

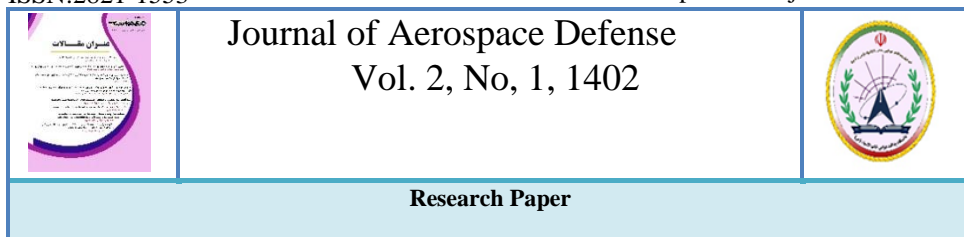


ردیابی خودکار اهداف پرنده هوایی با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال

علی جاهد سراوانی^۱، مجید زارعی^۱، جواد رنجبر^۱

۱- استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیا(ص)، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶	<p>سیستم‌های ردیابی خودکار اهداف پرنده هوایی نقش ویژه‌ای در صحنه نبرد دارند. امروزه، با توجه به قیمت گزاف سیستم‌های ردیاب مبتنی بر رادار و همچنین ضعف این نوع از سیستم‌ها در برابر پارازیت، سنسورهای بصری با ویژگی‌های برجسته‌ای چون ارزان بودن، غیرفعال بودن و مقاوم بودن در برابر پارازیت مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته‌اند. در این مقاله سیستمی برای ردیابی خودکار اهداف پرنده هوایی با استفاده از قطعه‌بندی و پردازش تصاویر دیجیتال طراحی و مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش اول تصاویر حاوی اهداف پرنده هوایی با استفاده از قطعه‌بندی بر اساس رنگ و توسط روش‌های خوشه‌بندی Kmeans و FCM پردازش گردیده و هدف مورد نظر شناسایی شده است. سپس این تصاویر با استفاده از فیلتر Prewitt لبه‌یابی و هدف مورد نظر استخراج و ردیابی شده است. نتایج بصری بدست آمده از روش‌های استفاده شده مشابه بوده و از دقت کافی برخوردار است، اما سرعت ردیابی خودکار با استفاده از لبه‌یابی در مقایسه با روش‌های قطعه‌بندی بسیار بیشتر بوده و قطعا در صحنه نبرد و پردازش هدف به صورت آنلاین عملکرد مطلوب‌تری دارد.</p>
دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۵	
کلمات کلیدی:	
ردیابی اهداف هوایی، قطعه‌بندی بر اساس Kmeans، رنگ، لبه‌یابی، FCM	
نویسنده مسئول:	
علی جاهد	
ایمیل:	
a_jahed@khadu.ac.ir	
استناد به مقاله:	
علی جاهد سراوانی، مجید زارعی، جواد رنجبر. ردیابی خودکار اهداف پرنده هوایی با استفاده از پردازش تصاویر دیجیتال. دوره ۲، شماره ۱، خرداد ۱۴۰۲.	



Automatic tracking of aerial targets using digital image processing

Ali Jahed Saravani¹, Majid Zarie¹, Javad Ranjbar¹

1- Assistant Professor, Electrical Engineering Department, Khatam al-Anbia (pbuh) University, Tehran, Iran

Article Information

Accepted: 1402-04-06

Received: 1401-12-05

Keywords :

Tracking of Aerial Targets, Color Image Segmentation, Edge Detection, Kmeans, FCM

Corresponding author:

Ali jahed

Email:

a_jahed@khadu.ac.ir

Abstract

Automatic tracking systems of flying targets play a key role in the battle field. Nowadays, vision sensors have attracted wide attention due to their outstanding features such as being cheap, passive, and their resistant to jamming in comparison to expensive radar-based tracking system which prone to jamming. In this paper, a system is considered and designed for automatic tracking of flying targets using segmentation and digital image processing. In the first section, images of flying targets are proceed using color image segmentation algorithm through Kmeans and FCM clustering techniques and then desired target is detected. In following, edges of images are detected using Prewitt algorithm and then desired object is identified and tracked. Visual results of developed techniques are similar and have sufficient accuracy but, speed of automatic tracking using edge detection is higher in comparison to color image segmentation and so its performance in battle field and online tracking of flying targets is preferred.

HOW TO CITE: Ali Jahed Saravani, Majid Zarie, Javad Ranjbar. Automatic tracking of aerial targets using digital image processing . Journal of aerospace defense, Vol. 2, No, 1, 1402.

۱. مقدمه

امروزه از رادارها به منظور شناسایی و ردیابی اهداف هوایی مختلف مثل جنگنده‌ها، پهپادها و موشک‌ها استفاده می‌شود. در این روش، رادارها به صورت اکتیو و با انتشار امواج الکترومغناطیسی قادر به شناسایی اشیاء پرنده می‌باشند. رادارهای نظامی علاوه بر اینکه تجهیزات بسیار گران قیمتی هستند، از منابع اصلی اختلال در تجهیزات الکترونیکی دیگر نیز به شمار می‌روند. از طرف دیگر سنسورهای بصری استفاده شده در الگوریتم‌های بینایی ماشین^۱ عناصری پسیو، ارزان قیمت و مقاوم در برابر جمینگ^۲ می‌باشند. گرچه این نوع از سنسورها در مقایسه با رادارها از رنج محدودتری برخوردارند ولی قابلیت‌های چشمگیری داشته و به صورت وسیعی در زمینه‌های مختلف نظامی به کار گرفته شده‌اند. از ردیابی بصری می‌توان در هدایت پهپادها (UAV^۳) و شناسایی اشیاء و توسط آنها، تشخیص و ردیابی جنگنده‌ها، موشک‌ها و استخراج ویژگی‌های فیزیکی آنها و ... استفاده کرد [۱-۴].

یکی از ساده‌ترین و همچنین موثرترین روش‌های ردیابی اهداف هوایی استفاده از فیلترهای مورفولوژیکی و ناحیه‌بندی می‌باشد. در این روش ابتدا فریم‌ها پیش‌پردازش شده و سپس با استفاده از فیلترهای مورفولوژیکی شیء مورد نظر شناسایی، ناحیه‌بندی و ردیابی می‌شود. فیلترهای اعمال شده در این الگوریتم می‌بایست با دقت زیادی طراحی و پیاده‌سازی شده تا از شناسایی اشیائی غیر از هدف مورد نظر جلوگیری شود. الگوریتم تطبیق ویژگی (FFM^۴) از دیگر روش‌های پیشنهادی برای شناسایی اهداف پرنده می‌باشد. در این الگوریتم، از دو فریم متوالی به منظور تطبیق ویژگی استفاده می‌شود. ویژگی‌های شیء هدف در فریم اول استخراج شده و این ویژگی‌ها در فریم دوم جستجو می‌شود. مهمترین مرحله در این الگوریتم شناسایی و انتخاب ویژگی‌هایی است که بتواند به سادگی شیء هدف را توصیف و ردیابی کند. از دیگر چالش‌های این روش نیز انتخاب اولیه شیء هدف در فریم ابتدایی می‌باشد که می‌بایست توسط الگوریتم‌هایی مانند Haar-based detector انجام شود. تکنیک‌های شار نوری^۵ از دیگر روش‌های پرکاربرد در ردیابی اشیاء می‌باشد. در این روش مینیمم تغییرات در دو فریم متوالی که در فاصله زمانی بسیار کوتاه گرفته شده، رصد و ردیابی می‌شود. در این روش، قسمت‌هایی از تصویر که از بافت غنی برخوردار نیستند (دارای رنگ بسیار ساده‌ای هستند) منجر به بروز خطا می‌شوند. اخیراً، از روش‌های یادگیری تقویتی و همچنین روش‌های یادگیری عمیق با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن (CNN^۶، R-CNN^۷) به منظور تشخیص اهداف هوایی استفاده

^۱ Computer vision algorithms

^۲ Jamming

^۳ Unmanned Aerial Vehicles

^۴ Feature Matching Method

^۵ Optical flow techniques

^۶ Convolutional Neural Network

^۷ Region- based Convolutional Neural Network

شده است. در روش‌های یادگیری تقویتی، مکانیزم جستجو به نحوی انجام می‌شود که ناحیه مورد جستجو برای کشف هدف پرنده کوچک و کوچکتر شده و در نهایت هدف مورد نظر پدیدار می‌گردد. اما در این روش تنها تعداد ثابتی از اهداف کشف و رهگیری می‌شوند. با معرفی تکنیک‌های یادگیری عمیق در دهه گذشته، شناسایی و ردیابی اهداف هوایی به یک مسئله طبقه‌بندی^۱ بدل گشته است. در ابتدا پایگاه داده تصویری بسیار بزرگی از اشیاء مختلف جمع‌آوری و برچسب‌گذاری می‌شود. سپس با تعریف یک شبکه کانولوشن و یک تابع هزینه چند کلاسه^۲ فرآیند آموزش آغاز می‌شود. در انتها، از شبکه آموزش دیده به منظور شناسایی و ردیابی هدف مورد نظر استفاده می‌شود. سرعت شناسایی هدف و تعقیب آن از نکاتی است که می‌بایست در ردیابی آنلاین اهداف نظامی به آن توجه ویژه داشت. عبور تصاویر از لایه‌های بسیار متعدد شبکه‌های عمیق سرعت آن را کاهش داده و منجر به تاخیر در ردیابی اهداف هوایی می‌شود [۱، ۵-۷].

در این مقاله، از الگوریتم‌های قطعه‌بندی بر اساس رنگ با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی Kmeans و FCM و همچنین الگوریتم لبه‌یابی Prewitt به منظور شناسایی خودکار اهداف پرنده استفاده شده است.

۲- قطعه‌بندی تصویر

تقسیم کردن تصویر به نواحی غیر یکسان قطعه‌بندی نام دارد. ناحیه‌ها در واقع اشیاء متفاوت موجود در تصویرند که از نظر بافت و یا رنگ یکنواخت هستند. نواحی باید دارای حفره‌های کوچک نباشند. نواحی مجاور یک قطعه باید تفاوت قابل ملاحظه‌ای با آن ناحیه داشته باشند. قطعه‌بندی در مواردی چون پردازش تصویر، بینایی ماشین، پردازش تصاویر پزشکی، کتابخانه‌های دیجیتالی، بازیابی اطلاعات بر پایه محتوا در تصاویر و فیلم، انتقال اطلاعات از طریق اینترنت و فشرده‌سازی تصاویر کاربرد دارد [۸]. تکنیک‌های قطعه‌بندی تصویر با استفاده از رنگ را می‌توان در پنج دسته گنجانند: قطعه‌بندی بر اساس پیکسل، قطعه‌بندی بر اساس ناحیه، قطعه‌بندی بر اساس تشخیص لبه، قطعه‌بندی ترکیبی بر اساس لبه و قطعه‌بندی بر اساس خوشه‌بندی Kmeans و FCM^۳.

۲-۱- مفهوم رنگ در تصاویر دیجیتال

جهت مشاهده و درک هر رنگ، سه انرژی جداگانه مربوط به سه رنگ اصلی دریافت شده و از ترکیب آنان با یکدیگر رنگ تصویر ایجاد خواهد شد. لازم به ذکر است که هر سیستم گیرنده، منحنی حساسیت رنگی مختص به خود را داشته و لذا ترکیب سه انرژی رنگی $R(x,y)$ (انرژی رنگ قرمز)،

¹ Classification task

² Multi-class cost function

³ Fuzzy c-Means

$G(x,y)$ (انرژی رنگ سبز) و $B(x,y)$ (انرژی رنگ آبی) را دریافت می‌کنند. بدین ترتیب جهت مشخص نمودن هر تصویر رنگی، باید از سه ماتریس جهت مقادیر قرمز، سبز و آبی هر نقطه از تصویر (پیکسل) استفاده نمود. در نتیجه رنگ هر پیکسل توسط ترکیب سه رنگ اصلی در سه ماتریس داده شده، به دست می‌آید. اساساً، رنگ‌هایی که انسان‌ها و سایر حیوانات در یک شیء دریافت می‌کنند، به وسیله طبیعت نور منعکس شده از شیء تعیین می‌شود. نور قابل رویت، مرکب از باند نسبتاً باریکی از فرکانس‌ها در طیف الکترومغناطیسی است. جسمی که نوری را منعکس می‌کند که طول موج‌های قابل رویت آن متوازن هستند، سفید به نظر می‌رسند. اما، جسمی که بازه محدودی از طیف قابل رویت را منعکس می‌سازد، سایه‌هایی از رنگ را نشان می‌دهد [۹].

هدف از انتخاب مدل رنگ، تسهیل مشخص‌سازی رنگ‌ها در یک استاندارد است، که معمولاً روش مورد قبولی می‌باشد. در اصل مدل رنگ، تعیین یک سامانه مختصات سه بعدی و زیر فضایی، درون آن سامانه است که در آن سامانه هر رنگ تنها با یک نقطه بیان می‌شود. بیشتر مدل‌های رنگی که اکنون استفاده می‌شوند، به سمت سخت افزار (مانند نمایشگرها و چاپگرهای رنگی) یا کاربردهایی گرایش دارند، که هدف آنها کار با رنگ می‌باشد، نظیر تولید گرافیک‌های رنگی برای (Animation). عمومی‌ترین مدل‌های سخت افزار عبارتند از: مدل RGB (آبی، قرمز، سبز) برای نمایشگرهای رنگی و یک گروه وسیع از دوربین‌های وسیع. مدل CMY (آبی فیروزه‌ای، بنفش، زرد) برای چاپگرهای رنگی و مدل YIQ، که یک استاندارد پخش تلویزیون رنگی است. در مدل اخیر، Y متناظر با لومیناتوس است، I و Q نیز دو مؤلفه رنگ هستند که به ترتیب هم فاز و متعامد خوانده می‌شوند. مدل HIS (اصل رنگ، اشباع، مقدار) نیز از مدل‌هایی است که به طور مکرر برای کار با تصویر رنگی استفاده می‌شود [۱۰].

۲-۲- قطع‌بندی تصویر بر اساس رنگ^۱

معمولاً هدف از پردازش تصویر استخراج ویژگی‌ها و اشیاء مورد نظر در تصاویر می‌باشد. اشیاء مختلف دارای ویژگی‌های متفاوتی می‌باشند که آنها را متفاوت از زمینه تصویر می‌کند. رنگ جزء مهم‌ترین ویژگی‌های اشیاء مختلف در تصاویر می‌باشد. در واقع یکی از قابل فهم‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها برای جداسازی اشیاء استفاده از تفاوت رنگ آنها با زمینه تصویر می‌باشد. در این حالت تصویر بر اساس ویژگی‌های رنگی به دو ناحیه شیء مورد نظر و زمینه تفکیک و قطع‌بندی می‌شود [۱۱]. به منظور تشخیص یکنواختی رنگ‌های مربوط به هر ناحیه، از الگوریتم‌های نظارت نشده یادگیری ماشین (خوشه‌بندی) استفاده می‌شود. در خوشه‌بندی هر پیکسل بر اساس رنگ خود به خوشه دارای پیکسل‌های رنگی مشابه اختصاص داده شده و خوشه به رشد خود ادامه داده تا تمامی پیکسل‌های رنگی مشابه را در بر گیرد. در این حالت دو خوشه شیء مورد نظر و زمینه شکل گرفته و شیء مورد نظر

^۱ Color image segmentation

از تصویر استخراج می‌شود. در این مقاله از روش خوشه‌بندی Kmeans و FCM استفاده می‌کنیم [۱۲-۱۵].

۳-۲- خوشه‌بندی Kmeans

الگوریتم Kmeans روشی تکراری برای جداسازی داده‌ها بر اساس ویژگی‌های آنها می‌باشد که در آن هر داده دقیقاً به یکی از مراکز k خوشه پیش تعریف شده اختصاص می‌یابد. در این الگوریتم، برای هر خوشه یک مرکز به صورت اتفاقی (c_1) از میان پایگاه داده (X) انتخاب می‌شود. سپس فاصله تمامی داده‌ها (m) با مراکز انتخاب شده برای هر خوشه محاسبه می‌گردد ($d(x_m, c_j)$) و داده‌ها با کمترین فاصله به مرکز خوشه به آن خوشه اختصاص می‌یابند. در انتها متوسط تمامی داده‌های متعلق به هر خوشه محاسبه شده و به عنوان مراکز جدید k خوشه (c_2) با احتمال ذیل:

$$p = \frac{d^2(x_m, c_1)}{\sum_{j=1}^n d^2(x_j, c_1)} \quad (1)$$

در نظر گرفته می‌شوند. حال این روند از ابتدا تا انتها به حدی تکرار می‌شود که مراکز خوشه‌ها دیگر تغییر نکرده و ثابت بماند. عدم تغییر مراکز خوشه نشان از شکل‌گیری فرم نهایی خوشه داده‌های اختصاص یافته به هر خوشه می‌باشد [۱۶, ۱۷].

۴-۲- خوشه‌بندی FCM

خوشه‌بندی FCM یک تکنیک خوشه‌بندی هوشمند می‌باشد که در آن هر داده با درجه عضویت خاصی به خوشه‌های مختلف اختصاص می‌یابد. در این روش خوشه‌ها بر اساس بهینه‌سازی تابع هزینه ذیل شکل می‌گیرند:

$$J = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^N \mu_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2)$$

که در آن، D تعداد داده‌ها، N تعداد خوشه‌ها، m پارامتری برای چگونگی کنترل همپوشانی فازی ($m > 1$)، x_i امین داده، c_j مرکز امین خوشه و μ_{ij} درجه عضویت داده x_i در خوشه c_j می‌باشد. در این الگوریتم، ابتدا درجه عضویت خوشه‌ها (μ_{ij}) مقداردهی اولیه شده و سپس مراکز خوشه‌ها بر اساس:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^D \mu_{ij}^m} \quad (3)$$

محاسبه می‌شوند. در ادامه، مقدار μ_{ij} طبق رابطه:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^N \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (۴)$$

بروزرسانی می‌شود. حال مقدار تابع هزینه طبق رابطه (۲) تعیین می‌گردد. در انتها، تمامی مراحل فوق چندین بار تکرار می‌شود (تا هنگامی که مقدار تابع هزینه از مقدار آستانه تعیین شده کمتر شده یا رسیدن به ماکزیمم تعداد تکرارهای مشخص شده) [۱۸، ۱۹].

۳- مفهوم تشخیص لبه

در سال‌های اخیر و با پیشرفت روزافزون فناوری و علم انسان وارد دنیای دیجیتال شده است. در این میان علم پردازش تصویر دیجیتال که کاربردهای بسیاری از جمله در صنایع نظامی دارد هر روز شاهد نوآوری می‌باشد. یکی از انواع پردازش تصویر پردازش سطح میانی است که ورودی آن تصویر و خروجی آن صفاتی از تصاویر مانند لبه‌هاست. لبه‌ها نقاطی از تصویر هستند که در آن نقاط دو پیکسل در کنار یکدیگر دو مقدار متفاوت داشته باشند. لبه‌ها یکی از مهمترین منابع اطلاعات در تصاویر هستند که در پردازش‌های سطح بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تصاویر، معمولاً به مرز بین دو ناحیه که دارای تفاوت قابل توجه در شدت روشنایی، رنگ و یا بافت باشد، لبه گفته می‌شود. تشخیص لبه درست، همچنان یکی از مسائل سخت در پردازش تصاویر محسوب می‌شود [۲۰].

بی شک مهمترین پارامتر در تصویر که درک آن بیشترین تأثیر را دارد لبه‌ها می‌باشند. در ساده‌ترین حالت، محل تغییرات در سطح روشنایی و نقاط ناپیوستگی تصویر که حداقل شامل چند پیکسل باشد را می‌توان لبه تعریف کرد. در حالت کلی لبه یک ویژگی محلی از تصویر نبوده و به ساختار تصویر در اطراف آن ناحیه نیز بستگی دارد. همچنین بر اساس تعریف لبه به عنوان محل تغییرات سطوح روشنایی، بازه این تغییرات نیز باید مورد توجه قرار گیرد تا در مورد وجود لبه و مکان دقیق آن تصمیم‌گیری شود. در این صورت با آشکارسازی لبه‌های یک تصویر، مکان تمام اشیاء برجسته و مات موجود در تصویر مشخص شده و خواص اساسی آن‌ها مانند سطح، محیط، ساختار شکلی، نوع و موقعیت اشیاء تنها با پردازش نقاط محدودی از تصویر که لبه‌ها می‌باشند قابل اندازه‌گیری و تشخیص خواهد بود. در نتیجه استفاده از یک آشکارساز لبه دقیق، به افزایش نرخ بازشناسی ویژگی‌ها و قابلیت ناحیه‌بندی دقیق تصویر، به طور مستقیم کمک می‌کند. تاکنون روش‌های مختلفی برای لبه‌یابی معرفی و اجرا شده‌اند که می‌توان به دو گروه اصلی آشکارسازی لبه در مقیاس پیکسل و آشکارسازی لبه در مقیاس زیر پیکسل اشاره کرد [۲۱].

۱-۳- الگوریتم‌های تشخیص لبه

روش‌های آشکارسازی لبه در حالت کلی به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند:

الف) آشکارسازی لبه بر اساس عملگرهای مشتق اول و مشتق دوم مانند عملگر سوبل، عملگر پرویت، عملگر رابرتز و عملگر لاپلاسیان. در این روش‌ها کلیشه‌های گرادیان و لاپلاسیان توسط عملگر کانولوشن در سراسر نقاط تصویر منطبق شده و مقدار تغییرات سطح روشنایی را در چند جهت آشکار ساخته و با اعمال یک مقدار آستانه روی تصویر حاصل، لبه‌های مرتبط با کلیشه‌ها استخراج می‌شوند. از نقاط ضعف این روش، می‌توان به بهینه نبودن پاسخ خروجی، تک مقیاس بودن عملگر و حساسیت زیاد به نویز اشاره کرد [۲۱].

ب) آشکارسازی لبه توسط عملگرهای بهینه مانند عملگر کنی. این روش‌ها بر اساس بهینه‌سازی مجموعه‌ای از معیارها برای بدست آوردن عملگر مناسب برای تشخیص لبه، با توجه به تعریف ریاضی دقیق از لبه توسعه یافته‌اند [۲۲].

ج) آشکارسازی لبه به صورت چندمقیاسی. برای آشکارسازی تغییرات زیاد، متوسط و کم در تصویر که آشکارسازی لبه‌های پله و شیب و غیره را همزمان ممکن می‌کند. در این روش‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم در چند مقیاس مختلف لبه‌های اولیه تصویر به دست آمده و سپس با روش‌های تحلیلی و ابتکاری با توجه به معیارهای یک آشکارساز دقیق لبه، نتایج مقیاس‌ها با یکدیگر ترکیب و ادغام می‌شوند تا نقشه جامع لبه به دست آید. استفاده از ابزارهای تبدیل موجک و منطق فازی برای ترکیب نتایج توصیه شده‌اند [۲۳].

د) سایر روش‌های آشکارسازی لبه مانند روش‌های مبتنی بر روش‌های هوشمند مانند منطق فازی یا شبکه عصبی [۲۴]

۲-۳- مراحل تشخیص لبه

الگوهای تشخیص لبه شامل سه مرحله فیلترینگ، مشتق‌گیری و تشخیص می‌باشند. در مرحله فیلترینگ، تصویر از یک فیلتر به منظور حذف نویز گذرانده می‌شود. در مرحله مشتق‌گیری، موقعیت‌هایی در تصویر با تغییرات شدت نویز زیاد برجسته شده و در مرحله تشخیص با آستانه‌گیری از نقاطی که در مرحله مشتق‌گیری برجسته شده‌اند، نقاط لبه تعیین می‌گردند [۲۱].

الگوریتم‌های مختلفی برای آشکارسازی لبه‌ها ابداع و پیشنهاد شده است. در روش‌های کلاسیک آشکارسازی لبه، بیشینه‌های محلی گرادیان تصویر، به عنوان نماینده مناسب برای لبه در نظر گرفته می‌شوند. آشکار ساز روبرت، سوبل و پرویت در این دسته جای می‌گیرند. از دیگر الگوریتم‌های کارآمد در این حوضه، آشکارساز لبه‌ی کنی است که به خاطر داشتن قابلیت دنبال کردن لبه و نیز توانایی حذف

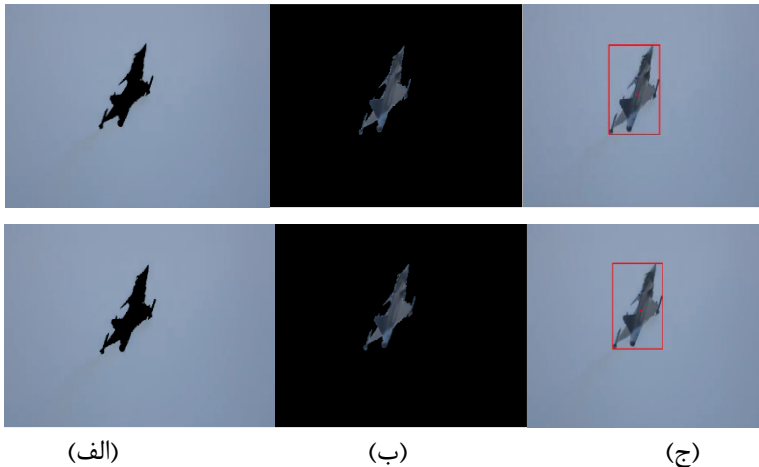
نویز تصویر به کمک فیلتر گوسی کاربرد زیادی دارد. در مدل‌های اولیه مرحله فیلترینگ وجود نداشت و مرحله مشتق‌گیری با استفاده از الگوی تفاضل متناهی انجام می‌گردید و تشخیص به وسیله موقعیت‌یابی پیک‌های گرادیان تابع شدت نور با استفاده از آستانه‌گیری انجام می‌گردید. بعدها الگوریتم سوپل مرحله میانگیری را قبل از مرحله مشتق‌گیری معرفی نمود [۲۱].

۴- تشخیص و ردیابی اهداف پرنده به صورت خودکار

در این بخش به شبیه‌سازی قفل کردن بر روی هدف (جنگنده و موشک) می‌پردازیم. هدف آشنایی با نحوه کارکرد سیستم‌های دنبال‌کننده هدف در آسمان است و کاربرد آن در سیستم‌های ردیابی و قفل کردن بر روی هدف در هواپیماهای جنگنده و یا هر سیستم ردیاب دیگر در پدافند هوایی است. با استفاده از قطعه‌بندی تصویر و تشخیص لبه خودکار می‌توان یک هدف را در آسمان (مانند هواپیماهای جنگی و موشک‌ها) چه از سمت زمین و چه از طریق یک جنگنده دیگر به صورت اتوماتیک تعقیب کرد. در این مقاله از روش قطعه‌بندی بر اساس رنگ و تشخیص لبه Prewitt به منظور تشخیص اتوماتیک اهداف هوایی استفاده شده است.

۴-۱- قطعه‌بندی تصویر با استفاده از رنگ

در این مقاله، ویدئوهای حاوی اهداف پرنده از قبیل موشک و جنگنده به صورت آفلاین پردازش می‌گردد. ابتدا، ویدئو مورد نظر به فریم‌های متوالی تبدیل می‌شود، سپس اندازه فریم‌ها به منظور افزایش سرعت پردازش کاهش می‌یابد. در این بخش، پیکسل‌های تصویر را با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی Kmeans و FCM به دو ناحیه شیء و زمینه تقسیم می‌کنیم. در هر دو الگوریتم از مدل رنگی RGB استفاده می‌کنیم. در این حالت پایگاه داده متشکل از سه کانال قرمز، سبز و آبی می‌باشد. تعداد دو خوشه نیز در الگوریتم Kmeans و FCM به صورت پیش فرض در نظر گرفته می‌شود. حال الگوریتم‌های خوشه‌بندی Kmeans و FCM بر روی پایگاه داده اعمال و نتیجه حاصله در شکل ۱ نشان داده شده است. در الگوریتم Kmeans از فاصله اقلیدسی برای معیار اندازه‌گیری استفاده شده است.



شکل ۱) نتایج حاصله از ناحیه بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم Kmeans (سطر بالا) و الگوریتم FCM (سطر پایین) (الف) زمینه، (ب) شیء استخراج شده، (ج) مشخصات شیء استخراج شده

در نهایت ویژگی‌های شیء یافت شده مانند مرکز و مرز شیء استخراج می‌شوند. همانگونه که مشخص است، نتایج حاصل از دو الگوریتم مشابه و دارای دقت کافی است و تفاوت آنچنانی محسوس نیست، گرچه این دو الگوریتم در سرعت پردازش با یکدیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند. در واقع، سرعت الگوریتم Kmeans به دلیل ذات غیر پیچیده‌ای که داراست به مراتب از FCM بیشتر است. سرعت پردازش الگوریتم‌های فوق در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲-۴- لبه‌یابی با استفاده از الگوریتم Prewitt

الگوریتم Prewitt از ساده‌ترین و در عین حال کاربردی‌ترین روش‌ها در تشخیص لبه می‌باشد که در آن از دو ماسک 3×3 برای مشتق‌گیری از تصویر در جهت افقی و در جهت عمودی استفاده می‌شود. اگر تصویر ورودی را به عنوان ماتریس A در نظر بگیریم آنگاه:

$$G_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +1 & 0 & -1 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A, G_y = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} * A \quad (5)$$

تصاویر G_x و G_y در هر نقطه حاوی مشتق تصویر اصلی در راستای افقی و عمودی می‌باشد. در معادله فوق، * نماد عملگر کانولوشن می‌باشد. دامنه و زاویه گرادیان تصویر توسط معادلات ذیل محاسبه می‌شود [۲۱]:

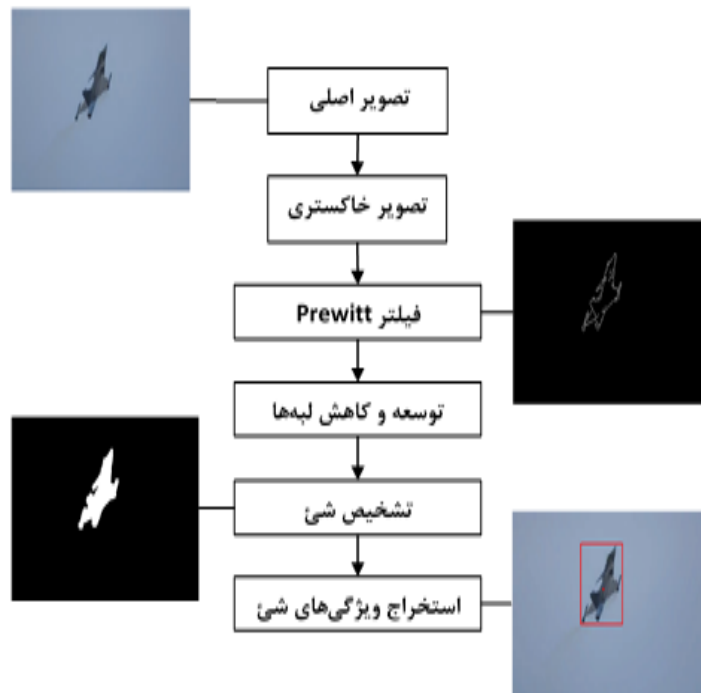
$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (۶)$$

$$\Theta = \text{atan2}(G_y, G_x) \quad (۷)$$

۳-۴- الگوریتم طراحی شده

در ابتدا تصویر رنگی به خاکستری تبدیل می‌گردد. در گام بعدی، با استفاده از الگوریتم های تشخیص لبه Prewitt، لبه‌های تصویر خاکستری را شناسایی می‌شود. در این روش، از تقریب مشتق تصویر برای شناسایی لبه استفاده شده و الگوریتم طراحی شده هر جای تصویر که شدت پیکسل‌ها تغییر کرده را به عنوان لبه شناسایی می‌کند. لبه‌های یافته شده به صورت یک تصویر باینری نشان داده می‌شوند. در ادامه از دو اپراتور Dilation و Erosion به صورت پشت سر هم استفاده می‌شود. اپراتور Dilation یک عملگر مورفولوژیکی بوده که از یک عنصر ساختاری^۱ به منظور گسترش (آجرچینی) لبه‌های بدست آمده استفاده می‌کند. استفاده از این اپراتور منجر به پیوستگی لبه‌های یافت شده توسط فیلتر Prewitt می‌شود. معمولا خروجی اپراتور Dilation توسط اپراتور Erosion دریافت می‌گردد. این اپراتور نیز همانند اپراتور Dilation از یک عنصر ساختاری استفاده کرده با این تفاوت که عملکردی معکوس داشته و تصویر توسعه یافته را کاهش داده و به حالت طبیعی برمی‌گرداند. استفاده از این دو اپراتور متوالی در کنار یکدیگر باعث می‌شود لبه‌های یافته شده توسط فیلتر Prewitt در یکدیگر ادغام و متصل شده و در نهایت ناحیه مورد نظر تشکیل شود. حال به سادگی شیء مورد نظر مشخص می‌شود. در مرحله بعد ویژگی‌های شیء یافته شده مانند مرکز و مرز شیء مورد نظر استخراج می‌گردد. مراحل الگوریتم طراحی شده در شکل ۲ به صورت کامل مشخص گردیده است.

¹ Structuring element



شکل ۲) الگوریتم پیاده‌سازی شده تشخیص لبه

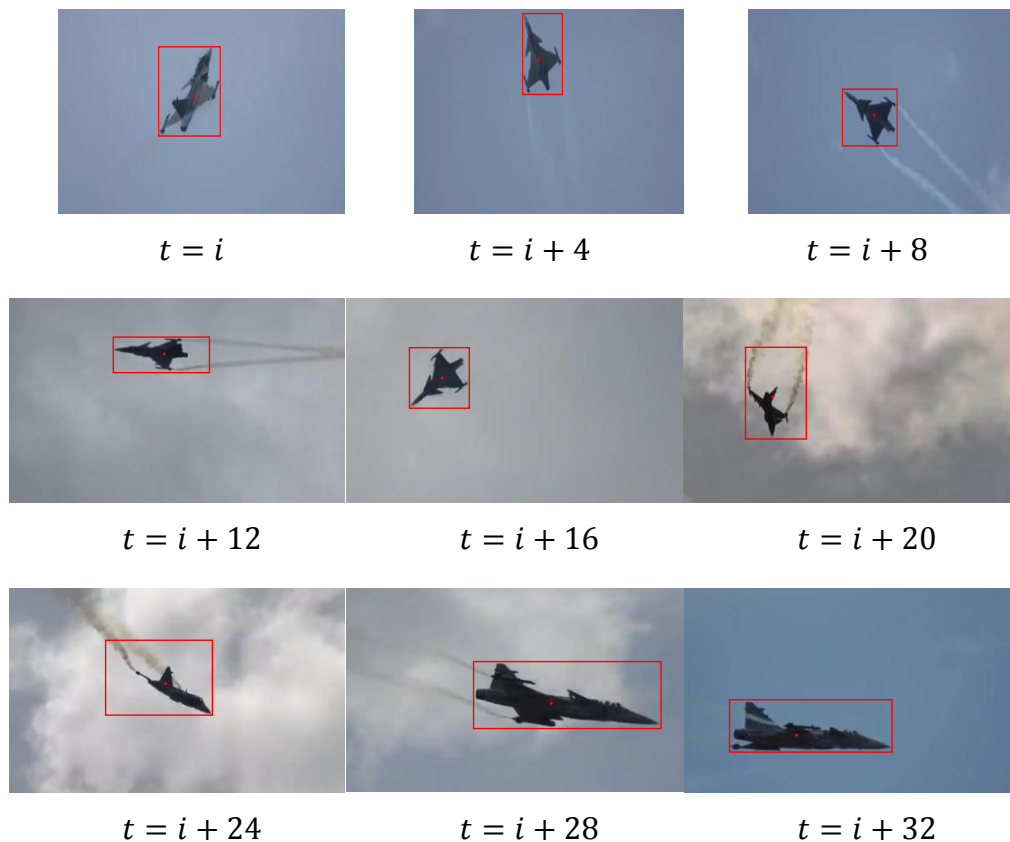
۵- تحلیل نتایج بدست آمده

در بخش‌های پیشین، از الگوریتم‌های قطعه‌بندی بر اساس رنگ با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی Kmeans و FCM و همچنین الگوریتم لبه‌یابی Prewitt به منظور شناسایی خودکار اهداف پرنده استفاده شده است. با توجه به نتایج بصری بدست آمده در شکل‌های ۱ و ۲، مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های طراحی شده از دقت کافی به منظور تشخیص هدف برخوردارند اما از آنجایی که شناسایی و قفل کردن بر روی اهداف پرنده علاوه بر دقت نیازمند سرعت پردازش بالایی نیز به منظور ردیابی آنلاین می‌باشد، سرعت پردازش الگوریتم‌های طراحی شده در جدول ذیل لیست و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانگونه که مشاهده می‌شود سرعت ردیابی خودکار با استفاده از لبه‌یابی Prewitt به مراتب سریعتر از دو روش دیگر می‌باشد.

جدول (۱) مقایسه سرعت الگوریتم‌های طراحی شده در ردیابی هدف

لبه‌یابی Prewitt	قطعه‌بندی توسط Kmeans	قطعه‌بندی توسط FCM	روش
۱/۱	۳/۱	۵/۱	زمان پردازش (ثانیه)

به منظور اعتبارسنجی هر چه بیشتر الگوریتم لبه‌یابی Prewitt نتایج ردیابی در فریم‌های متوالی مانور یک جنگنده در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که از شکل مشخص است، ردیابی و قفل کردن بر روی جنگنده در اکثر فریم‌ها به صورت مناسبی انجام گرفته اسن. تنها در دو فریم، دود خارج شده از موتورهای جنگنده نیز به عنوان هدف در نظر گرفته شده که ناشی از خطای الگوریتم می‌باشد. در نتیجه به منظور ارتقاء دقت می‌توان الگوریتم استفاده شده را بهینه‌سازی نمود یا از الگوریتم‌های هوشمند دیگر استفاده کرد.



شکل (۳) ردیابی خودکار مانور جنگنده در فریم‌های متوالی

ردیابی خودکار اهداف پرنده هوایی با اس تفاده از پردازش تصاویر دیجیتال

برای تست الگوریتم لبه‌یابی طراحی شده، عملکرد این روش را بر روی هدف پرنده‌ی دیگری مانند موشک در حال شلیک نیز بررسی می‌کنیم. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، الگوریتم طراحی شده عمل قفل و ردیابی را بر روی دو موشک در حال شلیک در فریم‌های متوالی (از لحظه شلیک تا صعود) با دقت بالایی انجام می‌دهد. حال می‌توان ویژگی‌های موشک در حال شلیک از جمله سرعت شلیک دهانه لانچر^۱ را به سادگی محاسبه نمود.



$t = i$

$t = i + 30$



$t = i + 60$

$t = i + 90$

شکل ۴) ردیابی خودکار دو موشک در حال شلیک در فریم‌های متوالی

¹ Launcher

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، الگوریتمی به منظور ردیابی خودکار اهداف پرنده هوایی ارائه شد. در ابتدا الگوریتمی برای قطعه‌بندی بر اساس رنگ تصویر با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی Kmeans و FCM برای تشخیص هدف و استخراج شیء مورد نظر طراحی گردید. با وجود دقت و عملکرد مناسب روش‌های استفاده شده، الگوریتم دیگری بر اساس لبه‌یابی با استفاده از فیلتر Prewitt به منظور افزایش سرعت تشخیص هدف ارائه شد. نتایج بصری بدست آمده نشان از عملکرد مطلوب این روش در کنار سرعت بالای آن در ردیابی آنلاین اهداف پرنده دارد.

مراجع:

- [1] Wu Y, Sui Y, Wang G. Vision-based real-time aerial object localization and tracking for UAV sensing system. *IEEE Access*. 2017;5:23969-78.
- [2] Fu C, Carrio A, Olivares-Mendez MA, Suarez-Fernandez R, Campoy P. Robust real-time vision-based aircraft tracking from unmanned aerial vehicles. *Conference Robust real-time vision-based aircraft tracking from unmanned aerial vehicles*. IEEE, p. 5441-6.
- [3] Barmponakis EN, Vlahogianni EI, Golias JC. Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2016;5(3):111-22.
- [4] Goncalves T, Azinheira J, Rives P, Cetto J. Vision-based automatic approach and landing of fixed-wing aircraft using a dense visual tracking. *Informatics in Control Automation and Robotics*: Springer; 2011. p. 269-82.
- [5] Mian AS. Realtime visual tracking of aircrafts. *Conference Realtime visual tracking of aircrafts*. IEEE, p. 351-6.
- [6] Maher A, Taha H, Zhang B. Realtime multi-aircraft tracking in aerial scene with deep orientation network. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2018;15:495-507.
- [7] Tsoukalas A, Xing D, Evangelidou N, Giakoumidis N, Tzes A. Deep learning assisted visual tracking of evader-UAV. *Conference Deep learning assisted visual tracking of evader-UAV*. IEEE, p. 252-7.
- [8] Minaee S, Boykov YY, Porikli F, Plaza AJ, Kehtarnavaz N, Terzopoulos D. Image segmentation using deep learning: A survey. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2021.
- [9] Fernandez-Maloigne C. *Advanced color image processing and analysis*: Springer Science & Business Media, 2012.
- [10] Lukac R, Plataniotis KN. *Color image processing: methods and applications*: CRC press, 2018.
- [11] Vantaram SR, Saber E. Survey of contemporary trends in color image segmentation. *Journal of Electronic Imaging*. 2012;21(4):04901-.
- [12] Lei T, Jia X, Zhang Y, Liu S, Meng H, Nandi AK. Superpixel-based fast fuzzy C-means clustering for color image segmentation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2018;27(9):1753-66.
- [13] Oskouei AG, Hashemzadeh M, Ashoghi B, Balafar MA. CGFFCM: Cluster-weight and Group-local Feature-weight learning in Fuzzy C-Means clustering algorithm for color image segmentation. *Applied Soft Computing*. 2021;113:108005.

-
- [14] Chen T-W, Chen Y-L, Chien S-Y. Fast image segmentation based on K-Means clustering with histograms in HSV color space. Conference Fast image segmentation based on K-Means clustering with histograms in HSV color space. IEEE, p. 322-5.
- [15] Tan KS, Isa NAM, Lim WH. Color image segmentation using adaptive unsupervised clustering approach. Applied Soft Computing. 2013;13(4):2017-36.
- [16] Sinaga KP, Yang M-S. Unsupervised K-means clustering algorithm. IEEE access. 2020;8:80716-27.
- [17] David A, K-means+ VS. The advantages of careful seeding. Conference The advantages of careful seeding. p. 1027-35.
- [18] Bezdek JC, Ehrlich R, Full W. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. Computers & geosciences. 1984;10(2-3):191-203.
- [19] Nayak J, Naik B, Behera H. Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm: a decade review from 2000 to 2014. Conference Fuzzy C-means (FCM) clustering algorithm: a decade review from 2000 to 2014. Springer, p. 133-49.
- [20] Maini R, Aggarwal H. Study and comparison of various image edge detection techniques. International journal of image processing (IJIP). 2009;3(1):1-11.
- [21] Dharampal VM. Methods of image edge detection: A review. J Electr Electron Syst. 2015;4(2):2332-0796.1000150.
- [22] Rong W, Li Z, Zhang W, Sun L. An improved CANNY edge detection algorithm. Conference An improved CANNY edge detection algorithm. IEEE, p. 577-82.
- [23] Sumengen B, Manjunath B. Multi-scale edge detection and image segmentation. Conference Multi-scale edge detection and image segmentation. IEEE, p. 1-4.
- [24] Wang R, Gao L-q, Yang S, Chai Y-h. An edge detection method by combining fuzzy logic and neural network. Conference An edge detection method by combining fuzzy logic and neural network. Springer, p. 930-7.