

بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار با استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه در GIS فراگستر

مینا کریمی^{۱*}، ابوالقاسم صادقی نیارکی^۲، علی حسینی نوه احمدآبادیان^۲

^۱ دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی

خواجه‌نصیرالدین طوسی

minakarimi@email.kntu.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

{a.sadeghi, hosseininaveh}@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۵، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۵)

چکیده

تعیین موقعیت دقیق مسئله مهمی در بسیاری از حوزه‌ها به‌خصوص سیستم اطلاعات مکانی است. روش‌های مبتنی بر دید و ماشین-بینایی می‌توانند راهکاری مناسب درجهت بهبود دقت تعیین موقعیت در GIS فراگستر باشد. یکی از این روش‌ها استفاده از تارگت‌ها نظیر تارگت کددار است. امروزه تناظریابی، شناسایی و تعیین مختصات مراکز تارگت‌های کددار مسئله مهمی است. اجرای خودکار این فرآیند اغلب به دلیل حضور عوامل مختلف با پیچیدگی‌ها و دشواری‌های بسیاری همراه است و یا دقت و سرعت مناسبی ندارد. هدف این مقاله ارائه روشی نوین به‌منظور شناسایی خودکار تارگت‌های کددار با استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه و تعیین مختصات مراکز آن‌ها است تا با استفاده از آن بتوان دقت تعیین موقعیت را در GIS فراگستر افزایش داد. برای دستیابی به این هدف از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه و ترکیب آشکارسازها و توصیف‌کننده‌های محلی عوارض برای تناظریابی نقاط عکسی و شناسایی خودکار تارگت‌ها استفاده شده است. بنابراین ابتدا الگوریتم تناظریابی مناسب با بررسی و مقایسه بین آن‌ها انتخاب شده است. سپس به کمک الگوریتم خوشه‌بندی K-means، این تارگت‌ها از یکدیگر مجزا شده و کد آن‌ها مطابق با تارگت تمپلت موجود در پایگاه داده استخراج می‌شود. در مرحله بعدی با در نظر گرفتن محدوده کوچک اطراف تارگت و برازش بیضی به روش هاف به بیضی مرکزی تارگت، مراکز آن‌ها استخراج می‌گردد. این مراکز و کد آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی و اندازه‌گیری دقیق مبتنی بر اصول فتوگرامتری و ماشین بینایی Agisoft مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج دقت زیرپیکسل {۰,۴۹۶ و ۰,۵۷۴} در تعیین مراکز و دقت ۶۳٪ در بازشناسی کد را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: GIS فراگستر، تناظریابی، بازشناسی خودکار تارگت، تارگت کددار، K-means, SURF, SIFT

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

تعیین موقعیت دقیق مسئله مهمی در بسیاری از حوزه‌ها به‌ویژه سیستم اطلاعات مکانی است [۱]. با ظهور رایانش فراگستر، در فناوری‌های مختلف تحول گسترده و عظیمی صورت گرفت و نسل جدیدی از GIS به نام GIS فراگستر ایجاد شد. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های تحول یافته توسط رایانش فراگستر، در زمینه تعیین موقعیت است. GIS فراگستر و مؤلفه‌های آن محیطی را فراهم می‌کند که بتوان به اطلاعات موقعیت هم در محیط بیرون و هم در فضای داخل دسترسی داشت [۲]. در واقع یکی از مهم‌ترین مزایای رایانش فراگستر توانایی پشتیبانی رایانش محیط آگاه یا مکان مبنایی است که نیازمند اطلاعات و خدمات مبتنی بر موقعیت فعلی کاربر است [۳]. امروزه پیشرفت‌های روزافزونی در زمینه سخت‌افزار و نرم‌افزار تلفن‌های همراه هوشمند صورت گرفته است [۴ و ۵]. این دستگاه‌ها به‌عنوان ابزاری رایج امکان دستیابی به هر نوع اطلاعات را در هر مکان و هر زمان، توسط هر کاربر فراهم کرده‌اند [۵]؛ بنابراین مسئله تعیین موقعیت دقیق با استفاده از تلفن‌های همراه هوشمند در حال گسترش است [۴]. حسگرهای تلفن‌های همراه نظیر GPS، شتاب‌سنج، قطب‌نما و ژيروسکوپ، دقت موردنیاز برای این منظور را ندارند [۵ و ۶]. برای نمونه GPS گوشی دقتی معادل ۱۰ متر دارد [۵] که برای تعیین موقعیت دقیق کافی نیست. به‌کارگیری روش‌های ماشین بینایی^۱ و مبتنی بر دید^۲ می‌تواند سبب افزایش دقت تعیین موقعیت شود [۷ و ۸]. یکی از روش‌های تعیین دقیق وضعیت^۳ دوربین استفاده از تارگت‌ها و شناسایی آن‌ها در تصاویر است [۹]. در استفاده از تارگت‌ها تشخیص مرکز و کد تارگت اهمیت دارد.

با وجود پیشرفت‌های فراوان در الگوریتم‌های تناظریابی در پردازش تصاویر و ماشین‌بینایی، این فرآیند به دلیل شباهت زیاد این تارگت‌ها بسیار دشوار است [۹]. هدف این مقاله ارائه روشی نوین به منظور بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار با استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه و تعیین مراکز آن‌ها است تا به کمک آن بتوان دقت تعیین موقعیت را در GIS فراگستر، به‌خصوص

تعیین موقعیت تلفن‌های همراه هوشمند افزایش داد. در این روش ابتدا پنج روش تناظریابی مبتنی بر عارضه مورد مقایسه قرار گرفته و روش ترکیبی SIFT-SURF که دقت و سرعت مناسبی دارد، انتخاب گردید. بدین طریق محدوده تارگت‌ها شناسایی شده و سپس با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی K-means نقاط متناظر خوشه‌بندی شده و کد هرتارگت با توجه به تارگت تمپلت مشخص می‌شود. بدین صورت که خوشه با بیش‌ترین تعداد نقاط متناظر، متعلق به تارگت تمپلت است. در مرحله بعد با برازش بیضی در تبدیل هاف^۴ و فقط در محدوده تارگت شناسایی شده، بیضی مرکزی تارگت‌ها شناسایی شده و مرکز آن‌ها با توجه به پارامترهای بیضی به دست می‌آید.

بدین منظور در این مقاله ابتدا در بخش ۲ مروری روی کارهای پیشین صورت گرفته است. بخش ۳ روش‌های مختلف تناظریابی در تصاویر مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در ادامه و در بخش ۴ روش خوشه‌بندی K-means ارائه شده است. بخش ۵ روش پیشنهادی به منظور شناسایی خودکار تارگت‌های کددار معرفی شده است. در بخش ۶ پیاده‌سازی روش پیشنهادی و در بخش ۷ نتایج این روش ارائه شده است. همچنین با به‌کارگیری نرم‌افزار تخصصی Agisoft در این حوزه و مقایسه مختصات مراکز تارگت‌ها با کمک آن با مختصات به دست آمده از روش پیشنهادی، به ارزیابی دقت روش ارائه شده پرداخته می‌شود. در بخش ۸ نتیجه‌گیری تحقیق بیان شده است.

۲- مروری بر کارهای پیشین

۲-۱- تارگت کددار

در این مقاله تارگت‌های کددار استفاده شده زیرا اخیراً تقاضا برای به‌کارگیری این تارگت‌ها در تناظریابی خودکار بدون خطا و اندازه‌گیری نقاط تصویری دقیق، افزایش یافته است [۱۰]. این تارگت‌ها می‌توانند به دو صورت دایره‌ای و مربعی باشند [۱۱]. اگرچه بیش‌تر روش‌ها و سیستم‌های نشانه‌دار از نشانه‌های مربعی استفاده می‌کنند [۱۲]، اما از آنجایی که دایره‌ها به‌صورت بیضی تصویر می‌شوند [۱۳]،

^۴ Hough Transform
^۵ Coded Target

^۱ Computer Vision
^۲ Vision-based
^۳ Pose

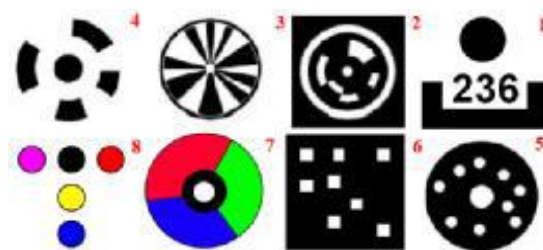
بازشناسی تارگت‌ها آمده است. Xu و همکاران الگوریتم جدیدی را برای شناسایی مرکز تارگت‌ها در تصاویر با دقت زیر پیکسل ارائه کردند. اگرچه روش پیشنهادی آن‌ها دقت بسیار بالایی دارد (دقت ۰,۰۲ پیکسل)، ولی برای تعیین مراکز تارگت‌های ساده مناسب است. [۲۰]. Cucci تارگت‌های کددار دایره‌ای متحدالمرکز خاصی را طراحی کرده و روشی نوین برای بازشناسی آن‌ها پیشنهاد کرده است. از آنجا که فاصله و نحوه عکسبرداری موجب اعوجاجات پرسپکتیو می‌شود، در این روش تنها تارگت‌هایی بازشناسی می‌شوند که تقریباً شکل دایره‌ای خود را حفظ کرده و در تصویر به صورت بیضی ظاهر نشوند [۲۱].

Shortis و همکاران روشی خودکار برای شناسایی تارگت‌های کددار مربعی بر اساس تبدیل هاف و تناظریابی قطعه‌بندی ارائه کردند [۲۲]. اخیراً Shortis و Seager یک سیستم تارگت کددار را که از تبدیلات مختصات مسطحاتی و تناظریابی قطعه‌بندی استفاده می‌کند، برای شناسایی تارگت‌های کددار مربعی معرفی نمودند [۲۳]. سعادت سرشت و همکارش تارگت‌های کددار مربعی به‌خصوصی را از نوع متعامد مکانی طراحی کرده و در مرحله اول از آن‌ها برای تعیین خودکار پارامترهای توجیه خارجی تصاویر استفاده کردند. سپس توسط الگوریتم تعیین نقاط متناظر تارگت‌های بدون کد تناظریابی شدند [۹]. اخیراً Wijenayake و همکاران روشی کاملاً خودکار برای شناسایی و رمزگشایی تارگت‌های کددار براساس الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و روش‌های ماشین بینایی ارائه کردند. تارگت کددار به‌کار گرفته شده در روش آن‌ها از نوع توزیع نقطه‌ای^۱ بوده است و الگوریتم برای تارگت‌های کددار حلقه‌های متحدالمرکز^۲ قابل اجرا نیست [۲۴].

۳- انواع روش‌های تناظریابی

یکی از اصلی‌ترین مسائل و گامی اساسی در ماشین بینایی تناظریابی تصویر است [۱۷ و ۲۵]. فرآیند موقعیت‌یابی نقاط تارگت مشابه روی یک شیء در دو تصویر مختلف تناظریابی نام دارد [۲۰]. روش‌های تناظریابی به دو دسته تقسیم می‌شوند [۲۶ و ۲۷]:

تارگت‌های دایره‌ای می‌توانند به صورت خودکار و نسبتاً آسان در تصاویر شناسایی شوند [۱۲-۱۴] و برآورد وضعیت پایدارتری نسبت به نویز فراهم کنند [۱۳ و ۱۴]. به‌طور کلی به‌کار گرفتن آرایه‌ای از تارگت‌های متراکم که در آن همه تارگت‌ها کددار باشند، غیرعملی است [۱۵]. در واقع به دلیل هزینه محاسباتی بالای شناسایی تارگت که ناشی از جستجوی محل تارگت در کل تصویر و پردازش‌های مربوط به استخراج کد از آن است، معمولاً تنها از تعداد محدودی تارگت کددار استفاده می‌شود [۹]. در نتیجه بقیه تارگت‌ها بدون کد بوده و بدون نیاز به اعمال پردازش‌های پرهزینه شناسایی کد، می‌توان بین تناظریابی این نقاط در تصاویر مختلف اقدام نمود. این عمل منجر به افزایش سرعت و کاهش هزینه محاسباتی خواهد شد. تارگت‌های کددار نیاز را برای شناسایی دستی یک زیرمجموعه انتخابی از نقاط عکسی به ویژه نقاطی که برای تعیین اولیه توجیه خارجی به کار می‌روند، برطرف می‌کند [۱۵]. شکل ۱ انواع مختلف این تارگت‌ها را نشان می‌دهد [۹].



شکل ۱- انواع مختلف تارگت‌های کددار [۹]

۲-۲- کارهای گذشته

تحقیقات مختلفی نیز در زمینه تناظریابی و شناسایی خودکار تارگت‌ها صورت گرفته است. مروری بر روش‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه در [۱۶] آمده است. Kaushic و همکاران به منظور ثبت یک تصویر، انواع مختلف آشکارسازها و توصیف‌کننده‌ها را به‌کار برده و هریک را بررسی نمودند [۱۷]. Khalifa و همکاران انواع آشکارسازها و توصیف‌کننده‌های مختلف را برای کاربردهای چند هدفه مقایسه نمودند و کارایی کلی آن‌ها را با آزمایش روی عکس‌های مختلف ارزیابی نمودند [۱۸]. Piao و همکاران کارایی شناسایی شیء را در تلفن همراه به صورت بلادرنگ با استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی بهبود بخشیدند [۱۹]. در [۲۰] مروری بر انواع روش‌های شناسایی خودکار

^۱ Dot Distribution

^۲ Concentric Rings

روش‌های مبتنی بر ناحیه (ABM)^۱: این روش‌ها از شدت‌های پیکسلی پنجره‌های یکسان^۲ برای اندازه‌های شباهت تناظریابی استفاده می‌کنند. نمونه‌هایی از روش‌های مبتنی بر ناحیه عبارتند از: روش تناظریابی cross-correlation، تناظریابی کمترین مربعات (LSM)^۳، حداکثر شباهت^۴، اطلاعات متقابل^۵، واگرایی آماری^۶ و تناظریابی شباهت ضمنی^۷. اگرچه بیش‌تر روش‌های مبتنی بر ناحیه، به ویژه LSM دقت موقعیتی فوق‌العاده بالایی دارند (برای نمونه دقت ۱/۵۰ پیکسل)، نیازمند موقعیت‌های متناظر اولیه هستند ولی مشکل بافت‌های یکنواخت، انسدادها، اعوجاجات عکسی و اختلافات روشنایی را دارند.

روش‌های مبتنی بر عارضه (FBM)^۸: این روش‌ها عوارض عکسی (به عبارتی نقاط، خطوط و نواحی) را استخراج می‌کنند و آن‌ها را با کمک معیار شباهت متناظر می‌کنند. تناظریابی عوارض یا براساس ارتباطات مکانی و یا برپایه شباهت‌های توصیف‌کننده عوارض است. مشتقات گوسین، ثابت‌های گشتاور^۹، بافت شکل، SIFT، SURF، FAST، ORB، BRIEF، BRISK، MSER [۱۶] و AKAZE برخی از معروف‌ترین توصیف‌کننده‌های عوارض هستند. روش‌های مبتنی بر عارضه پایدارتر و قابل اعتمادتر از روش‌های مبتنی بر ناحیه هستند ولی دقت کمتری دارند و در حذف نقاطی که اشتباه متناظر شده‌اند، با مشکل مواجه هستند [۲۷]. روش‌های ترکیبی نیز پیشنهاد شده‌اند که از مزایای هر دو روش استفاده می‌کنند [۱۸، ۲۷ و ۲۸].

در ماشین بینایی معمولاً نیاز است تا نقاط متناظر بین چهارچوب‌های^{۱۰} مختلف یک محیط مشخص شود، زیرا اگر ارتباط بین دو تصویر معلوم گردد، می‌توان از هردوی آن‌ها برای استخراج اطلاعات استفاده نمود. منظور از نقاط متناظر ویژگی‌هایی از یک صحنه است که به آسانی قابل شناسایی باشد. این ویژگی‌ها features نامیده می‌شوند. بنابراین مهم‌ترین ویژگی یک feature این است که به طور منحصر به فرد قابل شناسایی باشد [۲۷].

الگوریتم‌هایی که به منظور استخراج نقاط کلیدی به کار می‌روند، آشکارساز و الگوریتم‌هایی که برای توصیف عوارض استفاده می‌شوند، توصیف‌کننده نامیده می‌شوند. توصیف‌کننده عوارض بیانگر چگونگی نمایش پیکسل‌های همسایه نزدیک یک عارضه موضعی است [۱۷]. عوارض ممکن است به عنوان مجموعه‌ای از گوشه‌ها، نقاط موردعلاقه، منحنی میزان‌ها یا لبه‌ها، نواحی یا عوارض بزرگتر نظیر لکه‌ها تلقی شوند.

یک آشکارساز عارضه ایده‌آل باید ویژگی‌هایی از قبیل قابلیت تکرارپذیری، تمایز، محلی، کمی، دقت و بهره‌وری را برآورده کند [۱۷، ۱۸ و ۲۸]. یک توصیف‌کننده ایده‌آل باید مجزا، کارا و نسبت به تغییرشکل‌های رایج نظیر مقیاس، دوران، نویز تصویر و تغیر روشنایی، تغییرناپذیر باشد [۱۸]. به علاوه آشکارساز و توصیف‌کننده باید به اندازه کافی سریع باشند تا در کاربردهای بلادرنگ استفاده شوند [۱۸]. گام‌های اصلی محاسباتی مورد استفاده برای ایجاد مجموعه‌ای از عوارض تصویری عبارتند از [۱۷].

- شناسایی اکستریم فضای مقیاس
- موقعیت‌یابی نقطه کلیدی
- انتساب جهت
- توصیف‌کننده نقطه کلیدی

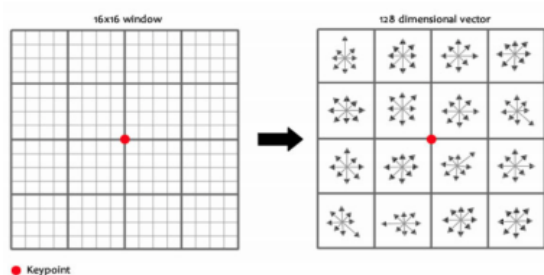
از بین تمامی الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه، سه الگوریتم SIFT، SURF و AKAZE انتخاب شده است. زیرا الگوریتم SIFT نسبت به مقیاس و دوران تغییرناپذیر است و از پایداری بالایی در برابر نویز تصاویر و تغییرات روشنایی برخوردار است. SURF نیز تمامی ویژگی‌های SIFT را دارد. اگرچه پایداری کمتری به نسبت SIFT دارد ولی سرعت بالاتری دارد. AKAZE نیز روش جدیدی است و در نسخه‌های ۳ به بعد OpenCV اضافه شده است. FAST اگرچه سرعت بسیار بالایی دارد ولی به دلیل نشان ندادن جهت عوارض، عم پایداری در برابر نویز و وابستگی به حد آستانه مناسب نیست. BRIEF نیز مستقل از دوران نیست و ORB پایداری کمتری دارد [۱۶ و ۲۹]. به دلیل همین معایب از این روش‌ها استفاده نشده است.

۳-۱- روش SIFT

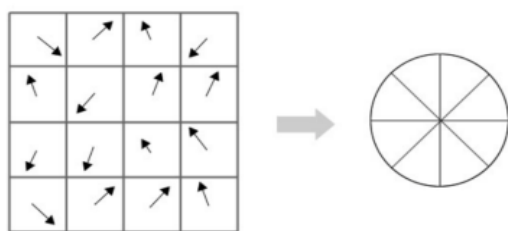
روش SIFT توسط Lowe در سال ۲۰۰۴ مطرح شد [۱۷] و اگرچه سرعت بسیار کندی دارد [۱۷، ۱۸ و ۳۰].

^۱ Area Based Matching
^۲ Identical
^۳ Least Square Matching
^۴ Maximum Likelihood
^۵ Mutual Information
^۶ Statistical Divergence
^۷ Implicit Similarity Matching
^۸ Feature Based Matching
^۹ Moment Invariants
^{۱۰} Frames

$$H_{norm} = \delta^2 \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{yx} & I_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$



جهت شیب



ایجاد هیستوگرام هشتایی

شکل ۲- فرآیند ایجاد توصیف کننده هشتایی SIFT [۳۲]

۳-۲- روش SURF

بیشتر الگوریتم‌ها با هدف بهبود دقت نسبت به افزایش عملکرد توسعه یافته‌اند ولی SURF به عنوان الگوریتم اصلی برای بهبود کارایی توسعه یافته است [۱۹]. این روش توسط Bay و همکاران در سال ۲۰۰۶ مطرح شد [۱۶].

مشابه SIFT، SURF یک آشکارساز سریع، تغییرناپذیر محلی نقطه عارضه و توصیف کننده نقطه عارضه مجزا است [۲۸ و ۳۱]. به بیان دیگر SURF یک توصیف کننده و آشکارساز عوارض موضعی و نقاط موردعلاقه است که نسبت به مقیاس و دوران تغییرناپذیر [۱۶، ۱۸ و ۲۸] و براساس ماتریس Hessian است، آشکارساز Hessian-Laplace نمونه‌ای از آن است. با این حال، به جای استفاده از اندازه گیری‌های مختلف برای انتخاب محل و مقیاس، تعیین Hessian برای هر دو استفاده شده است. در این روش به منظور افزایش سرعت، ماتریس Hessian به صورت کلی با استفاده از یک مجموعه از فیلترهای جعبه^۵ تقریب زده می‌شود. برای رفتن از یک مقیاس به مقیاس بعدی در تصویر، نیازی به نرم کردن تصویر نیست. کرنل‌های گوسین برای تحلیل فضای مقیاس مناسب هستند. اما در

عوارض محلی مجزا را به صورت پایدار [۳۱] و قوی [۳۲] استخراج می‌کند و به دلیل کارایی زیاد به عنوان مهم‌ترین آشکارساز و توصیف کننده شناخته شده و کاربردهای فراوانی دارد [۱۸]. این الگوریتم عوارضی که نسبت به اعوجاج افاین، مقیاس، تغییرات روشنایی، نویز، دوران، تغییرات نقطه دید سه بعدی تغییرناپذیر است را ارائه می‌کند [۱۷، ۲۷]. الگوریتم SIFT عوارض زیادی را ایجاد می‌کند که سبب افزایش هزینه‌های محاسباتی در سایر مراحل توصیف عوارض، تناظرایی و حذف نقاط به اشتباه متناظر شده می‌گردد [۲۷].

Lowe دو فضای مقیاس را برای پیاده‌سازی SIFT پیشنهاد می‌کند: گوسین^۱ و اختلاف گوسین (DoG)^۲ که از هرم گوسین محاسبه می‌شود [۲۵]. SIFT عوارض را با استفاده از اختلاف گوسین که تقریبی از لاپلاسین گوسین کم هزینه است، شناسایی می‌کند. این الگوریتم یک هرم فضای تصویر از تصاویر فیلتر شده می‌سازد. چنین هرمی شامل تعدادی لایه (هشتایی)^۳ و مقیاس‌ها است. هر octave توسط نمونه‌برداری نصفه^۴ از تصویر اصلی ایجاد شده است. هر مقیاس نتیجه به هم پیچیدن octave متناظر با کرنل گوسین با استفاده از پارامتر مقیاس‌دهی تدریجی است. سپس لایه‌های تعدیل شده تفاضل می‌شوند تا هرم اختلاف گوسین را ایجاد کنند. عوارض به عنوان بیشینه محلی اختلاف گوسین در هر مقیاس شناسایی شده‌اند. بیشینه محلی با مقایسه هر پیکسل در هرم با ۸ همسایه‌اش و نیز ۹ پیکسل در مقیاس بعدی و ۹ پیکسل در مقیاس‌های قبلی به دست می‌آید. اختلاف گوسین به لبه‌ها حساس است. بنابراین ماتریس Hessian با رابطه ۱ برای حذف این حساسیت به کار می‌رود. یک جهت به هر نقطه کلیدی تخصیص داده می‌شود تا به تغییرناپذیری دوران دست یافت. مقادیر شیب و جهت‌ها برای پیکسل‌های همسایه محاسبه می‌شوند [۲۵ و ۲۸]. یک هیستوگرام با ۳۶ bin که ۳۶۰ درجه را پوشش می‌دهد، ایجاد می‌شود. جهت از نقاط قله در هیستوگرام به دست می‌آید [۲۸]. شکل ۲ فرآیند ایجاد توصیف کننده هشتایی SIFT را نشان می‌دهد.

^۱ Gaussian

^۲ Difference of Gaussian

^۳ Octave

^۴ Half-sampling

^۵ Box-type Filters

عمل باید گسسته‌سازی صورت گیرد تا بتوانند عوارض را معرفی نمایند. SURF این موضوع را با استفاده از فیلتر جعبه برطرف نموده است [۱۶]. پس از شناسایی نقطه کلیدی، در گام اول یک جهت در ناحیه دایره‌ای اطراف نقطه کلیدی اختصاص داده می‌شود. سپس یک ناحیه مربعی هم ردیف^۱ جهت انتخابی قرار گرفته و توصیف‌کننده SURF از طریق محاسبه واکنش‌های Haar wavelet استخراج می‌شود [۲۸ و ۳۱].

۳-۲- روش AKAZE

این روش یکی از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه است که شامل سه مرحله اصلی است [۳۳]:

ایجاد هرم غیرخطی: از معادله Perona-Malik برای ایجاد هرم مقیاس غیرخطی استفاده می‌کند. به منظور ایجاد سطوح مختلف در هرم، این روش تصویر اصلی را در مجموعه‌ای از سطوح مقیاس در حال افزایش با استفاده از رابطه ۲ انتشار می‌دهد. در این رابطه I روشنایی تصویر، k ضریب کنتراست می‌باشد. به منظور افزایش سرعت روند انتشار، AKAZE یک شمای انتشار سریع و صریح (FED) را اتخاذ می‌کند که جواب را با چندین تکرار تقریب می‌زند. هر تکرار می‌تواند تصویر را در یک گام با مقیاس کوچک پخش کند. براساس گام‌های مقیاس متغیر، FED تعداد تکرارها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \text{div} \left(\frac{\nabla I}{1 + |\nabla I|^2 / k^2} \right) \quad (2)$$

تعیین نقطه کلیدی: هنگامی که هرم ایجاد شد، دترمینان ماتریس Hessian نرمال‌شده با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. سپس ماکزیمم محلی در هر زیرسطح به‌عنوان نامزد نقاط کلیدی انتخاب می‌شود. به‌منظور جستجوی یک مقیاس بسیار بزرگ، یک نقطه بالقوه با سایر نقاط کلیدی در یک پنجره با ابعاد $\delta * \delta$ از زیرسطح $i-1$ تا $i+1$ مقایسه شده است.

ایجاد توصیف‌کننده دودویی: در این مرحله یک توصیف‌کننده دودویی اختلاف اصلاح محلی (MLDB^۲) در

دو گام ایجاد می‌شود. ابتدا MLDB جهت اصلی را مطابق روشی مشابه SURF برپایه هیستوگرام ایجاد می‌کند. سپس الگوی نمونه مطابق جهت نقطه کلیدی دوران می‌یابد. درنهایت توصیف‌کننده‌های دودویی از طریق مقایسه بین گریدها در سه کانال (یکی برای روشنایی و دوتا برای مشتقات مرتبه اول دورانی) به‌دست می‌آیند.

این روش اگرچه پیاده‌سازی ساده‌ای دارد، ولی از آنجا که هرم غیرخطی ایجاد می‌کند، منجر به استفاده از منابع سخت‌افزاری غیرقابل قبول می‌شود. از سوی دیگر ایجاد توصیف‌کننده در سه مرحله نشان می‌دهد که این طراحی مانعی برای توان عملیاتی سیستم است. هم‌چنین موجب دسترسی به حافظه تصادفی می‌شود که برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نیست [۳۳].

۴- روش خوشه‌بندی K-means

روش خوشه‌بندی K-means در عین سادگی یک روش بسیار کاربردی و پایه چند روش خوشه‌بندی دیگر مثل خوشه‌بندی فازی است. روش کار به این صورت است که ابتدا به تعداد دلخواه نقاطی به عنوان مرکز خوشه در نظر گرفته می‌شود، سپس با بررسی هر داده، آن داده به نزدیک‌ترین مرکز خوشه نسبت داده می‌شود. پس از اتمام این کار با گرفتن میانگین در هر خوشه می‌توان مراکز خوشه و به دنبال آن خوشه‌های جدید ایجاد کرد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که دیگر هیچ تغییری در خوشه‌ها به وجود نیاید. علی‌رغم اینکه خاتمه‌پذیری الگوریتم بالا تضمین شده است؛ ولی جواب نهایی آن واحد نبوده و همواره جوابی بهینه نیست [۳۴]. رابطه ۳ روش خوشه‌بندی K-means را بیان می‌کند. i تعداد نقاط، r تعداد خوشه‌ها، x_i داده‌هایی که قرار است خوشه‌بندی شوند و c_r مراکز تصادفی خوشه‌ها هستند.

$$KM(X, C) = \sum_{i=1}^n \min \|x_i - c_r\|^2 \quad (3)$$

این روش مشکلاتی نیز دارد، از جمله: (۱) جواب نهایی به انتخاب خوشه‌های اولیه وابستگی دارد، (۲) روالی مشخص برای محاسبه اولیه مراکز خوشه‌ها وجود ندارد، (۳) اگر در تکراری از الگوریتم تعداد داده‌های متعلق به خوشه‌ای صفر شد راهی برای تغییر و بهبود ادامه روش وجود ندارد، (۴) در این روش فرض شده است که تعداد

^۱ Align

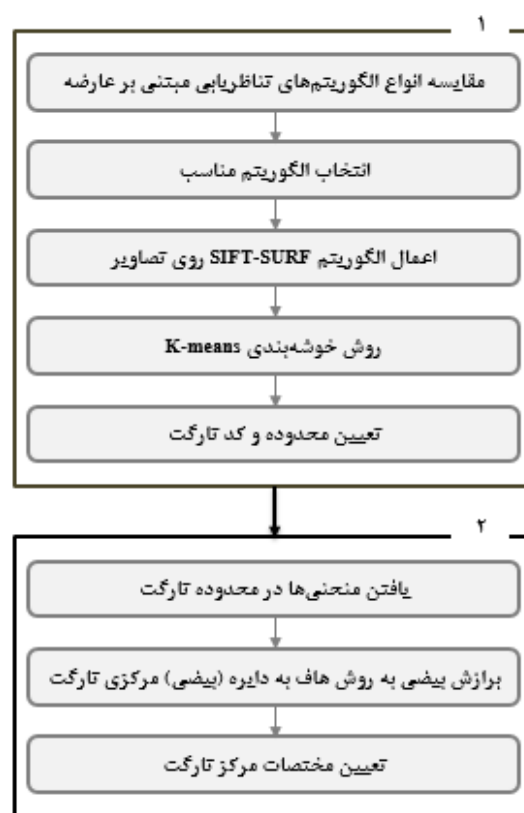
^۲ Fast Explicit Diffusion

^۳ Modified-Local Difference Binary

خوشه‌ها از ابتدا مشخص است، ولی معمولاً در کاربردهای زیادی تعداد خوشه‌ها مشخص نیست [۳۵].

۵- روش پیشنهادی در بازشناسی و تعیین مراکز تارگت‌های کددار

در این بخش روش پیشنهادی به منظور شناسایی خودکار تارگت‌های کددار و تعیین مراکز آن‌ها بیان شده است. شکل ۳ روند کلی روش پیشنهادی را بیان می‌کند. در ادامه جزئیات هر مرحله تشریح شده است.



شکل ۳- روند کلی روش پیشنهادی در بازشناسی تارگت‌های کددار

۵-۱- شناسایی محل تارگت‌ها در تصویر

در روش پیشنهادی در مرحله اول با استفاده از یک الگوریتم تناظریابی محل تارگت تعیین می‌شود. بیش‌تر عوارض طراحی شده هر دو الگوریتم آشکارساز و توصیف‌کننده را پشتیبانی می‌کنند. می‌توان این الگوریتم‌ها را با یکدیگر ترکیب نمود. این ترکیب می‌تواند با توجه به کاربرد خاص موردتوجه باشد. تمامی توصیف‌کننده‌ها و آشکارسازها گام‌های مشابهی از پردازش تصویر دارند [۱۷]، ۱۸ و ۲۸. بنابراین ابتدا الگوریتم‌های مختلف تناظریابی

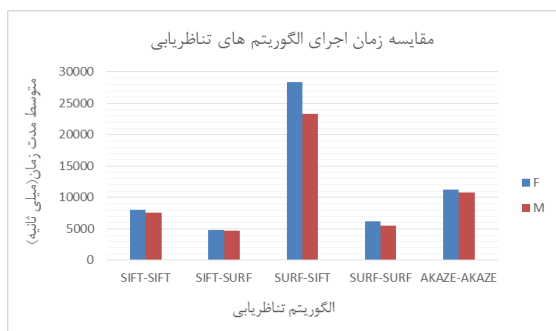
روی مجموعه‌ای از تصاویر امتحان شده، سپس الگوریتم مناسب انتخاب می‌شود. از آن‌جا که تارگت‌های کددار شباهت زیادی به یکدیگر دارند، این تناظرها بین تارگت اصلی و سایر تارگت‌های موجود در عکس نیز وجود خواهد داشت. به منظور تمییز بین تارگت‌ها، از روش خوشه‌بندی k-means استفاده شده است. این روش روی نقاط متناظری که با ترکیب SIFT و SURF به دست آمده، اعمال شده و به تعداد تارگت‌ها خوشه ایجاد می‌شود. ابتدا مراکز خوشه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و با انجام تکرار نقاط متناظر نزدیک به یکدیگر در یک خوشه قرار می‌گیرند. سپس خوشه‌ای که بیش‌ترین نقاط متناظر را دارد، به عنوان خوشه اصلی در نظر گرفته شده و بدین ترتیب محدوده تارگت موردنظر شناسایی می‌شود. در این صورت کد تارگت شناسایی شده برابر با کد تارگت تمپلت خواهد بود.

۵-۲- شناسایی مراکز تارگت‌ها

پس از آن‌که در مرحله قبل محدوده تارگت‌ها و کد آن‌ها به کمک روش‌های تناظریابی و روش خوشه‌بندی K-means مشخص شد، لازم است مختصات مراکز این تارگت‌ها تعیین شود. همان‌طور که از نتایج مشخص است، الگوریتم‌های تناظریابی در عکس‌های با پس‌زمینه فرش دارای دقت و سرعت کمتری نسبت به عکس‌های با پس‌زمینه ساده‌تر و با بافت کمتر (موکت) است. از آن‌جا که آسفالت و یا سنگ فرش خیابان‌ها و پیاده‌روها دارای بافت کم است و به موکت نزدیک‌تر است، در ادامه تعیین مرکز تارگت‌های کددار فقط روی این عکس‌ها انجام شده است.

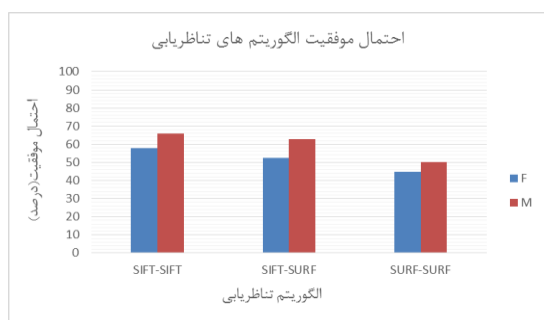
الگوریتم‌های زیادی برای تعیین مختصات دقیق مرکز تارگت‌ها در فضای دوبعدی تصویر پیشنهاد شده است. مروری بر انواع روش‌های تعیین خودکار موقعیت و نیز شناسایی تارگت‌ها در [۲۰] آمده است. روش‌های موجود را می‌توان به دو گروه بر مبنای ناحیه و بر مبنای لبه تقسیم کرد. در این مرحله ابتدا یک محدوده مرزی^۱ با توجه به موقعیت نقاط متناظر و تعیین بیش‌ترین و کمترین مختصات این نقاط متناظر در اطراف تارگت موردنظر تعریف می‌شود، به‌طوری‌که فقط یک تارگت به‌طور کامل در این محدوده مرزی وجود دارد. سپس عکس در این محدوده

^۱ Bounding Box



شکل ۴- نمودار مدت زمان لازم برای هریک از پنج روش تناظریایی

بین سه روش باقی‌مانده، روش SURF-SURF به دلیل دقت بسیار پایین مناسب کاربرد موردنظر نیست. زیرا تعیین وضعیت دوربین در GIS فراگستر باید با دقت بالایی انجام شود. از میان دو روش باقی‌مانده اگرچه روش SIFT-SIFT تاحدودی دقت بالاتری دارد ولی به دلیل سرعت بیش‌تر روش SIFT-SURF، این روش به‌عنوان روش تناظریایی روش پیشنهادی انتخاب می‌شود. توصیف‌کننده SIFT برداری با ۱۲۸ المان است [۳۲، ۳۶ و ۳۷]. هرچند توصیف‌کننده SIFT بسیار تفکیک‌پذیر است [۳۲]، ولی این موضوع با محاسبات سنگین و کاهش سرعت همراه است [۳۰] که باعث می‌شود برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نباشد [۳۲]. درحالی که توصیف‌کننده SURF پیش‌فرض، ۶۴ المان دارد [۲۸، ۳۱، ۳۲، ۳۶ و ۳۷]. توصیف‌کننده توسعه‌یافته ۱۲۸ المانی نیز برای SURF ارائه شده است [۲۸، ۳۱ و ۳۶]. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده دو الگوریتم تناظریایی، در روش پیشنهادی از آشکارساز SIFT و توصیف‌کننده SURF به دلیل دقت و پایداری و سرعت نسبتاً بالا برای تشخیص تارگت‌ها در عکس [۱۸ و ۲۸] استفاده شده است. بدین طریق می‌توان نقاط متناظر بین تارگت موردنظر و عکس را مشخص نمود. شکل ۵ احتمال موفقیت هریک از سه روش تناظریایی باقی‌مانده نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمودار احتمال موفقیت هریک از سه روش تناظریایی

بریده شده تا اولاً سرعت محاسبات افزایش یابد، زیرا محدوده جستجوی عکسی کوچک‌تر می‌شود. ثانیاً امکان خطا و اشتباه کاهش یابد، زیرا سایر عوارض و تارگت‌های موجود در عکس بریده‌شده، تقریباً حذف شده‌اند. در نهایت با یافتن منحنی‌ها در این ناحیه و برازش بیضی (و یا در حالت عمودی دایره) به روش هاف، یک بیضی به بیضی مرکزی تارگت برازش می‌شود. در نهایت مرکز این بیضی به‌عنوان مرکز تارگت کددار محاسبه می‌گردد.

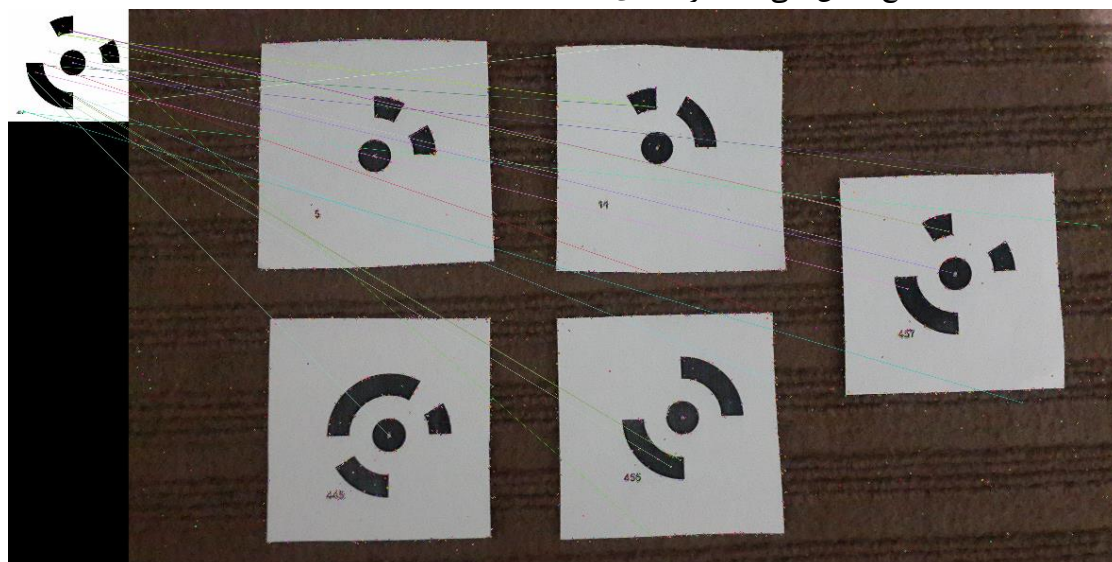
۶- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

از پیاده‌سازی‌های کتاب‌خانه OpenCV برای آشکارسازها و توصیف‌کننده‌ها استفاده شده است. تمام آزمایشات روی سیستم با CPU ی core i7، کارت گرافیک intel/ inside TM، حافظه رم 8GB و هارد 6730M، ویندوز ۸ از نوع ۶۴ بیتی انجام شده و کد به زبان برنامه‌نویسی جاوا روی محیط توسعه یکپارچه (IDE) Netbeans 8 با استفاده از کتاب‌خانه OpenCV 2.4.10 (و OpenCV 3.1.0 برای الگوریتم تناظریایی AKAZE-AKAZE) کامپایل و اجرا شده است.

به‌منظور انتخاب بهترین الگوریتم برای کاربرد تعیین موقعیت بلادرنگ با کمک تارگت‌های کددار در GIS فراگستر، پنج روش معروف تناظریایی روی مجموعه‌ای از عکس‌ها با ابعاد ۴۵۰*۸۰۰ آزمایش شد. این عکس‌ها شامل ۶ عکس با پس‌زمینه فرش که به‌ترتیب در هرکدام ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ تارگت کددار قرار دارند و نیز همین عکس‌ها با پس‌زمینه موکت می‌باشند. روش‌های تناظریایی به‌کارگرفته شده روی این عکس‌ها عبارتند از SIFT-SIFT، SIFT-SURF، SURF-SIFT، SURF-SURF و AKAZE-AKAZE. نتایج اعمال پنج روش تناظریایی نام‌برده‌شده روی ۱۲ عکس مختلف نشان می‌دهد روش‌های تناظریایی SIFT-SIFT و SURF-SIFT به‌دلیل زمان بسیار زیاد (به ترتیب تقریباً ۵،۵ برابر و ۲،۳۳ برابر الگوریتم SURF-SIFT) روش مناسبی نیستند. در شکل ۴ متوسط مدت زمان لازم را برای هریک از روش‌ها نشان داده شده است.

شماره ۱۱، ۴۴۵ و ۴۵۷ شناسایی خوبی داشته اند، درحالی که تارگت شماره ۵ شناسایی ضعیفتری نسبت به بقیه دارد. بنابراین شکل تارگت و میزان شباهت تارگت‌ها به یکدیگر در تصویر، تاثیر زیادی در شناسایی بهتر آن با استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه دارد.

در شکل ۶ فقط نتایج اعمال روش SIFT-SURF روی عکس با ۵ تارگت در پس زمینه موکت نشان داده شده است. هم‌چنین روی عکس با تارگت‌هایی که دوران داشته اند، نیز آزمایش شده است و یک نمونه برای عکس با ۵ تارگت که به اندازه تقریباً ۱۸۰ درجه دوران داشته‌اند، نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد تارگت‌های



الف- تارگت‌ها بدون دوران

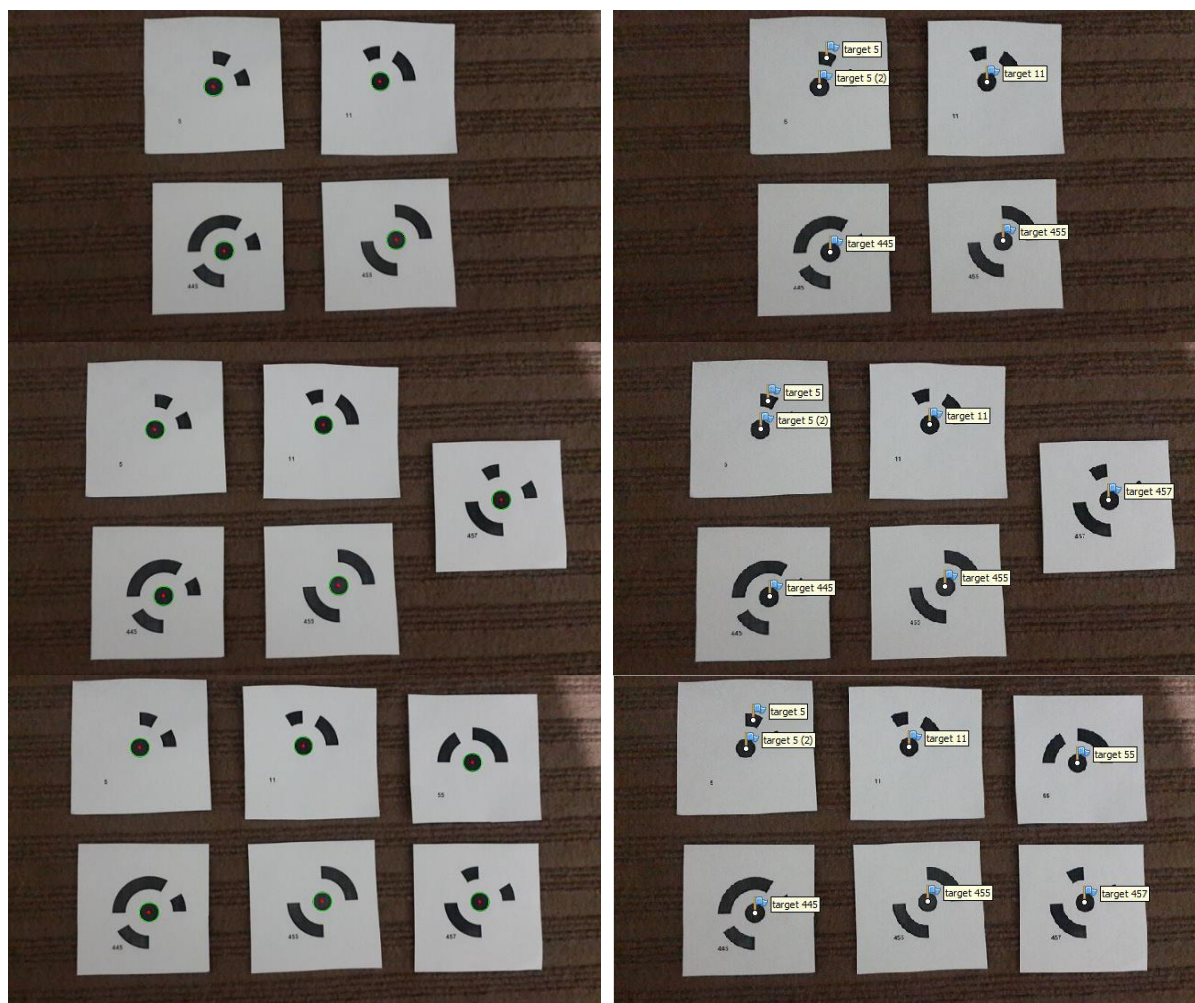


ب- دوران ۱۸۰ درجه تارگت‌ها

شکل ۶- نتایج اعمال روش SIFT-SURF روی عکس با ۵ تارگت در پس زمینه موکت

درنظر گرفته می‌شود. شکل ۷ نتایج حاصل از تشخیص مراکز تارگت‌های کددار را برای عکس‌های مختلف نشان می‌دهد.

همان‌طور که اشاره شد، پس از آن که محدوده تارگت مشخص شد، با یافتن تمام منحنی‌ها در آن ناحیه و برازش یک بیضی به دایره (بیضی) مرکزی تارگت‌های کددار، مختصات مرکز بیضی به‌عنوان مختصات مرکز تارگت



شکل ۷- نتایج روش پیشنهادی و نرم افزار Agisoft در بازشناسی تارگت‌های کددار

۷- نتایج و ارزیابی

در این بخش لازم است نتایج و کارایی روش به کار برده شده مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور مختصات‌های محاسبه شده از طریق روش پیشنهادی با مختصات‌های به دست آمده از نرم افزار مدل سازی و اندازه گیری دقیق مبتنی بر اصول فتوگرامتری و ماشین بینایی به عنوان مختصات مرجع مقایسه شده و دقت روش مورد ارزیابی قرار می گیرد. جدول ۱ اختلاف مختصات مراکز به دست آمده از روش پیشنهادی با نرم افزار Agisoft را نشان می دهد. در مقادیر محاسبه شده در جدول، مولفه اول اختلاف مختصات در راستای X (dx_i) و مولفه دوم اختلاف مختصات در راستای Y (dy_i) است. این مقادیر با استفاده از روابط ۲ به دست آمده است. در این روابط (x_a, y_a) مختصات‌های به دست آمده از Agisoft، (x_p, y_p) مختصات‌های به دست آمده از روش پیشنهادی و (dx_i, dy_i) اختلاف مختصات‌های محاسبه شده است.

$$dx_i = x_a - x_p \quad dy_i = y_a - y_p \quad (4)$$

سپس میانگین این اختلاف مختصات‌ها برای هر عکس با استفاده از روابط ۷ محاسبه گردید. در این روابط $(\overline{dx}, \overline{dy})$ میانگین اختلاف مختصات‌ها و n تعداد آن‌ها است.

$$\overline{dx} = \sum \frac{dx_i}{n} \quad \overline{dy} = \sum \frac{dy_i}{n} \quad (5)$$

همان طور که نتایج نشان می دهد، در تمامی عکس‌ها اختلاف‌های مختصات کمتر از یک پیکسل است. به عبارتی روش پیشنهادی با دقت زیر پیکسل مراکز تارگت‌های کددار را استخراج می کند. متوسط اختلاف مختصات‌های به دست آمده برابر $\{0.496$ و $0.574\}$ پیکسل برای دو راستای X و Y است. میزان احتمال موفقیت روش پیشنهادی در بازشناسی کد هر تارگت به دلیل شباهت بسیار زیاد آن‌ها، برای عکس‌های با پس زمینه ساده تر در حدود ۶۳٪ است.

جدول ۱- اختلاف مختصات روش پیشنهادی با نرم افزار Agisoft

m6	m5	m4	m3	m2	m1	
{۰,۷۰۶ و ۰,۴۶۰}	{۰,۵۰۹ و ۰,۵۰۲}	{۰,۵۶۴ و ۰,۴۹۳}	{۰,۶۷۹ و ۰,۵۳۷}	{۰,۴۸۷ و ۰,۴۵۵}	{۰,۵۴۰ و ۰,۴۶۶}	۵
{۰,۴۸۶ و ۰,۵۸۷}	{۰,۶۸۱ و ۰,۶۵۴}	{۰,۵۸۹ و ۰,۴۶۰}	{۰,۵۷۰ و ۰,۶۱۰}	{۰,۶۴۵ و ۰,۴۸۴}	-	۴۴۵
{۰,۳۶۷ و ۰,۳۶۴}	{۰,۶۸۶ و ۰,۵۰۱}	{۰,۶۱۳ و ۰,۵۳۱}	{۰,۴۴۴ و ۰,۴۱۶}	-	-	۴۵۵
{۰,۶۱۲ و ۰,۵۳۴}	{۰,۶۴۱ و ۰,۵۱۹}	{۰,۵۲۵ و ۰,۳۹۹}	-	-	-	۱۱
{۰,۶۳۲ و ۰,۵۳۳}	{۰,۴۵۶ و ۰,۶۰۷}	-	-	-	-	۴۵۷
{۰,۸۳۶ و ۰,۴۶۶}	-	-	-	-	-	۵۵
{۰,۶۰۷ و ۰,۴۹۱}	{۰,۵۹۵ و ۰,۵۵۷}	{۰,۵۷۳ و ۰,۴۷۱}	{۰,۵۶۴ و ۰,۵۲۱}	{۰,۵۶۶ و ۰,۴۷۰}	{۰,۵۴۰ و ۰,۴۶۶}	میانگین
{۰,۵۷۴ و ۰,۴۹۶}						کل

۸- نتیجه گیری

روش‌های مختلفی در GIS فراگستر برای تعیین موقعیت دقیق در فضای داخل و بیرون مطرح است. امروزه استفاده از روش‌های مختلف ماشین بینایی، پردازش تصویر و مبتنی بر دید به منظور بهبود دقت تعیین موقعیت رواج یافته است. به کارگیری تارگت‌های مختلف در این حوزه و بازشناسی و تناظریابی آن‌ها در تصاویر یکی از موضوعات مهم در زمینه فتوگرامتری برد کوتاه، ماشین بینایی و پردازش تصاویر است. در این مقاله روشی نوین به منظور بازشناسی خودکار تارگت‌های کددار با استفاده از الگوریتم‌های تناظریابی مبتنی بر عارضه ارائه شد تا به کمک آن بتوان دقت تعیین موقعیت را در GIS فراگستر افزایش داد. در این روش ابتدا پنج روش تناظریابی مورد مقایسه قرار گرفته و روش ترکیبی SIFT-SURF که دقت و سرعت مناسبی دارد، انتخاب

گردید. سپس با به کارگیری روش خوشه‌بندی k-means میان هریک از آن‌ها تمایز قائل شده و شبیه‌ترین تارگت به تارگت پیش‌فرض موردنظر که دارای بیش‌ترین نقاط متناظر است، مشخص می‌شود. بنابراین کد تارگت تمپلت به تارگت مشابه تخصیص داده می‌شود. در مرحله بعد با در نظر گرفتن محدوده تارگت موردنظر و با اعمال تبدیل هاف، یک بیضی با پارامترهای مشخص به بیضی تارگت در عکس برازش داده شده و مرکز آن به عنوان مرکز تارگت در نظر گرفته می‌شود. در نهایت این مراکز با مراکز به دست آمده از نرم افزار Agisoft مقایسه می‌شوند. این روش روی مجموعه عکس‌ها با تارگت‌هایی که دوران نیافته‌اند و تارگت‌های دوران یافته اعمال شد. نتایج دقت ۶۳٪ برای تعیین کد هر تارگت و دقت زیر پیکسل (۰,۴۹۶ و ۰,۵۷۴) برای هر دو راستای X و Y را در تعیین مراکز تارگت‌ها نشان می‌دهند.

مراجع

- [1] Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I., 2009. A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks. IEEE Communications surveys & tutorials, 11(1), pp.13-32.
- [2] Mnzis, A.H. and Msc, C., 2000. The road to ubiquitous geographic information systems roam anywhere-Remain connected.
- [3] Höllerer, T., Hallaway, D., Tinna, N. and Feiner, S., 2001, August. Steps toward accommodating variable position tracking accuracy in a mobile augmented reality system. In 2nd International Workshop on Artificial Intelligence in Mobile Systems (AIMS'01) (pp. 31-37).
- [4] Miyano, R., Inoue, T., Minagawa, T., Uematsu, Y. and Saito, H., 2012, November. Camera pose estimation of a smartphone at a field without interest points. In Asian Conference on Computer Vision (pp. 545-555). Springer Berlin Heidelberg.
- [5] Blum, J.R., Greencorn, D.G. and Cooperstock, J.R., 2012, December. Smartphone sensor reliability for augmented reality applications. In International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services (pp. 127-138). Springer Berlin Heidelberg.
- [6] Aicardi, I., Dabove, P., Lingua, A. and Piras, M., 2014. Sensors integration for smartphone navigation: Performances and future challenges. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(3), p.9.

- [7] Hoff, W.A., Nguyen, K. and Lyon, T., 1996, October. Computer-vision-based registration techniques for augmented reality. In *Photonics East'96* (pp. 538-548). International Society for Optics and Photonics.
- [8] Schall, G., Newman, J. and Schmalstieg, D., 2005, June. Rapid and accurate deployment of fiducial markers for augmented reality. In *Proc. 10 th Computer Vision Winter Workshop (CVWW 2005)*. <http://www.icg.tu-graz.ac.at/pub/pubobjects/schall05cvww> [2005].
- [9] Saadatseresht, M. & Zarrinpanjeh, N. 2009. Design and Automatic Recognition of the Coded Targets in Vision Metrology Systems. *Journal of The College of Engineering*, 43, 391-404.
- [10] Ahn, S. J., Rauh, W. & Kim, S. I. 2001. Circular coded target for automation of optical 3D-measurement and camera calibration. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 15, 905-919.
- [11] Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Boehm, J., 2014. *Close-range photogrammetry and 3D imaging*. Walter de Gruyter.
- [12] Pagani, A., Koehler, J. & Stricker, D. Circular markers for camera pose estimation. *WIAMIS 2011: 12th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services*, Delft, The Netherlands, April 13-15, 2011, 2011. TU Delft; EWI; MM; PRB.
- [13] Forbes, K., Voigt, A. & Bodika, N. An inexpensive, automatic and accurate camera calibration method. *Proceedings of the Thirteenth Annual South African Workshop on Pattern Recognition*, 2002. 1-6.
- [14] Stork, J. 2012. *Camera pose estimation with circular markers*. Thesis, University of Amsterdam (UvA).
- [15] Fraser, C.S., 1997. Innovations in automation for vision metrology systems. *The Photogrammetric Record*, 15(90), pp.901-911.
- [16] Tuytelaars, T. and Mikolajczyk, K., 2008. Local invariant feature detectors: a survey. *Foundations and trends® in computer graphics and vision*, 3(3), pp.177-280.
- [17] Kaushik, N., Rawat, R. & Bhalla, A. 2016. A Brief Study of Different Feature Detector and Descriptor. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5.
- [18] Khalifa, F.A., Semary, N.A., El-Sayed, H.M. and Hadhoud, M.M., 2015, November. A Comparison of Local Detectors and Descriptors for Multi-Object Applications. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Processing, Security and Advanced Communication* (p. 23). ACM., 2015a. ACM, 23.
- [19] Piao, J.C., Jung, H.S., Hong, C.P. and Kim, S.D., 2016. Improving performance on object recognition for real-time on mobile devices. *Multimedia Tools and Applications*, 75(16), pp.9623-9640.
- [20] Xu, J., Fang, Z.P., Malcolm, A.A. and Wang, H., 2002, December. A robust close-range photogrammetric system for industrial metrology. In *Control, Automation, Robotics and Vision, 2002. ICARCV 2002. 7th International Conference on* (Vol. 1, pp. 114-119). IEEE.
- [21] Cucci, D.A., Constantin, D. and Rehak, M., 2016, April. Accurate Optical Target Pose Determination for Applications in Aerial Photogrammetry. In *Proceedings of the XXII ISPRS Congress*, Prague.
- [22] Shortis, M.R., Seager, J.W., Robson, S. and Harvey, E.S., 2003, January. Automatic recognition of coded targets based on a Hough transform and segment matching. In *Electronic Imaging 2003* (pp. 202-208). International Society for Optics and Photonics.
- [23] Shortis, M. R. & Segar, J. W. 2014. A practical target recognition system for close range photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 29, 337-355.
- [24] Wijenayake, U., Choi, S.-I. & PARK, S.-Y. 2016. Automatic detection and decoding of photogrammetric coded targets. *arXiv preprint arXiv:1601.00396*.
- [25] Lowe, D. G. 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60, 91-110.
- [26] Bradski, G. & Kaehler, A. 2008. *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*, " O'Reilly Media, Inc."
- [27] Sedaghat, A., Mokhtarzade, M. & Ebadi, H. 2011. Uniform robust scale-invariant feature matching for optical remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49, 4516-4527.
- [28] Khalifa, F.A., Semary, N.A., El-Sayed, H.M. and Hadhoud, M.M., 2015. Local detectors and descriptors for object class recognition. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 7(10), p.12.
- [29] Mukherjee, D., Wu, Q.J. and Wang, G., 2015. A comparative experimental study of image feature detectors and descriptors. *Machine Vision and Applications*, 26(4), pp.443-466.
- [30] Goh, K.M., Mokji, M.M. and Abu-Bakar, S.A.R., 2012. Surf based image matching from different angle of viewpoints using rectification and simplified orientation correction. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, pp.1243-1247.

- [31] Kashif, M., Deserno, T.M., Haak, D. and Jonas, S., 2016. Feature description with SIFT, SURF, BRIEF, BRISK, or FREAK? A general question answered for bone age assessment. *Computers in biology and medicine*, 68, pp.67-75.
- [32] Güzel, M.S., 2016. Performance evaluation for feature extractors on street view images. *The Imaging Science Journal*, 64(1), pp.26-33.
- [33] Jiang, G., Liu, L., Zhu, W., Yin, S. and Wei, S., 2015. A 181 gops akaze accelerator employing discrete-time cellular neural networks for real-time feature extraction. *Sensors*, 15(9), pp.22509-22529.
- [34] Harmely, G. and Elkan, C., 2002, November. Alternatives to the k-means algorithm that find better clusterings. In *Proceedings of the eleventh international conference on Information and knowledge management* (pp. 600-607). ACM.
- [35] Vattani, A., 2011. K-means requires exponentially many iterations even in the plane. *Discrete & Computational Geometry*, 45(4), pp.596-616.
- [36] Stanciu, S.G., Tranca, D.E. and Coltuc, D., 2015. Contrast enhancement influences the detection of gradient based local invariant features and the matching of their descriptors. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 32, pp.246-256.
- [37] Hassaballah, M., Abdelmgeid, A.A. and Alshazly, H.A., 2016. Image Features Detection, Description and Matching. In *Image Feature Detectors and Descriptors* (pp. 11-45). Springer International Publishing.