

تشخیص محل مقره در تصاویر خطوط انتقال مبتنی بر استخراج ویژگی HOG و طبقه بندی کننده SVM

صابر داودآبادی^۱، علی محمد فتوحی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک، دانشگاه تفرش، sbr@tafreshu.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تفرش، fotouhi@tafreshu.ac.ir

چکیده - تشخیص و مکان یابی اتوماتیک مقره در تصویر به منظور بازرسی هوشمند از خطوط انتقال هوایی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و پیش نیازی جهت تشخیص نقص و شکستگی در مقره می باشد. در این مقاله روش جدیدی برای یافتن محل مقره در تصاویر خطوط انتقال براساس توصیفگر HOG و دسته بندی کننده SVM ارائه شده است. در مرحله اول، با توجه به ساختار مقره و استفاده از تبدیل هاف، تخمینی از جهت کلی مقره بدست می آوریم. پس از پرخش تصویر به اندازه زاویه استخراجی، در هر یک از ناحیه های تصویر، ویژگی های فشرده سازی شده HOG را استخراج کرده و توسط SVM اقدام به طبقه بندی آنها می نماییم تا حضور یا عدم حضور کلاه مقره در ناحیه مورد نظر مشخص گردد. توصیفگر HOG، توصیفگری سراسری مبتنی بر گرادیان بوده و به دلیل قابلیت بالای آن در پس زمینه های پیچیده از این توصیفگر بهره گرفته شده است. سرانجام با بکارگیری چندین معیار، تشخیص های غلط حذف می گردند. نتایج پیاده سازی روش پیشنهادی بر روی پایگاه داده تشکیل شده ای از حدود ۳۰۰ تصویر از انواع مقره های عبوری با شرایط و زوایای تصویربرداری متفاوت، بیانگر کارایی این روش در تشخیص محل مقره در تصویر می باشد.

کلید واژه- تبدیل هاف، خطوط انتقال هوایی، ماشین های بردار پشتیبان SVM، مقره، هیستوگرام گرادیان های جهت دار HOG

نظر ولتاژ و جریان ناشی تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه موجب خسارات سنگین به شبکه انتقال برق می شوند. شکست کامل مقره نیز اتصال خط به زمین (L-G) و همچنین قطع برق را بدنبال خواهد داشت. از این رو اطمینان از سلامت مقره ها بخصوص در شرایط بد آب و هوایی از اهمیت خاصی برخوردار است.

استفاده از روش های بازرسی مبتنی بر تصویر، علاوه بر کاهش حجم کار بازرسی های دوره ای و هزینه های صرف شده برای این منظور، موجب افزایش بازده و کارایی خطوط انتقال خواهد شد. شناسایی محل مقره در تصویر، پیش نیاز تشخیص عیوب احتمالی اعم از نقص های خارجی همچون شکستگی (که غالباً در اثر صاعقه ایجاد می شود)، آزاد شدن بشقاب ها، آلودگی سطحی، ترک و سایر موارد مشابه در مقره می باشد. در این مقاله روشی مبتنی بر استخراج ویژگی های HOG^۲ و دسته بندی آنها توسط SVM^۳ برای تشخیص محل مقره در تصویر ارائه شده است. در ادامه، در بخش ۲ مروری بر کار های گذشته صورت می گیرد. بخش ۳ به بیان روش پیشنهادی جهت شناسایی محل مقره اختصاص یافته است. در بخش ۴ نتایج پیاده سازی الگوریتم

۱- مقدمه

از آنجا که خطوط انتقال هوایی به صورت گسترده ای توزیع شده اند و اغلب خارج از شهرها و در محیط طبیعی و مناطق خالی از سکنه قرار دارند؛ تجهیزات انتقال به مدت طولانی در معرض تنش های مستمر مکانیکی، تخلیه الکتریکی، فرسایش و خوردگی خواهند بود. اگر قطعات و تجهیزات آسیب دیده به موقع تعمیر یا جایگزین نشوند، ممکن است یک نقص یا خطای کوچک گسترش یافته و منجر به حوادث خطرناک و خاموشی های بزرگ شود. این امر علاوه بر اثرات اجتماعی جدی که بدنبال دارد، ممکن است فعالیت های اقتصادی یک کشور را از فعالیت ببندازد. لذا نظارت کامل بر شبکه توزیع برق و بویژه خطوط انتقال با بکارگیری روش های نوین، یکی از موضوعاتی است که همواره باید مورد توجه قرار گیرد.

یکی از اساسی ترین تجهیزات در خطوط انتقال، مقره ها^۱ می باشند که با توجه به دارا بودن مقاومت الکتریکی بالا، بین هادی برق دار و سازه های نگهدارنده قرار می گیرند. مقره های آسیب دیده، کارایی سیستم توزیع را به طور قابل ملاحظه ای از

^۲ Histogram of Oriented Gradients

^۳ Support Vector Machine

^۱ Insulators

پیشنهادی ارائه می شود و نهایتاً، بخش ۵ به نتیجه گیری و جمع بندی مطالب اختصاص یافته است.

۲- مروری بر کارهای پیشین

[۱ و ۲] از روشی استفاده می کنند که امکان پردازش بیشتر و با سرعت بالا را فراهم می آورد، اما مکان یابی این روش ها به یک سناریوی خاص به عنوان مثال پس زمینه بدون بافت یا دوربین رو به آسمان محدود می باشد و از این رو در پس زمینه های پیچیده خوب عمل نکرده و بسیار غیردقیق هستند. Kawamura و همکارانش در [۳]، روشی را به منظور مکان یابی دقیق مقره ها مبتنی بر تطبیق الگوی ۳D، جهت تعامل با ربات منتشر نمودند. این روش هزینه محاسباتی بالایی داشته و به طور خاص برای امر مکان یابی ۳D طراحی شده است. روشی ساده به منظور تشخیص مقره توسط Zhang و همکاران وی در [۴] ارائه شده است. در این روش از آستانه گذاری رنگ استفاده می شود، اما این روش فقط قادر به تشخیص مقره های شیشه ای می باشد که با مشخصه رنگ تعیین شده مطابقت دارند. علاوه بر این به پارامتر آستانه ای نیاز دارد که به صورت مطلوبی تنظیم شده باشد که کاربرد آن را به صورت قابل ملاحظه ای محدود می سازد. Yang و Zhang در [۵]، از توصیفگر SESIF^۴ و Li و همکاران در [۶]، از MPEG-7 EHD^۵ بهبود یافته به منظور تشخیص مقره استفاده نمودند. هر دو روش، توصیفگرهای لبه را روی یک شبکه متراکم محاسبه کرده که تعداد زیادی تشخیص مثبت کاذب ایجاد می کنند؛ بنابراین قابلیت اجرای محدودی در محیط های پیچیده دارند. علاوه بر این توصیفگرهای لبه به اندازه کافی متمایز کننده نیستند که این امر توسط نرخ بالای مثبت کاذب آنها مشخص می گردد. Zhao و همکارانش در [۷] از یک میدان تصادفی مارکوف برای مدل کردن ساختار هندسی تکرار شونده یک مقره استفاده کردند، که در محیط های شلوغ، تغییرناپذیر و مقاوم عمل می کند. نتایج این روش تنها برای مقره های ترکیب شده در گروه های دو یا چهارگانه ارائه شده است و در حالیکه بسیاری از مقره ها به تنهایی به خطوط متصل شده اند، این روش نمی تواند مدل های هندسی خود را مقداردی اولیه کرده و در تشخیص با خطا مواجه خواهد شد.

Wu و همکارانش در [۸]، از کمینه سازی سراسری مدل کانتور فعال (GMAC) جهت بخش بندی تصویر مقره استفاده

نمودند. در روش آنها کیفیت بخش بندی مقره در پس زمینه های پیچیده مطلوب می باشد، ولی با این حال الگوریتمی که از ویژگی های سراسری به منظور بخش بندی تصویر استفاده می کند، به ویژه در تصاویری با وضوح بالا، به زمان محاسباتی زیادی نیاز دارد.

۳- تشخیص محل مقره در تصویر

از دیدگاه تشخیص، مقره ها اشیایی با بافت کم هستند که این امر تشخیص آنها را در تصویر سخت می سازد. در مقابل مقره، دارای یک فرم سخت و محکم با ساختار هندسی تکرار شونده و شکل مدور متمایز برای هر کلاه می باشد که این ویژگی ها می توانند در مکان یابی^۶ مقره مورد استفاده قرار گیرند. در شکل ۱، دو نمونه از تصاویر مقره نشان داده شده است.



شکل ۱: نمونه هایی تصاویر مقره

در این مقاله، به منظور تشخیص محل مقره در تصویر، ابتدا زاویه ی کلی مقره را بدست آورده، با چرخش تصویر به اندازه زاویه استخراج شده، توصیفگر HOG در تصویر ورودی محاسبه می شود. محل دقیق محل مقره، با اعمال توصیفگرهای حاصل به مدل آموزش داده شده SVM در مرحله آموزش و پس از حذف تشخیص های غلط شناسایی می شود. در شکل ۲، نمایی کلی از مراحل تشخیص مقره نشان داده شده است. در ادامه هریک از مراحل الگوریتم پیشنهادی بررسی می شوند.

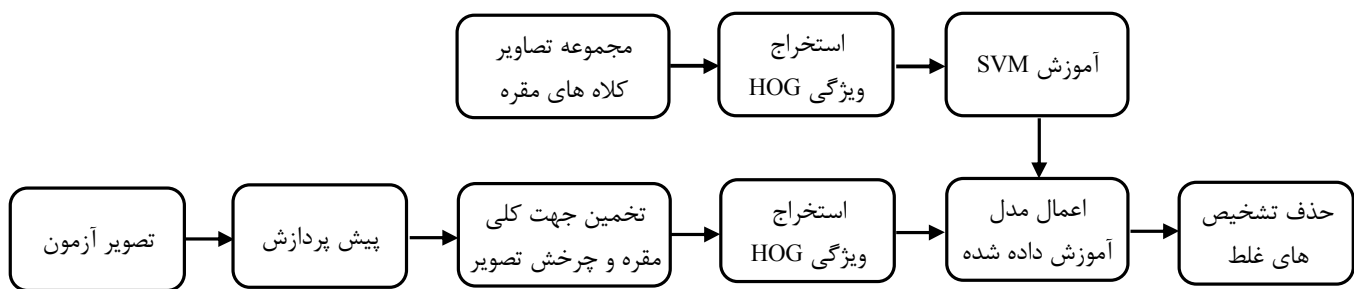
۳-۱- تخمین جهت کلی مقره

اولین مرحله در شناسایی محل مقره، تخمین جهت کلی آن می باشد. چرخش تصویر با زاویه استخراجی به دلیل آنکه توصیفگر HOG مورد استفاده حساس به چرخش است، ضروری می باشد. غالباً ساختار مقره به گونه ای است که در کل تصویر امتداد دارد. این امر می تواند برای تخمین جهت کلی مقره مورد استفاده قرار گیرد. برای این منظور عملیات مورفولوژی به همراه

^۴ SUSAN edge-based scale invariant feature

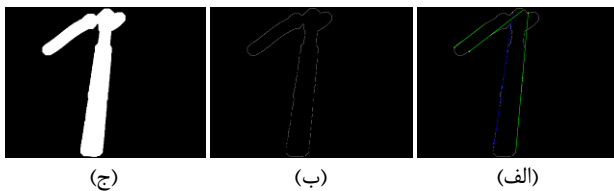
^۵ MPEG-7 edge histogram descriptor

^۶ Localization



شکل ۲: نمایی کلی از مراحل تشخیص مکره در تصویر

موجود در تصویر که با رنگ آبی مشخص شده، 6.5° می باشد. بدین ترتیب تخمینی از جهت کلی مکره بدست خواهد آمد و از این جهت استخراجی به منظور تصحیح تصویر با چرخش آن استفاده می شود.



شکل ۳: (الف) شاکله استخراج شده مکره (ب) استخراج لبه های تصویر توسط عملگر Sobel (ب) اعمال تصویر هاف به تصویر خروجی مرحله قبل

۳-۲- استخراج ویژگی

به طور معمول، مسئله بازشناسی یک مورد خاص از شیء، با استخراج توصیفگرهایی از یک مجموعه پراکنده نقاط مورد توجه [۱۳] در تصویر و سپس تطبیق آنها با توصیفگرهای استخراج شده از سایر تصاویر مدنظر، انجام می شود. روش های مختلفی به منظور استخراج توصیفگر در تصاویر ارائه شده است [۱۴]. بسیاری از این روش ها همانند [۱۵] SIFT و [۱۶] SURF، جهت بازشناسی یک مورد خاص از شیء^۹، تطابق^{۱۰} و یا تشخیص نماهای مختلف یک جسم در دو یا چند تصویر متفاوت طراحی شده اند.

ویژگی های هیستوگرام گرادیان جهت دار (HOG) برای اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط Triggs و Dalal جهت شناسایی عابر پیاده در تصویر [۱۷]، ارائه و در سال ۲۰۱۰، Felzenszwalb و همکاران، مدل بخشی HOG را با ساختار ستاره ای به منظور تشخیص شیء در تصویر [۱۸] پیشنهاد نمودند و در تحقیقات اخیر نیز انواع دیگری از این روش استخراج ویژگی در کاربردهای مختلف معرفی شده است. HOG، نمایشی مختصر اما تغییرناپذیر از تصویر را به منظور بازشناسی اشیاء (به صورت عمومی) فراهم می آورد. جهت استخراج

اپراتور تشخیص لبه Canny به جهت استخراج لبه های مکره به کار گرفته شده است و سپس با استفاده از تبدیل هاف زاویه مکره در تصویر محاسبه خواهد شد.

۳-۱-۱- عملیات مورفولوژی

عملیات مورفولوژی^۷ [۹ و ۱۰]، ساختار هندسی دو بعدی تصویر را با استفاده از یک المان ساختاری مورد تغییر قرار داده و جهت استخراج اجزای مفید و یا حذف قسمت های زائد تصویر، بکار گرفته می شوند. در تصویر باینری شده مکره، همانطور که در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است، از مورفولوژی به منظور حذف قسمت های زائد تصویر و حفظ بخشی که در تصویر دارای بیشترین مساحت می باشد، بهره گرفته شده است.

۳-۱-۲- تبدیل هاف

به منظور تشکیل تصویر لبه مورد استفاده در تبدیل هاف، از عملگر Sobel [۱۱] استفاده می شود. این روش، از لحاظ دقت، از برتری قابل ملاحظه ای نسبت به عملگر Canny برخوردار نبوده ولی پیچیدگی محاسباتی کمتر و در نتیجه سرعت بالاتری دارد و با توجه به حذف نویز و قسمت های زائد تصویر در مرحله قبل در روش پیشنهادی پاسخ مطلوبی می دهد. شکل ۳ (ب) نتیجه اعمال این عملگر را به تصویر نشان می دهد. تبدیل هاف^۸ [۱۲]، به منظور تشخیص منحنی های مشخصی همانند خط، دایره، بیضی و ... در تصویر مورد استفاده قرار می گیرد. مزیت اصلی تبدیل هاف این است که قابلیت تحمل گسستگی در توصیف ویژگی های مرزی را دارا بوده و از این رو در برابر نویز مقاوم می باشد.

در الگوریتم پیشنهادی، تبدیل هاف، به تصویر خروجی عملگر Sobel اعمال شده تا با متصل کردن لبه های مستقیم، زاویه بلندترین پاره خط موجود در تصویر محاسبه شود. همانطور که در شکل ۳ (ج)، مشاهده می شود، زاویه بلندترین پاره خط

^۹ Object Recognition

^{۱۰} Matching

^۷ Morphology

^۸ Hough transform

ویژگی های HOG، ابتدا تصویر به بلوک هایی با ۵۰ درصد همپوشانی تفکیک و آنگاه هر بلوک به چهار سلول تقسیم خواهد شد. سپس در هر پیکسل، اندازه و زاویه گرادیان محاسبه می شود. در گام بعد، برای هر سلول، یک هیستوگرام ۹ ستونه از زوایای گرادیان موجود در آن سلول ساخته می شود که مقادیر هر ستون را مجموع اندازه های گرادیانی تشکیل می دهند که زاویه آنها با مقدار ستون یکسان باشد. در HOG پایه فقط از زاویه های گرادیان بدون جهت ($0^\circ - 180^\circ$) برای ایجاد هیستوگرام استفاده شده و در نهایت بردار ویژگی هر بلوک، با یکی از ضرایب نرمال سازی L1-norm یا L2-norm به هنجار می شود. از این رو در HOG پایه، برای هر سلول، ۴ هیستوگرام ۹ ستونه با چهار ضریب نرمال سازی متفاوت، به عنوان بردار ویژگی نهایی استخراج خواهد شد. علاوه بر این، در نوع دیگر HOG [۱۸] که در آن هم زاویه های گرادیان بدون جهت ($0^\circ - 180^\circ$) و هم زاویه های گرادیان جهت دار ($0^\circ - 360^\circ$) در تشکیل هیستوگرام زاویه سهم دارند؛ با اعمال فشردن سازی، برای هر سلول، تنها تعداد ۳۱ ویژگی در بردار ویژگی نهایی استخراج خواهد شد. به منظور افزایش سرعت تشخیص و همچنین کاهش پیچیدگی محاسباتی، در این مقاله از این روش جهت استخراج ویژگی در تصاویر مقرر استفاده شده است.

۳-۳-۱- تشخیص مقرر با استفاده از SVM

برای این منظور در تمامی تصاویر آموزشی، محل کلاه های مقرر به عنوان Ground Truth به تفکیک کلاه استخراج شده اند. در مرحله آموزش، برای تمامی تصاویر Ground Truth، ویژگی های HOG محاسبه شده و در ورودی SVM، به عنوان الگوهای مثبت مورد استفاده قرار می گیرند. پاسخ های منفی نیز به صورت ترتیبی و با کاوش سخت الگوهای منفی^{۱۲} طی چند مرحله جمع آوری می گردند. بدین ترتیب مدلی از یک کلاه مقرر آموزش داده خواهد شد. در مرحله آزمایش، پس از استخراج ویژگی از هر بلاک تصویر آزمون، این ویژگیها به مدل آموزش دیده اعمال شده تا مکان هایی از تصویر که کاندید وجود مقرر هستند، مشخص شوند. سرانجام مکان هایی که به غلط تشخیص داده شده اند با استفاده از روشی مشابه RANSAC^{۱۳} [۲۱] (بدلیل امکان وجود بیش از یک مقرر در یک تصویر، الگوریتم اصلی باید تغییر نماید) حذف خواهند شد. در این روش نواحی هماهنگ بر اساس معیار هم امتدادی و هم اندازه بودن حفظ و سایر نواحی حذف شده اند. از اجتماع نواحی باقیمانده مکان دقیق مقرر در تصویر بدست می آید.

۳-۳- ماشین های بردار پشتیبان (SVM)

یکی از روش های موفق دسته بندی اشیاء در مسائل بازشناسی، روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) می باشد که امروزه به عنوان یکی از معتبرترین ابزارهای یادگیری ماشین مورد استفاده قرار می گیرد. اصول اساسی آنچه که امروز به عنوان ماشین بردار پشتیبان شناخته می شود، نتایج کارهای Vapnik و Cortes در سال ۱۹۹۵ [۱۹] می باشد و در سال ۱۹۹۶، نیز SVM براساس رگرسیون تعمیم یافت [۲۰].

در SVM، اگر داده ها به صورت خطی قابل تفکیک باشند،

¹¹ Kernel Functions

¹² Hard negative mining

¹³ Random Sample Consensus

می باشد.

جدول ۱: مقایسه عملکرد دو روش استخراج ویژگی

استخراج ناحیه اشتباه به عنوان مقره		تفکیک نادرست در مرز بین دو مقره	
تعداد تصاویر	درصد	تعداد تصاویر	درصد
۱۱	۹۶/۳	۳۴	۸۸/۷
۴	۹۸/۷	۹	۹۷
HOG پایه		FHOG	

۵- نتیجه گیری

در حال حاضر، تقریباً تمامی بازرسی هایی که در صنعت برق کشورمان از خطوط انتقال قدرت انجام می گیرد، به اعزام افراد متخصص به محل و مشاهده دستی معایب احتمالی تکیه دارند که این نوع بازرسی، علاوه بر دارا بودن حجم کار زیاد، بویژه در مناطق پیچیده کوهستانی و جنگلی به سختی میسر می شود. بکارگیری روش های مبتنی بر پردازش تصویر به عنوان یک روش جایگزین می تواند به مقدار زیادی حجم کار بازرسی های دوره ای، هزینه های صرف شده برای این منظور و همچنین نیاز به افراد متخصص را کاهش دهد.

در این مقاله روشی جدید به منظور شناسایی محل مقره در

زوایای تصویربرداری متفاوت تهیه شد. در اینجا به منظور استخراج ویژگی، از دو روش HOG پایه [۱۷] و روش ارائه شده توسط Felzenszwalb در [۱۸] با اندازه بلاک ۸۸×۳۲ بهره گرفته شده است. در شکل (۴-الف) نتیجه تبدیل هاف مشاهده می شود. در شکل (۴-ب) ناحیه های کاندید کلاه مقره مبتنی بر ویژگی FHOG با رنگ سبز نشان داده شده است. در شکل (۴-ج) مکان تشخیص داده شده مقره پس از حذف نواحی اضافی و اجتماع نواحی باقیمانده با کادر قرمز رنگ مشخص شده است. در شکل (۴-د) مکان تشخیص داده شده مقره به روش HOG نیز نمایش داده شده است. نتایج تجربی نشان می دهد روش FHOG در تشخیص مقره عملکرد بهتری نسبت به HOG پایه دارد. بعنوان نمونه در تصویر اول در حالتی که یکی از کلاه های مقره آسیب دیده است، روش HOG مقره را به دو مقره تفکیک کرده است در حالیکه روش FHOG تشخیص یکپارچه ای داده است و این در کاربردهای بعدی، که هدف، تعیین نواحی آسیب دیده در مقره است، بسیار مفید می باشد. علاوه بر این FHOG به علت اعمال فشرده سازی، از سرعت بالاتری برخوردار است. نتایج کمی ارائه شده در جدول ۱ نیز عملکرد بهتر روش FHOG را نشان می دهد. موفقیت ۹۷ درصدی الگوریتم پیشنهادی با بردار ویژگی FHOG بر روی پایگاه داده مورد استفاده، قابل توجه



شکل ۵: (الف) اعمال تبدیل هاف به تصاویر و بدست آوردن به ترتیب زوایه های ۱° و $۰/۸^\circ$; (ب) تشخیص محل کلاه های مقره با استفاده از FHOG; (ج) حذف تشخیص های غلط و استخراج محل مقره در تصاویر ب، (د) تشخیص محل کلاه های مقره با استفاده از HOG پایه.

- [8] Q. G. Wu, J. B. An, and B. Lin, "A texture segmentation algorithm based on PCA and GMAC for aerial insulator images," *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, vol. 5, no. 5, pp. 1509–1518, Oct. 2012.
- [9] Serra, Jean. *Image analysis and mathematical morphology*. Academic Press, Inc., 1983.
- [10] Serra, Jean. *Image analysis and mathematical morphology, Volume 2: Theoretical Advances*, ISBN 0 12 637241 1, 1988.
- [11] Sobel, Irwin, and Gary Feldman. "A 3x3 isotropic gradient operator for image processing." (1968).
- [12] Duda, Richard O., and Peter E. Hart. "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures." *Communications of the ACM* 15, no. 1 (1972): 11-15.
- [13] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," in *Proc. 4th Alvey Vis. Conf.*, 1988, pp. 147–151.
- [14] R. Szeliski, *Computer Vision : Algorithms and Applications*. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2010.
- [15] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 60, no. 6, pp. 91–110, Nov. 2004.
- [16] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, "SURF: Speeded up robust features," *Comput. Vis. Image Understand.*, vol. 110, no. 3, pp. 346–359, Jun. 2008.
- [17] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 1. Jun. 2005, pp. 886–893.
- [18] Felzenszwalb, Pedro F., Ross B. Girshick, David McAllester, and Deva Ramanan. "Object detection with discriminatively trained part-based models." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 32, no. 9 (2010): 1627-1645.
- [19] C. Cortes and V. N. Vapnik, *Support vector networks*. *Machine Learning*, vol. 20, no. 3, pp. 273-297, 1995.
- [20] Vapnik, Vladimir, Steven E. Golowich, and Alex Smola. "Support vector method for function approximation, regression estimation, and signal processing." In *Advances in Neural Information Processing Systems* 9. 1996.
- [21] Fisher M, Bolles R (1981). "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography". *Communications of the ACM*, 24:381-385.

تصاویر خطوط انتقال هوایی ارائه شد. روش پیشنهادی که مبتنی بر بردار ویژگی FHOG و طبقه بند SVM ارائه شده است، عملکرد مطلوبی بر روی پایگاه داده مورد استفاده، دارد. روش پیشنهادی حتی در پس زمینه های پیچیده و در حالت وجود چندین مقرر در تصویر، عملکرد مناسبی داشته است و به دلیل هزینه محاسباتی پایین، امکان استفاده از این روش در کاربردهای بلادرنگ نیز فراهم می باشد. گام بعدی، استفاده از روش ارائه شده به منظور تشخیص نواحی معیوب مقرر می باشد.

مراجع

- [1] Jaime Del-Cerro, Antonio Barrientos, Pascual Campoy, and Pedro J. Garc'ia. "An autonomous helicopter guided by computer vision for inspection of overhead power cable", In *Proc. IROS Workshops*, 2002.
- [2] Irene Y. H. Gu, Unai Sistiaga, Sonja M. Berlijn, and Anders Fahlstr'om. "Online detection of snowcoverage and swing angles of electrical insulators on power transmission lines using videos", In *Proc. ICIP*, 2009.
- [3] Kentaro Kawamura, Mark D. Wheeler, Osamu Yamashita, Yoichi Sato, and Katsushi Ikeuchi. "Localization of insulators in electric distribution systems by using 3D template matching from multiple range images", In *Proc. IROS*, 1998.
- [4] Xinye Zhang, Jubai An, and Fangming Chen. "A simple method of tempered glass insulator recognition from airborne image", In *Proc. ICOIP*, 2010.
- [5] Jian Zhang and Ruqing Yang. "Insulators recognition for 220kv/330kv high-voltage live-line cleaning robot", In *Proc. ICPR*, 2006.
- [6] Weiguo Li, Gaosheng Ye, Feng Huang, Shikun Wang, and Wenzhi Chang. "Recognition of insulator based on developed MPEG-7 texture feature", In *Proc. ICISP*, 2010.
- [7] Jingjing Zhao, Xingtong Liu, Jixiang Sun, and Lin Lei. "Detecting insulators in the image of overhead transmission lines", In *Proc. ICIC*, 2012.