

Improve the Detection of Dangerous Objects in X-Ray Images in Security and Military Inspections Using Image Processing Approaches

K. Dadash Tabar Ahmadi*, A. A. Kiaei

*Assistant Professor, Department of Artificial Intelligence and Robotics, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 21/02/2022, Accepted: 24/05/2022)

ABSTRACT

Detection of dangerous objects in images obtained by X-ray scanners in security inspections has played an important role in protecting the public space from security threats such as terrorism and the occurrence of dangerous crimes. Perform diagnostic operations by an expert despite the remarkable features of the human sensory and visual systems; Due to being exhausting, non-stop, excessive dependence on human error, etc., it has low operational value. One suitable solution for similar situations is to use car vision systems. In this study, we intend to first examine the hazardous object in the x-ray images in the SIX-ray database in a training phase with hard segmentation, and by extracting the properties of these objects by the SURF algorithm, which is capable of extracting properties even in complex conditions. It is confusing to create a database of properties of objects in different dimensions and angles. Then, in the detection phase, the experimental image first goes through a soft segmentation step, and then the image properties are extracted by the SURF algorithm. The extracted properties are matched with the properties of the object in the training database, and then the probability of the object being present, which is the ratio of the number of matching properties of the object to the total number of properties in the object, is calculated for each case. After finding the most likely valid matches, the M-estimator sample consensus algorithm (MSAC) removes the incorrect matching properties that originated from the image background. Finally, a two-dimensional transfer (Affine transformation) is obtained between the pairs of matching points of each valid state with the input image, and with the help of this transfer and dimensionality, a square is drawn around the object and the location of the object is identified. The following is a complete description of the training and diagnosis phase and the results of SIX-ray data.

Keywords: X-Ray Images, Image Processing, SURF Algorithm, Dangerous Object Detection.

* Corresponding Author Email: Dadashtabar@mut.ac.ir

بهبود تشخیص اشیای خطرناک موجود در تصاویر x-ray در بازرسی‌های

امنیتی و نظامی با استفاده از رویکردهای پردازش تصویر

کوروش داداش‌تبار احمدی^{۱*}، علی اکبر کیایی^۲

۱ و ۲- استادیار، گروه هوش مصنوعی و ریاتیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳)

چکیده

تشخیص اشیای خطرناک موجود در تصاویر کسب‌شده توسط اسکنرهای X-ray در بازرسی امنیتی، نقش مهمی در محافظت از فضای عمومی در برابر تهدیدهای امنیتی مانند تروریسم و وقوع جرائم خطرناک ایفا کرده است. انجام عملیات تشخیص، توسط فرد خبره علی‌رغم ویژگی‌های قابل توجهی که سیستم‌های حسی و بینایی انسان داراست؛ به دلیل طاقت‌فرسا بودن، بدون توقف بودن، وابستگی بیش‌ازحد به خطای انسانی و... از ارزش عملیاتی پایینی برخوردار است. یک‌راه حل مناسب برای موقعیت‌های مشابه استفاده از سیستم‌های بینایی ماشینی است. ما در این مطالعه قصد داریم که ابتدا در یک‌فاز آموزشی با قطعه‌بندی سخت‌شده خطرناک موردنظر در تصاویر x-ray موجود در پایگاه داده SIX-ray را بررسی کنیم و با استخراج ویژگی‌های این اشیاء توسط الگوریتم SURF^۱ که قابلیت استخراج ویژگی حتی در شرایط پیچیده و بهم‌ریخته را دارد، یک پایگاه داده از ویژگی‌های اشیاء در ابعاد و زوایای مختلف تهیه کنیم. سپس در فاز تشخیص، تصویر آزمایشی ابتدا از یک مرحله قطعه‌بندی نرم عبور می‌کند و سپس ویژگی‌های تصویر توسط الگوریتم SURF استخراج می‌شود. ویژگی‌های استخراج‌شده با ویژگی‌های شیء موجود در پایگاه داده آموزش مطابقت داده می‌شوند و سپس احتمال حضور شیء که از نسبت تعداد ویژگی‌های منطبق شیء بر تعداد کل ویژگی‌های موجود در شیء به دست می‌آید، برای هر یک از موارد محاسبه می‌گردد و تطابق‌ها با بیشترین احتمال وارد مرحله بعد می‌شوند. پس از یافتن تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال، با استفاده از الگوریتم اجماع نمونه برآوردگر^۲ (M-MSAC) ویژگی‌های منطبق اشتباه که از پس‌زمینه تصویر نشأت گرفته‌اند حذف می‌شوند. در نهایت، انتقال دوبعدی^۳ بین جفت نقطه‌های تطبیق هر یک از حالت‌های معتبر با تصویر ورودی به دست می‌آید و به کمک این انتقال و ابعادی، یک مربع پیرامون شیء رسم می‌شود و مکان شیء تشخیص داده می‌شود. در ادامه به تشریح کامل فاز آموزش و تشخیص و نتایج حاصل از داده‌های SIX-ray پرداخته می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تصاویر X-ray، پردازش تصویر، الگوریتم SURF، تشخیص شیء خطرناک

۱- مقدمه

فضای عمومی در برابر تهدیدهای امنیتی مانند تروریسم و وقوع جرائم خطرناک ایفا کرده است. با رشد جمعیت در شهرهای بزرگ و تراکم جمعیت در مراکز حمل‌ونقل عمومی، تشخیص دقیق، خودکار و سریع موارد خطرناک در تصاویر اسکن شده با اشعه ایکس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. بازرسی امنیتی برخلاف تصاویر واقعی و سایر موارد اسکن اشعه ایکس، با چمدان‌ها و کیف‌هایی که در آن‌ها اشیاء به‌طور تصادفی روی هم چیده شده‌اند و به‌شدت با یکدیگر همپوشانی دارند، سروکار دارد؛ بنابراین، در تصاویر اسکن شده، اشیاء موردعلاقه با بی‌نظمی و به‌صورت دلخواهی ترکیب می‌شوند و ممکن است حتی توسط بازرسان انسانی نیز نادیده گرفته شوند؛ بنابراین بازرسی امنیتی با چالش‌های زیادی روبرو است: (۱) اشیاء زیادی وجود دارند، (۲) پس‌زمینه: پس‌زمینه‌های متفاوت باعث کاهش دقت می‌شود (پس‌زمینه‌های پیچیده، تشخیص را سخت می‌کند)، (۳) زاویه: این که از کدام زاویه تصویر گرفته‌شده است، فاکتور خیلی مهمی برای سختی تشخیص است، (۴) وضعیت: وضعیت شیء تأثیر خیلی

تشخیص اشیاء، به شناسایی انواع اشیاء موجود در یک تصویر گفته می‌شود. کار اصلی یک سیستم تشخیص، شناسایی انواع اشیاء موجود در یک تصویر است. این سیستم در موارد مختلف صنعتی، پزشکی، نظامی، سیستم‌های امنیتی و... کاربرد دارد. کمک به رانندگان در تشخیص اشیاء به‌منظور جلوگیری از برخورد با آن‌ها، کمک به نابینایان در شناسایی اشیاء اطرافشان، تشخیص هویت افراد و... از کاربردهای سیستم تشخیص است. کاربرد این الگوریتم‌ها در مسائل نظامی به پیشرفت آن کمک شایانی کرده است.

تشخیص اشیاء خطرناک موجود در تصاویر کسب‌شده توسط اسکنرهای X-ray در بازرسی امنیتی، نقش مهمی در محافظت از

* رایانامه نویسنده مسئول: Dadashtabar@mut.ac.ir

1. Speeded Up Robust Features
2. M-estimator sample consensus
3. Affine transformation

مهم دارد.

اطلاعات از آن می‌رسد. در پردازش تصویر، اعمال مختلفی بر روی تصویر صورت می‌گیرد که شامل دو بخش بهبود تصویر و استخراج ویژگی‌هاست. از جمله پردازش‌هایی که روی تصویر صورت می‌گیرد؛ شامل بازسازی و ترکیب تصاویر، فیلتر کردن، آستانه‌گذاری، شمارش پیکسل، شناسایی لبه، آنالیز رنگ، شناسایی الگو و... هست. موضوع کلاسه‌بندی تصاویر در پایگاه داده‌های گوناگون، زمینه تحقیقاتی گسترده‌ای است؛ که دو بخش مهم را در برمی‌گیرد: استخراج ویژگی‌های مناسب و انتخاب یک کلاسه‌بندی خوب. تحقیقات فراوان در این زمینه نشان داده است که رسیدن به نرخ تشخیص خوب، بیشتر از آنکه به انتخاب نوع کلاسه‌بندی بستگی داشته باشد؛ به استخراج ویژگی مناسب نیازمند است. هرچقدر ویژگی‌های استخراج شده قادر باشند که بهتر توصیف کنند، در برابر تغییرات مقیاس و دوران تصویر مقاوم باشند و قابلیت انعطاف پذیری بیشتری برای استفاده در پایگاه داده‌های مختلف داشته باشند؛ بیشتر ما را به این هدف نائل می‌آورند که بتوانیم با دقت بیشتری تصاویر را دسته‌بندی کنیم. لازمه بهره‌برداری از سامانه‌های تشخیص اشیا برای کاربردهای مختلف، اتخاذ روش‌های صحیح استخراج ویژگی با توجه به کاربردهای خاص هست [۱ و ۲].

مطالعات پیشین که کاربرد روش‌های بینایی رایانه در بازرسی‌های امنیتی را مورد بررسی قرار داده‌اند، محدود هستند. گسیک و همکاران [۳] سه رویکرد جداگانه (تشخیص لبه همراه با تطبیق الگو، الگوریتمی با استفاده از تبدیل موجک Daubechies و رویکرد مبتنی بر انتقال ویژگی مقیاس ثابت^۱ (SIFT)) برای تشخیص اسلحه در تصاویر x-ray در مقیاس خاکستری را مورد ارزیابی قرار دادند. در مورد دو رویکرد اول، آزمایش محدود به یک مجموعه داده بسیار کوچک (۱۲ تصویر) است که نتایج قانع‌کننده‌ای را به همراه ندارد. در مورد SIFT، نویسندگان امکان سنجی الگوریتم برای تشخیص شیء را ارزیابی نمی‌کنند. چان و همکاران [۴] استفاده از SIFT برای تطبیق استریو در تصاویر اشعه ایکس فرودگاه را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه نیز، تشخیص شیء در نظر گرفته نمی‌شود و آزمایش به تطبیق ویژگی‌ها محدود می‌شود. کار آن‌ها نشان می‌دهد که درحالی که تطبیق مبتنی بر SIFT می‌تواند مطابقت بین ویژگی‌ها را ایجاد کند، کاربرد آن در تصاویر اشعه ایکس نسبت بالایی از تطبیق‌های کاذب را به همراه دارد؛ و همین‌طور تحقیقات مختلفی که دکتر مری و همکارانش با استفاده از فن‌های بینایی ماشین و هوش مصنوعی در زمینه تشخیص اشیا خطرناک در تصاویر X-ray

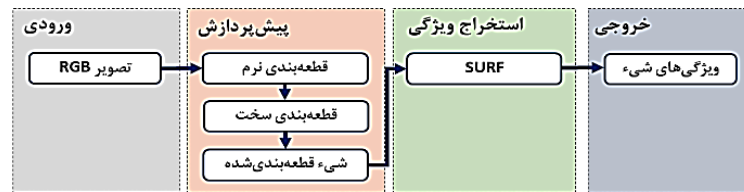
از دیرباز مبنای تشخیص تهدیدات موجود، بررسی اطلاعات به‌دست‌آمده از منابع مختلف مانند تصاویر و مشاهدات محیطی بوده است؛ که یک فرد خیره بر اساس این اطلاعات، تهدید را شناسایی کرده و یا وقوع آن را رد می‌کند. مثلاً در سیستم‌های نظارت تصویری مداربسته، همواره اطلاعات (که همان تصاویر دریافتی از دوربین‌ها هست) در جریان است و وظیفه اپراتور این است که با تشخیص صحیح موقعیت‌ها، افراد و اجسام در مواقع لزوم تصمیمات مناسبی اتخاذ کند. سیستم بینایی انسان دارای توانایی فوق‌العاده‌ای در تشخیص اشیا است و با وجود تغییر زاویه دید، تغییر مقیاس، انتقال و چرخش تصاویر و حتی در حالتی که قسمتی از شیء توسط مانعی پوشانده شده باشد؛ قادر است شیء مربوط را تشخیص دهد. با این حال، تشخیص اشیا خطرناک توسط بازرسان انسانی، یک کار خسته‌کننده است زیرا تعداد کیف یا چمدان‌هایی که واقعاً شامل موارد خطرناک و تهدیدآمیز هستند بسیار کم است و از طرفی یک کار پر از استرس است زیرا شناسایی طیف وسیعی از اشیا، اشکال و مواد (فلزات، مواد آلی و معدنی) به تمرکز بسیار بالایی نیاز دارد. علاوه بر این، بازرسان انسانی فقط از حداقل پشتیبانی فنی برخوردار هستند. همچنین، در ساعات اوج شلوغی، آن‌ها فقط چند ثانیه فرصت دارند تا تصمیم بگیرند که آیا یک کیف یا چمدان، حاوی مورد تهدیدآمیز و خطرناک است یا نه. از آنجایی که هر اپراتور باید کیف‌های زیادی را بررسی کند، احتمال خطای انسانی در طی یک دوره طولانی حتی با وجود آموزش‌های فشرده نیز قابل توجه است. در مطالعات نشان داده شده است که عملکرد تشخیص فقط حدود ۸۰٪-۹۰٪ است.

انجام عملیات تشخیص، توسط فرد خیره‌علی‌رغم ویژگی‌های قابل توجهی که سیستم‌های حسی و بینایی انسان داراست؛ به دلیل طاقت‌فرسا بودن، بدون توقف بودن، وابستگی بیش‌ازحد به خطای انسانی و... از ارزش عملیاتی پایینی برخوردار است. یک راه حل مناسب برای موقعیت‌های مشابه استفاده از سیستم‌های بینایی ماشین است.

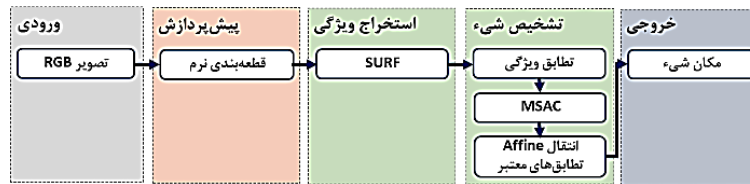
بینایی ماشین به کامپیوتر اجازه می‌دهد که ببیند، پردازش کند، تصمیم بگیرد و به سیستم‌های کنترلی خودفرمان‌های لازم را جهت رد یا قبول نتایج کلاسه‌بندی تصویر و... صادر کند. اولین گام در بینایی ماشین، دریافت یک تصویر است. بسته نرم‌افزاری بینایی ماشین از فن‌های پردازش تصویر دیجیتال برای استخراج اطلاعات لازم و تصمیم‌گیری بر مبنای آن اطلاعات استفاده می‌کند. بعد از دریافت تصویر، نوبت به پردازش تصویر و استخراج

^۱ Scale Invariant Feature Transform

انجام دادند برای مطالعه در [۵-۱۱] آورده شده است.



شکل (۱). مراحل فاز آموزش



شکل (۲). مراحل فاز تشخیص

مجموعه داده توسط دکتر میا و همکاران [۱۲] جمع آوری شده است و شامل ۱۰۰۵۹۰۲۳۱ تصویر x-ray هست که از این میان ۸۹۲۹ تصویر به صورت دستی به ۶ کلاس مختلف: اسلحه، چاقو، آچار، انبردست، قیچی، چکش و پس زمینه برچسب گذاری شده اند. این تصاویر با استفاده از اسکتر x-ray دو انرژی Nuctech جمع آوری شده اند. این مجموعه داده شامل اشیای با تنوع گسترده ای در مقیاس، دیدگاه و همپوشانی است. ۸۰٪ مجموعه داده برای فاز آموزشی و ۲۰٪ آن برای فاز تشخیص در نظر گرفته شد. به صورت عموم ممکن است به ازای هر ۱۰۰ چمدان یکی از آن ها شامل شیء خطرناک باشد؛ بنابراین تعادل در توزیع داده ای در این مسئله بسیار مهم می شود. در فاز تشخیص، به منظور مطالعه تأثیر عدم تعادل داده ها، دو زیرمجموعه از این مجموعه داده را ایجاد می کنیم و آن ها را به ترتیب نوع ۱ و نوع ۲ نام گذاری می کنیم. در هر دو نوع، تمام تصاویر با برچسب مثبت (خطرناک) گنجانده شده است و تصاویر با برچسب منفی (غیر خطرناک) با ضریب $10 \times 100 \times$ در آن ها گنجانده شده است. زیرمجموعه نوع ۲، دارای توزیع بسیار نزدیک به سناریوی دنیای واقعی است.

۲-۱-۲- قطعه بندی

در زمینه استخراج ویژگی های محلی و تشخیص اشیای، دو ویژگی مهم تصویربرداری با اشعه ایکس (و به ویژه تصاویر چمدان) قابل تأکید است: (۱) اشیای غالباً آغشته به نظر می رسند و فاقد هرگونه بافت آموزنده هستند و از این رو تصاویر دارای نقاط موردعلاقه کمتری نسبت به حالت عادی تصاویر با طیف مرئی هستند؛ (۲) تصاویر چمدان اشعه ایکس ذاتاً درهم و برهم است که به طور چشمگیری تعداد نقاط موردعلاقه بی معنی شناسایی شده را افزایش می دهد. با در نظر گرفتن این دو ویژگی، انتظار می رود که الگوریتم های تشخیص ویژگی های محلی مانند SIFT و SURF هنگام استفاده از تصاویر چمدان اشعه ایکس، تعداد زیادی نقطه

ما در این مطالعه قصد داریم که ابتدا در یک فاز آموزشی با قطعه بندی سخت اشیای خطرناک موردنظر در تصاویر x-ray موجود در پایگاه داده SIX-ray و با استخراج ویژگی های این اشیای توسط الگوریتم SURF^۱ که قابلیت استخراج ویژگی حتی در شرایط پیچیده و به هم ریخته را دارد، یک پایگاه داده از ویژگی های اشیای در ابعاد و زوایای مختلف تهیه کنیم (شکل ۱).

در فاز تشخیص، تصویر آزمایشی ابتدا از یک مرحله قطعه بندی نرم عبور می کند و سپس ویژگی های تصویر توسط الگوریتم SURF استخراج می شود. ویژگی های استخراج شده با ویژگی های اشیای موجود در پایگاه داده آموزش مطابقت داده می شوند و سپس احتمال حضور شیء که از نسبت تعداد ویژگی های منطبق شیء بر تعداد کل ویژگی های موجود در شیء به دست می آید، برای هر یک از موارد محاسبه می گردد و تطابق ها با بیشترین احتمال وارد مرحله بعد می شوند. پس از یافتن تطابق های معتبر با بیشترین احتمال، با استفاده از الگوریتم اجماع نمونه برآوردگر^۲ M-(MSAC) ویژگی های منطبق اشتباه که از پس زمینه تصویر نشاءت گرفته اند حذف می شوند. در نهایت، انتقال دوبعدی^۳ (Affine transformation) بین جفت نقطه های تطبیق هر یک از حالت های معتبر با تصویر ورودی به دست می آید و به کمک این انتقال و ابعادی، یک مربع پیرامون شیء رسم می شود و مکان شیء تشخیص داده می شود. در ادامه به تشریح کامل فاز آموزش و تشخیص پرداخته می شود (شکل ۲).

۲- مواد و روش ها

۲-۱- فاز آموزش

۲-۱-۱- مجموعه داده

یک مجموعه داده از پایگاه داده SIX-ray تهیه گردید. این

^۱ Speeded Up Robust Features

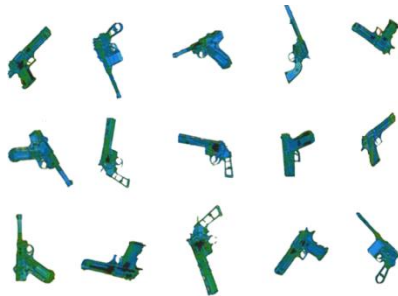
^۲ M-estimator sample consensus

^۳ Affine transformation

بی و همکاران در [۱۳] الگوریتم ویژگی‌های مستحکم تسریع یافته^۱ (SURF) را برای تشخیص و توصیف ویژگی‌ها ارائه کردند که نسبتاً مبتنی بر SIFT است. در واقع در این روش، هزینه محاسباتی مربوط به SIFT بدون افت قابل‌توجهی در عملکرد به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. این امر با معرفی تقریب فیلتر-جعبه در محاسبه اندازه‌گیری برجستگی مبتنی بر ماتریس Hessian به دست می‌آید. از تصاویر انتگرالی برای اطمینان از انقباض سریع با فیلترهای جعبه‌ای و فیلترهای موجک Haar به ترتیب در مرحله تشخیص و توصیف استفاده می‌شود. علاوه بر این، به گفته نویسندگان، الگوریتم SURF از نظر تکرارپذیری، متمایز بودن و استحکام تشخیص و توصیف نقاط موردعلاقه با هم‌تایان خود (به‌عنوان مثال SIFT) برابری می‌کند یا حتی از آن‌ها بهتر عمل می‌کند. بر اساس این مشاهدات و آزمایش‌های اولیه، ما از روش SURF برای تشخیص و توصیف ویژگی‌ها استفاده می‌کنیم. SURF با ایجاد یک فضای مقیاس، نقاط موردعلاقه مربوط به حباب (blob) در تصاویر را در مقیاس‌های مختلف تشخیص می‌دهد الگوریتم برای هر نقطه علاقه مشخص، جهت ویژگی را تعیین می‌کند و یک بردار توصیف‌کننده متمایز و نامتغیر نسبت به چرخش و مقیاس با طول ۶۴، به ویژگی اختصاص می‌دهد. این روش بسیار کارآمد، در برابر نویز و تغییرات در دیدگاه سه‌بعدی و روشنایی مستحکم است.

قبل از استخراج ویژگی، با رسم یک ماسک مربعی کوچک پیرامون سلاح‌های قطعه‌بندی شده آن‌ها را برش می‌دهیم. از هر تصویر، تعدادی از ویژگی‌های SURF را استخراج می‌کنیم (f). یک ویژگی، یک مجموعه $f = [7 \theta, |]$ شامل موقعیت (x, y) ، مقیاس σ و جهت θ ویژگی موردنظر در تصویر و همچنین توصیفگر است. در نهایت، یک پایگاه داده از ویژگی‌ها و نقاط موردعلاقه و ابعاد ماسک‌های مربعی تمام سلاح‌ها تهیه می‌شود.

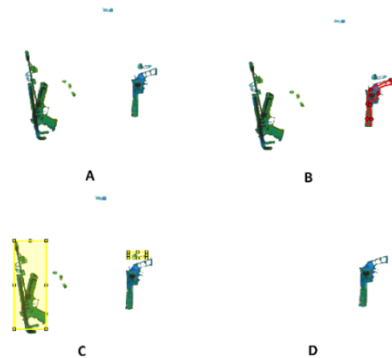
در شکل (۷) نتایج حاصل از استخراج ویژگی توسط الگوریتم SURF نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، در تصویر بدون قطعه‌بندی و تصویر دارای قطعه‌بندی نرم، تعدادی نقاط موردعلاقه مربوط به پس‌زمینه هم استخراج شده‌اند؛ اما در تصاویر پس از قطعه‌بندی سخت فقط ویژگی‌ها و نقاط موردعلاقه مربوط به اهداف موردنظر استخراج شده‌اند.



شکل (۶). نمونه‌ای از سلاح‌های قطعه‌بندی شده موجود در پایگاه داده آموزش شامل انواع سلاح‌ها در ابعاد و زوایای مختلف

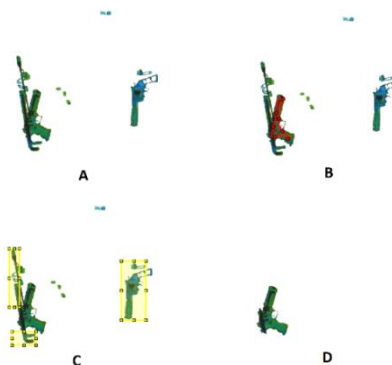
با استفاده از الگوریتم Lazy Snapping، پیش‌زمینه که شیء موردنظر است از پس‌زمینه جدا می‌شود.

در شکل (۴) نتیجه حاصل از قطعه‌بندی سخت سلاح بدون همپوشانی برای داده SIX-ray نشان داده شده است. در این مرحله با ایجاد یک ماسک پیش‌زمینه بر روی سلاح موردنظر و ایجاد سه ماسک پس‌زمینه شامل پیکسل‌های اشیای ناخواسته، الگوریتم Lazy Snapping انجام شد و سلاح موردنظر به‌خوبی قطعه‌بندی شد. در شکل (۵) نتایج حاصل از قطعه‌بندی سخت سلاح دارای همپوشانی نشان داده است. در این مرحله با ایجاد یک ماسک پیش‌زمینه بر روی سلاح موردنظر و ایجاد سه ماسک پس‌زمینه شامل پیکسل‌های اشیای ناخواسته و دارای همپوشانی، الگوریتم Lazy Snapping انجام شد. همان‌طور که دیده می‌شود شیء دارای همپوشانی با سلاح به‌خوبی حذف شده است.



شکل (۴). نتایج حاصل از قطعه‌بندی سخت سلاح بدون همپوشانی برای داده‌های SIX-ray. (A) تصویر بدون قطعه‌بندی سخت، (B) ماسک پیش‌زمینه، (C) ماسک‌های پس‌زمینه، (D) سلاح قطعه‌بندی شده حاصل از Lazy Snapping ماسک B و C.

در شکل (۶) نمونه‌ای از سلاح‌های قطعه‌بندی شده موجود در پایگاه داده آموزش نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این پایگاه داده شامل انواع سلاح‌ها در ابعاد و زوایای مختلف است.



شکل (۵). نتایج حاصل از قطعه‌بندی سخت سلاح دارای همپوشانی برای داده‌های SIX-ray. (A) تصویر بدون قطعه‌بندی سخت، (B) ماسک پیش‌زمینه، (C) ماسک‌های پس‌زمینه، (D) سلاح قطعه‌بندی شده حاصل از Lazy Snapping ماسک B و C.

^۱ Speeded Up Robust Features

۲-۲-۲- فاز تشخیص

می‌شوند که فاصله اقلیدسی بین توصیفگرهای آن‌ها خیلی کوچک باشد. در ابتدا فاصله اقلیدسی بردارهای ویژگی مربوط به دو تصویر محاسبه می‌شود. سپس می‌توان دونقطه کلیدی که بردارهای ویژگی آن‌ها کمترین فاصله اقلیدسی را دارند، به‌عنوان جفت نقاط کلیدی متناظر در نظر گرفت؛ اما با این کار برای هر نقطه کلیدی از تصویر مرجع حتماً یک تطبیق به دست خواهد آمد و تعداد زیادی از این تطبیق‌ها می‌تواند نادرست باشند. برای کاهش تعداد تطبیق‌های نادرست، نسبت نزدیک‌ترین همسایه به دومین همسایه نزدیک‌تر در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که این نسبت از میزان $0/8$ کمتر باشد، نقاط کلیدی مفروض به‌عنوان جفت نقاط متناظر در نظر گرفته می‌شوند [۱۴].

در گام بعد، احتمال حضور شیء که از نسبت تعداد ویژگی‌های منطبق شیء بر تعداد کل ویژگی‌های موجود در شیء به دست می‌آید، برای هر یک از تطابق‌ها محاسبه می‌گردد و تطابق‌هایی که بیشترین احتمال را دارند به‌عنوان تطابق‌های معتبر انتخاب می‌شوند.

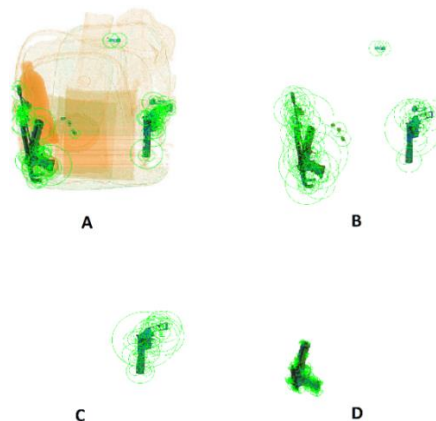
از آنجاکه ممکن است برخی از ویژگی‌ها از درهم‌ریختگی پس‌زمینه ناشی شوند بنابراین، داشتن راهی برای کنار گذاشتن این ویژگی‌ها مفید خواهد بود. به این منظور ما از الگوریتم اجماع نمونه برآوردگر M^{-} (MSAC) استفاده کردیم.

۲-۲-۲- الگوریتم MSAC

الگوریتم MSAC روشی نیرومند به‌منظور برآزش یک مدل هندسی به مجموعه‌ای از موقعیت‌های متناظر است که تعدادی متناظر اشتباه نیز در میان آن‌ها وجود دارد. [۱۵] این الگوریتم از نمونه‌گیری تصادفی مکرر استفاده می‌کند. یک فرض اساسی این است که داده‌ها از «inliers» (داده‌هایی که توزیع آن‌ها را می‌توان با مجموعه‌ای از پارامترهای مدل توضیح داد) تشکیل شده‌اند، اگرچه ممکن است در معرض نویز و «outliers» (داده‌هایی که با مدل مطابقت ندارند) باشند.

الگوریتم MSAC با شروع از یک مجموعه اولیه با استفاده از یک الگوریتم تکراری، روشی برای جداسازی inlierها و outlierها از میان مجموعه تطبیق‌های ورودی ارائه می‌دهد. همچنین این الگوریتم، تخمینی از یک مدل مناسب با بیشترین احتمال درستی را نتیجه می‌دهد. این یک الگوریتم غیرقطعی است به این معنا که نتیجه معقولی را تنها با یک احتمال خاص ایجاد می‌کند و این احتمال با تکرار بیشتر افزایش می‌یابد.

مراحل ابتدایی فاز تشخیص تا حدودی مشابه با فاز آموزش هست، به این صورت که یکی از تصاویر فاز تشخیص به ورودی اعمال می‌شود و در گام بعدی به‌منظور حذف پس‌زمینه‌های با اعداد اتمی پایین و بالا بردن عملکرد تشخیص، از مرحله قطعه‌بندی نرم و آستانه‌گذاری رنگ عبور می‌کند و بدون اعمال قطعه‌بندی سخت، ویژگی‌های تصویر توسط الگوریتم SURF استخراج می‌شود. ویژگی‌های استخراج‌شده با ویژگی‌های اشیای موجود در پایگاه داده آموزش مطابقت داده می‌شوند و سپس احتمال حضور شیء که از نسبت تعداد ویژگی‌های منطبق شیء بر تعداد کل ویژگی‌های موجود در شیء به دست می‌آید، برای هر یک از موارد محاسبه می‌گردد و تطابق‌ها با بیشترین احتمال وارد مرحله بعد می‌شوند. پس از یافتن تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال، با استفاده از الگوریتم اجماع نمونه برآوردگر^۱ (M-MSAC) ویژگی‌های منطبق اشتباه که از پس‌زمینه تصویر نشأت گرفته‌اند حذف می‌شوند. در نهایت، انتقال دوبعدی^۲ (Affine transformation) بین جفت نقطه‌های تطبیق هر یک از حالت‌های معتبر با تصویر ورودی به دست می‌آید و به کمک این انتقال و ابعادشی، یک مربع پیرامون شیء رسم می‌شود و مکان شیء تشخیص داده می‌شود. در ادامه به تشریح کامل فاز آموزش و تشخیص پرداخته می‌شود (شکل (۲)). در ادامه به تشریح مراحل تشخیص شیء پرداخته می‌شود.



شکل (۷). نتایج حاصل از استخراج ویژگی توسط الگوریتم SURF.

(A) تصویر بدون قطعه‌بندی، (B) تصویر دارای قطعه‌بندی نرم، (C) و (D) تصاویر پس از قطعه‌بندی سخت

۲-۲-۱- تطابق ویژگی

به‌منظور تطابق بین ویژگی‌های تصویر ورودی و ویژگی‌های هر یک از موارد موجود در پایگاه داده آموزش از روش نزدیک‌ترین همسایه‌ها^۳ استفاده شد. دو بردار ویژگی زمانی منطبق محسوب

^۱ M-Estimator Sample Consensus

^۲ Affine Transformation

^۳ Nearest Neighbors

^۴ M-Estimator Sample Consensus

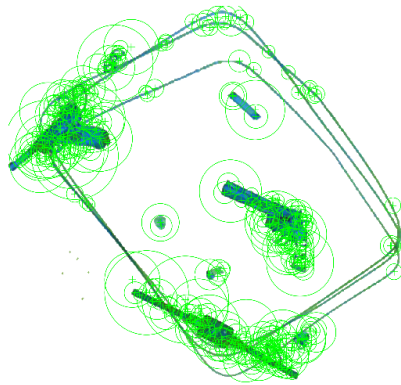
۲-۲-۳- انتقال Affine تطابق‌های معتبر

در این مرحله انتقال هندسی دوبعدی affine بین inlier‌های موجود در نقطه‌های منطبق تصویر ورودی و inlier‌های موجود در نقطه‌های منطبق تطابق‌های معتبر محاسبه می‌شود. سپس با اعمال این انتقال به یک مربع با ابعاد شیء مرجع مربوط به حالت معتبر، یک مربع پیرامون شیء مطابقت داده شده رسم می‌شود و شیء تشخیص می‌گردد.

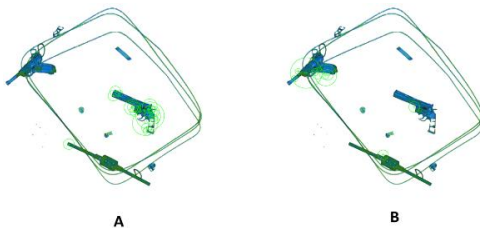
انتقال Affine transformation نوعی تبدیل ریاضی است که خطی بودن و نسبت فاصله‌ها در آن حفظ می‌شود. (خطوطی که موازی بودند پس از تبدیل هم حتماً موازی باقی می‌مانند اما طول و زاویه بین خطوط لزوماً حفظ نمی‌شود). بدین ترتیب در نتیجه یک تبدیل affine transformation، تمامی نقاط روی یک خط در ورودی، در خروجی نیز روی یک خط خواهند ماند.

۳- نتایج

در ادامه، نتایج حاصل از بررسی فرآیند فاز تشخیص برای یک نمونه از تصاویر فاز آزمون آورده شده است. در شکل (۸) یک نمونه از تصاویر فاز تشخیص و خروجی آن پس از عبور از مرحله قطعه‌بندی نرم و آستانه‌گذاری رنگ برای داده‌های SIX-ray نشان داده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مواد با اعداد اتمی پائین توسط آستانه‌گذاری رنگ حذف شدند و مواد با اعداد اتمی بالا باقی ماندند. در مرحله بعد ویژگی‌های تصویر قطعه‌بندی شده توسط الگوریتم SURF استخراج شدند (شکل ۹).

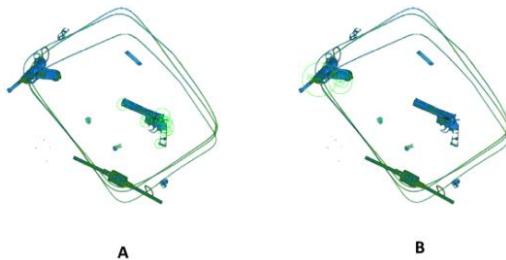


شکل (۹). ویژگی‌های استخراج‌شده از تصویر ورودی در فاز تشخیص



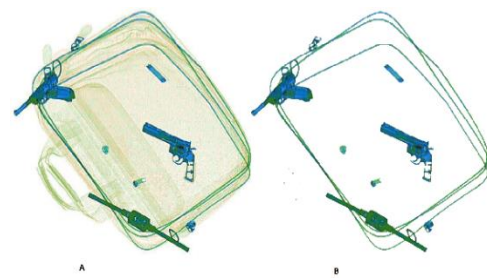
شکل (۱۰). تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال حضور شیء خطرناک؛ تطابق‌های معتبر دقیقاً بر روی سلاح‌ها به‌عنوان اشیای خطرناک صورت گرفته است و تعدادی تطابق‌های اشتباه ناشی از پس‌زمینه هم صورت گرفته است.

در شکل (۱۱) نتایج حاصل از الگوریتم MSAC در حذف تطابق‌های اشتباه ناشی از پس‌زمینه که در شکل دیده شد، آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم به‌خوبی توانسته است که تطابق‌های اشتباه پس‌زمینه را حذف کند.



شکل (۱۱). نتایج حاصل از حذف تطابق‌های اشتباه ناشی از پس‌زمینه توسط الگوریتم MSAC

مرحله آخر مرحله انتقال Affine transformation تطابق‌های معتبر هست. در این مرحله انتقال هندسی دوبعدی affine بین inlier‌های موجود در نقطه‌های منطبق تصویر ورودی و inlier‌های موجود در نقطه‌های منطبق تطابق‌های معتبر محاسبه می‌شود. سپس با اعمال این انتقال به یک مربع با ابعاد شیء مرجع مربوط به حالت معتبر، یک مربع پیرامون شیء مطابقت داده شده رسم می‌شود و شیء تشخیص می‌گردد. در شکل (۱۲) نتایج حاصل از مرحله آخر که تشخیص نهایی شیء و مکان‌یابی آن هست نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هم به‌درستی شیء خطرناک تشخیص داده شد و هم مکان آن به‌درستی یافته شد.

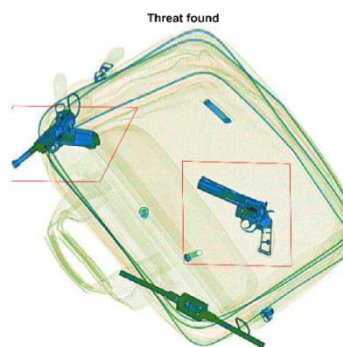


شکل (۱۲). (A) نمونه‌ای از تصاویر فاز تشخیص به‌عنوان ورودی، (B) تصویر ورودی پس از قطعه‌بندی نرم

در مرحله تطابق ویژگی، ویژگی‌های تصویر ورودی با ویژگی‌های تصاویر پایگاه داده آموزش مطابقت داده شد و تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال حضور شیء خطرناک در تصویر انتخاب شدند. سپس با استفاده از الگوریتم MSAC، نقاط تطابق اشتباه ناشی از پس‌زمینه حذف شدند. در شکل (۱۰) تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال حضور شیء خطرناک نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تطابق‌های معتبر دقیقاً بر روی سلاح‌ها به‌عنوان اشیای خطرناک صورت گرفته است و تعدادی تطابق‌های اشتباه ناشی از پس‌زمینه هم صورت گرفته است.

داده از ویژگی‌های اشیا در ابعاد و زوایای مختلف تهیه کنیم. سپس در فاز تشخیص، تصویر آزمایشی ابتدا از یک مرحله قطعه‌بندی نرم عبور می‌کند و سپس ویژگی‌های تصویر توسط الگوریتم SURF استخراج می‌شود. در مرحله بعد، ویژگی‌های استخراج شده با ویژگی‌های اشیای موجود در پایگاه داده آموزش مطابقت داده می‌شود و پس از یافتن تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال حضور شیء، تطابق‌های اشتباه ناشی از پس‌زمینه توسط الگوریتم MSAC حذف می‌شوند. در نهایت با استفاده از انتقال Affine transformation بین جفت نقطه‌های منطبق معتبر بین تصویر ورودی و شیء متناظر در پایگاه داده یک مربع پیرامون شیء تشخیص داده شده رسم می‌شود. مرحله اول در فاز آموزش، مرحله قطعه‌بندی شیء موردنظر است به گونه‌ای که پس‌زمینه به طور کامل حذف شود و فقط شیء موردنظر باقی بماند تا بتوان اطمینان حاصل کرد که ویژگی‌ای استخراج شده در مرحله استخراج ویژگی مربوط به شیء موردنظر هستند. یک روش قطعه‌بندی دومرحله‌ای شامل قطعه‌بندی نرم و سخت معرفی شد که در قطعه‌بندی نرم، مواد بر اساس عددانمی آستانه‌گذاری شده و سپس آرتیفکت‌ها و اشیای کوچک از درون تصویر آستانه‌گذاری شده حذف شدند. در مرحله قطعه‌بندی سخت، پس از ساخت ماسک پس‌زمینه شامل اشیای ناخواسته و ماسک پیش‌زمینه شامل شیء موردنظر و اجرای الگوریتم Lazy Snapping، شیء موردنظر به طور کامل قطعه‌بندی شد. در مرحله استخراج ویژگی توسط الگوریتم SURF نشان دادیم که قطعه‌بندی سخت به خوبی می‌تواند در حذف ویژگی‌های ناخواسته مربوط به اشیای غیر از هدف کمک کند و باعث شود که فقط ویژگی‌های شیء موردنظر با دقت خوبی استخراج شوند.

پس از تهیه پایگاه وارد فاز تشخیص می‌شویم. مراحل ابتدایی فاز تشخیص تا حدودی مشابه با فاز آموزش هست، به این صورت که یکی از تصاویر فاز تشخیص به ورودی اعمال می‌شود و در گام بعدی به منظور حذف پس‌زمینه‌های با اعداد آتمی پائین و بالا بردن عملکرد تشخیص، از مرحله قطعه‌بندی نرم و آستانه‌گذاری رنگ عبور می‌کند و بدون اعمال قطعه‌بندی سخت، ویژگی‌های تصویر توسط الگوریتم SURF استخراج می‌شود. ویژگی‌های استخراج شده با ویژگی‌های اشیای موجود در پایگاه داده آموزش مطابقت داده می‌شوند و سپس احتمال حضور شیء که از نسبت تعداد ویژگی‌های منطبق شیء بر تعداد کل ویژگی‌های موجود در شیء به دست می‌آید، برای هر یک از موارد محاسبه می‌گردد و تطابق‌ها با بیشترین احتمال وارد مرحله بعد می‌شوند. پس از یافتن تطابق‌های معتبر با بیشترین احتمال، با استفاده از الگوریتم اجماع نمونه برآوردگر^۲ M-(MSAC) ویژگی‌های منطبق اشتباه که از پس‌زمینه تصویر نشاءت گرفته‌اند حذف می‌شوند. در نهایت، انتقال دوبعدی^۳ (Affine transformation) بین جفت نقطه‌های



شکل (۱۲). مرحله نهایی تشخیص شیء خطرناک و مکان‌یابی آن

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی توسط دو مجموعه آموزشی شامل ۸۰۰ تصویر اسلحه و یک مجموعه آزمون شامل ۲۰۰ تصویر (ضریب غیر خطرناک به خطرناک * ۱۰) انجام شد. به منظور ارزیابی ابتدا مقادیر TP (خطرناک صحیح)، TN (غیر خطرناک صحیح) FP (خطرناک اشتباه) و FN (غیر خطرناک اشتباه) محاسبه شدند. سپس به کمک رابطه‌های (۶-۲) دقت، صحت، کیفیت و حساسیت به دست آمد.

$$\text{Accuracy} = (TP+TN)/(TP+FP+FN+TN) \quad (۲)$$

$$\text{Precision} = TP / (TP+FP) \quad (۳)$$

$$\text{Specifity} = TN / (TN+FP) \quad (۴)$$

$$F1 - \text{Score} = 2 * (\text{Precision} * \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (۵)$$

$$\text{Sensitivity (Recall)} = TP / (TP+FN) \quad (۶)$$

طبق محاسبات انجام شده نتایج دقت، صحت، کیفیت، F1 و حساسیت کار ما برای داده‌های SIX-ray اعداد ۰/۹۵، ۰/۷۵، ۰/۹ و ۰/۶۴، ۰/۹۵ نشان دهنده کارکرد بالا الگوریتم ما است. فرآیند پیشنهادی توانست هم شیء خطرناک و هم مکان آن را به خوبی تشخیص دهد؛ و نکته قابل توجه دیگر در این فرآیند سرعت آن است که به دلیل سریع بودن می‌توان آن را به عنوان یک سیستم تشخیص شیء خطرناک خودکار در مکان‌های شلوغ به کار برد.

۵- بحث

هدف از این مطالعه این است که ابتدا در یک فاز آموزشی با قطعه‌بندی سخت اشیای خطرناک موردنظر (اسلحه و چاقو) در تصاویر x-ray موجود در پایگاه داده SIX-ray و با استخراج ویژگی‌های این اشیا توسط الگوریتم SURF^۱ که قابلیت استخراج ویژگی حتی در شرایط پیچیده و بهم‌ریخته را دارد، یک پایگاه

^۲ M-Estimator Sample Consensus

^۳ Affine Transformation

^۱ Speeded Up Robust Features

efficient search algorithm in multiple views," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops, pp. 368-374, 2013.

- [7] D. Mery, "Inspection of complex objects using multiple-X-ray views," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 20, no. 1, pp. 338-347, 2014.
- [8] V. Riffo & D. Mery, "Active X-ray testing of complex objects," Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, vol. 54, no. 1, pp. 28-35, 2012.
- [9] D. Mery, E. Svec, M. Arias, V. Riffo, J. M. Saavedra, & S. Banerjee, "Modern computer vision techniques for x-ray testing in baggage inspection," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 47, no. 4, pp. 682-692, 2016.
- [10] D. Mery & A. K. Katsaggelos, "A logarithmic X-ray imaging model for baggage inspection: Simulation and object detection," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, pp. 57-65, 2017.
- [11] D. Mery & A. K. Katsaggelos. "GDXray: The database of X-ray images for nondestructive testing," Journal of Nondestructive Evaluation, vol. 34, no. 4, pp. 1-12, 2015.
- [12] C. Miao. "Sixray: A large-scale security inspection x-ray benchmark for prohibited item discovery in overlapping images," in Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2119-2118, 2019.
- [13] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, & L. Van Gool, "Speeded-up robust features (SURF)," Computer vision and image understanding, vol. 110, no. 3, pp. 346-359, 2008.
- [14] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," International journal of computer vision, vol. 60, no. 2, pp. 91-110, 2004.
- [15] M. A. Fischler & R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Communications of the ACM, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, 1981.

تطبيق هریک از حالت‌های معتبر با تصویر ورودی به دست می‌آید و به کمک این انتقال و ابعادشی، یک مربع پیرامون شیء رسم می‌شود و مکان شیء تشخیص داده می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان داد، فرآیند پیشنهادی به‌خوبی توانست هم شیء خطرناک و هم مکان آن را به‌خوبی تشخیص دهد؛ و نکته قابل توجه دیگر در این فرآیند سرعت آن هست که به دلیل سریع بودن می‌توان آن را به‌عنوان یک سیستم تشخیص شیء خطرناک خودکار در مکان‌های شلوغ به کار برد.

۶- مراجع

- [1] S. M. Kharashadizadeh, V. Azadzadeh, & A. M. Latif, "Detection of digital images containing nudity using neural networks and support vector machines," Electronic and Cyber Defense, vol. 4, no. 4, pp. 79-88, 2017. (In Persian)
- [2] H. Muslimi, A. Abbaspour Kazeruni, & A. Rabbani Nejad, "Identification from the Veins of the Back of the Hand in Infrared Images Using SVM Classification," Electronic and Cyber Defense, vol. 5, no. 3, pp. 27-38, 2017. (In Persian)
- [3] R. Gesick, C. Saritac, & C.C. Hung, "Automatic image analysis process for the detection of concealed weapons," in Proceedings of the 5th annual workshop on cyber security and information intelligence research: cyber security and information intelligence challenges and strategies, pp. 1-4, 2009.
- [4] J. Chan, A. Omar, J. P. O. Evans, D. Downes, X. Wang, & Y. Liu, "Feasibility of SIFT to synthesise KDEX imagery for aviation luggage security screening," in 3rd International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention (ICDP 2009), pp. 1-6, IET, 2009.
- [5] V. Riffo & D. Mery, "Automated detection of threat objects using adapted implicit shape model," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 46, no. 4, pp. 472-482, 2015.
- [6] D. Mery, V. Riffo, I. Zuccar, & C. Pieringer, "Automated X-ray object recognition using an