

تعیین مختصات دقیق تارگت‌ها به روش برازش بیضی توسعه یافته

حیدر راستی‌ویس^۱، محمد سعادت‌سرشت^۲

^۱ عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - دانشگاه تهران
(hrasti, msaadat)@ut.ac.ir

چکیده - فتوگرامتری صنعتی شاخه‌ای از فتوگرامتری برد کوتاه است که در آن ابعاد، موقعیت، وضعیت، شکل و تغییرشکل قطعات صنعتی با دقت و صحت بالایی اندازه‌گیری می‌شود. در فتوگرامتری صنعتی برای افزایش اتوماسیون و دقت اندازه‌گیری از تارگت‌های مخصوص با کنتراست بالا استفاده می‌شود. یکی از مسائل مهم در فتوگرامتری صنعتی اندازه‌گیری دقیق مختصات عکسی این تارگت‌ها است. هدف از این مقاله ارائه یک روش پیشنهادی به منظور اندازه‌گیری دقیق مختصات عکسی تارگت‌ها بر مبنای مفاهیم استخراج لبه و ناحیه در پردازش تصویر می‌باشد. برای ارزیابی روش پیشنهادی، آزمون‌های متعددی روی تارگت‌های شبیه‌سازی شده بر مبنای متغیرهای هندسی (اندازه، کشیدگی و توجیه تارگت) و متغیرهای کیفی (نسبت نویز به سیگنال تصویر و PSF سیستم تصویربرداری) انجام پذیرفت. پس از تحلیل نتایج مشخص گردید روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر از کارایی بالاتری برخوردار بوده و بطور کلی وزن دهی در آن یا نرم کردن تصویر موجب کاهش معنی‌دار خطا نمی‌شوند.

کلید واژه‌ها - فتوگرامتری صنعتی، تعیین مختصات، تارگت‌های بازتاباننده، برازش بیضی.

۱. مقدمه

فتوگرامتری صنعتی^۱ که در صنعت با عنوان VM^۲ شناخته شده است یک سیستم دقیق و کارآمد برای اندازه‌گیری مختصات سه-بعدی قطعات صنعتی است. در سیستم‌های VM برای افزایش اتوماسیون، دقت و قابلیت اطمینان، عموماً از تارگت‌های مخصوص دایره‌ای، و در برخی مواقع کروی، شکل با کنتراست بالا به نام تارگت‌های بازتاباننده^۳ استفاده می‌کنند [۱]. این تارگت‌ها معمولاً با رنگ روشن و از سطوح با جنس بازتابانندگی بالا روی زمینه سیاه رنگ می‌باشند که از برخورد نور بسیار کم به آنها، نور در امتداد ارسال شده بازتاب تقریباً کامل نموده که باعث ایجاد تصاویر با کنتراست بالا می‌شود. اندازه‌گیری دقیق مختصات این تارگت‌ها یکی از ویژگی‌های مهم سیستم‌های VM بوده و تاثیر مستقیم در دقت اندازه‌گیری دارد [۲، ۳].

الگوریتم‌های زیادی برای تعیین مختصات دقیق مرکز تارگت‌ها در فضای دوبعدی تصویر پیشنهاد شده است. روش‌های موجود را می‌توان به دو گروه بر مبنای ناحیه و بر مبنای لبه تقسیم کرد. در گروه اول از این روش‌ها ابتدا منطقه مربوط به سطح تارگت

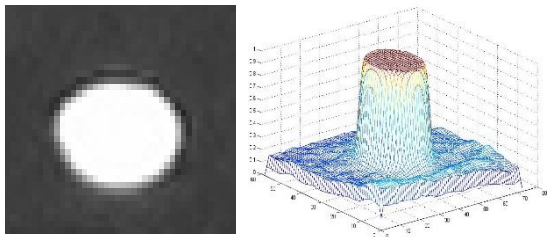
شناسایی و استخراج شده و سپس مرکز ثقل آن سطح محاسبه شده و به عنوان مختصات تارگت به کار گرفته می‌شود [۴-۷]. به عنوان مثال نرم‌افزار Australis، که از جمله نرم‌افزارهای توانمند در حوزه فتوگرامتری برد کوتاه می‌باشد، از این روش برای اندازه‌گیری مرکز تارگت‌ها استفاده می‌کند [۸].

در گروه دوم ابتدا لبه‌های موجود در عکس شناسایی شده و سپس با برازش بیضی به پیکسل‌های لبه، مرکز بیضی به عنوان مختصات تارگت در نظر گرفته می‌شود [۴، ۶، ۹]. هر کدام از روش‌های بر مبنای ناحیه و یا بر مبنای لبه نقاط قوت و ضعف خود را در اندازه‌گیری مختصات تارگت‌ها دارند. مقایسه و بررسی این روش‌ها توسط Shortis و همکاران در [۹] صورت گرفته است. در این تحقیق روش برازش بیضی توسعه یافته به منظور استفاده از نقاط قوت هر کدام از روش‌ها در اندازه‌گیری مختصات دقیق تارگت‌ها پیاده‌سازی و مورد آزمون قرار گرفته است.

لازم به ذکر است با توجه به اینکه هدف از این مقاله بررسی روش‌های تعیین مختصات عکسی مراکز تارگت‌ها با دقت بالا و ارائه روشی بهتر برای بهبود دقت این مسئله می‌باشد، فرض می‌شود تارگت‌ها در تصویر شناسایی شده و موقعیت تقریبی آنها در

سپس مرکز ثقل آن به عنوان مختصات دقیق تارگت در نظر گرفته می‌شود.

برای استخراج سطح تارگت از روش‌هایی نظیر حدآستانه-گذاری [۱۲] و رشد ناحیه [۱۲] می‌توان استفاده نمود. برای نمونه پیش‌فرض روش حدآستانه‌گذاری، کنتراست بالای تارگت با زمینه است. به بیان دیگر با توجه به اینکه پس زمینه تارگت‌ها تیره و خود تارگت‌ها روشن است (شکل ۱) با گرفتن حدآستانه حدود ۰/۵ می‌توان سطح تارگت را به آسانی از زمینه آن جدا کرد.



شکل ۱: تصویر یک تارگت بازتابنده واقعی با کنتراست بالا

برای محاسبه مرکز ثقل سطح تارگت می‌توان از متوسط وزندار استفاده نمود:

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij} \begin{pmatrix} x_i \\ y_j \end{pmatrix}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij}} \quad (1)$$

که در آن g_{ij} وزن در نظر گرفته شده برای هر پیکسل و $x_i y_j$ مختصات پیکسل‌های سطح تارگت و $x_0 y_0$ مختصات مرکز تارگت است. در مورد انتخاب وزن سه ایده کلی وجود دارد: (الف) تمام پیکسل‌های سطح تارگت با وزن برابر در نظر گرفته شوند. (ب) درجه خاکستری هر پیکسل به عنوان وزن در نظر گرفته شود. (ج) توانی از درجه خاکستری به عنوان وزن در نظر گرفته شود.

۳. تعیین مختصات تارگت بر مبنای لبه

گروه دیگر از روش‌های تعیین مختصات دقیق تارگت روش‌های بر مبنای لبه است. در این روش‌ها برای تعیین مختصات مرکز تارگت دو مرحله کلی بایستی انجام پذیرد: استخراج لبه و برازش بیضی. در مرحله اول موقعیت پیکسل‌های مربوط به لبه تارگت از تصویر استخراج می‌شود. سپس بهترین بیضی به این موقعیت‌ها برازش داده شده و پارامترهای بیضی بدست می‌آید. از روی پارامترهای بیضی می‌توان مختصات مرکز

تصویر معلوم می‌باشند. از روش‌های تشخیص اتوماتیک عوارض می‌توان به استفاده از تارگت‌های کددار اشاره کرد. خواننده برای اطلاعات بیشتر در مورد تشخیص اتوماتیک تارگت‌ها به [۱۰] رجوع کند. در ادامه مبانی و خصوصیات هر دو روش بطور مفصل تشریح می‌شود.

۲. تعیین مختصات تارگت بر مبنای ناحیه

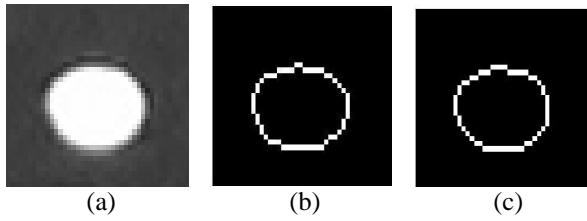
همانطور که ذکر شد در این روش ابتدا منطقه مربوط به سطح تارگت استخراج شده و سپس مرکز آن سطح با الگوریتم‌های خاصی محاسبه و به عنوان مختصات تارگت در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله دو روش کلی پرکاربرد بعنوان نمونه تشریح شده است: روش استفاده از حداکثر شباهت و روش تعیین مرکز ثقل. روش اول با استفاده یک تارگت فرضی شبیه‌سازی شده با مختصات مرکز معلوم و تعیین موقعیتی از تصویر با حداکثر شباهت بعنوان مرکز دقیق تارگت عمل می‌نماید. در روش دوم ابتدا سطح تارگت از طریق حدآستانه‌گذاری، استخراج شده و سپس مرکز ثقل سطح به عنوان مختصات دقیق تارگت در نظر گرفته می‌شود.

۲.۱. روش استفاده از حداکثر شباهت

از آنجاکه مدل کلی تارگت‌های مورد استفاده در فتوگرامتری صنعتی عموماً مشخص می‌باشد، یک روش منطقی جستجوی این مدل مشخص (هندسی و/یا رادیومتریکی) در تصویر و تعیین موقعیت با حداکثر شباهت در آن می‌باشد. به بیان دیگر مدل شبیه‌سازی شده بصورت یک تمپلت متحرک فضای جستجوی تارگت را جاروب نموده و جایی که بیشترین ضریب وابستگی^۲ را داشته باشد، به عنوان مرکز تارگت معرفی می‌نماید. لازم به ذکر است مدل شبیه‌سازی یا همان تارگت مصنوعی را می‌توان در سطوح مختلف پیچیدگی مدل‌سازی نمود. برای مثال تارگت مصنوعی از لحاظ هندسی به شکل دایره و از لحاظ رادیومتریکی روشنایی باینری می‌تواند باشد. و یا اینکه رویه‌ای با مقاطع بیضی شکل، شدت روشنایی زمینه و تارگت متفاوت، و با لبه‌های گوسی شکل می‌تواند تعریف شود [۱۱]. بعد از تعریف مدل تارگت مصنوعی، می‌توان با تناظریایی کمترین مربعات^۲ به برآورد همزمان موقعیت تارگت و پارامترهای دیگر مدل آن اقدام نمود [۱۱].

۲.۲. روش تعیین مرکز ثقل

در این روش ابتدا پیکسل‌های سطح تارگت استخراج شده و

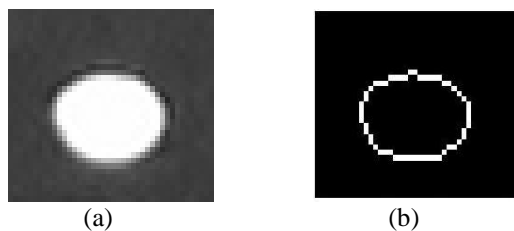


شکل ۴: نتایج بدست آمده از اپراتورهای Prewit (a) و Sobel (b) تصویر تارگت (b) لبه بدست آمده بوسیله اپراتور Prewit (c) لبه بدست آمده بوسیله اپراتور Sobel

۳.۱.۲ الگوریتم Canny

این الگوریتم در ابتدا برای کاهش اثر نویز، تصویر را با یک ماسک گوسی نرم کرده و سپس با یک ماسک گرادیان بزرگی و جهت گرادیان را برای هر پیکسل محاسبه می‌نماید. در ادامه با دو عملیات Non-maximal suppression و Hysteresis لبه‌ها را روی تصویر گرادیان استخراج می‌کند [۱۲]. عملیات Non-maximal suppression روی گرادیان تصویر ورودی کار می‌کند. برای هر پیکسل لبه دو پیکسل مجاور را در امتداد لبه در نظر می‌گیرد و در صورتی که بزرگی گرادیان پیکسل مورد نظر از یکی از پیکسل‌های مجاور کوچکتر باشد بزرگی گرادیان مورد نظر را صفر می‌کند. در نهایت این عملیات باعث می‌شود که لبه‌های کلفت نازکتر شوند.

عملیات Hysteresis روی خروجی مرحله قبل کار می‌کند. نتیجه آن پر شدن گپ‌های ایجاد شده در مرحله قبل است. عملیات به این طریق انجام می‌شود که دو مقدار به عنوان حد آستانه کوچک و بزرگ گرفته و بزرگی هر پیکسل از خروجی قسمت قبل، که بزرگی آن از حد آستانه‌ی کوچک، کوچکتر باشد را صفر و پیکسلی را که از مقدار حد آستانه‌ی بزرگ، بزرگتر باشد به عنوان لبه در نظر می‌گیرد. در مورد پیکسل‌هایی که بین دو مقدار حد آستانه قرار دارد الگوریتم با توجه به پیکسل‌های مجاور تصمیم می‌گیرد. شکل ۵ نتایج بدست آمده بوسیله الگوریتم Canny روی یک تارگت واقعی را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نتایج بدست آمده از الگوریتم Canny. (a) تصویر تارگت (b) لبه بدست آمده بوسیله الگوریتم Canny

بیضی را به عنوان مختصات تارگت محاسبه نمود. در ادامه هر دو مرحله بطور مفصل شرح داده شده است.

۳.۱ استخراج لبه

روش‌های مختلفی برای استخراج لبه وجود دارد که بیشتر آنها بر روی تصویر گرادیان کار می‌کنند. در اینجا به برخی از این روش‌ها اشاره می‌شود.

۳.۱.۱ بکارگیری تصویر گرادیان و اعمال

حد آستانه

در بیشتر این روش‌ها با اپراتورهای مختلف تصویر گرادیان محاسبه شده و سپس با اعمال حد آستانه مناسب لبه را استخراج می‌کنند. از جمله اولین و ساده‌ترین این اپراتورها می‌توان Prewit و Sobel را نام برد.

$$\Delta_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad \Delta_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix}$$

$$|\nabla g| = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$$

شکل ۲: ماسک‌های Prewit برای محاسبه گرادیان در راستای x و y

$$\Delta_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad \Delta_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

$$|\nabla g| = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$$

شکل ۳: ماسک‌های Sobel برای محاسبه گرادیان در راستای x و y

شکل ۲ و ۳ ماسک‌های در دو جهت x و y برای این دو اپراتور لبه را نشان می‌دهد. بعد از کانولوشن زوج ماسک و محاسبه گرادیان تصویر در دو جهت xy می‌توان بزرگی گرادیان را در هر پیکسل محاسبه نمود. با توجه به اینکه در لبه‌ها مقدار گرادیان حداکثر می‌شود، بنابراین با اعمال حد آستانه بر تصویر گرادیان می‌توان پیکسل‌های لبه قوی را استخراج نمود. در مرحله بعد می‌توان از الگوریتم‌های استخراج اسکلت [۱۲] پهنای لبه را به یک پیکسل کاهش داد.

شکل ۴ نتایج بدست آمده بوسیله اپراتورهای Prewit و Sobel را برای استخراج لبه‌های یک تارگت واقعی نشان می‌دهد.

۳.۱.۳. استخراج لبه بر مبنای مشتق دوم (LOG)

در این روش ابتدا تصویر با یک ماسک گوسی نرم شده و سپس تصویر با یک ماسک لاپلاسی کانولو می‌شود. در عمل می‌توان ماسک گوسی و لاپلاسی را ترکیب کرده و بصورت یکجا بنام ماسک LOG اعمال نمود. در عمل ابتدا تصویر با یک ماسک LOG کانولو شده و پیکسل‌هایی که LOG پیکسل‌های مجاورشان (همسایگی ۴) از مثبت به منفی یا بر عکس تغییر می‌کند، به شرطی که قدر مطلق اختلاف LOG دو پیکسل مجاور از یک حدآستانه بیشتر باشد، به عنوان پیکسل لبه انتخاب می‌شوند. در روش LOG دو پارامتر انحراف معیار در تابع گوسی و اندازه حدآستانه در انتخاب Zero Crossing، میزان استخراج لبه‌ها را کنترل می‌کنند.

۳.۱.۴. استخراج لبه با دقت زیر پیکسل

خروجی تمامی الگوریتم‌ها و اپراتورهای بالا یک تصویر باینری است که در آن پیکسل‌های لبه مشخص شده‌اند. یعنی مختصات پیکسل‌ها به عنوان پیکسل‌های لبه در نظر گرفته می‌شوند. اگر مختصات لبه‌ها را بتوان با دقت زیر پیکسل مشخص کرد، می‌توان انتظار نتیجه بهتری را داشت. الگوریتم‌های زیادی برای استخراج لبه با دقت زیر پیکسل پیشنهاد شده است که در اینجا یکی از ساده‌ترین روش‌ها ارائه می‌شود. در این روش ابتدا بزرگی گرادیان در امتدادهای x و y محاسبه شده و سپس برای هر پیکسل با گرادیان بالا در همسایگی آن با استفاده از روابط زیر میانگین وزندار (وزن برابر گرادیان در دو جهت x و y است) گرفته می‌شود که مبین مختصات لبه‌ها با دقت زیر پیکسل است [۱۲]:

$$x_0 = \frac{\sum x \Delta_x^2}{\sum \Delta_x^2} \quad y_0 = \frac{\sum y \Delta_y^2}{\sum \Delta_y^2} \quad (2)$$

۳.۲. برازش بهترین بیضی

مرحله دوم پردازش در روش‌های بر مبنای لبه، برازش بهترین بیضی به لبه‌های استخراج شده است. دلیل انتخاب بیضی برای برازش بر روی لبه‌های استخراج شده این است که اصولاً تصویر یک تارگت دایره‌ای به دلیل هندسه پرسپکتیو تصویر، شبیه به شکل بیضی در تصویر ظاهر می‌شود. روش‌های مختلفی برای تعیین بهترین بیضی برازش داده شده بر لبه‌ها وجود دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به استفاده از تبدیل

هاف^۲، فیلتر کالمن و برازش کمترین مربعات اشاره نمود. در این مقاله تنها روش برازش کمترین مربعات به خاطر دقت بالای آن ارائه و مورد آزمون قرار گرفته است.

در روش برازش کمترین مربعات ابتدا باید مدل پارامتریک بیضی مشخص شود. همانطور که می‌دانیم، بیضی یک حالت خاص از مقاطع مخروطی‌هاست که با یک چند جمله‌ای درجه دو به صورت زیر قابل مدل‌سازی است [۱۳]:

$$F(\mathbf{a}, \mathbf{x}) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x} = ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \quad (3)$$

با این قید که در بیضی و دایره همیشه رابطه زیر برقرار است:

$$b^2 - 4ac < 0$$

که a, b, c, d, e, f ضرائب بیضی و (x, y) مختصات نقاط واقع بر روی آن هستند. چند جمله‌ای $F(a, x, y)$ را فاصله جبری نقطه $x=(x, y)$ از بیضی فرضی a نامیده می‌شود. با معرفی بردارهای a و x می‌توان معادله چندجمله‌ای را به شکل برداری و به صورت زیر نوشت.

$$\mathbf{a} = [a, b, c, d, e, f]^T \quad (4)$$

$$\mathbf{x} = [x^2, xy, y^2, x, y, 1] \Rightarrow \mathbf{F}_a(\mathbf{x}) = \mathbf{x} \cdot \mathbf{a} = 0$$

برای برازش یک بیضی به یک سری نقاط (x_i, y_i) که در آن $i = 1..N$ می‌توان فاصله جبری نقاط از بیضی فرضی a را محاسبه و حداقل کرد [۱۳]:

$$\min_a \sum_{i=1}^N F(x_i, y_i)^2 = \min_a \sum_{i=1}^N (F_a(x_i))^2 = \min_a \sum_{i=1}^N (x_i, a)^2 \quad (5)$$

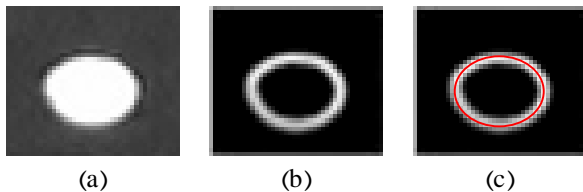
معادله بالا را می‌توان با روش کمترین مربعات معمولی حل کرد ولی نتیجه آن مجموعه یک سری مقاطع مخروطی است و یک بیضی واحد را نشان نمی‌دهد. برای رسیدن به بیضی واحد باید معادله قید $b^2 - 4ac < 0$ نیز در نظر گرفته شود. در این صورت، یک سری معادله مربوط به فواصل جبری نقاط و یک معادله قید باید بطور همزمان در سرشکنی کمترین مربعات وارد شده و ضرائب بیضی محاسبه شود. حل کردن چنین سیستمی بدلیل نامساوی بودن معادله قید کار دشواری است و با روش‌های Quadratic Programming قابل حل می‌باشد [۱۴]. با توجه به اینکه $\alpha \cdot a$ یک بیضی مشابه را نشان می‌دهد، می‌توان یک $\alpha \neq 0$ اختیاری را طوری در نظر گرفت که نامساوی بالا را به صورت معادله زیر بتوان نوشت [۱۳]:

$$4ac - b^2 = 1 \quad (3)$$

و مسئله برازش یک بیضی واحد را می‌توان دوباره بصورت زیر بیان کرد:

$$\min_a \|\mathbf{D} \cdot \mathbf{a}\|^2 \quad \text{subject to} \quad \mathbf{a}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{a} = 1$$

بیضی روی گرادیان پیکسل‌های وزندار است. در این روش ابتدا گرادیان تصویر را محاسبه کرده و سپس با اعمال حدآستانه کم روی تصویر گرادیان، پیکسل‌هایی که دارای بزرگی گرادیان بالا (لبه‌ها و پیکسل‌های نزدیک لبه) هستند، مشخص می‌شوند. تفاوت این روش با روش‌های قبلی این است که در این روش لبه‌های استخراج شده نازک نیستند و بصورت یک سطح از لبه استخراج می‌شوند. بنابراین، روش پیشنهادی، بخاطر برازش بیضی، هم ماهیت روش‌های بر مبنای لبه را دارد و هم همانند روش‌های بر مبنای ناحیه یکنوع متوسط‌گیری وزندار روی سطح لبه تارگت انجام می‌دهد. در این روش تمامی پیکسل‌هایی که حتی بخشی از اطلاعات لبه در آن وجود دارد در محاسبات شرکت نموده و در واقع بطور غیرمستقیم موقعیت دقیق و با دقت زیرپیکسل لبه‌ها در تعیین مختصات تارگت بکار می‌رود.



شکل ۶: لبه‌های بدست آمده در روش پیکسل‌های با گرادیان بالا. (a) تصویر تارگت (b) لبه‌های بدست آمده از تصویر گرادیان با حدآستانه ۰.۱، (c) برازش بیضی با روش کمترین مربعات به لبه‌ها

شکل ۶ لبه بدست آمده از این روش و بهترین بیضی برازش یافته روی آن را نشان می‌دهد. مسئله مهم در اینجا مقدار وزنی است که برای هر پیکسل باید در نظر گرفته شود. مانند روش محاسبه مرکز ثقل که جزو روش‌های بر مبنای مساحت بود سه ایده کلی برای اعمال وزن وجود دارد: (الف) تمام پیکسل‌های سطح تارگت با وزن برابر در نظر گرفته شوند. (ب) مقدار گرادیان هر پیکسل به عنوان وزن در نظر گرفته شود. (ج) توانی از گرادیان را به عنوان وزن در نظر گرفته شود. بعد از در نظر گرفتن وزن برای هر پیکسل می‌توان ماتریس

وزن (P) را بصورت زیر تشکیل داد:

$$P = \begin{pmatrix} g_1^\alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & g_2^\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_N^\alpha \end{pmatrix}$$

که در آن مقدار α مبین نوع وزن دهی است. به بیان دیگر برای حالت اول وزندهی $\alpha = 0$ ، برای حالت دوم $\alpha = 1$ و برای حالت سوم α یک مقدار اختیاری (معمولاً $\alpha = 2$) اختیار می‌شود. با قراردادن ماتریس وزن در معادلات برازش بیضی (معادله

که D ماتریس طراحی با ابعاد $N \times 6$ است و به صورت زیر بدست می‌آید:

$$D = \begin{pmatrix} x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i^2 & x_i y_i & y_i^2 & x_i & y_i & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N^2 & x_N y_N & y_N^2 & x_N & y_N & 1 \end{pmatrix}$$

ماتریس D حداقل شدن فواصل جبری نقاط را نشان

می‌دهد و C ماتریس قید با ابعاد 6×6 و بصورت زیر است:

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

برای حل از روش لاگرانژ استفاده می‌شود. با نوشتن معادله

لاگرانژ و استفاده از ضرائب لاگرانژ و مشتق‌گیری نسبت به مجهولات دستگاه معادلات زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} 2D^T Da - 2\lambda Ca &= 0 \\ a^T Ca &= 1 \end{aligned} \quad (۶)$$

در ادامه با حل سیستم معادلات بالا، شش مقدار ویژه مربوط به این سیستم محاسبه می‌شود. برای انتخاب بهترین جواب از بین شش مقدار مذکور، با توجه به اینکه:

$$\|Da\|^2 = a^T D^T D a = a^T S a = \lambda a^T C a = \lambda \quad (۷)$$

بردار ویژه λ_k متناظر با کوچکترین مقدار ویژه مثبت به عنوان جواب در نظر گرفته می‌شود [۱۳]. به این ترتیب از طریق ضرائب a, b, c, d, e, f مربوط به بهترین بیضی برازش داده شده می‌توان پارامترهای بیضی (مختصات مرکز، قطرهای کوچک و بزرگ و زاویه دوران بیضی نسبت به محور x) را محاسبه کرد. در پایان مختصات بدست آمده برای مرکز بیضی به عنوان مختصات دقیق تارگت در نظر گرفته می‌شود.

۴. روش برازش بیضی توسعه یافته

همانطور که در آزمون‌ها خواهیم دید روش‌های تعیین مختصات تارگت بر مبنای ناحیه و بر مبنای لبه هر کدام مشکلات و محدودیات خاص خود را دارند. برای رفع این محدودیات روشی تلفیقی پیشنهاد شده که می‌توان گفت دارای عملکرد حد واسطی بین روش‌های بر مبنای ناحیه و بر مبنای لبه است.

ایده اصلی این روش بر اساس برازش کمترین مربعات

۶)، شکل معادلات به صورت زیر در خواهد آمد:

$$2D^T P D a - 2\lambda Ca = 0 \quad (8)$$

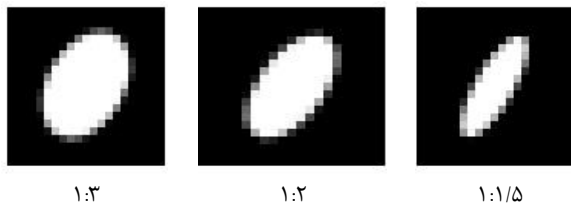
$$a^T Ca = 1$$

حال به همان صورت که در بالا شرح داده شد سیستم معادلات فوق را به کمک ضرائب لاگرانژ و محاسبه مقادیر ویژه حساب کرده و ضرائب a, b, c, d, e, f مربوط به بهترین بیضی برازش داده شده محاسبه می‌شود.

بعد از ساخت تارگت‌های شبیه‌سازی شده، با هر کدام از روش‌ها مختصات آن تعیین شده و اختلاف مختصات بدست آمده از مختصات واقعی محاسبه شده است. نتایج بدست آمده برای این تست در جدول ۱- (الف) آورده شده است.

۵.۱.۲. تست کشیدگی تارگت

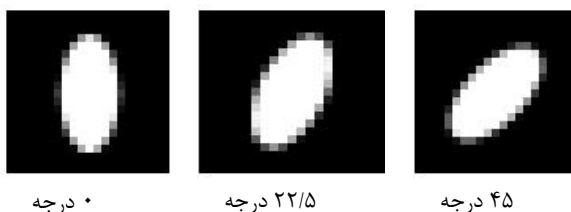
همانطور که ذکر شد تصویر تارگت‌های دایره‌ای بدلیل هندسه پرسپکتیو تصویر بصورت بیضی ظاهر می‌شوند. برای بررسی میزان کارایی هر روش در مقابل میزان کشیدگی بیضی سه تارگت با اندازه‌های 15×15 پیکسل و با نسبت‌های مختلف نیم قطرهای بیضی $1:1/5, 1:2, 1:3$ ساخته شده‌اند (شکل ۸) و مختصات بدست آمده با هر کدام از روشها، با مختصات واقعی آنها مقایسه شد. نتایج بدست آمده در جدول ۱- (ب) نشان داده شده است.



شکل ۸: ساخت تارگت‌های شبیه‌سازی شده با کشیدگی‌های مختلف

۵.۱.۳. تست دوران تارگت

برای این تست سه نوع تارگت شبیه‌سازی شده با اندازه 15×15 پیکسل با کشیدگی $1:2$ و زوایای دوران صفر، $22/5$ و 45 درجه ساخته شد و با هر کدام از روشها مختصات آن تعیین گردید (شکل ۹). جدول ۱- (ج) نتایج عددی این تست را نشان می‌دهد.



شکل ۹: ساخت تارگت‌های شبیه‌سازی شده با دورانه‌های مختلف

۵.۱.۴. تست میزان PSF (بدون نویز)

تابع پخش نقطه یا PSF^{\square} مبین میزان تار شدن یک لبه شارپ در تصویر می‌باشد که علت آن ناشی از سیستم اپتیکی (محیط، عدسی، سنجنده) تصویربرداری است. از اینرو میزان PSF

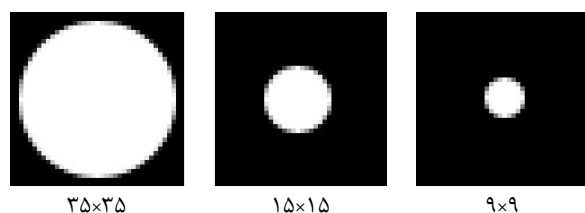
۵. تست‌ها و نتایج بدست آمده

در این مقاله کلیه روش‌های ارائه شده بر مبنای ناحیه و بر مبنای لبه همراه با روش پیشنهادی پیاده‌سازی شده و با استفاده از تارگت‌های شبیه‌سازی شده و تارگت‌های واقعی، شش تست مختلف برای ارزیابی این روش‌ها انجام گرفت. نتایج این تست‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. اعداد نمایش یافته در این جدول مبین طول بردار $[dx, dy]$ اختلاف مختصات روش موردنظر با مختصات اولیه از پیش معلوم تارگت می‌باشد. برآیند این بردار خطا به عنوان معیار خطای کلی روش مورد تحلیل قرار گرفته است. لازم به ذکر است که کلیه روش‌های بر مبنای لبه با استفاده از دستور Edge در MATLAB پیاده‌سازی شده است. همانطور که دیده می‌شود روش Canny دقت بسیار کمتری از روشهای دیگر دارد. با بررسی‌های دقیقتر مؤلف مشخص گردید که علت آن در نحوه نازک‌سازی لبه‌های ضخیم می‌باشد. بنابراین این روش، مبنای تحلیل‌های آتی قرار نگیرد. در زیر کلیاتی از شش تست انجام شده روی تمامی روش‌های تعیین مختصات مرکز تارگت ارائه می‌شود.

۵.۱. تست روی تارگت‌های شبیه‌سازی شده

۵.۱.۱. اندازه تارگت

برای این تست سه نوع تارگت شبیه‌سازی شده با اندازه‌های مختلف ساخته شده و با هر کدام از روشها مختصات آن تعیین شده است. تارگت‌های ساخته شده به شکل دایره با اندازه‌های $9 \times 9, 15 \times 15$ و 35×35 پیکسل ساخته شده‌اند بطوری که تصویر حاصل هیچگونه نویز یا PSF ندارد (شکل ۷).

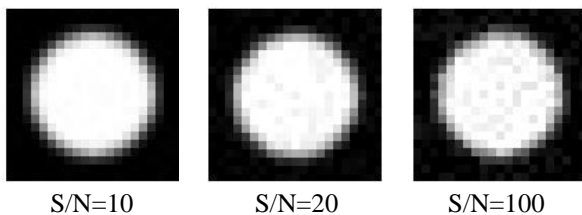


شکل ۷: ساخت تارگت‌های شبیه‌سازی شده با ابعاد مختلف

جدول ۱: نتایج تستهای صحت روشهای استخراج مختصات مرکز تارگت روی تارگتهای شبیه‌سازی شده (واحد به پیکسل)

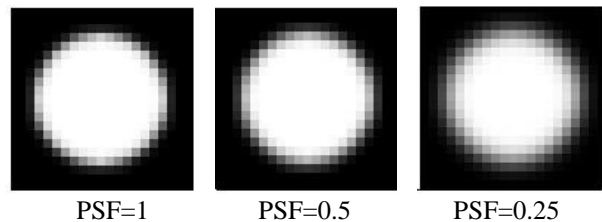
تست ترکیبی (و)	میزان نویز با PSF (متوسط) (ه)			میزان PSF (بدون نویز) (د)			دوران تارگت (ج)			کشیدگی تارگت (ب)			اندازه تارگت (الف)						
	بزرگ	متوسط	کوچک	بزرگ	متوسط	کوچک	بزرگ	متوسط	کوچک	بزرگ	متوسط	کوچک	بزرگ	متوسط	کوچک				
PSF تصویر (به پیکسل)	1	0.5	0.25	1	0.5	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
میزان نویز S/N	10	20	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
اندازه تارگت (به پیکسل)	9	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	9				
کشیدگی تارگت a/b	1:3	1:2	1:1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
دوران تارگت (درجه)	45	22.5	0	-	-	-	45	22.5	0	-	-	-	-	-	-				
روش بر مبنای ناحیه	تصویر خام	وزن $P=1$	0.000	0.000	0.036	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052	0.337	
		وزن $P=g_i$	0.010	0.005	0.012	0.024	0.009	0.009	0.025	0.001	0.002	0.004	0.003	0.003	0.005	0.009	0.030	0.011	0.044
		وزن $P=g_i^2$	0.018	0.007	0.008	0.012	0.012	0.014	0.039	0.001	0.003	0.006	0.004	0.004	0.009	0.020	0.056	0.016	0.045
	نرم‌شده	وزن $P=1$	0.000	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.075	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.000	0.052	0.129
		وزن $P=g_i$	0.007	0.003	0.006	0.026	0.005	0.005	0.056	0.001	0.030	0.003	0.002	0.003	0.006	0.009	0.073	0.008	0.044
		وزن $P=g_i^2$	0.011	0.004	0.010	0.014	0.009	0.008	0.044	0.002	0.018	0.005	0.004	0.004	0.009	0.019	0.071	0.012	0.042
روش بر مبنای لبه	LOG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.066	0.088	0.534	
	الگوریتم Canny	0.232	0.211	0.126	0.049	0.207	0.339	0.050	0.270	0.297	0.211	0.211	0.211	0.211	0.144	0.095	0.270	0.261	
	اپراتور Prewit	0.000	0.000	0.032	0.000	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.070	
	اپراتور Sobel	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000	0.092	0.023	
	لبه زیر پیکسل	0.011	0.012	0.012	0.004	0.031	0.005	0.016	0.001	0.003	0.003	0.014	0.002	0.042	0.021	0.037	0.006	0.070	
برازش بیضی توسعه یافته	تصویر خام	وزن $P=1$	0.000	0.000	0.054	0.038	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.017	0.042	0.026	0.045	
		وزن $P=\nabla_i$	0.005	0.002	0.038	0.025	0.024	0.004	0.013	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.017	0.017	0.030	0.023	
		وزن $P=\nabla_i^2$	0.013	0.004	0.018	0.007	0.014	0.010	0.029	0.003	0.003	0.004	0.004	0.006	0.008	0.021	0.022	0.024	
	نرم‌شده	وزن $P=1$	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.016	0.000	
		وزن $P=\nabla_i$	0.004	0.002	0.010	0.002	0.004	0.003	0.093	0.001	0.001	0.002	0.002	0.011	0.003	0.006	0.013	0.008	
		وزن $P=\nabla_i^2$	0.011	0.005	0.011	0.003	0.011	0.010	0.041	0.003	0.003	0.005	0.004	0.007	0.008	0.015	0.027	0.021	

شده و یک مقدار PSF به اندازه ۰/۵ پیکسل به آن اعمال شده است. در مرحله بعد به آن نویز سفید به میزان S/N برابر ۱۰۰، ۲۰ و ۱۰ اضافه شده است که در آن میزان نویز به ترتیب برابر ۱/، ۵/ و ۱۰/ حداکثر روشنایی تصویر بوده است (شکل ۱۱). در انتها مختصات تارگت با تمامی روش‌ها اندازه‌گیری شده و اختلاف آن از مقدار واقعی محاسبه شده است. نتایج بدست آمده برای این تست در جدول ۱- (ه) نشان داده شده است.



شکل ۱۱: ساخت تارگتهای شبیه‌سازی شده با سطوح نویز مختلف

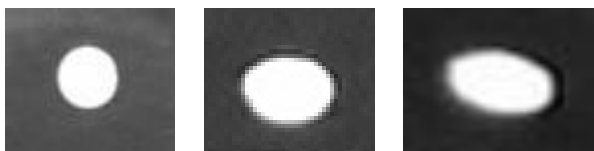
روی شکل و کیفیت تارگت‌های تصویر شده تاثیر دارد. برای بررسی کارایی روش‌ها در مقابل این پدیده، تست PSF انجام شده است. به همین منظور ابتدا یک تارگت با ابعاد ۱۵×۱۵ ساخته شده و سپس سه مقدار مختلف صفر، نیم و یک پیکسل برای PSF آن در نظر گرفته شده است (شکل ۱۰). نتایج این تست در جدول ۱- (د) نشان داده شده است.



شکل ۱۰: ساخت تارگتهای شبیه‌سازی شده با PSFهای مختلف بدون نویز

۵.۱.۵. تست میزان نویز (با PSF متوسط)

برای انجام این تست ابتدا یک تارگت با ابعاد ۱۵×۱۵ ساخته



(a) (b) (c)

شکل ۱۳: شکل تارگت‌های واقعی تست شده. (a) تارگت با کیفیت بالا
(b) تارگت با کیفیت متوسط (c) تارگت با کیفیت پایین

جدول ۲: نتایج تست‌های صحت روش‌های استخراج مختصات مرکز تارگت روی تارگت‌های واقعی (واحد به پیکسل)

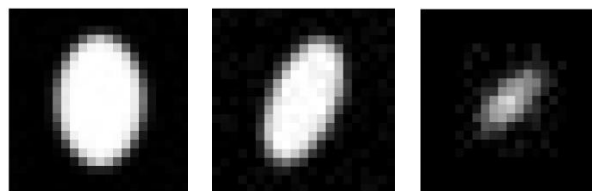
		تارگت‌های واقعی			
		(a)	(b)	(c)	
حالت		خوب	متوسط	بد	
کیفیت تارگت		خوب	متوسط	بد	
روش برسمنای ناحیه	تصویر خام	وزن $P=1$	0.038	0.585	0.911
		وزن $P=g_i$	0.045	0.586	0.946
		وزن $P=g_i^2$	0.051	0.549	0.979
	زرم‌شده	وزن $P=1$	0.046	0.537	0.768
		وزن $P=g_i$	0.046	0.589	1.065
		وزن $P=g_i^2$	0.046	0.618	1.096
روش برسمنای لبه	LOG	1.927	2.858	0.772	
	الگوریتم Canny	2.060	2.213	0.583	
	اپراتور Prewit	1.947	1.954	0.699	
	اپراتور Sobel	0.182	0.603	0.688	
	لبه زیر پیکسل	0.445	0.523	0.970	
برازش بیضی	تصویر خام	وزن $P=1$	0.040	0.583	0.788
		وزن $P=\nabla_i$	0.045	0.599	0.833
		وزن $P=\nabla_i^2$	0.050	0.569	0.852
	زرم‌شده	وزن $P=1$	0.042	0.524	0.853
		وزن $P=\nabla_i$	0.040	0.578	0.871
		وزن $P=\nabla_i^2$	0.040	0.583	0.902

۵.۳. بحث بر روی نتایج تست‌ها

با توجه به نتایج عددی جدول ۱ و ۲ حاصل از تست‌های صورت‌گرفته روی تارگت‌های شبیه‌سازی شده و واقعی، نمودارهای ۱۴ تا ۱۷ قابل حصول می‌باشند. با توجه به جداول ۱ و ۲ و نمودارهای ۱۴ تا ۱۷ نتایج زیر را می‌توان استنتاج نمود. در نمودار ۱۴ متوسط خطای نسبی روش‌های مبتنی بر ناحیه، مبتنی بر لبه و روش پیشنهادی نمایش یافته است. با توجه به این نمودار، روش پیشنهادی بطور متوسط در تست‌های اندازه، دوران و PSF روشی ناکارآمدتر از روش‌های مبتنی بر ناحیه و لبه بوده است اما در تست‌های کشیدگی و نوپز، که در حالت واقعی بیشتر اتفاق می‌افتند، کارایی مشابه یا بهتر داشته است. البته از آنجا که در عمل تمامی پارامترها بصورت ترکیبی وجود دارند معیار بهتر کارایی روش پیشنهادی را باید در دو تست

۵.۱.۶. تست ترکیبی

تمامی تست‌های بالا برای بررسی جداگانه عوامل موثر بر دقت تعیین مختصات تارگت طراحی و اجرا شدند. از آنجا که در عمل این عوامل با هم ترکیب شده و بطور همزمان بر کیفیت تعیین مختصات تارگت اثر می‌گذارند، در این تست برای نشان دادن عملکرد واقعی روش‌ها، روی تارگت‌های شبیه‌سازی شده با کیفیت بد، متوسط و خوب (شکل ۱۲) که تنظیمات آنها ترکیبی از حالت‌های بالا بودند، تمامی روش‌ها تست شده‌اند. برای مثال تارگت با کیفیت بد، اندازه کوچک، PSF بالا، نوپز بالا، کشیدگی و دوران زیاد داشته است. تنظیمات و نتایج بدست آمده در جدول ۱- (و) نشان داده شده است.



(کیفیت خوب) (کیفیت متوسط) (کیفیت بد)

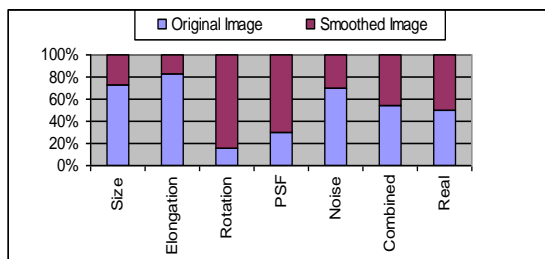
شکل ۱۲: ساخت تارگت‌های شبیه‌سازی شده با تنظیمات مختلف

۵.۲. تست روی تارگت‌های واقعی

مزیت انجام تست روی داده‌های شبیه‌سازی شده مشخص بودن جواب واقعی مساله در شروع کار می‌باشد. اما داده‌های شبیه‌سازی شده ماهیت فیزیکی نداشته و عموماً دیدی کلی از عملکرد روش‌های تعیین مختصات بدست می‌دهند. از سوی دیگر در طول انجام عکسبرداری، پدیده‌ها و نویزهای مختلفی بر روی تصویر تاثیر می‌گذارند، که خود آنها روی شکل، اندازه، میزان کنتراست و تمامی خصوصیات تارگت موثرند. به همین دلیل، در عمل کارایی روش‌ها در مقابل تارگت‌های واقعی ممکن است خیلی نزدیک به کارایی آنها در مقابل تارگت‌های شبیه‌سازی شده نباشد. برای نشان دادن کارایی آنها در مقابل تارگت‌های واقعی، سه تارگت با کشیدگی‌های مختلف از یک تصویر واقعی استخراج شده و با تمامی روش‌ها مختصات این تارگت‌ها اندازه‌گیری شده است. برای بررسی صحت نتایج بدست آمده، مختصات‌های بدست آمده از این روش‌ها با مختصات بدست آمده از نرم‌افزار Australis که تست‌های متعددی صحت کارایی آن را به اثبات رسانده است [۱۵]، مقایسه شده و نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است. تصویر این تارگت‌ها در شکل ۱۳ نمایش یافته است.

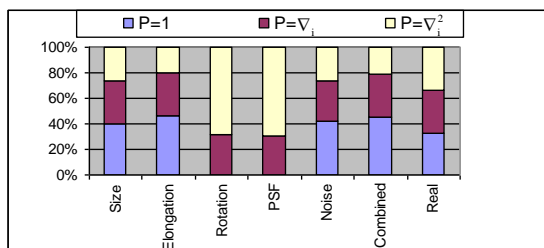
بیشتری را از خود نشان داده‌اند که باز هم نتیجه‌ای دو از انتظار می‌باشد. در مورد تغییر PSF تصویر میتوان دید تصاویر با PSF کمتر، نتایج بهتری را بدست داده‌اند. همچنین این مساله برای نویز تصویر، با شدت بالاتری مصداق دارد. شاید یک علت بروز نتایج خلاف انتظار، غیر واقعی بودن تارگتهای شبیه‌سازی بوده است چرا که در هر تست تنها یک پارامتر تغییر نموده است.

در ادامه با نگاه به نمودار ۱۵ مشاهده می‌شود که چه در حالت تستهای ترکیبی و چه تستهای انجام شده روی تارگتهای واقعی، نشان از کاهش خطا با کاهش پارامترهای تخریب کننده تارگت دارد که نتیجه‌ای کاملا منطقی می‌باشد. با بررسی‌های صورت گرفته، تقریبا بطور متوسط همین رفتار خطا را می‌توان برای روش پیشنهادی مشاهده نمود.



شکل ۱۶: بررسی تاثیر متوسط پیش پردازش نرم کردن تصویر روی نتایج روش پیشنهادی

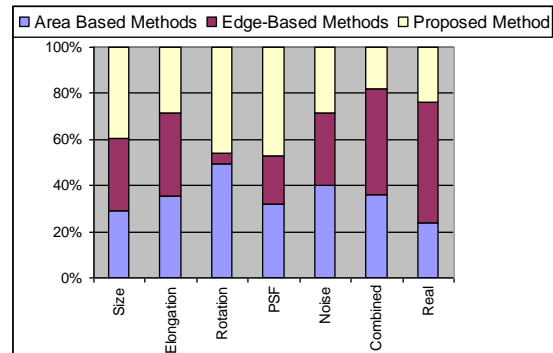
نمودار ۱۶ اثر متوسط پیش پردازش نرم کردن تصویر روی نتایج روش پیشنهادی را برای پارامترهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود نرم کردن تصویر تست‌های اندازه، کشیدگی و نویز را بهبود بخشیده اما تستهای دوران و PSF را تخریب نموده است. در حالات ترکیبی و واقعی نیز نرم کردن تصویر اثر چندان قابل توجهی روی کاهش خطا نداشته است.



شکل ۱۷: بررسی تاثیر نحوه وزندهی بر نتایج روش پیشنهادی

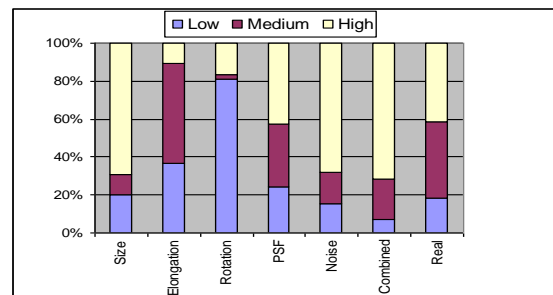
نمودار ۱۷ نحوه تاثیر چگونگی وزندهی بر نتایج روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. از سه حالت وزندهی بدون وزن، برابر با بزرگی گرادیان و مربع گرادیان، دیده شد که بطور متوسط

حالات ترکیبی و تارگتهای واقعی بررسی نمود. همانطور که دیده می‌شود در این دو تست بطور متوسط کارایی روش پیشنهادی تا دو برابر روشهای مبتنی بر ناحیه و لبه بهتر بوده است که این امر نقطه قوت روش پیشنهادی برآزش بیضی توسعه یافته در تعیین مختصات مراکز تارگتها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: مقایسه متوسط خطای نسبی روشهای مختلف

در جدول ۱ مشاهده می‌شود که در حالت تست ترکیبی تارگتهای شبیه‌سازی شده در مواردی که میزان پارامترهای تنظیم زیاد اعمال نشده باشند، دقت روشهای ناحیه‌مبنا از روشهای بر مبنای لبه و روش پیشنهادی بهتر می‌باشد. ولی با تشدید پارامترهای تنظیم تست ترکیبی توانایی روش پیشنهادی نسبت به سایر روشها مشخص می‌باشد.



شکل ۱۵: مقایسه متوسط خطای نسبی در اعمال مقادیر مختلف پارامترها

در نمودار ۱۵ متوسط خطای نسبی در اعمال پارامترهای مختلف در سه حالت کم، متوسط و زیاد نشان داده شده است. همانطور که از این نمودار دیده می‌شود با بزرگ شدن اندازه تارگت، متوسط خطای روشها ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. به بیان دیگر یک اندازه متوسط برای تارگتها بهترین نتیجه را بدست می‌دهد. در خصوص کشیدگی تارگت، بطور متوسط کلیه روشها روی تارگتهای با کشیدگی بالا کمترین خطا را داشته‌اند که نتیجه‌ای دو از انتظار می‌باشد. همچنین برای تارگتهای با دوران کم نیز کلیه روشها بطور متوسط خطای بسیار

بنابراین رعایت یک فاصله مناسب و نه خیلی نزدیک در هنگام اخذ تصاویر، می‌تواند به بالا بردن دقت کمک نماید. نتیجه کلی دیگر این تحقیق مبین این است که بطور کلی اعمال وزن و نرم کردن تصویر اثر چندانی روی کاهش خطای روش پیشنهادی در حالات ترکیبی و روی تارگت‌های واقعی ندارد.

در انتها برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود مدل برازش بیضی توسعه یافته که در واقع برازش بیضی به گرادیان تصویر می‌باشد برای کاهش اثر نویز و blunderها توسط یک روش برآورد پایدار حل شود. همچنین مدل توسعه یافته بر مبنای ناحیه طراحی و با این مدل تلفیق شود تا بعنوان یک مدل جامع تعیین مختصات مرکز تارگت به کار گرفته شود.

مراجع

[1] T. Luhmann, "Eccentricity In Images Of Circular And Spherical Targets And Its Impact To 3d Object Reconstruction," ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 1, pp. 363-370, 2014.

[2] W. Zhuang, M. I. Dong, P. Sun, and J. Wang, "A variable weighted centroid method for retro reflective target locating," 2013, pp. 89161G-89161G-9.

[3] M. Dong, L. Xu, J. Wang, P. Sun, and L. Zhu, "Variable-Weighted Grayscale Centroiding and Accuracy Evaluating," Advances in Mechanical Engineering, vol. 2013, p. 9, 2013.

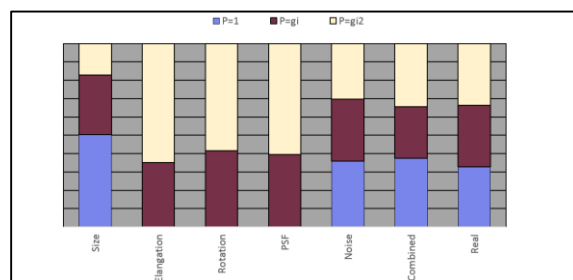
[4] J. Otepka, Precision Target Mensuration in Vision Metrology. Vienna University of Technology.: Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004.

[5] L. Wang, L. Zhang, Z. Yu, F. Chen, X. Si, and D. He, "Precision circular target location in vision coordinate measurement system," 2007, pp. 68290J-68290J-8.

[6] Q. Feng, Z. Li, X. Chen, and G. Li, "Fast Recognition and Precise Centroiding of Artificial Targets," in Image and Signal Processing, 2009. CISP '09. 2nd International Congress on, 2009, pp. 1-4.

[7] M. R. Shortis, T. A. Clarke, and S. Robson, "Practical testing of the precision and accuracy of target image

روش وزندهی مربع گرادیان نتیجه بهتری را در تست‌های اندازه، کشیدگی، نویز، و حالت ترکیبی داشته در حالیکه روش بدون وزن در تست‌های دوران و PSF تقریباً بدون خطا بوده است. اما در تارگت‌های واقعی نحوه وزندهی تاثیر معنی داری را روی دقت نداشته است.



شکل ۱۸: بررسی تاثیر نحوه وزندهی بر نتایج روش بر مبنای ناحیه

بررسی تاثیر میزان وزندهی در روش بر مبنای ناحیه در شکل ۱۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در تست‌های ترکیبی، میزان نویز و تارگت واقعی وزندهی در روش‌های مبتنی بر ناحیه تاثیری نداشته است. اما در مورد تست‌های دوران و PSF حالت بدون وزن بطور متوسط دقت بهتر بدست آمده است. این مسئله در مورد تست‌های کشیدگی و اندازه تارگت در حالتی که وزن برابر با مربع گرادیان دقت بهتری حاصل شده است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله ابتدا مبانی روش‌های مختلف بر مبنای ناحیه و بر مبنای لبه ارائه شد. سپس روش برازش بیضی توسعه یافته بعنوان یکی از روش‌های بر مبنای لبه که بخاطر یکنوع متوسط گیری وزندار در آن، شباهت کلی با روش‌های بر مبنای ناحیه هم دارد بعنوان حد واسطی بین دو روش قبلی پیشنهاد گردید. سپس برای بررسی کارایی روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های دیگر تست‌های مختلفی طراحی و انجام پذیرفت. نتایج این تست‌ها در مرحله بعد با هم مقایسه و مورد تحلیل قرار گرفت.

با توجه به نتایج بدست آمده دیده می‌شود که روش پیشنهادی بیضی توسعه یافته بطور متوسط خطای کمتری از روش‌های بر مبنای ناحیه و لبه دارد. علت این امر ناشی از بهره‌گیری روش پیشنهادی از نقاط قوت دو روش دیگر است. همچنین دیده شد که تمامی روش‌ها بر خلاف انتظار در مقابل تارگت‌های با اندازه بزرگ کارایی کمتری از خود نشان می‌دهند.

metrology," in 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2002, pp. 114- 119.

[11]T. Schenk, Digital photogrammetry vol. 1, 1999.

[12]J. Shan Edge detection in photogrammetry and computer vision. University of Stuttgart.: Department of Geodetic Science, 1996.

[13]A. Fitzgibbon, M. Pilu, and R. Fisher, "Direct least square fitting of ellipses," Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, pp. 476-480, 1999.

[14]R. Halif and J. Flusser, Numerically stable direct least squares fitting of ellipses. Charles University, Czech Republic.: Department of Software Engineering, 2000.

[15]C. S. Fraser and E. K.L., "Design and implementation of a computational processing system for off-line digital close-range photogrammetry," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 55, pp. 94-104, 2000.

centering algorithms," in Photonics East'95, 1995, pp. 65-76.

[8] F. Clive, "Asutralis, A software system for automated off-line digital close range photogrammetric image measurement, orientation/triangulation and sensor calibration," vol. 5.05, D. o. Geomatic, Ed., ed. Australia: Dept. of Geomatic, University of Melborne, 2001.

[9] M. R. Shortis, T. A. Clarke, and T. Short, "Comparison of some techniques for the subpixel location of discrete target images," in Photonics for Industrial Applications, 1994, pp. 239-250.

[10]F. Jian Xu, Z.P., A. A. Malcolm, and H. Wang, "A robust close-range photogrammetric system for industrial

واژه های انگلیسی بترتیب استفاده در متن

^a Industrial Photogrammetry

^b Vision Metrology

^c Retro-Reflective Targets

^d Cross Correlation Coefficient

^e Least Square Matching

^f Laplacian Of Gaussian

^g Hough Transform

^h Point Spread Function