



مرکز ملی مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک

اطلاعات مکان محور، زیربنای مدیریت راهبردی



پشت و یکمین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک ۹۳

۲ و ۴ خرداد ماه ۹۳
مرکز همایش‌های بین‌المللی بوج میلاد

<http://iconf.nceg.org.ir>



کمیته ملی همایش و نمایشگاه ژئوماتیک

اطلاعات تکلیف‌آور و آموزشی در دست‌های



دست‌های دانش‌آموزان و دانش‌آموزان



دست‌های سلامت‌ساز

دست‌های سلامت‌ساز

بسم‌الله

پژوهشگران گرامی:

شهناز تجه‌زیم، محمد سعادت سرشت و علیرضا صندری نژاد

بدین وسیله از حضور ارزنده شما و ارادتمندانه علی تحت عنوان "ارزنده‌ترین تفهیمی در هم‌مراجه‌سازی بر مبنای

عامل از سنجه Kinect به صورت شفاهی در دست و یکمین همایش ملی ژئوماتیک (ژئوماتیک ۹۳)

تشکر و قدردانی می‌گردد.

از درگاه خداوند متعال سلامتی و توفیق روزافزون برایتان آرزو مندیم.

علیرضا قراگوزلو
دیربایش ژئوماتیک ۹۳

ژئوماتیک

ارائه روش تلفیقی در هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط حاصل از

سنجنده Kinect

شهناز نخبه زعیماً^۱، محمد سعادت سرشت^۲، علیرضا صفدری نژاد^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی فتوگرامتری، گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

shahnaz_zaeim@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه فتوگرامتری دانشکده های فنی دانشگاه تهران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

msaadat@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکترای مهندسی عمران- نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

Safdari_nezhad@sina.kntu.ac.ir

چکیده

امروزه روش‌های تولید ابری نقاط سه‌بعدی با استفاده از دوربین‌های ویدئویی استریو تبدیل به واقعیتی عملی شده است. در نظر بگیرید که در هر ثانیه هزاران نقطه‌ی سه‌بعدی از محیط اخذ شود، از آنجایی که جهت مدل‌سازی سطح شی می‌بایست ابر نقاط یکپارچه‌ای از شی حاصل شود، بنابراین تمام ابر نقاط حاصل از سنجنده باید به یک سیستم مختصات واحد منتقل گردند، این فرآیند تحت عنوان پروسه هم‌مرجع‌سازی شناخته می‌شود. از مشهورترین الگوریتم‌ها جهت هم‌مرجع‌سازی، الگوریتم ICP می‌باشد که با وجود سادگی، بار محاسباتی زیادی را می‌طلبد. در مقاله حاضر با توجه به اهمیت موضوع، روشی کارا و سریع جهت نیل به سرعت بیشتر و غلبه بر مشکل همگرایی در مورد داده‌های عمق اخذ شده توسط سنجنده Kinect ارائه گردیده است. به این منظور، ساختارهای برجسته‌ی تصویر توسط الگوریتم Harris استخراج، مطابقت میان این عوارض با استفاده از الگوریتم ضریب همبستگی نرمالیزه بررسی شده و در ادامه با به‌کارگیری الگوریتم ICP، اجرای فرآیند هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط را به انتها می‌رسانیم.

واژه‌های کلیدی: ابر نقاط سه‌بعدی، هم‌مرجع‌سازی، تصویر عمق، الگوریتم ICP، الگوریتم Harris، ضریب همبستگی نرمالیزه

۱- مقدمه

اهمیت مدل‌سازی و به‌کارگیری مدل‌های سه‌بعدی در حوزه‌های مختلف بر کسی پوشیده نیست. در دهه‌های اخیر، همزمان با توسعه سیستم‌های نقشه‌برداری همراه^۱، نیاز به تولید داده‌های مکانی پرسرعت و کم هزینه در زمینه‌ی مدل‌سازی سه‌بعدی محیط و اشیاء پیرامون آن، افزایش یافته است. تسهیل در روند بازسازی سه‌بعدی، افزایش سطح اتوماسیون در فرآیند زمین‌مرجع‌سازی و کاهش نیاز به نقاط کنترل زمینی از موارد مهمی است که در این حوزه به عنوان موضوعات تحقیقاتی جاری قلمداد می‌شود [۱].

امروزه روش‌های جدیدی مبتنی بر تکنیک‌های ویدئویی جهت تهیه مدل‌های سه‌بعدی از محیط‌های داخلی فراهم آمده است. نمونه‌ای از ابزارهای نوین در این حوزه، سیستم Kinect را می‌توان برشمرد [۲]، [۳] که قادر

^۱ Mobile Mapping Systems

است حجم بالایی از داده‌های سه‌بعدی مقابل با میدان دید لحظه‌ای سنجنده را با نرخ سی فریم در ثانیه اندازه‌گیری نمایند. از طرفی تولید یک مدل کامل از طریق اخذ داده‌های سه بعدی از زوایای مختلف مهیا می‌گردد که این امر از محدودیت‌های تکنیکی همچون : ۱- وجود پنهان‌شدگی اشیاء در راستای خط دید^۱ سنجنده، ۲- عدم پوشش سراسری محیط به واسطه‌ی میدان دید محدود و ۳- تأثیر تغییرات بازتابندگی اشیاء موجود در محیط، برخوردار می‌باشد. به همین دلیل پوشش دادن کل عارضه از طریق دوران اسکنر در جهات مختلف شکل می‌گیرد و معمولاً نیازمند جمع‌آوری داده از نقاط دید متفاوت می‌باشد. باین ترتیب در هر جهت و در هر ثانیه هزاران نقطه برداشت می‌شود و نهایتاً خروجی این پروسه تصویری سه‌بعدی شامل میلیون‌ها نقطه به نام ابر نقطه می‌باشد. از طرفی دیگر، پارامترهای مربوط به موقعیت و وضعیت سکوی جمع‌آوری داده نقشی کلیدی را در تولید مدل‌های یکپارچه و پیوسته ایفا می‌کنند. به فرآیند تخمین پارامترهای موقعیت و وضعیت سکوی اخذ داده در یک سیستم مختصات واحد، هم‌مرجع‌سازی اطلاق می‌شود. یکی از مشهورترین روش‌های هم‌مرجع‌سازی، الگوریتم Iterative Closest Points (ICP) است که براساس جستجوی جفت نقاط متناظر در دو سری داده می‌باشد [۴]. علیرغم وجود واریانت‌های متعدد در بکارگیری این الگوریتم، پیاده‌سازی ICP ساده بوده اما حجم محاسبات زیاد می‌باشد، به عبارت دیگر تولید ماتریس فاصله و یافتن نقاط نزدیک از نقطه‌نظر مکانی زمان‌بر خواهد بود. از آنجایی که در هنگام به‌کارگیری سیستم‌های اخذ داده : ۱- تولید یک مدل پیوسته سه‌بعدی از طریق انطباق و هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط لحظه‌ای ممکن خواهد بود؛ و از طرفی ۲- استفاده از نقاط کنترل زمینی^۲ به منظور انجام فرآیند هم‌مرجع‌سازی با محدودیت‌های متنوعی همراه است؛ توسعه‌ی روش‌ها و الگوریتم‌های خودکار و دقیق در روند انطباق ابر نقاط لحظه‌ای به عنوان ضرورت انجام تحقیق در این حوزه به شمار می‌رود. براین اساس در این مقاله، روش جدیدی به منظور هم‌مرجع‌سازی خودکار ابر نقاط لحظه‌ای اخذشده توسط این سیستم ارائه شده است.

در بخش حاضر، مقدمه‌ای در باب اهمیت و کاربرد مدل‌سازی سه‌بعدی، تصویربرداری عمق به عنوان یک روش نوظهور در زمینه‌ی جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی و در ادامه با تشریح مشکلات پیش‌رو در فرآیند تولید مدل‌های پیوسته سه‌بعدی، به بیان مسأله و ضرورت این تحقیق اشاره شده است. بخش دوم از مقاله‌ی حاضر به معرفی اجمالی سنجنده‌ی Kinect و ساختار هندسی اخذ داده در آن اختصاص داشته و در ادامه‌ی این بخش داده‌های مورد استفاده در این تحقیق معرفی شده است. در بخش سوم روش پیشنهادی برای هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط تشریح شده و در بخش چهارم، پیاده‌سازی و نتایج حاصل از روش پیشنهادی ارائه شده است. جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای برای ادامه‌ی تحقیق نیز در بخش پنجم بیان شده است.

۲- ساختار سنجنده‌ی Kinect و نحوه‌ی اخذ داده در آن

یکی از جدیدترین سیستم‌های تجاری در زمینه‌ی جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی، که جایگزین بسیار مناسبی برای اسکنرهای لیزری گران‌قیمت بوده، سنجنده‌ی Kinect است که توسط شرکت مایکروسافت در سال ۲۰۱۰ به بازار ارائه شده است. ابتدا Kinect جهت بازی‌های رایانه‌ای طراحی شد. به هر حال، مشخصه‌های اطلاعات گرفته شده توسط Kinect توجه محققان را در رشته‌ی نقشه‌برداری و مدل‌سازی سه بعدی، جلب نموده است. نمایش اخیر از پتانسیل‌های Kinect در مدل‌سازی سه‌بعدی در محیط‌های داخلی می‌تواند در

^۱ Line of Sight

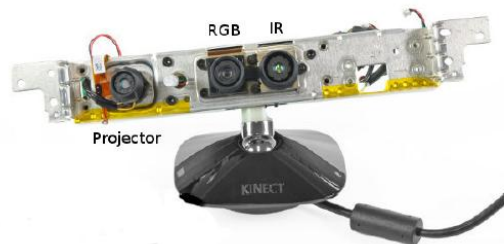
^۲ Ground Control Points (GCP)

کارهای هنری و همکاریانش دیده شود [۵]، [۶]، [۷]، [۸]. این ابزار به جهت دارا بودن سیستم تشخیص سریع وضعیت انسان، بسیار مورد استقبال قرار گرفته و در صدر سنجنده‌های سه‌بعدی توسعه یافته است. هزینه‌ی کم، قابلیت اطمینان و سرعت بالای اندازه‌گیری، به Kinect وعده‌ی این را می‌دهد که آن را جزء دستگاه‌های اصلی اندازه‌گیری سه‌بعدی در صنعت رباتیک داخلی، بازسازی صحنه‌ی سه‌بعدی و شناخت و تشخیص اشیاء، نماید. Kinect یک سنجنده فعال^۱ است که خروجی لحظه‌ای این سنجنده، دو تصویر RGB و عمق در ابعاد ۴۸۰×۶۴۰ پیکسل می‌باشد. این سنجنده توانایی بالقوه در کسب اطلاعات و مدل‌سازی متراکم سه‌بعدی محیط‌های داخلی و همچنین تلفیق داده‌ها با وضوحی در سطح بالا را داراست.



شکل ۱. یک فریم از تصویر RGB (چپ) و عمق (راست) اخذشده توسط Kinect

این سنجنده در طراحی خود متشکل از سه بخش اصلی می‌باشد:



شکل ۲. اجزاء سنجنده‌ی kinect

الف) پروژکتور در محدوده‌ی طیفی مادون قرمز نزدیک. این پروژکتور به طور پیوسته الگوی ثابتی از نقاط نورانی را به سمت صحنه‌ی روبروی خود می‌تاباند.

ب) سنجنده‌ی حساس به محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک که به عنوان یک دوربین عمقی کار می‌کند و با هدف ثبت الگوی تابیده شده توسط پروژکتور طراحی شده است.

پ) دوربین مرئی و رنگی، جهت تشخیص محتوا و بافت تصویر که همزمان تصویر True Color از محیط اخذ می‌کند.

۳- روش پیشنهادی در هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط Kinect

انتخاب نقاط متناظر در دو ابر نقطه متوالی و تعیین پارامترهای انتقالی و دورانی و تطبیق ابر نقاط، چارچوب کلی در فرآیند هم‌مرجع‌سازی می‌باشد [۹]. به عبارت دیگر در الگوریتم ICP، پس از شناسایی نقاط متناظر و

^۱Active

تخمین پارامترهای ترانسفورماسیون در دو ابر نقطه، این دو سری ابر نقطه به یکدیگر متصل می‌شوند، سپس مجموعه‌ی نقاط ابر اول به مجموعه نقاط در ابر دوم منتقل شده و این مراحل تا رسیدن به همگرایی مناسب بین دو ابر نقطه ادامه خواهد یافت [۱۰]. در اختیار داشتن پارامترهای ترانسفورماسیون تقریبی بین ابر نقاط در کیفیت نتایج ICP تأثیر گذار بوده و اساساً فرض وجود پارامترهای تبدیل تقریبی ابر نقاط در این الگوریتم بعنوان یک ضرورت فنی مطرح می‌باشد. عدم در اختیار داشتن پارامترهای تقریبی ترانسفورماسیون به خصوص در ابر نقاط نویزی با تغییرات عمق شدید، می‌تواند در صحت نتایج هم‌مرجع‌سازی تأثیر گذاشته و نتایج بدست آمده، انتظارات فنی لازم را تأمین ن‌سازند. داده‌های عمق اخذ شده توسط سیستم‌های جدیدی مثل Kinect این امکان را فراهم آورده که بتوان با نرخ بالایی، داده‌های سه‌بعدی از میدان دید لحظه‌ای سنجنده اخذ نمود. نرخ بالا در نمونه‌برداری موجب شده که جابجایی نسبی سکو و عوارض در فریم‌های متوالی اندک بوده و بتوان فرض انطباق تقریبی ابر نقاط مربوط به فریم‌های متوالی را در نظر گرفت. این اتفاق شرایط لازم به منظور اجرای تکنیک‌های هم‌مرجع‌سازی اتوماتیک را در مورد فریم‌های متوالی تصویر عمق فراهم می‌سازد.

بدیهی است که عمده‌ی اختلافات میان فریم‌های متوالی ناشی از تغییرات وضعیتی در سکوی سنجنده بوده و در دو فریم متوالی، جابجایی مرکز تصویر سنجنده نقش کمتری را در عدم انطباق ابر نقاط متناظر داشته باشد. بر این اساس به نظر می‌رسد که عواملی همچون: ۱- وجود تغییرات دورانی سکوی اخذ تصویر عمق در فریم‌های متوالی و ۲- عدم انطباق سرعت اخذ داده و سرعت ثبت آن توسط رابط کامپیوتری، موجب افزایش عدم تطابق ابر نقاط متوالی گردد.

باید توجه داشت که دقت و چگالی نقاط سه‌بعدی بدست آمده از تصاویر عمق وابسته به میزان فاصله عوارض تا سنجنده بوده [۶]، [۱۱] و این عامل موجب شده که صحت پارامترهای ترانسفورماسیون اولیه در فرآیند هم‌مرجع‌سازی حیاتی‌تر گردد. بعبارت جامع‌تر، در یک فرآیند انتخاب اتفاقی نقاط سه‌بعدی در ابر نقاط یک تصویر عمق، احتمال انتخاب درصد بیشتری از نقاط کم‌عمق در مقایسه با نقاط دورتر از سنجنده خواهد بود که این عامل تأثیر وجود خطا در هم‌مرجع‌سازی را برای نقاط با عمق زیاد، افزایش می‌دهد. علاوه بر این، همین مسأله باعث شده که احتمال همگرایی هم‌مرجع‌سازی به نتایج نادرست افزایش یابد. بر این اساس، در روش پیشنهاد شده در این مقاله سعی شده که تا حد امکان صحت انتخاب نقاط متناظر در اولین تکرار الگوریتم ICP ارتقا یابد. در این رویکرد، با به‌کارگیری همزمان تصاویر عمق و RGB اخذ شده از سنجنده‌ی Kinect و به‌کارگیری روش ICP، اجرای فرآیند هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط مقدور گشته است. برای نیل به این هدف، در اجرای فرآیند هم‌مرجع‌سازی ساختارهای غالب و برجسته‌ی تصویر یعنی عوارضی نظیر گوشه‌ها را توسط الگوریتم Harris در دو فریم متوالی RGB استخراج کرده، و در ادامه؛ شناسایی و مطابقت میان این عوارض با استفاده از الگوریتم ضریب همبستگی^۱ نرمالیزه انجام‌پذیر خواهد بود.

انتظار می‌رود که این کار با افزایش صحت انتخاب نقاط متناظر از وقوع همگرایی‌های نامناسب در الگوریتم ICP جلوگیری نماید [۴]. بعبارت جامع‌تر، تلفیق صورت گرفته در این تحقیق با هدف غلبه بر برخی از مشکلات روش سنتی ICP همچون: ۱- گرفتار شدن الگوریتم در مینیمم‌های محلی و ۲- کندی همگرایی صورت گرفته که نتایج پیاده‌سازی‌ها، کفایت این روش را تأیید نموده‌اند.

^۱ Normalized Cross Correlation

اساس کار ICP جستجوی جفت نقاط متناظر در دو مجموعه ابر نقطه می‌باشد. در این الگوریتم فرض بر این است که نزدیک‌ترین نقطه در ابر نقطه دوم بهترین تقریب از نقطه متناظر آن در ابر نقطه اول می‌باشد، البته این فرض زمانی برقرار است که مقادیر اولیه برای ایجاد ارتباط نسبی بین ابرهای نقطه بتواند ارتباط تقریباً مناسبی بین ابرهای نقطه را فراهم کند [۴]، [۱۰]، [۱۲]، [۱۳]. از جمله ملاحظات آنکه در اجرای ICP باید در نظر داشت: تعداد نقاط متناظر در نظر گرفته شده در هر بار تکرار، همچنین حد آستانه مربوط به حداکثر تکرارهای ICP می‌باشد. از تکنیک کوتاه‌ترین جهت برآورد پارامترهای ترانسفورماسیون استفاده گردید [۱۴]. مقیاس در تمامی تکرارها در الگوریتم ICP، ثابت فرض شده و تبدیل بین ابر نقاط به شکل یک تبدیل کاملاً صلب انجام گشته است.

۳-۲- تکنیک استخراج گوشه‌های عوارض با استفا ده از الگوریتم Harris و ملاحظات اجرایی آن در روش پیشنهادی

نقاطی از تصویر که تغییرات درجه خاکستری در همسایگی آن‌ها شدید بوده و از نقاط همسایه‌ی خود به خوبی متمایز می‌باشند، گوشه می‌باشد [۱۵]. گوشه‌یابی در شناسایی و تفسیر سه بعدی اشیاء، ردیابی و تحلیل حرکت، و غیره به کار می‌رود و یک گام اولیه در بسیاری از کاربردهای پردازش تصویر و بینایی ماشین است. تاکنون روش‌های مختلفی برای شناسایی گوشه‌ها پیشنهاد شده‌اند. یکی از موفق‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در این زمینه، الگوریتم گوشه‌یابی Harris است که توسط هریس و استفان در سال ۱۹۸۸ ارائه گردید. این روش علاوه بر آنکه به خوبی می‌تواند گوشه‌های تصویر را شناسایی کند، همچنین از بار محاسباتی پایینی برخوردار است. علت گسترش استفاده از این الگوریتم، مستقل بودن آن در مقایسه با پارامترهای دوران، مقیاس، تغییرات روشنایی و نویز تصاویر است و دارای دقت مکانی بالایی است. به منظور استخراج گوشه‌ها در الگوریتم Harris، برای هر یک از پیکسل‌های تصویر با استفاده از درجات خاکستری آن‌ها، معیاری برآورد می‌شود که نشانگر وجود گوشه است [۱۵]، [۱۶].

برای شناسایی محل گوشه‌ها در تصویر با به‌کارگیری روابط زیر، که بیانگر الگوریتم Harris می‌باشند، مشتق‌های تصویر در جهت x و y را به طور جداگانه محاسبه کرده (I_x, I_y) و با به‌کارگیری معیار R به شناسایی نقاط گوشه پرداخته می‌شود.

$$A = \begin{bmatrix} \sum_w I_x^2 & \sum_w I_x I_y \\ \sum_w I_x I_y & \sum_w I_y^2 \end{bmatrix} \quad \left(I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$R = \frac{I_x^2 + I_y^2 - I_x^2 I_y^2}{I_x^2 + I_y^2} \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)، جاهایی که $R > 0$ شود به عنوان گوشه شناسایی می‌شود. جهت استخراج تعداد مناسبی از بهترین گوشه‌ها در تصویر، تصویر را شبکه‌بندی منظم کرده و در هر بخش تصویر، بهترین گوشه‌ها شناسایی شده که توزیع مناسبی در کل تصویر داشته باشند. از جمله فاکتورهای بکار گرفته شده عبارتند از: نحوه‌ی

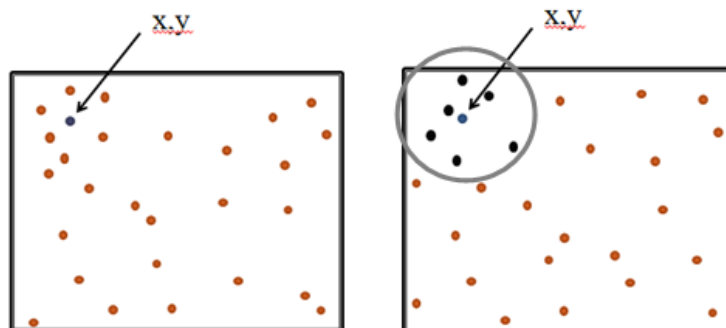
پارتیشن‌بندی تصویر و تعداد گوشه‌ها در هر پارتیشن می‌باشد و به این ترتیب گوشه‌ها در دو فریم RGB استخراج گردیدند.

پس از شناسایی و استخراج گوشه‌ها، اقدام به شناسایی نقاط متناظر از میان عوارض گوشه‌ای در تصاویر متوالی خواهد شد. باین منظور جهت برقراری مطابقت میان تصاویر، از مشابهت میان درجات خاکستری پیکسل‌ها استفاده می‌شود. در ادامه به تشریح این امر پرداخته خواهد شد.

۳-۳- الگوریتم ضریب همبستگی نرمالیزه و ملاحظات اجرایی آن در فرآیند هم‌مرجع‌سازی

فرآیند تناظریابی بین دو تصویر، از جمله مسائل اساسی در فتوگرامتری می‌باشد که کاربردهای متفاوتی از جمله در: مرتبط‌سازی تصاویر، استخراج داده‌های مکانی سه‌بعدی، تلفیق تصاویر، به‌روزرسانی نقشه‌ها و غیره دارد. هدف در تناظریابی، شناسایی عوارض متناظر در دو تصویر یا بیشتر می‌باشد. جهت برقراری مطابقت میان تصاویر، از مشابهت میان درجات خاکستری پیکسل‌ها استفاده می‌شود. از پرکاربردترین معیارهای مشابهت جهت انجام تناظریابی، معیار ضریب همبستگی نرمالیزه است [۱۷]. در این راهکار به جای ردیابی عوارض یک تصویر در دیگری، استخراج عوارض در دو تصویر انجام گرفته و به کمک این معیار، عوارض دو بدو متناظر می‌گردند. بدین منظور جهت انجام تناظریابی استرئو به ترتیب زیر عمل می‌شود:

در عکس اول عارضه‌ی گوشه با موقعیت (x, y) انتخاب می‌شود. همان‌طور که قبلاً بیان گردید از آنجایی که عمده‌ی اختلافات میان فریم‌های متوالی ناشی از تغییرات وضعیتی در سکوی سنجنده بوده و در دو فریم متوالی، جابجایی مرکز تصویر سنجنده نقش کمتری را در عدم انطباق ابر نقاط متناظر دارا می‌باشد؛ براین اساس، انتظار می‌رود عارضه‌ی گوشه در تصویر دوم نیز، در همان موقعیت قرار گرفته باشد.



شکل ۳. انتخاب گوشه با موقعیت (x, y) در تصویر اول و تصویر دوم و یافتن نقاط گوشه‌ای کاندید در تصویر دوم

به ازای هر عارضه‌ی گوشه در تصویر دوم که متناظر با عارضه‌ی گوشه در تصویر اول می‌باشد، تعدادی از نزدیک‌ترین گوشه‌ها به عنوان نقاط گوشه‌ای کاندید در نظر گرفته می‌شوند. در تصویر اول درجات خاکستری مربوط به پنجره‌ای با سایز Ncc_Size و مرکزیت عارضه‌ی گوشه‌ی مورد نظر برداشته و در بردار X ذخیره می‌شوند. در تصویر دوم نیز پنجره‌ای با همین ابعاد، درجات خاکستری مربوط به تک‌تک نقاط کاندید را برداشته و در بردارهای Y ذخیره می‌کند. میزان وابستگی آماری میان بردار X و تک‌تک بردارهای Y مربوط به نقاط کاندید به صورت یک ضریب همبستگی و طبق رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود:

$$Corr = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3)$$

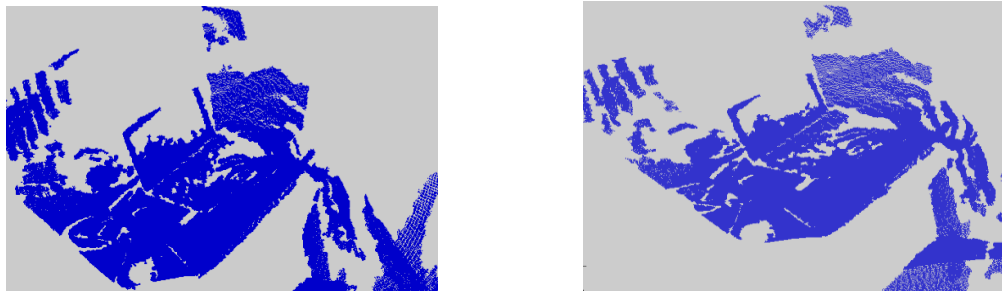
اگر میزان ضریب همبستگی‌ها بیشتر از یک حد آستانه از پیش تعیین شده گردند، مقدار بیشینه‌ی آن‌ها انتخاب و نقاط مربوطه به عنوان نقاط متناظر معرفی می‌گردد و در صورتی که میزان ضریب همبستگی‌ها از یک حد آستانه مدنظر کمتر گردد، به معنای عدم موفقیت در شناسایی نقطه متناظر می‌باشد. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی بهترین مکان‌های نقاط را نشان می‌دهد. علت اینکه در عمل تناظریابی از پنجره استفاده می‌شود و مقایسه پیکسل به پیکسل انجام نمی‌شود آن است که تعداد پیکسل‌های شبیه در حالت مقایسه پیکسل به پیکسل ممکن است بسیار زیاد باشد اما در پنجره با توجه به رابطه پیکسل‌ها با پیکسل‌های مجاور، تشخیص نقاط متناظر راحت‌تر است.

از جمله ملاحظات اجرایی که در انجام الگوریتم ضریب همبستگی نرمالیزه باید مد نظر داشت: حد آستانه‌ی از پیش تعیین شده‌ای است که میزان ضریب همبستگی از آن مقدار بیشتر باید باشد، همچنین از آنجایی که احتمال انجام تناظریابی در مناطق هموزن کمتر می‌باشد، می‌بایست حداقل میزان انحراف معیار درجات خاکستری در منطقه‌ی جستجو از یک حد آستانه‌ی تعریف شده بیشتر باشد که دلیل این امر، بر پایه جستجو و شناسایی عوارض در مناطقی که دارای عوارض می‌باشند، خواهد بود.

اگر طی این شرایط نقطه‌ی متناظر یافت نگردید، به علت عدم وجود تقریب اولیه، روش ICP معمولی با تعداد تکرار بیشتری، انجام می‌پذیرد.

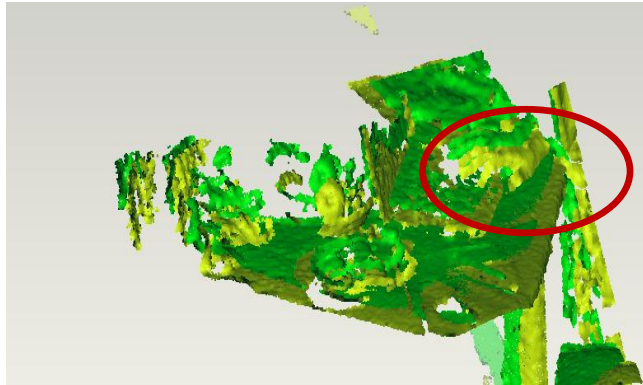
۴- پیاده سازی و نتایج

این بخش به ارائه نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی اختصاص دارد. برای این منظور دو فریم متوالی از تصویر عمق و RGB سنجنده‌ی Kinect مربوط به یک صحنه از یک محیط داخلی انتخاب شده است. شکل (۴) ابرنقاط متناظر این دو فریم بدون اجرای فرآیند هم‌مرجع‌سازی را نشان می‌دهد.



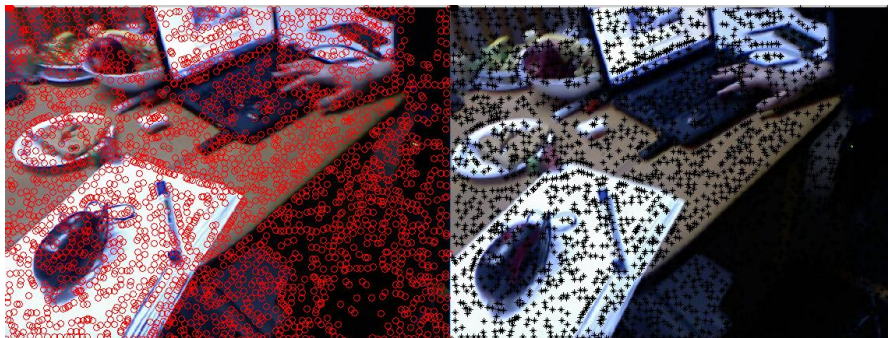
شکل ۴. ابر نقاط خام متناظر این دو فریم

نتایج استفاده از الگوریتم ICP در شکل (۴) نشان داده شده است.



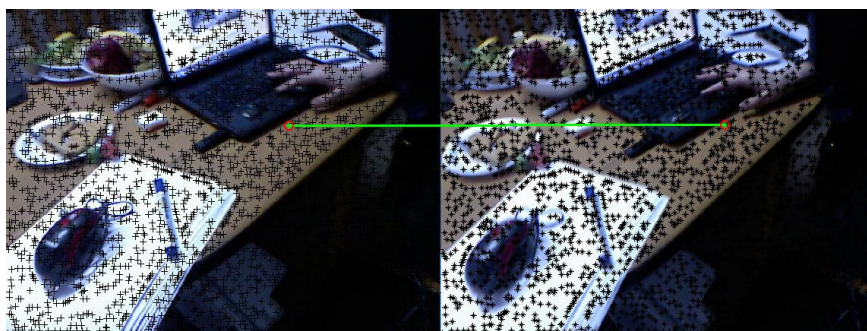
شکل ۵. هم‌مرجع‌سازی به کمک روش ICP

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بعد از اجرای الگوریتم ICP در ابر نقاط حاصل از دو فریم مذکور، به واسطه‌ی مشکلات مطرح‌شده در بخش قبلی، انطباق مطلوبی حاصل نشده است. به عبارت دیگر، به واسطه‌ی چگالی بالای نقاط کم‌عمق و دقت پایین نقاط عمیق در تصویر عمق، احتمال وقوع هم‌مرجع‌سازی‌های نادقیق زیاد خواهد بود. این پدیده را می‌توان در اتصال دو ابر نقطه در نواحی سطح میز و جدایی آن‌ها در مناطق دیگر و همچنین در اتصال ابر نقاط انگشتان دست و لپ‌تاپ، مشاهده نمود. در ادامه‌ی کار، روش پیشنهادی به منظور ارزیابی میزان کفایت آن در بهبود نتایج ICP در داده‌های مورد بحث، پیاده‌سازی شد. در شکل (۶) استخراج تعداد مناسبی از بهترین گوشه‌ها در تصویر نشان داده شده است.



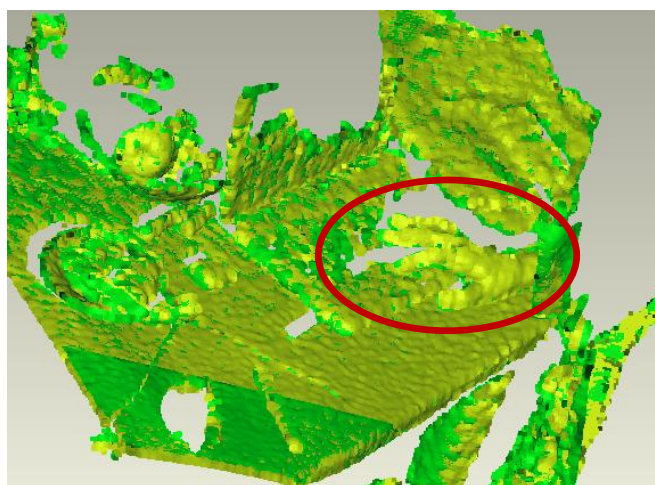
شکل ۶. استخراج تعداد مناسبی از بهترین گوشه‌ها در تصویر

مطابق شکل (۷) در مرحله تناظریابی، شناسایی نقاط متناظر از بین این عوارض نقطه‌ای توسط الگوریتم N.C.C صورت پذیرفت.



شکل ۷. شناسایی نقاط متناظر از بین عوارض نقطه‌ای توسط الگوریتم N.C.C

بدیهی است، عمده‌ی اختلافات میان فریم‌های متوالی ناشی از تغییرات وضعیتی در سکوی سنجنده بوده و در دو فریم متوالی، جابجایی مرکز تصویر سنجنده نقش کمتری را در عدم انطباق ابر نقاط متناظر داشته باشد. براین اساس، تنها پارامترهای دورانی تصویر دوم را نسبت به تصویر اول با استفاده از حل شرط هم‌صفحگی اعمال شده بین دو تصویر RGB به دست آورده، که این دوران‌ها همراه با مختصات مرکز تصویر فریم اولیه به عنوان پارامترهای توجیه خارجی تصویر عمق فریم ثانویه در نظر گرفته می‌شوند. باین طریق می‌توان اطمینان حاصل کرد که خطای سیستماتیک بین دو فریم تا حد زیادی کاهش می‌یابد. پس از اعمال پارامترهای دورانی به تصویر عمق فریم ثانویه، با انجام الگوریتم ICP در دو ابر نقطه، نقاط متناظر شناسایی شده و سپس جهت برآورد پارامترهای ترانسفورماسیون از تکنیک کواترنیون بهره گرفته شده است.



شکل ۸. هم‌مرجع‌سازی با استفاده از روش پیشنهادی

همان‌طور که مشاهده می‌شود با بکارگیری روش تلفیقی ابر نقاط دو فریم متوالی با کیفیت بیشتری متصل شده و بیننده قادر است تفاوت آن را بطور بصری از مقایسه‌ی نتایج آن با روش ICP (شکل ۵) درک کند. این تفاوت در محل اتصال ابر نقاط در محل انگشتان دست به طور چشمگیری مشهود است. همچنین، مدت زمان اجرای الگوریتم با بکارگیری روش تلفیقی بسیار کمتر از روش ICP است، بگونه‌ای که در اجرای الگوریتم با تعداد فریم بالا این میزان تفاوت، قابل توجه می‌باشد. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی عملکرد مناسب روش پیشنهادی می‌باشند.

۵- نتیجه‌گیری

توسعه‌ی ابزارهای کارآمد و ارزان‌قیمت در زمینه‌ی استخراج اطلاعات مکانی، لزوم توسعه روش‌های جدید پردازش و الگوریتم‌های اجرایی جدید را می‌طلبد. سیستم‌هایی مثل Kinect قادر هستند حجم زیادی از موقعیت نقاط سه‌بعدی مقابل با میدان دید لحظه‌ای سنجنده را با نرخ بالایی اندازه‌گیری نمایند. در بسیاری از کاربردها، تصاویر به دست آمده از یک صحنه به تنهایی برای رسیدن به اهداف پردازشی و آنالیز مطلوب کافی نمی‌باشد. به بیان دیگر، پوشش کامل محیط به وسیله سنجنده معمولاً نیازمند جمع‌آوری داده از نقاط دید چند گانه می‌باشد. از این رو در مقاله حاضر، از داده‌های RGB برای کمک به فرآیند ICP بهره گرفته شد و در این روش پیشنهادی، یک راهکار جدید به منظور هم‌مرجع‌سازی ابر نقاط سه بعدی اخذ شده توسط

دوربین‌های عمق ارائه شد و کارآمدی روش پیشنهادی در زمینه‌ی هم‌مرجع‌سازی با استناد به نتایج پیاده‌سازی تأیید گردید.

از مواردی که به عنوان تحقیقات پیش‌رو مطرح می‌باشند می‌توان به چند موضوع اشاره نمود:

(الف) به‌کارگیری هم‌زمان داده‌های تصویری عمق و رنگی به منظور بهبود تناظریابی اولیه ابر نقاط

(ب) ارائه راهکارهایی برای تلفیق داده‌های هم‌مرجع‌سازی شده با هدف کاهش حجم داده‌ها در عین حفظ کیفیت آن‌ها

(ج) لحاظ کردن دقت (میزان نویز پیش‌بینی‌شده) هر نقطه‌ی سه‌بعدی در ابر نقاط به عنوان وزن در فرآیند هم‌مرجع‌سازی

مراجع

۱. Vincent Tao, Jonathan Li. (۲۰۰۷). “Advances In Mobile Mapping Technology” Taylor & Francis/Balkema, British Library.
۲. Jan Smisek, Michal Jancosek and Tomas Pajdla. (۲۰۱۱). “۳D with Kinect” .
۳. J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sharp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman, A. Blake. (۲۰۱۰). “Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images”, Microsoft Research Cambridge & Xbox Incubation.
۴. Akca, D. (۲۰۰۷). “Matching of ۳D surfaces and their intensities”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, ۶۲(۲), ۱۱۲-۱۲۱.
۵. Henry, P., Krainin, M., Herbst, E., Ren, X., Fox, D. (۲۰۱۰). “RGB-D Mapping: Using Depth on Cameras for Dense ۳D Modeling of indoor Environment”, Proc. of International Symposium Experimental Robotics (ISER).
۶. K. Khoshelham. (۲۰۱۱). “Accuracy analysis of kinect depth data” In ISPRS Workshop Laser Scanning, volume XXXVIII.
۷. Shahram Izadi, David Kim, O. Hilliges. (۲۰۱۱). “KinectFusion: Real-time, ۳D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera”.
۸. Peter Henry, Michael Krainin, Evan Herbst and Dieter Fox, RGB-D mapping: “Using Kinect-style Robotics indoor environments”, the International Journal of depth cameras for dense ۳D modeling.
۹. Mohammad Saadatseresht. (۲۰۱۰). “Range Base Modelling”, Tehran University.
۱۰. Chen, Y., and Medioni, G. (۱۹۹۲). “Object modelling by registration of multiple range images. Image and Vision Computing”, vol. ۱۰(۳): pp. ۱۴۵-۱۵۵.
۱۱. Kourosh Khoshelham, Sander Oude Elberink. (۲۰۱۲). “Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications”.
۱۲. Timo Zinber, Jochen Schmidt, H. Niemann. (۲۰۰۵) “Point Set Registration With Integrated Scale Estimation” .
۱۳. Timothée Jost and Heinz Hügli. (۲۰۰۳). “A Multi-Resolution ICP with Heuristic Closest Point Search for Fast and Robust ۳D Registration of Range Images”, Proceedings of the Fourth International Conference on ۳-D Digital Imaging and Modeling (۳DIM ۲۰۰۳).
۱۴. Faugeras, O.D., and Herbert, M. (۱۹۸۶). “The representation recognition and locating of ۳D objects”
۱۵. Gruen, A.W. (۱۹۸۵). “Adaptive Least Square Correlation” Journal of Photogrammetry and Remote Sensing and Cartography, ۱۴(۳), ۱۷۵-۱۸۷.
۱۶. Harris, C., Stephens. (۱۹۸۸). “A Combined Corner and Edge Detector” Proceeding of the Fourth Alvey Vision Conference, pp ۱۴۷-۱۵۱.
۱۷. Bentoutou, Y., Taleb, N., Kpalma and Ronsin, J., (۲۰۰۵). “An Automatic Image Registration” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, ۴۳(۹), ۲۱۲۷-۲۱۳۷