



توسعه‌ی یک الگوریتم تناظریابی امتیاز محور با تمرکز بر مدل‌سازی و بهینه‌سازی وزن متغیرها

مهدی رهبر^{۱*}، علی اصغر آل شیخ^۲

۱- کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استاد تمام گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰

چکیده

تعیین موقعیت در محیط شبکه مستلزم فرایندی است که بتواند مختصات خام به‌دست آمده از حسگرهای موقعیت‌یابی را بر روی یال‌های آن شبکه تصویر نماید. این فرایند به تناظریابی نقشه موسوم است. لزوم وجود چنین فرایندی ناشی از وجود خطای ناگزیر در تعیین موقعیت کاربر و نقشه‌ی شبکه‌ی راه‌ها می‌باشد. از این رو انجام تناظریابی برای موقعیت اشیاء متحرک به روی شبکه‌ای که در درون آن واقع شده‌اند، لازمه‌ی ارائه‌ی هر سرویس مکان‌مبنا در محیط شبکه می‌باشد. تا کنون، برای این منظور الگوریتم‌های مختلفی توسعه داده شده‌اند. در این مقاله ابتدا مروری کوتاه بر انواع تناظریابی هندسی که پایه‌ای‌ترین نوع تناظریابی است، صورت می‌گیرد. سپس یک الگوریتم تناظریابی امتیاز محور ارائه و وزن پارامترهای استفاده شده در آن در هر مرحله به روش تجربی بهینه‌سازی می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، از سه مؤلفه‌ی فاصله، همسویی، و موقعیت نسبی به‌عنوان متغیرهای ورودی به فرایند تناظریابی استفاده می‌شود. برای متغیر موقعیت نسبی چهار فرم مدل‌سازی مختلف صورت گرفته است و با مقایسه‌ی نتایج حاصل از هر یک، مدل 'زاویه‌ی مقابل' به‌عنوان مدل بهینه مورد شناسایی قرار می‌گیرد. مقایسه‌ای بین عملکرد الگوریتم تناظریابی پیشنهادی با الگوریتم‌های تناظریابی هم تراز از نظر پیچیدگی صورت پذیرفت که حاکی از برتری نسبی الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه بود. در ارزیابی انجام شده، این الگوریتم در ۹۵/۵ درصد موارد تناظریابی، مسیر حرکت وسیله نقلیه را به درستی شناسایی می‌کند.

کلیدواژه‌ها: تناظریابی نقشه، اشیاء متحرک، شبکه‌ی راه‌ها، تعیین موقعیت، بهینه‌سازی وزن.

*نویسنده مسئول: تهران- خیابان ولیعصر- تقاطع میرداماد غربی- دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۹۱۲۳۹۰۱۴۴۳

Email: mehdi.656@gmail.com

۱- مقدمه

داده (نقشه)ی غیر قطعی شبکه راه‌ها است. اگر نقشه‌ی دقیق و قطعی و موقعیت قطعی وسیله‌ی نقلیه در دست بود، الگوریتم تناظریابی به تصویر کننده‌ی ساده‌ی موقعیت‌ها روی نقشه‌ی راه‌ها تبدیل می‌شد [۳]. در واقع تناظریابی نقشه یک فرایند محاسباتی برای ادغام داده موقعیت وسیله نقلیه با نقشه رقومی مسیرها است؛ عموماً با این فرض که وسیله نقلیه همواره درون یک مسیر در شبکه قرار گرفته است [۴].

مسئله‌ی تناظریابی، تعیین موقعیت وسیله‌ی نقلیه درون مجموعه متناهی از مسیرها، \bar{N} ، است که شبکه راه‌ها را شکل می‌دهند. در تعداد متناهی لحظه در زمان، $\{t \text{ و } \dots \text{ و } ۳ \text{ و } ۲ \text{ و } ۱\}$ ، برآوردی از موقعیت وسیله‌ی نقلیه در دست است. موقعیت واقعی وسیله‌ی نقلیه در لحظه‌ی t ، P^t ، و موقعیت مشاهده شده برای آن P^t ، می‌باشد. هدف در تناظریابی، تعیین مسیری در \bar{N} است که دربردارنده‌ی P^t می‌باشد. در این مطالعه، نیازی به آگاهی از شکل و فرم دقیق خیابان‌ها، از جمله اطلاعات مربوط به عرض معابر نیست. به جای آن از یک گراف به نمایندگی از شبکه‌ی راه‌ها استفاده می‌شود. هر یال این گراف معرف یک مسیر یا یک قسمت از یک مسیر می‌باشد. هر یال به صورت یک قطعه خط^۲ در نظر گرفته می‌شود. هر مسیر $A \in N$ را می‌توان به طور کامل با دنباله‌ای از نقاط $\{A_0, A_1, \dots, A_n\}$ تعریف کرد که اعضای آن، نقاط آغاز و پایان قطعه خط‌های تشکیل دهنده‌ی A هستند. نقاط A_0 و A_n ، گره^۳ و $\{A_1, \dots, A_{n-1}\}$ نقاط میانی^۴ نامیده می‌شوند [۵].

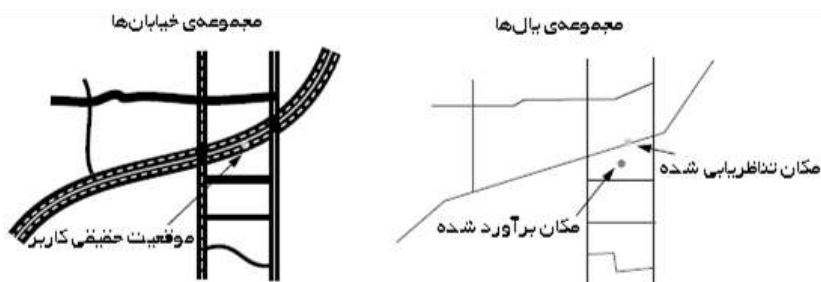
شکل (۱) الگویی از فرایند تناظریابی نقشه را نمایش می‌دهد. هدف دیگر تناظر یابی، تعیین مکان مناسب برای P^t روی A است. تاکنون الگوریتم‌های تناظریابی متعددی برای تناظریابی توسط

امروزه سرویس‌های مکان مینا بخش بزرگی از مجموعه خدمات شهری را در بر می‌گیرند. هر روزه به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم تعداد زیادی از این خدمات توسط شهروندان یا سازمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. طیف گسترده‌ای از سامانه‌های ردیابی وسایل نقلیه، همچون سیستم‌های ناوبری درون خودروها، سیستم‌های هدایت مسیر پویا، مدیریت ناوگان و سیستم‌های اجتناب از برخورد، به اطلاعات مکانی پیوسته و دقیق مسیر حرکت وسایل نقلیه درون شبکه‌ی راه‌ها نیاز دارند [۱]. این خدمات در محیط شبکه معنا و مفهوم پیدا می‌کنند. شبکه‌هایی که متشکل از خیابان‌ها، کوچه‌ها، شبکه‌ی بزرگراهی، و به طور کلی همه‌ی مسیرهای درون شهری و برون شهری می‌باشند.

گام اولیه در ارائه‌ی هر سرویس مکان مینا تعیین موقعیت کاربر می‌باشد [۲]. تعیین موقعیت کاربر درون فضای شبکه متفاوت از تعیین موقعیت در یک فضای صحنه^۱، که عاری از شبکه است، می‌باشد. هر سیستم تعیین موقعیتی، فارغ از چگونگی ساز و کار و تکنولوژی به کار رفته در آن، دارای درجه‌ای از خطا و عدم قطعیت می‌باشد. بعلاوه، پایگاه داده‌ی مختصات شبکه‌ی راه‌ها نیز عاری از خطا نیست. در نتیجه، مختصات به دست آمده از سیستم تعیین موقعیت، بر روی مسیرهای شبکه واقع نشده و از این رو شرایط لازم به عنوان داده‌ی ورودی برای استفاده در سرویس‌های مکان مینای تحت شبکه را نخواهد داشت. برای حل این مشکل نیاز به سازوکاری است تا به بهترین شکل بتواند مختصات خام به دست آمده از سیستم تعیین موقعیت را به روی مسیرها، تصویر نماید یا اصطلاحاً تناظریابی کند. به بیان دیگر، چالش اصلی الگوریتم‌های تناظریابی نقشه، تطابق موقعیت‌های غیر قطعی به روی

² Piecewise Linear³ Node⁴ Shape Point¹ Scene Space

شماره (۱)، یعنی تعیین مسیر یا یال قرارگیری وسیله‌ی نقلیه می‌باشد. دلیل آن هم واضح است: چراکه در صورت اشتباه بودن تشخیص مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه، طبیعتاً محل تعیین شده برای موقعیت آن نیز همراه با اشتباه خواهد بود.



شکل ۱: تناظریابی در محیط شبکه [۶]

صورت پذیرفته است. بعلاوه الگوریتم تناظریابی پیشنهادی این تحقیق از دیگر نوآوری‌های مقاله است که پس از بررسی الگوریتم‌های پیشین، توسعه داده شده است.

این تحقیق مشتمل بر پنج بخش است. بخش اول به تعریف مساله تناظریابی نقشه و بیان دلایل لزوم انجام آن اختصاص دارد. بخش دوم به توصیف تناظریابی هندسی می‌پردازد و انواع آن را معرفی می‌کند. بخش سوم مروری اجمالی بر برخی تحقیقات پیشین در زمینه‌ی تناظریابی نقشه خواهد داشت. در بخش چهارم ابتدا در مورد کم و کیف گردآوری مشاهدات و آماده‌سازی داده و نقشه‌ی مورد نیاز جهت ورود به الگوریتم در مراحل مختلف این پژوهش، توضیحاتی داده می‌شود. در ادامه توضیحاتی درباره الگوریتم تناظریابی امتیاز محور که موضوع این مطالعه است ارائه می‌شود. سپس به جزئیات الگوریتم توسعه داده شده پرداخته می‌شود و در مورد انتخاب، مدل‌سازی، و بهینه‌سازی وزن متغیرها به تفصیل بحث می‌شود. در انتها، نتیجه حاصل از الگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته و با نتایج حاصل از تعدادی پژوهش دیگر مقایسه می‌شود. بخش پنجم و پایانی نگاهی اجمالی به کارهای صورت گرفته در این

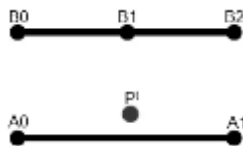
محققان مختلف ارائه شده‌اند. این الگوریتم‌ها دو هدف اصلی را دنبال می‌کنند: (۱) تعیین مسیر یا یال قرارگیری وسیله‌ی نقلیه، و (۲) تعیین موقعیت وسیله‌ی نقلیه روی مسیری که قرار گرفته است [۵، ۷، ۸ و ۹]. البته، چالش اصلی در تناظریابی همواره هدف

در این پژوهش برای تامین اطلاعات مکانی وسیله‌ی نقلیه از یک گیرنده‌ی تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS¹) دستی استفاده شده است. بخش‌هایی از مناطق مرکزی شهر تهران برای پیاده‌سازی و تست عملکرد الگوریتم‌ها انتخاب شدند. روش بهینه‌سازی وزن متغیرها در این تحقیق روشی تجربی می‌باشد. بدین صورت که الگوریتم‌ها به دفعات و با تغییر تدریجی اوزان متغیرهای شرکت‌کننده در محاسبات اجرا شده و نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. صحت بالای تناظریابی، سرعت اجرای الگوریتم، و سهولت در پیاده‌سازی از جمله اهداف ثانویه این مطالعه می‌باشد. الگوریتم نهایی پیشنهاد شده در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان بخشی از یک الگوریتم تناظریابی دیگر، مثلاً به‌عنوان سازوکاری برای تناظریابی اولیه نقاط به‌کار گرفته شود و یا خود به تنهایی در یک سیستم برای انجام تناظریابی مورد بهره‌برداری قرار گیرد. شایان ذکر است که پیش از این، در کشور مطالعه‌ی میدانی در زمینه‌ی تناظریابی وسایل نقلیه به روی شبکه‌ی معابر و پیاده‌سازی و ارزیابی الگوریتم آن به‌صورت محدود

¹ Global Positioning System

مورد استفاده، فقط فاصله با گره‌ها و نقاط میانی داخل آن محدوده را محاسبه کرد. تعداد زیادی الگوریتم موجود است که نزدیک‌ترین گره یا نقطه‌ی میانی واقع بر مسیر را برای یک نقطه‌ی مفروض شناسایی می‌کند [۱۰ و ۱۱].

الگوریتم نقطه به نقطه، به رغم سادگی و سرعت بالا، در عمل الگوریتم مناسبی نیست و اشکالات فراوانی به آن وارد است. از جمله اینکه موقعیت‌ها در طول یال‌ها تناظریابی نمی‌شوند بلکه الزاماً روی گره‌ها یا نقاط میانی قرار می‌گیرند و همچنین محل تناظریابی نقاط به محل قرارگیری گره‌ها و نقاط میانی یا به عبارتی دیگر نحوه رقومی سازی شبکه وابسته خواهد بود (شکل (۲)) [۵].



شکل ۲: تناظریابی نقطه به نقطه

۲-۲- تناظریابی نقطه به منحنی

تناظریابی نقطه به منحنی نوع دیگری از تناظریابی هندسی است. در این نوع تناظریابی، فاصله‌ی بین موقعیت کاربر تا یال‌های شبکه برای تصمیم‌گیری در مورد چگونگی انجام تناظریابی مبنا قرار می‌گیرد و یالی که کم‌ترین فاصله را داشته باشد انتخاب می‌شود [۳ و ۶]. فاصله‌ی استفاده شده برای این منظور، فاصله‌ی اقلیدسی است و برای هر یال به شکل کوتاه‌ترین فاصله‌ی میان آن یال تا نقطه‌ی تعیین موقعیت شده تعریف می‌شود. بعد از تعیین یال قرارگیری وسیله‌ی نقلیه، نقطه‌ای روی آن یال که کم‌ترین فاصله را تا موقعیت کاربر دارد به‌عنوان محل قرارگیری کاربر منظور می‌شود. این الگوریتم اگر چه دو اشکال ذکر شده در مورد تناظریابی نقطه به نقطه را ندارد ولی باز هم خالی از مشکل نیست. چرا که همیشه صرف نزدیک‌ترین بودن به موقعیت کاربر به معنای

تحقیق دارد و پیشنهادی برای ارتقای کیفیت الگوریتم توسعه داده شده خواهد داشت.

۲- تناظریابی هندسی

الگوریتم‌های تناظریابی هندسی در فرایند تناظریابی تنها از اطلاعات هندسی شبکه و نقاط تعیین موقعیت شده استفاده می‌کنند [۹]. این الگوریتم‌ها بر مبنای فاصله بین نقاط و گره‌ها، نقاط میانی، و یا یال‌های موجود در شبکه فرایند تناظریابی را انجام می‌دهند. این الگوریتم‌ها را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم کرد. این سه دسته عبارتند از:

- الگوریتم‌های تناظریابی نقطه به نقطه^۱
- الگوریتم‌های تناظریابی نقطه به منحنی^۲
- الگوریتم‌های تناظریابی منحنی به منحنی^۳ [۵]

در ادامه، توضیح مختصری در مورد روش کار در هر یک از این الگوریتم‌های تناظریابی داده می‌شود.

۲-۱- تناظریابی نقطه به نقطه

تناظریابی نقطه به نقطه، یکی از انواع تناظریابی هندسی و در واقع ساده‌ترین نوع آن است. در این نوع از تناظریابی هر نقطه‌ی تعیین موقعیت شده به وسیله‌ی سیستم ناوبری، به نزدیک‌ترین گره یا نقطه‌ی میانی شبکه منتسب شده و روی آن قرار می‌گیرد [۶]. در این الگوریتم جهت جستجوی نزدیک‌ترین گره یا نقطه‌ی میانی شبکه، از فاصله‌ی اقلیدسی میان آن‌ها استفاده می‌شود. البته احتیاجی نیست که فاصله‌ی نقطه‌ی تعیین موقعیت شده تا تمام نقاط میانی و گره‌های موجود در شبکه محاسبه شود؛ چرا که سبب افت سرعت اجرای الگوریتم می‌شود. می‌توان با تعیین یک محدوده، مثلاً یک دایره با شعاعی برابر با سه برابر متوسط خطای تعیین موقعیت افقی سیستم ناوبری

^۱ Point to Point

^۲ Point to Curve

^۳ Curve to Curve

در این تناظریابی، فاصله‌ی میانگین بین دو منحنی را از طریق محاسبه‌ی مساحت بین دو منحنی محاسبه می‌کنند. برای این کار ابتدا هر دو منحنی را به فرم پارامتری در آورده و سپس از طریق محاسبه‌ی انتگرال، فاصله‌ی متوسط بین دو منحنی را محاسبه می‌کنند. فاصله‌ی متوسط بین دو منحنی مفروض A و B از رابطه‌ی (۱) قابل محاسبه است [۴].

$$\|A - B\| = \int \int \|a(t) - b(t)\| dt \quad (۱) \quad \text{رابطه}$$

۳- مروری بر پژوهش‌های پیشین

الگوریتم‌های تناظریابی متنوعند، و محققان بسیاری در این زمینه مطالعه نموده‌اند. وایت و همکارانش [۳] الگوریتم‌های متعددی را برای تناظریابی نقاط روی شبکه‌ی راه‌ها تعریف می‌کنند و از میان آن‌ها به ارزیابی چهار الگوریتم می‌پردازند. از آنجا که بیشتر اشتباهات تناظریابی در تقاطعات رخ می‌دهد، مطالعه‌ی آن‌ها پیشنهاد می‌دهد که توجه ویژه معطوف به این نقاط شود. این مقاله عمدتاً بر نواحی شهری متمرکز است؛ چرا که الگوریتم‌های تناظریابی اغلب در بزرگراه‌ها و شبکه‌های با بافت باز درست عمل می‌کنند.

بوجو و همکارانش [۱۳] دو الگوریتم تناظریابی را مورد بررسی قرار می‌دهند. الگوریتم نقطه به منحنی و الگوریتم نقطه به منحنی به همراه جهت حرکت وسیله‌ی نقلیه. آن‌ها به این نتیجه می‌رسند که الگوریتم اول، ساده‌ترین و سریع‌ترین نوع الگوریتم است ولی در محل تقاطع‌ها یا در میان مسیرهای موازی پرتراکم دچار خطا می‌شود. آن‌ها این الگوریتم را برای استفاده در نقشه‌های کوچک مقیاس مناسب ارزیابی می‌کنند. الگوریتم دوم مانند الگوریتم اول است با این تفاوت که جهت حرکت وسیله‌ی نقلیه را نیز طی فرایند تناظریابی وارد محاسبات می‌کند. بوجو و دستیارانش پیشنهاد می‌دهند که اطلاعات تاریخچه‌ی موقعیت و اطلاعات سرعت وسیله‌ی نقلیه، اطلاعات محدودیت‌های ترافیکی در مسیرها، و توپولوژی شبکه در فرایند تناظریابی مورد استفاده قرار گیرند.

قرارگیری کاربر روی آن مسیر نیست. این مشکل به ویژه هنگام تناظریابی در شبکه‌های با تراکم بالا و یا هنگامی که تنها از موقعیت‌یاب ماهواره‌ای برای تعیین موقعیت استفاده می‌شود نمود پیدا می‌کند [۵].

۲-۳- تناظریابی منحنی به منحنی

تناظریابی منحنی به منحنی پیشرفته‌ترین نوع از انواع تناظریابی هندسی است. در این حالت، الگوریتم تناظریابی به بررسی و قیاس بین منحنی حاصل از مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه و منحنی حاصل از به هم پیوستن قطعات خطی یال‌ها می‌پردازد و بر اساس فاصله‌ی میان این دو، موقعیت‌ها را روی یال‌های شبکه تناظریابی می‌کند [۳، ۶ و ۱۲]. این الگوریتم ابتدا بر اساس تناظریابی نقطه به نقطه برای اولین تعیین موقعیت یک تناظریابی انجام می‌دهد، و آن را به یک نقطه‌ی میانی یا یک گره شبکه منتسب می‌کند. سپس با استفاده از مسیرهای خروجی از آن گره یا نقطه‌ی میانی، چندین مسیر تشکیل داده و آن‌ها را به‌عنوان مسیرهای نامزد در نظر می‌گیرد. در مرحله‌ی بعد با متصل نمودن موقعیت فعلی و چند موقعیت پیشین کاربر، منحنی مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه را شکل می‌دهد. سپس به محاسبه‌ی فاصله میان منحنی‌های مسیر نامزد و منحنی مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه می‌پردازد. در آخر، موقعیت کاربر را روی مسیری که کم‌ترین فاصله را از مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه داشته باشد تناظریابی می‌کند. همچنین مکان وسیله‌ی نقلیه روی آن مسیر از تصویر قائم آخرین نقطه‌ی تعیین موقعیت شده روی مسیر منتخب، مشخص می‌شود.

این نوع از تناظریابی نیز گاهی به خطاهای فاحش و اشتباهات در مشاهدات موقعیت حساسیت بالایی نشان می‌دهد که می‌تواند منجر به نتایج غیرقابل انتظار شود. همچنین، چون در مرحله‌ی اول، تناظریابی به‌صورت نقطه به نقطه انجام می‌شود، پاره‌ای از مشکلات آن را به همراه دارد [۵].

قابلیت استفاده در سیستم‌های هوشمند ناوبری را داراست.

لیو و همکارانش [۱۶] تناظریابی موقعیت‌های وسایل نقلیه به روی شبکه‌ی ساده‌سازی شده از راه‌ها را موضوع مطالعه‌شان قرار دادند. به باور آن‌ها، ذخیره و پردازش نقشه‌های پرجزئیات از شکل مسیرهای موجود در شبکه، هزینه‌ی زیادی را بر سخت‌افزار گوشی‌های همراه و سیستم‌های کاربری تحمیل می‌کند که این مساله تاکنون کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق، برای انجام تناظریابی روی نقشه‌های ساده‌سازی شده الگوریتمی که "پس‌بای"^۳ نامیدند ارائه گردید. دست‌اندرکاران این مطالعه ادعا می‌کنند که الگوریتم پیشنهادی آن‌ها، حتی در حالتی که مسیرها تا بیشترین سطح ساده‌سازی شده و هر مسیر تنها با تقاطعات دو سر آن معرفی شده و فاقد جزئیات بیشتر بود، عملکردی قابل قبول داشته است.

ژنگ و همکارانش [۱۷] تناظریابی موقعیت‌های وسیله‌ی نقلیه با فرکانس مشاهدات پایین را مورد مطالعه قرار دادند. در روش آن‌ها، با استفاده از الگوریتم شناخته شده‌ی A^* ، با احتساب اتصالات شبکه و محدودیت‌های گردش در تقاطعات، مسیرهای احتمالی طی شده بین دو مشاهده‌ی متوالی موقعیت وسیله‌ی نقلیه شناسایی می‌شود. سپس با مقایسه‌ی محل‌های احتمالی تناظریابی با مشاهده‌ی صورت گرفته، از حیث نزدیکی و سازگاری سمت حرکت، یال مناسب برای تناظریابی انتخاب می‌گردد. مطابق با نتایج این تحقیق، الگوریتم پیشنهادی در ۹۷/۵ درصد موارد تناظریابی، مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه را به درستی شناسایی کرده است (مشاهدات با فرکانس‌های $\frac{1}{6}$ ، $\frac{1}{3}$ ، $\frac{1}{8}$ و ۱ هرتز).

میشل بیرلر و همکارانش [۱۴] استفاده از امکانات ناوبری گوشی‌های هوشمند را موضوع تحقیق قرار دادند. آن‌ها معتقدند که کیفیت پایین داده‌ی GPS در گوشی‌های هوشمند مانع از استفاده از روش‌های موجود تناظریابی می‌شود. مطالعه‌ی آن‌ها روش احتمالاتی را برای انجام تناظریابی پیشنهاد می‌کند. این روش مجموعه‌ای از مسیرهای بالقوه صحیح تولید می‌کند و برای هر یک شباهتی^۱ در نظر می‌گیرد. برای محاسبه‌ی میزان شباهت داده‌ی یک مسیر خاص از دو دسته اطلاعات مکانی (مختصات GPS) و زمانی (سرعت) استفاده می‌شود. به باور نویسندگان مقاله، روش آن‌ها از استحکام و کارایی لازم برخوردار بوده است.

والاگا و همکارانش [۱۵] در پژوهشی ابتدا تناظریابی را با استفاده از یک الگوریتم تناظریابی توپولوژیک روی مجموعه‌ای از نقاط انجام دادند. الگوریتم‌های تناظریابی توپولوژیک اطلاعات مربوط به اتصال بین مسیرها را در تناظریابی مورد استفاده قرار می‌دهند [۹]. آن‌ها سپس موارد تناظریابی اشتباه را شناسایی کردند و دلایل اصلی بروز اشتباه در تناظریابی آن نقاط را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تعدادی راهکار برای کاستن از موارد اشتباه و در نتیجه ارتقای کیفیت الگوریتم تناظریابی اندیشیده شد. در آخر برای ارزیابی الگوریتم بهبود یافته، یک سری داده‌ی مستقل را مورد استفاده قرار دادند. بررسی ایشان نتایج نشان داد که الگوریتم اولیه، تناظریابی ۹۶/۵ درصد نقاط را به درستی انجام داده، در حالی که الگوریتم بهبود یافته در ۹۷/۸ درصد موارد موفق بوده است. نویسندگان مقاله بر این باورند که الگوریتم بهبود یافته‌ی پیشنهادیشان ساده، سریع، کارآمد، و پیاده‌سازی آن آسان است و به خاطر صحت فوق العاده زیادی که در تناظریابی دارد

² Simplified

³ Passby

¹ Likelihood

به ترتیب برابر با (۳۹۵۸۴۰۰، ۵۳۶۱۰۰) و (۳۹۵۰۲۰۰، ۵۴۰۷۰۰) در منطقه‌ی ۳۹ سیستم مختصات جهانی متقاطع مرکاتور (UTM^۱) می‌باشد. با استفاده از نرم‌افزار جی مپ میکرو^۲، نقشه‌ی رستری در مقیاس ۱:۲۰۰۰ از این منطقه تهیه شد.

در گام بعد، با استفاده از ۱۵ نقطه‌ی کنترل زمینی واقع بر ۵ ردیف و در هر ردیف ۳ نقطه، فرایند زمین‌مرجع‌سازی^۳ نقشه انجام شد. میزان میانگین مربع خطاً برابر با ۱/۱۰ متر به دست آمد که برای استفاده در این پژوهش قابل قبول است.

با داشتن نقشه‌ی رستر از منطقه‌ی مورد نظر، فرایند رقومی‌سازی معابر جهت تولید پایگاه داده‌ی رقومی مختصات مسیرهای شبکه اجرا شد. رقومی‌سازی با استفاده از نرم‌افزار آرک جی آی اس^۵ انجام شد. با توجه به این نکته که یکی از مفروضات این تحقیق، در نظر گرفتن سمت ترافیک در معابر شبکه است، به این اطلاعات ترافیکی نیاز است. اطلاعات جهت جریان ترافیک و یک‌طرفه یا دوطرفه بودن معابر از آخرین نسخه‌ی نرم‌افزار بانک اطلاعات شهری کتاب اول استخراج شد. معابر مطابق با خط مرکزی‌شان رقومی‌سازی شدند. برای دستیابی به دقت بالاتر، دو سمت مسیرهای عریض نظیر بلوارها و بزرگراه‌ها، غیر منطبق بر هم رقومی شدند. در پایان این بخش از کار، یک شیپ فایل^۶ خطی حاوی نقشه‌ی رقومی از شبکه‌ی معابر تهیه شد.

در ادامه، در محیط نرم‌افزار آرک جی آی اس، تمام مسیرهای شبکه به قطعه‌ی مسیرهایی مستقیم تفکیک شدند به‌صورتی که هر قطعه مسیر با مختصات دو سر

۴- تناظریابی امتیاز محور

بر خلاف تناظریابی هندسی، در تناظریابی امتیاز محور اساس کار بر پایه‌ی مجموعه‌ای از ملاک‌ها (و نه صرفاً فاصله) می‌باشد. در این مقاله، ابتدا به تعیین متغیرهایی پرداخته می‌شود که می‌توانند در انجام تناظریابی بهتر، مفید واقع شوند. در ادامه، هر یک از آن متغیرها، جهت تخصیص امتیاز به یال‌های نامزد مدل‌سازی می‌شوند و برای هر کدام از آن‌ها وزنی در محاسبات در نظر گرفته می‌شود. سپس میانگین وزن‌دار متغیرهای مشارکت‌کننده در فرایند تناظریابی محاسبه شده و بر اساس آن به هر یک از یال‌های نامزد امتیازی تعلق می‌گیرد. هر یالی که حائز بیشترین امتیاز شود به‌عنوان یال قرارگیری وسیله‌ی نقلیه برای موقعیت مربوطه در نظر گرفته می‌شود.

در اینجا لازم است تا توضیح مختصری در مورد جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ی موقعیت وسیله نقلیه و نقشه رقومی منطقه داده شود. از این داده‌ها به‌عنوان ورودی الگوریتم برای ارزیابی عملکرد آن و همچنین در فرایند بهینه‌سازی وزن متغیرها استفاده شده است.

۴-۱- آماده‌سازی داده‌ها برای تأمین داده‌ی ورودی به الگوریتم

آماده‌سازی داده‌ها برای تأمین داده‌های ورودی به الگوریتم‌های تناظریابی مشتمل بر دو بخش می‌باشد:

۱- تهیه نقشه‌ی رقومی شبکه‌ی راه‌ها

۲- برداشت نقاط GPS.

۴-۱-۱- تهیه نقشه‌ی رقومی شبکه‌ی راه‌ها

برای تهیه نقشه‌ی مسیرهای واقع در شبکه، ابتدا به یک نقشه‌ی شهری رستر از منطقه‌ی مورد مطالعه نیاز است. منطقه‌ی مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شده است تا هم دربرگیرنده‌ی نواحی مرکزی با بافت متراکم از معابر باشد و هم بخشی از بافت باز بزرگراهی را شامل شود. این منطقه واقع در شهر تهران بوده و مختصات گوشه شمال غربی و جنوب شرقی آن

^۱ Universal Transverse Mercator

^۲ gMapMaker

^۳ Georeferencing

^۴ Root Mean Square Error (RMSE)

^۵ ArcGIS™

^۶ Shapefile

به گونه‌ای بود که اولاً، از لحاظ حجم داده بتواند پاسخگوی نیازهای تحقیق باشد؛ و ثانیاً، گذرنده از بافت‌های مختلف شهری باشد تا نتایج خروجی الگوریتم‌ها را به یک نوع خاص از بافت شهری محدود نکند. طراحی مسیر به طول تقریبی ۳۰ کیلومتر انجام شد که در بیش از ۶۰ نقطه از آن، گردش و تغییر مسیر در نظر گرفته شده بود. شکل (۴) نقشه‌ی مسیر طراحی شده را نشان می‌دهد.

آن قابل تشخیص باشد. سپس طول و آزمون هر قطعه مسیر محاسبه و در فیله‌های خودشان در جدول توصیفی ذخیره شدند. شکل (۳) نمایی از جدول توصیفی شبکه‌ی راه‌ها را نشان می‌دهد.

در نهایت گرافی متشکل از ۲۰۱۶ یال جهت‌دار، جهت مدل سازی شبکه‌ی معابر تولید شد.

۴-۱-۲- برداشت نقاط GPS

در این مرحله ابتدا یک مسیر جهت پیمایش وسیله‌ی نقلیه‌ی کاربر طراحی شد. طراحی مسیر

FID	Shape	OBJECTID	LinkHeadingN	LinkLenght	LinkName
1141	Polyline	1142	178.007876	60.891002	Kheradmand s
1142	Polyline	1143	178.43778	58.230144	Kheradmand s
1143	Polyline	1144	180.996314	60.863502	Kheradmand s
1144	Polyline	1145	266.0782	187.234742	18
1145	Polyline	1146	245.936739	67.225585	Soheyl
1146	Polyline	1147	258.226582	192.432055	14
1147	Polyline	1148	282.030495	26.403301	Farivar
1148	Polyline	1149	252.7185	79.802649	Farivar
1149	Polyline	1150	78.372605	168.559307	12

شکل ۳: قسمتی از جدول توصیفی شبکه‌ی راه‌ها



شکل ۴: مسیر پیموده شده برای ثبت موقعیت‌ها

در مجموع مشاهدات موقعیت وسیله نقلیه در ۳۲۴۹ نقطه با فواصل زمانی یک ثانیه صورت گرفت. این مشاهدات در دو مجموعه‌ی مستقل برای برآورد و تست کمیت‌ها در مراحل مختلف این پژوهش، جای داده شد.

اکنون با مهیا شدن داده‌ی ورودی به فرایند تناظریابی نقشه، مرحله‌ی آماده سازی داده به اتمام می‌رسد. شکل (۵) قسمتی از جدول توصیفی موقعیت‌های ثبت شده‌ی کاربر را نشان می‌دهد.

FID	Shape *	TYPE	LAT	LONG	Y_PROJ	X_PROJ	ALT	EPE	EPH	EPV	PDOP	HDOP	VDOP	SPEED	COURSE	MVAR	MDR	DATUM	DATE	TIME
2608	Point	RTMEWP	35.708793	51.420968	3951731.776274	538078.960981	1258.6	16.1	10.5	12.1	5.5	3.8	1.4	18.1496	47.4	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:45
2609	Point	RTMEWP	35.708807	51.421015	3951733.295005	538084.219627	1250.45	16.1	10.5	12.1	5.05	3.65	1.2	17.8718	66.05	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:47
2610	Point	RTMEWP	35.708812	51.421077	3951733.925897	538089.801628	1258.3	16.1	10.5	12.1	4.6	3.5	1	17.594	86.3	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:48
2611	Point	RTMEWP	35.708807	51.421144	3951733.342994	538095.866960	1258.6	16.2	10.5	12.3	4.65	3.55	1	21.761	98.55	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:49
2612	Point	RTMEWP	35.708818	51.421222	3951734.647592	538102.915464	1258.9	16.4	10.8	12.5	4.5	3.6	1	25.528	86.8	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:50
2613	Point	RTMEWP	35.708828	51.421316	3951735.786729	538111.383972	1250.75	16.4	10.6	12.5	4.8	3.6	1.2	30.095	88.15	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:51
2614	Point	RTMEWP	35.708837	51.42142	3951736.277298	538120.819594	1259.6	16.4	10.6	12.5	4.7	3.6	1.4	34.262	89.5	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:52
2615	Point	RTMEWP	35.708828	51.42153	3951736.87398	538136.794588	1258.8	16.4	10.6	12.5	4.7	3.6	1.4	34.8324	88.4	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:53
2616	Point	RTMEWP	35.708842	51.421637	3951737.470602	538140.444336	1258.6	16.4	10.6	12.5	4.7	3.6	1.4	38.0028	87.3	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:54
2617	Point	RTMEWP	35.708849	51.421745	3951738.338583	538150.194033	1250.48	16.4	10.8	12.5	4.7	3.6	1.4	35.4858	88.5	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:55
2618	Point	RTMEWP	35.708847	51.421855	3951738.186877	538166.161912	1258.3	16.4	10.6	12.5	4.7	3.6	1.4	35.9288	89.7	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:56
2619	Point	RTMEWP	35.708848	51.421981	3951738.428323	538171.545884	1249.05	15.9	8.5	12.6	4.6	3.65	1.2	37.2282	88.78	3.9	E	WGS 84	2011/04/01	04:10:57

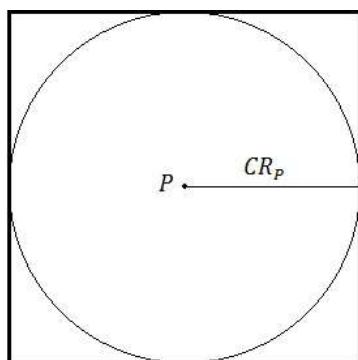
شکل ۵: قسمتی از جدول توصیفی موقعیت کاربر

محدوده‌ی اطمینان باز هم گسترش یابد. چرا که اگر وسیله نقلیه‌ای در حاشیه‌ی مسیری عریض در حال حرکت باشد احتمال دارد که محدوده‌ی اطمینان ۹۵ درصدی شامل خط مرکزی آن مسیر نشده و آن مسیر جزو مسیرهای نامزد گزینش نشود. بنابراین برای اجتناب از بروز این مشکل ۱۰ متر به شعاع جستجوی یال‌های نامزد افزوده شد. مقدار ۱۰ متر برابر با نصف عرض سواره‌روی عریض‌ترین گذر در محدوده‌ی اجرای الگوریتم است.

در نهایت با استفاده از رابطه (۲) محدوده‌ی اطمینان برای موقعیت P محاسبه می‌شود.

$$CR_P = 2/0.8 \times EPH_P + 10 \quad (2)$$

مربعی که در شکل (۶) مشاهده می‌شود نمایانگر محدوده‌ی اطمینان برای موقعیت P می‌باشد. هر قطعه مسیری که از داخل این مربع عبور کند به عنوان قطعه مسیر نامزد برای موقعیت P شناخته می‌شود.



شکل ۶: محدوده‌ی اطمینان برای موقعیت P

۴-۲- ساز و کار گزینش یال‌های نامزد

مطابق شکل (۶)، برای هر نقطه‌ی تعیین موقعیت شده، با توجه به دقت مشخص شده توسط گیرنده‌ی GPS، یک محدوده‌ی اطمینانی مشخص شده و سپس هر قطعه مسیری که از درون آن محدوده عبور کند به عنوان قطعه مسیر نامزد شناخته می‌شود. برای سادگی کار، در این تحقیق محدوده‌ی اطمینان به شکل مربع در نظر گرفته شده است. در خروجی داده‌ی گیرنده‌ی GPS مورد استفاده^۱، فیلدی به‌عنوان خطای مسطحاتی موقعیت (EPH^۲) وجود دارد که شاخصی برای بیان میزان خطای افقی در تعیین موقعیت کاربر می‌باشد. مقادیر EPH برای نقاط بر مبنای دایره احتمالاتی خطا (CEP^۳) محاسبه شده است. طبق تعریف، CEP شعاع دایره‌ای به مرکزیت میانگین مشاهدات است که احتمال حضور هر مشاهده درون آن ۵۰ درصد باشد [۱۸]. پس فرض بر این است که مقادیر EPH تعریف کننده محدوده‌ی اطمینان ۵۰ درصدی هستند. برای ارتقای سطح اطمینان لازم است مقادیر EPH در یک ضریب گسترش^۴ ضرب شوند. با در نظر گرفتن عدد ۲/۰.۸ به‌عنوان ضریب گسترش و ضرب آن در EPH نقاط، محدوده‌ی اطمینان ۹۵ درصدی برای هر نقطه تعریف می‌گردد [۱۹]. همچنین از آنجا که مسیرها از روی خط مرکزیشان رقومی‌سازی شده‌اند، لازم است

¹ GARMIN eTrex Vista®

² Horizontal Position Error

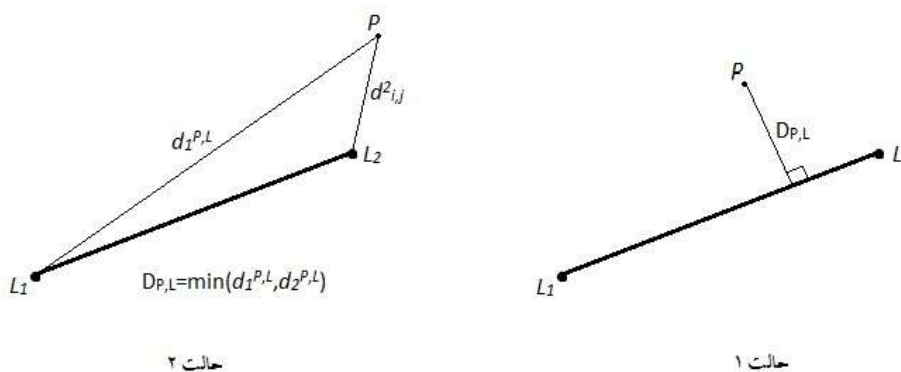
³ Circular Error Probable

⁴ Expansion Factor

۳-۴ - تناظر یابی بر مبنای فاصله

با مشخص شدن قطعه مسیره‌های نامزد برای موقعیت کاربر، نوبت به محاسبه‌ی فاصله بین موقعیت کاربر و

تک تک قطعه مسیره‌های نامزد می‌رسد. نحوه‌ی محاسبه‌ی فاصله، بسته به موقعیت به دو صورت است. شکل (۷) این دو حالت را نمایش می‌دهد.



شکل ۷: محاسبه‌ی فاصله‌ی موقعیت کاربر تا یال نامزد در حالات مختلف

حالت اول زمانی رخ می‌دهد که تصویر قائم موقعیت کاربر روی یال متناظر با مسیر، بین دو گره‌ی ابتدایی و انتهایی آن واقع می‌شود. در این حالت مختصات محل تصویر قائم از روابط (۳) و (۴) قابل محاسبه است.

حالت دوم زمانی است که تصویر قائم موقعیت کاربر روی یال متناظر با مسیر، خارج از دو گره‌ی ابتدایی و انتهایی آن واقع می‌شود. مطابق با رابطه (۶)، اندازه‌گیری شده و کمینه‌ی این دو فاصله به‌عنوان فاصله‌ی یال نامزد تا موقعیت کاربر در نظر گرفته می‌شود ($D_{p,L}$).

مختصات تصویر قائم نقطه‌ی P به روی یال L می‌باشند. مختصات تصویر قائم نقطه‌ی P به روی یال L می‌باشند. مختصات تصویر قائم نقطه‌ی P به روی یال L می‌باشند.

$$x_{prj}^{p,L} = \frac{x_p + x_1^L \times \left(\frac{y_p - y_1^L}{x_2^L - x_1^L} \right)^2 + \frac{(y_p - y_1^L) \times (x_2^L - x_1^L)}{x_2^L - x_1^L}}{\left(\frac{y_p - y_1^L}{x_2^L - x_1^L} \right)^2 + 1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$y_{prj}^{p,L} = \frac{(x_2^L - x_1^L) \times (x_p - x_{prj}^{p,L})}{y_2^L - y_1^L} + y_p \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این روابط

x_p و y_p ، مختصات نقطه‌ی P (موقعیت کاربر)،

$x_1^L, y_1^L, x_2^L, y_2^L$ به ترتیب مختصات گره ابتدایی و انتهایی یال L، و

$$D_{p,L} = \sqrt{(x_p - x_{prj}^{p,L})^2 + (y_p - y_{prj}^{p,L})^2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

رابطه (۶)

$$D_{p,L} = \min \left(d_1^{p,L}, d_2^{p,L} \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$d_1^{p,L} = \sqrt{(x_p - x_{L_1})^2 + (y_p - y_{L_1})^2}$$

$$d_2^{p,L} = \sqrt{(x_p - x_{L_2})^2 + (y_p - y_{L_2})^2}$$

۴-۴- مدل سازی متغیر همسویی

هرچه سمت حرکت وسیله‌ی نقلیه به جهت و سمت یک مسیر نزدیک‌تر باشد، احتمال واقع شدن وسیله‌ی نقلیه روی آن مسیر بیشتر است و بالعکس. پس لازم است ابتدا اختلاف بین آزمون‌های حرکت وسیله‌ی نقلیه و آزمون‌های تک تک یال‌های نامزد محاسبه شده و سپس بر اساس مدلی به آن امتیاز داده شود. اختلاف آزمون‌ها با استفاده از رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$\Delta\alpha = \alpha_i^P - \alpha_j^L$$

$$\Delta\alpha_{P_iL_j} = \begin{cases} \Delta\alpha & \text{اگر } -180 \leq \Delta\alpha \leq 180 \\ 360 - \Delta\alpha & \text{اگر } 180 < \Delta\alpha \\ 360 + \Delta\alpha & \text{اگر } \Delta\alpha < -180 \end{cases} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$\Delta\alpha_{P_iL_j}$ اختلاف بین آزمون‌های حرکت وسیله‌ی نقلیه در نقطه‌ی i و آزمون‌های j می‌باشد.

حال در این مرحله به ارائه‌ی مدلی جهت تخصیص امتیاز به متغیر همسویی نیاز است. برای امتیاز دهی به این متغیر رابطه (۸) در نظر گرفته شده است که در آن $HCS_{L_j}^{P_i}$ امتیاز مورد نظر می‌باشد.

$$HCS_{L_j}^{P_i} = \begin{cases} 1 - \sin |\Delta\alpha_{P_iL_j}| & \text{اگر } |\Delta\alpha_{P_iL_j}| \leq 90 \\ \sin |\Delta\alpha_{P_iL_j}| - 1 & \text{اگر } |\Delta\alpha_{P_iL_j}| > 90 \end{cases} \quad \text{رابطه (۸)}$$

مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا با انجام یک فرایند بهینه‌سازی و تست نتایج آن، تابعی برای محاسبه‌ی امتیاز متغیر فاصله در نظر گرفت. مدلی که در اینجا پیشنهاد می‌شود یک تابع خطی مطابق با شکل (۸) می‌باشد. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، مقادیر پارامترهای X_0 و X_1 ، فرم نهایی و معادله‌ی ریاضی تخصیص امتیاز را

بدین ترتیب فاصله‌ی نقطه‌ی موقعیت کاربر با همه‌ی یال‌های نامزد سنجیده شده و در آخر یالی که کمترین فاصله را با موقعیت کاربر داشته باشد به‌عنوان یال وقوع کاربر شناخته می‌شود.

عملکرد این الگوریتم با اجرا روی داده‌ی نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج حاکی از صحت تناظریابی در ۸۷/۴ درصد از موارد می‌باشد.

که در این رابطه

i و j به ترتیب شماره‌ی موقعیت GPS کاربر و شماره‌ی یال،

$\Delta\alpha$ متغیری کمکی جهت محاسبه‌ی اختلاف آزمون‌های

α_i^P آزمون‌های حرکت وسیله‌ی نقلیه در نقطه‌ی i ،

α_j^L آزمون‌های یال j ، و

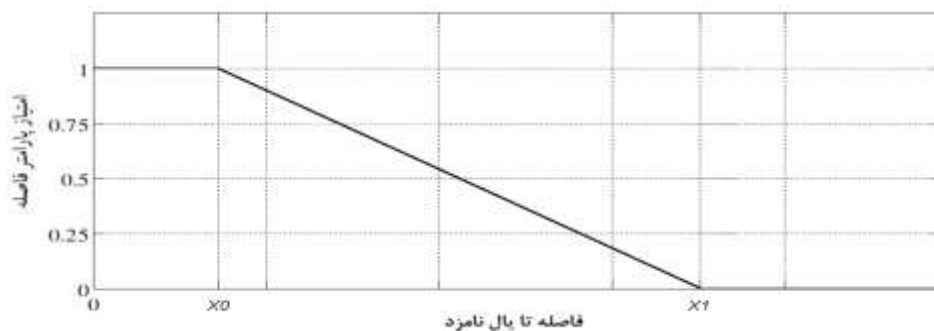
۴-۵- مدل سازی متغیر فاصله

از آنجا که متغیر همسویی از جنس زاویه و متغیر فاصله از جنس طول است لذا با هم قابل جمع و برآیندگیری نیستند. برای استفاده‌ی توأمان از این دو متغیر در الگوریتم تناظریابی، نیاز است که برای متغیر فاصله نیز مدلی جهت تخصیص امتیاز منظور شود. می‌توان بر اساس دقت گیرنده‌ی GPS که

انجام شد. ۱- وزن متغیر همسویی ۲- پارامتر X_0 ۳- پارامتر X_1 . در هر بار تکرار اجرای الگوریتم، مقادیر این پارامترها به تدریج تغییر می‌کند و نتایج حاصل در محل مربوطه در یک ماتریس سه بعدی ثبت می‌شود. در پایان مشاهده شد که بهترین نتیجه تناظریابی زمانی حاصل می‌شود که متغیر همسویی با وزن $0/5$ در محاسبات شرکت می‌کند و مقادیر X_0 و X_1 به ترتیب ۲ متر و ۵۰ متر هستند. تست الگوریتم تحت این شرایط، منتج به کسب $94/7$ درصد تناظریابی صحیح برای نقاط شد. رشد چشمگیر میزان تناظریابی صحیح در این حالت نسبت به حالتی که الگوریتم صرفاً فاصله نقاط با یال‌ها را مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌داد نشان از اهمیت بسیار زیاد لحاظ کردن سمت حرکت وسیله نقلیه در فرایند تناظریابی دارد.

مشخص می‌کنند. X_0 برابر با بیشترین فاصله قابل قبول بین موقعیت مشاهده شده وسیله نقلیه و یال نامزد است تا به یال نامزد امتیاز کامل متغیر فاصله داده شود. همچنین X_1 مقداری است که برای فواصل بیشتر از آن به یال نامزد امتیازی تعلق نمی‌گیرد.

فرایند بهینه‌سازی به این صورت انجام شد که عمل تناظریابی بر اساس دو متغیر فاصله و همسویی، به دفعات و بر اساس نمو تدریجی مقادیر X_0 و X_1 بر روی داده‌ی نمونه اجرا شد. برای محاسبه‌ی امتیاز برآیند یال‌ها، از روش میانگین‌گیری وزن دار بین متغیرها استفاده شد. بدین صورت که وزن متغیر فاصله، ثابت و برابر ۱ فرض شد. وزن متغیر همسویی در بازه‌ی ۰ تا ۲ با گام‌های $0/1$ تغییر داده شد. در واقع فرایند بهینه‌سازی بصورت توأم برای سه کمیت



شکل ۸: نمودار محاسبه‌ی امتیاز برای متغیر فاصله

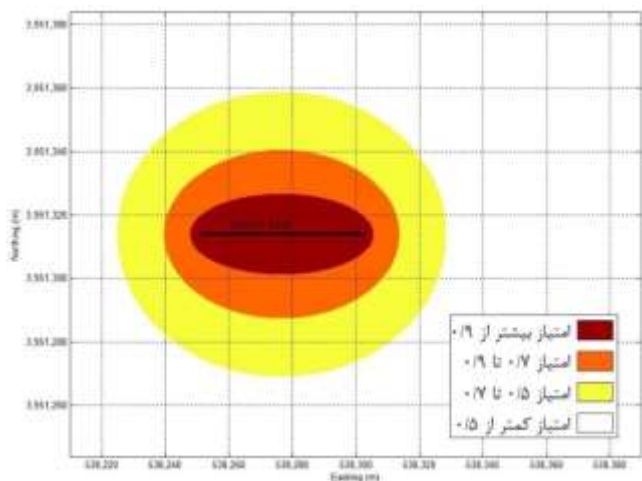
رابطه (۹) نحوه‌ی محاسبه‌ی امتیاز متغیر فاصله را به فرم ریاضی نشان می‌دهد.

$$DS_{L_j}^{P_i} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } D_{P_i, L_j} \leq 2m \\ \frac{-D_{P_i, L_j} + 50}{48} & \text{اگر } 2m < D_{P_i, L_j} \leq 50m \\ 0 & \text{اگر } 50m < D_{P_i, L_j} \end{cases} \quad \text{رابطه (۹)}$$

۴-۶- مدل‌سازی متغیر موقعیت نسبی

متغیر موقعیت نسبی، همان‌گونه که از نام آن مشخص است، معیاری جهت امتیازدهی به یال نامزد بر اساس نحوه‌ی قرارگیری نسبت به موقعیت کاربر می‌باشد.

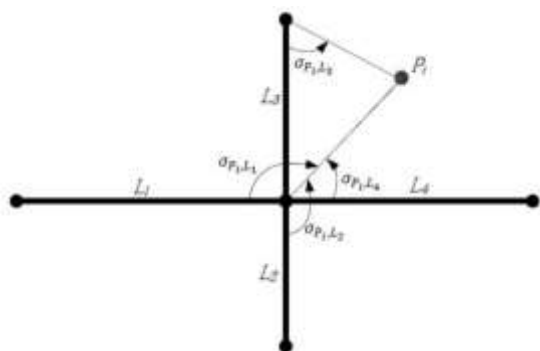
که در این رابطه، D_{P_i, L_j} فاصله‌ی موقعیت P_i از یال L_j و $DS_{L_j}^{P_i}$ امتیاز متغیر فاصله برای یال L_j در ارتباط با موقعیت P_i می‌باشد.



شکل ۹: تخصیص امتیاز به متغیر موقعیت نسبی به روش نسبت‌های طولی

۴-۶-۲- مدل 'زاویه‌ی انحراف' در محاسبه‌ی امتیاز متغیر موقعیت نسبی

در این روش ابتدا خطی از موقعیت کاربر به گره‌ی نزدیک‌تر یال نامزد رسم می‌شود. از تماس این خط با یال مورد نظر زاویه‌ی σ ایجاد می‌شود که اندازه‌ی آن کوچک‌تر یا مساوی 180° درجه می‌باشد. امتیازدهی با توجه به زاویه‌ی سیگما صورت می‌گیرد. اگر بزرگی این زاویه کمتر از 90° درجه باشد امتیاز کامل (یک) به متغیر موقعیت نسبی تعلق می‌گیرد. در غیر این صورت امتیاز متغیر موقعیت نسبی برابر با سینوس زاویه‌ی سیگما خواهد بود. شکل (۱۰) زاویه‌ی سیگما را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: زاویه‌ی سیگما

ممکن است موقعیت وسیله‌ی نقلیه به یالی در شبکه نزدیک باشد و سمت حرکتش نیز با آن مطابقت داشته باشد ولی موقعیتش نسبت به آن یال به‌صورتی باشد که احتمال وقوعش روی آن یال را کم کند. در این بخش ابتدا چهار مدل مختلف برای سنجش و امتیاز دهی به متغیر موقعیت نسبی ارائه می‌شود. سپس هر یک در الگوریتم تناظریابی به‌کار گرفته می‌شوند و نتایج آن‌ها با هم مقایسه شده و مشخص می‌شود که کدامیک بهبود بیشتری در نتایج تناظریابی ایجاد می‌کند.

۴-۶-۱- مدل 'نسبت‌های طولی' در محاسبه‌ی امتیاز متغیر موقعیت نسبی

در این روش ابتدا فاصله‌ی موقعیت کاربر تا دو سر یال نامزد محاسبه می‌شود. سپس با تقسیم طول یال مورد نظر بر مجموع این فواصل، امتیاز متغیر موقعیت نسبی به‌دست می‌آید. رابطه (۱۰)، بیان ریاضی این مدل را نشان می‌دهد.

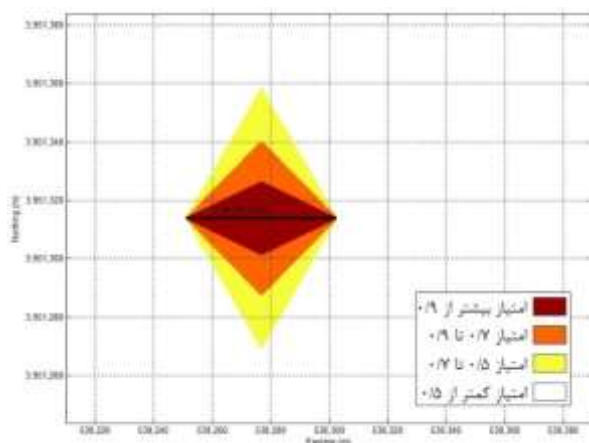
$$RPS_{L_j}^{P_i} = \frac{len_{L_j}}{d_1^{P_i L_j} + d_2^{P_i L_j}} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در این رابطه، len_{L_j} طول یال L_j و $d_1^{P_i L_j}$ و $d_2^{P_i L_j}$ فواصل نقطه‌ی موقعیت P تا دو سر یال L_j می‌باشند.

شکل (۹) با منظور کردن چهار بازه برای امتیاز، نحوه‌ی تخصیص امتیاز به متغیر موقعیت نسبی به روش نسبت‌های طولی را برای مناطق اطراف یک یال نمونه نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار می‌رود، هر چه فاصله از یال بیشتر می‌شود و یا انحراف از دو سر یال افزایش پیدا می‌کند، میزان امتیاز موقعیت نسبی کاهش می‌یابد. امتیاز کامل (یک) فقط در حالتی که موقعیت کاربر دقیقاً روی یال است به آن یال تعلق می‌گیرد. کم‌ترین امتیاز برابر با صفر است ولی هیچ‌گاه حاصل نمی‌شود (زیرا طول هیچ یالی صفر نیست).

زاویه‌ی سیگما محاسبه می‌شود (شکل (۱۰)). می‌توان گفت که زاویه‌ی سیگما زاویه‌ی حامل بین خط واصل موقعیت کاربر و گره‌ی نزدیک یال نامزد، و یال نامزد است. از رابطه (۱۲) امتیاز کسب شده توسط یال مورد نظر برای متغیر موقعیت نسبی در ارتباط با موقعیت کاربر محاسبه می‌شود.

$$RPS_{L_j}^{P_i} = \cos \sigma_{P_i L_j} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$



شکل ۱۲: تخصیص امتیاز به متغیر موقعیت نسبی به روش زاویه‌ی حامل

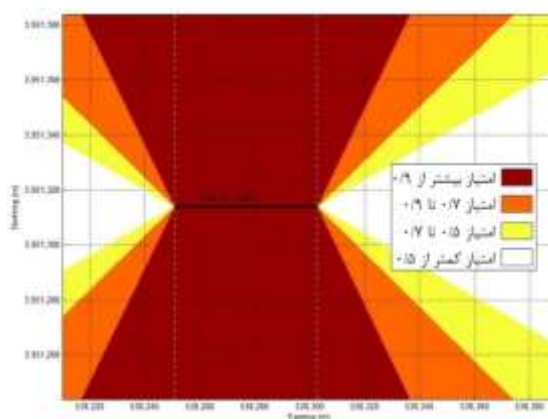
مناطق مختلف امتیاز موقعیت نسبی به روش زاویه‌ی حامل به یال نمونه در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که نواحی هم‌امتیاز در این روش بسته‌تر و کوچک‌تر است. به عبارتی دیگر، امتیاز دهی به متغیر موقعیت نسبی در مدل زاویه‌ی حامل سختگیرانه‌تر از دو مدل معرفی شده‌ی قبلی می‌باشد. نکته‌ی دیگر در رابطه با مدل زاویه‌ی حامل این است که در این روش بر خلاف دو روش پیش‌تر معرفی شده، احتمال کسب امتیاز منفی هم برای یال‌ها وجود دارد. به عبارت دیگر از آنجایی که زاویه‌ی سیگما بین ۰ تا ۱۸۰ درجه است، پس کسینوس آن که تعیین‌کننده‌ی امتیاز موقعیت نسبی است بین ۱ تا -۱ در تغییر است. در حالی که در دو روش قبلی، امتیاز موقعیت نسبی در بازه‌ی ۰ تا ۱ قرار داشت. امتیاز ۱ فقط در حالتی که موقعیت کاربر

در شکل (۱۰) امتیاز متغیر موقعیت نسبی برای یال‌های L_3 و L_4 برابر با ۱ و برای یال‌های L_1 و L_2 برابر با سینوس زوایای سیگمای مربوطه می‌باشد. مطابق با این توضیحات، امتیاز متغیر موقعیت نسبی یال‌های نامزد در روش زاویه‌ی انحراف از رابطه (۱۱) قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه (۱۱)}$$

$$RPS_{L_j}^{P_i} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } \sigma_{P_i L_j} < 90 \\ \sin \sigma_{P_i L_j} & \text{اگر } \sigma_{P_i L_j} \geq 90 \end{cases}$$

شکل (۱۱) محدوده‌ی اطراف یال نشان داده شده در شکل (۹) را بر اساس امتیاز موقعیت نسبی به روش زاویه‌ی انحراف، به چهار منطقه افراز می‌کند. مطابق این شکل، مناطق واقع در بین خط‌چین‌ها مناطقی با امتیاز موقعیت نسبی کامل هستند. در این روش کم‌ترین امتیاز برای موقعیت نسبی برابر با صفر است و زمانی یک یال حائز این امتیاز می‌شود که امتدادش از موقعیت کاربر عبور کند.

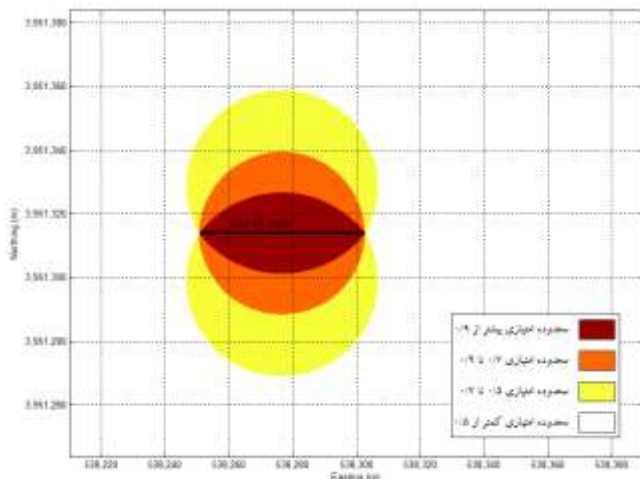


شکل ۱۱: تخصیص امتیاز به متغیر موقعیت نسبی به روش زاویه‌ی انحراف

۴-۶-۳- مدل 'زاویه‌ی حامل' در محاسبه‌ی امتیاز متغیر موقعیت نسبی

روش پیشنهادی دیگر در محاسبه‌ی متغیر موقعیت نسبی، روش زاویه‌ی حامل است. این روش شبیه به روش قبل است. در این روش هم ابتدا اندازه‌ی

انتهایی قرار داشته باشد (همانند مدل 'زاویه‌ی انحراف'). در شکل (۱۴)، محدوده‌های مختلف امتیاز متغیر موقعیت نسبی به روش زاویه‌ی مقابل به یال نمونه نشان داده شده است.



شکل ۱۴: تخصیص امتیاز به متغیر موقعیت نسبی به روش زاویه‌ی مقابل

۷-۴- محاسبه امتیاز کل

بعد از مشخص شدن امتیازات تخصیص داده شده به متغیرهای سه‌گانه برای هر یال نامزد، باید با استفاده از رابطه‌ای به جمع‌بندی امتیازات و محاسبه‌ی امتیاز کل برای هر یال پرداخت. برای این منظور از رابطه (۱۴) استفاده می‌شود. این رابطه با محاسبه میانگین وزن دار امتیاز متغیرها، امتیاز نهایی هر یال که مبنای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب یال حرکت وسیله نقلیه است، را محاسبه می‌کند.

رابطه (۱۴)

$$TS_{L_j}^{P_i} = \frac{W_D \times DS_{L_j}^{P_i} + W_{HC} \times HCS_{L_j}^{P_i} + W_{RP} \times RPS_{L_j}^{P_i}}{W_D + W_{HC} + W_{RP}}$$

که در این رابطه

i و j به ترتیب شماره‌ی موقعیت کاربر و شماره‌ی یال نامزد، $DS_{L_j}^{P_i}$ امتیاز متغیر فاصله برای یال j در مورد موقعیت i ، $HCS_{L_j}^{P_i}$ امتیاز متغیر همسویی یال j در مورد موقعیت i ، $RPS_{L_j}^{P_i}$ امتیاز متغیر موقعیت نسبی برای

دقیقاً روی یال مورد نظر است حاصل می‌شود. امتیاز ۱- زمانی کسب می‌شود که موقعیت کاربر در امتداد یال ولی خارج از آن واقع شده باشد.

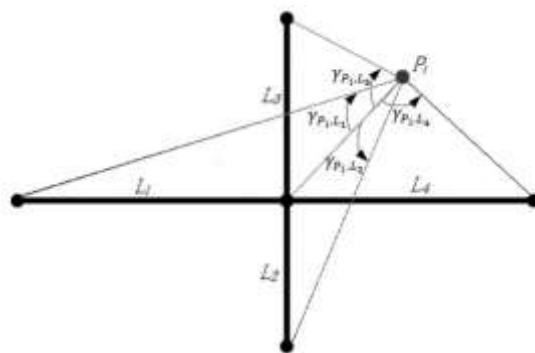
۴-۶-۴- مدل 'زاویه‌ی مقابل' در محاسبه‌ی

امتیاز متغیر موقعیت نسبی

بر اساس این مدل، دو پاره خط از موقعیت وسیله‌ی نقلیه به دو گره ابتدایی و انتهایی یال نامزد در نظر گرفته می‌شود. زاویه‌ی بین این دو پاره خط که بزرگی آن کوچک‌تر یا مساوی با 180° درجه است، زاویه‌ی گاما (γ) نامیده می‌شود (شکل (۱۳)). بزرگی این زاویه اساس امتیاز دهی به متغیر موقعیت نسبی در روش زاویه‌ی مقابل است. مطابق با رابطه (۱۳) امتیاز دهی صورت می‌گیرد.

$$RPS_{L_j}^{P_i} = \sin\left(\frac{\gamma_{P_i, L_j}}{2}\right) \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در این رابطه γ_{P_i, L_i} زاویه‌ی گاما برای یال نامزد j در برابر موقعیت وسیله‌ی نقلیه در نقطه‌ی i می‌باشد.



شکل ۱۳: زاویه‌ی گاما

امتیاز موقعیت نسبی در این روش بین ۰ و ۱ قرار می‌گیرد. همانند دو روش 'نسبت‌های طولی' و 'زاویه‌ی حامل'، امتیاز کامل برای متغیر موقعیت نسبی تنها زمانی حاصل می‌شود که موقعیت وسیله‌ی نقلیه دقیقاً روی یال مورد نظر قرار داشته باشد. امتیاز صفر تنها در حالتی به یال تعلق می‌گیرد که محل کاربر روی خط گذرنده از یال و در خارج از گره‌های ابتدایی و

با بررسی این جداول می‌توان نتایج تناظریابی با وزن‌های مختلف متغیرها را مورد بررسی قرار داد و وزن‌های بهینه‌ی متغیرها را شناسایی کرد. همچنین با مقایسه نتایج حاصل از استفاده از فرم‌های چهار گانه‌ی مدل‌سازی متغیر موقعیت نسبی، می‌توان فرمی که منجر به حصول بهترین نتیجه می‌شود را شناسایی کرد. شایان ذکر است که در این تحقیق مبنای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها، نسبت شناسایی صحیح مسیر قرارگیری وسیله‌ی نقلیه به تعداد کل تناظریابی‌های انجام شده می‌باشد.

جدول (۱) قسمتی از نتایج بهینه‌سازی وزن متغیرهای همسویی و موقعیت نسبی به روش زاویه حامل را نشان می‌دهد.

خلاصه‌ای از نتایج حاصله از اجرای الگوریتم‌های مختلف و مشخصات مربوط به هر الگوریتم در جدول (۲) نمایش داده شده است.

همان‌طور که از جدول (۲) مشخص است ورود متغیر همسویی به فرایند تناظریابی به نحو چشمگیری به کیفیت انجام تناظریابی می‌افزاید. زیرا نسبت شناسایی مسیر صحیح وقوع وسیله‌ی نقلیه را از ۸۷/۴ درصد به ۹۴/۷ درصد ارتقا داده است. این مسئله نشان از اهمیت زیاد این متغیر در تناظریابی دارد. همچنین ملاحظه می‌شود که وارد نمودن متغیر موقعیت نسبی در انجام محاسبات، در تمام چهار فرم از مدل‌سازی که در این پژوهش انجام شد، سبب بهبود در نتایج تناظریابی شده است. ولیکن نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین فرم مدل‌سازی امتیاز این متغیر، فرم زاویه‌ی مقابل می‌باشد.

یال زدر مورد موقعیت i و W_{RP} ، W_D و W_{HC} به ترتیب وزن متغیرهای فاصله، همسویی، و موقعیت نسبی برای شرکت در محاسبه‌ی امتیاز کل به یال، و $TS_{L_j}^{Pi}$ امتیاز کل محاسبه شده برای یال زدر مورد موقعیت i می‌باشد.

پس از محاسبه‌ی امتیاز کل برای تمام یال‌های نامزد موقعیت i ، تصویر قائم این موقعیت روی یالی که حائز بیشترین امتیاز شده است به‌عنوان مکان وسیله‌ی نقلیه منظور و آن یال به‌عنوان مسیر حرکت وسیله‌ی نقلیه انتخاب می‌گردد. لازم به توضیح است که در حالتی که تصویر قائم موقعیت i روی یال قرار ندارد، گره‌ی نزدیک‌تر یال به موقعیت i به‌عنوان مکان وسیله‌ی نقلیه در نظر گرفته می‌شود (نظیر حالت ۲ در شکل (۷)).

۴-۸- تست الگوریتم‌ها و بررسی نتایج

در این تحقیق وزن متغیرها به صورت پیش فرض مساوی با هم در نظر گرفته نشده‌اند. در نتیجه برای محاسبه‌ی مقادیر بهینه برای وزن متغیرها، یک فرایند بهینه‌سازی در مورد الگوریتم‌ها اجرا شد. در روندهای بهینه‌سازی، وزن متغیر فاصله ثابت و برابر با ۱ منظور شد. سپس وزن‌های دو متغیر دیگر در بازه ۰ تا ۴ با گام‌های ۰/۲ رشد داده شد. در هر گام وزن‌های مربوطه برای متغیرها در رابطه (۱۴) جایگذاری و بر روی دو مجموعه داده موقعیت وسیله نقلیه اعمال و از نظر سازگاری در نتیجه‌ی حاصل شده کنترل شد. نتایج عملکرد الگوریتم تناظریابی در جداول مشابه جدول (۱) ثبت گردید.

جدول ۱: درصد شناسایی صحیح مسیر به ازای مقادیر مختلف برای WRP و WHC

WRP \ WHC	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱/۰	۱/۲
۰/۰	۹۴/۷	۹۴/۶	۴/۵	۹۴/۲	۹۴/۱
۰/۲	۹۴/۶	۹۵/۲	۹۵/۰	۹۴/۹	۹۴/۸
۰/۴	۹۳/۳	۹۴/۵	۹۵/۲	۹۵/۱	۹۵/۰
۰/۶	۹۲/۳	۹۳/۷	۹۴/۷	۹۴/۹	۹۵/۱
۰/۸	۹۱/۸	۹۳/۰	۹۴/۰	۹۴/۷	۹۴/۹
۱/۰	۹۱/۴	۹۲/۳	۹۳/۴	۹۴/۱	۹۴/۶
۱/۲	۹۰/۸	۹۱/۹	۹۲/۹	۹۳/۷	۹۴/۱
۱/۴	۹۰/۳	۹۱/۷	۹۲/۵	۹۳/۲	۹۳/۶

جدول ۲: خصوصیات و نتایج الگوریتم‌های تست شده

میزان شناسایی صحیح یال (درصد)	مدل موقعیت نسبی استفاده شده	وزن متغیر موقعیت نسبی (بهینه شده)	وزن متغیر همسویی (بهینه شده)	وزن متغیر فاصله
۸۷/۴	-	-	-	۱/۰
۹۴/۷	-	-	۰/۵	۱/۰
۹۵/۱	نسبت‌های طولی	۱/۰	۰/۸	۱/۰
۹۵/۲	زاویه‌ی انحراف	۳/۴	۰/۸	۱/۰
۹۵/۳	زاویه‌ی حامل	۰/۴	۰/۹	۱/۰
۹۵/۵	زاویه‌ی مقابل	۱/۰	۱/۰	۱/۰

سریع‌تر باشد، وزن نسبی بهینه‌ی آن برای شرکت در محاسبات تناظریابی کاهش می‌یابد؛ و بالعکس.

جدول (۳) به اختصار نتایج عملکرد الگوریتم‌های تناظریابی توسعه داده شده در مطالعه‌ی حاضر و چهار مطالعه‌ی دیگر را نمایش می‌دهد. مشخصات داده‌های موقعیتی و نقشه‌ی مورد استفاده، حسگر ناوبری مورد استفاده، و منطقه پیاده‌سازی و تست الگوریتم از دیگر موارد مندرج در این جدول هستند.

مشاهده می‌شود که بهترین عملکرد در میان پنج الگوریتم مندرج در این جدول به الگوریتم تناظریابی این مطالعه تعلق دارد. مطالعه‌ی دیگری که نتیجه‌ای نزدیک به این مقاله را به‌دست آورده است مربوط به

نکته‌ی قابل توجه دیگر این است که وزن بهینه‌ی متغیرها نسبت به یکدیگر نمی‌تواند گویای میزان اهمیت آن‌ها نسبت به هم باشد. چرا که مثلاً در زمانی که از مدل زاویه‌ی انحراف در تخصیص امتیاز موقعیت نسبی استفاده می‌شود، نسبت وزن متغیر موقعیت نسبی به وزن متغیر همسویی بیشتر از ۴ به ۱ است. در حالی که این نسبت در زمان استفاده از مدل زاویه‌ی حامل به کم‌تر از ۱ به ۲ تقلیل می‌یابد. در واقع می‌توان گفت که وزن بهینه‌ی متغیرها نسبت به یکدیگر، تابعی از چگونگی توزیع و پراکندگی امتیاز در مدل امتیازدهی مورد استفاده است. ملاحظه می‌شود که هرچه روند تغییرات امتیاز متغیر موقعیت نسبی بر اساس مدلی در مناطق مجاور

قدوس و دستیارانش [۲۱] برای مشاهده‌ی موقعیت وسیله‌ی نقلیه از ترکیب GPS و DR بهره برده‌اند. استفاده از GPS در کنار DR این مزیت عمده را به‌همراه دارد که در مناطقی که سیگنال GPS با محدودیت در دریافت مواجه است (مثل تونل‌ها) می‌توان به وسیله‌ی DR همچنان به مشاهده موقعیت کاربر ادامه داد. پژوهش قدوس و همکارانش نیز در ۸۸/۶ درصد موارد تناظریابی موفق بوده است.

با بررسی و مقایسه‌ی این نتایج می‌توان عملکرد الگوریتم تناظریابی پژوهش حاضر را قابل قبول ارزیابی کرد.

تحقیق بلازکوئز و ون دروهه [۲۰] می‌شود. الگوریتم حاصل از آن مطالعه در ۹۴/۸ درصد موارد تناظریابی در شناسایی مسیر حرکت وسیله نقلیه موفق عمل کرده است. لیکن باید توجه داشت که حسگر ناوبری مورد استفاده برای تعیین موقعیت وسیله‌ی نقلیه در آن مطالعه GPS تفاضلی بوده است. حسگر ناوبری استفاده شده در این مقاله گیرنده‌ی GPS است. در پژوهش وایت و همکارانش [۳] و گرینفلد [۹] نیز تنها از GPS برای تعیین موقعیت کاربر استفاده شده است. این دو پژوهش که در میزان شناسایی مسیرهای صحیح کمابیش یکسان عمل کرده‌اند در کمتر از ۸۶ درصد موارد موفق بوده‌اند.

جدول ۳: مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم تناظریابی این مقاله و مطالعات سایرین

مطالعه	حسگر ناوبری	محیط آزمایش	مقیاس نقشه	حجم داده‌ی نمونه	اطلاعات مورد استفاده	درصد شناسایی
وایت و دیگران [۳]	GPS	حومه‌ی شهر	-	۱۲۰۰ متر	جهت، فاصله، اتصال یال‌ها	۸۵/۸
بلازکوئز و ون دروهه [۲۰]	DGPS ^۱	شهر و حومه‌ی شهر	۱:۲۴۰۰	۶۰۰ نقطه‌ی DGPS	اتصال یال‌ها، محدودیت گردش	۹۴/۸
گرینفلد [۹]	GPS	شهر و حومه‌ی شهر	-	-	جهت، فاصله، زاویه‌ی تقاطع	۸۵/۶
قدوس و دیگران [۲۱]	GPS و DR ^۲	شهر	۱:۱۲۵۰	-	جهت، فاصله، موقعیت نسبی	۸۸/۶
مطالعه‌ی حاضر	GPS	شهر (بزرگراه و خیابان)	۱:۲۰۰۰	3249 نقطه‌ی GPS	جهت، فاصله، موقعیت نسبی، یال‌های جهت‌دار	۹۵/۵

^۱ Differential Global Positioning System

^۲ Dead Reckoning

۵- نتیجه‌گیری

پیچیدگی نسبتاً یکسانی در محاسبات تناظریابی داشتند، برتری نسبی نتایج الگوریتم توسعه داده شده در این تحقیق مشخص می‌شود.

با توجه به ساده و ارزان بودن ابزار تعیین موقعیت استفاده شده در این مطالعه (یک دستگاه GPS دستی) و سرعت بالای الگوریتم توسعه داده شده و همچنین کیفیت قابل قبول تناظریابی، با ۹۵/۵ درصد شناسایی صحیح مسیرهای حرکت وسیله نقلیه، این الگوریتم می‌تواند به تنهایی یا به‌عنوان بخشی از یک الگوریتم تناظریابی دیگر (مثلاً در مرحله تناظریابی اولیه) مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهاد می‌شود برای ارتقای عملکرد تناظریابی، توپولوژی و اتصالات راه‌های شبکه نیز به‌عنوان اطلاعات ورودی به الگوریتم تناظریابی مورد استفاده قرار گیرد تا از بروز پرش‌های احتمالی بین مسیرها جلوگیری به‌عمل آید.

این مقاله پس از مرور بر انواع الگوریتم‌های تناظریابی هندسی، به توسعه‌ی یک الگوریتم تناظریابی امتیاز محور، بر اساس سه متغیر فاصله، همسویی، و موقعیت نسبی می‌پردازد. برای حصول نتایج بهتر، پیش فرضی برای تساوی اوزان متغیرهای شرکت کننده در محاسبات تناظریابی وجود ندارد؛ بلکه وزن متغیرها طی فرایندهای بهینه‌سازی محاسبه شده‌اند. در ادامه چهار فرم مختلف برای مدل‌سازی متغیر موقعیت نسبی پیشنهاد شده و نتایج به‌کارگیری هر یک در فرایند تناظریابی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مشاهده می‌شود که استفاده از فرم 'زاویه‌ی مقابل' در محاسبه و تخصیص امتیاز به متغیر موقعیت نسبی، منجر به ارتقای بیشتر در کیفیت تناظریابی الگوریتم امتیاز محور معرفی شده، می‌شود. بعلاوه، با مقایسه‌ی نتایج حاصل از الگوریتم تناظریابی معرفی شده با الگوریتم‌های ارائه شده توسط محققان دیگر، که

مراجع

- [1] Ochieng, W.Y., M.A. Quddus, and R.B. Noland, "Map matching in complex urban road networks", *Revista Brasileira de Cartografia*, 55, 1-18, 2004.
- [2] Rerrer, U. and O. Kao, "Suitability of Positioning Techniques for Location-based Services in wireless LANs". presented at the International Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), Hannover, 2005.
- [3] White, C.E., D. Bernstein, and A.L. Kornhauser, "Some map matching algorithms for personal navigation assistants", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 8(1), 91-108, 2000.
- [4] Dewandaru, A., A.M. Said, and A.N. Matori. "A novel map-matching algorithm to improve vehicle tracking system accuracy", presented at the ICIAS 2007, Kuala Lumpur, 2007.
- [5] Quddus, M.A., "High integrity map matching algorithms for advanced transport telematics applications", Thesis (Ph.D.), Imperial College London, 2006.
- [6] Bernstein, D., and Kornhauser, A., "Map matching for personal navigation assistants", presented at the 77th annual meeting of the Transportation Research Board,
- [7] Washington D.C., 1998.
- [8] Scott, C.A., "Improved GPS positioning for motor vehicles through map matching",
- [9] presented at the Institute of Navigation (ION) annual conference, Salt Lake City, 1994.
- [10] ZHAO K., YANG Y., and QU B., "A Point-Based Map Matching Algorithm for GPS/DR Integrated Navigation Systems", *Guidance and Fuze*, 3, 22-27, 2003.
- [11] Greenfeld, J.S., "Matching GPS observations to locations on a digital map", presented at the 81st Annual Meeting of the

- Transportation Research Board, Washington D.C., 2002.
- [12] Bentley, J.L. and H.A. Maurer, "Efficient worst-case data structures for range searching", *Acta Informatica*, 13(2), 155-168, 1980.
- [13] Fuchs, H., Kedem, Z.M., and Naylor, B.F., "On visible surface generation by a priori tree structures", *Computer Graphics*, 14, 124-133, 1980.
- [14] Phuyal, B.P., "Method and use of aggregated dead reckoning sensor and GPS data for map matching", presented at the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2002), Portland, 2002.
- [15] Bouju, A., Stockus, A., Bertrand, F., and Boursier, P., "Location-based spatial data management in navigation systems", *IEEE Symposium on Intelligent Vehicle*, 1, 172-177, 2002.
- [17] Bierlaire, M., J. Chen, and J. Newman, "A probabilistic map matching method for smartphone GPS data", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26: 78-98, 2013.
- [18] Velaga, N.R., M.A. Quddus, and A.L. Bristow, "Improving the performance of a topological map-matching algorithm through error detection and correction", *Intelligent Transportation Systems*, 16(3), 147-158, 2012.
- [19] Liu K, Li Y, He F, Xu J, Ding Z, "Effective map-matching on the most simplified road network", presented at the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Redondo Beach, California, 2012.
- [20] Zheng Y, Quddus MA., "Weight-based shortest-path aided map-matching algorithm for low-frequency positioning data", presented at the Transportation Research Board 90th Annual Meeting, Washington D.C., 2011.
- [21] Elder, R.L., "An examination of circular error probable approximation techniques", Masters Thesis, U.S. Air Force Institute of Technology, 1986.



Developing a weighted-base map matching algorithm with the focus on modeling parameters and weights optimization

Mehdi Rahbar^{1*}, Ali Asghar Alesheikh²

1- Master of GIS Engineering, K.N. Toosi University of Technology
2- Professor of GIS Engineering, K.N. Toosi University of Technology

Abstract

Positioning in road network environment requires a process with which can be able to match the raw coordinates, obtained from the positioning sensor(s), to the links of the network. Such matching process is necessary for two obvious reasons. First, positional data is not definite, and second, map coordinates are not absolute. Hence, there is a need for a process, known as map-matching, to reconcile two groups of coordinates. Accordingly, to provide some location-based services in network areas, performing a map-matching process seems inevitable. In this paper, after discussing several types of geometric map-matching methods, which is the most basic form of map-matching, a weighted-base map-matching algorithm is developed. The participating parameters' weights are optimized experimentally. The algorithm takes three parameters as input: 'Distance', 'Heading Convergency', and 'Relational Position'. Four types of modelling for 'Relational Position' are presented. The most effective type is then recognized after executing tests on algorithm performance. Also, comparing the performance of the suggested map-matching algorithm to the map-matching algorithms of the same complexity developed in other studies shows that the suggested algorithm is more efficient. This paper's suggested algorithm provided 95.5 percent of true link selection during the performance assessment.

Key words: Map-Matching, Moving object, Road network, Positioning, Weight Optimization.