

## اصلاح ردیاب انتقال متوسط برای ردگیری هدف با الگوی تابشی متغیر

پیمان معلم<sup>۱\*</sup> جواد عباس پور<sup>\*\*</sup> علیرضا معمارمقدم<sup>\*\*\*</sup> مسعود کاوش تهرانی<sup>\*\*\*\*</sup>

\* دانشیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه اصفهان، اصفهان

\*\* کارشناس ارشد الکترواپتیک، پژوهشکده اپتوالکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

\*\*\* دانشجوی دکتری مهندسی برق الکترونیک، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه اصفهان، اصفهان

\*\*\*\* دانشیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۰۳

### چکیده

یکی از روش‌های مرسوم در زمینه‌ی ردیابی تصویری اهداف غیرصلب، استفاده از روالی تکراری به نام انتقال متوسط در تعیین موقعیت مد مرکزی هدف است. نمایش هدف در ردیاب انتقال متوسط برپایه‌ی هیستوگرام ویژگی بانقاب‌گذاری مکانی با یک کرنل مستقل از جهت انجام می‌شود. بحرانی‌ترین چالش در ردیاب انتقال متوسط، تنظیم مقیاس کرنل است. تاکنون هیچ روش کارآمد و بی‌عیب و نقصی برای تنظیم و یا وفق دهی ابعاد کرنل، زمانی که ابعاد هدف تغییر می‌کند، ارائه نشده است. مشکل دیگر ردیاب انتقال متوسط در رویارویی با هدف با الگوی تابشی متغیر پیش می‌آید. در این مقاله با رویکرد حل این مشکلات، الگوریتم ردیابی انتقال متوسط همراه با اندازه بندی وفقی قوی ارائه می‌گردد، ضمن این که مشکل الگوریتم انتقال متوسط را در مواجهه با تغییرات الگوی تابشی هدف با وفق دهی مدل هدف در هر قاب حل می‌کند. در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از روش محاسبه‌ی توان ناشی از مشتقات مکان-زمانی شدت پیکسل‌های تصویر، ابعاد پنجره در قاب بعد تنظیم می‌شود. سپس نتایج حاصل از اندازه بندی پنجره در قاب بعد، در ردیاب انتقال متوسط اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از الگوریتم پیشنهادی ضمن اینکه به کاهش خطای موقعیت یابی هدف در مقایسه با الگوریتم انتقال متوسط استاندارد می‌انجامد، در برابر تغییرات تباین<sup>۲</sup> و الگوی تابشی هدف نیز کارایی قابل توجهی از خود نشان می‌دهد.

**کلید واژگان:** ردیاب انتقال متوسط، مدل هیستوگرام، کرنل،

پنجره ردیابی، اندازه بندی وفقی، تباین.

### ۱. مقدمه

طی یک دهه اخیر کاربردهای ماشین بینایی به طور وسیعی افزایش پیدا کرده است. نمونه ای از این کاربردها که از زمینه‌های مورد علاقه در ماشین بینایی است، ردیابی خودکار اهداف می باشد که به علت کاربردهای تجاری-صنعتی متنوع آن، اهمیت ویژه‌ای در سالهای اخیر پیدا کرده است. در واقع ردیابی هدف، فرآیند آشکارسازی و تعیین حرکت هدف در دنباله‌ای از تصاویر ویدئویی می‌باشد. با توجه به داده‌های تصویری شیوه‌های مختلف ردیابی به چهار دسته عمده تقسیم می شوند [۱] ردیابی بر اساس مدل سه بعدی [۲] ردیابی بر مبنای نواحی [۳] ردیابی بر مبنای کانترهای فعال [۴] و ردیابی بر مبنای نقاط ویژگی [۵].

در شیوه‌ی آخر به دلیل این که نقاط ویژگی متعلق به هدف، همگی حرکت یکسانی دارند، یک گروه پیکسلی را تشکیل می دهند که متمایز از گروه پیکسلی مربوط به اشیاء متحرک دیگر درون صحنه است. نقاط ویژگی می‌توانند لبه‌ها، مرز نواحی هدف، نواحی با رنگ-های خاص، منحنی درون بافت و یا نقاط گوشه‌ای هدف باشند [۶]. الگوریتم‌هایی که مبنای کار را این ویژگی‌ها قرار می‌دهند، الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی نامیده می‌شوند. گام بعدی در این الگوریتم‌ها تعریف فضای ویژگی برای توصیف هدف است. در این مقاله نیز اساساً از یک الگوریتم کرنل- پایه کمک می‌گیریم [۷]، که نوعی الگوریتم ردیابی مبتنی بر ویژگی است. در این روش، موقعیت یابی هدف بر پایه‌ی اجرای فرایند انتقال متوسط انجام می‌شود [۸]. به همین دلیل این روش به الگوریتم ردیابی بر پایه‌ی انتقال متوسط مشهور است. در واقع ردیاب انتقال متوسط از الگوی فرکانس پایین

<sup>۱</sup> نویسنده عهده‌دار مکاتبات (p\_moallem@eng.ui.ac.ir)

ردیاب پایه بگذارد، موفقیت آن در ردیابی هدف دور از انتظار نخواهد بود. برای این منظور لازم است همراه با وفق دهی مدل هدف، اندازه بندی سریع و پایداری روی پنجره انجام شود. مرجع [۱۰] پس از بررسی و مقایسه انواع الگوریتم های اندازه بندی پنجره، کنترل وفقی ابعاد پنجره را با استفاده از روشی مبتنی بر توان ناشی از مشتقات زمان - مکانی تصویر هدف پیشنهاد داده است که از سرعت واکنش قابل قبولی متناسب با حرکت هدف برخوردار است. مهمترین کارکرد روش پیشنهادی، تعیین نسبتاً دقیق پهنای کرنل هدف در قاب جاری و البته قبل از اجرای الگوریتم انتقال متوسط است. بهترین دستاورد این ایده را می توان کاهش مؤثر نقش زمینه در الگوی هدف دانست.

مطالب این مقاله به این صورت تنظیم شده است که ابتدا به شرح کلی از الگوریتم پیشنهادی در قسمت بعد خواهیم پرداخت. سپس به مرور الگوریتم ردیابی انتقال متوسط استاندارد می پردازیم. وفق دهی مدل هدف و کنترل وفقی ابعاد پنجره، مطالب ادامه ی مقاله را تشکیل خواهند داد. در انتها نیز عملکرد روش پیشنهادی را با بکارگیری رشته تصاویر ساختگی و واقعی مورد بررسی قرار می دهیم و نتایج اجرای آن را نسبت به دو حالت استاندارد [۷] و تشکیل فضای مقیاس (کولینز) [۱۱]، مقایسه می کنیم.

## ۲. توصیف کلی روش پیشنهادی

بلوک دیاگرام کلی الگوریتم پیشنهادی در شکل ۱ آورده شده است. فرض کنیم که موقعیت هدف و ابعاد اولیه پنجره ردیابی در فریم اول (F1) تعیین شده است، حال به تنظیم وفقی ابعاد پنجره با ابعاد هدف در قاب جاری ( $F_k, k \geq 2$ ) با استفاده از روش محاسبه ی تغییرات مکان-زمانی شدت پیکسل های تصویر می پردازیم [۱۰]. با انجام چنین کاری در واقع محدوده ی واقعی تری را جهت استخراج مدل هیستوگرام هدف مشخص کرده ایم. حال ابعاد پنجره در قاب جاری را به ردیاب انتقال متوسط استاندارد انتقال می دهیم. در این مرحله موقعیت یابی هدف در قاب جاری ( $F_k, k \geq 2$ )، با تشکیل مدلی از هدف انجام می شود که قابل تنظیم در تمامی شرایط باشد [۹]. حلقه ی الگوریتم با بهنگام سازی مشخصات پنجره با موقعیت جدید هدف بسته می شود.

تصویر هدف کمک می گیرد و در هر قاب به دنبال مدلی از این الگوی ناحیه ای هدف در تصویر است که به مدل هیستوگرام مرجع نزدیکتر است. این مدل اصطلاحاً مدل هیستوگرام داوطلب هدف نامیده می شود. سنجه ی تعیین مدل داوطلب هدف، استفاده از ضریب تشابه بین دو مدل مرجع و داوطلب است [۷].

اما پارامتر بحرانی در ردیاب انتقال متوسط پهنای کرنل است، چراکه استفاده از یک الگوریتم اندازه بند کارآمد روی تصویر هدف در کنار این ردیاب، عملکرد آن را به شکل قابل توجهی بهبود می بخشد. تأثیر این موضوع در زمانی که ردگیری هدف با اندازه ی تصویری متغیر مدنظر است به وضوح قابل درک است. مرجع [۷] روشی را در این رابطه پیشنهاد نموده که ابعاد پنجره هدف را بر مبنای بهترین مدل هیستوگرام تنظیم می کند. مشکل اصلی این روش (بخصوص زمانی که توزیع طیفی جسم یکنواخت باشد) این است که شعاع بهینه ی بدست آمده از این روش، تمایل به کوچکتر شدن دارد. دلیل این امر این است که در مورد شعاع های ۱۰ درصد کوچکتر، همواره ضریب مشابهت بیشتری بدست می آید (حتی اگر مقیاس ثابت باشد). همچنین این روش در شرایطی که اندازه هدف نسبتاً سریع تغییر می کند، ردیابی پایداری را نتیجه نمی دهد. این موضوع از ثابت بودن میزان انبساط یا انقباض پنجره ناشی می شود. در مرجع [۱۱] کولینز موقعیت-یابی هدف و اندازه بندی پنجره ی ردیابی در ردیاب انتقال متوسط را بر مبنای تشکیل فضای مقیاس انجام می دهد. مشکلی که این روش دارد این است که اندازه بندی پنجره ی ردیابی تنها زمانی به نتیجه ی خوبی منجر می شود که هدف ردیابی شده صلب، بدون تغییر شکل و دارای توزیع یکنواختی باشد. در غیر این صورت لبه های داخلی جسم به عنوان مقیاس در نظر گرفته می شود. همچنین طول و عرض تصویر باید با نسبت یکسان بزرگ و یا کوچک شوند.

مشکل دیگر ردیاب انتقال متوسط استاندارد، ضعف در رویارویی با هدف با شدت و الگوی تابشی متغیر است، به طوری که در چنین حالتی ردیاب انتقال متوسط با مشکل مواجه می شود. منشأ اصلی پیدایش این مشکل، ثابت فرض نمودن مدل هدف در تمامی قاب ها است.

به هر حال مشکل هدف با الگوی تابشی متغیر را می توان با وفق دهی مدل هدف حل کرد [۹]، اما چنانچه بتوان الگوریتمی داشت که الگوی هدف را با کمترین تأثیرپذیری از الگوی زمینه ی آن در اختیار

یکنواخت نسبت به دو بعد انتخاب می‌شود. منحنی این دو نمایه در شکل ۲ نمایش داده شده‌است.

در قاب جاری بدنبال مدلی هستیم که بیشترین شباهت را به مدل هیستوگرام مرجع داشته‌باشد. این مدل، مدل داوطلب هدف نامیده می‌شود. بنابراین با فرض این‌که ناحیه‌ی داوطلب  $n$  پیکسلی به مرکزیت  $y$  با  $\{x_i\}_{i=1,\dots,n}$  نمایش داده‌شود، مدل هیستوگرام داوطلب هدف، یعنی  $\hat{p}(y) = \{p_u(y)\}_{u=1,\dots,m}$  در این ناحیه با رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$p_u(y) = C' \sum_{i=1}^n k(\|y - x_i\|^2) \delta[b(x_i) - u] \quad (4)$$

که در آن  $C'$  بازم با رابطه‌ی بهنجارش  $\sum_{u=1}^m p_u(y) = 1$  بدست می‌آید.

### ۳.۱. سنجه شباهت

سنجه‌ای که برای اندازه‌گیری فاصله بین دو مدل هیستوگرام مرجع و مدل هیستوگرام داوطلب مرسوم است، عبارت‌است از:

$$d_q(y) = \sqrt{1 - \rho[\hat{p}(y), \hat{q}]}$$

که  $\rho[\hat{p}(y), \hat{q}]$  ضریب تشابه بین دو مدل است:

$$\rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{i=1}^n \sqrt{\hat{p}(y) \hat{q}} \quad (5)$$

شرط کمینه بودن فاصله بین دو مدل این است که این ضریب بیشینه باشد.

### ۳.۲. محلی سازی هدف و ردیابی

فرض کنید  $y_0$  مرکز مدل مرجع هدف  $\hat{q}$  باشد آنگاه مراحل زیر در پنجره ردیابی قاب جاری انجام می‌شود:

(۱) با شروع از موقعیت دوبعدی  $y_0$  و محاسبه‌ی مدل  $\hat{p}(y_0)$  ضریب  $\hat{p}(y_0)$  از رابطه (۵) و (۶) محاسبه می‌شود.

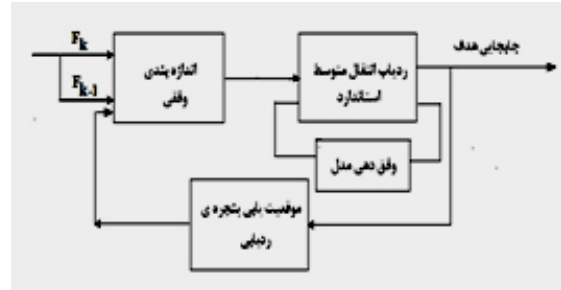
(۲) با بیشینه‌سازی ضریب  $\hat{p}(y_0)$  در بسط سری تیلور مرتبه اول حول  $\hat{p}(y_0)$  ضریب وزنی  $w_i$  به‌ازای هر پیکسل از ناحیه تعیین شده، به‌صورت زیر بدست می‌آید:

$$w_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}(y_0)}} \delta[b(x_i) - u] \quad (7)$$

(۳) اکنون موقعیت جدید (مرکز جرم وزندار) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i g(\|y_0 - x_i\|^2)}{\sum_{i=1}^n w_i g(\|y_0 - x_i\|^2)} \quad (8)$$

که تابع  $g$  به مرکز  $y_0$  می‌باشد.



شکل ۱. شماتیک کلی الگوریتم پیشنهادی

### ۳. مروری بر الگوریتم انتقال متوسط

فرض کنیم ناحیه مرجع (هدف)  $n$  پیکسلی در قاب قبل با نمایش  $\{x_i^*\}_{i=1,\dots,n}$  داده شود. مدل هیستوگرام نرمالیزه مرجع  $\hat{q} = \{q_u\}_{u=1,\dots,m}$  مربوط به این ناحیه از رابطه زیر بدست می‌آید [۷]:

$$q_u = C \sum_{i=1}^n k(\|x_i\|^2) \delta[b(x_i) - u], u=1,\dots,m \quad (1)$$

که  $m$  تعداد bin پیش‌فرض برای مدل می‌باشد که معمولاً ۱۶ انتخاب می‌شود. مقدار ثابت  $C$  با توجه به ویژگی بهنجارش مدل یعنی  $\sum_{u=1}^m q_u = 1$  بدست می‌آید.  $\delta$  تابع دلتای کرونیکر است و شماره بین‌متناسب با شدت پیکسل  $\hat{m}$  از ناحیه تصویر رامشخص می‌کند.  $k(x)$  در رابطه بالا کرنل در تشکیل مدل هدف است که باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- ۱- مستقل از جهت باشد.
- ۲- شامل نمایه آکاهشی یکنواخت و محدب  $k(x)$  باشد، به‌گونه‌ای که:

$$k: [0, \infty) \rightarrow R, K(x) = k(\|x\|^2) \quad (2)$$

۳- اختصاص ضرایب وزنی به پیکسل‌ها برحسب فاصله از مرکز کرنل، به‌گونه‌ای که به پیکسل‌های دور از مرکز ضریب وزنی کمتر و به پیکسل‌های نزدیک به مرکز ضریب وزنی بیشتری را اختصاص دهد. کاربرد این اوزان باعث افزایش توانایی تخمین چگالی هدف می‌شود، به‌ویژه زمانی که پیکسل‌های خارجی کمترین تعلق را دارند.

در اینجا الگوی کرنل بصورت زیر اتخاذ شده است:

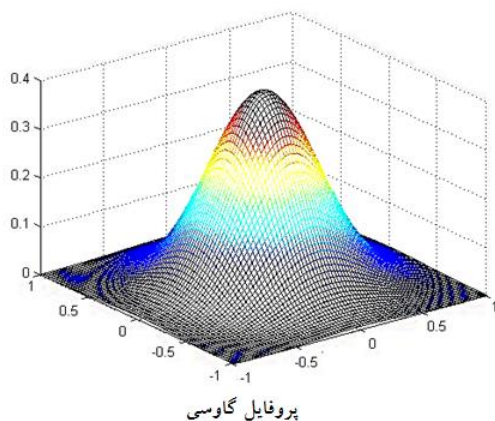
$$k(x) \propto \begin{cases} 1-x & x < 1 \\ 0 & x \geq 1 \end{cases} \quad (3)$$

به هر حال با توجه مشخصات فوق، کرنل‌های منتخب ما، کرنل‌های گاوسی<sup>۲</sup> و اپانیشنیکوف<sup>۴</sup> می‌باشند. کاربرد نوع کرنل در تشکیل مدل هدف بسته به شکل هدف دارد. نمایه گاوسی بیشتر در مورد اهدافی با ابعاد متقارن و یکنواخت نسبت به دو بعد استفاده می‌شود. در حالی که نمایه اپانیشنیکوف که بیشتر در مورد اهداف با ابعاد غیر

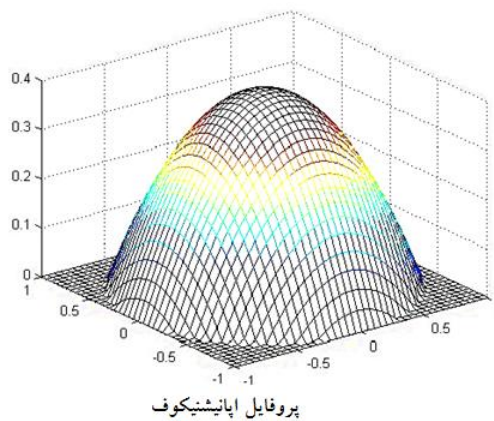
1 bin number  
2 Profile  
3 Gaussian kernel  
4 Epancechnikov kernel

<sup>5</sup>Similarity Metric

۴) حال چنانچه فاصله ی موقعیت جدید هدف نسبت به حالت قبل آن بیشتر از یک پیکسل باشد مجدداً مراحل ۱ تا ۳ را تکرار کنید.



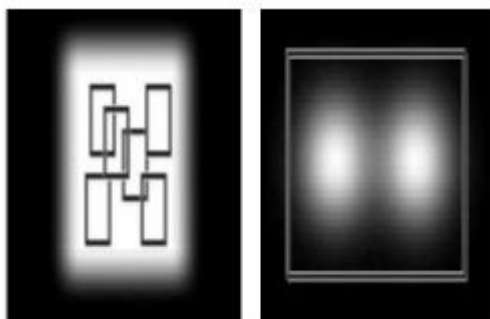
پروفایل گاوسی



پروفایل اپالونیوف

شکل ۲. منحنی نمایه کرنل گاوسی (چپ) و اپالونیوف (راست).

تدریجی انجام می‌شود. این امر باعث می‌شود اندازه‌بندی سریع و پایداری را نداشته باشیم که در نهایت با یکی از دو حالت بالا مواجه خواهیم شد.



(ب)

(الف)

شکل ۳. انتخاب مقیاس کرنل. الف- انتخاب کرنل با مقیاس بزرگتر نسبت به ابعاد هدف. در این حالت، کرنل شامل قسمت‌های ناخواسته‌ی زمینه خواهد شد. ب- انتخاب کرنل با مقیاس کوچکتر از ابعاد هدف. در این حالت کرنل در همسایگی یک مد غیر واقعی می‌چرخد، به گونه‌ای که این امر در نهایت منجر به ردیابی ضعیفی خواهد شد.

ضعف دیگر این روش در اندازه‌بندی این است که ابعاد پنجره هدف بعد از اجرای الگوریتم انتقال متوسط و برای اعمال در فریم بعدی تنظیم می‌شود که چنانچه حرکت هدف بین دو فریم از نصف اندازه این پنجره بیشتر باشد، باعث توقف ردیابی خواهد شد. بنابراین اگر بتوانیم در قابجاری و قبل از شروع الگوریتم انتقال متوسط، ابعاد پنجره ردیابی را با اندازه هدف وفق دهیم، قادر به تحقق موقعیت یابی دقیق‌تری از هدف خواهیم شد. چراکه قسمت اعظم پیکسل‌های غیرهدف، در خارج از پنجره ردیابی قرار گرفته و در محاسبات وارد نمی‌شوند. برای این منظور، ما از الگوریتم اندازه بندی تشریح شده در مرجع [۱۰] کمک گرفته‌ایم. این روش ابتدا پنجره هدف را مطابق

۳.۳. بهینه سازی الگوریتم انتقال متوسط به کمک مدل وقتی هدف

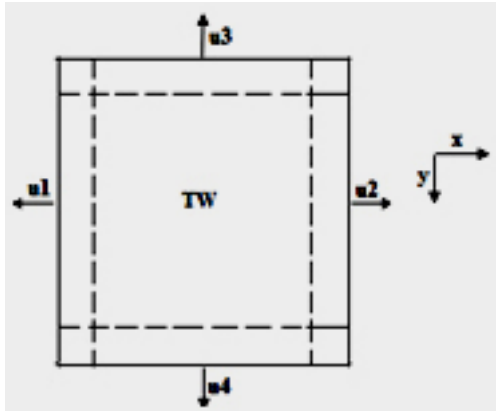
یکی از مشکلات ردیاب انتقال متوسط، کارایی ضعیف در برخورد با مواردی از قبیل تغییرات شدت و الگوی تابشی هدف می‌باشد. این مشکل را می‌توان تا حدودی با کاربرد ضریب شباهت بین دو مدل در وفق دادن مدل هدف، رفع کرد. وفق‌دهی مدل هدف با ترکیبی از دو مدل مرجع هدف در قاب آغازین  $\hat{q}$  و مدل تجمعی هدف تا قاب قبل  $\hat{q}(k-1)$  انجام می‌شود [۹]. این روش تحت عنوان چشم پوشی پارامتری ذکر می‌شود. در این حالت مدل وفق‌یافته‌ی هدف در قاب جاری،  $\hat{q}(k)$ ، با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\hat{q}(k) = \rho \cdot q + (1 - \rho) \cdot \hat{q}(k-1) \quad (9)$$

در رابطه بالا  $\rho$  ضریب تشابه بین دو مدل هدف است که قبلاً از رابطه (۶) بدست آمده‌است.

۴. بهینه‌سازی اندازه بندی وقتی در الگوریتم انتقال متوسط

هم‌چنان‌که گفتیم، پارامتر بحرانی در ردیاب انتقال متوسط، پهناي کرنل است، زیرا مطابق قسمت (الف) از شکل ۳، اگر ابعاد کرنل را بزرگتر از ابعاد هدف تنظیم کنیم، باعث حضور پیکسل‌های زمینه در تشکیل الگوی هدف خواهیم شد. این مطلب باعث می‌شود که مدل هدف آلوده شود و ادامه پیدا کردن این شرایط در نهایت منجر به خطا در ردیابی خواهد شد. برعکس اگر ابعاد کرنل را کوچکتر از ابعاد هدف تنظیم کنیم، علاوه بر این که نقش پیکسل‌های حواشی و لبه‌ای را در تشکیل مدل هدف نخواهیم داشت، در مواردی مطابق قسمت (ب) از شکل ۳، چرخش کرنل حول و حوش مد غیر واقعی را خواهیم داشت، به گونه‌ای که در نهایت ردیابی ضعیف را خواهیم داشت. مشکل روش اندازه بندی ارائه شده استاندارد [۷]، این است که در برخی کاربردها تنظیم ابعاد پنجره با اندازه هدف به صورت آرام و



شکل ۵. انتساب بردار یکه به هر یک از چهار ضلع ردیاب

### ۵. نتایج آزمایشگاهی

در این قسمت به پیاده‌سازی روش پیشنهادی روی رشته‌ای از تصاویر مختلف واقعی و ساختگی می‌پردازیم و نتایج آن را نسبت به روش استاندارد [۷] و کولینز [۱۱] مقایسه می‌کنیم. آزمایش اول اختصاص به ردگیری هدف در تصویر مادون قرمز دارد. این دنباله‌ی ویدیویی شامل ۱۰۰ قاب است که ابعاد هر قاب ۲۴۰×۳۲۰ است. مطابق شکل ۶، هدف تحت ردیابی در این فیلم، فردی است که با عبور از پله، ابعاد آن تغییر می‌کند. هدف از بررسی این فیلم، ارزیابی الگوریتم در رویارویی با تصاویر مادون قرمز و نیز هدف با ابعاد متغیر است. اولین گام در ردیابی، نمایش هدف است. در اینجا ما هدف را باناحیه‌ی مستطیل‌شکل نمایش می‌دهیم. قدم بعدی تعریف فضای ویژگی در ردیاب انتقال متوسط است. در این آزمایش ویژگی منتخب در هر سه روش استاندارد، کولینز و الگوریتم پیشنهادی، سطح خاکستری است. به منظور ملاحظات سرعت و نیز تقطیع هدف به نواحی مجزا، این فضای ویژگی را به ۳۲ قسمت مجزا تقسیم می‌کنیم. در این آزمایش کرنل مورد استفاده در ردیاب انتقال متوسط، کرنل اپانیشینکوف است. نرخ تعداد تکرار نیز ۱۰ می‌باشد. در الگوریتم اندازه‌بندی مان از نرخ تصرف ۸۰٪ پنجره استفاده کرده‌ایم و آستانه‌ی پیچیدگی زمینه را ۰/۱۵ در نظر گرفته‌ایم. ثابت‌های متناظر با سرعت اندازه‌بندی پنجره (Cx, Cy) را نیز (۰/۸, ۰/۸) در نظر گرفته‌ایم.

شکل ۶ نتایج اجرا اندازه‌بندی سه الگوریتم ردیابی استاندارد، کولینز و روش پیشنهادی ماندر قاب‌های ۱، ۳۵، ۴۰ و ۶۵ را نشان می‌دهد. نتایج نشان از موفقیت روش ما در اندازه‌بندی دقیق و نرم (به ویژه در عبور هدف از پله) و نیز ردیابی موفق هدف در مقایسه با دو روش دیگر نشان می‌دهد.

در این قسمت به ارزیابی خطای موقعیت‌یابی و اندازه‌بندی سه روش تحت بررسی می‌پردازیم. بدین منظور کمیت‌های خطای موقعیت‌یابی و اندازه‌بندی  $E_p$  و  $E_s$  را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

شکل ۴ به هشت زیر پنجره لبه‌ای درونی و بیرونی تقسیم می‌کند و سپس به محاسبه نسبت توان متناظر با تغییرات مکان-زمانی هدف در هر کدام از این زیر پنجره‌ها به توان کل پنجره مطابق رابطه زیر می‌پردازد:

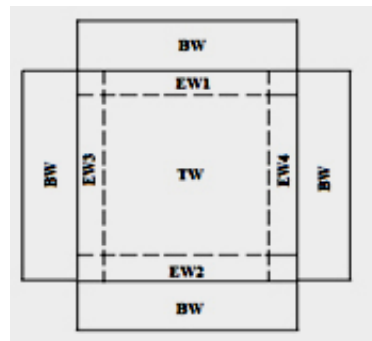
$$r_i = \frac{P_{EW_i}^T - P_n}{P_{TW} - P_n} \quad i=1,2,3,4 \quad (10)$$

که  $P_{EW_i}^T$  توان واقعی هدف در زیر پنجره‌ی لبه‌ای  $P_{TW}$  توان کل پنجره‌ی ردیابی و  $P_n$  مقدار توان تخمینی ناشی از گردادیان‌های مکان-زمانی است.

بنابراین بردار جابجایی متناسب با هر ضلع پنجره با فرمول زیر

محاسبه می‌شود:

$$ds_i = \alpha_i \beta_i \hat{u}_i, \quad i=1,2,3,4 \quad (11)$$



شکل ۴. نحوه تقسیم بندی پنجره ردیابی

$\alpha_i$  و  $\beta_i$  به ترتیب ضرایب وزنی اندازه‌بندی و جهت‌دهی مرتبط با ضلع  $i$ ام هستند، به طوری که اگر  $C_x$  و  $C_y$  را ثابت‌هایی بدانیم که سرعت اندازه‌بندی را کنترل می‌کنند، آن‌گاه:

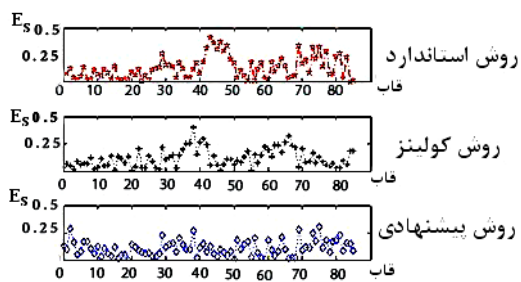
$$\alpha_i = \begin{cases} \max\left(1, \frac{T_y}{C_y}\right) & i=1,2 \\ \max\left(1, \frac{T_x}{C_x}\right) & i=3,4 \end{cases}, \quad \beta_i = \begin{cases} -1 & r_i < T_{EL} \\ 2 & r_i \geq T_{EL} \end{cases} \quad (12)$$

$T_{EL}$  آستانه‌ای است که بطور تجربی تعیین می‌شود. شکل ۵

اختصاص بردار جابجایی به هر ضلع را نشان می‌دهد. در واقع، هدف از طی این مراحل این است که نرخ تصرف هدف در پنجره ردیابی، بیشینه گردد. بنابراین در مواردی که پنجره‌ی ردیابی به شکلی نامناسب و بسیار بزرگتر از هدف انتخاب شده باشد الگوریتم با تنظیم سریع آن، نقاط هدف را برای به خدمت‌گیری در یک ردیاب ناحیه نظیر انتقال متوسط پالایش می‌کند.

<sup>1</sup> Spatiotemporal

<sup>2</sup> Occupancy Rate



شکل ۸. منحنی خطای اندازه‌بندی سه روش استاندارد، کولینز و پیشنهادی در کل قاب‌های فیلم.

در این فیلم که ابعاد هر قاب آن  $۵۷۶ \times ۷۲۰$  است، هدف با سرعتی حدود  $۰/۷۵$  پیکسل بر فریم در فریم‌های آغازین شروع به حرکت کرده و سرعت آن در ادامه به تدریج افزایش می‌یابد و در انتها به حدود سه پیکسل بر فریم می‌رسد. در این آزمایش نیز ویژگی را سطح خاکستری در نظر می‌گیریم و فضای ویژگی را به ۱۶ بخش متمایز تقسیم می‌کنیم. کرنل مورد استفاده در ردیاب انتقال متوسط، کرنل اپانیشینکوف است و تعداد تکرار ده مرتبه به ازای هر فریم می‌باشد. در روش پیشنهادی نیز نرخ تصرف را بازم  $۸۰\%$  در نظر گرفته‌ایم. آستانه‌ی پیچیدگی زمینه  $۰/۱۵$  است و ثابت‌های متناظر با سرعت اندازه‌بندی پنجره  $(C_x, C_y)$ ،  $(۰/۸, ۰/۸)$  می‌باشد. شکل ۹ نتایج اجرای ردیابی سه روش استاندارد، کولینز و روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در هر سه روش به منظور حل معضل رویارویی با تغییرات در مدل هدف (به علت تغییرات مداوم در تباین هدف) از روش وفق‌دهی مدل استفاده می‌کنیم.

مطابق قسمت (الف) از شکل ۹ ما ابتدا شروع اندازه‌بندی را با ابعادی بزرگتر از ابعاد هدف و در جهت حرکت مدل‌های بعدی در نظر گرفته‌ایم، به گونه‌ای که ردیاب انتقال متوسط بتواند در ادامه هدف را به طور کامل ردیابی کند. در قسمت (ب) و (ج) از این شکل عملکرد ناموفق روش‌های استاندارد و کولینز را در موقعیت‌یابی همراه با اندازه‌بندی نامناسب نشان می‌دهد. روش استاندارد، به علت اندازه‌بندی غیر نرم، تدریجی و آرام، که عملاً مرتبط با ثابت در نظر گرفتن درصد افزایش یا کاهش شعاع پنجره است، نمی‌تواند موقعیت‌یابی درستی از هدف را داشته‌باشد. در روش کولینز مشاهده می‌کنیم که به علت این که نرخ رشد ابعاد هدف در راستای افقی و عمودی یکسان نیست، این روش نیز در اندازه‌بندی با مشکل مواجه می‌شود، زیرا قبلاً ذکر کرده‌بودیم که یکی از نقاط ضعف این روش در اندازه‌بندی هدف با توزیع غیر یکنواخت است، به ویژه زمانی که تغییر ابعاد هدف در راستای افقی و عمودی یکسان نباشد.

$$E_p = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \quad [\text{پیکسل}]$$

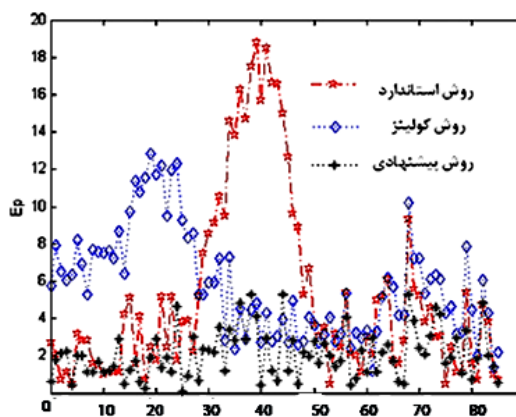
$$E_s = \frac{|A - \hat{A}|}{A} \quad (۱۳)$$

که در این جا  $(x, y)$  مختصات واقعی هدف است که به صورت دست‌یاد در فریم تخمین زده‌ایم.  $(\hat{x}, \hat{y})$  نیز مختصات موقعیت تخمینی به وسیله الگوریتم مورد نظر است.  $A$  مساحت واقعی پنجره ردیابی در هر فریم است و  $\hat{A}$  مساحت تخمینی در هر فریم است که به وسیله الگوریتم مورد نظر بدست آمده است. شکل ۷ و ۸ منحنی خطای موقعیت‌یابی و اندازه‌بندی سه روش را در طول قاب‌های ۱ تا ۶۵ که در آن ابعاد هدف در حال تغییر است، نشان می‌دهد. این دو منحنی برتری روش ما را نسبت به دو روش دیگر نشان می‌دهد.

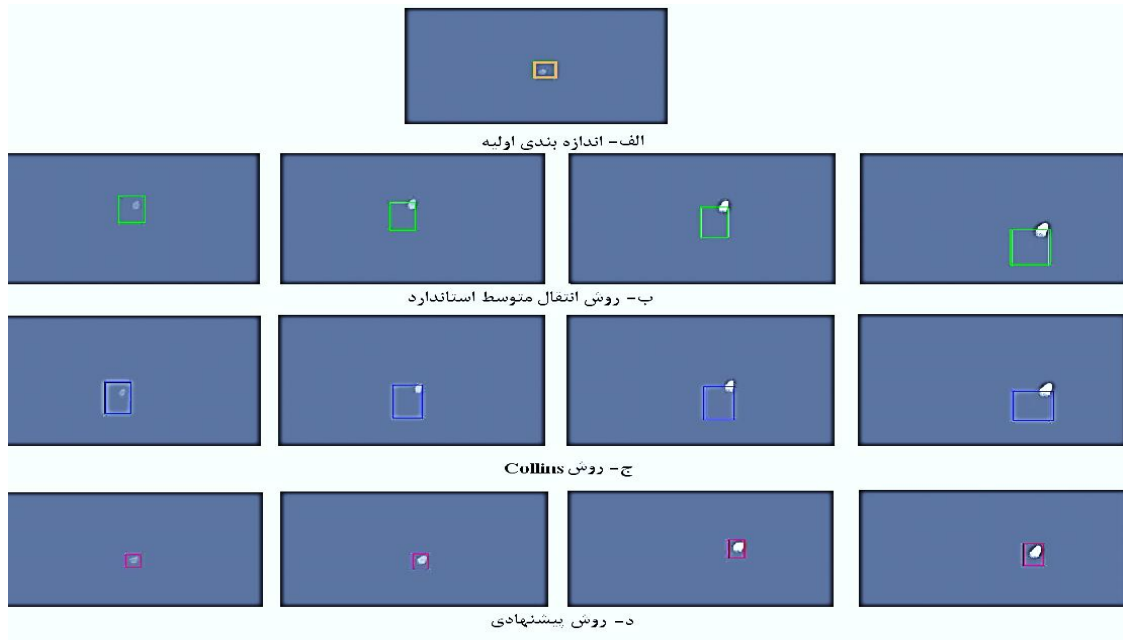
به منظور آزمایش کارایی روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم انتقال متوسط استاندارد [۷] و روش کولینز [۱۱] در مواجهه با هدف با الگوی تابشی و ابعاد متغیر در طول زمان، یک فیلم ساختگی را به گونه‌ای شبیه‌سازی کرده‌ایم که تباین دیده شده از هدف در طول زمان افزایش و سپس کاهش می‌یابد.



شکل ۶. دنباله‌ی هدف در تصویر مادون قرمز. نتایج اندازه‌بندی سه روش استاندارد، روش کولینز و روش پیشنهادی در قاب‌های ۱، ۳۵، ۴۰ و ۶۵.

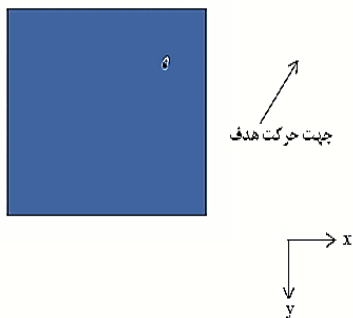


شکل ۷. منحنی خطای موقعیت‌یابی سه روش استاندارد، کولینز و پیشنهادی.



شکل ۹. نتیجه‌ی اجرای سه روش استاندارد، کولینزو روش پیشنهادی روی دنباله‌ی ویدئویی هدف با تباین و ابعاد متغیر در قاب‌های ۸۵۰، ۹۵۰، ۹۰۰ و ۱۰۰۰ همراه با اندازه‌بندی اولیه.

همانطور که در این آزمایش دیدیم، شکل هدف مرتباً در حال تغییر است، به‌گونه‌ای که ابعاد اولیه‌ی هدف از  $18 \times 16$  پیکسل به ابعاد نهایی  $31 \times 25$  پیکسل تغییر می‌کند. حال با نگاهی به شکل ۱۰ که اختلاف زمانی بین دو قاب متوالی نمایش می‌دهد، متوجه می‌شویم که جمله‌ی تغییر زمانی شدت پیکسل یعنی  $T(x,y)$  برای ناحیه‌ی روشن در جلوی هدف در شکل (که به نوعی مشخص‌کننده‌ی جهت حرکت هدف است) مثبت است، درحالی‌که این مقدار برای ناحیه‌ی تاریک در پشت هدف منفی است. واضح است که این جمله برای ناحیه‌ی داخلی هدف تقریباً صفر است. بنابراین جمله‌ی کسر توان، یعنی رابطه‌ی (۱۰) در زیرپنجره‌های لبه‌ای متلاقی با اضلاع جلویی (پشتی) در جهت حرکت هدف افزایش (کاهش) خواهد یافت. این مطلب به این معنی است که جهت‌دهی ابعاد پنجره در جهت حرکت هدف است.



شکل ۱۰. اختلاف زمانی بین دو قاب متوالی برای تخمین جمله‌ی زمانی توان در رابطه‌ی (۱۰).

قسمت (د) از شکل ۹ موفقیت روش پیشنهادی را در مقایسه با دو روش دیگر نشان می‌دهد. دلایل این موفقیت به چند خاطر است. اول این که اندازه‌بندی این روش در دو جهت افقی و قائم برخلاف روش کولینز مستقل از یکدیگر است. دلیل دیگری که از نقاط قوت روش ما نسبت به دو روش دیگر است، اجرای اندازه‌بندی پنجره مستقل از اجرای موقعیت‌یابی ردیاب انتقال متوسط است. با استفاده از این ترفند می‌توان قبل از اجرای الگوریتم انتقال متوسط، ابعاد پنجره را در فریم بعدی تنظیم کرد و در نتیجه نقش الگوی زمینه را در تشکیل الگوی هدف به‌گونه‌ی مؤثری کاهش داد. اهمیت این موضوع زمانی بیشتر می‌شود که چنانچه حرکت هدف بین دو فریم از نصف اندازه پنجره بیشتر باشد، عدم استفاده از این ایده در نهایت منجر به عقب ماندن ردیاب و باز ایستادن از ردیابی می‌شود. اثبات این مطلب را می‌توان در شکل ۹ دید، جاییکه دو روش استاندارد و کولینز در نهایت در ردیابی از هدف عقب می‌افتند. بنابراین اگر بتوانیم در قاب جاری و قبل از شروع الگوریتم انتقال متوسط، ابعاد پنجره ردیابی را با اندازه هدف وفق دهیم، قادر به تحقق موقعیت‌یابی دقیق‌تری از هدف خواهیم شد. چراکه قسمت اعظم پیکسل‌های غیر هدف در خارج از پنجره ردیابی قرار گرفته و در محاسبات وارد نمی‌شوند. دلیل سوم موفقیت روش ما که به‌گونه‌ای با دلیل اول در ارتباط است، جهت‌دهی در اندازه‌بندی پنجره است. حال به استنباط کیفی این مطلب می‌پردازیم.

کولینز افزایش می‌دهد. البته استفاده یک پردازنده سریع نیز قید زمان و سرعت اجرا را غیر قابل لمس خواهد کرد. بنابراین هرچند افزایش دقت با در نظر گرفتن ملاحظات برخط بودن الگوریتم در روش پیشنهادی به بهای کاهش سرعت اجرای الگوریتم می‌انجامد، ولیکن این امر منجر به دستیابی به روش ردیابی ارزشمند همراه با حل مشکلات ردیاب انتقال متوسط استاندارد شده است.

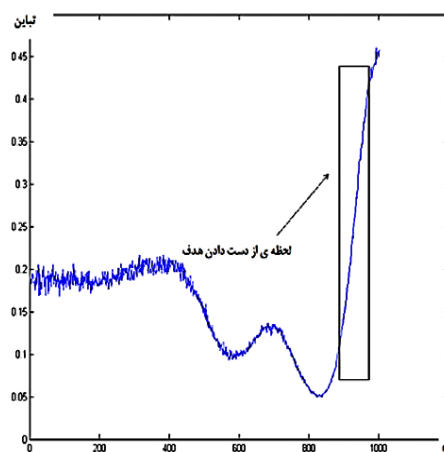
## مراجع

- [1]. H. Tahvilian, P. Moallem, A. Monadjemi, Balloon Energy Based on Parametric Active Contour and Directional Walsh-Hadamard Transform and its Application in Tracking of Texture Object in Texture Background, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Springer, 2012:253, Dec. 2012.
- [2]. A.I. Comport, E. Marchand, F. Chaumette, Efficient model-based tracking for robot vision, Advanced Robotics, Vol.19, No. 10, pp. 1097-1113, 2005.
- [3]. P. Salembier and F. Marques, Region-based representations of image and video: Segmentation tools for multimedia services, IEEE Transactions on Circuits, Systems and Video Technology, Vol. 9, pp. 1147-1169, 1999.
- [4]. M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, Snakes: Active contour models, in 1<sup>st</sup> International Conference on Computer Vision, UK, pp. 259-269, 1987.
- [5]. J. Verestoy and D. Chetverikov, Comparative performance evaluation of four feature point tracking techniques, 22<sup>nd</sup> workshop of the Austrian pattern recognition group, Austria, pp. 255-263, 1998.
- [6]. ع. معمارمقدم، پ. معلم، ردیابی سریع و کارآمد هدف در رشته تصاویر ویدئویی به کمک انباره سازی خطاهای تطبیق‌دهی نقاط گوشه‌ای آن، چهارمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، جلد دوم، صفحات ۹۸۱ الی ۹۹۰، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۵.
- [7]. D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer, Kernel-based object tracking, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, No. 5, pp. 564-577, 2003.
- [8]. D. Comaniciu, P. Meer, Mean shift: A robust approach toward feature space analysis, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 5, pp. 603-619, 2002.
- [9]. N.M. Artner, W. Burger, A Comparison of mean shift Tracking Methods, 12<sup>th</sup> Central European Seminar on Computer Graphics, Austrian, pp. 197-204, 2008.
- [10]. P. Moallem, A. Memarmoghaddam, M. Ashourian, Robust and Fast Tracking Algorithm in video Sequences by Adaptive Window Sizing Using a Novel Analysis on Spatiotemporal Gradient Powers, Journal of Circuits, Systems, and Computers, Vol. 16, No. 2, pp. 305-317, 2007.
- [11]. R. Collins, Mean-shift blob tracking through scale space, IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, USA, Vol. 2, pp. 234-240, 2003.

همانطورکه در ابتدای این آزمایش متذکر شدیم این آزمایش اختصاص به ردیابی هدفی دارد که در الگوی تابشی آن در حال تغییر است. شکل ۱۱ منحنی تغییرات تباین هدف در این فیلم ساختگی را نشان می‌دهد. مقدار تباین از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$\text{تباین} = \frac{\mu_{Ltgt} - \mu_{Lbg}}{\mu_{Ltgt} + \mu_{Lbg}} \quad (14)$$

که در آن  $\mu_{Ltgt}$  و  $\mu_{Lbg}$  به ترتیب میانگین شدت هدف و زمینه در کل قاب‌ها می‌باشد. با مشاهده این منحنی متوجه می‌شویم که علی‌رغم این‌که مشکل تغییر الگوی تابشی هدف را در هر سه روش توانستیم با به‌کارگیری روش وفوق‌دهی مدل هدف حل کنیم [۹]، اما به‌هرحال لحظه‌ای از دست‌دادن هدف در روش استاندارد و کولینز همزمان با این تغییرات شدید در مدل هدف می‌باشد که مهمترین علت آن، اندازه‌بندی نادرست دو روش مذکور می‌باشد.



شکل ۱۱. منحنی تغییرات تباین هدف در کل قاب‌های فیلم.

## ۶. نتیجه گیری

در این مقاله با ارائه‌ی روش اندازه‌بندی ابعاد پنجره و وفق‌دهی مدل هدف در ردیاب انتقال متوسط، توانستیم روش جدیدی از ردیابی همراه با اندازه‌بندی را ارائه کنیم، به‌علاوه این‌که مشکل این روش را نیز در رویارویی با هدف با کنتراست متغیر حل کردیم. از جمله مزایای روش پیشنهادی علاوه بر اندازه‌بندی سریع، نرم و پایدار، تنظیم ابعاد پنجره ردیابی قبل از اجرای ردیاب انتقال متوسط و اعمال این اندازه‌بندی به این ردیاب می‌باشد، به‌گونه‌ای که استفاده از این ایده به‌گونه‌ی مؤثری باعث حذف آثار پیکسل‌های زمینه در تشکیل مدل هدف خواهد شد که نتیجه‌ی آن ردیابی سریع، مقاوم و قدرتمند هدف خواهد بود.

آزمایشات ما نشان می‌دهد که طراحی الگوریتم پیشنهادی با افزودن مؤلفه‌هایی همچون اندازه‌بندی به ردیاب استاندارد زمان اجرا را تا حدود ۱۱٪ نسبت به ردیاب استاندارد و ۵٪ نسبت به ردیاب