

ردیابی تصویری سریع، مطمئن و مقاوم نسبت به انسداد با کمک یک مدل تقسیم شده مبتنی بر لبه

پیمان معلم و رسول عسگریان دهکردی

سامانه، اجتناب‌ناپذیر است [۸] و [۹]. پیچیدگی و شلوغی پس‌زمینه شامل هدف، از چالش‌هایی است که می‌تواند مخاطره‌ای جدی در ردیابی ایجاد کند و این در حالی است که در بسیاری از کاربردهای ردیابی مانند سامانه‌های مراقبتی، پیچیدگی نسبی پس‌زمینه می‌تواند اجتناب‌ناپذیر باشد [۱۰] و [۱۱].

در اغلب موارد ویژگی لبه می‌تواند برای هر جسم، در ناحیه‌ای کوچک اطراف آن جسم، (ناحیه جستجو) منحصر به فرد باشد [۳]. بنابراین برای تعیین محدوده دقیق هدف و کاهش اثر پس‌زمینه در محیط‌های شلوغ، می‌توان از لبه به عنوان یک ویژگی مناسب در کنار سایر ویژگی‌ها استفاده کرد [۱۲] تا [۱۴]. از طرفی در سال‌های گذشته برای مقابله با انسداد و ردیابی دقیق هدف، روش‌هایی مبتنی بر انتخاب چند بخش از هدف و ردیابی هر کدام برای تعیین مکان دقیق هدف پیشنهاد شده است [۱۵]. برای مقابله با تغییرات نوری محیط نیز باید از ویژگی‌های پایداری استفاده شود که در صورت تغییر شرایط نوری محیط همچنان خاصیت خود را حفظ کنند. در [۱۴] از لبه به عنوان یک ویژگی که در مقابل تغییرات نوری محیط پایدار است استفاده شده است. افزایش سرعت الگوریتم نیازمند کاهش بار محاسباتی آن می‌باشد و کاهش بار محاسباتی معمولاً باعث کاهش دقت الگوریتم می‌گردد و از این رو در انتخاب الگوریتم ردیابی، توجه به بار محاسباتی اهمیت ویژه‌ای دارد که در واقع مصالحه‌ای بین سرعت و دقت ردیاب خواهد بود. همچنین برای افزایش دقت و پایداری در ردیابی، الگوریتم در طول فرایند ردیابی نیازمند به روز رسانی می‌باشد [۱۶].

هدف اصلی در ردیاب [۱۷] MS ارائه روشی برای ردیابی اجسام غیر صلب می‌باشد. به این صورت که با مشخص کردن محدوده هدف، چندین ناحیه از آن توسط الگوریتم انتخاب می‌شوند و برای ردیابی هر کدام از این نواحی، از ویژگی‌های مبتنی بر هیستوگرام استفاده می‌شود. این روش قادر به ردیابی با اندازه‌بندی وقتی و مقاوم نسبت به انسداد جزئی هدف می‌باشد اما در صورت تغییرات زیاد نورپردازی محیط، امکان دچار خطا شدن وجود دارد. در [۱۸] یک روش برای ردیابی مبتنی بر اطلاعات لبه‌ای هدف معرفی شده است. عملکرد این روش مشابه عملکرد فیلتر ذره‌ای است، به این صورت که با در نظر گرفتن مکان هدف در قاب قبلی، چندین مکان کاندیدا برای هدف در قاب فعلی در نظر گرفته می‌شود، سپس با استفاده از روش مناسب تشابه بین مدل کاندیدا و مدل هدف به دست می‌آید. نحوه به دست آوردن بردار ویژگی و مقدار تشابه در این الگوریتم در [۱۸] و [۱۹] به طور کامل تشریح شده است. در نهایت مکان با بیشترین تشابه به عنوان مکان جدید هدف در نظر گرفته می‌شود. این الگوریتم نسبت به تغییرات هدف و شرایط نورپردازی متفاوت پاسخ مناسبی دارد اما در صورت بروز انسداد بر روی هدف امکان دچار خطا شدن آن زیاد است. در ردیاب [۲۰] MIL از کلاس‌بندها برای جداسازی هدف از پس‌زمینه و به دست آوردن یک مدل وقتی برای هدف استفاده

چکیده: در این مقاله الگوریتمی سریع، مطمئن و مقاوم نسبت به انسداد برای ردیابی تصویری هدفی از پیش مشخص شده در تصاویر متوالی، بر مبنای تطابق قالب لبه‌های هدف با لبه‌های فضای جستجو ارائه می‌گردد. در ابتدا محدوده هدف توسط کاربر مشخص شده و سپس الگوریتم پیشنهادی با انتخاب قوی‌ترین لبه‌های آن، مدلی مناسب برای هدف را مشخص می‌کند. در ادامه برای افزایش مقاومت نسبت به انسداد، مدل هدف به ۴ قسمت تقسیم شده و با AND شدن قالب لبه‌های هر قسمت با لبه‌های فضای جستجو و شمارش پیکسل‌های غیر صفر آن، ماتریس تشابه برای هر قسمت از هدف به دست می‌آید. در صورت کم‌تر بودن مقادیر ماتریس تشابه از آستانه‌ای، قسمت مورد نظر مسدود در نظر گرفته شده و در ادامه با در نظر گرفتن تأثیر قسمت‌های نامسدود، مکان هدف در هر قاب مشخص می‌شود. در طی ردیابی، در صورت وجود شرایط مناسب با توجه به شرایط پس‌زمینه، مدل لبه‌های هدف به روز می‌گردد. انتخاب قوی‌ترین لبه‌ها، چند قسمت کردن و به روز رسانی قالب هدف، مقاومت الگوریتم را نسبت به چالش‌هایی مانند تغییرات نوری محیط و بروز انسداد بر روی هدف، به همراه امکان تعقیب هدف با دقت بالا را در پی داشته است. سادگی الگوریتم پیشنهادی، امکان پیاده‌سازی بلادرنگ آن را به زبان C و در محیط OpenCV فراهم کرده است به گونه‌ای که میانگین سرعت آن توسط رایانه‌ای با فرکانس پردازنده ۲٫۶ GHZ و ۴ GB RAM، به بیش از ۶۰ قاب در ثانیه می‌رسد. مقایسه نتایج این الگوریتم با الگوریتم‌های دیگر نشانگر سرعت بسیار بالاتر و قابلیت اطمینان بیشتر الگوریتم پیشنهادی است.

کلیدواژه: ردیابی تصویری، لبه، انسداد، بلادرنگ.

۱- مقدمه

ردیابی تصویری به معنای تعقیب و مکان‌نمایی هدفی از پیش مشخص شده در تصاویر متوالی [۱] و [۲]، از مقوله‌های جذاب در بینایی ماشین و پردازش تصویر است که در چند دهه اخیر بنا به گستره وسیع کاربرد آن در بررسی تصاویر ترافیکی تا تجهیزات دفاعی و امنیتی مورد توجه قرار گرفته است [۳] و [۴]. این موضوع دارای چالش‌های گوناگونی مانند تأثیر پس‌زمینه، بروز انسداد بر روی هدف، تغییرات اندازه هدف و روشنایی محیط می‌باشد که هر کدام از این موارد می‌تواند منجر به دچار خطا شدن ردیاب و یا پایان فرایند ردیابی گردد [۵] تا [۷]. غلبه بر چالش‌های پیش رو در یک ردیاب موفق، معمولاً منجر به پیچیدگی ردیاب شده که پیاده‌سازی بلادرنگ آن را به چالشی جدی تبدیل می‌کند و این در حالی است که در بسیاری از کاربردهای ردیابی تصویری مانند ردیاب‌های مراقبتی و دفاعی، لزوم پیاده‌سازی بلادرنگ الگوریتم ردیاب در سخت‌افزار

این مقاله در تاریخ ۶ آذر ماه ۱۳۹۴ دریافت و در تاریخ ۵ دی ماه ۱۳۹۵ بازنگری شد. پیمان معلم، استاد گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، (email: p_moallem@eng.ui.ac.ir). رسول عسگریان دهکردی، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، (email: r_asgarian_dehkordi@yahoo.com).

بررسی قرار می‌گیرد.

۲- الگوریتم پیشنهادی

شکل ۱ مراحل الگوریتم پیشنهادی را به طور کلی نمایش می‌دهد. محدوده جستجو در هر قاب ناحیه‌ای اطراف محل هدف در قاب قبل در نظر گرفته می‌شود. پس از لبه‌یابی، تطابق قالب بین قالب لبه‌های هدف و تصویر لبه‌یابی شده ناحیه جستجو صورت می‌گیرد و با در نظر گرفتن تأثیر قسمت‌های مسدود نشده، در نهایت مکان هدف در هر قاب تعیین می‌شود. با توجه به مکان تعیین شده برای هدف، در صورت خلوت بودن پس‌زمینه و نبود انسداد سنگین بر روی هدف، قالب لبه‌های هدف در هر قاب بروز می‌شود. در ادامه جزئیات هر بخش از مراحل الگوریتم پیشنهادی تشریح خواهد شد.

۲-۱ لبه‌یابی

در این مقاله انتخاب هدف در قاب ابتدایی توسط کاربر صورت می‌گیرد که می‌تواند با مشخص کردن چهارگوش محدودکننده هدف انجام شود و انتخاب هدف باید تا حد امکان به صورت دقیق انجام گیرد. پس از انتخاب هدف نوبت به لبه‌یابی از هدف می‌رسد. برای لبه‌یابی می‌توان از هر نوع از لبه‌یاب استفاده کرد اما در اینجا برای افزایش سرعت در لبه‌یابی از لبه‌یاب سوبل استفاده می‌شود. رابطه (۱) عملگرهای افقی (G_x) و عمودی (G_y) این لبه‌یاب را نمایش می‌دهد [۳]

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

مقدار گرادیان تصویر از ریشه دوم مجموع مربعات خروجی دو عملگر به دست می‌آید اما در اینجا برای سادگی محاسبات از مجموع دو قدر مطلق خروجی عملگرها به عنوان مقدار گرادیان استفاده می‌شود. اگر $In(x, y)$ و $Sbl(x, y)$ ، سطح خاکستری تصویر ورودی و اندازه تقریبی گرادیان سوبل در مختصات (x, y) باشند، (۲) را خواهیم داشت که در آن عملگر * بیانگر کانولوشن است

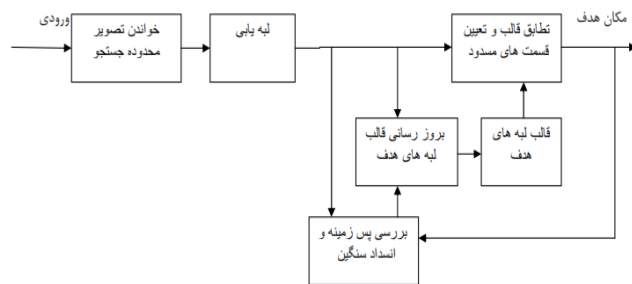
$$Sbl(x, y) = |I(x, y) * G_x| + |I(x, y) * G_y| \quad (2)$$

۲-۲ انتخاب قالب هدف

پس از به دست آوردن لبه‌ها برای کاهش اثر نویز و حذف لبه‌های ضعیف از آستانه‌گذاری استفاده می‌شود. در صورتی که N_t تعداد کل نقاط لبه‌ای هدف در تصویر Sbl و N_o تعداد نقاط لبه‌ای انتخابی هدف باشد برای به دست آوردن N_o در این مقاله از رابطه زیر استفاده می‌گردد

$$N_o < \alpha \times N_t \quad (3)$$

که عدد مناسب برای α بین ۰/۶ تا ۰/۸ است. در صورتی که تصویر قالب هدف با $Edge$ نمایش داده شود، باید آستانه (thr) به گونه‌ای انتخاب شود که تعداد نقاط غیر صفر این تصویر برابر با N_o گردد به این معنی که به تعداد N_o از قوی‌ترین لبه‌های تصویر Sbl به عنوان لبه‌های هدف انتخاب می‌گردد. رابطه (۴) نحوه تشکیل تصویر $Edge$ را نشان می‌دهد



شکل ۱: مراحل الگوریتم پیشنهادی.

شده است. در این الگوریتم، پس از مشخص شدن محدوده هدف در هر قاب، مدل هدف به روز رسانی می‌شود. نتایج این الگوریتم نشانگر مقاومت مناسب آن در برابر تغییرات هدف و انسداد است. ردیاب [۲۱] از PN یک کلاس‌بند باینری برای شناسایی هدف و پس‌زمینه استفاده می‌کند. این کلاس‌بند ابتدا با داده‌های آموزشی، آموزش می‌بیند و سپس در طول زمان پس از آشکارسازی هدف در هر قاب، متناسب با اطلاعات هدف به روز می‌گردد. نتایج این الگوریتم نشانگر توان بالای آن در ردیابی دقیق هدف است. در ردیاب [۲۲] که یک روش ردیابی مبتنی بر PCA است ابتدا مدل‌هایی برای ظاهر و حرکت هدف تعیین می‌شود، سپس با ترکیب این مدل‌ها و به کارگیری روش‌های مناسب مکان هدف در هر قاب مشخص می‌گردد. نتایج این الگوریتم نشانگر توانایی بالای آن در ردیابی اهداف دارای تغییرات ظاهری و حرکتی است. در ردیاب [۲۳] از KSR به عنوان یک ویژگی مقاوم نسبت به انسداد جزئی یاد شده و همچنین اشاره شده که اطلاعات رنگ می‌تواند برای جداسازی هدف از پس‌زمینه مورد استفاده قرار گیرد. این روش که از روش‌های قطعه‌بندی است از ویژگی‌هایی مانند هیستوگرام و HOG برای ردیابی هدف بهره برده و توانسته به ردیابی پایدار و مقاوم نسبت به انسداد هدف بپردازد. ردیاب [۲۴] از OB روش‌های کلاس‌بندی برای شناسایی هدف و جداسازی آن از پس‌زمینه استفاده می‌کند. در این الگوریتم پس از شناسایی هدف در هر قاب از اطلاعات پس‌زمینه به عنوان نمونه منفی و از اطلاعات هدف به عنوان نمونه مثبت برای آموزش کلاس‌بند و به روز رسانی الگوریتم استفاده می‌شود. نتایج این الگوریتم نشانگر مقاومت مناسب آن نسبت به انسداد، تغییرات هدف و تغییرات نورپردازی محیط است. ردیاب [۱۵] Frag Track هدف را به چندین قسمت، تقسیم و از هیستوگرام هر کدام از قسمت‌ها برای ردیابی هدف استفاده می‌کند. با توجه به قسمت‌بندی هدف و ردیابی قسمت‌ها، این الگوریتم پاسخ مناسبی نسبت به انسداد دارد.

در این مقاله الگوریتمی سریع و کارا برای ردیابی مقاوم نسبت به انسداد هدف معرفی می‌گردد. به این صورت که ابتدا از محدوده هدف، لبه‌یابی صورت می‌گیرد و سپس قوی‌ترین لبه‌های هدف به عنوان مدل اصلی هدف در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه برای افزایش مقاومت نسبت به انسداد قالب هدف به ۴ قسمت تقسیم می‌شود. با ردیابی جداگانه قسمت‌ها در محدوده جستجو و استفاده از یک معیار ساده، قسمت‌های مسدود و نامسدود شناسایی و با توجه به قسمت‌های نامسدود، یک بردار حرکت کلی برای هدف به دست می‌آید. همچنین در صورت خلوت بودن پس‌زمینه و نبود انسداد، قالب لبه‌های هدف در طول ردیابی به روز می‌گردد. استفاده از روشی ساده و کارآمد در این الگوریتم باعث شده تا الگوریتم علاوه بر داشتن دقت بالا، سرعت بسیار بالایی نیز داشته باشد. در ادامه جزئیات روش پیشنهادی، بررسی شده و در انتهای مقاله نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم‌های دیگر مورد

باشد اما در حالت کلی در محیط‌های شلوغ و انسدادهای سنگین، پاسخ مناسبی به دست نخواهد آمد. در این مقاله برای افزایش مقاومت نسبت به انسداد، قالب لبه‌های هدف به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌شود و سپس با توجه به فرایند تطابق که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد، قسمت‌های مسدود و نامسدود شناسایی و مکان هدف در هر قاب با توجه به قسمت‌های نامسدود مشخص می‌گردد.

۴-۲ فرایند تطابق

پس از ذخیره قالب لبه‌های هدف و تقسیم آن به ۴ قسمت مساوی، برای مشخص کردن مکان قسمت‌ها در هر قاب، ناحیه جستجو برای هر قسمت به صورت محدوده‌ای حول مکان آن قسمت در قاب قبل در نظر گرفته می‌شود. اندازه محدوده جستجو با توجه به ابعاد هدف و حداکثر مجاز حرکت هدف و دوربین بین دو قاب متوالی تعیین می‌شود و در واقع برابر با حاصل جمع ابعاد قسمت‌های هدف به علاوه تعداد پیکسل معادل با حداکثر مجاز حرکت هدف در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در صورتی که اندازه هر قسمت از هدف برابر با $a \times a$ باشد، اندازه ناحیه جستجو برای هر قسمت برابر است با $(a+2m) \times (a+2m)$ که m حداکثر جابه‌جایی است که برای هدف بین دو قاب متوالی در نظر گرفته می‌شود. پس از تعیین محدوده جستجو برای هر قسمت، از این محدوده لبه‌یابی صورت می‌گیرد و با اعمال آستانه مناسب (thr_i) تصویر باینری محدوده جستجو برای انجام عمل تطابق به دست می‌آید. مطابق رابطه زیر، مقدار مناسب thr_i برای یک تصویر سطح خاکستری در مقیاس ۰ تا ۲۵۵، یک واحد کمتر از thr_i در نظر گرفته می‌شود

$$thr_i = thr_i - 1 \quad (5)$$

برای انجام عمل تطابق و به دست آوردن تشابه بین قالب هر قسمت و قالب کاندیدا، مختصات نقاط غیر صفر هر دو تصویر یعنی قالب هدف و قالب کاندیدای درون ناحیه جستجو با هم مقایسه می‌شود و مقدار تشابه برابر با تعداد نقاط غیر صفر یکسان در هر دو تصویر است. به منظور تسریع در پیاده‌سازی، دو تصویر قالب هدف و قالب کاندیدا با یکدیگر AND منطقی شده و در ادامه با شمارش نقاط غیر صفر تصویر حاصل، تعداد نقاط مشابه مشخص می‌شود. در نهایت پس از به دست آوردن تشابه بین قالب هر قسمت از هدف و قالب‌های کاندیدا در نواحی جستجو، برای هر قسمت از مدل هدف یک ماتریس تشابه خواهیم داشت. رابطه

$$S_i(x, y) = (E_i \text{ and } E_c) \quad \text{تعداد پیکسل‌های غیر صفر}$$

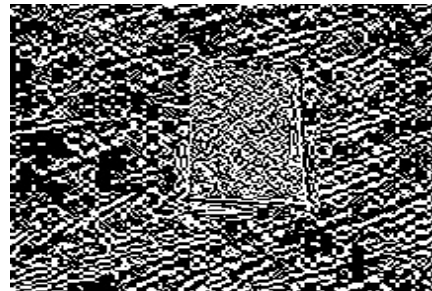
$$0 \leq x \leq 2m, 0 \leq y \leq 2m \quad (6)$$

$$1 \leq i \leq 4$$

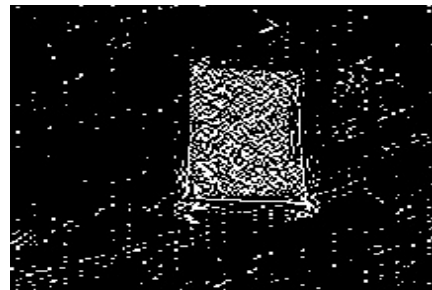
در رابطه بالا E_i تصویر باینری لبه‌های یکی از قسمت‌های متعلق به هدف و E_c تصویر لبه‌یابی شده کاندیدایی می‌باشد که در مکان (x, y) ناحیه جستجو قرار گرفته است. همان طور که در رابطه بالا مشخص است هر کدام از مؤلفه‌های ماتریس‌های تشابه (S_i) با شمارش نقاط غیر صفر تصویر حاصل از AND کردن E_i و E_c به دست می‌آید. همچنین اندازه ماتریس‌های تشابه برابر است با $(2m+1) \times (2m+1)$ که m حداکثر جابه‌جایی است که برای هدف در هر جهت در نظر می‌گیریم. توجه به این نکته ضروری است که می‌توان برای بهبود عملکرد تطابق، پس از به دست آوردن قالب کلی لبه‌های هدف، لبه‌ها را در یک ناحیه کوچک گسترش داد که این کار به ویژه برای اجسامی که دارای نقاط لبه‌ای کمی هستند مؤثر است [۳].



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲: (الف) تصویر مورد نظر برای لبه‌یابی، (ب) تصویر باینری لبه‌ها با انتخاب $\alpha = 1$ و (ج) تصویر باینری لبه‌ها با انتخاب $\alpha = 0.6$.

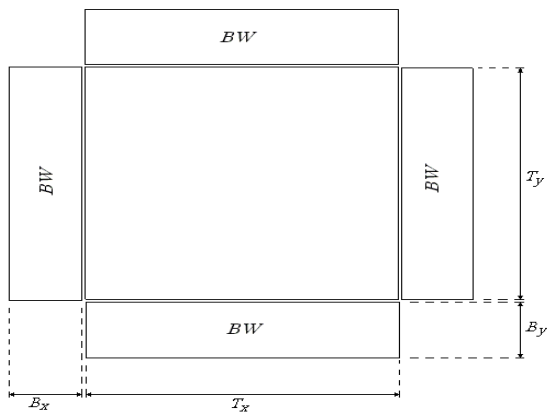
$$Edge(x, y) = \begin{cases} 1, & Sbl(x, y) > (thr_i) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

برای به دست آوردن thr_i ، به عنوان مثال در صورتی که تصویر Sbl ، یک تصویر ۸بیتی باشد که مقادیر آن بین ۰ تا ۲۵۵ است ابتدا یک آستانه پایین به عنوان مثال ۲ انتخاب می‌گردد و تصویر $Edge$ مطابق (۴) به دست می‌آید. سپس در صورتی که تعداد نقاط غیر صفر این تصویر شرط (۳) را برآورده کنند، آستانه انتخابی، آستانه مناسبی است و در غیر این صورت آستانه یک واحد افزایش می‌یابد و مراحل کار به همین صورت ادامه پیدا می‌کند تا شرط (۳) برآورده گردد. در نهایت پس از به دست آوردن آستانه، قالب مناسب هدف در تصویر باینری $Edge$ ذخیره می‌شود. تحت این شرایط به عنوان مثال با α برابر با ۰٫۸، حدود ۸۰ درصد از قوی‌ترین لبه‌های آشکار شده را به عنوان لبه‌های قالب هدف در نظر گرفته‌ایم، استفاده از روش پیشنهادی برای انتخاب لبه‌ها باعث می‌گردد ردیاب بتواند در شرایط نورپردازی مختلف به راحتی با انتخاب قوی‌ترین لبه‌ها هدف را دنبال کند. شکل ۲ تأثیر انتخاب آستانه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

۳-۲ تکه‌تکه کردن قالب هدف برای افزایش مقاومت

نسبت به انسداد

انتخاب قوی‌ترین لبه‌های هدف و منحصربودن قالب لبه‌ها در محدوده جستجو، باعث می‌شود الگوریتم تا حدی نسبت به انسداد مقاومت داشته



شکل ۴: نمایش پنجره‌های پیرامونی جهت بررسی وضعیت پس‌زمینه و به روز رسانی قالب هدف.

باشد. برای پس‌زمینه خلوت می‌توان قالب هدف را با اطمینان از عدم ورود اطلاعات پس‌زمینه به قالب هدف به روز کرد [۱]. از این رو در روش پیشنهادی در اطراف محل آشکار شده برای هدف در محدوده جستجو، چهار پنجره حاشیه‌ای به نام BW برای پس‌زمینه مطابق شکل ۴ تعریف می‌شود و در صورت برقراربودن شرط زیر و عدم وجود انسداد سنگین می‌توان قالب هدف را به روز کرد

$$N_B < \gamma \times N_o \quad (10)$$

در رابطه بالا N_o بیانگر تعداد نقاط لبه‌ای قالب هدف و N_B بیانگر تعداد نقاط لبه‌ای پنجره‌های حاشیه‌ای می‌باشد. منظور از رابطه بالا این است در صورتی به روز رسانی صورت می‌گیرد که تعداد نقاط لبه‌ای در پنجره‌های حاشیه‌ای کمتر از γ برابر تعداد نقاط لبه‌ای هدف باشد که این رابطه در اصل بیانگر شرط پس‌زمینه خلوت است. عدد مناسب برای γ در رابطه بالا عددی بین ۰/۱ تا ۰/۲ است ($0.1 < \gamma < 0.2$). به عنوان مثال اگر γ برابر با ۰/۱۵ در نظر گرفته شود در صورتی که تعداد نقاط لبه‌ای پنجره‌های حاشیه‌ای (مجموع تعداد نقاط لبه‌ای در همه پنجره‌های حاشیه‌ای) کمتر از ۱۵ درصد تعداد نقاط لبه‌ای هدف باشد قالب هدف به روز خواهد شد. در صورت برقرارنبودن (۱۰) قالب هدف به روز نخواهد شد تا از ورود اطلاعات پس‌زمینه به قالب هدف جلوگیری شود [۱]. در شکل ۴، T_x و T_y اندازه طول و عرض هدف و B_x و B_y اندازه عرض پنجره‌های حاشیه‌ای می‌باشند.

۳- پیاده‌سازی و نتایج آن

برای بررسی عملکرد الگوریتم از ۶ دنباله مختلف استفاده شده است: دنباله تصاویر Face و دنباله تصویر Person که برای آزمایش مقاومت الگوریتم نسبت به انسداد مورد استفاده قرار می‌گیرند، دنباله تصاویر Cup و دنباله تصاویر Dollar که برای آزمایش دقت الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرند، دنباله تصاویر David برای آزمایش الگوریتم در شرایط نورپردازی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت دنباله تصویر Free Man که برای تست مقاومت الگوریتم نسبت به تغییرات ظاهری هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج حاصل نشان‌دهنده توانایی الگوریتم در ردیابی دقیق هدف و مقاومت آن نسبت به انسداد، پیچیدگی پس‌زمینه و تغییرات نورپردازی می‌باشد. پیاده‌سازی در یک رایانه با CPU ۲/۶ GHz و RAM ۴ GB صورت گرفته و میانگین سرعت الگوریتم در OpenCV به حدود ۶۰ قاب در ثانیه می‌رسد که نشانگر این است که الگوریتم می‌تواند به صورت بلادرنگ مورد استفاده قرار گیرد. همچنین برای انجام



شکل ۳: (الف) هدف مورد نظر برای ردیابی، (ب) تقسیم هدف به ۴ قسمت مساوی و (ج) مسدود شدن ۲ قسمت پایینی از هدف در طول فرایند ردیابی.

۲-۵ تعیین بخش‌های مسدود و مکان یابی هدف

پس از به دست آوردن ماتریس تشابه برای هر قسمت، بیشترین مقدار آن نشانگر مناسب‌ترین نقطه برای آن قسمت از هدف است اما باید تعیین شود قطعه مد نظر مسدود شده است یا خیر

$$\frac{M_i}{N_i} < \beta \quad (11)$$

در رابطه بالا M_i بیانگر بیشترین مقدار ماتریس تشابه قسمت i ام و N_i بیانگر تعداد پیکسل‌های لبه‌ای قسمت i ام از مدل هدف می‌باشد. در صورت برقراری شرط بالا قسمت مورد نظر از هدف به احتمال زیاد مسدود شده است. انتخاب مقدار مناسب برای β اهمیت زیادی دارد و چنانچه β عدد کمی در نظر گرفته شود در صورت بروز انسداد، ممکن است الگوریتم نتواند قسمت‌های مسدود را شناسایی کند و در نتیجه احتمال بروز خطا افزایش می‌یابد. در صورتی که β عدد بزرگی در نظر گرفته شود الگوریتم اکثر قسمت‌های هدف را به صورت مسدود در نظر می‌گیرد و در نتیجه ممکن است دقت الگوریتم در ردیابی هدف کاهش یابد. در آزمایشات عدد مناسب برای β ، عددی بین ۰/۳۵ تا ۰/۵۵ به دست آمد. پس از انجام فرایند بالا برای هر ۴ قسمت از هدف و تعیین قسمت‌های مسدود و نامسود، ماتریس تشابه کلی را برای هدف که برابر با مجموع ماتریس‌های تشابه قسمت‌های مسدود نشده است به دست می‌آید

$$S_i = \sum_{i=1}^4 S_i \quad \text{برای قسمت‌های نامسود} \quad (12)$$

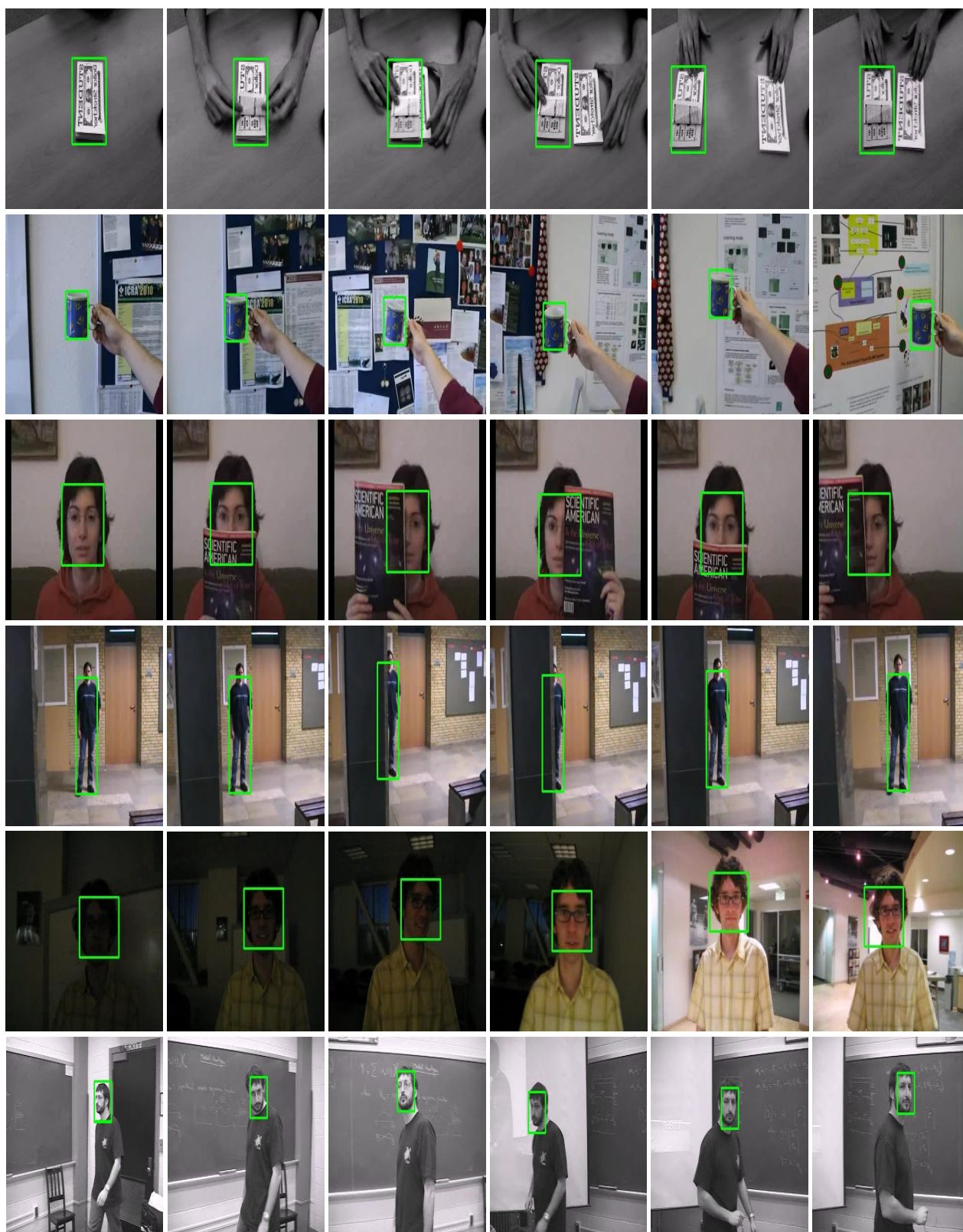
در نهایت با توجه به بیشترین مقدار ماتریس S_i ، بردار حرکت و در نتیجه مکان جدید هدف در هر قاب مشخص می‌شود. رابطه (۹) نحوه به دست آوردن بردار حرکت را نمایش می‌دهد

$$d = \arg \max(S_i) - (m+1, m+1) \quad (13)$$

با به دست آمدن بردار حرکت، همه قسمت‌های هدف را متناسب با آن جابه‌جا می‌کنیم. لازم به ذکر است روش استفاده‌شده برای به دست آوردن ماتریس‌های تشابه، ماتریس تشابه کلی و بردار حرکت برگرفته از روش استفاده‌شده در [۱۵] frag track است. شکل ۳ تقسیم هدف به ۴ قسمت و مسدود شدن دو بخش پایین آن را نمایش می‌دهد.

۲-۶ به روز رسانی قالب هدف

در طی زمان ممکن است پس‌زمینه هدف شلوغ شود، بنابراین صلاح نیست که در هر قاب تصویر ورودی، قالب هدف به روز شود. یک روش متداول، تحلیل پیرامون هدف است که می‌تواند معیار خوبی از پس‌زمینه



شکل ۵: نتایج الگوریتم پیشنهادی برای دنباله‌های تست.

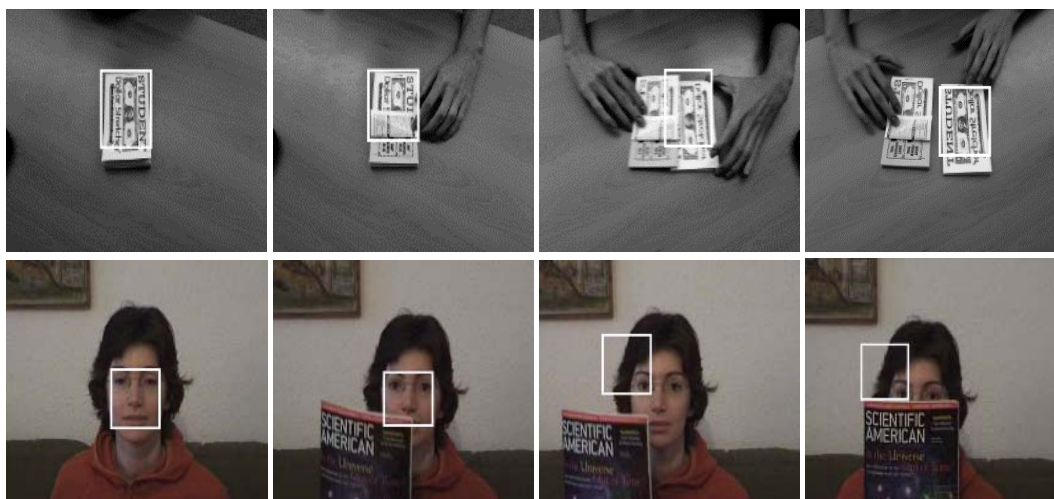
منصفانه، پارامترهای الگوریتم پیشنهادی برای همه دنباله‌های مورد تست مطابق جدول ۱ تنظیم شده‌اند.

سطر اول تصاویر شکل ۵، قاب‌هایی از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی دنباله Dollar را نمایش می‌دهد. همان طور که در تصاویر مشخص است در این دنباله هدف علاوه بر تغییر مکان، دارای انسداد جزئی هم می‌باشد که توسط تاشدن قسمتی از اسکناس بر روی خودش به وجود آمده است، همچنین به دلیل وجود جسم مشابه در صحنه در کنار

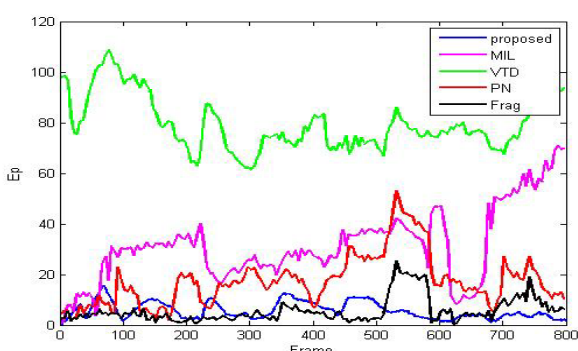
جدول ۱: پارامترهای مختلف الگوریتم.

پارامتر	β	B_y, B_x	Te	γ	α	m
مقدار	۰٫۴	۵	۱۴	۰٫۲	۰٫۷	۶

عمل مقایسه از نتایج چندین روش ردیابی متداول تصویری [۱۴]، [۱۵]، [۱۷]، [۱۸] و [۲۰] تا [۲۲] استفاده شده است. برای ارائه یک مقایسه



شکل ۷: بررسی پاسخ یک ردیاب سریع دیگر مبتنی بر لبه [۱۸] نسبت به انسداد در دنباله‌های Dollar و Face.



شکل ۸: نمودار خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی و تعدادی الگوریتم دیگر.

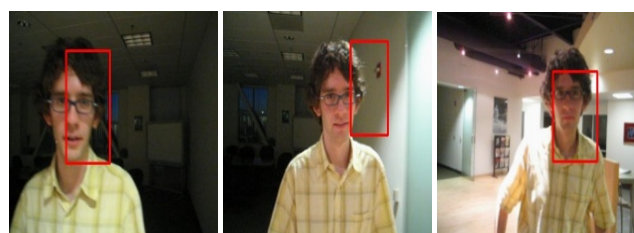
الگوریتم ارائه‌شده در [۱۸] یک روش ردیابی مبتنی بر اطلاعات لبه‌ای هدف است. با پیاده‌سازی این روش بر روی FPGA سرعت آن در حدود ۱۵۰ fps گزارش شده است. این الگوریتم نسبت به تغییرات هدف و نورپردازی محیط پاسخ مناسبی دارد اما در مقابل انسداد مقاوم نیست. شکل ۷ پاسخ این الگوریتم را نسبت به انسداد در دنباله‌های Dollar و Face نمایش می‌دهد.

به منظور مقایسه کمی خطای الگوریتم پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های مورد مقایسه از مقدار خطای مکان‌یابی خروجی ردیاب‌ها در هر قاب تصویر استفاده شده است. رابطه (۱۱) نحوه به دست آوردن خطای مکان‌یابی را نمایش می‌دهد [۳]

$$E_p = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \quad (11)$$

که (x, y) مختصات واقعی هدف است که به صورت دستی در هر قاب تخمین زده می‌شود و (\hat{x}, \hat{y}) نیز مختصات موقعیت تخمینی به وسیله الگوریتم است. شکل ۸ نمودار خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های [۲۰] MIL، [۲۱] PN، [۲۲] VTD و [۱۵] Frag Track را برای دنباله Face نمایش می‌دهد. همان طور که از تصویر مشخص است، الگوریتم پیشنهادی خطای کمتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر دارد.

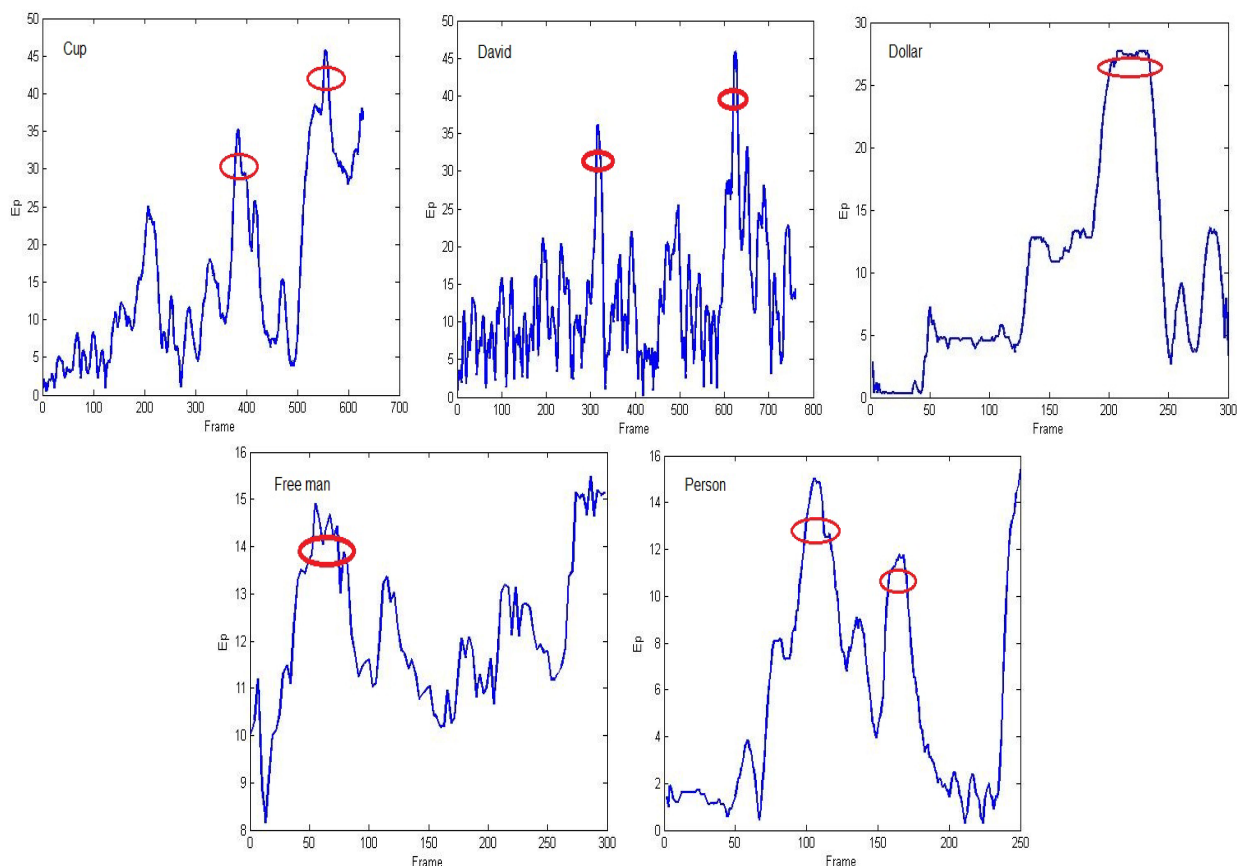
تصاویر شکل ۹ نمودار خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی را برای سایر دنباله‌های تست نمایش می‌دهد. حلقه‌های قرمز رنگ در این نمودارها نشانگر افزایش خطای مکان‌یابی می‌باشند و همان طور که در تصاویر مشخص است، خطا در مکان‌هایی به دلیل بروز انسداد بر روی هدف و یا تغییرات هدف افزایش یافته، اما در ادامه با برطرف شدن انسداد و به روز رسانی قالب لبه هدف، خطا کاهش می‌یابد.



شکل ۹: نتیجه به کارگیری الگوریتم MS در شرایط نورپردازی مختلف.

هدف، امکان دچار خطاشدن الگوریتم زیاد است اما همان طور که در تصاویر خروجی مشخص است الگوریتم به خوبی هدف را تعقیب می‌کند. سطر دوم تصاویر شکل ۵، خروجی الگوریتم را برای قاب‌هایی از دنباله Cup نشان می‌دهد. در این قاب‌ها، حرکت هدف در محیطی با پس‌زمینه شلوغ دیده می‌شود که دارای مقداری تغییرات اندازه نیز می‌باشد اما با توجه به تصاویر خروجی، الگوریتم قادر به ردیابی هدف با دقت بالا است. سطر سوم و چهارم تصاویر شکل ۵، قاب‌هایی از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی دو دنباله Person و Face را نشان می‌دهد که در هر دو دنباله، انسداد بخش‌هایی از هدف دیده می‌شود. همان طور که مشخص است در قاب‌هایی از این دو دنباله، انسداد حدود ۵۰ درصد دیده می‌شود اما الگوریتم توانسته به خوبی با این چالش مقابله کند و با دقت بالا هدف را بدون گم کردن آن و یا حتی کاهش محسوس در دقت ردیابی دنبال کند. سطر پنجم تصاویر شکل ۵، قاب‌هایی از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی دنباله David را نشان می‌دهد که این دنباله، تستی مناسب برای بررسی مقاومت در شرایط نورپردازی متفاوت است. همان طور که مشخص است در هر شرایط نورپردازی با توجه به به روز رسانی قالب هدف و انتخاب لبه‌ها به صورت گفته‌شده، الگوریتم به خوبی به کار خود ادامه می‌دهد. سطر ششم تصاویر شکل ۵، قاب‌هایی از نتایج الگوریتم پیشنهادی بر روی دنباله Free Man را نمایش می‌دهد. در این دنباله هدف ردیابی صورت شخصی می‌باشد که در طول مسیر حرکت به دلیل چرخش دارای تغییرات زیادی است اما همان طور که از تصاویر مشخص است با توجه به وجود امکان به روز رسانی در الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم توانسته به خوبی هدف را تعقیب کند.

شکل ۶، نتیجه پیاده‌سازی الگوریتم ردیاب MS [۱۷] را بر روی دنباله David نشان می‌دهد. این روش در مقابل تغییرات اندازه و انسداد جزئی مقاومت مناسبی دارد اما همان طور که در شکل مشخص است نسبت به تغییرات نورپردازی محیط مقاومت مناسبی ندارد.



شکل ۹: نمودار خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی برای دنباله‌های تست، حلقه‌های قرمز رنگ بیانگر افزایش خطا است.

جدول ۲: خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های دیگر.

	Face	Dollar	David	Person	Cup	Free Man
روش پیشنهادی	۵٫۴	۹٫۸۳	۱۶٫۹	۱۳٫۱	۱۵٫۷	۱۲٫۷۵
Frag [۱۵]	۵٫۶۴	۵۵٫۸۸	۱۰٫۳	-	-	-
MIL [۲۰]	۳۶٫۳۱	۱۴٫۷۴	۲۳٫۱۲	-	-	-
PN [۲۱]	۱۷٫۳۵	-	۱۵٫۸	-	-	-
VTD [۲۲]	۷۹٫۴۲	-	۱۱	-	-	-
KSR [۲۳]	۹٫۱۸	-	۱۷٫۵۶	-	-	-
OB [۲۴]	۹٫۹۶	-	۳۱٫۶۹	-	-	-

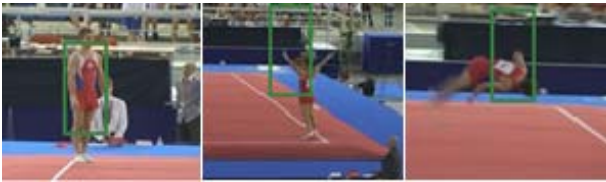
جدول ۳: سرعت چند ردیاب مختلف.

روش پیشنهادی	OB [۲۴]	KSR [۲۳]	VTD [۲۲]	Frag Track [۱۵]	الگوریتم ردیابی
زبان پیاده‌سازی	C++	Matlab	Matlab	C++	C++
سرعت (FPS)	۱۰٫۷	۲	۴٫۱	۵٫۸	۶۰٫۳

که در سرعت ردیاب پیاده‌سازی شده نشان داده می‌شود. در جدول ۳ میانگین سرعت تقریبی چند الگوریتم و الگوریتم پیشنهادی آورده شده است. سرعت الگوریتم‌های [۱۵] و [۲۲] تا [۲۴] در [۲۴] برای یک رایانه با ۲٫۴ GHz CPU و ۱ GB RAM مشابه مقادیر موجود در جدول گزارش شده است. با توجه به جدول ۳، الگوریتم پیشنهادی از سرعت بسیار بالایی برخوردار است که دلیل این امر استفاده از معیارهای مناسب و کارآمد در الگوریتم است که باعث می‌شود سرعت آن به بیش از ۶۰ قاب در ثانیه برسد.

دنباله‌های Cup و Free Man که برای تست الگوریتم مورد استفاده قرار گرفتند از دنباله‌هایی هستند که به دلیل شلوغ بودن پس‌زمینه و تغییرات هدف، الگوریتم‌های ردیابی را با چالش روبه‌رو می‌کنند. از این رو

جدول ۲ میانگین خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی و تعدادی از الگوریتم‌های دیگر را برای دنباله‌های تست نمایش می‌دهد. مواردی که خطای الگوریتم‌ها در دسترس نبوده است با علامت - در جدول مشخص شده و لازم به ذکر است مقادیر خطای مکان‌یابی روش‌هایی که در شکل ۹ و در جدول ۲ مورد استفاده قرار گرفت، مقادیری است که نویسندگان در [۱۴]، [۱۵]، [۱۷]، [۱۸] و [۲۰] تا [۲۴] گزارش کرده‌اند. با توجه به میانگین خطای مکان‌یابی الگوریتم پیشنهادی برای دنباله‌های تست و همچنین خطای مکان‌یابی الگوریتم‌های دیگر نام‌برده در جدول، می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم پیشنهادی در حالت کلی خطای کمتری دارد. از پارامترهای مهم دیگر در الگوریتم ردیابی، حجم محاسبات آن بوده



شکل ۱۱: نتایج الگوریتم پیشنهادی برای تغییرات اندازه و دوران هدف.

ساده در کنار به روز رسانی قالب هدف در زمان مناسب، علاوه بر این که منجر به افزایش مقاومت الگوریتم گردیده، باعث افزایش سرعت الگوریتم هم شده است به گونه‌ای که با پیاده‌سازی الگوریتم در OpenCV، میانگین سرعت آن به بیش از ۶۰ قاب در ثانیه می‌رسد که آن را برای کاربردهای بلادرنگ مانند ردیاب‌های دفاعی و نظارتی مناسب می‌کند.

همچنین می‌توان در هر قاب اندازه ناحیه جستجو را با توجه به اطلاعات حرکت هدف در قاب‌های قبل پیش‌بینی کنیم. در این صورت اندازه ناحیه جستجو در هر قاب به صورت بهینه و کوچک‌تر از اندازه فعلی آن انتخاب می‌شود و در نتیجه سرعت الگوریتم بالاتر می‌رود.

مراجع

- [1] P. Moallem, A. Memarmoghaddam, and M. Ashourian, "Robust and fast tracking algorithm in video sequences by adaptive window sizing using a novel analysis on spatiotemporal gradient powers," *International J. of Circuit, Systems, and Computers*, vol. 16, no. 2, pp. 305-317, Apr. 2007.
- [2] W. Zhong, H. Lu, and M. Yang, "Robust object tracking via sparsity-based collaborative model," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'12*, pp. 1838-1845, Jun. 2012.
- [3] A. C. Emilio Maggio, *Video Tracking: Theory and Practice*, Wiley, 2011.
- [4] B. Javidi, *Image Recognition and Classification, Algorithms, Systems and Applications*, 1st Edition, CRC Press, 2002.
- [5] T. Zhang, B. Ghanem, S. Liu, and N. Ahuja, "Robust visual tracking via multi-task sparse learning," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'12*, pp. 2042-2049, Jun. 2012.
- [6] L. Cehovin, M. Kristan, and A. Leonardis, "Robust visual tracking using an adaptive coupled-layer visual model," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 4, pp. 941-953, Apr. 2013.
- [7] X. Jia, D. Wang, and H. Lu, "Fragment-based tracking using online multiple kernel learning," in *Proc. 19th IEEE Int. Conf. on Image Processing, ICIP'12*, pp. 393-396, Oct. 2012.
- [8] J. Wu, H. Yue, Y. Cao, and Z. Cui, "Video object tracking method based on normalized cross-correlation matching," in *Proc. 9th Int. Symp. on Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science, DCABES'10*, pp. 523-527, Aug. 2010.
- [9] C. Chu, J. Hwang, H. Pai, and K. Lan, "Robust video object tracking based on multiple kernels with projected gradients," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP'11*, pp. 1421-1424, May 2011.
- [10] H. Tahvilian, P. Moallem, and 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 J. on Advances in Signal Processing*, Article 253, 15 pp., Dec. 2012.
- [11] ر. عسگریان دهکردی، پ. معلم و ع. معمار مقدم، "الگوریتمی قطعه مینا برای ردیابی بلادرنگ تصویری با مقاومت مناسب نسبت به انسداد و تغییرات هدف،" مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی بازشناسی الگو و تحلیل تصویر، ۷ صص، رشت، اسفند ۹۳.
- [12] C. Choi and H. I. Christensen, "Robust 3D visual tracking using particle filtering on the SE (3) group," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'11*, pp. 4384-4390, May 2011.
- [13] C. Choi and H. I. Christensen, "3D texture-less object detection and tracking: an edge-based approach," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS'12*, pp. 3877-3884, Oct. 2012.



شکل ۱۰: نتایج الگوریتم پیشنهادی بدون استفاده از خاصیت به روز رسانی.

در صورتی که الگوریتمی توانایی مقابله با این موارد را نداشته باشد ممکن است نتواند به خوبی هدف را در این دنباله‌ها دنبال کند. در روش پیشنهادی با توجه به وجود قابلیت به روز رسانی، الگوریتم توانسته به خوبی هدف را در دنباله‌های نام‌برده تعقیب کند. شکل ۱۰ نتایج روش پیشنهادی برای دنباله‌های Cup و Free Man بدون استفاده از خاصیت به روز رسانی را نمایش می‌دهد.

از دیگر چالش‌های ردیابی، تغییرات اندازه هدف در طول فرایند ردیابی می‌باشد. ساختار الگوریتم پیشنهادی به گونه‌ای است که امکان ردیابی سریع، مقاوم نسبت به انسداد و دقیق هدف را به دنبال داشته است، لیکن در صورتی که تغییرات اندازه هدف سریع باشد روش پیشنهادی نمی‌تواند هدف را به خوبی دنبال کند. شکل ۱۱ نتایج روش پیشنهادی را برای دنباله ژیمیناست نشان می‌دهد. در این دنباله یک ورزشکار حرکات ورزشی را با سرعت بالا انجام می‌دهد و همان طور که در تصاویر مشخص است شخص همراه با انجام حرکات چرخشی، تغییرات اندازه سریع دارد که این دو عامل (چرخش و تغییر اندازه)، ردیابی دقیق هدف را در الگوریتم پیشنهادی با مشکل مواجه می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

مسئله دقت در ردیابی، کم‌بودن زمان پردازش و مقاومت نسبت به انسداد از مسایل مهم در الگوریتم‌های ردیابی تصویری می‌باشند. به منظور تعقیب طولانی هدفی مشخص در تصاویر متوالی با زمینه‌ای نسبتاً شلوغ و با احتمال وجود انسداد، معمولاً یکی از دو روش ردیابی همبستگی مینا یا ویژگی مینا استفاده می‌شود. در این مقاله بر مبنای تلفیق دو روش، الگوریتمی سریع و مطمئن جهت ردیابی تصویری هدف ارائه شده است. روش پیشنهادی از مزیت دقت روش ردیابی بر مبنای قالب هدف برخوردار است و در عین حال فضای جستجو مشابه روش ردیابی ویژگی‌ها انتخاب می‌گردد و بنابراین سرعت پیاده‌سازی مشابه روش‌های ویژگی مینا خواهد بود.

پس از مشخص کردن محدوده در بر گیرنده هدف توسط کاربر، لبه‌های هدف با روش پیشنهادی آشکار شده و در یک ساختار مناسب ذخیره می‌شود. در قاب‌های بعدی با توجه به موقعیت هدف در قاب قبلی، محدوده جستجو انتخاب شده و از تصویر محدوده جستجو، تطابق قالب لبه هدف بررسی شده و شبیه‌ترین کاندیدا انتخاب می‌شود. در ادامه در صورت خلوت بودن پس‌زمینه در پیرامون محل یافته‌شده از هدف، قالب هدف به روز می‌شود و در غیر این صورت قالب لبه هدف، به روز نخواهد شد. در الگوریتم پیشنهادی با استفاده از روش چند قسمت کردن هدف، مقاومت الگوریتم نسبت به انسداد بهبود یافته است. استفاده از معیارهای

پیمان معلم دانش‌آموخته کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، به‌ترتیب در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۷۴ از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. نامبرده در سال ۱۳۸۲ موفق به اخذ درجه دکتری در مهندسی برق از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. دکتر معلم از سال ۱۳۸۲ به عنوان عضو هیأت علمی در دانشگاه اصفهان مشغول خدمت گردید و هم‌اکنون استاد گروه مهندسی برق دانشکده فنی و مهندسی و عضو گروه پژوهشی پردازش کاربردی تصویر و سیگنال دانشگاه اصفهان می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند پردازش تصاویر و ماشین بینایی، توسعه شبکه‌های عصبی و پردازش هوشمند سیگنال‌ها است. اجرای بیش از ۳۰ پروژه کاربردی، تألیف حدود ۳۰۰ عنوان مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی و ملی و نیز تألیف ۳ عنوان کتاب در فعالیت‌های پژوهشی ایشان دیده می‌شود. ایشان در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ عنوان پژوهش‌گر برتر استان اصفهان در حوزه مهندسی، در سال ۱۳۹۱ عنوان پژوهشگر برتر در دومین جشنواره بین‌المللی تحقیق و توسعه ایران، و در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ عنوان پژوهشگر برگزیده دانشگاه اصفهان را کسب کرده‌اند.

رسول عسگریان دهکردی فارغ‌التحصیل کارشناسی الکترونیک در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه حکیم سبزواری و کارشناسی ارشد الکترونیک در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه اصفهان است. نامبرده از سال ۱۳۹۴ مشغول به تحصیل در دوره دکتری الکترونیک در دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. زمینه کاری مورد علاقه ایشان عبارت است از: پردازش تصویر و بینایی ماشین، شبکه‌های عصبی، شناسایی الگو، الگوریتم‌های تکاملی و توسعه سیستم‌های چند پردازنده. مهندس عسگریان در دوران کارشناسی ارشد با گروه پژوهشی پردازش کاربردی تصویر و سیگنال دانشگاه اصفهان همکاری داشته و هم‌اکنون نیز با شرکت پردازشگران شهاب (شناسایی هوشمند الگوهای بصری) همکاری می‌کند.

- [14] K. Lebeda, S. Hadfield, J. Matas, and R. Bowden, "Long-term tracking through failure cases," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision Workshops, ICCVW'13*, pp. 153-160, Dec. 2013.
- [15] A. Adam, E. Rivlin, and I. Shimshoni, "Robust fragments-based tracking using the integral histogram," in *Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 798-805, Jun. 2006.
- [16] D. A. Ross, J. Lim, R. Lin, and M. Yang, "Incremental learning for robust visual tracking," *International J. of Computer Vision*, vol. 77, no. 3, pp. 125-141, May 2008.
- [17] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, "Kernel-based object tracking," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 5, pp. 564-577, Apr. 2003.
- [18] P. Zhao, H. Zhu, H. Li, and T. Shibata, "A directional-edge-based real-time object tracking system employing multiple candidate-location generation," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 23, no. 3, pp. 503-517, Mar. 2013.
- [19] Y. Suzuki and T. Shibata, "Multiple-clue face detection algorithm using edge-based feature vectors," in *Proc. IEEE In. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP'04*, vol. 5, pp. 737-740, May 2004.
- [20] B. Babenko, M. Yang, and S. Belongie, "Visual tracking with online multiple instance learning," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'09*, pp. 983-990, Jun. 2009.
- [21] Z. Kalal, J. Matas, and K. Mikolajczyk, "P-N learning: bootstrapping binary classifiers by structural constraints," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'10*, pp. 49-56, Jun. 2010.
- [22] J. Kwon and K. M. Lee, "Visual tracking decomposition," in *Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR'10*, pp. 1269-1276, Jun. 2010.
- [23] L. Wang, H. Yan, K. Lv, and C. Pan, "Visual tracking via kernel sparse representation with multikernel fusion," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 24, no. 7, pp. 1132-1141, Jul. 2014.
- [24] H. Grabner, M. Grabner, and H. Bischof, "Real-time tracking via on-line boosting," in *Proc. British Machine Vision Conf.*, pp. 47-56, May 2006.