

یکسوسازی تصاویر استریو کالیبره شده بر اساس میدان تناظری در سیستم‌های چند منظر

حسام الدین حسین پور^۱ امیر موسوی نیا^۲ محمد علی پورمینا^۳

۱- مربی- دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات، تهران، ایران

h.hosseinpoor@yahoo.com

۲- استادیار- دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران (نویسنده مسول)

moosavie@eetd.kntu.ac.ir

۳- دانشیار- دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات، تهران، ایران

pourmina@srbiau.ac.ir

چکیده: یکسوسازی تصویر یک بخش مهمی در بیشتر سیستم های چند منظر^۱ می باشد. یکسوسازی تصویر، فرایند تطبیق استریو را با محدود نمودن مسیر به خطوط افقی و موازی ساده می سازد. مشکل اساسی در یکسوسازی متداول تصویر پیچیدگی و بار سنگین محاسبات برای به دست آوردن ماتریس کالیبراسیون، ماتریس پروجکشن و ماتریس اساسی است. در این مقاله یک روش موثر و مطمئن بر اساس میدان تناظری^۲ برای یکسوسازی تصویر ارائه می شود که از ماتریس های فوق اجتناب می گردد. به طور کلی این الگوریتم قادر است تصویر را برای هر موقعیت جدید دوربین تولید نماید. به خصوص می توان موقعیت دوربین جدید را طوری تعریف کرد که تصویر یکسو شده به دست آید. تصاویر شبیه سازی شده و واقعی برای ارزیابی الگوریتم ارائه شده استفاده شده اند. الگوریتم SIFT نیز برای تخمین نزدیک بودن تصویر یکسو شده به تصویر واقعی به کار گرفته شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد میانگین اندازه خطا و انحراف معیار به ترتیب حدود ۰.۲۵ و ۰.۲۶ پیکسل می باشد و تصویر یکسو شده مستقل از نسبت فواصل کانونی دو دوربین است.

واژه های کلیدی: یکسوسازی تصاویر استریو، میدان تناظری، خط اپی پلار، بار محاسباتی، نسبت فواصل کانونی دو دوربین

DOI: 10.52547/jiaeee.19.2.159

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۲

نام نویسنده ی مسئول: دکتر امیر موسوی نیا

نشانی نویسنده ی مسئول: ایران - تهران - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده ی مهندسی کامپیوتر

۱- مقدمه

تصاویر استریو محاسبه می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد با کاهش نسبت فاصله کانونی خطای یکسوسازی افزایش می‌یابد. در [۱۱] مدل دوربین کروی برای یکسوسازی زوج استریو در سیستم چند دوربین تک نما استفاده می‌شود. چارچوب هندسی برای مدل دوربین کروی معرفی می‌شود و ساختار سه بعدی با استفاده از رابطه هندسی به دست می‌آید.

در [۱۲] یک روش ساده پیشنهاد شده تا سیستم چند دوربین همه جانبه را کالیبره و یکسو نماید. این روش تنها نیاز به زوج تصویر از نماهای مختلف و الگوریتم یکسوسازی برای زوج تصویر بر اساس مدل دوربین کروی دارد. روش ارائه شده در [۱۳] یکسوسازی کروی برای دوربین های PTZ بر اساس الگوریتم یکسوسازی خط اپی پولار می‌باشد. این الگوریتم از تطبیق استریو برای استخراج نقاط متناظر استفاده می‌کند. هارتلی در [۱۴] یک روش برای یکسوسازی تصویر بر اساس ماتریس اساسی معرفی می‌کند که هندسه اپی پولار زوج تصویر را توصیف می‌کند. در این روش از کالیبراسیون تصویر اجتناب می‌شود و هندسه تصویری برای تعیین تبدیل تصویری دو بعدی استفاده می‌گردد. در [۱۵] یکسوسازی تصویر براساس الگوریتم SIFT برای تصاویر کالیبره نشده چند منظر می‌باشد. در این روش الگوریتم SIFT ویژگی‌ها را استخراج می‌کند و سپس از روش استخراج ویژگی بر اساس تقسیم بلوک استفاده می‌شود. سرانجام الگوریتم RANSAC برای بهبود دقت یکسوسازی تصویر استفاده می‌گردد.

یکسوسازی تصویر استریو برای بازسازی سه بعدی متراکم در اسکن میکروسکوپ الکترون در [۱۶] ارائه می‌شود. در این روش یک ماتریس اساسی مطمئن بر اساس فرضیه های تخمین زده می‌شود. در [۱۷] یکسوسازی تصویر بر اساس محدودیت‌های انطباق برای اختلاف مکانی پیکسل‌ها درون یک قاب و ما بین آنهاست. محدودیت انطباق برای اختلاف مکانی پیکسل‌ها درون یک قاب، شکل اصلی تصویر را حفظ می‌کند تا از بازسازی اجتناب شود. در [۱۸] یک روش یکسوسازی مطمئن بر اساس بازسازی سه بعدی مرزی برای کاغذ پیچیده شده یا تا خورده معرفی شده است. در این روش از خواص سطوح قابل توسعه از طریق نگاشت استفاده می‌شود.

در تمامی روش‌های ذکر شده چندین مشکل وجود دارد: (۱) آنها به زمان طولانی برای محاسبه ماتریس اساسی، ماتریس پروجکشن، ماتریس کالیبراسیون، خطوط اپی پولار و نیز فرآیند تطبیق استریو نیاز دارند. (۲) حداقل دو نما از صحنه را برای یکسوسازی نیاز دارند که پایین بودن رزولوشن یک تصویر روی یکسوسازی تصویر دیگر تاثیر می‌گذارد. (۳) زمانی که اختلاف فواصل کانونی دو دوربین زیاد می‌شود، خطای یکسوسازی افزایش می‌یابد.

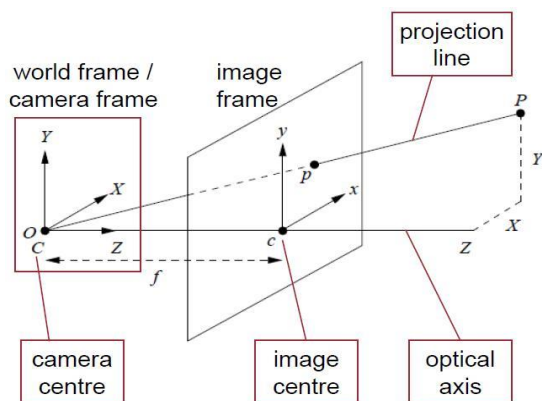
در [۱۹] روش یکسوسازی برای زوج تصویر استریو بر اساس تبدیل هندسی است. این روش بر اساس انتقال دستگاه مختصات و تصویر نمودن مجدد نقاط تصویر است. هر چند در این روش از محاسبات سنگین و پیچیده اجتناب شده ولی در این روش تنها زوایای pan و

اخیرا تلویزیون نقطه دید آزاد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. زیرا این تکنولوژی به کاربر اجازه می‌دهد نمای دلخواه خود را به راحتی انتخاب کند و در هنگام تماشای تصاویر احساس و درک بهتر و قوی‌تری از صحنه داشته باشد [۲۰]. تطبیق استریو بخش مهمی در بنیایی کامپیوتر و به خصوص در تلویزیون نقطه دید آزاد است. هدف در تطبیق استریو پیدا کردن پیکسل‌های متناظر در تصاویر استریو می‌باشد که از دو نمای مختلف گرفته شده‌اند. معمولا تصاویر یکسو شده در تطبیق استریو استفاده می‌شوند تا مسیر جستجو را برای تکنیک تطبیق به خطوط اپی پولار افقی و موازی محدود نمایند. نقاط تطبیق داده شده در تصاویر استریو در این حالت با جستجوی ردیف‌های متناظر پیدا می‌شوند. در نتیجه بار محاسباتی کمتر شده و برنامه زمان کمتری برای اجرا نیاز خواهد داشت [۲۱]. بنابراین یکسوسازی تصویر در کاربردهایی مانند تصاویر پزشکی سه بعدی، هدایت ربات، نظارت، فیلمبرداری و سرگرمی ورزشی بسیار محبوب و مورد توجه است [۲۲].

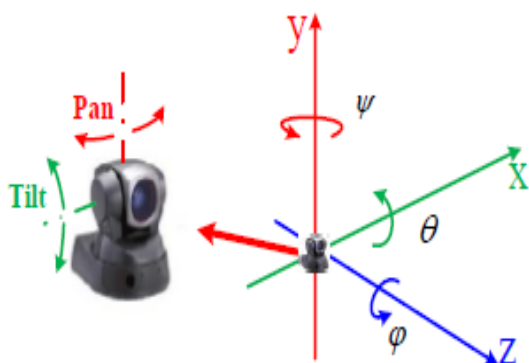
در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای یکسوسازی تصویر ارائه شده است. مینگ و سایرین در [۷] یک الگوریتم خود یکسوسازی برای سکانس‌های ویدئویی استریو کالیبره نشده ارائه کرده‌اند. این الگوریتم، کالیبراسیون تطبیقی را با محاسبه ماتریس‌های پروجکشن و همگرافی شکل می‌دهد. پارامترهای دوربین توسط حداقل کردن تابع هدف با توجه به محدودیت خطاهای هندسی به روز می‌شود. در [۴] روشی برای یکسوسازی تصاویر استریو کالیبره نشده پیشنهاد شده است. در این الگوریتم برای کاهش عدم قطعیت از روش مستقیم استفاده شده است به طوری که فاصله نقطه تا خط اپی پولار حداقل می‌شود تا دو تبدیل یکسوسازی منحصر به فرد به دست آید. در [۸] زوج تصویر براساس محدودیت هندسی در سه مرحله شامل تبدیل تصویری، تبدیل وابسته و تبدیل برشی یکسو شده است. بر اساس محدودیت هندسی اپی پولار و با استفاده از ماتریس اساسی ماتریس تبدیل تصویری محاسبه شده است. سپس تابع بهینه‌سازی اختلاف در راستی عمودی را از بین می‌برد.

در [۹] یک سیستم استریو تک دوربین و آینه استفاده شده تا نماهای اضافی که برای بازسازی سه بعدی مورد نیاز است، فراهم کند. تصویر یکسو شده براساس خواص هندسی اپی پولار مربوط به دوربین استریو تک دوربین می‌باشد. بدین منظور ماتریس اساسی که تناظر خطوط اپی پولار را نشان می‌دهد استفاده شده است. در [۱۰] یک روش پیشنهاد شده که زوج تصویر استریو کالیبره نشده و ناهمگون را یکسو می‌کند. زوج تصویر استریو در دو مرحله یکسو می‌شوند. مرحله اول شامل کوچک شدن تصویر براساس فاصله کانونی است تا اثر بزرگنمایی غیر متعادل را جبران کند. در مرحله دوم تبدیلات یکسوسازی با حل مساله بهینه‌سازی غیر خطی برای نقاط متناظر بین

در رابطه (۱) m_0 و n_0 مختصات مرکز تصویر و k_m و k_n به ترتیب فاکتور مقیاس در راستای محورهای افقی و عمودی برحسب پیکسل بر میلیمتر می‌باشند. در عمل دوربین سه درجه آزادی دارد. شکل ۲ زوایای pan ، $tilt$ و $roll$ نشان می‌دهد. زاویه pan چرخش حول محور y ، زاویه $tilt$ چرخش حول محور x و زاویه $roll$ چرخش حول محور z می‌باشد.



شکل (۱): مدل دوربین پین هول



شکل (۲): نمایش زوایای pan ، $tilt$ و $roll$

$tilt$ در نظر گرفته شده در حالی که در عمل نیاز به دوران دوربین حول سه محور است. همچنین این الگوریتم تنها به یکسوسازی تصویر محدود می‌شود و زمانی که دوربین به وضعیت دیگری دوران نماید نمی‌تواند برای یافتن تصویر جدید استفاده شود. بعلاوه فاصله دو دوربین نیز برای یکسوسازی تصاویر استریو مورد نیاز است.

در این مقاله یک روش یکسوسازی موثر و مطمئن بر اساس میدان تناظری برای تصاویر کالیبره شده ارائه می‌شود. برای اندازه‌گیری دقیق زوایای چرخش که مساله مهمی در یکسوسازی تصاویر کالیبره شده می‌باشد، از یک دوربین تئودولیت تکامل یافته استفاده شده است. این روش برای هر یک از تصاویر استریو به طور مستقل یکسوسازی را انجام می‌دهد. بنابراین تصویر یکسو شده مستقل از نسبت فواصل کانونی دو دوربین است. همچنین روش پیشنهادی می‌تواند مستقیماً تصویر متناظر با هر موقعیت جدید دوربین از روی موقعیت قبلی اش بدون یکسوسازی تولید نماید. روش پیشنهادی فقط محدود به تصاویر استریو نیست بلکه برای هر تعداد تصویر قابل تعمیم می‌باشد. در روش ارائه شده ابتدا یک دوربین مجازی در موقعیت دلخواه در نظر گرفته می‌شود سپس نقاط متناظر در دوربین مجازی بر اساس میدان تناظری محاسبه می‌شوند. سرانجام الگوریتم درونیابی دو بعدی استفاده می‌شود تا روشنایی را برای پیکسل‌ها مشخص سازد. در حالت خاص زمانی که زوایای pan ، $tilt$ و $roll$ دوربین مجازی برابر با صفر قرار گیرد، تصویر یکسو شده به دست خواهد آمد. این مقاله در پنج بخش مرتب شده است. در بخش ۲ مقدماتی در مورد مدل دوربین، پیکربندی تصاویر استریو و میدان تناظری توضیح داده می‌شود. در بخش ۳ الگوریتم یکسوسازی تصویر با روش پیشنهادی توصیف می‌شود. بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی را با استفاده از روش پیشنهادی نشان می‌دهد و نهایتاً بخش ۵ به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

۲- مقدمات اولیه

۲-۱- مدل دوربین

در این روش از مدل دوربین پین هول استفاده می‌شود. یک دوربین پین هول با مرکز نوری و صفحه تصویر با رزولوشن نمونه‌برداری یکسان روی محور x و y مدل می‌شود. شکل ۱ تصویر نقطه $P(X, Y, Z)$ در فضای سه بعدی را توسط دوربین پین هول نشان می‌دهد. فرض کنید تصویر نقطه P بر حسب پیکسل باشد، بنابراین موقعیت $p(m, n)$ در دستگاه مختصات تصویر یعنی $p_I(x_I, y_I)$ به صورت زیر به دست می‌آید [۱۸]:

$$\begin{cases} x_I = \frac{m - m_0}{k_m} \\ y_I = \frac{n - n_0}{k_n} \end{cases} \quad (1)$$

۲-۲- پیکربندی دوربین‌های استریو

در سیستم استریو دو دوربین با یک فاصله مشخص از یکدیگر همانند شکل ۳ واقع شده و نماهای مختلفی از یک صحنه را می‌گیرند. در شکل ۳، O_L و O_R به ترتیب مراکز دوربین‌های چپ و راست و F_L و F_R به ترتیب مراکز تصاویر چپ و راست می‌باشند. همچنین P_L و P_R به ترتیب تصویر نقطه P در تصاویر چپ و راست هستند.

۳- روش پیشنهادی

فرض کنید که تصویر اولیه دوربین‌ها وقتی حول هر سه محور خود دوران یافته‌اند در دسترس باشد. می‌خواهیم تصویر جدیدی را برای حالتی که دوربین‌ها دوران یافته‌اند پیدا کنیم. تصویر جدید را که از دوران جدید دوربین‌ها حاصل می‌شود تصویر دوربین مجازی می‌نامیم. نقاط p'_L و p'_R در شکل ۳ به ترتیب تصاویر نقطه P در تصویر دوربین مجازی چپ و راست می‌باشند. مساله یافتن موقعیت دقیق این نقاط در تصویر دوربین مجازی با استفاده از میدان تناظری و قوانین هندسی می‌باشد. روش پیشنهادی شامل سه مرحله است. به طور خلاصه در مرحله اول موقعیت هر پیکسل در تصویر اصلی (p_L) از دستگاه مختصات تصویر به دستگاه مختصات فضا انتقال می‌یابد. در مرحله دوم نقطه برخورد p_L و O_L و صفحه دوربین مجازی در دستگاه مختصات فضا محاسبه می‌شود (p'_L). سرانجام در مرحله سوم شدت روشنایی پیکسل‌ها با استفاده از الگوریتم درون‌یابی دو بعدی به دست می‌آید. نکته قابل توجه این است که زمانی که زوایای چرخش دوربین مجازی همگی برابر با صفر باشد تصویر یکسو شده حاصل خواهد شد. در ادامه، این مراحل به طور کامل توضیح داده می‌شود.

۳-۱- انتقال دستگاه مختصات

هر موقعیتی برای دوربین مجازی از دوران دوربین حول محورهایش در دستگاه مختصات فضا به دست می‌آید. با توجه به شکل ۲ ماتریس دوران وقتی دوربین حول هر سه محور خود دوران یابد به صورت زیر به دست می‌آید [۲۱].

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\Psi & 0 & -\sin\Psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\Psi & 0 & \cos\Psi \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

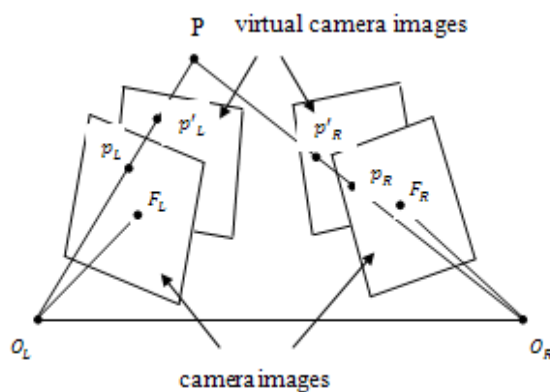
$$R = R_y \cdot R_x \cdot R_z \quad (5)$$

همچنین موقعیت هر نقطه در دستگاه مختصات فضا می‌تواند با استفاده از رابطه زیر به دست آید.

$$p_W = F_r + R \cdot p_I \quad (6)$$

در رابطه فوق p_I و p_W به ترتیب مختصات نقطه در دستگاه مختصات فضا و تصویر و R ماتریس دوران می‌باشد. بعلاوه F_r مرکز تصویر بعد از دوران دوربین است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

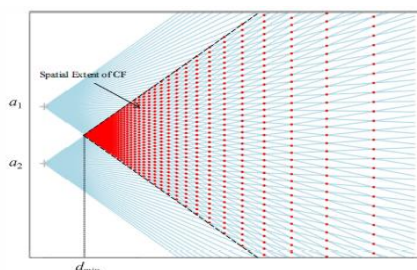
$$F_r = R_y \cdot R_x F = \begin{bmatrix} -f \cos(\theta) \sin(\Psi) \\ -f \sin(\theta) \\ f \cos(\theta) \cos(\Psi) \end{bmatrix} \quad (7)$$



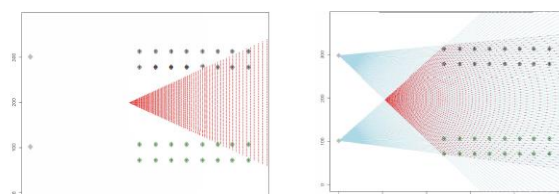
شکل (۳): شماتیک قرار گرفتن دوربین‌های استریو

۳-۲- میدان تناظری

در مدل دوربین بین هول زمانی که دو دوربین موازی یکدیگر باشند نقاط برخورد پرتوهای نور که به مرکز دوربین‌ها می‌رسند در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. این نقاط برخورد شامل اطلاعات جسم مانند عمق و مدل سه بعدی می‌باشد. در فاصله نزدیک به دوربین رزولوشن بالا و در نقاط دور از دوربین رزولوشن پایین است. ناحیه ای که هر دو دوربین می‌توانند تحت پوشش قرار دهند محدوده فضایی میدان تناظری نامیده می‌شود. اجسامی که خارج محدوده فضایی هستند یا توسط یک دوربین دیده می‌شوند یا اصلاً دیده نمی‌شوند. با چرخش دوربین‌ها محدوده فضایی تغییر می‌کند و اجسام می‌توانند مانند شکل ۵ دیده شوند [۲۰].



شکل (۴): محدوده فضایی میدان تناظری

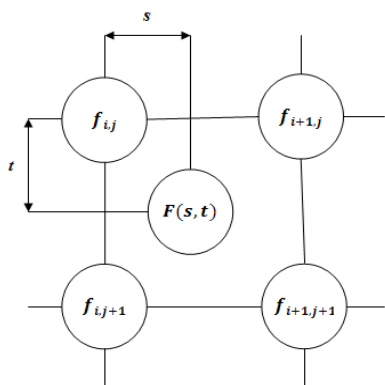


(الف)

(ب)

شکل (۵): اثر دوران دوربین‌ها (الف) ترکیب اولیه (ب) ترکیب بهینه

که s و t به ترتیب موقعیت $F(s,t)$ را در راستای افقی و عمودی تعیین می کنند. همچنین F مقدار روشنایی تخمین زده شده و f روشنایی پیکسل های همسایه را نشان می دهد.



شکل (۷): قرار گرفتن پیکسل ها در الگوریتم درون یابی دوبعدی

۴ - نتایج شبیه سازی

در این قسمت روش پیشنهادی روی تصاویر به دست آمده توسط نرم افزار 3DS Max که یک دوربین با فاصله کانونی ۳۵ میلی متر و رزولوشن تصویر ۴۸۰ × ۶۴۰ پیکسل را شبیه سازی می کند ارزیابی می شود. همچنین تعدادی تصاویر واقعی که با دوربین کانونی با فاصله کانونی ۴,۳ میلی متر و رزولوشن تصویر ۴۸۰ × ۶۴۰ پیکسل گرفته شده، به کار گرفته شده اند. برای اندازه گیری زوایای چرخش از یک دوربین تئودولیت تکامل یافته که می تواند زوایای چرخش را حول هر سه محور با دقت مطلوبی مشخص نماید، مطابق شکل ۸ استفاده شده است.



شکل (۸): دوربین تئودولیت تکامل یافته

شکل ۹ الف تصویر حالت اولیه دوربین، شکل های ۹ ب و ۹ ج به ترتیب تصویر نمای مجازی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و شبیه سازی شده را نشان می دهند. با مقایسه شکل های ۹ ب و ۹ ج با استفاده از الگوریتم SIFT میانگین اندازه خطا^۲ حدود ۰,۲ پیکسل و انحراف معیار^۴ ۰,۲۴ پیکسل است.

در معادله (۷)، $F(0, 0, f)$ مرکز تصویر قبل از دوران و f فاصله کانونی است [۲۲].

۳-۲ - به دست آوردن نقطه متناظر در دوربین مجازی

در مرحله دوم الگوریتم یکسوسازی تصویر، مختصات p'_L باید مشخص گردد. با توجه به شکل ۳ به منظور به دست آوردن مختصات p'_L در تصویر دوربین مجازی معادله خط $O_L p_L$ در دستگاه مختصات فضا نیاز است. فرض کنید که مختصات O_L در دستگاه مختصات فضا $(0, 0, 0)$ و مختصات p_L به صورت (x_w, y_w, z_w) باشد. بنابراین معادله خط $O_L p_L$ به صورت زیر به دست می آید.

$$\frac{x}{x_w} = \frac{y}{y_w} = \frac{z}{z_w} \quad (۸)$$

فرض کنید $(x_{0,vir}, y_{0,vir}, z_{0,vir})$ مرکز تصویر دوربین مجازی در دستگاه مختصات فضا باشد. در این صورت معادله صفحه ای که شامل تصویر دوربین مجازی می باشد عبارتست از:

$$\sin \Psi_{vir}(x - x_{0,vir}) + \tan \theta_{vir}(y - y_{0,vir}) \quad (۹)$$

$$+ \cos \Psi_{vir}(z - z_{0,vir}) = 0$$

سرانجام نقطه برخورد $O_L p_L$ و صفحه تصویر دوربین مجازی به صورت زیر به دست می آید:

$$p'_L = \begin{cases} x = x_w t \\ y = y_w t \\ z = z_w t \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$t = \frac{x_{0,vir} \sin(\Psi_{vir}) + y_{0,vir} \tan(\theta_{vir}) - z_{0,vir} \cos(\Psi_{vir})}{x_w \sin(\Psi_{vir}) + y_w \tan(\theta_{vir}) - z_w \cos(\Psi_{vir})}$$

این نقطه در دستگاه مختصات فضاست و با استفاده از معادله زیر به دستگاه مختصات تصویر تبدیل می شود.

$$p_l = R^{-1}(p_w - F_r) \quad (۱۱)$$

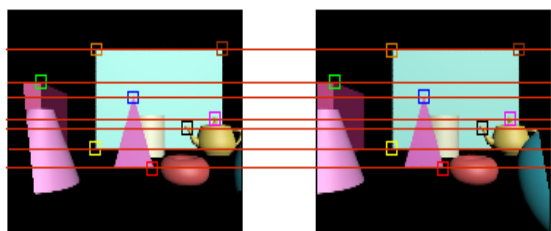
در نهایت با استفاده از رابطه (۱۲) می توان موقعیت هر نقطه در تصویر دوربین مجازی را برحسب پیکسل تعیین کرد.

$$\begin{cases} m = x_l k_m + m_0 \\ n = y_l k_n + n_0 \end{cases} \quad (۱۲)$$

۳-۳ - الگوریتم درون یابی دوبعدی

معمولاً مختصات محاسبه شده برای نقطه متناظر در تصویر دوربین مجازی یک عدد صحیح نمی باشد و باید شدت روشنایی مناسب به آن اختصاص یابد. در اینجا الگوریتم درون یابی دو بعدی استفاده شده تا شدت روشنایی را با استفاده از میانگین وزنی چهار پیکسل احاطه شده اطراف آن تخمین بزند [۲۳]. با توجه به شکل ۷ مقدار روشنایی برای هر پیکسل با استفاده از الگوریتم درون یابی دو بعدی به صورت زیر محاسبه می شود.

$$F(s, t) = (1 - t)\{(1 - s) \cdot f_{i,j} + s \cdot f_{i+1,j}\} + t \cdot \{(1 - s) \cdot f_{i,j+1} + s \cdot f_{i+1,j+1}\} \quad (۱۳)$$



(ج) (د)

شکل (۱۱): یکسوسازی تصاویر استریو (الف) و (ب) تصاویر استریو قبل از یکسوسازی (ج) و (د) تصاویر استریو بعد از یکسوسازی

جدول های ۲ و ۱ به ترتیب اختلاف عمودی پیکسل های متناظر را قبل و بعد از یکسوسازی تصاویر استریو مربوط به شکل ۱۱ را برای هشت نقطه نشان می دهند. میانگین اندازه خطا و انحراف از معیار برای این هشت نقطه به ترتیب ۰.۲۹ و ۰.۳ پیکسل می باشد.

جدول (۱): موقعیت عمودی در تصاویر استریو مربوط به شکل ۱۱ قبل از یکسوسازی

نقطه	موقعیت عمودی در تصویر		اختلاف عمودی پیکسل های متناظر
	چپ	راست	
زرد	353.23	224.16	129.07
آبی	251	128.27	122.73
قهوه ای	175.37	69.48	105.89
صورتی	299.77	186.41	113.36
سبز	191.46	52.64	138.82
سیاه	322.56	216.18	106.38
نارنجی	175.48	69.18	106.3
قرمز	405.68	284.43	121.25

جدول (۲): موقعیت عمودی در تصاویر استریو مربوط به شکل ۱۱ بعد از یکسوسازی

نقطه	موقعیت عمودی در تصویر		اختلاف عمودی پیکسل های متناظر
	چپ	راست	
زرد	299.04	299.38	-0.34
آبی	190.32	189.96	0.36
قهوه ای	89.38	89.07	0.31
صورتی	232.09	231.71	0.38
سبز	146.27	146.63	-0.36
سیاه	251.41	251.26	0.15
نارنجی	89.46	89.21	0.25
قرمز	340.51	340.32	0.19

در مرحله دوم از نتایج شبیه سازی، الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر واقعی ارزیابی می شود. شکل ۱۲ الف تصویر اصلی و شکل های ۱۲ ب و ۱۲ ج به ترتیب تصویر تولید شده توسط روش پیشنهادی و تصویر یکسو شده اصلی را نشان می دهد. تصویر یکسو شده اصلی در حالتی گرفته شده که دوربین هیچ دورانی نداشته است. در این مورد



(الف) (ب) (ج)

شکل (۹): تغییر موقعیت دوربین (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر نمای مجازی با استفاده از روش پیشنهادی (ج) تصویر نمای مجازی شبیه سازی شده با 3DS

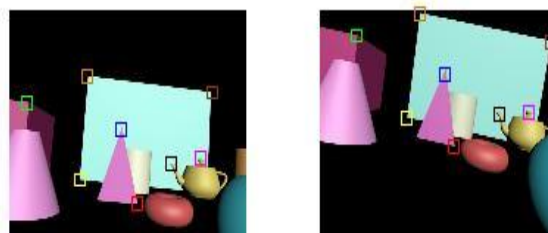
شکل ۱۰ تحقق روش پیشنهادی را برای یکسوسازی تصویر روشن می سازد. شکل ۱۰ الف تصویر اصلی، شکل های ۱۰ ب و ۱۰ ج به ترتیب تصویر یکسو شده به دست آمده با روش پیشنهادی و شبیه سازی شده با 3DS می باشند. با استفاده از الگوریتم SIFT میانگین اندازه خطا حدود ۰.۲۲ و انحراف از معیار ۰.۲۴ پیکسل می باشد.



(الف) (ب) (ج)

شکل (۱۰): یکسوسازی تصویر (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر یکسو شده توسط روش پیشنهادی (ج) تصویر یکسو شده شبیه سازی شده با 3DS

شکل ۱۱ یکسوسازی را برای تصاویر استریو با استفاده از روش پیشنهادی نشان می دهد. شکل های ۱۱ الف و ۱۱ ب تصاویر استریو اصلی قبل از یکسوسازی و شکل های ۱۱ ج و ۱۱ د تصاویر استریو یکسو شده می باشند. واضح است که نقاط مشخص شده متناظر در دو تصویر قبل از یکسوسازی در امتداد یک خط نیستند ولی بعد از یکسوسازی همه نقاط مشخص شده در امتداد یک خط با دقت مناسبی انتقال می یابند.



(الف) (ب)

میانگین اندازه خطا حدود ۲۵. پیکسل و انحراف از معیار ۲۶. پیکسل می‌باشد.

جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب اختلاف پیکسل‌ها را در راستای عمودی برای هشت نقطه متناظر از تصاویر استریو مربوط به "room2" قبل و بعد از یکسوسازی مشخص می‌کند. با توجه به الگوریتم SIFT مورد استفاده میانگین اندازه خطا و انحراف معیار برای این هشت نقطه به ترتیب ۲۸ و ۳. پیکسل می‌باشد.

جدول (۳): موقعیت عمودی نقاط متناظر مربوط به "room2" قبل از

نقطه	یکسوسازی		اختلاف عمودی پیکسل‌های متناظر
	موقعیت عمودی در تصویر چپ	موقعیت عمودی در تصویر راست	
زرد	305.64	409.37	-103.73
آبی	121.07	182.45	-61.38
قهوه ای	135.76	239.27	-103.51
صورتی	70.12	180.46	-110.34
سبز	386.87	454.32	-67.45
سیاه	42.53	118.21	-75.68
نارنجی	271.54	350.87	-79.33
قرمز	152.17	225.64	-73.47

جدول (۴): موقعیت عمودی نقاط متناظر مربوط به "room2" بعد از

نقطه	یکسوسازی		اختلاف عمودی پیکسل‌های متناظر
	موقعیت عمودی در تصویر چپ	موقعیت عمودی در تصویر راست	
زرد	361.23	361.56	-0.33
آبی	157.77	158.04	-0.27
قهوه ای	195.44	195.16	0.28
صورتی	131.45	131.68	-0.23
سبز	427.25	426.89	0.36
سیاه	84.76	84.54	0.22
نارنجی	315.46	315.08	0.38
red	195.12	195.43	-0.31

جدول‌های ۵ و ۶ دقت روش پیشنهادی را با روش‌های دیگر مقایسه می‌کند. جدول ۵ میانگین اندازه اختلاف عمودی ۵۰ پیکسل متناظر را قبل و بعد از یکسوسازی برای "room1" و "room2" با استفاده از روش‌های مختلف مشخص می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود روش پیشنهادی اختلاف کمتری در پیکسل‌های متناظر عمودی در مقایسه با سایر روش‌ها دارد. در جدول ۶، میانگین اندازه خطا و انحراف معیار برای ۵۰ نقطه متناظر با استفاده از روش‌های مختلف با تغییر نسبت فواصل کانونی دوربین‌ها برای "room1" محاسبه شده است. بر اساس جدول ۶، میانگین اندازه خطا و انحراف معیار در روش‌های قبلی با تغییر نسبت فواصل کانونی دوربین‌ها افزایش می‌یابد اما روش پیشنهادی مستقل از نسبت فواصل کانونی دوربین‌ها است.



(الف) (ب) (ج)

شکل (۱۲): یکسوسازی تصاویر واقعی (الف) تصویر اصلی (ب)

تصویر یکسو شده توسط روش پیشنهادی (ج) تصویر یکسو شده اصلی

شکل‌های ۱۳ و ۱۴ مثال‌های بیشتری از یکسوسازی تصویر را برای تصاویر واقعی نشان می‌دهد. شکل‌های ۱۳ الف و ۱۳ ب تصاویر اصلی قبل از یکسوسازی و شکل‌های ۱۲ ج و ۱۲ د تصاویر یکسو شده را برای "room1" نشان می‌دهند. همچنین شکل‌های ۱۴ الف و ۱۴ ب تصاویر اصلی قبل از یکسوسازی و شکل‌های ۱۴ ج و ۱۴ د تصاویر یکسو شده را برای "room2" مشخص می‌سازند.



(الف) (ب)



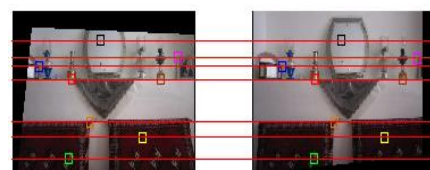
(ج) (د)

شکل (۱۳): یکسوسازی تصویر واقعی "room1" : (الف) و (ب)

تصاویر استریو قبل از یکسوسازی (ج) و (د) تصاویر استریو بعد از یکسوسازی



(الف) (ب)



(ج) (د)

شکل (۱۴): یکسوسازی تصویر واقعی "room2" : (الف) و (ب)

تصاویر استریو قبل از یکسوسازی (ج) و (د) تصاویر استریو بعد از یکسوسازی

arrangement", Artificial Intelligence Research, Vol. 3, No.1, pp.18-29, 2014.

- [۲] Perek, P., Makowski, D., Napieralski, A., Efficient Uncalibrated Rectification Method for Stereo Vision Systems, 23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, 2016.
- [۳] Changming, S., Trinocular stereo image rectification in closed-form only using fundamental matrices. IEEE 20th International Conference on Image Processing (ICIP), Melbourne, Australia, 2013.
- [۴] Huiyan, H., Xie, H., Fengbao, Y. "Rectification of uncalibrated images for stereo vision", TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol. 11, No. 1, pp.322-329, 2013.
- [۵] Kumar, S., Avinash, N., Stereo image rectification using focal length adjustment. IEEE Fifth International Conference on Signals and Image Processing, Bangalore, India, 2014.
- [۶] Eduardo, R., Corral, S., James, H., Elder. Automatic Single-View Calibration and Rectification from Parallel Planar Curves. Springer 13th European Conference, Zurich, Switzerland, 2014.
- [۷] Cheng, C., Lai, S., Su, SH., Self image rectification for uncalibrated stereo video with varying camera motions and zooming effects. MVA IAPR Conference on Machine Vision Applications, Yokohama, Japan, 2009.
- [۸] Liansheng, S., Jiulong, Z., Duwu, C., "Image rectification using affine epipolar geometric constraint". IEEE International Symposium on Computer Science and Computational Technology, Shanghai, china, 2008.
- [۹] Xu, L., Sun, W., Li, Y., et al. Image rectification for single camera stereo system'. IEEE 18th international conference on Image Processing, Brussels, Belgium, 2011.
- [۱۰] Kumar, S., Micheloni, C., Piciarelli, C., et al. "Stereo rectification of uncalibrated and heterogeneous images", Elsevier Pattern Recognition Letters, Vol. 31 No. 11, pp. 1445-1452, 2010.
- [۱۱] Wang, Y., Yang, B., Ding, J. A unified rectification method for single viewpoint multi-camera system. IEEE 8th International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance, Klagenfurt, Austria, 2011.
- [۱۲] Wang, Y., Gong, X., Lin, Y., et al. "Stereo calibration and rectification for omnidirectional multi-camera systems", International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 9, No. 143, 2012.
- [۱۳] Wan, D., Zhou, J., "Stereo vision using two PTZ cameras", Elsevier Computer Vision and Image Understanding, Vol. 112, No. 2, pp.184-194, 2008.
- [۱۴] Hartley, R. "Theory and practice of projective rectification", International Journal of Computer Vision, Vol. 35, No. 2, pp. 115-127, 1999.
- [۱۵] Young, Z., Ping, A., He, W., et al. A rectification algorithm for un-calibrated multi-view images based on SIFT features. IEEE International Conference on Audio Language and Image Processing (ICALIP), Shanghai, china, 2010.
- [۱۶] Kudryavtsev, Andrey V., Demb'el'e, S., and Piat, N., Stereo-image rectification for dense 3D reconstruction in scanning electron microscope, International Conference

جدول (۵): میانگین اندازه اختلاف عمودی پیکسل های متناظر قبل و

روش پیشنهادی	بعد از یکسوسازی							
	استفاده شده در [۱]		استفاده شده در [۱۸]		استفاده شده در [۲۴]		روش پیشنهادی	
روش	room 1	room 2	room 1	room 2	room 1	room 2	room 1	room 2
تصویر اصلی	54.33	89.43	54.33	89.43	54.33	89.43	54.33	89.43
یکسوشده	0.61	0.68	0.51	0.53	0.43	0.41	0.25	0.27

جدول (۶): مقایسه روش پیشنهادی با روش های دیگر با تغییر نسبت

روش پیشنهادی	فواصل کانونی دوربین ها							
	استفاده شده در [۱]		استفاده شده در [۱۸]		استفاده شده در [۲۴]		روش پیشنهادی	
روش نسبت فاصله کانونی	MAE	SD	MAE	SD	MAE	SD	MAE	SD
1.00	0.61	0.58	0.51	0.48	0.41	0.38	0.25	0.26
0.90	1.02	.82	0.55	0.49	0.50	0.47	0.25	0.26
0.80	1.74	1.58	0.60	0.55	0.54	0.50	0.25	0.26
0.70	2.74	2.47	0.67	0.59	0.57	0.47	0.25	0.26
0.60	4.17	3.42	0.86	0.66	0.62	0.53	0.25	0.26
0.50	5.78	4.64	0.96	0.74	0.68	0.60	0.25	0.26

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم موثر و مطمئن برای یکسوسازی تصاویر استریو بر اساس میدان تناظری ارائه شده است. روش پیشنهادی می تواند تصویر هر موقعیت جدید دوربین را از روی تصویر حالت قبلی پیدا کند که در حالت خاص می تواند تصویر را یکسو نماید. در این روش تنها از یک تصویر برای یکسوسازی استفاده می شود و نیاز به هر دو تصویر استریو برای یکسوسازی نیست. همچنین روش پیشنهادی برخلاف سایر روش ها مستقل از نسبت فاصله کانونی دوربین ها است. علاوه بر این روش از ماتریس کالیبراسیون، ماتریس پروژکشن و ماتریس اساسی که منجر به محاسبات طولانی و پیچیده می شود اجتناب می گردد. نتایج شبیه سازی برای تصاویر به دست آمده توسط نرم افزار 3DS و نیز تصاویر واقعی گرفته شده با دوربین کانون نشان می دهد تصاویر یکسو شده با استفاده از روش پیشنهادی نسبت به روش های دیگر از دقت بهتری برخوردار است و میانگین اندازه خطا و انحراف معیار پیکسل های متناظر عمودی در تصاویر استریو بهبود یافته اند.

مراجع

- [۱] Jiachen, Y., Fei, G., Huogen, W., et al. "A multi-view image rectification algorithm for matrix camera

- on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS), 2017.
- [۱۷] Yoon, J. H., Park, M.-G., and Hwang, Y., Multi-view Image Rectification with Inter- and Intra-disparity Consistency Constraints, 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2017.
- [۱۸] You, Sh., Matsushita, Y., Sinha, S., et al. Multi view Rectification of Folded Documents, IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, VOL. 40, NO. 2, FEBRUARY 2018.
- [۱۹] Su, H., He, B. "Stereo rectification of calibrated image pairs based on geometric transformation", I.J.Modern Education and Computer Science, Vol. 4, pp.17-24, 2011.
- [۲۰] Safaei, F., Mokhtarian, P., Shidanshidi, H., et al. Scene-adaptive configuration of multiple cameras using the correspondence field function. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, San Jose, USA, 2013.
- [۲۱] Gao, L., Ruan, Q., "Binocular stereo localization using two Pan-Tilt-Zoom cameras", International Journal of Information and Computer Science (IJICS), 1. pp. 21-29, 2012.
- [۲۲] Hosseinpour, H., Mousavinia, A. "View synthesis for FTV systems based on a minimum spatial distance and correspondence field", Multidimensional Systems and Signal Processing, pp.1-20, 2018.
- [۲۳] Kim, H., Park, S., Wang, J., et al. Advanced bilinear image interpolation based on edge features. IEEE First International Conference on Advances in Multimedia, Colmar, France, 2009 .
- [۲۴] Dinh V., Nguyen T., Jeon J. "Rectification using different types of cameras attached to a vehicle", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 28, No.2, pp.815-826, 2019.

¹ Multi-view system
² correspondence field
³ Mean absolute error (MAE)
⁴ Standard deviation (SD)