مدلسازی سه بعدی از طریق تاباندن خطوط لیزر متقاطع

علی ابذل[۱]، مسعود ورشوساز[۲]، محمد سعادت سرشت[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی
ali.abzal14@gmail.com

۲. استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع خیابان میرداماد، شماره ۱۳۶۴
varshosazm@kntu.ac.ir

۳. استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشکده فنی دانشگاه تهران. پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
msaadat@ut.ac.ir

چکیده

در اغلب لیزر اسکنر ها از یک یا چند دوربین CCD و نیز لیزرهایی با الگوهای نواری بهره گرفته می شود و با استفاده از تکنیک های مثلث بندی به محاسبه مختصات سه بعدی سطوح اسکن شده می پردازد. در سیستم های اسکنر موجود مهمترین مسئله مرتبط سازی داده های اسکن شده در حین فرایند اسکن سازی است، که در بسیاری موارد به یک فرایند هزینه بر و طاقت فرسا می انجامد. در این مقاله ضمن یک مرور کلی بر روش های متداول مدلسازی از طریق مثلث بندی با لیزر، به طراحی و پیاده سازی یک سیستم مدلساز سه بعدی بسیار کم هزینه و دارای ساختمان بسیار ساده و اجرایی پرداخته شده است. سیستم مدلساز سه بعدی Crossed laser line شامل یک دوربین و سه لیزر با پترن خطی است که یکی از لیزرها بصورت عمودی و متحرک و دوتای دیگر بصورت افقی، نسبت به دوربین ثابت می باشند. از تقاطع دو خط لیزر ثابت در بالا و پایین در فضای تصویر با خط لیزر عمودی که حول یک محور در حال دوران است، پارامترهای وضعیت صفحه لیزر در فضا در هر مرحله از اسکن معلوم می گردد. از اینرو نیازی به ابزارهای اضافی برای تعیین وضعیت صفحه لیزر در فضا نبوده و فرایند اسکن سازی و رجیستر نمودن خطوط اسکن همگی تنها در فضای تصویر حل می شود.

واژه‌های کلیدی: لیزر اسکنر مثلث بندی، کم هزینه،

۱- مقدمه

با توجه به ظهور تکنولوژیهای جدید و به تناسب آن ارائه روشهای متنوع و کارامد در زمینه اسکن سازی سه بعدی روش لیزر اسکن یکی از روش هایی است که علیرغم قدمت بکارگیری آن در این زمینه هنوز مورد توجه بسیاری از صاحبان صنایع و کاربران آن می باشد. سادگی اجزا، هزینه کم، هندسه بسیار ساده و مستحکم، عمق فوکوس بالا از جمله خصوصیاتی است که موجب گردیده روش لیزر اسکن همچنان نسبت به سایر روش ها ترجیح داده شود. در این سیستم ها برای رسیدن به مختصات سه بعدی، داده های اسکن از سطح شیئ که عموما داده های تصویری هستند به همراه پارامترهای مورد نیاز وارد معادلات شده و مختصات

نقاط محاسبه می گردد. بخشی از پارامترهای محاسباتی شامل پارامتر هایی جهت مرتبط سازی داده های اسکن برای رسیدن به یک داده اسکن پیوسته از سطح شیئ می باشد. سیستم های موجود جهت مرتبط سازی داده های اسکن با یکدیگر از راهکار متنوعی بهره گرفته اند. راهکارهایی نظیر استفاده از قیود فیزیکی مانند فریم های با هندسه مشخص و یا تارگت های متمایز جهت اعمال شروط هندسی بر روی آنها، دوم بهره گیری از تکنیک های کددهی برای تمایز خطوط تابانده شده و سوم استفاده از یک منبع دیگر نظیر GPS, INS, turn table برای اخذ و محاسبه این پارامترها می باشد[1,2,3,7]. ساخت فریم و یا تارگت با هندسه بسیار دقیق و نیز ابهامات موجود در فرایند کددهی نور ساخت یافته و همچنین هزینه بکارگیری ابزارهای دقیق اندازه گیری در یک سیستم اسکنر لیزری موجب بالا رفتن هزینه شده است. این مسئله تا حدی محدودیت در فضای اندازه گیری و کاهش دقت این سیستم ها را به همراه داشته است. در این مقاله به طراحی و پیاده سازی یک سیستم اسکنر با ساختمان بسیار ساده و کم هزینه پرداخته خواهد شد که مسئله مرتبط سازی داده های اسکن را با اضافه نمودن دو لیزر با پترن خطی و اعمال شرط هندسی مثلث بندی بصورت کاملا آسان و قابل اجرا رفع نموده است. از آنجا که تکنیک غالب بکار گرفته شده در این سیستم مثلث بندی با لیزر می باشد بخش ۲ به تشریح این روش اختصاص داده خواهد شد.

۲- اصول مثلث بندی با لیزر

روش مثلث بندی در بسیاری از سیستم های تجاری موسم به range finder ها مشاهده می شود. در این روش مدل دوربین طی فرایند کالیبراسیون بدست آمده و معادله خط و یا صفحه لیزر بایستی جهت محاسبه تقاطع آن با پرتوی ساتع شده از تصویر تعیین گردد. بازسازی این پرتو از طریق مختصات دو بعدی پیک خط لیزر در تصویر و پارامترهای کالیبراسیون دوربین حاصل می گردد. بنابراین استخراج یک نقطه به عنوان پیک خط و یا نقطه لیزر مستلزم یک الگوریتم مناسب است که بتواند این نقطه را در تصویر تا حد ممکن دقیق بیابد. رابطه (۱) محاسبه مختصات شیئ یک نقطه واقع بر خط لیزر را توسط تقاطع پرتوی نوری از دوربین و صفحه لیزر در سیستم مختصات شیئ را نشان می دهد. در این رابطه برای سهولت محاسبات و حذف پارامترهای توجیه خارجی دوربین نسبت به سیستم مختصات شیئ، سیستم مختصات شیئ همان سیستم مختصات دوربین در نظر گرفته شده است.

$$x = x'z/f$$
$$y = y'z/f \longrightarrow z = \frac{-Df}{Ax'+By'+Cf}$$ رابطه ۱

در این رابطه (x',y') مختصات تصویری نقطه ای متعلق به خط لیزر و f فاصله کانونی دوربین و A,B,C,D پارامترهای وضعیت صفحه لیزر در سیستم مختصات دوربین و x,y,z مختصات شیئ متناظر نقطه تصویری در سیستم مختصات دوربین می باشد. پارامترهای وضعیت صفحه لیزر و نیز پارامترهای کالیبراسیون دوربین طی یک فرایند کالیبراسیون بدست می آیند.

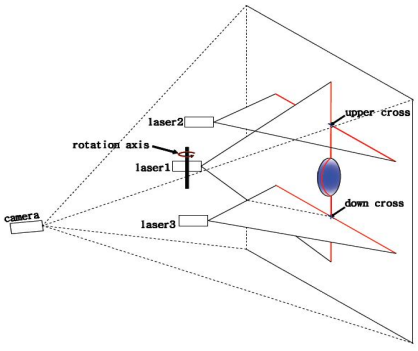
۳- سیستم های لیزر اسکن موجود

در این بخش با توجه به خصوصیات سیستم های مدلساز موجود به معرفی گروه های مختلف سیستم های لیزر اسکن طراحی شده پرداخته و نقائص آنها به طور مختصر تشریح می گردد. گروه اول سیستم هایی که عموما وظیفه تعیین پارامترهای صفحه لیزر بر عهده یک سیستم مکانیکی نظیر یک صفحه گردان(turn

table) و یا یک آینه گردان و یا بازوهای دارای مفصل های قابل کنترل می باشد. اگرچه تکنولوژی کافی برای رسیدن به دقت های بالا در این گونه سیستم ها وجود دارد اما به همان میزان هزینه تمام شده سیستم را به شدت بالا خواهد برد. گروه دوم شامل سیستم هایی هستند که عموما صفحه لیزر و دوربین نسبت به هم دارای هندسه ثابت می باشند و در هر بار اسکن تنها به تعداد خطوطی که به سطح می تابانند از سطح شیئ پروفایل برخواهند داشت. برای تولید یک مدل کامل و پیوسته از یک وجه از شیئ مورد مدلسازی بایستی داده های مربوط به رجیستر نمودن خطوط نسبت به هم از طریق منبع دیگری به سیستم وارد شود که این باعث افزایش هزینه سیستم و نیز افزایش مولفه های سیستم خواهد بود. گروه سوم سیستم هایی هستند که مولفه های هندسی آن به اشیائی خاص از قبیل تارگت های نورانی با نحوه چینش خاصی مرتبط شده است. با تهیه تصویر از آنها و اعمال شروط هندسی تعریف شده برای آنها، پارامترهای هندسی مولفه های سیستم مدلساز محاسبه می گردد[1,2,3,7]. در این گونه سیستم ها ساخت فریم ها و یا جانمایی تارگت ها تحت قیود هندسی خاص نسبت به لیزر و کالیبراسیون آن بطور دقیق خود امری طاقت فرسا و هزینه بر به شمار می رود. مضاف بر اینکه محدودیت هایی برای اشیاء مورد مدلسازی از جهت ابعاد و یا شرایط نوری صحنه که بتوان علاوه بر خط لیزر، فریم و یا تارگت ها همگی در تصویر قابل تشخیص باشد نیز ایجاد خواهد نمود. گروه چهارم سیستم هایی که از تکنیک های کددهی برای تمایز خطوط تابانده شده بهره می گیرند که در آن وجود ابهامات در کددهی بخصوص در نواحی ناپیوستگی را نمی توان نادیده گرفت. در این مقاله به طراحی یک سیستم مدلساز سه بعدی خواهیم پرداخت که در رده سیستم های گروه سوم قرار می گیرد و معایب یاد شده در این رده را تا حدی جبران نموده است.

۴- سیستم مدلساز سه بعدی OLS

سیستم مدلساز سه بعدی Optical Laser frame Scanner که شامل یک دوربین و سه لیزر با پترن خطی است. یکی از لیزرها بصورت عمودی و متحرک و دوتای دیگر بصورت افقی، نسبت به دوربین ثابت می باشند. از تقاطع دو خط لیزر ثابت در بالا و پایین در فضای تصویر با خط لیزر عمودی که حول یک محور در حال دوران است، پارامترهای وضعیت صفحه لیزر در فضا در هر مرحله از اسکن معلوم می گردد. از اینرو نیازی به ابزارهای اضافی برای تعیین وضعیت صفحه لیزر در فضا نبوده و فرایند اسکن سازی و رجیستر نمودن خطوط اسکن همگی تنها در فضای تصویر حل می شود. در شکل (۲) شمای کلی سیستم طراحی شده را مشاهده می کنید.



شکل ۲. شمای کلی سیستم لیزر اسکنر طراحی شده

همانطور که در بخش اصول مثلث بندی با لیزر بیان شد با معلوم بودن پارامترهای وضعیت صفحه لیـزر و دوربین در یک سیستم مختصات واحد، هر نقطه متعلق به خط لیزر در تصویر با مختصـات دوبعـدی از طریـق رابطه (۱)مختصات سه بعدی آن نقطه در فضای شیئ قابل محاسبه اسـت. امـا چگونـه مـی تـوان پارامترهـای صفحه لیزر در حال دوران را در هر مرحله از اسکن بدست آورد؟

برای پاسخ به این سئوال در طراحی سیستم پیشنهادی از همان اصل مثلث بنـدی بـا لیـزر بهـره گرفتـه شده است. دو صفحه لیزر ثابت بصورت افقی یکی در بالا و دیگری در پایین به نحـوی اسـتقرار یافتـه تـا خـط لیزر عمودی در حال دوران در هر مرحله از اسکن با این دو خط دو تقاطع قابل مشاهده در هر عکـس را ایجـاد نماید. از آنجایی که این دو تقاطع روی خطوط لیزر ثابت افقی قرار دارد و پارامترهای وضعیت آنـدو نسـبت بـه دوربین قبلا از طریق کالیبراسیون معلوم شده اند، مختصات سه بعدی این نقاط از طریـق مثلـث بنـدی قابـل حصول می باشد. بنابراین دو نقطه از صفحه لیزر در فضا تعیین موقعیت می گردند. حال کافیست نقطه سومی واقع در صفحه لیزر دوران کننده بازسازی گردد تا بتوان با ایـن سـه نقطـه معادلـه صـفحه لیـزر را نسـبت بـه دوربین در فضای شیئ بدست آورد. در صورتیکه صفحه لیزر حول یک محـور ثابـت نسـبت بـه دوربـین دوران نماید، این نقطه سوم می تواند جایی روی محور دوران واقع شـود کـه در تمـامی دوران هـا محـل آن همـواره نسبت به دوربین ثابت است. این نقطه همان نقطه تقاطع صفحه لیزر با محور دوران است.

بنابراین مراحل ایجاد مدل سه بعدی توسط سیستم پیشنهادی به صورت زیر می باشد:

اخذ تصاویر اسکن حاوی خط لیزر از سطح شیئ مورد مدلسازی که شامل اخذ یک تصویر حاوی دو خـط افقی و تصاویر حاوی خط عمودی لیزر در حال اسکن.

پردازش تصاویر و استخراج نقاط متعلق به خط لیزر در آنها

۱. محاسبه نقطه تقاطع دو خط لیزر افقی با خط عمودی اسکن در تصاویر اسکن
۲. محاسبه مختصات سه بعدی نقاط تقاطع بدست آمده از مرحله قبـل بـا اسـتفاده از پارامترهـای کالیبراسیون صفحه لیزر ثابت بالایی و پایینی.
۳. محاسبه پارامترهای صفحه لیزر دوار با استفاده از مختصات بدست آمده از کالیبراسیون آن و دو مختصات بدست آمده از مرحله قبل.
۴. محاسبه مختصات سه بعدی نقاط لیزر عمودی تصویری با اسـتفاده از پارامترهـای صـفحه لیـزر اسکن کننده.
۵. تکرار مراحل ۳ تا ۶، تا زمانی که تصاویر اسکن حاوی خط عمودی تمام شود.

از سوی دیگر پارامترهایی که برای تولید نقاط سه بعدی در معادلات استفاده می گردد شامل:

پارامترهای معادله دو صفحه لیزر ثابت در سیستم مختصات شیئ (در اینجا سیستم مختصات دوربین)

مختصات سه بعدی شیی نقطه سوم واقع بر صفحه لیزر و محور دوران آن

پارامترهای کالیبراسیون دوربین جهت استفاده در معادلات تقاطع.

مختصات دوبعدی تصویری تصحیح شده نقاط تقاطع خطوط لیزر افقی با لیزر عمودی

مختصات دوبعدی تصویری تصحیح شده نقاط متعلق به خط لیزر عمودی جهت تولیـد داده هـای اسـکن سه بعدی

سوای مختصات تصویری نقاط اعم از نقاط تقاطع و نقاط واقـع بـر خـط لیـزر کـه توسـط تکنیـک هـای پردازش تصویری در حین عملیات اسکن بدست می آیند، پارامترهای دیگـر مـورد نیـاز بـرای مدلسـازی طـی فرایند کالیبراسیون تعیین می گردند.

۵- کالیبراسیون سیستم OLS

کالیبراسیون سیستم مدلساز بمنظور بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز مدلسازی توسط آن می باشد. در این راستا کالیبراسیون سیستم OLS شامل کالیبراسیون خود دوربین عکسبرداری و نیز کالیبراسیون صفحات لیزر ثابت بمنظور بدست آوردن معادله آنها در سیستم مختصات شیئ(دوربین) و نیز بدست آوردن مختصات شیئ نقطه واقع بر صفحه لیزر روی محور دوران میباشد.

۵-۱- کالیبرسیون دوربین

جهت کالیبراسیون دوربین از روش سلف کالیبراسیون بهره گرفته شده است که روابط مورد استفاده در این روش سرشکنی، معادلات شرط هم خطی می باشد که با اضافه نمودن ترم ریاضی به این معادلات می توان همزمان با محاسبه مختصات زمینی نقاط کنترل، خطاها و اعوجاجات موجود در تصویر را نیز مدوله نمود و آن ها را به صورت ریاضی حذف نمود. در صورتیکه از این معادلات شرط هم خطی جهت سرشکنی دسته اشعه استفاده شود، کالیبراسیون دوربین عکسبرداری مورد استفاده را می توان با دقت مناسب محاسبه نمود.

فرمول ریاضی به صورت زیر است:

$$\Delta x = \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + ...) + p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y}$$
$$\Delta y = \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 + ...) + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y} + B1\bar{x} + B2\bar{y}$$
$$\bar{x} = x - x_p$$
$$y = y - y_p$$

رابطه ۲

در رابطه فوق c مرکز پرسپکتیو، i شماره عکس، j شماره نقطه شیئ، c_x, c_y فواصل اصلی ..... k_1, k_2, ضرایب اعوجاج شعاعی می باشد. جدول (۱) پارامترهای بدست آمده از کالیبراسیون دوربین غیر متریک Canon SX110 را نشان می دهد.

جدول ۱. پارامترهای کالیبراسیون دوربین غیر متریک canon sx110 به همراه دقت آن

	Focal Length (mm)	Xp (mm)	Yp (mm)	K1	K2	K3	P1	P2	B1	B2
مقدار کمیت	3.2961	0.0016	-0.0293	2.03e-002	-9.77e-004	-2.23e-004	-5.90e-004	1.04e-003	1.35e-004	-4.22e-005
خطای استاندارد	4.072e-004 (mm)	2.990e-004 (mm)	3.316e-004 (mm)	9.311e-005	6.625e-005	1.437e005	1.067e-005	1.163e-005	1.588e-005	1.386e-005

۵-۲- کالیبراسیون صفحات ثابت لیزر سیستم OLS

کالیبراسیون صفحه لیزر شامل یافتن معادله صفحه لیزر در سیستم مختصات شیئ است. روش مورد استفاده برای کالیبراسیون دو صفحه لیزر ثابت بکار رفته در سیستم OLS با اندکی تفاوت در روش محاسبات

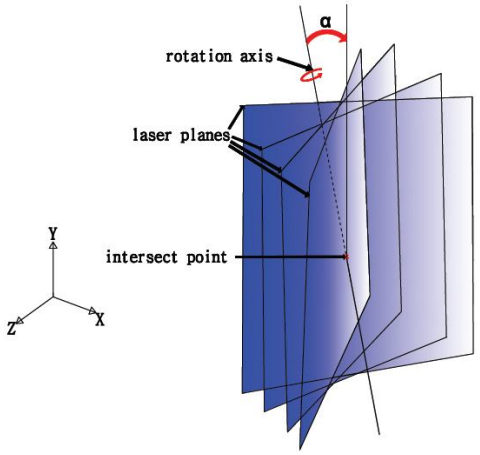
پارامترهای صفحه لیزر مشابه روش صفحات با توجیه نامعلوم می باشد. این روش که توسط [4] ارائـه گردیـده است از یک صفحه به عنوان شیئ کالیبراسیون بهره می گیرد. برای محاسبه مختصات سه بعدی نقاط واقع بـر خط لیزر بر روی صفحه کالیبراسیون از نقاط تارگت واقع بر صـفحه رفـرانس بـرای بدسـت آوردن پارامترهـای صفحه لیزر استفاده می شود. این روش کالیبراسیون بواسطه درجه آزادی بالایی که برای محاسـبه پارامترهـای صفحه لیزر ایجاد می کند و نیازی به جانمایی تارگت بر روی صفحه کالیبراسیون ندارد دقت بسـیار خـوبی در مقایسه با دیگر روش ها دارد. جدول ۲ پارامترهای دو صفحه لیزر ثابت در سیستم مختصات دوربین بـه همـراه عناصر روی قطر اصلی ماتریس وریانس کوریانس که نشان دهنده دقت محاسباتی آنها می باشند را نشان مـی دهد.

جدول۲. پارامترهای صفحات کالیبراسیون ثابت بالایی و پایینی به همراه دقت محاسباتی آنها

	A	B	C	D	δA	δB	δC
صفحه بالایی	-0.883	13.372	-4.079	1000	1.210E-004	0.0015	2.972E-004
صفحه پایینی	1.092	-9.715	-4.021	1000	8.798E-005	6.609E-004	1.776E-004

۵-۳- کالیبراسیون صفحه لیزر دوار

کالیبراسیون صفحه لیزر دوار شامل یافتن مختصات نقطه ای واقع بر محور دوران و صفحه لیزر متصل بـه آن که در تمامی حالات دوران ثابت بماند تا در هر مرحله از اسکن بتوان توسط این نقطه و دو نقطه حاصـل از تقاطع خط لیزر دوار و دو خط لیزر ثابت افقی بالایی و پایینی معادله صفحه لیزر دوار را در فضا تعیـین نمـود. حال صفحه لیزری را تصور کنید که نسبت به محور دوران خـود در یـک نقطـه متقـاطع باشـد. ایـن نقطـه در تمامی حالات دوران، واقع بر صفحه لیزر بوده و نیز بواسطه قرار داشتن روی یـک محـور دوران ثابـت شـده در سیستم همواره در فضا دارای موقعیتی ثابت است. بنابراین با تعیین این نقطه تقاطع می توان مختصـات نقطـه ای از صفحه لیزر دوران کننده را در فضا تعیین نمود که همواره موقعیت آن در سیستم تحت هر میـزان دوران صفحه لیزر ثابت است.



شکل ۳. تقاطع محور دوران لیزر با صفحات لیزر در وضعیت های دورانی متفاوت

فرایند محاسبه نقطه تقاطع مورد نظر به این صورت است که ابتدا توسط همان روش کالیبراسیون صفحه لیزر که برای صفحات ثابت سیستم استفاده شد صفحات لیزر در هشت حالت متمایز دورانی بازسازی و معادله آنها تعیین می گردند. سپس با استفاده از روش کمترین مربعات مختصات نقطه تقاطع این صفحات با پنج درجه آزادی محاسبه می گردد. در جدول ۳ مختصات نقطه تقاطع صفحه لیزر با محور دوران و میزان دقت و وزن مولفه ها مشاهده می شود.

جدول۳. مختصات نقطه تقاطع صفحه لیزر با محور دوران و میزان دقت و وزن مولفه ها

X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	δX	δY	δZ	WX	WY	WZ
129.28	82.24	41.10	1.61	29.84	0.95	482.1	1.24	17.34

۶- پردازش تصویر

در سیستم پیشنهادی برای کاهش مزاحمت نور زمینه فرایند اسکن سازی در شرایط نوری تقریبا تاریکی انجام می پذیرد و تنها قسمتی از شیئ در تصویر بصورت روشن ثبت می گردد که توسط لیزر پروژکتور روشن شده است.

پردازش تصویر در فرایند مدلسازی توسط سیستم پیشنهادی شامل فرایند پیش پردازش و پس پردازش است که منجر به استخراج نقاط دو بعدی متعلق به خط لیزر با دقت کافی در تصویر خواهد شد. پیش پردازش شامل تفریق تصاویر از هم، آستانه گذاری، طبقه بندی و انتخاب خطوط لیزر از میان عوارض استخراج شده می باشد و پس پردازش شامل کاهش نویز speckle و استخراج نقاط متعلق به خط لیزر با دقت زیر پیکسل می باشد. بنابراین الگوریتم پردازش تصویر به پنج مرحله زیر تقسیم می گردد.

- آستانه گذاری. چون نور لیزر قرمز رنگ است از آستانه گذاری روی باند قرمز تصویر برای این امر بهره گرفته می شود و با کم کردن تصویر باند سبز و یا آبی از باند قرمز می توان پیکسل های سفید که باند قرمز آنها نیز دارای مقدار بزرگی است را از تصویر حذف نمود.
- طبقه بندی تصویر. جدا نمودن پیکسل هایی که متعلق به خط لیزر هستند از پیکسل های زمینه و گروه بندی آنها که نتیجه آن گروه هایی است که در آن مجموعه پیکسل های متصل بهم قرار دارند.
- انتخاب گروه هایی از پیکسل هایی که خصوصیات مکانی آن به خط لیزر نزدیک تر است. این عمل با فیت نمودن یک مستطیل به پیکسل های یک گروه و اعمال شرط نسبت چهار به یک برای طول و عرض آن برای خطوط عمودی انجام می شود.
- کاهش اثر نویز speckle خط لیزرکه با اعمال فیلتر پایین گذر روی مجموعه پیکسل های انتخاب شده صورت می پذیرد.
- استخراج پیک خط لیزر در راستای عمود بر خط لیزر. در این راستا تکنیک های متنوعی توسط افراد مختلف ارائه شده است، نظیر تقریب گوسین، مرکز جرم، درون یابی خطی، تقریب سهمی وار، zero crossing، آشکارسازهای Blais و Rioux و میانگین گیری وزن دار ساده در راستای عمود بر نوار لیزر وجود دارد[5,6].

۷- ارزیابی کیفی ابر نقاط تولید شده توسط سیستم اسکنر

به منظور ارزیابی کیفیت ابر نقاط تولید شده، از مجسمه باستانی فروهر با ابعاد تقریبی ۱۵×۴۰ سانتیمتر و یک تندیس گچی با ابعاد تقریبی ۳۰×۳۰ سانتیمتر (شکل ۴) استفاده شد. تعداد خطوطی که در اسکن این دو شیء برداشت شده اند به ترتیب ۵۰۰ و ۲۸۶ می باشد و برای اسکن هر کدام از آنها در حدود ۵۵۰ هزار نقطه برداشت شده است. فاصله اسکنر از اشیاء فوق در حدود یک متر می باشد. شکل ۵ ابر نقاط رنگی را نشان می دهد.

همان گونه که دیده می شود اشیاء مورد نظر به خوبی و با رزولوشن مناسب اسکن شده اند. البته از آنجایی که اسکن های انجام شده فقط از یک منظر تهیه شده اند برخی نقاط خالی در بین خطوط (نقاط تیره) دیده می شود. با این حال امکان افزایش رزولوشن تا حد مورد نیاز نیز با کم کردن فاصله بین خطوط اسکن وجود دارد. البته وجود برخی مناطق تیره به جهت عدم دید لیزر در آنها اجتناب ناپذیر است. برای رفع این مشکل، همانند تمامی سیستم هایی که در دنیا وجود دارد نیاز به انجام اسکن از مناظر مختلف می باشد.

تندیس گچی (۳۰×۳۰ سانتیمتر)

مجسمه باستانی فروهر (۱۵×۴۰ سانتیمتر)

شکل ۴: اشیاء اسکن شده جهت ارزیابی OLS

تندیس گچی (۳۰×۳۰ سانتیمتر)

مجسمه باستانی فروهر (۱۵×۴۰ سانتیمتر)

شکل ۵: ابر نقطه تهیه شده توسط OLS به همراه رنگ واقعی استخراج شده از عکسهای گرفته شده

۸- ارزیابی دقت نقاط برداشت شده توسط اسکنر

برای ارزیابی دقت نقاط برداشت شده توسط OLS، صفحه تست فیلد مورد استفاده در کالیبراسیون دوربین در سه وضعیت متفاوت اسکن شد. سپس مختصات نقاط آن به دو صورت تعیین و اختلاف آنها با همدیگر محاسبه شد. در حالت اول مختصات نقاط از طریق تقاطع معادلات شرط هم خطی تصویر نقاط با

معادله صفحه تست فیلد و در حالت دوم توسط اسکنر یعنی با استفاده از پارامترهای کالیبراسیون اسکنر محاسبه گردید. تعداد نقاط شرکت کننده در ارزیابی در حدود ۱/۵۰۰/۰۰۰ هزار نقطه می باشند. جدول زیر نتایج این ارزیابی را نشان می دهد.

جدول ۴: ارزیابی اسکنر OLS از طریق اسکن صفحه تست فیلد در سه وضعیت مختلف (خطاها بر حسب میلیمتر)

	RMSE (X)	RMSE (Y)	RMSE (Z)	Max error(X)	Max error(Y)	Max error(Z)
موقعیت اول	0.049	0.101	0.398	0.098	0.187	0.459
موقعیت دوم	0.053	0.112	0.416	0.106	0.190	0.457
موقعیت سوم	0.050	0.108	0.403	0.103	0.214	0.514

آنچه که مسلم است بواسطه یکسان بودن تمامی شرایط اندازه گیری نقاط اسکن شده در دو حالت ، تنها اختلافی که می توان از محاسبه مختصات دو گروه داده انتظار داشت خطایی است که در پارامترهای بدست آمده ازکالیبراسیون اسکنر می باشد. همان گونه که در جدول فوق دیده می شود، بیشترین خطا در راستای مولفه Z رخ داده است و مقدار آن حدود 0.4mm می باشد. محور Z در حقیقت در راستای عمود بر صفحه تصویر تعریف می شود. بنابراین با توجه به نسبت باز (فاصله دوربین تا لیزر عمودی) به عمق (فاصله اسکنر تا شیء) نسبتا کم می باشد (0.15/0.8=0.19) وجود چنین خطایی دور از انتظار نمی باشد. با این حال برای کاهش این خطا لازم است تا فاصله دوربین و لیزر به میزان مورد نیاز افزایش یابد. البته نباید فراموش نمود که اضافه کردن این فاصله می تواند منجر افزایش مناطق پنهان نیز گردد. بنابراین بایستی همیشه بین ایندو پارامتر یک تعادل برقرار گردد.

در نهایت با توجه به اینکه دقت های به دست آمده متناسب با ابعاد عارضه اسکن شده متغیر می باشند لازم است دقت سیستم به صورت نسبی تعیین شود. بنابراین از آنجاییکه دقت تعیین موقعیت یک نقطه برابر با $\sigma_c = \sqrt{(0.098)^2 + (0.187)^2 + (0.459)^2} = 0.505mm$ بوده و قطر فضای اسکن شده که توسط یک عکس پوشش داده می شود در حدود 1.2m می باشد، دقت نسبی سیستم مطابق با رابطه زیر برابر با 1/2350 می باشد.

$$\frac{\sigma_c}{R} = \frac{0.505\times10^{-3}}{1.2} = \frac{1}{2350}$$

نتیجه گیری

در این مقاله ضمن بیان روش های متداول مدلسازی در زمینه بیان روش های متداول مدلسازی در زمینه active vision و طرح معایب و نقائص این سیستم ها یک سیستم لیزر اسکن سه بعدی بسیار کم هزینه و دارای ساختمان بسیار ساده و اجرایی، طراحی و پیاده سازی گردید. این سیستم بواسطه اینکه از یک دوربین و نیز از پروژکتورهای لیزری خطی با ساختمان بسیار ساده ای بهره می گیرد بسیار کم هزینه است. از آنجایی که در سیستم پیشنهادی OLS فضای کنترل مورد نیاز خود را برای رجیستر نمودن خطوط اسکن در فضای شیئ توسط خود سیستم بصورت فعال ایجاد می شود و نیازی به انجام فعالیت های اضافی در فیلد

اندازه گیری نظیر چسباندن تارگت و نظیر آن ندارد. اگرچه سیستم OLS دارای مولفه های فیزیکی نسبتا زیادی است(سه پروژکتور لیزر و یک دوربین) اما در قرار گرفتن این قطعات و مولفه ها هیچ نیازی به عملیات دقیقی برای جانمایی و نصب آنها وجود ندارد و شاخص های هندسی آن ها برای استفاده در روابط محاسباتی همگی در فرایند کالیبراسیون محاسبه می گردد و دقت پارامترهای بدست آمده با بهبود تکنیک کالیبراسیون قابل افزایش می باشد. پیچیدگی سیستم OLS تنها در فرایند کالیبراسیون که آنهم تنها یک بار برای بدست آوردن پارامترهای آن نیاز است اندکی بالاست ولی در حین فرایند اسکن که پارامترهای کالیبراسیون معلوم هستند سیستم اسکنر با کمترین پیچیدگی محاسباتی به تولید ابر نقاط سه بعدی از شیئ مورد اسکن سازی خواهد پرداخت.

مراجع

1. Bernardini, F. and Rushmeier, H. 2002, *The 3D Model Acquisition Pipeline*. COMPUTER GRAPHICS forum, Volume 21 , number 2 pp. 149–172

2. Franc¸ois Blais, 2004, *Review of 20 years of range sensor development*, Journal of Electronic Imaging, Canada, 231–240

3. James KW.1988, *Noncontact machine vision metrology within a CAD coordinate system*, Proceedings of the Autofact'88 Conference, vol. 12.pp. 9–17.

4. Koichiro Yamauchi, Hideo Saito and Yukio Sato, 2008, *Calibration of a Structured Light System by Observing Planar Object from Unknown Viewpoints*, IEEE, Keio University, Yokohama 223-8522, Japan, 978-1-4244-2175-6

5. P. J. Mac Vicar Whelan & T. O. Binford,1981, *Intensity Discontinuity Location to Subpixel Precision*, Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp 752-754

6. R. B. Fisher and D. K. Naidu, 1995, A *Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection*, Dept. of Artificial Intelligence, United Kingdom

7. Zagorchev, L. and Goshtasby, A. A. 2006, *A paint-brush laser range scanner*. Computer Vision and Image Understanding, Volume 101, pp. 65-86.