

دوین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی نقشه برداری

۱۳۹۵ دی ماه ۲۹

مقایسه انواع تارگت‌ها به منظور بهبود دقیقی واقعیت افزوده در فضای فرآگستر برای زیرساخت‌های زیرزمینی

مینا کریمی^{۱*}، ابوالقاسم صادقی نیارکی^۲، علی حسینی نوه احمدآبادیان^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سامانه‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
- ۲- عضو هیئت علمی و استادیار گروه سامانه‌های اطلاعات مکانی، قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
- ۳- عضو هیأت علمی و استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری (ژئوماتیک) - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

چکیده:

زیرساخت‌های زیرزمینی توسط سازمان‌های مختلف مدیریت می‌شوند. انجام حفاری نیازمند داشتن اطلاعات دقیق از وضعیت زیرساخت‌ها است، زیرا حفاری‌های اشتباہ خسارت‌های فراوانی را به همراه دارد. با استفاده از فناوری واقعیت افزوده در نسل جدیدی از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به نام سیستم اطلاعات مکانی فرآگستر (UBIGIS)، می‌توان این زیرساخت‌ها را در تلفن‌های همراه هوشمند پوشید. به دلیل آن که حسگرهای موجود در تلفن همراه دقیق موردنیاز برای نمایش تأسیسات با استفاده از فناوری واقعیت افزوده را فراهم نمی‌کنند، لازم است از روش‌های دیگری استفاده شود. سیستم‌های ماشین بینایی مبتنی بر دید روش محبوبي برای جمع‌آوری داده‌های مرتبط با وضعیت دوربین هستند. برخی از سیستم‌های دید اشیاء را از طریق پردازش تصویر محیط‌های طبیعی ردیابی می‌کنند که در یک محیط ناآشنا بسیار دشوار خواهد بود. در حالی که اکثر سیستم‌های دید بیشتر به منظور تعیین تارگت‌ها طراحی شده‌اند تا این که روی تصویر نامحدود عمل کنند. هدف این مقاله مقایسه انواع تارگت‌های مختلفی است که در برنامه‌ها و کاربردهای QRCode مبتنی بر واقعیت افزوده می‌توانند استفاده شوند. این تارگت‌ها شامل نشانه‌های رایج (فیدوشال مارک‌ها)، QRCode ها و تارگت‌های کددار است. بررسی و مقایسه‌ها نشان می‌دهد تارگت کددار از نوع دایره‌ای بهترین نوع تارگت برای برنامه‌های واقعیت افزوده در کاربرد بصری سازی زیرساخت‌ها است. در حالی که QRCode به دلیل آن که محدودیت فاصله جهت قرائت دارد، مناسب نیست، زیرا برای کاربردهای واقعیت افزوده مهم است که تارگت‌ها در میدان دید وسیعی باشند.

واژه‌های کلیدی: تارگت، سیستم اطلاعات مکانی فرآگستر، واقعیت افزوده، زیرساخت‌های زیرزمینی.

نویسنده مکانیک کننده: مینا کریمی

آدرس پستی:

آدرس کامل پستی. تهران، خیابان ولی‌عصر(عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

تلفن:

۰۹۳۶۳۳۵۶۷۰۶

آدرس پست الکترونیک: minakarimi90@gmail.com

۱- مقدمه

سازمان‌های مرتبط با زیرساخت‌های زیرزمینی شهری شامل زیرساخت برق، گاز، آب و فاضلاب و مخابرات مسئول پایش، تعمیر، نگهداری و ارائه خدمات هستند و برای مدیریت زیرساخت‌های خود به GIS وابسته‌اند [۱]. در بسیاری از موارد حفاری‌های اشتباہ ممکن است خسارت‌های جبران‌نایذیری را ایجاد کند. ازانجاكه حدود ۸۰ درصد از اطلاعات موجود در دنیای واقعی ماهیت مکانی دارند [۲]. GIS نیز متأثر از رویکردهای رایانش فرآگستر متتحول شده است. بنابراین GIS فرآگستر^۱ را می‌توان نسل جدیدی از GIS دانست که با بهره‌گیری از رایانش فرآگستر، توانسته مفاهیم بسیار جدید و ارزشمندی را ایجاد نماید [۳]. رایانش فرآگستر می‌تواند با ارائه راهکارهای مناسب از بروز خسارت‌های مختلف در تأسیسات جلوگیری کند. یکی از راهکارها به کارگیری فناوری واقعیت افزوده بهمنظور بصیری‌سازی تأسیسات قبل از حفاری است. امروزه افزایش قدرت پردازش و دارا بودن حسگرهای مختلف نظری GPS، شتاب سنج، ژیروسکوپ، قطب‌نما، دوربین و صفحه نمایش در تلفن‌های همراه، سبب گسترش فناوری واقعیت افزوده^۲ شده است [۴].

واقعیت افزوده اطلاعات را در غالب محتويات دنیای واقعی به نمایش می‌گذارد. برای این کار سیستم نیاز دارد بداند کاربر در کجا قرار دارد و در حال نگاه کردن به چه چیزی است. به طور معمول کاربر واقعیت افزوده را توسط یک نمایشگر که تصویر دوربین را به همراه اطلاعات افزوده شده به آن نشان می‌دهد، می‌بیند. درنتیجه در عمل سیستم نیاز دارد موقعیت و جهت دوربین را تشخیص دهد. زیرا این پارامترها در فضای فرآگستر بسیار مهم هستند. با این دوربین کالیبره شده سیستم می‌تواند تصاویر تولید شده را در محل مناسب خود قرار دهد. واژه ردیابی در حقیقت محاسبه موقعیت و جهت‌گیری دوربین به طور بلادرنگ است. این امر یکی از بخش‌های اولیه واقعیت افزوده است [۵].

روش‌های مختلفی برای ردیابی دوربین وجود دارد که می‌توان آن‌ها را بر حسب سخت‌افزار استفاده شده به سه دسته ردیابی با استفاده از حسگر، ردیابی با استفاده از تصویر و روش‌های ترکیبی تقسیم‌بندی کرد. حسگرهای موجود در تلفن همراه دقت موردنیاز برای نمایش تأسیسات را در فضای بیرون فراهم نمی‌کنند. بنابراین باید از روش‌های ردیابی ماشین بینایی و مبتنی بر دید^۳ که ردیابی جهت دقیق‌تر و پایدارتری را فراهم می‌کنند، استفاده نمود [۶]. از آن جایی که در اکثر سیستم‌های واقعیت افزوده دوربین بخشی از سیستم است، ردیابی با استفاده از تصویر از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از ماشین بینایی برای به روزرسانی موقعیت در محیط‌های نامحدود چالش‌انگیزتر است [۶]. در ردیابی با استفاده از تصویر سیستم موقعیت دوربین را بر حسب آنچه از دوربین مشاهده می‌شود محاسبه می‌کند. در یک محیط ناآشنا این امر بسیار دشوار خواهد بود و مدت زمانی طول می‌کشد تا دوربین بتواند به قدر کافی برای محاسبه موقعیت دوربین اطلاعات جمع کند، درنتیجه سیستم به راحتی در زمان جابجا می‌شود. به علاوه یافتن نسبت ابعاد صحیح تنها بر حسب تصویر دوربین امکان‌پذیر نیست [۷]. با این حال، با قرارگیری استراتژیک تارگت‌های بصری در محیط، یک ردیابی موقعیت با برد کوتاه خیلی دقیق اثبات شده است [۶]. به عبارت دیگر تصویری که به راحتی قابل شناسایی است و از قبل تعریف شده در محیط قرار داده شود و با استفاده از تکنیک‌های تصویری بازنگشی شود. یک نشانه چنین تصویر یا علامتی است که یک سیستم رایانه‌ای می‌تواند آن را در یک تصویر با استفاده از پردازش تصویر، یافتن الگو و تکنیک‌های رایانه‌ای پیدا کند. وقتی که این نشانه پیدا شد می‌تواند موقعیت دوربین و ابعاد مناسب را مشخص کند [۷].

¹ Ubiquitous Geospatial Information System

² Augmented Reality

³ Vision-based

تارگت‌های مختلفی می‌توانند برای واقعیت افزوده در فضای فرآگستر بهمنظور نمایش زیرساخت‌ها استفاده شوند. هدف این مقاله مقایسه انواع نشانه‌ها یا تارگت‌های مورداستفاده در واقعیت افزوده شامل فیدوشال مارک^۱، QRCode^۲ و تارگت کددار^۳ است تا به کمک آن بتوان وضعیت دوربین را در فضای فرآگستر با دقت خوبی برآورد کرده و دقت بصری‌سازی زیرساخت‌های زیرزمینی با استفاده از فناوری واقعیت افزوده را افزایش داد. برای دستیابی به این هدف در این مقاله ابتدا در بخش ۲ مروری روی کارهای پیشین صورت گرفته است. بخش ۳ برخی مفاهیم مرتبط با GIS فرآگستر شامل محیط آگاهی^۴ و واقعیت افزوده تشریح شده است. انواع مختلف تارگت‌های مورداستفاده در واقعیت افزوده در بخش ۴ ارائه و مقایسه بین آن‌ها در بخش ۵ انجام شده است. در بخش ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات تحقیق بیان شده است.

۲- مروری بر کارهای پیشین

تاکنون تحقیقات گسترهای درزمینه^۵ به کارگیری فناوری واقعیت افزوده در زیرساخت‌ها و نیز استفاده از انواع تارگت‌ها در واقعیت افزوده انجام شده است. Schall بر روی تحقیقات در سیستم‌های اطلاعاتی نسل جدید برای شرکت‌های خدمات رفاهی تمرکز کرد و قابلیت‌هایی را برای بازرگانی و برنامه‌ریزی در محل ایجاد نمود. وی از فناوری واقعیت افزوده برای بصری سازی در محل ویژگی‌های هندسی و معنایی مدل‌های سه‌بعدی مکانی در دستگاه‌های واقعیت افزوده دستی، متحرک و مکان آگاه نظریر Vidente، Zollmann و همکاران از AR برای بصری‌سازی تأسیسات در محل بهمنظور بازرگانی استفاده کردند. یکی از چالش‌های بصری‌سازی AR، ایجاد پیوند بصری‌سازی AR و پایگاه داده مکانی است که اصلاحات تعاملی را اجازه می‌دهد. این چالش در کار آن‌ها با مدیریت داده بین این دو و معرفی یک معماری سه لایه‌ای حل شده است [۶]. آقای Hoff و همکارش یک تکنیک ثبت^۶ مبتنی بر دید برای واقعیت افزوده ارائه کردند. سیستم آن‌ها مجموعه‌ای از تارگت‌های فیدوشالی غیرفعال جایگذاری شده روی اشیاء دنیای واقعی را موقعیت‌یابی و ردیابی می‌کند [۷]. در [۸] انواع سیستم‌هایی که از فیدوشال مارک‌ها استفاده می‌کنند، شکل فیدوشال مارک (دایره یا مربع) و برخی از مزایا و معایب هریک از سیستم‌ها ارائه شده است.

Kan و همکاران از QR code برای کاربردهای واقعیت افزوده استفاده کردند. آن‌ها QR code را به عنوان یک نشانه در نظر گرفتند که نه تنها برای ردیابی و شناسایی، بلکه برای انتقال هر نوع اطلاعاتی استفاده می‌شود و با تلفیق QR code و AR، یک سیستم آزمایشی محصول^۷ را توسعه دادند. QR code در بسته یک محصول قرار داده می‌شود و سپس یک شیء مجازی سه‌بعدی نمایش داده می‌شود. بنابراین به کاربر اجازه بصری‌سازی سیستم را از طریق راه تعاملی و مستقیم می‌دهد [۹]. QR code، Agusta، شانه‌های متداول و الگوریتم شبکه عصبی انتشار به عقب^۸ را در شناسایی الگوی یابنده QR code ها ترکیب کردند، سپس این روش را در یک سیستم واقعیت افزوده استفاده کردند [۱۰].

تارگت کددار که نخستین بار توسط Rekimoto مطرح شد، یک مارکر ماتریس دو بعدی (بارکد مربعی شکل) بوده و می‌تواند تعداد زیادی شیء را شناسایی کند. هم‌چنین به عنوان یک لنمارک برای ثبت اطلاعات در دنیای واقعی عمل کرده و سیستم مختصات آن‌ها را برآورد می‌کند [۱۱]. این تارگت‌های تجاری برای کاربردهای واقعیت افزوده که از دوربین تلفن‌های همراه استفاده می‌کنند، طراحی شدند [۱۲]. Maide و همکاران یک الگوریتم بلاذرنگ و دقیق

¹ Fiducial Marker

² Quick Response Code

³ Coded Target

⁴ Context Awareness

⁵ Registration

⁶ Product demo system

⁷ Back Propagation

ترازیابی بر اساس تارگت‌های کددار مربعی ارائه کردند و پارامترهای وضعیت دوربین را با استفاده از روشی ترکیبی و یک روش مستقیم با کمک فیلتر کالمن محاسبه نمودند و این الگوریتم را در برنامه واقعیت افزوده به کار برdenد [۱۵]. Forbes و همکاران یک روش کالیبراسیون دوربین دقیق، ارزان و خودکار ارائه کردند و از تارگت‌های کددار دایره‌ای به عنوان نقاط کنترل برای تعیین وضعیت دوربین استفاده نمودند. [۱۶]. Pagani و همکاران یک سیستم جدید با استفاده از مارکرهای دایره‌ای به منظور برآورد وضعیت یک دوربین ارائه کردند. روش آن‌ها وضعیت را فقط از یک مارکر دایره‌ای محاسبه می‌کند و نیازی ندارد نقاط خاصی از مارکر (نظیر مرکز یا آکس جهت) نشان داده شوند [۱۷].

۳- فراغستر

GIS فراغستر به عنوان نسل جدیدی از GIS مفاهیم و فناوری‌های نوینی را در علوم مختلف ایجاد کرده است و می‌تواند کاربردهای زیادی در حوزه زیرساخت‌ها داشته باشد. در این مورد می‌توان به کاربرد این فناوری در زمینه‌های مرتبط با پایش و کنترل زیرساخت‌ها، حفظ ایمنی زیرساخت‌ها، مدیریت زیرساخت‌ها، بصری سازی سه‌بعدی آن‌ها، یکپارچه‌سازی اطلاعات با به کارگیری زیرساخت داده مکانی بین سازمان‌ها و کاربردهای فراوان دیگر اشاره نمود. همچنین باعث می‌شود بسیاری از مطالعات در حوزه مدیریت بحران و موقع اضطراری جواب بهتری دهد و ایده‌ها و نوآوری‌های جدیدی در ساختار شهری ایجاد می‌شود.

در GIS فراغستر مؤلفه محیط‌آگاهی مهم‌ترین بخش سیستم را تشکیل می‌دهد. رایانش محیط آگاه فناوری‌ای است که اطلاعات را در مورد محیط یک وسیله اخذ و به کار می‌گیرد تا سرویس‌هایی را که برای افراد، مکان، زمان و رویداد خاص مناسب هستند را فراهم کند [۱۸]. به کارگیری روش‌های مبتنی بر محیط آگاه در فضای فراغستر ضروری است. برای نمونه با استفاده از محیط‌های داخلی نظیر موقعیت و توجیه دستگاه موبایل که از حسگرها تعیین موقعیت و جهت‌یاب قابل دریافت است بتوان اطلاعات مناسب را از سرور برنامه کاربردی بازیابی و به کاربر نمایش داد. در حال حاضر واقعیت افزوده رابط کاربری قدرتمندی را برای محیط‌های رایانش محیط آگاه فراهم کرده است [۴].

۳-۱- واقعیت افزوده

در گذشته‌ای نه چندان دور واقعیت افزوده یک فناوری آزمایشی به حساب می‌آمد که به‌ندرت از آزمایشگاه خارج می‌شد. امروزه به دلیل افزایش قدرت پردازش و دارا بودن حسگرها مخالف نظیر GPS، شتاب‌سنج، ژیروسکوپ، قطب‌نما، دوربین و صفحه نمایش در تلفن همراه، فناوری واقعیت افزوده به راحتی در اختیار توسعه‌دهندگان و کاربران قرار گرفته است. واقعیت افزوده زمینه‌ای از مطالعات رایانه است که منجر به ترکیب دنیای واقعی و داده‌های ایجادشده توسط کامپیوتر می‌شود [۸]. AR می‌تواند شامل به کارگیری داده‌های ریدیابی متحرک، شناسایی فیدوشال مارک با استفاده از ماشین بینایی و ایجاد محیط‌های کنترل شده با هر تعداد حسگر و فعال کننده^۱ باشد [۹].

برخی شرکت‌ها از سیستم‌های GIS همراه در بازرگانی محلی استفاده می‌کنند، در حالی که ارتباط بین داده‌ای GIS و محیط واقعی در این ابزارها نشان داده نمی‌شود، مشکل ارجاع‌دهی صحیح تأسیسات در دنیای واقعی وجود دارد و کاربر خودش باید داده‌ها را تفسیر کند. برای رفع این مشکل می‌توان از AR به عنوان یک رابط کاربری با قابلیت بصری سازی بیش‌تر برای توسعه این سیستم‌ها و بصری سازی و دسترسی به داده‌های شبکه‌های تأسیساتی زیرزمینی پیچیده، در محل استفاده نمود [۹]. AR همچنین نمایش همپوشانی برتری فراهم می‌کند و مستقیماً برنامه‌ریزی برای اعمال تغییرات موردنیاز با استفاده از ابزارهای تعاملی مکانی متحرک، بدون نیاز به پس پردازش را فراهم می‌کند [۸].

^۱ Actuator

ردیابی و تعیین وضعیت سه بعدی اشیاء مسطح، در زمینه کاربردهای واقعیت افزوده به خوبی مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های ردیابی در سیستم‌های واقعیت افزوده متحرک برای کاربردهای شهری به دو دسته مطابق جدول (۱) تقسیم می‌شوند. در AR وضعیت سه بعدی برآورده شده اشیاء مسطح غالباً برای افزودن تصاویر کامپیوتری ایجاد شده به دنیای واقعی استفاده شده‌اند. عموماً دو راه در این زمینه وجود دارد: ردیابی مبتنی بر حسگر و ردیابی نوری (مبتنی بر دید) که شامل استفاده از تارگت‌های مختلف و یا ردیابی مشخصه‌های طبیعی است. در استفاده از تارگت نتایج ردیابی پایدار و دقیق است. در مقابل ردیابی عوارض طبیعی آزمایش‌های طبیعی بیشتری فراهم می‌کند [۲۰].

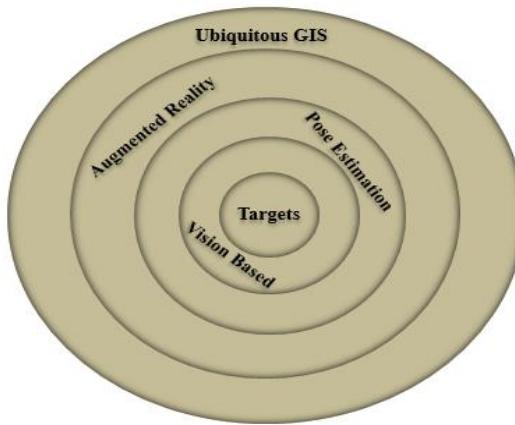
جدول ۱: انواع ردیابی برای سیستم‌های AR متحرک

| روش ردیابی | دسته | زیر دسته | محدودیت‌ها |
|------------|--------------------------|---|--|
| نوری | بی‌نشانه-مشخصه‌های طبیعی | ردیابی مبتنی بر لبه ردیابی مبتنی بر الگو ردیابی مشخصه‌های سه‌بعدی | دامنه ردیابی محدود کدتر از ردیابی نشانه‌دار حساس به تغییرات نور (ولی پایدارتر از نشانه‌ها) |
| | نشانه‌دار | فیدوشال مارک QRCode تارگت کددار | دامنه ردیابی محدود نیازمند مهندسی محیط حساس به تغییرات نور |
| | موقعیت | GPS | محدودیت دقت ۳۰-۵ متر قطع یا بازتاب سیگنال شرایط آب و هوایی ثبات ماهواره‌ها |
| | حسگر | IMU | دریفت حسگر ژیروسکوپ خطای حسگر قطب‌نما و شتاب‌سنج |

۴- انواع تارگت‌ها

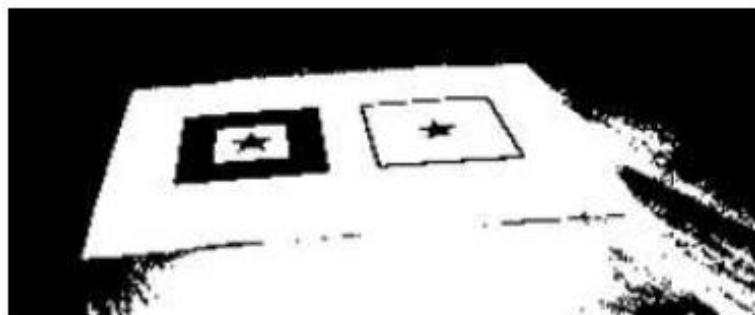
سیستم‌های ماشین بینایی مبتنی بر دید روش محبوبی برای جمع‌آوری داده‌های مرتبط با وضعیت دوربین هستند. برخی از سیستم‌های دید، اشیاء را از طریق پردازش تصویر محیط‌های طبیعی ردیابی می‌کنند. در حالی که اکثر سیستم‌های دید بیشتر به منظور تعیین تارگت‌ها طراحی شده‌اند تا این‌که روی تصویر نامحدود^۱ عمل کنند. این رویکرد سبب کاهش هزینه‌های اجرا و افزایش اعتمادپذیری در شناسایی و موقعیت‌یابی عوارضی که تارگت‌ها به آن‌ها متصل شده‌اند، می‌گردد [۲۱]. سیستم‌های نشانه‌دار بصری یک ابزار فرآگستر برای تأمین فریم مرجع به سایر صحنه‌های کنترل نشده هستند. در طول دهه‌های اخیر طیف گسترده‌ای از روش‌ها و تارگت‌های مختلف در زمینه واقعیت افزوده پدیدار شده و با توجه به ویژگی‌های مخصوص به هریک و مزایا و معایبی که دارند، برای یک کاربرد مناسب هستند. برخی از تارگت‌ها برای دستیابی به دقت بالا در بهبود وضعیت دوربین بهینه‌سازی شده‌اند. سایر تارگت‌ها بر اساس طرح‌هایی که هدف‌شان افزایش سرعت شناسایی یا کاهش اثر انسداد در فرآیند شناسایی است، هستند [۲۲]. شکل (۱) جایگاه تارگت‌ها را در فضای فرآگستر به منظور بهبود دقت واقعیت افزوده نشان می‌دهد.

¹ Unconstraint



شکل ۱: استفاده از تارگت‌ها در فضای فرآگستر برای بهبود دقیقیت واقعیت افزوده

یک تارگت بصری یک شیء مصنوعی سازگار با یک مدل معلوم است که در یک صحنه به منظور تأمین فریم مرجع قرار داده شده است [۲۲]. یک نشانه رایج مناسب همانی است که سیستم ماشین بینایی می‌تواند با قدرت و قابل اعتماد شناسایی کند. بعلاوه سایر ویژگی‌های تارگت در میزان شناسایی موفق آن اثر می‌گذارد. تارگت‌ها اغلب از یک زاویه اریب دیده می‌شوند، بنابراین یک مرز باریک به راحتی گسته شده و منجر به عدم شناسایی تارگت می‌شود. تارگت با مرز نازک ممکن است تصویر را برای اتصال قطعه‌های مجزای خط پردازش کند ولی نیازمند زمان پردازش بیشتری است. در حالی که یک مرز ضخیم شناسایی سریع و پایداری را فراهم می‌کند، بنابراین معمولاً تارگت‌های مناسب برای AR باید مرز ضخیمی داشته باشند [۱۲]. شکل (۲) تأثیر ضخامت مرز تارگت را در شناسایی آن‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۲: مرزهای ضخیم رديابی پيوسته، آسان‌تر و پایداری‌تری را از مرزهای باریک فراهم می‌کنند [۱۳].

آقای Liu و همکاران انواع بارکدهای دوبعدی را در سه دسته ارائه کردند [۲۳]:

- بارکدهای دوبعدی جهت‌دار تعاملی^۱: این بارکدها اغلب در کاربردهای متوجه محیط آگاه استفاده می‌شوند و تنها بایت کمی از اطلاعات را که به عنوان اندیس در محتواهای آنلاین استفاده شده و یا اطلاعات بافت را بازتاب می‌دهد، رمزگذاری می‌کنند. این بارکدها شامل کدهای بصری، کدهای Cyber (یا همان تارگت‌های کددار) و کدهای نقطه‌ای^۲ هستند.
 - بارکدهای دوبعدی جهت‌دار محتواهی^۳: این بارکدها امکان ارسال فراداده را به دستگاه‌های متوجه دارند.
- محتواهای رمزگذاری شده می‌توانند URL یا اطلاعات مخاطب باشد ولی به طور عادی بیش از ۲۰۰ بایت را

¹ Interation Oriented 2D barcodes

² Spot code

³ Content Oriented 2D barcodes

نگه نمی‌دارند. درواقع بسیاری از انواع اطلاعات را که حجم بیشتری دارند، نمی‌توانند ارسال کنند.

این بارکدها شامل Data Matrix و PDF 417 QRCode هستند.

- کد رنگی: برای رفع محدودیت دسته دوم یکی از راهکارها استفاده از این بارکدها است.

در ادامه سه نوع تارگت که در واقعیت افزوده کاربرد دارند، بررسی و بین آن‌ها مقایسه‌ای انجام شده است.

۴- فیدوشال مارک (نشانه رایج)

فیدوشال مارک‌ها زمینه‌های مختلفی از جمله واقعیت افزوده، فتوگرامتری، تصویربرداری پژوهشی و غیره کاربرد دارند و می‌توانند برآورد وضعیت نسبتاً دقیقی فراهم کنند [۱۱]. فیدوشال مارک‌ها عموماً برای ردیابی در AR به کار گرفته می‌شوند [۲۴]. کتابخانه‌هایی که برای ردیابی نشانه‌گرها وجود دارند، از دوربین‌های ارزان قیمت استفاده می‌کنند، در حالی که هزینه کاغذ و تونر تولید نشانه‌گر قابل اغماض است [۲۴]. شناخته شده‌ترین سیستم برآورد وضعیت که از فیدوشال مارک‌ها استفاده می‌کند، ARToolkit است. ARToolkit از دهه ۱۹۹۰ به طور گسترده در کاربردهای تحقیقاتی و تجاری استفاده شده است زیرا استفاده آسانی دارد و کدهای آن در دسترس است [۱۱].

این تارگت‌ها توسط اسکررهای خاصی شناسایی و رمزگشایی می‌شوند [۱۲]. فیدوشال مارک‌ها بر اساس هندسه آن‌ها به الگوهای مربعی یا مستطیلی، الگوهای دایره‌ای و یا الگوهای نقطه‌ای تقسیم می‌شوند [۱۱]. این تارگت‌ها نیازمند شناسایی با اطمینان و برآورد وضعیت نسبتاً دقیقی هستند و به منظور معلوم کردن اطلاعات در مورد وضعیت اشیاء در صحنه به کار گرفته می‌شوند. حجم داده‌ای که فیدوشال مارک‌ها به منظور تمییز از یکدیگر ذخیره می‌کنند، کمتر است [۱۱]. مروری بر نشانه‌های پیشین نشان می‌دهد فیدوشال مارک‌های دایره‌ای در مقایسه با فیدوشال مارک‌های مربعی ویژگی‌های برآورد وضعیت بهتری را فراهم می‌کند ولی پیاده‌سازی به‌هنگامی بر اساس فیدوشال‌های دایره‌ای به صورت رایگان و عمومی در دسترس نیست [۱۱]. در شکل (۳) چند نمونه فیدوشال مارک نمایش داده شده است.



شکل ۳: نمونه‌هایی از فیدوشال مارک‌ها

QRCode - ۱-۴

یک بارکد و رمزگذاری ماتریس دوبعدی است [۱۱] و شامل مربع‌های سیاه و سفید است که مazzoول نام دارند. هم‌چنین شامل یک بارکد قابل خواندن توسط دستگاه با تگ کردن اطلاعات به محصول هستند این کدها که تاکنون فراوان‌ترین نوعی هستند که توسط تلفن‌های همراه اسکن شده‌اند، اولین بار توسط Corporation توسعه یافت. این تارگت‌ها قابلیت مدیریت انواع داده‌ها نظیر داده‌های عددی، الفبایی را دارند، هم‌چنین می‌توانند تا ۷۰۸۹ کاراکتر عددی و ۴۲۹۶ کاراکتر الفبایی را رمزگذاری کنند [۱۲]. شکل (۴) ساختار یک QRCode که به صورت زیر است، نشان می‌دهد [۱۲]:

- سه الگوی مربعی بزرگ در سه گوشه برای تشخیص موقعیت
- یک مربع اضافی برای هم‌تاز کردن این تارگت‌ها
- چندین بلوك به منظور رمزگذاری اطلاعات جاسازی شده

^۱ Uniform Resource Locator

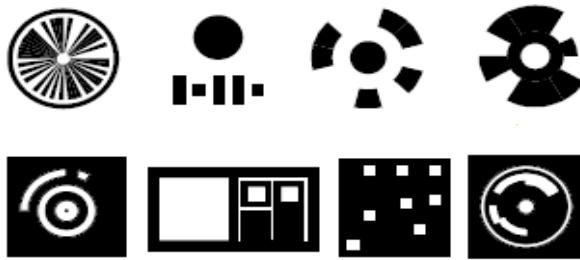


شکل ۴: نمونه‌ای از یک QRCode و ساختار آن [۲۲].

ایجاد آسان توسط هر کاربر، سرعت بالای خواندن و رمزگشایی، دقت بالا، قابلیت قرائت مستقیم توسط تلفن همراه، قابلیت ذخیره‌سازی اطلاعات زیاد، قابلیت خواندن از هرجهت از ۳۶۰ درجه، تنوع در ذخیره سای انواع اطلاعات و نیز داشتن قابلیت‌های برتر و بیشتر از جمله مزایای این تارگتها می‌باشند [۱۲ و ۲۵]. محدودیت فاصله بهمنظور قرائت QRCode ها توسط دستگاهها، ابعاد آن‌ها که باید کمتر از $1.2 \text{ inch} * 1.2 \text{ inch}$ ($3\text{cm} * 3\text{cm}$) باشد و لزوم وجود سرویس WiFi/Data در منطقه از جمله بزرگ‌ترین معایب آن‌ها است [۱۳ و ۲۵]. همچنین این تارگتها برای سیستم‌هایی که از نشانه‌ها برای تعیین موقعیت استفاده می‌کنند، خیلی مناسب نیستند، زیرا این نشانه‌ها برای میدان‌های دید بزرگ طراحی نشده‌اند و شامل اعوجاجات پرسپکتیو هستند. بعلاوه نیاز به سطح وسیعی از تصویر دارند، بنابراین محدوده‌ای که هریک از این مارکرها می‌تواند استفاده کند، بسیار محدود است. درنهایت آن‌ها نقاط کافی در تصویر بهمنظور محاسبه وضعیت سه‌بعدی فراهم نمی‌کنند. از طرفی برای کاربردهای واقعیت افزوده مهم است که در یک میدان دید بزرگ باشند، بدین معنی است که اگر در تصویر اعوجاج پیدا کنند نیز باید قابل‌شناختی باشند. بعلاوه اطلاعات ذخیره‌شده در مارکر نباید خیلی متراکم باشند تا فاصله‌ای که در آن داده‌ها می‌توانند از مارکرها دوباره به دست بیایند، افزایش یابد. خوبی‌خانه این به راحتی به دست می‌آید زیرا یک مارکر اطلاعات کمی را در کاربردهای واقعیت افزوده حمل می‌کند، عموماً یک id تا از سایر مارکرها قبل تمییز باشد. اغلب سیستم‌های واقعیت افزوده به تنها یک مارکر قابل دید احتیاج دارند. ازین‌رو مارکر باید حداقل چهار نقطه متمایز داشته باشد تا اجازه محاسبه وضعیت دوربین نشانه‌گر را بدهد [۲۶].

۴-۳- تارگت کددار

тарگتها به اضافی که شماره شناسایی یک نقطه منحصر به فرد را رمزگشایی می‌کنند، می‌توانند برای شناسایی خودکار استفاده شوند. کدها به صورت خطوط، حلقه‌ها و یا نواحی در اطراف مراکز تارگتها قرار گرفته‌اند [۲۷]. این تارگتها یک مارکر ماتریسی دو بعدی (در حالت مربعی) هستند و یه عنوان لندهارک برای ثبت اطلاعات در تصاویر دنیای واقعی به کاربرده می‌شوند. قابلیت پرینت دارند و هزینه‌ای برای تولید و یا اتصال کد به اشیاء ندارند [۱۴]. می‌توان تعداد بیت‌های این تارگتها را بنابر نیاز کاهش داد. این کار علی‌رغم اینکه تعداد تارگتها منحصر به فرد را محدود می‌کند، سرعت محاسبات را افزایش و زمان محاسبه را کاهش می‌دهد [۱۵]. در سال‌های اخیر تقاضا برای به کارگیری تارگتها کددار در تناظریابی خودکار بدون خط و اندازه‌گیری نقاط تصویری دقیق، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است [۲۸]. شکل (۵) انواع مختلف این تارگتها را نشان می‌دهد.



شکل ۵: انواع مختلف تارگت‌های کددار [۲۵]

به طور معمول تارگت‌های کددار از دو ناحیه کلی تشکیل شده‌اند: (الف) ناحیه اندازه‌گیری که معمولاً دایره‌ای شکل بوده و مرکز آن نشان‌دهنده مختصات دقیق تارگت است، (ب) ناحیه کدبندی که در اطراف ناحیه اندازه‌گیری قرار داشته و عبارت است از کدهایی گرافیکی که حاوی اطلاعاتی درباره شماره تارگت موردنظر می‌باشند. اگرچه روش‌های متفاوتی برای طراحی کدبندی تارگت وجود دارد، اما نحوه طراحی تارگت کددار باید به گونه‌ای باشد که بازشناسی تعداد کافی تارگت با کمترین هزینه محاسباتی ممکن و حداکثر پایداری میسر باشد [۲۶]. اطلاعات رمزگذاری به شکل بارکدهای خطی، شعاعی یا زاویه‌ای جاسازی شده‌اند و با تحلیل تغییرات مقداری خاکستری تصویر در طول مسیر نمونه‌برداری داده شده و یا چیدمان ویژگی‌های^۱ هندسی رمزگشایی می‌شوند. این ویژگی هندسی معمولاً شامل بخشی از یک خط و مرکز دایره یا بیضی است [۲۷]. به طور کلی شرایط لازم برای این تارگت‌ها عبارت‌اند از [۲۸ و ۲۹]:

- تغییرناپذیر نسبت به جابه‌جایی، دوران و اندازه (مقیاس) و کشیدگی
- تغییرناپذیر نسبت به پرسپکتیو یا اعوجاج افاین
- رمزگشایی پایدار به همراه تشخیص خط
- مراکز قابل تشخیص و تعریف شده با دقت بالا
- تعداد کافی شماره‌های قابل شناسایی مختلف
- قابلیت شناسایی الگو در هر تصویری
- کمترین پیچیدگی و زمان پردازش کم و سریع برای شناسایی الگوها
- کمترین سایز الگو به منظور اشغال کمترین فضای شئی
- کمترین هزینه تولید

тарگت‌های کددار می‌توانند به صورت خودکار از طریق روش‌های پردازش تصویر شناسایی شوند [۳۰]. تارگت‌های متشكل از حلقه‌های متحدم‌مرکز نسبت به مقیاس و دوران تغییرناپذیر هستند. تارگت‌های نقطه‌ای اخیراً نواوری بیش‌تری داشته‌اند. در همه موارد نقطه مرکزی موقعیت اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. هیچ الگویی از شماره‌های منحصر به فرد نامحدود پشتیبانی نمی‌کند. به طور کلی به کار گرفتن آرایه‌ای از تارگت‌های متراکم که در آن همه تارگت‌ها کددار باشند، غیر عملی است [۳۰]. این تارگت‌ها نیاز را برای شناسایی دستی یک زیرمجموعه از نقاط عکسی به ویژه نقاطی که برای تعیین اولیه توجیه خارجی به کار می‌روند، برطرف کرده [۳۰] و موقعیت دوربین را بلادرنگ و با دقت بالا می‌دهند. اساس این تارگت‌ها بر پایه به کار گیری تعدادی مولفه گرافیکی مشخص با هندسه معلوم است. به جای تلاش برای شناسایی مستقیم اشیاء در دنیای واقعی، فقط لازم است تارگت‌های متصل به آن‌ها شناسایی شود. از آنجا که هندسه این تارگت‌ها معلوم است، می‌توان پردازش تصویری که برای شناسایی آن‌ها به کار می‌رود را بهینه نمود [۳۱].

¹ Features

۵- مقایسه انواع تارگت‌ها

با توجه به توضیحات هریک از تارگت‌ها، در جدول ۱ مقایسه‌ای بین این سه تارگت از جنبه‌های مختلف صورت گرفته است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد تارگت‌های کدار برای کاربرد موردنظر بهتر از دو تارگت دیگر هستند.

تارگت‌ها می‌توانند به دو صورت دایره‌ای و مربعی باشند. اگرچه بیشتر سیستم‌های نشانه‌دار از تارگت‌های مربعی استفاده می‌کنند [۱۷]، از آنجایی که دایره‌ها در هر وضعیتی در دنیای سه‌بعدی به صورت بیضی در صفحه تصویر می‌شوند [۱۶ و ۲۱]. تارگت‌های دایره‌ای می‌توانند به صورت خودکار و نسبتاً آسان در تصاویر شناسایی شوند [۱۱، ۱۶ و ۱۷] و برآورد وضعیت پایدارتری نسبت به نویز فراهم می‌کنند [۱۶ و ۱۷]. از آنجاکه دایره تحت تبدیل پروژکتیو به صورت بیضی ظاهر می‌شود، به آسانی با برآش به یک مدل مخروطی با تعداد پارامتر کم، شناسایی می‌شود. بعلاوه از آنجاکه مرکز بیضی‌های شناسایی شده تحت تبدیل پرسپکتیو حفظ نمی‌شود، اگر نقاط اصلی کوچک باشند، خطای موقعیت‌یابی برای سیاری از اهداف عملی قابل اغماض است. دیگر مزایای برآش بیضوی شامل توانایی استفاده از خطای باقی‌مانده به منظور فیلتر کردن تشخیص‌های انجام اصلاحیه‌های مبتنی بر گرادیان است [۲۲].

جدول ۱: مقایسه انواع تارگت‌های رایج مورداستفاده در AR

| تارگت کد دار | QR Code | فیدوشال مارک | نوع کد |
|---|--|--|-----------------|
| دایره‌ای و مربعی | مربعی | دایره‌ای و مربعی | شکل |
| $n: 2^n$ (تعداد بیت‌ها) | عددی: ۷۰۸۹ حرفی: ۴۲۹۶ | کمتر | ظرفیت ذخیره |
| ۵ میلی‌متر موقعیت ۱ درجه زاویه‌ای | زیاد | کم | دقت |
| زیاد | زیاد | زیاد | سرعت |
| بیش‌تر | تر | کمتر | پایداری |
| محالی (local) | جهانی (global) | تکی (stand alone) | فراگیری |
| محالی | اینترنت | محالی | ذخیره‌سازی مدل |
| ندارد یا بسیار ساده | ندارد یا بسیار ساده | دارد | نیاز به پیش ثبت |
| نرم‌افزار Agisoft | سیستم‌های مجهر به QRCode Reader | SDK های واقعیت افزوده ARToolkit نظیر | سیستم |
| خودکار و آسان | خودکار | | تشخیص |
| محدودیت در ایجاد تعداد کدهای منحصر به فرد | در برخی کاربردها باید دقیقاً مقابل دوربین قرار گیرد تراکم آنها نباید زیاد باشد حتماً در جایی که سرویس WiFi/Data دارد | ذخیره‌سازی محلی باعث محدودیت سیستم‌های AR | معایب |

شناسایی تگ‌های مربعی، فرآیندی مشابه تگ‌های دایره‌ای دارد. تصویر پرسپکتیو یک مربع چهارضلعی است. از این‌رو تعقیب‌کننده منحنی باید چهارگوشه چهارضلعی را شناسایی کند [۲۲]. دومین تغییرناپذیری هم خطی است بدین معنی که خطوط مستقیم تحت تبدیل پرسپکتیو به صورت مستقیم باقی می‌مانند. تقریباً تمام تارگت‌های

مستطیلی به این ویژگی در مرحله شناسایی با یافتن خطوط در یک صحنه با استفاده از دامنه وسیعی از روش‌های مختلف، بستگی دارد [۲۲]. در تارگت‌های مربعی، شناسایی تنها به برآورد مناسب چهارگوش بستگی دارد، در حالی که در دایره کل بیضی می‌تواند استفاده شود. هم‌چنین دایره در حالت انسداد بهتر عمل می‌کند، زیرا در یک الگوریتم برآش بیضی نیازی نیست کل منحنی قابل روئیت باشد. شناسایی مرکز تارگت نیز نسبت به دوران (در یک دامنه وسیع) و نسبت به مقیاس تغییرناپذیر هستند [۲۷]. در جدول ۲ مقایسه‌ای بین تارگت‌های دایره‌ای و مربعی انجام شده است. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد تارگت دایره‌ای به دلیل بازناسی سریع‌تر، دقیق‌تر و پایدارتر بهتر از تارگت مربعی است.

جدول ۲: مقایسه تارگت‌های دایره‌ای و مربعی

| سیستم | دقت تعیین مرکز | آسانی بازیابی | پایداری | دقت بازیابی | سرعت بازیابی | ظرفیت ذخیره-سازی | کاربرد | |
|---|----------------|---------------|---------|-------------|--------------|------------------|------------|----------|
| AprilTag, ARTag, ARToolkit, Aruco, CyberCode, HOM, IGD marker, MFD-5, Nakazato et al., SCR marker, Studierstube | بیشتر | آسان‌تر | بیشتر | بیشتر | بیشتر | کمتر | رواج کمتر | دایره‌ای |
| Cho et al, Fourier Tag, Intense IS-1200, isotropic, Photomodeler, Runettag, Agisoft | کمتر | - سخت- تر | کمتر | کمتر | کمتر | بیشتر | متداول- تر | مربعی |

۶- نتیجه‌گیری

زیرساخت‌های زیرزمینی یکی از حوزه‌های اساسی هر کشور است، از آن‌جا که تعیین موقعیت این زیرساخت‌ها در فضای فراگستر هم در محیط بیرون و هم در محیط داخل ضروری است، ورود فناوری‌های مختلف رایانش فراگستر می‌تواند در مدیریت بهتر این زیرساخت‌ها مؤثر باشد. برای نمونه به کمک فناوری واقعیت افزوده می‌توان این زیرساخت‌ها را در بستر تلفن همراه بصری‌سازی نمود. به دلیل عدم تأمین دقต موردنیاز توسط حسگرهای موجود در تلفن همراه، نیاز به روش‌های مبتنی بر دید نظیر به کار گیری تارگت‌ها است. تارگت‌های مختلفی می‌توانند در زمینه واقعیت افزوده استفاده شوند. هدف این مقاله مقایسه انواع تارگت‌های مورداستفاده در زمینه واقعیت افزوده بود. نتایج مقایسه نشانی دهنده باوجود این‌که تارگت‌های مربعی قابلیت ذخیره‌سازی بیشتری دارند، برای کاربرد بهبود دقت واقعیت افزوده در بصری‌سازی زیرساخت‌های زیرزمینی تارگت‌های دایره‌ای شکل به دلیل آن که در تصویر به شکل بیضی ظاهر می‌شوند و شناسایی ساده‌تر، سریع‌تر و پایدارتری دارند، بهتر از تارگت‌های مربعی عمل می‌کنند. هم‌چنین از آن‌جا که برای کاربردهای واقعیت افزوده مهم است که تارگت‌ها در میدان دید وسیعی باشند، QRCode ها به دلیل آن که محدودیت فاصله جهت قرائت دارند، مناسب نیستند. به طور کلی انتخاب تارگت مناسب به کاربرد بستگی دارد.

مراجع

- [1] Wang, H., Zhang, Y., & Cao, J. (2006, May). Ubiquitous computing environments and its usage access control. In *Proceedings of the 1st international conference on Scalable information systems* (p. 6). ACM.
- [2] Chong, J., See, S., Seah, L. L. H., Koh, S. L., Theng, Y. L., & Duh, H. B. (2008). Ubiquitous Computing History, Development, and Scenarios. *Ubiquitous Computing: Design, Implementation and Usability: Design, Implementation and Usability*.

- [3] Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific american*, 265(3), 94-104.
- [4] Mekni, M., & Lemieux, A. (2014, April). Augmented reality: Applications, challenges and future trends. In *Applied Computational Science—Proceedings of the 13th International Conference on Applied Computer and Applied Computational Science (ACACOS '14) Kuala Lumpur, Malaysia* (pp. 23-25).
- [5] Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments*, 6(4), 355-385.
- [6] Höllerer, T., Hallaway, D., Tinna, N., & Feiner, S. (2001, August). Steps toward accommodating variable position tracking accuracy in a mobile augmented reality system. In *Proc. AIMS* (Vol. 1, pp. 31-37).
- [7] Siltanen, S. (2012). *Theory and applications of marker-based augmented reality*.
- [8] Schall, G. (2009). Handheld Augmented Reality in Civil Engineering. *Proceedings of Rosus09*, 19-25.
- [9] Zollmann, S., Schall, G., Junghanns, S., & Reitmayr, G. (2012, July). Comprehensible and interactive visualizations of GIS data in augmented reality. In *International Symposium on Visual Computing* (pp. 675-685). Springer Berlin Heidelberg.
- [10] Hoff, W. A., Nguyen, K., & Lyon, T. (1996, October). Computer-vision-based registration techniques for augmented reality. In *Photonics East'96* (pp. 538-548). International Society for Optics and Photonics.
- [11] Stork, J. (2012). *Camera pose estimation with circular markers* (Doctoral dissertation, Thesis, University of Amsterdam (UvA)).
- [12] Kan, T. W., Teng, C. H., & Chou, W. S. (2009, December). Applying QR code in augmented reality applications. In *Proceedings of the 8th International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry* (pp. 253-257). ACM.
- [13] Agusta, G. M., Hulliyah, K., & Arini, R. B. B. (2013). Applying Merging Conventional Marker and Backpropagation Neural Network in QR Code Augmented Reality Tracking. *International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems*, 6(5).
- [14] Rekimoto, J. (1998, July). Matrix: A realtime object identification and registration method for augmented reality. In *Computer Human Interaction, 1998. Proceedings. 3rd Asia Pacific* (pp. 63-68). IEEE.
- [15] Maudi, M., Ababsa, F., & Mallem, M. (2010). Handling occlusions for robust augmented reality systems. *Journal on Image and Video Processing*, 2010, 4.
- [16] Forbes, K., Voigt, A., & Bodika, N. (2002, November). An inexpensive, automatic and accurate camera calibration method. In *Proceedings of the Thirteenth Annual South African Workshop on Pattern Recognition* (pp. 1-6).
- [17] Pagani, A., Koehler, J., & Stricker, D. (2011, April). Circular markers for camera pose estimation. In *WIAMIS 2011: 12th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, Delft, The Netherlands, April 13-15, 2011*. TU Delft; EWI; MM; PRB.
- [18] Leem, C. S., & Kim, B. G. (2013). Taxonomy of ubiquitous computing service for city development. *Personal and ubiquitous computing*, 17(7), 1475-1483.
- [19] Ho Lee, S., Hoon Han, J., Yigitcanlar, T., & Taik Leem, Y. (2008). Ubiquitous infrastructure: urban infrastructure planning and management experience of Korea.
- [20] Donoser, M., Kortschieder, P., & Bischof, H. (2011, October). Robust planar target tracking and pose estimation from a single concavity. In *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium on* (pp. 9-15). IEEE.
- [21] Rice, A. C., Harle, R. K., & Beresford, A. R. (2006). Analysing fundamental properties of marker-based vision system designs. *Pervasive and Mobile Computing*, 2(4), 453-471.
- [22] Bergamasco, F., Albarelli, A., & Torsello, A. (2013). Pi-Tag: a fast image-space marker design based on projective invariants. *Machine vision and applications*, 24(6), 1295-1310.
- [23] Liu, X., Doermann, D., & Li, H. (2008, October). A camera-based mobile data channel: capacity and analysis. In *Proceedings of the 16th ACM international conference on Multimedia* (pp. 359-368). ACM.
- [24] Schall, G., Newman, J., & Schmalstieg, D. (2005, June). Rapid and accurate deployment of fiducial markers for augmented reality. In *Proceedings of the 10th Computer Vision Winter Workshop*.
- [25] Law, C. Y., & So, S. (2010). QR codes in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 3(1), 85-100.
- [26] Hirzer, M. (2008, October). Marker detection for augmented reality applications. In *Seminar/Project Image Analysis Graz*.

- [27] Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2015). Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 273-274.
- [28] Ahn, S. J., & Rauh, W. (1998). Circular Coded Target and Its Application to Optical 3D-Measurement Techniques. In *Mustererkennung 1998* (pp. 245-252). Springer Berlin Heidelberg.
- [29] Han, J., Lu, N., & Dong, M. (2008, December). Design of circular coded target and its application to optical 3D-measurement. In *Fourth International Symposium on Precision Mechanical Measurements* (pp. 71303H-71303H). International Society for Optics and Photonics.
- [30] Fraser, C. S. (1997). Innovations in automation for vision metrology systems. *The Photogrammetric Record*, 15(90), 901-911.
- [31] Drap, P., Merad, D., Mahiddine, A., Seinturier, J., Gerenton, P., Peloso, D., & Garrabou, J. (2013, July). Automating The Measurement Of Red Coral In Situ Using Underwater Photogrammetry And Coded Targets. In *XXIV International CIPA Symposium, Strasbourg, France. Pierre Grussenmeyer (Ed.)* (Vol. 5, p. W2).