



یک الگوریتم تطبیق نقشه برای سیستم های ناوبری خودرو

سارا نظری

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

sara_nazari88@yahoo.com

محمد رضا مبدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات،

دانشگاه امیر کبیر، تهران، ایران

meybodi@aut.ac.ir

سارا تقی پور

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

sa.taghipour@gmail.com

عمل کنند، آنگاه خروجی مکان یابی^۳، دقیقاً بر روی لینک جاده ای صحیح، منطبق خواهد بود. اما در واقعیت، منابع خطای بسیاری بر روی سیگنالها و ابزارهای استفاده شده در سیستم مکان یابی اتفاق می افتد، علاوه بر اینکه ممکن است نقشه نیز دقت کافی نداشته باشد. بنابراین مکان تخمین زده شده لزوماً بر روی شبکه جاده ای قرار نمی گیرد. فرایند نگاشت خروجی GPS بر روی شبکه جاده ای، تطبیق نقشه^۴ نامیده می شود.

الگوریتم های تطبیق نقشه موجود به سه گروه الگوریتم های هندسی، توپولوژیکی و مبتنی بر تئوری اطلاعات تقسیم شده اند. الگوریتم های تطبیق نقشه هندسی مانند "نقطه به نقطه"، "نقطه به منحنی" و "منحنی به منحنی" از اطلاعات هندسی شبکه راه ها استفاده می کند و به اتصال یال ها (اینکه هر یال به چه یالی متصل است) توجهی نمی کند و از فواصل نقاط بدست آمده از GPS و خیابان ها و جاده ها استفاده می کنند. الگوریتم "نقطه به نقطه" نقطه دریافتی از GPS را به نزدیکترین نقطه در شبکه راه ها نگاشت می کند. پیاده سازی این روش آسان است اما حساس به نحوه برداری کردن نقشه می باشد [۲]. الگوریتم "نقطه به منحنی" نقطه دریافتی از GPS را به نزدیکترین منحنی از شبکه راه ها تطبیق می دهد. این روش در شبکه راه های پیچیده با تراکم بالا به خوبی عمل نمی کند. الگوریتم تطبیق "منحنی به منحنی" از نقاط دریافتی در مسیر حرکت خودرو یک منحنی تشکیل می دهد و آنرا به خیابانی که از نظر شباهت به این منحنی امتیاز بالاتری دارد، تطبیق می دهد. یافتن این شباهت در مدل های پیچیده و در شرایطی که خیابانهای مشابه در نزدیکی محل مورد نظر وجود داشته باشد، مشکل است [۲،۳].

گروه دوم الگوریتم های تطبیق نقشه، الگوریتم های توپولوژیکی هستند. توپولوژی به ارتباط بین یالها (خیابان ها) و نحوه اتصال آنها اشاره دارد. گرینفیلد^۵ در سال ۲۰۰۲ چندین الگوریتم را بازمینی کرد و سپس الگوریتم وزن دهی توپولوژیکی را پیشنهاد کرد [۴]. این الگوریتم

چکیده: در سیستم ناوبری خودرو، اغلب از GPS^۱ جهت تعیین موقعیت خودرو استفاده می شود. به دلایل مختلفی، محلی که توسط GPS تعیین میشود، دقیقاً بر روی شبکه جاده ای منطبق نیست. فرایند تطبیق نقشه، موقعیت فعلی تعیین شده توسط گیرنده GPS را به موقعیت صحیح خودرو بر روی شبکه راه ها نگاشت می کند. در این مقاله یک الگوریتم تطبیق نقشه هندسی و توپولوژیکی برای سیستم های ناوبری خودرو^۲ ارائه شده است. الگوریتم با خروجی حاصل از GPS و پایگاه داده ای از شبکه جاده ای برای تهیه مسیر دقیق و قابل اعتماد خودرو بر روی شبکه راه ها مورد استفاده قرار گرفته است. برای ارزیابی الگوریتم تطبیق نقشه پیشنهادی، این الگوریتم بر روی داده های واقعی آزمایش شده است. نتایج آزمایش ها حاکی از کارایی بالاتر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم های تطبیق نقشه هندسی و توپولوژیکی موجود می باشد.

واژه های کلیدی: تطبیق نقشه، GPS، سیستم ناوبری خودرو

مقدمه

با افزایش استفاده از سیستم های ناوبری خودرو، تعیین موقعیت خودرو در خیابان ها اهمیت بسیاری یافته است. هدف از نصب یک سیستم ناوبری بر روی یک خودرو کمک رساندن به راننده برای انتخاب یک مسیر بهینه جهت رسیدن به مقصد است. یک سیستم ناوبری خودرو به راننده جهت رسیدن به مقصدش که ممکن است مرکز شهر یا نام یک خیابان و یا یک آدرس شامل پلاک یک ساختمان باشد راهنمایی های لازم را می کند. در اکثر این سیستم ها از ماهواره و موقعیت یاب عمومی جهت تعیین موقعیت خودرو استفاده می شود.

از آنجا که دقت سیستم های موقعیت یاب از عوامل مختلفی چون شرایط جوی، وضعیت قرارگیری ماهواره ها و غیره تأثیر می پذیرد، لازم است از روش های تطبیق نقشه جهت افزایش دقت در تعیین موقعیت استفاده نمود. این روش ها سعی در تعیین موقعیت دقیق خودرو دارند. اگر نقشه و سیستم مکان یابی ایده ال باشند یعنی بدون هیچ خطایی

³ positioning

⁴ Map matching

⁵ Greenfield

¹ General Positioning System

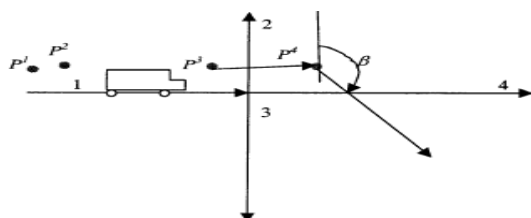
² Car Navigation System

است. در بخش ۱ الگوریتم تطبیق نقشه کوداس که مبنای الگوریتم پیشنهادی می‌باشد توضیح داده شده است. در بخش ۲ الگوریتم پیشنهادی و در بخش ۳ ارزیابی الگوریتم پیشنهادی و نتایج آزمایش‌ها آمده است. بخش نهایی مقاله، نتیجه گیری می‌باشد.

۱- الگوریتم تطبیق نقشه کوداس

در این بخش الگوریتم کوداس که مبنای الگوریتم پیشنهادی می‌باشد به اختصار شرح داده می‌شود. این الگوریتم در ابتدا با توجه به خروجی که از GPS دریافت می‌کند سعی می‌کند یالی (خیابان) را که خودرو بر روی آن در حال حرکت است پیدا کند. برای این منظور یال‌هایی را که کاندیدهای یال صحیح هستند را پیدا می‌کند. برای این کار کوداس چندین فاکتور از جمله "جهت حرکت"، "سرعت حرکت"، "زاویه نقطه با تقاطع" و "فاصله نقطه با یال‌ها" که هر کدام دارای امتیاز ویژه‌ای می‌باشد را در نظر گرفته است. برای هر یال کاندید، جمع امتیازهای تمامی فاکتورها محاسبه می‌شود و سپس یال کاندید با بالاترین امتیاز به عنوان یال صحیح انتخاب می‌شود. فاکتورهایی که کوداس در نظر گرفته است بطور یکسان در انتخاب یال موثر نیستند بلکه بعضی از آنها تاثیر بیشتری دارند که از طریق امتیازی که به آن تعلق می‌گیرد تعیین می‌شود. معرفی فاکتور ها و نحوه امتیازدهی به فاکتورهای مختلف در ادامه این بخش آمده است.

تعیین امتیاز "جهت حرکت" خودرو: GPS علاوه بر مختصات جغرافیایی خودرو، داده‌های دیگری از جمله "جهت حرکت" و "سرعت" خودرو را استخراج می‌کند. "جهت حرکت" خودرو زاویه ای است که خودرو تمایل دارد به آن سمت حرکت کند. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است خودرو در مکان P^4 قرار دارد و زاویه β که توسط GPS استخراج شده است، جهت حرکت خودرو در نقطه P^4 می‌باشد که این زاویه نسبت به محور شمالی می‌باشد. این داده، اشاره خوبی به مسیر احتمالی خودرو در این نقطه دارد. در این شکل لینک‌های کاندید خودرو، یالهای ۲ و ۳ و ۴ می‌باشد. سپس جهت یال‌های کاندید نیز تعیین می‌شود که با β' نشان داده شده است (در این مثال ۹۰ درجه برای لینک ۴ و صفر درجه برای لینک ۲ و ۱۸۰ درجه برای لینک ۳). تفاوت بین β و β' را $\Delta\beta$ می‌نامیم که جهت فرموله کردن وزن بکار می‌رود (رابطه ۱).

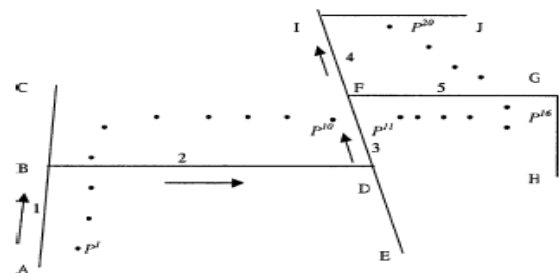


شکل (۲): تعیین "جهت حرکت" خودرو و یال‌های کاندید [۷]

سعی در تشخیص یک همبستگی توپولوژیکی بین شبکه راه‌ها و الگوی حرکت خودرو، به کمک خروجی حاصل از GPS دارد.

الگوریتم گرینفیلد بدلیل اینکه "سرعت حرکت" و "جهت حرکت" خودرو را در تطبیق نقشه دخالت نمی‌دهد از کارایی خوبی برخوردار نیست [۷]. این الگوریتم، فرایند تطبیق نقشه را در تقاطع‌ها بدرستی انجام نمیدهد. بطور مثال در شکل (۱) نقاط p^1 تا p^{20} نشان دهنده مکان خودروی در حال حرکت که توسط GPS دریافت شده است را بر روی شبکه جاده ای نشان می‌دهد. تعیین مسیر خودرو تا p^{10} آسان است و هر الگوریتمی از جمله الگوریتم گرینفیلد نیز به درستی آنرا تطبیق خواهد داد. در نقطه P^{11} این الگوریتم یال ۵ را انتخاب خواهد کرد زیرا جهت حرکت خودرو در نقطه P^{11} و P^{12} شبیه یال ۵ است. علت اینکه الگوریتم، یال غیر صحیح را انتخاب کرده اینست که به اطلاعات "جهت حرکت" خودرو، که این داده توسط GPS تولید می‌شود، توجه نکرده است [۷، ۳].

در سال ۲۰۰۳ کوداس^۶، الگوریتم گرینفیلد را بهبود بخشید و یک الگوریتم توپولوژیکی وزن دار دیگری ارائه داد که در آن از جهت حرکت خودرو و سرعت حرکت، به عنوان فاکتور های موثر در تطبیق نقشه استفاده می‌شود [۷]. آزمایش‌ها نیز نشان داده است که الگوریتم کوداس نیز در بعضی از شرایط مانند تقاطع‌ها به خوبی عمل نمی‌کند [۱]. الگوریتمهای تطبیق نقشه مبتنی بر تئوری اطلاعات با شناسایی فاکتورهای مناسب تر سعی دارند به دقت تطبیق بالاتر و خطای محاسباتی کمتر دست یابند بطور مثال بعضی از این الگوریتمها از منطق فازی کمک میگیرند [۵].

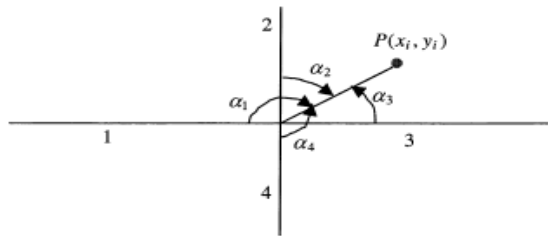


شکل (۱): تطبیق نادرست بعلمت در نظر نگرفتن "جهت حرکت" خودرو

در این مقاله الگوریتمی برای تطبیق نقشه که مبتنی بر الگوریتم کوداس پیشنهاد می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی از مختصات جغرافیایی داده شده توسط GPS و پایگاه داده ای از شبکه جاده ای برای تعیین مسیر دقیق و قابل اعتماد خودرو بر روی شبکه راه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم بر روی داده های واقعی (شهر اراک) آزمایش شده است. نتایج آزمایشها حاکی از کارایی بالاتر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم توپولوژیکی کوداس می‌باشد. ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده

⁷ Heading

⁶ Quddus



شکل (۳): زاویه نقطه دریافتی از GPS تا تقاطع ها

بعد از انتخاب یال صحیح، مکان فیزیکی خودرو بر روی آن یال مشخص می‌شود. فرض کنید P_t و P_{t+1} مکان خودرو بر روی یال در زمان t و $t+1$ باشد. با داشتن مختصات این نقاط و با داشتن سرعت خودرو در زمان $t+1$ و مکان خودرو در زمان t و زاویه حرکت خودرو در زمان t ، می‌توان مکان خودرو بر روی یال انتخاب شده را طبق روابط ۷ بدست آورد.

$$\begin{cases} E_{i+1} = E_i + (v * 1) * \sin(\theta) \\ N_{i+1} = N_i + (v * 1) * \cos(\theta) \end{cases} \quad (7)$$

برای تعیین اینکه آیا هنوز خودرو بر روی یال جاری قرار دارد یا نه، از تفاوت بین "جهت حرکت" دو نقطه پیاپی بدست آمده از GPS استفاده می‌شود. اگر این تفاوت بیش از ۴۵ درجه باشد قطعاً خودرو به خیابانی با جهتی متفاوت با جهت خیابان جاری، تغییر مسیر داده است [۷].

۲- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله بهبود یافته الگوریتم کوداس می‌باشد. این الگوریتم همانطوری که قبلاً اشاره شد در مواردی مانند تقاطع‌ها به درستی عمل نمی‌کند. در فرایند برداری کردن نقشه معمولاً به عرض خیابان‌ها در نقشه توجهی نمی‌شود که این باعث مشکلاتی در عمل تطبیق نقشه می‌گردد. تقاطع یک خیابان عریض با یک خیابان باریک را در نظر بگیرید. اگر خودرو در دورترین نقطه از عرض خیابان حرکت کند و به خیابان باریکی بپیچد در اینصورت طول واقعی طی شده توسط خودرو برابر طول یال نمی‌باشد. در این وضعیت، الگوریتم تطبیق نقشه، تطبیق غلطی را انجام میدهد.

همانطور که در شکل (۴) مشخص شده است طول یال ۱ کمتر از مسیر حرکت واقعی خودرو در طی این دو خیابان است و این منجر به تطبیق‌های غلط بعدی شده است. این تفاوت در طول واقعی خیابان و طول یال منسوب شده به خیابان موجب بروز خطا در عمل تطبیق نقشه می‌شود. به همین دلیل در الگوریتم پیشنهادی برای هر یال علاوه بر طول یال در گراف نقشه، طول واقعی یال نیز در نظر گرفته شده است که برابر طول یال به اضافه میزان خطای تطبیق در تقاطع می‌باشد. در شکل (۴) میزان خطای تطبیق که تفاوت فاصله در راستای یال جاری بین تقاطع و نقطه قبل از تطبیق می‌باشد، نشان داده شده است. مراحل کلی الگوریتم در ادامه آمده است.

$$WS_H = A_H \cos(\Delta\beta') \quad (1)$$

WS_H ، وزن داده شده به "جهت حرکت" خودرو و تمایل خودرو نسبت به لینک‌ها است. A_H ضریب این پارامتر است و مقدار آن از فرمول ۶ بدست می‌آید. هر چه $\Delta\beta$ کمتر باشد احتمال اینکه آن یال کاندید، یال صحیح باشد بیشتر است.

تعیین امتیاز برای نزدیکی نقطه به یک یال: از میان یال‌های کاندید یالی که به نقطه دریافتی از GPS نزدیک تر است امتیاز بالاتری دریافت می‌کند. این امتیاز طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$WS_{PD} = A_P / D \quad (2)$$

نزدیکی می‌تواند توسط خط بین دو نقطه پیاپی GPS (برای مثال $P(x_i, y_i)$ و $P(x_{i-1}, y_{i-1})$) با یال i که بطور فیزیکی تقاطع دارند نیز محاسبه می‌شوند.

نزدیکی بین این دو خط می‌تواند توسط زاویه بین آنها اندازه‌گیری شود. هر چه این زاویه (θ) کوچکتر باشد دوخط به همدیگر نزدیک تر می‌باشند. در این صورت امتیاز دهی می‌تواند طبق رابطه ۳ صورت گیرد. اگر دو خط تقاطع نداشته باشند امتیاز ۰ در نظر گرفته می‌شود.

$$WS_{PI} = A_P \cos(\theta) \quad (3)$$

تعیین امتیاز برای موقعیت نقطه نسبت به یال: همانطور که

در شکل ۳ مشخص است $P(x_i, y_i)$ نقطه مکان واقعی خودرو که توسط دستگاه GPS تعیین شده است و متغیرهای $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ مکان نسبی این نقطه تا یالهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ می‌باشد. امتیاز برای موقعیت نقطه نسبت به یال طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود. هر چه این زاویه بزرگتر باشد، احتمال اینکه یال کاندید همان یال صحیح باشد کمتر می‌باشد.

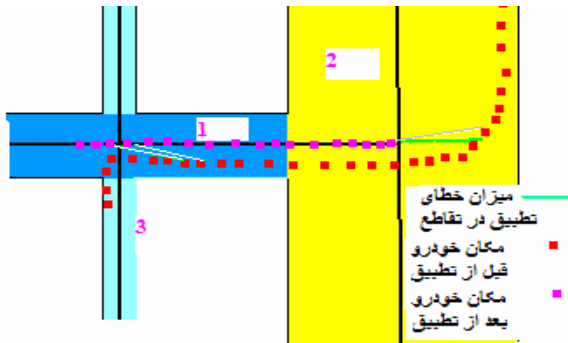
$$WS_{RP} = A_{RP} \cos(\alpha) \quad (4)$$

بعد از تعیین امتیازها، امتیاز کلی هر یال طبق رابطه ۵ برای هر یال کاندید محاسبه می‌شود.

$$TWS = WS_H + (WS_{PD} + WS_{PI}) + WS_{RP} \quad (5)$$

$$\begin{cases} A_H = aA_P \\ A_{RP} = bA_P \end{cases} \quad (6)$$

که a, b ضرایب امتیاز هستند $b > a > 1$. و a و b بستگی به توپولوژی شبکه دارد. مقدار TWS برای همه وزن‌های کاندید محاسبه و سپس یالی با بالاترین امتیاز به عنوان یال صحیح تعیین می‌شود. کوداس مقادیر a, b, A_P را به ترتیب ۵ و ۲ و ۱۰ در نظر گرفته است [۷].



شکل (۴): محاسبه میزان خطای تطبیق

۳- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی از نقشه شهر اراک استفاده شده است. در داخل خودرو از GPS دستی مدل 76CSmap محصول سال ۲۰۰۴ شرکت Garmin برای ضبط اطلاعات از مسیر حرکت خودرو استفاده شده است. در انتخاب مسیر های طی شده برای تست الگوریتم، سعی شده است که انواع مسیرهای ساده تا مسیر هایی با خیابان هایی با پیچ های متعدد و همچنین کوچه های باریک و پیچ در پیچ در نظر گرفته شود. برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم کوداس و الگوریتم پیشنهادی بر روی مسیرهای مختلف اعمال شده است که نتایج آنها در اشکال ۵ تا ۸ آمده است. نقاط با رنگ سبز نقاط دریافتی GPS از مکان خودرو می باشد و نقاط با رنگ قرمز با نماد پیکان، مکان خودرو بعد از تطبیق در الگوریتم پیشنهادی است.

۴- نتیجه گیری

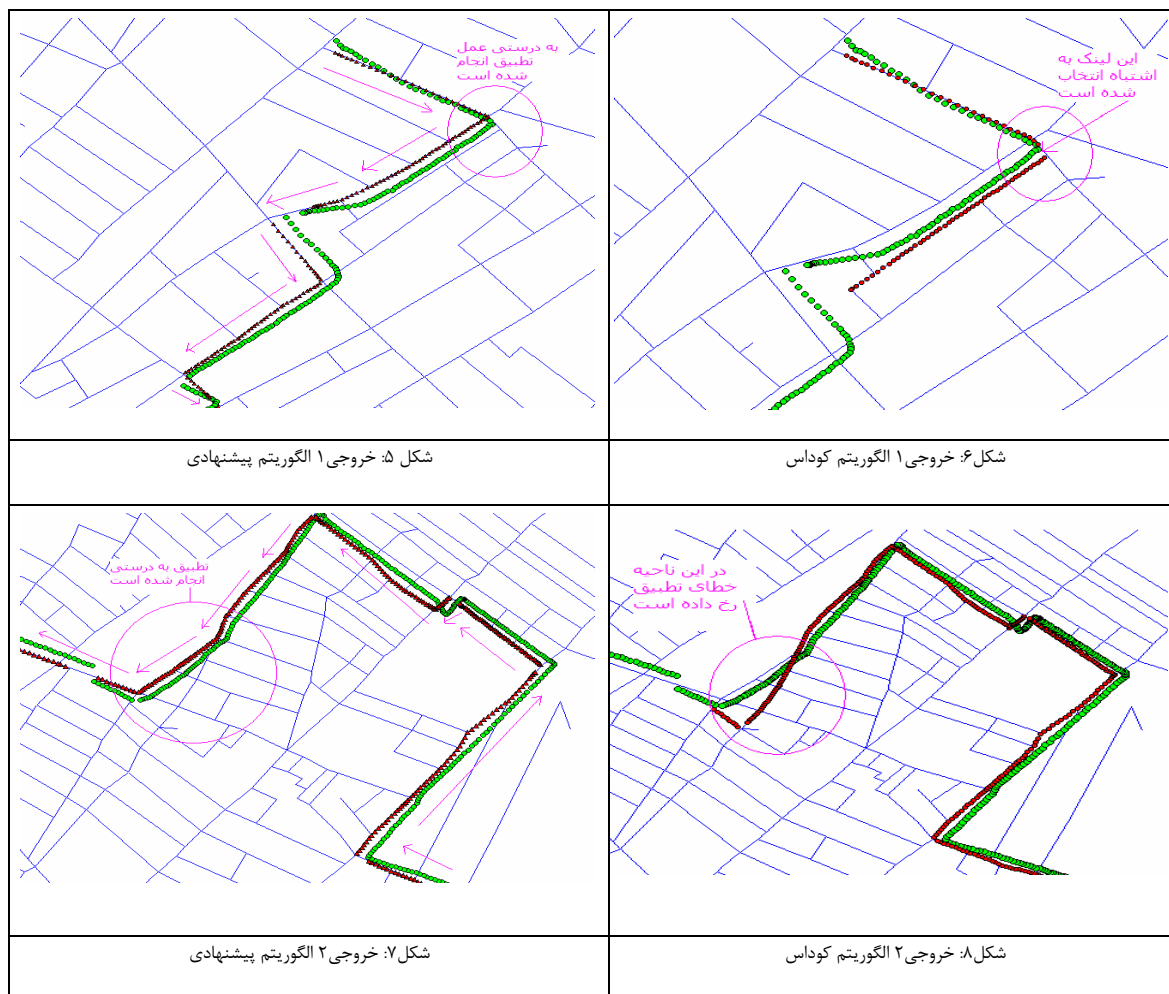
در این مقاله یک الگوریتم تطبیق نقشه برای سیستم های ناوبری خودرو پیشنهاد گردید. این الگوریتم با استفاده از "جهت حرکت" و سرعت خودروی و پایگاه داده ای از شبکه جاده ای عمل تطبیق نقشه را انجام میدهد. برای ارزیابی الگوریتم تطبیق نقشه پیشنهادی، این الگوریتم بر روی نقشه شهر اراک آزمایش گردید. نتایج آزمایشها حاکی از کارایی بالاتر الگوریتم پیشنهادی بخصوص در تقاطع ها در مقایسه با الگوریتم کوداس داشته است.

مراحل الگوریتم پیشنهادی در زیر آمده است.

۱. نقطه GPS را بگیر.
۲. نزدیک ترین نود به این نقطه GPS را پیدا کن. سپس تمامی یالهای گذرنده از این نقطه را به عنوان یالهای کاندید انتخاب کن.
۳. امتیاز کل را برای هر یک از یالهای کاندید (رابطه ۵) محاسبه و سپس یال صحیح از بین یالهای کاندید انتخاب می شود.
۴. مکان فیزیکی خودرو را بر روی یال انتخابی (یال صحیح) محاسبه کن.
۵. نقطه بعدی GPS را دریافت کن. اگر $\Delta\beta > 45^\circ$ است (یعنی خودرو تغییر جهت داده است) در این صورت برو به مرحله ۱ در غیر این صورت اگر $\Delta\beta < 45^\circ$ است (یعنی خودرو در مسیر قبلی در حال حرکت است و تغییر جهت نداده است) در این صورت برای تعیین اینکه آیا خودرو در مسیر قبلی خود از تقاطع گذشته است یا نه، طبق رویه زیر عمل کن:

طول مسیر طی شده توسط خودرو از تقاطع قبلی تا حال را محاسبه کن (با استفاده از سرعت ثبت شده توسط GPS در هر لحظه از حرکت خودرو). اگر این مسافت از طول واقعی یال بیشتر باشد بنابراین قطعا خودرو بدون تغییر جهت تقاطع را گذرانده است و می بایست به یال جدیدی تطبیق داده شود. (یال جدید همان یال متصل به یال قبلی و در همان جهت می باشد) و گرنه تطبیق مکان خودرو به یال قبل از تقاطع انجام می شود.

۶. اگر نقطه GPS آخرین نقطه برای تطبیق بوده است الگوریتم به پایان می رسد وگرنه برو به مرحله ۱.



۵- مراجع

- [4] Greenfeld, J. S., "Matching GPS Observations to Locations on a Digital Map", Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, 22-27 May, Washington, DC, USA, pp. 376-384, 2002.
- [5] Syde, S. and Cannon K., "Fuzzy Logic Based Map Matching Algorithm for Vehicle Navigation System in Urban Canyons", Department of Geometrics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada, 2004
- [6] Zhou, J., "A Three-step General Map Matching Method in the GIS Environment Travel/Transportation Study Perspective", Department of Geography, University of California Santa Barbra, 2004
- [7] Quddus, M.A., W. Y. Ochieng, Z. Lin and R.B. Noland, "A General Map-Matching Algorithm for Transport Telematics Applications", GPS solutions, Volume 7, No. 3, pp. 157-167, 2003.
- [۱] س. تقی پور، بررسی الگوریتم های تطبیق نقشه در سیستم ناوبری خودرو، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد واحد اراک، ۱۳۸۵.
- [2] Christopher E. White, David Bernstein, Alain L. Kornhauser (2000), "Some map matching algorithms for personal navigation assistants", a Department of Operations Research and Financial Engineering, Princeton University
- [3] Bernstein, D. and A. Kornhauser, "An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants", Technical Report, New Jersey TIDE Center, New Jersey Institute of Technology, New Jersey, NY, USA, 1996. <http://www.njitide.org/reports/mapmatchintro.pdf>