

واقعیت افزوده در گجت های همراه

یک سیستم هندسی برای واقعیت افزوده محدوده گسترده

- اندرو پی. گی، متیو وب، جورج اسکمیلا امبروزیو، والتیریو میول کیوس، اندرو کلوی
 آ. دپارتمان کامپیوتر دانشگاه بریستول، ساختمان Merchant Ventures.
 ب. دپارتمان برق و مهندسی الکترونیک، دانشگاه بریستول، ساختمان Merchant Ventures.
 ث. انستیتوی ملی فیزیک نجومی اپتیکال و الکترونیک، دپارتمان الکترونیک، پوبلا، مکزیکو.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت نسخه بازبینی شده: ۲۱ آپریل ۲۰۱۱	تاریخ دریافت: ۱۱ فوریه ۲۰۱۱
قرار گیری بر روی اینترنت: ۷ مه ۲۰۱۱	تاریخ پذیرش: ۲۷ آپریل ۲۰۱۱
کلید واژه ها: واقعیت افزوده، SLAM، بصری، UWB، GPS	

www.farzad.im

ترجمه و تدوین از: فرزاد عباس پور

چکیده

در این پژوهش، به شرح سیستمی می پردازیم که برای تسهیل مخابره کارآمد اطلاعات مربوط به جهان فیزیکی با استفاده از واقعیت افزوده (AR) طراحی شده است. ما حوزه هایی از فن آوری را گردآوری می کنیم تا سیستمی را ایجاد کنیم که قابلیت عمل کردن در زمان واقعی برای محدوده های گسترده چه برای عملیات محیط داخلی و چه برای عملیات محیط خارجی را داشته باشد. ایده اصلی، ترکیب نقشه برداری محلی و ردیابی بر اساس SLAM بصری زمان واقعی با موقعیت یاب جهانی هم از GPS و هم فن آوری باند فوق العاده گسترده داخلی (UWB) می باشد. جی پی اس امکان ایجاد دقیق و قابل تکرار حاشیه نویسی های AR را در نقشه های متریک محلی فراهم می سازد حال آنکه فن آوری باند فوق العاده گسترده داخلی (UWB) نمایش جهانی بزرگی از توپولوژی نقشه ها ارائه می کند که ما این را 'سیستم توپومتریک' می نامیم. اجزای اصلی، ردیابی و نقشه برداری مبتنی بر بینش صحیح و موثر با استفاده از چارچوب فیلتر کالمن، باز منطقه بندی کاربران در نقشه های محلی مبتنی بر بینش سریع و قابل اطمینان، مکانیزم های تعامل کاربر برای درج حاشیه نویسی موثر، و یک چارچوب یکپارچه برای مدیریت و نقشه برداری ترکیبی و داده های موقع یابی می باشد. ما نتایج آزمایش های صورت گرفته بر روی یک محدوده گسترده در عملیات داخلی و خارجی را ارائه می کنیم که نشان دهنده تولید موفق و تجسم تعداد زیادی از حاشیه نویسی های AR بر روی حوزه ای از مکان های مختلف می باشد.

۱. مقدمه

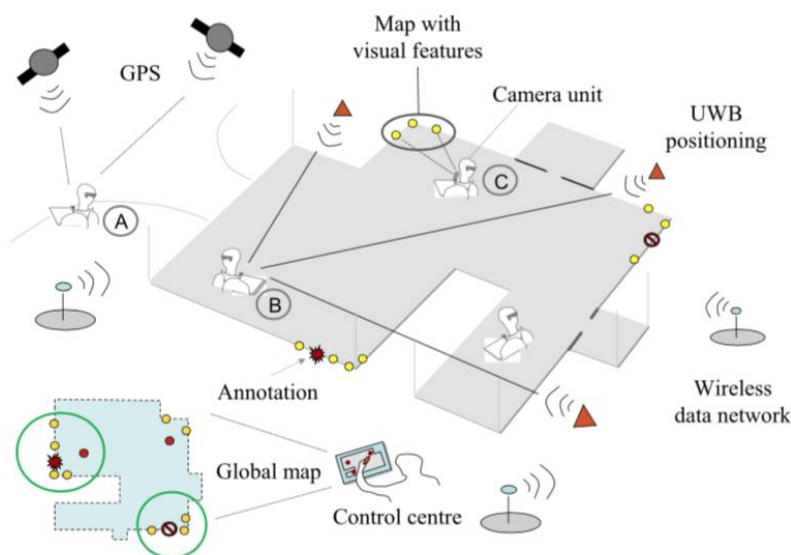
بی شک واقعیت افزوده (AR) قابلیت این را دارد که روش مخابره اطلاعات را به طور اساسی تغییر دهد چه این مخابره اطلاعات برای سرگرمی، هوانوردی، آمایش، و چه برای یکی از کاربردهای بسیار دیگرش باشد. حتی در ساده ترین شکلش، قابلیت مرتبط ساختن محتوای مجازی مستقیماً با ساختار فیزیکی D^3 و نمایش محتوا در محل اصلی، محدوده وسیعی از امکانات جدید را برای ذخیره سازی، ارائه و تجزیه و تحلیل داده های مربوط به جهان اطراف ما می گشاید. در سرگرمی، هنگامی که دنیای مجازی و واقعی ترکیب می شوند و حاشیه نویسی اطراف ما با علائم راهنمای مجازی و اطلاعات مسیر یابی، امکان هوانوردی قابل

انعطاف و مناسب ارائه می کند که فراتر از آن چیز است که توسط دستگاه های GPS فعلی ارائه می شود، قماربازی توزیعی معنی کلی جدیدی به خود می گیرد.

آن چه کمتر واضح است این است که این پتانسیل چگونه باید در عمل محقق شود. گرچه پیشرفت زیادی در پژوهش و توسعه اجزای اصلی به خصوص در حوزه های ردیابی و نمایش حاصل شده است، این پرسش همیشه وجود دارد که چگونه این تکنیک ها به بهترین وجه با سیستم های کامل که قابلیت عملکرد صحیح و مقیاس پذیر بر روی محدوده های گسترده توسط کاربران سیار متعدد را دارند جمع می شود. اگر قرار باشد AR عادی شود و ابزار روزانه ای برای طیف گسترده ای از کاربران شود آن گاه چنین عملکرد موثری ضروری خواهد بود. به عبارت دیگر، سیستم های AR لازم است که از آزمایشگاه خارج شوند و به برنامه های کاربردی توسعه یابند.

نگرانی اصلی به خصوص در مورد AR سیار چگونگی ارائه یک زیرساخت نقشه برداری و ردیابی کارآمد می باشد می باشد. سیستم های AR تکیه زیادی بر منطقه بندی وضع D۶ دستگاه های نمایشی دارند تا امکان این را فراهم سازند که حاشیه نویسی ها از یک دوربین دیداری با ویدئو همتراز باشند. برای نمایش متقاعدکننده، این ردیابی لازم است که هم دقیق و هم صحیح باشد. مکانیزم های کارآمد نیاز برای نقشه برداری محیط D۳ مورد نیاز می باشند که این امکان را فراهم می سازد تا حاشیه نویسی ها مستقیماً با ساختار فیزیکی مرتبط شوند. در پایان، بازنمودهای جهانی برای هوانوردی موثر و اطلاع از زمینه مورد نیاز می باشد.

تکنیک های بسیاری برای پرداختن به این مسائل ایجاد شده اند که از انواع سنسورها هم برای سناریوهای مدرج و هم غیر مدرج بهره می گیرند. در بخش ۲ به مثال هایی در این مورد خواهیم پرداخت. دغدغه مهم مربوط به تمامی این سیستم ها دقت نسبی بدست آمده در موقعیت یاب جهانی و ردیابی محلی می باشد. از طرفی، ردیابی دقیق برای حاشیه نویسی واقعی ضروری است. با این حال، حفظ دقت بر روی محدوده های گسترده برای موقعیت یابی بدون درجه بندی گسترده ابزار دقیق محیط غیر عملی می باشد و از اینرو، هم انعطاف پذیری و هم مقیاس پذیری سیستم را به شدت محدود می کند. این یک عامل محدود کننده اصلی در بسیاری از سیستم ها می باشد. پژوهشی که در این مقاله به شرح آن می پردازیم به این مسئله می پردازد.



شکل ۱: نمای شماتیک سیستم ToMAR که چند کاربر را در حال علامت گذاری صحنه با عبارات متنی در فضای بسته (UWB)، باز (GPS) و در دید مستقیم (SLAM) نمایش میدهد. (برای درک رنگ های بکار رفته در این شکل، به نسخه اینترنتی این مقاله مراجعه کنید.)

ما یک رویکرد توپومتریکی اتخاذ می کنیم که در آن، نقشه برداری جهانی توپولوژیک با استفاده از موقعیت یابی خارجی و داخلی با دقت نسبتاً پایین با نقشه برداری و ردیابی متریک محلی با دقت بالا جمع می شود. (شکل یک را ببینید). منظور ما از توپولوژیکی یک سیستم نقشه برداری جهانی است که در آن، ترتیب ویژگی ها و مکان ها نه تنها نادقیق می باشد بلکه بوسیله

اختلالاتی مانند بازتاب ها و انسدادها که معمولا در سیستم های موقعیت یابی مانند GPS و یا UWB یافت می شود به طور بالقوه تحریف شده است. برای عملکرد متریک محلی، از نقشه برداری و منطقه بندی همزمان مبتنی بر بینش (SLAM) برای فعال کردن ایجاد آنلاین نقشه های ویژگی محلی استفاده می کنیم که هم ردیابی دقیق و هم باز منطقه بندی قابل اطمینان را برای درج و تجسم حاشیه نویسی ها تسهیل می کند. این به طور کلی یک سیستم مقیاس پذیر با نقشه نویسی جهانی ارائه می کند که هوانوردی زمینه و درشت (coarse) هم برای سناریوهای داخلی و خارجی و ارائه می کند و SLAM بصری امکان ایجاد و نمایش AR صحیح و سیار را فراهم می سازد. علاوه بر این، این با استفاده تعداد نسبتا اندکی از سنسورها از بدست می آید.

در بخش بعدی به مرور سیستم ها و تکنیک های مربوطه می پردازیم و پس از آن، در بخش ۳، به مرور سیستم توپومتریک خود به لحاظ موقع یابی و نقشه برداری می پردازیم و در بخش ۴ به عملکرد تعاملی می پردازیم. سپس در بخش های ۵ و ۶ به ارائه نتایج تجربی که نشان دهنده عملکرد سیستم هم برای عملیات داخلی و هم خارجی، شامل یک مطالعه ارزیابی کاربر، می باشند می پردازیم. یافته های اولیه پژوهش پیشتر در [۴۰،۴۱] گزارش شده اند.

۲. پژوهش های مربوطه

یک سیستم ردیابی AR محیط گسترده ایده آل قابلیت ارائه همزمان آنچه در زیر آمده را دارا می باشد:

الف) برآوردهای فرکانس بالای موقعیت مطلق در یک چارچوب مرجع جهانی برای هوانوردی و آگاهی های متنوع
ب) حالت شش DoF دقیق محلی برای نمایش D³ حاشیه نویسی های بصری. با اینحال، از مدت ها پیش جا افتاده است که هیچ سنسور واحدی در حال حاضر قابلیت ارائه چنین راه حل ردیابی کاملی را برای محیط های داخلی و خارجی ندارد [۱،۲]. در عوض، روش های ردیابی که فن آوری های ردیابی سنسور واحد مانند GPS، UWB و سنسورها و دوربین های اینرسی را ترکیب می کنند برای ارائه ترکیبی از موقعیت مطلق و دقت محلی در هزینه پیچیدگی افزایش یافته سیستم به کار می روند. این انعطاف پذیری در انتخاب و ترکیب سنسورها به ارائه انواع مختلفی از سیستم های AR محیط گسترده برای کاربردهای مختلف منتج شده است.

سیستم های AR محیط گسترده اولیه محدودیت های گوناگونی دارند که مانع پذیرش و استفاده گسترده از آن ها شده است. رکیموتو و دیگران [۳] سیستمی را ارائه می کنند که حاشیه نویسی ها را به مکان ها در محیط آماده شده با نشانگرهای فیزیکی که می توانند برای برآورد حالت یک دوربین به کار روند ضمیمه می کنند. این قابلیت های AR محیط گسترده ارائه می کند اما دارای محدودیت اساسی نیاز به تغییر فیزیکی محیط می باشد و فاقد بازنگری جهانی مکان های محتوای حاشیه نوشته می باشد. به طور مشابه، بسیاری از سیستم های AR محیط گسترده دیگر بوجود آمده اند که بر نشانگرهای بصری یا مدل های شناخته شده محیط تکیه دارند [۴-۷]. که این در محیط هایی مناسب است که مدل ها به آسانی در دسترس می باشند اما به دلیل هزینه ساخت و توزیع این مدل ها، مقیاس پذیری را به شدت محدود می کند، گرچه یک سیستم اخیرا نقشه های خروجی از حریق را مورد استفاده قرار داده است که در بسیاری از ساختمان ها موجود می باشند [۸].

سیستم های دیگر [۹،۱۰] هدفشان رفع این مشکلات با معرفی GPS و سنسورهای اینرسی برای ارائه یک برآورد موقعیت جهانی و جهت گیری بدون نشانگرها یا مدل ها بوده و مشکل مربوطه مدیریت سیستم های ردیابی متعدد نیز در نظر گرفته شده است، برای مثال، فیلتر کالمی 'فراردیاب' ارائه شده برای پر کردن خلاء های بین سیستم های ردیابی [۱۱]. این سیستم ها دارای قابلیت حاشیه نویسی محدوده های آماده نشده می باشند و ردیابی را در هر مکانی ارائه می کنند و نقشه جهانی کاملی را تولید می کنند. با اینحال، آن ها به دلیل دقت معمولا پایین سنسورهای موقعیت یابی جهانی و مشکلات برآورد دقیق داخلی های جهت گیری جهانی دارای محدودیت می باشند [۱۱،۱۲].

در انتهای دیگر این طیف، سیستم هایی پدید آمده اند که مجموعه هایی از نقشه های محلی وابسته به دقت بالا با استفاده از تکنیک های SLAM بصری می سازند. برای مثال، کسل و دیگران [۱۳] یک سیستم SLAM بصری ارائه می کنند که زیرنقشه های کوچکی ایجاد می کند که بصورت مجزا نگهداری می شوند و سپس با یک تصویر ورودی مقایسه می شوند برای تشخیص اینکه کاربر بار دیگر در همان محدوده می باشد. چنین سیستمی به جای ردیابی پیوسته مکان جهانی کاربر،

بین یک حالت 'ردیابی' به هنگام مشاهده یک بخش نقشه برداری شده محیط و یک حالت 'باز منطقه بندی' به هنگام گم شدن و جستجو برای ویژگی های نقشه برداری قابل تشخیص تغییر می کند. در صورتی که روش باز منطقه بندی صحیح و قابل اطمینان باشد این روش می تواند بسیار موثر باشد زیرا تنها محدوده هایی که باید حاشیه نویسی شوند لازم است که نقشه برداری شوند. با این حال، این یک بازنگری جهانی محدوده مورد علاقه برای کاربر ارائه نمی کند و این پرسش را مطرح می کند که چگونه می توان از کاربر انتظار داشت که بین مناطق حاشیه نوشته جهت یابی کنند و یا حتی بدانند که یک حاشیه نویسی برای مشاهده یک مکان خاص موجود خواهد بود. به این دلیل، مقیاس پذیری یک سیستم که هر مرجع جهانی را کاملا نادیده می گیرد غیر واقعی به نظر می رسد.

راه حل های واسطه ای نیز در جایی که نقشه جهانی واحد به زیر نقشه های محلی با حالت های جهانی شناخته شده تقسیم می شوند موجودند، گرچه این تکنیک ها در درجه اول در ادبیات رباتیک یافت می شوند و هنوز به طور گسترده ای در سیستم های AR محیط گسترده به کار نمی روند. فریتز و دیگران [۱۴] از توصیف گرهای ویژگی بصری اسفاده می کنند تا امکان تشخیص ساختمان را فراهم سازند و حاشیه نویسی D₂ و GPS راهگاه بر اساس مکان را میسر می سازد. شلیچر و دیگران [۱۵] نقشه های SLAM بصری متریک محلی را با استفاده از GPS به یکدیگر لینک می کنند تا یک نمودار توپولوژیک جهانی بسازند که می تواند با اسفاده از محدودیت های بستر حلقه بهینه شود. ردیابی در نقشه های محلی بسیار دقیق می باشد اما برآورد موقعیت جهانی به دلیل دقت معمولاً پایین سنسورهای موقعیت یابی و جهت یابی کماکان محدود می باشد. این را می توان با استفاده از مسافت یابی بصری برای یک برآورد دقیق تر تغییرات نسبی بین گره ها در گراف بهبود بخشید و یا با اطمینان حاصل کردن از اینکه نقشه های محلی دارای ویژگی های مشترک بصری می باشند که می تواند برای محدود کردن گراف جهانی مورد استفاده قرار گیرد [۱۶]. با این حال حفظ یک نقشه جهانی دقیق بر روی یک محدوده گسترده می تواند مخارج کلی قابل توجهی را برای حفظ انسجام جهانی و تشخیص و مدیریت بستارهای حلقه در تحمیل کند و می تواند اتلاف تلاش در کاربردهایی باشد که می طلبند که محیط به صورت جداگانه حاشیه نویسی شوند.

۳. AR سیار توپومتريک

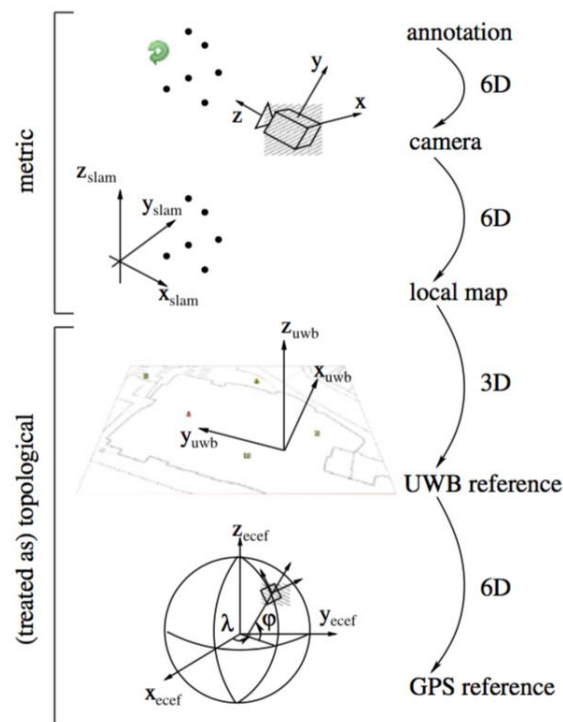
سیستم ارائه شده ما در جایی در میانه طیف بالا تنزل می کند و موقعیت توپولوژیک جهانی را با نقشه برداری متریک محلی ترکیب می کند که ما این را AR سیار توپومتريک (ToMAR) می نامیم. با استفاده از روشی مشابه روش کسل و دیگران [۱۳]، از SLAM بصری برای ساخت نقشه های محلی با دقت بالا در مکان هایی که مایلیم حاشیه نویسی کنیم استفاده می کنیم، اما برخلاف سیستم آن ها، ما نیز یک نقشه جهانی مبتنی بر موقعیت یاب GPS و UWB برای کمک به کاربران در تعیین محل و هدایت کردن به حاشیه نویسی ها می سازیم. ما از یک مکانیزم راهگامی بر روی موقعیت جهانی تریب شده با رتبه بندی بر اساس ظاهر بصری برای باز منطقه بندی کاربران در نقشه های محلی استفاده می کنیم.

با این حال، ذکر این مسئله مهم است که برخلاف شلیچر و همکاران [۱۵] و بسیاری دیگر از نویسندگان سیستم های SLAM بصری محیط گسترده، تلاش ما این نیست که یک نقشه جهانی با دقت بالا بسازیم. بلکه هدف ما ساخت یک نقشه جهانی با وضوح کافی می باشد تا امکان این فراهم آید تا کاربران، محیط هایی را که در آن، محتواهای حاشیه نوشته جذاب وجود دارد شناسایی کنند و آن ها را هدایت کنیم. به همین دلیل، اطلاعات متنی مانند مکان درها و یا دیوارها را بر فراز دقت موقعیت یابی جهانی می سنجمیم و ابزارهایی را ارائه می کنیم که این امکان را به کاربر می دهند تا نقشه جهانی را با این نوع از اطلاعات حاشیه نویسی کنند که مشابه تکنیک های ارائه شده توسط بیلوت و همکاران [۹] می باشد. این ما را قادر می سازد تا مشکلات برآورد جهت یاب جهانی و بهینه سازی نقشه جهانی را کاملا نادیده بگیریم. به این صورت، ما از بسیاری از مخارج کلی و پیچیدگی های ترکیب انواع مختلف سنسورها برای ساخت یک نقشه کاملا جهانی ضمن ارائه قابلیت ضروری یک سیستم AR محدوده گسترده مقیاس پذیر جلوگیری می کنیم. یک محدودیت این روش این است که حاشیه نویسی ها می توانند تنها درون نقشه های محلی خودشان تجسم شوند و نه بین نقشه ها زیرا ما جهت گیری جهانی و مقیاس نقشه های محلی را برآورد نمی کنیم. با اینحال، از آنجایی که حاشیه نویسی های متعددی را می توان به هر نقشه محلی افزود این به اشکالی عمده تبدیل می شود هنگامی که پدیداری توأمان حاشیه نویسی ها در مکان های کاملا جدا مورد نیاز باشد.

۱.۳ موقعیت یابی توپولوژیک جهانی

همان طور که در شکل های ۱ و ۲ می بینیم، ۳ حالت مختلف موقعیت یابی جهانی در سیستم ToMAR وجود دارد: الف) GPS، ب) نقشه های طرح کف و ج) UWB. یک زیرساخت ارتباطات (در مورد ما با استفاده از وای فای) کاربران را متصل می سازد و به آن ها اجازه می دهد تا نقشه ها و حاشیه نوشته هایشان را با یکدیگر و با یک مرکز کنترل به منظور تولید یک نقشه جهانی به اشتراک بگذارند، همان طور که در پایین سمت چپ شکل ۱ می بینیم. نقشه های SLAM محلی (دوایر سبز) در چارچوب مرجع جهانی در ایجاد با استفاده از یک برآورد موقعیت D^3 از GPS، UWB و یا تعامل کاربر قرار می گیرند. دقت این ثبت بستگی به روش موقعیت یابی مورد استفاده در زمان نوشتن خواهد داشت. باز هم اگر نقشه های محلی تنها به صورت تقریبی در نقشه جهانی قرار گرفته باشند ما خشنود خواهیم شد، زیرا حاشیه نویسی های مشهود همیشه با دقت محلی نسبی دوربین در نتیجه باز منطقه بندی خودکار و برآورد حالت دوربین فول D^6 در نقشه محلی نمایش داده می شوند. این نیز بدان معنی است که نیازی نیست ما برآوردهای اولیه موقعیت های نقشه محلی را در نقشه جهانی اصلاح کنیم و همچنین اینکه می توانیم به صورت جداگانه با آن ها برخورد کنیم و از نیاز حفظ انسجام بین محتواهای نقشه محلی جلوگیری کنیم.

ما از موقعیت یاب GPS به هنگام در دسترس بودن استفاده می کنیم که همترازی قابل قبولی با یک چارچوب مرجع مطلق ارائه می کند. گرچه مطالعاتی نشان داده اند که GPS می تواند قابل استفاده در برخی تنظیمات داخلی باشد [۱۷]، ما نیز یک سیستم موقعیت یاب داخلی UWB متشکل از فرستنده های متعدد به کار می گیریم [۱۸]. فرض می کنیم که سیستم UWB در ساختمان نصب شده و قبلاً با توجه به چارچوب مرجع GPS مدرج شده است. در یک محیط داخلی معمولی، سیستم UWB موقعیت یاب D^3 برای دقت حداقل در سطح متر ارائه می کند. با اینحال، هم دقت GPS و هم دقت UWB تحت تأثیر انسدادها در خطوط دید بین واحدها و سطوح بازتابنده در محیط می باشند که تأثیرات چندمسیری می افزایند و موقعیت یابی مطلق دقیق را به یک مسئله چالش برانگیز تبدیل می کنند. تغییر بین سیستم های UWB و GPS کاملاً برای کاربران واضح است



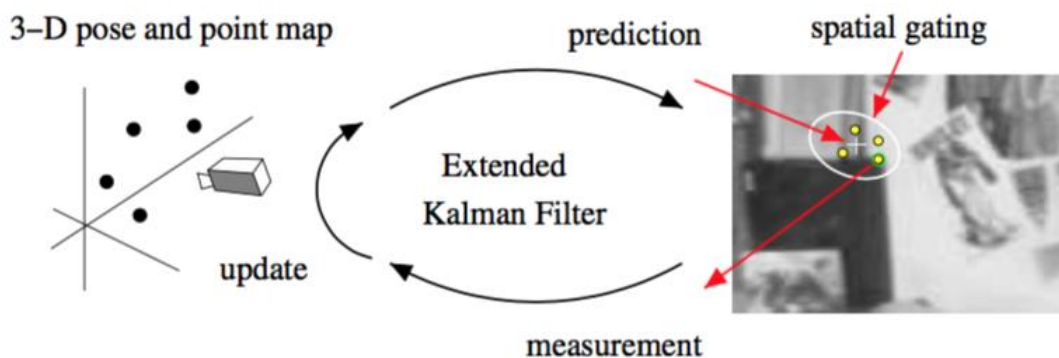
شکل ۲: نمایش درختی فریم های مرجع. تبدیل های صورت گرفته بین لایه های مبتنی بر توپولوژی و متریک براحتی قابل ترجمه اند. این تبدیل ها بمنظور بهبود نقشه های ناحیه ای و با استفاده از تخمین موقعیت سه بعدی از GPS، UWB یا مستقیماً پس از دریافت از کاربر صورت میگیرند. نقشه جهانی موقعیت سه بعدی نقشه ناحیه ای را نمایش داده و امکان حرکت و تغییر موقعیت بین ناحیه های مختلف و عبارات متنی را ممکن می سازد. موقعیت دوربین و عبارات متنی نمیتوانند به فریم های مرجع UWB یا GPS تبدیل شوند زیرا مقیاس جهانی و موقعیت نقشه ناحیه ای نسبت به محور های طول عرض و ارتفاع تخمین زده نمی شود.

زیرا سیستم ToMAR برای این منظور است که در هر موردی تعیین کنیم پوششی توسط یک سیستم یا سیستم دیگر ارائه شده و تصمیم بگیریم که کدام سیستم با اولویت مورد استفاده قرار خواهد گرفت (که در مورد ما، سیستم UWB دقیق تر می باشد). به یاد آورید که هدف از نقشه جهانی ما این نیست که دقت بالایی داشته باشد و در درجه اول برای تعیین محل و هدایت به مناطق حاشیه نوشتی محیط به کار می رود، بنابراین برآوردهای موقعیت مطلق غیر تریبی برای نیازهای ما کاملاً کافی می باشد.

اگر کاربر بخواهد هنگامی که نه UWB و نه GPS موجودند یک حاشیه نویسی ایجاد کند، سیستم کاربر را و می دارد تا مکان را به صورت تعاملی بر روی یک نقشه D^2 نشان داده شده در مرکز آخرین موقعیت مورد اطمینان اصلاح کند. سیستم ما از نقشه های خیابانی استفاده می کند که تنها خطوط ساختمان ها را نشان می دهند ضمن اینکه مانع استفاده از نقشه های دقیق تر نمی شوند. نقشه ها نیز می توانند به طور بالقوه گسترش یابند و طرح های معماری کف را در صورت وجود در بر گیرند که می تواند با ورود اطلاعات متنی کاربر افزایش یابد که در بخش ۴ به آن می پردازیم. بار دیگر، نتیجه نهایی یک چارچوب مرجع توپولوژیکی است. با ترکیب ارجاع اتوماتیک با ورودی کاربر تعاملی می توانیم نوشتن را بر روی یک محیط گسترده انجام دهیم.

۲.۳ نقشه برداری متریک محلی

انتخاب SLAM بصری برای تسهیل نوشتن محلی و نمایش حاشیه نویسی های AR یکی از موارد مهم می باشد که ردیابی حالت دوربین D^3 زمان واقعی و نقشه برداری ساختاری در محیط های مشاهده نشده پیشین ارائه می کند که آن را انعطاف پذیر و سیار می کند و بدون استفاده از نشانگرها یا ابزارهای دیگر عمل می کند. در مورد ما، تنها لازم است که در مناطق منطقه بندی شده حاشیه نویسی کنیم و از این رو، از نقشه برداری در مناطق کوچک راضی هستیم، آنچه سیستم های فعلی در آن ماهرند. تعدادی سیستم های بالقوه وجود دارند که می توانند برای این کار انتخاب گردند [۱۹-۲۱] که از روش های مختلف انطباق و برآورد ویژگی استفاده می کنند. ما تصمیم گرفته ایم از روشی استفاده کنیم که توسط Chekhlov و همکاران [۲۰] شرح داده شده است، در درجه اول به دلیل توانمندی آن و اینکه مکانیزم موثری را برای باز منطقه بندی تکمیل می کند [۲۲]. این روش را به طور خلاصه در زیر معرفی می کنیم؛ لازم است که خوانندگان برای اطلاعات بیشتر به مراجع بالا رجوع کنند. در SLAM بصری، هدف، برآورد موقعیت و جهت D^3 دوربین ضمن برآورد همزمان اطلاعات عمقی در مورد ویژگی ها در صحنه می باشد. روش Chekhlov و همکاران [۲۰] از چارچوب فیلتر کالمن توسعه یافته (EKF) برای این کار استفاده می کند که در آن، حالت فیلتر شامل حالت D^3 و یک نقشه از ویژگی های نقطه D^3 می شود. اندازه گیری ها برای فیلتر، موقعیت های ویژگی های نقطه نقشه کشیده شده در چارچوب های پی در پی گرفته شده توسط دوربین، مربوط به حالت از طریق نقشه کشی منظره می باشد (بر فرض یک دوربین مدرج). توضیح سودمند مربوط به چرخه های پیشگو-اصلاح کننده تکراری می باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: عملیات تصحیح پیش بینی کننده، در درون فیلتر Kalman برای تشخیص و مچ کردن نقشه و بروز رسانی آن در SLAM.

با توجه به یک حالت فعلی و یک مدل حرت مفروض، پیش بینی ها برای موقعیت های ویژگی در چارچوب بعدی می تواند همراه با عدم اطمینان مربوطه شان به دلیل کوواریانس حالت حفظ شده در فیلتر صورت گیرد که دومی، راهگامی فضایی بر روی اندازه های تصویر و در نتیجه، به حداقل رساندن محاسبات ارائه می کند، همان طور که در شکل ۳ می بینیم. سپس محتمل ترین تطابق برای نقطه D^3 مربوطه به عنوان اندازه گیری برای به روز رسانی حالت و نقشه D^3 با استفاده از معادلات فیلتر کالمن [۲۳] به کار می رود.

تطبیق ویژگی بر اساس توصیف گرهای تصویر محاسبه شده در اطراف نقطه های مورد علاقه و در مقیاس های متعدد می باشد. این ها هیستوگرام های گرادیان های فضایی هستند که به طور مناسبی با توجه به جهت گیری غالب، مشابه توصیف گرهای به کار رفته در الگوریتم SIFT [۲۴]. نرمالیزه شده اند. می دانیم که این ها میزان خوبی از تغییرناپذیری دیدگاه [۲۵] و توانمندی برای حرکت نامنظم [۲۰] ارائه می کنند. آن گاه راهگامی مقیاسی بر اساس حالت دوربین برآورد شده امکان تطبیق توصیف گرها در مقیاس های درست [۲۰] را فراهم می سازد. ویژگی های نقشه D^3 با استفاده از روش عمق معکوس [۲۶] مقداردهی می شوند و ویژگی های بالقوه در هر چارچوب با استفاده از برنامه ترکیبی FAST [۲۷] و ردیاب های نقطه برجسته شی و توماسی [۲۸] تعیین می گردند. ما از یک موقعیت ثابت و مدل حرکت سرعت ثابت ترکیبی استفاده می کنیم و با توجه به موفقیت و یا تطبیق ویژگی، بین حالت ها تغییر می کنیم و از این رو، با حرکت دوربین تطبیق می یابیم سیستم به بالا به کاربران اجازه می دهد تا نقشه های محلی در محیط بسازند و سپس حاشیه نویسی های AR را در نقشه با استفاده از یک فرآیند تعاملی که در بخش ۱.۴ شرح داده شده درج کنند. شکل ۴ نمونه چنین نقشه ای را با برآوردهای D^3 حالت دوربین و نقشه نقطه نشان داده شده در سمت چپ و تطبیق ویژگی در چارچوب فعلی با حاشیه نویسی نقشه کشیده شده نشان داده شده در راست را نشان می دهد. مناطق تصویر بر راهگامی های فضایی دلالت دارند و سبز نشان دهنده یک ویژگی موفق و قرمز نشان دهنده یک تطبیق ناموفق می باشد. نمونه های دیگر حاشیه نویسی های درج شده در ۱۶ مکان در سمت راست شکل ۱۳ با موقعیت هایشان در در یک نقشه جهانی نشان داده شده در چپ نشان داده شده اند (جزئیات بیشتر در بخش ۲.۵ ارائه شده است). با ساخت و ذخیره چنین نقشه هایی، یک عنصر اساسی در TOMAR باز منطقه بندی کاربران در یک نقشه معین هنگامی که آن ها در مجاورت آن باشند می باشد. در بخش بعدی به این مطلب اشاره خواهیم کرد.

۳.۳ باز منطقه بندی

با نزدیک شدن کاربران به منطقه ای که پیشتر در آن ها حاشیه نویسی ایجاد شده است لازم است که دوربین در نقشه محلی مرتبط باز منطقه بندی شود که باعث می شود تا ردیابی مجدداً آغاز شود و از این رو نمایش حاشیه نویسی ها ممکن شود. از آنجایی که نقشه ها بر حسب ویژگی های بصری تعریف می شوند، این فرآیند لازم است که در درجه اول بر اساس ظاهر باشد- اساساً ویژگی های شناسایی شده هنگامی که دوربین منطقه نقشه برداری شده را می بیند لازم است که به سرعت با ویژگی های مربوط به نقشه های محلی ذخیره شده تطبیق یابد. برای عملکرد آنلاین موثر، لازم است که این تا جای ممکن صحیح و سریع باشد و دارای ردیابی های مثبت کاذب اندک باشد. تعدادی روش های موجود برای پرداختن به این مسئله وجود دارند که بسیاری از آن ها در زمینه سیستم های SLAM بصری ایجاد شده اند.



شکل ۴: نمونه ای از یک نقشه ناحیه ای که با استفاده از SLAM ساخته شده: (چپ) موقعیت قرار گیری دوربین و نقشه سه بعدی با کنواریانس مربوطه با قرمز نوشته شده است. (راست) نمای بینایی دوربین، که گیت های هوایی تشخیص داده شده (سبز) و تشخیص داده نشده (قرمز) را نمایش میدهد که به همراه ویژگی ها بصورت عبارات متنی بازتاب داده شده با استفاده از حقیقت افزوده (پیکان های چرخشی سبز) نشان داده شده اند. (برای درک رنگ های بکار رفته در این شکل، به نسخه اینترنتی این مقاله مراجعه کنید).

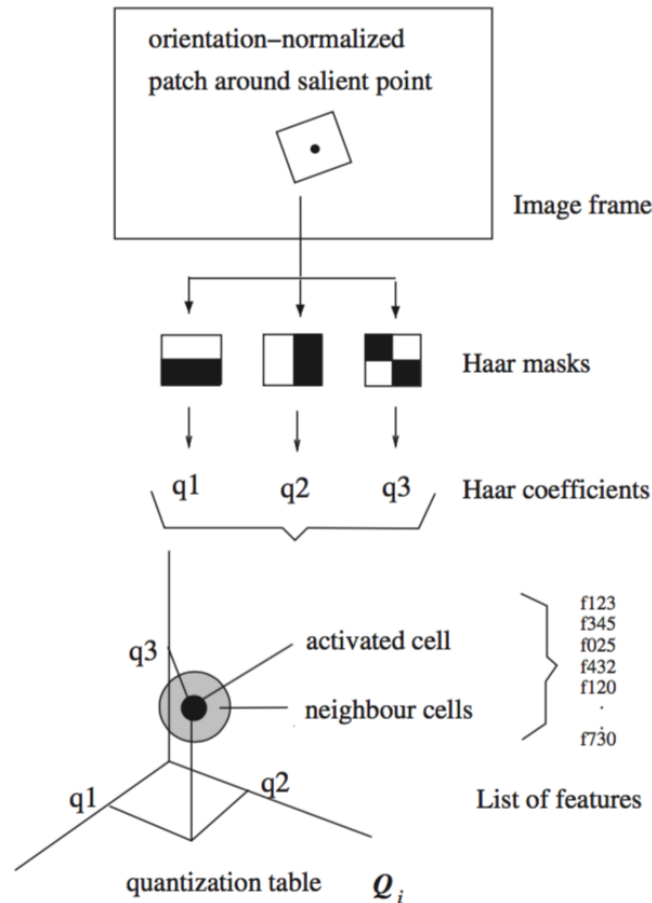
برای مثال، ویلیام و همکاران [۲۹] از یک جداکننده درخت تصادفی برای باز ردیابی ویژگی ها همراه با یک مرحله بازبینی RANSAC برای مقارنه حالت استفاده می کنند. درختان به صورت آفلاین تولید می شوند و از فضای ذخیره سازی نسبتا بزرگی استفاده می کنند که حدود ۱,۳ MB در هر نقطه نقشه است [۱۳]. سیستم PTAM [۲۱] روشی مبتنی بر تطبیق چارچوب های کلیدی با رزلوشن پایین استفاده می کند و این، مبنای باز منطقه بندی بر روی نقشه های متعدد [۱۳] را تشکیل داد. این روش بهتر از دیدگاه ذخیره داده می باشد، باینحال، در تجربه ما، منطقه بندی مبتنی بر چارچوب کلیدی متمایل به مثبت های کاذب است به خصوص هنگام عمل کردن در مناطق تقریبا مشابه. گزینه محبوب دیگر استفاده از کتاب های رمز بصری [۳۰] مانند آنچه مورد استفاده کامینس و نیومن [۳۱] برای شناخت مکان با محدوده گسترده است می باشد. کتاب های رمزی معمولا با استفاده از یک فرآیند خوشه سازی بهینه به صورت آفلاین تعیین می شوند و بنابراین به راحتی در پرواز بروزرسانی نمی شوند که این، توسط اید و دراموند [۱۶] مورد بررسی قرار گرفته است.

۴.۳ باز منطقه بندی نقشه واحد

ما برای ToMAR، روش شرح داده شده توسط Chekhlov و همکاران [۲۲] را در درجه اول به دلیل کارایی آن به لحاظ نیازهای حافظه و میزان مثبت کاذب اندک آن اتخاذ کرده ایم. ToMAR بازبینی های ثبات هندسی را با انطباق توصیف گر بصری صحیح ترکیب می کند که دومی، هیستوگرام های گرادیان های فضایی به کار رفته در الگوریتم SLAM بصری ما و نمایه سازی سریع کتابخانه با استفاده از ضراب هار می باشند. دومی بر اساس یک جدول کوانتیزگی است که در مقایسه با روش های دیگر، کوچک است (برای مثال با استفاده از درختان تصادفی) و می تواند در پرواز بروز شود. روش توصیف شده توسط Chekhlov و همکاران [۲۲] برای کار بر روی یک نقشه واحد طراحی شد اما ما آن روش را گسترش می دهیم تا با نقشه های متعدد به طور موثرتری کار کنیم. علاوه بر این، روش ما با پژوهش باز منطقه بندی نقشه های متعدد پیشین توسط اید و دراموند [۱۶] متفاوت است، هم در سائز کوچک توصیف گرهای به کار رفته و هم در استفاده ما از یک جدول کوانتیزگی نسبتا کوچک ایجاد شده تنها از ویژگی های D^3 در نقشه های محلی ما. بار دیگر، در اینجا به مرور اجمالی این روش می پردازیم.

فرض می کنیم که یک نقشه با M_i ویژگی پیشتر ساخته شده است و هندسه D^3 ویژگی ها همراه با توصیف گرهای بصری شان موجود می باشد. در جهت تلاش برای منطقه بندی، نقاط برجسته در چارچوب ورودی شناسایی می شوند. در اطراف هر نقطه، یک تکه با سائز ثابت بیرون کشیده می شود که همتراز با جهت گیری غالب است و به منظور تغییرناپذیری چرخش می باشد و سه ضریب اول هار گرفته می شوند. این ها تغییر ناپذیری ظاهر ناهموار تکه را در مسیرهای افقی، عمودی و مورب رمز گذاری می کنند و برای فهرست کردن یک جدول کوانتیزگی Q_i به کار می روند. سلول ها در دومی شامل توصیف گر ها همراه

با موقعیت های D^3 شان از نقشه محلی ذخیره شده می شوند که برای آن، تکه های مربوطه دارای ضرایب مشابه می باشند، یعنی سلول c_{ij} در Q_i شامل لیستی از ویژگی های $F = \{f_k, \dots, f_m\}$ می شود که در زمانی که M_i ایجاد شده تولید شده اند. بنابراین با مقایسه توصیف گر برای تکه ورودی با توصیف گرها در سلول c_{ij} و سلول های مجاور که در شکل ۵ نشان داده شده اند تطبیق بدست می آید. به عبارت دیگر، ضرایب هر به عنوان یک مکانیزم در هم سازی برای کاهش تعداد مقایسه ها و از این رو، افزایش سرعت فرآیند تطبیق عمل می کنند. این مشابه کاربردشان برای تطبیق تصویر می باشد [۳۲]. هنگامی که تطبیق های داوطلب یافت می شوند یک روش RANSAC برای محاسبه حالت دوربین ثابت به کار می رود. در صورت



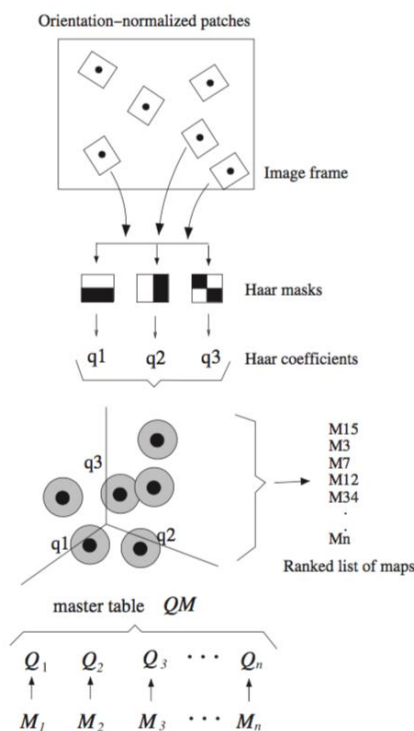
شکل ۵: عملیات بومی سازی مجدد با استفاده از فریم تازه دریافت شده در یک نقشه محلی، بر اساس محاسبه سه ضریب Haar برای هر نقطه قابل توجه بدست می آید. در واقع هر کدام آنها یک عنوان در فهرست ویژگی های مچ شده را تشکیل میدهد.

موفقیت و در صورتی که یک حاشیه نویسی مرتبط با M_i در چارچوب فعلی مشهود باشد آن گاه به عنوان یک شی AR نمایش داده خواهد شد. در آزمایشات ما، این روش تنها حدود ۳٪ مقایسات مورد نیاز یک جستجوی جامع را مورد استفاده قرار می دهد. کل فرآیند نیز سریع است و معمولاً در ۵۰-۳۰۰ میلی ثانیه و با کمتر از ۱٪ نتایج مثبت کاذب و بین ۳٪ و ۴۰٪ نتایج منفی کاذب در یک سناریوی وظیفه معمول [۲۲] باز منطقه بندی می کند. به طور کلی، با وقوع تغییرات در شرایط محیطی و ساختار صحنه محلی، میزان منفی کاذب سیستم افزایش خواهد یافت اما میزان مثبت کاذب به دلیل توانمندی ترکیب بازبینی های هندسی با تطبیق ویژگی بصری متمایز پایین باقی خواهد ماند.

۵.۳ بازمنطقه بندی در نقشه های متعدد

به هنگام در نظر گرفتن نقشه های محلی بسیار، روش ساده راه انداختن فرآیند بالا برای هر نقشه M_i به صورت جداگانه خواهد بود که ممکن است با مکان راهگام شده باشد. هنگامی که تعداد نقشه ها در یک مجاورت کم باشد این فرآیند می تواند کافی باشد اما به طور کل لازم است که برای انجام بازمنطقه بندی بر روی نقشه های بسیار برای تضمین صحت و توانمندی آماده شویم. برای این هدف، یک سیستم درجه بندی نقشه بر اساس روش ترکیب اطلاعات جدول های کوانتیزگی Q_i واحد به صورت زیر ایجاد کرده ایم.

ما یک جدول QM اصلی بر اساس تمامی جداول فردی Q_i ایجاد می کنیم. نمایه سازی به QM نیز از طریق سه ضریب هار برگرفته شده در اطراف هر نقطه برجسته در یک چارچوب وودی می باشد. با اینحال، سلول ها در QM شامل لیستی از تمامی نقشه هایی می شوند که ویژگی هایی در آن سلول دارند. بنابراین اگر یک سلول در QM توسط یک تکه ورودی فعال شود لیستی از تمامی نقشه های محتمل که باید جستجو شوند بدست می آید. علاوه بر این، هر سلول با مقیاس 'فرکانس مدت-فرکانس سند معکوس' (tf-idf) وزن می شود تا منحصر بودن یک سلول را بازتاب دهد [۳۰]. بدین صورت، سلول هایی که برای هر نقشه فعالیت می کنند وزن کمتری خواهند داشت نسبت به سلول هایی که برای نقشه های کمتری فعالیت می کنند.



شکل ۶: هنگامی که چند نقشه مختلف میبایست بررسی و مجددا بومی سازی شوند، از جدول اصلی QM برای عملیات کوانتیزه کردن بهره گرفته میشود. استفاده از این جدول به منظور رتبه بندی نقشه ها و بهبود سرعت پردازش انجام می شود.

با ترکیب لیست های وزن شده تولید شده برای هر تکه بر روی تصویر، می توان تمامی نقشه ها را بر اساس نمره شباهت کسینوسی بین بردارهای tf-idf برای هر نقشه و تصویر فعلی درجه بندی کرد.

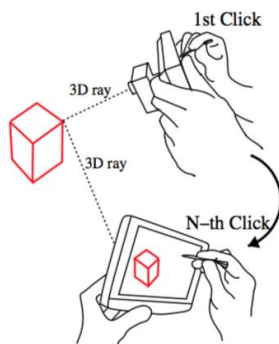
این فرآیند در شکل ۶ نشان داده شده است و بسیار سریع می باشد زیرا تنها لازم است که به فرکانس وزن شده شاخص های i بنگریم و آن ها را درجه بندی کنیم. درجه و رتبه ترتیبی را برقرار می سازد که در آن، برای باز منطقه بندی در نقشه های واحد باید مطابق بخش ۴.۳ تلاش شود. هنگامی که اولین باز منطقه بندی موفقیت آمیز باشد فرآیند متوقف می شود و به تجسم AR تغییر می یابد زیرا در تجربه ما، روش بازمنطقه بندی نقشه واحد به ندرت در کاربردهای واقعی، مثبت های کاذب تولید می کند.

۴. نقشه برداری تعاملی

۱.۴ تعریف نقطه های D^3 با یک صفحه نمایش لمسی

به منظور حاشیه نویسی نقاط مورد علاقه در نقشه های محلی، نیازمند یک روش مناسب برای تعریف نقاط D^3 می باشیم که حاشیه نویسی ها به آن ها می توانند متصل شوند. یک مطالعه کاربر اخیر [۳۳] تکنیک های مختلف برای تعریف یک نقطه D^3 با یک وسیله صفحه نمایش لمسی را ارزیابی میکند و یک تکنیک مثلثی با استفاده از اشعه های D^3 تعریف شده از دو دیدگاه مختلف و یک تارچلیپای ثابت در مرکز صفحه نمایش لمسی توصیه می کند. ما این تکنیک را با گسترش تعداد اشعه های D^3 از دو تا N اصلاح می کنیم و $N \geq 2$ ، که به کاربر اجازه می دهد موقعیت D^3 را اصلاح کند و دقت را افزایش دهد. این یک تکنیک شناخته شده از هندسه نمایش متعدد [۳۴] می باشد و مشابه روش های ساخت ارائه شده توسط Bailiot و همکاران [۹] می باشد. با این حال، ما از کاربران نمی خواهیم که مبادرت به مدل سازی پیچیده تر در محل کنند که در آن پژوهش شرح داده شده است [۳۵،۳۶،۳۳]. در عوض، نقاط D^3 برای موقعیت دادن به حاشیه نویسی های انتخاب شده از یک کتابخانه پیش تعریف شده مدل های D^3 و اسپرایت های D^2 به کار می روند.

روش 'N کلیک' (NCs) در شکل ۷ نشان داده شده است. با فرض اینکه حالت دوربین محلی را از SLAM بصری می دانیم، با تعریف یک نمای اولیه از نقطه مورد علاقه و با همتراز کردن یک تارچلیپای ثابت در مرکز صفحه نمایش لمسی با نقطه مربوطه در تصویر دوربین شروع می کنیم. این یک اشعه D^3 در فضا تعریف می کند که دوربین را به نقطه مورد علاقه متصل می کند. این فرآیند می تواند برای چندین بار تکرار شود و مجموعه ای از اشعات $N3D$ تولید کند. سپس موقعیت D^3 نقطه



شکل ۷: تکنیک بکار رفته برای ساخت مدل سه بعدی از ویژگی ها. در روش NC ها، نقاط سه بعدی در نظر گرفته شده، از به هم پیوستن و ترسیم چند مثلث و خطوط راست سه بعدی بدست می آید.

با به کار بردن ردیابی بیرونی و بهینه سازی حداقل مربعات [۳۴] برآورد می شود. علاوه بر این، زمانی که حداقل دو اشعه D^3 تعریف شده باشند موقعیت D^3 برآورد شده نقطه می تواند بر روی تصویر دوربین پوشانده شود و به طور مداوم، بازخورد بصری از دقت D^3 فعلی ارائه کند. این به کاربر اجازه می دهد تا اصلاح موقعیت را ادامه دهد تا زمانی که دقت مورد نظر بدست آید.

۲.۴ اطلاعات متنی

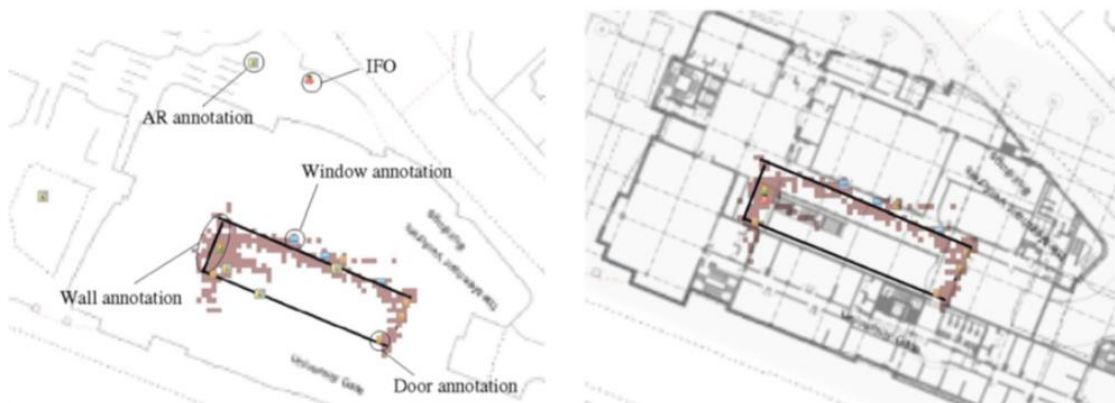
این سیستم همچنین ابزارهایی برای طراحی ساختار درونی ساختمان ها ارائه می کند. هدف این فرآیند نه تولید یک مدل بسیار دقیق ساختمان بلکه ارائه اطلاعات متنی مهم می باشد که می تواند به کاربران کمک کند تا در اطراف محیط جهت یابی کنند. شکل ۸ نمونه ای از نوع نقشه سطح بالاتر را نشان می دهد که می تواند بر بالای یک نقشه خیابان پس زمینه و مقایسه ای بین نقشه ایجاد شده و یک طرح معماری سایت آزمایش ما ایجاد شود.

ویژگی های ساختار درونی مانند درها و دیوارها می توانند توسط کاربر و از یک کتابخانه پیش تعریف شده به طور نیمه خودار به نقشه اضافه شوند. یک کاربر کنار نقطه مورد علاقه می ایستد و نوع ساختاری را که باید در نقشه درج شود انتخاب می کند. این موقعیت مطلق فعلی کاربر ثبت می کند را همانطور که با دقیق ترین سیستم موقعیت یاب مطلق موجود (GPS، UWB)،

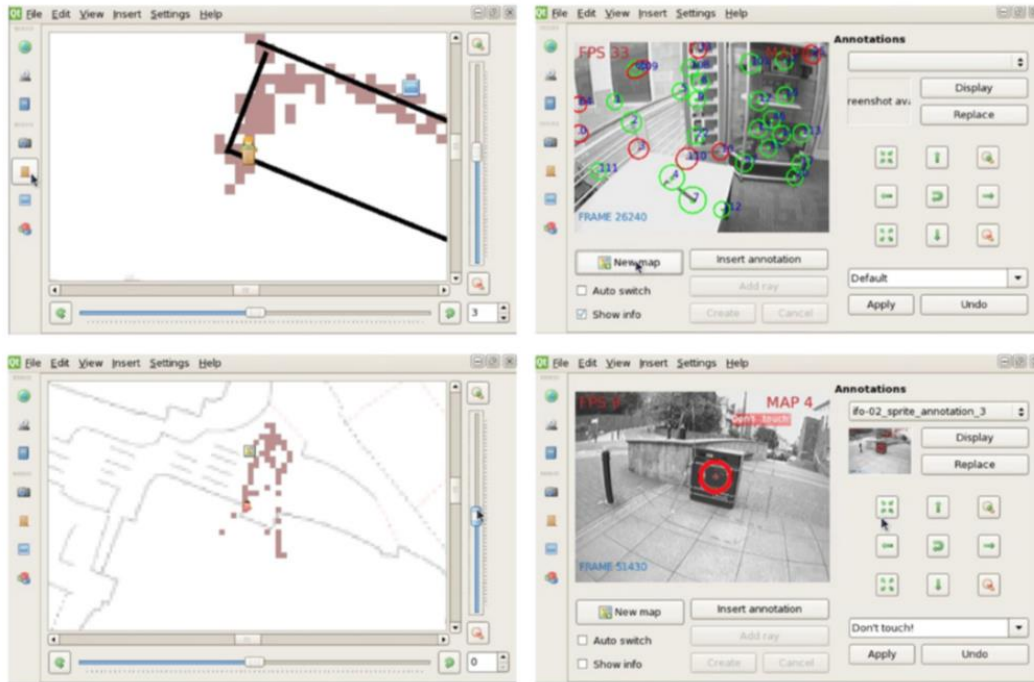
یا تعریف شده توسط کاربر) اندازه گیری می شود، و ساختار انتخاب شده را در این مکان درج می کند. در این مورد از ساختارهای خطی مانند دیوارها، این فرآیند برای تعریف مکان هر نقطه پایانی به نوبه خود تکرار می شود. تیمی از کاربران که به صورت مشترک با هم همکاری می کنند می توانند به سرعت نقشه ای را تولید کنند که شامل ویژگی های داخلی ضروری باشد. دقت این نقشه بوسیله دو عامل عمده محدود می شود: دقت سیستم موقعیت یاب مطلق و دقت موقعیت واقعی کاربر با توجه به ساختارهای در حال نقشه برداری شدن. با اینحال، از آنجایی که نقشه در درجه اول برای ارائه اطلاعات متنی به کاربران انسان به کار می رود، دقت در سطح متر برای ایجاد یک نقشه با اطلاعات سودمند کافی می باشد. شکل ۸ مقایسه ای بین نقشه ایجاد شده و نقشه معماری سایت آزمایش ما نشان می دهد. نقشه دسترسی به درستی به بالکن و مناطق پله کان نقشه محدود شده است (شکل ۱۶ را برای تصویر مرجع ببینید). جابجایی در ساختار در جایی رخ می دهد که کاربر قادر نیست در مکان دقیق ویژگی بایستد و یا در جایی که پوشش UWB ضعیف می باشد. علاوه بر حاشیه نویسی نقشه با ساختارهای فیزیکی، کاربران همچنین می توانند آن را با تصاویر گرفته شده از دوربین حاشیه نویسی کنند. تصاویر را می توان با مکان D³ عملیات و عکس گرفتن مهر زد و در نقشه قرار داد.

۳.۴ کاربران متعدد

یک مرکز کنترل مرکزی (CCC) جریان داده ها را بین کاربران و بر روی یک LAN بی سیم مدیریت می کند و هر کاربر را قادر می سازد تا داده های جمع آوری شده توسط کاربران دیگر را ببیند.



شکل ۸: نمونه ای از نقشه مجازی و مقایسه انجام شده توسط معمار در پروسه تست. (چپ) عبارات متنی ساختاری، فحوا و نمای اولیه کم کیفیتی از حواشی اجزا را ارائه میکنند. در حین این کار، کاربر در حوالی زمین حرکت میکند. (راست) قرار گیری اجزای ساختاری در داخل حدود در نظر گرفته شده برای خطا در سیستم تشخیصی UWB اتفاق می افتد.



شکل ۹: سوییچ کردن بین وضعیت/فحواها. (بالا چپ) اضافه کردن اطلاعات متنی در نمای نقشه جهانی. (بالا راست) ساخت یک نقشه SLAM جدید و علامت گذاری آن با عبارات متنی در ساختار حقیقت افزوده. (پایین چپ) تغییر وضعیت مکانی به یک نقطه علامت گذاری شده با عبارت متنی با بهره گیری از نقشه جهانی. (پایین راست) نمایش یک عبارت متنی در نمای حقیقت افزوده پس از بومی سازی مجدد.

حجم کار ساخت و حاشیه نویسی نقشه ها نیز می تواند بین کاربران به اشتراک گذاشته شود و نقشه برداری سریع محیط تسهیل گردد. کاربرانی که وارد صحنه می شوند، آخرین نسخه نقشه بلافاصله در اختیار آن ها گذاشته می شود و می توانند حاشیه نویسی های اضافه شده توسط کاربران دیگر در متن صحیحشان را ببینند. استاندارد سرویس مشاهده سنسور (SOS) OGC [۳۷] یک رابط استاندارد برای به اشتراک گذاری مشاهدات در سراسر سیستم ارائه می کند. این باعث می شود که مشاهدات به دستگاه ها و برنامه های دیگر خارج از سیستم نمایش داده شود و فرآیند تعریف سنسورها و فن آوری های جدید را تسهیل می کند. CCC به عنوان یک رابط مرکزی برای دسترسی خارجی به مشاهدات عمل می کند و نیز مسئولیت کنترل جریان اطلاعات اطراف سیستم را به عهده می گیرد تا آن را قادر سازد تا با شرایط متغیر شبکه تطبیق یابد.

۴.۴ تغییر (Switching) بین زمینه های نقشه

در حین عملیات عادی، کاربران آزادند تا بصورت دستی بین نمای نقشه جهانی و یک نمای AR از طریق دوربین انتخاب کنند. نمای نقشه جهانی با نشان دادن مکان های تمامی کاربران ردیابی شده و نقشه های محلی در کنار هر گونه اطلاعات متنی اضافی اضافه شده به نقشه آگاهی موقعیتی ارائه می کند. نمای AR از طریق دوربین، محتوای AR مربوط به نقشه های جهانی و یک عکس صفحه نمایش کوچک گرفته شده به هنگام ایجاد محتوای AR را نشان می دهد. هنگامی که سیستم خود را با موفقیت در یک نقشه محلی باز منطقه بندی می کند حاشیه نویسی های AR بر روی تصویر دوربین با حالت فول D۶ مربوط به دوربین ردیابی شده ارائه می شوند و به اربر اجازه می دهند تا محتوا را در زمان واقعی ببینند. هنگامی که سیستم مفقود باشد یعنی هنگامی که هیچ نقشه محلی قابل مشاهده نباشد نمای AR تصویر خام دوربین را نشان می دهد و نشان می دهد که سیستم تلاش دارد آن را باز منطقه بندی کند. هنگامی که کاربر در دید نقشه جهانی باشد باز منطقه بندی بصری غیر فعال می شود تا از محاسبات غیر ضروری اجتناب گردد. به منظور مشاهده ی نقشه محلی خاص و حاشیه نویسی های متصل به آن، کاربر باید به سادگی، آیکون حاشیه نویسی AR مربوطه در نقشه جهانی را ضربه بزند. در این لحظه، کاربر به نمای AR برده می شود،

نقشه محلی مشخص بارگذاری می شود و سیستم شروع به تلاش برای بازمنطقه بندی در آن نقشه به تنهایی می کند یعنی بازمنطقه بندی نقشه واحد. در صورتی که باز منطقه بندی موفقیت آمیز باشد آنگاه محتوای AR محلی در نمای دوربین مشهود می شود. در صورتی که باز منطقه بندی ناموفق باشد، آنگاه کاربر می تواند نمای نقشه جهانی را برگرداند و آن را به منظور هدایت نزدیکتر به نقشه محلی انتخاب شده استفاده کند.

به وجه دیگر، کاربر نیز می تواند نمای AR را بدون انتخاب یک نقشه محلی خاص انتخاب کند. در این مورد، سیستم تلاش دارد تا در مجموعه کامل نقشه های محلی یعنی بازمنطقه بندی نقشه های متعدد با راهگامی محل بازمنطقه بندی کند. در صورتی که هر کدام از نقشه های محلی مشهود باشد و بازمنطقه بندی موفقیت آمیز باشد آنگاه محتوای AR نقشه به صورت خودکار بارگذاری می شود و در نمای دوربین مشهود می گردد. به طور مشابه، در صورتی که کاربر در اطراف محیط راه برود آنگاه سیستم بین نقشه های محلی به صورت خودکار تغییر خواهد کرد همانطور که در مناطق مختلف باز منطقه بندی می کند. هنگامی که کاربر به نمای نقشه جهانی بر می گردد باز منطقه بندی خودکار بار دیگر غیر فعال می شود تا از محاسبات غیر ضروری اجتناب گردد. شکل ۹ نمونه ای از تغییر (Switching) بین نماهای مختلف ارائه می کند که هنگامی که یک کاربر نقشه ای می سازد و حاشیه نویسی های داخل آن را کشف می کند روی می دهد.

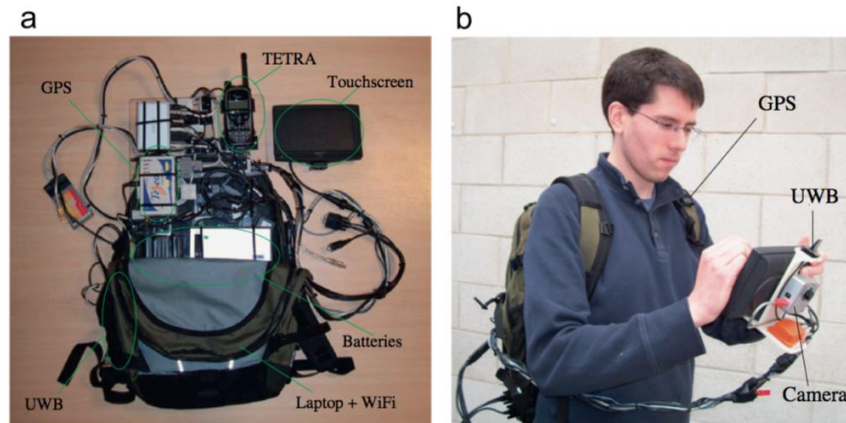
۵. آزمایش ها

تمامی اجزای سیستم درون یک کوله پشتی پوشیدنی ساخته شده اند که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. هر واحد سخت افزار اجزای اطراف یک لپ تاپ Centrino دو هسته ای را که در یک کوله پشتی است ترکیب می کند. رابط با کاربر بر روی یک صفحه نمایش لمسی دستی نمایش داده می شود که دارای یک دوربین فایر وایر با FOV افقی ۸۰۱ می باشد که به صورت محکمی به یک سنسور جهت D³ متصل می باشد (که در این پژوهش استفاده نشده است). دوربین از لحاظ فاصله کانونی و پارامترهای اعوجاج شعاعی مدرج می شود. صفحه نمایش لمسی همچنین دارای یک آنتن UWB می باشد که بدان متصل شده است تا دقیق ترین سنسورها نزدیک هم باشند. آنتن GPS بر روی بند شانه کوله پشتی قرار داده می شود تا قدرت دریافت افزایش یابد.

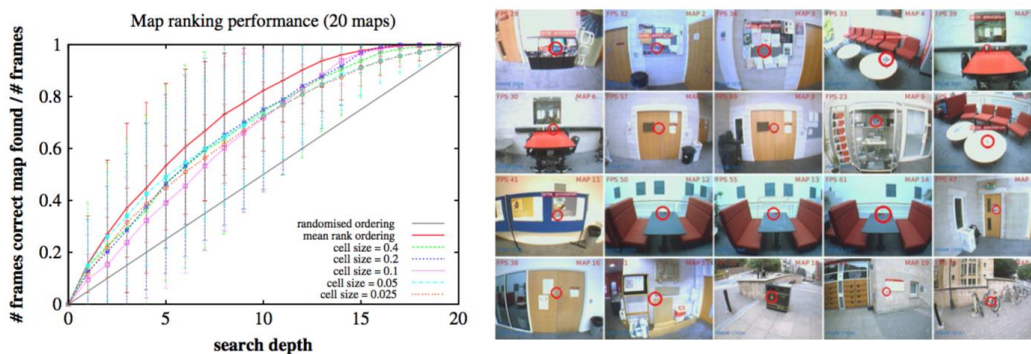
۱.۵ عملکرد باز منطقه بندی

ما آزمایش ها را برای ارزیابی عملکرد منطقه بندی در نقشه های متعدد انجام دادیم. برای این کار، بدترین حالت را فرض می کنیم که هیچ راهگامی مکانی موجود نباشد. آزمایش ها برای سناریوی داخلی با ۲۰ نقشه و سناریوی خارجی با ۵ نقشه انجام شد که به ترتیب در شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده اند.

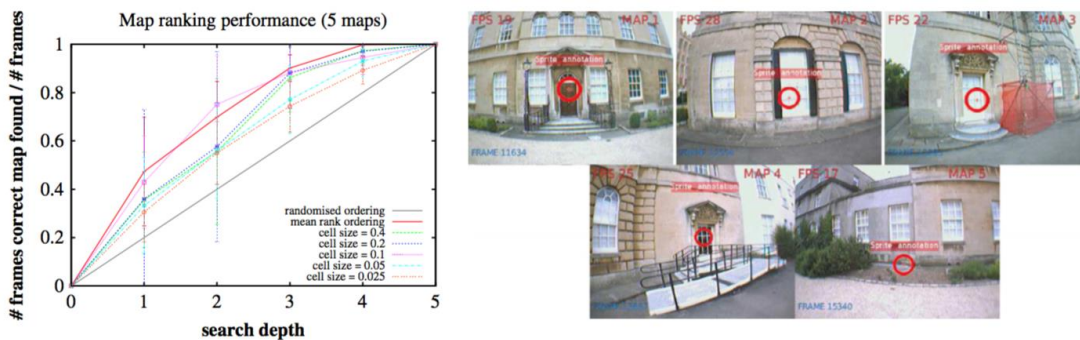
گرچه ما راهگامی مکانی برای این آزمایش ها را نادیده می گیریم، اما اثربخشی راهگامی مکانی در سیستم نهایی وابسته به دو عامل خواهد بود: تراکم نقشه های محلی و دقت سیستم موقعیت یاب مطلق مورد استفاده. ما فرض می کنیم برنامه هایی که از سیستم ToMAR استفاده می کنند معمولاً نیاز به حاشیه نویسی نسبتاً پراکنده ای از یک محیط و از این رو، تراکم پایین نقشه های محلی می باشند.



شکل ۱۰: قطعات سخت افزاری سیستم ToMAR: الف. محتویات کوله پشتی. ب. سیستم پوشیده شده توسط کاربر که تعامل با صفحه لمسی می باشد.



شکل ۱۱: بیست نقشه در دامنه ای گسترده در یک ناحیه بومی در فضای داخلی ساختمان توسط سیستم و با لحاظ کردن چند موقعیت مشابه (چند میز با صندلی های قرمز مشابه) پردازش شدند. نمودار پخش تجمعی، بهبود صورت گرفته در کارایی سیستم را که بخاطر استفاده از روش بررسی شده بدست آمده، نشان می دهد. (برای درک رنگ های بکار رفته در این شکل، به نسخه اینترنتی این مقاله مراجعه کنید.)



شکل ۱۲: پنج نقشه در دامنه ای ۱۰ متری در یک ناحیه بومی در فضای باز توسط سیستم و با صحت اطلاعات مبتنی بر GPS پردازش شده اند. نمودار پخش تجمعی، بهبود صورت گرفته در کارایی سیستم را که بخاطر استفاده از روش بررسی شده بدست آمده، نشان می دهد.



شکل ۱۳: نمونه ای از یک نقشه جهانی تولید شده با استفاده از سیستم ToMAR. شانزده نقشه ناحیه ای در بازه ۱۰۰ متری تهیه شدند که ترکیبی از نقاط داخلی و خارجی ساختمان را شامل میشدند و با بهره گیری از GPS, UWB و اطلاعات وارد شده توسط کاربر تولید شده بودند. بازه ۲۰ متری جستجو شده نشان میدهد که کاربر در حال حاضر در موقعیتی فاقد پوشش GPS و UWB به سر میبرد و همچنان اطلاعات را بصورت دستی در سیستم وارد میکند.

ما همچنین فرض می کنیم که موجود بودن GPS, UWB و ورودی کاربر به این معناست که همیشه می توانیم به یک دقت موقعیت یابی جهانی کمتر از ۲۰ متر دست یابیم و اینکه می توانیم در یابیم که در طبقه چندم یک ساختمان هستیم. تحت این فرضیات، راهگامی مکانی باید همیشه محدوده کوچکی از تعداد نقشه های محلی که باید آزمایش شوند ارائه کند، بنابراین انتخاب ما از ۲۰ نقشه داخلی و ۵ نقشه خارجی برای این آزمایش معقول به نظر می رسد.

عملکرد رتبه بندی نقشه با استفاده از ردیابی دوربین و بازمنطقه بندی کامل نقشه واحد ارزیابی شد تا یک برآورد ناشی از مشاهده مستقیم (ground-truth) از نقشه صحیح برای هر چارچوب فراهم آید. این با رتبه بندی باز منطقه بندی نقشه های متعدد در هر چارچوب مطابقت داده شد و برای رسم تابع توزیع تجمعی رتبه بندی مورد استفاده قرار گرفت. آن گاه نتایج روش رتبه بندی با مورد خط محور نوع تصادفی نقشه ها مقایسه شد. طرح ها در سمت چپ در شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده اند.

۵ اندازه سلول مختلف برای QM مورد آزمایش قرار گرفتند. گرچه عملکرد متوسط بهتر از خط محور در تمامی موارد بود، نتایج نشان داد که هیچ اندازه تک سلولی نتایج خوبی برای تمامی نقشه ها نشان نداد. مرتب سازی نقشه ها با استفاده از رتبه میانگینشان روی پنج اندازه سلول مختلف، عملکرد میانگین را بهبود بخشید و تعداد نقشه های فردی را که عملکرد بدتری نسبت به خط محور داشتند کاهش داد. روش های جایگزین ترکیب رتبه ها از اندازه های سلول مختلف مانند رتبه میانه، حداقل، یا حداکثر نیز در نظر گرفته شدند اما بهبود عملکرد کمتری نسبت به روش رتبه میانگین نشان دادند.

در تمامی موارد، بازمنطقه بندی جامع بر روی تمامی نقشه ها نرخ مثبت کاذب ۰٪ را باز می گرداند. این علیرغم این حقیقت است که توالی های آزمون شامل چندین نمونه نقشه با ظاهر بسیار مشابه می شوند. این، نتایج Chekhlov و هماران [۲۲] را تایید می کند که نشان می دهد روش باز منطقه بندی نقشه واحد نرخ های مثبت بسیار اندکی در صحنه های واقعی تولید می کند. این نرخ مثبت کاذب بدان معنا می باشد که می توانیم با اطمینان و به محضی که اولین تطبیق مثبت را می یابیم آزمون هایمان را کم کنیم. بنابراین، روش رتبه بندی به ما اجازه می دهد نقشه های محلی کمتری را در هر چارچوب در طول باز منطقه بندی آزمایش کنیم. در بدترین حالت، هنگامی که تطبیقی یافت نشود، می توانیم یا مجموعه کامل نقشه ها را به صورت عادی آزمایش کنیم یا یک کران بالاتر در عمق برای جستجو در لیست رتبه بندی نصب کنیم. این انتخاب کران بالاتر یک مبادله بین محاسبه کراندار و یک نرخ منفی کاذب کلی بالاتر بر روی باز منطقه بندی خواهد بود که نتیجه آزمایش نکردن تمامی نقشه های محلی ممکن می باشد. نمودارها در شکل های ۱۱ و ۱۲ را می توان برای آگاهی از این تصمیم به کار برد. برای مثال، تنها

آزمایش ۵۰ درصد بالای نقشه های رتبه بندی شده، بازمنطقه بندی در ۸۰٪ چاقوب ها در دو مورد آزمون ما را با موفقیت خواهد یافت.

محدودیت عمده روش باز منطقه بندی زمانی روی می دهد که نرخ منفی کاذب سیستم باز منطقه بندی نقشه واحد بالا می شود، برای مثال هنگامی که شرایط نور به طور قابل توجهی تغییر کرده اند و یا دوربین، نقشه را از یک منظر جدید می بیند که در آن، تبدیل وابستگی به اندازه کافی بزرگ است که مانع از تطبیق موفقیت آمیز توصیف گرهای ویژگی شود [۲۵]. در این موارد، باز منطقه بندی به سادگی در بازگرداندن تطبیق شکست خواهد خورد و لازم خواهد بود تا کاربر موقعیت شان را درون حجم مشاهده نقشه محلی تنظیم کند. در عمل می توانیم از طریق ارائه تصاویر حاشیه نویسی برای راهنمایی تراز اولیه دوربین با نقشه به این فرآیند کمک کنیم.

۲.۵ اثبات

برای نشان دادن عملکرد منطقه گسترده سیستم، عملکرد را بر روی منطقه 20.1 km^2 شامل ترکیبی از مکان های داخلی و خارجی ارزیابی کردیم. سناریو از یک وظیفه نگهداری تقلید می کند که در آن، کاربران چندین شی را نشانه گذاری می کنند تا در زمانی دیگر توسط کاربرانی دیگر مورد بازبینی قرار گیرد. در برخی از مکان های داخلی، یک سیستم موقعیت یاب UWB برای ارائه موقعیت مطلق موجود بود.

مجموعی از ۱۶ نقشه محلی با حاشیه نویسی های مربوطه در محدوده ای از محیط های متفاوت طبیعی و انسان ساز مطابق شکل ۱۳ ساخته شدند. ساخت نقشه به طور متوسط دو دقیقه برای هر نقشه محلی طول کشید و ایجاد حاشیه نویسی ها تنها نیازمند چند ثانیه برای مثلثی کردن هر موقعیت D^3 بود. ملاحظه عمده به هنگام ساخت نقشه های محلی، مقداردهی به ویژگی هایی بود که تمامی دیدگاه های مورد نظر نقشه را پوشش می دادند و تضمین اینکه برآوردهای موقعیت D^3 شان به اندازه کافی همگرا شده اند تا برآورد خوبی از حالت دوربین ارائه کنند. این نیازمند مسیر دوربین نسبتا صاف با حرارت انتقالی متعدد برای بهترین نتایج بود. استفاده از باز منطقه بندی نقشه واحد بدان معنی می باشد که بازیابی و از سر گیری ساخت نقشه پس از هر گونه از دست دادن ردیابی ایجاد شده توسط حرکت نامنظم یا انسدادهای قوی آسان است.

در مناطق با پوشش UWB، یک آستانه فاصله ۲ متری به کار رفت و جداسازی نقشه های ساخته شده چنین بود که حداکثر یک نقشه داوطلب برای باز منطقه بندی پس از راهگامی مبتنی بر مکان برگردانده شد. در یکی از نقشه ها (نقشه ۳) دقت UWB توسط وسایل اطراف تنزل یافت و اندازه گیری های موقعیت خارج از آستانه فاصله مورد انتظار تولید کرد و مانع بازمنطقه بندی خودکار شد. با این حال، باز منطقه بندی نقشه واحد هنگامی که نقشه به صورت دستی از رابط کاربر انتخاب شد موفقیت آمیز بود.

مناطق با پوشش GPS از یک آستانه فاصله ۱۰ متری استفاده کردند و حداکثر دو نقشه داوطلب برای باز منطقه بندی باز گردانده. در مناطقی که نیازمند ورودی های تعاملی برای تعریف موقعیت مطلق می باشند یعنی مناطقی که هم GPS و هم UWB موجودند، یک آستانه فاصله ۲۰ متری به کار رفت و بین دو و شش نقشه داوطلب برگردانده شد. روش باز منطقه بندی نقشه متعدد، نقشه درست را در داخل دو نقشه اول آزمایش شده بر روی هر یک از شش موقعیتی که به کار رفته یافت. زمان مورد نیاز برای باز منطقه بندی بسیار وابسته به پیچیدگی بصری محیط بود. در فضاهای خارجی که دارای شاخ و برگ می باشند تعداد ویژگی های بصری نسبتا بالا بود و زمان های باز منطقه بندی نقشه واحد می توانست به اندازه چند صد میلی ثانیه بالا باشد. در این موارد، گاهی لازم بود دوربین برای یک یا دو ثانیه ثابت نگه داشته شود تا تطبیق باز منطقه بندی موفقیت آمیز یافت شود. در مناطق کمتر پیچیده، زمان های باز منطقه بندی به طور قابل ملاحظه ای کوتاه تر بودند و باز منطقه بندی از دوربین مداوما در حال حرکت اغلب ممکن بود زیرا از میان منطقه نقشه برداری شده می گذشت.

آزمون های ما بر روی مسیر یک روز واحد انجام شدند و ما هیچگونه بررسی گسترده ای از سیستم در دوره های زمانی طولانی تر انجام نداده ایم. سیستم دارای توانمندی نسبت به تغییرات در ساختار محلی محیط می باشد زیرا یک آزمون سازگاری مشترک برای دور انداختن برون نهشته ها در طول ارتباط داده های SLAM [۳۸] اعمال می کند. با اینحال، پیچیدگی اضافی در طول دوره های عمل ممکن است تأثیر شرایط نوری مختلف باشد زیرا توصیف گرهای بصری ای که به کار می بریم فقط تا حدی

نسبت به تغییرات نور، ثابت و یکسان اند [۲۴،۲۰]. انتظار داریم که این تغییرات به یک نرخ منفی کاذبی افزایش یافته ای در باز منطقه بندی منجر گردد.

۶. ارزیابی کاربر

سیستم های AR محیط گسترده همانطور که در بخش ۲ اشاره کردیم در ادبیات تا اندازه ای مورد توجه قرار گرفته اند. با این حال، تلاش های نسبتا اندکی برای ارزیابی این نوع از سیستم ها از لحاظ سرعت و دقت آن برای حاشیه نویسی یک محیط پیشتر ناشناخته صورت گرفته است. در این بخش نتایج مطالعه یک کاربر را ارائه می کنیم که به ارزیابی قابلیت های نقشه برداری و جستجوی سیستم AR سیار توپومتريک (ToMAR) ما در برابر یک خط محور تنظیم شده توسط یک روش خودکار و کاغذ (P+P) با تکنولوژی پایین می پردازد.

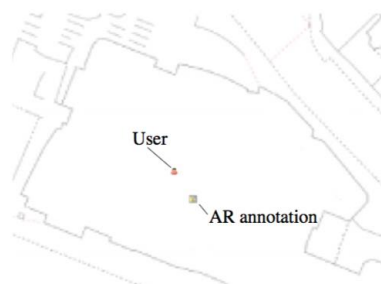
باید تأکید کرد که هدف اولیه این ارزیابی این نیست که بدانیم کدام سیستم بهتر از دیگری است بلکه قرار دادن عملکرد سیستم ToMAR در یک متن معنادار می باشد. در حقیقت ما انتظار داریم که سیستم P+P نتایج خوبی را در آزمایش تولید کند زیرا ابزارها باید برای کاربران آشنا باشند و درجه خوبی از انعطاف پذیری در ایجاد نقشه جهانی و افزودن اطلاعات متنی داشته باشند. همچنین باید توجه داشت که سیستم ToMAR قابلیت ارائه کاربردگرای پیشرفته را دارا می باشد که سیستم P+P نمی تواند به سادگی به کار برد مانند مشاهده محتوای AR زنده و به اشترا گذاری نقشه ها و داده ها با کاربران متعدد. این کاربردگرای پیشرفته در این سنجش ارزیابی نمی شود اما انگیزه ای قوی برای استفاده از سیستم ToMAR در کاربردهای واقعی فراهم می کند.

ما همچنین آزمایش ها را در یک مکان داخلی و بر روی یک محیط نسبتا کوچک محدود ساخته ایم. دلیل انجام این کار این بود که باعث می شود کنترل کاملی بر روی محیط آزمون داشته باشیم که اگر تلاش می کردیم ارزیابی را بر روی یک محیط بزرگتر و یا خارجی انجام دهیم ممکن نبود. از آنجایی که ما بیرون نمی رویم سنسور GPS در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت اما اجزای UWB و SLAM بصری هر دو فعال بودند و به ترتیب برای موقعیت یابی مطلق و ساخت نقشه محلی و حاشیه نویسی به کار رفتند.

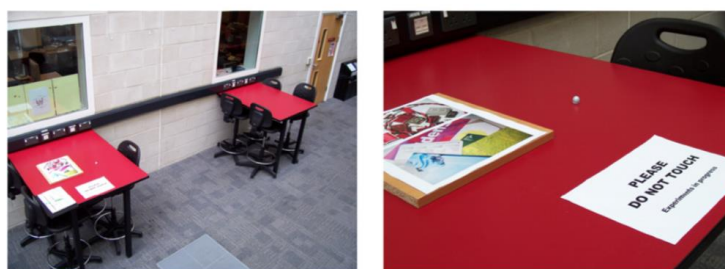
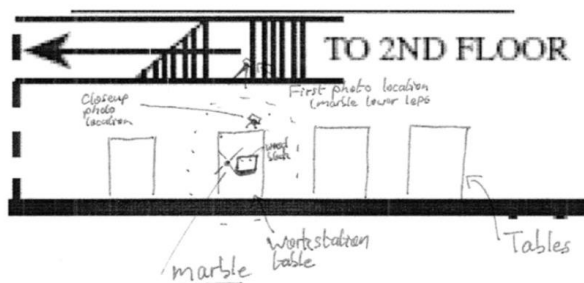
۱.۶ AR سیار توپومتريک (ToMAR)

سیستم ToMAR به کار رفته در این ارزیابی طرح شرح داده شده در بخش ۳ را پیاده سازی می کند. از آنجایی که ما همترازی سیستم مختصات UWB را با چارچوب مرجع جهانی مدرج کرده ایم، سیستم ToMAR می تواند داده های نقشه جهانی را که بر روی یک نقشه پس زمینه قرار داده شده است و نشانگر طرح کلی ساختمان و خیابان های اطراف می باشد نمایش دهد. در این مورد، از یک نسخه وضوح پایین تصویری شده داده های برداری نقشه اصلی بررسی مهمات (Ordnance Survey MasterMap) [۳۹] استفاده می کنیم. شکل ۱۴ نمونه ای از نقشه جهانی و حاشیه نویسی های AR تولید شده در طول ارزیابی را نشان می دهد.

لازم به ذکر است که این ارزیابی تنها حالت کاربر واحد سیستم ToMAR را در نظر می گیرد. در سیستم فول ToMAR، حاشیه نویسی ها و نقشه ها می توانند ضمن ایجاد شدن و به روز شدن، بین کاربران متعدد به اشتراک گذاشته شوند. علاوه بر



شکل ۱۴: نمونه ای از نقشه های ToMAR: (چپ) نقشه جهانی که در حال نمایش دادن مکان یک نقطه مد نظر ماست که با عبارت متنی علامت گذاری شده. (راست) زاویه دید عبارت متنی (دایره قرمز) از طریق صفحه لمسی در حین مسیریابی بر روی یک نقشه ناحیه ای SLAM دنبال می شود. رابط کاربری گرافیکی همچنین یک تصویر گرفته شده از نمای عبارت متنی را نمایش می دهد. این تصویر میتواند در صورتی که دید تصویر برداری در حالت SLAM مسدود یا عملیات بومی سازی مجدد با خطا مواجه شود، برای تعیین موقعیت و زاویه دید مورد استفاده قرار گیرد. (برای درک رنگ های بکار رفته در این شکل، به نسخه اینترنتی این مقاله مراجعه کنید).



شکل ۱۵: نمونه ای از یک خودکار و نقشه کاغذی علامت گذاری شده با عبارات (P+P) که اطلاعات کلی نمایش میدهند (همچون موقعیت میزها و پایین دیوار) و موقعیت بومی عبارات متنی (همچون موقعیت توشله ها روی میز) را به همراه عکس های مربوطه گرفته شده توسط کاربر به نمایش میگذارند.

این، ما توانایی اضافه کردن دستی اطلاعات متنی را به نقشه جهانی غیر فعال کردیم، مانند مکان درها و وسایل، تا مشخصا بر قابلیت های اجزای SLAM و UWB بصری سیستم تمرکز کنیم.

۲.۶ خودکار و کاغذ (P+P)

سیستم P+P برای ارائه یک خط محور تکنولوژی پایین انتخاب شد تا سیستم ToMAR بتواند در برابر آن ارزیابی گردد. سیستم شامل یک نقشه کاغذی با یک نقشه اتاق داخل ساختمان و خودکاری برای افزودن اطلاعات متنی و حاشیه نویسی های محلی به نقشه کاغذی می شد و نیز دوربینی برای گرفتن عکس هایی از مناطق محلی مورد علاقه مربوط به حاشیه نویسی ها. شکل ۱۵ نمونه ای از یک نقشه ایجاد شده با این سیستم در طول آزمایش را نشان می دهد. به طور کلی، نقشه کاغذی حاشیه نوشته مربوط به نقشه جهانی ToMAR می شود و عکس ها، نمایش محلی دقیقی از صحنه مربوط به نقشه های محلی ToMAR را ارائه می کنند.

۳.۶ شرح وظیفه

دو سیستم در یک محیط داخلی نصب شدند که دو طبقه محوطه باز یک ساختمان را پوشش می داد که در شکل ۱۶ نشان داده شده است و شامل ۱۰ میز ثابت می شد (که ۶ تای آن ها بر روی طبقه بالایی و ۴ تای آن ها بر روی طبقه پایینی بود). واحدهای پایه UWB به گونه های موقعیت دهی شدند تا پوشش خوبی را بر روی کل محیط فراهم آورند و میزهای انتخاب شده با تخته های دارای بافت و تپه ها نصب شدند. تپه ها به عنوان نقاط خوب تعریف شده مورد نظر در صحنه عمل می کردند که می توانستند برای حاشیه نویسی به کار روند.

استفاده از تخته های دارای بافت بر روی میزای بدون ویژگی بصری اطمینان می داد که تمامی مکان های حاشیه نوشته ما شامل مجموعه ویژگی های بصری محلی و به طور گسترده معادل می شد. این به ما اجازه می داد تا مقایسه معناداری از دقت حاشیه نویسی بین مکان های مختلف انجام دهیم. اگر از مکان های طبیعی بیشتری با ظواهر متفاوت استفاده کرده بودیم، آن گاه این نوع از مقایسه مستقیم به دلیل وابستگی شدید بین دقت محلی و مجموعه ویژگی های مشهود بی معنا خواهد بود. خود آزمایش به دو مرحله تقسیم شد تا قابلیت های نقشه برداری و جستجوی کاربر واحد سیستم ها به صورت مستقل مورد آزمایش قرار گیرد.

۱.۳.۶ مرحله نقشه برداری

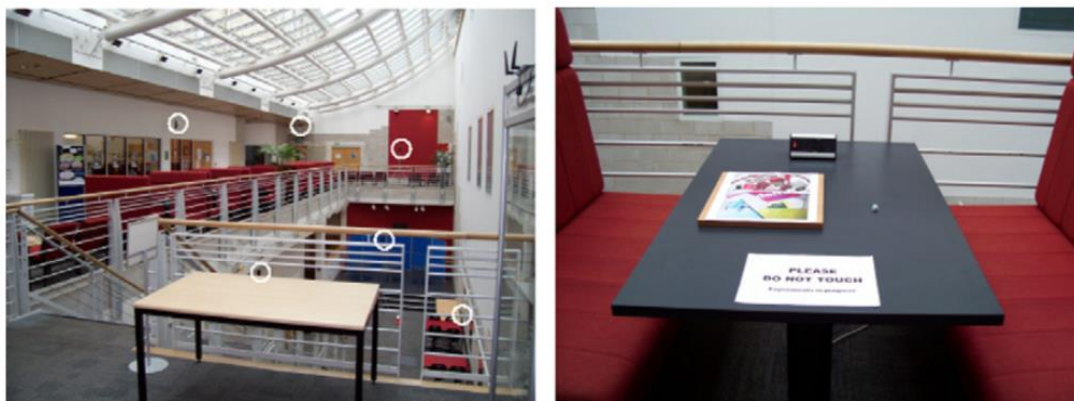
۴ میز (که دوتای آن ها بر روی طبقه بالایی و دوتای دیگر بر روی طبقه پایین قرار دارند) با یک تخته دارای بافت و یک تیله نصب شدند. تیله در یک مکان متفاوت مربوط به تخته بر روی هر میز قرار داده شد. به کاربران آموزش داده شد تا هر کدام از سیستم ها را (ToMAR و P+P) برای ایجاد یک نقشه ای از دو تا از مکان های تیله (ه هر کدام بر روی یک طبقه است) مورد استفاده قرار دهند. به آن ها گفته شد که نقشه باید به اندازه کافی دارای جزئیات باشد تا کاربر دیگر را قادر سازد تا تیله ها در صورتی که از محیط حذف شده باشند به دقت در مکان های صحیحشان قرار دهد. زمان اتمام این کار از لحظه ای اندازه گیری شد که سیستم ToMAR مقداردهی اولیه شد و یا به کاربر نقشه کاغذی و دوربین داده شد تا لحظه ای که کاربر به موقعیت اولیه آزمایش بازگشت و اعلام کرد که نقشه برداری را تمام کرده اند.

۲.۳.۶ مرحله جستجو

تمامی ۱۰ میز با یک تخته دارای بافت و یک تیله نصب شدند. تیله در یک مکان متفاوت مربوط به تخته بر روی هر میز قرار داده شد. و مکان محلی با مشاهده مستقیم هر تیله، مربوط به یک زاویه هر میز ثبت شد. یک کاربر خبره دو جفت از مکان های تیله را با هر سیستم (ToMAR و P+P) نقشه برداری کرد تا مجموعه نقشه تولید کند. آنگاه تمامی تیله ها از صحنه حذف شدند.

به کاربران آموزش داده شد تا هر یک از سیستم ها را برای قرار دادن یک جفت از تیله ها در صحنه با دقت هر چه تمام و با استفاده از یکی از مجموعه نقشه های از پیش ایجاد شده توسط کاربر خبره به کار ببرند. این یک روش غیر مستقیمی برای اندازه گیری دقت ثبت در حاشیه نویسی AR با نقشه محلی ارائه کرد. هر تیله تنها زمانی به کاربر داده شد که میز را تعیین کرده بودند و برای قرار دادن تیله اعلام آمادگی کرده بودند.

زمان اتمام کلی این کار اندازه گیری شد و نیز زمان های فردی برای قرار دادن هر تیله و دقت محلی هر مکان تیله زمان اتمام



شکل ۱۶: تصاویر مرجع از فضای در نظر گرفته شده برای تست: (چپ) موقعیت مکانی یونیت های پایه ای UWB با دایره های سفید نمایش داده شده اند. (راست) توشله ها بعنوان نقطه های مورد نظر ما در پروسه نقشه برداری و جستجو در منظره قرار گرفتند.

کلی دوره بین دادن مجموعه نقشه ها به کاربر و قرار دادن دومین تیله در صحنه می باشد. زمان های موقعیت یابی فردی از لحظه ای تعریف شدند که تیله به کاربر داده شد تا لحظه ای که آن ها قرار دادن تیله در صحنه را به اتمام رساندند. دقت محلی موقعیت یک تیله به عنوان خطای میانگین مربعات با توجه به مشاهده مستقیم پیشین و اندازه گیری دستی با استفاده از یک نوار اندازه گیری محاسبه شد.

۴.۶ روش و طرح

این آزمایش ۱۲ نفر شرکت کننده (۲ نفر زن و ۱۰ نفر مرد) بین سنین ۲۰ تا ۳۵ را به کار می گیرد. شرکت کننده ها پژوهشگرانی با سابقه علوم کامپیوتر و یا مهندسی برق بودند. برخی از آن ها آشنایی قبلی با سیستم SLAM بصری داشتند اما هیچکدام از آن ها با سیستم ToMAR آشنایی نداشتند. تمامی شرکت کننده ها به صورت فردی مورد آزمایش قرار گرفتند و در هر دو مرحله آزمایش شرکت کردند (نقشه برداری و جستجوی آزمایشی). مراحل نقشه برداری و جستجوی آزمایش در روزهای متوالی انجام شد و حدودا به ترتیب، ۳۰ و ۱۵ دقیقه طول کشید.

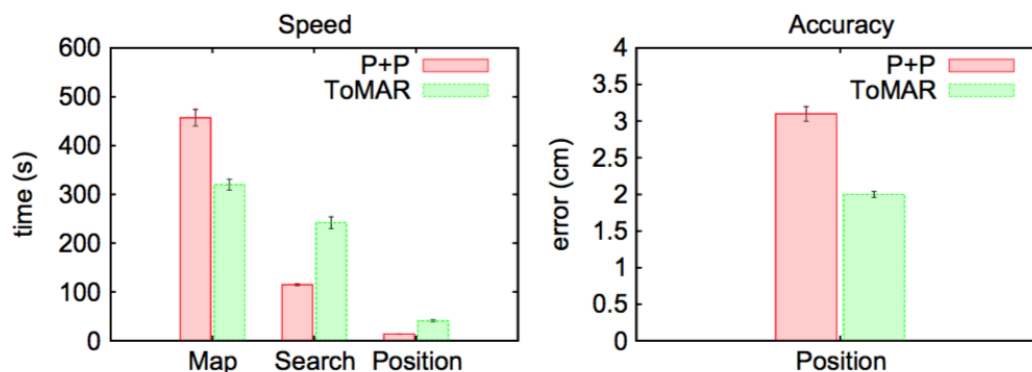
ما یک آزمایش درون موضوعی طراحی کردیم تا دو سیستم متفاوت را برای هر وظیفه مورد ارزیابی قرار دهیم. در طی مسیر مرحله نقشه برداری، هر کاربر یک نقشه با هر سیستم ایجاد می کرد که هر نقشه شامل دو مکان تیله حاشیه نوشته می شد. این مجموعی از ۱۲ آزمایش ارائه می کرد که زمان نقشه برداری با هر سیستم را اندازه گیری می کرد. در طول مرحله جستجوی آزمایش، هر کاربری دو جفت از تیله ها را با استفاده از یک سیستم متفاوت و نقشه پیش تولید شده برای هر جفت در سیستم قرار می داد. این مجموعی از ۱۲ آزمایش ارائه می کرد که زمان جستجوی کلی برای هر سیستم را اندازه می گرفت، ۲۴ آزمایش که زمان موقعیت یابی محلی را برای هر سیستم اندازه می گرفت و ۲۴ آزمایش که دقت موقعیت یابی محلی را برای هر سیستم اندازه گیری می کرد.

روش عملکرد دو سیستم به شرکت کنندگان به صورت جداگانه گفته شد و یک آزمایش تمرینی برای آن ها انجام شد تا درست پیش از اتمام وظیفه واقعی، خود را با هر وظیفه آشنا سازند. ترتیب ارائه سیستم ها و انتخاب میزها برای نقشه برداری و جستجوی وظایف بین شرکت کنندگان بای یادگیری و تأثیرات محلی متعادل شد. به شرکت کنندگان آموزش داده شد تا وظایف را به سرعت هر چه تمام انجام دهند.

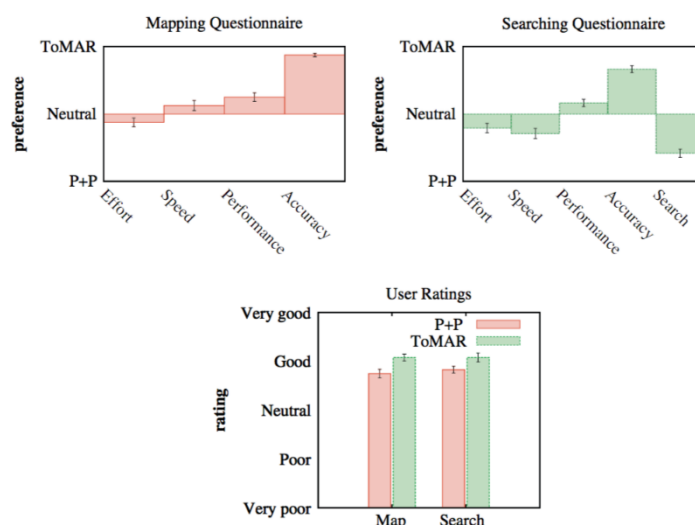
در پایان هر مرحله از آزمایش، از شرکت کنندگان خواسته شد تا پرسشنامه مختصری را تکمیل کنند و در مورد برداشتشان از دو سیستم بازخورد دهند. جدول ۱ سوال هایی را نشان می دهد که از هر شرکت کننده برای مراحل نقشه برداری و جستجوی آزمایش پرسیده شد. شرکت کنندگان با تیک زدن یکی از جاهای خالی به سوالات پاسخ می دادند و جاهای خالی طیفی از مزایای بین دو سیستم را تعریف می کنند. همچنین مکانی در پرسشنامه وجود داشت تا شرکت کنندگان هر نظری را که مایلند به پرسشنامه اضافه کنند.

۵.۶ نتایج

شکل ۱۷ نتایج دقت و سرعت را در سیستم های مختلف برای هر وظیفه نشان می دهد. میانگین زمان برای اتمام وظیفه نقشه برداری در سیستم ToMAR سریعتر (۳۲۰ ثانیه) از سیستم P+P بود (۴۵۷ ثانیه) (t-test دو نمونه ای، $P=4*10^{-6}$). با این حال، زمان میانگین اتمام وظیفه جستجو و قرار دادن تیله ها در صحنه در سیستم P+P سریعتر (۱۱۵ ثانیه جستجو، ۱۴ ثانیه موقعیت یابی) از سیستم ToMAR (۲۴۲ ثانیه جستجو، ۴۱ ثانیه موقعیت یابی) بود (t-test دو نمونه ای، $P=2*10^{-6}$).¹⁶ جستجو، $P=4*10^{-12}$ موقعیت یابی). خطای میانگین در مکان های اشیای اضافه شده به صحنه در سیستم ToMAR (۲/۰ سانتی متر) نسبت به سیستم P+P (۳/۱ سانتی متر) کمتر بود (t-test دو نمونه ای، $P=5*10^{-11}$). تعداد خطاهای ناخالص موقعیت یابی در جایی که تیله در مکان کاملا اشتباه قرار داده شد برای هر دو سیستم یکسان بود (۴ آزمایش از ۲۴ آزمایش در هر مورد)، که اشاره بر این دارد که کاربران به اندازه یکسانی امکان اشتباه در هر یک از سیستم ها دارند.



شکل ۱۷: نتایج سرعت و صحت برای دو سیستم گوناگون. زمان بندی برای پروسه نقشه برداری و جستجو کل زمان مربوط به هر مرحله از فرآیند ارزیابی در نظر گرفته شد. زمان بندی مربوط به موقعیت یابی در واقع همان زمان مورد نیاز برای موقعیت یابی یک شی خاص در مرحله جستجو می باشد. متن مقاله را برای جزئیات بیشتر بررسی کنید.



شکل ۱۸: جواب های دریافتی از طریق پرسشنامه در پروسه نقشه برداری و جستجو. برای مشاهده سوالات مربوطه به جدول ۱ مراجعه کنید. در هر مورد، از کاربران درخواست شد تا پاسخ خود را بصورت نمراتی در مقیاس ۱ تا ۵ وارد کنند.

شکل ۱۸ پاسخ های پرسشنامه و رتبه بندی های کاربر برای سیستم های مختلف برای هر وظیفه را نشان می دهد. پاسخ های رتبه بندی نشان می دهد که شرکت کنندگان احساس می کردند که هر دو وظیفه را با استفاده از سیستم ToMAR (t-test) دو نمونه ای، $P=7*10^{-3}$ ، $P=0.004$ جستجو) بهتر انجام می دادند. پاسخ های پرسشنامه نشان می دهد که سیستم P+P سریعتر (t-test یک نمونه ای، $P=3*10^{-3}$) است و تلاش کمتری برای استفاده (t-test یک نمونه ای، $P=0.01$) برای وظیفه جستجو نیاز است اما سیستم ToMAR احتمال کمتری داشت که منجر به اشتباهات گردد (t-test یک نمونه ای، $P=2*10^{-3}$ نقشه برداری، $P=0.01$ جستجو) و دقیق ترین نقشه (t-test یک نمونه ای، $P=2*10^{-12}$) و موقعیت یابی شی (t-test یک نمونه ای، $P=3*10^{-8}$) را ارائه می کرد. در مقابل، سیستم P+P برای یافتن مکان کلی اشیاء در طول وظیفه جستجو (t-test یک نمونه ای، $P=8*10^{-7}$) بهتر بود. تفاوتی در تلاش (t-test یک نمونه ای، $P=0.09$) یا سرعت (t-test یک نمونه ای، $P=0.10$) برای وظیفه نقشه برداری مشاهده نشد.

۶.۶ بحث

در مرحله نقشه برداری آزمایش، سیستم ToMAR سریع تر از سیستم P+P بود. این انتظار می رفت به دلیل ماهیت محدود فعل و انفعالات ممکن با نقشه ToMAR باشد. در مقابل، در سیستم P+P، کاربران آزاد بودند نقشه هایشان را با هر میزان

اطلاعات متنی که مایل بودند حاشیه نویسی کنند و اغلب، زمان را به ایجاد نقشه های با جزئیات می گذراندند که این بوسیله برخی نظرات از پرسشنامه های آزمایش پشتیبانی می گردد: "خودکار و کاغذ نیازمند تفکر بیشتری برای تعیین سودمندترین مجموعه حاشیه نویسی ها می باشد"، "خودکار و کاغذ ساده است اما زمان می برد". در بسیاری از کاربردها، محدود کردن آزادی خلاق کاربران، تأمین یک ظاهر یکنواخت برای نقشه های جهانی و ارائه اطلاعات را می توان به عنوان مزیت سیستم رسمی شده ای مانند ToMAR در نظر گرفت.

در وظیف جستجو، سیستم P+P سریعتر از سیستم ToMAR بود. گرچه این نتیجه را می توان انتظار داشت، با توجه به انعطاف پذیری و مهارت بالاتر یک رابط خودکار و و کاغذ بر روی یک صفحه نمایش لمسی، مشاهده ردیم که مهم ترین عامل در طول آزمایش در واقع عدم اطلاعات متنی در نقشه جهانی ToMAR بود. محیط آزمایش با استفاده از میزهای یکسان جدا شده با فاصله ۱-۲ متری از یکدیگر برپا شد. این فاصله بدان معنی است که دقت سیستم وضعیت یاب UWB گاهی برای تمییز بین دو مکان نزدیک به هم کافی نبود و در این موارد، شرکت کنندگان باید هر دو مکان را به ترتیب بازدید می کردند و بر باز منطقه بندی SLAM بصری برای شناسایی مکان صحیح تکیه می کردند. در مقابل، اطلاعات متنی اضافی موجود در نقشه های P+P نشانه مهمی را ارائه می کردند که شرکت کنندگان را قادر می ساخت تا مکان کلی را ابهام زدایی کنند تا تپله خود را قرار دهند و به آن ها اجازه می داد به سرعت و مستقیماً به سمت میز صحیح جهت یابی کنند. همچنین از این سردرگمی اولیه جلوگیری می کرد که برخی از کاربران هنگامی که با سیستم ToMAR به سمت میز اشتباه می رفتند آن را تجربه می کردند و سیستم SLAM در باز منطقه بندی (درست) شکست می خورد. این مشاهده به وسیله برخی نظرات کاربران در مورد پرسشنامه های آزمایش پشتیبانی شده است: "نقشه خودکار و کاغذ دارای تمایز واضحی بین راهنماهای سردرگم کننده/مبهم بود"، "با ToMAR بسیار دشوار بود که بتوان منطقه صحیح را یافت".

این مشاهده مزایایی را که اطلاعات متنی برای وظایف جهت یابی و مکان ارائه می کنند نشان می دهد. ما تصمیم گرفتیم که از مکان های ظاهراً مشابه در آزمایش استفاده کنیم که ناگزیراً بر سیستم ToMAR بیشتر از سیستم P+P تأثیر می گذاشت. سیستم ToMAR را می توان به سادگی اصلاح کرد تا به کاربران اجازه دهد اطلاعات متنی بیشتری به نقشه جهانی بیافزایند، مانند مکان میزها که بر این باوریم روش مقیاس پذیرتری را برای بهبود عملکرد جهت یابی فراهم می کند تا تلاش برای افزایش دقت متریک سنسورهای موقعیت یاب مطلق.

۷. نتیجه گیری

سیستم های AR توپومتریک مزایای دوگانه قادر بودن به عمل کردن در مناطق گسترده ضمن نقشه برداری و ردیابی دقیق محلی مورد نیاز برای نشان دادن حاشیه نویسی های AR ارائه می کنند. ما در این مقاله، یک سیستم AR سیار توپومتریک ارائه کرده ایم که فن آوری های موقعیت یابی GPS و UWB را با تعامل کاربر ترکیب می کند و یک رابط توپولوژیکی برای جهت یابی ارائه می کند که از SLAM بصری محلی برای ارائه دقیق حاشیه نویسی های AR در مناطق مورد علاقه محلی استفاده می کند. قدرت این روش در مقیاس پذیری نقشه توپولوژیکی جهانی برای پوشش مناطق گسترده و صحت باز منطقه بندی SLAM بصری می باشد که تضمین می کند سیستم همیشه قادر به نمایش دادن حاشیه نویسی های محلی در مکان صحیح و مستقل از دقت در نقشه جهانی باشد.

کارایی باز منطقه بندی با ایجاد روشی برای رتبه بندی کارآمد نقشه های بصری بهبود یافته است. یک ارزیابی از این روش نشان داده است که سیستم بر روی مناطق مختلف در یک سناریوی نگهداری مانند عمل می کند که در آن، کاربران مختلف می توانند اشیاء را در سرتاسر محیط بیابند و نشانه گذاری کنند.

یک مطالعه کاربر، نقشه برداری اساسی و جستجوی قابلیت های سیستم AR توپومتریک ما را در برابر یک سیستم تکنولوژی پایین خودار و کاغذ نشان می دهد و پایه ارزیابی های آتی با قابلیت های پیچیده بیشتر را بنا می نهد. سیستم خودکار و کاغذ یک پایه چالش برانگیز ارائه می کند زیرا برای کاربران آشنا است و درجه بالایی از انعطاف پذیری در افزودن اطلاعات متنی به نقشه جهانی ارائه می کند. نتایج ارزیابی نشان می دهد که اطلاعات متنی افزوده شده به نقشه های خودکار و کاغذ سودمندتر از داده های موقعیت یاب مطلق از سیستم UWB در مک به بشر برای جهت یابی بین محیط های کاری محلی می باشد که این،

ایده حرکت به سمت یک نمایش توپولوژیکی نقشه جهانی را پشتیبانی می کند که شامل اطلاعات متنی غنی می گردد به جای تلاش برای بهبود دقت مطلق نقشه جهانی. با توجه به دامنه افزوده برای گسترش سیستم به کاربردهای چندکاربری و وظایف پیچیده بیشتر، بر این باوریم که روش AR سیار توپومتریک که ارائه می کنیم دارای پتانسیل قابل توجه می باشد.

تقدیر

کلیه هزینه های این پروژه تحقیقاتی توسط هیئت UK Technology Strategy و کنسولگری تحقیقاتی مهندسی و علوم فیزیک انگلستان تقبل شده است. نویسندگان مایل اند در اینجا از کلیه همکاران پروژه ViewNet بخاطر مباحث کمکی و کمک های شان کمال تشکر را داشته باشند. همچنین ما در امر ارزیابی و بررسی مدل اولیه مدیون کمک های اسریرام سابرامانیان و گروه تعامل گرافیکی بریستول هستیم. همچنین از مایکل کلت و تیان لوه در آزمایشگاه فیزیک ملی انگلستان بهاطر جمع آوری و ارزیابی اطلاعات کاربران سپاسگزاریم. | Ordnance Survey mapping & Crown copyright.