

## تشخیص انحرافات ناگهانی خودرو

### بر اساس الگوریتم بهبود یافته تشخیص سریع خط تقارن

نیما کوچمشکی<sup>۱</sup>

آزاده ظریف لولویی<sup>۲</sup>، محمود فتحی<sup>۳</sup>

#### چکیده

برای تشخیص انحرافات ناگهانی خودرو نیاز به تشخیص خودرو می باشد. نکته حایز اهمیت در تشخیص خودرو استفاده از تکنیک‌های پایدار در برابر تغییرات است. در این نوشتار، به منظور تشخیص خودروها از ویژگی تقارن استفاده شده که این ویژگی در برابر تغییرات نور پایدار است. همچنین روشی موثر برای برخورد با مشکل همپوشانی خودروها است. برای یافتن خط تقارن خودروها از روش تشخیص سریع خط تقارن استفاده شده است. این روش به کمک تبدیل هاف و استفاده از پیکسل‌های لبه، خط تقارن هر شی را بدست می آورد. همچنین الگوریتم بهبود روش تشخیص سریع خط تقارن در این نوشتار پیشنهاد گردیده است. این الگوریتم به منظور رفع خطاهای ناشی از عمق تصویر ارایه گردیده که الگوریتم تشخیص سریع خط تقارن قادر به رفع آن نبوده است. به منظور ردیابی خودروها از فیلتر کالمن استفاده شده است. آزمایشات انجام شده نشان داده است که روش پیشنهادی قادر می باشد با دقت ۹۵/۵۲٪ تعداد زیادی خودرو را در یک جاده ردیابی کند.

#### کلید واژه

الگوریتم بهبود تشخیص سریع خط تقارن، تشخیص خودرو، ردیابی خودرو، تبدیل هاف، فیلتر کالمن، همپوشانی.

۱. کارشناس ارشد کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک [n.kouchmeshky@ici-co.ir](mailto:n.kouchmeshky@ici-co.ir)

۲. دانشجویی دکتری برق، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

۳. استاد دانشکده کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۵

## مقدمه

تکنیک مرسوم برای استخراج اشیای متحرک (خودروها) روش تفاضل پس زمینه است. همچنین سال‌ها است که تحقیقات مختلف برای حل مشکل ردیابی خودکار صورت پذیرفته و راه‌حل‌های مختلفی ارائه گردیده است. این رهیافت‌ها را می‌توان به چند دسته تقسیم نمود: ردیابی blob [۱]؛ ردیابی کانتور فعال [۲]؛ ردیابی برپایه مدل سه‌بعدی [۳]؛ ردیابی احتمال مارکوف [۴]؛ ردیابی ویژگی‌ها و ردیابی برپایه‌ی رنگ و الگو [۵]. با توجه به آن که ردیابی بر پایه‌ی ویژگی‌های یکی از روش‌های مورد استفاده است، لزوم استفاده از یک ویژگی که در برابر تغییرات بیشترین پایداری را داشته باشد، امری بدیهی و لازم است. همچنین هزینه‌ی محاسباتی پایین به دلیل آنچه لزوم بلادرنگ بودن است، امری ضروری می‌نماید. به همین منظور برای ردیابی اشیای در شرایط متفاوت روشنایی، نیاز به استفاده از یک ویژگی که به طور مستقیم اتکای کامل بر رنگ و شدت نور نداشته باشد، لازم به نظر می‌رسد [۶].

در این نوشتار از ویژگی خط تقارن اشیای برای تشخیص و ردیابی خودروهای متحرک استفاده شده است. این رهیافت به دلیل استفاده از ویژگی خط تقارن در شرایط مختلف روشنایی یکسان عمل می‌کند. از نکات برجسته دیگر این روش غلبه بر معضل همپوشانی خودروها است. تبدیل تقارن عمومی توانایی تشخیص تقارن دو طرفه و شعاعی را در اندازه‌های مختلف دارد [۷]. این تبدیل یک نقشه تقارن تولید می‌نماید. از دیگر تحقیقات صورت گرفته در مورد تشخیص تقارن می‌توان به *yips* اشاره کرد [۸]. تشخیص دهنده‌ی *yips* توانایی تشخیص تقارن اشکال نامتقارن را دارد. اما مشکل این روش هزینه‌ی بالای محاسباتی آن است، همچنین *ogawa* در تحقیقات خود از یک روش تبدیل هاف برای یافتن تقارن در لبه‌های بخش‌ها استفاده نموده است [۹]. سایر تحقیقات بر تغییر و بهبود تبدیل تقارن عمومی متمرکز شده‌اند [۱۰].

تقارن اغلب به منظور شناسایی و تشخیص خودرو مورد استفاده قرار گرفته است. تصاویر خودرو در نظر گرفته شده اغلب از جلو یا عقب خودرو است و تقارن به صورت عمودی یا افقی را به عنوان نتیجه برمی‌گرداند [۱۱]. همچنین از تقارن در سیستم‌های نصب شده بر روی خودروهای نظامی اتوماتیک نیز استفاده می‌گردد [۱۲]. در تحقیقات جدید نیز از تقارن در تشخیص نقاط مرزی در تصاویری که توسط مادون قرمز در حوزه پزشکی تهیه شده است، استفاده گردیده است [۱۳]. تقارن چرخشی و تقارن بازتابی دو نوع عمده از تقارن هستند [۱۴، ۱۵]. اشیایی دارای تقارن بازتابی هستند که تحت انتقال بازتابی حول بعضی خطوط، ثابت باشند.

در این نوشتار روند کار شامل چند بخش مجزا است. ابتدا دنباله‌ای از تصاویر به منظور تشخیص و مدل‌سازی پس‌زمینه (BACKGROUND) در بخش مدل‌سازی پس‌زمینه مورد استفاده قرار گرفته است تا تصویر پس‌زمینه تهیه گردد. خروجی این قسمت بعنوان ورودی همراه با دنباله تصاویر وارد بخش تفاضل پس‌زمینه از پیش‌زمینه برای بدست آوردن تصویر اشیا متحرک در هر فریم می‌شود. خروجی این مرحله به منظور بدست آوردن خط تقارن به قسمت تشخیص خط تقارن ارسال می‌گردد. سپس با استفاده از فیلتر کالمن موقعیت خودرو در فریم‌های بعدی تخمین زده می‌شود که ابتدا روش تشخیص سریع خط تقارن توضیح داده شده و سپس الگوریتم بهبود آن به منظور رفع خطاهای ناشی از عمق تصویر و کوچکتر بودن خودروهای دورتر نسبت به خودروهای نزدیکتر که ممکن است سبب تشخیص چندین خط تقارن برای یک خودرو شود، پیشنهاد گردیده است.

#### مدل سازی پس زمینه و پیش زمینه

W4 یک سیستم بلادرنگ برای تشخیص و ردیابی اشیای متحرک در تصاویر ویدیویی می‌باشد [۱۶]. این مرحله از کار شامل دو گام است. گام نخست شامل به کارگیری فیلتر میانه (MEDIAN FILTER) برای چندین دنباله تصویر ویدیویی است (معمولا ۲۰ الی ۳۰ ثانیه) که برای تشخیص پیکسل‌های متحرک از ثابت به کار می‌رود. (تنها پیکسل‌هایی ثابت هستند که به عنوان پس‌زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند).

$A =$  دنباله ای از تصاویر ویدیویی رنگی است که شامل  $N$  تصویر است.

$A^k(i, j) =$  شدت نور پیکسل  $(i, j)$  در  $K$  امین فریم از دنباله تصاویر است.

$\lambda(i, j)$  و  $\sigma(i, j)$ ، به ترتیب عبارت از مقدار میانگین در پیکسل  $(i, j)$  و انحراف معیار استاندارد در تمامی فریم‌های دنباله تصاویر  $A$  است.

بنابر W4 باید پس‌زمینه اولیه برای پیکسل  $(i, j)$  به وسیله ۳ مقدار برداری  $B$  شامل:

$$B(i, j) = [m(i, j), n(i, j), d(i, j)] \quad (1)$$

که در آن  $m(i, j)$  مقدار کمینه شدن نور،  $n(i, j)$  مقدار بیشینه شدن نور و  $d(i, j)$  بیشترین مقدار تفاضل شدت نور در دو فریم متوالی است.

$$B(i, j) = \begin{bmatrix} m(i, j) \\ n(i, j) \\ d(i, j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \min_z A^z(i, j) \\ \max_z A^z(i, j) \\ \max_z |A^z(i, j) - A^{z-1}(i, j)| \end{bmatrix} \quad (2)$$

در جایی که شرط زیر صادق باشد:

$$|A^z(i, j) - \lambda(i, j)| \leq 2\sigma(i, j) \quad (3)$$

گام دوم عبارت از تشخیص پیش‌زمینه (FOREGROUND) است. بدین منظور باید بخش پس‌زمینه بدست آمده در گام اول را از هر یک از فریم‌های دنباله تصویر جدا نماییم. به این صورت که هر پیکسل به ازای روابط ذیل حائز یکی از دو حالت پس‌زمینه یا پیش‌زمینه خواهد بود.

اگر شرط ذیل صادق باشد.

$$I_t(i, j) - m(i, j) \leq \mu k \quad \text{or} \quad I_t(i, j) - n(i, j) \leq \mu k \quad (4)$$

۱- پیکسل به عنوان پس‌زمینه خواهد بود (مقدار صفر).

۲- در غیر این صورت پیکسل به عنوان پیش‌زمینه خواهد بود (مقدار یک).

$\mu$  = عبارت از میانگین تفاضل شدت نور در فریم‌های متوالی است.

$K$  = یک ثابت است که مقدار آن به طور تجربی و وابسته به شرایط محیطی تغییر می‌کند.

در شکل ۱، نمونه ای از بکارگیری الگوریتم W4 برای مدل سازی پس‌زمینه و پیش‌زمینه نشان داده شده است.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۱ (الف) مدل سازی پس‌زمینه، (ب) فریم انتخابی برای تشخیص خودرو، (ج) مدل سازی پیش‌زمینه

### جایگاه تبدیل هاف در پردازش تصویر

تبدیل هاف روشی توانمند برای تشخیص شکل در سیستم‌های بینایی ماشین است. نکته مهم از منظر محاسباتی تبدیل هاف ناشی از تقسیم فضای پارامتری به سلول‌های مشهور به انباشت‌گر است که  $(a_{\max}, a_{\min})$  و  $(b_{\max}, b_{\min})$  محدوده‌های مورد انتظار مقادیر شیب و عرض از مبدا هستند. سلول  $(i, j)$  با مقدار انباشتگر  $A(i, j)$ ، متناظر با مربع مربوط به مختصات فضای عامل  $(a_i, b_j)$  است. اما در این روش برای تعیین خطوط عمودی دچار مشکل می‌شویم، زیرا در این حالت شیب و عرض از مبدا آن به سمت بینهایت میل میکند. به همین دلیل Hart, Duda از نمایش قطبی برای این تبدیل استفاده کردند که در آن فضای پارامتری دارای مختصات  $(R, \theta)$  است [۱۷].

$$R = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (۵)$$

### روش عمومی تبدیل هاف

روش عمومی تبدیل هاف برای شناسایی تقارن از سه مشخصه مهم استفاده می‌کند [۱۸]، که عبارتند از: ۱. چرخش گرادیان تصویر ۲. تابع گوسین بر پایه فاصله ۳. شدت نور گرادیان تصویر. با استفاده از این سه مورد می‌توان نقشه تقارن را تولید نمود. در مجموع بوسیله‌ی تبدیل هاف عمومی دو نقشه تقارن تولید می‌گردد: ۱- نقشه تقارن اندازه ۲- نقشه تقارن فاز. اگر  $P_i$  و  $P_j$  دو پیکسل باشند روابط زیر برقرار است.

$$\Gamma_g(p) = \{(i, j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p\} \quad (۶)$$

که عبارت است از مجموعه میانه‌های بین پیکسل‌های  $i, j$ .

$$D_\sigma(i, j) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{|p_i - p_j|}{2\sigma}} \quad (۷)$$

که عبارت است از تابع وزنی فاصله،

$$P(i, j) = (1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_j)) (1 - \cos(\theta_i - \theta_j)) \quad (۸)$$

و تابع وزنی فاز است.

در نهایت تابع contribution؛  $C(i, j)$  به صورت ذیل است:

$$C(i, j) = D_\sigma(i, j) P(i, j) r_i r_j \quad (۹)$$

که  $r_1$  و  $r_2$  تابع لگاریتمی شدت نور گرادیان پیکسل‌ها است. نکته مهم در تبدیل هاف عمومی این است که برای یافتن تقارن تمامی پیکسل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و حجم عملیاتی بسیار بالایی دارد.

### روش تشخیص سریع خط تقارن

در این پروژه از ویژگی تقارن بازتابی (reflectional) به منظور ردیابی بلادرنگ خودروهایی متحرک استفاده گردیده و یک الگوریتم بهبود نیز برای معایب الگوریتم اولیه ارائه شده است.

در الگوریتم یافتن خط تقارن ابتدا لبه‌های شکل به کمک الگوریتم لبه‌یاب (canny) مشخص می‌شود. سپس الگوریتم مرحله به مرحله به اجرا در می‌آید. در این روش خط تقارن به وسیله زاویه و فاصله نسبت به مرکز تصویر برای هر شی مشخص می‌گردد [۱۹].

روش کار الگوریتم به این صورت است که ابتدا پیکسل‌های لبه شناسایی شده به زوج‌های دوتایی گروه‌بندی می‌شود و هر زوج یک کاندید برای مشخص نمودن خط تقارن است. در اینجا برخلاف الگوریتم تبدیل هاف استاندارد که چندین کاندید مورد نیاز بود، تنها به یک زوج کاندید نیاز داریم. به ازای هر زاویه هاف ( $\theta$ ) پیکسل‌های لبه حول مرکز تصویر دوران داده می‌شوند (شکل ۲-الف).

پیکسل‌های  $(x, y)$  لبه دوران داده شده در یک آرایه دو بعدی به نام مرجع قرار می‌گیرند و بر اساس مقدار  $y$  تقسیم‌بندی می‌گردند. تمامی پیکسل‌هایی که بعد از چرخش در یک راستا قرار دارند، در سطرهای یکسان در آرایه مرجع قرار می‌گیرند (شکل ۲-ب). با توجه به شکل ۲-ب دو پارامتر مورد نیاز برای هر زوج کاندید عبارت است از:

۱- زاویه مربوطه (زاویه دوران)

۲-  $R$  مربوطه از میانگین  $x$  دو کاندید  $(x_1 + x_2)/2$  بدست می‌آید [۱۹].

در مرحله بعد به ازای مقدار  $R$  و زاویه دوران هر زوج به مقدار متناظر در انباره هاف یک واحد افزوده می‌شود.

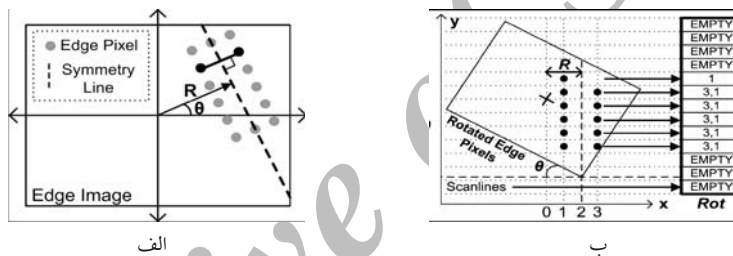
Increment  $H[R][\theta]$  BY 1

(۱۰)

در رابطه بالا  $H[R][\theta]$  انباره هاف است.

نکته‌ی قابل توجه این است که هر زوج در یک راستا تنها کاندید یک خط تقارن است. بدین منظور با تعریف دو شاخص فاصله‌ی  $D_{\min}$  و  $D_{\max}$  که به ترتیب عبارت از حداکثر فاصله و حداقل فاصله است، از بروز مشکل کاندید مشترک و نیز مشکل خط تقارن‌های اضافی جلوگیری به عمل می‌آید. به این ترتیب که فاصله بین دو زوج نباید از  $D_{\max}$  بزرگتر و نیز نباید از  $D_{\min}$  کوچکتر باشد [۱۴].

این روش نسبت به تبدیل هاف استاندارد دو مزیت عمده دارد اول اینکه تنها یک تک سطر در انبار هاف برای ذخیره نمودن در هر بار تکرار مورد نیاز است که نسبت به استفاده از تمامی انبار هاف که در تبدیل هاف استاندارد استفاده می‌شود، مزیت عمده‌ای است. دوم، در این روش محاسبات ریاضی برای یافتن خط تقارن بسیار سهل‌تر است.



شکل ۲ (الف) زوج پیکسل‌های کاندید خط تقارن به‌همراه پارامترهای  $R, \theta$

(ب) چرخش پیکسل‌های لبه و قرارگیری در آرایه مرجع (Rot)

در مرحله آخر برای یافتن خط تقارن باید به دنبال بیشترین تکرار در خانه‌های انبار هاف باشیم که بدین منظور از الگوریتم SUPPERESSION استفاده می‌شود و با هر بار یافتن ماکزیمم تمامی همسایگی آن را صفر قرار می‌دهیم.

عملکرد دوران چرخش پیکسل‌های لبه دارای درجه پیچیدگی محاسباتی به میزان  $O(n_{\text{edge}})$ ؛ می‌باشد.  $n_{\text{edge}}$  تعداد پیکسل‌های لبه در تصویر است. این عمل دوران به تعداد زوایای انبار هاف انجام می‌گردد.

### الگوریتم بهبود تشخیص سریع خط تقارن

یکی از مشکلاتی که در الگوریتم در هنگام به کارگیری در تصاویر خودرو به وجود می‌آید، این است

که با توجه به عمق تصویر و کوچکتر بودن خودروهای دورتر نسبت به خودروهای نزدیکتر ممکن است یک شکل دارای چندین خط تقارن شود که در این صورت در الگوریتم یافتن ماکزیمم تکرار در انباره هاف برای یک شی بیش از یک خط تقارن شناسایی شود و این امری مطلوب در شناسایی خودرو نیست. برای حل این مشکل الگوریتمی پیشنهاد می‌گردد که تمامی خطوط تقارن یک شی شناسایی و در یک لیست قرار می‌گیرند و بزرگترین آنها به عنوان خط تقارن آن شکل معین می‌گردد. مراحل کار و روش مربوطه در الگوریتم ۱ ارایه شده است.

در این الگوریتم، در مرحله اول با توجه به مقدار  $X$  ابتدایی (اولین  $X$  در اولین زوج کاندید) که به ازای آن  $R$  را محاسبه نمودیم،  $X$  را به عنوان مشخصه لیست آن شی در نظر می‌گیریم. سپس الگوریتم را ادامه داده و به ازای هر  $R$  یک لیست تشکیل می‌دهیم. چرخش یک نقطه حول مبدا مختصات با زاویه  $\theta$  با استفاده از ماتریس چرخش زیر بدست می‌آید:

$$Rotate(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$X_n = Rotate(X_0, \theta) \quad (12)$$

در مرحله بعد به ازای هر دوران شکل مقدار جدید مشخصه لیست را با توجه به زاویه محاسبه می‌نماییم و به ازای هر خط تقارن محاسبه شده آن را درون لیست مربوطه قرار می‌دهیم. لازم به ذکر است که اجزای تشکیل دهنده هر لیست همان دراپه‌های انباره هاف است که در اینجا بر اساس مشخصه لیست گروه‌بندی شده‌اند. در انتها بزرگترین خط تقارن در انباره هاف را مشخص می‌کنیم که در این ساختار پیشنهاد شده است که (برخلاف حالت قبل) تمامی اعضای لیست مربوط به  $R$  مشخص شده را صفر نماییم و این کار را ادامه دهیم. بدین ترتیب برای هر شی تنها یک خط تقارن مشخص می‌گردد و بقیه خط تقارن‌های شکل صفر و در جستجوی بعدی در نظر گرفته نمی‌شوند.



جدول (۱): الگوریتم پیشنهاد شده بهبود تشخیص سریع خط تقارن.

---

Algorithm : Improved fast symmetry detection

---

Input: source image  
Output: sym-symmetry line parameter (R,  $\theta$ )

Parameter:

H- Hough accumulator

Head- List of parameter of each object

$< \pi/2$  For  $-\pi/2 < \theta$

Rot $\leftarrow$ rotate edge pixels by angle  $\theta$

For each possible pair  $(x_1, x_2)$  in each row in Rot do

If  $x_1$  is head

Head  $i[k][1] \leftarrow x_1$

$x_0 \leftarrow (x_1 + x_2) / 2$

Head  $i[k][2] \leftarrow x_0$

Head  $i[k][3] \leftarrow \theta$

End

End

End

to find H RUN symmetry detection

For  $j \leftarrow 1$  to number of head do

Sym(j)  $\leftarrow \max(R, \theta) \in H$

Bins around sym(j) in H  $\leftarrow 0$

Find Head  $i$  such that sym(j)  $\in$  Head  $i$

Bins element of Head  $i$  in H  $\leftarrow 0$

---

نکته قابل ذکر برای این الگوریتم، این است که زمان اجرای آن نسبت به الگوریتم تشخیص خط، تقارن افزایشی بین ۱۲٪ تا ۱۴٪ می‌یابد که با توجه به بهبود عملکرد برای تشخیص خودروها قابل چشم پوشی است.

زمان اجرا برای تصاویر مختلف با تعداد پیکسل‌های لبه متفاوت در جدول (۲) ارایه گردیده است. این مقادیر با استفاده از CPU 2.8 MHz در نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی گردیده است.

جدول (۲) زمان اجرا الگوریتم بهبود تشخیص سریع خط تقارن.

| ردیف | اندازه تصویر | تعداد پیکسلها | زمان اجرا |
|------|--------------|---------------|-----------|
| 1    | 500*500      | 6043          | 94 ms     |
| 2    | 500*500      | 7552          | 109 ms    |
| 3    | 500*500      | 8601          | 113 ms    |
| 4    | 500*500      | 11229         | 134 ms    |
| 5    | 500*500      | 8770          | 114 ms    |
| 6    | 500*500      | 6405          | 94 ms     |
| 7    | 500*500      | 6700          | 105 ms    |
| 8    | 500*500      | 7225          | 107 ms    |

در شکل ۳، یک نمونه اجرای الگوریتم برای تشخیص خودرو بر اساس خط تقارن آورده شده است. در این نمونه ابتدا تشخیص خودرو بر اساس روش تشخیص سریع خط تقارن صورت گرفته که با توجه به عمق تصویر برای خودروهای نزدیک و با اندازه بزرگتر بیش از یک خط تقارن تشخیص داده شده است (شکل ۳-د). این مشکل با استفاده از الگوریتم بهبود یافته تشخیص سریع خط تقارن رفع گردیده است (شکل ۳-ه).



(ج)



(ب)



(الف)



(ه)

(د)

شکل ۳ (الف) مدل سازی پس زمینه، (ب) فریم انتخابی برای تشخیص خودرو، (ج) مدل سازی پیش زمینه، (د) تشخیص خودرو بر اساس روش تشخیص سریع خط تقارن ( برای خودروهای نزدیک و با اندازه بزرگتر بیش از یک خط تقارن تشخیص داده شده است)، (ه) تشخیص خودرو بر اساس الگوریتم بهبود یافته تشخیص سریع خط تقارن.

رفع مشکل همپوشانی از مزایای استفاده از این روش است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید، خودروهای شماره ۱ و ۲ دارای همپوشانی هستند. بر اساس الگوریتم بهبود یافته تشخیص سریع خط تقارن دارای خط تقارن با مشخصات:

$$(\theta_1, R_1) = (5^\circ, 124) \text{ and } (x_1, x_2) = (108, 140)$$

$$(\theta_2, R_2) = (5^\circ, 99) \text{ and } (x_1, x_2) = (73, 125)$$

است. در صورتیکه میزان همپوشانی خودروهای ۱ و ۲ بیش از این مقدار نیز باشد (تا هنگامی که بطور کامل در یک راستا عمودی قرار نگیرند) امکان تشخیص هر دو خودرو وجود دارد و این مزیت قابل توجه برای این روش است. همچنین اگر تعداد خودروهای همپوشان در صحنه بیشتر هم باشد با تنظیم مناسب فاصله‌های پیشینه و کمیته ( $D_{min}$  و  $D_{max}$ ) که در الگوریتم به آنها اشاره شد، این الگوریتم توانایی تشخیص خودروهای همپوشان را کاملاً دارا است. خطای ترکیب شدن خودروها در این روش به دلیل همپوشانی؛ مقدار بسیار کمی است و در حدود ۱/۴۲٪ در صحنه‌های با تراکم بالای خودرو است که در یک دنباله ۴۶۵ فریمی آزمایش شده است.



شکل ۴) تشخیص خودروهای همپوشان بر اساس الگوریتم تشخیص خط تقارن.

## ردیابی خودرو

پس از تشخیص خودرو در یک فریم نوبت به پیشگویی موقعیت احتمالی آن در فریم بعدی می‌رسد. با این کار ناحیه جستجو از کل تصویر به یک ناحیه بسیار کوچکی محدود می‌شود و سرعت پردازش بالا می‌رود. این امر با تخمین زدن مدل حالت سیستم از روی اطلاعات آماری صورت می‌گیرد. در واقع برای کم کردن هزینه، پردازش یک فریم را به دو صورت انجام می‌دهیم. اول پردازش کامل است که در آن تمام محدوده جاده برای جستجوی خودروهای جدید مورد پردازش قرار می‌گیرد و هزینه زیادی دارد و در هر ۵ فریم یکبار صورت می‌گیرد. نوع دوم پردازش جزئی است که در آن به ازای هر خودرو یک محدوده کوچک که با توجه به تاریخچه حرکت آن پیشگویی شده جستجو می‌شود. از این

نوع پردازش در هر فریم و به تعداد خودروهایی که از قبل تشخیص داده شده است استفاده می‌شود. برای انجام پردازش از نوع جزئی نیاز به پیشگویی محدوده یک خودرو می‌باشد. برای این کار از فیلتر کالمن که یکی از پرکاربردترین ابزارهای پیشگویی است استفاده کرده‌ایم. این فیلتر که برای مدل‌سازی طراحی شده است، با استفاده از نوعی کنترل پس‌خوردی حالت محیط را تخمین می‌زند.

### مدل حرکت

برای حرکت خودرو می‌توان یک مدل دینامیکی خطی در نظر گرفت و از این مدل برای پیشگویی در فیلتر کالمن استفاده کرد. این مدل دینامیکی یک مدل حرکت به شکل زیر است:

$$x_{k+1} = x_k + \dot{x}_k T + \ddot{x}_k T^2 + \ddot{x}_k \frac{T^3}{2} \quad (13)$$

$$\dot{x}_{k+1} = \dot{x}_k + \ddot{x}_k T \quad (14)$$

$$\ddot{x}_{k+1} = \ddot{x}_k + a_k \quad (15)$$

که در رابطه فوق  $x_k$  مکان خودرو،  $\dot{x}_k$  سرعت خودرو،  $\ddot{x}_k$  شتاب در زمان  $k$ ،  $T$  نیز بازه زمانی و  $a_k$  نیز نویز است که خراب‌کننده شتاب است و  $a_k$  با میانگین صفر و غیر همبسته با مقادیر خودش در دیگر بازه‌ها است. اگر مدل فوق به صورت برداری نمایش داده شود در این صورت معادلات زیر حاصل خواهد شد:

$$X_{k+1} = AX_k + B_{ak} \quad (16)$$

در این مقاله، بردار حالت خودرو متشکل از اجزای شتاب، سرعت و مکان است که مکان را سه پارامتر  $R$  و  $\theta$  و  $x$  در نظر گرفته‌ایم که  $R$  و  $\theta$  از خروجی الگوریتم تشخیص سریع خط تقارن حاصل می‌شود و  $x$  نیز مشخصه لیست در الگوریتم بهبود خط تقارن است. مدل حرکت شتاب خطی مورد استفاده پلنت فیلتر و ماتریس اندازه‌گیری در ذیل آورده شده است:

$$X_k = [R_k, \theta_k, x_k, \dot{R}_k, \dot{\theta}_k, \dot{x}_k, \ddot{R}_k, \ddot{\theta}_k, \ddot{x}_k]^T \quad (17)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & .9 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

همچنین معادله اندازه‌گیری برای این مدل نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$x_m(k) = Hx_k + v_k \quad (19)$$

که در رابطه فوق  $x_m(k)$  مکان اندازه‌گیری شده در زمان  $k$  و  $v_k$  نیز نویز تصادفی خراب‌کننده اندازه‌گیری در زمان  $k$  است. چون بعد بردار حالت  $x_k$  و بعد بردار اندازه‌گیری  $x_m(k)$  لزوماً باهم برابر نیستند، به همین خاطر از اندیس  $m$  برای نشان دادن بعد بردار اندازه‌گیری استفاده شده است.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

به ازای هر خودرو یک سابقه از خط سیر آن نگه می‌داریم. در هر بار پیشگویی و تشخیص خودرو با توجه به سابقه قبلی، ناحیه‌ای را که احتمالاً خودرو در آن واقع است، پیشگویی می‌کنیم و در آن ناحیه به جستجوی خودرو می‌پردازیم. در صورتی که خودرویی در آن ناحیه تشخیص داده شود، اطلاعات آن را در تاریخچه ثبت می‌کنیم. نکته حایز اهمیت در مدل خودرو خط سیر خودرو است که می‌تواند حرکت از چپ به راست تصویر و یا بالعکس باشد که در اینجا نیز با توجه به نحوه حرکت خودرو در تاریخچه آن، مدل حرکت را به روز رسانی نموده و ماتریس  $A$  را تغییر می‌دهیم.



شکل ۵) نمونه ای از بکارگیری فیلتر کالمن در ردگیری خودرو با استفاده از ویژگی خط تقارن

### تشخیص انحراف

به دلیل انحرافات ناگهانی خودروها ( انحراف به چپ و انحراف به راست ناگهانی) در جاده‌های ایران سالانه تصادفات بیشماری رخ می‌دهد. به همین دلیل تشخیص انحرافات و نهادینه نمودن پرهیز از

آن امری ضروری می‌نماید. بدین منظور با کمک راهکارهای ارائه شده در این پروژه می‌توان این امر را محقق ساخت.

به کمک الگوریتم تشخیص سریع خط تقارن؛ خودرو تشخیص داده می‌شود و نیز با کمک پارامترهای  $R, \theta$  و زوج کاندید مربوط به هر خودرو ردیابی خودرو صورت می‌گیرد که در بخش ردیابی به آن اشاره شده است.

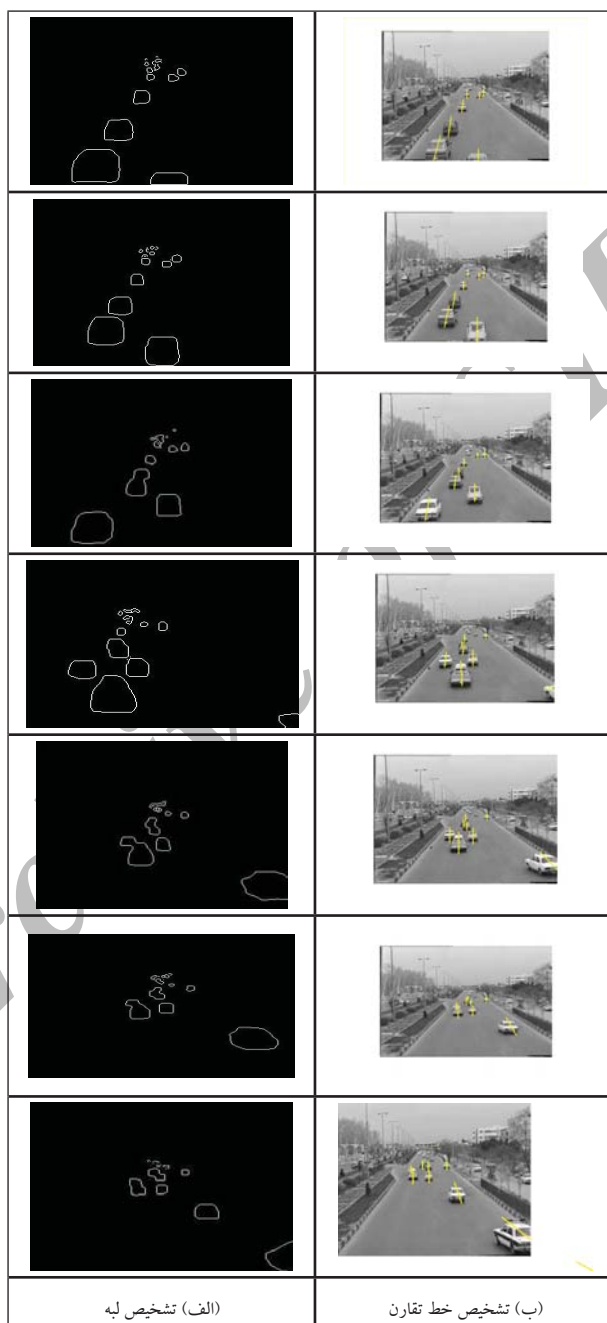
برای تشخیص انحراف ناگهانی خودروها از  $R, \theta$  هر خودرو تشخیص داده شده و ردیابی شده استفاده می‌کنیم. مسئله مهم در این بخش مفهوم انحراف ناگهانی خودرو است. به طور عام انحراف ناگهانی خودرو عبارت از تغییر ناگهانی موقعیت خودرو در یک زمان مشخص است. مقدار تغییر  $\theta$  یعنی  $(\theta_1 - \theta_2)$  در بازه زمانی  $\Delta t$  نمایانگر میزان انحراف خودرو می‌باشد که اگر این مقدار از یک حد آستانه تجاوز نماید، به عنوان انحراف ناگهانی شناسایی می‌گردد که از رابطه (۲۱) قابل محاسبه و اندازه‌گیری می‌باشد.

$$\frac{|\theta_2 - \theta_1|}{\Delta t} = \alpha \quad (21)$$

هرگاه در رابطه فوق  $\alpha > \tau$  باشد که در آن  $\tau$  مقدار حد آستانه انحراف است، خودرو دچار انحراف ناگهانی شده و به عنوان خودرو متخلف شناسایی می‌شود. در صورتیکه تغییرات نسبت به زمان از حد آستانه تجاوز نماید، آن فریم و  $R, \theta$  مربوطه ذخیره شده و به عنوان خودرو متخلف ثبت می‌گردد. در شکل‌های ذیل یک نمونه تشخیص انحراف ناگهانی خودرو نشان داده شده است که یک نمونه در ۷۵ فریم متوالی در نظر گرفته شده و میزان انحراف آن سنجیده شده است.

### شبیه‌سازی

در شکل‌های زیر نمونه‌هایی از بکارگیری الگوریتم‌های بهبود تشخیص سریع خط تقارن و فیلتر کالمن برای تشخیص و ردگیری خودرو در فریم‌های متوالی شبیه‌سازی شده است.



شکل ۶ نمونه ای از بکارگیری الگوریتم های بهبود تشخیص سریع خط تقارن و فیلتر کالمن برای تشخیص و ردگیری خودرو

## بررسی نتایج

خطای الگوریتم ردگیری ناشی از سه مساله است:

۱- خطای ترکیب شدن خودروها که در آن به دلایلی مانند حرکت همزمان و نزدیک به هم شدن چند خودرو در یک ناحیه ، ترکیبی از چند خودرو به صورت یک خودرو تشخیص داده می‌شود.

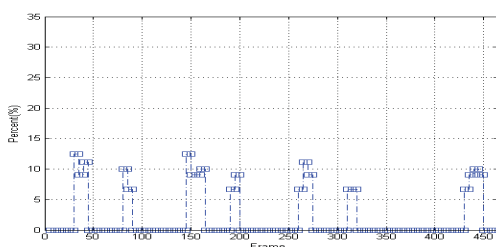
۲- خطای تفکیک نابجا که در آن یک خودرو به دو یا چند مرز جداگانه تفکیک شده و چند خودرو فرض می‌شود. به عنوان مثال باربند یک خودرو به طور اشتباه دو شی تشخیص داده شود.

۳- خطای گم‌شدگی خودروها که این خطا اغلب در شرایط متفاوت اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال هنگامی که خودروها خیلی از دور بین دور باشند، در الگوریتم تشخیص سریع خط تقارن با تنظیم فاصله‌های بیشینه و کمینه ( $D_{min}$  و  $D_{max}$ ) می‌توان درصد وقوع این نوع خطا را کاهش داد.

در جدول ۳ درصد رخداد هر خطا را برای این الگوریتم مشاهده می‌کنید. دقت اجرای الگوریتم ردگیری ارایه شده ۹۵/۵۲٪ است. همچنین در شکل‌های ۷ تا ۹ خطاهای ترکیب شدن خودروها، تفکیک نابجا و گم‌شدگی خودروها در فریم‌های متوالی (۴۶۵ فریم متوالی) نمایش داده شده است.

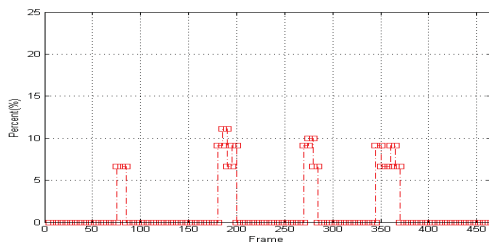
جدول ۳) درصد سه نوع خطای الگوریتم

|                        |       |
|------------------------|-------|
| خطای ترکیب شدن خودروها | ۱,۴۲٪ |
| خطای تفکیک نابجا       | ۱,۱۹٪ |
| خطای گم‌شدگی خودروها   | ۱,۸۲٪ |
| جمع خطا                | ۴,۴۸٪ |

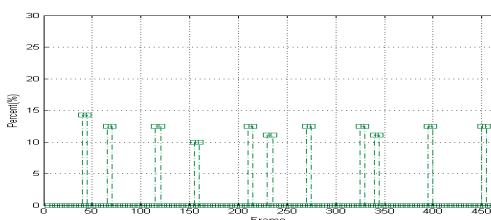


شکل ۷) نمودار خطای گم‌شدگی خودروها.





شکل ۸) نمودار خطای تفکیک نابجا.



شکل ۹) نمودار خطای ترکیب شدن خودروها.

## نتیجه گیری

در این نوشتار به منظور تشخیص خودرو ویژگی تقارن بکار گرفته شد. به منظور تشخیص خط تقارن از الگوریتم تشخیص سریع خط تقارن استفاده گردید. ویژگی مهم این روش در تشخیص خودرو پایداری در برابر تغییرات نور و رفع مشکل همپوشانی و همچنین توانایی تشخیص خط تقارن برای اشیا متقارن و نامتقارن و نیز اشیا چند رنگی است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، قابلیت بلادرنگ بودن این روش نیز مشخص است. علیرغم توانایی مطلوب این روش، به علت وجود عمق تصویر و متفاوت بودن اندازه اشیا در فواصل مختلف در سیستم‌های تشخیص خودرو ممکن است بیش از یک خط تقارن برای یک شی شناسایی نماید که این مساله در تشخیص خودرو بیشتر نمایان و حایز اهمیت است. بدین منظور الگوریتم بهبود تشخیص سریع خط تقارن پیشنهاد گردید. الگوریتم بهبود تشخیص سریع خط تقارن علاوه بر دارا بودن ویژگی‌های روش تشخیص سریع خط تقارن، لزوماً تنها یک خط تقارن برای هر شی شناسایی و قابلیت بلادرنگ بودن را نیز حفظ نموده است. همچنین خروجی این سیستم را بعنوان ورودی بعنوان سیستم ردیابی خودرو به کار گرفته شده است.

## مراجع

- [1] Gupte S., Masoud o., Martin R.F.K., and Papanikolopoulos P., “ Detection and Classification of Vehicles”. IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems , Vol.3, No., pp. 37-47, 2002.
- [2] Koller D., Weber J.,and Malik J.,“Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning”, European Conference on Computer Vision, pp.189-196, 1994.
- [3] Schlosser C., Reitberger J., and Hinz S., “Automatic Car Detection in High Resolution Urban a Scene Based on an Adaptive 3D-Model”, IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas, pp. 98-107, 2003.
- [4] Kamijo S., Ikeuchi K., and Sakaushi M., “ Vehicle Tracking in Low-Angle and Front View Images Based on Spatio-Temporal Markov Random Fields”, Congress on Intelligent Transportation Systems, 2001.
- [5] Kai S.,Bebis G., Haisong .G,Miller R., “Vehicle Tracking Using On-Line Fusion of Color and Shape Features”, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2004.
- [6] Li W.H., Kleeman L., “Real Time Object Tracking Using Reflectional Symmetry and Motion”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2798-2803, 2006.
- [7] Reisfeld D., Wolfson H., and Yeshurun Y., “Context-Free Attentional Operators: the Generalized Symmetry Transform,” Int. J. Comput. Vision, Vol. 14, No. 2, pp. 119–130, 1995.
- [8] Yip R. K. K., “A Hough Transform Technique for the Detection of Reflectional Symmetry and Skew-Symmetry.” Pattern Recognition Letters, Vol. 21, No. 2, pp. 117–130, 2000.
- [9] Ogawa H., “Symmetry Analysis of Line Drawings Using the Hough Transform.” Pattern Recognition Letters, Vol. 12, No.1, pp. 9–12,1991.

- [10] Ponce J., “On Characterizing Ribbons and Finding Skewed Symmetries,” *Comput. Vision Graph. Image Process.*, Vol. 52, No. 3, pp. 328–340, 1990.
- [11] Sun Z., Bebis G., and Miller R.,” On-Road Vehicle Detection: A Review” , *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, VOL. 28, NO. 5, 2006.
- [12] Bertozzi M., Broggi A., Del Rose M. and Felisa M., “A Symmetry-Based Validator and Refinement System for Pedestrian Detection in Far Infrared Images”, *IEEE Intelligent Transportation Systems*, 2007.
- [13] Heryl C. L., Goubran R.A., Frizel M.,” Improving the Detection and Localization of Anatomical Landmark Points in Infrared Images Using Symmetry and Region Specific Constraints”, *IEEE Int. Inst. & Meas. Tech. Conf.*, 2008.
- [14] Keller Y. and Shkolnisky Y., “A Signal Processing Approach to Symmetry Detection”, *IEEE Trans. on Image Processing*, VOL. 15, NO. 8, 2006.
- [15] Keller Y. and Shkolnisky Y., “A Signal Processing Approach to Symmetry Detection”, *IEEE Trans. on Image Processing*, VOL. 15, NO. 8, 2006.
- [16] Haritaoglu I., Harwood D., and Davis L.S., “W4: Real-Time Surveillance of People and Their Activities “, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, VOL. 22, NO. 8, pp. 809-830, 2000.
- [17] Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L., *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, 2004.
- [18] Li W. H., Zhang A., and Kleeman L., “Fast Global Reflectional Symmetry Detection for Robotic Grasping and Visual Tracking,” *Australasian Conference on Robotics and Automation*, M. M. Matthews, Ed., 2005.
- [19] Li W.H, Zhang A.M. and Kleeman L., “Real Time Detection and Segmentation of Reflectionally Symmetric Objects in Digital Images”, *IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.4867-4873, 2006.