دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر

بررسی و ارزیابی راهکارهای رندرینگ در واقعیت افزوده

گزارش سمینار کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر
گرایش نرم‌افزار

نگارش

محسن نوازنی

استاد راهنما

دکتر مجتبی وحیدی اصل

تابستان ۱۳۹۸

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر

گزارش سمینار کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر - گرایش نرم‌افزار

تحت عنوان:

بررسی و ارزیابی راهکارهای رندرینگ در واقعیت افزوده

در تاریخ پایان‌نامه دانشجو، محسن نوازنی، توسط کمیته تخصصی داوران مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنما اول:	نام و نام‌خانوادگی	امضا
۲- استاد راهنما دوم:	نام و نام‌خانوادگی	امضا
۳- استاد مشاور:	نام و نام‌خانوادگی	امضا
۴- استاد داور (داخلی):	نام و نام‌خانوادگی	امضا
۵- استاد داور (خارجی):	نام و نام‌خانوادگی	امضا
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی:	نام و نام‌خانوادگی	امضا

با سپاس و قدردانی از

پدران و مادرانی که خود را فدای تربیت فرزندان خود کردند و

اساتید و معلمانی که در تمام دوران زندگی، راهنمای جانسوز ما بودند.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی
می‌باشد.

به نام خدا

نام و نام خانوادگی: محسن نوازنی

عنوان پایان‌نامه: بررسی و ارزیابی راهکارهای رندرینگ در واقعیت افزوده

استاد راهنما: دکتر مجتبی وحیدی اصل

اینجانب محسن نوازنی تهیه‌کننده گزارش سمینار کارشناسی ارشد حاضر، خود را ملزم به حفظ امانت‌داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنابر قانون Copyright می‌دانم. بدین وسیله اعلام می‌نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می‌باشد و در صورت استفاده از اشکال، جداول و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانت‌داری را به صورت کامل رعایت نموده‌ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می‌باشد.

نام و نام خانوادگی: محسن نوازنی

تاریخ و امضا:

تقدیم به

رهجویان علم و فناوری و دوست‌داران علم و دانش

فهرست مطالب

۱ مقدمه **۱**

۱.۱ مقدمه ۲

۲.۱ صورت مسئله ۲

۳.۱ واقعیت افزوده چیست؟ ۳

۴.۱ تاریخچه ۴

۵.۱ انگیزه پژوهش ۶

۶.۱ بیان ساختار فصل‌های بعدی ۸

۲ ادبیات تحقیق **۱۱**

۱.۲ مقدمه ۱۲

۲.۲ معرفی ۱۲

۱.۲.۲ انواع رابط کاربری ۱۲

۲.۲.۲ واقعیت ترکیبی ۱۵

۳.۲ انواع دستگاه‌های واقعیت افزوده ۱۶

۱.۳.۲ ۱- نمایشگرهایی که بر روی سر نصب می‌شوند[1] ۱۶

۲.۳.۲ نمایشگرهای دستی[2]: ۱۷

[1] head mounted displays (HMD)

[2] Handheld displays

۳.۳.۲ نمایشگرهای فضایی[3] ۱۸
۴.۲ ورودی و تعامل ۱۹
۱.۴.۲ مرورگرهای اطلاعات[1]: ۲۰
۲.۴.۲ رابط کاربر ۳ بعدی[2]: ۲۰
۳.۴.۲ رابط کاربر قابل لمس[3]: ۲۱
۴.۴.۲ رابط کاربر طبیعی[4]: ۲۲
۵.۴.۲ رابط چند منظوره[5]: ۲۳
۵.۲ نمایش ۲۳
۱.۵.۲ فناوری نمایش ۲۵
ویدیوئی ۲۵
نمایش دید نوری واقعیت افزوده ۲۷
نمایش مبتنی بر نورپردازی ۲۹
۲.۵.۲ فاصله قرار گیری نمایشگر ۳۰
نمایشگر متصل به سر ۳۰
نمایشگر دستی و یا متصل به بدن ۳۰
نمایشگر فاصلهای ۳۱

۳ کارهای مرتبط ۳۲

۱.۳ معرفی فصل ۳۳
۲.۳ رندرینگ به چه معنا است؟ ۳۳

[3] spatial displays
[1] Information Browsers
[2] 3D User Interfaces
[3] Tangible User Interfaces
[4] Natural User Interfaces
[5] Multimodal Interfaces

۳.۳ ردیابی مغناطیسی[۶] ۳۶
۴.۳ ردیابی براساس دید[۱] ۳۸
۱.۴.۳ ردیابی مادون قرمز[۲] ۳۸
۲.۴.۳ ردیابی نور قابل مشاهده[۳] ۳۹
۳.۴.۳ ردیابی ساختارهای ۳ بعدی[۴] ۴۴
۵.۳ ردیابی درونی[۵] ۴۵
۶.۳ ردیابی براساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی [۶] ۴۶
۷.۳ ردیابی ترکیبی [۷] ۴۶
۸.۳ خلاصه ۴۹

مراجع **۵۱**

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی **۵۵**

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی **۵۶**

[6] Magnetic Tracking
[1] Vision Based Tracking
[2] Infrared Tracking
[3] Visible Light Tracking
[4] 3D Structure Tracking
[5] Inertial Tracking
[6] GPS Tracking
[7] Hybrid Tracking

فهرست شکل‌ها

۱.۱ انواع استفاده از واقعیت افزوده ۴

۲.۱ سیستم واقعیت افزوده طراحی شده توسط Sutherland ، ۱۹۶۸ [۶] ۵

۳.۱ پروژه Super-Cockpit [۸] ۶

۴.۱ نمودار موقعیت فنّاوری‌ها در سال ۲۰۱۸ . . . . . ۷

۵.۱ بررسی ۲ دهه کنفرانس ISMAR [۹] ۹

۱.۲ انواع رابط‌های کاربری [۱۱] ۱۴

۲.۲ شکل معرفی شده برای Mixed Reality توسط Milgram [۱۲] ۱۶

۳.۲ نمونه‌ای از نمایشگرهای نصب‌شده بر روی سر [۱۳] ۱۷

۴.۲ نمونه‌ای از نمایشگرهای دستی [۱۳] ۱۸

۵.۲ نمونه‌ای از نمایشگرهای فضایی [۱۴] ۱۹

۶.۲ نمونه‌ای از پروژه NaviCam [۱۱] ۲۰

۷.۲ استفاده از رابط کاربر ۳ بعدی [۱۵] ۲۱

۸.۲ استفاده از رابط کاربر قابل لمس [۱۶] ۲۲

۹.۲ استفاده از رابط کاربر طبیعی [۱۷] ۲۲

۱۰.۲ رابط چند منظوره [۱۸] ۲۳

۱۱.۲ منطبق کردن پارامترهای داخلی و خارجی [۱۹] ۲۴

۱۲.۲ اضافه شدن اشتباه در شکل سمت چپ و تصحیح آن در سمت راست [۲۰] ۲۶

۱۳.۲ نمایش دید نوری [۱۹] ۲۸
۱۴.۲ نمایش دید نوری [۲۳] ۲۹
۱۵.۲ پروژه تانگو گوگل که با استفاده زا نمایشگرهای دستی کار می‌کند ۳۱
۱.۳ ارتباط ثبت، ردیابی و کالیبراسیون [۲۵] ۳۴
۲.۳ ارتباط فاصله با وضوح محاسبات در ردیابی مغناطیسی[1] ۳۷
۳.۳ چپ: شمایی نمادین از نگاه کردن درون از بیرون-وسط: ال‌ئی‌دی های نصب شده بر روی سقف-راست: ردیاب دوربین [۳۲] ۳۹
۴.۳ چپ: نشانه های رنگی ثابت-راست: استفاده از چند حلقه به ثابت‌ها [۳۳] ۴۰
۵.۳ نمونه‌های مختلف ثابت‌های استفاده‌شده [2] ۴۱
۶.۳ نمونه‌ای از ردیابی بر اساس ویژگی‌های طبیعی [۳۶] ۴۲
۷.۳ نمونه‌ای از ردیابی بر اساس مدل توسط شرکت OpenTL [۴۰] ۴۳
۸.۳ نمونه‌ای از روش PTAM [۴۳] ۴۴
۹.۳ نمونه‌ای از ردیابی ساختارهای ۳ بعدی توسط کینکت ماکروسافت [۴۷] ۴۵
۱۰.۳ go pokemon نمونه‌ای از برنامه‌هایی که درروش ترکیبی از ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی استفاده کرده است [۴۸] ۴۷
۱۱.۳ مقایسه سیستم ترکیبی [۴۸] ۴۸

[1] https://polhemus.com

[2] www.semanticscholar.org

فهرست جداول

۱.۳ مقایسه روش‌های ردیابی ۵۰

چکیده

واقعیت افزوده فنّاوری 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 افزوده‌شده‌اند، برای همین به این فنّاوری واقعیت افزوده گفته می‌شود. ما شاهد رشد فنّاوری‌های جدید مانند هوش مصنوعی و همچنین گستردگی محصولات موجود در بازار فنّاوری هستیم، باوجود گذشتن چند دهه از به وجود آمدن واقعیت افزوده، این فنّاوری طرفداران زیادی چه در حوزه اقتصادی و چه در حوزه علمی به خود اختصاص داده است. مطالعات زیادی بر روی این فنّاوری انجام‌شده است ولی بااین‌وجود، دارای مسائل حل‌نشده و جای کار بسیاری است. درنتیجه می‌تواند حوزه خوبی برای تحقیق برای علاقه‌مندان باشد. 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 هرکدام به‌اختصار توضیح داده شود و در آخر مسئله رندرینگ شرح داده‌شده 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 علاقه‌مندان 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 Star Wars [1] 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 ترکیب‌شده‌اند، به‌راحتی مانند دنیای واقعی با کامپیوترها ارتباط برقرار بکنند.

حدود ۳۰ سال بعد در سال ۲۰۰۸، در میان برگزاری انتخابات ریاست جمهوری آمریکا، یک نمایشِ ویژه از تکنولوژی به مردم نشان داده شد. در میان صحبت در رابطه با انتخابات توسط شبکه CNN، خبرنگار Wolf Blitzer به سمت جایگاه خالی نگاه کرد و ناگهان خبرنگار Jessica Yellin بر روی صحنه به‌صورت ۳ بعدی و درون برنامه زنده ظاهر شد [2]. Wolf قادر بود با او، صحبت کند و یک مکالمه زنده و رودررو داشته باشد درصورتی‌که Jessica Yellin 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 سؤال‌ها و اطلاعات مختلف درزمینه‌های گوناگون بوده‌اند. با رشد تکنولوژی انسان‌ها توانستند بسیاری از سؤالات خود را جواب بدهند 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 وزندگی را برای ساکنان کره زمین راحت‌تر می‌کند.

با توجه به اهمیت این تکنولوژی ولی باید توجه داشت که هنوز دارای مشکلات و مسائل حل‌نشده زیادی می‌باشد

[1] http://www.starwars.com

[2] http://edition.cnn.com/2008/TECH/11/06/hologram.yellin/

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 به‌صورت دقیق کار بکنند.

در این پژوهش سعی شده است که به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

واقعیت افزوده چیست؟

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

رندرینگ چیست و در چه قسمتی از این سیستم قرارگرفته است؟

چه راه‌حل‌هایی برای مسئله رندرینگ ارائه‌شده‌اند؟

راه‌حل‌های ارائه‌شده به چه شکل کار می‌کنند و چه مسائلی را پوشش می‌دهند؟

۳.۱ واقعیت افزوده چیست؟

مطالب ذکر شده در بالا یک مثال از واقعیت افزوده بود [1] که به‌اختصار 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 فنّاوری‌های مرتبط با ارتباط انسان و کامپیوتر [2] قرار می‌گیرد، که در این دسته فنّاوری‌هایی 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 ما نشان 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 گسترده‌تری نیز به‌کار برود. 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 در رابطه با سرگرمی، بازیکنان می‌توانند در دنیای واقعی به بازی بپردازند [۲] و یا در مهندسی، مهندسان می‌توانند

[1] Augmented Reality

[2] human computer interaction technology

(آ) استفاده از واقعیت افزوده در پزشکی

[۱]

(ب) استفاده از واقعیت افزوده برای بازی

[۲]

(ج) استفاده از واقعیت افزوده در مهندسی

[۳]

شکل ۱.۱: انواع استفاده از واقعیت افزوده

انتهای یک پروژه ساختمانی را ببینند [۳].

۴.۱ تاریخچه

گرچه واقعیت افزوده امروزه محبوب شده است، اما این فنّاوری 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]. Ivan Sutherland اولین کسی بود که با استفاده از رایانه‌ها در دانشگاه ام آی تی [1] و در سال ۱۹۶۳ توانست

[1] Massachusetts Institute of Technology

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

تصاویر مجازی را به دنیای واقعی بیاورد [۵]. او در سال ۱۹۶۸ به دانشگاه هاروارد [1] رفت و در آنجا با کمک Bob Sproull 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 ۳ بعدی از چندین عدسی و با استفاده از تابش‌های مختلف در جهات مختلف، توانستند تصاویر ۳ بعدی را بسازند [۶].

در سال‌های بعد، تحقیق بر روی این فنّاوری علاوه بر دانشگاه‌ها، در آزمایشگاه‌های نظامی و دولتی نیز شروع شد و موردتوجه قرار گرفت. به‌عنوان‌مثال Tom Furness در آزمایشگاه‌های هوا و فضای آمریکا، بر روی این فنّاوری شروع به تحقیق نمود و پروژه ای بانام Super-Cockpit را شروع کرد که به آموزش خلبانان هواپیما کمک می‌کرد [۷].

در سال ۱۹۸۱ آژانس ملی فضا و هواشناسی (NASA) شروع به تحقیق بر روی این فنّاوری نمود و کلاه و نمایشگر مخصوص به خود را نیز طراحی کرد که می‌توانست برای آموزش فضانوردان با ایجاد تصاویر مجازی کمک بکند [۸].

[1] Harvard University

(آ) دوربین نصب شده بر روی سر یک خلبان

(ب) تصویر شبیه سازی شده در پروژه

شکل ۳.۱: پروژه Super-Cockpit [۸]

۵.۱ انگیزه پژوهش

گارتنر[1]، شرکت پژوهشی و مشاوره آمریکایی است، که درزمینه ارائه خدمات برون‌سپاری، تحقیق و پژوهش و مشاوره فناوری اطلاعات فعالیت می‌نماید. شرکت گارتنر در سال ۱۹۷۹ توسط Gartner Gideon راه‌اندازی شد و در حال حاضر دارای عملیات در ۸۵ کشور جهان است. دفتر مرکزی این شرکت در شهر استنفورد، کنتیکت، ایالات‌متحده آمریکا قرار دارد و سهام آن در بازار بورس نیویورک معامله می‌شود[2].

این شرکت هرساله نموداری را معرفی می‌کند که در آن به معرفی تکنولوژی‌های روز پرداخته و موقعیت آنها آن‌ها را بررسی می‌کند[3].شکل: ۴.۱

[1] Gartner

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Gartner

[3] https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/

شکل ۴.۱: نمودار موقعیت فنّاوری‌ها در سال ۲۰۱۸

این نمودار از ۵ قسمت مختلف تشکیل‌شده است:

۱-راه افتادن فنّاوری [۱] : در این مرحله یک فنّاوری مفهوم‌سازی می‌شود، پتانسیل‌های آن موردبررسی 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 [۳] : در این مرحله مشکلات تکنولوژی نمایان می‌شود و شروع تلاش‌ها برای رفع این

[1] Technology Trigger
[2] Peak of Inflated Expectations
[3] Trough of Disillusionment

مشکلات است.

۴-شیب روشنگری [۱] : در این مرحله شرکت‌های مختلف به این تکنولوژی روی می‌آورند و پتانسیل‌های این فنّاوری برای آینده نمایان‌تر می‌شود.

۵-فلات بهره‌وری [۲] : در اینجا استفاده از این فناوری گسترده و همه‌گیر شده و تعداد خیلی زیادی از شرکت‌های کوچک و بزرگ به آن روی می‌آورند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود این فنّاوری 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 به‌طوری‌که شرکت بزرگی مانند Gartner این فنّاوری را پیشنهاد می‌دهد و پیش‌بینی می‌کند که یکی از فنّاوری‌هایی باشد که در آینده نزدیک شاهد ظهور و گسترده شدن آن خواهیم بود.

یکی از مراجع مهم و معروف برای مقاله‌ها در این زمینه، نشست بین‌المللی واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی (ISMAR)[۳] است که در قالب IEEE Computer Society به‌صورت سالیانه برگزار می‌شود، با بررسی و ارزیابی ۲ دهه از مقاله‌های منتشرشده در این کنفرانس، به نمودارهای زیر می‌رسیم.[۴] [۹].

همان‌طور که از نتایج پیدا است یکی از حوزه‌های موردعلاقه محققین ردیابی[۵]، است که مقاله‌های زیادی در این حوزه منتشر می‌شود و همچنین ارجاعات به این مقالات نیز بالا می‌باشد.

۶.۱ بیان ساختار فصل‌های بعدی

بخش‌بندی سمینار به شکل زیر است:

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

بخش سوم: در این بخش به معرفی رندرینگ در واقعیت افزوده می‌پردازیم و اجزای آن را شرح می‌دهیم و سپس

[1] Slope of Enlightenment

[2] Plateau of Productivity

[3] International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)

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

[5] Tracking

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	-	-

(آ) تعداد مقاله ها بر اساس موضوع

Table 2. Proportion of highly cited papers.

Category	% Papers	% Citations	Zhou08 % Papers	Zhou08 % 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)	-	-

(ب) ارجاع به مقالات به نسبت تعداد

(ج) مقابسه تمایل نویسندگان بر اساس موضوع

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

شکل ۵.۱: بررسی ۲ دهه کنفرانس ISMAR [۹]

تمرکز خودمان را بر روی ردیابی (Tracking) می‌گزاریم و روش‌های مختلف درون آن را شرح می‌دهیم و کارهای گذشته را ذکر می‌کنیم.

فصل چهارم: در این فصل روش‌های مختلف را باهم مقایسه کرده و مسئله‌ای را مطرح کرده و به چالش‌های آن می‌پردازیم.

فصل پنجم: در این فصل به نتیجه‌گیری کلی می‌پردازیم.

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 به‌مرور 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 Ron Azuma بیان می‌کند که واقعیت افزوده باید شامل ۳ ویژگی باشد [۱۰]:

۱- باید توانایی ترکیب دنیای واقعی و مجازی را دارا باشد.

۲- باید با دنیای واقعی در ارتباط باشد.

۳- باید به‌صورت ۳ بعدی قابل استناد باشد.

مثال شبکه خبری CNN هر سه این شرایط را دارا می‌باشد. تصویر مجازی خبرنگار Jessica Yellin به‌صورت زنده بر روی صحنه ظاهر شد و همچنین توانایی برقراری ارتباط و صحبت با خبرنگار Wolf Blitzer در همان زمان بود و تصویر مجازی به‌صورت سه بعدی قابل‌نمایش بود.

در یک سیستم واقعیت افزوده هر سه شرط باید رعایت شود و همچنین باید شامل یک سیستم کامپیوتری که قادر است تصاویر مجازی تولید کند و به دنیای واقعی اضافه کند باشد، همچنین باید یک سیستم ردیابی [1] 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.

[1] Tracking

باید توجه شود که در تعریف Azuma 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.Rekimoto تفاوت بین رابط‌های میز کار سنتی [1] با تلاش‌هایی که در جهت حذف رابط کاربری انجام‌شده است را متمایز ساخت [۱۱]. همان‌طور که در شکل ۶.۲ قابل‌مشاهده است، Rekimoto به معرفی انواع رابط‌های کاربری پرداخت و ۴ مدل را معرفی نمود.

۱- مدل رابط گرافیکی کاربر (GUI):[2]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:[3] در این مدل کاربر با استفاده از کلاهی که بر روی سر و چشمانش 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[4] می‌کند و از دنیای واقعی جدا می‌شود.

۳ -مدل پردازش همه‌جا حاضر:[5] در این مدل سنسورها و پردازشگرها در دنیای واقعی جاسازی‌شده‌اند.

۴- واقعیت افزوده:[6] مشکل مدل دوم (واقعیت مجازی) این است که کاربر از دنیای واقعی جداشده 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 نه‌تنها 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 نصب‌شده[7]، سیستم ردیابی و دستگاه‌های ورودی دستی[8] می‌باشند، بااین‌حال بین این دو تفاوت‌های مهمی وجود دارد.

[1] traditional desktop computer interfaces
[2] graphical user interface
[3] Virtual Reality
[4] immersive
[5] Ubiquitous Computing
[6] Augmented Reality
[7] head mounted displays
[8] handheld input devices

شکل ۱.۲: انواع رابطهای کاربری [۱۱]

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[1] بدون آنکه به کاربر حس غوطه‌ور شدگی دست بدهد به دنیای واقعی بیفزاید. در واقعیت مجازی دستگاه نمایشگر باید کاملاً جامع باشد و میدان گسترده‌ای از دید را پوشش بدهد و گرافیک‌های ۳ بعدی تا حد امکان واقعی به نظر بیایند. ازآنجاکه کاربر به مدت زیادی قادر به دیدن دنیای واقعی نمی‌باشد، در واقعیت مجازی سیستم ردیابی نیاز به دقیق بودن به نسبت دنیای واقعی را ندارد و این حساسیت در آن کمتر می‌باشد.

[1] digital content

در مقابل، در واقعیت افزوده، سیستم نمایش می‌تواند به‌صورت 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 Milgram و Kishino نگاهی بیندازیم [۱۲]. آنها مفهومی با نام واقعیت ترکیبی[1] 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[2] 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[3] 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 افزوده‌شده[4] 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 به‌تنهایی به‌عنوان دسته مجزا شناخته نمی‌شود بلکه بخشی از هر دو را تشکیل می‌دهد.

[1] Mixed Reality
[2] Virtual Environment
[3] Real Environment
[4] Augmented Virtuality

شکل ۲.۲: شکل معرفی شده برای Mixed Reality توسط Milgram [۱۲]

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 [۱۳]:

۱.۳.۲ ۱- نمایشگرهایی که بر روی سر نصب می‌شوند[1]

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

- **۱- دیدن از طریق ویدیو[2]:** در این مدل، نیاز داریم تا کاربر، ۲ دوربین را بر روی سرخود قرار دهد و با استفاده از پردازش‌های تصاویر این دو دوربین، تصاویر ۳ بعدی از محیط را به‌صورت 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 برخورد می‌کنیم، مشکل اول کیفیت تصاویر است که وابسته به‌وضوح [3] 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 [4]دریافت تصاویر و پردازش و سپس نمایش را به حداقل برسانیم.

[1] head mounted displays (HMD)
[2] Video-see-through
[3] resolution
[4] latency

شکل ۳.۲: نمونه‌ای از نمایشگرهای نصب‌شده بر روی سر [۱۳]

- **۲- دیدن از طریق نور:**[1] 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[2] :

این نوع از نمایشگرها، 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. به‌عنوان‌مثال برای این نوع از نمایشگرها می‌توان تلفن‌های همراه هوشمند را مثال زد که علاوه بر دارا بودن

[1] optical-see-through
[2] Handheld displays

شکل ۴.۲: نمونه‌ای از نمایشگرهای دستی [۱۳]

ویژگی‌های ذکرشده، دارای سنسورهایی مانند "سیستم موقعیت یاب جهانی"[1] و قطب نمای دیجیتال هستند که برای ردیابی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود

۳.۳.۲ نمایشگرهای فضایی[2]

در این نوع از نمایشگرها ما شاهد واقعیت افزوده فضایی[3] هستیم که با استفاده از ویدئو پروژکتور، عناصر نوری، هولوگرام‌ها و برچسب‌های فرکانس رادیویی به‌صورت مستیم 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 شکل۵.۲. در نمایشگرهای فضایی، بیشتر فنّاوری بدون وابستگی به کاربر است و بدون دخالت او، عناصر مجازی را با روش اضافه کردن مستقیم[4] با دنیای واقعی ادغام می‌کنیم [۱۴].

[1] Global Positioning System (GPS)

[2] spatial displays

[3] Spatial Augmented Reality (SAR)

[4] direct augmentation

شکل ۵.۲: نمونه‌ای از نمایشگرهای فضایی [۱۴]

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 طراحی‌شده برای دریافت ورودی و تعامل با واقعیت افزوده را می‌توان به ۵ دسته زیر تقسیم نمود:

شکل ۶.۲: نمونه‌ای از پروژه NaviCam [۱۱]

۱.۴.۲ مرورگرهای اطلاعات[1]:

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 درجایی کار می‌کنند که نمایشگر واقعیت افزوده به‌عنوان پنجره‌ای به‌سوی 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 NaviCam 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 [۱۱].

۲.۴.۲ رابط کاربر ۳ بعدی[2]:

در این مدل با استفاده از تکنیک‌های تعاملی ۳ بعدی به ارتباط با محتوا در فضا می‌پردازیم. این روش یکی از راه‌های جذاب و مناسب برای تعامل است. Bowman به‌طور خلاصه این فرایند را به سه قسمت تقسیم کرده است [۱۵].

[1] Information Browsers

[2] 3D User Interfaces

شکل ۷.۲: استفاده از رابط کاربر ۳ بعدی [۱۵]

- **جهت‌یابی**[1]: 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**[2]: 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[3] و... استفاده کرد.
- **دست‌کاری**[4]: این قسمت گام آخر است و کاربر می‌تواند تعامل خود را با عناصر مجازی به‌راحتی انجام دهد.

۳.۴.۲ رابط کاربر قابل لمس[5]:

در این نوع 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

[1] navigation
[2] selection
[3] joysticks
[4] manipulation
[5] Tangible User Interfaces

شکل ۸.۲: استفاده از رابط کاربر قابل لمس [۱۶]

تعامل با دنیای مجازی است، اما مشکلات خود را نیز دارا است، به‌عنوان‌مثال، وقتی‌که 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 [۱۶].

۴.۴.۲ رابط کاربر طبیعی [1] :

در این مدل 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 ساخته‌شده‌اند. با پیشرفت کامپیوترها، سیستم‌های واقعیت افزوده توانستند حرکت و ژست بدن کاربر را بدون نیاز به سنسورها تشخیص بدهند. به‌طور مثال Lee توانست سیستمی را طراحی کند که توانایی شناسایی دست و حرکت‌های آن را داشته باشد [۱۷].

شکل ۹.۲: استفاده از رابط کاربر طبیعی [۱۷]

[1] Natural User Interfaces

۵.۴.۲ رابط چند منظوره[1] :

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[2] و تشخیص ژست[3]، یکی از گسترده‌ترین و فعال‌ترین بخش‌ها بوده است.

Lee 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 دقت 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 [۱۸].

شکل ۱۰.۲: رابط چند منظوره [۱۸]

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

[1] Multimodal Interfaces
[2] speech
[3] gesture recognition

شکل ۱۱.۲: منطبق کردن پارامترهای داخلی و خارجی [۱۹]

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 بادید 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 شناخته‌شده و مقایسه ویژگی‌های تصاویر به‌دست‌آمده از این الگوها با ویژگی‌های سه بعدی آنها، تعیین می‌شوند. این امر معمولاً قبل از

[1] calibration
[2] registration
[3] construction

شروع به‌کار سیستم واقعیت افزوده انجام می‌شود.

- **پارامترهای خارجی** با ردگیری دوربین و تعیین فاصله و جهت دوربین تعیین می‌شوند. هنگامی‌که صحنه ایستا است تنها تعیین پارامترهای خارجی دوربین در حالت اولیه کافی است ولی درصحنه‌هایی که تغییر می‌کنند به این دلیل که هر تغییری ممکن است درصحنه مجازی که قرار است به محیط واقعی اضافه شود، تغییر ایجاد کند، هر جسم مهمی که مکان آن تغییر می‌کند باید ردگیری شود [۱۹].

با استفاده از روش‌های ردگیری، مکان و جهت دوربین و اجسام موجود در هر صحنه مشخص می‌شود. برای آنکه صحنه مجازی به‌صورت 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 فنّاوری به‌کاربرده شده به‌صورت دیجیتالی و یا به‌صورت فیزیکی نمایش داده شود.

در این بخش ابتدا به بررسی انواع فناوری‌های نمایش مورداستفاده در واقعیت افزوده و سپس ازنظر 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 به‌وسیله دوربین به‌صورت دیجیتالی تبدیل می‌کنند و سپس تصویر مجازی به کمک روش‌های پردازش تصویر، به تصویر محیط واقعی اضافه می‌شود. در بیشتر موارد دوربین در پشت صفحه‌نمایش متصل می‌شود و اجازه دیدمستقیم به محیط را می‌دهد. درواقع در این مدل دنیای واقعی

[1] Video based

[2] Optical see-through

[3] Projection onto a physical surface

شکل ۱۲.۲: اضافه شدن اشتباه در شکل سمت چپ و تصحیح آن در سمت راست [۲۰]

را از طریق صفحه‌نمایش می‌بینیم. دوربین می‌تواند در زوایای دیگر نیز قرار گیرد مثلاً رو به کاربر برای ایجاد یک آینه مجازی [۱۹]. با رایج شدن استفاده از دوربین‌های دیجیتال در رایانه‌ها، رایانه‌های لوحی و تلفن‌های هوشمند پیاده‌سازی واقعیت افزوده به‌سادگی امکان‌پذیر شده است. این امر سبب شده تا واقعیت افزوده ویدیوئی به عمومی‌ترین نوع واقعیت افزوده تبدیل شود. همچنین باوجود دوربین‌های دیجیتال و الگوریتم‌های پیشرفته ردگیری امکان افزایش دقت ترکیب تصویر واقعی با تصویر مجازی، در حد پیکسل فراهم‌شده است. یکی از مشکلات رایج این نوع واقعیت افزوده، عدم رعایت صحیح رابطه بین اجسام واقعی و مجازی است بدین‌صورت که قسمتی از جسم واقعی که نزدیک‌تر از محل قرارگیری جسم مجازی است در زیر جسم مجازی اضافه‌شده به تصویر قرار می‌گیرد [۲۰].

همان‌طور که در شکل ۱۲.۲ دیده می‌شود در سمت چپ شی مجازی به‌صورت نادرستی به محیط واقعی اضافه‌شده است و این مشکل در شکل سمت راست رفع شده است. این مشکل با به‌دست آوردن اطلاعات عمقی صحنه واقعی و مقایسه این اطلاعات با اطلاعات مجازی که باید به صحنه واقعی اضافه شود قابل‌حل است. جدیدترین روش به‌دست آوردن اطلاعات عمقی محیط استفاده از روش‌های تصویر پایه است [۱۹]. بدین‌صورت که با مقایسه دو تصویر و ترکیب آنها اطلاعات عمقی محیط به‌دست می‌آید. از دیگر روش‌های به‌دست 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 [۱۹]، تصویری

که از طریق دوربین تهیه‌شده 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. باوجود افزایش قدرت پردازشی در سال‌های اخیر، در مقایسه با دیگر انواع نمایش واقعیت افزوده هنوز نیاز به افزایش قدرت پردازش در این نوع واقعیت افزوده هست.

نمایش دید نوری واقعیت افزوده

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[1] استفاده می‌کنند. این جداکننده تصویر واقعی را با انعکاس تصویر مجازی ترکیب کرده و نمایش می‌دهد شکل۱۳.۲. 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 فنّاوری صفحه‌نمایش‌هایی ساخته‌شده 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 [۱۹].

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 کاربردهایی مناسب است که به دیدمستقیم از دنیای واقعی نیاز دارند مانند کاربردهای پزشکی و نظامی که این‌یک ویژگی بسیار 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 خطا در نگاشت دو تصویر واقعی و مجازی بر یکدیگر می‌شود [۱۹].

[1] beam splitters (e.g. half mirrors or combined prisms)

شکل ۱۳.۲: نمایش دید نوری [۱۹]

یکی دیگر از مشکلات واقعیت افزوده دید نوری تأخیر موقتی بین نمایش تصویر مجازی و دیده مستقیم واقعی است. باوجود 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. به‌صورتی که، هیچ‌کدام دیگری را تماماً نمی‌پوشاند. Kiyokawa و همکاران [۲۱] 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 خطا در 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.

شکل ۱۴.۲: نمایش دید نوری [۲۳]

نمایش مبتنی بر نورپردازی

واقعیت افزوده مبتنی بر نورپردازی سطح یک جسم واقعی را به کمک نورپردازی با تصویر مجازی می‌پوشاند شکل۱۴.۲. با توجه به ترکیب ردگیری زاویه دید کاربر و سطح فیزیکی اجسام، واقعیت افزوده مبتنی بر نورپردازی دارای قابلیت اضافه کردن تعاملی را دارد [۲۲]. 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 [۲۳] و متصل شدن به سر است [۲۴] 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.

۲.۵.۲ فاصله قرار گیری نمایشگر

یکی دیگر از جنبه‌های نمایش واقعیت افزوده فاصله نمایشگر از چشم کاربر است که می‌توانند در دسته‌هایی مانند نمایشگر متصل به سر[۱]، نمایشگر دستی و یا متصل به بدن[۲] و نمایشگر فاصله‌دار[۳] قرار گیرند.

content...

نمایشگر متصل به سر

این نوع نمایشگر تصویر مجازی را درست در جلوی چشمان کاربر نمایش می‌دهد، که در این صورت جسم دیگری مانع دیدن تصویر نمی‌شود. این نوع نمایشگرها در اندازه‌های مختلف وجود دارند که از اندازه یک کلاه تا اندازه یک عینک متفاوت است. به همان نسبت که حمل و متصل کردن آن به سر راحت‌تر می‌شود، تصویر عریض‌تر و درخشان‌تر می‌شود [۱۹].

نمایشگر دستی و یا متصل به بدن

نمایشگر متصل به سر دارای قابلیت‌هایی مانند قابلیت حمل بالا و فراهم کردن تصویر فراگیر است اما به دلیل پوشیدنی بودن آنها در بعضی از موارد دارای محدودیت هستند. نمایشگرهای در دست گرفتنی و یا متصل به بدن به‌عنوان نمایشگرهای شخصی و قابل‌حمل در نظر گرفته می‌شوند و در صورت نیاز قابل به اشتراک‌گذاری با دیگران هستند. آنها همچنین ازنظر اجتماعی قابل پذیرش تر از نمایشگر متصل به سر هستند.

با پیشرفت فنّاوری درزمینه دستگاه‌های قابل‌حمل، قدرت پردازشی دستگاه‌های قابل‌حمل برای پردازش تصویرسازی

[1] Head-attached Displays

[2] Handheld and Body-attached Displays

[3] Spatial Displays

شکل ۱۵.۲: پروژه تانگو گوگل که با استفاده زا نمایشگرهای دستی کار می‌کند

واقعیت افزوده به میزان لازم افزایش پیداکرده است. اخیراً آزمایش‌هایی برای استفاده از سنسورهای عمقی بر روی رایانه‌های لوحی و تلفن‌های هوشمند انجام‌شده است (مانند پروژه تانگو گوگل.) [۱]

نمایشگر فاصله‌ای

این نوع از نمایشگر در مقایسه با دو نوع قبلی قابلیت حمل کمتری دارد و معمولاً در یک مکان ثابت نصب می‌شود. به این دلیل که این نوع نمایشگرها دارای اندازه بزرگی هستند. درنتیجه، برای استفاده در مکان‌های عمومی و کاربردهایی که چندین کاربر دارند مناسب هستند. از نمونه‌های این نوع نمایشگر می‌توان به نمایشگرهای رومیزی که با یک دوربین در تماس هستند اشاره کرد. از دیگر نمونه‌های آن ساخت آینه مجازی است که از یک نمایشگر بزرگ و یک دوربین رو به کاربر تشکیل‌شده است و تصویر کاربر به همراه اطلاعات مجازی اضافه‌شده در آن نمایش داده می‌شود [۱۹].*/

[1] https://developers.google.com/tango

فصل ۳

کارهای مرتبط

۱.۳ معرفی فصل

همان‌طور که در شکل ... می‌بینیم، ما درخت موضوعی برای واقعیت افزوده را درآوردیم 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.

همان‌طور که در بخش دوم اشاره شد، محقق Azuma بیان می‌کند که واقعیت افزوده باید ۳ ویژگی داشته باشد [۱۰]:

۱- باید توانایی ترکیب دنیای واقعی و مجازی را دارا باشد.

۲- باید با دنیای واقعی در ارتباط باشد.

۳- باید به‌صورت ۳ بعدی قابل استناد باشد.

برای شرط سوم، باید سیستم واقعیت افزوده ما قابلیت ثبت شدن[1] به‌صورت ۳ بعدی را دارا باشد به معنای دیگر باید بتواند به‌صورت جزئی از دنیای واقعی به نظر بیاید. در این بخش بر روی فنّاوری که این نیاز را برطرف می‌کند تمرکز می‌کنیم.

۲.۳ رندرینگ به چه معنا است؟

در حوزه واقعیت افزوده، ۳ واژه بسیار مهم وجود دارد به نام ردیابی[2]، کالیبراسیون[3] و ثبت[4] که زیرمجموعه رندریگ[5] می‌باشند و در کنار هم به این واژه معنا می‌دهند. این ۳ واژه همیشه همراه هم هستند و در یک هدف

[1] registration
[2] Tracking
[3] Calibration
[4] Registration
[5] Rendering

شکل ۱.۳: ارتباط ثبت، ردیابی و کالیبراسیون [۲۵]

قرار دارند. برای ثبت پویا[1]، نیاز به داشتن ردیابی هستیم. عناصر درون سیستم واقعیت افزوده ثبت می‌شوند و سپس در یک سیستم هماهنگ، این عناصر ثبت‌شده به دنیای واقعی پیوند[2] می‌شوند. در واقعیت افزوده هدف اصلی این است که اطلاعات مجازی دقیقاً به‌صورتی که از قبل برنامه‌ریزی‌شده‌اند، ثبت بشوند. کالیبراسیون به‌صورت دقیق اطلاعات حس‌گرها[3] را دریافت و پردازش می‌کند و مسئولیت ثبت ایستا[4] با این فرایند است [۲۵].

ردیابی واژه‌ای است که برای حس کردن و محاسبه کردن مقادیر در واقعیت افزوده به‌کار می‌رود. برای تبدیل کردن موقعیت در ۳ بعد عناصر مجازی، به موقعیت‌های نسبی، نیاز به جهت‌یابی داریم. واقعیت افزوده به‌صورت بلادرنگ کار می‌کند درنتیجه برای ارسال مقدار از محیط واقعی باید به‌صورت بلادرنگ[5] عمل کرد و همین‌طور این کار باید پیوسته در زمان صورت بگیرد. ردیابی درون سیستم‌های رایانه‌ای برای اجسام ۲ بعدی کاری رایج است اما

[1] dynamic
[2] aligned
[3] sensor
[4] Static
[5] real time

سختی کار در اینجا ردیابی در محیط بیرون و در سه جهت مختصات برای همه‌ی نوع‌های عناصر است [۲۵].

به عملیات مقایسه کردن مقادیر بین دو دستگاه، کالیبراسیون گفته می‌شود. یکی بین دستگاه مرجع[1] 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 به‌صورت پیوسته انجام شود، عملیات کالیبراسیون در بخش‌های مختلف زمانی و به‌صورت گسسته انجام می‌شود و برای هر دستگاه فقط یک بار این کار صورت می‌گیرد مگر اینکه دستگاه دچار مشکل بشود. کیفیت کاری دستگاه‌های واقعیت افزوده وابستگی زیادی به عملیات کالیبراسیون دارد [۲۵].

به فرایند پیوند زدن مختصات عناصر مجازی با واقعی، ثبت میگوییم. به‌طور مشخص نمایشگر واقعیت افزوده باید باکیفیت بالا، عناصر مجازی را نشان دهد و یا اینکه به عناصر واقعی پیوند بزند. برای این کار نیاز داریم تا عملیات ردیابی به‌صورت 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 بدهیم ولی اگر دوربین خاصیت جابه‌جایی داشته باشد، ما به عملیات ردیابی نیز، نیاز داریم [۲۵].

برای آوردن عناصر مجازی به دنیای واقعی، نیاز به یک لنگر[2] داریم که باید ژست (جهت[3] و موقعیت[4]) آن مشخص باشد، این لنگر باید متعلق به دنیای واقعی باشد و می‌تواند شکل‌های مختلفی به خود بگیرد، به‌عنوان‌مثال می‌تواند یک منبع مغناطیسی باشد، یا نشانگر تصویر کاغذی[5] و یا موقعیت جغرافیایی که بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی تشخیص داده می‌شود.

وابسته به نوع فنّاوری 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 به‌صورت نسبی اندازه‌گیری می‌کنیم.

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

[1] reference
[2] anchor
[3] position
[4] orientation)
[5] paper image marker

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

۳.۳ ردیابی مغناطیسی[1]

ردیابی مغناطیسی از خواص میدان‌های مغناطیسی به‌منظور محاسبه ژست یک گیرنده که به‌عنوان یک لنگر در دنیای واقعی شناخته می‌شوند، با توجه به فرستنده استفاده می‌کند. در این مدل، فرستنده یک میدان مغناطیسی را به‌صورت متناوب تولید می‌کند که توسط یک و یا چند حسگر این اطلاعات دریافت می‌شود. با محاسبه قطب[2] و گرایش[3] میدان مغناطیسی دریافت شده، ژست دریافت‌کننده با سرعت بالایی قابل‌محاسبه است.

زمانی که از این معیار در سیستم واقعیت افزوده استفاده می‌کنیم، ردیاب مغناطیسی فرستنده به‌عنوان منشأ سیستم مختصات مجازی عمل می‌کند، و با نصب کردن یک دریافت‌کننده در عنصری که سعی در دیدن آن داریم، موقعیت و جهت آن قابل‌محاسبه است [۲۶].

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[4] است و نسبت به مواد مغناطیسی و میدان‌های الکتریکی در محیط واقعی حساس است.

شکل ۲.۳ نشان‌دهنده وضوح در ردیابی مغناطیسی دستگاه‌های Polhemus است که تأثیر فاصله بین دریافت‌کننده و فرستنده را نمایش می‌دهد. همان‌طور که قابل‌مشاهده است در فاصله‌های پایین این خطا بسیارکم است اما با افزایش فاصله به‌صورت نمادی خطا افزایش میابد. ردیابی مغناطیسی در طیف وسیعی از سامانه‌های واقعیت افزوده استفاده‌شده است، مانند برنامه‌هایی در حوزه‌های تولید [۲۶]، نگهداری [۲۷]، سلامت [۲۸].

[1] Magnetic Tracking
[2] polarization
[3] orientation
[4] measurement jitter

شکل ۲.۳: ارتباط فاصله با وضوح محاسبات در ردیابی مغناطیسی[۱]

۴.۳ ردیابی براساس دید[1]

ردیابی بر اساس دید، 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 ۳ بخش اصلی تقسیم می‌شوند: حسگرهای مادون‌قرمز[2]، حسگرهای نورهای قابل‌مشاهده[3] و حسگرهای ساختار ۳ بعدی[4].

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 قابل‌حمل مانند تلفن‌های همراه و رایانک‌های لوحی[5] که دارای صفحه‌نمایش و دوربین می‌باشند درنتیجه برای سیستم‌های واقعیت افزوده بسیار ایده آل هستند.

در زیر بخش‌های بعدی در رابطه با حسگرهای مختلف در ردیابی بر اساس دید صحبت می‌کنیم و آن‌ها را بر اساس سخت‌افزاری که استفاده می‌کنند دسته‌بندی می‌کنیم.

۱.۴.۳ ردیابی مادون قرمز[6]

این روش یکی از اولین روش‌های ردیابی با استفاده از نور بوده است و این روش نورهای منتشرشده و یا بازتاب نور را هدف قرار می‌دهد و به‌راحتی می‌تواند میزان شدت نور را با مقایسه در اطراف محیط به‌دست آورد [۲۹]. هدف که نوری را منتشر می‌کند نسبت به اثرات نامطلوب نور مانند نور ضعیف محیط و یا سایه‌ها بسیار مقاوم است. این هدف‌ها همچنین می‌توانند به عنصری که قصد داریم با استفاده از دوربین آن را ردیابی بکنیم وصل بشوند، به این روش نگاه کردن بیرون از داخل[7] [۳۰]گفته می‌شود و یا در محیط‌های بیرونی که دوربین به هدف وصل شده

[1] Vision Based Tracking
[2] Infrared Sensors
[3] Visible Light Sensors
[4] 3D structure sensors
[5] tablets
[6] Infrared Tracking
[7] outside-looking-in

شکل ۳.۳: چپ: شمایی نمادین از نگاه کردن درون از بیرون-وسط: ال‌ئی‌دی های نصب شده بر روی سقف-راست: ردیاب دوربین [۳۲]

است با عنوان نگاه کردن داخل از بیرون[1] شناخته می‌شود [۳۱].

با مقایسه حسگرها به این نتیجه رسیده‌ایم 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 توسعه‌یافته‌اند. به‌طورمعمول یک نمایشگر ثبت‌شده بر روی سر به همراه یک دوربین خارجی است و ال‌ئی‌دی های مادون‌قرمز بر روی سقف نصب‌شده‌اند شکل۳.۳. با استفاده از الگوهایی که میدانیم و اطلاعاتی که از ال‌ئی‌دی[2] ها دریافت می‌کنیم، موقعیت و جهت سر کاربر را می‌توانیم تشخیص بدهیم [۳۲].

مشکل اصلی در پیکربندی نگاه کردن درون از بیرون، نیاز به نصب ال‌ائی‌دی ها در تمام محیط بیرون است و همچنین باید بر روی دستگاه نمایشگر، حسگرهایی برای تشخیص به دوربین موبایل اضافه بشوند که وزن قابل‌توجه ای دارند همچنین این حسگرها بسیار گران و پیچیده هستند.

۲.۴.۳ ردیابی نور قابل مشاهده[3]

رایج‌ترین نوع حسگرهای نوری، حسگرهای نور مرئی 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.

[1] inside-looking-out

[2] Light-Emitting Diode (LED)

[3] Visible Light Tracking

شکل ۴.۳: چپ: نشانه های رنگی ثابت-راست: استفاده از چند حلقه به ثابت‌ها [۳۳]

روش‌های ردیابی که در سنسور نور قابل‌مشاهده استفاده می‌شوند می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند. ردیابی ثابت[1]، ردیابی ویژگی‌های طبیعی[2]، ردیابی بر اساس مدل[3]. در ادامه به توضیح هرکدام می‌پردازیم.

- **ردیابی ثابت**

در این مدل، ما نشانه‌های ساختگی ثابتی را در نظر می‌گیرم و آن‌ها را برای ثبت کردن و ردیابی به محیط می‌دهیم۴.۳. با توجه به برنامه و تکنولوژی که استفاده می‌کنیم پیچیدگی و گسترگی ثابت‌ها می‌توانند متفاوت باشند. در سیستم‌های اولیه از ال ئی دی های رنگی کوچک و یا تکه‌های کاغذ استفاده‌شده است که می‌توانستیم به محیط اضافه بکنیم و با استفاده از تطبیق رنگ آن‌ها را شناسایی بکنیم. اگر درصحنه دریافت شده توسط دوربین بتوانیم به‌اندازه کافی ثابت‌ها را شناسایی بکنیم، ژست دوربین قابل‌شناسایی است. از مزایای این روش می‌توان گفت که در اینجا محیط می‌تواند پویا باشد و برای پیدا کردن ژست دوربین فقط نیاز داریم که ثابت‌ها به محیط در زمان اجزا اضافه بشوند و با کمک آن‌ها موقعیت و جهت دوربین تشخیص داده می‌شود. با اضافه کردن خواص و پیچیدگی به ثابت‌ها مانند چند حلقه‌ای، می‌توان ثابت‌ها را در فواصل بیشتر نیز تشخیص داد شکل ۴.۳ [۳۳].

برای محاسبه موقعیت یک تماشاگر در دنیای واقعی حداقل باید ۴ نقطه از موقعیت‌ها را داشته باشیم و بدانیم. با استفاده از این ثابت‌های ساده، طراحی فضا به‌دقت باید موردتوجه قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که نقاط کافی در هرلحظه قابل‌مشاهده است اگر نیازهای ما برطرف نشد و نیاز به تلاش بیشتر داشتیم،

[1] Fiducial tracking
[2] Natural Feature tracking
[3] Model Based tracking

شکل ۵.۳: نمونه‌های مختلف ثابت‌های استفاده‌شده [۱]

باید توجه شود که می‌توان ثابت‌های بیشتری را به محیط اضافه کرد و باید موقعیت آن‌ها را در محیط به‌صورت دقیق داشته باشیم. یک راه جایگزین که دیگر نیازی به استفاده از چهار نقطه نباشد، این است که از ثابت‌های مسطح به شکل مربع که ۴ گوشه آن می‌تواند برای ما به‌عنوان چهار نقطه‌ای که باید موقعیت آن‌ها را بدانیم عمل کند.

سپس اطلاعات شناسایی اضافی که برای عملیات ثبت نیاز داریم، می‌تواند درون این مربع قرار بگیرد. با این روش می‌توان از چندین ثابت یکتا مختلف در یک برنامه استفاده کرد.

استفاده از ثابت‌های مربعی به خاطر راحتی در استفاده و نیز دقت بالا در تشخیص بسیار در فنّاوری واقعیت افزوده محبوب شد. یکی از محبوب‌ترین سیستم‌های ثابت‌های مربعی، ARToolkit است که تعداد بسیار زیادی پروژه موفق داشت و توانسته محبوب‌ترین ثابت‌ها را در دنیا ارائه بدهد [۳۴].

- **ردیابی ویژگی‌های طبیعی**

ثابت‌های مربعی توانستند مشکلاتی که در ثابت‌های رنگی بود را رفع کنند ولی هنوز مشکلات مربوط به خود رادارند، 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 وقتی‌که لنگر برای ما باارزش است مانند یک نقاشی هنری که نمی‌توانیم به آن عنصری را اضافه بکنیم.

شکل ۶.۳: نمونه‌ای از ردیابی بر اساس ویژگی‌های طبیعی [۳۶]

با توجه به افزایش قدرت دستگاه‌های استفاده‌شده برای فنّاوری واقعیت افزوده، امکان ثبت ژست دوربین به شکل بلادرنگ با توجه به‌ویژگی‌های طبیعی در محیط امکان‌پذیر است.

برای تشخیص ویژگی‌های منحصربه‌فردی که در محیط عکس‌های گرفته‌شده وجود دارد، مانند نقطه‌ها، گوشه‌ها و تقاطع خطوط، از الگوریتم‌های پردازش تصویر پیچیده استفاده می‌شود.

برای هر یک از ویژگی‌های نام‌برده شده یک "توصیفگر"[1] محاسبه‌شده است که برای شناسایی و تفکیک این ویژگی‌ها به‌کار می‌رود. با تطابق دادن ویژگی‌های به‌دست‌آمده از درون صحنه، با ویژگی‌هایی که از عنصری که می‌خواهیم ردیابی بکنیم، سپس می‌توانیم با استفاده از الگوریتم‌های ساده که درروش ردیابی ثابت استفاده کرده‌ایم، ژست را تشخیص بدهیم [۳۵].

- **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 بدهیم بسیار موردتوجه است.

[1] descriptor

شکل ۷.۳: نمونه‌ای از ردیابی بر اساس مدل توسط شرکت OpenTL [۴۰]

این روش‌ها معمولاً به‌صورت 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 [۳۷]. 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 [۳۸]. برای به‌دست آوردن ردیابی قوی‌تر[1] می‌توانیم ۲ روش ردیابی ویژگی‌های طبیعی و ردیابی بر اساس ضلع‌ها را با یکدیگر ترکیب کنیم [۳۹] و همچنین با این ترکیب می‌توانیم در فضاهای باز و محیط‌های بیرون عمل ردیابی را انجام دهیم [۳۴]. اخیراً توجه زیادی شده است که بتوانیم روشی داشته باشیم تا با استفاده از آن ما را قادر سازد به‌صورت همزمان یک نقشه از محیط واقعی را بسازیم و آن را به‌روزرسانی کنیم، و با استفاده از آن بتوانیم موقعیت را تشخیص بدهیم. ایده اصلی این کار با استفاده از روش "مکان‌یابی همزمان و ساختن نقشه"[2] است که این روش اولین بار برای روبات‌ها طراحی شد [۴۱] 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 بانام "ردیابی و نقشه‌برداری همزمان (PTAM)"[3] شناخته شد که در آن ردیابی دوربین و نقشه‌برداری به‌صورت جدا از هم کار می‌کردند. PTAM به‌صورت مخصوص فقط برای واقعیت افزوده طراحی شد و دقت ردیابی در آن بالا رفت [۴۲].

[1] robustness

[2] SLAM (Simultaneous Localization and Map Building)

[3] Parallel Tracking and Mapping

شکل ۸.۳: نمونه‌ای از روش PTAM [۴۳]

۳.۴.۳ ردیابی ساختارهای ۳ بعدی[1]

در سال‌های اخیر حسگرهای تجاری زیادی به بازار ارائه شدند که توانایی تشخیص ساختار ۳ بعدی از محیط را دارا بودند و همچنین بسیار مقرون‌به‌صرفه بودند، از نمونه‌های اولیه آن‌ها می‌توان به ماکروسافت کینکت[2] اشاره کرد که شروع‌کننده این حسگرها بود [۴۴]. این حسگرها از تکنولوژی‌هایی مانند ساختار نور [۴۵] و یا زمان گریز[3] [۴۶]برای به‌دست آوردن اطلاعات در مورد موقعیت‌های ۳ بعدی از نقاط درون صحنه استفاده می‌کنند.

این فنّاوری‌های 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 KinectFusion است که توسط شرکت ماکروسافت توسعه‌یافته است. KinectFusion از اطلاعات به‌دست‌آمده توسط سنسور عمق نور ساختار کینکت استفاده می‌کند تا باکیفیت بالا مدلی ۳ بعدی از عناصر واقعی و محیط به‌دست آورد و از این مدل برای ردیابی ژست کینکت در محیط استفاده می‌کند. شکل ۹.۳ مثالی

[1] 3D Structure Tracking
[2] Microsoft Kinect
[3] time-of-flight

شکل ۹.۳: نمونه‌ای از ردیابی ساختارهای ۳ بعدی توسط کینکت ماکروسافت [۴۷]

از KinectFusion را نشان می‌دهد [۴۷].

۵.۳ ردیابی درونی[1]

ردیابی درونی از (واحد اندازه‌گیری درونی)[2] استفاده می‌کند که شامل حسگرهایی مانند شتاب سنج [3]، ژیروسکوپ [4] و مغناطیس‌سنج [5] 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 خطا در اندازه‌گیری مکان و جهت می‌شوند. به همین دلیل در کاربردهایی که نیاز به‌دقت بالای ردیابی دارند، نیاز است این روش با روش‌های مبتنی بر دید و یا دیگر روش‌های معرفی‌شده ترکیب شود [۱۹].

[1] Inertial Tracking
[2] Inertial Measurement Unit (IMU)
[3] Accelerometers
[4] Gyroscopes
[5] Magnetometers

۶.۳ ردیابی براساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی [1]

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 فنّاوری ماهواره‌ها، رو به بهبود است. ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی، در بسیاری از برنامه‌ها بکار رفته است ازجمله برنامه‌های نظامی، بازی و یا تاریخی.

باید توجه داشت در این مدل از ردیابی، دقت پایین است و فقط با کمک آن می‌توان موقعیت را ردیابی کرد و نسبت به جهت هیچ حرفی نمی‌توان زد بااین‌وجود در برنامه‌هایی که دقت برای ما از اهمیت کمتری برخوردار است و یا برنامه‌هایی که از ردیابی ترکیبی استفاده می‌کنند، می‌توان از این مدل ردیابی استفاده نمود.

۷.۳ ردیابی ترکیبی [2]

ردیابی ترکیبی، اطلاعات به‌دست‌آمده از چند حسگر را با یکدیگر ترکیب می‌کند و باعث می‌شود دقت به نسبت اطلاعات به‌دست‌آمده از یک حسگر بالاتر رود و همچنین مشکلات موجود در بعضی از روش‌های گفته‌شده را پوشش می‌دهد.

اغلب برنامه‌هایی که بر اساس ردیابی نوری هستند، از ردیابی مغناطیسی و یا ردیابی درونی نیز استفاده می‌کنند. این کار به سیستم اجازه می‌دهد تا نوسانات حاصل از ردیابی نوری را کمتر بکند. هنگامی‌که حسگرهایی با نرخ به‌روزرسانی بالا و باقابلیت اطمینان بالا استفاده شوند می‌توانند مشکلات به‌روزرسانی گرافیک را برطرف بکنند و نیز باعث بالا رفتن دقت در محاسبات ژست بشوند.

به‌عنوان یک مزیت دیگر می‌توان به این نکته اشاره کرد که ردیابی‌های مغناطیسی و درونی، فاقد خط دید 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.

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

[1] GPS Tracking

[2] Hybrid Tracking

شکل ۱۰.۳: go pokemon نمونه‌ای از برنامه‌هایی که درروش ترکیبی از ردیابی بر اساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی استفاده کرده است [۴۸]

شکل ۱۱.۳: مقایسه سیستم ترکیبی [۴۸]

موارد با ردیابی‌های دیگر ترکیب می‌شود.

در دستگاه‌های قابل‌حمل مانند تلفن‌های همراه و یا رایانک های لوحی، فرصت‌های جدیدی برای استفاده از ردیابی ترکیبی به‌دست آمد. بسیاری از این دستگاه‌ها شامل دوربین، شتاب سنج، 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.

۸.۳ 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 قابل‌اعتماد، نیاز داریم تا از روش ترکیبی استفاده بکنیم و معایب هر روش را با استفاده از روشی دیگر بپوشانیم.

روش	محیط	محدوده	مزایا	معایب
ردیابی مغناطیسی	درونی و بیرونی	متوسط	دقت بالا در فواصل نزدیک	گران است - با افزایش فاصله دقت بصورت چند جمله‌ای کاهش میابد
ردیابی مادون قرمز	درونی	کم	دقت بالا	نیاز به آماده سازی محیط دارد
ردیابی ثابت	درونی و بیرونی	کم	دقت بالا	نیاز به ایجاد تغییر در لنگر دارد
ردیابی ویژگی‌های طبیعی	درونی و بیرونی	کم	دقت بالا	نسبت به تغییرات نور حساس است
ردیابی بر اساس مدل	درونی و بیرونی	کم	دقت بالا	فقط برای مدل‌هایی با شباهت بالا کاربرد دارد
ردیابی ساختارهای ۳ بعدی	درونی	خیلی کم	تشخیص به صورت ۳ بعد - دقت در فواصل نزدیک خیلی خوب	دقت در فواصل زیاد بد - محوده خیلی کم
ردیابی درونی	درونی	خیلی کم	دقت بسیار بالا	محدوده کم - عمر پایین حسگرها
ردیابی براساس سیستم موقعیت‌یاب جهانی	بیرونی	زیاد	ردیابی بر روی کل فضای زمین	دقت پایین - عملکرد پایین درون ساختمان‌ها
ردیابی ترکیبی	درونی و بیرونی	زیاد	می‌تواند مزایای هر روشی را شامل شود	

جدول ۱.۳: مقایسه روش‌های ردیابی

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] W. Piekarski and B. Thomas, "Arquake: the outdoor augmented reality gaming system," *Communications of the ACM*, vol.45(1), p.36-38, 2002.

[3] M. Fjeld and B. M. Voegtli, "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 Bose, 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] 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.

[10] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Teleoperators and Virtual Environments*, vol.6, no.4, pp.355-385, 1992.

[11] 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.

[12] 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.

[13] J. C. . B. F. . M. A. . P. C. . E. D. . M. Ivkovic, "Augmented reality technologies, systems and applications," *Springer Science+Business Media*, pp.346-350, 2011.

[14] M. I. O Bimber, R Raskar, "Spatial augmented reality," *SIGGRAPH 2007*, 2007.

[15] J. J. L. J. Doug A Bowman, Ernst Kruijff and I. Poupyrev, "3d user interfaces : theory and practice," *Addison- Wesley*, 2004.

[16] I. P. K. I. Hirokazu Kato, Mark Billinghurst and K. Tachibana, "Virtual object manipulation on a table-top ar environment," *Augmented Reality, 2000.(ISAR 2000). Proceedings. IEEE and ACM International Symposium*, p.111-119, 2000.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

[20] D. X. H. Y. Y. Tian, Y. Long and J. Zhang, "Handling occlusions in augmented reality based on 3d reconstruction method," *Neurocomputing*, vol.156, p.96-104, 2015.

[21] 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.

[22] K.-L. L. R. Raskar, G. Welch and D. Bandyopadhyay, "Shader lamps : Animating real objects with image-based illumination," *S. J. Gortler and K. Myszkowski, Eds. Vienna: Springer Vienna*, p.89-102, 2001.

[23] P. Mistry and P. Maes, "Sixthsense : A wearable gestural interface," *in ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches on - SIGGRAPH ASIA*, p.1, 2009.

[24] 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.

[25] S. Siltanen. *Theory and applications of marker-based augmented reality*. VTT, 2012.

[26] T. P. Caudell and D. W. Mizell, "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes," in *Proceedings of the twenty-fifth Hawaii international conference on system sciences*, vol.2, pp.659-669, IEEE, 1992.

[27] S. Feiner, B. Macintyre, and D. Seligmann, "Knowledge-based augmented reality," *Communications of the ACM*, vol.36, no.7, pp.53-62, 1993.

[28] M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi, "Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient," *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, vol.26, no.2, pp.203-210, 1992.

[29] 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.

[30] 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. 01CH 37188)*, vol.3, pp.1932-1936, IEEE, 2001.

[31] 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.

[32] 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.

[33] Y. Cho, J. Lee, and U. Neumann, "A multi-ring color fiducial system and an intensity-invariant detection method for scalable fiducial-tracking augmented reality," in *In IWAR*, Citeseer, 1998.

[34] A. I. Comport, E. Marchand, M. Pressigout, and F. Chaumette, "Real-time markerless tracking for augmented reality: the virtual visual servoing framework," *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, vol.12, no.4, pp.615-628, 2006.

[35] A. Alahi, R. Ortiz, and P. Vandergheynst, "Freak: Fast retina keypoint," in *2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.510-517, Ieee, 2012.

[36] "natural-feature-tracking," `https://codefluegel.com/en/beginners-guide-augmented-reality/natural-feature-tracking`.

[37] 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.

[38] H. Wuest, F. Vial, and D. Stricker, "Adaptive line tracking with multiple hypotheses for augmented reality," in *Proceedings of the 4th IEEE| ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp.62-69, IEEE Computer Society, 2005.

[39] 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.

[40] "Model-based-tracking," `http://www.opentl.org/`.

[41] 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.

[42] 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.

[43] 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.

[44] Z. Zhang, "Microsoft kinect sensor and its effect," *IEEE multimedia*, vol.19, no.2, pp.4-10, 2012.

[45] 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.

[46] 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.

[47] 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.

[48] "Poké mon go," `https://www.pokemongo.com/en-us`.

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

کلمه . . . . . Word
کلمه ۲ . . . . . Word 2
کلمه ۳ . . . . . Word 3

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

کلمه ۱ ..... word 1
کلمه ۲ ..... word 2
کلمه ۳ ..... word 3

Abstract:

This is Abstract in English.

Keywords: Word1, Word2, Word3

Shahid Beheshti University
Faculty of Computer Science & Engineering

Review and evaluate rendering strategies in Augmented Reality

By

Mohsen Navazani

A THESIS SUBMITTED
FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

Supervisor :

Dr. Mojtaba Vahidi Asl

2019