

واقعیت افزوده در گجت های همراه حقیقت افزوده غیر مستقیم

جیسون ویشر، یوتتا سای، رانولد آروما.
کاری از مرکز تحقیقاتی نوکیا - هالیوود، ایالات متحده آمریکا

اطلاعات مقاله:

| | |
|---|--|
| تاریخ دریافت: ۱۱ فوریه ۲۰۱۱ | تاریخ دریافت نسخه بازمینی شده: ۱۵ آوریل ۲۰۱۱ |
| تاریخ پذیرش: ۲۸ آوریل ۲۰۱۱ | قرار گیری بر روی اینترنت: ۱۱ مه ۲۰۱۱ |
| کلید واژه ها: واقعیت ترکیبی، ارائه اطلاعات، ارزیابی، رابط کاربری، | |

ترجمه و تدوین از: فرزاد عباس پور www.farzad.im

چکیده

طراحی نرم افزارهای واقعیت افزوده (AR) برای دستگاه های تلفن همراه و فضاهای باز همیشه مستلزم در نظر گرفتن یا حذف برخی از ویژگی های فنی مربوط به ردیابی بوده است. یکی از این روش ها تکیه بر تصویرسازی کامپیوتر است که ردیابی بسیار دقیقی ارائه کرده و می تواند حوزه کاربرد این برنامه را تا میزان زیادی محدود کند. روش دیگر این استفاده از ردیابی مبتنی بر حسگر است که امکان استفاده گسترده را فراهم کرده ولی در عین حال عملکرد ردیابی ضعیف تری دارد. این مقاله سعی در ارزیابی و ارائه رویکرد جدیدی موسوم به AR غیر مستقیم دارد که امکان بهره گیری کامل از محتوای مجازی در تعداد بیشتری از طرح های نرم افزاری را فراهم می کند.

به منظور بهبود عملکرد، زاویه نگاه دوربین زنده مورد استفاده در ویدئوی AR جای خود را به تصویر دورنما داده است. با این کار کیفیت ردیابی بهبود یافته و در عین حال تجربه کلی مشابه ای بدست می آید. البته در این روش برخی محدودیت های مربوط به استفاده از تصویر پارانورما وجود دارد. ما این شرایط مرزی را از نظر عملکرد و تجربه بر اساس بررسی دو مطالعه کاربران مورد ارزیابی قرار می دهیم. نتیجه این مطالعات نشان می دهد کاربران در بسیاری از شرایط AR غیرمستقیم را به AR سنتی ترجیح می دهند و حتی در مواردی که این شرایط تا حدی باعث افت کیفیت تجربه می شود، AR غیر مستقیم باز هم می تواند ابزار بسیار مفید در بسیاری از طراحی های مربوط به فضای باز باشد.

۱. مقدمه

AR فضای باز در سال های اخیر به لطف محبوبیت زیاد گوشی های هوشمند و دیگر دستگاه های همراه کاربرد زیادی در برخی فضای نرم افزاری پیدا کرده است. چند مرورگر تجاری AR در بازار وجود دارد که اطلاعات مربوط به نقطه مورد نظر (POI) و محتوای پایه سه بعدی را نشان می دهند. همچنین بازی های AR زیادی برای این سیستم عامل ها وجود دارد. محافل دانشگاهی به تازگی گرایش روزافزونی به برخی پروژه های تجربی و بازی محور پیدا کرده است که در آن AR فضای باز مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال، بسیاری از این پروژه دارای ثبت ضعیفی هستند زیرا این پروژه های وابستگی زیادی به سنسور های داخلی (GPS)، قطب نما و گاهی اوقات ژيروسکوپ برای ردیابی دارند. این سنسورها، به ویژه مواردی که در محصولات تجاری استفاده می شود، فاقد دقت مورد نیاز برای ردیابی در AR هستند. این امر باعث محدودیت حوزه نرم افزارهای مورد استفاده شده و کیفیت تجربه کاربر در ارتباط با برنامه های موجود را کاهش می دهد. از طرف دیگر، سیستم عامل گوشی های

هوشمند به برنامه های AR اجازه می دهد دامنه مخاطبان خود را گسترش دهند. امکان استفاده از AR با ثبت مناسب در گوشی های هوشمند وجود دارد [۲۰]، اما این کار نیاز به ردیابی بصری دارد که اغلب وابسته به بافت های آشنا بوده و در محیط های ناشناخته فضای باز چندان قابل اعتماد نیست.

هدف از این مقاله فراهم سازی امکان تجربه در این محیط های باز غیرآماده است که به طور سنتی امکان بهره گیری از تجارب AR در آن وجود نداشته است. رویکرد مورد استفاده در این مقاله نیاز به ردیابی بصری کامل کامپیوتر ندارد، بلکه هدف آن به حداقل رساندن اختلالات بصری در تجربه استفاده از روش های ردیابی موجود است. ما نام این روش را AR غیر مستقیم گذاشته ایم زیرا به وسیله آن می توان کل صحنه داخل دستگاه را با استفاده از تصاویر پانوراما به جای دوربین زنده به صورت مجازی نشان داد. (به عنوان مثال نگاه کنید به شکل ۱). کاربر دیگر به طور مستقیم از طریق دوربین زنده به صحنه نگاه نمی کند - اتفاقی که در هنگام دیدن ویدئو از طریق AR اتفاق می افتد - بلکه به طور غیر مستقیم آن را با نگاه کردن به تصاویر گرفته شده قبلی مشاهده می کند. این امر باعث می شود خطای ثبت قابل مشاهده از قسمت داخلی دستگاه (بین جهان واقعی و محتوای مجازی)، به مرز دستگاه، بین نمای صفحه نمایش دستگاه، و دنیای واقعی پیرامون دستگاه منتقل شود. این بدان معنی است که در داخل دستگاه، بین محتوای مجازی و بازنمایی های مربوط به دورنمای جهان واقعی، هیچ خطای ثبتی وجود ندارد.



در شکل ۲ نمونه ای انتزاعی را می بینید که در آن تفاوت زاویه دید AR و AR غیر مستقیم با مقدار ثابتی از خطای ثبت به تصویر کشیده شده است. انتقال خطای ثبت به لبه صفحه نمایش وضعیت بهتری را ایجاد می کند زیرا در آن جا شناسایی خطا به دلیل گودی اطراف صفحه نمایش، و تغییر پارامترهای زاویه دیده بر روی تصاویر صفحه نمایش دشوارتر است.

از بسیاری جهات، افراد معمولاً در هنگام مشاهده جهان واقعی بر روی صفحه نمایش تلفن همراه خود آن را با واقعیت پشت دوربین مقایسه می کنند. این امر عمدتاً به دلیل گسترش استفاده از دوربین های دیجیتال است که در آن از صفحه نمایش به عنوان منظره یاب استفاده می شود. تصویری منظره یابی که مردم اغلب به آن می نگرند پیش تر به طرف مختلف دستکاری شده است. این تصویر همانند یک تکه شیشه نمایی واقعی از جهان را نشان نمی دهد. بلکه این نما به وسیله سیستم لنز مورد استفاده در زمینه های مختلف مربوط به نما، عمق فوکوس و موارد دیگر دستخوش تغییر شده است. حتی با وجود این تغییرات مردم همچنان فکر می کنند "از طریق" دوربین به جهان نگاه می کنند. حال مسئله خطای ردیابی را نیز به این جریان اضافه کنید که خود یکی از عوامل تغییر و دستکاری در تصاویر است. با استفاده از سنسورهای داخلی، بخشی از تصویر پانوراما ممکن است انحراف ۵۱ یا ۱۰۱ نسبت به شی دیگری داشته باشد که به طور مستقیم در پشت دستگاه قرار دارد اما افراد به دلیل سایر اصلاحات تصویر چندان متوجه این قضیه نمی شوند.

در این مقاله تصاویر پانوراما به عنوان بازنمایی از دنیای واقعی در نظر گرفته شده اند، ولی با افزایش پیچیدگی و جزئیات بازنمایی مجازی، دنیای واقعی، می توان قدرت روش AR غیر مستقیم را بیش از گذشته افزایش داد. یکی از پیامدهای این افزایش پیچیدگی ممکن است ایجاد محیطی آکنده از دوربین های ویدئویی و سنسور باشد که قادر به ضبط محیط واقعی در لحظه بوده و امکان بازسازی کامل این محیط از منظر دلخواه را در لحظه فراهم می سازد. در صورت تحقق این امر، آن گاه به سختی می توان تجربه AR غیر مستقیم را از تجربه AR سنتی ایده آل تمیز داد. البته ممکن است تحقق این امر امروز عملی نباشد. با این

حال باید این تجلی نهایی AR غیر مستقیم را به خاطر داشت همانطور که (Sutherlands Ultimate Display) تصویری از تجلی نهایی واقعیت مجازی ارائه می دهد.

در این مقاله، هدف ما پیاده سازی AR غیر مستقیم است که در آن از مدلی کاربردی از دنیای واقعی استفاده می شود و قادر به ارائه تجربه ای با کیفیت ولی موقتا ایستا است، یعنی تصاویر پانوراما. چندین شرکت از جمله NAVTEQ، به دنبال جمع آوری مدل های دقیق محیط های شهری با بهره گیری از خودروهای ویژه ای هستند که قادر به جمع آوری



شکل ۱. بخشی از تصویر پانوراما که می تواند برای AR غیر مستقیم استفاده شود. این نمای خاص در مطالعه ذکر شده در بخش ۶ مورد استفاده قرار گرفته است.

تصاویر پانوراما و داده های دیگر مانند ابرهای نقطه ای سه بعدی هستند. این تصاویر همزمان با حرکت خودرو در جاده به فاصله هر چند متر گرفته می شود. در رویکرد ما فرض بر این است که کاربر در ناحیه ای خارج از منزل ایستاده، نزدیکترین تصویر پانوراما را دانلود کرده و سپس آن را می چرخاند تا به این وسیله جهان واقعی اطراف آن را بررسی کند. در حالی که این روش پیاده سازی محدودیت بیشتری نسبت به نمای نهایی دارد، ولی تجربه ای شبیه به AR سنتی ارائه می دهد و به طور بالقوه می تواند با توجه به گسترش امکان دسترسی به تصاویر پانوراما اقبال بیشتری پیدا کند. از آنجا که چنین تصاویر و اطلاعاتی به سرعت در بیشتر مناطق شهری جهان در دسترس هستند، AR غیر مستقیم می تواند به روش عملی برای خلق تجارب AR با کیفیت بالا در محیط های شهری تبدیل شود. بهره گیری از پانوراما به عنوان بازنمای جهان واقعی محدودیت های خاص خود را دارد زیرا این تصاویر نامکرر گرفته می شوند و این امر امکان نمایش نادرست عناصر پویای صحنه، مانند ترافیک، آب و هوا، نور را افزایش می دهد. با این حال، همانطور که ما در قسمت های بعدی این مقاله نشان داده می دهیم، در هر صورت امکان دستیابی به تجربه ای با کیفیت بالا وجود دارد حتی اگر برخی از این محدودیت ها همچنان وجود داشته باشد.

در بخش ۳ ابتدا سوالات تحقیق را با ذکر جزئیات بیشتر تعریف می کنیم. پس از آن به بررسی تقابلی عملکرد خالص AR و AR غیر مستقیم در بخش ۴ پرداخته و نشان میدهم چگونه خطای جهت گیری می تواند اثر منفی قابل توجهی بر AR سنتی داشته باشد، در حالی که این تاثیر در AR غیر مستقیم بسیار جزئی تر است. در بخش ۵، به بررسی بخشی از سناریوی مشترک AR غیر مستقیم در حالتی می پردازیم که در آن پانوراما همسو کاربر نیست. ما به بررسی این موضوع می پردازیم که چگونه کاربران می توانند نگاه خود به دنیای واقعی را با تصویر نمایش داده شده بر روی صفحه دستگاه همسان کنند. این کار با

مطالعه عملکرد کاربر و اشاره به اشیاء موجود در دنیای واقعی صورت می گیرد که در یک تصویر گرفته شده از نقاط مختلف به صورت برجسته درآمده اند. ما نشان می دهیم حتی در شرایط سخت کاربران می توانند به خوبی بین جهان واقعی و تصویر نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش دستگاه خود ارتباط برقرار کنند. این حال، این کار کمک چندانی به تشخیص تجربه واقعی و AR سنتی نمی کند. در بخش ۶ این سوال را در مطالعه ای دقیق تر مورد بررسی قرار داده و در آن درک کاربر از تجربه AR غیر مستقیم را مورد کاوش قرار می دهیم. این مطالعه به بررسی بسیاری از موارد مرزی AR غیر مستقیم، و تاثیر این موارد مرزی بر تغییر نوع تجربه کاربر می پردازد. همچنین در اینجا تجربه کاربر در "شرایط مناسب" مورد مقایسه قرار گرفته و قیاسی بین AR سنتی و AR غیر مستقیم با محتوای مختلف صورت می گیرد. در این شرایط AR غیر مستقیم صرفنظر از نوع محتوا نسبت به AR سنتی برتر بوده و تجربه ای مشابه در اختیار کاربران قرار می دهد. در صورتی که تصویر پانوراما با کاربر همخوانی نداشته باشد، تجربه AR غیر مستقیم در نهایت از بین می رود هرچند این امر به صورت تدریجی انجام می شود. در فضای اطراف کاربر ناحیه ای وجود داشت که در آن تجربه ای مشابه قابل دسترسی بود.

۲. تحقیقات مرتبط

کار ما بر پایه بسیاری از روش های لنز جادویی در VR و AR است. لنزهای جادویی اولین بار در AR به عنوان بخشی از سیستم های مبتنی بر HMD استفاده شدند و توانستند تاثیر شگرفی بر نحوه نمایش محتوای مجازی داشته باشند [۱۰]

شکل ۲. تصویری ساختگی از یک صحنه AR را نشان می دهد که به صورت کاملا همتراز قرار گرفته است. طرح کلی ساختمان (مولفه مجازی) به طور مستقیم در کنار ساختمان فیزیکی قرار گرفته است. تصویر روی صفحه نمایش نیز تراز کاملی با فضای پس زمینه آن دارد. در تصویر (ب) مشکل ردیابی AR سنتی نشان داده شده است. در این مورد طرح کلی ساختمان ۲۰ پیکسل به سمت راست منتقل شده است. در تصویر (ج)، که AR غیر مستقیم را نشان می دهد، کل تصویر روی صفحه (ساختمان و طرح کلی آن) ۲۰ پیکسل به سمت راست منتقل شده اند (با تصویر (A) مقایسه کنید). همانطور که دیده می شود، نتیجه این انتقال از نظر بصری بسیار مطلوب تر از (ب) است.

برخی از نمونه های کاربرد لنز جادویی مشابه مطالعه فعلی ما را می توان در پژوهش براون و هوآ [۲] در ارتباط با VR، و کوارلز و همکاران [۱۳، ۱۴] در مورد AR دید. در هر دو روش کاربر قادر به مشاهده نسخه مجازی جهان (واقعی یا مجازی) اطراف آنها بر روی صفحه نمایش همراه خود هستند. مطالعه کوارلز و همکاران شباهت بیشتری با کار تحقیقاتی ما دارد. با این حال، آنها در مطالعه خود نمایش گرافیکی متحرک از ماشین های در حال استفاده را نشان دادند و ارزیابی آن ها فاقد تصویر پانوراما کامل از جهان اطراف بود. لیستول و همکاران [۷، ۸] روشی موسوم به شبیه سازی موقعیتی ارائه داده اند که کاملا شبیه به AR غیر مستقیم است. در روش آن ها از دنیای مجازی مصنوعی استفاده می شود که با دنیای واقعی در ارتباط است. همزمان با حرکت کاربر در دنیای واقعی، آواتار آن ها نیز در دنیای مجازی نشان داده شده بر روی صفحه گوشی های هوشمند حرکت می کند. با این حال، بر خلاف AR غیر مستقیم، مطابقت جهان مجازی مورد استفاده آن ها با نمایش دنیای واقعی به اندازه تصاویر پانوراما نیست. با این وجود، نمایش نهایی شبیه سازی موقعیتی و AR غیر مستقیم به احتمال زیاد کاملا مشابه هستند. راگان و همکاران [۱۵] به بررسی نقطه جدید و جالبی بر روی طیف MR پرداختند. به جای تلاش برای الگوبرداری از AR با بهره گیری از رابط مجازی، آنها مبادرت به شبیه سازی AR در VR به منظور آزمایش راحت تر سیستم های AR گرفتند. یوتندل و همکاران [۱۸] از تصاویر پانورامای مترکم برای کاوش فضا استفاده کردند ولی مورد استفاده آنها مربوط به بیننده ای می شود که از فاصله دور به تصویر پانوراما نگاه میکند نه بیننده ای که در فاصله نزدیک به آن نگاه می کند. هیل و همکاران [۵] از پانوراما به روشی کاملا متفاوت به عنوان بخشی از مرورگر AR خود موسوم به KHARMA استفاده کردند. این کار نیز با الهام از مطالعه قبلی ما در وست وود اکسپرنس انجام شد [۲۲] که در آن ما از تصویر پانورامای و رابط کاربری مشابه برای پیوند محیط فیزیکی به فضای داستانی استفاده کردیم. باید توجه داشت هرچند در این اثر از تصاویر پانورامای از پیش گرفته استفاده می شود، ولی واگنر

و همکاران [۱۹] سیستمی برای ثبت تصاویر پانوراما در لحظه طراحی کردند. این تصاویر نیز می تواند به جای تصاویر از پیش گرفته شده استفاده شود.

بخش مهمی از این کار مربوط به مسئله حضور در AR است. در مورد ما، یکی از سوالات مهمی که سعی در پاسخ دهی به آن داریم قابلیت تجربه AR غیر مستقیم در ایجاد پیوند بین محتوای مجازی و دنیای فیزیکی است مشابه اتصال AR است. برخی پژوهشگران [۴،۱۲،۲۱] قبلا مسئله مشابهی را در AR مورد بررسی قرار داده و موضوعاتی مانند نحوه تبدیل حضور و باورپذیری از VR به AR را ارزیابی کردند. به نظر ما حداقل در ارتباط با AR متمرکز، حضور مهم ترین مسئله پیش رو نیست بلکه به نظر می رسد مسائل مربوط به باورپذیری و ارتباط با صحنه AR اهمیت بیشتری نسبت به آن دارند.

۳. استفاده از پانوراما به عنوان جایگزین AR

مسئله ای که به نظر ما اهمیت زیادی در باورپذیری برنامه های AR دارد استفاده از محتوای مجازی مناسب در صحنه AR است. منظور این است که تکنولوژی مربوط به چگونگی ترکیب اجزای مجازی و فیزیکی باید تا حد امکان محرمانه باشد. کاربر نباید قادر به افزودن مفروضات اضافه مربوط به شکل ظاهری صحنه AR یا ایجاد تغییر در آن باشد؛ صحنه AR باید در حالت عادی به اندازه کافی باورپذیر باشد. راه های بسیاری برای انجام این کار وجود دارد از جمله ردیابی دقیق پیکسلی و طراحی محتوای مجازی به شکلی که امکان مخفی سازی هر گونه خطا ردیابی وجود داشته باشد - برای مثال قراردادن شخصیت های مجازی در یک بالن [۱۱]. ما امیدواریم AR غیر مستقیم امکان استفاده از تجارب مشابه AR را با بهره گیری از ردیابی مبتنی بر حسگر، کاهش تاثیر ردیابی خطا، و بهبود ترکیب محتوا فراهم سازد. از آنجا که تصویر پانوراما از قبل همراه با اطلاعات دقیق گرفته شده است، امکان ترکیب مجازی و فیزیکی، بارگذاری محتوای مجازی با روشی مشابه، اصلاح پوشیدگی ها و موارد دیگر وجود دارد.

در این مقاله تاکید ما بر مقایسه AR غیر مستقیم و AR سنتی است ولی نکته جالب دیگری که باید به آن توجه داشت مربوط به عواملی است که زیربنای AR غیر مستقیم را تشکیل می دهد. تاکید ما بر تعامل با جهان از طریق نگه داشتن دستگاه و نگریستن به جهان از منظر آن است. این همان کاری است که در AR سنتی بر آن تاکید می شود. از آنجا که تصاویر پانوراما مستقل از دنیای واقعی وجود دارد، امکان تعامل با مستقیم با پانوراما با استفاده از ورودی لمسی وجود دارد. رابط کاربری آن تقریبا مشابه نسخه تلفن همراه نرم افزار Street View گوگل است. حال سوال این است: نگه داشتن گوشی و نگاه کردن از طریق آن به شیوه AR سنتی به جای تعامل با پانوراما با استفاده از قابلیت لمس چه مزیتی دارد؟ به نظر ما تفاوت بین این دو روش تعامل با پانوراما در نوع تجربه حاصل از آن است. به نظر می رسد با نگه داشتن دستگاه و تجربه تعامل-AR با آن مانند میزان باورپذیری صحنه AR بسیار بالاتر بوده و در نتیجه ارتباط محکم تری بین محتوای مجازی و جهان واقعی ایجاد خواهد شد. البته این به معنای آن نیست که رابط کاربری با قابلیت حرکت افقی هیچ کاربردی ندارد. برای بسیاری از برنامه های جستجو، که در آن کاربر به دنبال دستیابی به اطلاعات ساده مانند جهت یا نقاط مورد نظر است، دستیابی به سطح بالاتری از باورپذیری احتمالا اهمیت چندانی ندارد.

با این حال، در بسیاری دیگر از حوزه های کاربردی، به ویژه حوزه سرگرمی و بازی، ارتباط نزدیک بین قطعات مجازی و فیزیکی محیط اهمیت زیادی دارد زیرا در آن جا تاکید تجربه بر ایجاد محیطی با واقعیت افزوده است.

۴. ثبت

یکی از بزرگترین مزایای استفاده از AR غیر مستقیم به جای AR سنتی دقت بیشتر در ثبت است. در AR سنتی هر گونه خطایی در ثبت بین جسم فیزیکی و بازنمایی مجازی به طور مستقیم قابل مشاهده است. در AR غیر مستقیم همین خطای

ثبت تنها بین دستگاه و محیط اطراف قابل مشاهده است. این بدان معناست که ثبت بین بازنمای مجازی و تصویر پانوراما که بیانگر جهان واقعی است همیشه در بهترین حالت قرار دارد حتی اگر ثبت بین دستگاه و دنیای واقعی اینگونه نباشد. آنجا که پانوراما و محتوای مجازی با هم حرکت می کنند، هیچ اختلافی (offset) بین آن ها وجود ندارد. این تفاوت بسیار مهم است زیرا هر گونه خطای ثبت، از جمله حرکت نامنظم و تاخیر می تواند تاثیر منفی زیادی بر تجربه کلی داشته باشد. این مشکلات در AR غیر مستقیم وجود نخواهد داشت.

تعیین این که جهت گیری ردیابی خطا دقیقا چه تاثیری بر تجربه AR دارد از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجا که اشیاء بازنمایی شده در AR فضای باز اغلب در فاصله زیادی از یکدیگر قرار دارند، حتی خطای کوچکی در جهت گیری می تواند خطا ثبت بزرگی ایجاد کند. برای مثال، در فاصله ۲۰ متر، تنها ۵۱ خطا جهت گیری منجر به ۱٫۷۵ متر خطای ثبت در صفحه عمودی می شود. ده درجه، که معمولا یکی از خطاهای رایج مربوط به سنسورهای استاندارد است، منجر به ایجاد ۳٫۵۳ متر خطای ثبت می شود، در حالی که در سیستم بهتری با ۰٫۵۱ خطا، مقدار خطای ثبت در حدود ۰٫۱۷ متر خواهد بود. تمام این خطاها می تواند تاثیر منفی بر تجربه کلی AR داشته باشد. لیوینگستون و آی [۹] خطا ثبت را به طور دقیق مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند چگونه انواع مختلف خطا ثبت می تواند ردیابی اجسام دور به وسیله کاربر را تحت تاثیر قرار دهد. آنها نشان دادند نهفتگی، نویز و خطای جهت گیری کلی می تواند بر عملکرد کاربران تاثیر منفی داشته باشد ولی در این میان نهفتگی بیشترین تاثیر را دارد.

به طور طبیعی راه های زیادی برای بهبود مشکل ثبت نادرست در AR با بهره گیری از طراحی هوشمندانه رابط کاربری وجود دارد اما در نهایت در صورتی که ردیابی جهت گیری دقیق نباشد مقدار مشخصی از خطا وجود خواهد داشت. بر اساس این اعداد می توان دریافت حتی خطای چرخشی ناچیز می تواند تاثیرات منفی قابل توجهی بر برنامه AR داشته باشد. از نقطه نظر قابلیت و کارایی، این خطاها در AR غیر مستقیم به دلیل حرکت همزمان تصویر مجازی و جسم فیزیکی اتفاق نمی افتد. این امر همچنین تاثیر بصری انواع دیگر خطای ردیابی از جمله حرکات نامنظم و تاخیر را کاهش می دهد.

۵. بومی سازی از دیدگاه های متفاوت

یکی از ایرادات اصلی در روش اجرای فعلی AR غیر مستقیم وابستگی به تصاویر پانورامای از پیش گرفته شده است. برای دستیابی به تجربه ساده و ایده آل، باید پانوراما دقیقا در محل ایستادن کاربران قرار گرفته باشد. در مورد نصب AR غیر مستقیم، این امر به معنای بهره گیری از تصویر پانوراما در همه جا است. هر چند امکان دسترسی به پانوراما در همه نقاط وجود ندارد ولی می توان این کار را به صورت تقریبی با استفاده از تصاویر پانورامای بدست آمده از NAVTEQ در هنگام حرکت در جاده انجام داد.

البته این در اینجا دو مساله باید مورد توجه قرار گیرد: آیا کاربران می توانند به پانوراما نگاه کرده و نقطه مورد خود را در تصویر جهان واقعی پیدا کنند، و در این صورت، آیا استفاده از این تصاویر پانوراما تجربه ای مشابه AR سنتی ایجاد خواهد کرد یا این که تفاوت در محل باعث تغییر تجربه خواهد شد؟ در این بخش سعی در پاسخ دهی به پرسش اول داریم، در حالی که در بخش ۶ به بررسی پرسش دوم خواهیم پرداخت.

برای بررسی سوال اول، در مطالعه کوچکی بررسی نحوه شناسایی محل قرارگیری نقاط مورد نظر بین دو تصویر متفاوت - که در این مورد تصویر روی صفحه نمایش، و مشاهده مستقیم کاربر از محیط پیرامون است - می پردازیم.

۵.۱. توصیف مطالعه

هدف از این مطالعه صرفا تعیین توانایی کاربران در تعیین میزان شباهت تصویر پانوراما به دنیای واقعی در صورت ضبط آن از نقطه نظری متفاوت است. این سوال در مطالعه لاجینی و لاجی کار [۶] نیز مطرح شده بود. آنها به بررسی این موضوع پرداختند

که آیا افراد قادر به تعیین موقعیت خود بر روی نقشه در صورت انتقال به زاویه ای جدید از ساختمان هستند. تفاوت مطالعه در این است که در اینجا تلاش کاربران برای ایجاد نقشه ذهنی در اطراف محل سکونت خود برای ما اهمیت چندانی ندارد. ما تنها علاقه مند به ارزیابی توانایی آن ها در انطباق جهان واقعی خود با جهان نشان داده شده بر روی صفحه نمایش هستیم. به این منظور سوالاتی که در این مطالعه سعی در پاسخ گویی به آن داریم به شرح زیر است:

- توانایی افراد در شناسایی یک ساختمان در صورتی که از زاویه ای متفاوت به آن ها نشان داده شود چقدر است؟
- چگونه محل گرفتن تصویر پانوراما (نسبت به کاربران) بر این جریان تاثیر دارد؟
- چگونه زاویه تصویر (نسبت به ساختمان های مورد نظر) بر این جریان تاثیر دارد؟
- چگونه تفاوت بین زاویه نگاه تصویر و زاویه نگاه کاربران بر این جریان تاثیر دارد؟

پرسش دوم تا چهارم به طور مستقیم اشاره به عواملی دارد که به نظر ما تاثیر منفی بر توانایی های کاربر در تشخیص ارتباط بین زاویه های نگاه مختلف دارد. فرض ما این است که افراد مشکلی در شناخت ساختمان نخواهند داشت اما این امر در صورتی که کیفیت شرایط مربوط به سه مولفه فوق کاهش یابد دشوارتر خواهد شد.

در این مطالعه سوال فوق را ساده تر کرده و به جای استفاده از تصاویر پانورامای ردیابی، تنها تصاویر ایستا هدف بر روی صفحه نمایش گوشی نوکیا N900 مورد ارزیابی قرار گرفت. این ساده سازی مزایا و معایب خاص خود را دارد اما به نظر ما استفاده از پانورامای ردیابی برای توجیه ساده سازی ایرادات مشخصی دارد. یکی از مزایای استفاده از پانورامای ردیابی که در مطالعه ما به آن اشاره نشده است این است که در صورت استفاده از پانوراما قسمت بیشتری از صحنه قابل مشاهده خواهد بود زیرا کاربران قادر به بررسی بخش بیشتری از تصویر پانوراما هستند. به طور مشابه، زمانی که کاربران محل قرارگیری ساختمان مورد نظر را در یک تصویر پانوراما شناسایی می کنند، از جهت بین پانوراما و ساختمان آگاه هستند، هر چند هنوز رابطه فیزیکی بین زاویه پانوراما یا ساختمان مورد نظر را نمی دانند. آگاهی از ارتباط بین تصویر دورنما و جهت گیری ساختمان هدف نیز ممکن است یکی از نقاط ضعفی باشد که مطالعه را با مشکل مواجه کند. اگر محل قرارگیری پانوراما کاملا دور از کاربران باشد، آگاهی از سمت جهت گیری به هدف ممکن است کاربر را مجبور به نگرستن در همان جهت کند، که در برخی موارد این جهت درست نیست.

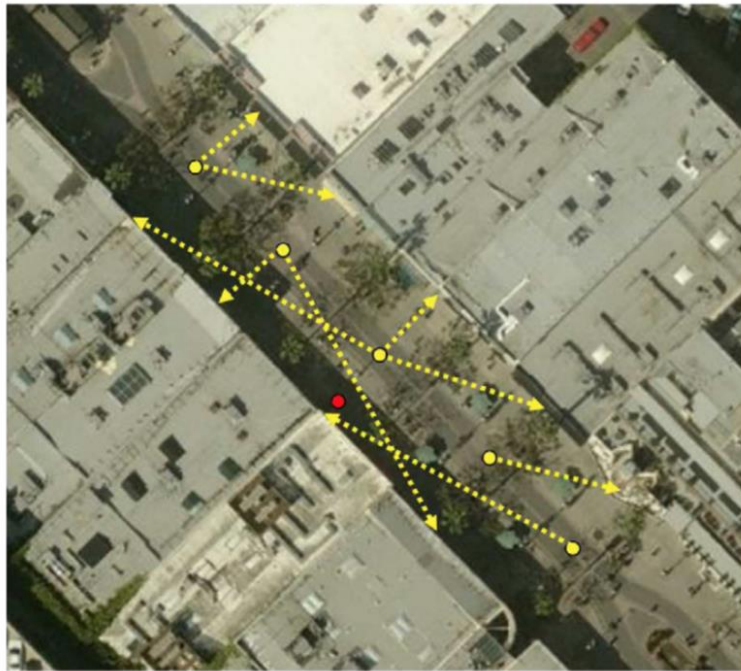
مشکل بزرگتر (از نظر انجام مطالعه ای با امکان کنترل کامل) این است که ساختمان هدف همیشه در تصویر دورنما قابل مشاهده نباشد. از آنجا که جهت گیری دورنما رابطه مستقیمی با جهت گیری کاربران دارد، باید در ابتدا سعی در یافتن هدف پیش از تلاش برای یافتن هدف مشابه در جهان واقعی داشت. این تلاش مضاعف موضوعی است که در این مطالعه علاقه چندانی به بررسی آن نداریم زیرا این کار می تواند احتمال زیاد نتایج مطالعه را تحت تاثیر قرار دهد. به جای این کار تصاویری از ویتترین مغازه های نبش خیابان، مشابه تصاویر که در شکل ۳ نشان داده شده است، در پیاده روی حاشیه خیابان را از زوایای مختلف مربوط به فروشگاه های مورد نظر به کاربران نشان دادیم. سپس کاربر باید به فضای اطراف خود در جهان فیزیکی نگاه کرده و پس از یافتن همان ساختمان (که از زاویه خود قابل به دیدن آن است)، آن را به صورت فیزیکی به محقق ما نشان دهد. پس از نشان دادن تصویر به کاربر زمان سنجی شروع به کار کردخ و پس از شناسایی ساختمان به وسیله کاربر این زمان سنج متوقف می شود. محقق ما همچنین پاسخ های اشتباه کاربران را یادداشت می کرد.

به طور خاص، در این مطالعه کاربران در پنج زاویه نگاه در امتداد شماره ۳ خیابان پرامناد توقف می کردند، که در آن عابر پیاده ای مشغول خرید در خیابان سانتا مونیکا بود. در هر زاویه، کاربران در سمت جنوب غربی خیابان ساختمان قرار داشتند که در فاصله سه متری از نمای ساختمان قرار داشت. سپس تصاویری از پنج مکان مجاور به کاربران نشان داده می شد که همه آن ها در امتداد مرکز خیابان قرار داشتند. این مکان های تصویری در فاصله حدودا ۱۵ متر از یکدیگر قرار گرفته داشتند. که با هدف شبیه سازی مجموعه ای پراکنده از پانوراماها انتخاب شده بودند که احتمالا به وسیله NAVTEQ یا گوگل جمع آوری می شود.

در هر زاویه در مجموع نه تصاویر گرفته شده از پنج مکان به کاربران نشان داده می‌شد. سه مورد از این تصاویر به طور مستقیم حاشیه خیابان عمود بر نمای ساختمان را نشان می‌داد، سه تصویر از زاویه متوسط (حدود ۵۰۱ از خط عمود) و سه زاویه بالا (در حدود ۷۵۱ از خط عمود) گرفته شده بودند. نمونه‌ای از هر یک از این انواع تصویر را می‌توان در شکل ۳ دید. ترتیب نشان دادن تصاویر مربوط به هر زاویه با کمک روش مربع لاتین مشخص گردید، که شامل سه عکس گرفته شده از مکان‌هایی بود که در فاصله نزدیک، متوسط و دور از کاربر قرار داشتند.



شکل ۳. سه تصویر نمونه از مطالعه. این تصاویر بر روی گوشی نوکیا N900 به کاربران نشان داده شده و از آن‌ها خواسته می‌شود ساختمان موردنظر را در محیط فیزیکی آن شناسایی کنند. زوایای مستقیم، میانی و بالای مربوط به یک نقطه هدف (به منظور ارائه شواهد گویا) به ترتیب در (الف)، (ب) و (ج) نشان داده شده است.



شکل ۴. نمای هوایی یکی از مکان‌های مورد استفاده در مطالعه. کاربر در محل نشان داده شده با نقطه قرمز رنگ قرار دارد. پنج نقطه‌های زرد در مرکز خیابان محلی را نشان می‌دهد که تصاویر از آن گرفته شده است و پیکان زرد از محل گرفتن تصاویر به سمت محل مورد نظر اشاره می‌کند. ساختمان هدف در هر دو طرف خیابان قرار داشتند، و انتخاب محل تصویر / هدف به صورت از میان پنج مکان صورت گرفت. (برای تفسیر ارجاعات مربوط به رنگ در این تصویر، به نسخه اینترنتی این مقاله رجوع کنید).

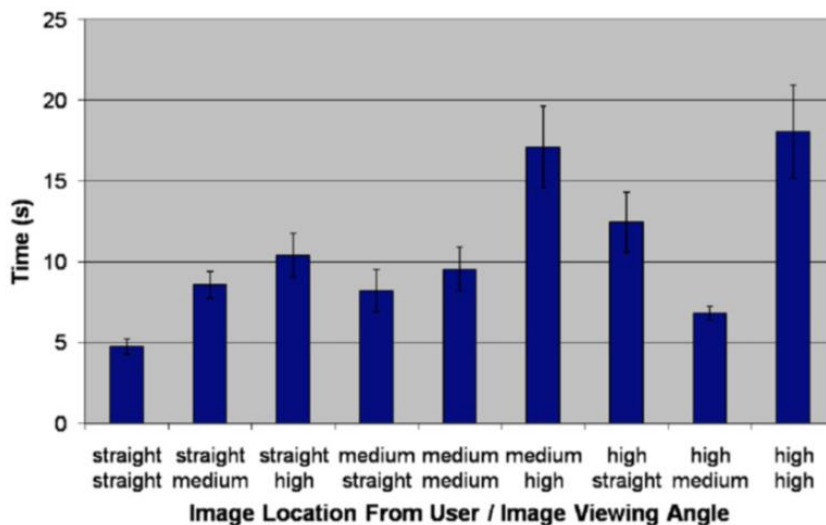
ساختمان‌های هدف مجدداً مورد استفاده قرار نگرفتند و برای برقراری توازن، تعداد آن‌ها در هر دو طرف خیابان یکسان بود. نمونه‌ای از تصویر و ساختمان مورد نظر در شکل ۴ نشان داده شده است. پیش از آغاز مطالعه، جلسه توجیه و آموزش مختصر با استفاده از یک تصویر نمونه برگزار شد که هیچ ارتباطی با سایر نقاط مورد استفاده در این مطالعه نداشت. این نقاط با ترتیب مشابه به همه کاربران نشان داده شدند اما این امر هیچ اثر یادگیری به همراه نداشت. به نظر می‌رسد دلیل این امر سادگی این

تمرین باشد. با توجه به این که تقریباً تمام نتایج مربوط به هر نقطه در جدول ثبت گردید محل قرارگیری نقاط اهمیت چندانی نداشت. نتایج این مطالعه بین افراد مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعه ۹ کاربران شرکت کردند که همه آنها جزو کارمندان مرکز تحقیقات نوکیا بودند. شرکت کنندگان همه مذکر بوده و هر بازه سنی آن ها بین ۲۵ و ۴۸ سال بود. انجام این مطالعه برای هر یک از کاربران حدود ۳۰ دقیقه به طول انجامید و در این مدت کاربر ۴۵ تمرین تطبیقی (۹ تمرین در هر یک از ۵ محل) انجام داد. برخی از کاربران تا حدودی با محیط آشنا بودند، اما به نظر می رسید آشنایی نسبی تاثیر چندانی بر عملکرد کاربر ندارد. در موارد نادر، کاربران با محل قرارگیری یک فروشگاه به واسطه حضور در آن آشنایی داشتند. زاویه نگاه کاربران در فاصله کافی از یکدیگر قرار داشتند و هیچ همپوشانی بین مکان ها وجود نداشت، به جز مکان ۱ و ۲ که از برخی جهات به یکدیگر شبیه بودند.

۵.۲. نتایج و بحث

به طور کلی، نتایج نشان می داد افراد مهارت زیادی در شناسایی ساختمان های اطراف آنها داشتند. در شکل ۵ خلاصه ای از این نتایج برای هر ۹ حالت ترکیب تصویر محل / جهت گیری نشان داده شده است. در حالی که در برخی موارد دشوار کاربران سرعت عمل پایینی در شناسایی محل ساختمان نشان داده شده در تصویر داشتند، ولی خطای آن ها بسیار کم بود. در مجموع نرخ خطای ۴٪ بدست آمد که نیمی از این خطاها مربوط به دشوارترین حالت ها بود. انجام این تمرینات برای کاربران بین ۱.۷ و ۷۸.۲ ثانیه به طول انجامید. که این امر به دلیل تفاوت های فردی در استفاده از راهبردهای شناسایی بود. علاوه بر این، اثرات یادگیری در هر یک از نقاط به دلیل آشنایی کاربران با محیط اطراف خود در یک نقطه قابل مشاهده بود.



شکل ۵. نتایج نشان می دهد شناسایی ساختمان مورد نظر در شرایط مختلف برای هر کاربر چه مدت به طول می انجامد. برچسب مربوط به هر ستون فاصله محل تصویر از محل ایستادن کاربر، و زاویه بین هدف و محل تصویر را نشان می دهد.

به دلیل استفاده از روش تعادلی، به نظر نمی رسد این امر تاثیر چندانی بر میانگین نمرات داشته باشد، اما تاثیر آن را می توان در واریانس مربوط به هر نمره مشاهده کرد.

دو سوال اصلی ما در این مطالعه به شرح زیر بودند: آیا محل تصویر تاثیری در شناسایی هدف دارد و این که آیا جهت محل تصویر به مست هدف در این میان اهمیت دارد؟ نتایج اهمیت این دو مورد را نشان می داد. در آزمون ANOVA دوسویه

مکان و جهت گیری تصویر معنادار بود ($p \geq 0.0$). همچنین، ارتباط معنی داری بین محل و جهت گیری ($p \geq 0.0$) وجود داشت.

برای ارزیابی تاثیر محل گرفتن تصویر بر پاسخ کاربر تصمیم به تحلیل زیر مجموعه ای از تصاویر مربوط به هر مکان گرفتیم. ما تمام تصاویر مربوط به هر مکان با جهت مشاهده مستقیم را انتخاب کرده و نمای کاملی از ساختمان هدف ارائه کردیم.

بررسی این مجموعه از تصاویر نشان می دهد تفاوت معنی داری ($p \geq 0.0$ ANOVA) بین مکان ها وجود دارد و در این میان می توان پیشرفت خطی زمان اتمام را بر حسب فاصله کاربر از مکان تصویر مشاهده کرد. شناسایی تصاویری که از مکان روبروی کاربر گرفته شده بود به طور میانگین حدود ۴,۷ ثانیه به طول می انجامید؛ تصاویری گرفته شده از فاصله متوسط حدود ۸,۲ ثانیه، و تصاویری گرفته شده از فاصله دور ۱۲,۲ ثانیه به طول می انجامید. این نتیجه چندان دور از انتظار نیست زیرا ویترین فروشگاه هایی که در فاصله دورتری از کاربر قرار دارند، نه تنها از نظر بعد مسافت فاصله بیشتری دارند بلکه اغلب دیدن آن ها نیز به دلیل پوشیدگی های جزئی زاویه حاد نگاه دشوارتر است. ظاهر ساختمان ها نیز به دلیل تفاوت بین دید مستقیم کاربر و تصویر صفحه نمایش متفاوت خواهد بود.

ما همچنین به دنبال ارزیابی تاثیر زاویه محل گرفتن تصویر و ساختمان مورد نظر (مستقل از مکان تصویر) بر نتایج بودیم. ما سه مجموعه مربوط به زوایای تصویری را ارزیابی کردیم (زاویه هایی که به طور مستقیمی در جهت ساختمان قرار داشتند، زاویه های متوسط، و زاویه بالا) و بار دیگر تفاوت معناداری را بین آن ها مشاهده کردیم ($p \geq 0.0$ ANOVA).

در این مورد، تصاویر زاویه دار مستقیم و متوسط شباهت زیادی از نظر زمان شناسایی داشتند در حالی که شناسایی تصاویر زاویه بالا برای کاربران تقریباً دو برابر به طول می انجامید. (به طور متوسط ۱۵ ثانیه در مقابل ۸,۴ ثانیه مربوط به تصاویر مستقیم و متوسط). علاوه بر این، ۱۴ مورد از ۱۸ خطای کاربران در شناسایی مربوط به تصاویر زاویه بالا بود. این واقعیت که کاربران عملکرد ضعیفی در شناسایی این تصاویر داشتند چندان دور از انتظار نیست. بسیاری از این تصاویر به دلیل فاصله زیاد و زاویه نگاه بسیار دشوار بودند، آن چه تا حدودی عجیب به نظر می رسید ولی در عین حال برای AR غیر مستقیم اطمینان بخش بود، این بود که عملکرد کاربران در شناسایی تصاویر زاویه دار متوسط به خوبی تصاویر کاملاً مستقیم بود. به نظر ما این امر احتمالاً به دلیل آن است که در هر یک از این دو زاویه، افراد تصویر واضحی از ساختمان مورد نظر در اختیار داشتند. این تصویر واضح شناسایی تمام جزئیات مربوط به محیط فیزیکی را برای کاربر راحت تر می کرد.

به نظر می رسد واریانس بین زاویه دید و هدف از نگاه کاربر و محل گرفتن تصویر در زمره عوامل مهم باشد. ۹ مورد از ۱۸ خطای مطالعه مربوط به مجموعه تصاویری بودند که با زاویه نگاه مخالف کاربران و تصویر گرفته شده بودند. این میزان درصد قابل توجهی (۲۰ درصد) از تعداد کل تصاویر نشان داده شده بر حسب این پارامترها را نشان می داد. این خطاها تا حد زیادی به دلیل استفاده افراد از نشانه های فیزیکی در نزدیکی هدف بود ولی به دلیل تفاوت زیاد زاویه های نگاه، این نشانه ها چندان قابل اعتماد نبودند.

نتیجه ای که می توان از این مطالعه گرفت آن است که به طور کلی افراد مهارت زیادی در تطبیق تصویر نشان داده شده بر روی صفحه نمایش با محیط اطراف خود دارند. در ساده ترین حالت (کاملاً مستقیم) که در آن هدف به طور مستقیم در مقابل کاربر قرار داشت، شناسایی هدف به وسیله کاربران به طور متوسط ۴,۷ ثانیه به طول انجامید. در بسیاری از کاربران بخش زیادی از این زمان بیشتر از آن که به جستجو فعال برای تشخیص هدف اختصاص یابد صرف فرایند مطالعه (نگاه کردن به تصویر در تلفن، تایید انتخاب، و غیره) می گردید. با کسر این زمان از شرایط دیگر برای دستیابی به تصویر کلی از زمان جستجو فعال افراد می توان دریافت که در بسیاری از موارد افراد به زمانی کمتر از ۵ ثانیه برای یافتن محل مورد نظر خود نیاز دارند. علاوه بر این، حتی در مواردی که بیشتر اهداف مورد نظر پشت سایر اشیای موجود در پیش زمینه قرار گرفته بود، کاربران معمولاً قادر به شناسایی صحیح آن جسم بودند هرچند این کار نیاز به زمان بیشتری برای جستجو داشت. این مطالعه دستورالعمل های مختلفی برای

طراحی سیستم AR غیر مستقیم در هنگام استفاده از تصاویر دورنمای خیابان ارائه می دهد. به نظر می رسد انتخاب دورنمایی در نزدیکی کاربر باید در اولویت باشد و پس از آن نمایی انتخاب می شود که زاویه نگاه مناسبی به جسم مورد نظر داشته باشد.

این دو محدودیت در کنار هم باعث انتخاب تصویر درونمایی بین کاربر و هدف (در صورت وجود) می شود که بهترین تجربه را در اختیار کاربر قرار می دهد. با این حال، واضح است تمام حالت های بررسی شده در این مطالعه منتج به دستیابی به تجربه مشابه AR در AR غیر مستقیم نمی شود. در مواردی که کاربران زمانی بیش از ۱۵ ثانیه را برای تعیین شی مورد نظر صرف می کردند، تجربه کلی تفاوت زیادی با مشاهده مستقیم از طریق دوربین داشت که معمولا کاربران در AR آن را تجربه می کنند. در بخش بعدی بیشتر به بررسی این موضوع پرداخته تا نشان دهیم آیا استفاده از دورنماهای مربوط به مکان های مختلف می توانید در کنار کارایی تجربه ای مشابه ارائه دهد یا خیر.

۶. تجربه کاربر در مقابل AR

حال با روشن شدن این موضوع که ارتباط بین افزودگی و بازنمایی دنیای واقعی در AR غیر مستقیم محکم تر از AR سنتی است، و این که دورنمای مربوط به مکان های مختلف حداقل به وسیله کاربر قابل شناسایی است، می توان به بررسی مسئله مقایسه تجربه واقعی و AR پرداخت. به طور خاص هدف ما بررسی احتمال وجود این دو مولفه تجربی مرتبط AR سنتی در AR غیر مستقیم است. در AR سنتی ارتباط بصری محکمی بین محتوای مجازی و دنیای فیزیکی وجود دارد. در واقع یکی از اهداف کلی AR شبیه سازی محتوای مجازی به دنیای واقعی است. این مسئله به ویژه به دلایل صرفا عملکردی حائز اهمیت است و سطح بالاتر از باورپذیری واقعیت افزوده ارائه می دهد. در بسیاری از موارد می توان اطلاعات یکسانی را در فرمت های دیگر ارائه کرد، اما این امر تجربه مشابه ای را ایجاد نمی کند. بخشی از اهداف ما در این مطالعه تعیین این مسئله است که آیا AR غیر مستقیم می تواند سطح مشابه ای از باورپذیری را در محیط ارائه دهد که مشابه AR سنتی باشد. این نوع از باورپذیری در برخی برنامه ها بسیار مهم تر از برنامه های دیگر است. در برنامه مرورگر AR باورپذیری اهمیت چندانی ندارد زیرا هدف اصلی کاربر انجام وظیفه مورد نظر است و کاربر علاقه چندانی به کاوش محیط AR ندارد. با این حال، در بسیاری از برنامه های سرگرمی یا بازی، تجربه مبتنی بر کاوش محیط اطراف کاربر است و این امر اهمیت باورپذیری را بیش از پیش افزایش می دهد.

در این مطالعه سوال اصلی مدنظر ما این است: آیا تجربه AR غیر مستقیم حسی مشابه (سطح یکسانی از باورپذیری، و غیره) تجربه AR سنتی ارائه می دهد؟ ما این سوال را در شرایط مختلف بررسی کردیم. در ابتدا این دو تجربه را با یکدیگر در شرایط مناسب مقایسه کرده و سپس به معرفی مواردی پرداختیم که به نظر می رسد تاثیر منفی بر AR غیر مستقیم دارد تا از این طریق میزان شباهت این تجارب را بررسی کنیم. این شرایط مرزی شامل آزمایش سبک های مختلف محتوای مجازی است که باعث پویایی محیط فیزیکی شده و مکان گرفتن تصویر دورنما را نسبت به محل کاربر تغییر می دهد. برخی شرایط مرزی دیگر وجود دارد که به طور جزئی در آزمایش ما مورد بررسی قرار نگرفت. این شرایط شامل عدم تطابق روشنایی و فصل بین تصویر پانوراما و دنیای واقعی بود. عدم تطابق زیاد در فصل تابستان / زمستان می تواند اثرات منفی بر تجربه کلی داشته باشد اما امکان بررسی این مسئله در لس آنجلس وجود نداشت. با این حال، تفاوت های مربوط به شرایط آب و هوایی (ابری در مقابل آفتابی) و نور در اجرای آزمایشی مطالعه مورد توجه قرار گرفت ولی تفاوت قابل توجهی در پاسخ کاربر به این شرایط مشاهده نگردید. به منظور تسریع مطالعه آخر، شرایط مختلف آب و هوایی لحاظ نگردید هرچند شرایط نوری کاملا متفاوتی در طول روز وجود داشت که به دلیل تیرگی حاصل از سایه در پایان روز بسیار قابل توجه بود. حتی در این مورد تعداد کمی از کاربران متوجه تفاوت بین دورنما و جهان واقعی شدند.

نکات کلیدی زیر خلاصه ای از یافته های این مطالعه است:

- در شرایط مناسب اکثریت قریب به اتفاق کاربران قادر به تشخیص اختلاف بین AR غیر مستقیم و AR سنتی بدون دانش قبلی نبودند
 - در شرایط مناسب، AR غیر مستقیم در تمام شرایط مورد آزمایش به AR سنتی ترجیح داده می شد.
 - در مواردی که محیط فیزیکی برای گنجاندن عناصر پویا دستخوش تغییر شده بود، کاربران دریافتند افت کیفیت AR غیر مستقیم کمتر از تجربه AR سنتی بود
 - اگر تصویر دورنمای مورد استفاده در تجربه AR غیر مستقیم از مکان دیگری به جز زاویه مشاهده کاربر گرفته شود، این امر تاثیر زیادی بر کاهش باورپذیری و تغییر تجربه خواهد داشت. با این حال، این تغییر تنها در حالتی معنادار است که دو مکان به اندازه کافی از هم دور باشند.
- در ادامه این بخش به تشریح طرح کلی این مطالعه پرداخته، فرضیه ها و نتایج بدست آمده را ارائه کرده و به بحث در مورد اهمیت این نتایج می پردازیم.

۶.۱. طرح مطالعه

سوالات اصلی که در آغاز این مطالعه مدنظر قرار گرفتند بیشتر از آن که تمرین محور باشند ماهیت تجربی داشتند. در بخش های قبل ثابت کردیم AR غیر مستقیم می تواند برای انجام بسیاری از وظایف AR (همانطور که در بخش ۴ و ۵ عنوان شد) به کار گرفته شود. به همین خاطر، پرسش اصلی که هنوز نیاز به ارزیابی آن داریم مربوط به نوع تجربه است. به نظر می رسد طراحی مطالعه تمرین محور دیگری در تضاد با اهداف این مطالعه باشد زیرا در بسیاری از موارد افرادی که توجه خود را معطوف به انجام وظیفه می کنند توجه چندانی به تجربه کلی مربوط به آن ندارند.

به همین خاطر، معیارهای ارزیابی ما در این مطالعه بیشتر از آن که مبتنی بر اجرای وظایف باشد بر پایه پرسشنامه و مصاحبه قرار گرفته بود. برای دستیابی به داده های کیفی از کاربران، در چند بازه زمانی در طول مطالعه، افراد در مصاحبه ها در مورد کارهای انجام داده خود صحبت می کردند. این مصاحبه بر اساس پاسخ افراد به سوالات مرتبط در پرسشنامه انجام می گرفت و برای بررسی بیشتر سوالات مربوط به هر کاربر، از مصاحبه های باز و ساختار نیافته استفاده گردید. داده های کمی مورد استفاده در ارزیابی زیر برآیند تحلیل پاسخ های افراد به پرسشنامه هستند.

در زمان طراحی پرسشنامه، به مرور برخی کارهای قبلی در زمینه های مختلف برای الهام گیری پرداختیم. در مطالعه ما، سوالات مربوط به مسئله حضور مبتنی بر تعریف آن در جامعه VR بود. با این حال، حضور در این معنا را نمی توان به راحتی در AR به کار بست زیرا کاربران همیشه در جهان فیزیکی حاضر هستند. به این دلیل، پرسشنامه های حضور VR مانند پرسشنامه اسلاتر و استید [۱۶]، یا ویتمر و سینگر [۲۳] را نمی توان در این حوزه به کار گرفت. گاندی و همکاران [۳] به تازگی در اثر خود سعی در بررسی عمیق تر مسئله حضور در AR داشتند. پرسشنامه ما پس از بررسی دقیق تمام این پرسشنامه، به ویژه پرسشنامه پیشنهادی گاندی طراحی گردید. با این حال، به نظر می رسد محیط کاری مدنظر ما و پرسش هایی که سعی در پاسخ دهی به آن داریم آنقدر با مطالعه گاندی تفاوت دارند که امکان اقتباس مستقیم پرسشنامه آن ها وجود ندارد. مطالعه آن ها عمدتاً مربوط به تعامل کاربران با محیط VR بود که در دنیای واقعی قرار گرفته است. از سوی دیگر، مسئله مدنظر ما تعامل بین بخش های واقعی و مجازی محیط بود.

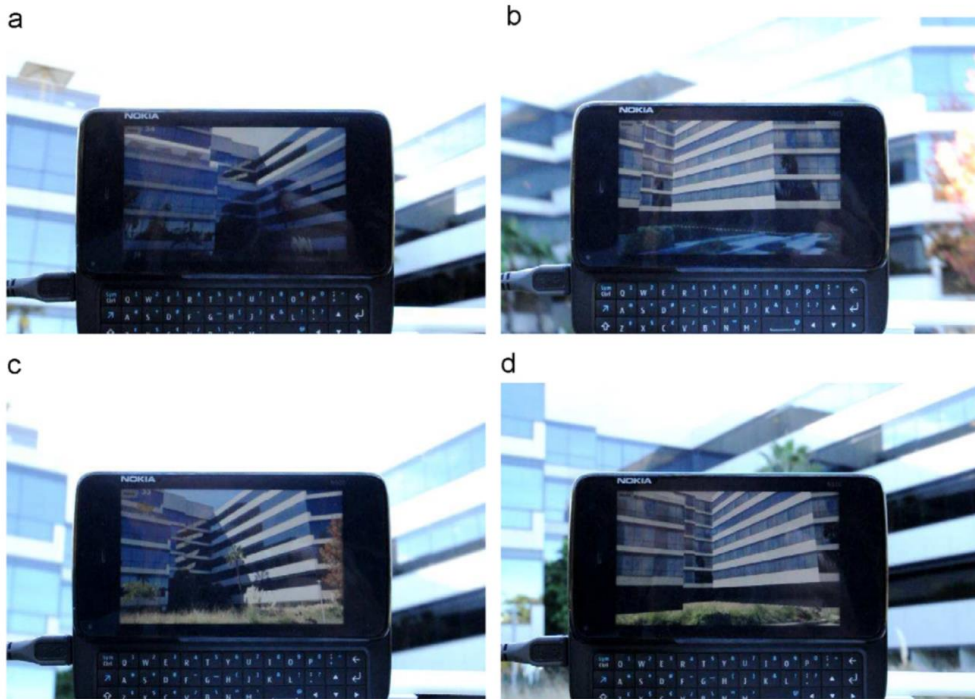


شکل ۶. گوشی نوکیا N900 مورد استفاده در مطالعه ما با به همراه InterSense و InertiaCube3 متصل به آن. برای جلوگیری از اختلالات مغناطیسی با فاصله به دستگاه متصل شد.

در طراحی مطالعه خود ابتدا ارزیابی آزمایشی بر روی ۹ نفر از کاربرانی انجام دادیم که از گوشی نوکیا استفاده کرده و با نحوه کار AR آشنا بودند. مطالعه نهایی بر روی ۱۸ کاربران در بازه سنی ۱۸-۵۵ اجرا شد. ۱۴ نفر از این افراد هیچ اطلاعی در مورد AR نداشتند در حالی که بقیه تا حدودی به واسطه استفاده از مرورگرهای AR با این تکنولوژی آشنا بودند، مطالعه در فضای بازی در داخل یک مجتمع اداری بزرگ انجام گرفت. کاربران در پیاده رو ایستاده و تمرکز خود را معطوف به یکی از ساختمان های مجتمع می کردند که با محتوای خاص در AR غیر مستقیم و شرایط AR مشخص شده بود. در هر شرایط AR غیر مستقیم و AR کاربران از گوشی N900 نوکیا برای مشاهده صحنه های مربوط به واقعیت افزوده استفاده می کردند. از آنجا که ما علاقه زیادی به ارزیابی عملکرد این شرایط در دنیای واقعی داشتیم، در این مطالعه از ردیابی بصری استفاده نکردیم زیرا این نوع ردیابی اغلب در محیط های غیرآماده (unprepared) عملکرد مناسبی ندارد. به همین دلیل به جای آن از ردیابی جهت گیری مبتنی بر حسگر استفاده کردیم به دلیل این که تقریباً تمام گوشی های هوشمند در حال حاضر دارای سنسور جهت گیری هستند. از آنجا که این مطالعه حالت پیش نگرانه دارد، به جای استفاده از شتاب سنج های داخلی، از یک جعبه سنسور با کیفیت بالا، InertiaCube3 InterSense برای ردیابی جهت گیری استفاده کردیم زیرا ردیابی خطا در AR بسیار محسوس تر از AR غیر مستقیم است. همچنین پیش از هر آزمایش سیستم را بر اساس یک جهت گیری شناخته شده کالیبره می کردیم. این امر باعث پایداری نسبی راه حل ردیابی می گردید هرچند دقت آن بسیار کمتر از سطح پیکسل بود. این کار دقیقاً شبیه به چیزی است که انتظار می رود اکثر گوشی های هوشمند در آینده نزدیک و پس از عمومی شدن استفاده از ویژگی ژيروسکوپ به آن مجهز باشند.

استفاده از سنسور با کیفیت همچنین مقایسه بین AR غیر مستقیم و AR را دشوارتر می کرد زیرا سرعت افت کیفیت AR در ردیابی ضعیف بسیار بیشتر از AR غیر مستقیم است. گوشی N900 با InertiaCube3 متصل به آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از مطالعه اولیه در طرح مطالعه نهایی لحاظ گردید. این طرح از چهار بخش اصلی تشکیل شده بود. اولین بخش مطالعه مقایسه AR غیر مستقیم با AR سنتی در شرایط مناسب بود. منظور از شرایط مناسب در اینجا این است که کاربران در همان محلی می ایستادند که تصویر دورنما از آن گرفته شده بود و محیط جهان واقعی عمدتاً حالت ایستا داشت. انتخاب محتوا برای این بخش از مطالعه اهمیت زیادی داشت.



شکل ۷. چهار روش ارائه ساختمان افزوده است. در هر مورد ساختمان پنج طبقه دو طبقه اضافی اضافه شده به بالای آن است. (یک) D AR۲. (ب) AR 3D. (ج) D AR۲ غیر مستقیم. AR غیر مستقیم (د) D۳.

این کار بر اساس مواردی صورت گرفت که به نظر ما مهم ترین حوزه کاربردی AR غیر مستقیم را تشکیل می دهد. از آنجا که به عقیده ما AR غیر مستقیم باید عمدتاً در محتوای محیط AR استفاده شود، تصمیم به نمایش سه بعدی محتوای مجازی عکس های واقعی گرفتیم. محتوای انتخابی ما، که در شکل ۷ در شرایط مختلف نشان داده شده است، در واقع نوعی افزونگی مجازی به ساختمان را نشان می دهد. این افزونگی مجازی امکان ارزیابی شرایط مختلف را فراهم کرده و از ارائه ویژگی هایی مانند محتوای مجازی انیمیشنی که ممکن است باعث ابهام مطالعه شود جلوگیری می کند.

این کار همچنین در فضای برنامه ای انجام شد که در آن تجسم صحنه های واقعیت افزوده اهمیت زیادی داشت. به این ترتیب امکان تولید محتوا با پوشیدگی مناسب در AR غیر مستقیم و AR و همچنین محتوای سنتی مدل مرکزی وجود دارد که در آن محتوای مجازی به نوعی دنیای واقعی را پنهان می کند. از آنجا که محتوای به تنهایی درخشش و جذابیت خاصی ندارد، کاربران امکان تمرکز بر تجربیات کلی و نحوه ارائه جهان واقعیت افزوده بدون تاثیرپذیری از محتوای پرزرق و برق آن را دارند.

ما ساختمان مورد نظر را به چهار شیوه متفاوت به کاربران نشان دادیم (همانطور که در شکل ۷ دیده می شود) که به نظر ما تمام روش های استاندارد را تحت پوشش قرار می داد. در یکی از این شیوه ها که سه بعدی نام داشت (زیرا اجرای آن با بهره گیری از یک مدل سه بعدی صورت می گرفت) مدل مجازی از کل ساختمان با دو طبقه دیگر به آن افزوده می شد. این مدل در بالای پس زمینه دنیای واقعی در AR غیر مستقیم و AR سنتی نمایش داده می شود، به این معنی که در هر دو مورد، انسداد ساختمان ها در جهان واقعی اصلاح نمی شود. شیوه دوم ارائه ساختمان، که در آن پوشیدگی های صحیح جهان واقعی حفظ می شود، روش دوبعدی نام دارد زیرا اجرای آن به صورت تغییر تصویر دوبعدی است. انجام این کار در AR امکان پذیر بود زیرا کاربران در مکان ثابتی قرار داشتند. در مورد AR غیر مستقیم، ما صرفاً تغییراتی را در تصویر پانوراما ایجاد کردیم تا امکان قرار دادن تصویر اصلاح شده ساختمان در آن وجود داشته باشد. در AR طبقات دیگر به صورت مجازی به تصویر اضافه گردید ولی دید مستقیم در سایر نقاط بدون تغییر باقی ماند. این بدان معنی است که هیچ پوشیدگی نامناسبی در هر یک از دو حالت وجود نداشت. با این حال، فرایند ثبت در AR بسیار دشوار است. برای ارزیابی این چهار روش آنها را به صورت جفت جفت

به کاربران ارائه کردیم (از روش مربع لاتین برای تعیین ترتیب ۶ جفت ممکن استفاده کردیم). با استفاده از این شیوه، تمام تکنیک ها (AR سه بعدی، AR غیر سه بعدی، دوبعدی AR، و AR غیر مستقیم دوبعدی) به طور مستقیم با تمام روش های دیگر مقایسه گردید. پس از ارائه هر یک از جفت ها به کاربران، از آن ها سوالات مقایسه ای برای دستیابی به زاویه دید مستقیمی از نحوه مقایسه تمام ترکیبات پرسیده می شود. پس از اتمام همه مقایسه ها، تمام چهار روش برای ارائه مجدد صحنه به کاربران داده شده و از آن ها خواسته می شد تمام آن ها را در مقیاس مطلق ارزیابی کرده و اطلاعات پس زمینه های کتبی و شفاهی در مورد انتخاب خود ارائه کنند.

پس از اتمام مصاحبه، کاربران همان نوع مقایسه را این بار با محتوایی دیگر انجام می دادند. هدف ما بررسی امکان تعمیم نتایج به سایر برنامه های سبک نوبری بود. بنابراین ما محتوای شکل ۸ را به کاربران نشان داده و از آنها خواستیم AR و AR غیر مستقیم را با یکدیگر مقایسه کنند. سپس دوباره از آن ها خواستیم AR و AR غیر مستقیم را در این سبک اطلاعاتی بر حسب مقیاس مطلق ارزیابی کنند و در مورد دلیل هر یک از انتخاب ها با آن ها گفتگو کردیم.

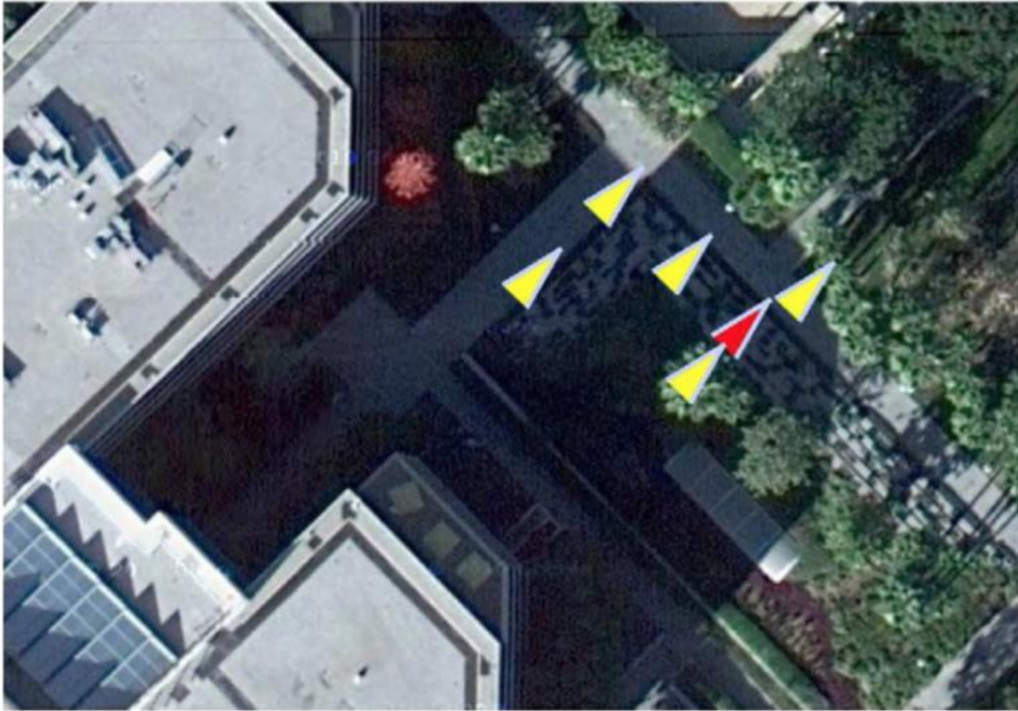
در بخش های دیگر مطالعه به بررسی مواردی پرداختیم که به نظر ما باعث افت کیفیت تجربه AR غیر مستقیم می گردید. تا این بخش از مطالعه، صحنه نسبتاً ثابت بود. در برخی موارد افرادی از داخل آن رد می شدند، اما فاصله آن ها آنقدر زیاد بود که کاربران تقریباً آن را نادیده می گرفتند. با توجه به این که هدف ما آزمایش AR غیر مستقیم در محیط های پویا تر بود، در آزمایش بعدی یکی از همکاران مطالعه در فاصله دو متری مقابل کاربرد به صورت رفت و برگشتی حرکت می کرد.

سپس از کاربران خواستیم نتایج را در زمان حضور و عدم حضور عامل مسدودکننده متحرک در AR غیرمستقیم و شرایط AR و در زمانی که هر دو پوشیده هستند با یکدیگر مقایسه کنند. پس از این سه آزمون مقایسه ای، بار دیگر از کاربران خواستیم تا به ارزیابی هر یک از شرایط پوشیدگی بر حسب مقیاس مطلق پرداخته و نظرات آن ها را در این مورد جویا شدیم.

آخرین بخش از پژوهش به ارزیابی محل پانوراما می پرداخت. در بسیاری از موارد امکان استفاده از تصاویر دورنمایی دقیقاً در محل قرارگیری کاربر برای استفاده در AR غیر مستقیم وجود ندارد.



شکل ۸. محتوای اطلاعاتی ساده ارائه شده به کاربران. هر یک از دفترها و مجموعه دفاتر در خارج از ساختمان با برچسب مشخص شدند. این شرایط مربوط به AR غیر مستقیم است. AR سنتی ظاهری مشابه دارد ولی اغلب خطای ردیابی آن بیشتر است.



شکل ۹. عکسی هوایی از محل مطالعه. ساختمان اضافه شده در قسمت پایین سمت چپ قرار دارد. محل کاربر (و محل دورنمای مرکزی) با مثلث قرمز مشخص شده است که در فاصله حدود ۳۰ متر از ساختمان قرار دارد. محل کاربر در راس مثلثی است که برای علامت گذاری مخروط زاویه دید استفاده می شود. مثلث زرد مکان سایر دورنماها را نشان می دهد که در فاصله ۵ تا ۱۵ متری از محل کاربر قرار دارند. از چپ به راست، مکان های با برچسب F2، S1، S2، B، C، F1 در شکل ۱۲ و ۱۳. مطابقت دارد. در هیچ یک از مکان های انتخابی تصاویر پوشیده به ساختمان مورد نظر وجود نداشت. (برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد ارجاعات صورت گرفته به رنگ در این شکل، به نسخه اینترنتی این مقاله مراجعه نمایید).

واضح است که در برخی نقطه استفاده از دورنمای مربوط به مکان های مختلف می تواند باعث تغییر تجربه شود. در برخی موارد این تجربه دیگر شباهتی به تجربه AR نگرستن از داخل دوربین ندارد، و بیشتر به نظر می رسد کاربران در حال مشاهده تصویر از پیش گرفته شده محیط هستند که شباهت زیادی به تصویر ارائه شده در استریت ویو همراه گوگل دارد.

هدف این بخش از مطالعه تصمیم گیری در مورد حالت ناگهانی یا تدریجی انتقال بین تجارب بود و این که وسعت ناحیه اطراف کاربر (در صورت وجود) که قادر به ارائه تجربه مشابه همترازی تصویر دورنما با کاربرد باشد چقدر خواهد بود.

برای ارزیابی این مسئله، ابتدا شرایط AR غیر مستقیم را با دورنمای گرفته شده از جایگاه مرکزی به کاربرد نشان دادیم (در این بخش از آزمون از محتوای سبک نوبری ساده استفاده کردیم). سپس همان محتوای را از شش زاویه دیگر به آن ها نشان دادیم. این زاویه ها در اطراف کاربر و در جهت های مختلف قرار داشته و زاویه اصلی را نیز در بر می گرفتند. برخی از این زاویه ها کاملاً نزدیک به کاربران بود، در حالی که برخی دیگر دور از کاربر قرار داشتند. در شکل ۹ مکان کاربر و نمای گرفته شده دیده می شود و در سمت چپ پایین آن ساختمانی قرار دارد که تمرکز اصلی کاربر بر روی آن بود.

| |
|--|
| Overall, which condition did you prefer? |
| With which of the two conditions did it feel more like the virtual content was present in the real world? |
| Which of the two conditions did you find more visually appealing? |
| Which of the two conditions do you think would be easier to use for completing the task of evaluating how a non-existent building looks in it's surroundings? |

شکل ۱۰. سوالات پرسشنامه کاربر که به مقایسه تکنیک های AR غیر مستقیم و AR برای نمایش محتوای پیچیده مجازی می پردازد.

از کاربران خواسته شد تا هر یک از زوایای جدید را با زاویه مرکزی اصلی با طرح سوالات مختلف مقایسه کنند. پس از ارائه زاویه های مختلف، مصاحبه ای با کاربران در مورد تاثیرگذاری محل زاویه در تجربه آن ها صورت گرفت. این بخش از مطالعه دو بار انجام شد. در بخش اول، تمام اشیائی که پایین تر از خط افق قرار داشتند کاملا پوشانده شدند به طوری که کاربران تنها قادر به دیدن اشیائی بودند که در فاصله نسبتا دور از آن ها قرار داشتند.

در بخش دوم، کاربران (با ترتیبی متفاوت) قادر به دیدن کل دورنما از جمله زمین بودند. این تکرار برای ارزیابی تاثیر اشیاء نزدیک بر نتایج حتی زمانی که اشیاء در فاصله دور قرار داشتند صورت گرفت.

۶.۲. فرضیه ها

در این مطالعه چند فرضیه مربوط به بخش های مختلف تحقیق وجود دارد. این فرضیه ها به شرح زیر است:

- در صورت استفاده از دورنمایی که محور آن موقعیت کاربر باشد، AR غیر مستقیم تجربه ای مشابه AR سنتی ارائه می دهد.
- در زمان مقایسه AR غیر مستقیم با AR سنتی با استفاده از محتوای پیچیده (ایجاد تغییر در ساختمان های موجود)، AR غیر مستقیم به دلیل بهبود ردیابی در اولویت قرار دارد.
- هنگام استفاده از محتوای ساده (برچسب) مزایای AR غیر مستقیم نسبت به AR کمتر خواهد بود.
- محیط فیزیکی پویا باعث افت کیفیت AR غیر مستقیم و AR سنتی می شود. هنگامی که بخش پویای محیط باعث پوشاندن اجسام موردنظر شود، این افت کیفیت در هر دو مشابه خواهد بود.
- تجربه AR غیر مستقیم کاملا به سرعت و همزمان با دور شدن کاربر از محل دورنما تنزل پیدا می کند. در صورتی که فاصله بین نما و کاربر بیشتر از ۱۰٪ فاصله بین کاربر و شی مورد نظر باشد، تجربه حاصل دیگر مشابه AR سنتی نخواهد بود.

۶.۳. نتایج و بحث

نتایج مطالعه به ترتیب نتیجه گیری ها ارائه شده است. در ابتدا، به ارائه نتایج مربوط به مقایسه AR غیر مستقیم و AR سنتی با محتوای پیچیده (شکل ۷) در زمانی می پردازیم که کاربر ثبت تصویر پانوراما قرار دارد. قبل از بحث در مورد هر یک از بخش های مطالعه باید به برخی نتیجه های کلی اشاره کرد که اهمیت زیادی دارد.

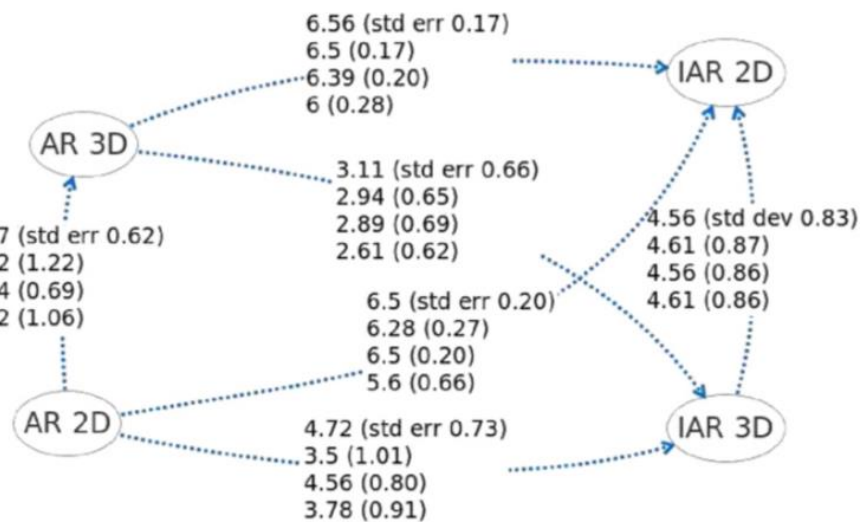
در آغاز مطالعه توضیحی در مورد تفاوت بین تکنیک ها به کاربران داده نشد. صرفا به کاربران گفته شد که اطلاعات به چهار روش مختلف به آن ها نشان داده خواهد شد. در اواسط مطالعه، پیش از بخش مربوط به صحنه های پویا، جزئیات بیشتری در مورد تکنیک ها به آن ها داده شد. در آن زمان در مورد تفاوت بین روش های از کاربران پرسش به عمل آمد و تنها ۲ نفر از کل ۱۸ کاربر (۱۱٪) متوجه شدند که تصویر نشان داده شده به آن ها از طریق دوربین و در شرایط AR غیر مستقیم نبوده است. نزدیک به ۹۰٪ از کاربران نمی دانستند که به طور غیر مستقیم در حال نگاه کردن به جهان واقعی بودند. این نتیجه به خوبی نشان می دهد AR غیر مستقیم تجربه ای مشابه AR با مزایای و امتیازهای بیشتر ارائه دهد.

۶,۳,۱. مقایسه AR و AR غیر مستقیم با محتوای پیچیده

در این بخش از مطالعه به مقایسه چهار حالت (دو حالت AR و دو حالت AR غیر مستقیم) به صورت دو به دو می پردازیم که در نهایت شش مقایسه را به همراه خواهد داشت. با توجه به این که مقایسه مستقیم کاربران قبل انجام شده بود، انجام تحلیل نسبتاً ساده خواهد بود. برای هر یک از سوالات پرسشنامه، کاربران پاسخ های خود را بر اساس وضعیت موردنظر و میزان اولویت آن ارائه می کردند. این اولویت بندی بر اساس مقیاس لیکرت ۷ نقطه ای بود که در صورت ترکیب با روش موردنظر نمره ۷- تا ۷ از آن بدست می آمد. امتیاز صفر به معنای آن است که از نظر کاربر هیچ تفاوتی بین روش ها وجود ندارد. برای ارزیابی نتایج معنادار، می توان به بررسی این موضوع پرداخت که آیا نمره صفر (عدم وجود تفاوت بین نمرات) بین ۱:۹۶ ± خطاهای استاندارد و سطح اطمینان ۹۵٪، میانگین قرار دارد یا خیر. اگر نمره در این بازه قرار نداشته نباشد، از نظر آماری معنادار خواهد بود.

نتایج مربوط به هر یک از شش مقایسه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. روش AR دوبعدی پایین ترین اولویت را در میان تمام روش ها داشت و پس از آن روش AR سه بعدی، روش AR غیر مستقیم سه بعدی، و روش AR غیر مستقیم دو بعدی قرار داشتند. این ترتیب نتایج همسو با نتایج حاصل از نمرات مطلق بود که کاربران به روش های مختلف می دادند. در پاسخ به این سوال که "در هنگام استفاده از [هر یک از] روش ها تا چه حد نسبت به وجود محتوای مجازی در جهان واقع مطمئن بودید؟" میانگین نمرات کاربران در مقیاس لیکرت ۷ نقطه ای به ترتیب ۱,۷۲، ۳,۲۲، ۳,۸۳، و ۶,۸۳ برای AR دوبعدی، AR سه بعدی، AR غیر مستقیم سه بعدی، و AR غیر مستقیم دو بعدی بود. آزمون ANOVA مربوط به این نتایج تفاوت معناداری را بین نتایج ($P > 0.001$) نشان می داد، و آزمون توکی تفاوت معنی داری بین تمام تکنیک ها به جز دو روش سه بعدی ($p=0.61$) را نشان می داد. به نظر می رسد این نتیجه در رتبه بندی کلی اهمیت کمتری دارد زیرا از یک سو تکنیک ها شباهت زیادی داشتند و از سوی دیگر کاربران هر چهار روش را قبل از پاسخ دهی مشاهده می کردند که این امر احتمال به یاد آوردن تفاوت های ظریفی را که فرد در مقایسه مستقیم متوجه آن می شود کاهش می دهد.

این نتایج به طور کلی همسو با فرضیه های این تحقیق هستند. به نظر کاربران حالت AR دو بعدی بدترین شرایط انتخاب بود زیرا در این حالت ایرادات مربوط به ثبت به بارز ترین شکل دیده می شدند. اگر چه وجود درختان در مقابل ساختمان باعث انسداد زاویه دید شده بود، ولی اغلب مشکلی در ارتباط با خط سقف قرار داشت در حالی که انتظار می رفت محتوای مجازی همتراز با ساختمان فیزیکی باشد. خطا ردیابی واقعی در این شرایط بیشتر از شرایط دیگر نبود، اما دلیل توجه بیشتری کاربران به آن وجود شکافی بود که امکان مقایسه مستقیم ساختمان فیزیکی و محل اضافه شدن افزونه های مجازی را فراهم می کرد.



شکل ۱۱. نتایج مربوط به مقایسه چهار روش ارائه با محتوای پیچیده. چهار عدد مربوط به هر مقایسه در واقع چهار پاسخ داده شده به پرسش های شکل ۱۰ هستند. روش انتخابی در نوک پیکان نشان داده شده است. همه نتایج معنادار بودند.

برای بسیاری از کاربران به نظر می رسد طبقه اضافی به جای آن که به سایر بخش های ساختمان متصل باشند، به حالت " شناور " بر روی آن ها قرار دارند. به گفته یکی از کاربران " آن مورد خاص، تجربه متفاوتی بود زیرا به نظر میرسد دو طبقه فوقانی بالاتر از بقیه بخش های ساختمان به حالت شناور قرار دارند. ممکن است شکاف بین محیط مجازی و فیزیکی به این کاربر در درک بخش های اضافه شده کمک کرده باشد ولی در هر حالت این امر تاثیر قابل توجهی در افت کیفیت تجربه وی داشته است.

روش AR سه بعدی نیز مشکل ثبتي مشابه روش AR دو بعدی داشت ولی در این حالت این مشکل ظرافت بیشتری داشت زیرا کل ساختمان به صورت مدل مجازی نشان داده شده بود و این امر شکاف بین واقعیت و فضای مجازی را کمتر آشکار می کرد. به طور طبیعی، این امر مسئله پوشیدگی را تشدید میکرد زیرا تمام محوطه سازی اطراف ساختمان دیگر قابل مشاهده نبودند. با این حال، از آنجا که ساختمان مجازی در بالا قرار داشت، این مشکلات ثبت کمتر به چشم می آمدند.

البته در این میان برخی مشکلات قابل توجه وجود داشتند که رایج ترین آن ها مربوط به زمانی بود که بخشی از ساختمان فیزیکی قابل مشاهده بود، یا هنگامی که ساختمان مجازی چیزی را پوشش می داد که به وضوح نادرست بود، (مواردی مانند پیاده رو در کنار ساختمان). البته این خطاهای ثبت فقط در برخی موارد قابل توجه بودند که این زندگی بصری آن ها را کاهش می داد.

از سوی دیگر مشکلات انسداد مربوط به این رویکرد کاملا زنده و آشکار بودند به طوری که استقرار ساختمان مجازی در دنیای واقعی را بسیار دشوار می کردند چرا که زمین خط تراز خود را از دست می داد. به گفته یکی از کاربران " در محل اتصال ساختمان به زمین لبه تیزی وجود دارد، و بدیهی است که قسمت پایین ساختمان نباید در بالای اشیای پس زمینه باشد. در خیابان که در آن فقط آسفالت و ساختمان وجود دارد، این امر مشکل زیادی را ایجاد نمی کند اما در اینجا پوشش گیاهی وجود دارد که این مسئله را به طور بارز نشان می دهد "

روش AR غیر مستقیم سه بعدی از نظر بصری بسیار شبیه به روش AR سه بعدی بود. همانطور که قبلا ذکر شد، تعداد کمی از کاربران تفاوت بین تصویر دوربین زنده و پس زمینه پانوراما را تشخیص دادند، به طوری که تفاوت اصلی که نظر بسیاری از کاربران را جلب کرد روش های مختلف مقابله با خطای ردیابی در AR و AR غیر مستقیم بود.

این امر مقایسه بهتری بین AR و AR غیر مستقیم نسبت به نسخه های دو بعدی ارائه می دهد زیرا در اینجا محتوای عمدتا در هر دو مورد حالت مجازی دارد (و از نظر بصری بسیار مشابه هستند). متاسفانه، این مسئله اغلب بهترین حالت برای AR سنتی (بی توجهی به انسداد ولی در عین حال برخورداری از مدل مناسب)، و بدترین حالت برای AR غیر مستقیم محسوب می شود زیرا در آن به آگاهی حاصل از تصاویر دورنمای از قبل گرفته شده توجهی نمی شود. بیشترین کاربران می قادر به تشخیص تفاوت بین دو روش بودند (۱۴ نفر از ۱۸ کاربر روش AR غیر مستقیم را ترجیح می دادند)، به ویژه هنگامی که به صورت مستقیم به مقایسه آنها می پرداختند چرا که در این مورد اختلاف معنی داری وجود داشت. با این حال، برخی از کاربران نمی توانستند این تفاوت را به خوبی بیان کنند. به دلیل عدم وجود شکاف تصویری واضح، مشابه AR دوبعدی، خطا ثبت در AR سه بعدی همچنان برای بسیاری از کاربران قابل توجه بود در نظر آن ها تجربه کمی متفاوت به نظر می رسید. از سوی دیگر، در AR غیر مستقیم به دلیل این که ساختمان و پس زمینه کاملا منطبق با یکدیگر بودند، از نظر بسیاری از کاربران تجربه کلی باورپذیر بود زیرا ساختمان یکپارچه به نظر می رسید. یکی از کاربران دلیل علاقه خود به شرایط AR غیر مستقیم را اینگونه توضیح می دهد: " ساختمان با ثبات تر به نظر می رسید و احساس نمی کردید در حالت شناور قرار داشته باشد. من این مسئله را وقتی متوجه شدم که پس از حرکت دوربین ساختمان همچنان وضعیت خود نسبت به درختان را حفظ کرد و این امر به نظر من بیشتر مجاب کننده بود. تنها اثر شناوری کمی در AR غیر مستقیم سه بعدی وجود داشت.

در انتها، تصاویر مربوط به AR غیر مستقیم دوبعدی بیشتر از همه توجه کاربران را به خود جلب کرد. با میانگین نمره ۶٫۸۳ در مقیاس ۷ نقطه لیکرت، به نظر می رسد کاربران کاملا نسبت به قرارگیری محتوای مجازی در دنیای فیزیکی مجاب شده بودند.

بسیاری از کاربران جملات این چنینی بیان می کردند: " این تصویری است که باید دوباره آن را دید چون واقعا بی نظیر است طوری که هیچ شکاف یا عیب و نقصی در آن وجود ندارد. هیچ اثر شناوری به چشم نمی خورد و هیچ اشکال گرافیکی در آن وجود ندارد.. تمام اشیای موجود در پس زمینه کاملا با پیش زمینه منطبق بودند. همه چیز یکپارچه به نظر میرسید." با انطباق محتوا و تصویر دورنمای از پیش گرفته شده، بسیاری از مشکلات رایج در AR سنتی از میان رفت. ما توانستیم محتوای جدید را با دقت پیکسل به تصویر اضافه کنیم، از جمله پوشیدگی حاصل از اشیاء پیش زمینه (این کار دستی انجام شد، اما در صورت اطلاعات از عمق صحیح، امکان انجام خودکار آن نیز وجود داشت).

علاوه بر این، ردیابی خطا هیچ مشکلی در صفحه نمایش ایجاد نمیکرد و از آنجا که محتوای مجازی به وسیله نرم افزار ویرایش تصویر اضافه شده بود، می توان تنظیمات آن را طوری انجام داد که از نظر روشنایی مطابق با شرایط نوری دورنما باشد. همه این موارد صحنه واقعیت افزوده واقعی را ایجاد می کرد که در نظر کاربران کاملا قانع کننده بود.

۶.۳.۲. مقایسه AR / AR غیر مستقیم با محتوای ساده

همانطور که قبلا ذکر شد، در این مطالعه AR و AR غیر مستقیم با محتوای ساده اطلاعاتی مقایسه شد. انتظار می رفت در این حالت نتایج ضعیف تری نسبت به محتوای پیچیده تر حاصل شود زیرا در اینجا ترکیب فضای واقعی و مجازی اهمیت چندانی ندارد. در اینجا نیز گرایش شدیدی به AR غیر مستقیم وجود داشت. پاسخ به سوال اول " به طور کلی چه وضعیتی را انتخاب می کنید؟ " با میانگین ۴,۲۸ (در مقیاس ۷- تا ۷) و خطای استاندارد ۰,۵۷، علاقه وافر به AR غیر مستقیم را نشان می داد. به نظر ما این امر تا حد زیادی به دلیل آن است که AR غیر مستقیم در نبود خطای ردیابی جلوه بصری بیشتری دارد. یکی از کاربر اعتقاد داشت شرایط AR " به دلیل تاخیر و خطای ثبت تا حدودی آشفته به نظر می رسید". کاربران همچنین گرایش زیادی به AR غیر مستقیم داشتند زیرا برخی موارد شناسایی نیاز به سطح بالایی از دقت داشت که استفاده از AR را برای بعضی کاربران دشوار می کرد.

به نظر یکی از کاربران، شرایط AR " از نظر انطباق با ساختمان آنقدر ضعیف بود که اعتماد کاربر را سلب می کرد. نرم افزار محل دفتر من را در اینجا نشان می داد در حالی که من واقعا از آن محل اطلاعی نداشتم ". به عقیده ما این نتایج مشابه در یک حوزه برنامه کاربردی که تفاوت قابل توجهی را نشان می دهد موید این واقعیت است که AR غیر مستقیم یکی از رویکردهای مهم در طیف گسترده ای از برنامه هاست.

۶.۳.۳. محیط های پویا

تا کنون تنها AR غیر مستقیم را در شرایط مناسب ارزیابی کردیم اما یکی از بزرگترین محدودیت های بالقوه AR غیر مستقیم این است که شرایط ایده آل همیشه در دسترس نخواهد بود. در این بخش و بخش بعدی عملکرد AR غیر مستقیم در شرایط نامناسب را نشان داده و قابلیت آن در ارائه تجربه ای مشابه را ارزیابی می کنیم.

در بخش بعدی مطالعه به مقایسه AR و AR غیر مستقیم در محیط های ایستا و پویا با استفاده از محتوای مبتنی بر مدل سه بعدی پیچیده می پردازیم. ما سه مقایسه بین چهار گزینه مورد ارزیابی (مقایسه چهارم، یعنی AR ایستا در مقابل AR غیر ایستا، قبلا انجام شد)، و همچنین بخش ارزیابی و رتبه بندی کلی انجام داده و مصاحبه های کوتاهی طراحی کردیم.

برخلاف انتظار متوجه شدیم در محیط هایی که در آن پوشیدگی پویا در دنیای واقعی وجود دارد، کاربران AR غیر مستقیم را به AR سنتی ترجیح می دادند. در مقایسه مستقیم بین این دو (در مقیاس ۷- تا ۷) گرایش شدیدی نسبت به AR غیر مستقیم وجود داشت (نمره ۵,۶۷ و خطای استاندارد ۰,۴۰). همچنین اختلاف معنی داری در هنگام مقایسه نمرات مربوط به

اعتقاد و باور کاربران نسبت به وجود محتوای مجازی در دنیای واقعی وجود داشت (۴,۶۲ برای AR غیر مستقیم در مقابل ۳,۰۶ برای AR در مقیاس ۷ نقطه ای لیکرت) که با استفاده از آزمون ویلکاکسون برای ارزیابی معناداری صورت گرفت ($P > 0.000$). در هنگام مقایسه حالات های ایستا و دینامیک AR غیر مستقیم تفاوت معنی داری مشاهده نشد (ایستا دارای اولویت ۰,۳۸ با خطای استاندارد ۰,۸۴ بود). از سوی دیگر، شرایط AR در محیط پویا به طور قابل توجهی ضعیف تر بود (ایستا دارای اولویت ۵,۴۴ با خطای استاندارد ۰,۴۲ بود).

بر اساس یافته های حاصل از مصاحبه با کاربران می توان این نتایج به ظاهر غیرمنطقی را توضیح دهد. هنگام صحبت در مورد AR غیر مستقیم بسیاری از کاربران جملاتی این چنینی بیان می کردند " به نظر من همه آن ها یکسان هستند چون اطلاعات مشابه ای در اختیار شما قرار می دهند [مشابه موارد فاقد انسداد] و این دقیقا همان چیزی است که ما به دنبال آن هستیم."

به نظر می رسید عدم انطباق بین محیط صفحه نمایش و محیط واقعی مشکلی برای کاربران ایجاد نمی کرد. بسیاری بر این بر بودند که در حال مشاهده تصویر ایده آلی از محیط هستند. این واقعیت که این تصویر ایده آل فاقد بخشی از محیط فیزیکی بود برای کاربران آزار دهنده نبود زیرا در این مورد، تمرکز آن ها بر بخش دیگری از محیط بود. یکی از کاربر اشاره به بی اهمیتی حضور افراد در صفحه نمایش داشت چرا که آن فرد کارکرد مهمی در آن تجربه نداشت و در واقع نقش آن بیشتر شبیه " برف پاک بر روی خودرو بود. اگر (آن فرد) روی صفحه نمایش باشد، شما صرفا تمرکز خود را معطوف به صفحه نمایش می کنید و این امر تفاوت چندانی ایجاد نمی کند. طبیعتا اگر این برنامه به شکلی در برگیرنده بخش های پویای محیط باشد، احتمال نتیجه متفاوت باشد. از سوی دیگر، در مورد AR اختلاف معنی داری بین محیط ایستا و پویا وجود داشت که دلیل آن از بین رفتن توهم فضای فیزیکی و مجازی به وسیله پوشیدگی ها بود. در این مورد، به نظر یکی از کاربران انطباق زیادی بین جهان فیزیکی و مجازی وجود نداشت. به عقیده وی " این دو اشاره به دو حالت کاملا متفاوت دارند به طوری که به نظر می رسد ساختمان در ورای واقعیت قرار رفته است". در رویکرد AR همیشه یک مشکل ثانویه وجود داشت. از آنجا که محتوای مجازی به شکل مدلی بزرگ بود، بخش قابل توجهی از جهان واقعی در پوشش آن قرار می گرفت. هنگامی که شخص بین کاربر و ساختمان راه می رفت، آن شخص به طور طبیعی تحت پوشش مدل قرار می گیرد، اما پاهای وی همچنان هم قابل مشاهده خواهد بود زیرا پاها پایین تر از خط افق قرار دارند. مشاهده تنها بخشی از شخص متحرک، در مقابل حالتی که هیچ بخشی از آن شخص قابل رویت نباشد، مانند مورد AR غیر مستقیم، برای بسیاری از کاربران آزاردهنده است " این که تقریبا نیمی از بدن شخص در تصویر به وسیله ساختمان جدا شده باشد به نوعی باعث برهم زدن تمرکز می شود. کاملا واضح است که این تصویر واقعی نیست."

در حالی که دقت بازنمایی ارائه شده در AR غیر مستقیم کمتر از زمانی است که جهان فیزیکی در حال غیرایستا قرار دارد، ولی به نظر می رسد از نظر بسیاری از کاربران این امر تاثیر منفی بر تجربه آن ها ندارد زیرا بسیاری از این بخش های پویای محیط نقش مهمی در تجربه کلی ندارند. از سوی دیگر، در AR سنتی عوامل مسدودکننده پویا می تواند تغییر قابل توجهی در تجربه ایجاد کرده و با از بین بردن پیوند بین محتوای فیزیکی و مجازی جلوه بصری غیرجذابی ایجاد کنند چرا که این عوامل تا حدی تحت محتوای مجازی قرار دارند که همیشه بر روی تصویر است.

۶,۳,۴. تصاویر پانوراما غیر متمرکز در AR غیر مستقیم

یکی از بزرگترین ضعف های AR غیر مستقیم (حداقل در شکل فعلی آن) وابستگی بیش از حد آن به تصاویر دورنمایی است که از پیش گرفته شده است. در این بخش از مطالعه به بررسی واکنش کاربران به تصاویر دورنما و نشان دادن محتوای مجازی از زاویه های مختلف پیرامون کاربر می پردازیم.

همانطور که قبلا عنوان شد، از کاربران خواسته شد تا تصاویر مربوط به شش موقعیت (از جمله مرکز) را با تصویر اصلی گرفته شده از موقعی مرکزی مقایسه کنند. این کار در دو مرحله انجام گرفت. در حالت اول، تمام چیزهایی که در زیر خط افق قرار داشتند پوشیده شدند به طوری که زمین قابل رویت نبود. پس از مشاهده صحنه مربوط به هر موقعیت پانوراما پرسشنامه ای در

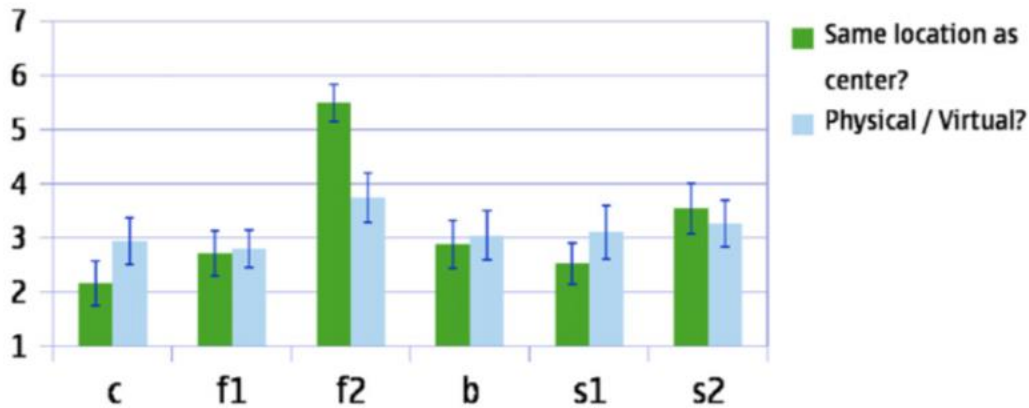
اختیار کاربران قرار گرفت و از آن ها خواسته شد آن را با تصویر اصلی مقایسه کنند که محتوای یکسانی را از موقعیت دید آن ها نشان می‌داد. از میان سوالات مطرح شده، دو مورد اهمیت بیشتری داشتند. سوال اول: " آیا تفاوتی بین این دو وضعیت احساس کردید " هدف از این سوال تشخیص هرگونه تفاوت تصویر دورنمای مرکزی و تصاویر دورتر بود. پاسخ به این سوال بر روی مقیاس لیکرت هفت نقطه ارزیابی گردید. سوال دوم که به نظر اهمیت بیشتری داشت: " آیا احساس می‌کردید به طور مستقیم به جهان فیزیکی می‌نگرید یا دنیای مجازی در برابر شما قرار دارد؟ " هدف از این سوال تعیین میزان شباهت تجربه بصری با AR واقعی یا شباهت آن به دورنمای پانوراما محلی بود که وجه مشترک زیادی با AR نداشت.

در حالتی که جلوی زمین گرفته شده بود، محل پاسخ گویی به سوال اول معنادار بود ($P < 0.01$ ANOVA)، با این حال، تمام این معناداری مربوط به یک مکان واحد، یعنی $F2$ بود (همانطور که در شکل ۹ دیده می‌شود)، که در دورترین فاصله از محل کاربر قرار داشت. در آزمون توکی پاسخ کاربران در آن مکان تفاوت قابل توجهی با مکان های دیگر داشت ($p-values > 0.05$). ما به نظر ما این امر به دو دلیل است: اول، و مهمتر از همه، تصویر دورنمای مربوط به آن مکان به طور مشخصی با سایر تصاویر تفاوت داشت. همچنین، کاربران موفقیت چندانی در انتخاب محل مرکزی نداشتند (به آن نمره ۲،۱۷ در مقیاس ۷ نقطه ای دادند)، که از نظر میانگین پایین ترین نمره محسوب می‌شد ولی تفاوت معناداری با موارد دیگر به استثنای $F2$ نداشت.

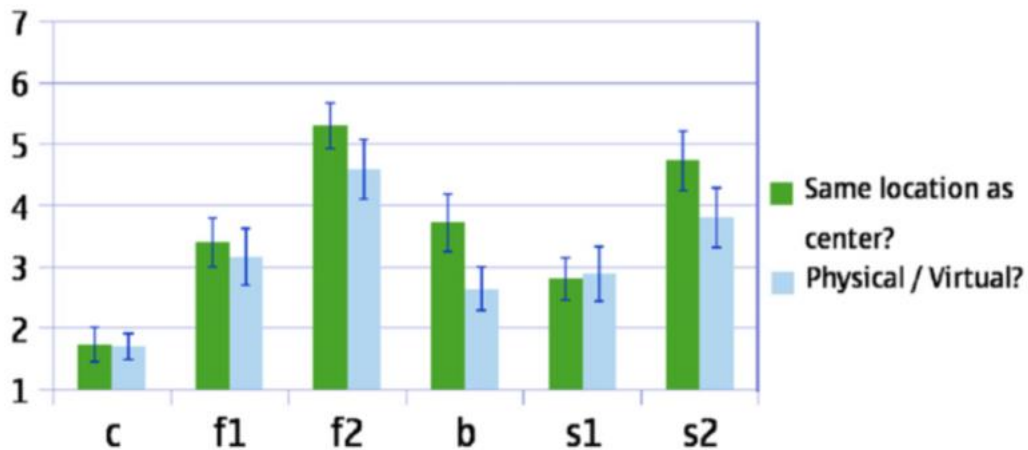
در پاسخ به سوال دوم تفاوت معنی داری در مکان ها وجود نداشت ($P = 0.72$ ANOVA) که این امر بار دیگر نشان می‌دهد کاربران توجه چندانی به تفاوت زاویه های نگاه مختلف نداشتند. پاسخ به این سوال و سوال قبلی را می‌توان در شکل ۱۲ دید. با وجود برخی تفاوت های بصری که مورد توجه تعدادی از کاربران قرار گرفت، بسیاری دیگر متوجه این اختلاف ها نشدند یا به نظر آن ها این اختلاف ها تاثیری بر تجربه بصری آن ها نداشت. به گفته یکی از کاربران: " گاهی اوقات منظره کمی تغییر می‌کرد ولی این بخش برای من اهمیت چندانی نداشت. برای من این تصویر از همه نظر واقعی به نظر می‌رسید و احتمالاً به هیچ وجه متوجه این تفاوت نمی‌شدم ". این نتیجه تا حدودی تحت تاثیر پوشیدگی زمین قرار گرفت. به نظر بسیاری از کاربران پوشیدگی زمین یکی از عواملی بود که باعث می‌شد کل تجربه حالت مجازی داشته باشد: " این واقعیت (پوشیده بودن زمین) نشان می‌دهد که در این تصویر نکته ای متفاوت وجود دارد. به طور کلی [تصویر فاقد پوشش] به واقعیت نزدیک تر است زیرا در آن چیزی پوشانده نشده است. این واقعیت که به نظر کاربران مسئله پوشیدگی خود بر تجربه تأثیر داشته است احتمالاً واریانس نمرات مربوط به زاویه های مختلف را کاهش می‌دهد زیرا برای برخی کاربران صرف وجود پوشیدگی حالت مجازی به تجربه می‌دهد.

در مورد تصویر فاقد پوشش، تفاوت های زیادی در نتایج وجود داشت، که می‌تواند آن ها را در شکل ۱۳ مشاهده کرد. کاربران در پاسخ به سوال مربوط به تشخیص تفاوت بین نمای فعلی و نمای مرکزی، تفاوت های معناداری بیشتری را نسبت به حالت پوشیده بیان کردند که تا حدودی منطقی به نظر می‌رسد زیرا کاربران اطلاعات بیشتری در اختیار داشتند. در این مورد آزمون توکی تفاوت معنی داری بین این نمای مرکزی و زاویه های دیگر ($p-values > 0.05$) به استثنای زاویه $S1$ ($P = 0.41$) وجود داشت.

از بسیاری لحاظ، از این دو زاویه نگاه وجوه مشترک زیادی نسبت به ساختمان مورد نظر داشتند، و در هر دو مورد تصویر پیش زمینه مشابه ای وجود داشت. با این حال، نکته جالب آن است که در پاسخ به سوال مربوط به حس تجربه (واقعی یا مجازی) اختلاف کمتری وجود داشت. در این مورد تنها بین زاویه مرکزی و $F2$ (توکی $P > 0.01$) و تصویر $S2$ ($P > 0.01$) تفاوت معناداری وجود داشت. هیچ تفاوت معنی داری دیگری بین این زاویه مرکزی و دیگر زاویه ها وجود نداشت. این دو نتیجه تا حدودی همسو با یکدیگر هستند.



شکل ۱۲. نتایج پرسشنامه در حالتی که تمام اشیای واقع در زیر خط افق مسدود شده باشد. در مورد سوال اول "آیا تفاوتی بین این وضعیت و نمای مرکزی احساس می کنید؟" نمره پایین تر به معنی تفاوت کمتر است. در مورد پاسخ سوال دوم "آیا احساس می کردید به طور مستقیم به جهان فیزیکی می نگرید یا دنیای مجازی پیش روی شما قرار دارد؟" نمره پایین تر به معنی قرابت بیشتر به جهان فیزیکی است.



شکل ۱۳. نتایج مربوط به زمانی که کاربران قادر به مشاهده کل تصویر پانوراما است.

یکی از توضیحاتی که می توان برای این مسئله ارائه کرد این است که هرچند کاربران قادر به تشخیص تفاوت های کوچک بین صفحه نمایش و تصویر ایده آل بودند، ولی در مواردی که این تفاوت ها بسیار جزئی و نامشهود بودند (برای مثال تصویر دورنما به اندازه کافی نزدیک گرفته شده بود) کاربران باز هم احساس می کردند تجربه کلی کاملاً مشابه و یکسان است.

تفاوت بین نتایج پوشیده و غیرپوشیده نیز جالب است. روشن است پوشاندن تمام چیزهایی که در زیر خط افق قرار دارد قطعا بر تجربه تاثیر گذار است زیرا افراد مهارت بهتری در تشخیص دورنماها در صورت پوشیده نبودن آن دارند. همچنین پاسخ کاربران به پرسش مربوط به فیزیکی یا مجازی بودن صحنه نیز بسیار جالب است. در حالتی که زمین پوشیده شده بود، این پاسخ ها بسیار به هم نزدیک بودند در حالی که در حالت غیرپوشیده، این پاسخ ها طیف وسیع تری را در بر می گرفتند. تاثیر این پوشش بر کاهش تمرکز خود یکی از دلایل این امر است اما احتمال کاهش تاثیر محل تصویر دورنما در حالتی که تنها اشیاء دورتر قابل مشاهده باشند نیز وجود دارد.

تعریف فاصله محل دورنما از کاربر می تواند بسیار دشوار باشد. با این حال، نتایج ما حاکی از آن است که در نزدیکی کاربرد ناحیه ای قرار دارد که در آن تجربه کلی اکثر کاربران بسیار مشابه AR سنتی، یا AR غیر مستقیم در زمانی است که تصویر دورنما در مرکز قرار دارد. اندازه این منطقه بستگی به عوامل متعددی دارد. وجود تفاوت بارز در مناظر نزدیک به این ناحیه اهمیت زیادی دارد همانطور که فاصله نسبت به اشیاء مدنظر کاربران نیز قطعا در این میان تاثیر گذار سات.

در مورد ما، ساختمان مورد نظر در فاصله ۳۰ متری قرار داشت و سه محل مجاور که به نظر میرسید تجربه کلی نسبتا مشابه ای با دورنمای مرکزی داشته باشند هر یک در فاصله حدود ۵ متری از یکدیگر قرار داشتند. اگر فاصله تا اشیای مورد نظر تنها ۵ متر بود قطعا این نتایج فرق می کرد.

می توان فرض را بر ثابت بودن این نسبت گرفت یعنی فاصله تا محل پانوراما می تواند به اندازه ۱۶ درصد فاصله تا هدف موردنظر باشد، اما اطلاعات کافی برای تایید این ادعا در اختیار نداریم. همچنین هنوز مشخص نیست آیا جهت و سمت محل دورنما نیز در این میان اهمیت دار یا خیر. در مورد ما، جهت محل تصویر پانوراما تاثیری چندانی نداشت. در واقع، کاربران نتایج بسیار متناقضی در مورد جهت ارائه دادند. برخی علاقه بیشتری به نمای نزدیک داشته و معتقد بودند وقتی تصویر بزرگتر بود و کل قاب را پر می کرد، به نظر می رسید تصویر در حالت زوم قرار دارد". کاربران دیگر همین احساس را در مورد زاویه دور داشتند، و ترجیح می دادند در فاصله دور قرار داشته باشند تا بتوانند کل ساختمان را مشاهده کنند". با این حال، به نظر می رسد به طور کلی استفاده از تصاویر دورنمای مربوط به محل های نزدیک می توانند تجربه AR غیر مستقیمی مشابه تجربه دورنمای مجاور کاربر فراهم کند.

ما به طور خاص علاقمند به استفاده از نما های موجود در این مطالعه بودیم تا به این ترتیب امکان استفاده از AR غیر مستقیم و تصاویر دورنمای جمع آوری شده توسط شرکت هایی مانند گوگل NAVTEQ را ارزیابی کنیم. در حالی که به نظر می رسد این کار نتیجه بخش باشد، در بسیاری از موارد امکان بهبود تجربه با استفاده از تصاویر دورنمای موجود برای ارائه زاویه نگاهی جدید (پانوراما یا سه بعدی) تنها در حالتی وجود دارد که محل گرفتن تصویر نزدیک به موقعیت واقعی کاربر باشد. مطالعات زیادی [۱،۱۷،۲۴] در محافل دانشگاهی برای ارزیابی این اثر انجام شده است و بسیاری از آن ها را می توان در مورد AR غیر مستقیم به کار بست.

۷. نتیجه گیری

در این مقاله نوع جدیدی از تجربه واقعیت ترکیبی ارائه گردید که بسیار شبیه تجربه AR است ولی می توان از آن در ردیابی با کیفیت پایین نیز استفاده کرد و در عین حال تجربه کاربری نسبتا مطلوبی ایجاد می کند. استفاده از تصاویر دورنما به جای دوربین های زنده امکان انطباق دقیق پیکسلی بین محتوای مجازی و جهان واقعی را فراهم می سازد. مرور پیشینه تحقیقات مرتبط در این مقاله همچنین نشان داد حتی در مواردی که شرایط AR غیر مستقیم تا حدی افت کند که باعث تغییر در تجربه کاربری شود، افراد هنوز قادر به استفاده از این برنامه خواهند بود زیرا کاربران مهارت بالایی در تطبیق جهان واقعی با تصویر نشان داده شده بر روی صفحه نمایش خود دارند. مهم ترین نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که در شرایط مناسب، AR غیر مستقیم تجربه ای بهتر نسبت به AR سنتی ارائه می دهد که امکان استفاده از آن با ردیابی با کیفیت پایین تر وجود دارد.

به نظر ما در ارائه AR غیر مستقیم باید کاربردهای خوب و بد مدنظر قرار گیرد. نتایج مطالعه کاربران نشان می دهد AR غیر مستقیم عملکرد خوبی در برنامه های فضای باز دارد که در آن کاربر در فاصله بیش از چند متر از اشیاء فیزیکی مورد نظر خود قرار دارد. به دلیل ثبت دقیق پیکسل بین دنیای مجازی و فیزیکی، AR غیر مستقیم می تواند عملکرد موثری در مواردی داشته باشد که در آن رابطه بین محتوای مجازی و دنیای واقعی در تجربه اهمیت زیادی دارد. این امر به ویژه برای نرم افزارهای بازی و سرگرمی که در آن باورپذیری محیط واقعیت افزوده نقش کلیدی در تجربه کلی دارد اهمیت زیادی دارد. با این حال AR غیر

مستقیم تنها یکی از ابزار جعبه MR است و در برخی موارد روش های دیگر می تواند تجربه بهتری برای کاربر نهایی ارائه دهد. به عنوان مثال، در صورتی که کاربر با اشیاء نزدیک تعامل داشته باشد، رویکرد AR بصری به دلیل توانایی آن در مدیریت اختلاف منظر حرکت کاربران عملکرد بهتری خواهد داشت. هرچند AR غیر مستقیم در تمام حالت ها کارایی لازم را ندارد، ولی به نظر ما ظرفیت بالایی دارد که امکان استفاده از برنامه های مشابه AR را در نقاطی فراهم می سازد که پیش از این حتی تصور آن دشوار بود.

ضمیمه بخش A. محتوای تکمیلی

داده های تکمیلی مرتبط با این مقاله در نسخه آنلاین ۱۰،۱۰۱۶/۱۰.010.2011.04.cag.j قابل دسترس است.