

پیاده سازی و ارزیابی روش پیشنهادی در بازسازی دقیق سه بعدی سطوح بدون بافت

محمد پاشائی^۱، محمد سعادت سرشت^۲

چکیده:

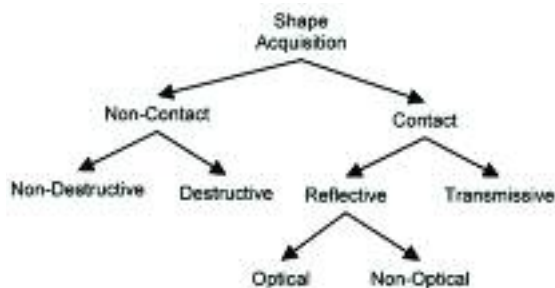
سیستم های اتوماتیک تهیه داده های سه بعدی امکان مدل سازی دقیق هندسی از اجسام را به روش های گوناگون فراهم می سازند. در این مقاله به منظور اندازه گیری سطوح اجسام بدون بافت در فتوگرامتری برد کوتاه یک سیستم استرئو-اتوماتیک با الهام از مفاهیم نور ساخت یافته کددار و روش فتوگرامتری جهت استخراج داده های سه بعدی از سطح اشیاء پیشنهاد می گردد. فرایند تناظریابی ما بین نقاط تصویر به کمک قید هندسی اپی پولار و قید یکسان بودن عدد کد با دقت بالا انجام می گیرد. در نهایت با مثلث بندی اطلاعات مربوط به عمق استخراج می گردد. نتایج آزمون ها مبین قابلیت بالای روش پیشنهادی در استخراج سطوح با دقت بالا تا ۱۵۰ میکرون از اجسام بدون بافت می باشد.

کلمات کلیدی: بازسازی سه بعدی، نور ساخت یافته کددار، فتوگرامتری برد کوتاه، هندسه اپی پولار

شکل ۱ - طبقه بندی روش های تهیه داده های سه بعدی از سطح

۱- مقدمه

شیء (۱)



با توجه به اینکه در بسیاری از کاربردها امکان تماس مستقیم با جسم وجود نداشته و در هر گونه جابجایی جسم و یا نصب تارگت بر سطوح آن محدودیت وجود دارد، روش های مبتنی بر عدم نیاز به تماس با جسم در عمل از کاربرد بیشتری برخوردار می باشند. از آن جایی که این روش ها بیش تر از نور و یا لیزر برای مدل سازی سه بعدی اجسام استفاده می کنند، به روش های نوری معروف هستند، این روش ها به دو گروه روش های فعال و غیر فعال تقسیم می شوند، شکل (۲) (۱).

امروزه یکی از مهم ترین اهداف در فتوگرامتری و بینایی کامپیوتر تهیه داده های سه بعدی از سطوح اجسام و مدل سازی سه بعدی آنها می باشد، که کاربردهای مختلف آن از جمله در مهندسی معکوس (۵)، کنترل کیفیت کارخانجات صنعتی (۶)، هدایت ربات ها، میراث فرهنگی و ابنیه تاریخی (۵)، بازسازی صورت انسان برای کاربردهای انیمیشن، سبب انجام تحقیقات گسترده ای در این زمینه شده است. در این راستا تکنیک ها و روش های مختلفی برای استخراج و تهیه داده های سه بعدی از سطح اشیاء ارائه گردیده است. در انتخاب نوع روش اندازه گیری، عواملی نظیر دقت مورد نیاز، خصوصیات محیط کاری، جنس شیء، بافت و رنگ سطح شیء، ثابت یا متحرک بودن شیء، زمان مجاز برای اندازه گیری، امکان دسترسی به شیء، هزینه و برخی عوامل دیگر تاثیرگذار خواهند بود. شکل (۱) تقسیم بندی جامعی از روش های موجود تهیه داده های سه بعدی از سطح اشیاء نشان داده شده است. در بالاترین سطح می توان این روش ها را به دو گروه، روش های مبتنی بر نیاز به تماس با جسم و روش های مبتنی بر عدم نیاز به تماس با جسم تقسیم بندی نمود (۱)، (۲).

پژرکتور Infocus X2 برای تصویر نمودن الگوهای نوری بر روی سطح شیء و یک پایه متحرک می‌باشد، که دوربین‌ها و پژرکتور بر روی آن قرار می‌گیرند. همچنین از یک صفحه کالیبراسیون با طرح شطرنجی برای انجام مراحل کالیبراسیون سیستم استفاده می‌شود شکل (۳). از یک کامپیوتر شخصی برای ارسال الگوهای نوری به پژرکتور، استخراج تصاویر اخذ شده توسط دوربین‌ها و انجام پردازش‌های بعدی روی تصاویر استفاده می‌شود. نرم افزار تهیه شده برای سیستم پیشنهادی شامل تمامی الگوریتم‌های مورد نیاز جهت استخراج داده‌های دو بعدی از فضای تصویر و تهیه مدل سه بعدی سطح شیء می‌باشد.

شکل ۳ - نمای کلی سیستم نور ساخت یافته طراحی شده به همراه صفحه کالیبراسیون



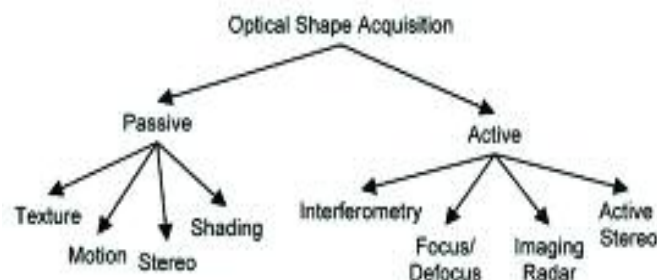
۳- کالیبراسیون سیستم

یکی از مهمترین مراحل در طراحی و ایجاد یک سیستم نور ساخت یافته، انجام مراحل کالیبراسیون این سیستم‌ها می‌باشد. کالیبراسیون سیستم شامل کالیبراسیون داخلی و خارجی می‌باشد. در این تحقیق به سبب وجود دو دوربین در طراحی سیستم، پژرکتور عملاً در هندسه تعیین موقعیت سه بعدی نقاط نقشی نداشته و بنابراین پژرکتور به طور کلی از فرایند کالیبراسیون حذف می‌گردد.

۳-۱- کالیبراسیون داخلی

در طی فرایند کالیبراسیون داخلی سیستم، مقادیر پارامترهای کالیبراسیون دوربین و همچنین مختصات دقیق سه بعدی نقاط در صفحه کالیبراسیون به دست می‌آید. برای کالیبراسیون دوربین‌ها از یک میدان آزمون که شامل یک صفحه با طرح شطرنجی است، استفاده شده است. یک شبکه فتوگرامتری برد کوتاه در اطراف میدان

شکل ۲ - طبقه بندی روش‌های نوری تهیه داده‌های سه بعدی از سطح اشیاء (۱)



روش استرئو فعال که به روش نور ساخت یافته نیز مشهور می‌باشد، از جمله روش‌هایی است که در سال‌های اخیر جهت استخراج داده‌های سه بعدی و بازسازی و مدل‌سازی اجسام توسعه یافته است. در این روش یکی از دوربین‌ها با لیزر یا پژرکتور جایگزین می‌شود (۵). لیزر یا پژرکتور الگوی نوری را بر روی سطح شیء تصویر می‌نماید. این الگوی نوری بافتی مجازی بر روی سطح شیء ایجاد می‌کند که سبب تسهیل فرایند تناظریابی در فضای تصویر می‌گردد. در نهایت از طریق اعوجاجات ایجاد شده در الگوی نوری که به واسطه توپوگرافی سطح شیء ایجاد می‌شود، اطلاعات سه بعدی سطح شیء استخراج می‌گردد (۳) و (۶). بنابراین روش نور ساخت یافته می‌تواند در مواردی که امکان نصب تارگت بر روی سطح شیء وجود ندارد و یا سطح شیء دارای بافت یکسانی می‌باشد، در عمل به عنوان یک روش مناسب و جایگزین برای فتوگرامتری برد کوتاه مطرح گردد. در این مقاله یک سیستم نور ساخت یافته با الهام از مفاهیم نور ساخت یافته و روش فتوگرامتری جهت مدل‌سازی سطوح اجسام بدون بافت ارایه می‌گردد.

این مقاله در شش بخش تدوین شده است. در بخش ۲ اجزای اصلی سیستم استرئو پیشنهادی معرفی شده است. فرایند کالیبراسیون سیستم در بخش ۳ تشریح می‌شود. در بخش ۴ فرایند اندازه‌گیری سطح شیء توضیح داده می‌شود. آزمون‌های انجام شده و نتایج به دست آمده در استخراج داده‌های سه بعدی از سطح اشیاء در بخش ۵ ارایه می‌گردد.

۲- معرفی کلی سیستم نور ساخت یافته پیشنهادی

سخت‌افزار به کار رفته در این سیستم شامل دو دوربین دیجیتال غیرمتریک Canon Powershot G3 برای تهیه تصاویر، یک

پارامترهای توجیه خارجی هر دوربین در فضا به طور مستقل به کمک میدان آزمون به دست می‌آید. در مرحله دوم با استفاده از مقادیر پارامترهای توجیه خارجی هر دوربین، ماتریس اصلی جهت تشکیل صفحات و خطوط اپی پولار نقاط محاسبه می‌شود.

۳-۲-۱- ترفیع فضایی

از آنجاییکه صفحه کالیبراسیون در طی فرایند کالیبراسیون دوربین با روش سلف کالیبراسیون، کالیبره شده است، بنابراین مختصات گوشه‌ها با دقت خوبی معلوم است. از مختصات زمینی این نقاط گوشه می‌توان به عنوان نقاط کنترل جهت انجام ترفیع فضایی دوربین‌ها استفاده نمود.

۳-۲-۲- محاسبه ماتریس اصلی

از مقادیر پارامترهای ترفیع فضایی هر دوربین برای تعیین ماتریس اصلی، E ، استفاده می‌شود. الگوریتم تعیین ماتریس اصلی عبارتست از:

۱- تعیین ماتریس‌های دورانی M_1 و M_2 مربوط به دوربین‌های چپ و راست به کمک مقادیر پارامترهای تعیین وضعیت دوربین‌ها در فضا، (u, v, K) نسبت به سیستم مختصات شیئی مفروض.
۲- تعیین بردار باز ما بین دو دوربین $(\vec{T}_0 = \vec{O}_2 - \vec{O}_1)$ با عناصر انتقالی b_x و b_y و b_z ، که از تفاضل موقعیت مرکز تصویر دوربین اول، $O_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$ ، در سیستم مختصات شیئی به دست می‌آید و سپس تشکیل ماتریس پاد متقارن باز به صورت:

$$K_b = \begin{pmatrix} 0 & -b_z & b_y \\ b_z & 0 & -b_x \\ -b_y & b_x & 0 \end{pmatrix}$$

۳- محاسبه ماتریس اصلی با رابطه $E = M_1 K_b M_2^T$

۴- تصویر نمودن به درون فضای اصلی. محاسبه SVD ماتریس E باز یابی شده از داده‌های موجود، به صورت: $E = U \text{diag}[\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3]$ ، به طوری که $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0$ ، $U, V \in SO(3)$ و در حالت کلی از آنجایی که ممکن است E یک ماتریس اصلی نباشد، در نتیجه $\sigma_1 \neq 0$ و $\sigma_2 \neq 0$ اما تصویر نمودن آن به درون فضای اصلی نرمالایز شده، عبارتست از $U \Sigma V^T$ ، که در آن $\Sigma = \text{diag}[1, 1, 0]$ ، [۴].

آزمون ایجاد می‌شود و تصاویری همگرا از صفحه کالیبراسیون توسط هر یک از دوربین‌ها اخذ می‌گردد. نقاط تارگت در این میدان آزمون، نقاط گوشه در طرح شطرنجی می‌باشد. برای انجام دقیق کالیبراسیون، لازم است مختصات این نقاط با دقت زیر پیکسل از تصاویر هر دوربین استخراج گردد. الگوریتم تعیین مختصات دقیق نقاط گوشه عبارتست از:

- ۱- تعیین تقریبی نقاط گوشه به کمک تبدیل پرژکتیو دو بعدی: بر روی طرح شطرنجی تهیه شده چهار مربع رنگی کوچک با رنگ‌های قرمز، سبز، آبی و زرد با موقعیت معلوم چاپ شده است. بنابراین با استفاده از یک تبدیل پرژکتیو دو بعدی ارتباط بین چهار ضلعی تعیین شده بر روی عکس و همین چهارضلعی بر روی صفحه کالیبراسیون ایجاد می‌شود. سپس از طریق پارامترهای محاسبه شده، مکان تقریبی نقاط گوشه بر روی عکس به دست می‌آید.
- ۲- انتخاب یک پنجره کوچک در اطراف هر کدام از نقاط تقریبی به دست آمده در مرحله قبل
- ۳- اعمال اپراتور هریس (۸) بر روی هر پنجره شامل گوشه تقریبی و تعیین گوشه با دقت زیر پیکسل
- ۴- تبدیل مختصات پیکسلی به مختصات عکسی: مختصات های پیکسلی محاسبه شده (u_p, v_p) با استفاده از معادله (۱) به مختصات عکسی تبدیل می‌گردد.

معادله ۱

$$X_p = (u_p - u_0) \times \text{pixel size}$$

$$Y_p = (v_p - v_0) \times \text{pixel size}$$

u و v : مختصات پیکسل مرکزی عکس در سیستم مختصات پیکسلی می‌باشد.

۵- پردازش داده‌ها با باندل اجسمنت همراه با سلف کالیبراسیون به صورت شبکه آزاد - به کمک معادلات شرط هم خطی به همراه سلف کالیبراسیون مقادیر پارامترهای مجهول که شامل پارامترهای کالیبراسیون دوربین و مختصات‌های سه بعدی نقاط میدان آزمون می‌باشد، محاسبه می‌شوند.

۳-۲-۲- کالیبراسیون خارجی

برای انجام کالیبراسیون خارجی سیستم، در مرحله اول مقادیر



شکل ۵ - نمونه ای از تصاویر الگوهای کد گذاری و اسکن که بر روی سطح شیء بر تصویر شده است

۲-۴- کدگذاری پیکسل های تصویر از طریق تصاویر کد اخذ شده توسط هر دوربین :

به منظور کدگذاری پیکسل های تصویر، تصاویر مربوط به هشت الگوی باینری با استفاده از تصاویر حد آستانه به تصاویر باینری تبدیل می شوند. به این ترتیب هر پیکسل با توجه به اینکه در هر یک از تصاویر باینری شده کد، در نوار سفید یا سیاه قرار گرفته باشد به ترتیب دارای یک عدد کد برابر با ۱ یا صفر خواهد بود. با استفاده از تمامی تصاویر کد، هر پیکسل تصویر، دارای کدی شامل رشته ای از ارقام ۰ و ۱ (هشت رقم) خواهد شد که به پیکسل مورد نظر نسبت داده می شود. شکل (۶)، تصویر کدگذاری شده نهایی را برای دو دوربین نشان می دهد که در آن هر پیکسل تصویر نهایی کد، با یک کد رنگی بین ۰ تا ۲۵۵ مشخص گردیده است.



شکل ۶ - تصاویر نهایی کد حاصل از تصاویر کد دوربین چپ (تصویر چپ) و دوربین راست (تصویر راست)

برای تهیه داده های سه بعدی دقیق و با دانسیته بالا در مراحل بعدی، لازم است در تصاویر اخذ شده از الگوهای پرئودیک، (Line Shift)، موقعیت مرکز نوارهای نورانی در هر تصویر دوربین با دقت زیر پیکسل استخراج گردد. برای استخراج مراکز نوارهای نورانی در تصاویر اخذ شده از الگوهای پرئودیک، از یک الگوریتم متداول جهت استخراج ساختارهای منحنی الخط از تصاویر استفاده می شود. C. Steger، در سال ۱۹۹۸ روشی را جهت استخراج ساختارهای منحنی الخط با دقت زیر پیکسل از تصاویر هوایی و پزشکی ارائه نمود (۹). فرض کنید $S(1)$ ، نوار نورانی مورد نظر و

۵- بهینه نمودن ماتریس اصلی با استفاده از روش کم ترین مربعات با تابع هدف $J = \sum (x_1^T E x_2)^2 \rightarrow \min$ ، x_1^1 ، x_2^1 ، مختصات عکسی پالایش یافته نقاط متناظر به ترتیب در تصاویر دوربین های چپ و راست می باشند.

پس از انجام کالیبراسیون داخلی و خارجی سیستم نور ساخت یافته پیشنهادی، می توان از آن برای استخراج داده های سه بعدی از سطح اجسام استفاده نمود.

۴- فرایند استخراج داده های سه بعدی از سطح شیء :

جهت ارزیابی روش تلفیق نور ساخت یافته و فتوگرامتری در استخراج داده های سه بعدی از سطح اجسام و بازسازی سه بعدی آنها، در این بخش مراحل تهیه داده های سه بعدی سطح شیء مرحله به مرحله تشریح می گردد.

۴-۱- طراحی الگوهای نوری برای کدگذاری و اسکن سطح شیء :

برای کدگذاری سطح شیء از الگوهای نواری باینری با روش Gray Code و به منظور استخراج داده های متراکم از سطح شیء از الگوی پرئودیک Line shift استفاده می شود (۷). الگوهای مربوط به تکنیک اندازه گیری به روش Gray Code + Line shift برای ۳۲ پیکسل در شکل (۴) نشان داده شده است. از دو الگوی اضافی با درجه خاکستری سفید کامل و سیاه کامل نیز برای تعیین حد آستانه استفاده می شود.

شکل ۴ - تکنیک Line shift، الگوهای Gray Code و Line Shift برای الگوهای با پهنای ۳۲ پیکسل (۷).



الگوهای طراحی شده، به کمک پرژکتور و به طور متوالی بر روی سطح شیء تصویر می شود. به ازای هر الگو یک عکس توسط هر یک از دوربین ها اخذ می گردد. شکل (۵) نمونه ای از الگوهای نوری که برای کدگذاری و اسکن بر روی سطح شیء تصویر شده است، نشان می دهد.

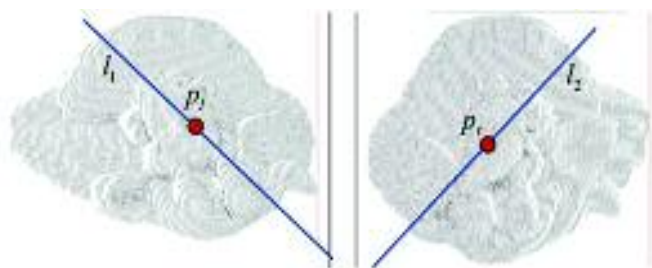
۴-۴- تناظریابی ما بین نقاط تصویر به کمک هندسه اپی

پولار

در فرایند تناظریابی نقاط تصویر، مختصات جفت نقاط متناظر از تصاویر مربوط به دوربین های چپ و راست استخراج می شوند. برای انجام تناظریابی ما بین نقاط تصویر از دو قید موثر زیر استفاده می شود

۱- قید هندسی اپی پولار ۲- قید یکسان بودن عدد کد

شکل (۷) فرایند تناظر یابی در فضای تصویر را به طور شماتیک نشان می دهد.



شکل ۷- روش تناظر یابی ما بین نقاط تصویر به کمک هندسه اپی پولار.

p_1, p_2 یک جفت نقطه متناظر عکسی می باشند که به ترتیب بر روی خطوط اپی پولار l_1, l_2 و بر روی پروفیلی (نوار) با کد یکسان قرار گرفته اند.

۴-۵- تقاطع فضایی شعاع های نوری نظیر و تهیه مدل سه

بعدی

به توجه به معلوم بودن مقادیر پارامترهای توجیه خارجی هر دوربین در فضا و با در نظر گرفتن مختصات های عکسی هر زوج نقطه متناظر، شعاع های نوری در فضا با یکدیگر تقاطع یافته و موقعیت سه بعدی نقطه مورد نظر با تکرار به روش کمترین مربعات به دست می آید.

۵- آزمون های صورت گرفته و ارایه نتایج

به منظور ارزیابی توانایی سیستم جهت استخراج داده های سه بعدی، سطح یک مجسمه با پیچیدگی زیاد و نمونه ای از صورت انسان در نظر گرفته شد (شکل ۸).

از تصاویر هوایی و پزشکی ارایه نمود (۹). فرض کنید $S(1)$ ، نوار نورانی مورد نظر و $S(t)$ ، مشتق مرتبه اول آن، که امتداد مماس نامیده می شود، باشد و $n(t) = (n_x, n_y)^T$ امتداد نرمال باشد. در امتداد $n(t)$ ، نقاطی که مشتق اول آنها صفر و قدر مطلق مشتق مرتبه دوم آنها ماکزیموم باشد، به عنوان نقطه مرکز نوار نورانی در نظر گرفته می شود. فرض کنید r ، مقدار محلی ارزیابی شده $Z(X, Y)$ و $r_x, r_y, r_{xx}, r_{xy}, r_{yy}$ ، مشتقات محلی تقریب زده شده در نقطه (X, Y) ، باشند که از طریق کانولو نمودن تصویر با ماسک های کانولوشن گوسین به دست می آیند. بنابراین چند جمله ای تیلور تابع تصویر، $Z(X, Y)$ ، در نقطه (X, Y) به صورت معادله (۲)، خواهد بود.

معادله ۲

$$f(tn_x + x_0, tn_y + y_0) = r + tn_x r_x + tn_y r_y + \frac{1}{2} t^2 n_x^2 r_{xx} + t^2 n_x n_y r_{xy} + \frac{1}{2} t^2 n_y^2 r_{yy}$$

امتداد نرمال $n(t)$ ، از طریق ماتریس هسین به صورت زیر محاسبه می شود. به طوری که بردار ویژه متناظر با ماکزیموم مقدار ویژه آن معادل با $n(t)$ می باشد.

معادله ۳

$$H(x, y) = \begin{pmatrix} r_{xx} & r_{xy} \\ r_{xy} & r_{yy} \end{pmatrix}$$

اگر $(\partial f / \partial t)(tn_x + x_0, tn_y + y_0) = 0$ مقدار پارامتر t از معادله زیر به دست می آید.

معادله ۴

$$t = \frac{n_x r_x + n_y r_y}{n_x^2 r_{xx} + 2n_x n_y r_{xy} + n_y^2 r_{yy}}$$

به این ترتیب موقعیت مرکز نوار نورانی عبارتست از :

$$(p_x, p_y) = (tn_x + x_0, tn_y + y_0)$$

به طوری که $-1/2 \leq tn_y \leq 1/2, -1/2 \leq tn_x \leq 1/2$. با استفاده از این الگوریتم مرکز نوارهای نورانی تصویر شده بر روی سطح شیء از تصاویر اسکن مربوط به هر دو دوربین استخراج می شوند. با توجه به اینکه به هر پیکسل تصویر در مرحله کدگذاری، کدی مشخص اختصاص یافته است، بنابراین در مرحله استخراج نقاط مرکز نوارهای نورانی در تصاویر اسکن، عدد کد آن پیکسل نیز استخراج شده و به مختصات آن نقطه نسبت داده می شود.

دقتی در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون بازسازی نماید.



شکل ۹ - نمایش داده‌های سه بعدی از سطح مجسمه فرشته از نمای روبرو (چپ)، نمایش داده‌های سه بعدی سطح با تغییر رنگ بر اساس تغییر عمق از نمای کنار (وسط)، نمایش منحنی‌های میزان سه بعدی (راست).



شکل ۱۰ - نمایش داده‌های سه بعدی از سطح صورت انسان از نمای کنار (چپ)، نمایش داده‌های سه بعدی صورت انسان با تغییر رنگ بر اساس تغییر عمق از نمای کنار (راست)

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

امروزه سیستم‌های نور ساخت‌یافته به طور گسترده‌ای در مدل سازی سطوح اجسام و در کاربردهای گوناگون صنعتی و میراث فرهنگی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها از آنجایی که اندازه‌گیری-های سطح را بدون تماس مستقیم با شیء انجام می‌دهند حائز اهمیت می‌باشند. در این سیستم‌ها با به کار بردن الگوهای نوری مناسب می‌توان حجم انبوهی از نقاط سه بعدی را از سطح شیء با دقت بالا استخراج نمود. دقت استخراج نقاط در این سیستم‌ها به عوامل متعددی از جمله: الگوریتم‌های به کار رفته برای کالیبراسیون سیستم و دقت‌های به دست آمده برای پارامترهای کالیبراسیون، نوع الگوهای کدگذاری و دقت در استخراج کد از تصاویر، دقت الگوریتم‌های به کار رفته برای تناظریابی و تقاطع شعاع‌های نوری نظیر بستگی دارد. تلفیق این نوع سیستم‌ها با روش‌های فتوگرامتری امکان استفاده از الگوریتم‌های دقیق و با قابلیت اطمینان بالا در تمامی مراحل کالیبراسیون، تناظریابی و تقاطع شعاع‌های نوری نظیر را فراهم می‌آورد. در این مقاله با استفاده از مفاهیم نور ساخت‌یافته و روش فتوگرامتری سیستم تلفیقی جهت استخراج داده‌های سه بعدی و بازسازی و مدل‌سازی



شکل ۸ - نمونه‌های مورد استفاده برای استخراج داده‌های سه بعدی سطح

جدول ۱ - دقت برقرار نمودن هندسه اپی‌پولار ما بین دو دوربین برای مجسمه

جدول ۲ - دقت برقرار نمودن هندسه اپی‌پولار ما بین دو دوربین برای صورت انسان

جداول (۱) و (۲)، دقت برقرار نمودن صفحات و خطوط اپی‌پولار ما بین دو دوربین را برای دو نمونه نشان می‌دهد.

دقت از اجسام گوناگون	دقت از اجسام گوناگون	دقت از اجسام گوناگون	دقت از اجسام گوناگون	دقت از اجسام گوناگون	دقت از اجسام گوناگون
مربعیات	مربعیات	مربعیات	مربعیات	مربعیات	مربعیات
۰.۰۰۳۱	۰.۰۰۷۹۱	۰.۰۰۳۷	۰.۰۰۸۱	۰.۰۰۳۱	۰.۰۰۸۱
۲.۹۱۳۷۰	۱.۸۳۲۸	۷.۵۸۱۰۰	۶.۵۱۶۰۰	۲.۹۱۳۷۰	۶.۵۱۶۰۰
۰.۰۰۰۲۵	۰.۰۰۳۴	۰.۰۰۳۱	۰.۰۰۲۲	۰.۰۰۰۲۵	۰.۰۰۲۲
۰.۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۲۱	۰.۰۰۰۰۲۲	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۵
۰.۰۰۱۱۳۱	۰.۰۰۱۳۳۲	۰.۰۰۰۹۰۷	۰.۰۰۱۲۲۰	۰.۰۰۱۱۳۱	۰.۰۰۱۲۲۰
۰.۰۰۰۲۰۹	۰.۰۰۰۳۰۰	۰.۰۰۰۲۷۰	۰.۰۰۰۳۲۱	۰.۰۰۰۲۰۹	۰.۰۰۰۳۲۱
۰.۰۰۰۰۲۴	۰.۰۰۰۰۲۵	۰.۰۰۰۰۲۵	۰.۰۰۰۰۲۷	۰.۰۰۰۰۲۴	۰.۰۰۰۰۲۷

با توجه به جداول (۱) و (۲)، میانگین پارالاکس γ باقیمانده نقاط میدان آزمون پس از اجسمت کمترین مربعات برای نمونه مجسمه و صورت انسان تقریباً صفر و بیشترین مقدار پارالاکس γ باقیمانده ۷/۲ و ۹/۲ میکرون می‌باشد. می‌توان نتیجه‌گرفت ماتریس اصلی جهت تشکیل صفحات و خطوط اپی‌پولار با دقت خوبی از نقاط میدان آزمون استخراج شده است. شکل‌های (۹) و (۱۰) ابر نقاط به دست آمده را نشان می‌دهد. بررسی‌های انجام‌گرفته بر روی ابر نقاط به دست آمده و مقایسه آن با روش فتوگرامتری مبتنی بر تارگت نشان داده است که روش پیشنهادی توانسته است سطح شیء را با

منابع:

- (۱) اکبر جعفری، (۱۳۸۵). طراحی و پیاده سازی یک سیستم تجربی نور ساخت یافته به منظور اندازه گیری اطلاعات سه بعدی سطح اشیاء ریال تر کارشناسی ارشد. گروه مهندسی نقشه برداری. استاد راهنما: دکتر فرهاد صمدزادگان. استاد مشاور: دکتر محمد سعادت سرشت
- [۲] Computer vision and applications. A guide for students and practitioners, *Editors Bernd Jähne and Horst Haußecker.*, 2000
- [۳] Handbook of computer vision and applications, Volume 1, Sensors and Imaging, *Editors Bernd Jähne, Horst Haußecker and Peter Geißler.*, 1999
- [۴] Handbook of Geometric Computing, Applications in Pattern Recognition, Computer Vision, Neural computing, and Robotics, *Editor Prof. Dr. Eduardo Bayro Corrochano.*, Springer, 1998
- [۵] Multiple View Geometry in Computer Vision, 2003, Second Edition, *Editors Richard Hartley and Andrew Zisserman*, Australian National University, Canberra, Australia and University of Oxford, UK
- [۶] J. Battle, E. Mouadib and J. Salvi, 1998. "Recent progress in coded structured light as a technique to solve the correspondence: A survey", *Computer Vision and Robotics Group Universitat de Girona*
- [۷] Salvi J., Pages J., Battle J., 2003, "Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems" the Journal of Pattern Recognition Society, *Pattern Recognition* 37.
- [۸] Gühring J., Brenner C., Jan Böhm, Dieter Fritsch, 2000, "Data Processing and Calibration of a Cross-Pattern Stripe Projector", *IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam*
- [۹] Chris Harris and Mike Stephen, 1988., "A combined corner and edge detector". Plessey research Roke Manor, United Kingdom
- [۱۰] C. Steger, 1998. "An unbiased detector of curvilinear structures", *IEEE Transactions on Pattern analysis and machine intelligence*, Vol 20, No. 2, February 1998

سطح اشیاء ارایه شد. این سیستم قابلیت تهیه داده های سه بعدی با دقت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون را در یک ایستگاه اندازه گیری فراهم می آورد. سیستم تلفیقی پیشنهاد شده بهبود دهنده سیستم توسعه یافته توسط مهندس جعفری (۱۰) می باشد که با استفاده از یک دوربین و یک پرژکتور به دقت ۲۰۰ تا ۲۵۰ میکرون در اندازه گیری سطح یک مجسمه دست یافت. پیش بینی می شود که با ارتقای سیستم به منظور اندازه گیری های چند ایستگاهی با نصب سیستم بر روی یک بازوی متحرک و یا با حرکت در اطراف جسم، و با استفاده از یک الگوریتم مناسب و دقیق جهت هم مرجع نمودن تمامی ابر نقاط به دست آمده در ایستگاه های مختلف، بتوان به دقت بالایی در سرتاسر ابر نقطه نهایی و در حد دقت ابر نقاط در هر ایستگاه استقرار سیستم دست یافت. تحقیقات آتی شامل بررسی چگونگی ارقای سیستم با استفاده از روش های دیگر کد گذاری و اسکن سطح اجسام به منظور صرفه جویی در زمان و قابلیت استفاده برای مدل سازی اجسام متحرک خواهد بود و همچنین جهت اندازه گیری اجسام بزرگ مقیاس و پیچیده لازم است روش های مناسب برای هم مرجع سازی ابر نقاط هر ایستگاه اتخاذ گردد.

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری گروه مهندسی عمران نقشه برداری پردیس دانشکده های

فنی دانشگاه تهران
mpashae@ut.ac.ir

۲- استادیار گروه مهندسی عمران نقشه برداری پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

msaadat@ut.ac.ir