ششمین همایش بین‌المللی افق های نویـن در
مهندسی برق، کامپیوتـر و مکانیک
6th International Conference on the New Horizons in
Electrical Engineering, Computer and Mechanical
www.mhconf.ir

طراحی مدل سه‌بعدی با روش عکس‌برداری

هدی آجیل‌چی مشهدی (نویسنده مسئول)[1]

[1]هدی آجیل‌چی مشهدی، مشهد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر hoda_ajilchi@aut.ac.ir

چکیده

طراحی یک قطعه جدید نیازمند داشتن اطلاعات از موارد گذشته می‌باشد که با ایده گرفتن از نمونه‌ی موجود آن (مهندسی معکوس) به اجرا درمی‌آید. گام موثر در این روش کسب مختصات از ابعاد کامل جسم است که با اعمال روش‌های مختلف انجام می‌شود. ابرنقاط جسم را دریافت کرده و با ارسال به یک سیستم کامپیوتری پردازش بر روی اطلاعات دریافتی آغاز می‌شود. اطلاعات وارد شده در نرم افزارهای سه‌بعدی با پردازش‌های مختلف تغییر می‌یابند. نکته قابل توجه که در این راستا وجود دارد چگونگی دریافت ابعاد سه‌بعدی جسم و تبدیل به داده‌های کامپیوتری می‌باشد. در مقاله پیش‌رو مدل سه‌بعدی با الگوی بینایی استریوی فعال در ترکیب نور ساختاریافته کسب شده و سه‌بعدی سازی اجسام با نوعی زاویه‌بندی مناسب عکس‌برداری با دوربین و کالیبراسیون آن در این پروژه اجرا شده است. با ایجاد یک مدل سه‌بعدی به کمک روش پیشنهادی بسیاری از ایرادات روش‌های قبل من‌جمله زمان طولانی نتیجه‌گیری برطرف شده است. دقت بالا در نتیجه عکس‌برداری سه‌بعدی ماحصل این روش می‌باشد. استفاده از روش لیزری با ترکیب عکس‌برداری چندگانه کارآمدترین روش انتخاب شده است. سخت‌افزارهای به کاررفته در این پروژه منجر به کاهش هزینه‌های ساخت دستگاه‌های پیشرفته می‌گردد. طراحی نرم-افزار در متلب به گونه‌ای صورت گرفته که عملکرد تولید مدل سه‌بعدی نسبت به دیگر روش‌های بیان شده از سرعت و کنترل بالاتری برخوردار است. یکی از بحرانی‌ترین موارد قابل انتظار از یک سیستم ساخت مدل سه‌بعدی، دقت بالای اندازه‌گیری در شرایط محیطی غیرازمایشگاهی و کاهش خطای نتیجه می‌باشد. بدین ترتیب عکس‌برداری با فرض مستقل بودن تاثیر خطاهای موجود و عوامل محیطی نسبت به یکدیگر انجام شده که سبب کاهش خطای نتیجه نهایی به ۹۳ درصد شبیه به مدل واقعی شده است. صحت به میزان قابل قبولی برابر با 92 % است.

واژه‌های کلیدی

تصویربرداری، سه‌بعدی، ابرنقاط، اسکنر، نور ساختاریافته

۱. مقدمه

تصویر سه بعدی به معنای شی سه‌بعدی است که عرض، ارتفاع و طول (عمق) داشته باشد. برای شناسایی یک تصویر سه‌بعدی باید سیستم، توانایی تشخیص انواع اشیا و جزییات در تمامی حالات تصویر را دارا باشد. عنصر مهم این سیستم قابلیت شناسایی در حالت‌های مختلف یک تصویر است که بر روی این عملکرد تاثیر مستقیم دارد و هر چه نمایش اشیا با ویژگی‌های کامل‌تر و بهتری باشد قدرت تشخیص شی بیشتر می‌شود. . هدف تکنولوژی سه‌بعدی با پیروی کردن از کارکرد عملی مغز برای دریافت دو نمای متفاوت تصویر همراه است که به دنبال راهکاری برای بازسازی و اجرای مشابه آن می‌باشد.

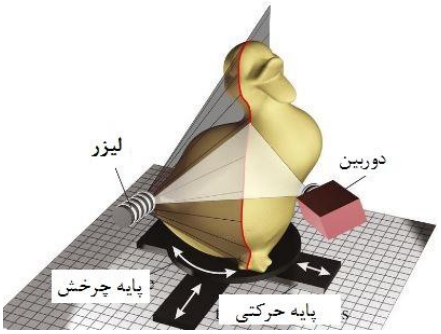
اسکنر سه‌بعدی دستگاهی است که با تجزیه و تحلیل اطلاعات درباره یک شی و عوامل ظاهری آن نتایج خوبی را در ارائه می‌کند. این اطلاعات پایه‌ای اساسی برای ساخت طیف عظیمی از برنامه‌های مدل‌های سه‌بعدی به‌شمار می‌روند[1]. هدف یک اسکنر سه‌بعدی، ایجاد ابر نقطه‌ای از نمونه‌های هندسی جسم موردنظر می‌باشد. از این نقاط برای تجسم شکل ظاهری شی در سیستم استفاده می‌شود. در اسکنرهای پیشرفته‌تر با استفاده از رنگ موجود در هر یک از نقطه‌ها رنگ شی مورد نظر نیز تعیین خواهد شد. به‌طور کلی اسکنر با ساختار کامل‌تر، شباهت زیادی به عملکرد اصلی یک دوربین دارند. اسکنرهای سه‌بعدی دارای دسته‌بندی‌های مختلفی هستند ولی یکی از کاربردی‌ترین آن‌ها به این شرح است؛ که به دو دسته‌ی مختلف تقسیم می‌شوند: اولین دسته اسکنرهای تماسی و دومین دسته اسکنرهای غیر تماسی با جسم است. اسکنرهای تماسی به دو صورت فعال و غیرفعال اعمال می‌شوند[2].

در نوع اسکنرهای غیرتماسی فعال از روش پرتوافکنی یا تابش نور استفاده می‌کنند و شناسایی اجسام و محیط اطراف توسط بازتاب نور و تحلیل اطلاعات انجام می‌شود. نمونه‌ای از این اسکنرها که هرروزه استفاده میگردد؛ اولتراسوند و اشعه ایکس می‌باشد. در اسکنرهای بدون تماس غیر فعال برای تشخیص شی مورد نظر از انعکاس تابش نور محیط و در جهت نور مرئی بهره می‌گیرند. انواع اشعه‌های دیگر مانند اشعه مادون قرمز نیز می‌توانند برای بهره‌وری این اسکنرها مورد استفاده واقع شوند[3]. می‌توان این دسته از اسکنرها را جزء دسته‌ی کم هزینه قرار داد چرا که تنها به یک دوربین دیجیتال نیازمند هستند. عملکرد سیستم‌های اسکن سه بعدی در سه مرحله‌ی نمونه‌برداری از مدل طراحی شده، استفاده از ابرنقاط برای تولید مدل و دیجیتایزر کردن قطعات حساس بدون تماس با آن‌ها خلاصه می‌شود[4].

مسبب ایجاد مدل‌های سه‌بعدی اشخاصی به نام کاک و بویر را می‌توان به عنوان نمونه مثال زد که از تاباندن باریکه‌های نور رنگی به صحنه استفاده کرده‌اند. آن‌ها در این روش هر سطر یا ستون الگوی تابش شده را با کدبندی خاصی بیان کردند[5]. پس از مدتی ویلستیک و اوسترلینک سیستمی را توسعه بخشیدند که یک نوع الگوی شبکه‌ای مربعی سیاه وسفید به صحنه تابانده شده و الگوی نوری به صورت باینری کدبندی شده است[6]. گریفین و همکارانش برای بدست آوردن اطلاعات عمق روشی را بر اساس الگوی نور رنگی کد شده ارائه کردند[7]. با گذشت زمان شخصی به نام میاساکا سیستمی معرفی نمود که با یک دوربین کار می‌کرد و در این سیستم دو الگوی نوری یکنواخت و خطی بصورت متوالی با یک پروژکتور بر قطعه تصویر اعمال می‌نمود[8]. این دو محقق اخیر سبب‌ساز تحولی عظیم در کسب مدل‌های سه‌بعدی ایجاد کردند. هو از یک الگوی شبکه‌ای توری مانند، متشکل از نوارهایی با فاصله یکسان استفاده کرد که در این روش کالیبراسیون معروف تسای[9] نیز اعمال شد[10]. در نهایت شخص دیگری به نام البریجت روشی ارائه داد که در آن نقش الگوی تصویر شده متفاوت بوده و نیازی به کالیبراسیون پروژکتور وجود نداشت ولی از دو دوربین استفاده می‌شود.

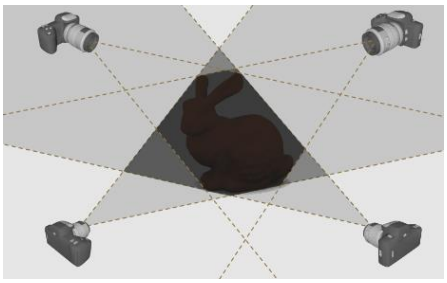
در این مقاله در ابتدا با روش استریوی فعال استخراج اطلاعات جسم از دو و یا چند دوربین استفاده می‌شود. تصاویر گرفته شده از دو دوربین با یکدیگر مقایسه شده و نقاط با ویژگی‌های یکسان مشخص می‌گردد. سپس دو خط از نقطه‌های مشترک عبور کرده و در یک نقطه یکدیگر را قطع می‌کنند. این حالت امروزه در عرصه‌ی صنعت گسترش پیدا کرده است. این روش از دو بخش نورساختاریافته کدبندی شده و روش راستراستریوفتوگرافی تشکیل شده است[9]

این دسته از اسکنرها که با نام اسکنرهای سه بعدی نور سفید شناخته می‌شوند، امروزه اغلب از نورهای ال ای دی آبی و سفید استفاده می‌کنند. در این اسکنرها یک الگوی نوری بر جسم تابیده می‌شود و این الگوی نوری شامل نوارها، بلاک‌ها است. این اسکنرهای سه بعدی دارای یک یا چند سنسور هستند. لبه‌های این الگوها و شکل‌های ساخت‌یافته سبب می‌شوند تا شکل سه بعدی جسم مورد نظر را به دست آورند.



شکل۱. مثلث‌بندی با نوار لیزری[8]

روش دیگری که استفاده شد روش شکل نیم رخ (شباهت) می‌باشد که یک رویکرد از چند دیدگاه منفعل است شکل(۶-۲). فرض کنید که یک شی در یک گردونه ایستاده و در فواصل منظم چرخشی یک تصویر گرفته شده است. در هر یک از تصاویر، طرحی از شی تعیین می‌شود. از هر جهت گیری دوربین، طرح نیم رخ به شکل یک مخروط توسط اشعه که تقاطع با این توده مجازی محاسبه می‌شود. در نتیجه از همه این تقاطع بازده شکل تقریبی، یک به اصطلاح بدنه بصری بدست می‌اید. با ارائه یک پس زمینه ساده، مانند یک پارچه آبی یا سبز همگن راهی برای کاهش این فرایند است. از جمله‌ایرادات وارد شده در این شیوه هنگامی است که یک بخشی از توده برداشته شده باشد که آن را هرگز نمی‌توان در بازیابی پیاده سازی ساده نمود. به عنوان مثال، کاسه چشم در صورت را نمی‌تواند با چنین روش شناسایی کند و آن قسمت باقی خواهد ماند تا در مدل نهایی پر شود[10].


شکل۲. روش شکل از نیم‌رخ [9]

۲. روش

در مرحله اول باید تصویر دیجیتال از کاربر و یا حسگر ماشین دریافت شود و سپس مرحله‌ی بعدی که پیش پردازش آن است بر روی تصویر اعمال گردد. پیش پردازش به طور معمول برای بهبود کیفیت، حذف نویزها و جدا کردن نواحی دارای اطلاعات مدنظر ما صورت می‌گیرد. این مرحله شروعی برای انجام پردازش تصویر قلمداد می‌شود. در ادامه باید به بخش‌بندی تصویر دریافتی بپردازیم که این مرحله یکی از سخت‌ترین کارها در پردازش به حساب می‌آید. زیرا که باید تصویر را به اجزای تشکیل دهنده آن تقسیم کرد و اگر این کار به درستی انجام شود باعث نزدیک شدن به حل مساله می‌گردد. ولی وجود روش‌های ضعیف برای این مرحله خود سبب ایجاد مشکلات فراوانی می‌شوند. به طور معمول نتایجی که از این بخش‌بندی دریافت می‌کنیم همان اطلاعات پیکسلی خام هستند که مرز و یا نقاط آن ناحیه محسوب می‌شوند. در ابتدا باید تصمیم گرفته شود که این داده‌ها روی مرز یا به شکل یک ناحیه نمایش داده شوند.

این نمایش‌ها در قسمت‌ها و نواحی مشخصی به کار می‌روند به طور مثال نمایش مرزی برای مشخص کردن خمیدگی‌ها و یا گوشه‌ها به کار می‌رود و نمایش ناحیه‌ای در زمانی قابل استفاده است که ویژگی‌های درونی یک تصویر مدنظر باشد. برگزیدن یک روش خاص بر روی یک تصویر تنها برای استخراج پردازش‌های بعدی ما مفید است.

در ابتدا ماتریس تصاویر با توجه به پیکسل‌ها در سیستم تعریف می‌شود. ارتباط تعداد سطوح خاکستری و دقت مکانی نمونه برداری وابسته به شدت نور پیکسل‌های تصویر است؛ که هر چقدر تصویر آرام تر باشد تعداد سطوح خاکستری مهم و هر چقدر تصویر شلوغ تر

باشد تعداد پیکسلها قابل توجه است. آنالیز و بهسازی تصویر شامل سه عملیات است؛ بدست آوردن ارزش نقاط تصویر و اعمال عملیات بر روی آنها، استخراج اطلاعات ساختار کلی و وضوح بیشتر جزییات تصویر و حذف نویز باید برای عملیات پردازشی بعدی اماده گردد.

$$\ell(m,n)=\begin{bmatrix} \ell(0,0) & \ell(0,1) & \cdots & \cdots & \ell(0,N-1) \\ \ell(1,0) & \ell(1,1) & \cdots & \cdots & \ell(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \ell(M-1,0) & \ell(M-1,1) & \cdots & \cdots & \ell(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (۱)$$

پس از انجام این مراحل باید مختصات پیکسلی تصویر به مختصات عکسی دوبعدی تبـدیل شـود. مختصـات‌هـای پیکسـلی (u_p, v_p) بـا استفاده از معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید. $u_.$ و $v_.$ مختصات پیکسل مرکزی عکس می‌باشد.

$$x_p = (u_p - u_.) \times pixel\ size$$
$$y_p = (v_p - v_.) \times pixel\ size \quad (۲)$$

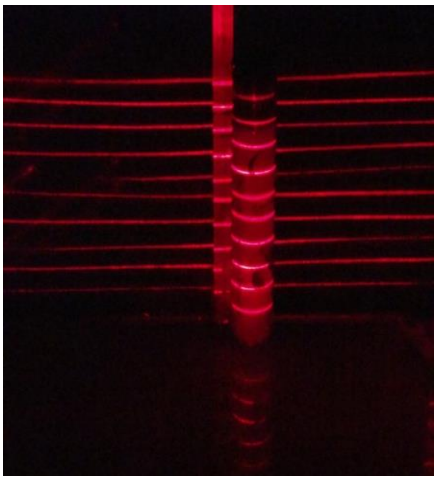
برای تجسم سه‌بعدی باید مقادیر مابین دو نقطه اطلاعات دوبعدی محاسبه شود و تصاویر مربوطه با کیفیت مختلف و زمان ضـبط داده‌هـا ثبت شود. روش‌های مختلف پیشرفته برای مشاهده ذاتی تصاویر سه بعدی بر روی صفحه نمایش‌های دو بعدی ارائه گردیده ولی همه آنها دو مقوله رندر کردن و رندر کردن حجم را شامل می‌شوند. روش‌های رندر کردن پوسـته سـطح یـا حجـم تصـاویر را بـه یکـدیگر متصـل می‌کنند، برای این اتصال اطلاعات کیفیت‌های مختلف برای نمایش و آنالیز مورد نیاز است.[5]

در این پروژه دو قسمت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای بینایی استریو انجام می‌شود. تصاویر به‌وسیله‌ی دوربین گرفته می‌شوند. و میتوان بر روی جسم از انوار نیز استفاده کرد. در ادامه باید دوربین‌ها را در موقعیت مکانی مناسب کالیبره نمود. پس به یک نرم‌افزار کالیبره احتیـاج داریم. پس از کالیبره تصاویر را ذخیره و بر روی آن تصاویر دریافتی پردازش انجام می‌دهیم. نیازهای اصلی برای انجـام ایـن روش بیـان شد. حال به بررسی تطبیق بین تصاویر می‌پردازیم. ابتدا باید تصاویر دریافتی را در سیستم نرم‌افزاری نمایش داد. سپس با اعمـال راه‌هـای مختلف بهترین روش مطابقت دو تصویر را پیدا کرده و برای تصاویر استریو و موضوع مربوطه انجام داد. در نهایت مقدار انحراف اندازه‌گیری شده بین تصاویر را جبرانسازی می‌کنیم. میزان اختلاف را به‌دست آورده و آن‌ها را به یک شکل درنظـر مـی‌گیـریم. تطبیـق بـین تصـاویر توسط نرم‌افزار انجام می‌شود و با استفاده از یک الگوریتم مناسب فاصله مورد محاسبه قـرار مـی‌گیـرد. روابـط مثلثـاتی میـزان انحـراف را مشخص کرده و با استفاده از این میزان، می‌توان انحراف و موقعیت دوربین‌ها، ویژگی‌های لنزها و شرایط حاکم بر محیط را تعیین کرد.

۳. پیاده‌سازی روش مثلث‌بندی

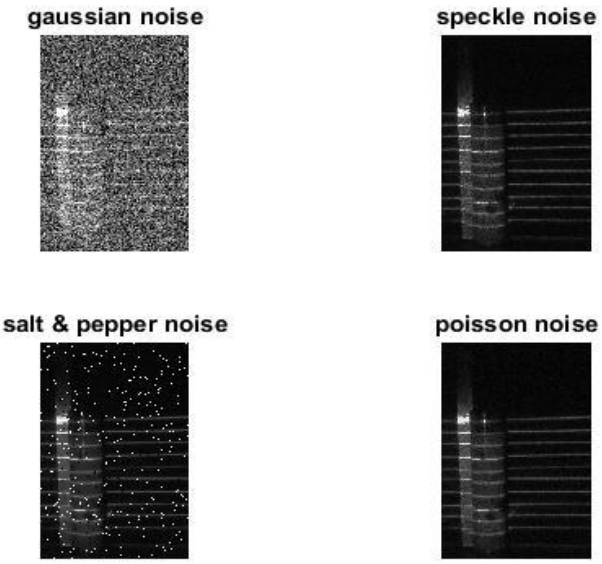
اسکن مدل سه بعدی از مباحث مهمی است که قابل توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. روش‌های متفاوتی برای استخراج مدل سه بعدی اجسام توسعه پیدا کردند. همان‌طور که در فصول قبل توضیح داده شد اختراع دیجیتایزر های غیر تماسی مبتنی بر تکنولوژی های اپتیکی فصلی تازه در این عرصه را اغاز کرد.

مثلث بندی نوری فعال نمونه‌ای از این روش‌ها است که مورد استقبال بیشتری واقع شده است. در این روش یک الگوی نوری مشخص بـر جسم تابیده می‌شود هم‌زمان یک دوربین تصاویری از جسم ثبت می‌کند. با توجه به روابط شکست نور می توان از روی تصاویر ابعاد جسم را استخراج نمود. دقت نتایج این روش به عواملی از قبیل نوع نور لیزر و یا نور سفید، ساختار نور به‌صورت نقطه‌ای، نواری، چنـد نقطـه‌ای، چند نواری و ابعاد سنسور در حالت آرایه خطی یا ماتریسی بستگی دارد. در این پروژه طراحی اسکنر سه بعدی طراحی می‌شود که از یک جسم بصورت افلاین تصویر گرفته می‌شود و با پردازش تصویر با استفاده از روش مثلث بندی نـوری فعـال ابعـاد جسـم را اسـتخراج و در نهایت نتایج را در قالب مدل سه بعدی ارائه می‌نماید.



شکل۳. ایجاد نوارهای رنگی برروی شی موردنظر جهت لبه‌یابی

الگوی تصویر تابیده شده یک خط پیوسته با لیزر می‌باشد؛ از یک دوربین دیجیتال به عنوان سنسور استفاده شده است و جسم ثابت و دوربین متحرک است. ابتدا دوربین در مکانی از قبل تعیین شده ثابت کرده و تصویر گرفته می شود. این تصاویر از طریق کابل یا حافظه دوربین به کامپیوتر ارسال می‌گردد. در نرم‌افزار متلب عکس‌ها پردازش می‌شوند.به این صورت که ابتدا تصاویر توسط نرم‌افزار خوانده شده سپس با توجه به دقت موردنظر به بخش‌های کوچکتر تقسیم می‌شود. عکس‌های دریافتی رنگی هستند و در اینجا می‌توان برای اعمال روش تکنیک لیزری تصویر را خاکستری نمود؛ ولی برای روش نور ساختاریافته در حالت رنگی نیز استفاده می‌شود. سپس نرم‌افزار مراحل پیش‌پردازش و پردازش را بر روی تصاویر پیاده می‌کند. پس از استخراج تمام نقاط تلاقی در اختلاف تصاویر سطح جسم ساخته و به نرم-افزار اتوکد منتقل می‌شود. با نرم‌افزار متلب نیز حالت سه‌بعدی مشاهده می‌شود اما برای کیفیت بهتر و دقیق‌تر استفاده از اتوکد پیشنهاد شده است.

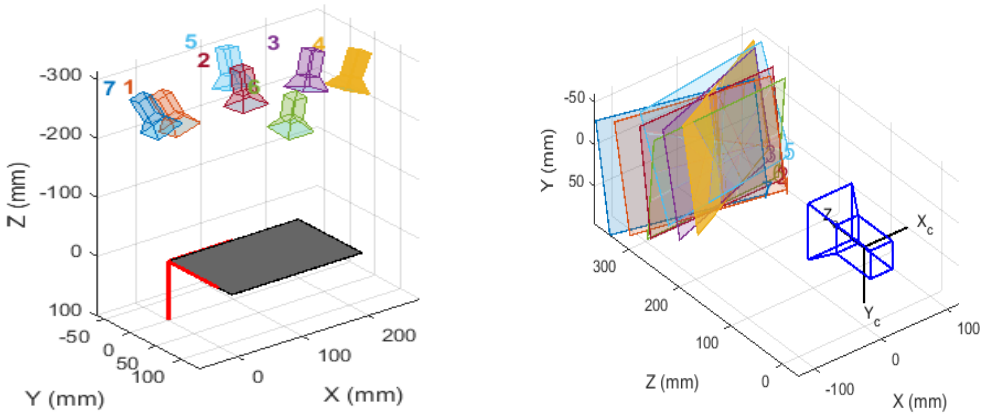


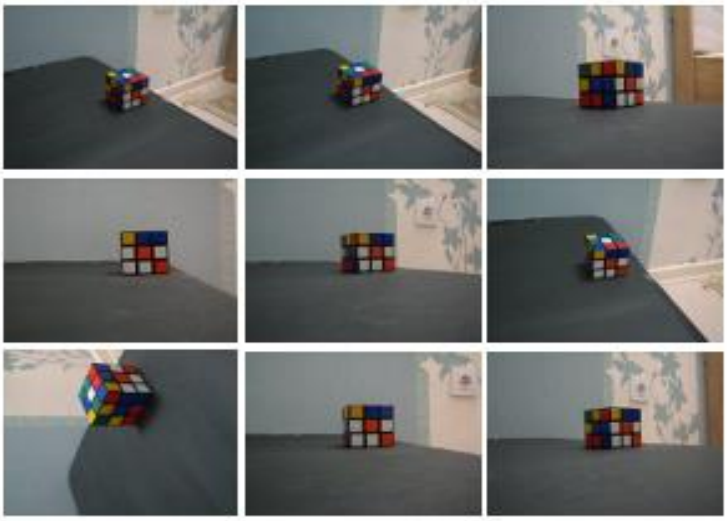
شکل۴.اضافه کردن نویز به تصویر در جهت میانگین‌گیری

شکل۴. یافتن یک خط مبنا از لیزر روی جسم

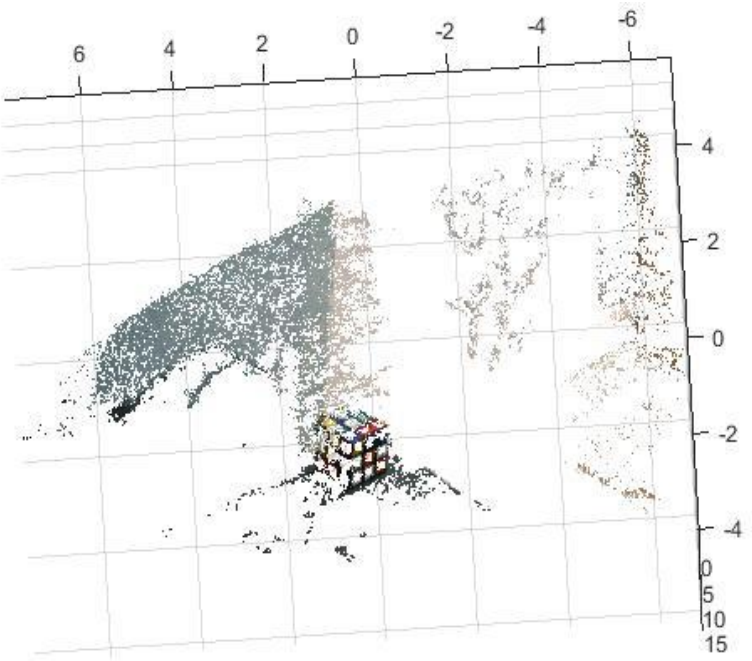
۴. نتایج

از میان روش‌های اپتیکی، روش استریوی فعال با نورساختاریافته و مثلث‌بندی حائز اهمیت هستند. بدلیل یک سری معایب در استفاده‌ی جداگانه هر یک از این موارد، نظر بر این شد که روشی ترکیبی و دور از خطاهای هرکدام اعمال کنیم. این روش نیاز به امکاناتی ساده‌تری دارد و با یک دوربین پیاده‌سازی آن را ممکن می‌کند. دقت این روش نسبت به سیستم استریوفتوگرامتری بیشتر بـوده و نسـبت بـه روش نور ساختار یافته سطحی بهتر ایجاد می‌کند. این الگوی پیشنهادی نسبت به دیگر روش‌ها از مزایای قابل توجهی برخوردار اسـت. سـرعت عمل بهتری نسبت به سه روش قبلی دارد و در نرم افزار و عکس برداری سریعتر نتیجه را برای ما نشان می‌دهد. نیاز به دقت بالایی بـرای انجام آن نداشته و هر فرد با اطلاعات اولیه می‌تواند از آن بهره ببرد. برای رسیدن به نتیجه‌ی مطلوب وجود وسایل پیشرفته لازم نمی‌باشد و در محیط خانگی نیز استفاده می‌گردد. در شکل ۶ دوربین ثابت فرض شده و صفحات شطرنجی به‌صورت متغیر فرض شده‌اند. در شـکل ۷ یک صفحه‌ی کالیبراسیون ثابت شده است و میزان تغییر دوربین برحسب آن تعیین می شود.





شکل۸. تصویربرداری از روبیک در نه زاویه‌ی مختلف



شکل۹. نتیجه نهایی مدل سه بعدی

مراجع

[1]رافائل سی. گونزالس، ریچارد ای. وودز، ترجمه عین الله جعفرنژاد قمی، پردازش تصویر دیجیتال، چاپ چهارم، بابل، علوم رایانه ۱۳۸۷

[2] دکتر مهدی امیری. سیستم های چندرسانه ای. دانشکده مهندسی کامپیوتر،دانشگاه صنعتی شریف . ۴فروردین ۱۳۹۰

[3] Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. *Human photoreceptor topography*. J Comp Neurol, vol. 292, nº 4, 1990, p. 497-523.

[4] Feng, L I, Longstaff, A P, Fletcher, S and Myers, A. Integrated Tactile and Optical Measuring Systems in Three Dimensional Metrology. In: Proceedings of The Queen's Diamond Jubilee Computing and Engineering Annual Researchers' Conference 2012: CEARC'12. University of Huddersfield, Huddersfield, pp. 16. ISBN 9781862181069

[5] K. L. Boyer, A. C. Kak, "Color-encoded Structured Light for Rapid Active Ranging ", IEEE Trnansaction on Pattern Analysis and Machine intelligence Vol. 9, No.1. 2020

[6] P. Vuylsteke, A. Oosterlinck, "*Range Image Acquisition with a Single Binary encoded Light Pattern*", IEEE Trnansaction on Pattern Analysis and Machine intelligence, Vol. 12, No. 2, 2020

[7] P. M. Griffin, L. S. Narasimhan, s, R, Yee, "*Generation of Uniquely Encoded Light Pattern for Range Data Acquisition"*, Proceeding of the IEEE, Vol. 25, No. 6, pp. 609-616, 2019

[8] R. Miyasaka, K. Kuroda, M. Hirose, K. Araki, "*High Speed 3D Measurement System Using Incoherent Light Source for Human Performance Analysis"*. In Proceeding of the 19th Congress of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 65-69, The Netherlands. Amsterdam, Jult 2018

[9] P. Albrecht, B. Michaelise, "*Improvement of the Spatial Resolution of an Opttical 3D Measurement Procedure"*, IEEE Trans. Instrumentation & Measurement, vol, 47, No. 1, pp. 158-162, 2017

[10] Y. Wang, L. Zhang, S. Yang, F. Ji, Two channel high-accuracy Holoimage technique for three-dimensional data compression, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 85, pp. 48-52, 2016.