

مقایسه الگوریتم‌های تناظریابی برای تهیه تور مجازی

عادل زنگانه^۱، ابوالقاسم صادقی نیارکی^۲، مسعود ورشوساز^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

چکیده

گردشگری الکترونیکی یکی از جدیدترین انواع گردشگری است. تور مجازی بخشی از گردشگری الکترونیکی است که هدف از ارائه آن از بین بردن محدودیت‌های زمانی و مکانی است. عکس‌های پانوراما یکی از اجزای اصلی برای ساخت تور مجازی است. امروزه، با توجه به گسترش فناوری، تعداد کمی عکس‌های پانوراما از مناطق گوناگون وجود دارد و معمولاً افراد خاص برای کاربری خاص عکس‌های پانوراما را تولید می‌کنند. از طرفی دیگر، با توجه به کیفیت بالای عکس‌های معمولی با فناوری پیشرفته، این عکس‌ها پتانسیلی را برای تولید عکس‌های پانوراما ایجاد کرده‌اند. با الحاق چند عکس در کنار هم به وسیله الگوریتم‌های تناظریابی می‌توان عکس‌های پانوراما را تولید کرد. هر کدام از این الگوریتم‌ها دقت متفاوتی در شرایط مختلف دارند و بیشتر این روش‌ها برای عکس‌های پانوراما ارزیابی نشده‌اند. هدف از نگارش این مقاله، بررسی روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف تناظریابی عوارض و طبقه‌بندی این روش‌ها و یافتن روش مناسب برای تهیه پانوراما در تور مجازی گردشگری است. بدین منظور، نحوه عملکرد این الگوریتم‌ها در شرایط مختلف بین تصاویر مانند انتقال، دوران، مقیاس برای به‌دست آوردن عکس‌های پانورامای هم‌منطقه و انتخاب بهترین روش سنجش بررسی شده است. ابتدا روش‌های مختلف تناظریابی بررسی شده و سپس چهار الگوریتم SURF، FAST، MSER، BRISK بر روی عکس‌های پانوراما در شرایط مختلف، مانند اعوجاج چشم ماهی، نویز نمک و فلفل، مقیاس مختلف و... ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در بیشتر شرایط الگوریتم SURF، در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها، نتیجه بهتری را در زمان کمتری به‌دست می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: گردشگری، تور مجازی، پانوراما، روش‌های تناظریابی، الگوریتم‌های توصیف‌گر.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- نویسنده مسئول: ۱۲ استادیار گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (a.sadeghi@kntu.ac.ir)

۳- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مقدمه

توریسم (Tourism) از واژه تور به معنای گشتن اخذ شده که معنای دورزدن دارد. گردشگری مجموعه ارتباطات ناشی از تقابل میان گردشگران، سرمایه، دولت‌ها و سازمان‌های غیردولتی در فرایند جذب، حمل‌ونقل، پذیرایی و کنترل گردشگران و دیگر بازدیدکنندگان است. صنعت گردشگری دربردارنده فعالیت‌های گوناگونی است که به صورت زنجیره‌ای برای خدمت‌رسانی به گردشگران انجام می‌گیرد (Getz, 2008). استفاده از فناوری جدید ارتباطی و اطلاعاتی برای توسعه و پیشرفت صنعت گردشگری را گردشگری الکترونیکی نامیده‌اند. براساس تعریف سازمان جهانی گردشگری، واژه گردشگری الکترونیکی به معنی کسب‌وکار الکترونیکی در مسافرت و گردشگری است. تور مجازی یکی از انواع گردشگری الکترونیکی است که هدف آن از بین بردن محدودیت‌های زمانی و مکانی برای گردشگر است. جزء اصلی تشکیل‌دهنده تور مجازی عکس‌های پانوراما است. این تصاویر به سبب گستردگی زاویه دید مورد توجه هنرمندان و پژوهشگران بی‌شماری قرار گرفته است (Hyde, 1988). پانورامای منظره گسترده‌ای از یک محیط واقعی یا مجازی است که به بیننده احساس طبیعی حضور در چنین شرایطی را می‌دهد. پانوراما زمینه‌های بصری را برای هرگونه اطلاعات افزوده شده مانند صدا، متن، ویدئو یا اشیای سه‌بعدی فراهم می‌کند. با توجه به مطالعات انجام شده و قابلیت بصری‌سازی تصاویر پانوراما ثابت شده که این تصاویر در انتقال تجربه، فرهنگ، دانش و حفظ آثار باستانی اهمیت بسزایی دارند (Bohlman, 2006). حس حضور و بودن در محیط از دلایل اصلی استفاده از پانوراما است. به عبارت دیگر، انگیزه برای تجسم غوطه‌وری^۱ در محیط علت اصلی استفاده از پانوراما است. پانوراما همه‌چیز قابل مشاهده از موقعیت‌های مختلف را نشان می‌دهد، توانایی‌های سیستم بصری انسان را افزایش می‌دهد، احساس غرق شدن می‌دهد و نماهای بسیار واقع‌گرایانه و دقیقی از محیط ایجاد می‌کند (Bourke, 2014). استفاده از پانوراما محدود به کاربردهای هنری نیست، بلکه در علوم مختلف از تصویربرداری پانوراما استفاده گسترده‌ای شده است. از جمله این کاربردها مطالعه سایبان جنگل در علوم جنگل‌بانی و استفاده از مسیریابی ربات‌ها است (Parian, 2007). با توجه به پیشرفت روزافزون فناوری، ساخت پانورامای باکیفیت و با اوجاج پایین نیازمند زمان و تخصص است، از این رو مردم عکس‌های پانورامای کمی می‌گیرند و بیشتر افراد متخصص برای کاربردهای خاص از آن استفاده می‌کنند. از طرفی دیگر، با توجه به کیفیت بالای عکس‌های معمولی با فناوری پیشرفته، این عکس‌ها پتانسیلی را برای تولید عکس‌های پانوراما ایجاد کرده‌اند. تناظریابی، فرایندی که طی آن نقاط یا عوارض مشترک بین تصاویر پوشش‌دار شناسایی می‌شوند، وظیفه مهم و دشواری عنوان شده است (Zhu et al., 2007). این فرایند نقش مهمی در ساخت تصویر پانوراما دارد. با توجه به اهمیت تناظریابی، در طی سال‌های اخیر، روش‌های متعددی برای بهبود آن ارائه شده است. این روش‌ها بر روی تصاویر پانوراما ارزیابی نشده‌اند.

به‌طور کلی می‌توان روش‌های تناظریابی را به دو گروه ناحیه مبنا و عارضه مبنا تقسیم کرد.

روش‌های ناحیه‌ مبنا مستقیماً توزیع درجات خاکستری تصویر را درون پنجره‌هایی با ابعاد یکسان، با استفاده از معیارهای مشابهت مختلف، به‌طور آماری مقایسه می‌کنند و موقعیت بیشین شباهت را به‌عنوان متناظر تعیین می‌کنند (Remondino et al., 2008). در روش‌های عارضه مبنا، به‌جای استفاده از درجات خاکستری، عوارض محلی تصویر مانند لبه و گوشه استخراج می‌شود و با ایجاد توصیف‌گرهایی برای این عوارض فرایند تناظریابی در این الگوریتم‌ها صورت می‌پذیرد (Zitova et al., 2003). هر آشکارساز عوارض موضعی معمولاً یک توصیف‌گر نیز برای توصیف آن عارضه شناسایی شده دارد، به‌طوری‌که توصیف‌گر می‌تواند زیرمجموعه‌ای باشد از تمامی پیکسل‌هایی که در همسایگی عوارض شناسایی شده است. این توصیف‌گرهای محلی در آزمایش‌های مختلف نتایج موفقیت‌آمیزی داشته‌اند. برای مثال، در کاربردهایی همچون تناظریابی، تشخیص عوارض، تشخیص بافت، بازیابی تصویر، مکان‌یابی روبات، استخراج داده‌های ویدئویی و ساخت پانوراما استفاده از توصیف‌گرها نتایج را بهبود بخشیده است (Tuytelaars et al., 2008). یکی از مهم‌ترین مراحل در بحث تناظریابی بین دو تصویر استخراج نقاطی است که دارای ویژگی‌های منحصربه‌فرد باشد و نیز بتوان، با اطلاعات همسایگی آن‌ها در دو تصویر، توصیف‌هایی را استخراج کرد که به‌عنوان معیار شباهت و یا عدم شباهت در تناظریابی بین دو تصویر استفاده شود. در نتیجه عوارض موضعی عاملی اساسی در بحث تناظریابی است. با توجه به طیف گسترده‌ای از الگوریتم‌های استخراج و توصیف عوارض موضعی، این‌که چه الگوریتمی در شرایط محیطی بین دو تصویر انتخاب شود که در زمان کمتر خطای کمتر و بیشترین بازده را داشته باشد مسئله مهمی به‌شمار می‌رود.

هدف از این پژوهش بررسی روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف تناظریابی عوارض و طبقه‌بندی این روش‌ها و یافتن روش مناسب برای تهیه پانوراما در تور مجازی گردشگری است. بدین‌منظور، نحوه عملکرد این الگوریتم‌ها در شرایط مختلف بین تصاویر مانند انتقال، دوران، مقیاس برای به‌دست‌آوردن عکس‌های پانورامای هم‌منطقه و انتخاب بهترین روش سنجش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش اول درباره تور مجازی و نقش آن در گردشگری توضیح داده می‌شود. برای شناسایی عوارض موجود در تصویر الگوریتم‌های مختلفی ارائه شده که در بخش دوم به آن پرداخته می‌شود. در بخش سوم الگوریتم‌های توصیف‌گر عوارض موضعی توصیف می‌شود و در بخش چهارم الگوریتم‌های پرکاربرد FAST, SURF, MSER, BRISK برای بررسی در عکس‌های پانوراما در شرایط مختلف مانند دوران، اعوجاج و... پیاده‌سازی خواهد شد.

۱. تور مجازی

تور مجازی، هرچند در دنیا بین مردم از جایگاه خوبی برخوردار است، در کشور ما کمتر شناخته شده است. از تورهای مجازی در بخش‌های گردشگری، املاک، صنایع، بازی‌های کامپیوتری و... استفاده می‌شود. به‌علت ذات کاربرپسند این تورها استفاده از آن‌ها در صنعت گردشگری توصیه می‌شود (Murphy and Price, 2005). کشور ایران، به‌سبب داشتن مکان‌های تاریخی و مذهبی بی‌شمار و

اقلیم چهار فصل، مکان مناسبی برای گردشگری به شمار می‌رود. اولین بار مهندسی انگلیسی به نام کالین جانسون در سال ۱۹۹۴ با ابداع سیستمی موفق شد توری مجازی با عکس‌های واقعی از یک قلعه متروکه در بریتانیا تهیه کند. تور مجازی بخشی از گردشگری مجازی است که هدف آن از بین بردن محدودیت‌های زمانی و مکانی است. با تور مجازی می‌توان از نقاط مختلف دنیا اعم از مکان‌های تاریخی و فرهنگی یا مناطق طبیعی دیدن کرد و برای سفر به آن مناطق برنامه‌ریزی نمود. تور مجازی مناسب باید با کاربر تعامل داشته باشد و بهترین اطلاعات را در اسرع وقت و با رابط کاربری گرافیکی متناظر با فضای حقیقی در اختیار کاربران قرار دهد (Cho and Fesenmaier, 2001). در تور مجازی به هریک از تصاویر نما گفته می‌شود. هرچه تعداد نماها بیشتر شود، محیط بیشتری از مکان تصویربرداری شده تحت پوشش تور مجازی قرار می‌گیرد. پانورامای ممتد یا کروی یکی از خدمات تخصصی است که به بیننده اطمینان می‌دهد کل مکان موردنظر در تور مجازی پوشش داده شده است. پانورامای کروی را می‌توان با ترکیب چند عکس پانوراما که هم‌پوشانی دارند به دست آورد (Kwiatk and Woolner, 2009).

۲. الگوریتم‌های تناظریابی

در این بخش الگوریتم‌هایی معرفی می‌شوند که عوارض موجود در تصویر را شناسایی می‌کنند. به منظور استخراج عوارض الگوریتم‌های مختلفی ارائه شده که به سه دسته کلی الگوریتم‌های شناسایی گوشه، شناسایی حباب‌های تصویری و الگوریتم‌های استخراج نواحی تصویری تقسیم‌بندی می‌شود (Han et al., 2012). از بین الگوریتم‌های ارائه شده به الگوریتم‌هایی پرداخته می‌شود که اخیراً توسعه داده شده‌اند.

۲-۱. SIFT^۱

الگوریتم SIFT را لوو در سال ۱۹۹۹ و نسخه ارتقایافته آن را در سال ۲۰۰۴ ارائه کرد. بنابر تحقیقات لوو می‌توان مراحل پیاده‌سازی آن را در چهار مرحله معرفی کرد. اولین مرحله تشخیص اکستریم‌های فضای مقیاس است. نخست باید جست‌وجو در سراسر مکان‌های تصویر و تمامی مقیاس‌ها صورت پذیرد. این امر با به‌کارگیری تابع اختلاف گوسی به منظور یافتن نقاطی است که مستقل از مقیاس و جهت‌اند. در مرحله بعد هر پیکسل انتخاب شده به‌عنوان نقطه کلیدی توسط یک مدل جزئی‌تر مورد بررسی قرار گرفته تا مکان و مقیاس دقیق نقاط کلیدی مشخص شود. نقاط کلیدی منتخب براساس اندازه پایداری برگزیده شده‌اند. مرحله سوم تخصیص یک یا بیش از یک جهت به هریک از نقاط کلیدی است. جهت هر نقطه کلیدی براساس گرادیان محلی آن تصویر به دست آمده است. از این رو می‌توان هرگونه عملیات آتی بر روی ویژگی‌های به دست آمده را مستقل از جهت، مقیاس و مکان محاسبه کرد. در نهایت یک بردار ویژگی با ۱۲۸ مؤلفه برای هر نقطه کلیدی به دست آمده است. بردار مذکور با محاسبه گرادیان تصویر محلی در اطراف هر نقطه کلیدی حاصل شده که در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است (Lowe, 1999; Lowe, 2004).

1- Scale Invariant Feature Transform



شکل ۱: تصویر به کاررفته برای به دست آوردن نقاط کلیدی به وسیله SIFT؛ Lowe, 2004

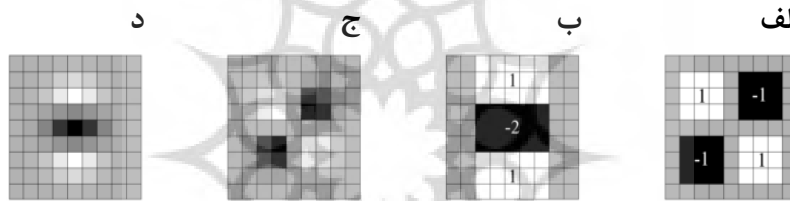


شکل ۲: نقاط کلیدی به دست آمده به وسیله SIFT؛ Lowe, 2004

روش SIFT به علت استخراج نقاط کلیدی از طریق ساختار هرمی، نقاط کلیدی نسبت به تغییرات مقیاس، دوران، روشنایی و اغتشاشات پایدار است، اما تعداد نقاط کلیدی نامطلوب و صرف زمان بسیار برای ایجاد بردار توصیف‌گر نقاط ویژگی از مهم‌ترین مشکلات موجود در این روش به شمار می‌رود (محسن و همکاران، ۱۳۹۵). از این رو تحقیقات گسترده‌ای به منظور افزایش کیفیت و بهبود عمل تناظریابی و همچنین کاهش پیچیدگی محاسباتی در این الگوریتم توصیف‌گر انجام شده است. جوان و گون سه الگوریتم SURF، PCA-SIFT و SIFT را با هم مقایسه کرده‌اند. نتیجه آزمایش‌ها نشان می‌دهد الگوریتم SIFT در مقایسه با الگوریتم SURF قابلیت انطباق پذیری دقیق‌تری دارد. SURF انطباق خوب بین تصاویر را با سرعت بیشتری انجام می‌دهد. PCA-SIFT در برابر تغییرات روشنایی و چرخش تصویر نتایج خوبی را نشان داده است (Juan and Gwun, 2009).

۲-۲. SURF^۱

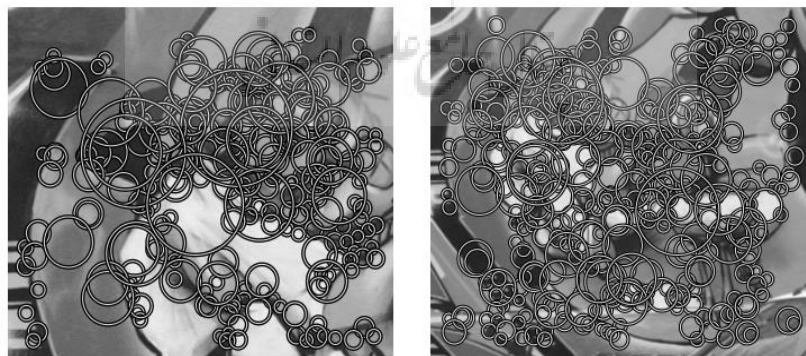
الگوریتم آشکارساز SURF را بای پیشنهاد داده است (Bay et al., 2006). این روش آشکارساز مستقل از مقیاس است که بر مبنای ماتریس Hessian تولید می‌شود. در این روش، برای افزایش سرعت ماتریس Hessian به صورت کلی با استفاده از مجموعه‌ای از فیلترهای جعبه^۲ تقریب زده می‌شود. برای رفتن از یک مقیاس به مقیاس بعدی در تصویر نیازی به نرم کردن تصویر نیست. کرنل‌های گوسین برای بررسی مکان و مقیاس نقاط مناسباند (Babaud et al., 1986)، اما در عمل باید گسسته‌سازی صورت گیرد (شکل ۳ سمت چپ) تا عوارض را معرفی نمایند. SURF این موضوع را با استفاده از فیلتر جعبه برطرف کرده است. شکل ۳ راست تقریبی از مشتق مرتبه دوم گوسین است که با استفاده از انتگرال تصویر (Bay et al., 2006) مستقل از اندازه‌هایشان به سرعت ارزیابی می‌شوند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته (Tuytelaars et al., 2008)، نتایج به دست آمده از آشکارساز SURF، با توجه به این که از یک تقریب کلی استفاده می‌کند، بسیار نزدیک به نتایج به دست آمده از کرنل گوسین گسسته شده است. در نتیجه فیلترهای جعبه می‌توانند تقریب مناسبی از مشتقات گوسی باشند. شکل ۳ الف و ب نشان دهنده نتایج به دست آمده از آشکارساز SURF است.



شکل ۳ الف و ب: (حالت گسسته) تقریب فیلتر جعبه SURF برای مشتق دوم گوسین به ترتیب در جهت y و در جهت xy

شکل ۳ ج و د مشتق جزئی مرتبه دوم به ترتیب در جهت y و در جهت xy

مناطق خاکستری مقادیر صفر دارند؛ Tuytelaars et al., 2008

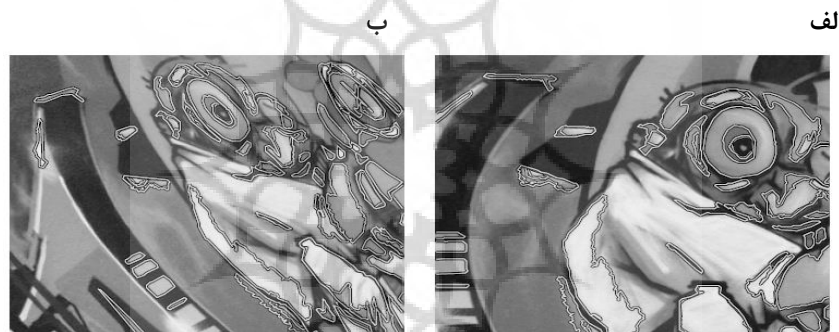


شکل ۳: نتایج به دست آمده از آشکارساز SURF؛ Tuytelaars et al., 2008

1- Speed up Robust Features
2- Box filters

۲-۳. MSER^۱

الگوریتم MSER بر مبنای حد آستانه‌گذاری روی تصاویر شکل گرفته است (Matas et al., 2004). تمام پیکسل‌های درون نواحی شناسایی شده توسط این الگوریتم درجات خاکستری بیشتری یا کمتر از پیکسل‌های خارج از مرز این نواحی دارند. ایده اصلی کار بدین صورت است که با انتخاب حد آستانه‌های مختلف تصاویر باینری متفاوت از تصویر اصلی ایجاد می‌شود. آن نواحی از تصویر که طی فرایند حد آستانه‌گذاری کمترین تغییر در آن‌ها ایجاد شود نواحی پایدار شناخته می‌شوند. در اغلب الگوریتم‌های مستقل از افاین شکل خروجی به صورت یک بیضی است. حال آن‌که الگوریتم MSER نواحی نامنظمی از تصویر را استخراج می‌کند (شکل ۵ الف و ب). در اینجا با توجه به مومنت‌های اول و دوم می‌توان این شکل نامنظم را با یک بیضی جایگزین کرد (شکل ۶ الف و ب). دقت این الگوریتم در تعیین موقعیت عوارض تصویری در مقایسه با الگوریتم‌های استخراج‌کننده حباب‌های تصویر بیشتر است (Mikolajczyk et al., 2005). همچنین سرعت این الگوریتم در شناسایی عوارض تصویری بالاست و در تحقیقات صورت گرفته کارآمدترین الگوریتم مستقل از افاین معرفی شده است (ibid).



شکل ۴: نواحی نامنظم استخراج شده توسط الگوریتم MSER؛ Tuytelaars et al., 2008



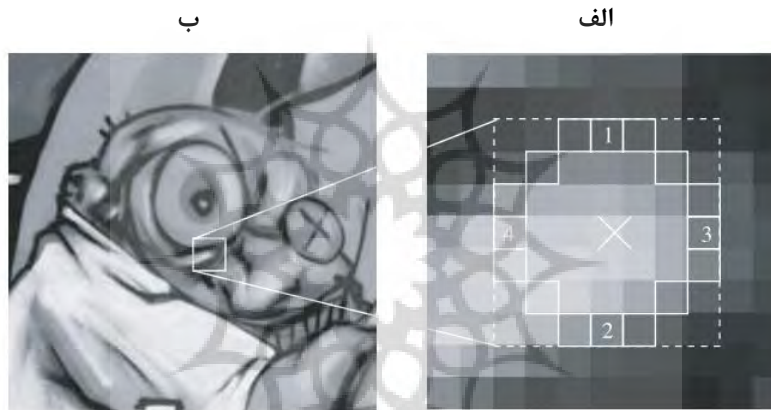
شکل ۵: جایگزینی بیضی‌ها به جای نواحی نامنظم در الگوریتم MSER؛ Tuytelaars et al., 2008

1- Maximally Stable Extremal Regions

2- Moment

۲-۴. FAST^۱

الگوریتم FAST را راستن و دراموند^۲ (2005) ارائه کرده‌اند. این الگوریتم بر مبنای آشکارساز SUSAN پیشنهاد شده است (Smith and Brady, 1997). SUSAN نسبتی از پیکسل‌ها را که در یک همسایگی از پیکسل مرکزی مشابهت دارند محاسبه می‌کند. این ایده به وسیله الگوریتم FAST نیز به اجرا درآمده که پیکسل‌ها را فقط روی یک دایره با شعاع ثابت اطراف نقطه موردنظر مقایسه می‌کند. برای تعیین معیاری به منظور ارزیابی اطراف گوشه‌های کاندید یک دایره مطابق شکل ۷ با شانزده پیکسل در نظر گرفته می‌شود. پیکسل‌ها نسبت به پیکسل مرکزی به زیرمجموعه‌های تاریک‌تر، مشابه و روشن‌تر طبقه‌بندی می‌شوند. با الگوریتم ID3^۳ تصمیم‌گیری می‌شود که آیا پیکسل کاندید گوشه است یا خیر. این تصمیم‌گیری با اندازه‌گیری آنتروپی^۴ بر روی سه زیرمجموعه از پیکسل‌های ایجادشده به دست می‌آید (Quinlan, 1986).



شکل ۶: پیکسل‌های بررسی شده به وسیله آشکارساز FAST: Tuytelaars et al., 2008



شکل ۷: عوارض موضعی شناسایی شده به وسیله آشکارساز FAST: Tuytelaars et al., 2008

- 1- Feature From Accelerated Segment Test
- 2- Rosten and Drummond
- 3- Induction of decision trees
- 4- Entropy

شکل ۸ نقاط استخراج‌شده آشکارساز FAST را نشان می‌دهد. این الگوریتم مستقل از تغییرات مقیاس نیست (Tuytelaars et al., 2008).

۳. الگوریتم‌های توصیف‌گر عوارض موضعی

پس از مرحله استخراج عوارض موضعی در برخی کاربردها نیاز به اطلاعات تصویری است. با استفاده از اطلاعات محلی اطراف نقطه استخراج‌شده، بردار توصیف‌گری تولید می‌شود که در بسیاری از کاربردها به‌عنوان معیاری برای سنجش شباهت و یا عدم شباهت به‌کار می‌رود. در این بخش برخی از الگوریتم‌هایی که اخیراً توسعه داده شده بررسی می‌شوند که می‌توانند عوارض موضعی را توصیف نمایند.

۳-۱. GLOH^۱

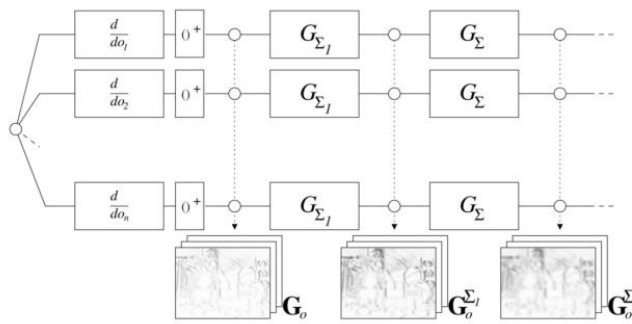
این توصیف‌گر بهبود داده‌شده توصیف‌گر SIFT است که به‌منظور افزایش استحکام و تمایز آن پیشنهاد شده است (Lowe, 2004). برای این توصیف‌گر در واقع توصیف‌گر SIFT در یک ساختار شبکه‌ای قطبی در سه لایه محاسبه شده و به‌جای شانزده قسمت در SIFT از هفده قسمت در این توصیف‌گر استفاده شده است. نکته‌ای که وجود دارد این است که قسمت مرکزی این توصیف‌گر در جهات مختلف تقسیم‌بندی نشده است. جهت‌ها نیز به شانزده قسمت مختلف گسسته‌سازی شده‌اند. این توصیف‌گر دارای یک بردار با ابعاد $272 \times 17 \times 16$ است که اندازه این توصیف‌گر با استفاده از تبدیل PCA^۲ به ۱۲۸ مؤلفه کاهش پیدا می‌کند (Bellavia et al., 2010).

۳-۲. DAISY^۲

توصیف‌گر DAISY از توصیف‌گر SIFT و توصیف‌گر GLOH الهام گرفته شده، با این تفاوت که سرعت محاسبات بسیار زیاد است و برای انجام محاسبات پیچیده و متراکم مؤثرتر است (Tola et al., 2010). توصیف‌گر DAISY در هشت جهت محاسبه می‌شود، به‌طوری‌که برای تصویر ورودی موجود ابتدا به تعداد هشت ($H=8$) تصویر جهتی G_i ساخته می‌شود ($i < H$). $G_0(u, v)$ برابر با اندازه گرادینان تصویری در محل (u, v) جهت ۰ است. اگر این مقدار در محل (u, v) بزرگ‌تر از صفر باشد، برای هر کدام از جهت‌ها گسسته‌سازی صورت می‌گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر تعلق می‌گیرد. با این کار تقارن تغییرات درجات خاکستری حفظ می‌شود. نحوه محاسبه تصویر جهتی در جهت‌ها و مقیاس‌های مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است (ibid).

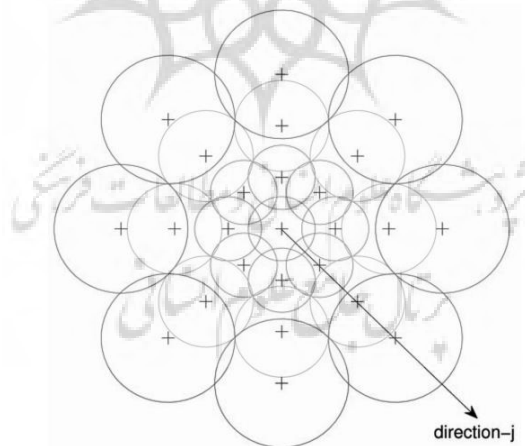
1- Gradient Location and Orientation Histogram
2- Principal Components Analysis

۳- به معنی گل آفتاب گردان



شکل ۸: روند تشکیل تصویر جهتی در توصیف‌گر DAISY برای جهات و مقیاس‌های مختلف؛ Tola et al., 2010

بر روی هر پیکسل توصیف‌گر DAISY ایجاد می‌شود، به طوری که بر روی هر پیکسل برداری ساخته می‌شود که شامل مقادیر تصویرهای جهتی کانولوشده^۱ است و محل پیکسل موردنظر برای مقیاس‌های مختلف، مطابق با شکل ۱۰، در مرکز دوایر واقع شده است. مقدار نرمال‌سازی اپراتور گوسی ارتباط نزدیکی با شعاع دایره‌ها دارد. در شکل ۱۰ توصیف‌گر DAISY نشان داده شده که در آن هر دایره نشان‌دهنده یک منطقه از اطراف پیکسل موردنظر است که شعاع آن با میزان انحراف از معیار کرنل گوسی متناسب است. علامت + نشان‌دهنده موقعیت‌های از مکان پیکسل مرکزی است که از تصاویر جهتی کانولوشده نمونه‌برداری شده، به طوری که توصیف‌گر از روی آن‌ها محاسبه می‌شود. داشتن هم‌پوشانی بین نواحی موجب می‌شود تا انتقال بین مقیاس‌ها به نرمی صورت گیرد و پایداری در برابر دوران افزایش یابد (Zhu et al., 2011).



شکل ۹: توصیف‌گر DAISY؛ Tola et al., 2010

مقادیر بردار تشکیل‌شده بین صفر تا یک نرمال‌سازی می‌شود. در صورتی که تمام لایه‌های مختلف ایجادشده را در نظر بگیریم، توصیف‌گر کامل DAISY با ادغام نمودن بردارها در لایه‌های مختلف برای موقعیت (u, v) به دست خواهد آمد (ibid).

۱- حالت خاص ضرب ترکیبی است که ریاضیدان ایتالیایی ویتو ولترا آن را مطرح کرده‌است.

۳-۳. BRIEF^۱

توصیف‌گر BRIEF توصیف یک رشته باینری از یک قطعه تصویری^۲ است (Calonder et al., 2010). اگر یک قطعه تصویری را P در نظر بگیریم، تصویر باینری تولیدشده به شکل رابطه^۱ خواهد بود.

$$\tau(P; x, y) = \{1 \text{ if } P(x) < P(y) \text{ otherwise } 0\} \quad (\text{رابطه } ۱)$$

که در آن P(x) مقدار شدت P در نقطه x است.

توزیع گوسی بهترین عملکرد را در این توصیف‌گر دارد (ibid). قبل از انجام هرگونه فرایندی بر روی تصویر، ابتدا تصویر نرم^۳ می‌شود. توصیف‌گر BRIEF در برابر دوران مستقل نیست و در صورت وجود اختلاف دوران بیش از یک حد در دو تصویر عملیات تناظریابی با شکست روبه‌رو می‌شود (Rublee et al., 2011).

۳-۴. OBR^۴

این توصیف‌گر ترکیبی از آشکارساز FAST و توصیف‌گر BRIEF است که در برابر دوران پایدار شده است (ibid). همان‌طور که در قسمت قبلی اشاره شد، توصیف‌گر BRIEF در برابر دوران دو تصویر پایدار نیست. یک روش کارآمد برای پایدارکردن این توصیف‌گر در برابر دوران، در نظر گرفتن جهت نقاط کلیدی^۱ است. برای هر نقطه از n مجموعه تصویر باینری در مکان (x_i, y_i) یک ماتریس $2 \times n$ تعریف می‌شود.

$$S = \begin{pmatrix} x_1, \dots, x_n \\ y_1, \dots, y_n \end{pmatrix} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

با جهت‌گیری قطعه‌های تصویر θ و ماتریس دوران مربوط R_θ ، به ساختار پایداری از توصیف‌گر BRIEF در برابر دوران می‌رسیم (مطابق روابط ۳ و ۴).

$$S_\theta = R_\theta S \quad (\text{رابطه } ۳)$$

$$g_n(p, \theta) = f_n(p) | (x_i, y_i) \in S_\theta \quad (\text{رابطه } ۴)$$

آشکارساز FAST جزو آشکارسازهایی است که «جهت» عوارض استخراج‌شده را نشان نمی‌دهد (ibid). برای رفع این مشکل روشی مبتنی بر شدت مرکز^۵ ارائه شده است. در این روش فرض می‌شود شدت گوشه افستی^۶ از شدت مرکز است و با استفاده از بردار بین این دو جهت به عوارض استخراج‌شده نسبت می‌دهد. مومنت‌هایی از یک قطعه تصویری به دست می‌آید که به وسیله آن می‌توان به مرکز^۷ دست یافت (Rosin and Understanding, 1999).

$$C = \begin{pmatrix} M_{10} & M_{01} \\ M_{00} & M_{00} \end{pmatrix} \quad (\text{رابطه } ۵)$$

با به دست آمدن بردار جابه‌جایی \vec{OC} جهت مرتبط با عارضه استخراج‌شده تعیین می‌شود.

$$\theta = \text{atan2}(M_{01}, M_{10}) \quad (\text{رابطه } ۶)$$

1- Binary robust independent elementary features

2- Image Patch

4- Oriented FAST and Rotated BRIEF

5- intensity centroid

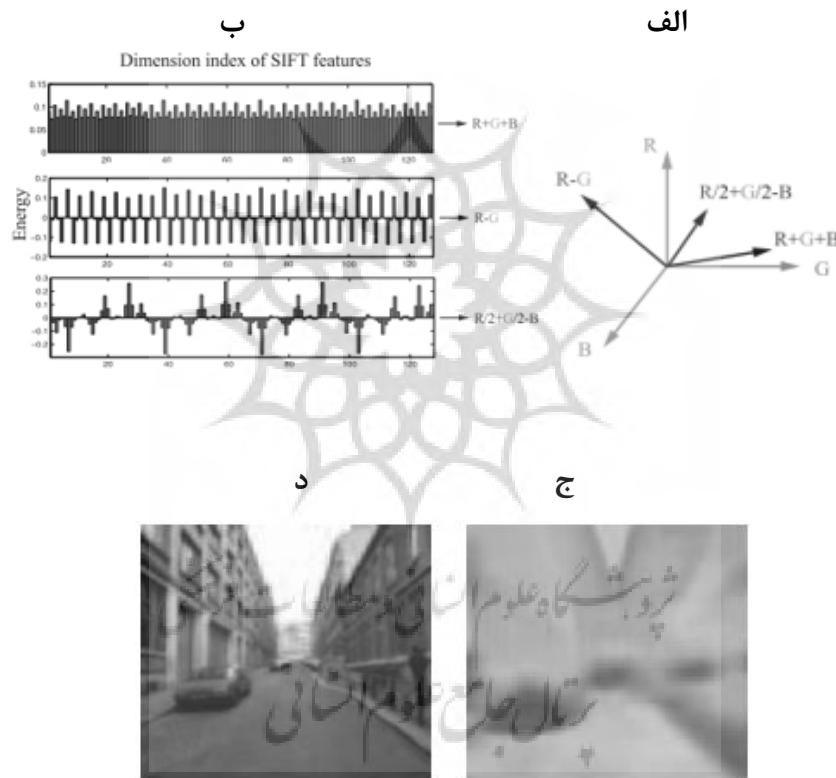
6- offset

7- Centroid

۳- اختلاف پیکسلی شدید کم میشود

۳-۵. DSIFT^۱

SIFT یک توصیف‌گر عوارض موضعی از ویژگی‌های گرادیان محلی است. در توصیف‌گر SIFT نماینده‌ای از عوارض پراکنده استخراج‌شده در تصویر است که متشکل از عوارض استخراج‌شده و شناسایی‌شده است (Lowe, 2004). درحالی‌که توصیف‌گر Dense SIFT برای هر پیکسل در تصویر یک همسایگی با آرایه سلولی 4×4 جدا می‌کند و جهت‌ها در هر سلول به هشت قسمت گسسته می‌شوند و یک بردار ۱۲۸ بعدی به‌عنوان نماینده توصیف‌گر SIFT برای هر پیکسل به‌دست می‌آید. توصیف‌گر SIFT برای هر پیکسل SIFT Image نامیده می‌شود (Liu et al., 2011). برای نمایش SIFT Image سه جزء اصلی توصیف‌گر SIFT از یک تصویر محاسبه می‌شود و سپس به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی به فضای رنگی منتقل می‌شود (شکل ۱۱ الف و ب).



شکل ۱۰: نمایشی از SIFT Image: Liu et al., 2011

با تصویرنمودن یک توصیف‌گر ۱۲۸ بعدی به یک فضای سه‌بعدی، SIFT Image از یک تصویر RGB مطابق شکل ۱۱ ب و ۱۱ د محاسبه و نمایش داده می‌شود. در این نمایش پیکسل‌هایی که رنگ مشابهی دارند ممکن است به یک ساختار محلی مشترکی اشاره باشند.

۳-۶. BRISK^۱

یکی دیگر از الگوریتم‌های مهم تطبیق تصاویر BRISK است که استفان لوتنیگر و همکارانش (2011) آن را معرفی کرده‌اند. در این الگوریتم، با استفاده از فضای مقیاس و آشکارساز گوشه AGAST، خصیصه‌های مقاوم به تغییر مقیاس آشکار می‌شود (Mair et al., 2010). برای این کار هر می از تصویر درست می‌کنند و بر روی هر لایه هرم فضای مقیاس آشکارساز AGAST را با آستانه‌های یکسان اعمال می‌کنند. سپس مقیاس هر یک از این خصیصه‌ها را با استفاده از درون‌یابی امتیازات به دست آمده از آشکارساز AGAST به‌طور دقیق تخمین می‌زنند. پس از آشکارسازی نقاط خصیصه برای هر یک از خصیصه‌ها یک توصیف به کار می‌برند. این توصیف یک کد باینری ۵۱۲ بیتی است که براساس مقایسه شدت روشنایی اطراف خصیصه است. سپس در بخش آخر هر توصیف در تصویر مرجع را با تمام توصیف‌های تصویر دریافتی از طریق اپراتور منطقی یا انحصاری (XOR) مقایسه می‌کنند و اگر میزان خطا از آستانه T کمتر بود، آن دو توصیف را بر هم انطباق می‌دهند (Baroffio et al., 2014). شکل ۱۲ شناسایی عوارض توسط الگوریتم BRISK را نشان می‌دهد. در این شکل اندازه دایره‌ها مقیاس نقطه‌های شناسایی شده را نشان می‌دهد، درحالی‌که شعاع‌ها جهت آن‌ها را مشخص می‌کند (Leutenegger et al., 2011).



شکل ۱۲: عوارض شناسایی شده الگوریتم BRISK؛ Leutenegger et al., 2011

با توجه به در نظر گرفتن خصوصیات الگوریتم‌های آشکارساز و توصیف‌گر عوارض موضعی اشاره شده در این پژوهش، برخی از مزایا و محدودیت‌های این دسته از الگوریتم‌ها در جدول ۱ بیان شده است.

1 - Binary Robust Invariant Scalable Keypoints

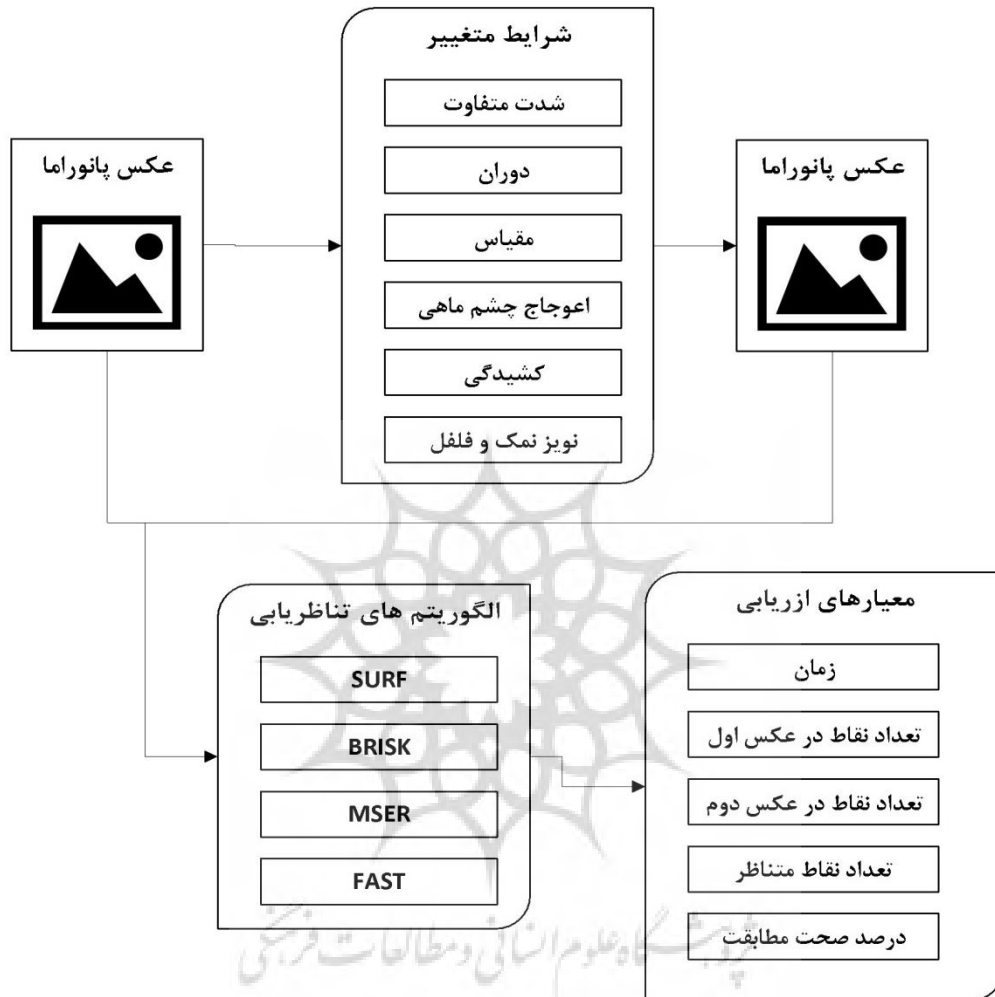
جدول ۱: مزایا و محدودیت‌های الگوریتم‌های آشکارساز و توصیف‌گر عوارض موضعی

محدودیت‌ها	مزایا	آشکارسازها و توصیف‌گرها
عدم استقلال در برابر زاویه دید	مستقل از دوران مستقل از مقیاس پایداری در برابر تغییرات روشنایی تصویر پایداری در برابر نویز تصویر	SIFT
	دارای ویژگی‌های آشکارساز SIFT استفاده از فیلترهای جعبه به منظور افزایش سرعت محاسبات	SURF
ترجیحاً نواحی موردنظر باید یکنواخت باشند	مستقل از دوران مستقل از مقیاس مستقل از زاویه دید	MSER
جهت عوارض را نشان نمی‌دهد عدم پایداری در برابر نویز وابستگی به حد آستانه	سرعت محاسبات بسیار بالا	FAST
	افزایش استحکام و تمایز الگوریتم SIFT	GLOH
عدم استقلال در برابر مقیاس	سرعت بالای محاسبات مؤثر برای محاسبات پیچیده و متراکم	DAISY
عدم استقلال در برابر دوران	سرعت بالا	BRIEF
	مستقل از دوران مستقل از مقیاس	ORB
عدم استقلال در برابر مقیاس	محاسبه ویژگی‌های SIFT برای هر پیکسل	DSIFT
	سرعت بالای محاسبات کارایی در شرایط متفاوت	BRISK

۴. روش تحقیق

روش تحقیق در این مطالعه، مطابق شکل ۱۳، بدین ترتیب است که ابتدا عکس پانورامای اول در شرایط متفاوت مانند دوران، مقیاس، اعوجاج چشم ماهی، شدت درجات خاکستری متفاوت، نویز نمک و فلفل و کشیدگی قرار داده می‌شود تا عکس پانورامای دیگری با همان زاویه دید به دست آید. هر کدام از الگوریتم‌ها در شرایطی خاص، با توجه به منظره عکس و شرایط نوری و اعوجاج‌های آن، نتیجه متفاوتی می‌دهند. با توجه به پژوهش‌های پیشین و مزایا و معایب مطرح‌شده درباره هر الگوریتم، چهار الگوریتم Surf، Brisk، Mser، Fast به علت مستقل بودن از دوران و مقیاس و همچنین سرعت بیشتر محاسبات و پایداری بودن در برابر نویز انتخاب شده و روی این دو عکس اجرا می‌شود. با توجه به زمان،

تعداد نقاط پیداشده در عکس اول و دوم، تعداد نقاط متناظر و درصد صحت مطابقت این چهار الگوریتم با هم مقایسه می‌شود.



شکل ۱۳: روش تحقیق

۵. پیاده‌سازی و بررسی الگوریتم‌ها

در این بخش چهار الگوریتم پرکاربرد SURF، Fast، Mser، Brisk از بین الگوریتم‌های توضیح داده شده در بخش قبل، انتخاب شده تا در شرایط مختلف مانند شدت، دوران، مقیاس، کشیدگی، نویز و اعوجاج چشم ماهی برای عکس‌های پانوراما بررسی شود. برای نمونه، شبه کد برای الگوریتم SURF در شکل ۱۴ ارائه شده است.

Input: image as I1
change I1 --> save as I2
For each band B in integral image I1 and I2 do
detect SURF features:
where Hessian matrix $H(p, \sigma)$ at point p and scale σ , and determinant is $\det |H|$:
For each pixel i in B do
 if $\det |H(p, \sigma)| < \det |H_{i+1}(p, \sigma)|$ **then**
 Select i+1 **else** select i
 End if
 $i \leftarrow i+1$
End for
Output: point of interest as poi
Description of SURF features:
where $HW(p,r)$ is Haar wavelet and r is radius & p is pair point &
For each poi in both x- and y-directions do
 $HW(poi,6s)$ responses within a circular neighbourhood where s is the scale
 Then weighted by Gaussian function centered at the poi
 For each $\pi/3$ **do**
 Sum $w_\alpha = HW(poi, 6s, \theta(k * \pi/3))$ α is in x and y direction
 End for
End for
For each poi do
 $W = w_x + w_y$ **in each** $\pi/3$ **step**
 The longest such vector overall defines the orientation of the poi
End for
Match features:
 comparing the descriptors obtained from different images

شکل ۱۴: شبه کد برای الگوریتم SURF

۵-۱. شدت متفاوت

برای مقایسه الگوریتم‌ها، عکس با شدت متفاوت مورد استفاده قرار گرفته که نتیجه آن در جدول ۲ و شکل ۱۵ ارائه شده است. الگوریتم Brisk، Msr، Fast بهترین درصد مطابقت را فراهم کرده و الگوریتم Brisk بیشترین نقاط متناظر را به دست آورده، ولی بیشترین زمان را به خود اختصاص داده است. الگوریتم Fast کمترین زمان را نیاز دارد.

جدول ۲: شدت متفاوت

	Time (sec)	Kpoints1	Kpoints2	Matches	Match rate (%)
SURF	0.591343	1083	1006	888	99.77
FAST	0.555798	1454	1365	1281	100
MSER	1.812209	1093	1069	793	100
BRISK	1.189358	2936	2769	2213	100



شکل ۱۵: نتیجه شدت متفاوت در عکس‌ها برای الگوریتم surf

۲-۵. دوران

در اینجا یک دوران ۱۰ درجه برای بررسی در نظر گرفته شده است. نتیجه در جدول ۳ و شکل ۱۶ ارائه شده است. با عکس دوران داده شده الگوریتم Brisk بهترین درصد مطابقت و الگوریتم Surf بیشترین نقاط متناظر را به دست آورده است. الگوریتم Surf و Fast کمترین زمان را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳: دوران (۱۰ درجه)

	Time (sec)	Kpoints1	Kpoints2	Matches	Match rate (%)
SURF	0.747983	1083	1223	526	97.71
FAST	0.792830	1555	1832	443	99.5
MSER	1.403687	1093	1136	235	99.5
BRISK	1.331082	2936	3085	429	100



شکل ۱۶: نتیجه دوران در عکس‌ها برای الگوریتم surf

۳-۵. مقیاس

در این سناریو عکس ۱/۳ برابر شده تا تأثیر آن در تناظریابی به دست آید. نتیجه آن در جدول ۴ و شکل ۱۷ مشاهده می‌شود. بیشترین درصد مطابقت برای الگوریتم Msr و Brisk و بیشترین نقاط متناظر برای الگوریتم Surf به دست آمده است.

جدول ۴: مقیاس

	Time (sec)	Kpoints1	Kpoints2	Matches	Match rate (%)
SURF	1.093273	1083	1522	571	98.4
FAST	0.619362	1555	1700	45	97.7
MSER	1.590694	1093	1678	259	100
BRISK	1.263220	2936	3549	258	100



شکل ۱۷: نتیجه مقیاس متفاوت در عکس‌ها برای الگوریتم surf

۴-۵. اعوجاج چشم ماهی

در این مورد، اعوجاج چشم ماهی برای بررسی در نظر گرفته شده که نتیجه آن در جدول ۵ و شکل ۱۸ مشاهده می‌شود. بیشترین نقاط متناظر برای الگوریتم Surf به دست آمده و بهترین درصد مطابقت نیز متعلق به الگوریتم Brisk است.

جدول ۵: اعوجاج چشم ماهی

	Time (sec)	Kpoints1	Kpoints2	Matches	Match rate (%)
SURF	1.242866	1083	825	135	97.7
FAST	1.182459	1555	1139	19	94.7
MSER	1.376209	1093	1147	35	91.4
BRISK	1.147994	2936	2370	56	98.2



شکل ۱۸: نتیجه اعوجاج چشم ماهی در عکس‌ها برای الگوریتم surf

۵-۵. کشیدگی

در این سناریو تصویر کشیده شده برای بررسی استفاده شده که نتیجه آن در جدول ۶ و شکل ۱۹ ارائه شده است. بیشترین درصد مطابقت برای الگوریتم Surf و بهترین درصد مطابقت برای الگوریتم Brisk به دست آمده است.

جدول ۶: کشیدگی تصویر

	Time (sec)	Kpoints1	Kpoints2	Matches	Match rate (%)
SURF	0.957688	1083	1028	151	94.7
FAST	0.880060	1555	1545	100	99
MSER	1.353771	1093	1096	71	98.7
BRISK	1.227213	2936	2731	90	100



شکل ۱۹: نتیجه کشیدگی تصویر در عکس‌ها برای الگوریتم surf

۵-۶. نويز نمک و فلفل

در این مورد ۳۰ درصد نويز نمک و فلفل به تصویر اصلی اضافه شده تا تأثیر نويز در تناظریابی به دست آید. نتیجه در جدول ۷ و عکس ۲۰ ارائه شده است. الگوریتم Brisk و Mser بیشترین درصد مطابقت را با اختلاف کمی نسبت به دو الگوریتم دیگر به دست آورده‌اند و بیشترین نقاط متناظر را نیز الگوریتم Brisk فراهم کرده است.

جدول ۷: ۳۰ درصد نويز نمک و فلفل

	Time (sec)	Kpoints1	Kpoints2	Matches	Match rate (%)
SURF	0.672896	1083	1442	415	95.9
FAST	0.900708	1555	10049	620	99.8
MSER	1.316085	1093	1087	222	100
BRISK	1.861167	2936	13008	798	100

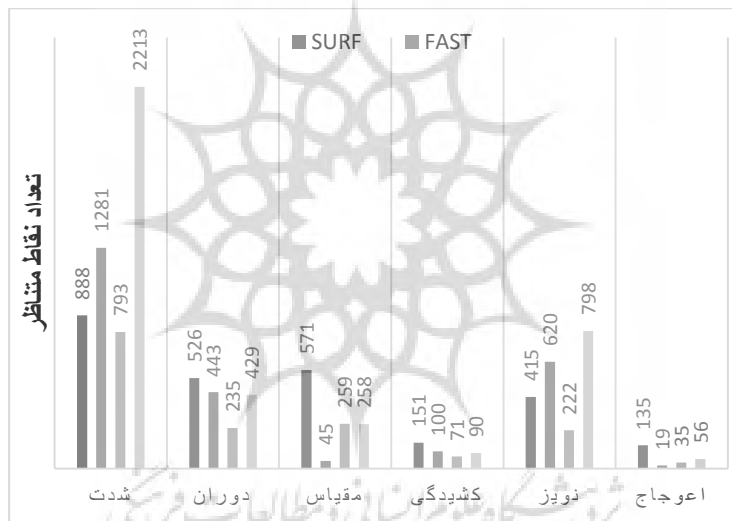


شکل ۲۰: نتیجه نويز نمک و فلفل در عکس‌ها برای الگوریتم surf

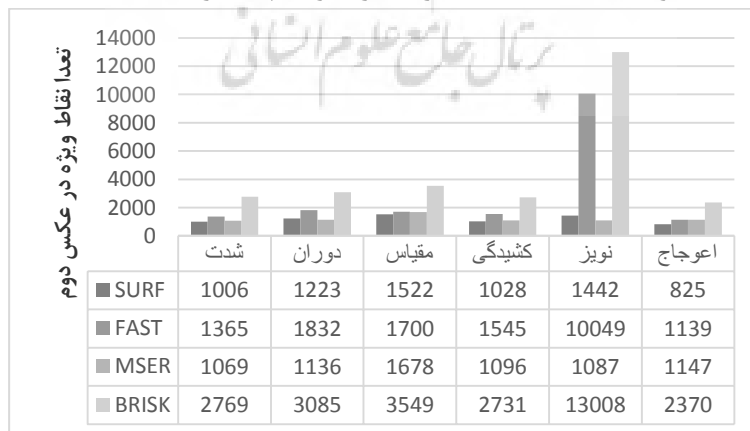
بررسی یافته‌های تحقیق

طبق نمودار ۱ و ۲، الگوریتم BRISK در تصاویر دارای شدت متفاوت و نويز نمک و فلفل تعداد نقاط متناظر بیشتری با درصد صحت تطابق بالاتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها به دست آورده است. در تصاویر دارای اعوجاج، کشیدگی، دوران و مقیاس الگوریتم SURF تعداد نقاط متناظر بیشتری را پیدا کرده است. همین‌طور، با توجه به جداول بخش ۴، الگوریتم SURF نسبت به دیگر الگوریتم‌ها در زمان کمتری عملیات تناظریابی را انجام می‌دهد. تعداد نقاط متناظر پیدا شده در عکس‌های پانورامای دارای هم‌پوشانی در شدت درجه خاکستری متفاوت نشان می‌دهد که الگوریتم‌های تناظریابی نسبت به مقدار درجه خاکستری حساسیت کمی دارند و بیشتر به اختلاف درجه خاکستری وابسته‌اند. نويز نمک و فلفل استفاده شده در این تحقیق درجه خاکستری تعدادی از نقاط را تغییر می‌دهد که با توجه به تعداد نقاط متناظر بالایی که پیدا شده اثبات دیگری از مستقل بودن این الگوریتم‌ها نسبت به درجه خاکستری نقاط است. در تصاویر دارای اعوجاج و کشیدگی، فاصله پیکسل‌ها و نسبت قرارگیری آن‌ها

نسبت به هم تغییر می‌کند که باعث می‌شود الگوریتم‌ها تعداد نقاط متناظر کمتری را پیدا کنند. نمودار ۲ تعداد نقاط متناظر را در عکس دارای تغییرات هندسی و درجه خاکستری نسبت به عکس اول نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که الگوریتم BRISK، در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها، تعداد نقاط ویژه بیشتری را شناسایی می‌کند. اما با توجه به نمودار ۱ در پیدا کردن نقاط متناظر در حالت‌هایی مثل دوران، کشیدگی، اعوجاج و مقیاس تعداد کمتری را پیدا می‌کند. در نتیجه خطای الگوریتم BRISK بیشتر از الگوریتم SURF است و زمان بیشتری صرف پیدا کردن نقاط ویژه می‌کند. بحث زمان، تعداد و دقت الگوریتم مورد استفاده در به دست آوردن عکس‌های پوشش‌دار برای تهیه یک عکس پانوراما دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا اگر نقاط متناظر پیدا شده تعداد کم و دقت پایینی داشته باشند ممکن است عکس پانورامای تهیه شده از آن دارای اعوجاج‌هایی در محل اتصال دو عکس باشد. اگر هر یک از الگوریتم‌های تناظریابی در بین تعداد زیادی عکس اجرا شود، عملیات زمان‌بری خواهد بود؛ از این رو زمان مورد نیاز هر الگوریتم نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.



نمودار ۱: تعداد نقاط متناظر در هر الگوریتم در شرایط مختلف



نمودار ۲: تعداد نقاط ویژه در عکس دوم تحت شرایط مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

تورهای مجازی را می‌توان آنلایین یا آفلاین به کار برد. بهره‌گیری از تورهای مجازی برای صنایع، کارخانه‌ها، هتل‌ها، بنگاه‌های معاملات املاک و خصوصاً صنعت گردشگری سود فراوانی خواهد داشت. می‌توان با استفاده از تورهای مجازی، هم در جهت ثبت میراث طبیعی و فرهنگی مناطق مختلف کشور قدم برداشت و هم، با نمایش آن‌ها از طریق اینترنت یا هر رسانه دیگری، به جذب گردشگر پرداخت. یکی از اجزای اصلی تور مجازی عکس‌های پانورامای کامل یا کروی است که دید کاملی از محیط ارائه می‌کند. یکی از راه‌های به‌دست‌آوردن آن الحاق چند عکس در کنار هم است. مهم‌ترین مرحله در این روش تعیین نقاط متناظر است. برای انجام این کار ابتدا باید نقاط ویژه در هر تصویر شناسایی شوند. الگوریتم‌های مختلفی بدین منظور نوشته شده است. در این پژوهش، ابتدا این الگوریتم‌ها از نظر تئوری بیان شده‌اند، سپس چهار الگوریتم SURF، FAST، MSER و BRISK بررسی و مقایسه شده‌اند.

با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته، بسته به محتوای تصویر، برخی از ساختارهای تصویری از بقیه عمومی‌ترند. بنابراین تعدادی از ویژگی‌ها ممکن است توسط یک آشکارساز یافت شود که جزء دسته‌بندی انجام‌شده قرار نگیرند. از این رو توصیه می‌شود آشکارسازهایی با یکدیگر ترکیب شوند که مکمل همدیگرند. مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت پذیرفته است (Mikolajczyk et al., 2000; Schmid et al., 2007; Moreels and Perona, 2005). در صورتی که همیشه سطح بالایی از مستقل‌بودن انتخاب شود، باید به همان نسبت میزان زیاد استخراج عوارض که از تصاویر صورت می‌گیرد جبران شود که به پیچیده‌شدن فرایند شناسایی می‌انجامد. قانون کلی این است که میزان استفاده از مستقل‌بودن باید متناسب با کاربری مورد استفاده انتخاب شود. اکثر آشکارسازها به صورت خودکار نسبت به انتقال و دوران مستقل‌اند که در برخی از کاربردها، مثلاً زمانی که تصویر به‌طور قائم اخذ شده باشد، مستقل‌بودن ذر برابر دوران فقط هزینه محاسباتی را افزایش می‌دهد. به‌منظور پیشگیری از این امر بهتر است آشکارسازهای مستقل از دوران با یک توصیف‌گر از نوع دورانی ترکیبی شود تا قدرت تمایز مناسبی مشاهده شود. برای آشکارسازها ویژگی‌های کیفی در نظر گرفته می‌شود که برخی از این ویژگی‌ها، با توجه به نوع کاربرد، بسیار مهم‌تر از برخی دیگرند. زمانی که با دسته‌بندی و تشخیص عوارض مواجه‌ایم، استحکام در برابر تغییرات کوچک ظاهری اهمیت می‌یابد. زمانی که با برآزش یک مدل پارامتریک روی مجموعه‌ای از داده‌ها مواجه‌ایم، مثلاً برای کالیبره کردن دوربین یا مدل‌سازی سه‌بعدی دقت تعیین موقعیت برای ما ارزشمند خواهد بود. برای کاربردهای آنلایین و یا کاربردهایی که نیاز به مقدار زیاد داده برای پردازش دارد، مهم‌ترین معیار بهره‌وری است.

در این پژوهش روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف تناظریابی عوارض بررسی و طبقه‌بندی شده است؛ همچنین اطلاعاتی در زمینه نحوه عملکرد این الگوریتم‌ها در شرایط مختلف بین تصاویر مانند انتقال، دوران، مقیاس برای به‌دست‌آوردن عکس‌های پانورامای هم‌منطقه، که جزء اصلی تور مجازی است، به‌دست آمده و بهترین روش سنجش انتخاب شده است. با توجه به یافته‌های پژوهش، الگوریتم SURF، در اکثر شرایط، تعداد نقاط بیشتری را با درصد صحت مطابقت بالاتر و در زمان کمتر ارائه می‌دهد؛ در نتیجه استفاده از این الگوریتم برای الحاق چند عکس و ساخت یک عکس پانوراما بازدهی بالاتری خواهد داشت.

منابع

محسن، ص، پیمان، م. و مهران، س (۱۳۹۵). روشی جدید برای تطابق سریع و مقاوم تصاویر هوایی و ماهواره‌ای بر مبنای زاویه انتخابی و مقیاس. مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران - ب مهندسی کامپیوتر : دوره ۱۴، شماره ۴؛ از صفحه ۳۴۲ تا صفحه ۳۴۸.

- Babaud, J., Witkin, A. P., Baudin, M., & Duda, R. O. (1986). Uniqueness of the Gaussian kernel for scale-space filtering. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, (1), 26-33.
- Baroffio, L., Canclini, A., Cesana, M., Redondi, A. and Tagliasacchi, M. (2014). Briskola: Brisk optimized for low-power arm architectures. Paper presented at the International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE
- Bay, H., Tuytelaars, T. and Van Gool, L. (2006). Surf: Speeded up robust features. Paper presented at the European conference on computer vision.
- Bellavia, F., Tegolo, D. and Trucco, E. (2010). Improving SIFT-based descriptors stability to rotations. Paper presented at the 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR).
- Bohlman, P. V. (2006). Prayer on the panorama: music and individualism in American religious experience. *Music in American religious experience*, 233-53.
- Bourke, P. (2014). The Panorama: Applications to Science and Heritage Visualization. Lawrence Wilson Art Gallery. Available online: <http://paulbourke.net/papers/lawrencewilson/> (accessed on 28 October 2018).
- Calonder, M., Lepetit, V., Strecha, C. and Fua, P. (2010). "Brief: Binary robust independent elementary features". Paper presented at the European conference on computer vision.
- Cho, Y., & Fesenmaier, D. R. (2001). A new paradigm for tourism and electronic commerce: Experience marketing using the virtual tour. *tourism distribution channels: practices, issues and transformation*, 351-370.
- Getz, D. (2008). Event tourism: Definition, evolution, and research. *Tourism management*, 29(3), 403-428.
- Han, Y. K., Byun, Y. G., Choi, J. W., Han, D. Y., & Kim, Y. I. (2012). Automatic registration of high-resolution images using local properties of features. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 78(3), 211-221.
- Hyde, R. (1988). *Panoromania!: The Art and Entertainment of the "all-embracing" View*. Not Avail.
- Luo Juan, O. (2009). A Comparison of SIFT, PCA-SIFT and SURF. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 3, 143-152.
- Kwiatk, K., and Woolner, M. (2009). "Embedding interactive storytelling within still and video panoramas for cultural heritage sites". Paper presented at the 15th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM'09.
- Leutenegger, S., Chli, M. and Siegwart, R. Y. (2011). BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints. Paper presented at the International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE.
- Liu, C., Yuen, J., & Torralba, A. (2010). Sift flow: Dense correspondence across scenes and its applications. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 33(5), 978-994.
- Lowe, D. G. (1999). "Object recognition from local scale-invariant features". Paper presented at the Computer vision, The proceedings of the seventh IEEE international conference on Computer Vision.

- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- Mair, E., Hager, G. D., Burschka, D., Suppa, M. and Hirzinger, G. (2010). "Adaptive and generic corner detection based on the accelerated segment test". Paper presented at the European conference on Computer vision.
- Matas, J., Chum, O., Urban, M., & Pajdla, T. (2004). Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions. *Image and vision computing*, 22(10), 761-767.
- Mikolajczyk, K., & Schmid, C. (2005). A performance evaluation of local descriptors. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 27(10), 1615-1630.
- Moreels, P., & Perona, P. (2007). Evaluation of features detectors and descriptors based on 3d objects. *International journal of computer vision*, 73(3), 263-284.
- Murphy, P. E., & Price, G. G. (2005). Tourism and sustainable development. *Global tourism*, 3, 167-193.
- Parian, J. A. (2007). Sensor modeling, calibration and point positioning with terrestrial panoramic cameras. *Inst. für Geodäsie und Photogrammetrie*.
- Quinlan, J. R. (1986). *Machine Learning*, chap. Induction of decision trees, 81-106.
- Remondino, F., El-Hakim, S. F., Gruen, A., & Zhang, L. (2008). Turning images into 3-D models. *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(4), 55-65.
- Rosin, P. L. (1999). Measuring corner properties. *Computer Vision and Image Understanding*, 73(2), 291-307.
- Rosten, E. and Drummond, T. (2005). "Fusing points and lines for high performance tracking". Paper presented at the Tenth IEEE International Conference on the Computer Vision, ICCV.
- Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K. and Bradski, G. (2011). ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. Paper presented at the Computer Vision (ICCV). IEEE international conference on Computer Vision.
- Schmid, C., Mohr, R., & Bauckhage, C. (2000). Evaluation of interest point detectors. *International Journal of computer vision*, 37(2), 151-172.
- Smith, S. M., & Brady, J. M. (1997). SUSAN-a new approach to low level image processing. *International journal of computer vision*, 23(1), 45-78.
- Tola, E., Lepetit, V., & Fua, P. (2009). Daisy: An efficient dense descriptor applied to wide-baseline stereo. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(5), 815-830.
- Tuytelaars, T., & Mikolajczyk, K. (2008). Local invariant feature detectors: a survey. *Foundations and trends® in computer graphics and vision*, 3(3), 177-280.
- Zhu, C., Bichot, C.-E. and Chen, L. (2011). Visual object recognition using DAISY descriptor. Paper presented at the 2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME).
- Zhu, Q., Wu, B., & Tian, Y. (2007). Propagation strategies for stereo image matching based on the dynamic triangle constraint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(4), 295-308.
- Zitova, B., & Flusser, J. (2003). Image registration methods: a survey. *Image and vision computing*, 21(11), 977-1000.