نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری، دوره نهم، شماره ۳، اسفند ماه ۱۳۹۸ - مقاله ترویجی

مروری برروش‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر نقشه برای محیط‌های بسته

رضا شهباز*[۱]، محمدرضا ملک[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
r.shahbaz@email.kntu.ac.ir

[۲] دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mrmalek@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۷، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۸)

چکیده

در این مقاله مروری بر روش‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر مدل مکانی در محیط‌های داخلی ارائه شده است. در این روش‌ها از مدل مکانی تولیدشده از نقشه‌ی محیط به عنوان یک ابزار همیار برای موقعیت‌یابی و ناوبری استفاده می‌شود. در مجموع دو مدل مکانی سلولی و گراف‌مبنا برای مدل‌سازی در فضاهای بسته موجود است. محققان با در نظر گرفتن خصوصیات مدل، مسئله‌ی مورد مطالعه و فناوری موقعیت‌یابی مورد استفاده‌ی خود، یکی از مدل‌های مکانی یا ترکیبی از آنها را به‌کار می‌گیرند. چگونگی استفاده از مدل و نحوه‌ی ترکیب مدل‌ها نیز دارای روش‌های متفاوتی است. در این مقاله سعی شده است انواع مدل‌سازی مکانی و روش‌های استفاده از آن‌ها در موقعیت‌یابی معرفی و بررسی شود. به دلیل تنوع روش‌ها، انتخاب یک روش به‌عنوان روش بهینه میسر نیست. چراکه هر روش وابسته به نوع محیط و مسئله‌ی مورد مطالعه، کارایی متفاوتی دارند. به نظر می‌رسد، در صورت امکان، استفاده‌ی ترکیبی از روش‌ها راه‌حل مؤثری باشد. چراکه در برخی موارد مزیت‌های یک روش، معایب روش دیگر را پوشش می‌دهد.

واژگان کلیدی: مدل مکانی، محیط داخلی، موقعیت‌یابی، مدل سلولی، مدل گراف‌مبنا

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در محیط‌های خارجی با استفاده از سیستم موقعیت‌یابی جهانی[۱]، عملیات‌های موقعیت‌یابی، ناوبری و در نهایت ارائه‌ی خدمات مکان‌مبنا[۲] انجام‌پذیر است [۱]، اما عدم دقت این سیستم در محیط‌های داخلی باعث به چالش کشیدن ارائه‌ی خدمات مکان‌مبنا در این محیط‌ها شده است. همچنین رسیدن به‌دقت مورد نظر برای ارائه‌ی خدمات مکان‌مبنا با استفاده از شبکه‌های سلولی[۳] نیز در محیط‌های داخلی میسر نیست. چراکه دسترسی به سیگنال این شبکه در محیط‌های داخلی[۴] و مکان‌های با تراکم بالای شهری محدود است [۲]. علاوه بر این مسئله‌ی موقعیت‌یابی[۵] و ردیابی[۶] در محیط‌های داخلی به دلیل پیچیدگی این محیط‌ها بحثی چالش‌برانگیز است [۳].

برای موقعیت‌یابی در محیط‌های داخلی فناوری‌های متفاوتی مانند پیمایش[۷] با استفاده از سنجنده‌های حرکتی [۴]، شبکه‌های بیسیم محلی[۸] [۵]، RFID[۹] [۶]، بلوتوث[۱۰] [۷]، روش‌های مبتنی بر مجاورت سنجنده‌ها، مادون‌قرمز، فرکانس رادیویی، سیستم‌های فراصوت [۸] و سنجنده‌های بصری معرفی‌شده است. تقریباً تمامی فناوری‌های ذکرشده دقتی در حد چند متر دارند [۷]. در میان آن‌ها فقط چند روش محدود می‌تواند به دقتی در حد سانتی‌متر برسد [۹]. معمولاً برای رسیدن به این دقت، نیاز به گیرنده‌ها و فرستنده‌های خاص، سنجنده‌های متنوع و پیاده‌سازی زیرساخت جدید است.

محققان روش‌هایی مبتنی بر استفاده از نقشه برای افزایش دقت موقعیت‌یابی و ردیابی در محیط‌های داخلی پیشنهاد داده‌اند. لازمه‌ی استفاده از این روش‌ها مدل‌سازی مناسب محیط است. در این مطالعه روش‌های مختلف مدل‌سازی محیط و چگونگی استفاده از آن‌ها در مقالات مختلف ارائه شده است. تلاش شده تا جنبه‌های منفی و مثبت هر روش و مدل برای خواننده ارائه شود.

ساختار ادامه‌ی مقاله به این صورت است که در بخش دوم مبانی استفاده از نقشه در موقعیت‌یابی در محیط‌های داخلی ارائه شده است. در بخش سوم مروری بر تحقیقات پیشین در این زمینه ارائه و روش استفاده‌شده‌ی هرکدام تشریح شده است. درنهایت نیز نتیجه‌ی مقاله در دسترس قرار دارد.

۲- مدل‌سازی محیط‌های داخلی

استفاده از همتایابی با نقشه[۱۱] برای بهبود دقت موقعیت‌یابی مبحث جدیدی نیست. درگذشته از این روش برای کاهش خطا در موقعیت‌یابی وسایل نقلیه استفاده شده است. در حال حاضر نقشه‌ی محیط مطالعاتی، فقط ابزاری برای بصری سازی نیست، بلکه از آن به‌عنوان ابزاری همیار برای سیستم موقعیت‌یابی نیز استفاده می‌کنند.

فضای داخلی یا محیط داخلی را می‌توان به‌طور غیررسمی، سازه‌های انسان‌ساخت مانند ساختمان‌ها و تسهیلات زیرزمینی دانست. برای مدل‌سازی این محیط‌ها هنوز روش جامعی وجود ندارد. بنابراین نیاز به یکسری قواعد مدل‌سازی سازگار با محیط‌های داخلی حس می‌شود که کاربردهای مختلف در این محیط‌ها را پشتیبانی کند [۱۰].

استفاده از نقشه در محیط‌های داخلی اطلاعاتی درباره‌ی موقعیت دیوارها به‌عنوان موانع و درها به‌عنوان راه‌های ارتباطی را ارائه می‌دهد. این اطلاعات با محدود کردن مکان‌ها و مسیرهای ممکن برای موقعیت‌یابی و مسیریابی باعث افزایش دقت می‌شوند. به عنوان مثال هیچ‌گاه موقعیت کاربر درون مکان‌هایی اشغال‌شده با دیوار قرار نمی‌گیرد یا مسیرها هیچ‌گاه از دیوار عبور نکرده و ارتباط فضاها فقط از طریق در امکان‌پذیر است [۱۱].

از مدل مکانی در محیط‌های داخلی برای کاربردهای مختلفی استفاده شده است. این کاربردها شامل هدایت ربات‌های متحرک، ردیابی کاربر در محیط‌های داخلی و تحلیل‌های مکانی است [۱۲]. مشخصه‌های مدل مکانی برای هر کاربرد می‌تواند به سه دسته‌ی مشخصات هندسی[۱۲] مانند مکان موانع، روابط توپولوژی[۱۳] مانند مجاورت و اتصال و مشخصه‌های معنایی[۱۴] مانند توانایی تشخیص پله و راهرو از یکدیگر تقسیم شود. در کل دو

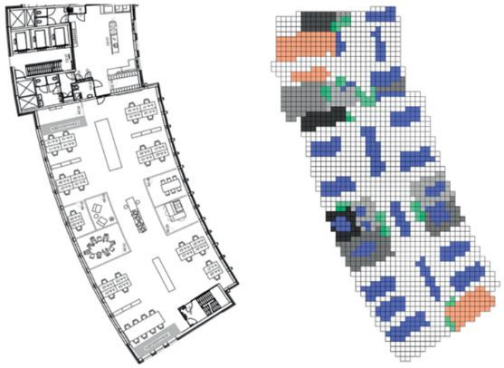
۱ Global Positioning System (GPS)
۲ Location Based Services (LBS)
۳ Cellular Network
۴ Indoor
۵ Positioning
۶ Tracking
۷ Dead Reckoning
۸ Wireless Local Area Network (Wlan)
۹ Radio-frequency identification
۱۰ Bluetooth

۱۱ Map Matching
۱۲ Geometry
۱۳ Topology
۱۴ Semantic

روش اصلی سلول‌مبنا و گراف‌مبنا برای تولید مدل مکانی وجود دارد که در ادامه به معرفی هرکدام می‌پردازیم.

۲-۱- مدل سلولی

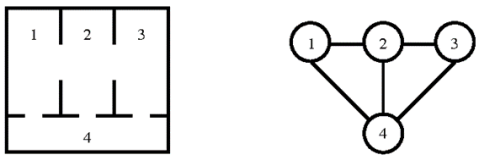
مدل سلولی یکی از مدل‌های مکانی است که در موقعیت‌یابی استفاده می‌شوند. برای تولید این مدل فضای داخلی را به تعداد محدودی از سلول‌های هم‌اندازه و منظم تقسیم می‌کنند. این سلول‌ها می‌توانند مشخصه‌های محدودی مانند اشغال بودن یا نبودن را داشته باشند. همچنین می‌توان اطلاعات معنایی نیز به آن‌ها اختصاص داد. به عنوان مثال می‌توان درها و پله‌ها را با تخصیص مقادیر از پیش تعیین‌شده از یکدیگر متمایز کرد. این دسته از مدل‌های مکانی می‌توانند بیانگر روابط توپولوژی فضا نیز باشند. چراکه می‌توان فضاهای مجزا و ارتباط آن‌ها با یکدیگر را با تحلیل مشخصات معنایی سلول، شناسایی کرد. این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌های توپولوژی رایج مانند گراف و شبکه دارای مزیت‌هایی است. ازجمله این مزیت‌ها می‌توان به دسترسی به کل فضا و بهینه بودن در ذخیره‌سازی اشاره کرد [۱۳]. در شکل۱ به ترتیب از چپ به راست، نقشه‌ی دوبعدی محیط داخلی و مدل سلولی محیط داخلی قابل‌مشاهده است. رنگ‌های مختلف سلول‌ها بیانگر مقادیر معنایی متفاوت آن‌ها است.



شکل۱- نمایش مدل‌سازی سلولی محیط داخلی [۳]

۲-۲- مدل گراف‌مبنا

دسته‌ای دیگر از مدل‌های مکانی مدل‌های مبتنی بر گراف هستند. در این مدل‌ها فضاهای مختلف، رئوس و اتصالات آن‌ها یال‌ها را تشکیل می‌دهند [۱۴]. این دسته مدل‌ها بر اساس رفتار انسان در حرکت بین فضاهای مختلف پایه‌ریزی شده‌اند. ازجمله مزیت‌های مدل گراف‌مبنا سادگی محاسبات و امکان استفاده از مبانی غنی گراف‌ها مانند تحلیل مرکزیت[۱] است. ولی این‌گونه مدل‌ها به دلیل خلاصه کردن محیط به رأس و یال، اطلاعات کافی توپولوژی و هندسی را در اختیار قرار نمی‌دهند [۱۰]. در شکل۲ به ترتیب از چپ به راست نقشه‌ی دوبعدی محیط داخلی و مدل گراف متناظر با آن قابل‌مشاهده است. هر عدد بیانگر فضاهای مجزا در محیط، مانند اتاق‌ها است.



شکل۲- نمایش مدل‌سازی گراف‌مبنا محیط داخلی [۱۵]

استفاده از هرکدام از این مدل‌ها در قالب پایگاه‌داده‌ی نقشه، اطلاعاتی مانند موقعیت، ابعاد، ظرفیت و عملکرد اشیا مکانی را در اختیار سیستم موقعیت‌یاب قرار می‌دهد. با ترکیب موقعیت به‌دست‌آمده برای کاربر و اطلاعات توپولوژی نقشه که به همتایابی با نقشه معروف است، دقت موقعیت‌یابی افزایش می‌یابد [۱۶].

۳- موقعیت‌یابی بر مبنای مدل مکانی

در این فصل روش‌های معرفی‌شده توسط محققان برای موقعیت‌یابی مبتنی بر مدل مکانی در محیط‌های داخلی ارائه شده است. نحوه‌ی مدل‌سازی محیط و فناوری موقعیت‌یابی در روش‌های پیشنهادی به تفضیل بیان شده است. ابتدا تحقیقاتی که از مدل سلولی برای بهبود عملکرد سیستم موقعیت‌یاب استفاده کرده‌اند، ارائه می‌شوند.

Xu و همکاران [۳] روشی برای ردیابی کاربران در محیط‌های داخلی مبتنی بر مدل سلولی ارائه داده‌اند. هدف از این تحقیق بهبود موقعیت‌یابی در محیط‌های داخلی است. در این تحقیق از سیستم موقعیت‌یابی مبتنی بر Wifi برای تعیین موقعیت و سنجنده‌ی مغناطیس‌سنج در تلفن همراه کاربر برای تعیین جهت حرکت استفاده شده است.

در این تحقیق فضای داخلی به شبکه‌ی سلول‌های منظم تقسیم شده است. مقداری معین برای هر سلول تعیین شده است که بیانگر مشخصه معنایی سلول است. سپس الگوریتم، احتمال وجود کاربر را در این سلول‌ها را

۱ Centrality

بر اساس مدل مکانی و اندازه‌گیری سنجنده‌های حرکتی تلفن همراه محاسبه می‌کند. نویسندگان طبق نتایج بیان می‌کنند که روش پیشنهادی در بهبود خطاهای موقعیت‌یابی مانند موقعیت‌های نادرست، عناوین اشتباه و پرش میان موقعیت‌های متوالی مؤثر است. مزیت این تحقیق ارائه‌ی یک مدل سلولی که شامل تمام اطلاعات مکانی ازجمله هندسی، توپولوژی و معنایی است، معرفی‌شده است. همچنین بیان می‌شود که فناوری‌های مختلف موقعیت‌یابی مانند بلوتوث و RFID نیز در الگوریتم پیشنهادی قابل‌استفاده است.

در روش پیشنهادی مدل سلولی با استفاده از نقشه‌ی ساختمان ساخته می‌شود. این نقشه‌ها معمولاً موقعیت فضاهای مختلف مانند اتاق‌ها، درها و راهرو را نشان می‌دهند. در مدل ارائه‌شده موقعیت وسایل ثابت ساختمان نیز در نظر گرفته می‌شود. چراکه تأثیر بیشتری در ناوبری نسبت به وسایل متحرک دارند.

برای محاسبه‌ی اندازه‌ی سلول‌های شبکه که به نوعی نشان‌دهنده‌ی دقت مدل نیز است، نویسندگان چهار معیار درنظر گرفته‌اند. ۱) سلول‌ها باید به‌اندازه‌ای باشند که بتوانند اشیای مختلف مانند درب‌ها و موانع را مدل کنند. ۲) سلول باید به اندازه‌ای باشد که تا حد ممکن فقط یک شی را بتوان در آن جای داد، این امر باعث می‌شود هر سلول دارای مقادیر یکتای معنایی و هندسی باشد. ۳) طول قدم کاربر یا متوسط مسیر پیموده‌شده در هر ثانیه توسط کاربر نیز باید در نظر گرفته شود. ۴) در آخر نیز باید در نظر داشت با کاهش اندازه‌ی سلول‌ها پیچیدگی محاسباتی افزایش می‌یابد.

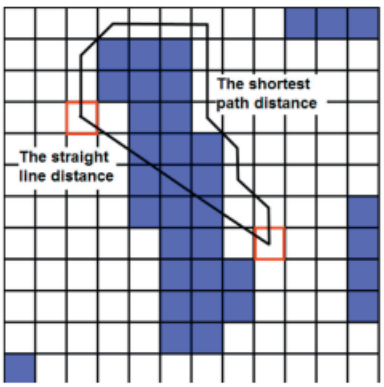
سپس نویسندگان با استفاده از مدل سلولی ویژگی‌های هندسی موردنیاز را استخراج می‌کنند. سه ویژگی اصلی هندسی یعنی محدوده[1]، فاصله و جهت با استفاده از روش‌های زیر استخراج و استفاده می‌شوند.

۱) استفاده از کل مدل برای هر بار موقعیت‌یابی بهینه نیست، بنابراین با استفاده از سرعت حرکت کاربر در هر ثانیه و استفاده از ضریب اطمینان، محدوده‌ای حول موقعیت کنونی کاربر ایجاد می‌شود و محاسبات در آن محدوده صورت می‌گیرد. با داشتن اندازه‌ی هر سلول و شناخت همسایگی‌های هر سلول ایجاد محدوده در این مدل کار بسیار آسانی است. ۲) برای مدل‌های سلولی می‌توان هر دو نوع فاصله‌ی اقلیدسی و قطری را به‌سادگی اندازه‌گیری کرد. ۳) جهت بین دو سلول نیز با ضرب داخلی دو بردار متناظر سلول قابل‌محاسبه است.

برای انتصاب مشخصه‌های معنایی مانند در و تشخیص فضاهای مختلف از یکدیگر نویسندگان سه قانون را بیان می‌کنند. منظور از فضاهای مختلف مناطق موجود در محیط است که توسط یک مرز مشخص از یکدیگر مجزا شده‌اند. قوانین به این صورت است که هر سلول فقط می‌تواند یک مشخصه داشته باشد. اگر دو موجودیت در آن وجود داشت آنکه فضای بیشتری از سلول را اشغال کرده است به‌عنوان معنای سلول در نظر گرفته می‌شود. فقط در صورتی که نصف بیشتر سلول اشغال شده باشد، آن سلول اشغال‌شده در نظر گرفته می‌شود. اگر سلول دارای دو موجودیت با معنای متفاوت بود، آنکه بیشتر فضای سلول را در برگرفته است به‌عنوان موجودیت اصلی انتخاب می‌شود.

استخراج روابط توپولوژی نیز به شرح زیر انجام می‌پذیرد. اتصال سلول‌ها بر مبنای همسایگی هشت‌تایی است. هر سلول که دارای مشخصه‌ی مانع نیست، به سلول‌های مجاور خود که دارای مشخصه‌ی معنایی یکسان است، متصل می‌شود. سلول‌های فضاهای مختلف فقط از طریق در می‌توانند با یکدیگر ارتباط داشته باشند. در آخر نیز قابلیت دسترسی هر سلول از طریق مقایسه‌ی فاصله‌ی اقلیدسی و کوتاه‌ترین مسیر بر اساس مدل محاسبه می‌شود. الگوریتم A* برای محاسبه‌ی کوتاه‌ترین مسیر مورد استفاده قرار گرفته است.

در شکل۳ خط مستقیم بین دو سلول بیانگر فاصله‌ی اقلیدسی و مجموع خطوط شکسته، فاصله‌ی به‌دست‌آمده از الگوریتم مسیریابی است.



شکل۳- نمایش فاصله‌ی اقلیدسی و کوتاه‌ترین مسیر بین دو سلول [۳]

[1] Buffer

حال با داشتن مشخصه‌های هندسی، روابط توپولوژی و مشخصه‌های معنایی محیط و ترکیب آن‌ها با موقعیت و جهت حرکت می‌توان به ردیابی کاربر پرداخت. الگوریتم پیشنهادی برای ترکیب مشاهدات زنجیره‌ی مارکو[۱] است. در زنجیره‌ی مارکو فرض بر این است که وضعیت آینده‌ی سیستم فقط وابسته به وضعیت کنونی آن است. در الگوریتم پیشنهادی موقعیت بعدی کاربر با استفاده از زنجیره‌ی مارکو و مدل سلولی ارائه‌شده محاسبه می‌شود.

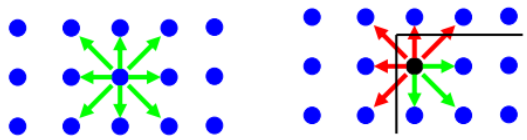
نویسندگان خود را درگیر چگونگی تعیین موقعیت اولیه کاربر نکرده‌اند و فرض را بر معلوم بودن آن گذاشته‌اند. محاسبه‌ی موقعیت آینده‌ی کاربر بر اساس چهار قانون انجام می‌شود. سلول‌های بیرون از محدوده‌ی محاسبات دارای احتمال صفر هستند. سلول‌های دارای مانع دارای احتمال صفر هستند. احتمال سلول‌های درون محدوده بر اساس شاخص میزان دسترسی محاسبه می‌شود. سلول‌هایی که در جهت حرکت کاربر هستند دارای احتمال بیشتری هستند. سلول‌های موجود در زاویه ۴۵ درجه، در جهت حرکت در نظر گرفته می‌شوند.

نتایج اعلام‌شده توسط نویسندگان بیان می‌کند که سیستم تقریباً به‌صورت آنی عمل می‌کند. از مزایای این روش چک کردن و تصحیح موقعیت‌های به‌دست‌آمده در هر سه قدم اجرای الگوریتم است. این کار مانع از انتشار خطای تجمعی می‌شود. ازجمله محدودیت‌های سیستم پیشنهادی در این تحقیق می‌توان به نپرداختن به چگونگی تعیین موقعیت اولیه اشاره کرد. همچنین تشخیص چرخش کاربر فقط در برخی نقاط از پیش تعیین‌شده و برای چرخش به راست و چپ و عقب قابل‌شناسایی است. یعنی چرخش‌های کمتر از ۹۰ درجه شناسایی نمی‌شوند. در ادامه‌ی این تحقیق می‌توان به در نظر گرفتن موانع متحرک، استفاده از سنجنده‌های حرکتی بیشتر و توسعه‌ی الگوریتم برای ساختمان‌های چندطبقه پرداخت.

Ray و همکاران [۱۷] سیستمی را ارائه می‌دهند که هسته‌ی اصلی آن تسهیلات ارتباطی بیسیم است. هدف تحقیق نیز ترکیب اطلاعات به‌دست‌آمده از این روش با مدل مکانی بیان شده است.

مدل مکانی استفاده‌شده در این تحقیق مدل سلولی است. به این صورت که نقشه‌ی ساختمان به سلول‌های منظم تقسیم می‌شود. ساختار شبکه‌ی سلولی، هشت همسایگی و اندازه‌ی سلول‌ها نیم متر در نظر گرفته شده است. نویسندگان دلیل انتخاب این اندازه برای سلول را مدل کردن تمام موجودیت‌های محیط داخلی بیان کرده‌اند. چراکه کمتر پیش می‌آید عرض یک راهرو کمتر از نیم متر باشد. درنهایت برای هر سلول مشخص می‌شود که کاربر در چه جهت‌هایی می‌تواند حرکت کند. جهت‌هایی که سلول مجاور دارای مانع است غیرقابل حرکت در نظر گرفته می‌شود.

در شکل۴ از چپ به راست به ترتیب، فضای بدون مانع و با مانع مشاهده می‌شود. پیکان‌های سبز در شکل۴ بیانگر توانایی حرکت و پیکان‌های قرمز بیانگر عدم توانایی حرکت است. همان‌طور که در شکل۴ پیداست، در فضای سمت راست به دلیل وجود دیوار امکان حرکت کاربر به سمت بالا و چپ وجود ندارد.



شکل۴- نمایش تعیین جهت‌های ممکن برای حرکت [۱۷]

پس از موقعیت‌یابی توسط سیستم موقعیت به‌دست‌آمده به نزدیک‌ترین سلول بدون مانع تصویر می‌شود. سپس با استفاده از قوانین تکامل ارائه‌شده توسط نویسندگان ناوبری کاربر انجام می‌شود. قوانین تکامل شامل محاسبه‌ی احتمال تغییر موقعیت کنونی به موقعیت آینده است. این امر با استفاده از مدل سلولی موجود و جهت‌های ممکن برای حرکت کاربر امکان‌پذیر است.

در این تحقیق از روش مونت‌کارلو[۲] استفاده‌شده است. اساس این روش فرآیند تصادفی برای پیدا کردن راه‌حل مسئله‌ی موردمطالعه است. مسئله موردنظر در این تحقیق موقعیت کاربر است. در روش مونت‌کارلو فرآیند تعیین موقعیت با استفاده از مجموعه‌ای از موقعیت‌ها که به‌صورت مستقل تکامل پیدا می‌کنند، انجام می‌شود. نحوه‌ی کار الگوریتم به این صورت است که در ابتدا مجموعه‌ای از موقعیت‌ها به‌صورت یکنواخت در شعاع یک متری موقعیت کنونی جایگذاری می‌شوند. هر موقعیت یک ذره نامیده می‌شود. تعداد ذرات اندازه‌ی سیستم را مشخص می‌کنند

۱ Markov Chain

۲ Monte Carlo

و در طول محاسبه‌ی خط‌سیر[1] کاربر ثابت باقی می‌مانند. برای حرکت از یک موقعیت به موقعیت دیگر جهت هر ذره به‌صورت تصادفی از توزیع نرمال به مرکز جهتی که از سنجنده‌های اینرشیا به‌دست‌آمده است، تعیین می‌شود. همچنین طول قدم به‌صورت تصادفی از توزیع نرمال به مرکز مقداری که از داده‌های محور عمودی شتاب‌سنج به‌دست‌آمده است، برای هر ذره تعیین می‌شود. درنهایت هر ذره بر اساس قانون تکامل ارائه‌شده حرکت می‌کند. هرگاه یک ذره نتوانست حرکت کند حذف و به‌وسیله‌ی ذره‌ای جدید جایگزین می‌شود. موقعیت ذره‌ی جدید به‌صورت تصادفی میان ذرات صحیح انتخاب می‌شود. درنهایت با میانگین‌گیری از موقعیت ذرات صحیح، موقعیت کاربر محاسبه می‌شود.

نقص تحقیق معرفی شده عدم روشی کارا برای کاهش بار محاسباتی مدل سلولی است. همچنین از اطلاعات معنایی مدل سلولی فقط در حد شناخت موانع استفاده شده است. مزیت استفاده از این روش نیز استفاده از الگوریتم مونت‌کارلو است که باعث استفاده موثرتری از مدل سلولی شده است. در ادامه مروری بر تحقیقاتی که از مدل گراف‌مبنا استفاده کرده‌اند، ارائه می‌شود.

Nam [۱۸] با استفاده از نقشه‌ی ساختمان که شامل اجزای مکانی مختلف مانند راهروها، طبقات، پله‌ها و آسانسور است و سنجنده‌های IMU[2] دو الگوریتم پیشنهاد می‌دهد. الگوریتم ارائه‌ی نقشه برای دسته‌بندی و نمایش اجزای محیط داخلی و الگوریتم موقعیت‌یابی جبرانی بر اساس فاصله و جهت به‌دست‌آمده از سنجنده‌ها، الگوریتم‌های پیشنهادی هستند. ارزیابی این تحقیق با استفاده از دستگاه مجهز به IMU در یک ساختمان انجام شده است و نتایج بیانگر این است که دقت روش پیشنهادی از روش‌های سنتی پیمایش بهتر است.

IMU با استفاده از شتاب‌سنج و ژیروسکوپ به ترتیب شتاب و نرخ دوران را محاسبه می‌کند. در این تحقیق از یک شتاب‌سنج دومحوره استفاده‌شده است. یکی از معایب این‌گونه سنجنده‌ها ایجاد خطای تجمعی در طول زمان است. بنابراین نیاز به استفاده از یکسری روش‌ها برای کاهش خطاهای تولیدشده داریم. برای کاهش خطای تجمعی از معرفی مقادیر اولیه به سنجنده‌ها استفاده شده است. اما هنوز خطاهای مستقل از شتاب و جهت در داده‌ها وجود دارد که با استفاده از همتایابی با نقشه کاهش می‌یابد. در این تحقیق سه مسئله برای کارکردن با IMU طرح و بررسی شده است. برای پالایش کردن اطلاعات به‌دست‌آمده از سنجنده‌ها از یک پالایه پایین‌گذر و یک پالایه بالاگذر استفاده شده است. استفاده از پالایه پایین‌گذر باعث کاهش نویز، نرم کردن نقاط خالی و اتصال قطع‌شدگی‌های کوچک در قله‌ها و دره‌های سیگنال دریافتی از سنجنده می‌شود. استفاده از پالایه بالاگذر نیز باعث حذف فاکتورهای با فرکانس پایین ناشی از بایاس ولتاژها از داده‌های خروجی سنجنده‌ها می‌شود. مسئله‌ی دوم تخمین موقعیت است. با توجه به اینکه عارضه‌های انسان‌ساخت دارای ساختار مستقیم مانند راهروها و دیوارهای مستقیم است. با استفاده از جهت، فاصله، موقعیت اولیه و استفاده از روش پیمایش می‌توان تخمین خوبی از موقعیت کاربر داشت. مشکل سوم نیز جبران خطاهای موقعیت‌یابی است. این مسئله با استفاده از مدل مکانی و همتایابی با نقشه قابل‌حل است. در این تحقیق از مدل گراف‌مبنا که نمایانگر فضاهای مختلف و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است، استفاده شده است. بنابراین در این تحقیق از سنجنده‌ها برای تخمین موقعیت، از تلفن همراه کاربر برای پالایش اطلاعات و از مدل مکانی برای حذف خطاها استفاده شده است.

مدل‌های توپولوژی به‌نوعی توصیف ساختار محیط در یک مقیاس بزرگ‌تر است. این مدل‌ها به‌طور فشرده‌شده اطلاعاتی درباره‌ی اجزای محیط و ارتباط آن‌ها در اختیار قرار می‌دهند. معمولاً مدل‌های توپولوژی در قالب گراف بیان می‌شوند. ازاین‌رو در این تحقیق از مدل گراف‌مبنا استفاده شده است.

رفتار انسان‌ها در محیط‌های داخلی ساده‌تر از محیط‌های خارجی است. چراکه معمولاً ساختمان‌ها دارای راهروهای مستقیم و دیوارهای محدودکننده هستند. در این تحقیق با مقایسه‌ی خط‌سیر به‌دست‌آمده از کاربر و نقشه‌ی توپولوژی مستخرج از مدل گراف‌مبنا تمام نقاط ممکن برای حرکت کاربر شناسایی می‌شود. در موقعیت‌هایی که عملیات چرخش، بالا رفتن و پایین رفتن از پله، حرکت با آسانسور صورت می‌گیرد، این الگوریتم یال و رأس با احتمال بیشتر را انتخاب می‌کند.

[1] Trajectory
[2] Inertial Measurement Unit

عملیات مختلف مانند نشستن و برخاستن، جلو رفتن و عقب رفتن، چرخش به چپ و راست، پایین و بالا رفتن با استفاده از سنجنده‌های حرکتی موجود در دستگاه دست‌ساز متصل به کاربر شناسایی می‌شود.

ازجمله مزیت‌های روش ارائه‌شده پشتیبانی از ساختمان‌های چندطبقه و شناخت رفتار کاربر با استفاده از دستگاه مجهز به IMU است. همچنین روش‌های مختلف به کار برده شده برای کاهش خطای سنجنده‌ها در دقت نهایی نقش بسزایی دارد. یکی از معایب این تحقیق جدا بودن واحد اندازه‌گیری و پالایش اطلاعات است. همچنین برای استفاده از همه‌ی جنبه‌های الگوریتم، استفاده از دستگاه دست‌ساز نویسندگان الزامی است.

Spassov [۱۶] یک سیستم مستقل از اطلاعات و سیستم‌های خارجی برای ناوبری کاربر در محیط‌های داخلی ارائه می‌دهد. راهنمایی کاربر تا هدف نهایی‌اش به‌عنوان وظیفه‌ی اصلی این سیستم معرفی شده است. راهنمایی مسیر شامل محاسبه‌ی مسیر بهینه بین مکان فعلی کاربر و مقصد است. معمولاً مقصد در ابتدا مشخص و چالش اصلی شناخت مکان فعلی کاربر است.

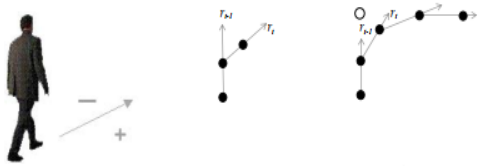
ازآنجایی‌که تنها روش پیمایش امکان موقعیت‌یابی مستقل را در اختیار می‌گذارد. برای ارائه‌ی سیستم ناوبری در این تحقیق از روش پیمایش استفاده‌شده است. اساس این روش استفاده از اطلاعات موقعیتی کنونی کاربر برای تخمین موقعیت آینده او است.

یکی از اجزای اصلی روش پیشنهادی پایگاه داده‌ی نقشه است که در آن نقشه‌ی محیط به همراه اطلاعات توپولوژی و ساختار مکانی محیط قرار دارد. مدل مکانی استفاده‌شده در این تحقیق مدل گراف‌مبنا است. اساس استفاده از این مدل مقایسه‌ی خط‌سیر کاربر و اطلاعات توپولوژی و سپس انتخاب یال با احتمال بیشتر است. همچنین با استفاده از مدل مکانی و همتایابی با نقشه سنجنده‌های حرکتی کالیبره می‌شود.

گام‌های تشکیل سیستم ناوبری ارائه‌شده در این تحقیق به این صورت است. ارائه‌ی پایگاه داده‌ی نقشه برای ناوبری در محیط‌های داخلی که در قالب مدل مکانی گراف‌مبنا ارائه می‌شود. گام بعدی انتخاب سنجنده‌های مناسب و سپس توسعه‌ی یک الگوریتم برای به دست آوردن موقعیت اولیه کاربر است. درنهایت یک الگوریتم برای موقعیت‌یابی پیوسته‌ی کاربر و یک چهارچوب جامع برای ناوبری شخص در محیط‌های داخلی معرفی می‌شود.

اطلاعات استفاده‌شده در روش پیشنهادی این تحقیق، سرعت، جهت، ارتفاع و زمان است. با استفاده از این اطلاعات خط‌سیر، چرخش، حرکت بین طبقات شناسایی می‌شود. مسیر حرکت کاربر با استفاده از مقادیر سرعت، زمان تبدیل‌شده به مسافت، جهت حرکت کاربر و الگوریتم پیمایش، شناسایی می‌شود. با استفاده از علامت اختلاف جهت کاربر در گام‌های متوالی اجرای سیستم، تغییر جهت کاربر شناسایی می‌شود. بطوریکه اگر این مقدار صفر، منفی یا مثبت بود به ترتیب نمایانگر حرکت مستقیم، انحراف به چپ و انحراف به راست کاربر است. این شناسایی جهت بنا بر دو شرط انجام می‌شود. تغییرات کم چرخش در محاسبات دخالت داده نمی‌شوند. ولی مجموع تغییرات برای شناسایی میزان انحراف در طول مسیر در نظر گرفته می‌شود.

در شکل۵ به ترتیب از چپ به راست شناسایی جهت چرخش با توجه به علامت اختلاف جهت به‌دست‌آمده از سنجنده، محاسبه‌ی میزان چرخش در گام‌های متوالی و محاسبه‌ی چرخش کلی در طول مسیر قابل‌مشاهده است.



شکل۵- نمایش چگونگی محاسبه‌ی چرخش کاربر [۱۶]

برای شناسایی فرآیند تغییر طبقه مانند استفاده از پله و آسانسور نویسنده از بارومتر[۱] استفاده کرده است. ازآنجایی که بارومتر تغییر فشار را اندازه‌گیری می‌کند و فشار به دلیل شرایط محیطی و جوی در محیط‌های داخلی مستقل از ارتفاع تغییر می‌کند [۱۹]، نیاز به یکسری تصحیحات برای جلوگیری از بروز خطا داریم. در این تحقیق قبل از اجرای الگوریتم تغییرات فشار در محیط اندازه‌گیری و مدل می‌شود. این روش به دلیل وابسته بودن فشار به عوامل مختلف بهینه نیست. بنابراین نویسنده علاوه بر این روش از مدل کردن رفتار کاربر در پله‌ها و آسانسورها با استفاده از شتاب‌سنج نیز استفاده کرده است.

۱ Barometer

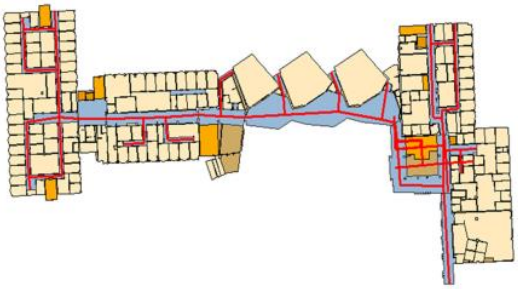
روش ارائه‌شده در این تحقیق برای ساختمان‌های چندطبقه مناسب است. همچنین برای شناسایی خط‌سیر کاربر روش دقیقی معرفی‌شده است، اما در آن به مسائلی مانند خطای سنجنده‌ی شتاب‌سنج و موقعیت اولیه کاربر پرداخته نشده است.

Attia و همکاران [۲۰] یک روش ناوبری با استفاده از مدل مکانی را معرفی می‌کنند. به این صورت که یک سیستم همیار با استفاده از داده‌های مکانی دقت ناوبری را افزایش می‌دهد. این سیستم همیار با فراهم کردن یکسری مرزهای مجازی برای خط‌سیر کاربران و محدود کردن موقعیت‌های ممکن برای موقعیت‌یابی کاربر دقت ناوبری را افزایش می‌دهد. در این تحقیق برای موقعیت‌یابی کاربر از روش پیمایش و سنجنده‌های حرکتی شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج تلفن همراه استفاده شده است.

سیستم ناوبری معرفی‌شده در این تحقیق از دو دسته اطلاعات برای ایجاد مدل مکانی استفاده می‌کند. یکی اطلاعات مدل مکانی گراف‌مبنا و دیگری اطلاعات ارتفاعی است. ارتفاع نقش مهمی در ناوبری محیط‌های داخلی دارد. تغییر ارتفاع کاربر به‌وسیله‌ی پله‌ها و آسانسور باید شناسایی شود تا برای تصحیح موقعیت‌یابی با نقشه، از نقشه‌ی همان طبقه استفاده شود. بنابراین مدل مکانی باید علاوه بر ارتفاع اطلاعات مکان‌هایی که تغییر ارتفاع در آن صورت می‌گیرد را نیز داشته باشد.

استفاده از مدل مکانی گراف‌مبنا در این تحقیق در سه فاز مفهومی، منطقی و فیزیکی انجام می‌پذیرد. به‌صورت مفهومی مدل فرض می‌کند که کاربر در هر زمانی در راهرو قرار دارد. این راهرو با خطوطی که نمایانگر مرکز راهرو است مدل می‌شوند. راهروها کلیه‌ی مسیرهای ممکن و پله‌ها را پوشش می‌دهند. این راهروها که نمایانگر یال‌ها در مدل هستند اتاق‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند. اگر موقعیت کاربر در یکی از اتاق‌ها تخمین‌زده شد سیستم آن را به نزدیک‌ترین راهرو تصویر می‌کند. هر راهرو شامل اطلاعاتی از قبیل شناسه، رأس شروع و پایان، تقاطع با دیگر راهروها برای شناسایی نقاط چرخش و اطلاعاتی درباره‌ی وجود پله در راهرو است. راهروهایی که با یکدیگر تقاطع دارند به سه دسته‌ی چرخش به چپ، چرخش به راست و حرکت مستقیم تقسیم می‌شوند.

در شکل۶ می‌توان مدل ارائه‌شده در این تحقیق را مشاهده کرد. خطوط قرمز بیانگر راهروها یا همان یال‌های گراف است که فضاهای مختلف را به یکدیگر متصل می‌کند.



شکل۶- نمایش مدل مکانی گراف‌مبنا پیشنهادشده برای محیط داخلی [۲۰]

در این تحقیق از روش کمترین‌فاصله برای همتایابی با نقشه استفاده شده است. اینگونه که نزدیک‌ترین نقطه از راهرو به موقعیت تعیین‌شده توسط سیستم، به‌عنوان موقعیت تصحیح‌شده‌ی کاربر در نظر گرفته می‌شود.

یکی از موضوعات چالش‌برانگیز انتخاب راهرو صحیح در تقاطع‌ها است. چراکه تعداد بیشتری راهرو در اطراف موقعیت کاربر است و استفاده از روش کمترین‌فاصله ممکن است نتیجه‌ای درستی را به همراه نداشته باشد. چراکه در تقاطع‌ها کاربر تقریباً فاصله‌ی یکسانی تا تمامی اتصالات مختلف تقاطع دارد. ازاین‌رو نویسندگان الگوریتم کمکی برای شناسایی چرخش و جهت کاربر در تقاطع‌ها پیشنهاد داده‌اند. در الگوریتم کمکی پیشنهادی با استفاده از داده‌های خام ژیروسکوپ، جهت کاربر تعیین می‌شود. با استفاده از اطلاعات جهت و نرخ تغییرات جهت و داده‌های آموزشی، الگوریتم جهت کاربر در تقاطع را شناسایی می‌کند. داده‌های آموزشی با مدل کردن رفتار کاربر در تقاطع‌ها تولید می‌شود.

بنابراین شناسایی چرخش در این الگوریتم در دو مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا بر اساس داده‌های ژیروسکوپ و داده‌های آموزشی جهت چرخش شناسایی می‌شود. سپس نتایج به‌دست‌آمده با مدل مکانی محیط چک می‌شود. به عنوان مثال اگر چرخش به راست شناسایی شده است، الگوریتم چک می‌کند که آیا یالی برای چرخش به راست در مجاورت قرار دارد یا خیر. در صورت عدم وجود اینگونه یالی، مسیر مستقیم برای جهت کاربر در نظر گرفته می‌شود.

در این تحقیق سیستم موقعیت‌یابی از روش پیمایش استفاده می‌کند. نویسندگان برای افزایش دقت روش پیمایش از داده‌های شتاب‌سنج و داده‌های آموزشی ذخیره‌شده در پایگاه داده برای بهبود دقت تخمین طول قدم کاربر استفاده کرده‌اند.

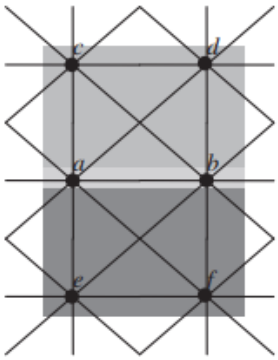
معایب سیستم پیشنهادی در این تحقیق را می‌توان استفاده از روش نزدیک‌ترین فاصله برای همتایابی با نقشه دانست. چراکه روش‌های با دقت بالاتری در این زمینه وجود دارد. همچنین در این الگوریتم امکان مدل‌سازی فضای داخلی اتاق‌ها وجود ندارد و حرکت کاربر فقط بین اتاق‌ها بررسی می‌شود. یکی از مزیت‌های این سیستم مدل کردن ارتفاع و پشتیبانی از ساختمان‌های چندطبقه است. همچنین نویسندگان با توسعه‌ی روش پیمایش توانسته‌اند نتایج دقیق‌تری را به دست بیاورند. در ادامه مروری بر تحقیقاتی که از ترکیب دو مدل مکانی سلولی و گراف‌مبنا استفاده کرده‌اند، ارائه شده است.

Li و همکاران [۱۰] با ترکیب مدل‌های سلولی و گراف‌مبنا روشی برای ارائه‌ی محیط داخلی معرفی می‌کنند. نویسندگان مزیت این مدل را ترکیب مشخصه‌های ساختاری و توپولوژی بیان می‌کنند.

این مدل بر اساس نقشه‌ی دوبعدی ساختمان ساخته می‌شود. دلیل استفاده از مدل سلولی در این تحقیق مدل‌سازی مشخصه‌ی پیوستگی فضا است. چراکه مدل گراف‌مبنا به تنهایی این مشخصه را ارائه نمی‌دهد. در این تحقیق هر سلول می‌تواند مقادیر محدود مانند اشغال بودن یا آزاد بودن را دارا باشد. همچنین نویسندگان مدل گراف‌مبنا را برای نمایش فضای دوبعدی داخلی در نظر گرفته‌اند. برخلاف مدل‌های گراف‌مبنا متداول که اتاق‌ها رئوس و اتصالات آن‌ها یال‌ها را تشکیل می‌دهند، در مدل گراف‌مبنا ارائه‌شده در این تحقیق سلول‌ها رئوس و اتصالات ممکن بین آن‌ها یال‌ها را تشکیل می‌دهند.

برای شناسایی فضاهای مختلف سلولی مانند اتاق‌های مختلف، برای هر رأس و یال مقادیر عضویت در نظر گرفته می‌شود. به این صورت که هر سلول با توجه به فضایی که در آن وجود دارد، فقط می‌تواند یک مقدار منحصر به‌فرد بگیرد. ولی یال‌ها با توجه به ارتباطی که بین رئوس فضاهای مختلف برقرار می‌کنند، می‌توانند دو مقدار عضویت مختلف داشته باشند. بنابراین با استفاده از مقادیر عضویت سلول‌ها می‌توان فضای اشغالی هر بخش را تعیین کرد. همچنین با تحلیل مقادیر عضویت یال‌ها می‌توان روابط توپولوژی محیط را استخراج نمود. بنابراین با ارائه‌ی این مدل ترکیبی تمام مشخصه‌های ساختاری، هندسی و توپولوژی محیط را می‌توان به صورت موثرتری استخراج نمود.

در شکل۷ مستطیل‌های بارنگ متفاوت نشان‌دهنده‌ی فضاهای مختلف محیط داخلی هستند. هر رأس با توجه به فضایی که در آن قرارگرفته است می‌تواند یک مقدار داشته باشد، اما همان‌طور که در شکل۷ نیز پیداست یال‌ها با توجه به فضاهای دو رأسی که به یکدیگر ارتباط می‌دهند، می‌توانند دو مقدار مختلف عضویت داشته باشند. هر رنگ در شکل۷ نمایانگر یک فضای مجزا است.



شکل۷- نمایش فضاهای مختلف در محیط داخلی [۱۰]

برای پشتیبانی از تحلیل‌های مکانی در محیط‌های داخلی به هر یال یک مقدار امپدانس[۱] نسبت داده می‌شود. این مقدار بستگی به طبیعت پدیده‌ای دارد که مطالعه روی آن صورت می‌گیرد. مسائلی مانند تخلیه ساختمان یا گسترش آتش‌سوزی از این دسته مطالعات هستند. امپدانس هر یال نشان‌دهنده‌ی درجه اشغال‌شدگی آن یال است. اگر مقادیر عضویت یک یال شامل مقداری از فضای اشغال‌شده مانند دیوارها یا پنجره باشد، مقدار امپدانس زیاد برای آن یال در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت مقدار امپدانس هر یال برابر با طول یال است. طول یال برای سلول‌های مجاور چهارگانه برابر اندازه‌ی سلول و برای همسایگی‌های قطری $\sqrt{2}$ برابر اندازه‌ی سلول است. بنابراین با در نظر گرفتن این امپدانس به‌عنوان هزینه‌ی هر یال می‌توان از الگوریتم‌های مختلف مسیریابی برای شناسایی مسیر بهینه استفاده کرد.

از مزیت‌های این روش می‌توان به استفاده ترکیبی از هر دو مدل مکانی سلولی و گراف‌مبنا اشاره کرد. دیگر مزیت روش پیشنهادی امکان سازگار کردن آن برای مسیریابی افراد معلول است. همچنین به دلیل استفاده از گراف می‌توان تحلیل‌های گسترش و مرکزیت را نیز ارائه

۱ Impedance

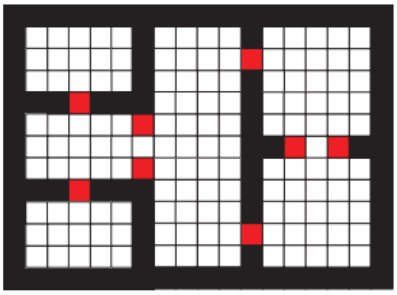
داد. ارائه‌ی یک مدل مکانی سه‌بعدی بر مبنای مدل ارائه‌شده در این مقاله می‌تواند پیشنهاد خوبی برای تحقیقات بعدی در این زمینه باشد.

Chen و همکاران [۲۱] یک الگوریتم مسیریابی بر مبنای ترکیبی از مدل‌های مکانی سلولی و گراف‌مبنا برای روبات‌های خادم ارائه می‌دهند. نویسندگان این الگوریتم را Floyd A* نامیده‌اند. مسیریابی در این تحقیق در دو فاز آفلاین و آنلاین انجام می‌شود. به این‌گونه که ابتدا نقاط کلیدی نقشه استخراج و سپس با استفاده از این نقاط نقشه منطقه‌بندی می‌شود. منطقه‌بندی وابسته به اندازه و پیچیدگی محیط داخلی است. با این کار محیط داخلی خلاصه‌سازی شده و مسیریابی کارآمدتر و سریع‌تری خواهیم‌داشت.

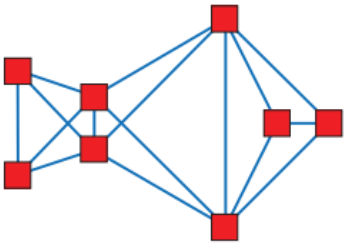
در فاز آفلاین با استفاده از نقشه‌ی خلاصه‌شده‌ی[۱] حاصل از مرحله‌ی قبل و الگوریتم مسیریابی فلوید وارشال[۲]، مسیریابی بین هر دو منطقه انجام می‌گیرد و در پایگاه داده ذخیره می‌شود. اینگونه، اطلاعات مفیدی قبل از انجام فرآیند مسیریابی آنلاین به دست می‌آید. برای کاهش سربارهای حافظه، از مکانیسم ذخیره‌سازی ماتریسی در این تحقیق استفاده شده است.

فاز آنلاین مسیریابی با استفاده از اطلاعات مرحله‌ی قبل و مدل مکانی سلولی انجام می‌پذیرد. نتایج ارائه‌شده توسط نویسندگان نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی کارآمدتر و سریع‌تر از الگوریتم A* عمل می‌کند.

نقاط کلیدی شامل نقاطی است که در آن‌ها امکان چرخش وجود دارد. استخراج نقاط کلیدی با دو شرط انجام می‌پذیرد. اول اینکه معمولاً چرخش در گوشه‌ها و درها صورت می‌گیرد و دوم اینکه مسیر بهینه از کنار دیوارها می‌گذرد. پس از استخراج نقاط کلیدی و چک کردن ارتباط دوبه‌دو آن‌ها نقشه‌ی خلاصه‌شده تشکیل می‌شود. در شکل۸ نمونه‌ای از نقاط کلیدی استخراج‌شده با رنگ قرمز قابل‌مشاهده است. همان‌طور که دیده می‌شود نقاط کلیدی در مجاورت درها و دیوارها وجود دارند. در شکل۹ نیز نقشه‌ی خلاصه‌شده‌ی حاصل از نقاط کلیدی ارائه‌شده است. همان‌طور که در شکل۹ پیداست نقاطی که در یک منطقه محسوب می‌شوند دوبه‌دو به یکدیگر ارتباط داده‌شده‌اند.



شکل۸- استخراج نقاط کلیدی در محیط داخلی [۲۵]



شکل۹- تشکیل نقشه‌ی خلاصه‌شده با استفاده از نقاط کلیدی [۱۵]

همان‌طور که گفته شد مسیریابی در دو فاز آفلاین و آنلاین صورت می‌گیرد. مسیریابی آفلاین بر روی نقشه‌ی خلاصه‌شده و یک‌بار انجام می‌گیرد و ذخیره می‌شود. نقشه‌ی خلاصه‌شده یک گراف است که در آن نقاط کلیدی رئوس و ارتباط آن‌ها یال‌ها را تشکیل می‌دهد. به‌نوعی یال‌ها نمایانگر این هستند که دو نقطه‌ی کلیدی در یک منطقه وجود دارند. در این تحقیق مقادیر هزینه برای هر یال در نظر گرفته شده است. این‌گونه که هرچه طول یال بلندتر باشد مقدار هزینه‌ی بیشتری به خود می‌گیرد. مسیریابی آنلاین بر روی شبکه‌ی سلولی بر اساس هشت همسایگی اعمال می‌شود. هر سلول می‌تواند مقادیر اشغال‌شده و آزاد را اختیار کنند.

برای هر بار مسیریابی فرآیند زیر طی می‌شود. ابتدا با داشتن نقاط مبدأ و مقصد، منطقه‌ی هر نقطه طبق نقشه‌ی خلاصه‌شده محاسبه می‌شود. سپس نقطه‌ی خروج از منطقه‌ی مبدأ و نقطه‌ی ورود به منطقه‌ی مقصد با استفاده از نقاط کلیدی استخراج می‌شود. سپس مسیر بهینه بین این دو نقطه از پایگاه داده بازیابی می‌شود. بنابراین تنها عملیاتی که در فاز آنلاین باید انجام بپذیرد، مسیریابی از مبدأ تا نقطه‌ی خروج و از نقطه‌ی ورود تا مقصد است. این مسیریابی در مدل سلولی انجام می‌گیرد.

مزیت اساسی این تحقیق استفاده از دو مدل مکانی موجود است. نویسندگان از مزیت‌های هردو مدل استفاده و معایب مدل‌ها را با یکدیگر خنثی کرده‌اند. در استفاده از این روش باید در نظر داشت که نیاز به جمع‌آوری اطلاعات اولیه

---

۱ Abstract Map
۲ Floyd Warshall

و استفاده از تکنیک‌های ذخیره‌سازی داریم. همچنین به نظر می‌رسد برای استخراج نقاط کلیدی در محیط‌های پیچیده، روش ارائه‌شده کاملاً بهینه و کاربردی نیست.

۴- نتیجه‌گیری

از دیدگاه‌های متفاوتی می‌توان نحوه استفاده از نقشه را برای موقعیت‌یابی در محیط‌های داخلی بررسی کرد. مدل مکانی استفاده‌شده یکی از مهم‌ترین عوامل است. مدل سلولی و مدل گراف‌مبنا دو مدلی هستند که می‌توان برای بهبود دقت موقعیت‌یابی از آن‌ها استفاده کرد. هر کدام از این مدل‌ها دارای نقاط ضعف و قوت مخصوص به خود هستند. به عنوان مثال مدل گراف‌مبنا برای کاهش حجم محاسبات مناسب است، ولی با استفاده از آن بخشی از اطلاعات مکانی محیط را از دست می‌دهیم، یا یکی از مزیت‌های مدل سلولی توانایی مدل‌سازی کل محیط است، اما این کار باعث افزایش حجم محاسبات می‌شود.

میزان استفاده از پتانسیل مدل‌های پیشنهادی عامل تاثیرگذار دیگری است که باید در نظر گرفته شود. معمولاً در استفاده از مدل گراف‌مبنا هدف استفاده از اطلاعات توپولوژی خلاصه‌شده‌ای است که این مدل در اختیار قرار می‌دهد. اما تحقیقات کمی پیدا می‌شود که از مبانی پیشرفته و غنی گراف‌ها برای تحلیل‌های مکانی استفاده کرده باشد. همچنین در استفاده از مدل سلولی بیشتر از اطلاعات هندسی محدود به موقعیت دیوارها و موانع استفاده می‌شود. اما باید در نظر داشت که مدل سلولی توانایی در اختیار گذاشتن اطلاعات توپولوژی و معنایی را نیز دارد.

از منظر استفاده‌ی ترکیبی از دو مدل، روش‌هایی که از هر دو مدل استفاده می‌کنند را می‌توان به دو دسته‌ی کلی تقسیم کرد. روش‌هایی که در مدل سلولی، مدل گراف‌مبنا را اعمال می‌کنند و روش‌هایی است که در مدل گراف‌مبنا، مدل سلولی را استفاده می‌کنند. در دسته‌ی اول به‌نوعی خواص توپولوژی مدل سلولی را به‌وسیله‌ی مدل گراف‌مبنا تقویت می‌کنند. بنابراین از تمام پتانسیل مدل گراف‌مبنا استفاده نمی‌شود. در دسته‌ی دوم تقریباً مسئله به‌صورت سلسله‌مراتبی و چندمقیاسی حل می‌گردد. اینگونه که در سطح بالاتر مدل گراف‌مبنا استفاده می‌شود. سپس با استفاده از اطلاعات به دست‌آمده، در سطح پایین‌تر از مدل سلولی استفاده می‌شود. در این روش اهمیت هر دو مدل در نظر گرفته شده و سعی می‌شود از مزایای هر دو مدل استفاده بهینه شود.

جنبه‌ی دیگر بررسی، فناوری موقعیت‌یابی استفاده‌شده است. معمولاً از دو روش پیمایش و شدت سیگنال دریافتی در این زمینه استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد استفاده از روش پیمایش به دلیل استقلال از شبکه بهتر باشد، ولی با استفاده از این روش باید با مسائلی مانند نوع سنجنده‌ها، چگونگی ترکیب داده‌های آن‌ها و استخراج اطلاعات مفید روبه‌رو شد. به نظر می‌رسد استفاده ترکیبی از روش‌های موقعیت‌یابی متنوع برای ادغام با اطلاعات نقشه برای تحقیقات آینده مناسب باشد. همچنین می‌توان به تحقیق درباره‌ی روش‌های خودکار برای استخراج مدل‌های سلولی و گراف‌مبنا از نقشه‌ی محیط داخلی پرداخت. بافت‌آگاه‌سازی مدل‌های مکانی و الگوریتم‌های موجود در این زمینه نیز می‌تواند موضوع مناسبی برای تحقیقات بیشتر باشد.

مراجع

[1] Mcguire, M., K.N. Plataniotis, and A.N. Venetsanopoulos, Data fusion of power and time measurements for mobile terminal location. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2005. 4(2): p. 142-153.

[2] Guolin, S., et al., Signal processing techniques in network-aided positioning: a survey of state-of-the-art positioning designs. IEEE Signal Processing Magazine, 2005. 22(4): p. 12-23.

[3] Xu, W., et al., A pedestrian tracking algorithm using grid-based indoor model. Automation in Construction, 2018. 92: p. 173-187.

[4] Harle, R., A survey of indoor inertial positioning systems for pedestrians. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013. 15(3): p. 1281-1293.

[5] Curran, K., et al., An evaluation of indoor location determination technologies. Journal of Location Based Services, 2011. 5(2): p. 61-78.

[6] Fallah, N., et al., Indoor human navigation systems: A survey. Interacting with Computers, 2013. 25(1): p. 21-33.

[7] Mautz, R., Indoor positioning technologies: Rainer Mautz. 2012, Zürich: Schweizerische Geodätische Kommission: Zürich.

[8] Hazas, M. And A. Hopper, Broadband ultrasonic location systems for improved indoor positioning. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006. 5(5): p. 536-547.

[9] Gaber, A. And A. Omar. A study of tdoa estimation using matrix pencil algorithms and ieee 802.11 ac. In Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS), 2012. 2012. IEEE.

[10] Li, X., C. Claramunt, and C. Ray, A grid graph-based model for the analysis of 2D indoor spaces. Computers, Environment and Urban Systems, 2010. 34(6): p. 532-540.

[11] Fischer, C. And H. Gellersen, Location and navigation support for emergency responders: A survey. IEEE Pervasive Computing, 2009(1): p. 38-47.

[12] Worboys, M. Modeling indoor space. In Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness. 2011. ACM.

[13] Afyouni, I., C. Ray, and C. Claramunt, Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey. 2012.

[14] Kwan, M.-P. And J. Lee, Emergency response after 9/11: the potential of real-time 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments. Computers, Environment and Urban Systems, 2005. 29(2): p. 93-113.

[15] Kolling, A. And S. Carpin. Multi-robot surveillance: An improved algorithm for the GRAPH-CLEAR problem. In 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2008.

[16] Spassov, I., Algorithms for map-aided autonomous indoor pedestrian positioning and navigation. EPFL.

[17] Ray C, C.F., Bonnin JM, Le Roux YM, Combining accurate geolocalisation, mobile wireless technologies and information systems for location-based services.

[18] Nam, Y., Map-based Indoor People Localization Using an Inertial Measurement Unit. Journal of Information Science and Engineering, 2011. 27(4): p. 1233-1248.

[19] Lachapelle, G., Mezentsev, O., Collin, J. And macgougan, G, Pedestrian and vehicular navigation under signal masking using integrated HSGPS and self contained sensor technologies, in 11th World Congress. 2003, International Association of Institutes of Navigation: Berlin.

[20] Attia, M., A. Moussa, and N. El-Sheimy, Map Aided Pedestrian Dead Reckoning Using Buildings Information for Indoor Navigation Applications. Positioning, 2013. 4(3): p. 227-239.

[21] Chen, X. And S. Qin. Approach to high efficient hierarchical pathfinding of indoor mobile service robots based on grid map and Floyd-Warshall algorithm. In 2017 Chinese Automation Congress (CAC). 2017.