بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

ارائه الگوریتم کارا برای ثبت اهداف ثابت و متحرک در دنباله تصاویر ویدئویی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات (سیستم)

سعید کاظمی

استاد راهنما

دکتر محمّدرضا احمدزاده

۱۳۹۳

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق – مخابرات (سیستم) آقای سعید کاظمی

تحت عنوان

ارائه الگوریتم کارا برای ثبت اهداف ثابت و متحرک در دنباله تصاویر ویدئویی

در تاریخ۱۳۹۳/۰۶/۰۳ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمدرضا احمدزاده
۲- استاد داور	دکتر رسول امیرفتاحی
۳- استاد داور	دکتر بهزاد نظری
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر خسروی فرد

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

بر خود لازم می‌دانم که از راهنمایی‌های موثر آقای دکتر محمدرضا
احمدزاده و همکاری و تشویق دوستانم آقایان رضا لالچینی، بهنام کریمی و
امید قهاری سپاسگزاری کنم.

چکیده

امروزه ثبت اهداف و اشیاء و دنبال کردن آن‌ها در دنباله تصاویر در زمینه های مختلف و از جمله صنعت نظامی و به خصوص در سیستم‌های هوایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اهداف در این کاربردها می‌توانند ثابت و یا متحرک باشند. الگوریتم ثبت اهداف بایستی علی رغم تغییر نوع دوربین، تغییر زاویه دید، تغییر فاصله، تغییر شرایط محیطی و تغییر پارامترهای دوربین مانند رزولوشن، نسبت به تصاویر مرجع قابلیت جستجوی هدف مورد نظر (هدف مرجع) را در دنباله‌ی تصویر داشته باشد. الگوریتم ثبت هدف را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد، بخش اول شامل پیدا کردن ویژگی‌ها در تصاویر مرجع و دریافتی و بخش دوم توصیف و تطبیق ویژگی‌های دو تصویر بر روی هم می‌باشد. در بخش اول از فضای مقیاس استفاده می شود تا ویژگی های آشکار شده نسبت به تغییرات مقیاس مقاوم باشد. در بخش دوم برای هر نقطه ویژگی‌ای که در قسمت اول بدست آمده است، یک توصیف با استفاده از مقادیر روشنایی اطراف ویژگی به کار می‌بریم. در این پایان نامه مسئله شناسایی هدف با استفاده از ویژگی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا الگوریتم های BRISK و SIFT را به عنوان دو الگوریتم مطرح مورد بررسی قرار می‌دهیم و با الهام از این دو الگوریتم، الگوریتم جدیدی را پیشنهاد می‌کنیم.

این الگوریتم از الگوی جهتی برای توصیف ویژگی استفاده می‌کند. جهت این الگو در جهت عمود بر زاویه ویژگی قرار می‌گیرد که این امر باعث می‌شود که اطلاعات مفیدتری از روشنایی‌های اطراف ویژگی در ساخت بردار توصیفگر استفاده شود. همچنین در الگوریتم پیشنهادی در بردار خروجی به جای استفاده از مقادیر باینری از مقادیر چند سطحی استفاده شده است. سطوح بردارهای خروجی را می‌توان با استفاده از یک پارامتر تنظیم کرد به طوری که برای پردازنده با حجم پردازشی کم میتوان بردار خروجی را به یک بردار چهار سطحی تبدیل کرد. در نهایت این دو الگوریتم را با الگوریتم BRISK مقایسه و ارزیابی می کنیم. نتایج این پایان نامه نشان می‌دهد که قدرت تمایز و استواری الگوریتم‌های پیشنهادی نسبت به الگوریتم BRISK قوی تر شده است و از نظر کارآمدی الگوریتم تا حدود زیادی با الگوریتم BRISK برابر است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه	۲
۱-۱ انواع روش‌های ثبت	۲
۱-۱-۱ آشکارسازی ویژگی	۵
۱-۱-۲ تطبیق ویژگی	۷
۱-۲ نوآوری پایان نامه	۱۰
۱-۳ ساختار پایان‌نامه	۱۱
فصل دوم: مروری بر الگوریتم‌های ثبت تصاویر	۱۲
۲-۱ الگوریتم ثبت SIFT	۱۳
۲-۱-۱ فضای مقیاس	۱۳
۲-۱-۲ شناسایی نقاط اکسترمم	۱۸
۲-۱-۳ اختصاص جهت	۱۹
۲-۱-۴ توصیفگر محلی تصویر	۲۰
۲-۱-۵ ثبت دو تصویر با استفاده از توصیفگر SIFT	۲۱
۲-۲ آشکارسازهای نقاط کلیدی	۲۲
۲-۲-۱ هسین	۲۳
۲-۲-۲ هریس	۲۴
۲-۲-۳ FAST	۲۵
۲-۲-۴ MSER	۲۶
۲-۲-۵ مقایسه آشکارسازها	۲۷
۲-۳ توصیفگر	۲۸
۲-۳-۱ توصیفگر PCA-SIFT	۲۸
۲-۳-۲ توصیفگرهای GLOH	۲۹
۲-۳-۳ توصیفگر BRISK	۲۹
۲-۳-۴ توصیفگر FREAK	۳۰
۲-۴ خلاصه و نتیجه‌گیری	۳۱
فصل سوم: توصیفگر BRISK	۳۲
۳-۱ فضای مقیاس آشکار ساز ویژگی	۳۳
۳-۲ توصیفگر ویژگی	۳۷
۳-۲-۱ الگوی نمونه برداری و تخمین جهت ویژگی	۳۸
۳-۲-۲ ساخت توصیفگر	۴۱
۳-۳ تطبیق نقاط کلیدی	۴۱
۳-۴ خلاصه و نتیجه‌گیری	۴۲
فصل چهارم: روش‌های پیشنهادی	٤٣

۴-۱ توصیفگر جدید DP-BRISK ۴۴
۴-۱-۱ فضای مقیاس آشکارساز ویژگی ۴۴
۴-۱-۲ تخمین جهت ویژگی ۴۵
۴-۱-۳ ساخت توصیفگر روش پیشنهادی اول ۴۸
۴-۱-۴ الگوریتم تطبیق نقاط کلیدی ۵۰
۴-۱-۵ آزمایش و ارزیابی توصیفگر DP-BRISK ۵۰
۴-۲ توصیفگر جدید DPML-RISK ۶۰
۴-۲-۱ ساخت بردار توصیفگر روش پیشنهادی دوم ۶۱
۴-۲-۲ الگوریتم تطبیق نقاط کلیدی ۶۲
۴-۲-۳ ارزیابی توصیفگر DPML-RISK ۶۲
۴-۳ مقایسه توصیفگرها ۶۸
۴-۴ خلاصه و نتیجه‌گیری ۷۳
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷٤
۵-۱ مروری بر پایان‌نامه ۷۴
۵-۲ پیشنهادها ۷۶
واژه‌نامه ۷۷
مراجع ۸۰

فصل اول
مقدمه

ثبت تصویر[1] عبارت است از روی هم قرار دادن دو تصویری که در دو زمان متفاوت و یا از دو سنسور مختلف یا از دو نقطه نظر متفاوت بدست می‌آید. اگر تصویر را یک آرایه دو بعدی با اندازه معلوم در نظر بگیریم، هر نگاشت بین شدت روشنایی متناظر در هر دو آرایه را ثبت می‌گویند[۱]. ثبت به مفهوم بالا کاربردهایی بسیاری در زمینه‌ی تصویربرداری پزشکی رباتیک و غیره دارد.

در این فصل ابتدا روش‌های مختلف ثبت تصاویر را بیان می‌کنیم، سپس جایگاه پژوهشی انجام شده در بین روش‌های معمول تبیین می‌گردد.

۱-۱ انواع روش‌های ثبت

به طور کلی کاربردهای ثبت تصاویر را می‌توان به چهار دسته زیر بر اساس روش تصویربرداری تقسیم نمود [۲]:

۱- دیدگاه متفاوت[2]

در این روش تصاویری با نماهای مختلف از یک منظره گرفته می‌شود. هدف از این روش بدست آوردن نمای دو بعدی وسیع یا نمایش سه بعدی از یک منظره می‌باشد. کاربرد این روش در سنجش از راه دور[3]

[1] Image registration
[2] Different viewpoints
[3] Remote sensing

برای بهم چسباندن تصاویر نقشه‌های هوایی و در ماشین بینایی[۱] برای بازشناسی اشیاء در تصاویر استریو می‌باشد.

۲- زمان مختلف[۲]

در این روش از یک منظره در دو زمان مختلف و معمولاً در شرایط مختلف تصویر برداری می‌شود. هدف از این نوع ثبت پیدا کردن و ارزیابی تغییرات در تصاویر به دست آمده از یک دنباله‌ی ویدیویی می‌باشد. نمونه‌ای از کاربردهای این روش در سنجش از راه دور برای ساخت نقشه کلی و در ماشین بینایی برای آشکارسازی خودکار تغییرات در تصاویر برای کاربردهای امنیتی و ردیابی حرکت می‌باشد.

۳- سنسورهای متفاوت[۳]

در این روش تصاویر از سنسورهای متفاوتی از یک منظره بدست می‌آید. از این روش ثبت، برای به دست آوردن جزییات بیشتر از ترکیب اطلاعات سنسورهای مختلف، استفاده می‌شود. مانند ترکیب تصاویر گرفته شده از باندهای مختلف در تصاویر سنجش از راه دور و یا در تصویر برداری پزشکی ترکیب تصاویر PET[۴] و MRI[۵] از کاربردهای این دسته می‌باشد.

۴- ثبت تصاویر با مدل مرجع[۶]

در این روش تصاویر یک منظره با مدل‌هایی از آن منظره بر هم ثبت داده می‌شوند. این مدل‌ها می‌توانند یک نمایش کامپیوتری از منظره مثلاً نقشه یا منظره‌ای دیگر با محتوای یکسان (مثل بدن بیماری دیگر) باشند. هدف این ثبت معمولاً مقایسه بین تصاویر و مدل‌های مرجع آن می‌باشد و کاربردهایی مانند سنجش از راه دور برای ثبت تصاویر هوایی با نقشه‌ها یا دیگر لایه‌های GIS[۷] و در بینایی ماشین ثبت الگوها با تصاویر واقعی و در تصویر برداری پزشکی مقایسه تصاویر واقعی با اطلس آناتومی دیجیتالی بدن انسان را دارا می‌باشد.

به علت تنوع تصاویر و انواع گوناگون تخریب‌های تصاویر، ما نمی‌توانیم به صورت کلی یک روش کاربردی را برای همه‌ی روش‌های ثبت طراحی کنیم. هر روش طراحی شده برای ثبت به نوع تبدیل هندسی بین تصاویر، مقدار خرابی نویز، میزان دقت و کاربرد آن روش وابسته است. با این حال ثبت شامل چهار مرحله می‌باشد[۲]:

---

[1] Machine vision
[2] Different times
[3] Different sensors
[4] Positron Emission Tomography
[5] Magnetic resonance image
[6] Scene to model registration
[7] Geographic Information System

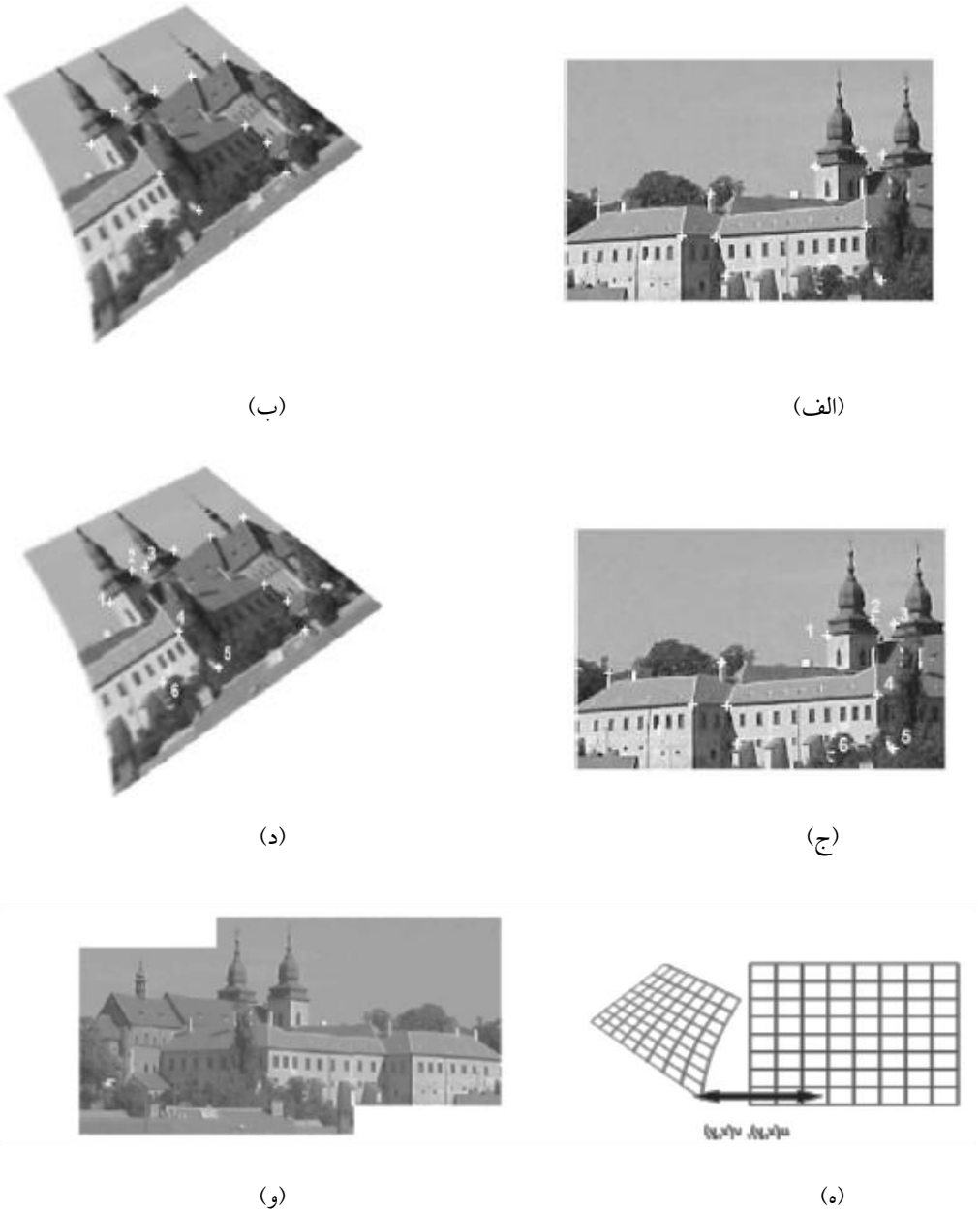
۱. آشکارسازی ویژگی[1]
۲. انطباق دادن ویژگی[2]
۳. تخمین مدل تبدیل[3]
۴. دوباره نمونه برداری کردن و تبدیل تصویر[4]

پیاده سازی هر مرحله از الگوریتم ثبت مشکلات خودش را دارا می‌باشد. برای ساخت یک ثبت اولاً ما باید تصمیم بگیریم که چه نوع ویژگی‌ای برای کار ما مناسب می‌باشد. این ویژگی‌ها باید متمایز و در سرتاسر تصویر پخش شده باشند تا به راحتی قابل آشکارسازی باشند. معمولاً ویژگی‌هایی با قابلیت تفسیر فیزیکی مورد نیاز است. همچنین مجموعه‌ی ویژگی‌های آشکار شده در هر دو تصویر مرجع و دریافتی باید به اندازه‌ی کافی دارای المان‌های مشترک باشند، حتی در مواقعی که تصویر دریافتی به صورت کامل منظره تصویر مرجع را پوشش ندهد. روش‌های آشکارسازی باید دارای دقت خوب مکان‌یابی نیز باشند. همچنین این مکان‌یابی نباید به تبدیل فرضی تصویر حساس باشند. در حالت ایده آل، الگوریتم باید قادر به آشکارسازی ویژگی‌های یکسان در همه تصاویر صرف نظر از نوع تخریب در آن‌ها باشد.

در مرحله‌ی تطبیق ویژگی، مشکلاتی به علت استفاده‌ی آشکارسازی ویژگی نامناسب یا تخریب‌های تصویر می‌تواند به وجود بیاید. به طور فیزیکی ویژگی‌های متناظر، به علت شرایط تصویر برداری مختلف و یا به علت حساسیت طیفی مختلف در سنسورها، می‌توانند متفاوت باشند. باید در انتخاب یک توصیفگر و اندازه‌گیر شباهت، این عوامل را نیز در نظر گرفت. توصیف‌های ویژگی باید غیر قابل تغییر با تخریب فرضی باشد و همچنین باید به اندازه کافی پایدار باشند تا تحت تأثیر اندکی تغییرات و نویز تغییر نکند. همچنین توصیفگر باید تغییرناپذیر باشد به این معنی که نقاط ویژگی متناظر در تصویر مرجع و دریافتی، را به یک شکل توصیف کند. همچنین ویژگی‌های منفرد بدون متناظر در تصاویر نباید بر عملکرد ثبت اثر بگذارد.

شکل زیر چهار مرحله‌ی ثبت را نشان می‌دهد. قسمت (الف) و (ب) تصاویر دریافتی و مرجع را به همراه ویژگی‌های آشکار شده و قسمت (ج) و (د) ویژگی‌های متناظر در دو تصویر را شماره‌گذاری می‌کند. در قسمت (ه) مدل تخریب تصویر را بدست می‌آورد و تصویر دریافتی را دوباره نمونه برداری کرده و درقسمت (و) تصاویر را بر هم ثبت می‌کند.

[1] Feature detection
[2] Feature matching
[3] Transform model estimation
[4] Image resampling and transformation



(الف) (ب)

(ج) (د)

(ه) (و)

شکل ۱-۱) چهار مرحله کلی ثبت. (الف) و (ب) آشکارسازی ویژگی، (ج) و (د) انطباق ویژگی، (ه) تخمین مدل تبدیل و دوباره نمونه برداری کردن و (و) ثبت کردن دو تصویر[۲].

۱-۱-۱ آشکارسازی ویژگی[1]

ویژگی در تصویر به معنای، مکان یا خصوصیتی از تصویر است که به طور ادراکی جالب توجه یا به عبارت دیگر نقاط انتزاعی در تصویر گفته می‌شود[۲]. از این رو آشکارسازی ویژگی یکی از مهم‌ترین مسائل اخیر پردازش

[1] Feature Detection

تصویر می‌باشد. بیشتر مواقع این مرحله به وسیله‌ی یک کارشناس به صورت دستی انجام داده می‌شود. معمولاً آشکارسازی ویژگی را در دو گروه زیر دسته بندی می‌کنند[۲]:

۱) رویکردهای مبتنی بر سطح[۱] که خود به دو گروه الگوریتم‌هایی که به طور مستقیم از مقادیر پیکسل‌ها استفاده می‌کنند مانند روش همبستگی[۲] و الگوریتم‌هایی که در حوزه فرکانس کار می‌کنند مانند روش‌های مبتنی بر FFT[۳] و موجک.

۲) رویکردهای مبتنی بر ویژگی[۴] که به دو رویکرد ویژگی‌های سطح پایین از قبیل الگوریتم‌های آشکار ساز لبه، گوشه و خط و ویژگی‌های سطح بالا مانند الگوریتم‌های شناسایی اشیاء تقسیم بندی می‌شود.

همچنین ما می‌توانیم الگوریتم‌های آشکارسازی ویژگی را با دو ویژگی عمومیت[۵] و قدرت[۶] توصیف کنیم [۳]. ویژگی عمومیت در مورد الگوریتم‌هایی بیان می‌شود که برای اکثر کاربردها قابلیت پیاده سازی داشته باشند و ویژگی قدرت بیان کننده‌ی خروجی قابل قبول برای الگوریتم می‌باشد که این ویژگی قابل اطمینان بودن الگوریتم را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های سطح پایین معمولاً به سه دسته، ویژگی‌های ناحیه‌ای، ویژگی‌های خطی و ویژگی‌های نقطه‌ای تقسیم بندی می‌شوند [۲]. روش‌های همبستگی معمولاً دارای سرعت پایینی نسبت به رویکردهای مبتنی بر ویژگی دارا می‌باشد و برای تصاویری استفاده می‌شود که در آن ویژگی ای وجود ندارد یا اهداف بسیار کوچک می‌باشد.

هسته الگوریتم آشکارکننده‌های ویژگی‌های نقاط، در اکثر موارد به دنبال تعریف کردن «نقطه» به صورت تقاطع خطوط، مرکز ناحیه مرز بسته یا ماکسیمم‌های محلی تبدیل موجک هستند. گوشه یک کلاس خاصی از این دسته ویژگی‌ها می‌باشد زیرا ویژگی‌های گوشه بودن خیلی سخت در ریاضیات تعریف می‌شود (به طور ادراکی، گوشه‌ها نقاطی با بیشترین انحنا در یک ناحیه مرزی می‌باشند[۲]). تلاش زیادی برای دقت، قدرت و سرعت بخشیدن به الگوریتم‌های آشکارساز گوشه می‌شود. همچنین به دلیل تغییر ناپذیری گوشه‌ها در هندسه تصویر برداری و درک راحت آن‌ها به وسیله کارشناس‌ها برای نقاط کنترلی[۷] استفاده می‌شود.

میکولایجک و اشمیت[۸][۴] گوشه یابی بر اساس ماتریس هسین را معرفی کردند که نسبت به تغییرات مستوی پایدار می باشد. این الگوریتم از مشتقات مرتبه‌ی دوم برای آشکارسازی استفاده می‌کند. آشکارساز هریس توسط

---

[1] Area-based methods
[2] Correlation method
[۳] Fast Fourier transform (FFT)-based methods
[4] Feature-based methods
[5] Generality
[6] Robustness
[7] Control Poins (Cps)
[8] Mikolajczyk and Schmid

هریس و استفن [1] در [۵] ارائه شد. این الگوریتم، ماتریس ممان دوم را برای آشکارسازی نقاط کلیدی به کار می‌برد. روش سوسان[2] توسط اسمیت و بریدی[3] [۶] برای آشکارسازی گوشه و لبه معرفی گردید. معیار استفاده شده در این روش نسبت اندازه ناحیه هم رنگ با پیکسل مرکزی با نواحی غیر هم رنگ همسایگی اطراف آن پیکسل در یک ناحیه دیسکی می‌باشد. راستن و دراموند[4] با الهام از روش سوسان، روش FAST [5]را معرفی کردند[۷]. در این روش به جای ارزیابی کل ناحیه دیسک، فقط پیکسل‌هایی را که بر روی دایره‌ای با یک شعاع مشخص است، را مورد بررسی قرار می‌دهد.

تعداد نقاط آشکار شده در روش‌های بالا می‌تواند خیلی زیاد باشند که این امر باعث افزایش زمان محاسباتی برای ثبت می‌شود. از این رو تعدادی روش برای انتخاب زیر مجموعه کارآمدی از نقاط (بهتر از تصادفی) که به کیفیت نتیجه تطابق ضربه نزند ارائه شده است که می‌توان از آن‌ها به روش اهلرز[6] [۲] اشاره کرد که نقاط نزدیک به هم را داخل خوشه‌هایی (دسته‌هایی با تراکم زیاد) ادغام کرد و با این کار تعداد نقاط ویژگی را کاهش داد.

به طور خلاصه اگر تصاویر دارای تمایز کافی باشد و اشیاء به راحتی قابل تشخیص باشد استفاده از روش‌های مبتنی بر ویژگی توصیه می‌شود. موارد استفاده این روش در کاربردهای سنجش از راه دور[7] و بینایی ماشین است.

تصاویر پزشکی بر خلاف تصاویر معمولی دارای جزییات زیادی نیستند از این رو روش مبتنی بر سطح استفاده می‌شود. برخی مواقع برای فقدان تمایز اشیاء در تصاویر پزشکی از یک متخصص و یا یک ویژگی خارجی (مانند نشان گر پوست، پیچ و غیره) استفاده می‌شود. اخیراً روش‌هایی که به طور همزمان از روش‌های مبتنی بر سطح و ویژگی استفاده می‌کنند در حال افزایش هستند[۲].

۱-۱-۲ تطبیق ویژگی[8]

ویژگی‌های آشکار شده در دو تصویر دریافتی و مرجع می‌توانند، به وسیله مقادیر روشنایی تصویر در همسایگی‌های ویژگی، توزیع فضایی ویژگی‌ها یا توصیفگرها بر هم مطابقت یابند. برخی روش‌ها در حالی به دنبال ویژگی‌های متناظر هستند به طور همزمان پارامترهای تابع نگاشت را تخمین می‌زند و از این رو مرحله دوم و سوم را در هم ادغام می‌کنند.

---

[1] Harris and Stephens
[2] Susan
[3] Smith and Brady
[4] Rosten and Drummond
[5] Features from Accelerated Segment Test
[6] Ehlers
[7] remote sencing
[8] feature matching

❖ روش‌های مبتنی بر سطح[1]

روش مبتنی بر سطح بعضی وقت‌ها، روش همبستگی[2] یا تطبیق قالب[3] نیز نامیده می‌شود [۲] و مرحله آشکارسازی ویژگی را با مرحله‌ی تطبیق ادغام می‌کنند. این روش‌ها تلاشی برای آشکارسازی ویژگی بر روی تصاویر دریافتی و مرجع انجام نمی‌دهند.

محدودیت روش مبتنی بر سطح از ایده اصلی آن سرچشمه می‌گیرد. اولاً پنجره‌ی مستطیلی که اغلب استفاده می‌شود مناسب ثبت تصاویری است که به طور محلی فقط با یک انتقال تخریب شده باشد. اگر تصاویر به وسیله‌ی یک تبدیل پیچیده‌تری تخریب شوند دیگر این نوع پنجره قادر به حل آن نیست. برخی از محققین از پنجره‌ی دایروی برای حل تخریب‌های حاصل از چرخش استفاده می‌کنند[۲].

مشکل دیگر روش مبتنی بر سطح این است که اکثر مواقع دو پنجره مختلف از نظر محتوا با هم برابر می‌شوند که این امر باعث ثبت خطا در تصویر می‌شود. برای حل این مشکل پنجره‌ها را بر اساس، محتوایشان انتخاب می‌شود.

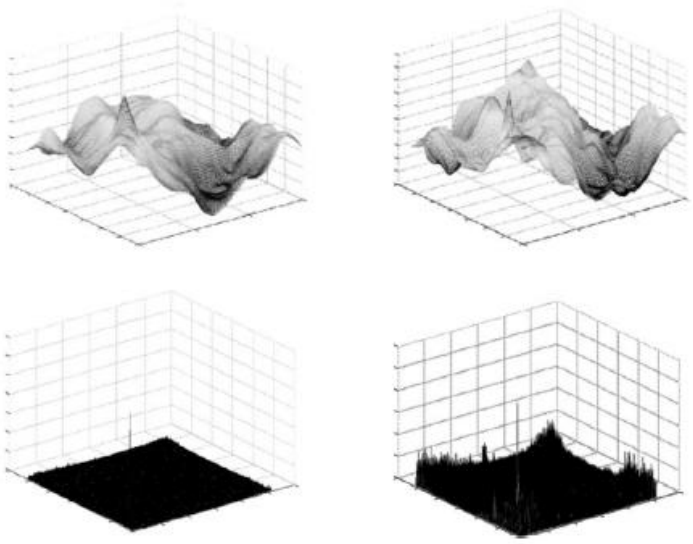
اگر سرعت محاسبات مهم باشد و یا تصویر با یک نویز رنگی تخریب شده باشد می‌توان از روش همبستگی در حوزه‌ی فرکانس استفاده کرد. در این روش از نمایش تبدیل فوریه در حوزه‌ی فرکانس استفاده می‌شود. روش همبستگی فاز بر اساس قضیه شیفت فوریه است [۸] و در برابر چرخش، مقیاس و جابجایی تا حدودی تغییرناپذیر می‌باشد.

یکی دیگر از روش‌های مبتنی بر سطح روش اطلاع متقابل[4] است که معمولاً برای ثبت در تصاویری که از چند سنسور بدست آمده به کار می‌رود. این نوع ثبت یکی از مشکل‌ترین کارها در پردازش تصاویر پزشکی می‌باشد. روش اطلاعات متقابل از تئوری اطلاعات سرچشمه گفته شده و یک اندازه‌ی وابستگی آماری بین دو مجموعه داده را نشان می‌دهد.

اطلاعات متقابل بین دو متغیر تصادفی X و Y به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MI(X,Y) = H(Y) - H(Y|X) = H(X) + H(Y) - H(X,Y) \qquad (۱-۱)$$

[1] Area-based methods
[2] Correlation-Like
[3] Template Matching
[4] Mutual information



شکل ۱-۲) نمونه‌ای از روش‌های مبتنی بر سطح، ردیف بالا روش همبستگی متقابل و ردیف پائین روش همبستگی فاز [۲].

که در آن

$$H(X) = -E_x(\, Log(\, P(X))) \qquad (۲-۱)$$

آنتروپی متغیر تصادفی X را نشان می‌دهد و $P(X)$ تابع احتمال توزیع X می‌باشد. این روش بر اساس بیشینه کردن MI کار می‌کند.

❖ روش‌های مبتنی بر ویژگی

روش مبتنی بر ویژگی به روش‌هایی گفته می‌شود که برای ویژگی‌های بدست آمده در مرحله‌ی قبل، بردار توصیف کننده‌ای می سازند و برای تطبیق این ویژگی‌ها بردارها را با هم مقایسه می‌کنند. این توصیف‌ها باید نسبت به برخی تخریب‌ها، تغییرناپذیر باشند تا برای ویژگی‌های متناظر یک بردار یکتا بسازد همچنین باید به اندازه کافی پایدار باشند تا تحت تأثیر مقدار اندکی تغییرات و نویز تغییر نکند.

توصیف‌کننده‌ها می‌توانند از اطلاعات شدت روشنایی و یا گرادیان پیکسل‌های اطراف ویژگی برای ساخت بردار استفاده کنند. دیوید لوو[1] در دانشگاه بریتیش کلمبیا[2] الگوریتم SIFT را معرفی کرد [۹]. این الگوریتم از یک بردار ۱۲۸ المانی از هیستوگرم گرادیان برای توصیف ویژگی‌ها استفاده می‌کند. بای[3] و همکارانش در [۱۰] روش ثبت SURF[4] را معرفی کردند. در این الگوریتم از موجک هار[5] برای توصیف نقاط کلیدی استفاده شده است.

[1] David Lowe
[2] University of British Columbia
[3] Bay
[4] Speeded Up Robust Features
[5] Haar-wavelet

توصیفگر باینری از برداری باینری برای توصیف ویژگی‌ها استفاده می‌کنند. همچنین این توصیفگر ها برای مقایسه، فاصله‌ی همینگ دو بردار را محاسبه می‌کنند که این کار توسط اپراتور منطقی یای انحصاری[۱] انجام می‌گیرد. ازجمله توصیفگرهای باینری می‌توان به BRIEF [۲][۱۱]، BRISK [۳][۱۲]، ORB [۴][۱۳] و FREAK [۵][۱۴] اشاره کرد. این توصیفگرها روشنایی‌های اطراف ویژگی‌ها را به بردارهای باینری تبدیل می‌کنند و به علت سرعت بالا در ثبت (استفاده از اپراتور منطقی یای انحصاری) امروزه کاربردهای فراوانی پیداکرده‌اند.

۱-۲ نوآوری پایان نامه

در این پایان نامه الگوریتم جدید DP-BRISK و DPML-RISK برای ثبت تصاویر ارائه شده است. این الگوریتم از دو قسمت آشکارساز و توصیفگر نقاط‌کلیدی تشکیل شده است. در قسمت آشکارساز نقاط کلیدی، ما از الگوریتم DOG [۶]استفاده می‌کنیم ولی به طور کلی از هر آشکارساز نقاط‌کلیدی که نسبت به تغییر مقیاس غیر حساس باشد می‌توان استفاده کرد.

توصیفگر الگوریتم DP-BRISK از الگویی جهتی برای ساخت بردار خروجی استفاده می‌کند برای همین ما نام این توصیفگر را به اختصار الگوی جهتی [۷]می‌نامیم. برای این کار جهت گرادیان نقطه‌ی کلیدی را بدست می‌آوریم این جهت بیشترین تغییرات روشنایی را نشان می‌دهد. الگوی جهتی را در راستای نقطه‌ی کلیدی قرار می‌دهیم. این کار باعث می‌شود اطلاعات بیشتری در ساخت بردار دخیل شود و الگوریتم قدرت تمایز بیشتری کسب کند.

توصیفگر DPML-RISK[۸] از بردار چند سطحی به جای برداری باینری استفاده می‌کند. استفاده از تابعی چند سطحی باعث می‌شود اطلاعات بیشتری از روشنایی‌های اطراف علاوه بر الگوی جهتی استفاده بشود. این توصیفگر پارامتری برای تنظیم چند سطحی بودن مقادیر بردارهای خروجی دارد که با تغییر آن، می‌توان خروجی توصیفگر را به کدی باینری یا دو سطحی تبدیل کرد تا فضای کمی نیاز داشته باشد.

---

[1] xor
[2] Binary robust independent elementary features
[3] Binary robust invariant scalable keypoints
[4] Oriented FAST and Rotated BRIEF
[5] Fast Retina Keypoint
[6] Difference-of-Gaussian
[7] Directional pattern
[8] Directional pattern Multi Level Robust Invariant Scalable Keypoints

۱-۳ ساختار پایان‌نامه

روند نگارش این پایان نامه به این صورت است که در فصل دوم الگوریتم‌های ثبت را مرور می‌کنیم و پس از توضیح الگوریتم ثبت SIFT، که یکی از الگوریتم های مطرح در این زمینه می‌باشد به بررسی دیگر روش‌های آشکارسازهای نقاط کلیدی و توصیفگرها می‌پردازیم و معایب و مزایای آنها را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. در فصل سوم روش ثبت BRISK را به تفصیل مورد بررسی قرار می‌دهیم.

روش‌های پیشنهادی این پایان‌نامه در فصل چهارم بیان شده است؛ در این فصل به معرفی الگوریتم جدید DP-BRISK و DPML-RISK می‌پردازیم و آن را با الگوریتم BRISK مقایسه و ارزیابی می‌کنیم. در فصل آخر نتایج ارزیابی را مورد بررسی قرار می دهیم.

فصل دوم
مروری بر الگوریتم‌های ثبت تصاویر

همان طور که در فصل اول بیان شد ثبت دو تصویر از دو مرحله‌ی اساسی تشکیل شده است. مرحله‌ی اول الگوریتم باید ویژگی‌هایی را آشکارسازی کند. این ویژگی‌ها می‌توانند ناحیه، نقطه و یا خط باشند که بر اثر تخریب‌هایی از جمله تغییر شدت روشنایی، چرخش و غیره مقاوم باشند. اگر ویژگی‌ها از نوع نقطه باشند به آن‌ها "نقاط کلیدی [1]" می‌گوییم. نقاط کلیدی می‌توانند گوشه و یا نقاط اکسترمم پاسخ تصویر به یک تابع باشند.

برای هر نقطه‌ی‌کلیدی، یک بردار از اطلاعات پیکسل‌های همسایگی نقطه‌ی کلیدی محاسبه می‌شود. اطلاعات همسایگی های نقاط‌ی کلیدی می تواند رنگ، شدت روشنایی، هیستوگرام گرادیان و غیره باشد. این اطلاعات باید به گونه‌ای کد شود که نسبت به برخی تغییرات از جمله روشنایی و نقطه ی دید ثابت بماند و در عین حال به اندازه‌ی کافی بین توصیف دیگر نقاط متمایز شود.

به طور کلی توصیفگرهای مبتنی بر ویژگی باید دارای ویژگی‌های تغییرناپذیری، یگانگی، پایداری و استقلال باشد [۲]. تغییرناپذیری در توصیفگرها به این معنی می‌باشد که نقاط ویژگی متناظر در تصویر مرجع و دریافتی، را به یک شکل توصیف کند. همچنین در ویژگی یگانگی توصیفگر باید دو ویژگی متفاوت را با توصیف‌های مختلف ارائه دهد. توصیفگری پایدار است که اگر به طریقی توصیف یک ویژگی تغییر جزئی کرد باید به توصیف اصلی آن ویژگی نزدیک باشد. اگر توصیف یک ویژگی به صورت یک بردار باشد برای داشتن ویژگی استقلال در این توصیفگر باید المان‌های آن بردار از هم مستقل باشند.

[1] Keypoint