

## تعیین موقعیت اشیای متحرک با استفاده از تصویربرداری استریو بدون نقاط با مختصات معلوم در صحنه

حسین میانریمی  
عضو هیئت علمی دانشکده برق و کامپیوتر  
دانشگاه مازندران  
h\_miare@nit.ac.ir

غلامرضا اردشیر  
عضو هیئت علمی دانشکده برق و کامپیوتر  
دانشگاه مازندران  
g.ardeshir@nit.ac.ir

سارا شریف زاده  
عضو هیئت علمی گروه مخابرات  
دانشگاه شمال  
sarasharifzade@yahoo.com

ها جزء ویژگیهای ثابت آنها هستند و تنها کافیسست یکبار از طریق آزمایشهای کالیبراسیون با در دست داشتن نقاط با مختصات معلوم محاسبه شوند. اما پارامترهای بیرونی بسته به موقعیت دوربینها (انتقال و چرخش)، نسبت به مبدا مختصات اصلی در صحنه‌های مختلف تغییر می‌کنند. بنابراین اکثر روشهایی که از تصویربرداری استریو استفاده می‌کنند، نیازمند به در دست داشتن نقاط با مختصات یا فواصل معلوم در صحنه مورد نظر می‌باشند تا پارامترهای بیرونی دوربینها را محاسبه نمایند [۱،۳]. زیرا این پارامترها در فرمولبندی روابط تعیین موقعیت نقش اساسی دارند. روشهای کلاسیک کالیبراسیون از یک الگوی ویژه که مختصات نقاط کنترلی بر روی آن مشخص است بهره می‌برند [۴]. از دیگر روشها، روش خود کالیبراسیون (Self calibration) با استفاده از معادلات Kruppa است [۳] و یا روش خود کالیبراسیون با استفاده از نماهای منفرد (Single View) [۵].

تعیین موقعیت اشیای متحرک با استفاده از پارامترهای دوربین و تصویربرداری استریو، به روشهای مختلف انجام می‌شود. یکی از عمده‌ترین آنها روشهای مبتنی بر شکل ظاهری هستند [۶]. در این روشها با استفاده از مجموعه تصاویر یادگیری استریو، یک مدل سه بعدی از شی مورد نظر ساخته می‌شود و سپس بر اساس یافتن انطباق میان تصاویر ورودی و مدل ساخته شده، تعقیب و تعیین موقعیت شی صورت می‌گیرد. روشهای مبتنی بر استخراج ویژگیهای هندسی اشیای دیگر تکنیکهای مطرح در این زمینه می‌باشند که بر پایه یافتن انطباق میان ویژگیهای شی صحنه و ویژگیهای مورد انتظار بنا نهاده شده‌اند [۷].

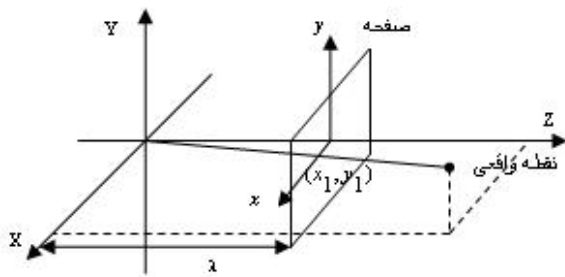
در رویکردی که پیش روست، بر اساس یک فرض اولیه، مدل هندسی استریو مستقل از پارامترهای بیرونی ناشی از چرخش و انتقال دوربین پایه‌ریزی شده است. این مساله علاوه بر ساده سازی روابط حاکم، امکان تعیین موقعیت را برای هر صحنه بدون نیاز به در دست بودن نقاط با مختصات یا فواصل معلوم امکان‌پذیر می‌سازد. در نتیجه آزمایشهای کالیبراسیون به طور ساده‌تر و تنها در یک مرحله مقدماتی برای استخراج پارامترهای ثابت درونی دوربین انجام می‌گیرد. در این الگوریتم ابتدا با استفاده از مدل‌سازی زمینه و روش تفریق، اشیای متحرک در تصاویر دو دوربین آشکارسازی می‌شوند و سپس با استفاده از فنون

**چکیده:** تعیین موقعیت اشیای متحرک در فضای سه بعدی یکی از اهداف کاربردی سیستم‌های مبتنی بر بینایی ماشین همچون رباتیک، صنایع نظامی و یا گرافیک کامپیوتری است. در این مقاله به معرفی رویکردی خواهیم پرداخت که در آن با استفاده از یک مدل هندسی مناسب از روش تصویر برداری استریو، موقعیت سه بعدی اشیای متحرک تعیین می‌گردد. در روش پیشنهادی برخلاف رویکردهای متداول، نیازی به در دست داشتن چندین نقطه با مختصات معلوم در صحنه جهت محاسبه پارامترهای بیرونی دوربین نیست. در نتیجه می‌توان بدون هیچ محدودیتی آنرا در هر صحنه‌ای مورد استفاده قرار داد. لذا تنها پارامترهای درونی دوربین در مرحله کالیبراسیون محاسبه می‌شوند که این موضوع بطور چشمگیری سبب ساده‌سازی روابط شده است. آزمایش‌های انجام شده برای داده‌های تست عملکرد بالایی را نشان می‌دهد و نتایج آن برای صحنه‌های واقعی نیز با موفقیت همراه بوده است.

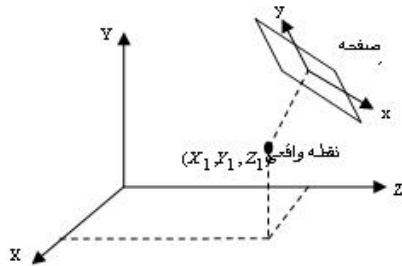
**واژه‌های کلیدی:** تصویربرداری استریو، کالیبراسیون، تعیین مختصات سه‌بعدی، مدل‌سازی زمینه، آشکارسازی.

### ۱- مقدمه

تعیین موقعیت سه بعدی اهداف، یکی از زمینه‌های کاربردی در حوزه بینایی ماشین است. جهان واقعی سه بعدی است و هر نقطه‌ای از آنرا می‌توان با سه مختصه  $(X, Y, Z)$  مشخص کرد. تبدیل پرسپکتیو که تبدیل تصویر بردار نیز نامیده می‌شود، نقاط فضای سه بعدی را بر یک صفحه دو بعدی تصویر می‌کند. بنابراین یکی از ابعاد هر نقطه از فضا در هنگام نگاشتن آن بر صفحه دو بعدی از دست می‌رود. برای بازیابی این بعد از دست رفته، تکنیکهای بازیابی بعد سوم از تصاویر دو بعدی مطرح می‌شوند که یکی از مهمترین آنها روش تصویر برداری استریو است. در این روش، توسط دو دوربین از یک صحنه معین دو تصویر فراهم می‌شود و با استفاده از پارامترهای دوربینها و روابط حاکم بر مدل هندسی تصاویر استریو هر سه بعد نقاط قابل محاسبه می‌باشد. بنابراین لازم است تا ابتدا پارامترهای درونی و بیرونی دوربینها در مرحله کالیبراسیون با روشی مناسب محاسبه شوند. پارامترهای درونی دوربین-



شکل (۱): مدل هندسی دوربین‌های CCD و تصویر یک نقطه بر صفحه تصویر آن



شکل (۲): نمایش هندسی دستگاه مختصات دوربین که نسبت به مبدا مختصات اصلی، انتقال و دوران یافته است.

پارامترهای درونی آن خواهد بود که تنها یکبار با ترتیب دادن آزمایش‌های مناسب قابل محاسبه است. از تناسب میان ابعاد مانیتور دوربین و ابعاد آرایه تصویر برای یافتن ابعاد پیکسلها استفاده می‌شود. اگر ابعاد آرایه تصویر  $n \times m$  باشد بطوریکه  $n$  تعداد ستونها و  $m$  تعداد سطرهای آن باشد و ابعاد صفحه مانیتور نیز  $N \times M$  سانتی متر در نظر گرفته شود و  $M$  و  $N$  به ترتیب طول و عرض مانیتور باشند، آنگاه ابعاد هر پیکسل بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$\alpha = \frac{N}{n} cm \quad (1)$$

$$\beta = \frac{M}{m} cm \quad (2)$$

که  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب طول و عرض هر پیکسل هستند. در این مرحله، از تصویرکردن یک شی با ابعاد معین بر صفحه تصویر دوربین برای محاسبه فاصله کانونی استفاده می‌شود. شکل (۳) یک شی با ابعاد معلوم و تصویر آن را بر صفحه دوربین نشان می‌دهد. دو مثلث  $OPP$  و  $Oii$  متشابهند و بر طبق قضیه طالس روابط زیر برقرار است:

$$\frac{\lambda}{\lambda + Z} = \frac{\Delta x}{\Delta X} = \frac{\Delta y}{\Delta Y} \quad (3)$$

که  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  ابعاد واقعی شی و  $\Delta x$  و  $\Delta y$  ابعاد شی در صفحه دوربین هستند که با استفاده از ابعاد هر پیکسل  $(\alpha, \beta)$  قابل محاسبه هستند. در نتیجه می‌توان فاصله کانونی دوربین را از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot Z}{\Delta X - \Delta x} \quad (4)$$

برچسب زنی و همبستگی و همچنین روابط استریو، موقعیت سه بعدی آنها مشخص می‌شود. برای مدل‌سازی زمینه از یک روش غیر آماری استفاده شده است که بر پایه آنالیز حرکتی و استخراج اشیای متحرک استوار است [۲]. الگوریتم پیشنهادی به مجموعه داده‌های تست اعمال شده که نتایج آن با موفقیت همراه بوده است و در نتیجه برای صحنه‌های مختلف قابل استفاده است.

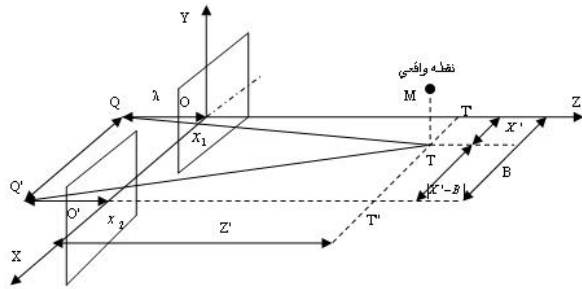
در ادامه مقاله ابتدا در بخش دوم کالیبراسیون دوربین، مدل هندسی بکاررفته برای تصویربرداری استریو و همچنین روابط لازم تشریح خواهد شد. بخش سوم به تشریح الگوی کامل آشکارسازی و تعیین موقعیت اشیای متحرک و نتیجه آزمایش‌ها اختصاص خواهد شد.

## ۲- تعیین موقعیت اشیای متحرک در فضای سه بعدی

در این بخش کلیه مراحل لازم جهت رسیدن به روابط مربوط به تعیین موقعیت اشیای متحرک مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بکارگیری تکنیک استریو مستلزم استفاده از دو دوربین تصویربرداری با مشخصات کاملاً مشابه است. بویژه لازم است تا تعداد فریمهای یکسانی در واحد زمان از صحنه اخذ شود. به همین جهت کلیه آزمایش‌ها با استفاده از دو دوربین تصویربرداری کاملاً مشابه انجام شده است که ابعاد آرایه تصویر آنها  $240 \times 320$  است و دوربینها قادر به ضبط ۵ فریم بر ثانیه هستند.

## ۲-۱ کالیبراسیون دوربین

برای کالیبره کردن دوربین از مدل هندسی آن استفاده می‌شود. شکل (۱) مدل دوربینهای CCD را نشان می‌دهد. هر دوربین بر اساس مرکز نوری و صفحه تصویر خود مدل می‌شود. همانطور که در شکل مشخص است، دستگاه مختصات اصلی  $(X, Y, Z)$  و مرکز نوری دوربین بر یکدیگر منطبق هستند.  $\lambda$  فاصله کانونی دوربین است و مختصات سه بعدی هر نقطه  $(X_1, Y_1, Z_1)$  نسبت به این دستگاه سنجیده می‌شود. همچنین یک دستگاه مختصات دو بعدی بر صفحه تصویر قرار دارد که مختصات شی  $(x_1, y_1)$  را در صفحه تصویر مشخص می‌کند. برای هر دوربین پارامترهای درونی و بیرونی تعریف می‌شود. پارامتر درونی دوربین فاصله کانونی آنست. همچنین ابعاد هر کدام از پیکسلها و تعداد آنها از مشخصات بدون تغییر یک دوربین است. پارامترهای بیرونی در صورتی تعریف می‌شوند که مبدا دوربین نسبت به دستگاه مختصات اصلی، دوران و انتقال یابد. شکل (۲) این موضوع را نشان می‌دهد. در این حالت برای مرتبط ساختن دستگاه مختصات اصلی و سامانه مختصات دوربین، از روابط هندسی مربوط به تبدیلات چرخش و انتقال استفاده می‌شود و البته در اختیار داشتن نقاط با مختصات معلوم در صحنه الزامیست. از آنجاییکه در دست داشتن چنین نقاطی در صحنه‌های مختلف میسر نیست و تعیین موقعیت در همه شرایط و صحنه‌ها مد نظر است، دستگاه مختصات اصلی و دستگاه مختصات صفحه تصویر دوربین را بر یکدیگر منطبق نموده‌ایم. در این شرایط پارامترهای دوربین تنها شامل



شکل (۴): نمایش هندسی تصویر کردن یک نقطه از فضا در صفحه تصاویر استریو (دستگاه مختصات اصلی با سامانه مختصات دوربین چپ منطبق شده است)

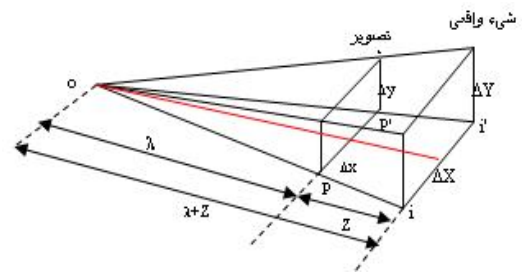
مرجع [۲] مراجعه نمود. پس از آشکارسازی اشیاء متحرک، نواحی آشکار شده طی عملیات Dilation با نرخ بسیار کمی بسط داده می‌شوند تا گسستگیهای احتمالی بوجود آمده در بخشهای مختلف شی که ممکن است در مرحله آستانه‌گیری ایجاد شوند، برطرف گردد و شی یکپارچه به نظر برسد. در مرحله بعد از تکنیک برچسب‌زنی برای شناسایی کلیه اشیاء آشکار شده استفاده می‌شود و با استفاده از تابع همبستگی، زوج اجسام منطبق در تصاویر دو دوربین شناسایی می‌شوند. برای تعیین موقعیت سه بعدی هر شی، مرکز ثقل هندسی آن در زوج تصاویر آشکار شده در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از ابعاد پیکسلها و روابط (۵،۶،۷) مختصات شی در فضای سه بعدی بدست می‌آید.

### ۱-۳ نتایج آزمایش

ابعاد مانیتور دوربینهای بکار رفته ۳×۲/۲ سانتی‌متر است لذا با توجه به اندازه آرایه تصویر، مقدار  $\alpha$  و  $\beta$  از روابط (۲،۱) محاسبه می‌شود. در مرحله بعد با انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین فاصله کانونی و با استفاده از رابطه (۴)، مقدار فاصله کانونی هر دو دوربین بدست آمده است. با استفاده از این پارامترهای بدست آمده برای دوربینها، آزمایش‌های تعیین موقعیت انجام می‌شوند.

با ترتیب دادن آزمایش‌هایی بر روی مجموعه داده‌های تست، صحت روابط بدست آمده برای تعیین موقعیت تحقیق شده است. این مجموعه داده‌ها شامل اشیاء با موقعیت ثابت و همچنین اشیاء متحرک است. سپس با توجه به موفقیت بدست آمده، این آزمایشها در صحنه‌های واقعی نیز انجام گرفته است. در این آزمایشها، مختصات سه بعدی اشیاء نسبت به مرکز دوربین سمت چپ اندازه‌گیری شده است. این آزمایشها برای اشیاء مختلف در فواصل و مختصات متفاوت تکرار شده و نتایج به دست آمده همخوانی مناسب با مختصات واقعی را با تolerانس خطای محدودی نشان می‌دهند. این خطا به دقت اندازه‌گیری مختصات واقعی اشیاء و تنظیم فاصله دوربینها مربوط می‌شود.

برای فراهم ساختن داده‌های تست، از قرار دادن نشانه‌هایی با مختصات معین نسبت به دوربینها در صحنه آزمایش استفاده شده است. بطوریکه با حرکت اشیاء در مسیر این نشانه‌ها، هنگامی که شی متحرک



شکل (۳): چگونگی محاسبه فاصله کانونی دوربین (lambda)

### ۲-۲ تصویر برداری استریو

با توجه به فرض انجام شده مبنی بر انطباق مبدا مختصات اصلی و مبدا مختصات صفحه تصویر، مدل هندسی استریو بصورت شکل (۴) تبدیل می‌شود. در اینجا مبدا مختصات اصلی در انطباق با صفحه دوربین سمت چپ قرار داده شده است و فاصله دو دوربین از یکدیگر مقداری معلوم است که آنرا با  $B$  نشان داده‌ایم. نقطه مورد نظر  $M$  در مختصات  $(X', Y', Z')$  قرار دارد. با امتداد آن در راستای عمودی، محل برخورد آن با صفحه  $XZ$  بدست می‌آید. از اتصال  $T$  به مراکز نوری دو دوربین یعنی  $Q$  و  $Q'$ ، می‌توان مختصات  $x_1$  و  $x_2$  را که به تصاویر نقطه مورد نظر در صفحات تصویر دو دوربین مربوط است، بدست آورد. با توجه به تشابه مثلثهای  $Ox_1Q$  و  $TT'Q'$  و همچنین دو مثلث  $O'x_2Q'$  و  $TT'Q$ ، می‌توان بر اساس قضیه طالس روابط زیر را نوشت:

$$\frac{\lambda}{\lambda + Z'} = \frac{x_2}{|X' - B|} = \frac{x_1}{X'} \Rightarrow X' = \frac{Bx_1}{x_1 - x_2} \quad (5)$$

$$Z' = \frac{\lambda X'}{x_1 - \lambda} \quad (6)$$

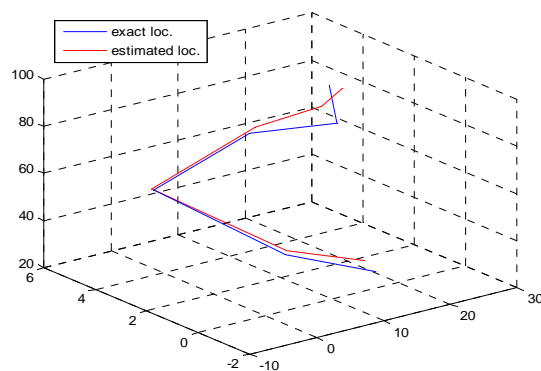
همچنین با ترسیماتی مشابه و با در اختیار داشتن  $Z'$ ، می‌توان مشخصه  $Y'$  را بصورت زیر بدست آورد:

$$Y' = \frac{y_1}{\lambda} (\lambda + Z') \quad (7)$$

برای پرهیز از پیچیدگی شکل،  $Y'$  و تصاویر آن در دو صفحه یعنی  $y_1$  و  $y_2$  و امتدادهای لازم رسم نشده‌اند. بدین ترتیب هر سه مختصه نقطه مورد نظر در فضای سه بعدی بدست آمده‌اند.

### ۳- آشکارسازی و تعیین موقعیت اشیاء متحرک

برای تعیین موقعیت اشیاء متحرک لازم است تا آنها را با روشی مناسب آشکارسازی نماییم. در الگوریتم جاری از روش تفریق و آستانه‌گیری برای آشکارسازی اشیاء متحرک استفاده می‌شود که مستلزم در اختیار داشتن مدل زمینه است. برای مدل‌سازی زمینه از یک روش غیرآماری استفاده شده است. در این روش بخشهایی از زمینه که توسط اشیاء متحرک پوشیده نشده‌اند، بطور مستقیم از تصاویر ورودی استخراج می‌شوند. بطوریکه بتوان کل زمینه را از بهم پیوستن این بخشها همانند یک پازل بازسازی کرد. برای بررسی دقیق‌تر این رویکرد می‌توان به



شکل (۷): ترسیم سه بعدی مختصات واقعی و تخمینی

#### ۴- نتیجه گیری

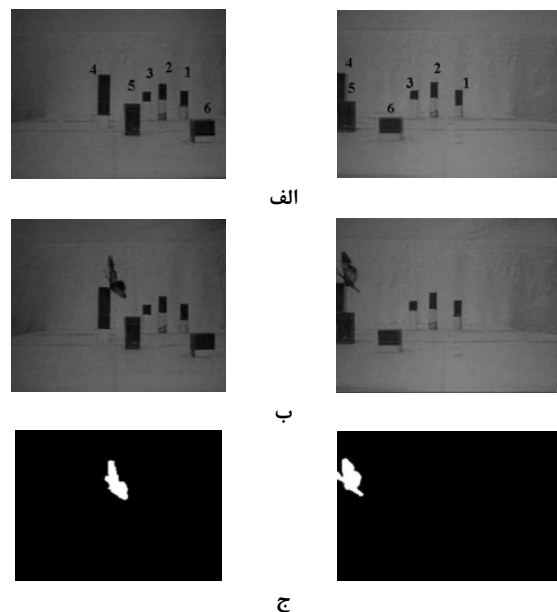
این مقاله، به ارائه روشی برای تعیین موقعیت اشیای متحرک در فضای سه بعدی پرداخته است. الگوریتم پیشنهادی برخلاف رویکردهای متداول، نیازی به در اختیار داشتن نقاط با مختصات معلوم در صحنه مورد نظر برای کالیبراسیون دوربین ندارد. در این روش تنها با استفاده از پارامترهای ثابت درونی دوربین و یک مدل مناسب استریو، تعیین موقعیت اشیای انجام می‌گیرد. نتایج آزمایش‌های انجام شده تا ۹۰ درصد با موفقیت همراه بوده است.

#### مراجع

- [۱] گونزالس، رافائل سی، وودز، ریچارد ای، پردازش تصویر رقمی، ترجمه خادمی، مرتضی، جعفری، داود، ویراسته سیدین، علیرضا، چاپ دوم، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، پاییز ۱۳۸۳.
- [۲] شریف زاده، سارا، اردشیر، غلامرضا، میازنیمی، حسین، "استفاده از اطلاعات حرکتی و روش تفریق فریم‌های غیر متوالی در مدل‌سازی زمینه"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی کامپیوتر ایران، دوازدهمین دوره، صفحه ۱۴، دانشگاه شهید بهشتی، اسفند ۸۵.
- [3] Pollefeys, Marc, *Visual 3D Modeling from Images*, USA, University of North Carolina-Chapel Hill, 2003.
- [4] Liebowitz, D., Zisserman, A., *Combining Scene and Auto-calibration Constraints*, In proc. 7th International Conference on Computer Vision, Kerkyra, Greece, pages 293-300, September, 1999.
- [5] Liebowitz, D, Criminisi, A., Zisserman, A., *Creating Architectural Models from Images*. In Proc. EuroGraphics, volume 18, pages 39-50, September 1999.
- [6] Pradit Mittrapiyanuruk, Guilherme N. DeSouza, Avinash C. Kak, *Calculating the 3D-Pose of Rigid-Objects Using Active Appearance Models*, IEEE International Conference in Robotics and Automation, 2004.
- [7] Motai, Y., Kosaka, A., *Concatenate Feature Extraction for Robust 3D Elliptic Object Localization*, In Proc. of the 19th ACM Symposium on Applied Computing, Cyprus, pp. 21-28, 2004.

به هر نشانه می‌رسد، مختصات آن نسبت به مبدا از روابط محاسبه و با مختصات واقعی که برای آن نشانه وجود دارد، مقایسه می‌شود. شکل (۶) نمونه‌ای از آزمایشی را نشان می‌دهد که در آن پروانه آویخته‌ای از میان این نشانه‌ها حرکت داده شده است. برای آنکه بخشهای یکپارچه بدن پروانه طی عملیات آستانه‌گیری به همان صورت باقی بمانند و حفره‌های ایجاد شده احتمالی پوشیده شوند، پس از مرحله آستانه‌گیری یک مرحله بسط خفیف شی آشکارسازی شده با عملیات Dilation انجام شده است. به همین دلیل پروانه‌های آشکار شده کمی پهن‌تر از ابعاد واقعی خود به نظر می‌رسند. درصد عملکرد برنامه در راستاهای مختلف در جدول (۱) درج شده‌اند. خطای ایجاد شده از این واقعیت ناشی می‌شود که برنامه برای تعیین موقعیت پروانه، نقطه مرجع آنرا بصورت مرکز ثقل شماره سطر و ستونهایی که در آرایه تصویر استخراج کرده در نظر می‌گیرد که لزوماً با گوشه‌ای از بدن پروانه که به نشانه برخورد کرده و مختصات معلوم آن در جدول آمده، مطابقت ندارد. در شکل (۷) نمایش مختصات حقیقی و تخمینی بطور همزمان در یک دستگاه مختصات ترسیم شده‌اند.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها، مدل پیشنهادی سبب ساده‌سازی مرحله کالیبراسیون مقدماتی و روابط لازم شده و نیاز به نقاط با مختصات معلوم در هر صحنه برای کالیبره کردن دوربین را برطرف ساخته است.



شکل (۶): (الف) نشانه‌های بکار رفته از دید دوربین‌های چپ و راست (ب) تصاویر دوربین‌های چپ و راست (ج) پروانه آشکارسازی شده بصورت بسط یافته از تصاویر متناظر

جدول (۱): عملکرد برنامه در تعیین موقعیت برای حرکت پروانه

درصد عملکرد راستای X	91.3292
درصد عملکرد راستای Y	95.1942
درصد عملکرد راستای Z	81.2444
درصد میانگین عملکرد:	89.2559