

# یک مدل پیرامون فعال بهبود یافته برای کاهش خطای رهگیری وسایل پرنده دارای تغییر نمود شدید و حرکات مانوری

سمیرا صبوری<sup>۱</sup>، علیرضا بهراد<sup>۲</sup>، حسن قاسمیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، sabouri.s@srbiau.ac.ir

<sup>۲</sup>استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران، behrad@shahed.ac.ir

<sup>۳</sup>استاد بخش مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ghassemi@modares.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک روش کارآمد به منظور رهگیری وسایل پرنده در توالی‌های ویدئویی حاصل از یک دوربین CCTV رنگی تک‌چشمی متحرک پیشنهاد شده است. هدف از ارائه روش فوق، کاهش خطای رهگیری وسایل پرنده می‌باشد؛ به خصوص در مواقعی که حرکات مانوری و/یا تغییر نمود شدید وجود داشته باشد. روش پیشنهادی رهگیری بر اساس تخمین مرزهای خارجی هدف به کمک مدل رنگ استخراجی ناحیه ROI و بهینه‌سازی مجموعه‌ای از توابع انرژی جدید تعریف شده برای پیرامون فعال می‌باشد. در الگوریتم ارائه شده ابتدا نقاط کنترلی پیرامون فعال در اولین تک‌تصویر با استخراج مرزهای بیرونی ناحیه ROI تعیین گردیده‌اند. سپس در توالی‌های ویدئویی بعدی توزیع رنگ‌های متناظر با هدف آشکارسازی می‌گردند و به کمک توابع انرژی جدیدی که به منظور بهبود ردیابی پیرامون فعال تعریف شده‌اند و بهینه‌سازی آنها، مرز دقیق‌تر پیرامون هدف تعیین و رهگیری می‌گردد. برای ارزیابی روش پیشنهادی، از یک معیار استاندارد به منظور محاسبه خطای رهگیری استفاده شده است. روش پیشنهادی بر روی یک پایگاه داده شامل ۴۶ ویدئو مورد آزمایش قرار گرفت که نسبت به روش‌های مورد مقایسه از ۵/۵۸ تا ۳۹/۳۹ درصد بهبود در کاهش خطا حاصل گردید.

کلید واژه- پیرامون فعال دو بعدی، تطبیق ویژگی، تغییر نمود، رهگیری وسایل پرنده، کمینه‌سازی انرژی.

روش‌های مبتنی بر بینایی، روش‌های مبتنی بر سامانه‌های موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS) و روش‌های ترکیبی موجود در حوزه طیف مرئی و نامرئی. در این مقاله، مقصود رهگیری اهداف پرنده در طیف مرئی می‌باشد. به عنوان مثال در تحقیق [۱]، یک روش مبتنی بر بینایی برای رهگیری وسایل پرنده ارائه شده است. در این روش با فرض آشکارسازی اولیه محل وسیله پرنده، موقعیت هدف با استفاده از یک الگوریتم رهگیری مبتنی بر بهینه‌سازی توابع انرژی مش در ویدئو تخمین زده شده است. در پژوهش دیگری نویسندگان مقاله [۲] از طبقه‌بندی بردارهای حرکت به منظور آشکارسازی مبتنی بر بینایی اهداف پرنده بهره جسته‌اند. در تحقیق [۳] یک روش مبتنی بر بینایی برای مکان-یابی وسایل پرنده ارائه شده است. در این روش برای تشخیص مختصات جهانی هدف و ناحیه حول آن از اطلاعات پیکسل‌های هدف در تصویر، اندازه‌گیری موقعیت و ارتفاع وسیله نقلیه هوایی

## ۱- مقدمه

رهگیری ویدئویی وسایل پرنده (Flying Vehicles) یکی از موضوع‌های مورد علاقه در زمینه کنترل مبتنی بر بینایی سامانه‌های هوایی می‌باشد که از آن ممکن است در کاربردهای مختلفی از جمله مراقبت حریم هوایی؛ رهگیری وسایل پرنده؛ جنگ الکترونیک؛ هدایت روبات‌های پرنده، موشک، میکرو پرنده‌ها و نیز وسایل پرنده بدون سرنشین و ... استفاده گردد.

## ۱-۱ کارهای مرتبط

به‌طور کلی برای رهگیری وسایل پرنده روش‌های متعددی معرفی شده است. از نظر نوع حسگر این روش‌ها به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. این روش‌ها عبارتند از: روش‌های موجود در طیف نامرئی مانند روش‌های مبتنی بر سامانه‌های رادار،

بدون سرنشین (UAV) و زاویه موقعیت دوربین استفاده گردیده است. در تحقیق [۴] از بینایی تک‌چشمی (Monocular Vision) برای تخمین حالت هواپیما استفاده شده است. در روش مذکور، شار نوری پراکنده (Sparse Optical Flow) نقاط ویژگی رهگیری شده برای تخمین زاویه محور بال و نرخ زاویه‌ای هواپیما بکار گرفته شده‌اند. پژوهش [۵] برای هدایت وسایل پرنده از یک دوربین ویدئویی و ارتفاع‌سنج (Altimeter) استفاده نموده است. در روش مذکور از تبدیل هندسی بین دو تک‌تصویر (Frame) متوالی برای تخمین حرکت سه بعدی دوربین استفاده گردیده است. تحقیق [۶] به منظور استخراج ناحیه وسایل پرنده و رهگیری آن از پیرامون فعال (Active Contour) و فیلتر کالمن بسط یافته بهره برده است. در واقع هدف از پژوهش مذکور استفاده از اطلاعات بینایی محلی برای کنترل وسایل پرنده در یک حلقه بازخورد (Feedback) بوده است.

## ۱-۲ انگیزه و هدف

در برخی از روش‌های ذکر شده مانند [۹-۱۱]، خطای رهگیری پیرامون هدف در حرکات مانوری و/یا تغییر نمود شدید در طی زمان به‌طور صعودی افزایش می‌یابد. اصولاً پدیده تغییر نمود در حین تصویربرداری ویدئویی با پدیدار شدن نواحی جدیدی از هدف و ناپدید گردیدن نواحی دیگری همراه است. این پدیده ممکن است در حرکات مانوری با شدت کمتری بوجود آید. بنابراین برای داشتن یک سامانه رهگیری مطمئن باید بتوان چنین مسائلی را نیز در فرآیند رهگیری لحاظ نمود. رسالت این مقاله ارائه روشی به منظور بهبود خطای رهگیری اهداف پرنده به خصوص در چنین مواردی است. بدین منظور در این مقاله از ویژگی رنگ هدف پرنده در الگوریتم پیرامون فعال به منظور تعریف انرژی‌های جدید استفاده گردیده است و نشان خواهیم داد که بکارگیری این ویژگی نقش مؤثری در کاهش خطای رهگیری خواهد داشت.

ساختار مقاله در ادامه بدین قرار است: در بخش دوم، راجع به روش پیشنهادی بحث شده است. نتایج تجربی در بخش سوم آمده است و در انتها نتیجه‌گیری صورت پذیرفته است.

## ۲- روش پیشنهادی

در روش ارائه شده ابتدا در اولین توالی ویدئویی، ناحیه مورد علاقه (ROI: Region Of Interest) هدف مورد رهگیری به صورت تقریبی توسط کاربر تعیین می‌گردد. سپس با استفاده از یک الگوریتم بازگشتی مرز بیرونی هدف پرنده تعیین می‌گردد و

از آن به عنوان نقاط اولیه پیرامون فعال (نقاط کنترلی) استفاده می‌گردد. برای کاهش خطای رهگیری، مجموعه‌ای از توابع انرژی جدید برای پیرامون فعال تعریف نموده‌ایم. شکل هندسی پیرامون با توابع انرژی پیرامون فعال در یک الگوریتم بهینه‌سازی تکراری تغییر می‌نماید. سپس توزیع رنگ داخل پیرامون بسته بهینه‌سازی شده نهایی تخمین زده می‌شود. از توزیع رنگ پیرامون نهایی در تک‌تصویر فعلی به عنوان معیار مکان‌یابی اولیه هدف در تک‌تصویر بعدی استفاده می‌گردد. بنابراین در توالی ویدئویی بعدی در ناحیه‌ای حول پیرامون نهایی تک‌تصویر قبلی، عمل جستجو برای یافتن نواحی دارای توزیع رنگ مشابه ادامه می‌یابد. سپس با یک پس‌پردازش مبتنی بر فیلترهای ریخت-شناسی (Morphology) نواحی زائد را حذف می‌نماییم و ناحیه متناظر با هدف در تک‌تصویر قبلی در هر تک‌تصویر جدید استخراج می‌گردد. با استفاده از الگوریتم پیرامون فعال بهترین پیرامون را بر ناحیه مورد نظر محاط می‌نماییم. این روند در توالی‌های بعدی با رهگیری ناحیه هدف پرنده ادامه می‌یابد.

## ۲-۱ استخراج و تطبیق ویژگی رنگ

پس از تعیین ناحیه ROI  $(x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max})$  مدل رنگ این ناحیه در فضای رنگ RGB تخمین زده می‌شود. شکل ۱ هیستوگرام مؤلفه‌های R، G و B برای یک وسیله پرنده نوعی را به‌طور مجزا نشان می‌دهد. در اینجا مدل تقریبی رنگ به شکل تابع گوسی سه متغیبری در نظر گرفته شده است. به منظور یافتن نقاط دارای مدل رنگ مشابه (در تک‌تصویر فعلی) با توزیع رنگ بدست آمده از هدف (در تک‌تصویر قبلی) از یک روش تطبیق ویژگی رنگ استفاده گردیده است. الگوریتم استخراج و تطبیق ویژگی رنگ بصورت زیر پیاده‌سازی شده است:

۱- پارامترهای مدل گوسی رنگ هدف را در تک‌تصویر  $t$  تخمین بزنید:

$$\boldsymbol{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_R \\ \mu_G \\ \mu_B \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\Sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_R^2 & \sigma_{RG} & \sigma_{RB} \\ \sigma_{RG} & \sigma_G^2 & \sigma_{GB} \\ \sigma_{RB} & \sigma_{GB} & \sigma_B^2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

که در آن  $\boldsymbol{\mu}$  بردار میانگین و  $\boldsymbol{\Sigma}$  ماتریس کواریانس و نمادهای R، G و B معرف سطوح رنگ قرمز، سبز و آبی می‌باشند.

۲- به منظور تعیین نواحی مشابه با اطلاعات رنگ در تک‌تصویر  $t+1$ ، آستانه  $T$  را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمایید:

$$T = \alpha \times \{\max(\sigma_R, \sigma_G, \sigma_B)\}, \quad (2)$$

که در آن  $\alpha$  یک ضریب ثابت می‌باشد.

خواهیم پرداخت. نقاط کنترلی پیرامون هدف (SNAXEL) طبق ماتریس زیر تعریف می‌شوند:

$$\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1 \dots \mathbf{v}_n] \quad (4)$$

که در آن  $n$  تعداد نقاط کنترلی و  $\mathbf{v}_i = (x_i \ y_i)^T$  بیانگر نقطه کنترلی  $i$  ام می‌باشد. انرژی کل پیرامون در فضای گسسته بصورت مجموع دو انرژی زیر تعریف گردیده است [۹]:

$$E_{\text{contour}} = \sum_{i=0}^{n-1} [E_{\text{internal}}(\mathbf{v}_i) + E_{\text{external}}(\mathbf{v}_i)] \quad (5)$$

که در آن  $E_{\text{internal}}$  و  $E_{\text{external}}$  به ترتیب انرژی‌های داخلی و خارجی تعریف شده در پیرامون می‌باشند. انرژی داخلی به ساختار و شکل هندسی پیرامون (که توصیف کننده شکل هندسی هدف می‌باشد) وابسته است و توصیف کننده وضعیت نقاط کنترلی نسبت به یکدیگر می‌باشد؛ اما انرژی خارجی به شکل تصاویر ویدئویی و مشخصه‌های فیزیکی هدف (مانند تغییرات فرکانسی) بستگی دارد. انرژی داخلی خود مشتمل بر انرژی پیوستگی و انرژی انحناء است:

$$E_{\text{internal}}(\mathbf{v}_i) = E_{\text{continuity}}(\mathbf{v}_i) + E_{\text{curvature}}(\mathbf{v}_i), \quad (6)$$

$E_{\text{continuity}}$  انرژی پیوستگی می‌باشد. مقصود از بکارگیری این انرژی، برابری فاصله نقاط کنترلی مجاور و حفظ پیوستگی پیرامون فعال است. این انرژی عبارت است از [۱۰]:

$$E_{\text{continuity}}(\mathbf{v}_i) = (\bar{h} - |\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i-1}|)^2, \quad (7)$$

در معادله فوق،  $\bar{h}$  طول متوسط نقاط کنترلی مجاور هم می‌باشد و در ابتدای هر تکرار الگوریتم بهینه‌سازی انرژی به روز رسانی می‌گردد.  $E_{\text{curvature}}$  انرژی انحناء می‌باشد که در حالت گسسته عبارت است از:

$$E_{\text{curvature}}(\mathbf{v}_i) = |(\mathbf{v}_{i+1} - 2\mathbf{v}_i + \mathbf{v}_{i-1})|^2, \quad (8)$$

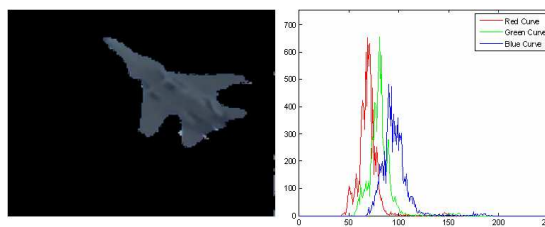
این رابطه بیانگر میزان انحناء در نقطه  $\mathbf{v}_i$  می‌باشد. با کاهش انرژی انحناء شکل پیرامون هموارتر می‌گردد.

تابع انرژی خارجی و یا انرژی تصویر بیانگر موقعیت قرارگیری پیرامون در تصویر می‌باشد و به مشخصات تصویر بستگی دارد. انرژی خارجی تعریف شده، پیرامون را به سمت ویژگی رنگی مطلوب سوق می‌دهد. تابع انرژی خارجی که شامل مجموعه‌ای از انرژی‌های جدید می‌باشد و نقطه اتکای الگوریتم پیشنهادی است، به شکل زیر تعریف شده است:

$$(9)$$

$$E_{\text{external}}(\mathbf{v}_i) = E_{\text{edge}}(\mathbf{v}_i) + E_{\text{distance}}(\mathbf{v}_i) + E_{\text{texture}}(\mathbf{v}_i),$$

انرژی لبه می‌باشد که از مجموع دو انرژی گرادبان رنگ و



شکل ۱: هیستوگرام مؤلفه‌های R, G و B یک وسیله پرنده.

۳- ناحیه جستجو حول هدف در تک‌تصویر  $t+1$  را از نقطه  $(x_{\min} - dx, y_{\min} - dy)$  تا نقطه  $(x_{\max} + dx, y_{\max} + dy)$  در نظر بگیرید که در آن  $(dx, dy)$  حاشیه مطمئن برای جابجایی هدف پرنده است.

۴- به ازای هر پیکسل از ناحیه جستجو در تک‌تصویر  $t+1$  فاصله ماهالانوبیس را با استفاده از رابطه زیر بدست آورید:

$$D_M(\mathbf{x}, \boldsymbol{\mu}) = \sqrt{(\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x} - \boldsymbol{\mu})}, \quad (3)$$

که در آن بردار  $\mathbf{x} = [\mathbf{F}_R(x, y) \ \mathbf{F}_G(x, y) \ \mathbf{F}_B(x, y)]^T$  مقدار رنگ هر پیکسل از ناحیه جستجو در تک‌تصویر  $t+1$  است و تابع دو بعدی  $\mathbf{F}_L(x, y), \forall L = R, G, B$  معرف تک‌تصویر سطح  $L$  ام می‌باشد.

۵- چنانچه  $D_M(\mathbf{x}, \boldsymbol{\mu}) < T$  باشد، مقدار آن پیکسل را یک و در غیر این صورت آن را صفر در نظر بگیرید. بنابراین یک تصویر دودویی تشکیل خواهد شد که در آن پیکسل‌های سفید متناظر با نقاط مشابه با توزیع رنگ هدف می‌باشند و پیکسل‌های سیاه متناظر با نقاط غیر مشابه هستند.

۶- به وسیله یک پس‌پردازش مبتنی بر فیلترهای ریخت‌شناسی نواحی زاید را حذف نمایید.

۷- مرز بیرونی ناحیه تعیین شده را به‌عنوان پیرامون اولیه هدف در تک‌تصویر  $t+1$  در نظر بگیرید. محل پیرامون نهایی با استفاده از مدل پیرامون فعال دو بعدی تعیین می‌گردد.

## ۲-۲ مدل پیرامون فعال دو بعدی

همانطور که در روش پیشنهادی ذکر شد، از پیرامون فعال دو بعدی به منظور تعیین مرزهای خارجی دقیق هدف در حین رهگیری استفاده گردیده است. در ساختار پیرامون فعال، از ترکیب چند تابع انرژی استفاده می‌گردد. این توابع در یک الگوریتم تکراری بهینه‌سازی می‌شوند.

### ۲-۲-۱ توابع انرژی پیرامون فعال

در پیرامون فعال از دو تابع انرژی داخلی و خارجی استفاده گردیده است که به ذکر ماهیت و مفهوم فیزیکی هر کدام

با استفاده از انرژی فوق هر نقطه کنترلی به سمتی حرکت خواهد نمود که دارای توزیع رنگ مشابهتری با آن باشد. در واقع می توان گفت این انرژی فاصله رنگی را کمینه می نماید.

$E_{\text{texture}}$  انرژی بافت می باشد. بدلیل اینکه در لبه های هدف (مرزهای بیرونی) میزان بی نظمی و عدم قطعیت نسبت به نقاط دیگر بیشتر است، از میزان آنتروپی در تعریف انرژی بافت برای بالا بردن دقت الگوریتم رهگیری بهره برده ایم. این انرژی طبق رابطه زیر تعیین می گردد:

$$E_{\text{texture}}(\mathbf{v}_i) = -[\mathbf{H}_R(\mathbf{v}_i) + \mathbf{H}_G(\mathbf{v}_i) + \mathbf{H}_B(\mathbf{v}_i)], \quad (19)$$

که در آن  $\mathbf{H}_R(\mathbf{v}_i)$ ،  $\mathbf{H}_G(\mathbf{v}_i)$  و  $\mathbf{H}_B(\mathbf{v}_i)$  به ترتیب میزان آنتروپی هر یک از سطوح رنگ R، G و B می باشند. علامت منفی در رابطه فوق به واسطه حرکت به سمت نقطه کمینه خواهد بود. آنتروپی برای هر سطح رنگ بدین صورت محاسبه گردیده است:

$$\mathbf{H}_L = \sum_{i=0}^{k-1} P_{D,\omega}(d_{L_i}) \log_2 \left( \frac{1}{P_{D,\omega}(d_{L_i})} \right), \quad \forall L = R, G, B \quad (20)$$

$d_{L_i}$  یک متغیر تصادفی و بیانگر شدت روشنایی در سطح رنگ  $L$ ،  $P_{D,\omega}$  هیستوگرام شدت روشنایی سطح رنگ  $L$  در همسایگی مربعی  $\omega$  از نقطه کنترلی  $i$  ام و  $D$  تعداد سطوح شدت روشنایی است که برای هر سطح رنگی هشت بیتی عبارت است از:

$$D = \{d_0, d_2, \dots, d_{k-1}\} = \{0, 1, \dots, 255\}. \quad (21)$$

## ۲-۲-۲-۲-۲ کمینه سازی توابع انرژی

در روش پیشنهادی به منظور کمینه سازی انرژی های پیرامون فعال از الگوریتم تکراری Greedy استفاده شده است [۱۱]. دلیل بکارگیری این روش سرعت قابل قبول محاسبات آن است. الگوریتم کمینه سازی برای نقطه کنترلی  $i$  ام بدین گونه پیاده سازی شده است:

۱- انرژی کل پیرامون را حول یک پنجره مربعی،  $\omega \times \omega$ ، به مرکزیت نقطه کنترلی  $i$  ام محاسبه نمایید.

۲- اندیس نقطه متناظر با کمترین مقدار انرژی کل درون پنجره را تعیین کنید. اگر چندین نقطه کمینه یکسان وجود داشت، به طور دلخواه اندیس اولین نقطه را انتخاب نمایید.

۳- محل نقطه کنترلی متناظر با نقطه کمینه محلی را در یک متغیر ذخیره نمایید.

این روند برای تمامی  $n$  نقطه کنترلی به طور مشابه انجام می گیرد و پس از آن کل نقاط کنترلی به محل های جدید انتقال می یابند. الگوریتم کمینه سازی به تعداد دفعات  $r$  بار تکرار می

موجب تعیین می گردد. به کمک این انرژی نقاط کنترلی به سمت مرزهای قوی تر جذب می گردند. این انرژی عبارت است از:

$$E_{\text{edge}}(\mathbf{v}_i) = -[E_{\text{gradient}}(\mathbf{v}_i) + E_{\text{wavelet}}(\mathbf{v}_i)], \quad (10)$$

علامت منفی در رابطه مذکور به دلیل این است که در گام های الگوریتم بهینه سازی به سمت نقطه کمینه محلی حرکت خواهیم نمود.  $E_{\text{gradient}}$  بیانگر انرژی گرادیان رنگ تصویر می باشد که طبق رابطه زیر محاسبه گردیده است:

$$E_{\text{gradient}} = \sqrt{\frac{(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos(2\phi) + 2g_{xy} \sin(2\phi)}{2}},$$

که در آن مشتقات مرتبه دوم در راستاهای  $x$  و  $y$  عبارتند از:

$$g_{xx} = \left| \frac{\partial \mathbf{F}_R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial \mathbf{F}_G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial \mathbf{F}_B}{\partial x} \right|^2, \quad (12)$$

$$g_{yy} = \left| \frac{\partial \mathbf{F}_R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial \mathbf{F}_G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial \mathbf{F}_B}{\partial y} \right|^2, \quad (13)$$

$$g_{xy} = \frac{\partial \mathbf{F}_R}{\partial x} \cdot \frac{\partial \mathbf{F}_R}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{F}_G}{\partial x} \cdot \frac{\partial \mathbf{F}_G}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{F}_B}{\partial x} \cdot \frac{\partial \mathbf{F}_B}{\partial y}, \quad (14)$$

$\phi$  زاویه تصویر را بر حسب رادیان در نقطه ای که گرادیان محاسبه شده است، می دهد و عبارت است از:

$$\phi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2g_{xy}}{(g_{xx} - g_{yy})} \right). \quad (15)$$

$\mathbf{E}_{\text{wavelet}}(\mathbf{v}_i)$  بیانگر انرژی موجک در نقطه کنترلی  $i$  ام است. تبدیل موجک گسسته استفاده شده در الگوریتم پیشنهادی از نوع Symlet I می باشد. انرژی موجک را طبق رابطه زیر تعریف نموده ایم:

$$E_{\text{wavelet}} = \mathbf{W}_R + \mathbf{W}_G + \mathbf{W}_B, \quad (16)$$

$\mathbf{W}_R$ ،  $\mathbf{W}_G$  و  $\mathbf{W}_B$  به ترتیب تبدیل موجک هر یک از تصاویر سطوح رنگ R، G و B می باشند. تبدیل موجک برای هر سطح رنگ بدین صورت محاسبه شده است:

$$\mathbf{W}_L = \left| \mathfrak{I}_{AC=0}^{-1} \{ \mathfrak{I}_{AC=0} \{ \mathbf{F}_L \} \} \right|, \quad \forall L = R, G, B \quad (17)$$

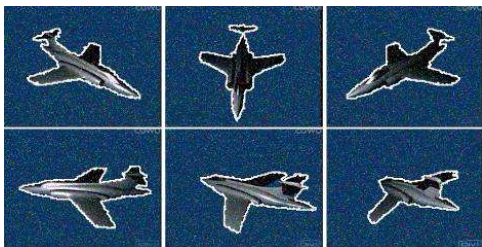
که در آن عملگر  $\mathfrak{I}^{-1} \{ \bullet \}$  بیانگر معکوس تبدیل موجک دو بعدی و  $\mathfrak{I}_{AC=0} \{ \bullet \}$  تبدیل موجک دو بعدی تحت "ضریب تقریب" برابر با صفر می باشد.  $E_{\text{distance}}$  انرژی فاصله ماهالانوبیس در فضای رنگ RGB می باشد که فاصله از هر نقطه کنترلی تا یک همسایگی مربعی از پیش تعریف شده آن،  $\omega \times \omega$ ، را می سنجد:

$$E_{\text{distance}}(\mathbf{v}_i) = \left| D_M(\mathbf{v}_i) - D_M(\mathbf{v}_{\text{neighbor}}) \right|, \quad (18)$$

دیگر در حوزه مدل‌های شکل‌پذیر، الگوریتم ارایه شده با روش‌های [۹-۱۷] مورد مقایسه قرار گرفته است. در جدول ۱ نتایج روش پیشنهادی با روش‌های [۹-۱۷] بر روی پایگاه داده فراهم شده، آمده است. همانطور که از نتایج جدول پیداست، متوسط خطای رهگیری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه از ۵/۵۸ تا ۳۹/۳۹ درصد بهبود یافته است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای رهگیری وسایل پرنده ارایه گردید. هدف از روش توسعه یافته، افزایش دقت رهگیری پیرامون هدف به‌خصوص در شرایط تغییر نمود شدید و حرکات مانوری می‌باشد. با بکارگیری الگوریتم تطبیق ویژگی رنگ در روش پیرامون فعال دو بعدی و نیز استفاده از مجموعه‌ای از توابع انرژی خارجی جدید، به قابلیت کاهش خطای رهگیری از ۵/۵۸ تا ۳۹/۳۹ درصد دست یافتیم. ویژگی رنگ و انرژی‌های خارجی نقش مؤثری را در بهبود دقت رهگیری ناحیه پیرامون هدف دارا هستند. انرژی‌های خارجی تعریف شده کیفیت یافتن مرز بیرونی هدف را به‌طور قابل ملاحظه‌ای در الگوریتم کمینه‌سازی ارتقا بخشیدند. در پیاده‌سازی روش پیشنهادی سعی شد از ترفندهایی برای کاهش حجم محاسبات استفاده گردد (بهینه‌سازی Source Code) که به یک مورد آن در زیر بخش ۲-۲-۲ اشاره شد. دقت رهگیری هدف بر روی ۴۶ داده ویدئویی آزمایش شده توسط روش پیشنهادی بیش از ۹۵ درصد گزارش شده است.



شکل ۲: رهگیری یک وسیله پرنده مصنوعی در حالت تغییر نمود شدید همراه با ۱۰ درصد نویز لافل نمکی.

جدول ۱. مقایسه متوسط خطای رهگیری روش پیشنهادی با چند روش دیگر

روش	متوسط خطای رهگیری (درصد)
روش پیشنهادی	۴/۱۲
روش [۱]	۹/۷۰
روش [۷]	۹/۷۵
روش [۸]	۲۳/۹۲
روش [۹]	۴۳/۵۱

گردد. در الگوریتم کمینه‌سازی انرژی برای کاهش پیچیدگی محاسبات، بجای تخمین انرژی لبه و بافت در نقاط کنترلی و همسایگی‌های آن، این انرژی‌ها برای کل یک تک‌تصویر محاسبه گردیده‌اند و سپس برای نقاط کنترلی و همسایگی‌های آن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در واقع محاسبات به‌صورت فرم متعارف (Canonical Form) انجام شده است.

#### ۳- نتایج تجربی

برای آزمایش روش پیشنهادی یک پایگاه داده ویدئویی مشتمل بر ۴۶ فایل ویدئویی فراهم نموده‌ایم که حاصل از تصویربرداری با دوربین CCTV رنگی متحرک می‌باشند. نرخ تک‌تصویرها مطابق با استاندارد PAL، برابر ۲۵ هرتز می‌باشد. تعداد تک‌تصاویر دنباله‌های ویدئویی بین ۱۵۰ تا ۸۰۰ تک‌تصویر متغییر است. داده‌ها در شرایطی نظیر تغییر نمود شدید، حرکات مانوری، چرخش، بزرگ‌نمایی، تغییر شدت روشنایی صحنه و شرایط ابری گردآوری شده‌اند. بعلاوه روش پیشنهادی در شرایط نویزی و نیز با نمونه‌های ویدئویی مصنوعی (Synthetic) اهداف پرنده مورد آزمایش قرار گرفته است. شکل ۲ نتایج الگوریتم رهگیری را بر روی یک نمونه وسیله پرنده مصنوعی دارای تغییر نمود شدید نشان می‌دهد که به توالی‌های ویدئویی آن به میزان ۱۰ درصد نویز لافل نمکی اضافه شده است. در شکل ۳ نتایج الگوریتم رهگیری پیشنهادی بر روی شش نمونه ویدئویی رنگی مختلف با شرایط حرکتی متفاوت نشان داده شده است. مقدار  $\alpha$  در الگوریتم تطبیق ویژگی برابر ۰/۵ انتخاب گردیده است. مقادیر  $dx$  و  $dy$  در ناحیه جستجو برابر ۱۰ پیکسل انتخاب شده‌اند. همچنین طول پنجره مربعی،  $w$ ، و تعداد تکرارها،  $r$ ، در الگوریتم بهینه‌سازی به ترتیب برابر ۳ و ۵ انتخاب گردیده‌اند. به‌منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی از یک معیار استاندارد برای محاسبه خطای رهگیری استفاده گردیده است [۲ و ۱۲]. بر این اساس خطای رهگیری در تک‌تصویر  $t$  ام عبارت است از:

$$TE(t) = 100 \times \left( \frac{A(FUC) - A(F \cap C)}{A(FUC)} \right) \quad (22)$$

که در آن عملگر  $A(\bullet)$  بیانگر مساحت ناحیه مورد نظر،  $F$  پیرامون واقعی وسیله پرنده و  $C$  پیرامون نهایی حاصل از روش پیشنهادی می‌باشد. برای تخمین میزان خطای رهگیری، پیرامون واقعی وسیله پرنده (منظور Ground Truth است) بطور دستی توسط کاربر از قبل تعیین می‌گردد. نمونه برداری برای اندازه‌گیری خطای رهگیری انتخاب یک تک‌تصویر از هر ۱۰ تک‌تصویر طی شده می‌باشد. به‌منظور مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های



شکل ۳: نتایج الگوریتم رهگیری پیشنهادی بر روی شش نمونه ویدئویی.

*IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, Vol. 2, pp. 643-648, 2002.

- [6] A. Betsler, P. Vela, and A. Tannenbaum, "Automatic Tracking of Flying Vehicles Using Geodesic Snakes and Kalman Filtering," *43<sup>rd</sup> IEEE International Conference on Decision and Control*, Vol. 2, pp. 1649-1654, 2004.
- [7] S. Torkan, A.R. Behrad, "A New Contour Based Tracking Algorithm Using Improved Greedy Snake," *To Appear in the 18<sup>th</sup> Iranian Conference of Electrical Engineering*, 2010.
- [8] B.H. Lee, I. Choi, G.J. Jeon, "Motion-based boundary tracking of moving object using parametric active contour models", *IEICE Trans. INF& SYS.*, Vol. E90-D, No. 1, pp. 355-363, 2007.
- [9] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 1, No. 4, pp. 321-331, 1987.
- [10] J. Williams, and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimating," *CVGIP: Image Understanding*, Vol. 55, pp. 14-26, 1992.
- [11] K.M. Lam, and H. Yan, "Locating Head Boundary by Snakes," *International Symposium on Speech, Image Processing and Neural Networks*, pp. 17-20, 1994
- [12] R. Kasturi, D. Goldgof, P. Soundararajan, V. Manohar, R. Bowers, M. Boonstra, V. Korzhova, and J. Zhang, "Framework for Performance Evaluation of Face, Text, and Vehicle Detection and Tracking in Video: Data, Metrics, and Protocol," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 31, No. 2, pp. 319-336, 2009.

## سیاس‌گذاری

این مقاله مورد حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران قرار گرفته است.

## مراجع

- [۱] ع. تیموری، ع.ر. بهراد، و ا. دلفروزی؛ "روشی جدید در رهگیری ویدئویی اهداف پرنده مبتنی بر کمینه‌سازی توابع انرژی" *شانزدهمین دوره کنفرانس مهندسی برق ایران*، ص. ۳۲۹-۳۳۴، مخابرات، ۱۳۸۷.
- [2] A. Taimori, A.R. Behrad, and S. Sabouri, "A New Scheme for Vision-Based Flying Vehicle Detection Using Motion Flow Vectors Classification," *9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, pp. 175-180, 2009.
- [3] J.D. Redding, T.W. McLain, R.W. Beard, and C.N. Taylor, "Vision-Based Target Localization from a Fixed-Wing Miniature Air Vehicle," *IEEE American Control Conference*, 2006.
- [4] J.J. Kehoe, R.S. Causey, A. Arvai, and R. Lind, "Partial Aircraft State Estimation from Optical Flow Using Non-Model-Based Optimization," *IEEE American Control Conference*, 2006.
- [5] Y. Jianchao, "A New Scheme of Vision Based Navigation for Flying Vehicles-Concept Study and Experiment Evaluation," *7<sup>th</sup>*