد. برای پارامتر خروجی f نیز به همین شکل عمل می‌شود شکل ۶-ب نمودار همگرایی احتمال بیستمین تابع عضویت فازی پارامتر خروجی را نشان می‌دهد.



(الف) توابع عضویت فازی پارامتر ورودی فاصله

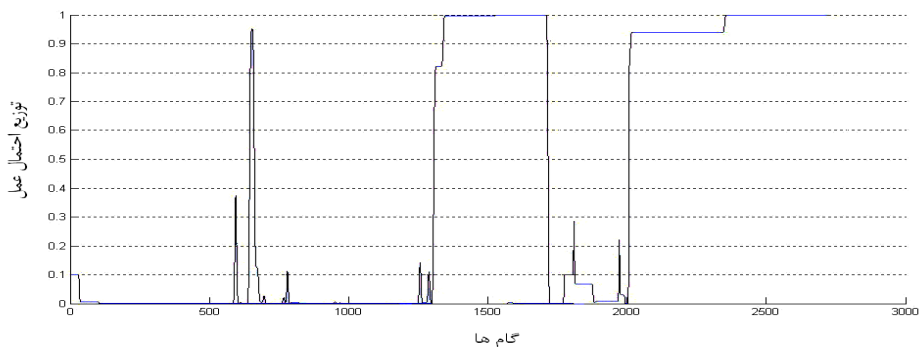


(ب) توابع عضویت فازی پارامتر ورودی سرعت

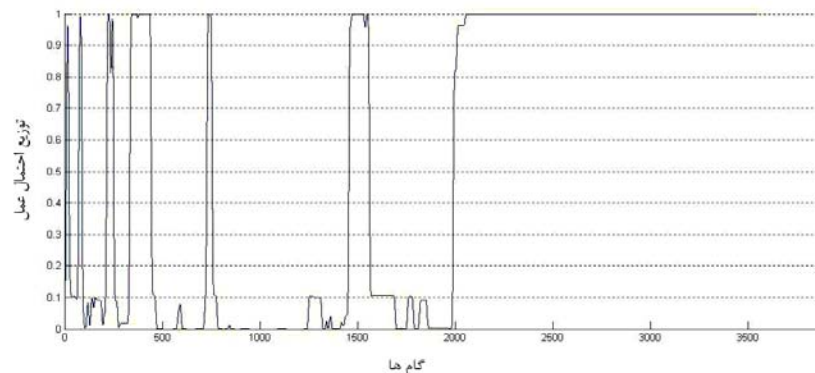
شکل ۵. توابع عضویت فازی پارامترهای ورودی، قبل و پس از آموزش در روش L_{R-EP} .

پارامتر فاصله		پارامتر سرعت	
تابع عضویت	عملی انتخاب شده پس از آموزش	تابع عضویت	عمل انتخاب شده پس از آموزش
خیلی بزرگ	0.0625	خیلی بزرگ	0.166
بزرگ	0.59	بزرگ	0.5
متوسط	0.784	متوسط	0.77
کوچک	0.88	کوچک	0.85
خیلی کوچک	0.98	خیلی کوچک	0.95

جدول ۱. اعمال انتخاب شده اتوماتاهای یادگیر پس از آموزش



الف: نمودار همگرایی تابع عضویت سرعت = بزرگ

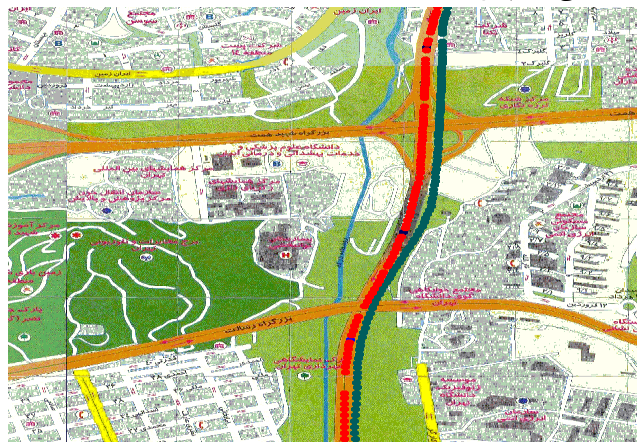


ب: نمودار همگرایی بیستمین تابع تعلق فازی خروجی

شکل ۶. نمودار همگرایی توابع تعلق فازی

در ادامه این بخش نتایج آزمایش‌هایی که به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برای شهر تهران انجام گرفته است ارائه می‌گردد. این آزمایش‌ها برای نواحی باز و کم تراکم، نواحی نیمه فشرده، نواحی فشرده، گوشواره‌ها و نواحی پر ترافیک انجام گرفته است.

آزمایش ۲: این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی برای نواحی باز و کم تراکم انجام گرفته است. این نواحی دارای خیابان‌های پهن بوده که پیچ و خم کمی دارند و از همدیگر فاصله زیادی دارند می‌باشند. در این نواحی الگوریتم‌های پیشنهادی با کمترین خطا عمل تطبیق نقشه انجام می‌دهند. شکل ۷ نمونه‌ای از عمل تطبیق در این گونه نواحی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در طول مسیری که خودرو طی کرده است عمل تطبیق دارای خطای کمی می‌باشد. همچنین عمل تطبیق توسط هر دو الگوریتم مبتنی بر منطق فازی و مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر با دقت یکسانی انجام گرفته است.



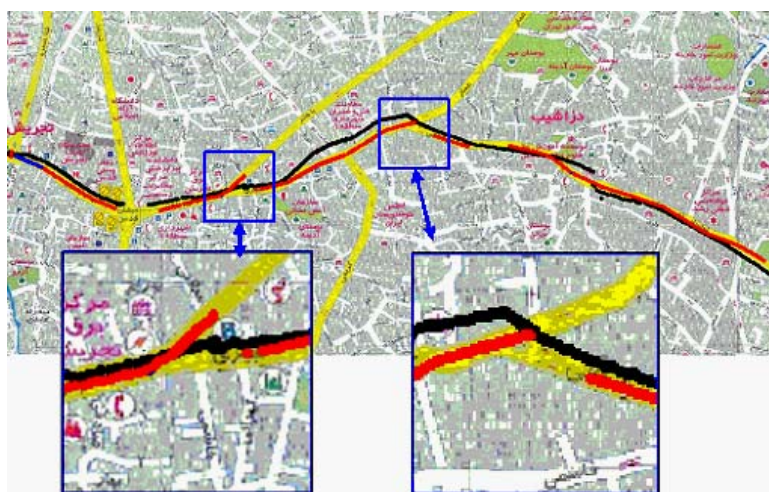
شکل ۷. نواحی باز و کم تراکم

آزمایش ۳: این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی برای نواحی نیمه فشرده انجام گرفته است. ناحیه نیمه فشرده در نظر گرفته شده که در شکل دیده می‌شود دارای گذرگاه‌های نسبتاً کم عرض می‌باشد که باعث می‌شود خودرو با تقاطع‌های متعددی مواجه شود و در نتیجه منجر به ایست مکرر خودرو گردد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود در بیشتر طول مسیری که خودرو طی کرده است عمل تطبیق انجام گرفته توسط الگوریتم مبتنی بر منطق فازی و همچنین الگوریتم مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر (زمانیکه از الگوریتم یادگیری L_R-ep استفاده می‌کند) مشابه همدیگر می‌باشند. در این شکل مشاهده می‌شود که در حوالی تقاطع خیابان فاطمی با خیابان حجاب، الگوریتم مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر در مقایسه با الگوریتم مبتنی بر منطق فازی عمل تطبیق را به نحو بهتری انجام داده است.



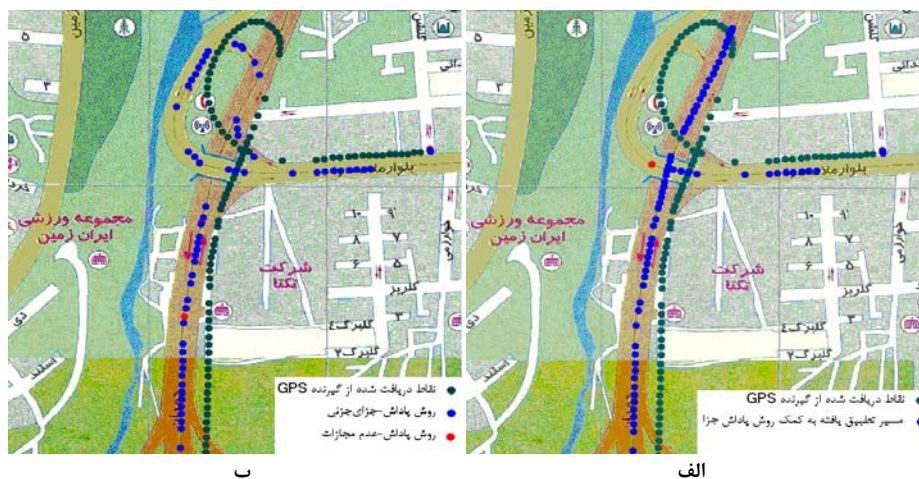
شکل ۸. حرکت در خیابان‌های نیمه فشرده و با تقاطع‌های زیاد در طول مسیر

آزمایش ۴: این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی برای نواحی فشرده انجام گرفته است. تعداد خیابان‌ها در این نواحی زیاد و پر پیچ و خم می‌باشند هستند به همین دلیل خودرو در مسیر حرکت خود با تقاطع‌های بیشتری مواجه می‌شود (شکل ۹). در این ناحیه تطبیق نقشه بدلیل وجود دو تقاطع با زاویه کمتر از ۹۰ درجه به سختی صورت می‌گیرد یعنی الگوریتم تطبیق نقشه در تقاطع بعد از مشاهده چند نقطه دریافتی بعدی از GPS خود را اصلاح کرده و قادر به تشخیص خیابان صحیح می‌شود (به شکل ۹ مراجعه شود). این آزمایش برای الگوریتم‌های یادگیری متفاوت انجام گرفته که بهترین نتیجه متعلق به الگوریتم یادگیری L_{R-p} می‌باشد که نتیجه آن در شکل ۹ آمده است.



شکل ۹. تصمیم‌گیری و تصحیح خطا در تقاطع‌های کمتر از ۹۰ درجه

آزمایش ۵: این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی در گوشواره‌ها انجام گرفته است. گوشواره‌ها نوعی زیرگذرهای اتصال‌دهنده بزرگراه‌های شهری می‌باشند. نمونه‌ای از گوشواره‌ها در شکل ۱۰ دیده می‌شود. در شکل ۱۰-الف نتایج حاصل از تطبیق نقشه با الگوریتم مبتنی بر اتوماتای یادگیر با الگوریتم یادگیری L_{R-p} و الگوریتم مبتنی بر منطق فازی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود هر دو الگوریتم تصبیق یکسانی با خطای بالای انجام داده اند. همانطور که در شکل ۱۰-ب مشاهده می‌شود نتایج تطبیق با استفاده از الگوریتم مبتنی بر اتوماتای یادگیر برای هر دو الگوریتم یادگیری L_{R-p} و L_{R-I} کاملاً بر هم منطبق می‌باشند. ولی از الگوریتم مبتنی بر اتوماتای یادگیر که از الگوریتم یادگیری L_{R-p} استفاده کرده است (شکل ۱۰-الف) از خطای بسیار کمتری برخوردار است و عمل به طور قابل توجهی بهبود یافته است. آزمایش‌ها نشان داده است که تطبیق نقشه در گوشواره‌ها، دارای خطای بیشتری نسبت به تطبیق نقشه در سایر نواحی است.



شکل ۱۰. تطبیق نقشه در گوشواره‌ها.

آزمایش ۶: این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی برای نواحی پر ترافیک انجام گرفته است. حجم زیاد خودرو در این نواحی موجب ایست مکرر خودرو می‌شود و در نتیجه خطا در گیرنده‌های GPS بالا می‌رود. برای رفع این خطا، نقاط دریافتی از گیرنده GPS که اندازه سرعت در آنها نزدیک به صفر است، متناظر با نقطه تطبیق یافته قبلی قرار داده می‌شود (شکل ۱۱). بدین ترتیب تأثیر خطای گیرنده GPS نتیجه تطبیق نقشه کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، نقاط دریافتی از گیرنده GPS به دلیل وجود ترافیک در خیابان ولی عصر دارای خطای زیادی بوده است ولی با این وجود الگوریتم پیشنهادی تنها در برای دو نقطه دریافتی توسط GPS قادر تطبیق صحیح نبوده است.



شکل ۱۱. مسیرهایی پر ترافیک و با توقف‌ها مکرر در طول طی مسیر.

آزمایش ۷: این آزمایش به منظور بررسی تعداد دفعات تطبیق اشتباه توسط الگوریتم‌های پیشنهادی انجام شده است. بدین منظور اطلاعات مربوط به ۴ سفر که شامل نواحی مختلف هستند در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ متوسط خطای هر یک از الگوریتم‌های تطبیق نقشه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی که از الگوریتم یادگیری L_{R-P} استفاده کرده است (ستون ۲) در مقایسه با سایر الگوریتم‌های (ستون‌های ۳ و ۴ و ۵) دارای خطای تطبیق کمتری می‌باشد.

روش منطق فازی [6]	الگوریتم پیشنهادی (L_{RP})	الگوریتم پیشنهادی (L_{R-P})	الگوریتم پیشنهادی (L_{RI})	
۷	۷	۶	۱۰	تعداد نقاطی که با هیچ خیابانی تطبیق نیافته است
۸	۸	۵	۷	تعداد نقاطی که نادرست تطبیق یافته است

جدول ۲. مقایسه مدل‌های مختلف تطبیق نقشه

۷- نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم که از ترکیب اتوماتاهای یادگیر و منطق فازی حاصل شده است برای تطبیق نقشه برای سیستمهای ناوبری خودرو پیشنهاد گردید. به منظور ارزیابی، روش پیشنهادی برای شهر تهران آزمایش و با نتایج یکی از الگوریتمهای تطبیق نقشه مبتنی بر منطق فازی مقایسه گردید. نتایج مقایسه برتری الگوریتم پیشنهادی را نشان داده است.

مراجع

- [۱] مقدمهای بر سیستمهای ناوبری خودرو، نقشه دیجیتال، گزارش فنی، آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۴
- [2] P. Y. Gillieron and B. Merminod, "Personal Navigation System for Indoor Applications", Swiss Federal Institute of Technology, Geodetic Engineering Lab, 2003.
- [3] F. Iwaki, M. Kakihari and M. Sasaki, "Recognition of Vehicle's Location for Navigation", Proceedings of the Vehicle Navigation and Information Systems Conference, September, 1989.
- [4] S. Syed, "Development of Map Aided GPS Algorithms for Vehicle Navigation in Urban Canyons", Department Of Geometrics Engineering, Calgary, Alberta, 2005.
- [5] D. Bernstein and A. L. Kornhauser, An Introduction To Map Matching For Personal Navigation Assistants, New Jersey, TIDE Center, 1996.
- [6] G. Taylor, J. Uff, and A. Hamdani, "GPS Positioning Using Map Matching, Drive Restriction Information and Road Network Connectivity", Proceedings of 9th Annual Conference on GIS Research UK, 2001.
- [7] S. Kim and J. H. Kim, "Adaptive Fuzzy-Network-Based C-Measure Map-Matching Algorithm for Car Navigation System", IEEE Transactions on Electronics, 2001.
- [8] S. Kim and J. H. Kim, "Q-Factor Map Matching Method Using Adaptive Fuzzy Network", Proc. IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems, Vol. 2, Pp. 628-633, 1999.
- [9] S. Kim, J. H. Kim and I. H. Hyun, "Development Of A Map Matching Algorithm For Car Navigation System Using Fuzzy Q-Factor Algorithm", In Proc World Congr, Intelligent Transport Systems, Seoul, Korea, 1998.
- [10] W. Y. Ochieng and M. Quddus, Map Matching In Complex Urban Road Networks, Department Of Civil And Environmental Engineering, 2003.
- [11] S. Syed and M. E. Cannon, "Fuzzy Logic Based Map Matching Algorithm For Vehicle Navigation System in Urban Canyons", Department Of Geometrics Engineering, University Of Calgary, Alberta, Canada, 2004.
- [12] K. S. Narendra and M. Thathachar, Learning Automata: An Introduction, Prentice Hall, Inc., 1989.
- [13] M. Jaber, "Learning Automata based Map Matching Algorithms", Master Thesis, Computer Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2007.