

طراحی و بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار در فتوگرامتری بردکوتاه

محمد سعادت سرشت^{۱*} و نیما زرین پنجه^۲

^۱استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری و مقابله با سوانح طبیعی

پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۶/۳/۱۲، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۷/۲/۱۰، تاریخ تصویب ۸۷/۹/۱۲)

چکیده

اگرچه امروزه قرائت خودکار نقاط عکسی در تصاویر فتوگرامتری بردکوتاه رقومی به امری معمول تبدیل شده است اما بازشناسی خودکار نقاط متناظر در اکثر موارد هنوز با نظارت عامل انسانی صورت می‌گیرد. در شبکه‌های فتوگرامتری برد کوتاه و بخصوص در کاربردهای صنعتی، عواملی نظیر همگرایی تصاویر و در نتیجه عدم امکان برجسته‌بینی، تصویربرداری موضعی از اشیاء بزرگ و پیچیده و شباهت کلی تارگت‌ها نسبت بهم، باعث شده است که اجرای فرآیند خودکار بازشناسی و تناظریابی تارگت‌ها، بسیار دشوار شود. هدف از این مقاله ارائه روشی خودکار برای قرائت شماره تارگت‌ها در تصاویر شبه‌دودویی می‌باشد. برای این منظور ابتدا کدهای مکانی متعامد برای تارگت‌های کددار طراحی شده و سپس بازشناسی خودکار تارگت‌ها به روشی معین انجام گرفته است. نتایج آزمون‌ها مبین صحت و پایداری بالای روش پیشنهادی، هنگام کار با تصاویر با کیفیت مطلوب است. بطوریکه در شرایط نامطلوب کیفی، روش پیشنهادی هنوز پایداری بالایی نسبت به اعوجاجات هندسی پرسپکتیو تصویر دارد.

واژه‌های کلیدی: بازشناسی خودکار تارگت، فتوگرامتری بردکوتاه، طراحی تارگت کددار

مقدمه

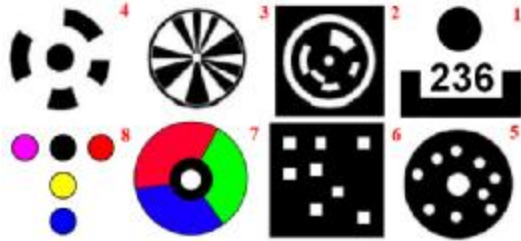
بعد توسط الگوریتم تعیین نقاط متناظر که بر مبنای هندسه تصاویر مرکزی است، تارگت‌های بدون کد تناظریابی می‌شوند [۱].

یکی از مهم‌ترین کاربردهای بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار، اتوماسیون کامل فرایند محاسبات سرشکنی دسته پرتو در فتوگرامتری بردکوتاه می‌باشد [۲]. در این حالت فرض بر این است که تمامی مختصات نقاط شیء، پارامترهای توجیه داخلی و اضافی دوربین، و پارامترهای توجیه خارجی تصاویر مجهول بوده و تنها تعدادی کافی تصویر همگرا از شیء موجود می‌باشد. در صورتی که در هر تصویر حداقل چهار تارگت کددار با پراکندگی مناسب ظاهر شود می‌توان مقادیر اولیه پارامترهای مجهول مذکور را به طور تقریبی محاسبه نموده و پس از سرشکنی دسته پرتو^۲ مقادیر نهایی آنها را برآورد کرد [۳].

کاربرد دیگر تارگت‌های کددار در سیستم‌های نور ساختار یافته است. در این سیستم‌ها برای هم‌مرجع‌سازی خودکار و دقیق ابر نقاط مربوط به سطوح مختلف یک شیء بزرگ و پیچیده که از ایستگاه‌های تصویربرداری مختلف اخذ شده‌اند از تارگت‌های کددار استفاده می‌شود [۴].

امروزه یکی از موضوعات مورد توجه در اتوماسیون سامانه‌های فتوگرامتری بردکوتاه، بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار^۱ در تصاویر می‌باشد. در واقع با در نظر گرفتن کدی خاص برای هر تارگت، همزمان با بازشناسی و اندازه‌گیری مختصات مرکز تارگت‌ها، کد هر تارگت نیز شناسایی می‌شود. در نتیجه تناظریابی تارگت‌های متناظر در تصاویر مختلف از طریق این کدها به صورت خودکار انجام می‌شود. البته به صورت نظری می‌توان تمامی نقاط شیء را از طریق تارگت‌های کددار به طور خودکار شناسایی و تعیین مختصات نمود اما در عمل به واسطه هزینه محاسباتی بالای بازشناسی تارگت که ناشی از جستجوی محل تارگت در کل تصویر و پردازش‌های مربوط به استخراج کد از آن می‌باشد، معمولاً تنها از تعداد محدودی تارگت کددار استفاده می‌شود. در نتیجه بقیه تارگت‌ها بدون کد بوده و بدون نیاز به اعمال پردازش‌های پرهزینه شناسایی کد روی آنها، می‌توان بین تناظریابی این نقاط در تصاویر مختلف اقدام نمود که در نتیجه منجر به افزایش سرعت و کاهش هزینه محاسباتی خواهد شد. در واقع در مرحله اول از تارگت‌های کددار برای تعیین اتوماتیک پارامترهای توجیه خارجی تصاویر استفاده می‌شود. سپس در مرحله

بوده است [۱]. بارکدها در این روش به صورت قطبی هستند یعنی از کمان‌ها یا قطاع‌های روشن و تیره که مرکز آنها منطبق با مرکز تارگت است استفاده می‌شود [۸] (شکل ۱-۲، ۱-۳، ۱-۴).



شکل ۱: مثالهایی از انواع روش‌های کدبندی در تارگت‌های کددار. ۱- کدبندی نوشتاری، ۲-۳-۴- کدبندی بارکد قطبی، ۵- کدبندی مکانی قطبی، ۶- کدبندی مکانی متعامد، ۷- کدبندی رنگی قطبی، ۸- کدبندی رنگی متعامد.

در کدبندی مکانی از طریق استخراج نواحی روشن و تیره اطراف تارگت و تحلیل آنها، کد تارگت شناسایی می‌شود. کدبندی مکانی خود به دو روش قطبی و متعامد انجام می‌شود. در روش کدبندی مکانی قطبی، نواحی کوچک روشن در شعاع‌های مختلف از مرکز تارگت در هر قطاع قرار می‌گیرد (شکل ۱-۵). در روش کدبندی مکانی متعامد شبکه‌های منظم و گاهی نامنظم از نواحی روشن در اطراف تارگت تشکیل می‌شود [۹] (شکل ۱-۶). در کدبندی رنگی همان‌طور که از نامش پیداست به جای نواحی روشن و تیره از نواحی رنگی در کدبندی تارگت استفاده می‌شود. این کدبندی را نیز می‌توان به گروه کدبندی رنگی قطبی [۴] (شکل ۱-۷) و کدبندی رنگی متعامد [۱۰] (شکل ۱-۸) تقسیم نمود. در روش کدبندی نوشتاری، مستقیماً حروف عددی و/یا الفبایی که مبین شماره تارگت است (مشابه با پلاک خودرو) در کنار تارگت درج می‌شود [۱۱] (شکل ۱-۱). اینکه کدام روش کدبندی ارجحیت دارد موضوعی است که گذشته به کاربرد موردنظر، به تحقیقات گسترده‌تری نیاز دارد. به هر حال روش‌های کدبندی نوشتاری به خاطر پیچیدگی بازشناسی تارگت در آنها معمولاً هزینه محاسباتی بالاتری را به دنبال دارند. در مقابل، اگرچه تارگت‌های بارکد قطبی بسیار مورد توجه بوده‌اند اما بازشناسی تارگت‌های کددار رنگی ساده‌تر بوده و امروزه مورد توجه بیشتری می‌باشند [۱۰][۱۲].

به طور کلی طراحی کد برای تارگت‌های کددار

از اخیراً از همین روش در فرآیند هم‌مرجع‌سازی خودکار و دقیق داده‌های اخذ شده از چندین ایستگاه لیزر اسکنر زمینی نیز استفاده شده است [۵]. برای این منظور توسط یک دوربین رقومی که روی لیزر اسکنر نصب شده از تارگت‌های کددار قرار داده شده روی جسم تصویربرداری کرده و از طریق موقعیت سه‌بعدی این تارگت‌ها در یک سیستم مختصات واحد، موقعیت و وضعیت هر دسته ابر نقاط نسبت به هم تعیین می‌گردد. همچنین از تارگت‌های کددار در کالیبراسیون خودکار دوربین‌های آرایه خطی و کالیبراسیون سامانه‌های نقشه‌سازی متحرک^۳ نیز استفاده شده است [۶].

با توجه به گستردگی تحقیقات صورت گرفته در زمینه طراحی و بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار [۷]، در این مقاله، مولفین در راستای ساخت یک سامانه فتوگرامتری صنعتی کاملاً خودکار، به طراحی و بازشناسی تارگت کددار اقدام نموده‌اند. برای این منظور در قسمت بعد ابتدا روش‌های طراحی و بازشناسی تارگت‌های کددار مورد بررسی قرار گرفته است. سپس روش پیشنهادی در طراحی و بازشناسی تارگت کددار شرح داده شده است. در انتها صحت و پایداری روش پیشنهادی بازشناسی تارگت پس از انجام آزمون‌های متعدد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

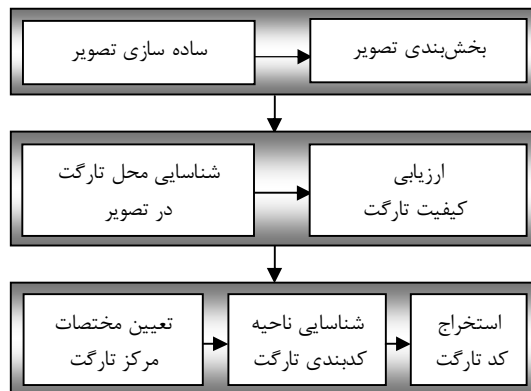
مروری بر روش‌های طراحی و بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار

با توجه به اهمیت تارگت‌های کددار و کاربردهای متعدد ذکر شده برای آن در فتوگرامتری برد کوتاه، تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه طراحی و بازشناسی خودکار این نوع تارگت‌ها صورت گرفته است. در این بخش ابتدا انواع روش‌های کدبندی جهت طراحی تارگت‌های کددار مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. سپس کلیاتی از روش‌های بازشناسی خودکار این کدها که تاکنون توسط محققان توسعه داده شده است بیان می‌گردد.

روش‌های کدبندی تارگت‌های کددار

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته توسط مولفین، روش‌های کدبندی تارگت‌ها را می‌توان به چهارگروه مختلف تقسیم‌بندی کرد: کدبندی بارکد، کدبندی مکانی، کدبندی رنگی و کدبندی نوشتاری (شکل ۱). کدبندی بارکد معمول‌ترین روش کدبندی در فتوگرامتری برد کوتاه

مشخصی می‌باشند که تنها با وجود این پیش‌فرض‌ها، مدل‌سازی صورت گرفته اعتبار دارد. در صورتی که این پیش‌فرض‌ها رعایت نشوند، معمولاً این روش‌ها با شکست روبرو می‌شوند. بنابراین پایداری روش‌های معین بستگی به نحوه مدل‌سازی و رعایت پیش‌فرض‌های مدل‌سازی دارد (شکل ۲). برای مثال برای سادگی محاسبات پیش‌فرض اساسی در عموم روش‌های مورد استفاده در فتوگرامتری برد کوتاه، دودویی بودن تصویر تارگت می‌باشد [۱]. بنابراین الگوریتم‌های بازشناسی تارگت و کد آن که مبتنی بر پیش‌فرض فوق توسعه یافته‌اند روی تصاویر درجه خاکستری شامل تارگت‌های با کنتراست کم، با شکست مواجه می‌شوند.



شکل ۲: مراحل کلی بازشناسی تارگت کددار به روش معین.

به طور کلی باید گفت روش‌های معین برای کاربردهایی که امکان انجام مدل‌سازی ساده از تارگت و برقراری پیش‌فرض‌های مذکور در حین تصویربرداری برای حفظ صحت مدل‌سازی دارد مانند بازشناسی تارگت در تصاویر شبه‌دودویی^۵، به واسطه پیچیدگی محاسباتی کمتر و پایداری کافی، مناسب‌تر از روش‌های نامعین می‌باشند. در مقابل در کاربردهایی که سعی در عدم لحاظ هیچ‌گونه پیش‌فرض برای طراحی و بازشناسی تارگت دارد مانند بازشناسی تارگت در تصاویر معمول درجه خاکستری، انجام مدل‌سازی بسیار پیچیده بوده و عموماً روش‌های معین پایدار نیستند و لذا باید از روش‌های نامعین برای بازشناسی تارگت استفاده کرد. برای افزایش پایداری روش‌های معین بازشناسی تارگت، معمولاً ابتدا کیفیت تارگت با تعدادی معیار ارزیابی شده و سپس مرحله بازشناسی کد تارگت آغاز می‌شود. برای مثال برای بازشناسی تارگت‌های کددار مکانی توجه به موارد زیر باعث افزایش اعتمادپذیری به کد

بایستی دارای خصوصیات زیر باشد [۱۳]:

(الف) مستقل از جا به جایی، دوران، مقیاس و کشیدگی و به طور کلی اعوجاجات پرسپکتیو باشد. به طور معمول می‌توان این اعوجاجات را با مدل افاین تقریب زد [۱۴].
(ب) بازشناسی تارگت‌ها پایدار و بدون اشتباه بوده و تا حد امکان اشتباهات موجود قابل آشکارسازی و/یا تصحیح باشد.

(ج) مختصات عکسی نقطه مرکزی تارگت را بتوان با دقت بالایی اندازه‌گیری نمود.

(د) در صورت لزوم، امکان بازشناسی تارگت‌ها در تصاویر با روشنایی غیر یکنواخت و حتی تصاویر درجه خاکستری وجود داشته باشد.

(ه) پیچیدگی محاسباتی و زمان پردازش حداقل باشد.

(و) ابعاد تارگت حداقل باشد تا کمترین فضای شیء‌ای را اشغال نماید.

(ز) تعداد زیادی تارگت را بتوان با آن کد نمود.

روش‌های بازشناسی تارگت‌های کددار

به طور کلی روش بازشناسی تارگت کددار وابستگی زیادی به طراحی کدبندی آن دارد. از سوی دیگر همان‌گونه که در بالا ذکر شد اصولاً تارگت‌های کددار را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که کدهای آنها با صحت بالایی و حتی-الامکان در همه شرایط قابل بازشناسی باشند. از این رو یک موضوع مهم در رابطه با بازشناسی تارگت‌های کددار، شناسایی پایدار آنها است که یکی از اهداف کلیدی این مقاله نیز بوده است. منظور از شناسایی پایدار، شناسایی درست کد کلیه تارگت‌ها در شرایط مختلف تصویربرداری، قابلیت آشکارسازی اشتباهات در مراحل بازشناسی تارگت و قابلیت رفع این اشتباهات تا حد امکان می‌باشد. به طور کلی دو روش کلی برای بازشناسی تارگت وجود دارد:

(الف) روش‌های نامعین که معمولاً مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی^۴ می‌باشند. این روش‌ها ابتدا در مرحله آموزشی، انواع کد تارگت‌ها را یک به یک شناسایی می‌نمایند. سپس هر تارگتی که به آنها معرفی شود را می‌توانند به سرعت و با پایداری بالایی بازشناسی نمایند. پایداری این روش‌ها به کیفیت مرحله آموزشی بستگی دارد [۱۵].

(ب) روش‌های معین که مبتنی بر یک مدل‌سازی هندسی/رادئومتریک خاص از تارگت با پیش‌فرض‌های

خوشه‌بندی به خصوص برای تارگت‌های نزدیک به هم وجود دارد [۹].

د) تعیین مختصات مرکز تارگت: تا کنون روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری مرکز تارگت توسعه داده شده است که می‌توان آنها را به سه گروه کلی روش‌های برازش بیضی، روش‌های متوسط‌گیری وزندار و روش‌های تطبیق الگو^۷ تقسیم‌بندی نمود [۱۶].

و) شناسایی ناحیه کدبندی تارگت: با توجه به مختصات مرکزی و کادر تارگت، ناحیه کدبندی تارگت مشخص شده و بر مبنای طراحی کد صورت گرفته، کدهای بهینه هر زیرناحیه استخراج می‌شود. برای مثال پروفیل ناحیه کدبندی، مورد پردازش قرار گرفته و نقطه شروع زیر نواحی در روی پروفیل از طریق تحلیل جابجایی الگو^۸ با کمترین مربعات تعیین می‌گردد [۶].

ز) استخراج کد تارگت: بر اساس طراحی تارگت، کدهای استخراج شده از زیرنواحی‌ها که معمولاً دودویی هستند مورد پردازش قرار گرفته و کد تارگت استخراج می‌شود. برای مثال بخشی از اعداد صفر و یک کد دودویی که نقش کنترل صحت کد را دارند بررسی و سپس از فهرست کدها حذف می‌شوند سپس موقعیت کدهای دودویی باقیمانده آنقدر به صورت چرخشی تغییر می‌کند تا کوچکترین عدد دودویی پس از تبدیل به عدد دهدهی به عنوان کد تارگت حاصل آید [۱۳].

روش پیشنهادی برای طراحی و بازشناسی تارگت‌های کددار

در این بخش یک روش طراحی تارگت کددار مبتنی بر کدهای مکانی ارائه شده و روشی معین برای بازشناسی خودکار آن شرح داده شده است. علت انتخاب کدبندی مکانی، قابلیت روش در کار با تصاویر غیررنگی است که در فتوگرامتری صنعتی معمول می‌باشد و عدم پیچیدگی آن در مقایسه با روش‌های دیگر مانند کدبندی نوشتاری است. علت انتخاب روش معین در بازشناسی تارگت کددار این بوده است که این روش‌ها برخلاف روش‌های نامعین هوشمند، نیاز به مرحله آموزشی نداشته و هزینه محاسباتی آنها کم می‌باشد. همچنین تصاویر فتوگرامتری صنعتی معمولاً شبه دودویی بوده و به نظر می‌رسد سادگی مدل‌سازی کد تارگت در آنها، باعث می‌شود روش‌های معین از پایداری کافی برخوردار باشند.

شناسایی شده تارگت می‌شود [۸]:

الف) تعداد پیکسل‌های تارگت از یک حد نباید بیشتر یا کمتر شود.

ب) فاصله تارگت از لبه تصویر از یک حد نباید کمتر باشد زیرا بخشی از کدها در تصویر ظاهر نخواهد شد.

ج) قاعده اولر بررسی شود زیرا تنها یک ناحیه مرکزی برای تارگت بایستی وجود داشته باشد.

د) میزان خطای بهترین بیضی برازش یافته به ناحیه مرکزی تارگت نباید از یک حد بیشتر باشد.

ه) کنتراست نواحی روشن و تیره تارگت نباید از یک حد کمتر باشد.

و) خطای انطباق بهترین کد به ناحیه کدبندی تارگت از یک حد نباید بیشتر باشد.

بعد از ارزیابی کیفیت تارگت و اطمینان از برقراری پیش‌فرض‌های مدل‌سازی، کد تارگت بازشناسی می‌شود. شکل (۲) فرآیند معمول در روش‌های معین بازشناسی تارگت کددار را نشان می‌دهد [۶]. شرح بیشتر این فرآیند به قرار زیر است:

الف) ساده‌سازی تصویر: به منظور کاهش پیچیدگی تصویر و کاهش هزینه محاسباتی پردازش‌های آتی، تصویر مورد پیش‌پردازش قرار می‌گیرد. مثلاً در روش کدبندی مکانی برای دودویی شدن تصویر، آن را حدآستانه گذاری سراسری یا موضعی می‌نمایند [۱۳]. یا اینکه در کدبندی رنگی ابتدا تصویر رنگی RGB به تصویر رنگی Indexed color تبدیل شده و به جای پردازش سه باند تصویر از کدهای رنگی هر پیکسل در یک باند تصویری استفاده می‌شود [۱۰].

ب) بخش‌بندی تصویر: تصویر بر اساس شباهت پیکسل‌ها به هم به نواحی همگونی قطعه‌بندی می‌شود. به این ترتیب به جای پردازش مستقیم پیکسل‌ها، نواحی و مشخصات آنها مورد پردازش قرار می‌گیرند.

ج) شناسایی محل تارگت در تصویر: معمولاً از طریق شناسایی کادر تارگت، محل تارگت در تصویر شناسایی می‌شود. از آنجاکه شناسایی کادر تارگت با خطاهایی همراه است گاهی برای تارگت هیچ کادری قرار داده نشده و در عوض از روی تعداد و پراکندگی نواحی و مشخصه‌های آنها از طریق الگوریتم‌های خوشه‌بندی^۹، محل تارگت در تصویر و بعضاً به طور همزمان کد آنها شناسایی می‌گردد. البته در این روش‌ها نیز مشکلات

کدبندی با هشت مربع باقیمانده برای هر تارگت در به کارگیری روشنایی آن برای ایجاد کدهای دودویی است. به این صورت که با قرائت هر مربع سفید (یک) و سیاه (صفر) می توان یک عدد ۸ رقمی در مبنای دو را ایجاد کرد. به این ترتیب تعداد کل تارگت‌های قابل طراحی ۲۵۶ عدد خواهد بود.

روش پیشنهادی در بازشناسی تارگت کددار

به طور کلی حل مساله بازشناسی تارگت در روش پیشنهادی، از دو گام کلی تشکیل شده است که هر دو جزو مسائل بازشناسی تصویر به شمار می‌روند: (الف) شناسایی محل تارگت‌ها در تصویر و (ب) شناسایی کد تارگت، به طوریکه هر دو مساله خود نیازمند انجام پردازش‌های متعدد و متفاوتی است. از آن جاکه از خروجی مساله اول به طور مستقیم در حل مساله دوم استفاده خواهد شد، ابتدا به حل مساله اول پرداخته و سپس با استفاده از نتایج مساله اول به حل مساله دوم اقدام خواهد شد.

شناسایی محل تارگت‌ها در تصویر

با توجه به آنچه در بالا گفته شد قرائت شماره تارگت با استفاده از کدهای اطراف آن ساده به نظر می‌رسد، اما در عمل پیش از شناسایی و قرائت کد تارگت باید ابتدا موقعیت تقریبی تارگت‌ها در تصویر شناسایی شوند. به عبارت دیگر هدف از این مرحله تمییز تارگت‌ها از پس زمینه تصویر می‌باشد. برای این منظور در طراحی تارگت یک کادر سفید مربعی شکل با ضخامت مناسب در اطراف کدهای تارگت لحاظ شده است تا بازشناسی تمامی تارگت‌ها با یک الگوریتم یکسان به صورت خودکار قابل انجام باشد. توجه شود که عوارض داخل کادر تارگت‌ها نه تنها کمکی به بازشناسی تارگت‌ها نمی‌کنند بلکه عامل مزاحم در شناسایی آنها هستند. به همین علت بازشناسی تارگت‌ها از طریق کادر آنها و شناسایی کادرها از طریق زمینه تصویر می‌باشد. البته کادر تارگت‌ها در تصویر به شکل مربع نبوده و به خاطر اعوجاجات پرسپکتیو به شکل چهارضلعی‌هایی با اشکال و ابعاد مختلف در می‌آیند.

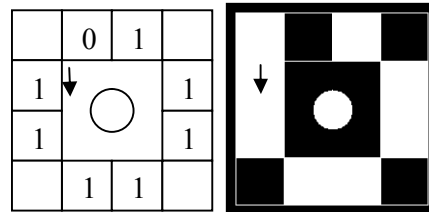


شکل ۴: از راست به چپ چهار مرحله شناسایی محل تارگت‌ها در تصویر شامل: دودویی نمودن تصویر، استخراج و کنترل ابعاد نواحی بسته، استخراج گوشه‌ها و کنترل شکل نواحی بسته.

روش پیشنهادی در طراحی تارگت کددار

به طور معمول تارگت‌های کددار از دو ناحیه کلی تشکیل شده‌اند: (الف) ناحیه اندازه‌گیری که معمولاً دایره‌ای شکل بوده و مرکز آن نشان دهنده مختصات دقیق تارگت است، (ب) ناحیه کدبندی که در اطراف ناحیه اندازه‌گیری قرار داشته و عبارتست از کدهایی گرافیکی که حاوی اطلاعاتی درباره شماره تارگت مورد نظر می‌باشند.

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد اگرچه روش‌های متفاوتی برای طراحی کدبندی تارگت وجود دارد، اما نحوه طراحی تارگت کددار باید به گونه‌ای باشد که بازشناسی تعداد کافی تارگت با کمترین هزینه محاسباتی ممکن و حداکثر پایداری میسر باشد.



شکل ۳: تارگت کددار مکانی متعامد با کد

$$256 = 1 + (11111110)_2$$

همان‌طور که ذکر شد در روش پیشنهادی از کدهای مکانی برای کدبندی تارگت استفاده شده است. در بین روش‌های کدبندی مکانی دو روش قطبی و متعامد وجود دارد که در این تحقیق روش دوم مورد پیاده‌سازی قرار گرفته است. علت انتخاب کدبندی مکانی متعامد، طراحی ساده‌تر آن در مقایسه با کدهای قطبی بوده است. اگرچه روش کدبندی قطبی به واسطه مستقل بودن آن از دوران، بیشتر مورد توجه جامعه فتوگرامتری برد کوتاه بوده است [۱] اما با اعمال تکنیک ساده زیر، کدبندی پیشنهادی مستقل از دوران عمل می‌کند. برای کدبندی تارگت‌ها در روش پیشنهادی، کافی است شبکه‌ای از ۱۲ مربع سیاه یا سفید در اطراف دایره اندازه‌گیری تارگت ایجاد نمود. از این ۱۲ مربع، چهار مربع مستقر در گوشه‌های تارگت برای شناسایی محل شروع کدبندی و اجتناب از اثر دوران روی کدبندی به کار می‌رود. از این چهار مربع تنها یکی به رنگ سفید بوده که همان نقطه شروع کدبندی و بقیه سیاه رنگ می‌باشند. با لحاظ یک جهت قرائت کدها مثلاً در جهت خلاف عقربه‌های ساعت، کدبندی تارگت‌ها توسط هشت مربع دیگر مستقل از دوران قابل انجام خواهد بود. نحوه

در این حالات باید از روش‌های پیچیده‌تر حدآستانه گذاری مانند اعمال موضعی روش Otsu [۱۷] برای تعیین مقادیر حدود آستانه روی یک شبکه منظم و درونیابی این مقادیر برای کل پیکسل‌های تصویر استفاده نمود [۱۳].

استخراج نواحی بسته و کنترل ابعاد آنها

وجود کادرهای بسته حول تارگت‌ها باعث می‌شود که بتوان آنها را از زمینه تصویر تفکیک نمود. به بیان دیگر در صورت شناسایی زمینه تصویر، در واقع محل تارگت‌ها در تصویر شناسایی شده‌اند. برای شناسایی زمینه تصویر و استخراج نواحی بسته موجود در آن، از الگوریتم زیر استفاده شده است:

الف) شناسایی زمینه تصویر: ابتدا توسط الگوریتم گسترش ناحیه (چهار همسایه) زمینه تصویر که پیکسل‌های آن دارای مقدار صفر در تصویر دودویی هستند جستجو می‌شود. نتیجه این مرحله تعدادی ناحیه بسته در زمینه تصویر است که یک به یک مورد آزمون قرار می‌گیرد تا مشخص شود که کدامیک مربوط به تارگت می‌باشد.

ب) حذف نواحی بسته نویزی: نواحی بسته بسیار کوچک توسط عملگر مورفولوژیک opening حذف می‌گردند تا زمان پردازش‌های آتی کاهش یابد.

ج) کنترل ابعاد نواحی بسته: در صورتی که تعداد پیکسل‌های هر ناحیه بسته از یک حدآستانه کمتر باشد، ناحیه حذف می‌شود. زیرا ناحیه مزبور یا حاوی تارگت نبوده یا مربوط به تارگتی با ابعاد بسیار کوچک است که عملاً کد آن قابل شناسایی نیست. یک مقدار مناسب برای حدآستانه، ۱۰۰ است که معادل یک تارگت 10×10 پیکسل است. به بیان دیگر ابعاد هر سلول ناحیه کدبندی تارگت به طور متوسط $2/5$ پیکسل خواهد بود که کمتر از آن عملاً غیرقابل شناسایی است.

د) در صورتی که ابعاد ناحیه بسته به اندازه کافی بزرگ باشد، به کل پیکسل‌های ناحیه یک شماره نسبت داده شده و کنترل فوق برای نواحی بسته دیگر زمینه تکرار می‌شود.

استخراج گوشه‌های نواحی بسته

همان طور که ذکر شد به واسطه پرسپکتیو تصویر و تغییر مقیاس نقاط مختلف در آن، شکل و اندازه کادر

برای شناسایی محل تارگت‌ها در تصویر به کمک کادر سفید اطراف آنها مراحل زیر انجام پذیرفته است: (الف) دودویی کردن تصویر با حدآستانه‌گذاری (ب) استخراج نواحی بسته و کنترل ابعاد آنها (ج) استخراج گوشه‌های نواحی بسته و (د) کنترل شکل نواحی بسته. شکل (۴) این پردازش‌ها را به صورت نمادین برای یک تارگت نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از این پردازش‌ها تشریح می‌شود.

دودویی نمودن تصویر

جهت ساده‌تر شدن پردازش‌ها و حذف شدن عوارض اضافی در زمینه تصویر اولین مرحله دودویی نمودن تصویر از طریق یک حدآستانه‌گذاری مناسب می‌باشد. ذکر این نکته الزامی است که دودویی کردن تصویر تاثیر مخربی روی پردازش‌های آتی بازشناسی تارگت‌ها ندارد زیرا طراحی تارگت‌های کددار و تصویربرداری از آنها به گونه‌ای است که به صورت شبه دودویی در تصویر ظاهر می‌شوند. برای به دست آوردن حد آستانه مناسب باید هیستوگرام تجمعی تصویر را محاسبه و مورد استفاده قرار داد. همان‌طور که قابل پیش بینی است معمولاً تعداد پیکسل‌هایی که درجه روشنایی آنها پایین و نزدیک به صفر است بسیار زیاد می‌باشد. از سوی دیگر به علت وجود تارگت‌های سفید در تصویر، درجات خاکستری بالا و نزدیک به مقدار سفید نیز در تصویر وجود دارد. با بررسی هیستوگرام تجمعی تصویر دیده می‌شود که در مرز بین درجات خاکستری تیره (زمینه) و روشن (تارگت) یک شکستگی کلی ایجاد می‌گردد. برای تعیین محل این شکستگی، ابتدا فاصله تمامی نقاط هیستوگرام تجمعی از خط واصل بین دو سر آن محاسبه شده و نقطه با حداکثر فاصله به عنوان محل شکستگی انتخاب می‌شود. حدآستانه تفکیک تاریکی و روشنی برای دودویی کردن تصویر، محلی نزدیک به این شکستگی است که بهتر است تا حدی به مقادیر روشن نزدیکتر باشد تا بعضاً روشنایی‌های ناخواسته در تصویر دودویی ظاهر نگردد.

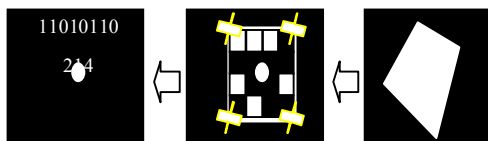
ذکر این نکته الزامی است که این روش حدآستانه-گذاری برای تصاویر شبه دودویی مناسب بوده و در صورتی که روشنایی زمینه تصویر تغییر نماید، یا تصویر درجه خاکستری باشد، یا روشنایی ناخواسته در تصویر با کنتراست کم وجود داشته باشد، با شکست روبرو خواهد شد.

کنترل شکل نواحی بسته

در این مرحله چهارضلعی ایجاد شده توسط رئوس فوق با ناحیه مربوط مقایسه می‌شود. اگر نسبت تعداد پیکسل‌های مربوط به نواحی غیرمشترک به کل تعداد پیکسل‌های ناحیه از یک حد آستانه مثلا ۲۰٪ بیشتر باشد، می‌توان گفت شکل ناحیه چهارضلعی نبوده و بنابراین مربوط به کادر یک تارگت نیست.

شناسایی کد تارگت

بعد از شناسایی محل تقریبی تارگت‌ها در تصویر از طریق کادر آنها، مرحله دوم بازشناسی تارگت یعنی شناسایی کد آنها از طریق علائم حاشیه‌ای آغاز می‌شود. مراحل کلی شناسایی کد یک تارگت عبارتست از: (الف) نرمالیزاسیون تارگت با حذف اثر پروژکتیو و دوران (ب) استخراج کد از علائم حاشیه‌ای تارگت. شکل (۶) این پردازش‌ها را به صورت نمادین برای یک تارگت نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از این پردازش‌ها تشریح می‌شود.

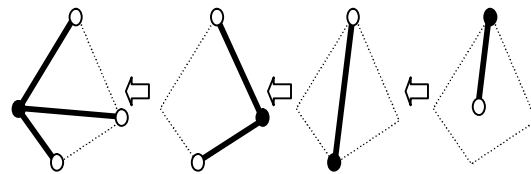


شکل ۶: از راست به چپ دو مرحله شناسایی کد تارگت شامل: نرمالیزاسیون تارگت و استخراج کد تارگت .

نرمالیزاسیون تارگت

مرحله اول در شناسایی کد تارگت، نرمالیزاسیون هندسی آن است این مرحله موجب حذف اثر اعوجاجات هندسی شکل و ابعاد تارگت ناشی از زاویه دید و فاصله تصویربرداری خواهد شد تا استخراج کد تارگت در مرحله بعد با دقت و پایداری بیشتری صورت گیرد. برای این منظور جهت کاهش اثر نویز در فرآیند بازنمونه‌برداری تصویر، تصویر اولیه (نه دودویی) مربوط به کادر تارگت شناسایی شده استخراج می‌شود. سپس با استفاده از گوشه‌های مرتب شده تارگت‌ها و نسبت دادن مختصات گوشه‌های یک مربع نرمال به آنها، می‌توان چهار زوج مختصات را برای حل انتقال پروژکتیو به کار گرفت. برای تعیین ابعاد مربع نرمال می‌توان ابعاد واقعی تارگت را در مقیاس متوسط تصویربرداری به دست آورد و آن را در واحد پیکسل محاسبه کرد. پس از محاسبه پارامترهای

تارگت‌ها متغیر می‌باشد به طوریکه به شکل چهارضلعی‌های متفاوت در تصویر ظاهر می‌شوند. برای تبدیل شکل کادرها از حالت چهارضلعی به شکل اولیه آن یعنی مربع، از یک تبدیل پروژکتیو دو بعدی استفاده می‌شود. محاسبه هشت پارامتر تبدیل پروژکتیو نیاز به حداقل چهار نقطه کنترل دارد. بهترین نقاط کنترل که کل تارگت را در برمی‌گیرند عبارتست از گوشه‌های کادر تارگت که هدف از این مرحله استخراج این گوشه‌ها بوده است. برای این منظور ابتدا لبه‌های کادر تارگت استخراج شده و مختصات پیکسل‌های آن در یک بردار ذخیره می‌شود.



شکل ۵: معیار استخراج گوشه‌های کادر تارگت. دایره سفید نقطه مبدا و دایره سیاه گوشه پیدا شده با حداکثر مجموع فواصل در امتداد خطوط سیاه می‌باشد.

برای به دست آوردن گوشه‌های کادر از این قاعده استفاده شده است که گوشه‌های کادر همان رئوس اقطار چندضلعی بوده و بیشترین فاصله را از هم دارند. بنابراین ابتدا مرکز ثقل ناحیه بسته محاسبه شده و پیکسلی از لبه که بیشترین فاصله از آن را دارد تعیین می‌شود. این پیکسل در یکی از گوشه‌های چهارضلعی روی بزرگترین قطر آن قرار دارد. گوشه دیگر این قطر، پیکسلی از لبه است که بیشترین فاصله را از گوشه اول دارد. برای استخراج گوشه سوم، پیکسلی جستجو می‌شود که مجموع فاصله آن از دو گوشه استخراج شده در مرحله قبل حداکثر باشد. به همین ترتیب گوشه چهارم پیکسلی است که مجموع فاصله‌اش از هر سه گوشه استخراج شده، حداکثر باشد. به این ترتیب چهار گوشه کادر تارگت با دقت نسبتاً مناسبی استخراج شده است (شکل ۵).

در این مرحله مختصات تقریبی مرکز تارگت از طریق محاسبه مختصات متوسط چهار گوشه قابل تعیین خواهد بود. با استفاده از مختصات مرکز تارگت، می‌توان آریتموت گوشه‌های کادر را نسبت به مرکز محاسبه کرده و آنها را به صورت صعودی مرتب نمود. به این ترتیب گوشه‌های هر تارگت در جهت عقربه‌های ساعت مرتب می‌شود.

و مختصات دقیق مرکز آن به طور خودکار به دست می‌آید. در صورتی که این پردازش برای تمام تصاویر انجام شود، مشاهدات عکسی آماده معرفی به محاسبات سرشکنی شبکه خواهد بود. ذکر این نکته الزامی است که عموماً تنها تعداد محدودی از تارگت‌ها به صورت کددار تعریف شده (حداقل چهار تارگت در هر تصویر برای انجام توجیه خارجی خودکار تصاویر) و شماره تارگت‌های بدون کد از روی الگوریتم‌های نقاط متناظر تصویری قابل استخراج خواهد بود. جزئیات بیشتر الگوریتم در [۱] ارائه شده است.

مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های موجود

در خصوص بیان شباهت‌ها و تفاوت‌های روش پیشنهادی با روش‌های موجود باید گفت که در روش پیشنهادی، تارگت کددار مشابه دیگر روش‌های کدبندی مکانی به صورت دودویی بوده و از طریق استخراج کدهای دودویی در مکان‌های مختلف دورتادور مرکز هر تارگت، کد تارگت استخراج می‌شود. بنابراین روش کدبندی پیشنهادی برای تصاویری مناسب است که تارگت‌های روشن در یک زمینه تیره ظاهر شوند.

تفاوت کدبندی در روش پیشنهادی با روش‌های کدبندی مکانی قطبی نیز در این است که در اینجا مساله ابهام دوران به سادگی با بررسی چهار کد گوشه‌های تارگت با پایداری بالایی قابل حل می‌باشد اما در روش‌های دیگر باید در یک فرآیند جابجایی الگو با کمترین مربعات و در چندین تکرار مساله را حل کرد. مزیت دیگر روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر این است که با توجه به اینکه ابتدا چهار گوشه تارگت شناسایی می‌شود در حالتی که یک ناحیه به صورت چهارضلعی نباشد دیگر نیازی به اعمال کلیه پردازش‌های شناسایی کد تارگت در آن نمی‌باشد. این موضوع کارایی الگوریتم را به شدت افزایش خواهد داد. از سوی دیگر بر خلاف روش‌های دیگر، با اعمال انتقال پروژکتیو و نرمالیزاسیون شکل تارگت از یک چهارضلعی نامشخص به شکل مربع، محل دقیق سلول‌ها با دقت بالایی تعیین شده و با متوسط گیری مقادیر هر سلول، کدها با پایداری بالایی استخراج می‌شوند.

آزمون صحت و پایداری روش پیشنهادی بازشناسی تارگت کددار

برای آزمون عملکرد روش پیشنهادی در بازشناسی

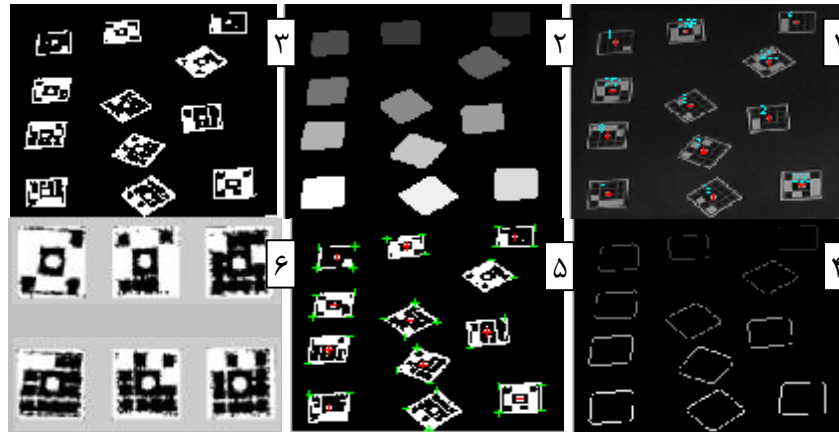
تبدیل هندسی پروژکتیو، توسط یکی از روش‌های باز نمونه‌برداری تصویری، تصویر نرمال تارگت به دست می‌آید. در بین روش‌های باز نمونه‌برداری روش نزدیکترین همسایه توصیه می‌شود زیرا حداقل پیچیدگی محاسباتی را داشته و کیفیت استخراج کدها را مخدوش نمی‌سازد. در این حالت باید مجدداً تصویر نرمال حاصل را با اعمال یک حدآستانه ۵۰٪ به تصویر دودویی تبدیل کرد.

پس از ایجاد تصویر باز نمونه‌برداری شده که تارگتی به شکل مربع را به دست می‌دهد، ممکن است در آن دوران ناخواسته ۹۰، ۱۸۰ و یا ۲۷۰ درجه وجود داشته باشد زیرا در این مرحله شرط مرتب بودن نقاط چهار گوشه نمی‌تواند اعمال شود. برای رفع آن همان‌طور که در بخش طراحی تارگت ذکر شد کافی است با استفاده از چهار سلول مربعی گوشه‌های تارگت (چهار مربع از ۱۲ مربع)، گوشه دارای سلول سفید را پیدا نموده و متناسب با آن ترتیب کدهای استخراج شده در مرحله بعد را تغییر داد.

استخراج کد تارگت

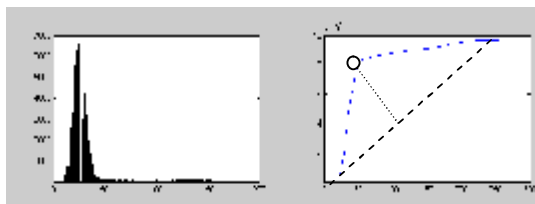
با انجام نمونه‌برداری از مکان‌های هشت سلول مربعی دیگر در تصویر نرمال که به راحتی قابل شناسایی است، براحتی می‌توان هشت کد دودویی با ترتیب مشخص (در جهت عقربه‌های ساعت) را استخراج نمود. نکته قابل توجه در این مرحله، چگونگی نمونه‌برداری از سلول‌های مربعی شکل است. در حالت ایده‌آل مقدار تمام پیکسل‌های درون هر سلول به واسطه دودویی بودن تصویر، صفر یا یک است. در این حالت انتخاب یکی از پیکسل‌ها برای استخراج کد سلول کافی است. اما به واسطه نویز، مقدار تعدادی از پیکسل‌های سلول صفر به یک (و بالعکس) تغییر پیدا می‌کند. در این حالت بهتر است میانه مقادیر در هر سلول را به عنوان کد سلول در نظر گرفت تا اثر نویز برطرف شود. با تبدیل هشت کد استخراج شده به عددی در مبنای ده، کد تارگت در محدوده صفر تا ۲۵۵ به دست خواهد آمد که بهتر است آن را با یک جمع کرده تا کدی بین یک تا ۲۵۶ به دست آید.

پس از به دست آمدن کد تارگت، مختصات تقریبی مرکز تارگت که متوسط مختصات گوشه‌های تارگت بود را می‌توان برای محاسبه مختصات دقیق مرکز دایره اندازه‌گیری تارگت به کار گرفت. جزئیات یافتن مرکز دقیق تارگت در [۱۶] ارائه شده است. به این ترتیب شماره تارگت



شکل ۷: پیاده‌سازی مراحل بازشناسی تارگت کددار: (۱) تصویر خام شبه دودویی به همراه کدهای استخراج شده تارگت ها، (۲) تصویر دودویی شده پس از حدآستانه‌گذاری، (۳) شناسایی و شماره‌گذاری کادر تارگت ها، (۴) استخراج کادر تارگت ها، (۵) استخراج گوشه کادرها و کنترل شکل تارگت، (۶) نمایش تصویر نرمالیزه تعدادی از تارگت ها.

انتخاب شد. محل شکستگی نقطه‌ای است که بیشترین فاصله را از خط واصل ابتدا و انتهای منحنی هیستوگرام تجمعی داراست (شکل ۸). در واقع نقطه شکستگی همان محل کاهش ناگهانی فراوانی درجات روشنایی است که مبین حد آستانه بین زمینه تیره با فراوانی بالا و تارگت روشن با فراوانی کم در تصویر می‌باشد. لازم به ذکر است این روش حدآستانه‌گذاری وقتی پاسخ درست می‌دهد که بخش عمده تصویر، زمینه تیره بوده و بخش کوچکی از آن تارگت روشن باشد.



شکل ۸: هیستوگرام تصویر (چپ) و هیستوگرام تجمعی تصویر و نحوه انتخاب حدآستانه (راست).

در مرحله بعد توسط الگوریتم رشد ناحیه تشریح شده، زمینه تصویر شناسایی شده و در نتیجه مرز نواحی بسته با زمینه که همان کادر تارگت می‌باشد شناسایی و به طور همزمان شماره‌گذاری اولیه می‌شود (شکل ۷-۳). البته در این مرحله نواحی بسته با ابعاد کوچک نیز حذف شده تا هزینه محاسباتی آتی کاهش یابد.

بعد از شناسایی موقعیت تارگت‌ها در تصویر، بایستی به شناسایی کد هر تارگت اقدام نمود. برای این

خودکار تارگت کددار طراحی شده، دو آزمون مختلف به انجام رسید. در آزمون اول صحت عملکرد جزئیات فرآیند بازشناسی تارگت مرحله به مرحله ارائه می‌شود. در آزمون دوم کارایی و پایداری روش در شرایط مختلف تصویری و روی شیء با سطوح پیچیدگی مختلف برآورد می‌شود.

آزمون صحت عملکرد روش پیشنهادی

در این آزمون تعدادی تارگت بازتاباننده کددار مطابق با طراحی ذکر شده ساخته شد. توجه شود که به منظور بررسی صحت روش در شناسایی کد تارگت‌ها، آنها با چینشی نامنظم در کنار هم روی سطح مسطح قرار داده شدند و از آنها در فاصله مناسب تصویری مایل اخذ گردید. تصویر مایل باعث می‌شود که نه تنها تارگت‌ها در مقیاسهای مختلف ظاهر شوند بلکه به خاطر اعوجاج نسبتا شدید پروژکتیو در تصویر عمل بازشناسی تارگت‌ها با دشواری روبرو شود. همان‌طور که در شکل (۷-۱) دیده می‌شود تصویر حاصل، شبه‌دودویی بوده اما به واسطه تنظیم نامناسب عمودی پارامترهای دوربین، کنتراست بالایی ندارد.

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد برای بازشناسی خودکار تارگت‌ها دو مرحله کلی بایستی طی شود: شناسایی محل تارگت‌ها در تصویر و شناسایی کد هر تارگت. برای شناسایی محل تارگت‌ها ابتدا تصویر با حد-آستانه‌گذاری به صورت دودویی درآمد (شکل ۷-۲). برای تعیین حدآستانه محل شکستگی تابع توزیع تجمعی تصویر

از آن در نواحی پنهان یا وجود خراش در بخش‌هایی از تارگت می‌باشد به طوری که کاربر قادر باشد با نگاه به تارگت، کد آن را تشخیص دهد. مهم‌ترین عامل برای تغییر نویز و کنتراست نیز علاوه بر جنس و کنتراست تارگت به میزان نور رسیده به CCD^{12} برمی‌گردد که توسط شدت نور محیط یا فلاش، دریچه دیافراگم، زمان شاتر، و حساسیت CCD کنترل می‌شود. منظور از عوامل غیرقابل پیش‌بینی، انعکاسات ناخواسته و عوارض با شکل مشابه تارگت است که باید از فرایند بازشناسی تارگت حذف گردند. با ذکر این توضیحات، برای ایجاد تارگت‌هایی با شرایط مختلف کیفی و هندسی در تصویر، آزمون‌های فاصله تارگت، زاویه برخورد، دوران تارگت، فوکوس دوربین، کنتراست تصویر، و نواحی پنهان صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱: فهرست آزمون‌های پایداری بازشناسی تارگت کددار.

مقادیر مورد آزمون	پارامتر مورد بررسی	
	حالات موفق	حالات ناموفق
-	۱۲-۸-۴-۲	فاصله (تعداد پیکسل)
۱۵	۹۰-۶۰-۴۵-۳۰	زاویه برخورد (درجه)
۵	۱۰-۵۰	کنتراست تصویر (درصد)
-	۴۵-۳۰-۰	دوران تارگت (درجه)
۳۰	۱۰-۰	فوکوس دوربین (درصد)
	تخریب گوشه سلولها	نواحی پنهان
	تخریب کادر	

جدول (۱) کلیه مقادیر مورد آزمون برای پارامترهای ذکر شده را نشان می‌دهد. در این جدول، مقادیر فاصله مبین تعداد پیکسل‌های قطر دایره مرکزی تارگت می‌باشد. مقادیر زاویه برخورد و دوران تارگت در واحد درجه می‌باشد. مقادیر فوکوس دوربین میزان تارشدگی تصویر بوده که برابر پهنای PSF تارشدگی به ابعاد قطر تارگت به درصد است. منظور از کنتراست تصویر نیز اختلاف بیشترین و کمترین درجه خاکستری در تصویر نسبت به کل درجات خاکستری (۲۵۶) به درصد است.

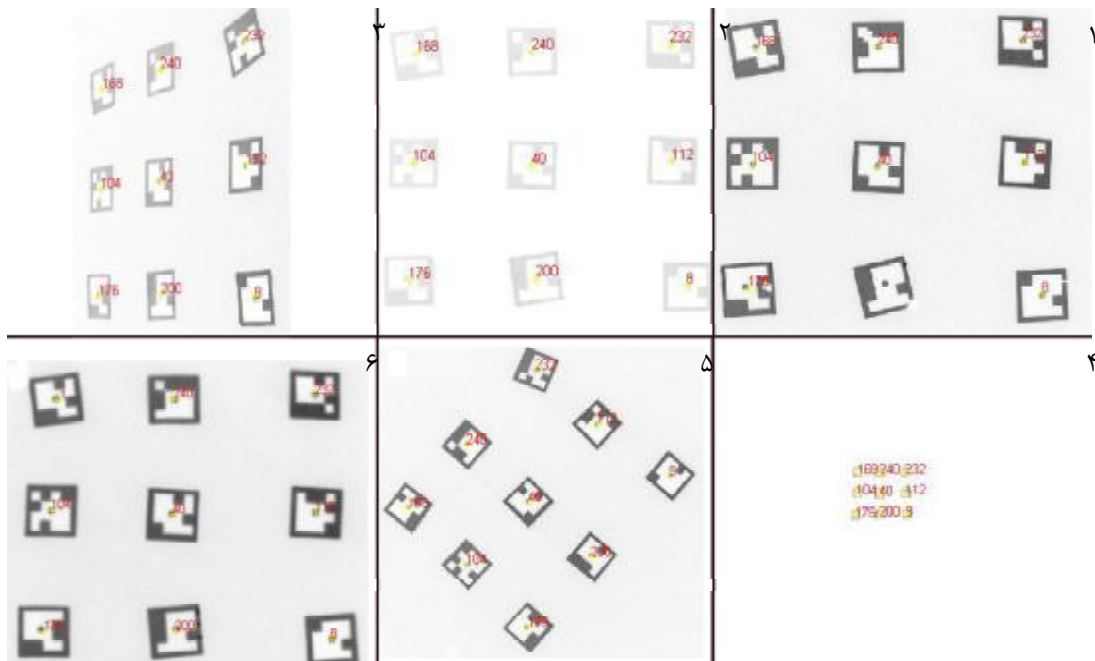
برای انجام آزمون پایداری روش پیشنهادی، تعداد نه تارگت بازتاباننده روی دیوار نصب شد و مطابق شرایط مختلف جدول (۱) از آنها تصویربرداری گردید (شکل ۹). با بررسی کل ۱۹ تصویری که از نه تارگت کددار اخذ گردید (مجموعاً $9 \times 19 = 171$ تارگت) مشاهده شد که حتی در شرایط نه چندان نرمال تصویربرداری که مثال‌هایی از این تصاویر در شکل (۹) نشان داده شده است، روش پیشنهادی

منظور ابتدا کادر تارگت‌ها برای تصحیح اعوجاج هندسی پروژکتیو و ایجاد تصویر نرمالیزه تارگت بایستی استخراج گردد. شکل (۷-۴) کادر تارگت‌ها را که از خروجی مرحله قبل به دست آمده است نشان می‌دهد. بعد از استخراج کادر هر تارگت، گوشه‌های آن توسط الگوریتم تشریح شده استخراج می‌شود (شکل ۷-۵). در مرحله بعد، پس از کنترل شکل نواحی بسته و اطمینان از چهارضلعی بودن آنها، انتقال پروژکتیو برای هر تارگت محاسبه شده و تصویر نرمالیزه ایجاد می‌شود. شکل (۷-۶) تصویر نرمالیزه تعدادی از تارگت‌ها را نشان می‌دهد.

اکنون می‌توان با انجام نمونه‌برداری از ۱۲ سلول مربعی هر تارگت کددار نرمالیزه‌شده و لحاظ چرخش تارگت، کد دودویی هشت رقمی را از هشت سلول استخراج نموده و کد تارگت در مبنای ده را به صورت عددی بین یک تا ۲۵۶ به دست آورد. شکل (۷-۱) این کدها را برای هر تارگت نشان می‌دهد.

آزمون پایداری روش پیشنهادی

از آنجاکه روش پیاده‌سازی شده برای بازشناسی تارگت، یک روش معین می‌باشد و اصولاً روش‌های معین در شرایط نرمال و تنها در صورت حفظ پیش‌فرض‌هایی که بر مبنای آنها عمل می‌نمایند، می‌توانند به خوبی کار کنند، در این مرحله تست‌هایی روی تعیین سطح پایداری روش در بازشناسی تارگت‌ها در حالات غیرایده‌آل صورت گرفت. برای این منظور ابتدا پارامترهای موثر بر شرایط ایده‌آل یک تارگت بررسی گردید. این پارامترها شامل اندازه، کشیدگی، دوران، میزان تارشدگی، عدم دید، کنتراست، نویز تارگت و عوامل غیر قابل پیش‌بینی دیگر در تصویر اخذ شده می‌باشد. با فرض اینکه اندازه واقعی تمامی تارگت‌ها یکسان است، تغییر ابعاد تارگت‌ها در روی تصویر ناشی از دوری و نزدیکی آنها به ایستگاه دوربین می‌باشد. کشیدگی تارگت‌ها در تصویر نیز ناشی از تغییر زاویه بین امتداد نوری دوربین با نرمال بر سطح تارگت در لحظه تصویربرداری است. دوران تارگت‌ها به توجیه آنها با کادر تصویر برمی‌گردد. تارشدگی تصویر هم ناشی از PSF^{11} سامانه (لبه واقعی تارگت، محیط، عدسی و CCD) است که البته دریچه دیافراگم دوربین یا $F/Stop$ (جهت تنظیم عمق میدان) و فوکوس دوربین نیز نقشی اساسی در آن بازی می‌نماید. منظور از عدم دید تارگت قرار گرفتن بخش‌هایی



شکل ۹: مثالهایی از تصویربرداری در شرایط مختلف از نه تارگت کددار برای آزمون پایداری روش پیشنهادی به همراه کدهای شناسایی شده. تصاویر ۱ تا ۶ به ترتیب آزمونهای نواحی پنهان، کنتراست تصویر، زاویه برخورد، فاصله، دوران تارگت و فوکوس دوربین می‌باشند.

نشده و بخشهای قابل توجهی از تارگت‌ها از دست برود و در نتیجه بازشناسی تارگت با شکست مواجه شود. با بررسی آزمون دوران تارگت دیده شد که روش پیشنهادی پایداری بالایی نسبت به دوران دارد. آزمون‌های فوکوس دوربین نشان داد که در شرایطی که میزان تارشدگی تصویر از ۳۰٪ ابعاد تارگت مرکزی بیشتر شود امکان شکست الگوریتم یا شناسایی نادرست کد تارگت افزایش می‌یابد. علت این امر درهم ادغام شدن سلول‌های کد تارگت‌ها و تخریب کدبندی آنها می‌باشد. بنابراین اگرچه روش پیشنهادی پایداری کمی نسبت به فوکوس دوربین دارد اما در حالات عملی، به خاطر کوچک بودن فاصله کانونی دوربین‌های رقومی در قیاس با فاصله تصویربرداری آنها، معمولا دوربین به میزان کمی از فوکوس خارج بوده و حالات بحرانی در بازشناسی تارگت رخ نمی‌دهد. همچنین برای آزمون پایداری روش پیشنهادی در مواجهه با نواحی پنهان، بخشهایی از لبه خارجی، لبه داخلی، گوشه خارجی و گوشه داخلی تارگت‌ها مطابق با شکل (۹-۱) در ناحیه پنهان قرار داده شد به طوری که امکان شناسایی کد آن تارگت‌ها در تصویر توسط یک فرد وجود داشته باشد. برای وضوح بیشتر شکل (۱۰) چگونگی تخریب تارگت‌های کددار را نشان می‌دهد. همانطور که

بازشناسی تارگت در اکثر حالات به خوبی کار نموده است. این موضوع نشان دهنده پایداری کلی روش در شرایط مختلف می‌باشد. در ادامه حالاتی که روش پیشنهادی بازشناسی تارگت موفق نبوده است (مقادیر ستون سوم جدول (۱) بررسی می‌شود.

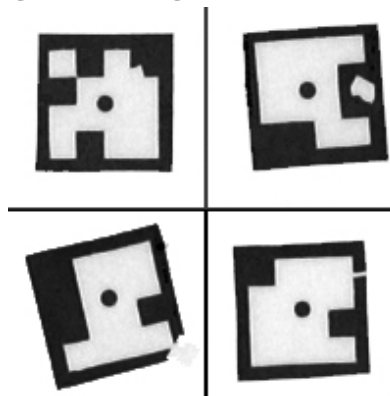
با اجرای الگوریتم روی تصاویر اخذ شده از فواصل مختلف مشاهده شد که روش پیشنهادی در تمامی فواصل روی هر نه تارگت به خوبی کار می‌کند. به بیان دیگر روش پیشنهادی بازشناسی تارگت و طراحی تارگت کددار، نسبت به تغییر فاصله پایداری بالایی دارد.

همچنین مشاهده شد که با افزایش زاویه برخورد و خروج از میدان بازتابش تارگت، به علت کاهش کنتراست تارگت به خصوص برای زوایای برخورد کمتر از ۳۰ درجه، بازشناسی تارگت با شکست مواجه می‌شود. به بیان دیگر اعوجاجات ناشی از هندسه پرسپکتیو به خوبی مدل‌سازی شده و روش پیشنهادی نسبت به آن پایدار است اما پایداری خوبی در مواجهه با کنتراست تصویر ندارد. البته صحت این موضوع در آزمون کنتراست تصاویر نیز بررسی شد. در این آزمون دیده شد برای کنتراست تصویری ۵٪، در هنگام دودویی نمودن تصویر، کمترین روشنایی ناخواسته باعث می‌شود حدآستانه بهینه به خوبی تعیین

فتوگرامتری صنعتی، گونه‌ای از کدبندی مکانی متعامد مورد طراحی قرار گرفت. در ادامه روشی برای بازشناسی تارگت کددار طراحی شده طی دو مرحله کلی شناسایی محل تارگت و شناسایی کد تارگت ارائه گردید. در مرحله اول ابتدا تصویر دودویی شده و سپس زمینه تصویر شناسایی می‌گردد. با توجه به وجود کادر در دورتادور هر تارگت، پس از حذف نواحی با ابعاد کوچک، نواحی باقیمانده استخراج و شماره‌گذاری اولیه می‌شود. مرحله بعد کنترل شکل نواحی بسته می‌باشد که از طریق استخراج لبه ناحیه، تعیین گوشه‌های بهترین چهارضلعی قابل انطباق با آن و مقایسه این چهارضلعی با شکل اولیه ناحیه صورت می‌گیرد. به این ترتیب محل تارگت‌ها در تصویر از طریق کادر آنها شناسایی می‌شود. در مرحله دوم از طریق گوشه‌های چهارضلعی استخراج شده، تصویر تارگت نرمالیزه با مقیاس ثابت و بدون اعوجاجات پروژکتیو تهیه می‌شود. اکنون استخراج کد هر تارگت به سادگی و با در نظر گرفتن دوران کلی تارگت میسر می‌باشد.

در بخش آخر مقاله نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد آزمونهای متعدد قرار گرفت و صحت و پایداری روش پیشنهادی بازشناسی تارگت‌های کددار بررسی شد. برای بررسی صحت عملکرد جزئیات روش پیشنهادی روی تصویری با شرایط نرمال که از تعداد ۱۲ تارگت کددار اخذ شده بود خروجی شش مرحله بازشناسی تارگت مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این آزمون نشان داد فرایند پردازشها در روش پیشنهادی از صحت مناسبی برخوردار بوده و قادر است تارگت‌های کددار متعدد را از تصویری مایل با اعوجاج هندسی پرسپکتیو بالا و کیفیت تصویری نه لزوماً ایده‌آل به صورت صحیحی شناسایی نماید. برای بررسی پایداری روش پیشنهادی در شرایط غیر نرمال، روش پیشنهادی در شرایط مختلف هندسی و رادیومتریکی روی بیش از ۱۷۰ تصویر تارگت کددار با کدها، توجیه‌ها، مقیاس‌ها، شرایط دید و کیفیت‌های مختلف تصویری مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه این آزمون مبین این حقیقت بود که روش پیشنهادی حتی در شرایط مختلف غیرنرمال در ۹۰٪ موارد قادر به بازشناسی تارگت کددار بوده است. علت ناپایداری روش در ۱۰٪ حالات ناشی از تنظیم نامناسب پارامترهای کیفی تصویر شامل کنتراست، فوکوس و نواحی پنهان بوده است.

دیده می‌شود، تخریب تارگت‌ها در کادر (دو شکل پایین) و روی کدهای آن (دو شکل بالا) صورت گرفته است. با بررسی دقیقتر مشخص شد درحالاتی که بخشی از کادر تارگت در لبه یا گوشه آن مخدوش شده و از دست برود بازشناسی تارگت با شکست مواجه می‌شود اما هنگامیکه گوشه سلولهای روشن و تیره در ناحیه کدبندی از دست برود روش پایداری بالایی از خود نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: تخریب تارگت‌های کددار جهت شبیه سازی تاثیر نواحی پنهان در بازشناسی تارگت.

در یک جمع‌بندی باید گفت روش پیشنهادی بازشناسی تارگت نسبت به اعوجاجات پرسپکتیو ناشی از تغییر فاصله، دوران تارگت و زاویه برخورد پایداری بالایی دارد اما نسبت به پارامترهای موثر در کیفیت تصویر شامل فوکوس دوربین، کنتراست تصویری و مخدوش شدن کادر تارگت پایداری کمی دارد. البته لازم به ذکر است که این پایداری کم در شرایط غیرنرمال تصویربرداری بوده و در عمل برای تصاویر معمول فتوگرامتری اخذ شده از تارگت‌های بازتاباننده کمتر رخ می‌دهد.

نتیجه‌گیری

به منظور تعیین اتوماتیک مقادیر اولیه مختصات زمینی و پارامترهای توجیه خارجی تصاویر در محاسبات سرشکنی شبکه، به خصوص برای اولین اندازه‌گیری از اشیاء بزرگ و/یا با شکل پیچیده، بکارگیری تارگت‌های کددار امری اجتناب ناپذیر است. تارگت‌های کددار همان طور که از نامشان پیداست علاوه بر ناحیه اندازه‌گیری، دارای ناحیه کدبندی در اطراف آن هستند که کد تارگت را نمایش می‌دهند. در این مقاله ابتدا روش‌های طراحی و بازشناسی تارگت‌های کددار مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای تصاویر شبه دودویی در کاربردهای

بر حفظ سادگی محاسبات، پایداری روش نیز بالاتر رود.

در انتها توجه به زمینه‌های تحقیقاتی زیر برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود: (الف) طراحی تارگت با سادگی و پایداری بالا برای مثال طراحی تارگت‌های بدون کادر، (ب) بهبود روش دودویی نمودن تصویر جهت کاهش مشکلات بازشناسی تارگت در تصاویر با کنتراست پایین مثلاً اعمال آستانه‌گذاری موضعی (ج) توسعه روش‌های ترکیبی معین و نامعین بازشناسی تارگت کددار تا علاوه

تقدیر و تشکر

از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و پردیس دانشکده‌های فنی به سبب حمایت مالی از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۱۸۱۰۳۲۹/۱/۰۱ تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- 1 - Fraser, C. S. (1997). "Innovations in automation for vision metrology systems." *Photogrammetric Record*, Vol. 15, No. 90, PP. 901-911.
- 2 - Dold, J. (1998). "The role of a digital intelligent camera in automating industrial photogrammetry." *Photogrammetric Record*, Vol. 16, No. 92, PP. 199-212.
- 3 - Fraser, C. S. (2006). "Evolution of network orientation procedure." *ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology*.
- 4 - ViVid, (2007). www.konicaminolta.us/vivid/default.asp Konica Minolta web site, access on 2007.
- 5 - Al-Manasir, K. and Fraser, C. S. (2006). "Automatic registration of terrestrial laser scanner data via imagery." *ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology*.
- 6 - Döring, T., Meysel, F. and Reulke, R. (2006). "Autonomous calibration of moving line scanners with coded photogrammetric targets recognition." *ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology*.
- 7 - Ahn, S. J., Rauh, W. and Kim, S. I. (2001). "Circular coded target for automation of optical 3D-measurement and camera calibration." *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol. 15, No. 6, PP. 905-919.
- 8 - Forbes, K., Voigt, A. and Bodika, N. (2002). "An inexpensive automatic and accurate camera calibration method." *Proceedings of the Thirteenth Annual Symposium of the Pattern Recognition*, Association of South Africa.
- 9 - INCA, (2007). www.geodetic.com. *Geodetic Institute Servic*. Access on 2007.
- 10 - Hanley, H. and Fraser, C. S. (2006). "Off-the-shelf digital cameras: systems, calibration, performance." *International Summer School Digital Recording and 3D Modeling 24-29 April 2006*, Aghios Nikolaos, Crete, Greece.
- 11 - Michaelis, M. (2000). "Automatic Identification of Textcoded Measurement Targets." *The Photogrammetric Record*, Vol. 16, No. 95, PP. 823-830.
- 12 - Murakami, O., Amano, K., Ohnishi, Y. and Nishiyama, S. (2006). "Automatic target detection for vision metrology with using coloured target." *ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology*.
- 13 - Knyaz, V. A. and Sibiryakov, A. V. (1998). "The development of new coded targets for automated point identification and non-contact 3D surface measurements." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, No. 5, PP. 80-85.

- 14 - Niederoest, M. and Maas, H. G. (1996). "Entwurf und Erkennung von codierten zielmarken." *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundug*, Oldenburg, 18th to 20th September, 6 pages.
- 15 - Ross, R. W. and Hibler, D. L. (1999). "Target recognition using Neural Network for model deformation measurements." *IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Vol.5, PP. 3152-3155.
- 16 - Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Harle, I. (2007). *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Applications*. Chapter 5, Wiley Pub. Co.
- 17 - Otsu, N. (1979). "A threshold selection method from gray-level histograms." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, No. 1, PP. 62-66.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Automatic Coded Target Recognition
- 2 - Bundle Adjustment
- 3 - Mobile Mapping Systems
- 4 - Artificial Neural Networks
- 5 - Semi-Binary
- 6 - Clustering Algorithms
- 7 - Template Matching
- 8 - Pattern Shift
- 11 - Point Spread Function
- 12 - Charged Coupled Device