ارزیابی روش های استخراج پیک خط لیزر در سیستم لیزر اسکن OLS بر مبنای مثلث بندی با لیزر

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

اغلب برای ارزیابی روش های استخراج پیک خط لیزر عموما از داده های شبیه سازی شده استفاده می شود و در میان الگوریتم های موجود آن الگوریتمی مناسب تر معرفی می شود که در مواجه با داده های شبیه سازی شده از دقت بالاتری نسبت به دیگر الگوریتم ها از خود نشان دهد. اگر چه ارزیابی الگوریتم های استخراج خط لیزر توسط تکنیک های شبیه سازی می تواند به انتخاب یک تکنیک استخراج خط لیزر بیانجامد اما نتایج ارزیابی ها در این مقاله نشان می دهد که با تغییر پارامترهای خط لیزر در تصویر همواره یک الگوریتم بهینه نبوده و با تغییر هر کدام از پارامترها یک تکنیک در استخراج دقیق تر پیک خط لیزر از دیگری پیشی می گیرد. از سوی دیگر داده های شبیه سازی شده هر چه قدر هم که در ایجاد آن دقت کافی بکار رفته باشد نمی تواند بطور صد در صد نماینده داده واقعی اسکن در عمل باشد. بنابراین با توجه به حساسیت الگوریتم های موجود نسبت به پارامترهای موثر در استخراج پیک خط لیزر در تصویر، ضروری است ارزیابی روش های موجود مستقیما روی داده های واقعی اسکنر صورت پذیرد. بنابراین الگوریتم بهینه استخراج خط لیزر برای سیستم اسکنر الگوریتمی است که در نتیجه بکارگیری آن در فرایند ارزیابی، دقت کلی اسکنر بدست آمده بالاتر باشد. این ارزیابی در واقع میزان سازگاری الگوریتم استخراج پیک خط لیزر را در اسکنر مورد نظر نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی: استخراج پیک خط، اسکنر لیزر

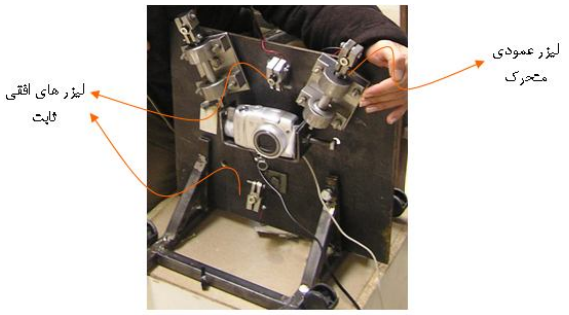
۱- مقدمه

اسکنر های سه بعدی امروزه به عنوان دقیقترین ابزارهای اندازه گیری غیر تماسی بشمار می روند. در واقع دقت چنین سیستم هایی به دو عامل اصلی وابسته است. اولی پارامترهای هندسی سیستم که در

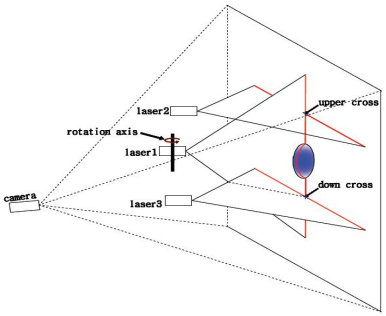
معادلات محاسبه مختصات سه بعدی بکار می روند. فرایندی که طی آن این مقادیر بدست می آید کالیبراسیون نامیده می شود که روشهای متعددی برای این امر بکار گرفته شده است. دومین عامل نحوه استخراج نقاط متعلق به خط لیزر می باشد. این امر تحت فرایندی بنام پرادزش تصویر داده های اسکن صورت می پذیرد. هر چند در تئوری خط یک بعد و یا نقطه بدون بعد قلمداد می شوند، اما در عمل در تصویر یک خط لیزر یک نوار نورانی و نقطه لیزر به صورت یک ناحیه نورانی کوچک مشاهده می شود. در این راستا روشهای متنوعی برای استخراج پترن های لیزر در تصویر تدوین گردیده است. از آنجاییکه تکنیک های بکار رفته در این زمینه بسیار متنوع می باشند انتخاب یک متد مناسب و بهینه برای یک سیستم اندازه گیری که از سطوح نویز و هندسه خاص تبعیت می کند امری است بسیار مشکل و به یک ارزیابی جامع و تخصصی برای هر اسکنر خاص نیازمند می باشد. در این مقاله ضمن یک شرح مختصر راجع به سیستم اسکنر لیزر OLS و نحوه تولید مختصات سه بعدی از داده های تصویری بدست آمده از سنسور این سیستم، به بیان الگوریتم های موجود جهت پردازش تصویر داده های لیزر اسکن مرئی پرداخته و ضمن ارزیابی این الگوریتم ها بر روی داده های شبیه سازی شده، به ارزیابی این روش ها بر روی اسکنر طراحی شده پرداخته و نتایج این تحقیق در انتها مورد بررسی و آنالیز قرار خواهند گرفت.

۲- سیستم مدلساز سه بعدی OLS

در این بخش، ساختار لیزر اسکنر سه بعدی OLS به طور اجمالی مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. همان گونه که در شکل ۱ دیده می شود، اجزاء اصلی اسکنر عبارتند از یک دوربین و سه لیزر با الگوی خطی. و ازیکی از لیزر ها به صورت عمودی است و با استفاده از آن نقاط شیء اسکن می شوند (هر اسکن یک پروفیل از شیء) در حالی که دو لیزر دیگر به صورت افقی و ثابت قرار گرفته اند و به کمک آنها فضای کنترل مورد نیاز جهت توجیه صفحه لیزر عمودی در هر لحظه از اسکن تامین می شود. عملکرد سیستم (شکل ۲) به این گونه است که نور لیزرعمودی متحرک (دوار) به صورت خط به خط بر سطح شیء تابانده شده و از آن به همراه خطوط ثابت لیزر های افقی تصویر برداری می شود. با استفاده از نقاط حاصل از تقاطع لیزر عمودی و لیزرهای افقی و نیز اطلاعات کالیبراسیون سیستم، معادله صفحه لیزر عمودی در فضا تعیین می شود. نهایتا از تقاطع این صفحه با پرتو تصویر گرفته شده از نقاط لیزر عمودی، مختصات سه بعدی نقاط شیء به صورت اتوماتیک استخراج می شود.



شکل ۱: اسکنر OLS و اجزاء آن



شکل ۲: نحوه عملکرد سیستم OLS

بدین ترتیب در صورتیکه سیستم مختصات دوربین به عنوان مرجع در نظر گرفته شود، می توان با استفاده از رابطه زیر مختصات نقاط شیء در هر پروفیل لیزر (تقاطع صفحه لیزر اسکن عمودی و سطح شیء) به دست آورد.

$$\left.\begin{aligned} x &= x'z/f \\ y &= y'z/f \end{aligned}\right\} \longrightarrow \quad z = \frac{-Df}{Ax'+By'+Cf} \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه (x', y') مختصات تصویری تصحیح شده نقطه ای متعلق به پروفیل لیزر ، f فاصله کانونی دوربین، A,B,C,D پارامترهای وضعیت صفحه لیزر دوار در سیستم مختصات دوربین و x و y و z مختصات نهایی نقاط شیء در در سیستم مختصات دوربین می باشند.

بدیهی است، از رابطه بالا فقط در صورتی می توان استفاده نمود که پارامترهای صفحه لیزر دوار در هر اسکن معلوم باشند. برای این منظور در سیستم پیشنهادی دو لیزر ثابت افقی (یکی در بالا و دیگری در پایین دوربین) به نحوی استقرار یافته اند که خط لیزر عمودی در حال دوران در هر مرحله از اسکن با خطوط مربوط به لیزرهای ثابت دو تقاطع قابل مشاهده در محدوده دید دوربین ایجاد نماید. از آنجایی که این دو تقاطع روی خطوط لیزر ثابت افقی قرار دارد و پارامترهای وضعیت آندو نسبت به دوربین قبلا از طریق کالیبراسیون معلوم شده اند (توضیح در بخش بعد)، مختصات سه بعدی این دو نقطه از طریق مثلث بندی به همان شکلی که در مقدمه در تشریح اصول هندسه مثلث بندی با لیزر آمد قابل حصول می باشند. این دو نقطه در صفحه لیزر دوار نیز قرار دارند، لذا در صورتی که بتوان نقطه سومی واقع بر این صفحه تعیین نمود، با استفاده از این سه نقطه می توان صفحه لیزر دوار را بازسازی و با استفاده از رابطه ۱ مختصات نقاط هر پروفیل از شیء را تعیین نمود.

۳- پردازش تصویر

از آنجایی که روش اسکن سازی توسط سیستم OLS یک روش فعال است و نیازی به نور زمینه در حین اسکن سازی نیست، 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 پروژکتور لیزر 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 که روی تمام تصویر اعمال می گردد، طبقه بندی تصویر که حاصل آن استخراج ویژگی مورد نظر است 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 لیزر. با اعمال فیلتر پایین گذر روی مجموعه پیکسل های انتخاب شده صورت می پذیرد.

استخراج پیک خط لیزر در راستای عمود بر خط لیزر.

۴- استخراج خط لیزر

هنگامی که پروژکتور لیزری یک صفحه نورانی را به سطح شیئ مورد مدلسازی می تاباند، یک نوار را روی آن روشن می سازد. زمانی می توان مرکز خط لیزر را در حد زیر پیکسل تعیین نمود که ضخامت خط لیزر در تصویر بیش از یک پیکسل باشد که با توجه به رزولوشن سنسور مورد استفاده و مقیاس عکسبرداری قطعا این نوار روی تصویر بیش از یک پیکسل را به خود اختصاص خواهد داد. در صورتیکه پیکسل حاوی ماکزیمم شدت روشنایی متعلق به نوار لیزر در جهت عمود آن به عنوان مرکز خط لیزر در نظر گرفته شود دقت مدلسازی سیستم برابر ابعاد پیکسل در مقیاس عکس خواهد بود که در اغلب موارد مطلوب نیست. بنابراین برای افزایش دقت سیستم های لیزر اسکنر رو به استخراج پیک خط لیزر در حد زیر پیکسل آورده خواهد شد. همچنین شدت انرژی نور لیزر به عنوان یک پارامتر بسیار مهم در دقت استخراج پیک آن به شمار می رود. در صورتیکه توان لیزر بالا باشد در مواجه با سطوح نفوذ پذیر تا حدی در آن نفوذ نموده و دوربین بازتاب نور لیزر را از درون شیئ مورد مدلسازی ثبت خواهد نمود که منجر به بروز خطا در استخراج پیک خط لیزر خواهد شد. از سوی دیگر کاهش توان لیزر مواجه با ورود نویز از منابع مختلف بر خط لیزر ثبت شده توسط سیستم را اجتناب ناپذیر خواهد نمود که این نیز تاثیری جدی بر دقت استخراج پیک خواهد گذاشت. بنابراین بایستی یک تعادل بین این دو پارامتر ایجاد گردد.

۵- منابع خطا در استخراج خط لیزر

سه منبع نویز سیستم های مدلسازی مبتنی بر دوربین_لیزر را تحت تاثیر خود قرار می دهد: نویز الکتریکی، نویز تدریجی (Quantization Noise) و نویز speckle[4]. در این میان نویز speckle مربوط به نور لیزر و دوتای دیگر به دوربین مربوط می گردد. نویز الکتریکی و تدریجی که مربوط به سنسور تصویربرداری می شود بسیار جدی است و زمانی رخ می دهد که نسبت سیگنال به نویز بسیار پایین است. در این راستا یک بررسی و مطالعه نسبتا کاملی راجع به عملکرد سیستم های عکسبرداری در [1] به منظور ارزیابی اثرات نویز الکتریکی بر روی تصاویر آنها صورت پذیرفته است. این نویز بواسطه اسکن سریع یک سطح و یا اینکه سطح مورد نظر که دارای شاخص بازتاب مناسبی نباشد بوجود می آید. از سوی دیگر نویز speckle نیز اثرات نامطلوبی روی خطوط ثبت شده در تصاویر خواهد داشت. این نویز برای تصاویری که از یک منبع نوری همدوس، مانند لیزر استفاده می‌کنند بوجود می آید که در نتیجه آن هنگامی که طول موج نور لیزر از میزان زبری (roughness) سطح کمتر باشد رخ خواهد داد. این نویز ها هرسه روی هم جمع شده و تا حدی دقت استخراج پیک خط لیزر را تحت تاثیر قرار خواهند داد و تکنیک قویتر تکنیکی است که بتواند اثر اینها را تا

حد ممکن از بین ببرد. از اینرو در بخش بعدی به تبیین روش های متنوع موجود جهت استخراج پیک خط لیزر که توسط افراد مختلف ارائه گردیده است می پردازیم.

۶- روش های استخراج پیک خط لیزر با دقت زیر پیکسل

۶-۱- روش تقریب گوسین[5]

این روش در زمره روش های استخراج پیک یک بعدی به شمار می رود، یعنی تنها در یک بعد به جستجوی مرکز خط لیزر در ابعاد زیر پیکسل پرداخته می شود و در بعد دیگر تنها مختصات در حد ابعاد پیکسل تصویر خواهد بود. فرض این روش این است که توزیع درجات خاکستری خط لیزر در راستای عمود بر آن بسیار نزدیک به یک منحنی گوسی است. البته در واقعیت چنین نیست چراکه هر پیکسل واقع در CCD دوربین ها دارای حساسیت یکسانی نیست و نیز آگاهی چندانی راجع به ساختار درونی آن و اینکه چه اثرات و اعوجاجاتی روی این رقم ثبت شده می گذارد وجود ندارد. بنابراین فرض می شود که این اثرات با یک توزیع گوسین مدل شده باشند. در صورتیکه محل پیک را در حد پیکسل در راستای محور x داشته باشیم میزان آفست (δ) به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$\hat{\delta} = \frac{1}{2}\frac{\ln(f(x-1)) - \ln(f(x+1))}{\ln(f(x-1)) - 2\ln(f(x)) + \ln(f(x+1))}$$ رابطه ۲

در این رابطه $f(x)$ مقدار درجه خاکستری در نقطه x می باشد. و $f(x\pm1)$ درجات خاکستری همسایگی قبل و بعد آن است.

۶-۲- روش مرکز جرم[5]

این روش نیز تک بعدی محسوب می شود و همچنین توزیع درجات خاکستری لیزر در جهت عمود بر آن را گوسین فرض می کند. موقعیت آفست زیر پیکسل به صورت زیر می باشد.

$$\hat{\delta} = \frac{f(x+1) - f(x-1)}{f(x-1) + f(x) + f(x+1)}$$ رابطه ۳

این روش می تواند برای برآورد مرکز جرم درجات خاکستری بیش از سه پیکسل متعلق به خط لیزر را نیز در محاسبات خود دخالت دهد. که به روابط COM5 و COM7 موسومند که در روابط () و () مشاهده می کنید.

$$\hat{\delta}_{COM5} = \frac{2f(x+2) + f(x+1) - f(x-1) - 2f(x-2)}{f(x-2) + f(x-1) + f(x) + f(x+1) + f(x+2)}$$ رابطه ۴

$$\hat{\delta}_{COM7} = \frac{3f(x+3) + 2f(x+2) + 2f(x+2) - f(x-1) - 2f(x-2) - f(x-1)}{f(x-3) + f(x-2) + f(x-1) + f(x) + f(x+1) + f(x+2) + f(x+3)}$$ رابطه ۵

۶-۳- روش درون یابی خطی[5]

در این روش توزیع درجات خاکستری قبل و بعد از پیک خط لیزر را خطی در نظر می گیرد. بنابراین اگر سه پیکسل با بالاترین درجه خاکستری از یک خط در راستای عمود بر آن داشته باشیم، داریم:

اگر $f(x+1)>f(x-1)$

$$\hat{\delta} = \frac{1}{2}\frac{(f(x+1)-f(x-1))}{(f(x)-f(x+1))}$$ رابطه ۶

۶-۴- روش تقریب سهمی وار[5]

یک روش برای استخراج پیک استفاده از بسط سری تیلور در نزدیکی آن می باشد. بنابراین موقعیت پیک در $f(x+\delta)$ با مشاهده تابع $f(x)$ در همسایگی آن مقدار δ به شکل زیر محاسبه می گردد:

$$\hat{\delta} = \frac{1}{2}\frac{f(x-1)-f(x+1)}{(f(x+1)-2f(x)+f(x-1))}$$ رابطه ۷

در واقع این روش با برازش یک سهمی به پروفیل درجات خاکستری در همسایگی پیک لیزر و گرفتن مشتق از آن و قطع آن با محور x ها محل پیک خط لیزر را در حد زیر پیکسل می یابد.

۶-۵- روش آشکارسازهای Blais و Rioux [5]

این افراد دو فیلتر مرتبه ۴ و مرتبه ۸ خطی ارائه نموده اند و [3] نیز مرتبه ۲ آنرا نیز ارائه نمود. این فیلترها به شکل زیر است:

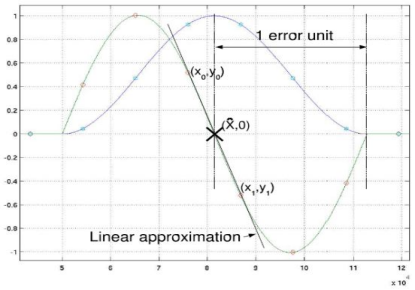
$$g_2(x) = f(x-1)+f(x+1)$$
$$g_4(x) = f(x-2)+f(x-1)+f(x+1)+f(x+2)$$
$$g_8(x) = f(x-4)+f(x-3)+f(x-2)+f(x-1)-f(x+1)-f(x+2)-f(x+3)-f(x+4)$$ رابطه ۸

بنابراین اگر $f(x+1)>f(x-1)$ مقدار δ از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\hat{\delta} = \frac{g(x)}{g(x)-g(x+1)}$$ رابطه ۹

۶-۶- روش zero crossing [4]

در این روش ابتدا مشتق اول تصویر توسط کانوالو نمودن تصویر با مشتق یک فیلتر محاسبه می گردد. سپس ماکزیمم مقدار درجه خاکستری تعیین شده و همچنین اولین مقدار منفی بعد از آن نیز یافته و میان آندو یک خط مستقیم وصل نموده و هر جا محور صفر را قطع کند، محل zero cross می باشد. در واقع این خط وصل کننده اولین مقدار مثبت و آخرین مقدار منفی سیگنال می باشد. رابطه (۱۰) با توجه به شکل(۳).



شکل ۳: روش درونیابی خطی برای استخراج محل zero crossing

رابطه ۱۰

$$\hat{X} = x_0 - \frac{y_0.(x_1 - x_0)}{y_1 - y_0}$$

در این رابطه X محل zero cross می باشد که به عنوان محل پیک خط لیزر در نظر گرفته می شود.

۷- ارزیابی روش های استخراج پیک خط لیزر

بدین منظور یک تست و ارزیابی برای این روش ها انجام شد که در آن یک خط با ضخامت های متغیر ۵، ۷ و ۹ پیکسل با فیلتر گوسین به همراه نویز speckle که این نویز توسط رابطه (۱۱) تولید می شود که n در آن یک نویز رندم است که توزیع آن با میانگین صفر و وریانس0.005 و 0.01 و 0.015 می باشد که شرایط نسبی خط لیزر در واقعیت را بازسازی خواهد نمود و I تصویر ورودی و J تصویر نویز یافته می باشد. این خط توسط روش های پیشنهادی با دقت زیر پیکسل استخراج گردید که خطای RMSE آن را در جدول ۱ مشاهده می کنید.

رابطه ۱۱

$$J = I + n.I$$

جدول ۱: ارزیابی الگوریتم های استخراج خط لیزر با دقت زیر پیکسل

σ	Width line	LA	PA	ZC	GA	WA	COM 5	COM7	B & R 24	B & R 28
0.005	5	0.0190	0.0082	0.0101	0.0103	0.0134	0.0040	0.0079	0.0135	0.0127
	7	0.0265	0.0139	0.0149	0.0144	0.0184	0.0049	0.0092	0.0185	0.0173
	9	0.0388	0.0243	0.0142	0.0222	0.0208	0.0559	0.0366	0.0245	0.0228
0.01	5	0.0156	0.0099	0.0097	0.0098	0.0133	0.0044	0.0085	0.0135	0.0126
	7	0.0326	0.0150	0.0134	0.0179	0.0168	0.0049	0.0091	0.0174	0.0163
	9	0.0412	0.0205	0.0185	0.0245	0.0223	0.2803	0.1792	0.0238	0.0220
0.015	5	0.0191	0.0086	0.0104	0.100	0.0147	0.0043	0.0083	0.0135	0.0128
	7	0.0303	0.0155	0.0132	0.0184	0.0174	0.0051	0.0093	0.0201	0.0187
	9	0.0425	0.0225	0.0153	0.0224	0.0231	0.3070	0.1981	0.0230	0.0211

با توجه به آنچه که در جدول ۱ به عنوان نتایج ارزیابی الگوریتم های استخراج خط لیزر آمده است مشاهده می شود که با تغییر پارامترهای خط لیزر شبیه سازی شده نظیر ضخامت خط لیزر و نیز سطح نویز speckle موجود در آن، دقت استخراج هر کدام از الگوریتم ها با نمونه های دیگر تفاوت دارد. اما نتیجه دیگری که از این ارزیابی حاصل گردید این است که با تغییر هر پارامتر خط لیزر همواره یک الگوریتم بهترین نیست بلکه ممکن است در یک وضعیت خط لیزر یک الگوریتم بهینه باشد که در وضعیت دیگر خط لیزر

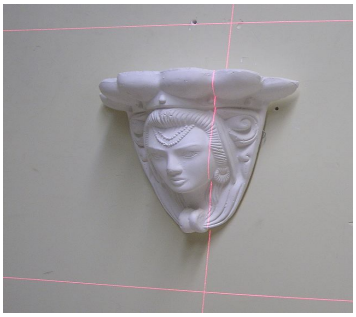
شبیه سازی شده الگوریتم دیگری بهترین عملکرد را در استخراج آن داشته باشد. از آنجاییکه نمی توان بطور قطعی میزان انطباق هر کدام از شرایط خطوط که در جدول بالا آمده است را با خط لیزر واقعی در تصویر اسکن بیان نمود بنابراین تصمیم گیری راجع به اینکه کدام الگوریتم می تواند در سیستم اسکنر OLS نقش استخراج خط لیزر را بعهده بگیرد کمی مشکل است. در بخش بعدی به ارائه متدی پرادخته می شود که ارزیابی الگوریتم های مذکور را بر روی داده های واقعی اسکن ممکن می سازد.

۸- ارزیابی الگوریتم های استخراج مرکز خطوط لیزر روی داده های واقعی اسکنر OLS

با توجه به نواقص اشاره شده در بخش قبل در رابطه با ارزیابی الگوریتم های استخراج پیک بر روی داده های شبیه سازی شده، ضرورت ارزیابی این روش ها بر روی داده های واقعی اسکن مشخص گردید. در این ارزیابی از متدی که برای اندازه گیری دقت کلی اسکنر است بهره گرفته می شود. در واقع در این روش تنها متد استخراج خط نیست که مورد آزمون قرار می گیرد، بلکه دقت کلی سیستم در مواجه با بکارگیری هر کدام از الگوریتم های استخراج پیک خط لیزر مورد ارزیابی قرار می گیرد. اگرچه در این روش نمی توان سهم تکنیک استخراج خط را در خطای اندازه گیری شده بدست آورد اما می توان بهترین الگوریتم استخراج خطوط را با توجه به داده های واقعی اسکن که تمامی پارامترها از قبیل ضخامت خط اسکن شده، نویزهای موجود روی آن است را انتخاب نمود. در ادامه به شرح مختصری راجع به نحوه ارزیابی دقت کلی اسکنر خواهیم پرداخت.

۹- ارزیابی اسکنر OLS

در این بخش در ابتدا مشخصات فنی سیستم طراحی شده و پس از آن آزمایشات صورت گرفته جهت ارزیابی کیفی و کمی ابر نقاط برداشت شده بیان می گردد. سیستم OLS از یک دوربین دیجیتال Canon SX110 دارای فاصله کانونی بین 3-6mm و رزولوشن هندسی 0.002mm می باشد. لیزر پروژکتورهای مورد استفاده نیز از نوع لیزر قرمز با پترن خطی و توان الکتریکی 5mw می باشند. در سیستم OLS از دو محور دوران بسیار دقیق برای لیزر عمودی دوار استفاده شده است که در این مقاله تنها یکی از آندو برای مدلسازی مورد استفاده قرار گرفت. فاصله این لیزر تا دوربین در حدود ۱۵ سانتیمتر می باشد. این محور دوران با زاویه میلی حدود ۱۰ درجه نسبت به راستای قائم منحرف گردیده است در حالیکه صفحه لیزر کاملا در راستای عمودی قرار دارد. از اینرو می توان نسبت به متقاطع بودن صفحه لیزر با محور دوران و استخراج دقیق آن اطمینان حاصل نمود. شکل ۴ شمایی از سیستم در حال اسکن را نشان می دهد.



شکل ۴: شمایی از تندیس گچی در حال اسکن

۱۰- ارزیابی دقت نقاط برداشت شده توسط اسکنر

برای ارزیابی دقت نقاط برداشت شده توسط OLS، صفحه تست فیلد مورد استفاده در کالیبراسیون دوربین در یک وضعیت 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 نقطه می باشند.

جدول ۲: ارزیابی اسکنر OLS از طریق اسکن صفحه تست فیلد بر اساس انتخاب تکنیک استخراج خط لیزر (خطاها بر حسب میلیمتر)

	CM5	CM7	BR24	BR28	Linear	PA	WI	Zero Cross
خطای X	0.187	0.166	0.119	0.121	0.119	0.125	0.126	0.117
خطای Y	0.210	0.194	0.169	0.170	0.173	0.175	0.171	0.169
خطای Z	0.767	0.557	0.321	0.304	0.309	0.310	0.405	0.237

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 و نیز خطای مربوط به استخراج پیک خط لیزر می باشد. با جایگزینی الگوریتم های استخراج پیک موجود در فرایند اندازه گیری نقاط درون اسکنر میزان خطای کلی اسکنر اندازه گیری و در جدول ۲ آورده شده است. از آنجاییکه تمامی پارامترهای کالیبراسیون در حین ارزیابی همواره ثابت است، اختلاف نتایج حاصل شده در جدول ۲ نشان دهنده عملکرد الگوریتم بکار رفته برای استخراج خط لیزر در فرایند تولید ابر نقاط از صفحه اسکن شده می باشد. از این رو می توان بطور قطع بهترین الگوریتم استخراج پیک خط لیزر را برای سیستم طراحی شده را می توان الگوریتم Zero Cross نام برد.

۱۱- ارزیابی کیفیت ابر نقاط تولید شده

برای مشاهده بصری کیفیت ابر نقاط تولید شده توسط سیستم اسکنر OLS از مجسمه باستانی فروهر با ابعاد تقریبی ۱۵×۴۰ سانتیمتر و یک تندیس گچی با ابعاد تقریبی ۳۰×۳۰ سانتیمتر (شکل ۵) استفاده شد. در طی فرایند اسکن از الگوریتم Zero Cross برای استخراج خطوط لیزر در تصاویر دوربین بهره گرفته شده است. 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 ۶ به ترتیب ابر نقاط رنگی و مدل سه بعدی مربوطه را نشان می دهد. جهت تهیه مدلهای نمایش داده در شکل ۱۰، ابر نقاط تولید شده مثلث بندی شده که مثلث های آن از طریق عکسی که در ابتدا و قبل از آغاز پروسه اسکن گرفته شده است رنگ آمیزی (Render) شده اند.

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 ۵: اشیاء اسکن شده جهت ارزیابی OLS

تندیس گچی (۳۰×۳۰ سانتیمتر)

مجسمه باستانی فروهر (۱۵×۴۰ سانتیمتر)

شکل ۶: ابر نقطه تهیه شده توسط OLS به همراه رنگ واقعی استخراج شده از عکسهای گرفته شده

۱۲- نتیجه گیری

در این مقاله به ارزیابی روش های استخراج پیک خط لیزر موجود با دو متد متفاوت پرداخته شد. با توجه به نتایج ارزیابی های حاصله از داده های شبیه سازی شده دریافتیم که یک الگوریتم خاص همواره یک پاسخ بهینه را در مواجه با تغییر پارامترهای خط لیزر از خود نشان نمی دهد. بنابراین استفاده از داده های واقعی در صورت امکان مقایسه الگوریتم های استخراج پیک در مواجه با آن می تواند به عنوان بهترین ارزیابی به حساب آید. در اینجا تکنیک ارزیابی دقت کلی اسکنر که برای هر اسکنر طراحی شده متدی کاملا مشخص است بعنوان مبنای ارزیابی الگوریتم استخراج خط لیزر مورد استفاده قرار گرفت. در طی این ارزیابی دقت کلی اسکنر OLS بواسطه بکارگیری الگوریتم Zero Cross نسبت به حالت های دیگر بیشتر بوده و می توان اظهار داشت که این الگوریتم برای این اسکنر خاص سازگارتر است. در پایان نیز کیفیت نقاط تولید شده توسط سیستم اسکنر OLS که در آن از تکنیک منتخب استخراج خط لیزر استفاده شده است نشاندهنده کارایی مناسب و صحیح این الگوریتم در استخراج داده های تصویری اسکن می باشد.

منابع

1. Andrew Gruss, Shigeyuki Tada, and Takeo Kanade, 1992, *A vlsi smart sensor for fast rabge imaging. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and systems*, pages 349-358
4. Refrence

2. Demeyere Michaël, Ph. D. Thesis, *Noncontact Dimensional Metrology by Triangulation under Laser Plane Lighting*, 2006, Prof. C. Eugène, UCL, Electromechanical engineer

3. F. Blais and M. Rioux. *Real-time numerical peak detector In Signal Processing*, volume 11, pages 145–155, 1986.

4. J. Forest, J. Salvi, Enric Cabruja and C. Pous, 2003, *Laser stripe peak detector for 3D scanners. A FIR filter approach*, Computer Vision and Robotics, Girona

5. R. Fisher and D. Naidu. 1991, *A comparison of algorithms for subpixel peak detection*. In Proc. 1991 British Machine Vision Association Conf, pages 217–225,.