

## یک روش ترکیبی برای تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو (شبکه‌های عصبی فازی + اتوماتاهای یادگیر)

مریم جابری<sup>۱</sup>      محمدرضا میبدی<sup>۲</sup>  
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
تهران ایران

چکیده

دقت یک سیستم موقعیت یاب عمومی<sup>۳</sup> در سیستم‌های ناوبری خودرو از عوامل مختلفی تأثیر می‌پذیرد و به همین دلیل 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 یک الگوریتم ترکیبی برای حل مسأله تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو پیشنهاد می‌شود. این الگوریتم از ترکیب اتوماتاهای یادگیر و شبکه‌های عصبی فازی حاصل شده است. در روش پیشنهادی از اتوماتاهای یادگیر برای تنظیم توابع فازی که بر روی پارامترهای ورودی و خروجی مسأله تعریف شده اند استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی، روش پیشنهادی برای شهر تهران آزمایش گردیده است و نتایج به دست آمده با نتایج دو الگوریتم تطبیق نقشه موجود شده مقایسه شده است. نتایج مقایسه حاکی از برتری الگوریتم پیشنهادی دارد.

کلمات کلیدی

سیستم‌های ناوبری خودرو، تطبیق نقشه، اتوماتای یادگیر، شبکه‌های عصبی فازی.

## A Hybrid Map Matching Algorithm for Car Navigation Systems (Fuzzy Neural Networks + Learning Automata)

M. Jaberi      M. R. Meybodi

Department of Computer Engineering and Information Technology  
Amirkabir University of Technology  
Tehran Iran

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

### Abstract

There are number of error sources that undermine the quality of GPS measurements for car navigation systems and for this reason technique like map matching is required to identify the road a car is moving on with a high degree of confidence. In this paper, a hybrid map-matching algorithm, which is a combination of fuzzy neural network and learning automata, is proposed. In the proposed method a set of learning automata have been used to adapt the membership functions for input and output parameters in the fuzzy neural network. In order to evaluate the proposed algorithm it is tested on the city of Tehran and the results are compared with the results of two existing map-matching algorithms. The results of comparison show the efficiency of the proposed algorithm.

### Keywords



## Car Navigation Systems, Map Matching, Fuzzy Neural Networks, Learning Automata

<sup>1</sup> jaberi@aut.ac.ir

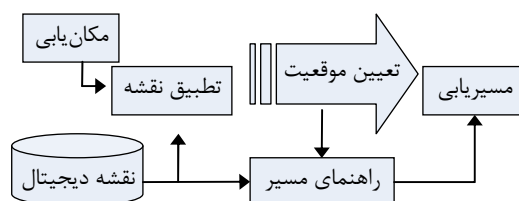
<sup>2</sup> mmeybodi@aut.ac.i

<sup>3</sup> Global Positioning System

### 1. مقدمه

هدف از نصب یک سیستم ناوبری خودرو<sup>۴</sup> بر روی یک خودرو کمک رساندن به راننده برای انتخاب یک مسیر بهینه جهت رسیدن به مقصد می باشد. این سیستم راننده را برای رسیدن به مقصدی مورد نظرش راهنمایی می کند [1]. ترافیک سبک تر در خیابانها، مصرف سوخت کمتر، استهلاک کمتر خودروها، آلودگی کمتر هوا، فشار روحی کمتر در رانندگی و جلوگیری از بروز سوانح و حوادث و خطرات جانی و مالی ناشی از آنها از مزایای استفاده از سیستمهای ناوبری خودرو می باشد. در واقع، این گونه سیستمها، به نوعی راننده از وضعیت خود در شبکه راهی مطلع می سازد و وی را برای رسیدن مقصد مورد نظر، راهنمایی می کند [2]. یک سیستم ناوبری خودرو از قسمت های مختلفی تشکیل شده است که مهمترین آنها عبارتند از: مکان یاب<sup>۵</sup>، مسیر یاب<sup>۶</sup>، نقشه دیجیتالی<sup>۷</sup>، راهنمای مسیر<sup>۸</sup> و تطبیق نقشه<sup>۹</sup>. شکل 1 اجزای تشکیل دهنده یک سیستم ناوبری خودرو را نشان می دهد.

یکی از قسمت های مهم در هر سیستم ناوبری اتومبیل، بخش تعیین موقعیت اتومبیل در نقشه است. مدل های مختلفی برای تعیین موقعیت ارائه شده است. اولین روش که DR<sup>۱۰</sup> نام دارد، با محاسبه سرعت و مسافت پیموده شده موقعیت خودرو به کمک حسگرها عمل می کند. روش دوم به کمک امواج رادیویی است. در این مدل یک سری ثابت وجود دارند که موقعیت خود را مرتباً به کاربران نزدیک به خود مخابره می کنند [3] و روش سوم، استفاده از سیستم های موقعیت یاب عمومی یا همان GPS است که شامل سه بخش است. بخش فضائی که شامل 24 ماهواره است که در ارتفاع حدود 20200 کیلومتر بالاتر از سطح دریا قرار دارند. بخش کنترل که در بر گیرنده ایستگاه های زمینی در سراسر دنیا است. بخش کاربران که شامل دستگاه های گیرنده GPS است که موقعیت وسیله نقلیه را به کمک دریافت سیگنال هایی از ماهواره ها تعیین می کند. این گیرنده ها به دلیل وجود خطاهای سنسجش نمی توانند مستقیماً از طریق سیگنال های دریافت شده از ماهواره ها، مکان یابی دقیق را انجام دهند با این حال به دلیل خصوصیات خاصی چون دسترسی 24 ساعته و انجام محاسبات دقیق در مدت زمان طولانی، در سیستم های ناوبری اتومبیل بسیار رواج یافته است [4].



شکل 1. اجزای تشکیل دهنده یک سیستم ناوبری خودرو

با توجه وجود خطا در داده های به دست آمده توسط روش های تعیین موقعیت، به فرایند تطبیق نقشه نیاز می باشد. تطبیق نقشه در سیستم های ناوبری خودرو وظیفه نگاشت نقاط مذکور بر روی نقشه و کاهش خطای سیستم های موقعیت یاب را بر عهده دارد [5]. الگوریتم های متعددی برای تطبیق نقشه ارائه شده است که در سه گروه تقسیم بندی می شوند. الگوریتم هایی که از اطلاعات هندسی<sup>۱۱</sup> و یا توپولوژیکی<sup>۱۲</sup> برای تعیین موقعیت استفاده می کنند، الگوریتم ها که از روش های آماری کمک می گیرند و الگوریتم ها که از روش های یادگیری ماشین استفاده می کنند. الگوریتم های هندسی از جمله الگوریتم های "تطبیق نقطه با نقطه"<sup>۱۳</sup>، "نقطه با منحنی"<sup>۱۴</sup> و "منحنی با منحنی"<sup>۱۵</sup> تنها از اطلاعات هندسی برای تطبیق نقشه استفاده می کنند. [6] مشکل عمده در این الگوریتم ها 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 می شود ممکن است نتایج مناسبی داشته باشند ولی در مواردی که خطای موقعیت یابی بالا باشد نامناسب هستند. الگوریتم های مبتنی بر روش های آماری از جمله الگوریتم گزارش توسط اسکات<sup>۱۶</sup> [7] از طریق تخمین احتمالاتی خیابان صحیح مبادرت به

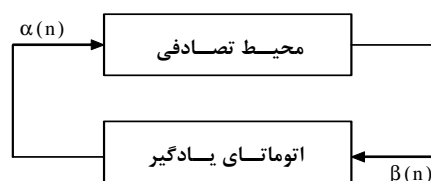


تطبیق نقشه می‌کند. کلیه الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین، تا آنجایی که نگارندگان این مقاله اطلاع دارند، مبتنی بر منطق فازی می‌باشند [8] و [9] و [10].

در این مقاله الگوریتم جدیدی برای حل مسأله تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو که ارائه می‌گردد. در این الگوریتم از اتوماتای یادگیر برای تنظیم توابع فازی که بر روی پارامترهای ورودی و خروجی مسأله تعریف شده استفاده می‌شود که برای این از شبکه عصبی کمک گرفته شده است. 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. الگوریتم پیشنهادی برای شهر تهران آزمایش گردیده است و با نتایج الگوریتمی مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [13] و همچنین یک الگوریتم مبتنی بر منطق فازی [8] مقایسه گردیده است. نتایج مقایسه عملکرد مناسب‌تر الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتاهای یادگیر و در بخش 3 فرایند تطبیق نقشه به اختصار شرح داده می‌شود. در بخش 4 روش پیشنهادی تطبیق نقشه ارا نه می‌گردد. نتایج آزمایشها و مقایسه آن با نتایج یکی از الگوریتم‌های تطبیق نقشه مبتنی بر منطق فازی در بخش 5 آمده است. بخش 6 نتیجه‌گیری می‌باشد.

## 2. اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر، ماشینی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد؛ هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده 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. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، به صورت ساده در شکل 2 نشان داده شده است [11].



شکل 2. تعامل اتوماتای یادگیر و محیط

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهارتایی  $\{\alpha, \beta, p, T\}$  نشان داد که  $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عمل‌های اتوماتا،  $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$  مجموعه ورودی‌های اتوماتا،  $p = \{p_1, \dots, p_r\}$  بردار احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها و  $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$  الگوریتم یادگیری می‌باشد. نمونه‌ای از الگوریتم‌های یادگیری خطی است بدین صورت معرفی می‌شود. اگر عمل  $\alpha_i$  در مرحله  $n$ ام انتخاب شود؛ در صورتی که عمل انتخاب شده مطلوب باشد بردار احتمال توسط رابطه 1:

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

و در صورتی که پاسخ نامطلوب باشد بردار احتمال توسط رابطه 2:

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

به روز می‌شود. در روابط 1 و 2،  $a$  پارامتر پاداش و  $b$  پارامتر جریمه می‌باشند. که بر اساس مقادیر این دو پارامتر سه الگوریتم یادگیری برای به روز رسانی بردار احتمال به صورت مدل  $L_{R-P}$ <sup>۱۷</sup>، مدل  $L_{R-EP}$  و مدل  $L_{R-I}$ <sup>۱۸</sup> معرفی می‌شود.

## 3. تطبیق نقشه

در این بخش در ابتدا فرایند تطبیق نقشه توضیح داده می‌شود و سپس مدلی مبتنی بر منطق فازی که اساس الگوریتم پیشنهادی می‌باشد شرح داده می‌شود. فرایند تطبیق نقشه به منظور نگاشت موقعیت دریافت شده از سیستم‌های موقعیت یاب (GPS) به نقشه‌های دیجیتالی به کار می‌رود. اگر

سیستم تعیین موقعیت یاب در وسیله نقلیه و همچنین نقشه‌های دیجیتالی به حدکافی دقیق باشند، فرآیند تطبیق نقشه براحتی انجام می‌گیرد. اما همان طور که گفته شد، سیستم‌های تعیین موقعیت معمولاً به دلیل برخی اختلالات قادر نیستند به صورت دقیق موقعیت خودرو را بر روی نقشه تعیین دهند. از این رو با انجام عمل تطبیق نقشه می‌توان موقعیت دقیق خودرو را روی نقشه به دست آورد [7]. برای تطبیق هر یک از نقاط دریافتی از گیرنده مکان یاب می‌بایست فرایندی انجام گیرد تا خیابان مناسب انتخاب شود. اولین گام تعیین خیابان‌هایی است که احتمال دارد اتومبیل در آن واقع شده باشد. بدین منظور در ابتدای کار، محدوده‌ای مشخص در اطراف نقطه دریافتی از GPS را به عنوان همسایگی مجاز نقطه در نظر گرفته و خیابان‌هایی که در این شعاع قرار دارند به عنوان خیابان‌های کاندیدا انتخاب می‌شوند. در بررسی وضعیت خودرو و انتخاب خیابانی که اتومبیل در آن واقع شده است، دو پارامتر مهم و تاثیر گذار است. اول: فاصله میان موقعیت به دست آمده برای خودرو از طریق سیستم ناوبری با نقطه تصویر شده بر روی خیابان و دوم: تشابه شکل ظاهری خیابان مورد نظر با خط سیر طی شده توسط خودرو.

اگر نقطه  $p_c$  با مختصات  $(x_c, y_c)$  به عنوان موقعیت به دست 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 به دست می‌آید را  $p_r = (x_r, y_r)$  نامید، آنگاه می‌توان به کمک رابطه (1) میزان نزدیکی این دو نقطه را محاسبه نمود.

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

در رابطه فوق پارامتر D بیانگر میزان فاصله میان دو نقطه  $p_c$  و  $p_r$  بوده و  $\sigma$  انحراف معیار استاندارد از خطای فیلتر سیستم می‌باشد که به کمک گیرنده‌های GPS قابل اندازه گیری 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 برای تعیین میزان شباهت میان این دو بردار از رابطه (2) که از زاویه میان دو بردار کمک می‌گیرد استفاده نمود.

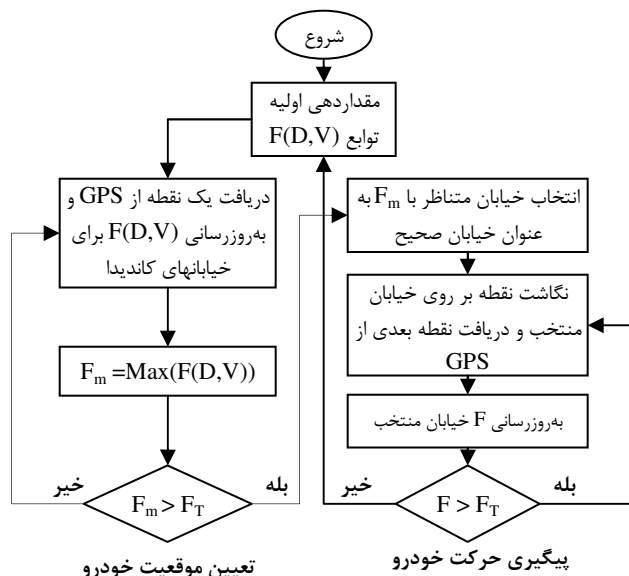
$$V(\vec{v}_c, \vec{v}_r) = \frac{(\vec{v}_c \cdot \vec{v}_r)^2}{\|\vec{v}_c\|^2 \|\vec{v}_r\|^2} = \cos^2 \theta_\delta \quad (2)$$

در این رابطه  $\theta_\delta$  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 [8]. دو پارامتر معرفی شده در روابط (1) و (2) به عنوان پارامترهای ورودی مسئله در نظر گرفته می‌شوند که به کمک آنها می‌توان معیاری برای سنجش میزان درستی خیابان مورد بررسی به دست 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. 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) و 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 [8] الگوریتم پیشنهادی در این مقاله می‌تواند به عنوان الگوریتمی برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد. قبل ارایه الگوریتم پیشنهادی که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود. شکل 3 مراحل اصلی یک الگوریتم تطبیق نقشه را نشان می‌دهد. پارامتر  $F_T$  به عنوان یک آستانه در انتخاب خیابان صحیح مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بر طبق شکل 3، مراحل تطبیق نقشه به دو بخش تقسیم می‌شوند. بخش اول "تعیین موقعیت خودرو"<sup>۱۹</sup> در خیابان است. در این بخش خیابان صحیح از میان خیابان‌های کاندیدا انتخاب می‌گردد. برای این کار مقدار  $F(D, V)$  به دست 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. بخش دوم "پیگیری حرکت خودرو" 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. در بخش بعدی الگوریتم پیشنهادی شرح داده می‌شود.



شکل 2. الگوریتم تطبیق نقشه

#### 4. الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی از ترکیب یک شبکه عصبی فازی به نام GARIC [12] و اتوماتاهای یادگیر حاصل شده است و به همین دلیل قبل از اینکه الگوریتم پیشنهادی شرح داده شود معماری شبکه عصبی فازی GARIC به اختصار توضیح داده می‌شود.

##### 4.1. معماری شبکه عصبی فازی GARIC

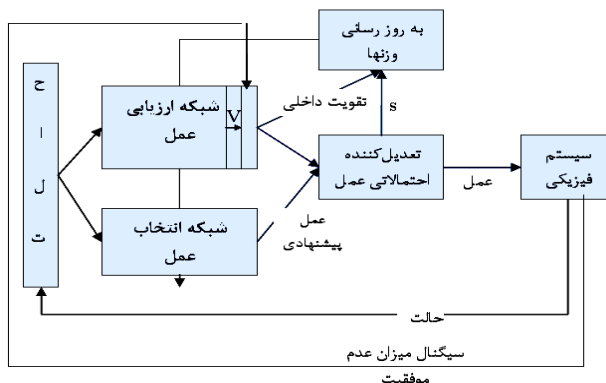
این معماری که در شکل 4 نشان داده شده است دارای سه بخش اصلی شبکه عصبی انتخاب عمل<sup>۲۱</sup>، شبکه عصبی ارزیابی عمل<sup>۲۲</sup> و تعدیل‌کننده احتمالاتی عمل<sup>۲۳</sup> به شرح زیر می‌باشد.

**شبکه عصبی انتخاب عمل:** به کمک این شبکه یک سیستم استنتاج قوانین فازی پیاده سازی می‌شود. وزنهای این شبکه شامل قوانین فازی و توابع عضویت مربوط به متغیرهای مقدم و تالی قوانین فازی است.

**شبکه عصبی ارزیابی عمل:** این شبکه دارای دو ورودی است. اولین ورودی مقدار داده وارد شده به سیستم است و دومین ورودی سیگنالی است که از گام قبلی به دست آمده است و سیگنال عدم موفقیت نامیده می‌شود. شبکه ارزیابی عمل، به کمک این دو ورودی عمل انتخاب شده در شبکه انتخاب عمل ارزیابی می‌شود. نتیجه این ارزیابی تقویت داخلی نامیده می‌شود.

**تعدیل‌کننده احتمالاتی عمل<sup>۲۴</sup>:** این بخش به کمک خروجی‌های شبکه انتخاب عمل و شبکه ارزیابی عمل (تقویت داخلی)، خروجی نهایی تولید می‌شود.

در معماری GARIC مقادیر وزنهای شبکههای ارزیابی عمل و انتخاب عمل به روز رسانی می‌شوند. وزنهای شبکه انتخاب عمل، مقادیر مرکز و ابتدا و انتهای توابع عضویت فازی در دو بخش مقدم و تالی قوانین مشخص می‌کنند.

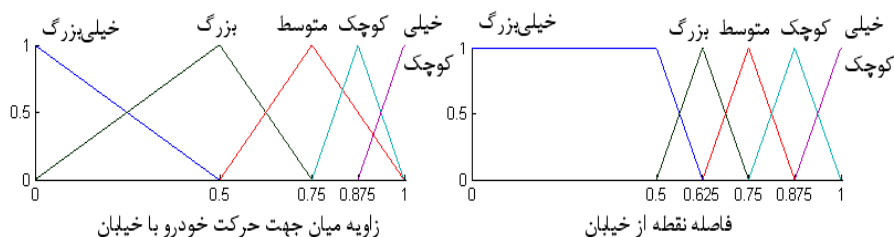


شکل 4. معماری GARIC

## 4.2. الگوریتم تطبیق نقشه پیشنهادی

در این بخش یک الگوریتم ترکیبی برای حل مسأله تطبیق نقشه در سیستم‌های ناوبری خودرو پیشنهاد می‌گردد. در این روش از ترکیب شبکه عصبی فازی GARIC و اتوماتاهای یادگیر برای تعیین میزان درستی خیابان‌های کاندیدا و پیدا کردن بهترین خیابانی که خودرو در آن واقع است استفاده می‌شود. از اتوماتاهای یادگیر برای تنظیم توابع عضویت فازی در شبکه عصبی فازی GARIC استفاده شده است. ورودی الگوریتم پیشنهادی نقاط دریافتی از گیرنده GPS است که به کمک آن مقادیر پارامترهای  $D$  و  $V$  مربوط به خیابان‌های کاندیدا (طبق روابط (1) و (2)) محاسبه می‌شوند.

اتوماتاهای یادگیر بر روی وزنهای شبکه انتخاب عمل تعریف شده‌اند. هر یک از توابع فازی متغیرهای مقدم و تالی به سه اتوماتای یادگیر مجهز هستند. که مرکز، ابتدا و انتهای آن تابع عضویت را تعیین می‌کنند. ورودی شبکه عصبی انتخاب عمل پارامترهای  $D$  و  $V$  و خروجی آن  $F(D, V)$  است که بر روی هر یک از آنها توابع عضویت فازی تعریف می‌شود. این توابع به شکل مثلی در نظر گرفته شده‌اند. برای هر یک از دو پارامتر ورودی  $D$  و  $V$  پنج ناحیه فازی خیلی کوچک، کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ طبق شکل 5 تعریف شده است.



شکل 5. توابع عضویت فازی اولیه برای پارامترهای ورودی

با توجه به توضیحات فوق فرایند یادگیری به شرح زیر صورت می‌گیرد.

1- برای هر یک از توابع عضویت تعریف شده بر روی پارامترهای ورودی  $D$  و  $V$  و پارامتر خروجی  $F(D, V)$  سه اتوماتای یادگیر که مرکز، ابتدا و انتهای توابع عضویت فازی را مشخص می‌کنند تعریف می‌شود و در هر یک از این اتوماتا تعدادی عمل ( $k$  عمل) تعریف شده و در لحظه شروع فرایند یادگیر با احتمال  $1/k$  مقدار دهی می‌شوند.

محدوده‌ای که برای دامنه عمل اتوماتاهای یادگیری که در ابتدا و انتهای توابع عضویت فازی قرار دارند، در نظر گرفته می‌شود کوچکتر از دامنه عمل اتوماتاهای یادگیری که در مرکز توابع قرار دارند می‌باشد و این محدوده به گونه‌ای می‌باشد که در هر یک از توابع تعلق فازی همیشه مقدار مربوط به ابتدا تابع عضویت کوچکتر و یا مساوی مقدار مربوط به مرکز تابع عضویت باشد و همچنین مقدار مربوط به انتهای تابع عضویت بزرگتر و یا مساوی مقدار مربوط به مرکز تابع عضویت باشد.

برای هر یک از نقاط دریافتی از گیرنده GPS ( داده‌های آموزشی) مراحل 2 تا 5 تکرار می‌شود.

2- خیابان‌های کاندیدای مربوط به نقطه دریافتی از گیرنده GPS معین می‌شود و سپس اجرای گام 3 تا 5 تا زمانی ادامه می‌یابد که خطا از یک آستانه  $\epsilon$  کمتر شود و یا گامها 1000 بار تکرار شوند.

3- هر یک از اتوماتاهای یادگیر یکی از اعمال خود را با توجه به بردار احتمال اعمالش انتخاب می‌کند که در نتیجه برای هر یک از پارامترهای ورودی  $D$  و  $V$  پنج تابع عضویت و برای خروجی 25 تابع عضویت ایجاد می‌شود.

4- دو پارامتر ورودی  $D$  و  $V$  برای خیابان‌های کاندیدا محاسبه می‌شوند و مقدار خروجی شبکه انتخاب عمل برای تمامی خیابان‌های کاندیدا محاسبه شده و نتایج حاصل با هم مقایسه می‌شوند و سپس یک سیگنال تقویتی به شرح زیر محاسبه می‌شود. از این مقدار تقویتی برای به روز رسانی وزن‌های شبکه‌های انتخاب عمل و ارزیابی عمل استفاده می‌گردد.

الف- اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی  $F(D,V)$  را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده نباشد در این صورت مقدار سیگنال تقویتی برای خیابانی با بزرگترین مقدار خروجی  $F(D,V)$  برابر 1- و مقدار سیگنال تقویتی برای خیابان صحیح برابر 1 در نظر گرفته می‌شود.

ب- اگر خیابانی که بزرگترین مقدار خروجی  $F(D,V)$  را دارد، خیابان صحیح متناظر با نقطه دریافتی از گیرنده و همچنین مقدار تابع  $F(D,V)$  از آستانه  $FT$  کوچکتر باشد مقدار سیگنال تقویتی برابر 1 و در غیر اینصورت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

5 - با توجه به سیگنال تقویتی، به روز رسانی وزن‌های شبکه‌های انتخاب عمل و ارزیابی عمل به صورت زیر انجام می‌شود.

الف- در شبکه ارزیابی عمل، در هر گام دو مقدار تقویتی داخلی یکی برای خیابان صحیح و دیگری برای خیابان با بزرگترین مقدار خروجی  $F(D,V)$  محاسبه می‌شود. برای به روز رسانی وزن‌های شبکه ارزیابی عمل طبق [12] از نزول در امتداد گرادیان استفاده می‌شود و به کمک آن وزن‌های شبکه یک بار با استفاده از مقدار تقویت داخلی مربوط به خیابان صحیح و یک بار با استفاده از تقویت داخلی مربوط به خیابان با بزرگترین مقدار خروجی، به روز رسانی می‌شوند. سپس بین دو مقدار به روز رسانی به دست آمده برای تقویت داخلی خیابان صحیح و تقویت داخلی خیابان با بزرگترین مقدار خروجی میانگین گرفته می‌شود.

ب- در به روز رسانی وزن‌های شبکه انتخاب عمل که مربوط به بردار احتمال اتوماتاهای یادگیر تعریف شده بر روی توابع عضویت فازی پارامترهای ورودی  $D$  و  $V$  و پارامتر خروجی  $F(D,V)$  است، به کمک محاسبه نزول در امتداد گرادیان طبق [12]، مقادیری به عنوان میزان تغییرات در هر یک از سه پارامتر مرکز و ابتدا و انتهای هر یک از توابع عضویت به دست می‌آید و با استفاده از این مقدار تغییرات به دست آمده، به عمل انتخاب شده هر یک از اتوماتاها پاداش و مجازاتی به صورت زیر داده می‌شود:

اگر مقدار به دست آمده به کمک محاسبه گرادیان برابر صفر بود به عمل انتخابی پاداش داده می‌شود و در غیر اینصورت به عمل انتخابی جریمه تعلق می‌گیرد.

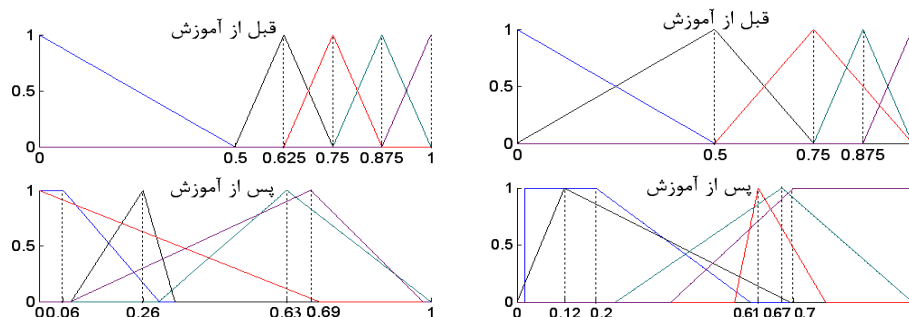
با استفاده از الگوریتم فوق پارامترهای توابع عضویت فازی ( مرکز، ابتدا و انتها) به طریقی تطبیق داده می‌شود که تطبیق نقشه با خطای کمتری انجام گیرد. .

## 5. 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-عدم مجازات، آزمایش شده است و بهترین نتایج که برای

الگوریتم مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر زمانیکه از الگوریتم یادگیری  $L_{R-EP}$  استفاده می‌شود، گزارش شده است. مقدار  $F_T$  برای تمامی آزمایشها 1.2 در نظر گرفته شده است. برای آزمایش‌های بیشتر می‌توان به [13] مراجعه نمود.

آزمایش 1: این آزمایش به منظور بررسی تغییرات توابع عضویت در حین فرایند یادگیری انجام گرفته است. برای این آزمایش از الگوریتم یادگیری  $L_{R-EP}$  با پارامترهای  $a = 0.8$  و  $b = 0.08$  استفاده شده است. هر یک از اتوماتاهای یادگیر دارای 10 عمل با احتمال اولیه 0.1 می‌باشند. اشکال 6 (الف و ب) چگونگی همگرایی توابع فازی پارامترهای ورودی  $D$  و  $V$  در ابتدای الگوریتم و پس از اتمام یادگیری نشان می‌دهد.



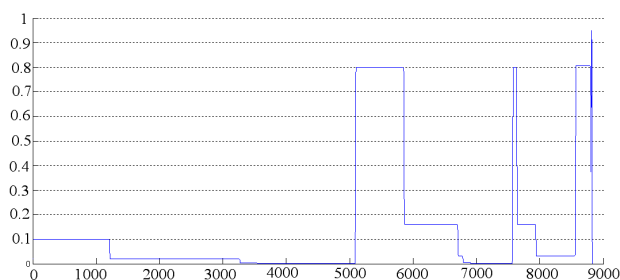
شکل 2. توابع عضویت فازی پارامترهای ورودی، قبل و پس از آموزش  
(الف) توابع عضویت فازی پارامتر ورودی فاصله (ب) توابع عضویت فازی پارامتر ورودی زاویه حرکت

جدول 1 نشان می‌دهد که احتمال کدامیک از اعمال اتوماتاهای یادگیر به مقدار 1 همگرا شده است. عمل اتوماتای یادگیری که احتمال انتخابش به 1 همگرا شده است مقدار راس تابع عضویت متناظر با آن اتوماتای یادگیر می‌باشد.

پارامتر فاصله		پارامتر سرعت	
تابع عضویت	عملی انتخاب شده پس از آموزش	تابع عضویت	عمل انتخاب شده پس از آموزش
خیلی بزرگ	0.2	خیلی بزرگ	0.06
بزرگ	0.12	بزرگ	0.26
متوسط	0.61	متوسط	0
کوچک	0.67	کوچک	0.63
خیلی کوچک	0.7	خیلی کوچک	0.69

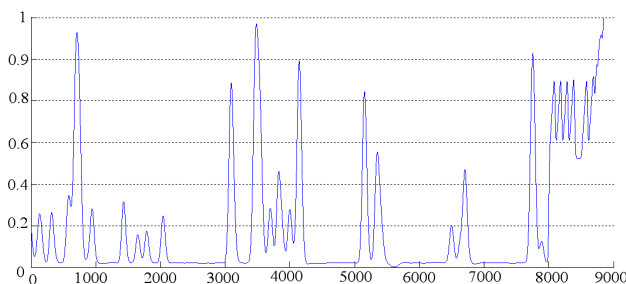
جدول 1. اعمال انتخاب شده اتوماتاهای یادگیر پس از آموزش

شکل 7-الف نمودار همگرایی بردار احتمال مرکز تابع عضویت فاصله = بزرگ را نشان می‌دهد. برای پارامتر خروجی  $F(D, V)$  نیز به همین شکل عمل می‌شود. شکل 7-ب نمودار همگرایی بردار احتمال مرکز بیست و دومین تابع عضویت فازی پارامتر خروجی را نشان می‌دهد.



(الف). نمودار همگرایی تابع عضویت فازی، فاصله = بزرگ در الگوریتم پیشنهادی



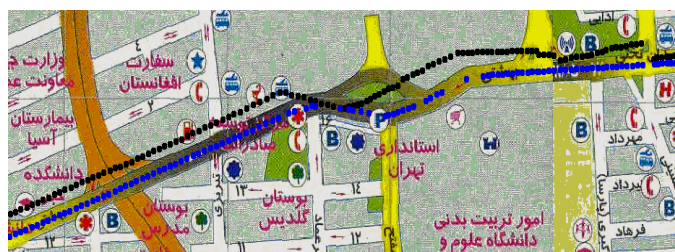


(ب). نمودار همگرایی بیست و دومین تابع عضویت پارامتر خروجی در الگوریتم پیشنهادی

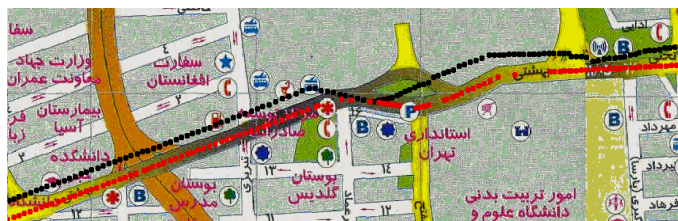
شکل 7. نمودار همگرایی توابع تعلق فازی

در ادامه این بخش نتایج آزمایش‌هایی که به منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برای شهر تهران انجام گرفته است ارائه می‌گردد. در این آزمایش‌ها نتایج به دست آمده برای روش پیشنهادی با نتایج به دست آمده برای یک الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [14] و همچنین روش ارائه شده در [8] مقایسه می‌گردد. این آزمایش‌ها برای نواحی با خصوصیات متفاوت از جمله نواحی باز و کم تراکم، نواحی نیمه فشرده، نواحی فشرده و گوشواره‌ها انجام گرفته است.

**آزمایش 2:** این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی برای نواحی نیمه فشرده انجام گرفته است. ناحیه نیمه فشرده در نظر گرفته شده دارای گذرگاه‌های نسبتاً کم عرض می‌باشد که باعث می‌شود خودرو با تقاطع‌های متعددی مواجه شود و در نتیجه منجر به ایست مکرر خودرو گردد. در شکل 8- الف تطبیق به کمک الگوریتم پیشنهادی، شکل ب نقاط تطبیق یافته به کمک الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی ارائه شده در [14] و شکل ج نتایج مربوط به الگوریتم مبتنی بر منطق فازی ارائه شده در [8] را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بیشتر طول مسیری که خودرو طی کرده است عمل تطبیق انجام گرفته توسط الگوریتم‌های مذکور مشابه همدیگر می‌باشند ولی نتایج دو شکل 8- الف و 8- ب دارای خطای کمتری بوده و تعداد نقاط بیشتری را نسبت به الگوریتم نشان داده شده در شکل 8- ج تطبیق داده‌اند. در واقع می‌توان گفت برای نواحی نیمه فشرده، الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [14] با خطای کمتری در تطبیق نقشه روبرو هستند.



الف



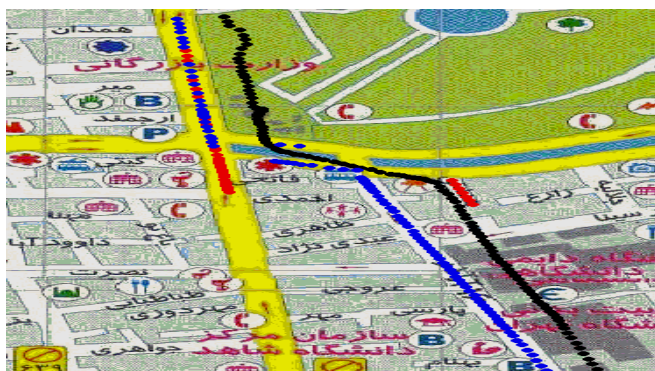
ب



### ج

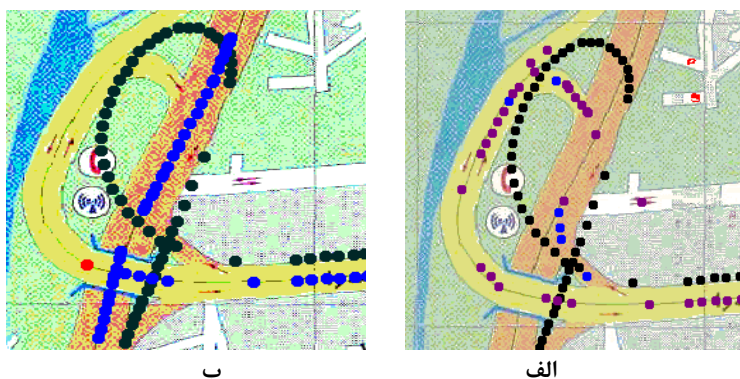
شکل 8. تطبیق نقشه در خیابان‌های نیمه فشرده

**آزمایش 3:** این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی برای نواحی فشرده انجام گرفته است. تعداد خیابان‌ها در این گونه نواحی زیاد و پر پیچ و خم می‌باشند به همین دلیل خودرو در مسیر حرکت خود با تقاطع‌های بیشتری مواجه می‌شود (شکل 9). در این گونه نواحی تطبیق نقشه توسط الگوریتم پیشنهادی دارای دقت بسیار بالاتری در مقایسه با دو الگوریتم دیگر می‌باشد و می‌تواند سریع‌تر خیابان صحیح را تشخیص دهد. نتیجه تطبیق نقشه با دو الگوریتم مبتنی بر منطق فازی [8] و الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [14] به غیر از چند نقطه در تمام طول مسیر بر هم منطبق است.



شکل 9. تطبیق نقشه در نواحی فشرده ( نقاط آبی تطبیق به کمک الگوریتم پیشنهادی و نقاط قرمز تطبیق به کمک الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [14])

**آزمایش 4:** این آزمایش به منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی در گوشواره‌ها انجام گرفته است. گوشواره‌ها نوعی زیرگذرهای اتصال‌دهنده بزرگراه‌های شهری می‌باشند. به دلیل پیچیدگی مسیر در گوشواره‌ها، تطبیق نقشه دارای خطای بیشتری نسبت به تطبیق نقشه در سایر نواحی است. نمونه‌ای از این گوشواره‌ها در شکل 10 دیده می‌شود. در شکل 10-الف نتایج حاصل از تطبیق نقشه با الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است و در شکل 10-ب نتایج حاصل از تطبیق نقشه با الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [14] مشاهده می‌شود. مطابق با شکل 10 الگوریتم پیشنهادی (شکل 10-الف) از خطای بسیار کمتری برخوردار است و تطبیق با دقت بسیار بیشتری انجام گرفته است. نتیجه تطبیق نقشه با دو الگوریتم مبتنی بر منطق فازی [8] و الگوریتم مبتنی بر شبکه‌های عصبی فازی [14] به غیر از چند نقطه در تمام طول مسیر بر هم منطبق است.



شکل 10. مقایسه تطبیق نقشه در گوشواره‌ها با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و شبکه‌های عصبی فازی [14].

**آزمایش 5:** این آزمایش به منظور بررسی تعداد دفعات تطبیق اشتباه توسط الگوریتم پیشنهادی و دو الگوریتم مبتنی بر شبکه عصبی فازی و منطق فازی انجام شده است. بدین منظور اطلاعات مربوط به 6 سفر که شامل نواحی مختلف هستند در نظر گرفته شده است. در جدول 2 متوسط خطای هر یک از الگوریتم‌های تطبیق نقشه نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود که تعداد نقاط تطبیق یافته در دو الگوریتم مبتنی بر اتوماتای

یادگیر و الگوریتم مبتنی بر شبکه عصبی فازی مورد بررسی نسبت به الگوریتم مبتنی بر منطق به مراتب بیشتر است. با این حال مشکلی که در تطبیق به کمک این دو روش دیده شد، کند بودن در تصحیح خطای رخ داده در تطبیق می باشد.

روش منطق فازی [8]	الگوریتم پیشنهادی ترکیبی مبتنی بر اتوماتای یادگیر و شبکه عصبی فازی	الگوریتم مبتنی بر شبکه عصبی فازی	تعداد نقاطی که با هیچ خیابانی تطبیق نیافته است
15	4	7	تعداد نقاطی که با هیچ خیابانی تطبیق نیافته است
5	8	9	تعداد نقاطی که نادرست تطبیق یافته است

جدول 2. مقایسه الگوریتم های مختلف تطبیق نقشه

**آزمایش 6:** آزمایشهای انجام گرفته نشان داده است که برای نواحی باز و کم تراکم که دارای خیابان های پهن که دارای پیچ و خم کمی می باشند و از همدیگر فاصله زیادی دارند، تطبیق نقشه با کارایی بالایی انجام گرفته است [13].

## 6. نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم که از ترکیب اتوماتاهای یادگیر و شبکه های عصبی فازی حاصل شده است برای تطبیق نقشه برای سیستم های ناوبری خودرو پیشنهاد گردید. به منظور ارزیابی، روش پیشنهادی برای شهر تهران آزمایش و با نتایج یکی از الگوریتم های تطبیق نقشه مبتنی بر منطق فازی مقایسه گردید. نتایج مقایسه برتری الگوریتم پیشنهادی را اکثر حالات، خصوصا در مدل های پیچیده نشان می دهد با این حال در پاره ای از مواقع سرعت تصحیح خطای آن کندتر است.

## 7. مراجع

- [1]. طراحی و ساخت نمونه مهندسی برای یک سیستم ناوبری اتومبیل، گزارش فنی، آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۵
- [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]. I. A. Getting, "Perspective/navigation-The Global Positioning System", IEEE Transactions on Electronics, ISSN: 0018-9235, Dec 1993.
- [5]. M. Tsakiri, "Integrated GPS and DR for Land Vehicle Navigation", Proceedings of the Western Australia Land Information System Forum, Adelaide, Australia, 1996.
- [6]. D. Bernstein and A. L. Kornhauser, An Introduction To Map Matching For Personal Navigation Assistants, Princeton University, New Jersey, TIDE Center, August 1996.
- [7]. Scott, "Improved GPS Positioning For Motor Vehicles Through Map Matching", University Of Technology, Sydney, ION-94, Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, Utah, Sept. 20 - 23, 1994.
- [8]. S. Kim and J. H. Kim, "Adaptive Fuzzy-Network-Based C-Measure Map-Matching Algorithm for Car Navigation System", IEEE Transactions on Electronics, 2001.
- [9]. W. Y. Ochieng and M. Quddus, "Map Matching in Complex Urban Road Networks", Department of Civil and Environmental Engineering, 2003.
- [10]. 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.
- [11]. K. S. Narendra and M. Thathachar, Learning Automata: An Introduction, Prentice Hall, Inc., 1989.
- [12]. H. R. Berenji and P. Khedkar, "Learning And Tuning Fuzzy Logic Controllers Through Reinforcement", IEEE Transactions On Neural Networks, Vol. 3, No. 5, Sept 1992.
- [13]. M. Jaber, "Map Matching Algorithms based on Learning Automata", Master Thesis, Computer Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2007.
- [14]. M. Jaber and M. R. Meybodi "Map Matching Algorithms based on Fuzzy Neural Networks", Technical Report, Computer Engineering and Information Technology Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2007.
- [15]. M. Jaber and M. R. Meybodi "A Hybrid Map Matching Algorithm (Fuzzy logic + Learning Automat)", Technical Report, Computer Engineering and Information Technology Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2007.

- <sup>5</sup> Positioning
- <sup>6</sup> Routing
- <sup>7</sup> Digital Map
- <sup>8</sup> Route Guidance
- <sup>9</sup> Map Matching
- <sup>10</sup> Dead Reckoning
- <sup>11</sup> Geometric Information
- <sup>12</sup> Topological Information
- <sup>13</sup> Point to Point
- <sup>14</sup> Point to Curve
- <sup>15</sup> Curve to Curve
- <sup>16</sup> Scott
- <sup>17</sup> Linear Reward-Penalty Schema
- <sup>18</sup> Linear Reward-Inaction Schema
- <sup>19</sup> Position Fixing
- <sup>20</sup> Tracking
- <sup>21</sup> Action selection neural network (ASN)
- <sup>22</sup> Action evaluation neural network (AEN)
- <sup>23</sup> Stochastic action modifier (SAM)
- <sup>24</sup> Stochastic action modifier (SAM)