



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر

بررسی و ارزیابی راهکارهای رندرینگ در واقعیت افزوده

گزارش سمینار کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر
گرایش نرم افزار

نگارش

محسن نوازنی

استاد راهنما

دکتر مجتبی وحیدی اصل

تابستان ۱۳۹۸

فهرست مطالب

۱	۱	مقدمه
۲	۱.۱	مقدمه
۲	۲.۱	صورت مسئله
۳	۳.۱	واقعیت افزوده چیست؟
۴	۴.۱	تاریخچه
۶	۵.۱	انگیزه پژوهش
۱۰	۶.۱	بیان ساختار فصل‌های بعدی
۱۱	۲	ادبیات تحقیق
۱۲	۱.۲	مقدمه
۱۲	۲.۲	معرفی
۱۲	۱.۲.۲	انواع رابط کاربری
۱۵	۲.۲.۲	واقعیت ترکیبی
۱۶	۳.۲	انواع دستگاه‌های واقعیت افزوده
۱۶	۱.۳.۲	نمایشگرهایی که بر روی سر نصب می‌شوند
۱۷	۲.۳.۲	نمایشگرهای دستی
۱۸	۳.۳.۲	نمایشگرهای فضایی

۱۹	ورودی و تعامل	۴.۲
۲۰	مروگرهای اطلاعات	۱.۴.۲
۲۰	رابط کاربر ۳ بعدی	۲.۴.۲
۲۲	رابط کاربر قابل لمس	۳.۴.۲
۲۲	رابط کاربر طبیعی	۴.۴.۲
۲۳	رابط چند منظوره	۵.۴.۲
۲۴	نمایش	۵.۲
۲۶	فناوری نمایش	۱.۵.۲
۲۶	ویدیوئی	
۲۸	دید نوری	
۲۹	نمایش مبتنی بر نورپردازی	
۳۱	رندرینگ به چه معنا است؟	۶.۲
۳۴	کارهای مرتبط	۳
۳۵	معرفی فصل	۱.۲
۳۵	ردیابی مغناطیسی	۲.۲
۳۷	ردیابی براساس دید	۳.۲
۳۹	ردیابی مادون قرمز	۱.۳.۳
۴۰	ردیابی نور قابل مشاهده	۲.۳.۳
۴۰	ردیابی ثابت	
۴۲	ردیابی ویژگی های طبیعی	
۴۳	ردیابی براساس مدل	
۴۴	ردیابی ساختارهای ۳ بعدی	۳.۳.۳
۴۶	ردیابی درونی	۴.۳

۴۶	ردیابی براساس سیستم موقعیتیاب جهانی	۵.۲
۴۸	ردیابی ترکیبی	۶.۲
۴۹	خلاصه	۷.۲
۵۱	نتیجه گیری و کارهای آینده	۴
۵۳	مراجع	

فهرست شکل‌ها

۱.۱	انواع استفاده از واقعیت افزوده	۴
۲.۱	سیستم واقعیت افزوده طراحی شده توسط ساترلند، ۱۹۶۸ [۶]	۵
۳.۱	پروژه سوپر کاکپیت [۸]	۶
۴.۱	نمودار موقعیت فناوری‌ها در سال ۲۰۱۸ [۹]	۷
۵.۱	بررسی ۲ دهه کنفرانس ISMAR [۱۰]	۹
۱.۲	انواع رابطهای کاربری [۱۲]	۱۴
۲.۲	شکل معرفی شده برای واقعیت ترکیبی توسط میلگرام [۱۳]	۱۶
۳.۲	نمونه‌ای از نمایشگرهای نصب شده بر روی سر [۱۴]	۱۷
۴.۲	نمونه‌ای از نمایشگرهای دستی [۱۴]	۱۸
۵.۲	نمونه‌ای از نمایشگرهای فضایی [۱۵]	۱۹
۶.۲	نمونه‌ای از پروژه ناوی کم [۱۲]	۲۰
۷.۲	استفاده از رابط کاربر ۳ بعدی [۱۶]	۲۱
۸.۲	استفاده از رابط کاربر قابل لمس [۱۷]	۲۲
۹.۲	استفاده از رابط کاربر طبیعی [۱۸]	۲۳
۱۰.۲	رابط چند منظوره [۱۹]	۲۴
۱۱.۲	منطبق کردن پارامترهای داخلی و خارجی [۲۰]	۲۵
۱۲.۲	اضافه شدن اشتباه در شکل سمت چپ و تصحیح آن در سمت راست [۲۱]	۲۷

۱۳.۲	نمایش دید نوری [۲۰]	۲۸
۱۴.۲	نمایش دید نوری [۲۴]	۳۰
۱۵.۲	ارتباط ثبت، ردیابی و کالیبراسیون [۲۶]	۳۲
۱.۳	درخت موضوعی مربوط به واقعیت افزوده	۳۶
۲.۳	ارتباط فاصله با وضوح محاسبات در ردیابی مغناطیسی [۲۸]	۳۸
۳.۳	چپ: شمایی نمادین از نگاه کردن درون از بیرون-وسط: الئی های نصب شده بر روی سقف-راست: ردیاب دوربین [۳۴]	۴۰
۴.۳	چپ: نشانه های رنگی ثابت-راست: استفاده از چند حلقه به ثابت ها [۳۵]	۴۱
۵.۳	نمونه های مختلف ثابت های استفاده شده [۳۷]	۴۲
۶.۳	نمونه ای از ردیابی بر اساس ویژگی های طبیعی [۳۹]	۴۳
۷.۳	نمونه ای از ردیابی بر اساس مدل توسط شرکت OpenTL	۴۴
۸.۳	نمونه ای از روش PTAM [۴۶]	۴۵
۹.۳	نمونه ای از ردیابی ساختارهای ۳ بعدی توسط کینکت ماکروسافت [۵۰]	۴۵
۱۰.۳	پوکمون گونه هایی از برنامه هایی که در روش ترکیبی از ردیابی بر اساس سیستم موقعیت یاب جهانی استفاده کرده است [۵۲]	۴۷
۱۱.۳	مقایسه سیستم ترکیبی [۵۴]	۴۸

فهرست جداول

۱.۳ مقایسه روش‌های ردیابی ۵۰

چکیده

واقعیت افزوده فناوری است که با مخلوط کردن واقعیت و مجازی، توجه زیادی از جامعه علمی را به خود جلب کرده است و بهترین راه برای انتقال اطلاعات مربوط به دنیای واقعی به افراد است. رایانه‌ها گرافیک‌هایی را تولید کرده و بر روی دنیای واقعی ثبت می‌کنند و به این شکل به نظر می‌رسد که این گرافیک‌ها به دنیای واقعی افزوده شده‌اند، برای همین به این فناوری واقعیت افزوده گفته می‌شود. ما شاهد رشد فناوری‌های جدید مانند هوش مصنوعی و همچنین گستردگی محصولات موجود در بازار فناوری هستیم، با وجود گذشتن چند دهه از به وجود آمدن واقعیت افزوده، این فناوری طرفداران زیادی چه در حوزه اقتصادی و چه در حوزه علمی به خود اختصاص داده است. مطالعات زیادی بر روی این فناوری انجام شده است ولی با این وجود، دارای مسائل حل نشده و جای کار بسیاری است. درنتیجه می‌تواند حوزه خوبی برای تحقیق برای علاقه‌مندان باشد. منظور از رندرینگ به طور عامیانه ارائه روش‌هایی است که با استفاده از آن‌ها بتوان عناصر مجازی ایجاد شده را به بهترین نحو بر روی عناصر واقعی تطبیق داد. این موضوع دارای چالش‌های بسیاری است و پر مخاطب‌ترین حوزه در واقعیت افزوده است. در این تحقیق سعی بر آن بوده است که در اول انگیزه از این پژوهش و دلایل انتخاب این موضوع آورده شود، سپس به معرفی سیستم واقعیت افزوده پرداخته و اجزا این سیستم و روش کار هر کدام به اختصار توضیح داده شود و در آخر مسئله رندرینگ شرح داده شده و در آن تمرکز بر روی مسئله ردیابی بوده است و درنهایت انواع روش‌های آن شرح داده می‌شود و با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

واژگان کلیدی: واقعیت افزوده، رندرینگ، ردیابی

فصل ۱

مقدمه

۱.۱ مقدمه

در سال ۱۹۷۷ خیلی از علاوه‌مندان به فیلم و سینما، با دیدن تصویر^۳ بعدی از زنی در هوا که در حال گفتن جمله‌ی، "Help me Obiwan-Kenobi you're my only hope" بود، شگفتزده شدند. این صحنه فوق‌العاده متعلق به فیلم ستارگام^۱ جنگ^۲ بود که با استفاده از افکت‌های مخصوص توانسته بودند محتوای^۳ بعدی و مجازی را در دنیای واقعی خلق بکنند. این فیلم صحنه‌ای از آینده را نشان می‌داد که در آن مردم می‌توانستند در دنیایی که اجسام واقعی و مجازی باهم ترکیب شده‌اند، به راحتی مانند دنیای واقعی با کامپیوترها ارتباط برقرار بکنند. حدود ۳۰ سال بعد در سال ۲۰۰۸، در میان برگزاری انتخابات ریاست جمهوری آمریکا، یک نمایش ویژه از تکنولوژی به مردم نشان داده شد. در میان صحبت در رابطه با انتخابات توسط شبکه سی ان ان^۲، خبرنگار ول夫 بلیتزر^۳ به سمت جایگاه خالی نگاه کرد و ناگهان خبرنگار جسیکا یلین^۴ بر روی صحنه به صورت^۳ بعدی و درون برنامه زنده ظاهر شد.^۵ ول夫 قادر بود با او، صحبت کند و یک مکالمه زنده و رودررو داشته باشد در صورتی که جسیکا یلین هزاران مایل با او فاصله داشت.

۲.۱ صورت مسئله

دنیای امروزه دنیایی پر از پیچیدگی‌ها و شگفتی‌ها است. از دیرباز مردم همیشه به دنبال سوال‌ها و اطلاعات مختلف در زمینه‌های گوناگون بوده‌اند. با رشد تکنولوژی انسان‌ها توانستند بسیاری از سوالات خود را جواب بدeneند ولی استفاده از تکنولوژی و راحتی دسترسی به منابع اطلاعاتی همیشه مشکل بوده است و همیشه دنیا به سمت راحتی حرکت کرده است.

یکی از تکنولوژی‌هایی که به در این مسیر گام‌های مؤثری برداشته است و سعی به برطرف کردن این مشکلات دارد واقعیت افزوده است. این تکنولوژی با درآمیختن عناصر مجازی در دنیای واقعی به این روند سرعت می‌بخشد و زندگی را برای ساکنان کره زمین راحت‌تر می‌کند.

¹<http://www.starwars.com>

²CNN

³Wolf Blitzer

⁴Jessica Yellin

⁵<http://edition.cnn.com/2008/TECH/11/06/hologram.yellin/>

با توجه به اهمیت این تکنولوژی ولی باید توجه داشت که هنوز دارای مشکلات و مسائل حل نشده زیادی می‌باشد و نیاز به تحقیق در این حوزه احساس می‌شود و همان‌طور که در آینده شرح داده خواهد شد یکی از مسائل مهم در این تکنولوژی رندرینگ است و نیاز است که این عناصر مجازی به صورت دقیق کار بکنند. در این پژوهش سعی شده است که به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

واقعیت افزوده چیست؟

واقعیت افزوده از چه اجزایی تشکیل شده است و به چه شکل کار می‌کند؟

رندرینگ چیست و در چه قسمتی از این سیستم قرار گرفته است؟

چه راه حل‌هایی برای مسئله رندرینگ ارائه شده‌اند؟

راه حل‌هایی ارائه شده به چه شکل کار می‌کنند و چه مسائلی را پوشش می‌دهند؟

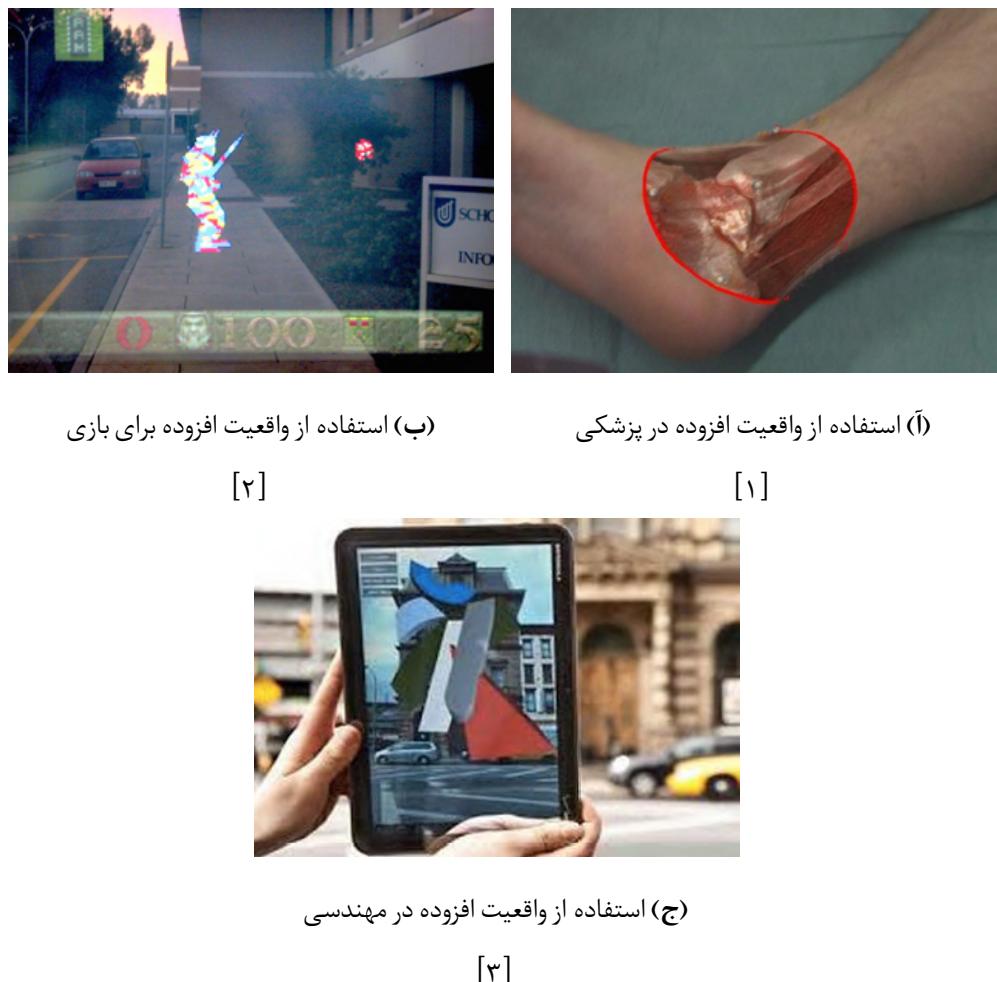
۳.۱ واقعیت افزوده چیست؟

مطلوب ذکر شده در بالایک مثال از واقعیت افزوده بود^۱ که به اختصار به آن AR نیز گفته می‌شود که قادر است تصاویر مجازی را بسازد و به دنیای واقعی اضافه کند. واقعیت افزوده تکنولوژی است که در دسته فناوری‌های مرتبط با ارتباط انسان و کامپیوتر^۲ قرار می‌گیرد، که در این دسته فناوری‌هایی قرار می‌گیرند که باعث برقراری ارتباط بهتر انسان و کامپیوتر می‌گردند و شروع این تکنولوژی‌ها از حدود دهه ۱۹۶۰ است با به وجود آمدن کارت‌های پانچ شروع شد و در ادامه این روند به موس‌ها، کیبوردها و ... رسید. هدف این تکنولوژی این است که رابط کاربری کاربران که درک و ارتباط با آن دشوار است را از دید آن‌ها مخفی کند و ارتباط با کامپیوتر را بسیار ساده‌تر مانند ارتباط با دنیای واقعی بکند.

مثال‌های بالا به مانشان می‌دهد که واقعیت افزوده چقدر در ارتباطات و نمایش اطلاعات می‌تواند به ما کمک بکند و همین‌طور مانند تکنولوژی‌های دیگر، واقعیت افزوده می‌تواند در سطح خیلی گستردگتری نیز به کار برسد. محققین تا به امروز در حوزه‌های مختلفی از این تکنولوژی استفاده کرده‌اند مانند پزشکی، سرگرمی، مهندسی، آموزش نظامی و غیره. برای نمونه در پزشکی می‌توان اطلاعات بیمار را بر روی بدن فرد بیمار به نمایش درآورد [۱] و

¹Augmented Reality

²human computer interaction technology



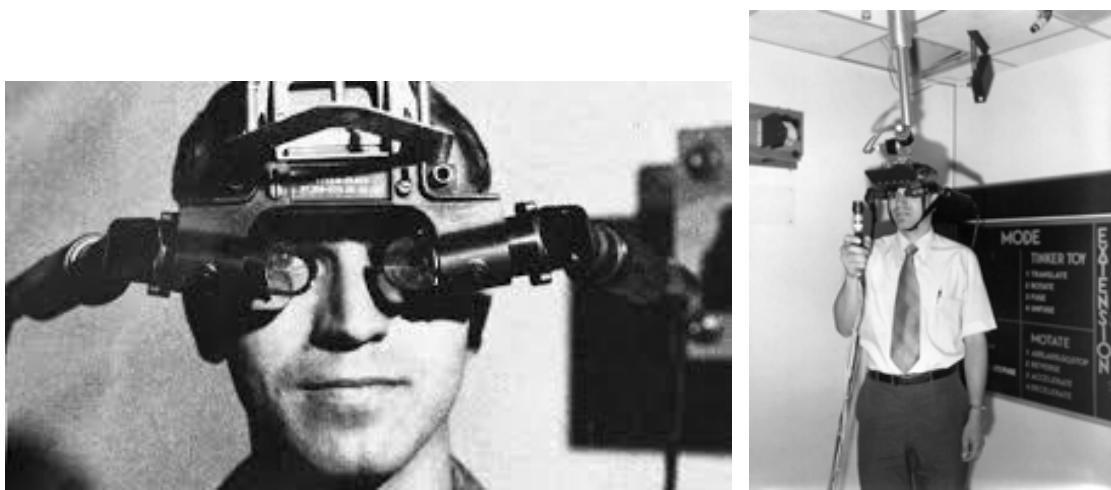
شکل ۱.۱: انواع استفاده از واقعیت افزوده

در رابطه با سرگرمی، بازیکنان می‌توانند در دنیای واقعی به بازی بپردازند [۲] و یا در مهندسی، مهندسان می‌توانند انتهای یک پروژه ساختمانی را ببینند [۳].

در شکل ۱.۱ نمونه‌های مختلفی از استفاده واقعیت افزوده را می‌توان مشاهده نمود.

۴.۱ تاریخچه

گرچه واقعیت افزوده امروزه محبوب شده است، اما این فناوری جدید نیست، برای هزاران سال مردم از آینه‌ها، منابع نوری و ... برای ایجاد تصاویر مختلف در دنیای واقعی استفاده می‌کردند. برای مثال در قرن ۱۷ ام تئاترها و موزه‌ها از آینه‌های متعددی برای ادغام انعکاس اجسام و افزودن تصویری مجازی به دنیای واقعی استفاده می‌کردند [۴].



شکل ۲.۱: سیستم واقعیت افزوده طراحی شده توسط ساترلند، ۱۹۶۸ [۶]

ایوان ساترلند^۱ اولین کسی بود که با استفاده از رایانه‌ها در دانشگاه ام آی تی^۲ و در سال ۱۹۶۳ توانست تصاویر مجازی را به دنیای واقعی بیاورد [۵]. نمونه‌ای از پروژه انجام شده توسط ساترلند را در شکل ۲.۱ می‌بینیم. او در سال ۱۹۶۸ به دانشگاه هاروارد^۳ رفت و در آنجا با کمک باب اسپرول^۴ توانستند اولین دستگاه واقعیت افزوده را بسازند [۶]. این دستگاه بر روی سر قرار می‌گرفت و با استفاده از تابش نور بر روی عدسی‌ای مقابل چشمان سعی بر آن داشت تا تصاویر مفهومی را به بیننده نمایش دهد. برای ایجاد تصاویر^۵ بعدی از چندین عدسی و با استفاده از تابش‌های مختلف در جهات مختلف، توانستند تصاویر^۶ بعدی را بسازند [۶].

در سال‌های بعد، تحقیق بر روی این فناوری علاوه بر دانشگاه‌ها، در آزمایشگاه‌های نظامی و دولتی نیز شروع شد و موردنوجه قرار گرفت. به عنوان مثال تام فورنس^۷ در آزمایشگاه‌های هوا و قضای آمریکا، بر روی این فناوری شروع به تحقیق نمود و پروژه‌ای با نام سوپر کاکپیت^۸ را شروع کرد که به آموزش خلبانان هواپیما کمک می‌کرد [۷]. در شکل ۱.۳ آنمونه‌ای از این آزمایش را می‌بینیم.

در سال ۱۹۸۱ آژانس ملی فضای و هواشناسی^۹ شروع به تحقیق بر روی این فناوری نمود و کلاه و نمایشگر

¹Ivan Sutherland

²Massachusetts Institute of Technology

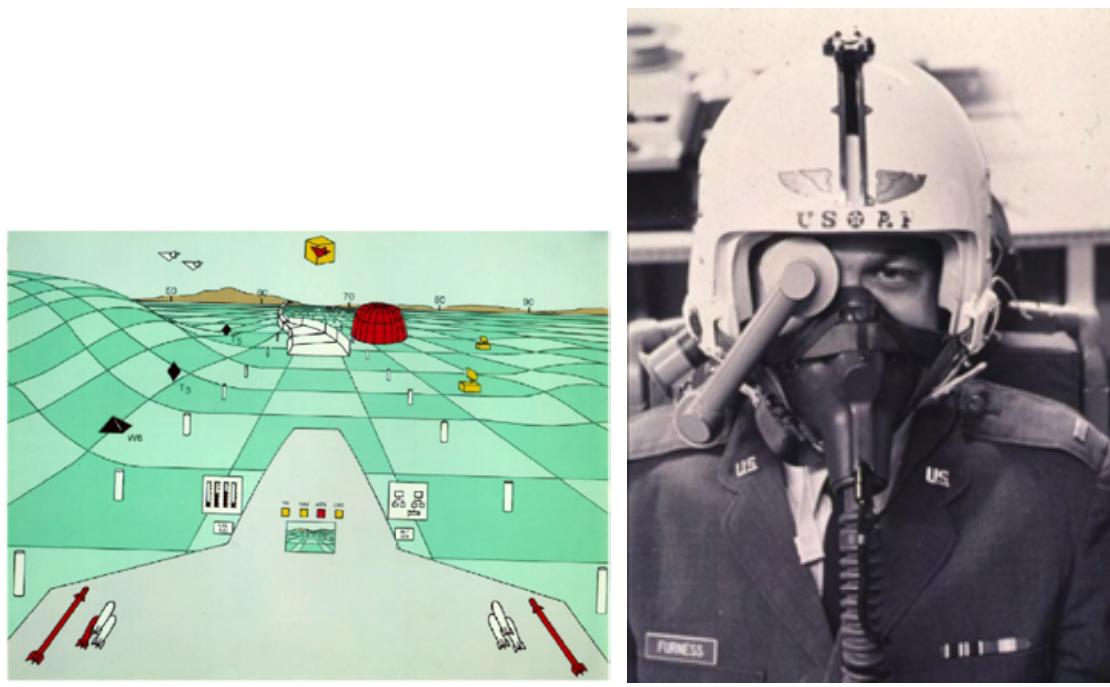
³Harvard University

⁴Bob Sproull

⁵Tom Furness

⁶Super-Cockpit

⁷National Aeronautics and Space Administration (NASA)



(ب) تصویر شبیه سازی شده در پروژه

(آ) دوربین نصب شده بر روی سر یک خلبان

شکل ۳.۱: پروژه سوپر کاکپیت [۸]

مخصوص به خود رانیز طراحی کرد که می‌توانست برای آموزش فضانوردان با ایجاد تصاویر مجازی کمک بکند [۸].

۵.۱ انگیزه پژوهش

گارتner^۱، شرکت پژوهشی و مشاوره آمریکایی است، که در زمینه ارائه خدمات برون‌سپاری، تحقیق و پژوهش و مشاوره فناوری اطلاعات فعالیت می‌نماید. شرکت گارتner در سال ۱۹۷۹ توسط گیدون^۲ گیدون راه اندازی شد و در حال حاضر دارای عملیات در ۸۵ کشور جهان است. دفتر مرکزی این شرکت در شهر استنفورد، کنتیکت، ایالات متحده آمریکا قرار دارد و سهام آن در بازار بورس نیویورک معامله می‌شود.^۳.

این شرکت هرساله نموداری را معرفی می‌کند که در آن به معرفی تکنولوژی‌های روز پرداخته و موقعیت آنها

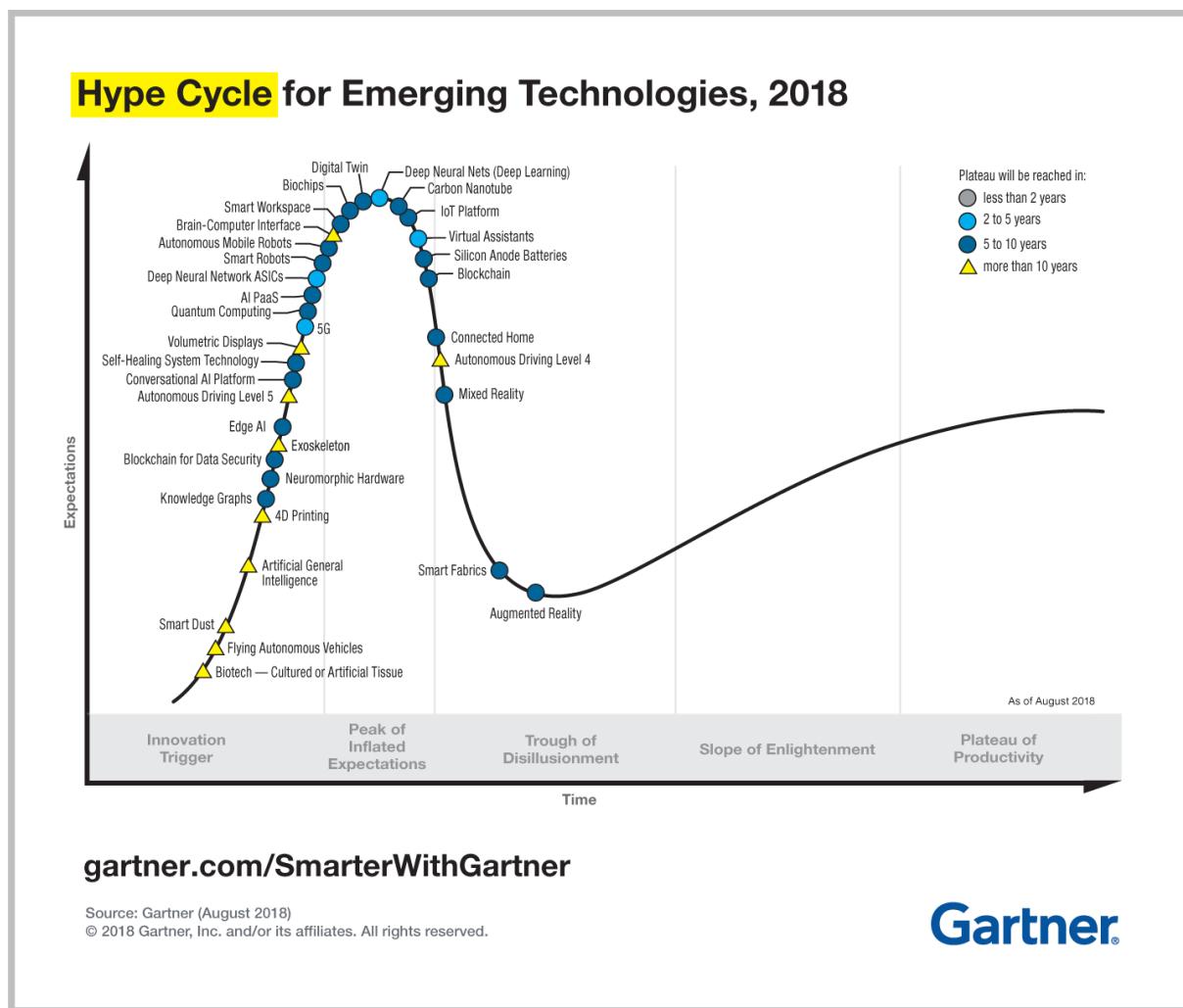
آن‌ها را بررسی می‌کند.^۴ شکل ۴.۱:

¹Gartner

²Gideon Gartner

³<https://en.wikipedia.org/wiki/Gartner>

⁴<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging->



شکل ۴.۱: نمودار موقعیت فناوری‌ها در سال ۲۰۱۸ [۹]

این نمودار از ۵ قسمت مختلف تشکیل شده است:

- ۱- راه افتادن فناوری^۱ : در این مرحله یک فناوری مفهومسازی می‌شود، پتانسیل‌های آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و شروع به اثبات ادعاهای خود می‌کند.
- ۲- اوج انتظارات^۲ : در این مرحله تکنولوژی به پیاده‌سازی می‌رسد و نظریات و تبلیغات در رابطه با موفقیت‌آمیز بودن و یا نبودن آن مطرح می‌شود.

۳- مرحله سرخوردگی^۱ : در این مرحله مشکلات تکنولوژی نمایان می‌شود و شروع تلاش‌ها برای رفع این مشکلات است.

۴- شیب روشنگری^۲ : در این مرحله شرکت‌های مختلف به این تکنولوژی روی می‌آورند و پتانسیل‌های این فناوری برای آینده نمایان‌تر می‌شود.

۵- فلات بهره‌وری^۳ : در اینجا استفاده از این فناوری گستردگی و همه‌گیر شده و تعداد خیلی زیادی از شرکت‌های کوچک و بزرگ به آن روی می‌آورند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود این فناوری در مرحله سوم قرار دارد و مشکلاتی دارد که باعث می‌شود زمینه خوبی برای مطالعه و تحقیق باشد و همچنین بسیار گرایش برای آن وجود دارد به‌طوری که شرکت بزرگی مانند گارتنر این فناوری را پیشنهاد می‌دهد و پیش‌بینی می‌کند که یکی از فناوری‌هایی باشد که در آینده نزدیک شاهد ظهور و گستردگی شدن آن خواهیم بود.

یکی از مراجع مهم و معروف برای مقاله‌ها در این زمینه، نشست بین‌المللی واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی ایسمار^۴ است که در قالب "نشست رایانه‌ای آی ای ای" ^۵ به‌صورت سالیانه برگزار می‌شود، با بررسی و ارزیابی دو دهه از مقاله‌های منتشرشده در این کنفرانس، به نمودارهای زیر می‌رسیم^۶ [۱۰].

همان‌طور که از نتایج شکل ۱.۵ پیدا است یکی از حوزه‌های مورد علاقه محققین ریابی^۷، است که مقاله‌های زیادی در این حوزه منتشر می‌شود و همچنین ارجاعات به این مقالات نیز بالا می‌باشد. در نتیجه، این تحقیق اهمیت این موضوع و باز بودن جای کار در این حوزه را نشان می‌دهد.

¹Trough of Disillusionment

²Slope of Enlightenment

³Plateau of Productivity

⁴International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)

⁵IEEE Computer Society

⁶در این مقاله منظور از Rendering نحوه پردازش تصویر است و با واژه رندرینگ در این تحقیق متفاوت است.

⁷Tracking

Table 1. Research topic classification results—paper counts and percentage of each category.

Year	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	Total	% (w/ New Category)	%	Zhou08 (%)
# of Papers	26	24	24	26	28	26	33	22	24	31	264	-	-	276
Category														
Tracking	7	8	9	13	10	10	6	7	7	8	85	16.2	19.4	63 (20.1)
Interaction	6	7	6	4	6	3	6	3	5	4	50	9.5	11.4	46 (14.7)
Calibration	1	0	0	0	2	3	6	4	5	7	28	5.3	6.4	44 (14.1)
AR App.	6	4	2	8	3	7	7	6	7	5	55	10.5	12.5	45 (14.4)
Display	2	1	1	0	0	1	1	3	3	2	14	2.7	3.2	37 (11.8)
Evaluation	10	5	8	2	9	5	9	5	6	13	72	13.7	16.4	18 (5.8)
Mobile	6	5	1	5	8	2	3	3	3	4	40	7.6	9.1	19 (6.1)
Authoring	3	2	0	0	1	2	1	1	0	0	10	1.9	2.3	12 (3.8)
Visualization	2	3	2	2	3	1	4	1	0	3	21	4.0	4.8	15 (4.8)
Multimodal	0	2	0	0	0	0	2	1	2	2	9	1.7	2.1	8 (2.6)
Rendering	4	3	3	3	7	6	9	3	5	12	55	10.5	12.5	6 (1.9)
Total	47	40	32	37	49	40	54	37	43	60	439	-	100.0	313 (100.0)
New Category														
Perception	2	2	3	0	3	2	9	4	2	11	38	7.2	-	-
Collaboration	0	3	1	1	0	0	2	0	2	0	9	1.7	-	-
Reconstruction	0	1	1	5	4	4	5	3	2	4	29	5.5	-	-
Modeling	2	1	4	0	0	2	1	0	1	0	11	2.1	-	-
Grand Total	51	47	41	43	56	48	71	44	50	75	526	100.0	-	-

(ا) تعداد مقاله ها بر اساس موضوع

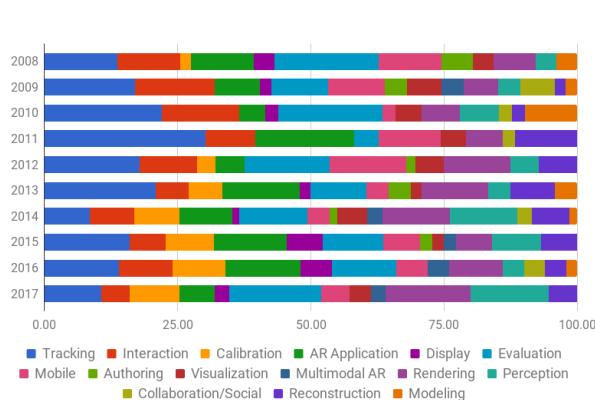
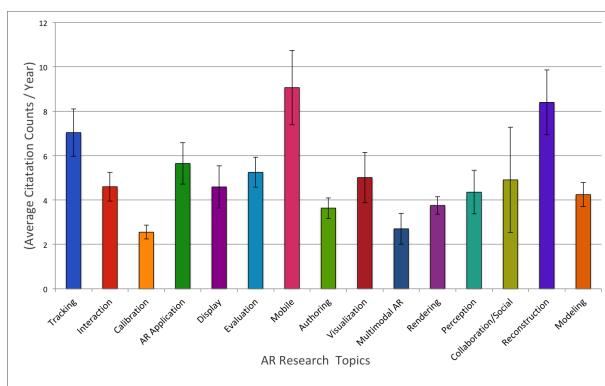


Table 2. Proportion of highly cited papers.

Category	% Papers	% Citations	Zhou08	
			% Papers % Citations	
Tracking	19.4 (16.2)	25.2 (20.9)	20.1	32.1
Interaction	11.4 (9.5)	10.6 (8.8)	14.7	12.5
Calibration	6.4 (5.3)	0.8 (0.7)	14.1	12.5
AR App.	12.5 (10.5)	10.6 (8.8)	14.4	12.5
Display	3.2 (2.7)	3.3 (2.7)	11.8	5.4
Evaluation	16.4 (13.7)	15.4 (12.8)	5.8	1.8
Mobile	9.1 (7.6)	14.6 (12.2)	6.1	7.1
Authoring	2.3 (1.9)	2.4 (2.0)	3.8	8.9
Visualization	4.8 (4.0)	5.7 (4.7)	4.8	5.4
Multimodal	2.1 (1.7)	0.8 (0.7)	2.6	0.0
Rendering	12.5 (10.5)	10.6 (8.8)	1.9	1.8
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
Perception	(7.2)	(3.4)	-	-
Collaboration	(1.7)	(1.4)	-	-
Reconstruction	(5.5)	(9.5)	-	-
Modeling	(2.1)	(2.7)	-	-
Grand Total	(100.0)	(100.0)	-	-

(ج) مقایسه تمایل نویسندها بر اساس موضوع

(ب) ارجاع به مقالات به نسبت تعداد



(د) میانگین ارجاع به مقالات در سال بر اساس موضوع

شکل ۵.۱: بررسی ۲ دهه کنفرانس ISMAR

۱.۶ بیان ساختار فصل‌های بعدی

بخش‌بندی سمینار به شکل زیر است:

بخش دوم: در این بخش درخت موضوعی را به نمایش می‌گذاریم، ادبیات موضوع را مطرح کرده، کلیه اطلاعات لازم در واقعیت افزوده را شرح داده و به بیان حوزه‌های مختلف در آن می‌پردازیم و به اختصار آن‌ها را شرح می‌دهیم.

بخش سوم: در این بخش به معرفی رندرینگ در واقعیت افزوده می‌پردازیم و اجزای آن را شرح می‌دهیم و سپس تمرکز خودمان را بر روی ردیابی (Tracking) می‌گذاریم و روش‌های مختلف درون آن را شرح می‌دهیم و کارهای گذشته را ذکر می‌کنیم و با یک دیگر مقایسه می‌کنیم.

فصل چهارم: در این فصل روش‌های مختلف را باهم مقایسه کرده و مسئله‌ای را مطرح می‌کنیم و به اهمیت این مسئله می‌پردازیم و راه حل‌های احتمالی در رابطه با مسئله را بیان می‌کنیم.

فصل ۲

ادبیات تحقیق

۱.۲ مقدمه

در این فصل به ارائه مفاهیم پایه می‌پردازیم و مفاهیمی که باید خواننده با آن‌ها آشنا باشد تا بتواند به مرور فصل‌های بعدی بپردازد و دچار سردرگمی خواننده نشود را بیان می‌کنیم.

در ابتدا به معرفی واقعیت افزوده می‌پردازیم سپس انواع رابطه‌ای کاربری و حوزه‌های مشابه با واقعیت افزوده را شرح می‌دهیم. در زیر بخش بعدی انواع دستگاه‌های واقعیت افزوده را معرفی می‌کنیم و با یکدیگر مقایسه می‌کنیم و در زیر بخش بعد به معرفی انواع روش‌های دریافت ورودی در این سیستم و تعامل با کاربر می‌پردازیم. در بخش آخر نیز در رابطه با نمایشگرها و شیوه کاری آن‌ها صحبت می‌کنیم آن‌ها را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم.

۲.۲ معرفی

۱.۲.۲ انواع رابط کاربری

محقق آزوما^۱ بیان می‌کند که واقعیت افزوده باید شامل ۳ ویژگی باشد [۱۱]:

- ۱- باید توانایی ترکیب دنیای واقعی و مجازی را دارا باشد.
- ۲- باید با دنیای واقعی در ارتباط باشد.
- ۳- باید به صورت ۳ بعدی قابل استناد باشد.

مثال شبکه خبری سی ان ان هر سه این شرایط را دارا می‌باشد. تصویر مجازی خبرنگار جسیکا یلین به صورت زنده بر روی صحنه ظاهر شد و همچنین توانایی برقراری ارتباط و صحبت با خبرنگار ول夫 بلیتزر در همان زمان بود و تصویر مجازی به صورت سه بعدی قابل نمایش بود.

در یک سیستم واقعیت افزوده هر سه شرط باید رعایت شود و همچنین باید شامل یک سیستم کامپیوترا که قادر است تصاویر مجازی تولید کند و به دنیای واقعی اضافه کند باشد، همچنین باید یک سیستم ردیابی^۲ را دارا باشد تا بتواند نقطه مناسب برای ظاهر شدن تصویر مجازی را شناسایی بکند و تصویر مجازی را بر روی آن به نمایش درآورد. در قسمت بعدی این تحقیق مفصل به بیان سیستم ردیابی می‌پردازیم.

¹Ron Azuma

²Tracking

باید توجه شود که در تعریف آزوما هیچ محدودیتی آورده نشده در مورد نوع تکنولوژی که برای ظاهر کردن تصاویر در دنیای واقعی از آن استفاده می‌کنیم، همچنین در سیستم لزومی به‌ظاهر شدن تصویر نمی‌باشد و می‌تواند به پخش موسیقی و یا پخش فیلم بپردازد.

اگر با یک دید جامع نگاه بکنیم، واقعیت افزوده آخرین تلاش توسط محققین و مهندسین برای حذف رابط کاربری در کامپیوترها و افزایش تعامل کاربر با دنیای واقعی است. ریکامتو^۱ تفاوت بین رابطهای میز کار سنتی^۲ با تلاش‌هایی که در جهت حذف رابط کاربری انجام‌شده است را متمایز ساخت [۱۲]. همان‌طور که در شکل ۱.۲ قابل مشاهده است، ریکامتو به معرفی انواع رابطهای کاربری پرداخت و ۴ مدل را معرفی نمود.

۱- مدل رابط گرافیکی کاربر (GUI):^۳ در این مدل کاربر با استفاده از اشکال گرافیکی که توسط کامپیوتر در اختیارش قرار می‌گیرد ارتباط برقرار می‌کند مانند آیکون‌ها، محیط ویندوز، منوها و ...

۲- مدل واقعیت مجازی:^۴ در این مدل کاربر با استفاده از کلاهی که بر روی سر و چشم‌مانش قرار می‌گیرد وارد دنیای مجازی شده و درون این دنیا قرار می‌گیرد و با استفاده از دستکش‌ها و یا دسته‌های مخصوص شروع به تعامل با دنیای مجازی می‌کند و به‌اصطلاح درون این دنیا غواصی^۵ می‌کند و از دنیای واقعی جدا می‌شود.

۳- مدل پردازش همه‌جا حاضر:^۶ در این مدل سنسورها و پردازشگرها در دنیای واقعی جاسازی شده‌اند.

۴- واقعیت افزوده:^۷ مشکل مدل دوم (واقعیت مجازی) این است که کاربر از دنیای واقعی جدا شده و توانایی ارتباط با آن را ندارد ولی در این مدل کاربر علاوه بر توانایی تعامل با دنیای مجازی، قادر است با دنیای واقعی نیز تعامل بکند و این دو نه تنها مشکلی برای هم ایجاد نمی‌کنند، بلکه مکمل و کمک‌کننده به یکدیگر هستند.

همان‌طور که در تعاریف بالا می‌توانیم ببینیم، رابطه نزدیکی بین واقعیت مجازی و واقعیت افزوده وجود دارد، همچنین هر دو آن‌ها دارای صفحه‌نمایشی که بر روی سر نصب شده^۸، سیستم ردیابی و دستگاه‌های ورودی دستی^۹

¹Rekimoto

²traditional desktop computer interfaces

³graphical user interface

⁴Virtual Reality

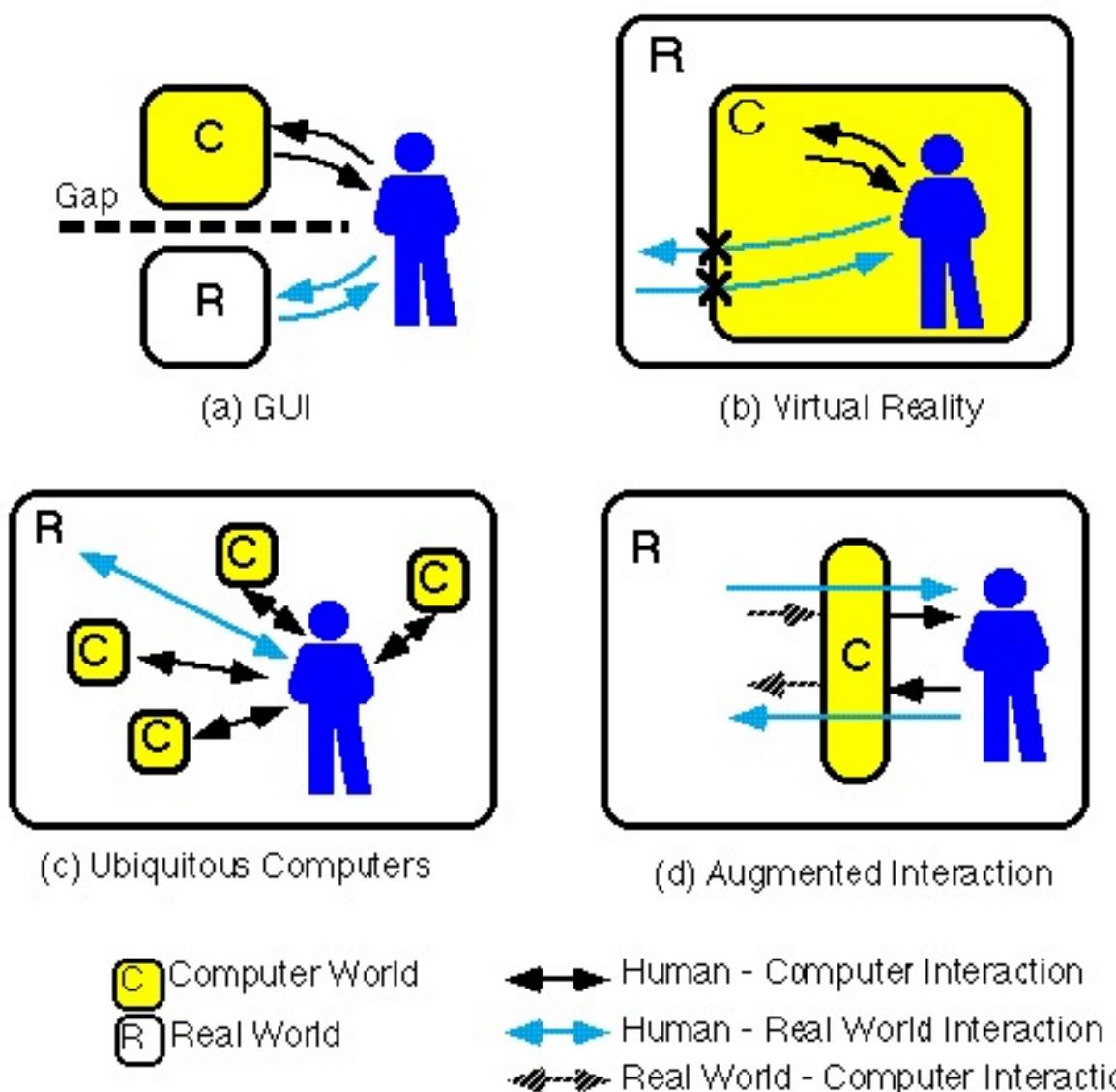
⁵immersive

⁶Ubiquitous Computing

⁷Augmented Reality

⁸head mounted displays

⁹handheld input devices



شکل ۱.۲: انواع رابطه‌های کاربری [۱۲]

می‌باشند، با این حال بین این دو تفاوت‌های مهمی وجود دارد. هدف اصلی از واقعیت مجازی، استفاده از تکنولوژی برای جایگزینی آن با دنیای واقعی است و در مقابل آن در واقعیت افزوده، تکنولوژی سعی بر آن دارد با استفاده از محتوای دیجیتال^۱ بدون آنکه به کاربر حس غوطه‌ور شدگی دست بدهد به دنیای واقعی بیفزاید. در واقعیت مجازی دستگاه نمایشگر باید کاملاً جامع باشد و میدان گستره‌ای از دید را پوشش بدهد و گرافیک‌های ۳ بعدی تا حد امکان واقعی به نظر بیایند. از آنجاکه کاربر به مدت زیادی قادر به دیدن دنیای واقعی نمی‌باشد، در واقعیت مجازی سیستم ردیابی نیاز به دقیق بودن به نسبت دنیای

¹digital content

واقعی را ندارد و این حساسیت در آن کمتر می‌باشد.

در مقابل، در واقعیت افزوده، سیستم نمایش می‌تواند به صورت غیر غوطه‌ور کننده، با گستردگی دید کم و با استفاده از گرافیک‌های کوچک باشد. ولی در اینجا، سیستم ردیابی باید بسیار دقیق باشد و توانایی داشته باشد تا محتوای مجازی را دقیقاً بر روی دنیای واقعی قرار بدهد. برای کاربران واقعیت افزوده بسیار ساده است تا متوجه چندین میلی‌متر تفاوت قرار گرفتن محتوای مجازی با دنیای واقعی بشوند.

۲.۲.۲ واقعیت ترکیبی

برای توضیح بیشتر برای واقعیت افزوده می‌توانیم به نتیجه تحقیق میلگرام^۱ و کشینو^۲ نگاهی بیندازیم [۱۳]. آنها مفهومی با نام واقعیت ترکیبی^۳ را معرفی نمودند که این مفهوم دو مفهوم واقعیت و مجازی را با یکدیگر ترکیب می‌کند و همچنین طبقه‌بندی‌هایی را بر اساس میزان ترکیب مجازی و واقعیت بیان می‌کند. در سمت راست محیط مجازی^۴ را می‌بینیم، جایی که دید کاربر از جهان توسط کامپیوترهایی که تصاویر مجازی تولید می‌کنند کاملاً جایگزین شده است. در سمت مخالف، یعنی در سمت چپ ما شاهد محیط واقعی^۵ هستیم که در آن کاربر هیچ‌گونه دید و درکی از عناصر مجازی ندارد و کاملاً درون دنیای واقعی قرارگرفته است. هر چه از محیط واقعی به سمت محیط مجازی حرکت کنیم، میزان عناصر مجازی در دید کاربر افزایش می‌ابد و این محیط مابین، به دو دسته دیگر تقسیم می‌شوند. دسته واقعیت افزوده که در آن میزان واقعیت در دید کاربر خیلی بیشتر از مجازی است و دسته مجازی افزوده شده^۶ که درون آن، بیشتر دید کاربر را عناصر مجازی تشکیل داده است و قسمت کمی را عناصر واقعی تشکیل می‌دهند.

با استفاده از شکل ۲.۲، به این نتیجه می‌رسیم که واقعیت افزوده خود به تنهایی به عنوان دسته مجزا شناخته نمی‌شود بلکه بخشی از هر دو را تشکیل می‌دهد.

¹Milgram

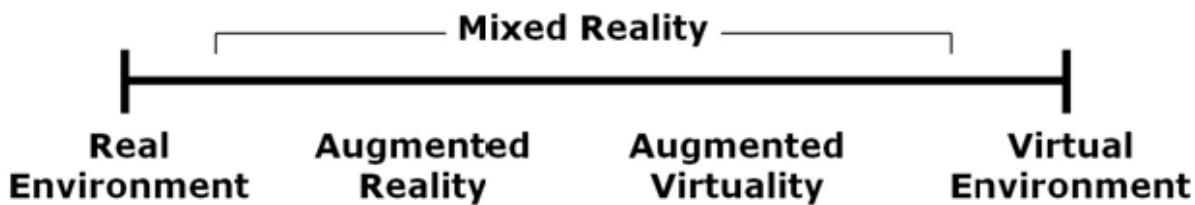
²Kishino

³Mixed Reality

⁴Virtual Environment

⁵Real Environment

⁶Augmented Virtuality



شکل ۲.۲: شکل معرفی شده برای واقعیت ترکیبی توسط میلگرام [۱۳]

۳.۲ انواع دستگاه‌های واقعیت افزوده

دستگاه‌های نمایشگری که با استفاده از آن‌ها تکنولوژی واقعیت افزوده را به نمایش درمی‌آوریم به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند [۱۴]:

۱.۳.۲ نمایشگرهایی که بر روی سر نصب می‌شوند

این نوع از نمایشگرها بر روی سر قرار می‌گیرند^۱ مانند کلاه ایمنی و یا مانند عینک، در جلوی چشمان قرار داده می‌شوند و قادر هستند هر دو تصویر از دنیای مجازی واقعی را بر روی هم قرار داده و به کاربر نشان بدهند. در شکل ۳.۲ می‌توانیم نمونه‌ای از این دستگاه‌ها را ببینیم. این دستگاه‌ها به دو صورت کار می‌کنند.

• ۱- دیدن از طریق ویدیو^۲: در این مدل، نیاز داریم تا کاربر، ۲ دوربین را بر روی سر خود قرار دهد و با استفاده از پردازش‌های تصاویر این دو دوربین، تصاویر^۳ بعدی از محیط را به صورت زنده دریافت کنیم و همزمان با استفاده از یک کامپیوتر، تصاویر^۳ بعدی مجازی را طراحی بکنیم و با تصاویر دریافتی از دوربین‌ها، ادغام بکنیم، در این روش به دو مشکل بروخود می‌کنیم، مشکل اول کیفیت تصاویر است که وابسته بهوضوح^۳ دوربین‌ها و پردازشگرهای تصاویر است و همچنین وابسته به کیفیت تصویر تولیدشده توسط کامپیوتر است و مشکل بعدی این است که باید سرعت کارها در این نوع بالا باشد تا تأخیر^۴ دریافت تصاویر و پردازش و سپس نمایش را به حداقل برسانیم.

¹head mounted displays (HMD)

²Video-see-through

³resolution

⁴latency



شکل ۳.۲: نمونه‌ای از نمایشگرهای نصب شده بر روی سر [۱۴]

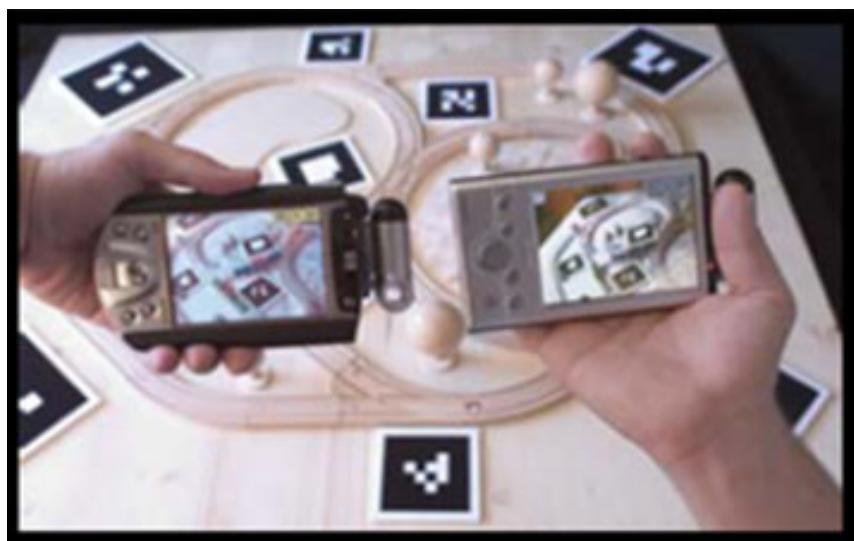
۲- دیدن از طریق نور:^۱ در این مدل کاربر با استفاده از لنزها، قادر است دنیای واقعی را ببیند، و با استفاده از دستگاه‌های خاص و تابش نور به لنزها، تصاویر ۳ بعدی را برای کاربر طراحی می‌کنیم. در اینجا کیفیت تصاویر دریافتی به نسبت روش قبل بالاتر است زیرا برای دیدن دنیای واقعی نیازی بهوضوح نمایشگر نداریم ولی برای ایجاد کردن تصاویر ۳ بعدی در این روش مشکل است. همچنین به دلیل اینکه تصاویر محیط واقعی را بدون واسطه دریافت می‌کنیم، تأخیر در اینجا نیز کمتر از روش قبلی است.

۲.۳.۲ نمایشگرهای دستی

نمایشگرهای دستی^۲، با کمک گرفتن از دستگاه‌های محاسباتی کوچک که دارای نمایشگر می‌باشند کار می‌کنند و برای ادغام کردن تصاویر مجازی با دنیای واقعی از روش "دیدن از طریق ویدئو" استفاده می‌کنند. به عنوان مثال برای این نوع از نمایشگرها می‌توان تلفن‌های همراه هوشمند را مثال زد که علاوه بر دارا بودن

¹optical-see-through

²Handheld displays



شکل ۴.۲: نمونه‌ای از نمایشگرهای دستی [۱۴]

ویژگی‌های ذکر شده، دارای سنسورهایی مانند "سیستم موقعیت یاب جهانی"^۱ و قطب نمای دیجیتال هستند که برای ردیابی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. در شکل ۴.۲ می‌توانیم نمونه‌ای از این دستگاه‌ها را ببینیم.

۳.۳.۲ نمایشگرهای فضایی

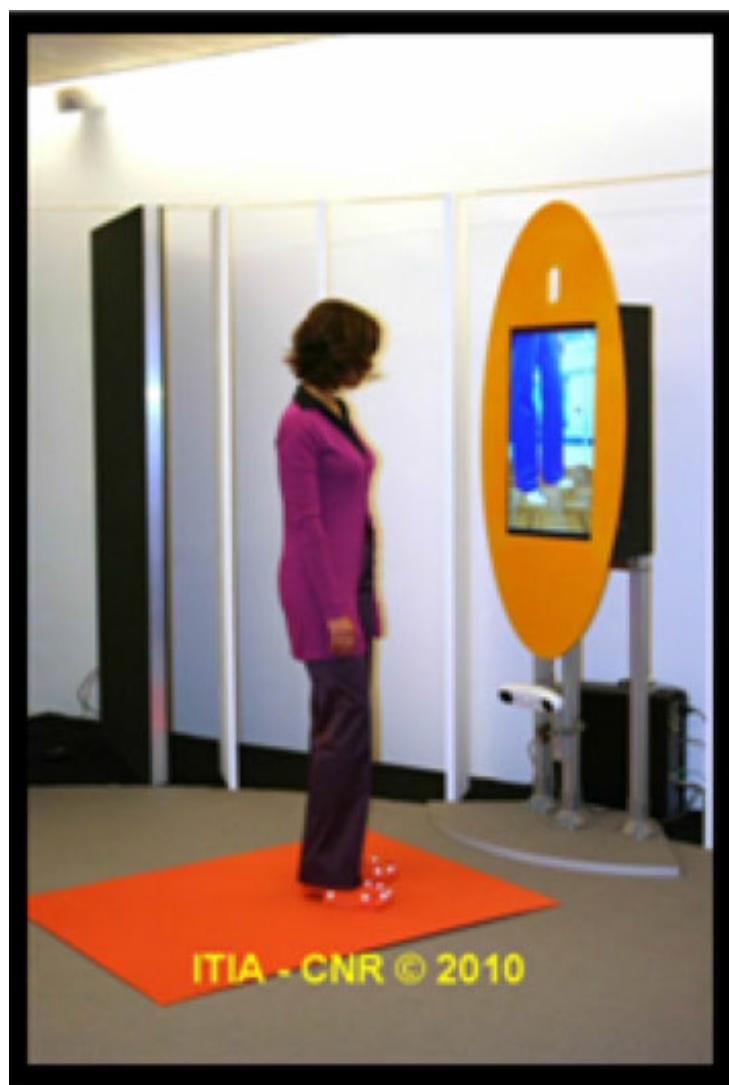
در این نوع از نمایشگرها ما شاهد واقعیت افزوده فضایی^۲ هستیم که با استفاده از ویدئو پروژکتور، عناصر نوری، هولوگرام‌ها و برچسب‌های فرکانس رادیویی به صورت مستقیم عناصر مجازی را به درون دنیای واقعی می‌اورند و دیگر کاربر نیازی ندارد که دستگاهی را بر روی سرخود قرار بدهد و یا اینکه دستگاهی را حمل بکند شکل ۵.۲. در نمایشگرهای فضایی^۳، بیشتر فناوری بدون وابستگی به کاربر است و بدون دخالت او، عناصر مجازی را با روش اضافه کردن مستقیم^۴ با دنیای واقعی ادغام می‌کنیم [۱۵].

¹Global Positioning System (GPS)

²Spatial Augmented Reality (SAR)

³spatial displays

⁴direct augmentation



شکل ۵.۲: نمونه‌ای از نمایشگرهای فضایی [۱۵]

۴.۲ ورودی و تعامل

سیستم‌های واقعیت افزوده می‌توانند روش‌های مختلف دریافت ورودی را با یک دیگر ترکیب بکنند، مانند دریافت از صوت، دستکش‌های مخصوص، لمس کردن تصویر، پردازش تصویر و غیره. دریافت ورودی‌ها در برنامه‌های مختلف با توجه به نیاز هر برنامه متفاوت است. سیستم‌های طراحی شده برای دریافت ورودی و تعامل با واقعیت افزوده را می‌توان به ۵ دسته زیر تقسیم نمود:



شکل ۲: نمونه‌ای از پروژه ناوی کم [۱۲]

۱.۴.۲ مرورگرهای اطلاعات

مرورگرهای اطلاعات^۱ رابطی است برای نشان دادن اطلاعات واقعیت افزوده بر روی دنیای واقعی. این نوع از دریافت اطلاعات و تعامل، نماینده‌ای از برنامه‌های واقعیت‌های افزوده است و در جایی کار می‌کنند که نمایشگر واقعیت افزوده به عنوان پنجره‌ای به سوی فضای اطلاعاتی در نظر گرفته می‌شود و وظیفه اصلی کاربر این است که این پنجره را کنترل کرده تا بتواند اطلاعات را دریافت بکند. اولین نمونه از این برنامه "ناوی کم"^۲ شکل ۶.۲ است که بر روی گوشی‌های هوشمند پیاده‌سازی شد. این نوع از برنامه‌ها نیاز به انجام تعامل‌های پایه دارد و شیوه کار آن‌ها به این صورت است که صحنه واقعیت افزوده را پردازش می‌کنند و اطلاعات برای کاربر پردازش می‌شود [۱۲].

۲.۴.۲ رابط کاربر ۳ بعدی

در مدل رابط کاربر ۳ بعدی^۳ با استفاده از تکنیک‌های تعاملی^۴ بعدی به ارتباط با محظوظ در فضای پردازیم. این روش یکی از راه‌های جذاب و مناسب برای تعامل است. "بومن"^۴ به‌طور خلاصه این فرایند را به سه قسمت

¹Information Browsers

²NaviCam

³3D User Interfaces

⁴Bowman



شکل ۷.۲: استفاده از رابط کاربر ۳ بعدی [۱۶]

تقسیم کرده است [۱۶].

• **جهتیابی^۱**: در این قسمت نیاز است که عنصر ۳ بعدی دیده شود و در اصل به سمت آن جهتیابی شویم، این قسمت بسیار ساده است و با حرکات بدن کاربر قابل پیاده‌سازی است. در بسیاری از دستگاه‌ها کاربر می‌تواند در سه بعد حرکت کند و در هر سه جهت نیز بچرخد.

• **انتخاب^۲**: در این قسمت نیاز است تا کاربر بتواند برای تعامل، عنصر مجازی را انتخاب بکند، برای این قسمت می‌توان از دستگاه‌های مختلف مانند سنسورها، جوی استیک^۳ و... استفاده کرد.

• **دستکاری^۴**: این قسمت گام آخر است و کاربر می‌تواند تعامل خود را با عناصر مجازی به راحتی انجام دهد.

در شکل ۷.۲ نمونه‌ای از استفاده از رابط کاربری ۳ بعدی را می‌توان مشاهده نمود.

¹navigation

²selection

³joysticks

⁴manipulation



شکل ۸.۲: استفاده از رابط کاربر قابل لمس [۱۷]

۳.۴.۲ رابط کاربر قابل لمس

در رابط کاربر قابل لمس^۱ از رابط‌ها، برای ارتباط با عناصر مجازی از عناصر دنیای واقعی استفاده می‌کنیم. این اجسام مانند پلی بین دنیای واقعی و دنیای مجازی می‌باشند و تعامل را برقرار می‌سازند. این روش یکی از روش‌های نوین برای تعامل با دنیای مجازی است، اما مشکلات خود را نیز دارد. به عنوان مثال، وقتی که قصد داریم یک عنصر مجازی را بر روی عنصر فیزیکی به وجود بیاوریم، این عنصر مجازی یا باید با استفاده از پرتو تابیده شود، و یا بر روی نمایشگر کاربر ظاهر شود، در این رابط، ممکن است فاصله‌ای بین جسم مجازی و فیزیکی به وجود بیاید که ناخوشایند است [۱۷]. در شکل ۸.۲ نمونه‌ای از استفاده از رابط کاربر قابل لمس را می‌توان مشاهده نمود.

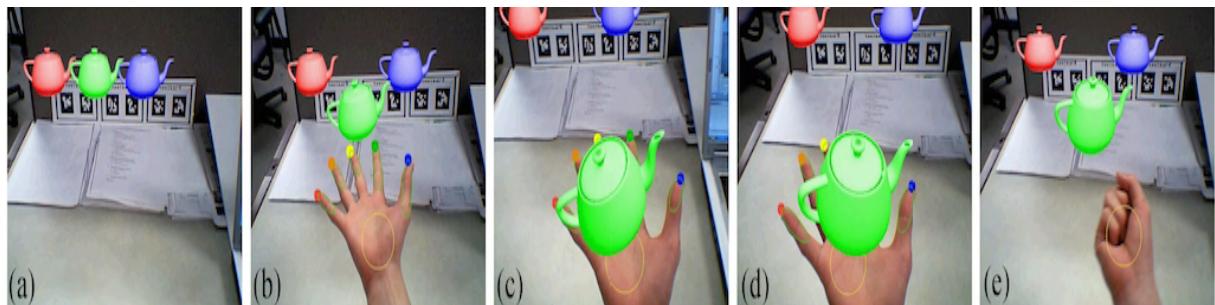
۴.۴.۲ رابط کاربر طبیعی

در مدل رابط کاربر طبیعی^۲ از اجزای طبیعی بدن مانند دست‌ها استفاده می‌کنیم، در این حالت اجزای بدن می‌توانند ردیابی شوند و تشخیص داده شوند با استفاده از سنسورهای مختلفی که کاربر می‌تواند پوشیده باشد. سنسورهای مختلفی در اندازه‌ها و شکل‌های مختلفی برای این کار ساخته شده‌اند. با پیشرفت کامپیوترها، سیستم‌های واقعیت افزوده توانستند حرکت و ژست بدن کاربر را بدون نیاز به سنسورها تشخیص بدهند. به طور

¹Tangible User Interfaces

²Natural User Interfaces

مثال لی^۱ توانست سیستمی را طراحی کند که توانایی شناسایی دست و حرکت‌های آن را داشته باشد [۱۸]. به طور مثال در شکل ۹.۲ می‌توان روش ارائه شده توسط لی را مشاهده نمود.



شکل ۹.۲: استفاده از رابط کاربر طبیعی [۱۸]

۵.۴.۲ رابط چند منظوره

برای تعامل قوی‌تر در برنامه‌های واقعیت افزوده، محققین سعی کردند تا مدل‌های مختلفی از ورودی‌ها را با یکدیگر ترکیب کنند، در این میان ترکیب گفتار^۲ و تشخیص ژست^۳، یکی از گستردگرترین و فعال‌ترین بخش‌ها بوده است.

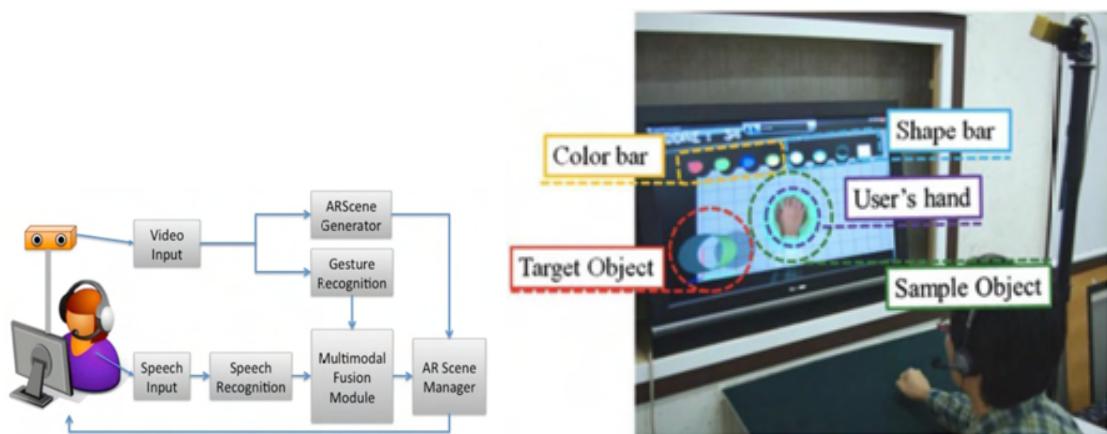
لی در این رابطه تحقیقات زیادی انجام داد و یک سیستم چندمنظوره را طراحی کرد که در آن با استفاده از یک دوربین به ردیابی ژست دست می‌پرداخت و همچنین با دریافت گفتار و ترکیب این دو، دستورات را شناسایی می‌کرد و به تعامل با کامپیوتر می‌پرداخت. او توانست دقیق را در این روش شناسایی کند و بیان کرد که با این ترکیب در سیستم واقعیت افزوده ۲۵ درصد سریع‌تر به نسبت تشخیص ژست بهتنهایی، می‌توان به تعامل پرداخت [۱۹]. به طور مثال در شکل ۱۰.۲ می‌توان روش ارائه شده توسط لی برای رابط چند منظوره^۴ را مشاهده نمود.

¹Lee

²speech

³gesture recognition

⁴Multimodal Interfaces



شکل ۲: رابط چند منظوره [۱۹]

۵.۲ نمایش

در واقعیت افزوده، اشیاء مجازی و دنیای واقعی باید با یکدیگر ترکیب شوند و به صورت همزمان نمایش داده شوند. برای رسیدن به این هدف قبل از به نمایش درآمدن واقعیت افزوده چندین فرایند باید انجام شوند که عبارتند از: کالیبره کردن دوربین^۱، ثبت^۲، ردیابی و ساخت^۳.

کالیبره کردن دوربین رویه‌ای است که در آن پارامترهای دوربین مجازی با دوربین واقعی منطبق می‌شود شکل

.۱۱.۲

این امر برای نمایش صحیح اشیاء مجازی منطبق باید کاربر، نیاز است. دوربین‌ها دارای دو نوع از پارامترها هستند، پارامترهای داخلی و پارامترهای خارجی.

• **پارامترهای داخلی**، پارامترهایی هستند که ساختار سه بعدی محیط را به تصویر دو بعدی تبدیل می‌کنند.

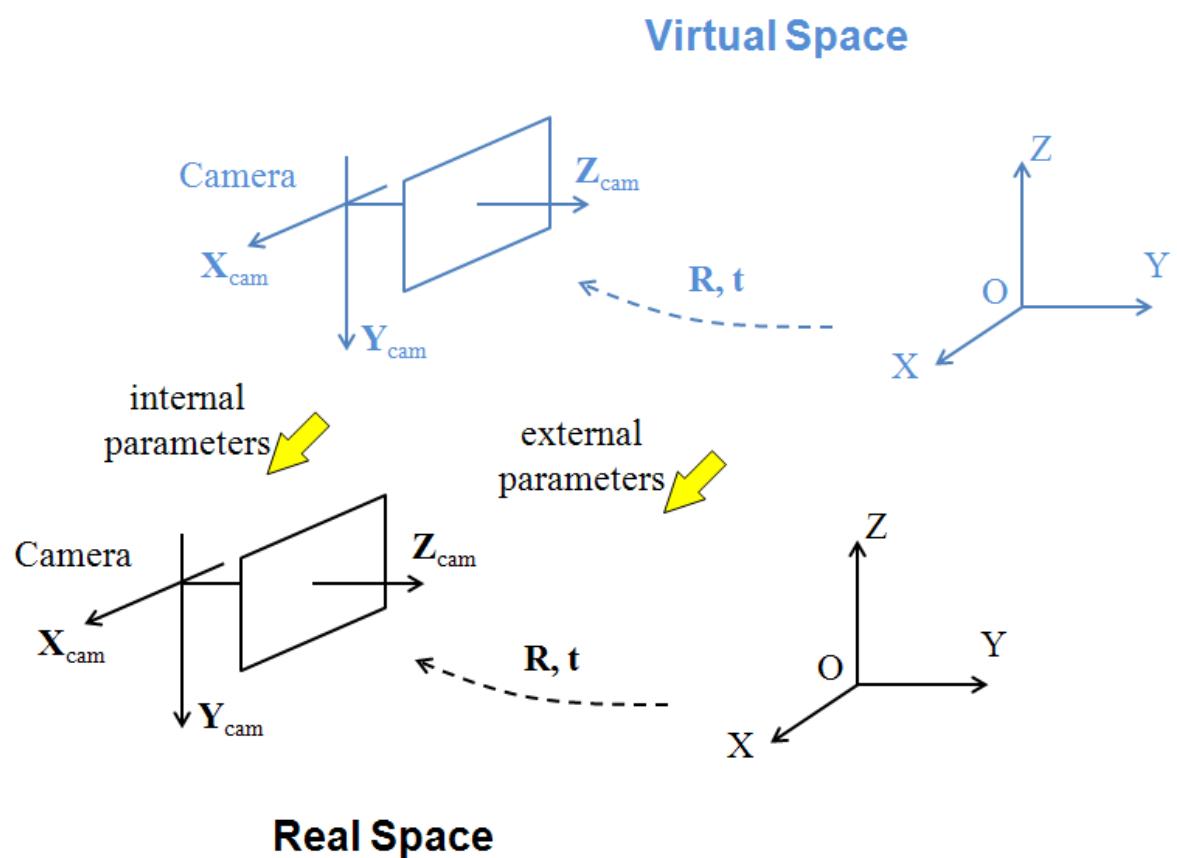
پارامترهای داخلی با تهیه چندین تصویر توسط دوربین از الگوهای شناخته شده و مقایسه ویژگی‌های تصاویر به دست آمده از این الگوها با ویژگی‌های سه بعدی آنها، تعیین می‌شوند. این امر معمولاً قبل از شروع به کار سیستم واقعیت افزوده انجام می‌شود.

• **پارامترهای خارجی** با ردگیری دوربین و تعیین فاصله و جهت دوربین تعیین می‌شوند. هنگامی که صحنه

¹calibration

²registration

³construction



شکل ۱۱.۲: منطبق کردن پارامترهای داخلی و خارجی [۲۰]

ایستا است تنها تعیین پارامترهای خارجی دوربین در حالت اولیه کافی است ولی در صحنه‌هایی که تغییر می‌کنند به این دلیل که هر تغییری ممکن است در صحنه مجازی که قرار است به محیط واقعی اضافه شود، تغییر ایجاد کند، هر جسم مهمی که مکان آن تغییر می‌کند باید ردگیری شود [۲۰].

با استفاده از روش‌های ردگیری، مکان و جهت دوربین و اجسام موجود در هر صحنه مشخص می‌شود. برای آنکه صحنه مجازی به صورت صحیح به صحنه واقعی افزوده شود، هر صحنه مجازی باید با صحنه واقعی متناظر خود تطبیق داده شود، به این رویه، رویه ثبت گفته می‌شود. پس از تطبیق صحنه واقعی با صحنه مجازی، تصویر غنی‌شده ایجاد می‌شود که می‌تواند طبق کاربرد و فناوری به کاربرده شده به صورت دیجیتالی و یا به صورت فیزیکی نمایش داده شود.

در این بخش ابتدا به بررسی انواع فناوری‌های نمایش مورد استفاده در واقعیت افزوده و سپس از نظر نوع نمایش و فاصله محل قرارگیری از چشم کاربر بررسی می‌شوند.

۱.۵.۲ فناوری نمایش

فناوری‌های نمایش واقعیت افزوده بسته به نوع ترکیب تصویر مجازی با تصویر واقعی به سه دسته تقسیم می‌شوند: ویدیوئی^۱، دید نوری^۲ و ایجاد تصویر بر روی یک سطح فیزیکی^۳.

ویدیوئی

در این نوع نمایش ابتدا تصویر محیط واقعی را به وسیله دوربین به صورت دیجیتالی تبدیل می‌کنند و سپس تصویر مجازی به کمک روش‌های پردازش تصویر، به تصویر محیط واقعی اضافه می‌شود. در بیشتر موارد دوربین در پشت صفحه نمایش متصل می‌شود و اجازه دیدمستقیم به محیط را می‌دهد. در واقع در این مدل دنیای واقعی را از طریق صفحه نمایش می‌بینیم. دوربین می‌تواند در زوایای دیگر نیز قرار گیرد مثلاً رو به کاربر برای ایجاد یک آینه مجازی [۲۰]. با رایج شدن استفاده از دوربین‌های دیجیتال در رایانه‌ها، رایانه‌های لوحی و تلفن‌های هوشمند پیاده‌سازی واقعیت افزوده به سادگی امکان‌پذیر شده است. این امر سبب شده تا واقعیت افزوده ویدیوئی

¹Video based

²Optical see-through

³Projection onto a physical surface

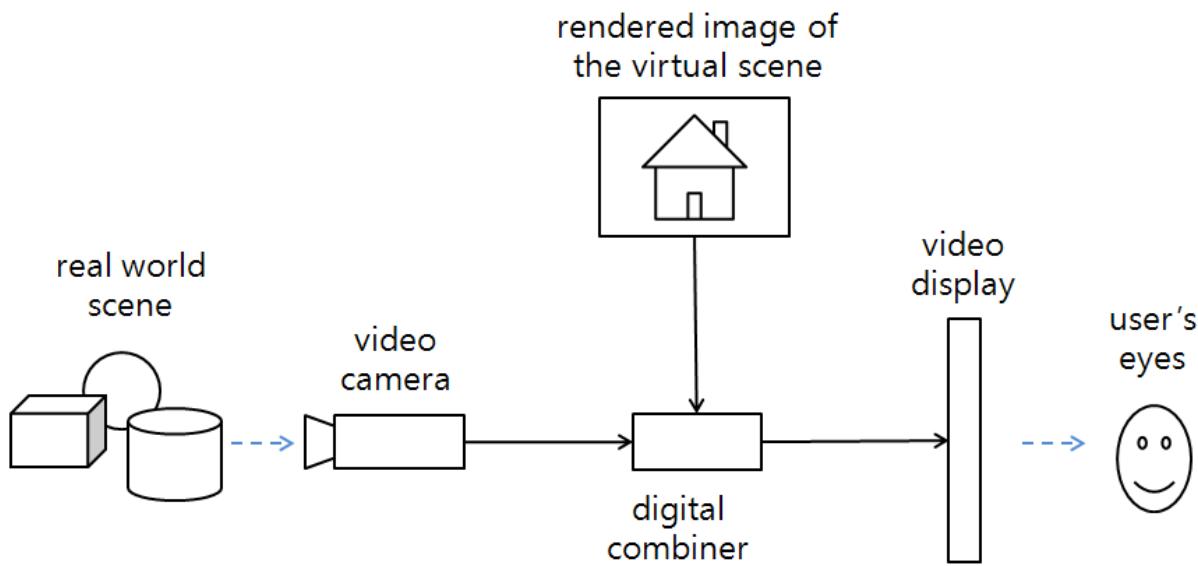


شکل ۱۲.۲: اضافه شدن اشتباہ در شکل سمت چپ و تصحیح آن در سمت راست [۲۱]

به عمومی‌ترین نوع واقعیت افزوده تبدیل شود. همچنین با وجود دوربین‌های دیجیتال و الگوریتم‌های پیشرفته ردگیری امکان افزایش دقت ترکیب تصویر واقعی با تصویر مجازی، در حد پیکسل فراهم شده است. یکی از مشکلات رایج این نوع واقعیت افزوده، عدم رعایت صحیح رابطه بین اجسام واقعی و مجازی است بدین صورت که قسمتی از جسم واقعی که نزدیک‌تر از محل قرارگیری جسم مجازی است در زیر جسم مجازی اضافه شده به تصویر، قرار می‌گیرد [۲۱].

همان‌طور که در شکل ۱۲.۲ دیده می‌شود در سمت چپ شی مجازی به صورت نادرستی به محیط واقعی اضافه شده است و این مشکل در شکل سمت راست رفع شده است. این مشکل با به دست آوردن اطلاعات عمقی صحنه واقعی و مقایسه این اطلاعات با اطلاعات مجازی که باید به صحنه واقعی اضافه شود قابل حل است. جدیدترین روش به دست آوردن اطلاعات عمقی محیط استفاده از روش‌های تصویر پایه است [۲۰]. بدین صورت که با مقایسه دو تصویر و ترکیب آنها اطلاعات عمقی محیط به دست می‌آید. از دیگر روش‌های به دست آوردن عمق محیط استفاده از دوربین‌های پیمایش عمقی است که همراه با تصویر رنگی یک نقشه از اطلاعات عمقی محیط را نیز فراهم می‌کنند.

اصلی‌ترین مشکل واقعیت افزوده ویدیوئی، دید غیرمستقیم (از طریق نمایشگر) از محیط است [۲۰، تصویری که از طریق دوربین تهیه شده است دارای چندین محدودیت مانند وضوح و کیفیت تصویر، جابجایی چشم و تأخیر است. این کاستی‌ها در کاربردهایی مانند پزشکی که دیدمستقیم از محیط نیاز است بسیار مهم می‌شوند. از دیگر مشکلات این نوع نمایش، نیاز بالای قدرت پردازشی است. با وجود افزایش قدرت پردازشی در سال‌های



شکل ۱۳.۲: نمایش دید نوری [۲۰]

اخير، در مقایسه با ديگر انواع نمایش واقعیت افزوده هنوز نیاز به افزایش قدرت پردازش در این نوع واقعیت افزوده هست.

دید نوری

این نوع از واقعیت افزوده از سیستم‌های نوری برای نمایش تصویر مجازی به همراه تصویر محیط واقعی استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها معمولاً از جداکننده نور^۱ استفاده می‌کنند. این جداکننده تصویر واقعی را با انعکاس تصویر مجازی ترکیب کرده و نمایش می‌دهد شکل ۱۳.۲. بتصویر مجازی ترکیب کرده و نمایش می‌دهد شکل. بیشتر این نوع از سیستم‌ها از ملحق کننده نور، جدا از صفحه‌نمایش برای ترکیب دنیای واقعی و تصویر مجازی استفاده می‌کنند. اخیراً با پیشرفت فناوری صفحه‌نمایش‌هایی ساخته شده که شفاف هستند، استفاده از آنها در واقعیت افزوده بهشدت روبه افزایش است. استفاده از این نوع صفحه‌نمایش‌ها باعث سادگی و کوچک شدن ساختار سیستم دید نوری واقعیت افزوده می‌شود [۲۰].

یکی از مهم‌ترین برتری‌هایی که این روش نسبت روش ویدیوئی دارد ایجاد دیدمستقیم از محیط واقعی است. با این امکان این نوع از واقعیت افزوده از مشکلاتی مانند تأخیر، کم بودن وضوح و غیره رنج نمی‌برد و برای کاربردهای مناسب است که به دیدمستقیم از دنیای واقعی نیاز دارند مانند کاربردهای پزشکی و نظامی که این‌یک ویژگی بسیار

^۱beam splitters (e.g. half mirrors or combined prisms)

مهم است.

اصلی‌ترین مشکل این نوع از واقعیت افزوده دقت پایین در نگاشت دو تصویر محیط واقعی و مجازی بر روی یکدیگر است. در بیشتر پیاده‌سازی‌ها نیاز به کالیبره کردن رویه ثبت است که معمولاً دقت پایین‌تری نسبت به رویه‌های خودکار موجود در واقعیت افزوده ویدیوئی دارند. به این دلیل که پارامترهای کالیبره کردن تصاویر واقعی و مجازی به نسبت زیادی وابسته به فضای بین چشم کاربر و صحنه موردنظر است و این فضا در طول زمان تغییر می‌کند و باعث ایجاد خطای نگاشت دو تصویر واقعی و مجازی بر یکدیگر می‌شود [۲۰].

یکی دیگر از مشکلات واقعیت افزوده دید نوری تأخیر موقتی بین نمایش تصویر مجازی و دیده مستقیم واقعی است. با وجود سیستم ردگیری دقیق بازهم یک تأخیر موقتی بین نمایش تصویر مجازی و دید دنیای واقعی وجود دارد.

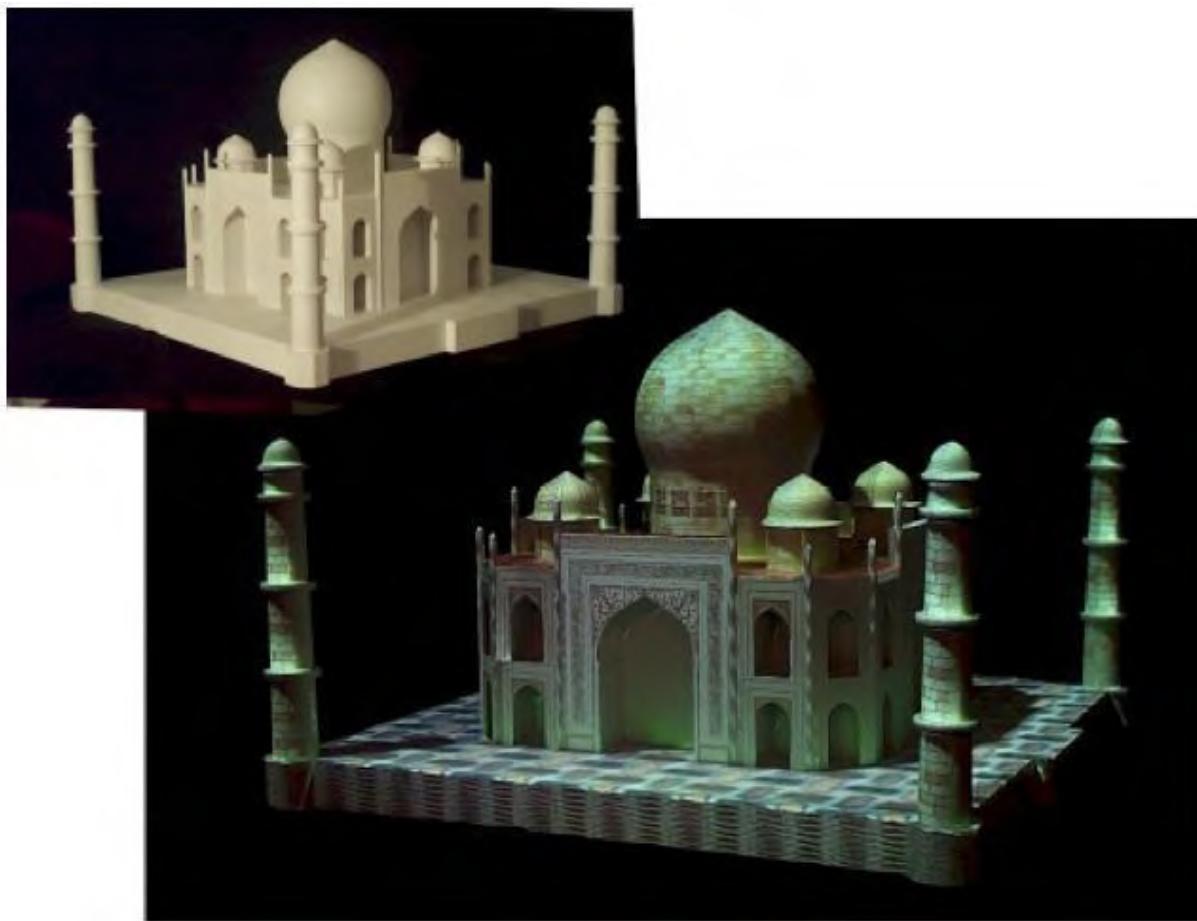
در بسیاری از موارد، ایجاد رابطه صحیح عمقی بین دنیای واقعی و مجازی در واقعیت افزوده دید نوری مشکل است. با توجه به ماهیت نیمه شفاف ترکیب‌کننده تصاویر، کاربران یک دید نیمه شفاف از تصویر دنیای واقعی و مجازی دارند. به صورتی که، هیچ‌کدام دیگری را تماماً نمی‌پوشاند. کیاکاوا^۱ و همکاران [۲۲] برای رفع این مشکل یک ماسک الکترونیکی برای پوشاندن مکان‌هایی که اشیاء مجازی اضافه می‌شوند طراحی کرد. با بستن پیکسل‌هایی از صفحه‌نمایش که اشیای مجازی در آن پیکسل‌ها قرار می‌گیرند دید دنیای واقعی بسته‌شده و اشیاء مجازی واضح‌تر به نمایش درمی‌آیند.

شرایط نوری محیط می‌تواند در دید واقعیت افزوده دید نوری تأثیرگذار باشد. در اکثر مواقع ترکیب‌کننده نوری دارای شفافیت ایستا است که می‌تواند باعث خطای میزان روشنایی تصویر مجازی و دید محیط واقعی شود. در محیط‌های بیرونی اشیاء مجازی باید تیره‌تر از تصویر محیط واقعی به نمایش درآیند. برای رفع این مشکل نمایشگرهای متصل به سر به چندین کاور با میزان شفافیت متفاوت مجهز شده‌اند.

نمایش مبتنی بر نورپردازی

واقعیت افزوده مبتنی بر نورپردازی سطح یک جسم واقعی را به کمک نورپردازی با تصویر مجازی می‌پوشاند شکل ۱۴.۲. با توجه به ترکیب ردگیری زاویه دید کاربر و سطح فیزیکی اجسام، واقعیت افزوده مبتنی بر نورپردازی

^۱Kiyokawa



شکل ۱۴.۲: نمایش دید نوری [۲۴]

دارای قابلیت اضافه کردن تعاملی را دارد [۲۳]. در بیشتر مواقع برای این منظور از ویدئو پروژکتور متصل به سقف و یا دیوار برای پوشاندن سطح اجسام استفاده می‌شود. این امر سبب می‌شود که قابلیت جابجایی وجود نداشته باشد و محدود به مکانی باشد که پروژکتور می‌تواند نورپردازی کند. البته در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای ایجاد قابلیت جابجایی برای ویدئو پروژکتورها شده است که می‌توان به نمونه‌هایی که قابلیت قرار گرفتن در دست [۲۴] و متصل شدن به سر است [۲۵] اشاره کرد.

یکی از محدودیت‌های واقعیت افزوده مبتنی بر نورپردازی، نیازمند بودن به سطح یک جسم برای نمایش تصویر مجازی است که باعث می‌شود تنها اجسام نزدیک به پروژکتور مناسب باشند و در استفاده برای کاربردهای شهری محدودیت ایجاد می‌کند. همچنین این نوع از واقعیت افزوده وابستگی بیشتری به شرایط نوری محیط دارد چراکه سایه دیگر اجسام می‌تواند مشکل‌ساز باشد. همچنین ایجاد رابطه صحیح عمقی بین سطح جسم موردنظر و دیگر اجسام مشکل است.

۲.۶ رندرینگ به چه معنا است؟

در حوزه واقعیت افزوده، ۳ واژه بسیار مهم وجود دارد به نام ردیابی^۱، کالیبراسیون^۲ و ثبت^۳ که زیرمجموعه رندرینگ^۴ می‌باشند و در کنار هم به این واژه معنا می‌دهند. این ۳ واژه همیشه همراه هم هستند و در یک هدف قرار دارند. برای ثبت پویا^۵، نیاز به داشتن ردیابی هستیم. عناصر درون سیستم واقعیت افزوده ثبت می‌شوند و سپس در یک سیستم هماهنگ، این عناصر ثبت شده به دنیای واقعی پیوند^۶ می‌شوند. در واقعیت افزوده هدف اصلی این است که اطلاعات مجازی دقیقاً به صورتی که از قبل برنامه‌ریزی شده‌اند، ثبت بشوند. کالیبراسیون به صورت دقیق اطلاعات حس‌گرها^۷ را دریافت و پردازش می‌کند و مسئولیت ثبت ایستا^۸ با این فرایند است [۲۶].

در شکل ۱۵.۲ می‌توانیم روابط بین ثبت، کالیبراسیون و ردیابی را در کنار هم و به صورت نمادین ببینیم.

ردیابی واژه‌ای است که برای حس کردن و محاسبه کردن مقادیر در واقعیت افزوده به کار می‌رود. برای تبدیل کردن موقعیت در ۳ بعد عناصر مجازی، به موقعیت‌های نسبی، نیاز به جهت‌یابی داریم. واقعیت افزوده به صورت بلادرنگ کار می‌کند درنتیجه برای ارسال مقدار از محیط واقعی باید به صورت بلادرنگ^۹ عمل کرد و همین‌طور این کار باید پیوسته در زمان صورت بگیرد. ردیابی درون سیستم‌های رایانه‌ای برای اجسام ۲ بعدی کاری رایج است اما سختی کار در اینجا ردیابی در محیط بیرون و در سه جهت مختصات برای همه‌ی نوع‌های عناصر است [۲۶].

به عملیات مقایسه کردن مقادیر بین دو دستگاه، کالیبراسیون گفته می‌شود. یکی بین دستگاه مرجع^{۱۰} و دیگری بین دستگاهی که نیاز دارد اطلاعات کالیبره شده را دریافت بکند. مختصاتی که از محیط واقعی میدانیم را به دستگاه مرجع می‌دهیم. برخلاف ردیابی که باید به صورت پیوسته انجام شود، عملیات کالیبراسیون در بخش‌های مختلف زمانی و به صورت گسسته انجام می‌شود و برای هر دستگاه فقط یک بار این کار صورت می‌گیرد.

¹Tracking

²Calibration

³Registration

⁴Rendering

⁵dynamic

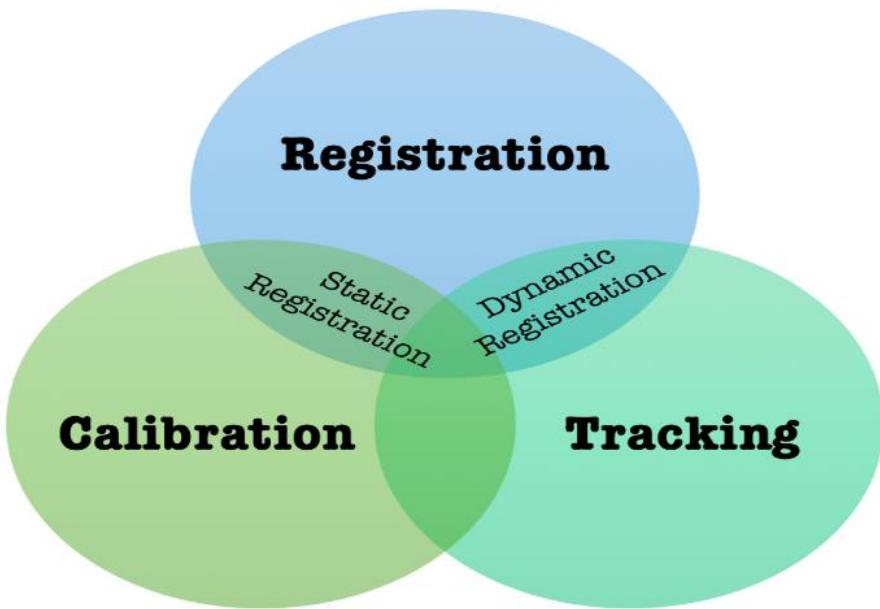
⁶aligned

⁷sensor

⁸Static

⁹real time

¹⁰reference



شکل ۱۵.۲: ارتباط ثبت، ردیابی و کالیبراسیون [۲۶]

مگر اینکه دستگاه دچار مشکل بشود. کیفیت کاری دستگاه‌های واقعیت افزوده وابستگی زیادی به عملیات کالیبراسیون دارد [۲۶].

به فرایند پیوند زدن مختصات عناصر مجازی با واقعی، ثبت می‌گوییم. به‌طور مشخص نمایشگر واقعیت افزوده باید با کیفیت بالا، عناصر مجازی را نشان دهد و یا اینکه به عناصر واقعی پیوند بزنند. برای این کار نیاز داریم تا عملیات ردیابی به صورت کامل کار خود را انجام دهد. اگر موقعیت دوربین ثابت باشد، ما فقط با عملیات ثبت و کالیبراسیون می‌توانیم مختصات بین عناصر مجازی و واقعی را تشخیص بدھیم ولی اگر دوربین خاصیت جابه‌جایی داشته باشد، ما به عملیات ردیابی نیز، نیاز داریم [۲۶]. برای آوردن عناصر مجازی به دنیای واقعی، نیاز به یک لنگر^۱ داریم که باید ژست (جهت^۲ و موقعیت^۳) آن مشخص باشد، این لنگر باید متعلق به دنیای واقعی باشد و می‌تواند شکل‌های مختلفی به خود بگیرد، به عنوان مثال می‌تواند یک منبع مغناطیسی باشد، یا نشانگر تصویر کاغذی^۴ و یا موقعیت جغرافیایی که بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی تشخیص داده می‌شود.

¹anchor

²position

³orientation)

⁴paper image marker

وابسته به نوع فناوری که استفاده می‌شود پروسه ثبت می‌تواند به یکی و یا هر دو فاز زیر تقسیم شود.

فاز ثبت: در این فاز، ژست عنصری که در حال مشاهده است با توجه به دنیای واقعی مشخص می‌شود.

فاز ردیابی: در این فاز، ژست عنصری که در حال مشاهده آن هستیم را به صورت نسبی اندازه‌گیری می‌کنیم.

در این بخش مطابق با اصطلاحات رایج از کلمه ردیابی برای هر دو فاز استفاده می‌کنیم و در ادامه روش‌های

رایج برای ردیابی که در جهت ثبت استفاده می‌شود را بیان می‌کنیم.

فصل ۳

کارهای مرتبط

۱.۳ معرفی فصل

همان طور که در شکل ۱.۳ می‌بینیم، ما در خت موضعی برای واقعیت افزوده را درآورده‌یم و در بخش دوم به بیان عناصر آن پرداختیم. واقعیت افزوده را به همراه مثال‌های آن در بخش‌های اول و دوم بررسی کردیم، سپس انواع دستگاه‌هایی که می‌توان بر روی آن‌ها واقعیت افزوده را پیاده‌سازی کرد معرفی کردیم و مختصر روش‌های تعامل و دریافت ورودی در این سیستم را بررسی کردیم و همچنین انواع روش‌های نمایش در این سیستم را طبقه‌بندی کرده و روش کار را شرح دادیم.

همان طور که در بخش دوم اشاره شد، محقق آزوما بیان می‌کند که واقعیت افروده باید ^۳ ویژگی داشته باشد [۱۱]

- ۱- باید توانایی ترکیب دنیای واقعی و مجازی را دارا باشد.
- ۲- باید با دنیای واقعی در ارتباط باشد.
- ۳- باید به صورت ^۳ بعدی قابل استناد باشد.

برای شرط سوم، باید سیستم واقعیت افزوده ما قابلیت ثبت شدن^۱ به صورت ^۳ بعدی را دارا باشد به معنای دیگر باید بتواند به صورت جزئی از دنیای واقعی به نظر بیاید. در این بخش بر روی فناوری که این نیاز را برطرف می‌کند تمرکز می‌کنیم.

۲.۳ ردیابی مغناطیسی

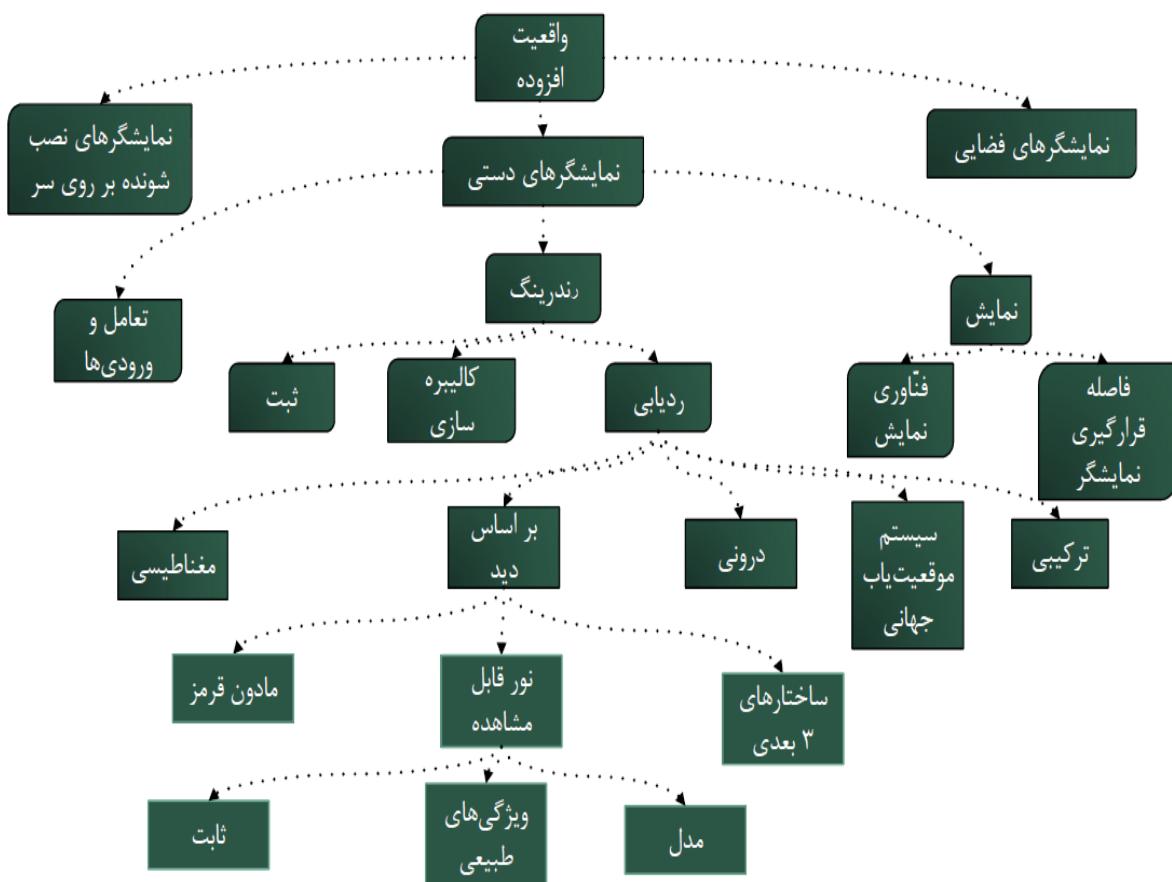
ردیابی مغناطیسی^۲ از خواص میدان‌های مغناطیسی به منظور محاسبه ژست یک گیرنده که به عنوان یک لنگر در دنیای واقعی شناخته می‌شوند، با توجه به فرستنده استفاده می‌کند. در این مدل، فرستنده یک میدان مغناطیسی را به صورت متناوب تولید می‌کند که توسط یک و یا چند حسگر این اطلاعات دریافت می‌شود. با محاسبه قطب^۳ و گرایش^۴ میدان مغناطیسی دریافت شده، ژست دریافت‌کننده با سرعت بالایی قابل محاسبه است.

¹registration

²Magnetic Tracking

³polarization

⁴orientation



شکل ۱.۳: درخت موضوعی مربوط به واقعیت افزوده

زمانی که از این معیار در سیستم واقعیت افزوده استفاده می‌کنیم، ردیاب مغناطیسی فرستنده به عنوان منشأ سیستم مختصات مجازی عمل می‌کند، و با نصب کردن یک دریافت‌کننده در عنصری که سعی در دیدن آن داریم، موقعیت و جهت آن قابل محاسبه است [۲۷].

ردیاب‌های مغناطیسی نرخ بروز رسانی بالایی دارند و همچنین دریافت‌کننده آن‌ها کوچک و سبک هستند. ولی باید توجه داشت که قدرت میدان مغناطیسی با مکعب فاصله رابطه عکس دارد و همچنین دقت آن با توان ۴ فاصله رابطه عکس دارد. همچنین ردیابی مغناطیسی دارای معایب دیگری نیز می‌باشد مثلاً مستعد نوسان اندازه‌گیری^۱ است و نسبت به مواد مغناطیسی و میدان‌های الکتریکی در محیط واقعی حساس است.

شکل ۲.۳ نشان‌دهنده وضوح در ردیابی مغناطیسی دستگاه‌های شرکت پولهموس^۲ است که تأثیر فاصله بین دریافت‌کننده و فرستنده را نمایش می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است در فاصله‌های پایین این خطاب سیار کم است اما با افزایش فاصله به صورت نمادی خط افزایش می‌ابد. ردیابی مغناطیسی در طیف وسیعی از سامانه‌های واقعیت افزوده استفاده شده است، مانند برنامه‌هایی در حوزه‌های تولید [۲۷]، نگهداری [۲۹]، سلامت [۳۰].

۳.۳ ردیابی بر اساس دید

ردیابی بر اساس دید^۳، یک روش است که شامل ثبت و ردیابی می‌شود درنتیجه در دسته ثبت پویا قرار می‌گیرد و با استفاده از این روش، ما ژست دوربین را با استفاده از گرفتن و پردازش اطلاعاتی که توسط حسگرهای نوری جمع‌آوری می‌شوند، انجام می‌دهیم. این حسگرهای نوری خود به^۴ ۳ بخش اصلی تقسیم می‌شوند: حسگرهای مادون قرمز^۵، حسگرهای نورهای قابل مشاهده^۶ و حسگرهای ساختار^۷ بعدی^۸.

ردیابی بر اساس دید، در سیستم‌های واقعیت افزوده بسیار محبوب شده‌اند به دلیل حداقل سخت‌افزارهای موردنیاز، بهبود قدرت محاسباتی دستگاه‌های مشتریان و همه‌گیر شدن دستگاه‌های قابل حمل مانند تلفن‌های

¹measurement jitter

²Polhemus

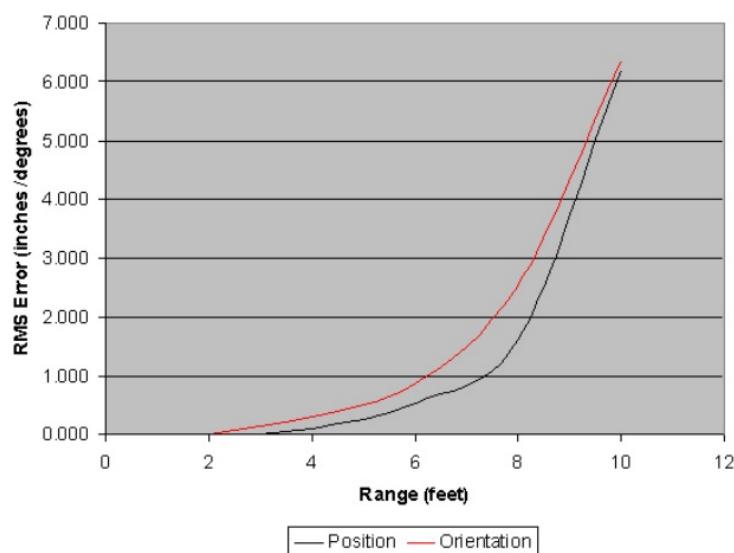
³Vision Based Tracking

⁴Infrared Sensors

⁵Visible Light Sensors

⁶3D structure sensors

Polhemus Magnetic Tracking Error



شکل ۲.۳: ارتباط فاصله با وضوح محاسبات در ردیابی مغناطیسی [۲۸]

همراه و رایانک‌های لوحی^۱ که دارای صفحه‌نمایش و دوربین می‌باشند درنتیجه برای سیستم‌های واقعیت افزوده بسیار ایده‌آل هستند.

در زیر بخش‌های بعدی در رابطه با حسگرها مختلف در رديابي بر اساس ديد صحبت می‌کنیم و آن‌ها را بر اساس سخت‌افزاری که استفاده می‌کنند دسته‌بندی می‌کنیم.

۱.۳.۳ رديابي مادون قرمز

رديابي مادون قرمز^۲، يکی از اولین روش‌های رديابي با استفاده از نور بوده است و اين روش نورهای منتشرشده و يا بازتاب نور را هدف قرار می‌دهد و به راحتی می‌تواند میزان شدت نور را با مقایسه در اطراف محیط به دست آورد^۳[۳۱]. هدف که نوری را منتشر می‌کند نسبت به اثرات نامطلوب نور مانند نور ضعیف محیط و يا سایه‌ها بسیار مقاوم است. این هدف‌ها همچنین می‌توانند به عنصری که قصد داریم با استفاده از دوربین آن را رديابي بکنیم وصل بشوند، به اين روش نگاه کردن بیرون از داخل^۴[۳۲] گفته می‌شود و يا در محیط‌های بیرونی که دوربین به هدف وصل شده است با عنوان نگاه کردن داخل از بیرون^۵ شناخته می‌شود^[۳۳].

با مقایسه حسگرها به اين نتیجه رسیده ايم که با پیکربندی نگاه کردن درون از بیرون، برای تشخیص جهت بسیار بهتر از پیکربندی نگاه کردن بیرون از درون عمل می‌کند. بسیاری از سیستم‌ها با استفاده از پیکربندی نگاه کردن درون از بیرون توسعه یافته‌اند. به طور معمول يک نمایشگر ثبت‌شده بر روی سر به همراه يک دوربین خارجی است و ال‌ئی‌دی‌های مادون قرمز بر روی سقف نصب شده‌اند شکل ۳.۳. با استفاده از الگوهایی که میدانیم و اطلاعاتی که از ال‌ئی‌دی^۶ ها دریافت می‌کنیم، موقعیت و جهت سر کاربر را می‌توانیم تشخیص بدهیم^[۳۴]. مشکل اصلی در پیکربندی نگاه کردن درون از بیرون، نیاز به نصب ال‌ئی‌دی‌ها در تمام محیط بیرون است و همچنین باید بر روی دستگاه نمایشگر، حسگرهایی برای تشخیص به دوربین موبایل اضافه بشوند که وزن قابل توجه‌ای دارند همچنین این حسگرها بسیار گران و پیچیده هستند.

¹tablets

²Infrared Tracking

³outside-looking-in

⁴inside-looking-out

⁵Light-Emitting Diode (LED)



شکل ۳.۳: چپ: شمایی نمادین از نگاه کردن درون از بیرون-وسط: الئی دی های نصب شده بر روی سقف-راست: ردیاب دوربین [۳۴]

۲.۳.۳ ردیابی نور قابل مشاهده

raigترین نوع حسگرهای نوری، حسگرهای نوری هستند و در بسیاری از دوربین‌ها مانند دوربین‌های رایانه‌ها، تلفن‌های همراه و رایانک‌های لوحی می‌توان این حسگرها را پیدا کرد. برای سیستم‌های واقعیت افزوده که از فناوری دیدن از طریق ویدئو استفاده می‌کنند این سنسورها در هر دو حالت ضبط فیلم دنیای واقعی و نیز ثبت عناصر مجازی بر روی دنیای واقعی می‌توانند بسیار مفید واقع شوند.

روش‌های ردیابی نور قابل مشاهده^۱ که در سنسورهای مخصوص به خود استفاده می‌شوند، می‌توانند به سه دسته تقسیم بشوند. ردیابی ثابت^۲، ردیابی ویژگی‌های طبیعی^۳، ردیابی بر اساس مدل^۴. در ادامه به توضیح هر کدام می‌پردازیم.

ردیابی ثابت

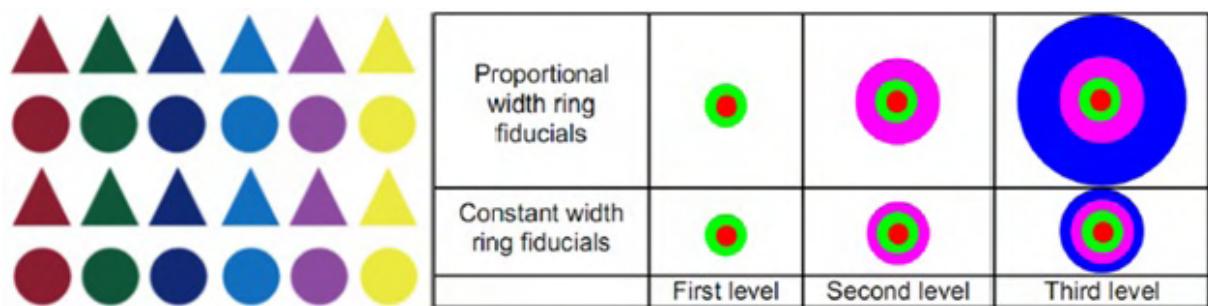
در این مدل، ما نشانه‌های ساختگی ثابتی را در نظر می‌گیریم و آن‌ها را برای ثبت کردن و ردیابی به محیط می‌دهیم^{۴.۳}. با توجه به برنامه و تکنولوژی که استفاده می‌کنیم پیچیدگی و گسترهای ثابت‌ها می‌توانند متفاوت باشند. در سیستم‌های اولیه از الئی دی های رنگی کوچک و یا تکه‌های کاغذ استفاده شده است که می‌توانستیم به محیط اضافه بکنیم و با استفاده از تطبیق رنگ آن‌ها را شناسایی بکنیم. اگر در صحنه دریافت شده توسط دوربین

¹Visible Light Tracking

²Fiducial tracking

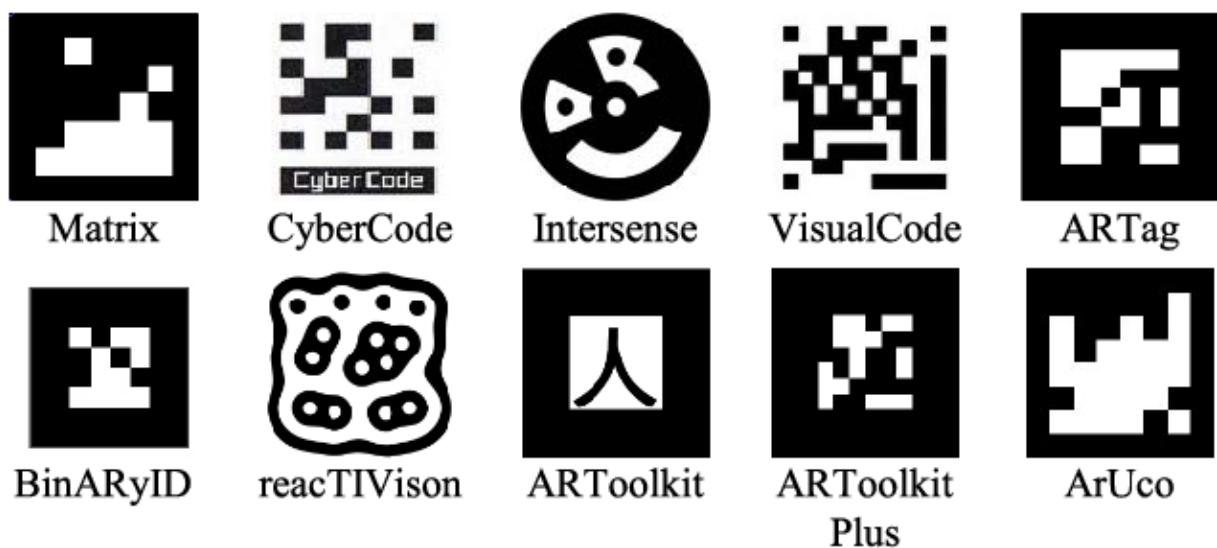
³Natural Feature tracking

⁴Model Based tracking



شکل ۴.۳: چپ: نشانه های رنگی ثابت-راست: استفاده از چند حلقه به ثابتها [۳۵]

بتوانیم به اندازه کافی ثابتها را شناسایی بکنیم، ژست دوربین قابل شناسایی است. از مزایای این روش می توان گفت که در اینجا محیط می تواند پویا باشد و برای پیدا کردن ژست دوربین فقط نیاز داریم که ثابتها به محیط در زمان اضافه بشوند و با کمک آنها موقعیت و جهت دوربین تشخیص داده می شود. با اضافه کردن خواص و پیچیدگی به ثابتها مانند چند حلقه ای، می توان ثابتها را در فواصل بیشتر نیز تشخیص داد شکل ۴.۳ [۳۵]. برای محاسبه موقعیت یک تماشاگر در دنیای واقعی حداقل باید ۴ نقطه از موقعیت ها را داشته باشیم و بدانیم. با استفاده از این ثابت های ساده، طراحی فضای بدقت باید موردنظر قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که نقاط کافی در هر لحظه قابل مشاهده است اگر نیازهای ما برطرف نشد و نیاز به تلاش بیشتر داشتیم، باید توجه شود که می توان ثابت های بیشتری را به محیط اضافه کرد و باید موقعیت آنها را در محیط به صورت دقیق داشته باشیم. یک راه جایگزین که دیگر نیازی به استفاده از چهار نقطه نباشد، این است که از ثابت های مسطح به شکل مربع که ۴ گوش آن می تواند برای ما به عنوان چهار نقطه ای که باید موقعیت آنها را بدانیم عمل کند. سپس اطلاعات شناسایی اضافی که برای عملیات ثبت نیاز داریم، می تواند درون این مربع قرار بگیرد. با این روش می توان از چندین ثابت یکتا مختلف در یک برنامه استفاده کرد. استفاده از ثابت های مربعی به خاطر راحتی در استفاده و نیز دقیق باشد در تشخیص بسیار در فتاوری واقعیت افزوده محبوب شد. یکی از محبوب ترین سیستم های ثابت های مربعی، ARToolkit است که تعداد بسیار زیادی پروژه موفق داشت و توانسته محبوب ترین ثابت ها را در دنیا ارائه بدهد [۳۶]. انواع قالب ثابت های ارائه شده توسط شرکت های مختلف در شکل ۵.۳ ارائه شده است.



شکل ۵.۳: نمونه‌های مختلف ثابت‌های استفاده شده [۳۷]

رديابي ويزگي های طبیعی

ثابت‌های مربعی توانستند مشکلاتی که در ثابت‌های رنگی بود را رفع کنند ولی هنوز مشکلات مربوط به خود را دارند، یکی از این مشکلات این است که نیاز دارند تا شکل محیط را تغییر بدهند که این کار ممکن است مطلوب و یا غیرممکن باشد، مخصوصاً وقتی که لنگر برای ما بالارزش است مانند یک نقاشی هنری که نمی‌توانیم به آن عنصری را اضافه بکنیم.

با توجه به افزایش قدرت دستگاه‌های استفاده شده برای فناوری واقعیت افروده، امکان ثبت ژست دوربین به شکل بلاذرنگ با توجه به ويزگي های طبیعی در محیط امکان‌پذیر است.

برای تشخیص ويزگي های منحصر به فردی که در محیط عکس‌های گرفته شده وجود دارد، مانند نقطه‌ها، گوشها و تقاطع خطوط، از الگوریتم‌های پردازش تصویر پیچیده استفاده می‌شود.

برای هر یک از ويزگي های نامبرده شده یک "توصیفگر"^۱ محاسبه شده است که برای شناسایی و تفکیک این ويزگي ها به کار می‌رود. با تطابق دادن ويزگي های به دست آمده از درون صحنه، با ويزگي هایی که از عنصری که می‌خواهیم رديابی بکنیم، سپس می‌توانیم با استفاده از الگوریتم‌های ساده که در روش رديابی ثابت استفاده کردی‌ایم، ژست را تشخیص بدهیم [۳۸].

¹descriptor



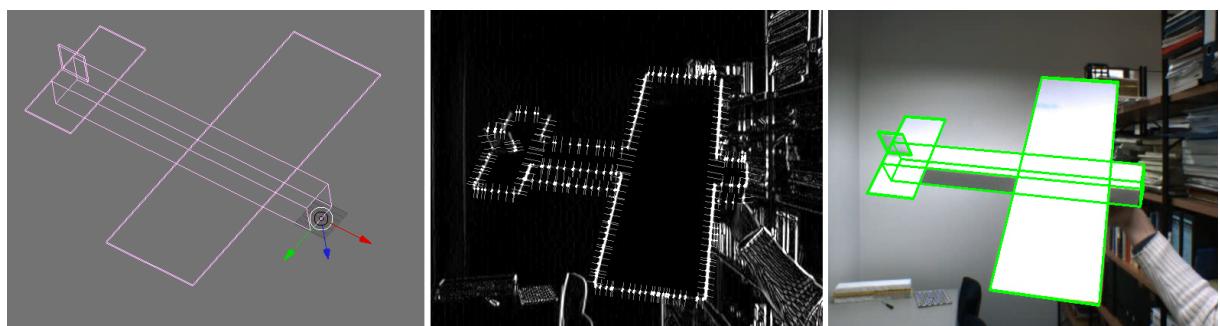
شکل ۳.۶: نمونه‌ای از ردیابی بر اساس ویژگی‌های طبیعی [۳۹]

ردیابی براساس مدل

اگرچه مدل‌های ردیابی بر اساس ثابت و ویژگی‌های طبیعی خیلی محبوب هستند، اما تلاش‌ها برای اینکه بتوانیم ردیابی را بر اساس ویژگی‌های ۳ بعدی عناصر در دنیای واقعی انجام بدھیم بسیار موردنظر است. این روش‌ها معمولاً به صورت ابتکاری هستند و در آن‌ها سعی شده است اجسام را بر اساس مدل ۳ بعدی آن‌ها شناسایی بکنیم و برای این کار از ترکیب ویژگی‌هایی مانند خطها، دایره‌ها، استوانه‌ها و کره‌ها استفاده می‌شود [۴۰]. در این روش با استفاده از فیلتر کردن بر اساس ضلع‌ها و استخراج اطلاعات ساختاری عناصر از روی صحنه و تطبیق دادن این اطلاعات با مدل‌های اولیه، برای فهمیدن ژست بکار می‌رود [۴۱]. نمونه‌ای از ردیابی براساس مدل را در شکل ۳.۷ می‌توان مشاهده نمود.

برای به دست آوردن ردیابی قوی‌تر^۱ می‌توانیم ۲ روش ردیابی ویژگی‌های طبیعی و ردیابی بر اساس ضلع‌ها را با یکدیگر ترکیب کنیم [۴۲] و همچنین با این ترکیب می‌توانیم در فضاهای باز و محیط‌های بیرون عمل ردیابی را انجام دهیم [۳۶]. اخیراً توجه زیادی شده است که بتوانیم روشی داشته باشیم تا با استفاده از آن مارا قادر سازد

^۱robustness



[۴۳] نمونه‌ای از ردیابی بر اساس مدل توسط شرکت OpenTL

به صورت همزمان یک نقشه از محیط واقعی را بسازیم و آن را به روزرسانی کنیم، و با استفاده از آن بتوانیم موقعیت را تشخیص بدهیم. ایده اصلی این کار با استفاده از روش "مکان‌یابی همزمان و ساختن نقشه"^۱ است که این روش اولین بار برای روبات‌ها طراحی شد [۴۴] و به آن‌ها راهنمایی می‌کند که چگونه مسیر خودشان را در محیط‌های ناشناخته پیدا بکنند. این روش برای سیستم‌های واقعیت افزوده سازگار شد و با کمک آن کاربر با استفاده از واقعیت افزوده می‌تواند در محیط‌های ناشناخته به مسیریابی بپردازد. همچنین این روش بهینه‌سازی شد و با نام "ردیابی و نقشه‌برداری همزمان (PTAM)"^۲ شناخته شد (شکل ۸.۳) که در آن ردیابی دوربین و نقشه‌برداری به صورت جدا از هم کار می‌کردند. PTAM به صورت مخصوص فقط برای واقعیت افزوده طراحی شد و دقت ردیابی در آن بالا رفت [۴۵].

۳.۳.۳ ردیابی ساختارهای ۳ بعدی

در سال‌های اخیر حسگرهای تجاری زیادی به بازار ارائه شدند که توانایی تشخیص ساختار ۳ بعدی از محیط را دارا بودند و همچنین بسیار مقرن به صرفه بودند، از نمونه‌های اولیه آن‌ها می‌توان به ماکروسافت کینکت^۳ اشاره کرد که شروع‌کننده این حسگرهای بود [۴۷]. این حسگرهای از تکنولوژی‌هایی مانند ساختار نور [۴۸] و یا زمان گریز^۴ [۴۹] برای به دست آوردن اطلاعات در مورد موقعیت‌های ۳ بعدی از نقاط درون صحنه استفاده می‌کنند. برای ردیابی ساختارهای ۳ بعدی^۵ از این حسگرهای استفاده می‌شود.

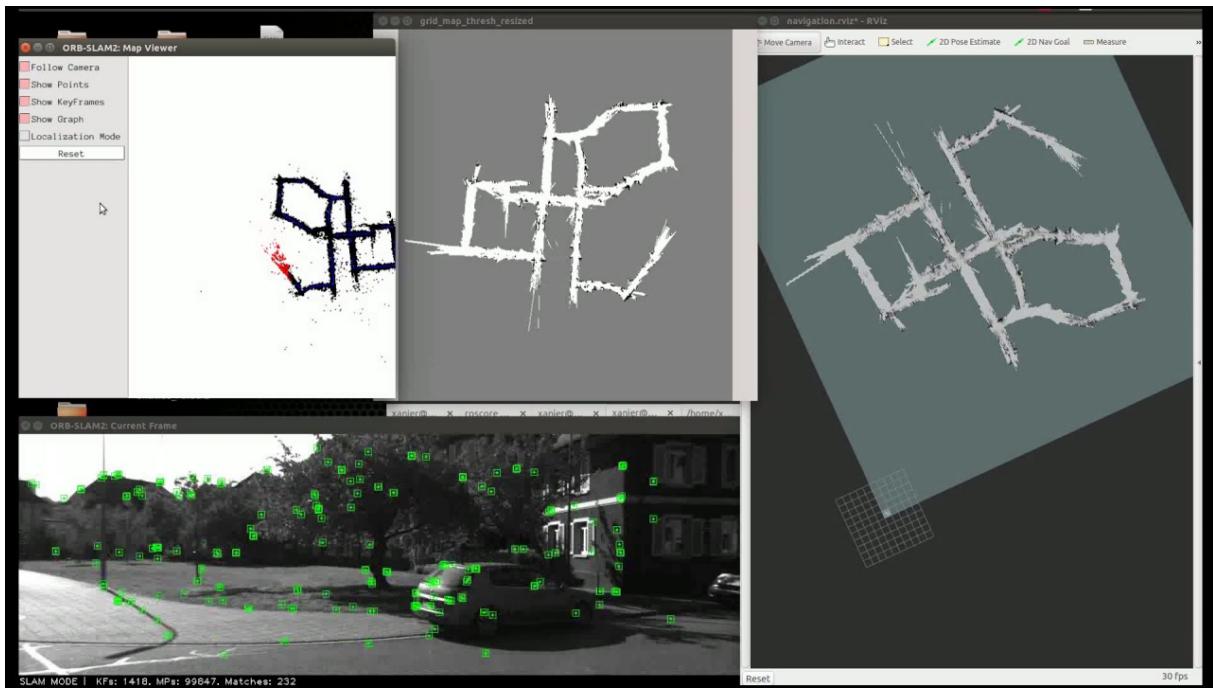
¹SLAM (Simultaneous Localization and Map Building)

²Parallel Tracking and Mapping

³Microsoft Kinect

⁴time-of-flight

⁵3D Structure Tracking



شکل ۸.۳: نمونه‌ای از روش PTAM [۴۶]



شکل ۹.۳: نمونه‌ای از ردیابی ساختارهای ۳ بعدی توسط کینکت ماکروسافت [۵۰]

این فناوری‌های جدید، فرصت‌های جدیدی را برای ردیابی و نقشه‌برداری از محیط واقعی را با استفاده از اطلاعات عمق ایجاد کردند. بیشترین رویکردی که برای سیستم‌های واقعیت افزوده استفاده می‌شود در حال حاضر کینکت فیوژن^۱ است که توسط شرکت ماکروسافت توسعه یافته است. کینکت فیوژن از اطلاعات به دست آمده توسط سنسور عمق نور ساختار کینکت استفاده می‌کند تا با کیفیت بالا مدلی^۲ بعدی از عناصر واقعی و محیط به دست آورده و از این مدل برای ردیابی ژست کینکت در محیط استفاده می‌کند. شکل ۹.۳ مثالی از کینکت فیوژن را نشان می‌دهد [۵۰].

۴.۳ ردیابی درونی

ردیابی درونی^۲ از (واحد اندازه‌گیری درونی)^۳ استفاده می‌کند که شامل حسگرهایی مانند شتاب سنج^۴، ژیروسکوپ^۵ و مغناطیس سنج^۶ است که ابزارهای اندازه‌گیری خوانده می‌شوند، برای اندازه‌گیری جهت نسبی و سرعت وسیله موردنظر از این حسگرها استفاده می‌کنیم. این ابزارها با استفاده از جاذبه و تغییرات در سرعت جسم، جهت نسبی و مکان وسیله را اندازه‌گیری می‌کنند. معمولاً این نوع سنسورها در طول زمان دچار خطا می‌شوند و باعث ایجاد خطای اندازه‌گیری مکان و جهت می‌شوند. به همین دلیل در کاربردهایی که نیاز به دقت بالای ردیابی دارند، نیاز است این روش با روش‌های مبتنی بر دید و یا دیگر روش‌های معرفی شده ترکیب شود [۲۰].

۵.۳ ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی

تکنولوژی سیستم موقعیت‌یاب جهانی اجازه ردیابی موقعیت را در محیط‌های بیرونی در بیشتر سطح کره زمین به ما می‌دهد. دقت متوسط سیستم موقعیت‌یاب جهانی حدود ۳ متر می‌باشد و با پیشرفت‌های صورت گرفته درون فناوری ماهواره‌ها، رو به بهبود است. ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۷، در بسیاری از برنامه‌ها بکار

¹KinectFusion

²Inertial Tracking

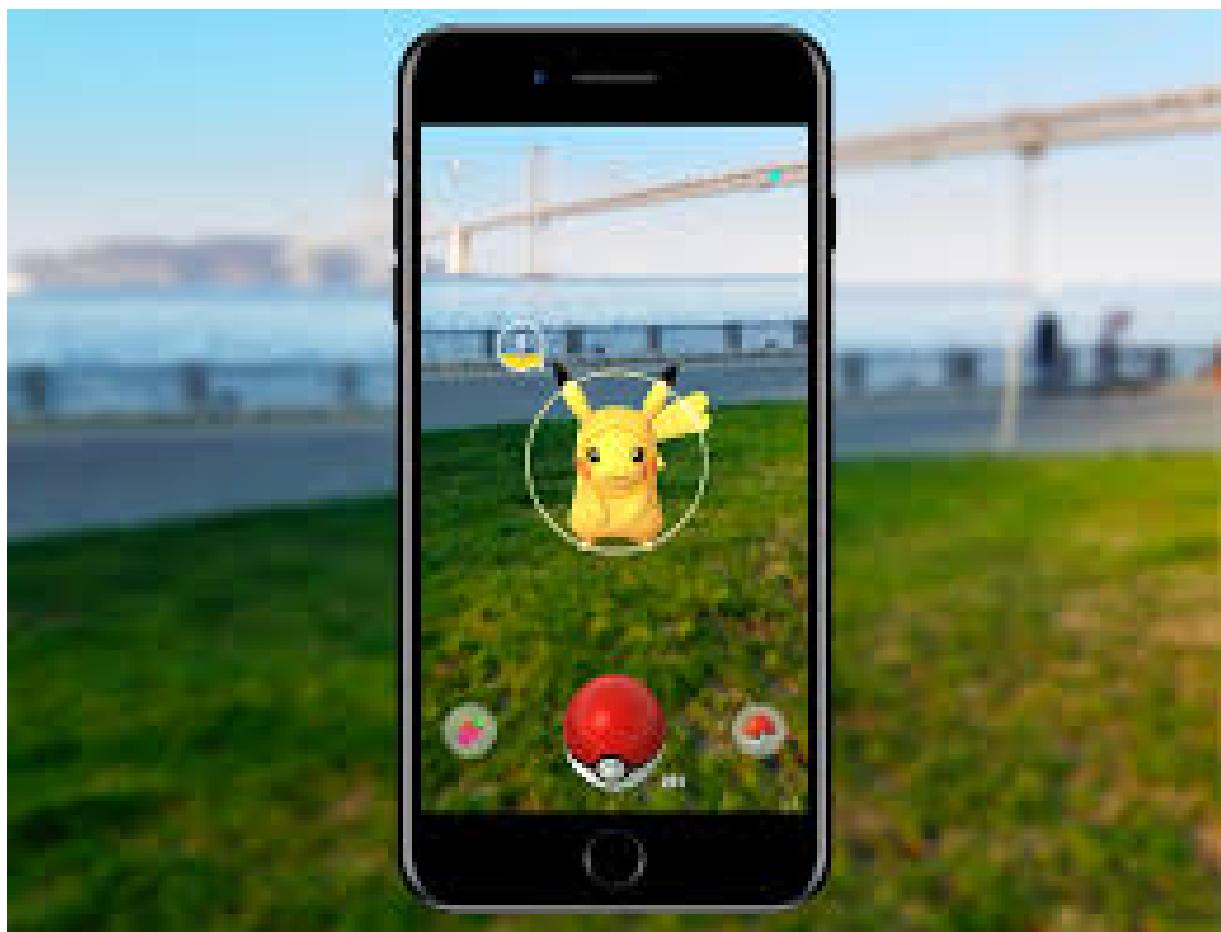
³Inertial Measurement Unit (IMU)

⁴Accelerometers

⁵Gyrosopes

⁶Magnetometers

⁷GPS Tracking

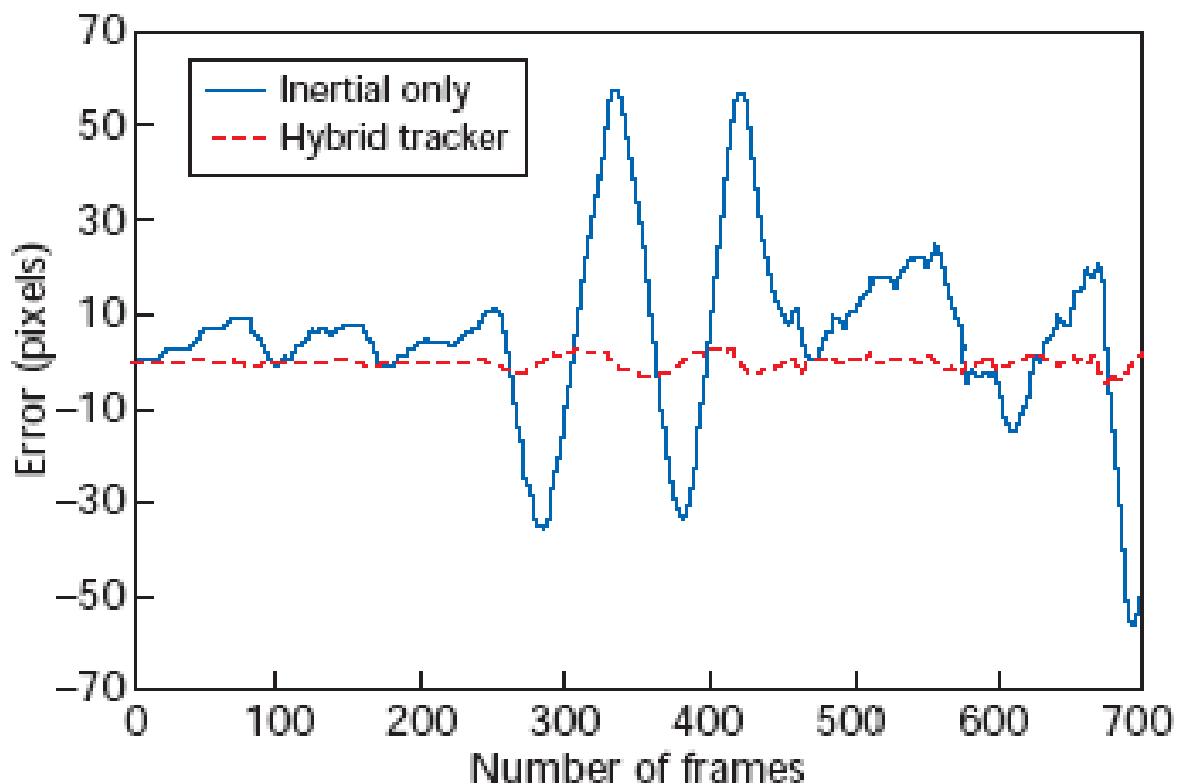


شکل ۱۰.۳: پوکمون گو نمونه‌ای از برنامه‌هایی که درروش ترکیبی از ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی استفاده کرده است [۵۲]

رفته است از جمله برنامه‌های نظامی، بازی و یا تاریخی.

باید توجه داشت در این مدل از ردیابی، دقیق پایین است و فقط با کمک آن می‌توان موقعیت را ردیابی کرد و نسبت به جهت هیچ حرفی نمی‌توان زد با این وجود در برنامه‌هایی که دقیق برای ما از اهمیت کمتری برخوردار است و یا برنامه‌هایی که از ردیابی ترکیبی استفاده می‌کنند، می‌توان از این مدل ردیابی استفاده نمود [۵۱]. برای نام بردن از برنامه‌ای که از این تکنولوژی به صورت ترکیبی استفاده کرده است می‌توان به پوکمون گو^۱ اشاره نمود که در شکل ۱۰.۳ می‌توان نمایی از این برنامه را دید.

¹pokemon go



شکل ۱۱.۳: مقایسه سیستم ترکیبی [۵۴]

۶.۳ ردیابی ترکیبی

ردیابی ترکیبی^۱، اطلاعات به دست آمده از چند حسگر را با یکدیگر ترکیب می کند و باعث می شود دقت به نسبت اطلاعات به دست آمده از یک حسگر بالاتر رود و همچنین مشکلات موجود در بعضی از روش های گفته شده را پوشش می دهد [۵۳].

اغلب برنامه هایی که بر اساس ردیابی نوری هستند، از ردیابی مغناطیسی و یا ردیابی درونی نیز استفاده می کنند. این کار به سیستم اجازه می دهد توانسات حاصل از ردیابی نوری را کمتر بکند. هنگامی که حسگرهایی با نرخ به روزرسانی بالا و با قابلیت اطمینان بالا استفاده شوند می توانند مشکلات به روزرسانی گرافیک را برطرف بکنند و نیز باعث بالا رفتن دقت در محاسبات ژست بشوند.

به عنوان یک مزیت دیگر می توان به این نکته اشاره کرد که ردیابی های مغناطیسی و درونی، قادر خط دید

^۱Hybrid Tracking

هستند و از آن‌ها برای بالا بردن محدوده استفاده از واقعیت افزوده می‌توان استفاده کرد.

همان‌طور که در شکل ۱۱.۳ می‌بینیم، با استفاده از ردیابی ترکیبی دقت بسیار بالاتر آمده است [۵۴].

به خاطر دقت پایین و فاقد جهت بودن در ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی، این نوع ردیابی در

بیشتر موارد با ردیابی‌های دیگر ترکیب می‌شود.

در دستگاه‌های قابل حمل مانند تلفن‌های همراه و یا رایانک‌های لوحی، فرصت‌هایی جدیدی برای استفاده از ردیابی ترکیبی به دست آمد. بسیاری از این دستگاه‌ها شامل دوربین، شتاب‌سنج، ژیروسکوپ، سیستم موقعیت‌یاب جهانی و شبکه بدون سیم هستند که به ردیابی ترکیبی بسیار کمک می‌کند. یکی از مشکلات سیستم موقعیت‌یاب جهانی، استفاده از آن درون ساختمان‌ها است که با استفاده از شبکه بی‌سیم می‌توان به موقعیت‌یابی آن کمک کرد و دقت را بالا برد [۵۵].

۷.۳ خلاصه

در این بخش ما روش‌های گوناگون ردیابی در واقعیت افزوده را شرح دادیم که با کمک آن‌ها سعی می‌شود تا عناصر مجازی در دنیای واقعی قرار بگیرند. در جدول ۱.۳ به خلاصه مزیت‌ها و معایب هر یک از روش‌ها آورده شده است. با توجه به معایب روش‌ها، برای داشتن سیستم واقعیت افزوده قابل اعتماد، نیاز داریم تا از روش ترکیبی استفاده بکنیم و معایب هر روش را با استفاده از روشی دیگر بپوشانیم.

عملیات	مراقب	محیط	محدوده	محیط	روش
گران است - با افزایش فاصله دقت بصورت چند جمله‌ای کاهش می‌یابد - حساسیت نسبت به الکترون‌فناوری‌سی	دقت بالا در فواصل نزدیک	متوسط	درونی و بیرونی	ردیابی مغناطیسی	
نیاز به آماده سازی محیط دارد	دقت بالا	کم	درون	ردیابی مادرone قمر	
نیاز به ایجاد تغییر در لنگر دارد	دقت بالا	کم	درونی و بیرونی	ردیابی ثابت	
نسبت به تغییرات نور حساس است	دقت بالا	کم	درونی و بیرونی	ردیابی ویژگی‌های طبیعی	
فقط برای مدل‌های با شاهدات بالا کاربرد دارد	دقت بالا	کم	درونی و بیرونی	ردیابی بر اساس مدل	
دقت در فواصل زیاد - محدود خیلی کم	تشخیص به صورت ۳ بعد - دقت در فواصل نزدیک خیلی خوب	خیلی کم	درونی و بیرونی	ردیابی ساختارهای ۳ بعدی	
محدود کم - عمر پایین حسگرها	دقت بسیار بالا	خیلی کم	درونی	ردیابی درونی	
دقت پایین - عملکرد پایین درون ساختمانها	ردیابی بر روی کل فضای زمین	زیاد	بیرونی	ردیابی براساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی	
می‌تواند مزایای هر دو شیوه را شامل شود	زیاد	درونی و بیرونی	ردیابی ترکیبی		

جدول ۱.۳: مقایسه روش‌های ردیابی

فصل ۴

نتیجه گیری و کارهای آینده

پس از مطالعه کارهای پیشین، اهمیت موضوع واقعیت افزوده و در کنار آن رندرینگ واضح است، ما قصد داریم در مبحث رندرینگ مطالعات بیشتری انجام داده و نیز تمرکز خود را بر روی ردیابی و روش‌های ترکیبی قرار بدهیم. همان‌طور که در بررسی دو دهه پرگزاری کنفرانس ایسمار [۱۰] و مقاله‌های ارائه شده در آن آورده شد (شکل ۵.۱)، مسئله ردیابی یکی از مهم‌ترین و پرمخاطب‌ترین حوزه‌ها درون واقعیت افزوده است. برای امکان پذیری حل این مسئله می‌توان گفت روش‌های نام برده شده، همه سعی در برطرف کردن نقص‌های موجود در ردیابی داشته‌اند و سعی بر آن است تا بتوان این روش‌ها را بهبود بخشد. در پایان نامه بعد از مطالعه و بهبود دادن روش‌ها، پیاده سازی نیز خواهیم داشت و برای پیاده سازی از زبان‌های سی^۱ و همینطور نرم افزار یونیتی^۲ و کتابخانه وفوریا^۳ استفاده خواهیم کرد.

همان‌طور که در شکل ۵.۱ آورده شده است، موضوعات داغ در این حوزه شامل ردیابی، تعامل و استفاده از فناوری واقعیت افزوده و ارزیابی تاثیرات آن است. همانطور که در رابطه با ردیابی گفته شد، بهترین روش‌ها پایه روش ترکیبی است زیرا با کمک آن می‌توان معاایب روش‌های دیگر را پوشاند و برای بالا بردن دقت از این روش استفاده کرد. در رابطه با ضعف‌ها و مزیت‌های روش‌ها، درون جدول ۱.۳ صحبت شده است.

¹C

²Unity

³Vuforia

مراجع

- [1] M. F. Nassir Navab and C. Bichlmeier, "Laparoscopic virtual mirror new interaction paradigm for monitor based augmented reality," *IEEE Virtual Reality Conference*, vol.07, p.43-50, 2007.
- [2] M. Serino, K. Cordrey, L. McLaughlin, and R. L. Milanaik, "Poké mon go and augmented virtual reality games : a cautionary commentary for parents and pediatricians," *Current opinion in pediatrics*, vol.28, no.5, pp.673-677, 2016.
- [3] M. Fjeld and B. M. Voegli, "Augmented chemistry : An interactive educational workbench," *Mixed and Augmented Reality , ISMAR*, vol.45(1), p.259-321, 2002.
- [4] J. Brooker, "The polytechnic ghost : Pepper's ghost, metempsychosis and the magic lantern at the royal polytechnic institution," *Early Popular Visual Culture*, vol.5(2), p.189-206, 2007.
- [5] I. E. Sutherland, "Sketch pad a man-machine graphical communication system," *ACM, In Proceedings of the SHARE design automation workshop*, p.6-329, 1964.
- [6] I. E. Sutherland, "A head-mounted three dimensional display," *ACM, In Proceedings of the December 9- 11, 1968, fall joint computer conference*, p.757-764, 1968.
- [7] T. A. Furness, "The application of head-mounted displays to airborne reconnaissance and weapon delivery," *Technical Report TR-69-241, Wright-Patterson Air Force Base, OH: U.S. Air Force Avionics Laboratory*, 1969.
- [8] T. A. Furness, "The super cockpit and its human factors challenges," *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol.30(1), p.48-52, 1986.
- [9] "Gartner hype cycle," <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018>.
- [10] G.B.H.B.-L.D.G.F.W. Kangsoo Kim, Mark Billinghurst, "Revisiting trends in augmented reality research : A review of the 2nd decade of ismar (2008-2017)," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2018.

- [11] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Teleoperators and Virtual Environments*, vol.6, no.4, pp.355-385, 1992.
- [12] J. Rekimoto and K. Nagao, "The world through the computer : Computer augmented interaction with real world environments," *ACM, In Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology*, p.29-36, 1995.
- [13] P. Milgram and F. Kishino, "taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol.77, no.12, p.1321-1329, 1994.
- [14] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy, and H. Torabmostaedi, "A systematic review of augmented reality applications in maintenance," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.49, pp.215-228, 2018.
- [15] M. P. Ruffner, Y. Yu, and D. L. Lau, "Structured light smart camera for spatial augmented reality applications," vol.10932, p.109320J, 2019.
- [16] J. J. L. J. Doug A Bowman, Ernst Kruijff and I. Poupyrev, "3d user interfaces : theory and practice," *Addison- Wesley*, 2004.
- [17] T. Moser, M. Hohlagschwandtner, G. Kormann-Hainzl, S. Po lzbauer, and J. Wolfartsberger, "Mixed reality applications in industry: Challenges and research areas," pp.95-105, 2019.
- [18] G. W. R. Jae Yeol Lee and D. W. Seo, "Hand gesture-based tangible interactions for manipulating virtual objects in a mixed reality environment," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.51, p.1069-1082, 2010.
- [19] W. B. R. G. Minkyung Lee, Mark Billinghurst and W. Woo, "A usability study of multimodal input in an augmented reality environment," *Virtual Reality*, vol.17, no.4, p.293-305, 2013.
- [20] A. C. M. Billinghurst and G. Lee, "A survey of augmented reality," *Found. Trends® Human-Computer Interact*, vol.8, no.2-3, p.73-272, 2015.
- [21] J. Bai, G.-Y. Nie, W. Song, Y. Liu, and Y. Wang, "Study of 3d target replacement in ar based on target tracking," pp.1-6, 2019.
- [22] Y. K. K. Kiyokawa and H. Ohno, "An optical see-through display for mutual occlusion with a real-time stereovision system," *Comput. Graph*, vol.25, no.5, p.765-779, 2001.
- [23] C. Portale s, J. M. Ordun a, P. Morillo, and J. Gimeno, "An efficient projector calibration method for projecting virtual reality on cylindrical surfaces," *Multimedia Tools and Applications*, vol.78, no.2, pp.1457-1471, 2019.

- [24] P. Mistry and P. Maes, "Sixthsense: A wearable gestural interface," in *ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches on - SIGGRAPH ASIA*, p.1, 2009.
- [25] D. M. Krum, E. A. Suma, and M. Bolas, "Augmented reality using personal projection and retroreflection," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol.16, no.1, pp.17-26, 2012.
- [26] S. Siltanen. *Theory and applications of marker-based augmented reality*. VTT, 2012.
- [27] H. Lhachemi, A. Malik, and R. Shorten, "Augmented reality, cyber-physical systems, and feedback control for additive manufacturing: A review," *arXiv preprint arXiv:1903.01808*, 2019.
- [28] "Polhemus," <https://polhemus.com>.
- [29] C. Siew, S. Ong, and A. Nee, "A practical augmented reality-assisted maintenance system framework for adaptive user support," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.59, pp.115-129, 2019.
- [30] J. M. T. Ribeiro, J. Martins, and R. Garcia, "Augmented reality technology as a tool for better usability of medical equipment," pp.341-345, 2019.
- [31] M. Bajura and U. Neumann, "Dynamic registration correction in augmented-reality systems," in *Proceedings Virtual Reality Annual International Symposium 95*, pp.189-196, IEEE, 1995.
- [32] M. Ribo, A. Pinz, and A. L. Fuhrmann, "A new optical tracking system for virtual and augmented reality applications," in *IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Rediscovering Measurement in the Age of Informatics (Cat. No. 01CH37188)*, vol.3, pp.1932-1936, IEEE, 2001.
- [33] S. Gottschalk and J. F. Hughes, "Autocalibration for virtual environments tracking hardware," in *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.65-72, ACM, 1993.
- [34] G. Welch, G. Bishop, L. Vicci, S. Brumback, K. Keller, et al., "The hiball tracker: High-performance wide-area tracking for virtual and augmented environments," in *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp.1-ff, ACM, 1999.
- [35] S. Basiratzadeh, E. D. Lemaire, M. Dorrikhteh, and N. Baddour, "Fiducial marker approach for biomechanical smartphone-based measurements," in *2019 3rd International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies (BioSMART)*, pp.1-4, IEEE, 2019.
- [36] S. Ma, Q. Liu, M. Fan, and P. Sheu, "Projected visible light for 3d finger tracking and device augmentation on everyday objects," *Internet of Things*, 2019.

- [37] “fiducial augmented reality,” <https://medium.com/deemaze-software/augmented-reality-a-simple-technical-introduction-83d5e77206b9>.
- [38] F. Go ttl, P. Gagel, and J. Grubert, “Efficient pose tracking from natural features in standard web browsers,” *arXiv preprint arXiv:1804.08424*, 2018.
- [39] “natural-feature-tracking,” <https://codefluegel.com/en/beginners-guide-augmented-reality/natural-feature-tracking>.
- [40] A. I. Comport, E. Marchand, and F. Chaumette, “A real-time tracker for markerless augmented reality,” in *Proceedings of the 2nd IEEE/ ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, p.36, IEEE Computer Society, 2003.
- [41] J. Zubizarreta, I. Aguinaga, and A. Amundarain, “A framework for augmented reality guidance in industry,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp.1-14, 2019.
- [42] L. Vacchetti, V. Lepetit, and P. Fua, “Fusing online and offline information for stable 3d tracking in real-time,” in *2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings.*, vol.2, pp.II-241, IEEE, 2003.
- [43] “Model-based-tracking,” <http://www.opentl.org/>.
- [44] M. G. Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H. F. Durrant-Whyte, and M. Csorba, “A solution to the simultaneous localization and map building (slam) problem,” *IEEE Transactions on robotics and automation*, vol.17, no.3, pp.229-241, 2001.
- [45] A. J. Davison, I. D. Reid, N. D. Molton, and O. Stasse, “Monoslam : Real-time single camera slam,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, no.6, pp.1052-1067, 2007.
- [46] R. Mur-Artal and J. D. Tardos, “ORB-SLAM2 : an open-source SLAM system for monocular, stereo and RGB-D cameras,” *arXiv preprint arXiv:1610.06475*, 2016.
- [47] Z. Zhang, “Microsoft kinect sensor and its effect,” *IEEE multimedia*, vol.19, no.2, pp.4-10, 2012.
- [48] D. Scharstein and R. Szeliski, “High-accuracy stereo depth maps using structured light,” in *2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings.*, vol.1, pp.I-I, IEEE, 2003.
- [49] S. B. Gokturk, H. Yalcin, and C. Bamji, “A time-of-flight depth sensor-system description, issues and solutions,” in *2004 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, pp.35-35, IEEE, 2004.

- [50] S. Izadi, D. Kim, O. Hilliges, D. Molyneaux, R. Newcombe, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges, D. Freeman, A. Davison, *et al.*, “Kinectfusion: real-time 3d reconstruction and interaction using a moving depth camera,” in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.559-568, ACM, 2011.
- [51] S. Rajeev, Q. Wan, K. Yau, K. Panetta, and S. S. Agaian, “Augmented reality-based vision-aid indoor navigation system in gps denied environment,” in *Mobile Multimedia Image Processing, Security, and Applications 2019*, vol.10993, p.109930P, International Society for Optics and Photonics, 2019.
- [52] “Pokémon go,” <https://www.pokemongo.com/en-us>.
- [53] M. I. M. Isham, F. Mohamed, C. V. Siang, Y. A. Yusoff, A. A. A. Aziz, and D. E. O. Dewi, “A framework of ultrasounds image slice positioning and orientation in 3d augmented reality environment using hybrid tracking method,” in *2018 IEEE Conference on Big Data and Analytics(ICBDA)*, pp.105-110, IEEE, 2018.
- [54] S. You, U. Neumann, and R. Azuma, “Orientation tracking for outdoor augmented reality registration,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.19, no.6, pp.36-42, 1999.
- [55] G. Duan, M. Han, W. Zhao, T. Dong, and T. Xu, “Augmented reality technology and its game application research,” in *2018 3rd International Conference on Automation, Mechanical Control and Computational Engineering(AMCCE 2018)*, Atlantis Press, 2018.