

http://mjmec.ir

اردیبهشت ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۲ صص ۷۹–۹۲

se sub

مقاله پژوهشی کامل تاریخ دریافت ۹۱/۳/۱۸ تاریخ پذیرش ۹۱/۸/۹ ارائه در سایت ۹۱/۱۱/۳

بهبود دقت اسکنر لیزری با کالیبراسیون همزمان لیزر و دوربین و استفاده از تکنیک اعمال نویز

خلیل خلیلی'*، سیامک خطیبی'، سید محمد امام ّ

مجله علمی پژوهشی

۱- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند ۲- دانشیار مهندسی کامپیوتر، کالج تکنولوژی بلکینگ، کارلسکرونا، سوئد ۳- دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند * بیرجند، صندوق پستی kkhalili@birjand.ac.ir ،۹۷۱۷۵/۶۱۵

چکیده- اسکنر لیزری مثلثبندی از مرسومترین روشهای مدلسازی سهبعدی میباشد. یکی از پارامترهای موثر بر دقت اسکنر، نوع دوربین (سنسور) به کار برده شده میباشد. خطای حاصل از کوانتیزه کردن (نمونهبرداری) باعث ایجاد خطای بعدی در بازیابی عمق خواهد شد. بنابراین خطای مدلسازی رابطه مستقیم با اندازه پیکسل دارد. با کاهش اندازه پیکسل دوربین امکان کاهش خطای کوانتیزه کردن وجود دارد ولی به دلیل کاهش نسبت سیگنال به نویز، کیفیت تصویر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. با توجه به محدودیت در اندازه پیکسل، در این مقاله جهت استخراج تصویر با کیفیت بالا از تکنیک اعمال نویز و روش بدیع ایجاد جابهجایی نسبی بین سنسور و لنز دوربین در حین فرایند تصویربرداری استفاده شده است. اندازه گیری زاویه تابش لیزر جهت استفاده از روش مثلثبندی، از دیگر منابع مهم خطا میباشد. در این مقاله کالیبراسیون لیزر و دوربین به صورت همزمان و بدون نیاز به وسیله مکانیکی اضافی انجام گرفته است. مقاله حاضر ضمن بیان اصول روش ارائه شده به مدلسازی فرایند اعمال نویز پرداخته و نتایج حاصل از شبیهسازی بیانگر بهبود قابل توجه دقت اندازه گیری میباشد. تکنیک ارائه شده به صورت تجربی فرایند اعمال نویز پرداخته و نتایج حاصل از شبیهسازی بیانگر بهبود قابل توجه دقت اندازه گیری میباشد. تکنیک ارائه شده به صورت تجربی فرایند اعمال نویز پرداخته و نتایج موند از شبیه سازی بیانگر بهبود قابل توجه دقت اندازه گیری میباشد. تکنیک ارائه شده به صورت تجربی پیادهسازی و مطالعه تجربی صحت تکنیک و نتایج را تایید مینماید. نتایج شبیه سازی و نتایج تجربی گزارش شدهاند.

Improving the accuracy of laser scanning using dithering technique and simultaneous laser and camera calibration

K. Khalili^{1*}, S. Khatibi², S. M. Emam³

1- Assoc. Prof., Mech. Eng., Univ. of Birjand, Birjand, Iran

2- Assoc. Prof., Com. Eng., Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden

3- PhD Student, Mech. Eng., Univ. of Birjand, Birjand, Iran

* P.O. B. 97175/615 Birjand, kkhalili@birjand.ac.ir

Abstract- Ttriangulation technique is one of the most commonly techniques used in three dimensional measurements. The depth reconstruction accuracy is a direct impact of the quantization process, and so it is related to the pixel size of the sensor. By decreasing the pixel size, the accuracy can be improved however it will affect the quality of the image as it reduces the SNR. Dithering technique may be used to reduce the errors during quantization. The current study introduces a novel technique in which a relative fine movement between object and sensor is generated during picture capture. The calibration of laser and camera is another important factor affecting the accuracy of the scanner. In this study, the laser is calibrated in high precision with the camera simultaneously without any extra mechanical device. The paper firstly describes the theory of the noise introduction technique followed by modeling and simulation of the process. The results obtained from simulation show great improvement in measurement accuracy. To evaluate the result in a real world, a control rig was designed and built following which experiments were performed. The results showed considerable improvement in measurement accuracy. The result of both simulation and experiments are reported. **Keywords:** Laser Scanning, Ttriangulation Technique, Dithering Technique, Error Analysis

خلیل خلیلی و همکاران

۱– مقدمه

اسکن سهبعدی فرایندی است که طی آن ابر نقاط ^۱ اندازه گیری شده توسط سیستمهای مختلف به مختصات سهبعدی تبدیل میشود. از کاربردهای مدل سهبعدی قطعات میتوان به مواردی از قبیل بازرسی قطعات، مهندسی معکوس، تجسم و انیمیشن اشاره کرد. امروزه بسیاری از قطعات تولیدی توسط ماشینهای CNC تولید میشوند. اطلاعات ورودی این ماشینها معمولا مدل CAD قطعه میباشد. بسیاری از قطعات موجود فاقد نقشه صنعتی جهت ساخت هستند. در این گذار تکنولوژی اسکن سهبعدی امکان دیجیتایز کردن دقیق قطعه و استخراج پروفایل سهبعدی آن و بهدنبال آن تهیه مدل CAD را برای تولید دوباره و مهندسی معکوس فراهم میآورد.

رهیافتهای متفاوتی جهت اسکن کردن سهبعدی یک موضوع وجود دارد. در این میان تکنولوژی اپتیکی (ماشین بینایی) به دلیل انعطاف پذیری و سرعت بیشتر در رقمی کردن سطوح، ترجیح داده می شود، ضمن آنکه این روشها از دقت و قدرت تفکیک پذیری قابل قبولی برخوردار می باشند. استخراج مدل سهبعدی از تصاویر گرفته شده از جسم بر اساس نورهای ساختاریافته، یکی از متداولترین روشهای مدلسازی با تکنیک ماشین بینایی است[۱-۳]. روشهای بینایی با محدودیتهایی نیز مواجه هستند. کیفیت پایین و حساسیت به نور محیط از محدودیت اصلی این فناوری برای کاربردهای عملی است. یکی از تکنیکهای موجود جهت بهبود دقت، استفاده از الگوهای نوری با کدبندی مخصوص برای بازسازی مدل اجسام است[۴]. در این روش از مجموعه نوارهای نوری رنگی با فواصل نوری سفید استفاده می شود که این الگو دارای طبقهبندی و ترتیب رنگ مشخصی است. این روش در مقابل نور کنترلنشده محیط و تداخل رنگها کارایی مناسبی دارد. اسکنرهایی با ساختار جدید برای بالا بردن دقت مدلسازی و کاهش عدم قطعیت در عمق یابی با الگوریتم استریو پیشنهاد شدهاند که باعث افزایش دقت بر اساس جابهجایی بین دو عکس گرفته شده می شود [۵]. جابهجایی تصویر با تغییر زاویه همگرایی دوربین که از فيزيولوژى چشم انسان الگوبردارى شده است نيز امكان پذير است[۶]. با استخراج نقاط متناظر در دو تصویر که موقعیت مکانی دریافتی مشابه از دو چشم دارند و همچنین زاویه

تکنیک اعمال نویز کاربرد فراوانی در زمینه پردازش صوت و تصویر دارد. با استفاده از این تکنیک در پردازش تصویر هنگامی که تعداد رنگهای یک تصویر کاهش مییابد، کیفیت این تصویر همچنان در حد قابل قبولی باقی خواهد ماند[۸]. این کاهش سطح و تعداد رنگ در هنگام استفاده از دستگاههای چاپ با تعداد رنگ محدود قابل اهمیت میباشد. با استفاده از این تکنیک یک نویز مشخص در هنگام کوانتیزه کردن تصویر به آن اعمال و از اعوجاج و به هم ریختگی تصویر جلوگیری می کند. بنابراین امکان بالابردن دقت مدلسازی با استفاده از تجهيزات كم دقت، با استفاده از اعمال نويز وجود دارد[۱۰،۹]. اعمال نویز از طریق جابهجایی دوربین یا جسم، جابهجایی منبع نوری و تغییرات روشنایی محیط در حین تصویربرداری امکان پذیر می باشد. از نظر تئوری با تعداد تکرار زیاد آزمایش برای موقعیتهای مختلف سنسور و جسم (جابهجایی دوربین یا جسم)، امکان کاهش خطا به صفر وجود دارد. اگر چه تعداد دقیق مراحل آزمایش برای رسیدن به این دقت مشخص نیست ولی با انجام تعداد محدودی تکرار، دقت افزایش قابل ملاحظهای خواهد داشت[۱۱].

همگرایی آنها استخراج عمق با دقت بالاتری انجام میگیرد. از طرف دیگر، سختافزار مورد استفاده در اسکنر مثل دقت لنز، رزولوشن دوربین و حافظه مورد استفاده، در تعین دقت یک سیستم بینایی دخیل میباشند. از آنجایی که دوربینهای دیجیتال، صفحه تصویر را به صورت آرایهای از پیکسل ذخیره می کنند، بنابراین مکان هر نقطه در تصویر توسط مرکز پیکسلی که در آن واقع است تخمین زده می شود. خطای حاصل از فرایند کوانتیزه کردن ٔ باعث ایجاد خطای بعدی در مدلسازی و بازیابی عمق خواهد شد. بدلیل نسبت سیگنال به نویز بالا استفاده از پیکسل ها با اندازه بزرگ مطلوب است ولی از سوی دیگر بدلیل وضوح بالاتر تصویر و امکان بهتر بازیابی مدل، سنسورهایی با اندازه پیکسل کوچکتر ترجیح داده میشوند. با شبیهسازی دوربین برای یافتن اندازه پیکسل بهینه که بر روی سنسورهای دیجیتالی مختلفی انجام گرفته است، مشاهده شده است که اندازه پیکسل به نوع تکنولوژی ساخت سنسور بستگی دارد و کنترل این پارامتر برای بالا بردن دقت بازیابی عمق امکانپذیر نمیباشد[۷].

^{2.} Quantization error

هدف از این مقاله ارائه روشی با استفاده از اعمال نویز در حین عملیات اسکن و کالیبراسیون همزمان لیزر و دوربین جهت بهبود دقت اسکنرهای سهبعدیِ در دسترس میباشد که از لحاظ سختافزاری دارای رزولوشن محدودی هستند.

۲- اسکنر لیزری به روش مثلثبندی

در اسکنرهای نوری با تاباندن نور لیزر روی سطح قطعه و پردازش تصویر، بازیابی مدل سهبعدی از قطعه مورد نظر امکانپذیر میباشد. پس از برخورد نور با سطح قطعه، دوربین که مانند چشم انسان عمل میکند با استفاده از انعکاس نور، از جسم تصویر تهیه میکند. چشم انسان قادر به محاسبه فاصله به طور نسبی و همچنین مشخصات بافت از سطح قطعه را به طور نسبی و همچنین مشخصات بافت از سطح قطعه را بازیابی میکنند. در شکل ۱ ساختار کلی یک اسکنر مثلثبندی فعال با استفاده از نور ساختار یافته نشان داده شده است.

در این روش پرتو نور بایستی به سطح مبنا (سطحی که ارتفاع قطعه مورد اندازه گیری نسبت به آن سنجیده می شود) و سطح قطعه برخورد کند و انعکاس آن توسط دوربین دیجیتال دریافت شود. با توجه به شکل ۱ با داشتن فاصله کانونی دوربین و همچنین فاصله سطح مبنا نسبت به دوربین که در قسمت کالیبراسیون محاسبه می شود، می توان مقدار ارتفاع جسم (H)را در نقاط مورد نظر بهدست آورد. به عنوان مثال، مقدار ارتفاع در نقطه P با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه می باشد.



شکل ۱ ساختار اسکنر مثلث بندی لیزری فعال

$$\frac{D}{X} = \frac{d}{f} \quad \Rightarrow \quad D = \frac{Xd}{f}$$

$$H = D \times \tan(\alpha) \tag{1}$$

$$c, (1) = \frac{1}{2} (f) + \frac{1}{2} (f) + \frac{1}{2} (f) = \frac{1}{2} (f) + \frac{1}{2} (f) + \frac{1}{2} (f) = \frac{1}{2} (f) + \frac{1}{2} (f)$$

افق و d اندازه تصویر جسم (D) در سنسور دوربین می باشد.

۲-۱- اثر تغییر مکان سنسور در اسکنر لیزری

در بسیاری موارد برای گرفتن نمای جسمی که خارج از میدان دید دوربین باشد، نیاز به چرخاندن دوربین میباشد. این چرخش موجب اعوجاج جسم در تصویر گرفته شده میگردد. اگر مطابق شکل ۲ امکان ایجاد تغییرمکان کوچک میان لنز و سنسور دوربین وجود داشته باشد، مشاهده می شود که این تغییرمکان همان اثر چرخش دوربین را به وجود میآورد و نمای مورد نظر به تصویر کشیده می شود در حالی که از اعوجاج شکل نیز جلوگیری به عمل میآید.

در روش مثلث بندی نیز دوربین و لیزر باید با یک زاویه همگرایی مشخص چرخش نمایند تا قادر به گرفتن میدان دید مورد نظر باشند. با توجه به شکل ۳ بجای چرخش دوربین و لیزر میتوان با اعمال یک تغییرمکان مناسب به سنسور، میدان دید مناسبی بهدست آورد. محور نوری^۱ خطی است که از مرکز لنز میگذرد و بر صفحه سنسور عمود و محور اولیه^۲ به خطی گفته میشود که مرکز لنز و مرکز صفحه سنسور را به هم متصل میکند. a زاویه بین محور نوری دوربین با محور z و معروف به زاویه همگرایی^۲ میباشد. زاویه تابش لیزر نسبت به محور z با aنشان داده شده است.



شکل۲ دو راه متفاوت برای گرفتن تصویر شی خارج از میدان دید، الف) قبل از تنظیم ب) چرخش دوربین ج) تغییرمکان سنسور

^{1.} Optical axis

^{2.} Primary axis

^{3.} Convergence angle





 $lpha_{c}
eq 0$ (ب) اسکنر لیزری، الف) زاویه همگرایی صفر (ب) \mathfrak{P}

با توجه به رزولوشن اسکنر، بازیابی عمق با دقت محدودی قابل استخراج میباشد. هر چه نقاط موجود در فضا به اسکنر و در واقع دوربین نزدیکتر باشد مقدار خطا کمتر و امکان بازیابی عمق با دقت بالاتر امکانپذیر است. بنابراین میتوان عمق یا مختصات نقاط موجود در فضا را در جهت محور نوری بر روی صفحات گسستهای رقمی کرد. بنابراین نقاطی که دارای فاصله ممانطور که در بخش مدل ریاضی توضیح داده خواهد شد، محل قرارگیری هر یک از این صفحات در راستای محور نوری رابطه غیرخطی و معکوس با موقعیت تصویر نقاط واقع در این صفحات، در مرجع مختصات تصویر دارد و هر چه از اسکنر دور شویم، فاصله این صفحات مدکور با خطوط موازی افقی نشان میشود. در شکل ۴ صفحات مذکور با خطوط موازی افقی نشان داده شده است.

مشاهده می شود که با حرکت نسبی بین سنسور و لنز در جهت نشان داده شده، صفحاتی که در فاصله کمتری نسبت به اسکنر واقع هستند، به یکدیگر نیز نزدیکتر می شوند. اگر نقطهای از فضا دقیقا بر روی یکی از این خطوط واقع شود مقدار عمق بدون خطای کوانتیزه کردن، بازیابی خواهد شد.



شکل ۴ اثر تغییر مکان نسبی بین سنسور و لنز روی میدان دید و دقت بازیابی مدل، الف) قبل از جابهجایی ب) بعد از جابهجایی سنسور

۳– مدل ریاضی استخراج عمق

شکل ۵ اسکنر مثلثبندی در صفحه x-z نشان داده شده است. مبدأ مختصات بین خط تابش لیزر و لنز دوربین و در وسط آنها در نظر گرفته شده است. s مقدار شیفت مرکز لنز نسبت به مرکز سنسور در راستای افق و قابل تغییر میباشد.

s در روابط، اگر جابهجایی سنسور به سمت راست باشد، s مثبت و در جهت برعکس منفی است. x مختصات تصویر نقطه P در صفحه تصویر و در امتداد محور x میباشد. بنابراین مقدار عمق نقطه P با استفاده از رابطه بین مساحت شکلهای A_1 و A_2 و مطابق رابطه (۲) تخمین زده می شود.



شکل ۵ اسکنر مثلثبندی در صفحهx-z و مختصات نقاط در تصویر

$$Z_{t} + \frac{\Delta Z_{t}}{2} = \frac{fh_{0}\tan(\alpha_{l})}{n_{t}\Delta D + S + L + \frac{(n_{t}\Delta D + S + L)\Delta D}{2(n_{t+1}\Delta D + S + L) + \Delta D}} \quad (f)$$

با مقایسه سمت راست دو رابطه (۲) و (۴) مقدار سیگنال ΔS_t مطابق رابطه (۵) محاسبه می شود. ΔS_t نشان دهنده جابهجایی سنسور جهت تغییرمکان صفحات جدید به وسط دو صفحه متوالی n_t می باشد.

$$\Delta S_t = \frac{(n_t \Delta D + S + L)\Delta D}{2(n_{t+1} \Delta D + S + L) + \Delta D} \tag{(a)}$$

۴– محاسبه مقدار نویز جهت بهبود دقت

در این قسمت هدف، محاسبه مقدار نویز یا همان جابهجایی نسبی بین سنسور و لنز دوربین جهت بهبود دقت اسکنر میباشد. با توجه به خطای حاصل از گردکردن نقاط در سنسور دوربین، اگر مختصات واقعی نقاط در صفحه تصویر (x) را به عنوان ورودی تابع رقمیکننده در دوربین و مقادیر کوانتیزه شده (x)، خروجی در نظر گرفته شود، بنابراین مقدار نرمال مختصات کوانتیزه شده نقاط نسبت به مقدار نرمال مختصات واقعی نقاط با توجه به اندازه هر پیکسل (ΔD) مطابق شکل ۶ تغییر خواهد کرد، [۱۳]. رفتار تابع پلهای شکل فوق را میتوان به صورت تعریف تحلیلی مطابق رابطه (۶) تبدیل نمود.

$$\begin{aligned} x_q &= \left| \frac{x + \frac{\Delta D}{2}}{\Delta D} \right| \times \Delta D \\ q_h(x) &= x_q - x = \frac{\Delta D}{2} - <\frac{x}{\Delta D} + 0.5 > \Delta D \quad (\pounds) \end{aligned}$$



شکل ۶ رفتار ورودی و خروجی تابع رقمی کننده سنسور (دوربین)

 A_2 مساحت مثلث A_1 مساحت ذوزنقه A_1 مساحت ذوزنقه $A_1 + A_2$ $\Rightarrow Z(n) = \frac{fB}{n\Delta D + S + L}$ $L = f \tan(\alpha_l)$ $B = h_0 \tan(\alpha_l)$ $n = \left[\frac{x}{\Delta D}\right] = x_Q$ (1)

 ΔD اندازه پیکسل دوربین CCD و نقش تعیین کننده ای در محاسبات مربوط به دقت سیستم اسکنر مثلث بندی خواهد داشت. با توجه به خطای کوانتیزه کردن، مختصات نقطه در صفحه تصویر براساس مرکز پیکسلی که در آن واقع شده است تخمین زده می شود که برابر با x_Q (برحسب پیکسل) خواهد بود. فاصله بین لیزر و لنز دوربین در راستای محور x با B نشان داده شده است. n یک عدد صحیح است که مربوط به یکی از صفحات موازی (خطوط افقی و موازی در شکل ۴) می باشد. مقدار عمق رابطه معکوس با n دارد. فاصله بین صفحات مذکور نشاندهنده خطای کوانتیزه کردن در فرآیند بازیابی عمق و تابعی غیر خطی از n می باشد. در این رابطه [.] نشاندهنده تابعی غیر خطی از n می باشد. در این رابطه [.]

با اعمال نویز به سیگنال ورودی هر سیستم، قبل از فرایند کوانتیزه کردن، خروجی آن سیستم با تغییرات هموارتری در خواص آماری بهدست خواهد آمد[۱۲]. در اسکنر به روش مثلثبندی تابع رقمیکننده دوربین و سیگنالی که رقمی میشود همان نقاط تصویر شده در صفحه سنسور (x) میباشد. با توجه به شکل ۵ امکان جابهجایی صفحات موازی با ایجاد حرکت نسبی بین سنسور و لنز وجود دارد.

به عنوان مثال برای محاسبه اینکه صفحات موازی جدید، بین هر دوصفحه قبلی ایجاد شود، ابتدا با به کارگیری رابطه (۲) فاصله بین دو صفحه متوالی n_i و n_{i+1} مطابق رابطه (۳) استخراج می شود.

$$\Delta Z_t = |Z_{t+1} - Z_t|$$

=
$$\frac{h_0 \tan(\alpha_l) f \Delta D}{[n_t \Delta D + S + L][n_{t+1} \Delta D + S + L]}$$
(7)

اگر تمام صفحات به اندازه $\frac{\Delta Z_t}{2}$ نسبت به موقعیت خود جابهجا شوند سپس صفحاتی جدیدی خواهیم داشت که بین هر دو صفحه متوالی قبلی ایجاد شده است. بنابراین مقدار عمق صفحات جدید مطابق رابطه (۴) محاسبه شود.

٨٣

نماد <۰> و [.] به ترتیب نشاندهنده قسمت اعشاری و قسمت صحیح عدد داخل آنها میباشد. تابع دندانه ارهای شکل مربوط به رابطه (۶) را میتوان با استفاده از سری فوریه به صورت رابطه (۷) تبدیل نمود.

$$q_h(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\Delta D}{\pi k} (-1)^k \sin\left(2\pi k \frac{x}{\Delta D}\right) \tag{Y}$$

در شکل ۷ مقدار تابع q_h در یک دوره تناوب نشان داده شده است. مشاهده می شود که مقدار خطای کوانتیزه کردن در بازه $\frac{\Delta D}{2}$ تغییر می کند. در این رابطه از دوربین به کار گرفته شده در بخش آزمایش تجربی با اندازه پیکسل \mathcal{R} رفته شده در بخش آزمایش تجربی با اندازه یکسل

با استفاده از رابطه (۸) تابع توزیع احتمال (PDF) برای تابع خطای کوانتیزهشدن قابل محاسبه میباشد.

$$P(q_h) = \frac{1}{\Delta D} - \frac{\Delta D}{2} \le q_h \le \frac{\Delta D}{2} \tag{(A)}$$

با فاصله گرفتن از دوربین فاصله بین صفحات موازی n_{t+1} و n_t و n_{t+1} موازی n_t و n_t مطابق رابطه (۹) قابل استخراج میباشد.

$$q_{z_t} = \frac{fh_0 \tan(\alpha_l)}{n_t n_{t+1} \Delta D}$$
(9)

دو راه برای اعمال نویز به نقاط در صفحه تصویر قبل از رقمی کردن وجود دارد. اول تغییرمکان جسم در جهت محور x و دیگری تغییر موقعیت نسبی بین لنز و سنسور میباشد. مقدار میانگین خطای حاصل از رقمی کردن برای تغییر مکانهای s در جهت محور x مطابق رابطه (۱۰) محاسبه می شود.



شکل ۷ مقدار عدم قطعیت در گردکردن نقاط در یک دوره تناوب

$$\bar{q}_h = E(q_h(x+s))$$

= $\int_{-\infty}^{+\infty} q_h(x+s)P(s)ds$ (1.)

امید ریاضی و مقدار میانگین تابعی از متغیر رندوم را $E(\cdot)$ محاسبه میکند. P(s) مقدار تابع توزیع احتمال برای نویز گسسته s میباشد که مطابق رابطه (۱۱) محاسبه می شود.

$$P(s) = \frac{1}{M} \sum_{k \in K} \delta\left(s - \frac{k}{M} \Delta D\right) , M \ge 2$$

$$\begin{cases}
K = \left[\frac{-M}{2}, \dots, -1, 1, \dots, \frac{M}{2}\right] & M = z_{2}; \\
K = \left[\frac{-(M-1)}{2}, \dots, 0, \dots, \frac{(M-1)}{2}\right] & M = z_{2};
\end{cases}$$
(11)

در این رابطه (۰) δ تابع دلتای دیراک میباشد. در مقاله حاضر از دو تصویر برای استخراج تصویر استفاده خواهد شد بنابراین در رابطه فوق M=T درنظر گرفته میشود و مقدار تابع توزیع احتمال برای نویز مورد نظر با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه میشود.

$$P(s) = \frac{1}{2} \left[\delta \left(s + \frac{\Delta D}{2} \right) + \delta \left(s - \frac{\Delta D}{2} \right) \right]$$
(17)
با جایگذاری روابط (۲) و (۱۲) در رابطه (۱۰)، مقدار

ب جیمناری روابط (۱۰) و (۱۰) در رابطه (۱۰) محاسبه میانگین خطای رقمی کردن با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه میشود[۱۳].

$$\bar{q}_{h}(q_{h},s) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\Delta D(-1)^{k+1}}{\pi k} \cos\left(\pi \frac{k}{\Delta D}s\right) \\ \times \sin\left(2\pi \frac{k}{\Delta D}q_{h}\right)$$
(17)

در شکل ۸ مقدار \overline{q}_h نسبت به تغییرات q_h برای چندین حالت اعمال نویز (s) نشان داده شده است. در محاسبات فوق نیز، از دوربین با اندازه پیکسل مشابه در قسمت قبل استفاده شده است. با توجه به شکل مشاهده می شود که با اعمال نویز به اندازه $\Delta \Delta$ ۵/۰ میانگین خطای کوانتیزه کردن دارای حداقل دامنه $\Delta \Delta \Delta$ ۵/۰ و مقدار آن در بازه $\Delta \Delta D$ ۰/۰± تغییر می کند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با اعمال نویز مقدار دامنه و اندازه خطای کوانتیزه کردن به نصف حالت قبل از اعمال نویز کاهش پیدا کرده و مقدار دقت اندازه گیری دو برابر می شود.

بنابراین با توجه به نتایج این بخش، برای بهبود دقت به اندازه دو برابر لازم است از جسم مورد نظر دو تصویر با موقعیت نسبی لنز و سنسور متفاوت به اندازه ΔD ۰/۵ گرفته و از میانگین عمق بهدست آمده از دو تصویر استفاده شود.



 q_h مقدار میانگین خطای کوانتیزه کردننسبت به تغییرات h

۵- شبیهسازی الگوریتم اعمال نویز

در این بخش نتایج تئوری بر روی یک سیستم اسکنر مثلثبندی شبیهسازی شده است. مدلسازی شماتیک اجزاء سختافزاری در شکل ۹ نشان داده شده است. با استفاده از نرمافزار کتیا^۱ و مطلب^۲ الگوریتم اعمال نویز بر روی یک قطعه دلخواه و بدون نقشه قبلی مطابق شکل ۱۰ شبیهسازی شده است. شایان ذکر است که این قطعه در نرمافزار کتیا مدلسازی شده است و ابعاد واقعی آن با دستورات موجود در این نرمافزار قابل بازیابی خواهد بود. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده میشود از برخورد صفحات تابش لیزر با قطعهکار، خطوطی ایجاد میشود که هدف از اسکنر لیزری استخراج این خطوط و زاویه لیزر و یا تغییر زاویه بین صفحات تابش شده امکان تغییر زاویه لیزر و یا تغییر زاویه بین صفحات تابش مده امکان تغییر میباشد. در این شبیهسازی بازیابی مدل و تحلیل دقت بر روی میباشد. در این شبیهسازی بازیابی مدل و تحلیل دقت بر روی

ابتدا با تعیین زاویه لیزر به اندازه ۳۵ درجه نسبت به افق و مقدار زاویه یک درجه بین صفحات الگوی تابش مدلسازی در کتیا انجام میشود و از بین چندین سطح مقطع بهدست آمده جهت تسریع در شبیهسازی، چهار مقطع از آن انتخاب میشود. سپس از هر منحنی ایجاد شده روی جسم مطابق شکل ۱۰ مختصات سهبعدی دقیق ۶ نقطه از آن توسط دستورات موجود در این نرم افزار استخراج می گردد.

با مدلسازی صفحه کالیبراسیون در نرمافزار مطلب پارامترهای کالیبراسیون شامل پارامترهای درونی و بیرونی استخراج میشود[۱۴]. در ابتدا پارامترهای کالیبراسیون (در بخش کالیبراسیون مربوطه مفصلتر توضیح داده خواهد شد) به عنوان ورودی به نرمافزار معرفی میشود. سپس با در نظر گرفتن صفحه کالیبراسیون مدلشده در مکانهای مختلف عملیات صفحه کالیبراسیون مدلشده در مکانهای مختلف عملیات مقده، برای انجام و از دادههای کالیبراسیون جدید بهدست آمده، برای انجام محاسبات استفاده میشود. در جدول ۱ مقادیر ورودی به نرمافزار برای پارامترهای درونی و همچنین پارامترهای بیرونی مربوط به دوربین و صفحه کالیبراسیون واقع در زیر جسم و مقادیر بهدست آمده بعد از انجام کالیبراسیون نشان داده شده است.

بعد از انجام کالیبراسیون، با استفاده از نرمافزار کتیا، نقاط انتخاب شده مطابق شکل ۱۰ روی صفحه کالیبراسیون واقع در زیر آن تصویر میشود (خط چین موجود در شکل).



شکل ۹ مدلسازی اجزا سختافزاری در کتیا



شکل ۱۰ مقاطع مورد نظر از جسم جهت بازیابی مدل

Catia
 Matlab



شکل ۱۲ تحلیل خطا مربوط به مقطع شماره ۱



شکل ۱۳ تحلیل خطا مربوط به مقطع شماره ۲



شکل ۱۴ تحلیل خطا مربوط به مقطع شماره ۳



مهندسی مکانیک مدرس اردیبهشت ۱۳۹۲، دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۲

بهبود دقت اسکنر لیزری با کالیبراسیون همزمان لیزر ...

جدول ۱ پارامترهای کالیبراسیون قبل و بعد از شبیهسازی

درصد	مقدار وردى	مقدار بعد از	- 11
خطا	نرم افزار	كاليبراسيون	پارامىر
•/779	۲۵mm	۲۵/•۶۹ mm	فاصله كانونى
1/15	** ** / * (H)	** VV(H)	موقعيت مركز لنز
1///1	(۱۱) ۱۸۱۱ افعنی	(((1))	نسبت به صفحه تصوير
۳/۴۷	۲۸۸(V) عمودی	YYA(V)	
			برحسب پيڭسل
۵/۴	$Tx=1 \cdot \cdot mm$	$Tx = \mathfrak{PF}/\mathfrak{Pmm}$	
۲/۵	$Ty = \lambda \cdot mm$	<i>Ty</i> =Y∧mm	موقعيت دوربين نسبت
•/4٣	$T_z = 1 \Delta \cdot \cdot mm$	$T_{Z}=\Lambda \Delta \cdot \mathcal{P}/\Delta mm$	به صفحه كاليبراسيون
۱/۶	$Rx = \cdot \deg$	$Rx=\cdot/\cdot \wedge \Delta \Delta \deg$	زير جسم
•/۵V	$Ry = \cdot \deg$	$Ry=\cdot/\cdot\cdot \Delta \forall \deg$	انتقال=T و دوران=R
٠/٨۴	$Rz = \cdot \deg$	$Rz=\cdot/\cdot\cdot\lambda$ f \ deg	

مطابق شکل ۱۱ از صفحه کالیبراسیون همراه با نقاط تصویر شده در آن تصاویر جدید گرفته و با استفاده از پارامترهای کالیبراسیون استخراج شده مطابق جدول ۱ موقعیت نقاط در فضای سهبعدی با استفاده از الگوریتم مثلثبندی ذکرشده، استخراج میشود. در مرحله بعد عملیات فوق با تغییر مرکز لنز به اندازه ۵/۰ پیکسل در راستای افق دوباره تکرار میشود.

•							٠
	•	•	•	٠	•	·	
	٠	•	•	•	•	•	
•	•	•	•	•	•		•
•	•	•	•	•	•	•	٠

شکل ۱۱ نقاط میانی: نقاط روی سطح جسم تصویر شده در صفحه کالیبراسیون، نقاط کناری: نقاط واقع بر روی خطوط روی صفحه جهت انجام الگوریتم مثلثبندی

۶- نتایج شبیهسازی

در شکل ۱۲ تا ۱۵ درصد خطای نقاط قبل و بعد از اعمال نویز نشان داده شده است. مشاهده می شود که در اکثر موارد دقت بازیابی عمق بعد از اعمال نویز تقریبا ۲ برابر بهبود پیدا کرده است. درصد خطا با استفاده از رابطه (۱۴) استخراج شده است. = در صدطا

۷- پیادهسازی اسکنر مثلث بندی لیزری در این قسمت مراحل آماده سازی یک سیستم آزمایشگاهی جهت انجام آزمایش تجربی و بررسی صحت نتایج تئوری و شبیه سازی، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در شکل ۱۶ اجزای سخت افزاری مشابه با اسکنر استفاده شده در قسمت اجزای سنت افزاری مشابه با اسکنر استفاده شده در قسمت اسکنر مورد نظر ابعاد یک موس کامپیوتری مطابق شکل ۱۷ استخراج می شود.

در این قسمت به بررسی اجزای اصلی سختافزار استفاده شده در اسکنر شامل دوربین و لیزر پرداخته شده است.

۷-۱- دوربين

جهت اعمال نویز، می ایست سنسور دوربین مورد استفاده نسبت به لنز حرکت افقی داشته باشد که با جداسازی اجزای دوربین (سنسور و لنز)، که معمولا به بدنه متصل هستند، دوربین مورد نظر ساخته می شود.



شکل ۱۶ اجزای سختافزاری اسکنر لیزری



شکل ۱۷ قطعه کار مورد استفاده و ترتیب شماره گذاری خطوط

برای کنترل حرکت سنسور، نیاز است که بدنه دوربین به یک وسیله متحرک مکانیکی با قابلیت کنترل جابهجایی در حد میکرومتر متصل شود که در اینجا از یک موتور DC استفاده شده است. همچنین نیاز است که از یک تکیهگاه برای نزدیک نگاه داشتن لنز نسبت به دوربین استفاده گردد که این تکیهگاه نیز میبایست به ابزار متحرک مکانیکی متصل باشد. شکل ۱۸ اجزای اصلی نمونه اولیه دوربین مورد نظر را نشان میدهد.

در این مقاله از دوربین سونی مدل XC-555p با ارایه سنسور CCD استفاده شده است که یک دوربین ویدیویی رنگی با سنسور ۱/۲ اینچ و اندازه (۷۵(۳)×(۲)×۲۲ میلیمتر مکعب و عکسهای گرفته شده توسط آن دارای رزلوشن ۷۶/۹(K)×(۲)×۷۹ میباشد. موتور متحرک خطی مدل PI M-125.10 دارای حداکثر جابهجایی ۲۵ میلیمتر با رزولوشن ۰/۰۶ میکرومتر میباشد. در نمونه اولیه دوربین از لنز تامرون مدل 23FM25SP استفاده شده است. این لنز از نوع —mount

۷-۲- لیزر

در این پروژه از یک لیزر دیود با الگوی تابش خطوط موازی با شدت روشنایی غیرگوسی استفاده شده است. لیزر دیود مورد استفاده در این پروژه، که از مدل LASNF519L0776351030 و کلاس انتخاب شده است، در شکل ۱۹ نشان داده شده است. این دیود نوری دارای زاویه لنز^۱۰۳ درجه، طول موج nm ۶۳۵ و کلاس ایمنی آن از نوع لیزر دیود II میباشد. الگوی تابش شامل ۱۹ خط موازی و زاویه بین خطوط ۷۷/۰ درجه میباشد. طول لیزر مذکور ۶۹/۳۴ میلیمتر و قطر آن ۱۸/۶۴میلیمتر است و در فاصله کاری ۱ متر دارای خط اثری با طول m ۵/۵۴ میباشد.



شکل ۱۸ اجزای دوربین جهت اعمال نویز

^{1.} Fan Angle



شکل ۱۹ منبع نور لیزری با لنز استوانهای

۸- کالیبراسیون

مهمترین بخش، قبل از بازیابی مدل با استفاده از روشهای اپتیکی عملیات کالیبراسیون میباشد. با انجام این مرحله امکان تبدیل مختصات جسم از واحد تصویر (پیکسل) به واحد متریک مورد نظر، امکانپذیر میباشد. کالیبراسیون شامل تشخیص و معرفی موقعیت مکانی دوربین و همچنین لیزر به سیستم و برقراری ارتباط بین آنها میباشد که در ادامه به شرح نحوه این فرایند پرداخته خواهد شد.

۸–۱– کالیبراسیون دوربین

یکی از متداولترین روشهای کالیبراسیون، استفاده از صفحه شطرنجی مطابق شکل ۲۰ و برقراری ارتباط بین نقاط واقع در آن و نقاط متناظرشان در تصویر میباشد. با استفاده از ماتریس دوران R_c و ماتریس انتقال T_c نقاط واقع در صفحه شطرنجی از مرجع مختصات واقع در آن به مرجع مختصات دوربین انتقال مییابد، رابطه (۱۵).



شکل ۲۰ تبدیلات پرسپکتیو در فرایند کالیبراسیون

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R_c \times \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} + T_c \Rightarrow x_n = \begin{bmatrix} x_c \\ \overline{z_c} \\ \overline{y_c} \\ \overline{z_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$
(1 Δ)

 x_n مختصات نرمال نقاط در مرجع دوربین می باشد. یکی از مهمترین منابع خطا در حین فرایند کالیبراسیون، اعوجاج لنز میباشد که باعث بروز خطای شعاعی و مماسی در حین انتقال نقاط از مرجع مختصات صفحه کالیبراسیون به صفحه تصویر میشود. در خطای شعاعی با توجه به کاهش دقت ساخت لبههای لنز نسبت به مرکز آن، نقاط تصویر در راستای شعاع لبههای لنز نسبت به مرکز آن، نقاط تصویر). از سوی دیگر به لنز جابهجا خواهند شد (کشیدگی تصویر). از سوی دیگر به دلیل قرار نگرفتن محور اپتیکی دو طرف لنز در یک راستا، خطای مماسی در حین ثبت نقاط تصویر بروز خواهد داد. در این مقاله از روش ترکیبی هیکیلا و فاگراس برای کالیبراسیون این مقاله از روش ترکیبی هیکیلا و فاگراس برای کالیبراسیون مرابطاده شده است که ماتریس مربوط به خطای لنز، kc. شامل استفاده شده است که ماتریس مربوط به خطای لنز، kc. شامل شداد این با استفاده از رابطه (۱۶) مقدار مختصات نرمال تصحیح شده نقاط، x_d قابل محاسبه میباشد.

$$\begin{aligned} x_d &= \begin{bmatrix} x_d(1) \\ x_d(2) \end{bmatrix} = (1 + kc(1)r^2 + kc(2)r^4 \\ &+ kc(5)r^6)x_n + dx \\ dx &= \begin{bmatrix} 2kc(3)xy + kc(4)(r^2 + 2x^2) \\ kc(3)(r^2 + 2y^2) + 2kc(4)xy \end{bmatrix} \\ r^2 &= x^2 + y^2 \end{aligned} \tag{19}$$

نقاط طبق رابطه (۱۷) از مرجع دوربین به مرجع مختصات تصویر (*u,v*) انتقال می یابد.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = KK \begin{bmatrix} x_d(1) \\ x_d(2) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$KK = \begin{bmatrix} fc(1) & \theta \times fc(1) & u_o \\ 0 & fc(2) & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
(1Y)

در رابطه فوق fc(1) و fc(2) مقدار فاصله کانونی در راستای افقی و عمودی است. فاصله کانونی برای سنسورهایی که پیکسلهای آنها مربعی شکل نباشند دارای مقدار جزئی اختلاف در دو راستا میباشند. در این رابطه u_0 و v مرکز مختصات صفحه تصویر با توجه به موقعیت نسبی لنز و سنسور دوربین میباشد. با توجه به شکل ۲۱، محورهای مختصات صفحه سنسور به دلیل خطای ساخت آن همیشه متعامد نیست و به اندازه θ نسبت به حالت قائمه اختلاف دارند.





شكل ۲۲ خطاى كاليبراسيون براى نقاط صفحات كاليبراسيون

۸-۲- کالیبراسیون لیزر

هدف از کالیبراسیون لیزر یافتن موقعیت زاویهای آن برای محاسبه عمق با استفاده از الگوریتم مثلثبندی میباشد. با توجه به شکل ۱۶ جهت بازیابی مدل بهجای یک صفحه کالیبراسیون از دو صفحه کالیبراسیون استفاده شده است که از برخورد صفحه تابش لیزر با هر صفحه کالیبراسیون، یک خط ایجاد میشود بنابراین با استفاده از هندسه صفحهای که از این دو خط خواهد گذشت امکان تعیین زاویه تابش لیزر امکانپذیر خواهد شد. با توجه به نتایج قسمت قبل و اینکه ماکزیمم خواهد شد. با توجه به نتایج قسمت قبل و اینکه ماکزیمم نظای کالیبراسیون برای نقاط واقع بر روی صفحه کالیبراسیون پیکسل میباشد، بنابراین استخراج خطوط روی صفحه کالیبراسیون و سپس بازیابی صفحه تابش لیزر نیز با دقت بسیار خوبی امکانپذیر میباشد.

۹- پردازش تصویر و بازیابی مدل

ابتدا باید تصاویر گرفته شده از نظر رنگ و لبه بهبوددهی و موارد اضافی مثل نویز زمینه که حاصل شرایط نورپردازی است،



شکل ۲۱ تبدیلات پرسپکتیو در صفحه تصویر

برای استخراج پارامترهای کالیبراسیون، با استفاده از رابطه (۱۵) و (۱۷) ابتدا انتقال خطی از مرجع مختصات جسم به مرجع مختصات تصویر در نظر گرفته می شود، رابطه (۱۸).

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = KK \times R_{c} \begin{bmatrix} I_{3} \vdots -T_{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{o} \\ y_{o} \\ z_{o} \\ 1 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} u_{i} \\ v_{i} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{o i} \\ y_{o i} \\ z_{o i} \\ 1 \end{bmatrix}$$
(1A)

با استفاده از نقاط صفحه کالیبراسیون و تصاویر آنها در رابطه فوق دارایههای ماتریس p قابل استخراج میباشد. در مرحله بعد با برقراری رابطه میان ماتریس q و ترکیب ماتریس مرحله بعد با برقراری رابطه میان ماتریس g و ترکیب ماتریس پارامترهای درونی $[R_c T_c]$ مقدار پارامترهای کالیبراسیون استخراج خواهد شد. در نهایت پس از محاسبه می کالیبراسیون استخراج خواهد شد. در نهایت پس از محاسبه می باشد. با مقایسه مختصات نقاط محاسبه شده از تصویر و با محاسبه می باشد. از می رابطه ((u_i, v_i)) با مقادیر واقعی $((v_i, V_i))$ استخراج شده از تصویر و با استفاده از کمینه کردن حداقل مربعات خطای رابطه (۱۹)

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{N} (U_i - u_i)^2 + \sum_{i=1}^{N} (V_i - v_i)^2$$
(19)

بنابراین محاسبه مجموع ۱۱ پارامتر کالیبراسیون با استفاده از حداقل ۶ نقطه (دو معادله برای راستای x و y) امکانپذیر میباشد؛ ولی برای استخراج این پارامترها با دقت قابل قبول، لازم است از نقاط بیشتری استفاده نمود و مقدار نهایی با بهینه سازی این روابط محاسبه خواهد شد. بنابراین با توجه به صفحه کالیبراسیون انتخاب شده از ۴۸ نقطه موجود در آن استفاده شده است. در نهایت با جابهجا کردن صفحه کالیبراسیون در ۳۰ موقعیت مختلف، محدوده فضایی که قرار است در آن اندازه گیری

حذف شود. به این منظور از نرمافزار پردازش تصویر شرکت NI' استفاده شده است. در شکل ۲۳ عکس اولیه قبل از انجام هر گونه پردازشی نشان داده شده است. پس از انجام تکنیکهای بهبوددهی تصویر خروجی از این مرحله به صورت باینری تبدیل شده و به عنوان ورودی به بخش محاسبات فرستاده میشود. تصاویر در محیط تاریک گرفته شده است تا استخراج خطوط لیزر با دقت بیشتر و نویز کمتر امکان پذیر باشد.

با اعمال فیلتر مناسب هموارسازی و لبهیابی، تصویر برای عملیات بعدی بهبود و آماده می شود. در نهایت برای ارسال تصویر به بخش محاسبات و استخراج پروفیل جسم باید تصویر باینری و نوار نوری لیزر با توجه به اختلاف در سطح خاکستری آن از بقیه تصویر جدا گردد. شکل ۲۴ تصویر نهایی پس از اتمام مراحل پردازش را نشان میدهد. در روش مثلثبندی با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضخامت یا عمق جسم با استفاده از زاویه تابش لیزر محاسبه می شود، که معمولا زاویه با استفاده از وسایل مکانیکی اندازه گیری و در نهایت مقدار عمق با خطا همراه خواهد بود. در این پروژه برای بهدست آوردن عمق با دقت بالاتر، مقدار ضخامت، از برخورد صفحه تابش با نقاط استخراج شده در تصویر بهدست میآید. در شکل ۲۵ مراحل کار برای نقطه P واقع بر روی خط شماره ۱۴ نشان داده شده است. نقاط A و B بر روی خط حاصل از برخورد صفحه تابش ليزر با صفحه كاليبراسيون اول و نقطه C روى خط ايجاد شده از تداخل با صفحه كاليبراسيون دوم مى باشد. بنابراين صفحهاى که از این سه نقطه می گذرد، همان صفحه تابش لیزر است.

صفحه ای که از سه نقطه A و B و C می گذرد، با استفاده از رابطه (۲۰) قابل محاسبه می باشد.

		and the state
Sugar Contraction and Market Mark	······································	e alle personne a
	and intercontents, and an	
	and the second s	
	and a series of the series of	
	Service and a service and	
	PRANTING AND	and the increases
	reconnection and the second design of the second de	
	menere and a second	
****	providence and a second s	NUCOSCIENCIAL
	servers sear and the servers and t	
	minerane and the second s	
www.comecheckee.com	provide and a second se	*******
No. and an and a second second		Distantinistry party
		P.64912100010040
un en		
encourse and		

onioitajaistainenan		
rowneneeroone		
100000000000000000000000000000000000000		

شکل ۲۳ تصویر اولیه قبل از پردازش تصویر



شکل ۲۴ تصویر نهایی پس از اعمال پردازش تصویر



شکل ۲۵ استخراج عمق نقطه P

$$\begin{split} N_x x + N_y y + N_z Z - N_x A_x - N_y A_y - N_z A_z &= 0\\ N &= \left(\overrightarrow{BA} \times \overrightarrow{CA}\right) = \left(N_x , N_y , N_z \right) \end{split} \tag{7.}$$

مطابق شکل ۲۵ خط *OP* عبوری از نقطه واقع بر روی صفحه کالیبراسیون و مرجع تصویربرداری توسط رابطه (۲۱) *ABC* محاسبه میشود. از برخورد خط *OP* و صفحه تابش *ABC* مختصات نقطه متناظر بر روی تصویر *P* در فضای سهبعدی '*P* استخراج خواهد شد.

$$\frac{x - O_x}{(P_x - O_x)} = \frac{y - O_y}{(P_y - O_y)} = \frac{z - O_z}{(P_z - O_z)}$$
(71)

برای جابهجایی سنسور به اندازه ΔΔ/۵ و با توجه به رزلوشن موتور که برابر با ۰/۰۶ میکرومتر میباشد، نیاز به ۷۰ پالس موتور میباشد که همراه با خطای انتقال ۰/۰۳ میکرون است. این خطا تنها ۰/۳۲ درصد از طول پیکسل میباشد که در نتیجه میتواند نادیده گرفته شود.

¹⁻ National Instruments vision v8.2.1

بعد از استخراج مختصات سه بعدی نقاط روی هر کدام از ۱۴ خط، با توجه به هموار نبودن نقاط، با استفاده از منحنی بیاسپیلاین یک منحنی مناسب از آنها عبور داده میشود و یک پروفیل (مقطع) در فضای سه بعدی استخراج می شود. بعد از انجام این فرایند برای تمام خطوط و ایجاد پروفیل های مربوط به آنها، با استفاده از نرمافزار اتوکد شکل سه بعدی از جسم استخراج می شود. یک منحنی بی اسپیلاین درجه p به شکل پارامتری مطابق رابطه (۲۲) تعریف می شود.

$$C(u) = \sum_{i=0}^{n} N_{i,p}(u) P_{i}$$
 (17)

در رابطه(۲۲)، P_i نقاط کنترل و $N_{i,p}(u)$ تابع پایه منحنی بی اسپیلاین است و به صورت رابطه (۲۳) تعریف می شود. $N_{i,0} = \begin{cases} 1 & u_i \le u < u_{i+1} \\ 0 & \text{ с. غیر این صورت } \end{cases}$ $N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u)$ (۲۳)

در شکل ۲۶ منحنی بیاسپیلاین درجه سه گذرنده از نقاط استخراج شده از خط شماره ۵ را نشان میدهد. مشاهده میشود که منحنی همواری از این نقاط عبور کرده است.



شکل ۲۶ نقاط واقع بر روی خط شماره ۵ و منحنی عبوری از آن

۱۰- نتایج تجربی

جهت استخراج مختصات واقعی جسم از دستگاه اندازه گیری مختصات موجود در دانشگاه BTH مدل-Tesa 3D Micro 343 با دقت ۰/۰۰۱ میلیمتر استفاده شده است. با توجه به زاویهدار بودن صفحات تابش لیزر مطابق شکل ۲۷ (الف) هر کدام از خطوط لیزر ایجاد شده روی جسم در یک صفحه مایل

مهندسی مکانیک مدرس اردیبهست ۱۳۹۲، دورهٔ ۱۳ شمارهٔ ۲

نسبت به راستای عمود بر جسم قرار می گیرند. بنابراین مطابق شکل ۲۷-(ب) جسم مورد نظر بر روی یک صفحه مسطح قرار می گیرد. موقعیت زاویهای این صفحه باید به گونهای تنظیم گردد تا با صفر کردن درجه آزادی دستگاه اندازه گیری در موقعیتهای مناسب y و حرکت بازو در راستای x، پراب دستگاه قادر به حرکت بر روی ۱۴ خط باشد.

در شکل ۲۸ درصد خطای ابعاد استخراج شده از اسکنر لیزری در ۱۴ خط مورد نظر نسبت به ابعاد مستخرج از دستگاه CMM قبل و بعد از اعمالنویز مشاهده می شود.



شکل ۲۷ الف) موقیت خطوط تابیده شده بر جسم، ب) استخراج عمق نقطه با استفاده از CMM



شکل ۲۸ تحلیل خطای استخراج ابعاد موس در طول ۱۴ خط

پس از استخراج پروفیل تمام خطوط، و عبور منحنی مناسب از نقاط در نهایت مدل سهبعدی از قطعه مورد نظر مطابق شکل ۲۹ با استفاده از دستورات نرمافزار مدلسازی اتوکد استخراج شده است. *Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 2009, pp. 168-172.

- [5] Volpel B., Theimer W. M., "Localization Uncertainty in Area-Based Stereo Algorithms", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 25, issue 12, 1995, pp. 1628-1634.
- [6] Junior A., *The Role of Vergence Micromovements* on Depth Perception, Philadelphia, University of Pennsylvania, Technical Report, 1991.
- [7] Chen T., Catrysse P., Gamal A. and Wandell B., "How Small Should Pixel Size Be?", *Proceedings* of SPIE Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial and Digital Photography Applications, Vol. 3965, 2000, pp. 451-459.
- [8] Alasseur C., Constantinides A. and Husson L., "Colour Quantisation Through Dithering Techniques", *IEEE International Conference on Image Processing*, 2003, pp. I-469-72.
- [9] Khalili K., Razavi S. A., Karimzadgan D., "High Resolution Measurements using a Low Resolution System", *Measurement Science Review*, Vol. 5, 2005, pp. 56-59.
- [10] Yu K., Park N., Lee D. and Solgaard O., "Superresolution Digital Image Enhancement by Subpixel Image Translation with a Scanning Micromirror", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 13, Issue. 2, 2007, pp. 304-311.
- [11] Ritz M., Scholz M., Goesele M., Stork A., "High Resolution Acquisition of Detailed Surfaces with Lens-Shifted Structured Light", *The 11th International Symposium on Virtual Reality*, *Archaeology and Cultural Heritage VAST*, *Paris* 2010, pp. 1-8.
- [12] Chen J., Khatibi S., Kulesza W., "Depth Reconstruction Uncertainty Analysis and Improvement – The Dithering Approach", *Elsevier Image and Vision Computing*, Vol. 28, Issue. 9, 2010, pp. 1377-1385.
- [13] Carbone P., Petri D., "Effect of Additive Dither on the Resolution of Ideal Quantizers", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 43, 1994, pp. 389-396.
- [14] Metro Vision Lab Toolbox for Camera Calibration and Simulation, http://metrovisionlab.unizar.es/
- [15] CameraCalibrationToolbox, www.mathworks.com



شکل ۲۹ مدل سهبعدی بازیابی شده از قطعهکار

۱۱- نتیجهگیری

مشاهده می شود که با الگوریتم اعمال نویز و صرف زمان بسیار کوتاه، با گرفتن فقط دو تصویر از جسم، علاوه بر افزایش دقت، عملیات کالیبراسیون لیزر همزمان با استخراج مدل سهبعدی جسم نیز امکان پذیر می باشد. با توجه به این موضوع که در این پروژه کالیبراسیون لیزر همزمان با بازیابی مدل انجام گرفته است، بنابراین الگوریتم اعمال نویز بر روی فرایند کالیبراسیون لیزر نیز اعمال شده و باعث بهبود دقت در استخراج زاویه تابش لیزر می شود.

۱۲- مراجع

- Khalili K., Emam S. M., "3D Model Reconstruction of Web Production with Image Processing Technique", *Sharif journal*, 2011 Reference No. 40\354\8988.
- [2] Zolfaghari H., Khalili K., "On-Line 3D Geometric Model Reconstruction", *International Conference* of Computational Science ICCS, Kraków, Poland, 2008, pp. 146-152.
- [3] Khalili K., Nazemsadat S. M., "Improved Accuracy of On-Line Tire Profile Measurement Using a Novel On-Line Calibration", *The Seventh IASTED International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing*, Palma de Mallorca, Spain, 2007, pp. 59-63.
- [4] Hu Z., Guan Q., Liu S. and Chen S. Y., "Robust 3D Shape Reconstruction from a Single Image Based on Color Structured Light", *International*