

ارائه یک سیستم جدید اسکنراستریوپانوراما بر مبنای دوربین‌های استریو

وحید موسوی^{۱*}، مسعود ورشوساز^۲

-۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
-۲ دانشیار، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷

چکیده

مدل‌های سه‌بعدی تولید شده از فضاهای شهری با توجه به کاربردهای وسیع آنها، مورد نیاز بسیاری از سازمان‌ها و ارگانها می‌باشند. در میان روش‌های متعدد تولید مدل سه‌بعدی از فضاهای شهری، استفاده از تصاویر استریوپانوراما به دلیل پوشش کامل محیط اطراف بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله یک اسکنراستریوپانوراما با چینش جدید ارائه شده است که ساختار آن مبتنی بر دوربین‌های استریو است. این سیستم علاوه بر ایجاد قابلیت دید سه‌بعدی از محیط اطراف، امکان استخراج اطلاعات هندسی با دقت مناسب جهت مدل‌سازی‌های شهری را نیز فراهم می‌آورد. از مزایای این سیستم می‌توان به خودکارسازی فرآیند تناظریابی و تولید مدل سه‌بعدی در آن، تولید استریوپانوراما با دقت مکانی یکسان در همه نقاط و قابلیت استخراج مدل سه‌بعدی به شکل ابر نقطه با دقت بالا اشاره کرد. در این مقاله، ساختار سیستم شامل پیاده‌سازی سیستم، کالیبراسیون آن و نحوه تولید مدل سه‌بعدی از آن توضیح داده شده است. به علاوه نتایج تجربی ارزیابی قابلیت‌های سیستم نیز ارائه شده است. نتایج بررسی سیستم نشان می‌دهد که این سیستم قابلیت تولید مدل سه‌بعدی با دقت مناسب برای کاربردهای مدل‌سازی سه‌بعدی شهری را دارد. این نتایج نشان می‌دهند که در فاصله حدود ۱۵ متری از سیستم اسکنراستریوپانوراما، میزان خطای طول بین نقاط در حدود ۵۷ میلیمتر است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی تصویرمبنای، کالیبراسیون، دوربین استریو، استریوپانوراما، مدل‌سازی سه‌بعدی.

* نویسنده مکاتبه کننده: وحید موسوی - تهران، خیابان ولی‌عصر(عج)، تقاطع میرداماد، پلاک ۱۳۴۶، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
تلفن: ۰۹۱۸۶۲۰۹۹۴۶

۱- مقدمه

امروزه تولید مدل‌های سه بعدی از فضاهای شهری، نمایش محیط اطراف و اندازه‌گیری هندسی روی این مدل‌ها بسیار مورد توجه سازمان‌ها و ارگانهای مختلف قرار گرفته است. مدل‌های سه بعدی تولید شده از فضاهای شهری با استفاده از علاوه بر ایجاد نمایش واقعی از محیط اطراف، قابلیت استخراج اطلاعات هندسی را نیز داشته باشد. این مدل‌ها در زمینه‌های مختلف مانند صنعت بازی‌های رایانه‌ای [۱]، ناوپری و تولید نقشه برای وسایل متحرك مانند اتومبیل‌ها [۲]، تکمیل و بهروز رسانی نقشه‌های شهری [۳]، آموزش و کاربردهای شبیه‌سازی برای مدیریت بحران [۴]، حفاظت عمرانی بناهای مهم شهری [۵]، کنترل بلایای طبیعی و کنترل ترافیک [۶] استفاده شده و در سازمان‌های مختلفی مانند شهرداری‌ها، سازمان مدیریت بحران، سازمان برنامه‌ریزی شهری، سازمان میراث فرهنگی و سایر ارگان‌ها می‌تواند به‌طور گستردۀ‌ای مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

برای تولید مدل سه‌بعدی از فضاهای شهری روش‌های متعددی ارائه شده است که در یک دسته‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته روش‌های فاصله‌مبنا و تصویرمینا تقسیم‌بندی کرد [۷]. روش‌های فاصله‌مبنا، اطلاعات هندسی شامل فاصله و مختصات را به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرده و حجم بالایی از اطلاعات سه‌بعدی را با سرعت بالا و در مدت زمان کوتاهی تولید می‌کنند. تلفیق روش‌های فاصله مینا و دوربین نیز تکنیک مفیدی برای بازسازی سه‌بعدی از فضاهای شهری به‌شمار می‌رود که علاوه بر مزایای زیاد آن‌ها، به دلیل وجود لیزر اسکنرها در ساختارشان بسیار پرهزینه هستند. روش‌های تصویرمینا جایگزین مناسبی برای سیستم‌های فعل در کاربردهای بازسازی سه‌بعدی محیط شهری به شمار می‌آیند. در این روش‌ها اطلاعات هندسی تنها از تصویر استخراج می‌شوند و با توجه به کم‌هزینه بودن و قابلیت آن‌ها در ارائه دید واقعی و سه‌بعدی از محیط اطراف

سیار بیشتر از روش‌های فعل

مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در میان روش‌های تصویرمینا، تکنیک‌های تصویربرداری استریوپانوراما، به دلیل ارائه میدان دید بسیار وسیع، ایجاد امکان دید سه‌بعدی از محیط اطراف و قابلیت استخراج اطلاعات هندسی از آن‌ها بسیار مورد علاقه و توجه قرار گرفته‌اند. هدف تمامی سیستم‌های تولید استریوپانوراما، رسیدن به نمایش جامع و کلی از محیط اطراف است که به بیننده قابلیت درک سه‌بعدی از محیط اطراف ارائه شده‌اند. برای این منظور سیستم‌های مختلف تولید استریوپانوراما با ساختارهای مختلف و چینش متعددی و با استفاده از تعداد متفاوتی دوربین ارائه شده‌اند. با این وجود هیچ‌یک از این سیستم‌ها، به دلیل وجود ضعف در ساختار فیزیکی خود، توانایی لازم برای تولید اطلاعات سه‌بعدی با دقت بالا از محیط اطراف را ندارند. بنابراین لازم است سیستمی با سخت‌افزار مناسب و با توجه به شرایط محیط شهری برای دستیابی به اطلاعات هندسی طراحی شده تا بر مشکلات موجود در این زمینه غلبه کند. در این مقاله ایده جدیدی برای چینش دوربین‌های استریو برای غلبه بر مشکل مطرح شده ارائه شده است که امکان استخراج اطلاعات هندسی با دقت را فراهم می‌آورد.

در بخش بعدی این مقاله، مروری بر روی تحقیقات پیشین در این زمینه و بررسی سیستم‌های تولید استریوپانوراما انجام شده است. در بخش ۳ مبانی طراحی سخت‌افزاری سیستم پیشنهادی مطرح شده در بخش ۴ نحوه کالیبراسیون آن توضیح داده شده است. بخش ۵ نیز روش تولید مدل سه‌بعدی از سیستم و در پایان نیز نتایج ارزیابی سیستم مطرح شده آورده شده است.

۲- مروری بر سیستم‌های تولید استریوپانوراما

در این مقاله، جهت بررسی کارایی سیستم‌های مطرح شده در تحقیقات پیشین با درنظر داشتن ساختار فیزیکی اجزای آن‌ها، دسته‌بندی و ارزیابی سیستم‌ها

یک نوار باریک از سمت چپ و یک نوار باریک از سمت راست آن انتخاب می‌شوند و با چرخش دوربین تمامی نوارهای سمت چپ و تمامی نوارهای سمت راست موzaئیک شده و تولید دو پانوراما می‌نمایند. سیستم آنها مشهورترین تکنیک تصویربرداری پیوسته است که با وجود سادگی و اقتصادی بودن سخت‌افزار آن، تصاویر با کیفیت بالا ارائه می‌دهد.

با ترکیب دوربین و آینه‌های مختلف می‌توان استریو پانوراما تولید کرد. در این سیستم‌ها با استفاده از آینه‌ها تمام محیط ۳۶۰ درجه را پوشش می‌دهند. استفاده از ترکیب آینه و دوربین منجر به تولید مدل تک دید^۱ می‌شود. یکی از اولیه‌ترین سیستم‌ها در این زمینه، در سال ۱۹۹۶ توسط سوچول و همکاران [۱۰] ارائه شد. این سیستم دوربینی است که از آینه‌های هم محور محدب استفاده کرده است. کاربرد اصلی این سیستم در تهیه و تولید نقشه عمق از زمین است. پلچ و همکاران [۱۱] سیستم جدیدی را ارائه کردند که با استفاده از یک لنز مارپیچ پیچیده، قادر است که تصاویر چندسوییه به صورت آنی بدون چرخش دوربین اخذ کند. این سیستم، نور ورودی را آنچنان شکست می‌دهد که به نظر می‌رسد که از چند زاویه دید، از صحنه تصویربرداری شده است. این سیستم می‌تواند راه حل مناسبی برای اخذ تصاویر پانوراما از صحنه‌های دینامیک باشد. چان و همکاران [۱۲] سیستمی را ارائه کردند که در آن یک آینه دوران کرده و یک دوربین به طور پیوسته تصاویر را از صحنه اخذ می‌کند. ایده این سیستم، از سیستم‌های آندوسکوپی پژوهشی الهام گرفته شده است. این سیستم برای کاربردهایی مانند ساخت فروشگاه‌های مجازی و موزه‌های مجازی طراحی شده است. آرنسبنگ با قرار دادن آینه در جلوی دوربین تصویری از محیط را در یک فریم تولید نمود [۱۳]. در سیستم آنها، دو آینه به صورت موازی در اطراف دوربین قرار داده شد که با

^۱ Single view point

با توجه به تعداد دوربین‌های به کار گرفته شده در ساختارشان انجام شده است. بر این اساس این سیستم‌ها را می‌توان به سه دسته به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

- سیستم‌های تولید استریوپانوراما مبتنی بر یک دوربین
- سیستم‌های تولید استریوپانوراما مبتنی بر دو دوربین
- سیستم‌های تولید استریوپانوراما مبتنی بر ترکیب چند دوربین

۱-۲- سیستم‌های تولید استریو پانوراما مبتنی بر یک دوربین

در این سیستم‌ها تنها از یک دوربین برای تولید استریوپانوراما استفاده می‌شود. در این روش، یک دوربین را با ساختارهای متفاوتی طوری قرار می‌دهند که بتوان استریوپانوراما را از آن استخراج کرد. یکی از این روش‌ها، برای تولید استریوپانوراما از موzaئیک کردن تصاویر گرفته شده توسط یک دوربین استفاده می‌کند. در این روش، با استفاده از یک دوربین و موzaئیک کردن تصاویر اخذ شده از آن، استریوپانوراما ساخته می‌شود. معمولاً دوربین حول نقطه نodal آن چرخش داده می‌شود ولی ساختار بازسازی سه بعدی محیط از آن قابل استخراج نیست. اولین تلاش‌ها در این زمینه توسط ایشیگارو و همکاران [۸] در سال ۱۹۹۲ انجام شد. آنها سیستم‌های تولید استریوپانوراما با استفاده از دوربین تکی ارائه نمودند. این سیستم بر مبنای دوران دوربین تکی حول محور عمودی آن برای کاربردهای هدایت روبات‌ها طراحی شده بود. پلچ و همکاران [۹] در سال ۱۹۹۹ ایده مطرح شده فوق را پیگیری کردند. در روش آنها یک دوربین چرخشی استفاده می‌شود که حول نقطه‌ایی در خارج مرکز تصویرش دوران می‌کند. در هر چرخش، دوربین تصاویری را اخذ می‌کند که در هر تصویر آن،

موتور دوران دهنده اول است استوار شده است. آینسسورث و همکاران [۱۸] روش فوق را مجددا بررسی کرده و سیستم دوران‌کننده جدیدی مبتنی بر دو دوربین ارائه کردند که مشکلات اتصال تصاویر را نسبت به سیستم قبل خودش تا حدی حل کرده است. روش مطرح شده توسط آنها می‌تواند تصاویر استریو-پانوراما را بر اساس موزائیک کردن قسمت‌های مشترک تصاویر تولید کند. برای تست این سیستم از دو سیستم دوربین دیجیتالی پاناسونیک لومیکس و سیستم دوران کننده گیگاپن اپیک استفاده کردند. دریکی دیگر از متداوول‌ترین روش‌های تولید استریو-پانوراما می‌توان از دو دوربین معمولی قاب مبنا با طول پایه مشخص استفاده کرده و با چرخش آنها استریوپانوراما تولید کرد. هوآنگ و همکاران [۱۹] با استفاده از دو دوربین چرخشی استریو پانوراما تولید کرد. همچنین ورشوساز و همکاران [۲۰] در این زمینه مطالعاتی انجام داده‌اند. در سیستم ورشوساز و همکاران دو دوربین قاب‌مبنا به صورت افقی روی یک میله نصب شده و دوران حول محور میانی صورت گرفته و استریوپانوراما تولید شده است. به دلیل استفاده از دوربین‌های قاب‌مبنا در این روش استریو-پانورامای تولیدی دارای کیفیت مناسبی می‌باشد. در این روش دوربین‌ها طوری در کنار هم قرار می‌گیرند که دارای محور دوران مشترک هستند و در هنگام تصویربرداری، هر دو دوربین حول یک محور دوران می‌کنند.

گلاکمن و همکاران [۲۱] از دو دوربین هم‌محور که طول پایه عمودی دارند برای تولید استریوپانوراما استفاده کردند. با استفاده از این سیستم، امکان تخمين موقعیت سه‌بعدی یک نقطه در فضا فراهم می‌شود. هرچقدر مقدار طول پایه بین دو دوربین بیشتر باشد دقت تعیین موقعیت نیز بیشتر است. هوآنگ و همکاران [۲۲] سیستمی مبتنی بر دو دوربین را در سال ۱۹۹۶ ارائه دادند. سیستم آنها که *PSI-II* نام دارد به راحتی تصاویر استریوپانورامای واقعی

محور نوری دوربین موازی است. از این سیستم برای کاربرد تهیه نقشه عمق استفاده می‌شود.

۲-۲- سیستم‌های تولید استریو پانوراما مبتنی بر دو دوربین

در این روش‌ها از ترکیب دو دوربین برای ساخت استریوپانوراما بهره گرفته می‌شود. استفاده از ترکیب دو لنز چشم ماهی و ساخت دو تصویر پانورامای کروی برای تشکیل استریوپانوراما یکی از این روش‌های است. هوا و همکاران [۱۴] سیستم استریوپانورامایی بر مبنای لنز چشم ماهی طراحی کردند به شکلی که دو دوربین با لنزهای چشم ماهی برای پوشش محیط روی یکدیگر قرار داده و با استفاده از سیستم دوران کننده محیط را اسکن کرده و استریو پانوراما تولید می‌کنند. در این سیستم طول پایه بین دو پانورامای تولید شده عمودی است.

در راه حل دیگر برای تولید استریوپانوراما از چینش افقی یا عمودی دوربین‌های آرایه خطی استفاده می‌کنند. لی و همکاران [۱۵] دو دوربین آرایه خطی را روی یک میله افقی با فاصله‌های تقریباً یکسان از محور دوران سوار کرده و به وسیله آن استریوپانوراما تولید کردند. سیستم آنها از روش خارج محوری^۱ برای تولید استریوپانوراما استفاده می‌کند. سیستم‌های تجاری دیگری که با استفاده از دوربین‌های آرایه خطی استریوپانوراما تولید می‌کنند مانند سیستم پانواسکن ام ۴ [۱۶] نیز وجود دارند که سیستم‌هایی داخل محوری^۲ هستند.

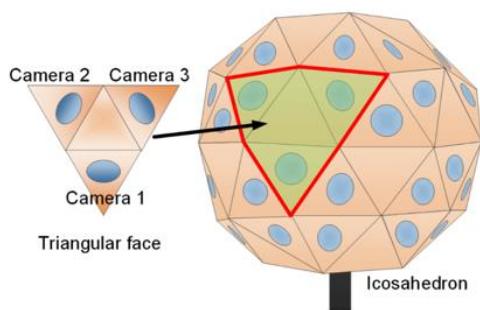
رومین و همکاران [۱۷] سکویی دوران کننده با دو درجه آزادی ارائه کردند که قادر است در دو جهت حرکت کرده و تصاویر چندسویه کروی اخذ کند. ساختار این سنسور برپایه دوران دو دوربین آرایه خطی که مرکز محور نوری آنها عمود بر محور دوران

¹ Off axis

² In axis



شکل ۱: سیستم ارائه شده توسط یاکوتا و همکاران [۲۳]



شکل ۲: سیستم ارائه شده توسط شیمیدا و همکاران [۲۴]

اخیراً شرکت سامسونگ دوربینی را تحت عنوان *Project Beyond* ارائه کرده است [۲۷] که ادعا می‌شود اولین دوربین سه بعدی چند سویه در دنیاست. این سیستم دارای ۱۶ دوربین با چینش پیشرفته است که محیط اطراف را در تمام جهات به صورت استریو تصویربرداری می‌کند. این سیستم دارای ۱۶ دوربین برای پوشش محیط اطراف و یک دوربین در قسمت بالا است که هر کدام از دوربین در رئوس یک هشت ضلعی منتظم قرار گرفته اند و به صورت استریو با طول پایه کوچک تصویربرداری را انجام می‌دهند. موسسه تحقیقاتی فرانهوفنریخ هرتز [۲۸] سیستم چند دوربینه بربایه چند آینه را ارائه کرده است که قادر است تصاویر پانوراما ویدئویی دو بعدی و سه بعدی برای کاربردهای متفاوت اخذ کند. این سیستم، با نام *OmniCam-360* که قادر به پوشش محیط ۳۶۰ درجه است، از ۱۰ آینه که با زاویه ۳۶ درجه کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند تشکیل شده است که در زیر هر کدام از آینه‌ها

برای کاربردهای واقعیت مجازی تولید می‌کند. سیستم دوران کننده آنها از متشکل از دو دوربین است که یک دوربین در مرکز و حول نقطه نodalش دوران می‌کند و یک دوربین دیگر در خارج از این محور دوران می‌کند که تصویری دارای پارالакс را از محیط اخذ می‌کند.

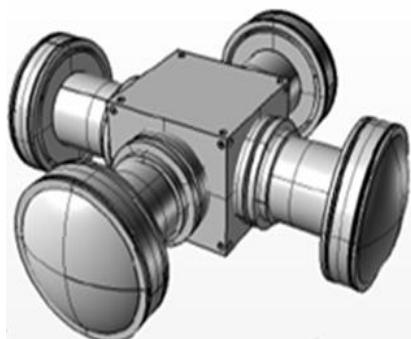
۲-۳- سیستم‌های تولید استریو پانوراما مبتنی بر چند دوربین

در این روش‌ها از ترکیب چند دوربین برای تولید استریوپانوراما استفاده می‌شود. استفاده از دوربین‌های چندبخشی که خود ترکیبی از چند دوربین می‌باشند یکی از روش‌ها در این دسته است. یاکوتا و همکاران [۲۳] سیستمی مبتنی بر ۳۶ دوربین به شکل یک توپ ارائه دادند که قادر است تصاویر رنگی از تمام جهات اخذ کند. سیستم چندسویه استریو آنها میدان دید کامل بدون هیچ ناحیه پنهانی در اختیار قرار می‌دهد.

شکل (۱) نمایی از این سیستم را نشان می‌دهد. روش دیگری برای تولید تصاویر استریوپانوراما در یک ساختار بیست وجهی توسط شیمیدا و همکاران [۲۴] و توسط تاناشی و همکاران [۲۵] ارائه شد. این سیستم قادر است تا تصاویر از همه جهات را با کمک ۶۰ دوربین اخذ کند. تمام دوربین‌ها در این سیستم با قدرت تفکیک مکانی بالا هستند و جهت قرارگیری هر دوربین بر قدرت تفکیک مکانی نهایی آن تاثیری ندارد. در این سیستم هر سه دوربین به عنوان یک بخش واحد در نظر گرفته شده است که قادر است نقشه عمق را با سرعت بالایی اخذ کند. همچنین در هر وجه آن، تنها از یک دوربین برای ساخت پانوراما کروی استفاده می‌شود. شکل (۲) نمایی از این سیستم را نشان می‌دهد.

ساخته شده است و قادر است که اطلاعات سه بعدی را از تمام محیط اطراف ارائه دهد و یک تصویر پانوراما را به شکل همزنمان بدون هیچ نقطه پنهانی از محیط در 360×360 اخذ کند. هر تصویر اخذ شده در این روش حداقل 90 درجه پوشش مشترک دارند که ارائه دهنده‌گان این سیستم با موزائیک کردن تصاویر استریوو اخذ شده بعد از حذف اعوجاجات لنز، تصویر استریو پانورامی کامل تولید می‌کنند. شکل(۵) نمایش می‌دهد.

امینی و همکاران [۳۱] سیستم تولید استریو پانوراما مبتنی بر دوربین‌های استریو را ارائه نموده است. سیستم آنها دارای 10 دوربین استریو است که با زاویه ای حدود 36 درجه نسبت به هم قرار گرفته‌اند. در این سیستم از چند دوربین استریو استفاده شده است که روی محیط یک صفحه دایره‌ای قرار گرفته‌اند. در این سیستم هر زوج تصویر تشکیل یک مدل استریو می‌دهند. سیستم ساخته شده توسط ایشان در شکل(۶) ارائه شده است.



شکل ۵: دوربین ارائه شده توسط فنگ و همکاران [۳۰]



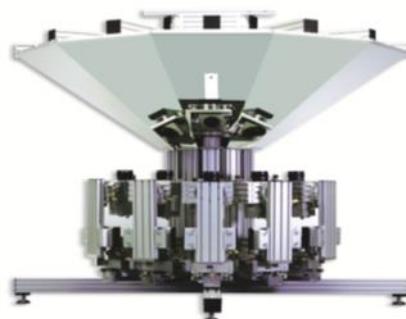
شکل ۶: سیستم ارائه شده توسط امینی و همکاران [۳۱]

دوربین‌هایی قرار دارند. این تصاویر اخذ شده از هر کدام از دوربین‌ها با یکدیگر موزائیک شده و قابلیت ضبط شدن به فرمت HD را دارد. تصویر این سیستم را شکل(۴) نمایش می‌دهد.

در روش دیگر از دوربین‌های مختلف و همزنمان‌سازی آنها با هم، برای پوشش کامل محیط و تولید استریو پانوراما استفاده می‌شود. پیرس و همکاران [۲۹] دوربین چندسویه‌ایی بر اساس پوشش سطح کروی با استفاده از تصاویر اخذ شده از چندین دوربین با زاویه باریک را پیشنهاد دادند. ایده این روش، استفاده از موزائیک کردن تصاویر اخذ شده از دو دوربین همسایه می‌باشد. با استفاده از این ایده، تصاویر اخذ شده از گروهی از این دوربین‌ها برای تشکیل پانورامی کروی سمت راست و گروهی دیگر برای تشکیل پانورامی کروی سمت چپ مورد استفاده قرار گرفته و موزائیک تصویری می‌شوند.



شکل ۳: دوربین ارائه شده توسط سامسونگ [۲۷]



شکل ۴: دوربین ارائه شده توسط موسسه تحقیقاتی فرانهوفر هنریخ هرتز [۲۸]

فنگ و همکاران [۳۰] سیستم دوربین چند سویه را ارائه کردند که از ترکیب لنزهای چشم ماهی

۳- طراحی سختافزاری سیستم اسکنراستریوپانوراما

با توجه به وجود عوارض متحرک در فضای شهری و لزوم پوشش آنی محیط، همچنان حذف اثرات ناشی از لرزش دوربین‌ها، سیستم اسکنراستریوپانوراما با استفاده از چند دوربین همزمان‌سازی شده طراحی شده و جز دسته روش‌های مبتنی بر چند دوربین است. در طراحی سیستم پیشنهادی، ضعف طول پایه کم دوربین‌های استریوی مورد استفاده می‌باشد به نحوی با تغییر چینش دوربین‌ها برطرف شود تا اطلاعات هندسی با دقت بالاتری قابل استخراج باشند. برای این منظور در ادامه مسائل مرتبط با طراحی سختافزاری سیستم مانند حداقل فاصله برای ایجاد پوشش و زاویه بین دوربین‌های استریو مطرح می‌شوند.

۱-۱- حداقل فاصله برای ایجاد پوشش

با توجه به اینکه در این سیستم دو دوربین استریو با زاویه دید افقی Φ همزمان با هم تصویربرداری را انجام می‌دهند لذا برای هر جفت دوربین استریو در صورتی که مقدار طول پایه $B1$ را برای لنزهای دور جفت دوربین‌های استریو و طول پایه $B2$ را برای لنزهای نزدیک در نظر گرفته شود با توجه به شکل(۸) حداقل فاصله دوربین‌های دور تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک (D) و حداقل فاصله دوربین‌های نزدیک تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک ($D1$) از روایط (۱ و ۲) قابل محاسبه است.



شکل ۷: سیستم ارائه شده توسط تریمب[۳۲]

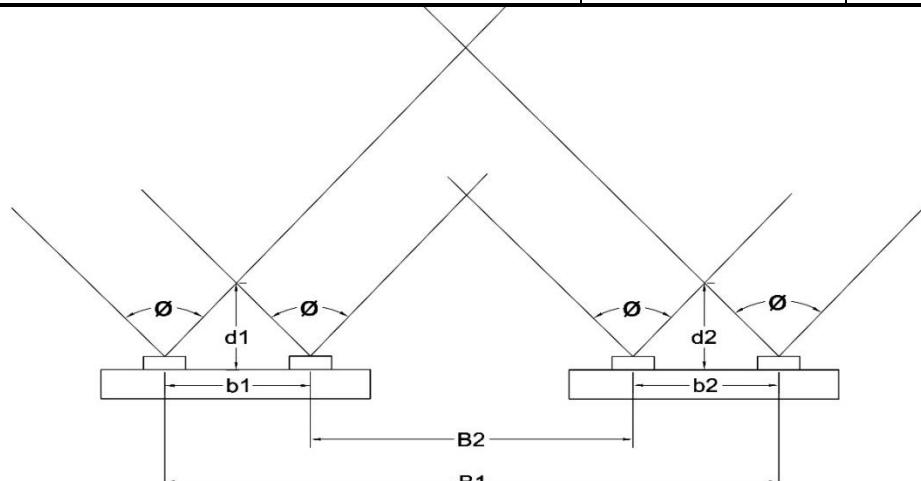
سیستم تصویربرداری تریمب[۳۲] V10 محصول شرکت تریمب از ۱۲ دوربین جهت تولید تصاویر پانورامای 360° درجه از محیط استفاده می‌کند. این سیستم جهت مدل‌سازی سه‌بعدی از مفاهیم هندسه پانوراما استفاده می‌کند. دقت قابل حصول از این سیستم وابسته به فاصله بین ایستگاه‌های تصویربرداری و فاصله هریک از ایستگاه‌ها تا عوارض مکانی است. در صورت تامین هندسه تصویربرداری مناسب، این سیستم در فاصله ۱۰ متری از عوارض به دقت یک سانتیمتر خواهد رسید. شکل(۷) این سیستم را نمایش می‌دهد.

۲-۴- جمع‌بندی سیستم‌های ارائه شده

هریک از روش‌های مطرح شده در کنار مزایا و محاسن خود دارای نقاط ضعف و محدودیت‌هایی در به کارگیری آنها برای بازسازی سه‌بعدی مناطق شهری هستند که این محدودیت‌ها در انجام فرآیند مدل‌سازی مشکلات و چالش‌های فراوانی را ایجاد می‌کنند. جدول(۱) محدودیت‌ها و نقاط ضعف هریک از این سیستم‌ها را مطرح می‌کند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان گفت که سیستم‌های موجود دارای توانایی لازم برای تولید اطلاعات سه‌بعدی از محیط شهری با دقت از محیط اطراف را به دلیل ضعف در ساختار فیزیکی خود ندارند. بنابراین لازم است سیستمی با سختافزار مناسب و با توجه به شرایط محیط شهری برای دستیابی به اطلاعات هندسی طراحی شده تا بر مشکلات موجود در این زمینه غلبه کند.

جدول ۱: سیستم‌های موجود تولید استریوپانوراما و نقاط ضعف و محدودیت‌های هر یک از آنها

روش تولید استریو پانوراما	نقاط ضعف و محدودیت‌ها
موزائیک کردن تصاویر تک دوربین	<ul style="list-style-type: none"> ❖ عدم پوشش آنی ۳۶۰ درجه محیط ❖ زمان بر بودن تولید استریو پانوراما و تاثیر عوارض متحرک ❖ عدم تناسب شکل و ساختار سیستم برای محیط شهری با توجه به مکانیزم دورانی
ترکیب دوربین و آینه های مختلف	<ul style="list-style-type: none"> ❖ کیفیت پایین تصاویر به دلیل اعوجاجات ❖ عدم بر جسته بینی در آنها با توجه به نوع ساختار ❖ نیاز به اعمال تصحیح تصاویر ❖ سختی استخراج اطلاعات هندسی در این ساختار
استفاده از لنز چشم ماهی	<ul style="list-style-type: none"> ❖ اعوجاج بسیار زیاد تصاویر حاصل ❖ نیاز به تصحیح کامل تصاویر ❖ هندسه پیچیده و سختی استخراج اطلاعات هندسی ❖ عدم بر جسته بینی در آنها با توجه به نوع ساختار
استفاده از سنجدنهای آرایه خطی	<ul style="list-style-type: none"> ❖ عدم پوشش آنی محیط ❖ زمان بر بودن تولید استریو پانوراما و تاثیر عوارض متحرک ❖ نیاز به اخذ تصاویر زیاد ❖ عدم بر جسته بینی در آنها با توجه به نوع ساختار
استفاده از دوربین‌های فریم تایپ	<ul style="list-style-type: none"> ❖ عدم پوشش آنی محیط ❖ زمان بر بودن تولید استریو پانوراما و تاثیر عوارض متحرک ❖ عدم بر جسته بینی در آنها با توجه به نوع ساختار
روش‌های مبتنی بر چند دوربین	<ul style="list-style-type: none"> ❖ عدم بر جسته بینی در آنها با توجه به نوع ساختار ❖ دقیق پایین استخراج اطلاعات هندسی به دلیل طول پایه کم



شکل ۸: حداقل فاصله دوربین‌ها تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک

به شکل زیر رابطه بین زاویه θ و Δ به صورت زیر قابل بیان است

$$2\Delta - \theta = 180 \quad \text{رابطه (۳)}$$

حداقل فاصله دوربین‌ها تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک بین دوربین‌های مجاور برای ایجاد امکان اتصال بین ابرنقاط و تصاویر (H), با در نظر گرفتن p درصد پوشش بین تصاویر و فاصله بین دوربین‌های مجاور در روی سکوی سیستم (۲) از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

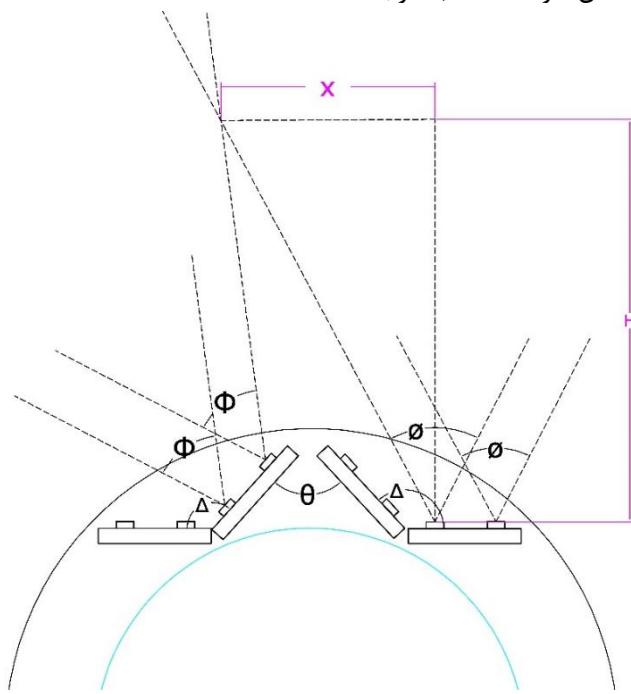
$$H = \frac{x}{2 \tan(\frac{\phi}{2})(1-p)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$D = \frac{B1}{2 \tan(\frac{\phi}{2})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$D1 = \frac{B2}{2 \tan(\frac{\phi}{2})} \quad \text{رابطه (۲)}$$

۳-۲- زاویه بین دوربین‌های استریو

برای پیاده‌سازی سیستم، می‌بایست چگونگی قرارگیری دوربین‌ها روی سکوی نگهدارنده تعیین شود. در این حالت شعاع سکو با توجه به رعایت پوشش دو دوربین، برای رسیدن به حداقل طول پایه بین دو دوربین استریو نیز می‌بایست در نظر گرفته شود. محل قرارگیری دو دوربین در روی سکوی نگهدارنده با تعیین دو زاویه θ و Δ مشخص خواهد شد. با توجه



شکل ۹: حداقل فاصله دوربین‌ها تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک بین دوربین‌های مجاور

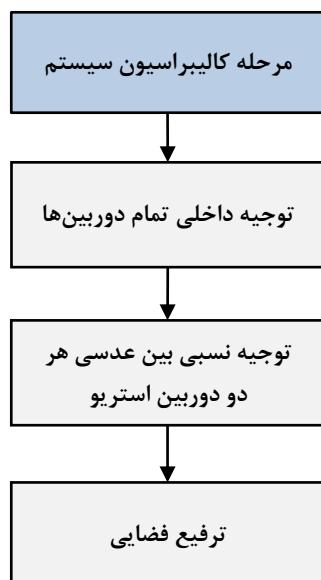
پارامترهای طراحی سیستم اسکنر استریو به صورت زیر خواهد بود:

حداقل فاصله دوربین‌های دور تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک (D) برابر با ۸ متر و حداقل فاصله دوربین‌های نزدیک تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک ($D1$) برابر ۵ متر است. حداقل

۳-۳- ایجاد سیستم اسکنر استریوپانوراما

برای پیاده‌سازی سیستم اسکنر استریوپانورامای پیشنهادی، از تعداد ۱۶ دوربین استریو Fujifilm FinePix Real 3D W3 استفاده شده است. مشخصات فنی دوربین‌ها در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به مشخصات فنی دوربین و مسائل مطرح شده، مقادیر

۴- کالیبراسیون سیستم اسکنر استریو پانوراما کالیبراسیون صحیح سیستم اسکنر استریو پانوراما، تاثیر مهمی در نتایج حاصل شده از آن دارد. برای سیستم ارائه شده، با توجه به اینکه پارامترهای کالیبراسیون به طور مستقیم در مراحل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند، این مرحله از اهمیت به سزاوی برخوردار است. کالیبراسیون سیستم اسکنر استریو پانوراما شامل سه مرحله تعیین پارامترهای توجیه داخلی برای هر دوربین، تعیین پارامترهای توجیه نسبی برای زوج عدسی هر دوربین استریو و در نهایت انجام ترفع فضایی برای استخراج پارامترهای توجیه خارجی هریک از دوربین‌ها در روی سیستم اسکنر استریو پانوراما است.



شکل ۱۱: فلوچارت روش کالیبراسیون سیستم اسکنر استریو پانوراما

فاصله دوربین‌ها تا عارضه برای شروع ایجاد پوشش مشترک بین دوربین‌های مجاور برای ایجاد امکان اتصال بین ابرنقاط و تصاویر ۴/۴ متر است.

برای ساخت سکوی نگهدارنده دوربین‌های استریو از صفحه از جنس لترون^۱ با ضخامت یک سانتیمتر، به دلیل وزن سبک و عدم انعطاف‌پذیری آن و ایجاد امکان حمل و نقل آسان سیستم و ریل‌های نگهدارنده دوربین استفاده شد. هم‌چنین جهت همزنی سازی دوربین‌ها از یک کنترل کننده الکترونیکی با قابلیت کنترل از راه دور استفاده شد. شکل (۱۰) این سیستم را با ۶ دوربین نصب شده بر روی آن نمایش می‌دهد. این سیستم با ۶ دوربین نصب شده بر روی آن قابلیت اخذ تصاویر با زاویه دید ۱۶۰ درجه را دارا می‌باشد.

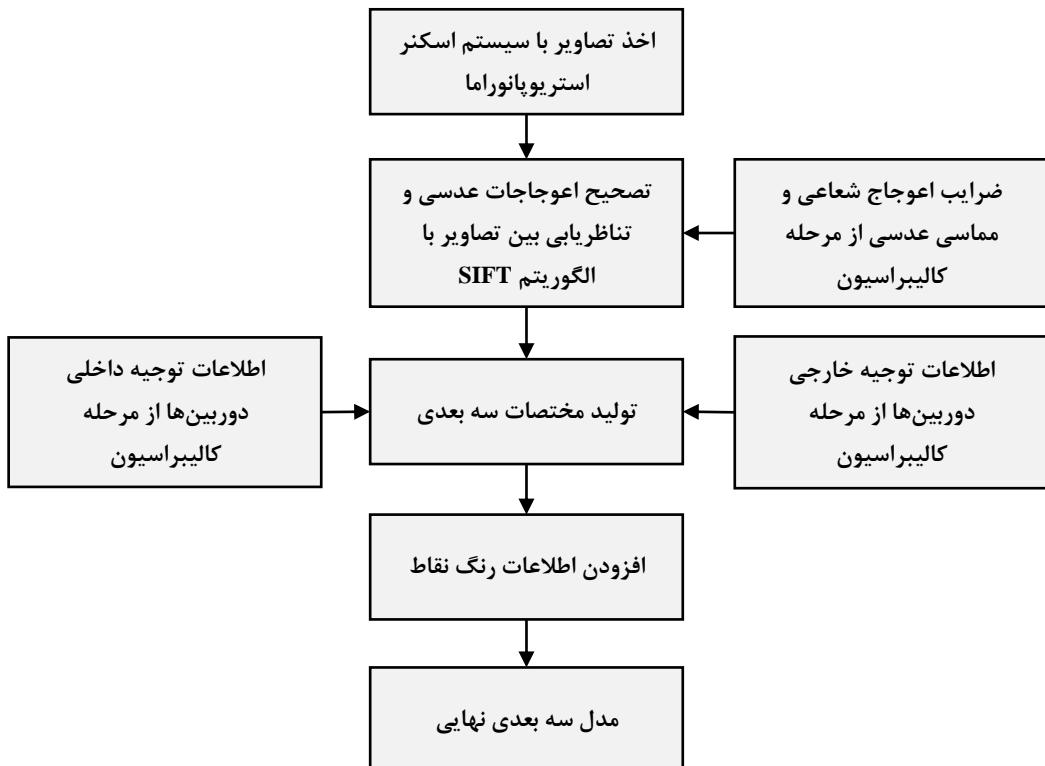
جدول ۲: مشخصات فنی دوربین مورد استفاده

حداکثر رزولوشن(پیکسل)	۳۶۴۸×۲۷۳۶
طول پایه اسمی	۷۵ میلیمتر
زاویه دید افقی (Φ)	۵۴ درجه
زاویه دید قائم	۴۴ درجه
سایز سنسور(میلیمتر)	۶/۱۷×۴/۵۵
ابعاد دوربین(میلیمتر)	۱۲۴×۶۶×۲۸
نوع سنسور	CCD



شکل ۱۰: نمایی از سیستم اسکنر استریو پانوراما ساخته شده

^۱ Letron



شکل ۱۲: فلوچارت روش تولید مدل سه بعدی از سیستم اسکنر استریوپانوراما

ارائه شده است استفاده می‌شود. این الگوریتم نسبت به تغییرات مقیاس، روشنایی و تغییرات کوچک در زاویه دید دوربین نامتغیر است [۵۳]. پس از تناظریابی با استفاده از الگوریتم *sift* و استخراج جفت نقاط متناظر از تصاویر چپ و راست، تولید مختصات سه بعدی برای هر نقطه تصویری به صورت زیر خواهد بود. در این روابط X , Y و Z مختصات زمینی نقاط و x_1 , x_2 و x_3 مختصات تصویری نرمال نشده آنها می‌باشد. با اعمال ماتریس عناصر توجیه داخلی، مختصات نرمال شده \tilde{p}_n قابل محاسبه است. با توجه به آنکه \tilde{p}_n مختصات تصویری هموزن است برای به دست آوردن مختصات تصویری (x و y) می‌بایست عناصر x_1 و x_2 بر x_3 تقسیم شوند. بر این اساس داریم:

۵- تولید مدل سه بعدی

پس از کالیبراسیون سیستم اسکنر استریوپانوراما، تصاویر اخذ شده از آن برای تولید مدل سه بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فلوچارت روش تولید مدل سه بعدی از سیستم اسکنر استریوپانوراما در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. مدل‌های سه بعدی تولید شده به یکدیگر متصل می‌شوند تا مدل سه بعدی یکپارچه از محیط ایجاد شود. برای تولید مدل سه بعدی از تکنیک استریوویژن استفاده می‌شود. این تکنیک روشی برای به دست آوردن اطلاعات سه بعدی از دو یا چند تصویر پوشش دار است. برای تولید مدل سه بعدی با معلوم بودن المان‌های توجیه داخلی و خارجی هریک از تصاویر، نیاز به تناظریابی وجود دارد. برای این منظور از الگوریتم *sift* که توسط لو و همکاران [۴۳]

$$k^{-1} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \tilde{p}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}^{world} \rightarrow \begin{cases} x = \frac{r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}Z + t_x}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + t_z} \\ y = \frac{r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}Z + t_y}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + t_z} \end{cases}$$

در تقاطع فضایی، با استفاده از رابطه فوق برای هر یک از تصاویر چپ و راست خواهیم داشت:

$$x_L = (r_{11(L)}X + r_{12(L)}Y + r_{13(L)}Z + t_{x(L)}) / (r_{31(L)}X + r_{32(L)}Y + r_{33(L)}Z + t_{z(L)}) \quad (5)$$

$$y_L = (r_{21(L)}X + r_{22(L)}Y + r_{23(L)}Z + t_{y(L)}) / (r_{31(L)}X + r_{32(L)}Y + r_{33(L)}Z + t_{z(L)})$$

$$x_R = (r_{11(R)}X + r_{12(R)}Y + r_{13(R)}Z + t_{x(R)}) / (r_{31(R)}X + r_{32(R)}Y + r_{33(R)}Z + t_{z(R)}) \quad (6)$$

$$y_R = (r_{21(R)}X + r_{22(R)}Y + r_{23(R)}Z + t_{y(R)}) / (r_{31(R)}X + r_{32(R)}Y + r_{33(R)}Z + t_{z(R)})$$

ماتریس توجیه خارجی و K ماتریس المان‌های داخلی که در مرحله کالیبراسون به دست آمده‌اند و به صورت زیر هستند:

در معادلات بالا x_L و y_L و x_R و y_R به ترتیب مختصات نقاط متناظر در تصاویر سمت چپ و راست و Z مختصات زمینی نقاط هستند. هم‌چنین r_{11} تا r_{33} عناصر دورانی و t_x ، t_y و t_z عناصر انتقالی

$$M_{ext} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

با استفاده از روابط (۵) و (۶) داریم:

رابطه (7)

$$\begin{pmatrix} r_{11(L)} - x_L r_{31(L)} & r_{12(L)} - x_L r_{32(L)} & r_{13(L)} - x_L r_{33(L)} \\ r_{21(L)} - y_L r_{31(L)} & r_{22(L)} - y_L r_{32(L)} & r_{23(L)} - y_L r_{33(L)} \\ r_{11(R)} - x_R r_{31(R)} & r_{12(R)} - x_R r_{32(R)} & r_{13(R)} - x_R r_{33(R)} \\ r_{21(R)} - y_R r_{31(R)} & r_{22(R)} - y_R r_{32(R)} & r_{23(R)} - y_R r_{33(R)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -t_{x(L)} + x_L t_z \\ -t_{y(L)} + y_L t_z \\ -t_{x(R)} + x_R t_z \\ -t_{y(R)} + y_R t_z \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} AX = b \Rightarrow \\ X = (A^T A)^{-1} A^T b \end{cases}$$

طبق رابطه (۸) ارائه شده توسط [۳۳]، دقیق استخراج اطلاعات هندسی در راستای محور نوری دوربین در فواصل مختلف سیستم از عوارض مکانی بالاتر خواهد بود. زیرا همانطور که در رابطه (۴) مشخص است دقیق در راستای محور نوری دوربین (δ) با محدود فاصله از عوارض مکانی (H) رابطه مستقیم و با طول پایه (b) رابطه عکس دارد. در این رابطه، f معرف فاصله کانونی دوربین و δ دقیق اندازه‌گیری نقاط تصویری برابر با نصف ابعاد پیکسل است

با استفاده از رابطه (۷)، مختصات سه‌بعدی برای نقاط ارائه شده توسط الگوریتم تناظریابی با استفاده از روش سرشکنی کمترین مربعات قابل محاسبه خواهد بود. استفاده از دوربین‌های استریو علاوه بر امکان ایجاد دید سه‌بعدی از محیط، باعث ایجاد افزونگی در معادلات فوق جهت تولید این نقطه شده و امکان استخراج این نقطه کامل از محیط را با توجه به وجود چهار تصویر در اختیار قرار می‌دهد. هم‌چنین با توجه به امکان تصویربرداری با طول پایه بزرگ‌تر با استفاده از سخت‌افزار سیستم پیشنهادی،

موحد برای هر پیکسل میانگین‌گیری می‌شود.
در صورتی که پیکسلی با مختصات (x_l, y_l)
در تصویر سمت چپ با پیکسلی با مختصات
 (x_R, y_R) در تصویر راست متناظر باشد برای هر یک
از آنها اطلاعات رنگ از تصویر مربوطه استخراج شده و
با میانگین‌گیری از این اطلاعات برای نقطه سه‌بعدی
زمینی رنگ به صورت زیر اختصاص داده می‌شود.

$$(x_R, y_R) = [R_R, G_R, B_R]$$



$$[R, G, B]_{XYZ} = \left[\frac{R_R + R_L}{2}, \frac{G_R + G_L}{2}, \frac{B_R + B_L}{2} \right]$$

رابطه (۸)

$$(x_l, y_l) = [R_L, G_L, B_L]$$

همچنین میزان دقت نهایی حاصل شده از
زمین مرجع‌سازی مدل سه‌بعدی تولید شده با استفاده
از نقاط کنترل زمینی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
در بخش نهایی نیز کیفیت ابرنقطه تولید شده با
استفاده از دوربین‌های مورد استفاده با ابرنقطه مرجع
مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج آن ارائه می‌شود.

برای ارزیابی کلی سیستم اسکنر استریوپانوراما
ارائه شده، از آن برای بازسازی سه‌بعدی ساختمان در
فضاهای شهری استفاده شد. سیستم مطرح شده در
مقابل ساختمان ورزشی در فضای دانشکده هوافضای
دانشگاه خواجه نصیر مطابق شکل (۱۳) در دو ایستگاه
قرار گرفت و از محیط اطراف تصویربرداری و با استفاده
از روابط مطرح شده ابرنقطه در محیط نرم‌افزار مطلب
تهیه شد. ابرنقطه تهیه شده در شکل (۱۴)
نمایش داده شده است. با وجود بافت تکراری در
نمای ساختمان الگوریتم مدل سازی به خوبی
عمل کرده و ابر نقطه با تقریباً کاملی تولید شده است.

$$\delta = \delta_p \cdot \frac{H^2}{bf}$$

پس از تولید مختصات سه‌بعدی برای هر نقطه، برای
واقعی تر شدن نمایش ابرنقطه، اطلاعات رنگ نقاط
متناظر نیز به ابرنقطه اضافه می‌شود. شیوه افزودن
این اطلاعات به این صورت است که برای نقاط متناظر،
برای هر پیکسل اطلاعات رنگ استخراج شده و سپس
برای اختصاص رنگ به ابرنقطه از درجات خاکستری

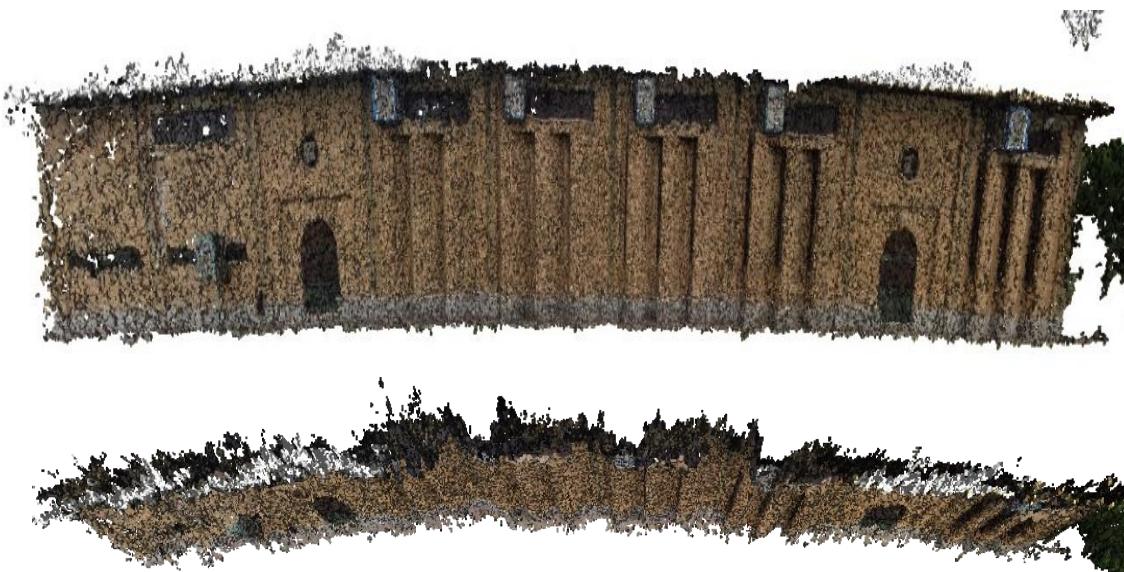
رابطه (۹)

۶- ارزیابی سیستم اسکنر استریو پانوراما

همانطور که بیان شد سیستم اسکنر استریو پانوراما
به گونه‌ای طراحی شده است که بتواند در مواجه با
مشکلات موجود در زمینه مدل‌سازی سه‌بعدی عملکرد
مناسبی داشته باشد. پس از بیان چگونگی طراحی،
پیاده‌سازی و کالیبراسیون سیستم و نحوه تولید مدل
سه‌بعدی از آن، در این بخش قابلیت‌های سیستم
ارائه شده در بازسازی سه‌بعدی محیط مورد ارزیابی
قرار می‌گیرد. برای این منظور نتایج عملکرد سیستم در
چهار آزمون مجزا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
ابتدا قابلیت سیستم برای تولید مدل سه‌بعدی در فضای
شهری و در مواجه با ساختمان‌ها به صورت بصری
مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس در آزمون بعدی
عملکرد سیستم پیشنهادی در اندازه‌گیری‌های هندسی
مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این راستا، میزان دقت
قابل حصول از سیستم در استقرار آن در تک ایستگاه و
در فواصل مختلف از شی مورد نظر بررسی می‌شود.



شکل ۱۳: نمایی از محل آزمون و محل قرارگیری ایستگاه‌های ۱ و ۲

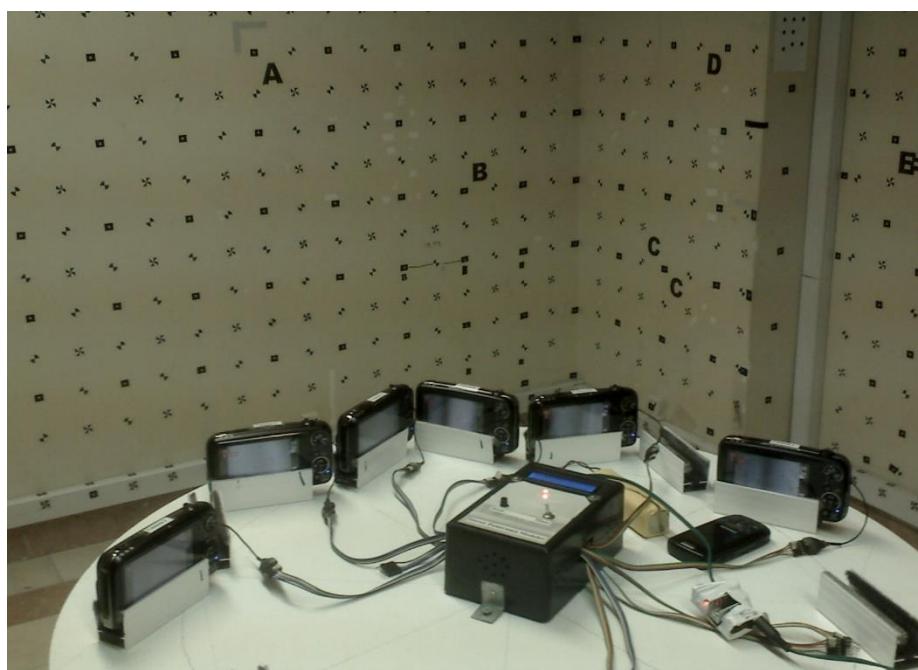


شکل ۱۴: ابر نقطه تهیه شده از ساختمان ورزشی دانشکده هواشناسی (بالا:نمای روبرو-پایین:نمای بالای ابر نقطه)

با تارگت‌هایی با مختصات زمینی معلوم استفاده شد. این میدان آزمون در تمام میدان دید سیستم گسترش پیدا کرده و در تمامی تصاویر اخذ شده تارگت‌هایی با مختصات زمینی معلوم وجود دارد. با تصویربرداری از این میدان آزمون با سیستم اسکنر استریوپانوراما و استفاده از معادلات ترفیع فضایی، وضعیت و موقعیت هریک از دوربین‌ها در روی سیستم مشخص شد. با تعیین توجیه خارجی هریک از دوربین‌ها در روی سکوی سیستم اسکنر استریوپانوراما، مقیاس ابر نقطه تولید شده در مرحله مدل‌سازی سه‌بعدی نیز قابل تعیین خواهد بود.

برای انجام کالیبراسیون دوربین‌ها جهت استخراج پارامترهای توجیه داخلی، تعدادی تصویر از یک میدان آزمون با طول‌های مقیاس اخذ شده و با استفاده از سرشکنی به روش دسته اشعه، با استفاده از نرم‌افزار آسترالیس، [۳۳] پارامترهای داخلی هریک از دوربین‌ها استخراج شد. همچنین در این مرحله ضمن مشخص شدن پارامترهای توجیه داخلی هریک از دوربین‌ها، پارامترهای توجیه نسبی برای زوج عدسی‌ها نیز استخراج می‌شوند.

پس از کالیبراسیون تمام دوربین‌ها، برای مشخص نمودن پارامترهای توجیه خارجی هریک از آنها بر روی سکوی نگه‌دارنده، از میدان آزمون وسیعی



شکل ۱۵: کالیبراسیون سیستم اسکنر استریوپانوراما پیشنهادی

نمایش می‌دهد. این ابر نقطه با استفاده از تارگت‌های کددار مقایسه‌دهی شده و با ابر نقطه تولید شده توسط دوربین مورد استفاده در سیستم اسکنر استریوپانوراما مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور، جهت انطباق دو ابر نقطه از الگوریتم *Local Best Fit* در نرمافزار *GOM Inspect* [۷۳] به صورت اتوماتیک استفاده شده و از معیار مقدار انحراف استاندارد^۱ برای مقایسه دو ابر نقطه استفاده شد. شکل (۱۷) مقایسه این دو ابر نقطه را نمایش می‌دهد.

با مقایسه بین این دو ابر نقطه مقدار انحراف استاندارد ابر نقطه تولید شده با دوربین مورد استفاده با ابر نقطه مرجع ۶۸ میلیمتر است. این مقدار نشان می‌دهد که ابر نقطه تولید شده به کمک دوربین *FujiFilm* دارای نویز کمی است و قابلیت استفاده در مدل‌سازی سه‌بعدی را دارد. مقایسه کاملی روی کیفیت ابر نقطه تولید شده توسط سنسور استریو مورد استفاده در سیستم اسکنر استریوپانوراما در مقاله [۸۳] آورده شده است.

^۱ Standard Deviation

برای بررسی پایداری هندسی و فیزیکی سیستم اسکنر استریوپانوراما، پس از به کارگیری سیستم در تصویربرداری از محیط، اجزای سیستم مجدد کالیبره شدند. بدین ترتیب که پس از کالیبراسیون اولیه سیستم و بکارگیری آن در محیط شهری، دوربین‌های استریو مجدد توسط میدان آزمون کالیبره شده و پارامترهای توجیه داخلی و پارامترهای توجیه نسبی بین دو عدسی برای هر دوربین استریو محاسبه شدند. به عنوان نمونه در جدول (۳) مقداری به دست آمده از پارامترهای کالیبراسیون دو عدسی یکی از دوربین استریو، قبل و پس از به کارگیری آن در روی سکوی سیستم و تصویربرداری از محیط و میزان اختلاف آن نمایش داده شده است.

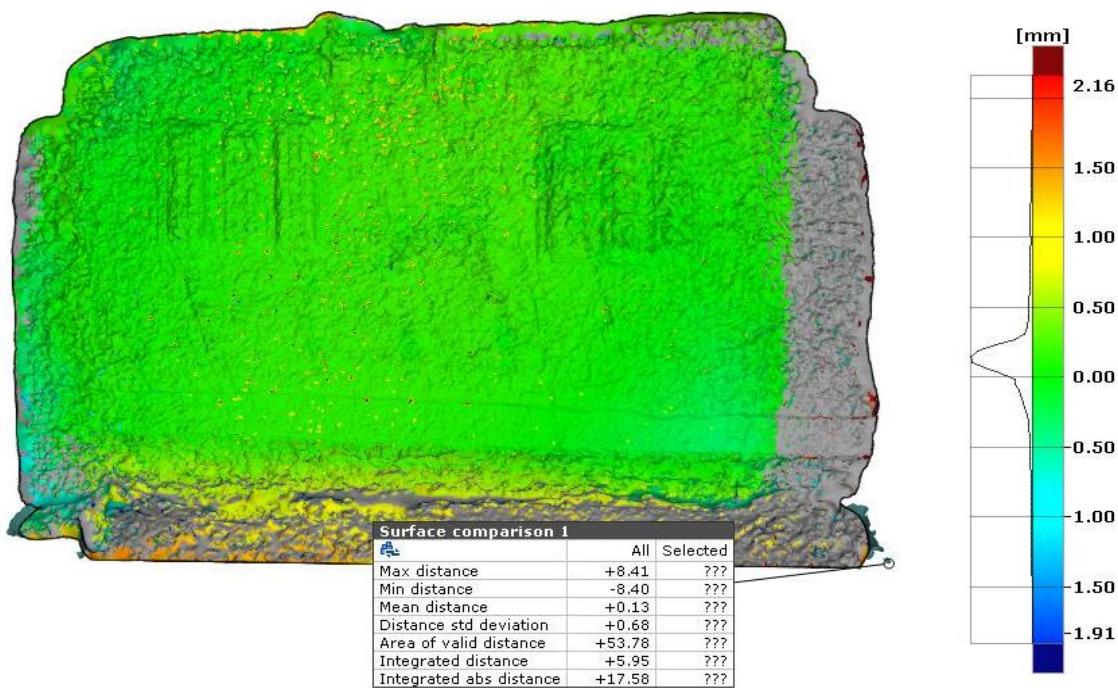
در بررسی دیگری کیفیت ابر نقطه تولید شده با دوربین استریو مورد استفاده در سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارزیابی ابر نقطه مرجعی از نمای ساختمان فوق با استفاده از دوربین فریم تایپ نیکون دی ۳۲۰۰ با تعداد ۲۰ تصویر در نرمافزار ای جی آی سافت تولید شد. شکل (۱۶) نمایی از شبکه تصویربرداری جهت تولید ابر نقطه مرجع را

جدول ۳: پارامترهای کالیبراسیون دو عدسی یکی از دوربین‌های استریو قبل و پس از بکارگیری در تصویربرداری از محیط و درصد اختلاف آنها

پارامترها	قبل از بکارگیری در محیط			پس از بکارگیری در محیط			درصد اختلاف	
	عدسی راست	عدسی چپ	عدسی راست	عدسی چپ	عدسی راست	عدسی چپ	عدسی چپ	عدسی چپ
C(mm)	۷.۴۹۶۲	۷.۴۹۶۰	۷.۴۹۶۷	۷.۵۰۸۰	۰.۰۶%	۰.۱۵%		
(mm) x_p	-۰.۰۰۱۵	-۰.۰۵۴۴	-۰.۰۰۱۶	-۰.۰۵۹۲	۶.۶%	۸.۸%		
(mm) y_p	-۰.۰۲۷۱	-۰.۰۳۲۲	-۰.۰۲۴۹	-۰.۰۳۰۱	۸.۱%	۶.۵%		
K1	۲.۰۰۴e-۰۳	۲.۱۲۸e-۰۳	۲.۱۹۴e-۰۳	۲.۲۶۱e-۰۳	۸.۶۵%	۵.۸۸%		
K2	-۱.۰۱۸e-۰۴	-۱.۰۳۸e-۰۴	-۱.۱۵۳e-۰۴	-۱.۱۰e-۰۴	۱۱.۷۰%	۵.۲۹%		
K3	۴.۵۴۳e-۰۶	۴.۷۶۹e-۰۶	۴.۹۳۱e-۰۶	۴.۳۸۱e-۰۶	۷.۸۶%	۸.۸۵%		
P1	۵.۲۲۸e-۰۴	-۴.۶۹۸e-۰۴	۵.۹۸۰e-۰۴	-۴.۴۹۸e-۰۴	۱۲.۵۷%	۴.۶۷%		
P2	-۴.۳۰۰e-۰۴	-۴.۵۲۶e-۰۴	-۴.۶۴۴e-۰۴	-۴.۳۰۲e-۰۴	۷.۴۰%	۵.۲۰%		
B1	۱.۳۳۵e-۰۲	۱.۲۷۹e-۰۲	۱.۴۴۵e-۰۲	۱.۳۱۵e-۰۲	۶.۹۶%	۲.۷%		
B2	-۱.۰۵۸e-۰۴	-۲.۰۴۸e-۰۳	۱.۱۶۲e-۰۳	-۲.۱۶۶e-۰۴	۸.۹۵%	۵%		
میانگین درصد اختلاف						٪۷.۸۸	٪۵.۳۰	



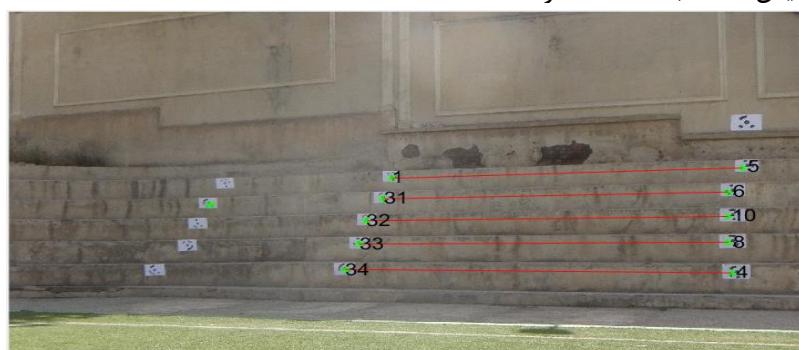
شکل ۱۶: نمایی از شبکه تصویربرداری جهت تولید ابر نقطه مرجع



شکل ۱۷: مقایسه ابر نقطه تولید شده با سیستم با برنقه مرجع

طرح شده استخراج شد و طول بین این نقاط محاسبه و اختلاف میان طول واقعی و طول اندازه‌گیری شده توسط سیستم به عنوان معیار اندازه‌گیری در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه بین این طول‌ها در جدول (۴) آمده است.

برای ارزیابی دقت سیستم اسکنر استریوپانوراما، فاصله بین چند نقطه که در فواصل مختلف از سیستم قرار گرفته‌اند و با تارگت‌های کددار نشانه‌گذاری شده‌اند با دقت اندازه‌گیری شد. محل قرارگیری این طول‌ها در شکل (۱۸) نمایش داده شده است. سپس مختصات سه‌بعدی برای این نقاط با استفاده از معادلات



شکل ۱۸: محل قرارگیری طول‌های چک

استریوپانوراما، میزان خطای طول بین نقاط در حدود ۵۷ میلیمتر است. این میزان خطای می‌تواند در بسیاری از زمینه‌ها پاسخگوی نیاز مدل‌سازی سه‌بعدی فضای شهری در مقیاس گسترده باشد.

همانطور که نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد، میزان خطای در طول بین نقاط هدف مرتبط با فاصله آن نقطه مورد اندازه‌گیری از سیستم اسکنر استریوپانوراما می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت که در فاصله حدود ۱۵ متری از سیستم اسکنر

جدول ۴: میزان خطای طول‌های اندازه‌گیری توسط سیستم

	طول بین تارگتها	فاصله تارگت از سیستم تصویربرداری (متر)	طول واقعی (متر)	طول اندازه‌گیری شده (متر)	مقدار خطا (متر)
استریوپانوراما ۱	۳۴-۴	۱۱	۴.۸۶۲	۴.۸۹۹۸	۰.۰۳۷۸
	۳۳-۸	۱۲	۴.۸۰	۴.۸۴۰۹	۰.۰۴۰۹
	۳۲-۱۰	۱۳	۴.۸۶۷	۴.۹۱۶۲	۰.۰۴۹۲
	۳۱-۶	۱۴	۴.۸۱۸	۴.۸۷۰۶	۰.۰۵۲۶
	۵-۱	۱۵	۵.۰۴۳	۵.۱۰۰۴	۰.۰۵۷۴

مختصات زمینی داده شد. شیوه مختصات‌دهی به این نقاط بدین صورت انجام شد که ابتدا یک شبکه ژئودتیک شامل سه نقطه، که یک مثلث را تشکیل می‌دادند، تشکیل شده و مشاهدات طول و زاویه برای این نقاط انجام شد. سپس از هر ایستگاه به نقاط قرار گرفته بر روی نمای ساختمان مختصات‌دهی شد و درنهایت تمام مشاهدات صورت گرفته در یک سیستم مختصات سرشکن شد. مختصات تصویری تارگتها کددار توسط نرمافزار Agisoft استخراج شده است. سپس مختصات مدلی برای هریک از نقاط با استفاده از تصاویر اخذ شده از سیستم و روابط مطرح شده در بخش ۵ استخراج شد و با استفاده از آنان و مختصات زمینی نقاط پارامترهای زمین مرجع‌سازی محاسبه شدند.

برای انجام اندازه‌گیری در مدل سه‌بعدی تولید شده و استخراج اطلاعات هندسی در سیستم مختصات زمینی و ایجاد سیستم مختصات یکپارچه، مدل ایجاد شده باید زمین مرجع شود. برای انجام زمین مرجع‌سازی به نقاط کنترل نیاز می‌باشد. برای این منظور، در محیط تعداد ۱۰ نقطه به عنوان نقاط کنترل و چک روی نمای ساختمان در نظر گرفته شد و سعی گردید بر روی نمای ساختمان تعداد نقاط به طور همگن انتخاب شوند. برای این منظور از تارگتها کددار ارائه شده در نرمافزار Agisoft [۳۶] استفاده شد. شکل (۱۹) نمایی از محل قرارگیری این نقاط را نمایش می‌دهد.

برای تعیین مختصات زمینی این نقاط، یک شبکه ژئودتیک محلی با استفاده از دوربین توtal استیشن 5 Lieca TCR805 بسته شد و به هریک از نقاط



شکل ۱۹: نمایی از محل قرارگیری نقاط کنترل و چک

محاسبه پارامترهای زمین مرجع سازی مورد استفاده قرار نگرفته و به عنوان نقاط چک کنار

برای بررسی فرآیند زمین مرجع‌سازی، دقیق تعیین مختصات زمینی ۵ نقطه کنترل که در

مکانی یکسان در همه نقاط و قابلیت استخراج مدل سه بعدی به شکل ابرنقشه با دقت بالا از آن به دلیل نحوه چینش جدید اجزای آن است.

قسمت های مختلف سیستم از جمله نحوه طراحی سخت افزاری آن، کالیبراسیون سیستم و نحوه تولید مدل سه بعدی از آن توضیح داده شده است. برای ارزیابی سیستم اسکنر استریو پانوراما، از سیستم برای تولید مدل سه بعدی در فضای شهری استفاده شد. همچنین برای ارزیابی دقت سیستم اسکنر استریو پانوراما، فاصله بین چند نقطه که در فواصل مختلف از سیستم قرار گرفته اند و با تارگت های کددار نشانه گذاری شده اند با دقت اندازه گیری شد و با ول های استخراج شده از سیستم مقایسه شد. نتایج نشان می دهد که در فاصله حدود ۱۵ متری از سیستم اسکنر استریو پانوراما، میزان خطای طول بین نقاط در حدود ۵۷ میلیمتر است. همچنین از نظر خطای زمین مرجع سازی و کیفیت ابر نقطه تولیدی توسط این سیستم نتایج قبل قبولی به دست آمد که این نتایج نشان می دهد که این سیستم می تواند در بسیاری از کاربردهای مدل سازی شهری مورد استفاده قرار بگیرد. با توجه به آنکه روش ارائه شده جهت کالیبراسیون سیستم، روشی سریع و ساده برای استخراج پارامترهای کالیبراسیون آن بوده است پیشنهاد می گردد که تمام دوربین های مورد نیاز برای سیستم نصب شده و در مرحله کالیبراسیون، از روش های دیگر کالیبراسیون همزمان چند دوربین برای محاسبه دقیقتر پارامترهای توجیه خارجی هریک از دوربین های سیستم استفاده شود و مقایسه بین دقت های حاصل شده انجام پذیرد.

گذاشته شده بودند. با توجه به مختصات زمینی اندازه گیری شده نقاط چک، اختلاف آنها در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵: اختلاف مختصات زمینی نقاط چک حاصل از اندازه گیری و شبکه ژئودتیک

شماره نقطه چک	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
CH1	۰.۰۲۲	۰.۰۰۹	۰.۰۲۳
CH2	-۰.۰۲۳	-۰.۰۳۲	-۰.۰۳۰
CH3	-۰.۰۲۶	-۰.۰۳۸	-۰.۰۲۶
CH4	-۰.۰۲۹	۰.۰۲۶	-۰.۰۲۰
CH5	۰.۰۳۱	۰.۰۳۵	۰.۰۲۴
RMSE	۰.۰۲۷	۰.۰۳۰	۰.۰۲۵

با توجه به نتایج حاصل از جدول (۴) مشاهده می شود که $RMSE$ در راستای X و Y به ترتیب ۲۷ و ۳۰ و ۲۵ میلیمتر است که با توجه به فاصله دوربین از عارضه نزدیک به مقادیر پیش بینی شده است.

۷- نتیجه گیری

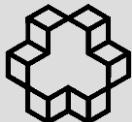
با وجود ارائه سیستم های مختلف تولید استریو پانوراما، در این مقاله، ایده چینش جدیدی از سیستم استریو پانوراما بر اساس استفاده از دوربین های استریو ارائه شد که قابلیت تولید دید استریو ۱۶۰ درجه و مدل سه بعدی با دقت را به طور همزمان فراهم می آورد. این سیستم به گونه ای طراحی شده است که با افزایش تعداد دوربین های موجود بر روی آن، قابلیت ارتقای زاویه دید تا میزان ۳۶۰ درجه را دارد. این سیستم دارای مزایایی از جمله: اتوماتیک سازی فرآیند تناظریابی و تولید مدل سه بعدی در آن، تولید استریو پانوراما با دقت

مراجع

- [1] A. Lippman, "Movie-maps: An application of the optical videodisc to computer graphics," in ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1980, pp. 32-42.
- [2] S. E. Chen, "Quicktime VR: An image-based approach to virtual environment navigation," in Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics

- and interactive techniques, 1995, pp. 29-38.
- [3] B. Micusik and J. Kosecka, "Piecewise planar city 3D modeling from street view panoramic sequences," in Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, 2009, pp. 2906-2912.
- [4] P. Musalski, P. Wonka, D. G. Aliaga, M. Wimmer, L. van Gool, and W. Purgathofer, "A Survey of Urban Reconstruction," Computer Graphics Forum, vol. 32, pp. 146-177, 2013.
- [5] S. P. Singh, K. Jain, and V. R. Mandla, "Virtual 3D City modeling: Techniques and Applications," ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 1, pp. 73-91, 2013.
- [6] A. Amini, "design and development a new stereo panorama system for geometricc information extraction from enviroment," PhD thesis, 2014.
- [7] F. Remondino and S. El - Hakim, "Image - based 3D Modelling: A Review," The Photogrammetric Record, vol. 21, pp. 269-291, 2006.
- [8] H. Ishiguro, M. Yamamoto, and S. Tsuji, "Omni-directional stereo," IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, pp. 257-262, 1992.
- [9] P. Peer and F. Solina, "Panoramic depth imaging: Single standard camera approach," International Journal of Computer Vision, vol. 47, pp. 149-160, 2002.
- [10] D. Southwell, A. Basu, M. Fiala, and J. Reyda, "Panoramic stereo," in icpr, 1996, p. 378.
- [11] Y. Pritch, M. Ben-Ezra, and S. Peleg, "Optics for omnistereo imaging," in Foundations of Image Understanding, ed: Springer, 2001, pp. 447-467.
- [12] S. Chan and A. Clark, "Perisopic stereo for virtual world creation," 1997.
- [13] J. Arnspang, H. Nielsen, M. Christensen, and K. Henriksen, "Using mirror cameras for estimating depth," in Computer Analysis of Images and Patterns, 1995, pp. 711-716.
- [14] S. Hua, Q. Huang, A. Zhang, and J. Qiao, "3D measurement, reconstruction and navigation through panoramic photography," Proceedings of International ISPRS, China, pp. 115-118, 2008.
- [15] R. Li, L. Yan, K. Di, and B. Wu, "A new ground-based stereo panoramic scanning system," Proceedings of International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 723-727, 2008.
- [16] "<http://www.panoscan.com/MK3/>"
- [17] O. Romain, T. Ea, C. Gastaud, and P. Garda, "An omnidirectional stereoscopic sensor: spherical color image acquisition," in Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on, 2002, pp. II-209-II-212 vol. 2.
- [18] R. A. Ainsworth, D. J. Sandin, J. P. Schulze, A. Prudhomme, T. A. DeFanti, and M. Srinivasan, "Acquisition of stereo panoramas for display in VR environments," in IS&T/SPIE Electronic Imaging, 2011, pp. 786416-786416-15.
- [19] H.-C. Huang and Y.-P. Hung, "Panoramic stereo imaging system with automatic disparity warping and seaming," Graphical Models and Image Processing, vol. 60, pp. 196-208, 1998.
- [20] M. Varshosaz and A. S. Amini, "Stereo panoramas: problems and solutions," in XXI International CIPA Symposium, Greece. Amir Shahrokh Amini, PhD Student of Photogrammetry.: Faculty of Geodesy and Geomatic Engineering, KN Toosi University of Technology. ashamini@ dena. kntu. ac. ir, 2007.
- [21] J. Gluckman, S. K. Nayar, and K. J. Thoresz, "Real-time omnidirectional and panoramic stereo," in Proc. of Image Understanding Workshop, 1998, pp. 299-303.
- [22] F. Huang and Z.-H. Lin, "Stereo panorama imaging and display for 3D VR system," in Image and Signal Processing, 2008. CIS'08. Congress on, 2008, pp. 796-800.

- [23] Y. Satoh and K. Sakaue, "Stereo Omnidirectional System (SOS) and Its Applications," *Intelligent Environments*, p. 127, 2005.
- [24] [24] D. Shimada, H. Tanahashi, K. Kato, and K. Yamamoto, "Extract and display moving object in all direction by using stereo omnidirectional system (SOS)," in *3-D Digital Imaging and Modeling*, 2001. Proceedings. Third International Conference on, 2001, pp. 42-47.
- [25] H. Tanahashi, K. Yamamoto, C. Wang, and Y. Niwa, "Development of a stereo omnidirectional imaging system (SOS)," in *Industrial Electronics Society, 2000. IECON 2000. 26th Annual Conference of the IEEE*, 2000, pp. 289-294.
- [26] H. Tanahashi, D. Shimada, K. Yamamoto, and Y. Niwa, "Acquisition of three-dimensional information in a real environment by using the Stereo Omnidirectional System (SOS)," in *3-D Digital Imaging and Modeling*, 2001. Proceedings. Third International Conference on, 2001, pp. 365-371.
- [27] "<http://thinktankteam.info/beyond>."
- [28] "<http://www.hhi.fraunhofer.de/>"
- [29] D. Pierce, S. M. Herrnstadt, T. Grover, and F. Good, "Stereoscopic panoramic image capture device," ed: Google Patents, 2005.
- [30] W. Feng, B. Zhang, J. Röning, X. Zong, and T. Yi, "Panoramic stereo sphere vision," in *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, 2013, pp. 866206-866206-7.
- [31] A. S. Amini, M. Varshosaz, and M. Saadatseresht, "Evaluating a New Stereo Panorama System based on Stereo Cameras," *International Journal of Scientific Research in Inventions and New Ideas*, vol. 2, p. 1, 2014.
- [32] "<http://www.trimble.com>"
- [33] "<http://www.photometrix.com.au/australis>"
- [34] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," in *Computer vision*, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on, 1999, pp. 1150-1157.
- [35] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International journal of computer vision*, vol. 60, pp. 91-110, 2004.
- [36] "<http://www.agisoft.com>"
- [37] "<http://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>"
- [38] V. Mousavi, M. Khosravi, M. Ahmadi, N. Noori, A. H. Naveh, and M. Varshosaz, "The Performance Evaluation of Multi-Image 3d Reconstruction Software with Different Sensors," *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 40, p. 515, 2015.



Development of a New Stereo-Panorama Scanner Based on Stereo Cameras

Vahid Mousavi ^{*1}, Masoud Varshosaz ²

1- Ms.c student of photogrammetry and remote sensing, Faculty of Surveying Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran
2- Associate professor, Faculty of Surveying Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran

Abstract

Three dimensional models generated from cities, due to their wide range of applications, are required by most organizations and institutions. Among numerous 3D reconstruction techniques of urban areas, stereo-panorama images are largely taken into consideration for their full coverage of the environment. In this paper, a new stereo panorama scanner is presented which utilizes stereo cameras. The system provides the possibility to extract accurate geometric information for 3D reconstruction of urban areas and stereo viewing of the surroundings as well. The advantages of such system are: the automation of matching and 3D modelling process, equal resolution over the whole stereo panorama and the ability to extract precise 3D models in point-cloud format. In this paper, the structure of the system is described, including system implementation, calibration and 3D model generation. Additionally, experimental results of system evaluation are provided. The evaluation results show that the system is enable to generate accurate models for 3D city reconstruction applications. The results demonstrate that once the distance from stereo scanner to the object is in the range of some 15 meters, consequently the discrepancy of the point distances would be around 57 millimetres.

Key words: image-based 3D reconstruction, calibration, stereo camera, stereo panorama

Correspondence Address: Faculty of Surveying Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran
Tel: +98 9186209946
Email: moosavyahid@gmail.com