

تخمین سرعت و ابعاد خودرو به کمک کالبراسیون مبتنی بر شناسایی تعدادی خودروی رایج توسط شبکه VGG

رسول عسگریان دهکردی^۱، دانشجوی دکتری؛ حسین خسروی^۲، استادیار؛ علیرضا احمدی فرد^۳، دانشیار

۱- دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران - r_asgarian_dehkordi@yahoo.com

۲- دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران - hosseinkhosravi@shahroodut.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران - ahmadyfard@shahroodut.ac.ir

چکیده: در این مقاله روشی خودکار برای تخمین سرعت و ابعاد خودرو مبتنی بر کالبراسیون تک دوربین، ارائه شده است. در این روش در قاب‌های ابتدایی با توجه به راستای حرکت خودروها، نقاط محوشدگی و صفحه فرضی جاده به دست می‌آید. سپس با شناسایی پیش‌زمینه توسط روش IGMM و حذف سایه، محدوده هر خودرو تعیین و جعبه سه‌بعدی آن تشکیل می‌گردد. برای تعیین ضرایب متریک، چند خودرو از کلاس‌های رایج با استفاده از شبکه عمیق VGG در چند قاب اول شناسایی می‌شوند. در ادامه با توجه به ابعاد واقعی خودروهای شناسایی شده برحسب متر و ابعاد معادل‌شان روی صفحه جاده برحسب پیکسل، ضرایب متریک محاسبه شده و پارامترهای مربوط به کالبراسیون تکمیل می‌گردد. در نهایت خودروهای عبوری بر صفحه فرضی تصویر شده و با ردیابی، سرعت و ابعاد دقیق آن‌ها محاسبه می‌گردد. برای شناسایی خودروهای رایج نیاز به تصاویری از خودروها بود که برای این منظور مجموعه‌ای جمع‌آوری گردید. همچنین برای تست دقت در تخمین سرعت و ابعاد، مجموعه‌ای از ویدئوهای دارای برچسب، با فیلم‌برداری هم‌زمان توسط دوربین عادی و لیزر از جاده‌ها تهیه شد. میانگین خطای روش در تخمین سرعت ۱/۱۵ کیلومتر بر ساعت و در تخمین ابعاد ۲/۳٪ به دست آمد که بیان‌گر عملکرد خوب روش پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: کالبراسیون، تخمین سرعت، تخمین ابعاد، شناسایی نوع خودرو، شبکه عصبی عمیق.

Vehicle Dimensions and Speed Estimation using Camera Calibration Based on Recognition of a Number of Common Cars by VGG Network

R. Asgarian Dehkordi¹, PhD Student; H. Khosravi², Assistant Professor; A. Ahmadyfard³, Associate Professor

1- Faculty of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,
Email: r_asgarian_dehkordi@yahoo.com

2- Faculty of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,
Email: hosseinkhosravi@gmail.com

3- Faculty of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran,
Email: ahmadyfard@shahroodut.ac.ir

Abstract: This paper presents an automated method for calibrating road cameras in order to estimate the speed and dimensions of the vehicles. In this method, in the initial frames, according to the direction of vehicles movement, vanishing points and the hypothetical road surface is obtained. Then, by identifying the foreground using IGMM and removing the shadow, the exact boundary of each vehicle is determined and a 3D bounding box is constructed. To determine the metric coefficients, several vehicles from common classes are identified using the deep VGG neural network in the first few frames. Further, according to the actual dimensions of the vehicles identified in meters and their equivalent dimensions on the road surface in pixels, the metric coefficients are calculated and the calibration parameters are completed. Ultimately, passing cars are projected on the hypothetical page, and by tracking each car, its speed and dimension are calculated. A database of vehicle images was collected to identify common cars. To evaluate our method, a series of videos with ground truth was provided, by simultaneous capture of road vehicles by RGB and laser camera. The mean error of the proposed method for speed estimating is 1.15 km/h and for dimension estimation is equal to 2.3%, which shows good performance of the method.

Keywords: Calibration, speed estimation, dimension estimation, vehicle type identification, deep neural network.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۹

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۰۱ و ۱۳۹۷/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

نام نویسنده مسئول: حسین خسروی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - شاهرود - دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی برق و رباتیک.

۱- مقدمه

تخمین پارامترهای مربوط به خودروهای عبوری از طریق ویدئوهای نظارتی جاده، از جمله احتیاج‌های اساسی پلیس راهور است که نیاز ایشان را به نیروی انسانی و استفاده از سخت‌افزارهای گران‌قیمت و محدود مانند لیزر را تا حد زیادی مرتفع می‌کند. اصلی‌ترین مسئله مربوط به استفاده از این دوربین‌ها برای اندازه‌گیری کمیت‌های مدنظر کالیبراسیون است.

کالیبراسیون یعنی تخمین پارامترهای داخلی و خارجی دوربین؛ پارامترهای داخلی، شامل فاصله کانونی (f_x, f_y) ، نقطه مرکز تصویر (O_x, O_y) و اعوجاجات شعاعی دوربین است و پارامترهای خارجی مربوط به مکان (بردار T) و زاویه قرارگیری دوربین (ماتریس R) است. کالیبره کردن دوربین امکان مقابله با پرسپکتیو و اندازه‌گیری ابعاد واقعی اجسام موجود در صحنه را فراهم می‌کند [۱].

اکثر روش‌هایی که تاکنون ارائه شده برای کالیبراسیون نیازمند ورود اطلاعاتی در مورد صحنه یا دوربین توسط کاربر هستند؛ به این معنی که تنظیمات این روش‌ها برای هر جاده متفاوت است. علاوه بر این، اطلاعاتی که در اختیار کاربر قرار می‌دهند، نوعاً محدود به سرعت خودروها است. برای استفاده راحت‌تر و تحلیل دقیق‌تر رفتار خودروها نیاز به روشی است که عملکردی تمام‌خودکار داشته باشد و اطلاعات جامع‌تری در مورد خودروها فراهم کند [۲-۶].

روش‌های تمام‌خودکاری که تاکنون در زمینه کالیبراسیون دوربین‌های جاده‌ای در دستگاه‌های حمل‌ونقل هوشمند ارائه شده از اطلاعاتی مانند ابعاد پلاک خودروها، متوسط آماری ابعاد خودروها و ابعاد خودروی غالب برای کالیبره کردن و تبدیل اندازه‌گیری‌های پیکسلی به متریک استفاده می‌کنند [۷]. در صورت استفاده از ابعاد پلاک برای کالیبراسیون، وجود خطا در استخراج محل دقیق پلاک خودرو منجر به افزایش خطای کالیبراسیون می‌شود. استفاده از اطلاعات آماری متوسط ابعاد خودروها نیز نیازمند صرف زمان زیادی برای گذر تعداد قابل قبولی خودرو از دید دوربین است، علاوه بر این با خطا هم مواجه است. شناسایی خودروی غالب به‌منظور کالیبراسیون علاوه بر نیاز به صرف زمان زیاد برای گذر تعداد زیادی خودرو از دید دوربین، در صورتی که تنوع خودرو در یک کشور زیاد باشد به راحتی امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این انجام کالیبراسیون با توجه به ابعاد فقط یک نوع خودرو (خودروی غالب) می‌تواند در تخمین سرعت و ابعاد سایر خودروها تأثیر منفی داشته و خطای کلی را افزایش دهد.

رویکرد اصلی این مقاله ارائه روشی نوین برای یافتن ابعاد و سرعت خودروها به‌طور تمام‌خودکار است. روش پیشنهادی مقاله شامل سه فاز است: دو فاز گذرا که تنها یک‌بار اجرا می‌شوند و پارامترهای کالیبراسیون دوربین را به‌دستی می‌دهند و یک‌فاز دائمی که با توجه به نتایج دو فاز قبلی، سرعت و ابعاد خودروها را محاسبه می‌کند. برخی پارامترهای کالیبراسیون مثل فاصله کانونی و مرکز تصویر، در فاز اول محاسبه می‌

شوند، اما برای تکمیل فرایند کالیبراسیون نیاز است ابعاد واقعی برخی اجسام صحنه مشخص باشد. لذا در فاز دوم، چند خودروی رایج (مثل پراید و پژو ۴۰۵) توسط شبکه VGG شناسایی شده و ضرایب متریک باتوجه به ابعاد واقعی این خودروها محاسبه می‌شود. این فاز بخشی از نوآوری اصلی این مقاله است. با اعمال این روش، مشکلات مربوط به روش‌هایی که در دو پاراگراف قبل مورد بررسی قرار گرفت تا حد زیادی برطرف شده و خطا به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. برای کاهش خطا در تعیین نوع خودروهای پرتردد در فاز دوم و همچنین کاهش خطا در تعیین ابعاد و سرعت خودروها در فاز سوم، روش‌هایی پیشنهاد گردیده که به کمک ردیابی خودروها مقدار دقیق‌تر این پارامترها را گزارش می‌کند.

اکثر روش‌هایی که تاکنون در این زمینه ارائه شده‌اند فقط قادرند سرعت خودرو را تخمین بزنند. از این‌رو قابلیت تخمین ابعاد یکی از امتیازات روش پیشنهادی محسوب می‌شود که می‌تواند در تعیین کلاس خودرو و تحلیل سنگینی ترافیک استفاده شود. باتوجه به پژوهش‌هایی که نویسندگان این مقاله تاکنون در زمینه ITS داشته‌اند، سعی شده روش پیشنهادی دقت بالایی داشته و کاستی‌های اساسی سایر روش‌ها مانند عدم مقاومت نسبت به سایه را پوشش دهد.

برای شناسایی خودروهای رایج نیاز به تهیه مجموعه‌ای از تصاویر مربوط به خودروها و آموزش این تصاویر به الگوریتم‌های بازشناسی است که برای این منظور از پایگاه تصاویری از خودروهای موجود در ایران که اخیراً با فیلم‌برداری از جاده‌ها به‌دست آمده، استفاده شده است. همچنین برای تست روش در تشخیص سرعت و ابعاد مجموعه‌ای از ویدئوهای برجسب‌خورده، با فیلم‌برداری از جاده‌های ایران تهیه گردید. آزمایش‌های انجام شده نشان از کارایی بیشتر این روش نسبت به سایر روش‌ها دارد.

ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده که در بخش بعدی به مرور کارهای پیشین پرداخته شده، در بخش ۳ روش پیشنهادی بیان می‌گردد، در بخش ۴ به بررسی نتایج و مقایسه روش پیشنهادی با سایر روش‌ها پرداخته خواهد شد و در بخش ۵ نتیجه‌گیری مقاله بیان می‌شود.

۲- کارهای پیشین

روش‌های مرتبط با الگوریتم پیشنهادی در دو گروه روش‌های مربوط به کالیبراسیون و روش‌های مربوط به شناسایی نوع خودرو قرار می‌گیرند.

۲-۱- روش‌های مربوط به کالیبراسیون و حذف سایه

یانگ و همکارانش [۸]، برای کالیبره کردن دوربین از دونقطه محوشدگی بهره برده‌اند، نقطه محوشدگی اول را در راستای حرکت خودروها و نقطه دوم را عمود بر سطح جاده در نظر گرفته‌اند. (نقطه محوشدگی، نقطه‌ای است که خطوط موازی تصویر، به دلیل پرسپکتیو، در آن نقطه همدیگر را قطع می‌کنند. از روی این نقاط می‌توان فاصله کانونی دوربین و مرکز واقعی تصویر را به‌دست آورد). مقیاس در این روش باتوجه به ارتفاع دوربین از سطح جاده محاسبه شده است. فیلیپاک و همکارانش [۹]، پس

نگاشت و استفاده از ضریب مترى، ابعاد خودرو برحسب متر به دست می آید. این روش در شناسایی خودروهای متحرک و همچنین تغییرات نوری محیط مقاومت خوبی دارد و قادر است جعبه سه بُعدی خودرو را با دقت بالایی تشکیل دهد؛ خطای این روش در تخمین ابعاد ۱/۵٪ است.

لین و همکارانش [۱۸]، با استفاده از اطلاعات لبه‌ای خودروها و پس‌زمینه، همچنین استفاده از اطلاعات رنگ مربوط به خودروها و پس‌زمینه، مناطق سایه‌ای را مشخص و با حذف این مناطق محدوده دقیق خودروها را به دست می‌آورند.

عسگریان و خسروی [۱۹]، روشی ارائه کرده‌اند که در آن ابتدا با مدل کردن جاده به‌عنوان پس‌زمینه، محدوده خودرو و سایه آن به‌عنوان پیش‌زمینه شناسایی می‌شود. سپس با به دست آوردن مرز پیش‌زمینه و پس‌زمینه و همچنین لبه‌یابی از پیش‌زمینه و پس‌زمینه، با استفاده از روشی سریع، اثر لبه‌های پس‌زمینه و لبه‌های سایه از لبه‌های پیش‌زمینه حذف و محدوده تقریبی خودرو بدون سایه مشخص می‌شود. در ادامه برای افزایش دقت و بهبود پاسخ در نورپردازی‌های متفاوت و ساعات مختلف روز، روشی پیشنهاد شده که پس از شناسایی محدوده تقریبی بدون سایه برای چند خودروی متوالی، ناحیه و راستای سایه در هر زمان تعیین و محدوده دقیق هر خودرو مشخص می‌شود.

۲-۲- روش‌های مربوط به شناسایی نوع خودرو

اکثر روش‌هایی که اخیراً در زمینه شناسایی نوع خودرو ارائه شده از شبکه‌های عصبی عمیق برای تشخیص نوع خودرو استفاده می‌کنند. باتوجه به این که در روش پیشنهادی نیز از این شبکه‌ها استفاده شده، در ادامه برخی الگوریتم‌های مرتبط بررسی می‌شود.

وانگ و همکاران [۲۰] به این موضوع اشاره کرده‌اند که اگر دوربین مورد استفاده برای تهیه داده‌های آموزشی با دوربین مورد استفاده برای تهیه تصاویر تست متفاوت باشد، درصد خطای روش‌های تعیین نوع افزایش می‌یابد. برای اینکه وابستگی به دوربین داده‌های آموزشی کاهش یابد، این روش از داده‌های وب که تصاویری با کیفیت مناسب از هر خودرو در اختیار قرار می‌دهند استفاده کرده است. شبکه عصبی مورد استفاده در این پژوهش معماری شبیه معماری AlexNet دارد که از پنج لایه کانولوشن و سه لایه انتخاب^۲ و سه لایه کاملاً متصل تشکیل شده است. در این روش برای آشکارسازی خودرو در تصاویر از [۲۱] Faster-CNN استفاده شده که برای شناسایی اجسام به کار می‌رود و نیاز به مجموعه بزرگی برای آموزش دارد. یانگ و همکارانش در [۲۲] دیتاست بزرگی برای شناسایی نوع دقیق خودرو گردآوری کرده‌اند و با استفاده شبکه‌های CNN متدی را پیشنهاد دادند که قادر است خودروها را از نماهای مختلف شناسایی کند. یو و همکارانش [۲۳] از دو شبکه CNN استفاده کرده‌اند، شبکه اول برای آشکارسازی خودرو و شبکه دوم برای شناسایی نوع آن به کار رفته است.

سوکور و همکاران [۲۴]، روشی ارائه کرده‌اند که برای شناسایی نوع خودرو از دوربین کنار جاده‌ای استفاده می‌کند. داده‌های مورد استفاده در

از شناسایی پلاک برای چندین خودرو در مکان‌های مختلف جاده، از اطلاعات ابعاد مربوط به پلاک‌ها برای کالیبراسیون بهره برده‌اند. لووینسون و همکارانش [۱۰]، روشی ارائه کردند که در آن ابتدا خودرو آشکار می‌شود، سپس با یافتن محل پلاک و ردیابی آن در قاب‌های متوالی، سرعت خودرو محاسبه می‌شود. سینا و همکارانش [۱۱]، برای شمارش تعداد خودروها و به دست آوردن سرعت در شب، چراغ‌های خودرو شناسایی و ردیابی می‌کنند؛ این روش برای کالیبراسیون دوربین نیازمند زاویه و ارتفاع دوربین از سطح جاده است.

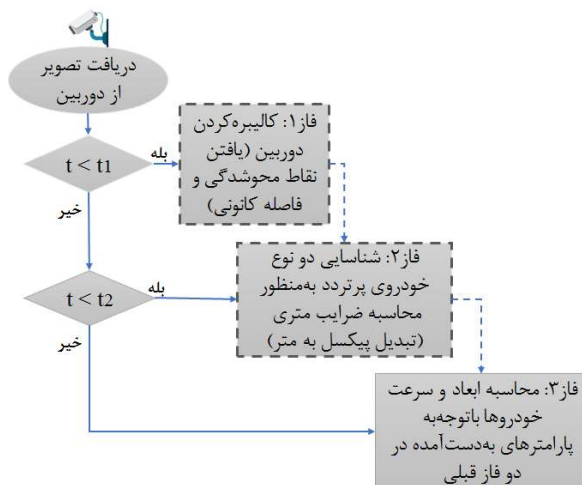
اسلامی و همکاران [۱۲]، روشی ارائه کردند که در آن ابتدا تعدادی خودرو در قاب‌های متوالی شناسایی می‌شود. سپس مکان پلاک و شماره آن استخراج شده و باتوجه به ابعاد استاندارد پلاک‌های ایران، با انجام پردازش‌هایی، ماتریس‌ها و پارامترهای مورد نیاز برای کالیبراسیون دوربین محاسبه می‌شود.

روش فاموری و همکارانش [۱۳]، شامل دو فاز است. در فاز اول با شناسایی پلاک خودروها و با در نظر گرفتن حرکت نقطه مرکزی پلاک، صفحه‌ای فرضی^۲ تعیین می‌شود. در فاز دوم با ردیابی و تصویر کردن پلاک خودرو بر روی این صفحه، سرعت خودرو محاسبه می‌شود. این روش برای آشکارسازی خودروها حدود ۴۰۰۰ پلاک از خودروهای ایرانی را آموزش داده است.

آقاییان و خسروی [۱۴]، روشی بلادرنگ برای تخمین سرعت خودروهای عبوری ارائه داده‌اند. در این روش به‌طور دستی، چهار نقطه از جاده که در دنیای واقعی، مستطیل است، به‌عنوان محل ورود و خروج خودروها در نظر گرفته می‌شود. سپس برای حذف پرسپکتیو، با نگاشت چهار نقطه در تصویر واقعی به چهار نقطه مستطیلی در تصویر نگاشت یافته، ماتریس تبدیل پیدا شده و پرسپکتیو حذف می‌شود. ضریب متریک در این روش باتوجه به ابعاد واقعی این ناحیه برحسب متر و ابعاد پیکسلی آن، به دست می‌آید.

سوکور و همکارانش [۱۵، ۱۶]، روشی ارائه کردند که در آن ابتدا با استفاده از قاب‌های ویدئوی ورودی مشخصات دوربین و مختصات نقاط محوشدگی مشخص می‌گردد. سپس با شناسایی خودروهای متحرک و استفاده از پارامترهای دوربین، جعبه محیطی خودرو تشکیل می‌شود و با تصویر کردن جعبه خودرو بر روی صفحه زمین، پس از شناسایی چند خودرو، مقیاس باتوجه به اطلاعات آماری ابعاد خودروها به دست می‌آید. تصویر کردن جعبه خودروها بر صفحه زمین و استفاده از ضریب مقیاس این امکان را فراهم می‌کند که ابعاد و سرعت واقعی خودروها در هر قاب مشخص گردد. خطای این روش در تخمین سرعت ۱/۵ km/h و در تخمین فاصله کمتر از ۲٪ است.

در [۱۷] که کار قبلی نویسندگان است، روشی تمام‌خودکار برای کالیبراسیون دوربین و آنالیز ترافیک ارائه شده است. در این روش نقاط محوشدگی باتوجه به سطح جاده و مسیر حرکت خودروها محاسبه می‌شود. سپس با مدل کردن پس‌زمینه و شناسایی محدوده خودروی متحرک، جعبه محیطی خودرو تشکیل می‌شود. نهایتاً با اعمال یک



شکل ۱: مراحل روش پیشنهادی

۳-۱- فاز اول- کالیبره کردن دوربین باتوجه به جاده و حرکت خودروها

در الگوریتم پیشنهادی به منظور تخمین مختصات نقاط محوشدگی (VP_1 ، VP_2 ، VP_3) و فاصله کانونی (f) روش ارائه شده در [۱] به کار می‌رود. در این روش VP_1 و VP_2 باتوجه به جهت حرکت خودروها به دست می‌آید سپس f از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$VP_1 = (u_x, u_y), VP_2 = (v_x, v_y), P = (P_x, P_y) \quad (1)$$

$$f = \sqrt{-(VP_1 - P) \cdot (VP_2 - P)}$$

با معلوم شدن f ، برای محاسبه سومین نقطه محوشدگی خواهیم داشت:

$$VP_1' = (u_x, u_y, f), VP_2' = (v_x, v_y, f), P' = (P_x, P_y, 0) \quad (2)$$

$$VP_3' = (VP_1' - P') \times (VP_2' - P')$$

با انتخاب دو مؤلفه اول VP_3' به عنوان مؤلفه‌های VP_3 ، مختصات نقطه محوشدگی سوم مشخص می‌شود. شکل شماره ۲ راستای نقاط محوشدگی را برای یک ویدئو نمایش می‌دهد. در این شکل محورهای قرمز راستای نقطه محوشدگی اول، محورهای سبز راستای نقطه محوشدگی دوم و محورهای آبی راستای نقطه محوشدگی سوم را نشان می‌دهند.



شکل ۲: نمایش راستای نقاط محوشدگی

این روش از زاویه مشابه زاویه دوربین کنار جاده‌ای تهیه شده است. در این روش جعبه سه‌بعدی باتوجه به نقاط محوشدگی تشکیل می‌شود و باتوجه به این جعبه، تصویر unpack شده خودرو به دست می‌آید و برای شناسایی به CNN اعمال می‌شود. روش [۲۵] نیز تا حدودی مشابه روش [۲۴] است. پایگاه تصویر جمع‌آوری شده در این روش از زاویه ویدئوی دوربین‌های نظارتی به دست آمده است. علی‌رغم پایین بودن کیفیت برخی تصاویر پایگاه داده در [۲۴، ۲۵]، هر دو روش دقت بالایی در شناسایی نوع دقیق خودرو داشته‌اند.

۳- مراحل روش پیشنهادی

تصویر شکل ۱ مراحل روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد. باتوجه به این شکل روش پیشنهادی در حقیقت از سه فاز کلی تشکیل شده است. فاز اول و دوم در حقیقت نوعی پیش‌پردازش برای فاز سوم هستند. در فاز اول نقاط محوشدگی و فاصله کانونی دوربین با استفاده از مسیر حرکت و اطلاعات لبه‌ای خودروها در حدود یک دقیقه اول ویدئوی ورودی تعیین می‌شوند ($t1 \cong 1 \text{ minute}$)، این پارامترها فقط یک‌بار در ابتدای کار محاسبه می‌شوند.

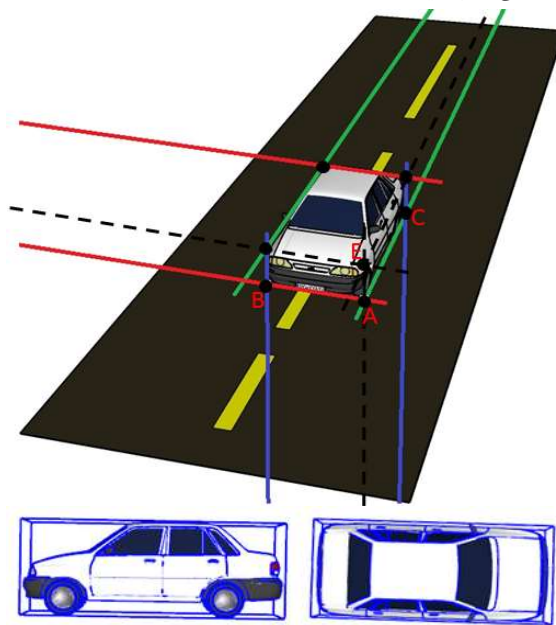
در فاز دوم، ابتدا محدوده خودروها با حذف اثرات نامطلوب نویز و سایه مشخص می‌شود و با استفاده از نقاط محوشدگی که در فاز قبل محاسبه شد، جعبه محیطی خودروها به دست می‌آید. برای مقابله با پرسپکتیو مختصات گوشه‌های جعبه خودرو روی صفحه فرضی زمین تصویر می‌شود و طول، عرض و ارتفاع خودروها برحسب پیکسل محاسبه می‌گردد. برای بیان این مقادیر، برحسب متر، نیاز به ضرایب متریک است. لذا در این فاز با شناسایی چند نماینده برای دو کلاس رایج خودرو (بخش ۲-۳-۴) و مقایسه ابعاد واقعی این خودروها و ابعاد پیکسلی آن‌ها روی صفحه فرضی، ضرایب متریک به دست می‌آید. براساس داده‌های مورد آزمایش در این مقاله، فاز دوم حدود ۳ دقیقه طول می‌کشد ($t2 - t1 \cong 3 \text{ minute}$).

پس از طی شدن فاز اول و دوم، مختصات نقاط محوشدگی و ضرایب متریک مشخص شده و می‌توان ابعاد و سرعت واقعی خودروها را تخمین زد. برای این منظور در فاز سوم، مانند فاز دوم ابتدا خودروها آشکار شده و حذف سایه صورت می‌گیرد. سپس مختصات معادل خودروها بر صفحه جاده به دست آمده و ابعاد پیکسلی بدون پرسپکتیو برای هر خودرو در هر قاب مشخص می‌شود. برای محاسبه سرعت خودرو نیاز است که خودرو بین قاب‌های متوالی ردیابی شود، علاوه بر این مقادیر محاسبه شده برای ابعاد یک خودرو در برخی قاب‌ها تفاوت اندکی با یکدیگر دارند. لذا برای افزایش دقت در تخمین ابعاد و سرعت هر خودرو، با ردیابی خودروها و باتوجه به مقادیر ابعاد و جابه‌جایی خودرو در هر قاب، هیستوگرامی برای طول، عرض، ارتفاع و جابه‌جایی آن تشکیل می‌شود. با تحلیل این هیستوگرام‌ها، ابعاد و جابه‌جایی پیکسلی دقیق‌تر خودرو تعیین شده و با ضرب این مقادیر در ضرایب متریک مربوطه، مقادیر واقعی ابعاد و سرعت برای هر خودرو به دست می‌آید.

گرفت، از روش ارائه شده در [۱۸] برای حذف سایه استفاده می شود. این روش قادر است محدوده دقیق خودروها را در شرایط وجود و عدم وجود سایه به دست آورد.

۳-۲-۲- تشکیل جعبه خودرو

برای تشکیل جعبه خودرو نیاز است خطوط مماس برای هر نقطه محوشدگی به دست آید. بدین منظور از محدوده دقیق به دست آمده برای هر خودرو لبه یابی می شود و از هر پیکسل لبه ای خودرو به تک تک نقاط محوشدگی خطی ترسیم می شود و باتوجه به این خطوط، خطوط مماس و جعبه محیطی برای هر خودرو به دست می آید. بسته به نحوه قرارگیری خودرو در جاده، ترسیم جعبه می تواند کمی متفاوت باشد. جعبه باید به گونه ای باشد که خودرو را به طور کامل دربر گیرد. در تصویر سطر اول شکل ۴، خطوط قرمز رنگ، مماس های ترسیم شده به سمت نقطه محوشدگی اول، خطوط سبز رنگ مماس های ترسیم شده به سمت نقطه دوم و خطوط آبی مماس های ترسیم شده به سمت نقطه سوم هستند. سایر تصاویر جعبه تشکیل شده برای یک خودرو را نمایش می دهد، نقاط A, B, C و مختصات مربوط به برخی از گوشه های جعبه خودرو هستند. از فواصل AE, AB و AC به عنوان ارتفاع، عرض و طول خودرو در محاسبات بعدی استفاده می شود و نیاز به محاسبه مختصات سایر گوشه های جعبه نیست.



شکل ۴: تشکیل جعبه محیطی خودرو

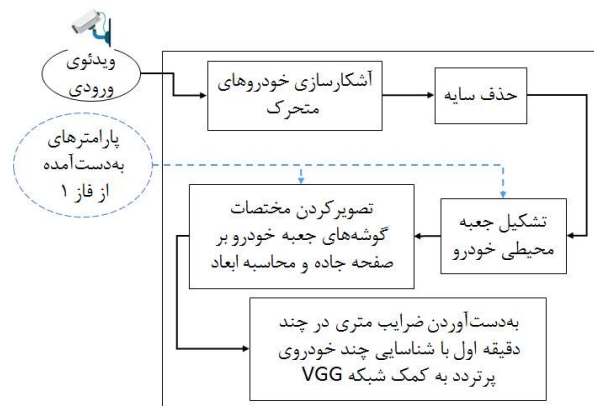
۳-۲-۳- تصویر کردن جعبه خودرو بر صفحه جاده و محاسبه ابعاد آن

پس از به دست آوردن جعبه محیطی و ابعاد آن، مشاهده می شود که در اثر حرکت خودرو در راستای نقطه محوشدگی اول اندازه خودرو کوچک تر می شود و ابعاد به دست آمده برای خودرو در طول زمان تغییر

همچنین مرکز تصویر (نقطه P) با دایره کوچک سبز رنگ مشخص شده است. این پارامترها با استفاده از حدود یک دقیقه اول ویدئوی ورودی محاسبه می شوند. همان طور که مشخص است علی رغم این که به جز جاده، درختان و حاشیه جاده نیز در تصویر وجود داشته، این روش توانسته با دقت خوبی امتداد نقاط محوشدگی را تخمین بزند. برای آشنایی کامل با نحوه محاسبه می توان به [۲۶] مراجعه نمود.

۳-۲-۳- شناسایی چند خودروی رایج به منظور محاسبه ضرایب متریک

تصویر شکل ۳ مراحل فاز دوم را نمایش می دهد. در این فاز هدف این است که پس از آشکارسازی خودروها، حذف سایه، مقابله با پرسپکتیو و همچنین تعیین نوع چند خودرو، ضرایب متریک محاسبه شود. فرایند مربوط به فاز دوم پس از حصول ضرایب متریک پایان می یابد.



شکل ۳: مراحل فاز دوم

۳-۲-۳-۱- مدل کردن پس زمینه و شناسایی پیش زمینه

باتوجه به متحرک بودن خودروها، می توان برای شناسایی محدوده خودروها از روش های آشکارسازی پیش زمینه استفاده کرد. تاکنون روش های متعددی در این زمینه ارائه شده است. باتوجه به انجام آزمایش های متعدد روی روش های مختلف؛ استفاده از روش ارائه شده در [۲۷] برای این منظور پیشنهاد می شود. این روش که یک روش وقتی بهبود یافته بر اساس مدل ترکیبی گاوسی (IGMM) است، سرعت بالایی دارد و مقاومت خوبی در برابر سایه نرم و نویز از خود نشان می دهد، ضمن اینکه در طول زمان به روز می گردد.

یکی از مشکلات اصلی روش های شناسایی پیش زمینه، پاسخ نامناسب این روش ها در برابر سایه است. در صورتی که سایه نیز به عنوان بخشی از خودرو در نظر گرفته شود، الگوریتم در مراحل بعد برای به دست آوردن جعبه خودرو با مشکل مواجه می شود. در روش پیشنهادی یکی از اهداف، افزایش مقاومت در برابر سایه کامل است. باتوجه به این که حذف سایه بخشی از الگوریتم اصلی است، مراحل حذف سایه باید تا حد امکان پیچیده نباشد. بر همین اساس باتوجه به آزمایش هایی که انجام

شد در صورتی که مقادیر ابعاد پس از محاسبه در هر قاب، گرد شوند و هیستوگرام طول، عرض و ارتفاع یک خودرو برای قاب‌هایی که خودرو در دید دوربین قرار دارد به دست آید، بیشینه این هیستوگرام‌ها مربوط به طول، عرض و ارتفاع دقیق‌تر خودرو است.

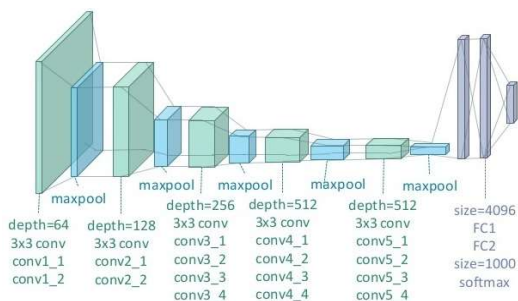
برای تشکیل هیستوگرام ابعاد یک خودرو نیاز است خودرو در طول قاب‌هایی که در دید دوربین قرار دارد ردیابی شود. در روش پیشنهادی برای شناسایی مکان خودرو از ردیاب شار نوری [۲۸] استفاده می‌شود و با ردیابی نقطه A (شکل ۴) برای هر خودرو، مکان آن در هر قاب تعیین می‌شود. به این ترتیب هر کدام از خودروهایی که در دید دوربین قرار می‌گیرند ردیابی می‌شوند و با توجه به مقادیر به دست آمده برای ابعاد خودرو در طول مسیر حرکتش هیستوگرام‌هایی تشکیل می‌شود و با توجه به بیشینه این هیستوگرام‌ها، طول، عرض و ارتفاع خودرو در صفحه جاده دلخواه تعیین می‌شود.

۲-۴-۳- شناسایی خودروهای رایج با VGG۱۹ به منظور

به دست آوردن ضرایب متریک

همان‌طور که اشاره شد برای حصول ضرایب متریک در چند قاب اول نیاز است چند خودرو شناسایی شود. اکثر روش‌های شناسایی نوع خودرو از شبکه‌های CNN برای شناسایی استفاده می‌کنند. در روش پیشنهادی با توجه به آزمایش‌ها و مطالعات صورت گرفته شبکه VGG استفاده گردید و این شبکه برای تصاویر پایگاه داده تنظیم دقیق^۵ شد.

شبکه [۲۹] VGG یک شبکه عمیق است که توسط سیمونیان و زیسرمان پیشنهاد شد. این شبکه توانسته دقت بالایی برای پایگاه داده ImageNet که متشکل از حدود ۱۵ میلیون تصویر در ۱۰۰۰ کلاس است، به دست آورد. شبکه VGG در دو معماری مختلف با عنوان‌های VGG۱۶ و VGG۱۹ ارائه شده است. ابتدا شبکه VGG۱۶ پیشنهاد شد و بعدها با تغییراتی جزئی در شبکه VGG۱۶، شبکه VGG۱۹ مطرح گردید. شکل ۶ معماری شبکه VGG۱۹ را نمایش می‌دهد.



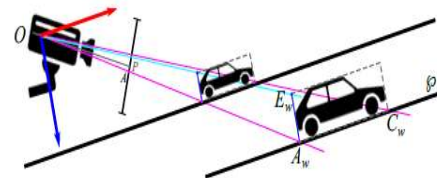
شکل ۶: معماری VGG ۱۹

پس از تنظیم دقیق و تست شبکه VGG۱۹ روی مجموعه تصاویر جمع‌آوری شده، دقت حدود ۹۰ درصد حاصل شد که این رقم بیان‌گر کارایی این شبکه است.

می‌کند. این در حالی است که باید ابعاد به دست آمده برای یک خودرو در قاب‌های مختلف یکسان باشد. برای حل این مشکل از صفحه جاده فرضی که موازی با جاده واقعی است استفاده می‌شود و با تصویر کردن خودرو بر صفحه جاده ابعاد آن بر حسب پیکسل محاسبه می‌شود.

صفحه جاده فرضی \mathcal{O} باید موازی با جاده واقعی باشد، بنابراین این صفحه، موازی با محورهای هم‌راستای نقاط محوشدگی اول و دوم است و می‌توان بردار نرمال آن را از ضرب خارجی این دو بردار به دست آورد. بردار نرمال در حقیقت موازی راستای نقطه محوشدگی سوم است. برای تصویر کردن روی صفحه جاده، مرکز صفحه تصویر $T = [p_x \ p_y \ f]$ و مکان دوربین $o = [p_x \ p_y \ 0]$ در نظر گرفته می‌شود (p_x و p_y مختصات مرکز تصویر است). همان‌طور که گفته شد، صفحه جاده فرضی موازی با جاده اصلی است لیکن فاصله بینشان معلوم نیست، لذا فعلاً صفحه جاده فرضی به صورت دلخواه موازی با راستای نقاط محوشدگی اول و دوم در نظر گرفته می‌شود، سپس ابعاد به دست آمده با استفاده از ضرایب متریک اصلاح می‌گردد. تصویر شکل ۵ دوربین، صفحه تصویر و دو صفحه جاده دلخواه با فاصله‌های متفاوت نسبت به دوربین را نمایش می‌دهد. با در نظر گرفتن صفحه جاده \mathcal{O} ، نقاط A_w ، B_w و C_w با تصویر کردن نقاط A ، B و C از صفحه تصویر بر روی صفحه جاده \mathcal{O} و نقطه E_w با تصویر کردن نقطه E بر بردار نرمال صفحه جاده (N) به دست می‌آیند.

$$\begin{aligned} A_w &= \mathcal{O} \cap \overline{OA} & C_w &= \mathcal{O} \cap \overline{OC} & B_w &= \mathcal{O} \cap \overline{OB} \\ E_w &= N \cap \overline{OE} \end{aligned} \quad (3)$$



شکل ۵: نمایش دوربین، صفحه تصویر و صفحه جاده دلخواه [۱۷]

پس از تصویر کردن نقاط، طول، عرض و ارتفاع خودرو بر روی صفحه جاده مشخص می‌گردد:

$$l_w = |A_w C_w| \quad w_w = |A_w B_w| \quad h_w = |A_w E_w| \quad (4)$$

لازم به ذکر است که این ابعاد، ابعاد واقعی متریک خودرو نیست. استفاده از رابطه ۴ می‌توان ابعاد خودرو را در هر قاب برای صفحه دلخواه تخمین زد؛ لیکن در صورتی که مقادیر به دست آمده برای ابعاد یک خودروی خاص باهم مقایسه شود، مشاهده می‌شود این مقادیر در برخی قاب‌ها تقریباً یکسان و در برخی دیگر، مقداری باهم تفاوت دارند. دلیل این تفاوت‌ها عواملی مانند عدم تشخیص صحیح خودرو به عنوان پیش‌زمینه و هم‌راستا نبودن دقیق خودرو با راستای نقاط محوشدگی در برخی از قاب‌ها است. این مسئله باید به نحوی سازمان‌دهی شود که برای یک خودرو، یک اندازه ثابت و دقیق برای تمامی قاب‌ها گزارش شود. با بررسی‌هایی که برای چند خودرو در چندین ویدئو انجام گرفت، مشخص

روش‌هایی که تاکنون در زمینه شناسایی خودرو ارائه شده‌اند، یا از روی تصاویر، نوع خودرو را شناسایی می‌کنند و یا در صورت استفاده از ویدئو فقط با تحلیل یک قاب سعی در شناسایی نوع خودروها دارند.

به دلیل وجود خطا در تخمین نوع، این امکان هست که نوع گزارش شده برای یک خودرو در قاب‌های مختلف یکسان نباشد. برای حل این مسئله در حین ردیابی خودرو، نوع آن را برای قاب‌هایی که در دید دوربین قرار دارد با شبکه VGG شناسایی کرده، آنگاه مطابق رابطه ۵ کلاسی که در طول ردیابی بیشتر از سایر کلاس‌ها برنده شده به عنوان کلاس اصلی خودرو در نظر گرفته می‌شود.

برای یک خودرو در قاب‌های مختلف یکسان نباشد. برای حل این مسئله در حین ردیابی خودرو، نوع آن را برای قاب‌هایی که در دید دوربین قرار دارد با شبکه VGG شناسایی کرده، آنگاه مطابق رابطه ۵ کلاسی که در طول ردیابی بیشتر از سایر کلاس‌ها برنده شده به عنوان کلاس اصلی خودرو در نظر گرفته می‌شود.

$$C = \operatorname{argmax} \left(\sum_i \text{class}_i \right) \quad (5)$$

در رابطه ۵، i بیان گر قاب‌هایی است که خودرو ردیابی می‌شود و class_i بیانگر بردار کلاس خودرو در هر قاب است. بررسی‌های انجام شده نشان گر این است که در این حالت خطا نسبت به زمانی که نوع خودرو با استفاده از فقط یک قاب شناسایی می‌شود کاهش می‌یابد.

همان‌طور که تاکنون اشاره شده قصد این است که با شناسایی چند خودروی رایج ضرایب متریک محاسبه شود. برای این منظور کافی است که برای ۲ تا ۳ نوع خودروی رایج چند نماینده شناسایی شود. لذا در اینجا به این ترتیب عمل می‌شود که برای هر کدام از انواع خودروی پراید ۱۳۱ و پژو ۴۰۵، n نمونه شناسایی می‌شود ($n > 5$)، سپس باتوجه به ابعاد خودروها بر صفحه فرضی و ابعاد واقعی این خودروها، ضرایب متریک به دست می‌آید. باتوجه به این که تردد در جاده‌های دارای دوربین جاده‌ای بالاست، شناسایی این تعداد نمونه برای کلاس‌های نام‌برده زیاد زمان‌بر نیست؛ مثلاً در ویدیوهای مورد بررسی در این مقاله، این زمان حدود ۳ دقیقه است. پس از این که نماینده‌ها برای هر کلاس خودرو به کمک الگوریتم VGG شناسایی شد، مطابق رابطه ۶ برای هر کلاس یک ماتریس تشکیل می‌شود:

$$\text{pride} = \begin{bmatrix} W_{\text{pride}1} & \dots & W_{\text{pride}n} \\ H_{\text{pride}1} & \dots & H_{\text{pride}n} \\ L_{\text{pride}1} & \dots & L_{\text{pride}n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\text{p405} = \begin{bmatrix} W_{\text{p405}1} & \dots & W_{\text{p405}n} \\ H_{\text{p405}1} & \dots & H_{\text{p405}n} \\ L_{\text{p405}1} & \dots & L_{\text{p405}n} \end{bmatrix}$$

در این رابطه W ، H و L مقادیر ابعاد بر روی صفحه فرضی هستند. پس از تشکیل ماتریس‌ها، در هر ماتریس مقادیر طول، عرض و ارتفاعی که با سایر نمونه‌ها هم‌خوانی ندارد به عنوان مقادیر پرت حذف می‌شوند و با میانگین‌گیری از مقادیر باقیمانده ابعاد کلاس مدنظر روی صفحه فرضی جاده مشخص می‌شود. در بررسی‌های انجام گرفته مشخص شد که شبکه VGG۱۹ حداکثر ۱۰ درصد در شناسایی نوع خودرو، خطا دارد، دلیل این که مقادیر پرت در ماتریس‌ها حذف می‌شود این است که از اثر

$$M_{L-\text{pride}} = \frac{L'_{\text{pride}}}{L_{\text{pride}}} \quad M_{W-\text{pride}} = \frac{W'_{\text{pride}}}{W_{\text{pride}}}$$

$$M_{H-\text{pride}} = \frac{H'_{\text{pride}}}{H_{\text{pride}}}, \quad M_{L-p405} = \frac{L'_{p405}}{L_{p405}}$$

$$M_{W-p405} = \frac{W'_{p405}}{W_{p405}} \quad M_{H-p405} = \frac{H'_{p405}}{H_{p405}} \quad (7)$$

$$M_L = \frac{M_{L-\text{pride}} + M_{L-p405}}{2}$$

$$M_H = \frac{M_{H-\text{pride}} + M_{H-p405}}{2}$$

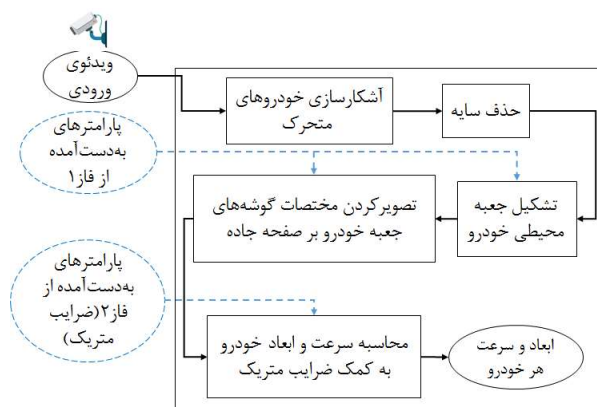
$$M_W = \frac{M_{W-\text{pride}} + M_{W-p405}}{2}$$

در رابطه ۷، $L'W'H'$ مقادیر ابعاد واقعی و $H.W.L$ مقادیری است که با میانگین‌گیری از ماتریس‌ها، پس از حذف مقادیر پرت به دست آمده است. M_L ، M_H ، M_W ضرایب متریک طول، ارتفاع و عرض هستند؛ با ضرب این ضرایب در ابعاد هر خودرو روی صفحه فرضی، ابعاد واقعی متریک خودرو محاسبه می‌گردد. لازم به ذکر است روش‌های پیشین [۱۵، ۱۷]، فقط یک ضریب متریک را برای محاسبات ابعاد و سرعت در نظر می‌گیرند، استفاده از ضرایب متریک جداگانه در روش پیشنهادی منجر به کاهش خطا در تخمین کمیت‌های مدنظر می‌شود.

خودروهای پژو و پراید که به عنوان نمونه توسط روش CNN شناسایی می‌شوند خودروهایی هستند که از نظر ابعادی باهم تفاوت دارند، تفاوت در ابعاد و پرت‌دبودن خودروهای انتخابی منجر به کاهش میانگین خطای الگوریتم می‌شود.

۳-۳- فاز سوم - تخمین سرعت و ابعاد واقعی خودرو

پارامترهای اولیه موردنیاز الگوریتم که عبارت‌اند از نقاط محوشدگی و ضرایب متریک در فازهای اول و دوم محاسبه می‌شوند.



شکل ۷: مراحل فاز سوم

در این رابطه M_L ، M_H و M_W ضرایب متریک، $Hist_L$ ، $Hist_H$ ، $Hist_W$ و $Hist_{\Delta_d}$ هیستوگرام ابعاد و جابه‌جایی و L' ، H' ، W' و Δ_d' مقادیری هستند که به‌عنوان ابعاد واقعی و جابه‌جایی بین دو قاب در نظر گرفته می‌شوند. از رابطه ۹ نیز برای تخمین سرعت برحسب کیلومتر بر ساعت استفاده می‌شود.

$$V = \frac{3.6 \times \Delta_d'}{\Delta_t} \quad \Delta_t = \frac{1}{FR} \quad (9)$$

در این رابطه FR بیانگر frame rate و Δ_t فاصله زمانی بین دو قاب است. در نهایت، V به‌عنوان سرعت و L' ، H' ، W' به‌عنوان ابعاد واقعی هر خودرو گزارش می‌شود.

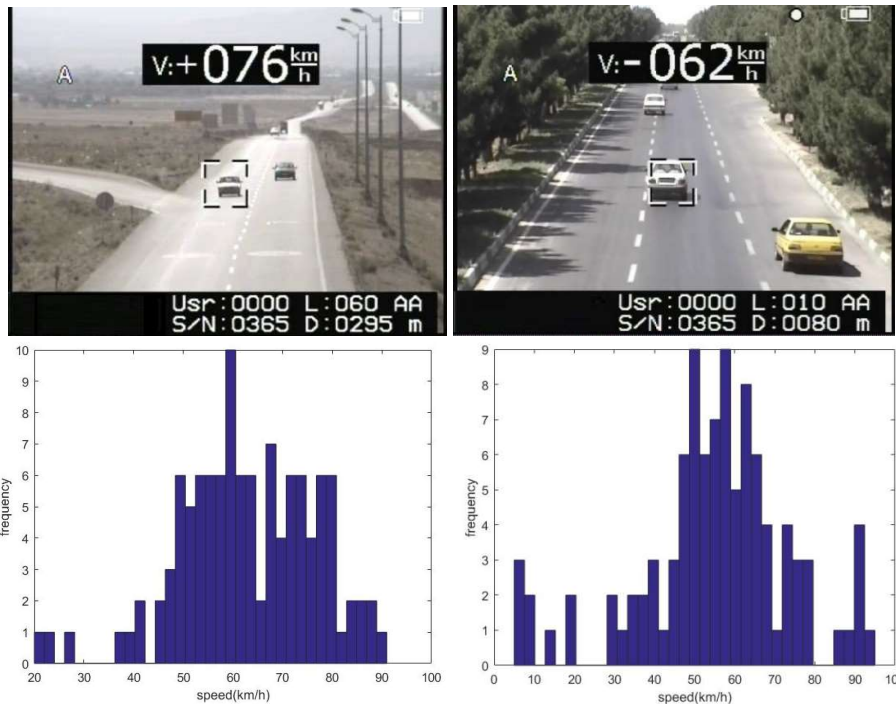
۴- نتایج تجربی

پایگاه داده مورد استفاده برای تست الگوریتم از دو بخش تشکیل شده، مجموعه‌ای از ویدئوها و مجموعه‌ای از تصاویر. ویدئوها توسط نویسندگان با فیلم‌برداری از چندین جاده از زاویه مشابه دوربین کنار جاده‌ای ضبط شده‌است. برای تخمین سرعت واقعی خودروها در این ویدئوها از یک دوربین لیزری ناجا استفاده شده، میانگین سرعت خودروها بسته به هر جاده متفاوت است. سطر اول تصاویر شکل ۸، نمونه‌ای از تصاویر دوربین لیزری و سرعت ثبت شده توسط آن را نمایش می‌دهد. سطر دوم این شکل، نمودار تردد تعدادی خودرو برحسب سرعت را برای دقایقی از ویدئوهای ضبط شده در محدوده شهر شاهرود نشان می‌دهد.

در فاز سوم از این پارامترها برای محاسبه ابعاد و سرعت خودرو استفاده می‌شود. شکل ۷ مراحل این فاز را نشان می‌دهد، باتوجه به این شکل و شکل ۳، قسمت‌های شناسایی خودروهای متحرک، حذف سایه، تشکیل جعبه خودرو و تصویرکردن جعبه خودرو بر صفحه جاده در فاز سوم مشابه همین قسمت‌ها در فاز دوم است، بنابراین از ذکر مجدد آن خودداری می‌شود.

برای تخمین سرعت خودرو نیاز است تا جابه‌جایی آن بین دو قاب متوالی به‌دست آید (Δ_d). باتوجه به نرخ قاب بالای دوربین‌ها و این حقیقت که اکثریت خودروها در جاده تغییر سرعت و جهت ناگهانی ندارند، Δ_d بین قاب‌های متوالی تقریباً یکسان است. لیکن برای افزایش دقت در گزارش سرعت و ابعاد خودروها، مانند بخش ۳-۲-۳ با ردیابی خودرو و مقداری گردکردن این کمیت‌ها در هر قاب، برای ابعاد و Δ_d هیستوگرامی تشکیل می‌شود و نهایتاً با ضرب کردن ضرایب متریک در اندیسی که در آن هیستوگرام بیشینه است، مقادیر واقعی ابعاد و سرعت با دقت خوبی به دست می‌آید. رابطه ۸ این فرایند را تشریح می‌کند:

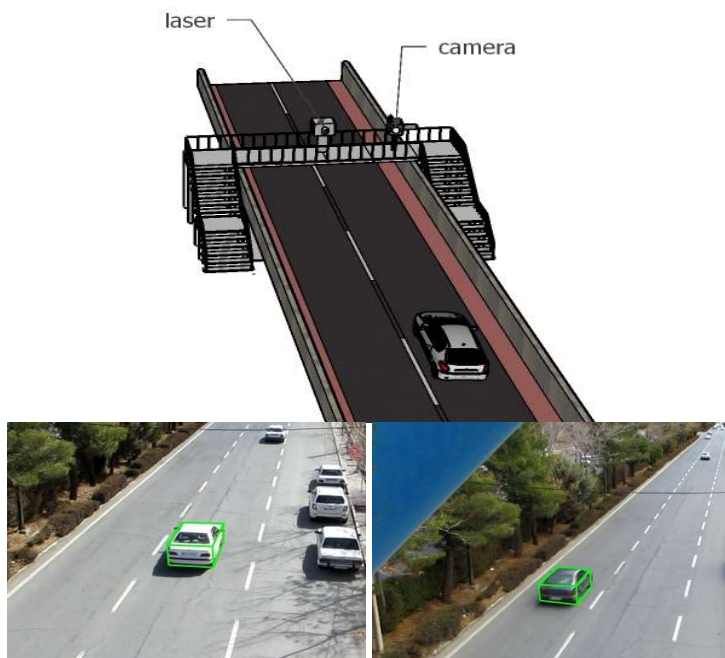
$$\begin{aligned} L' &= M_L \times \operatorname{argmax}(Hist_L) \\ H' &= M_H \times \operatorname{argmax}(Hist_H) \\ W' &= M_W \times \operatorname{argmax}(Hist_W) \\ \Delta_d' &= M_L \times \operatorname{argmax}(Hist_{\Delta_d}) \end{aligned} \quad (8)$$



شکل ۸: سطر اول سرعت ثبت شده برای خودروها توسط دوربین لیزری، سطر دوم نمودار تردد خودروها در هر سرعت

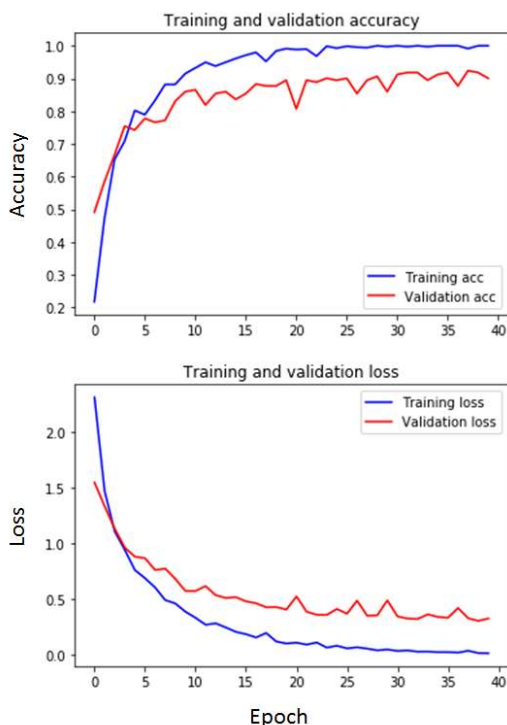
همان‌طور که مشخص است جعبه خودرو در روش پیشنهادی خودرو را به‌طور دقیق دربر گرفته است.

تصویر سطر اول شکل ۹ نحوه تهیه مجموعه ویدئوها و تصویر سطر دوم نتایج روش پیشنهادی را برای قاب‌هایی از برخی ویدئوها نشان می‌دهد،



شکل ۹: سطر اول نمایش نحوه تهیه مجموعه داده و ground truth، سطر دوم دقت روش پیشنهادی در شناسایی خودرو

نشان می‌دهد، همان‌طور که مشخص است این روش پس از چند تکرار به حدود ۹۰٪ می‌رسد.



شکل ۱۱: نمودارهای accuracy و loss در طی فرایند آموزش شبکه VGG

تصاویر شکل ۱۲ برخی نتایج شبکه VGG۱۹ را پس از تنظیم دقیق و تست روی مجموعه تصاویر خودروها نشان می‌دهد. کلاس پیش‌بینی شده و مقدار confidence برای هر تصویر در بالای آن گزارش شده‌است.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد برای شناسایی چند خودرو در قاب‌های اول نیاز به مجموعه‌ای از تصاویر گروه‌های خودرویی هست، برای این منظور ۵۰۰۰ تصویر جمع‌آوری گردید که اکثر این تصاویر با فیلم‌برداری از جاده‌ها و بخشی نیز از طریق پلیس راهور به دست آمد. نمونه‌ای از تصاویر مجموعه داده در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: تصاویر نمونه در پایگاه داده

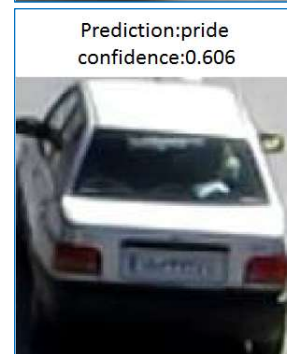
کلاس‌هایی که به منظور شناسایی به شبکه VGG۱۹ آموزش داده شد عبارت‌اند از {پراید ۱۳۱، پژو ۴۰۵، پژو ۲۰۶، پژو پارس، پراید ۱۳۲، پیکان، ال ۹۰، سمند، پراید ۱۴۱، اتوبوس و کامیون، وانت و سایر} که فقط شناسایی ۲ کلاس پراید و پژو ۴۰۵ اهمیت دارد و سایر کلاس‌ها متفرقه هستند و فقط برای کاهش خطا در تشخیص به سیستم آموزش داده شده‌اند. تصویر شکل ۱۱ نمودار accuracy و loss را برای داده‌های اعتبار سنجی و آموزش در تعدادی از تکرارهای فرایند آموزش شبکه

مانند ناهمواری و شیب سطح جاده می‌تواند در افزایش خطای این روش‌ها تأثیر زیادی داشته باشد.

جدول ۱: میانگین خطای روش‌ها

روش	نحوه تهیه ground truth	میانگین خطا در تخمین سرعت	میانگین خطا در تخمین ابعاد
[۹] فیلیپاک	حلقه‌های القایی	۲/۳ km/h	-
[۱۰] لوینسون	حلقه‌های القایی	۱/۶۳ km/h	-
[۱۱] سینا	GPS	۳/۳ km/h	-
[۱۲] اسلامی	رادار و لیزر	۱/۲۲ km/h	-
[۱۳] فاموری	لیزر	۱/۴۳ km/h	-
[۱۴] آقایان	GPS	۱/۳۹ km/h	-
[۱۵] دوسکا	پایگاه اول - GPS	۱/۵ km/h	۱/۰٫۹
[۱۵] دوسکا	پایگاه دوم - لیزر	خطای بیش از ٪۱۰	خطای بیش از ٪۱۰
[۱۷] عسگریان	پایگاه اول - GPS	-	۱/۰٫۵
[۱۷] عسگریان	پایگاه دوم - لیزر	-	خطای بیش از ٪۱۰
پیشنهادی	لیزر	۱/۱۵ km/h	۲/۰٫۳

همان‌طور که مشخص است علی‌رغم کیفیت نامناسب برخی تصاویر، این روش توانسته است درست دسته‌بندی کند. این در حالی است که اکثر روش‌های شناسایی نوع خودرو از تصاویر با کیفیتی که از فاصله نزدیک و نمای جلو یا عقب خودرو به دست آمده، استفاده می‌کنند.



در [۹] که کالیبراسیون آن مبتنی بر ابعاد پلاک خودرو است، شناسایی محل دقیق پلاک خودرو در مواردی به راحتی امکان پذیر نیست و منجر به ایجاد خطا می‌شود. در [۱۲] کالیبراسیون مبتنی بر ابعاد و فونت پلاک است. هرچند در این روش با به کارگیری الگوریتم‌های مناسب دقت افزایش یافته، اما به هر حال طبق گفته نویسنده عدم شناسایی دقیق محدوده برخی پلاک‌ها خطای این روش را کمی افزایش داده است. روش [۱۳] همانند روش‌های [۹] و [۱۲] نیازمند تعیین محدوده چند پلاک است در نتیجه خطا در تعیین پلاک در خطای تخمین سرعت این روش تأثیر دارد.

روش‌های [۱۵]، [۱۷] پایگاه‌های تست یکسانی دارند. هر دو روش برای پایگاه تست اول خطای کمی دارند. مجموعه تست دوم همان پایگاه ارائه شده در روش پیشنهادی است؛ به دلیل عدم مقاومت این دو روش در برابر سایه و تغییرات پس‌زمینه، جعبه‌ای که برای هر خودرو تشکیل می‌شود بسیار بزرگ‌تر از اندازه واقعی آن است و اضلاع آن نیز در هر قاب تغییر اندازه می‌دهند، به نحوی که گزارش یک عدد مشخص به عنوان خطای پایگاه دوم به راحتی امکان پذیر نیست. با توجه به جدول، روش پیشنهادی پاسخ بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. دلیل این موضوع پیشنهاد و استفاده از روش‌های بهینه و دقیق در کالیبراسیون، شناسایی خودروها، محاسبه پارامترها و ایجاد مقاومت نسبت به سایه است.

شکل ۱۲: نتایج VGG ۱۹ در شناسایی نوع دقیق خودرو

به دلیل در دسترس نبودن پایگاه داده و همچنین نیاز به تنظیم دستی اکثر روش‌ها، امکان مقایسه منصفانه روش‌ها روی یک مجموعه مشخص وجود ندارد. جدول شماره ۱ مقدار خطای روش پیشنهادی و چند روش دیگر را نشان می‌دهد. روش‌های [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۵] که در جدول مورد مقایسه گرفته‌اند، روش‌هایی هستند که در [۷] مورد تأکید بوده‌اند. علامت "-" در جدول بیان‌گر این است که الگوریتم قابلیت اندازه‌گیری کمیت مدنظر را نداشته است. در میان الگوریتم‌های مورد مقایسه روش‌های [۱۰]، [۱۱]، [۱۴] برای کالیبراسیون نیازمند ورود پارامترهایی مانند ارتفاع، زاویه دوربین و ... متناسب با محل نصب دوربین توسط کاربر هستند، وجود کمی خطا در اندازه‌گیری این پارامترها منجر به ایجاد خطای زیادی در کالیبراسیون می‌شود. علاوه بر این مواردی

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش تمام‌خودکار برای تشخیص ابعاد خودرو و تخمین سرعت ارائه گردید. برخلاف بسیاری از روش‌هایی که فقط قابلیت تخمین سرعت را دارند، روش پیشنهادی علاوه بر سرعت قادر است ابعاد خودروهای عبوری را نیز به‌دست‌آورد، همچنین به‌طور تمام‌خودکار عمل می‌کند. به‌منظور کالیبراسیون تمام‌خودکار، نیاز به داشتن ابعاد متریک خودروهای موجود در صحنه بود که برای این منظور توسط شبکه CNN در قاب‌های ابتدایی چند خودروی رایج شناسایی شد، سپس به کمک ابعاد متری این خودروها (که از قبل مشخص است) پارامترهای مدنظر محاسبه شد. در طراحی این الگوریتم تلاش شد تا حد امکان ایرادات سایر روش‌ها برطرف شود و دقت روش افزایش یابد.

باتوجه به عدم وجود پایگاه داده ایرانی مناسب، جهت تست کارایی روش پایگاه داده‌ای از ویدئوهای دارای برچسب و همچنین پایگاه داده‌ای از تصاویر انواع مختلف خودروهای ایران (از مکانی مشابه مکان دوربین جاده‌ای) تهیه گردید. نتایج روش پیشنهادی حاکی از عملکرد خوب این روش است به‌گونه‌ای که میانگین خطای آن در تخمین سرعت ۱/۱۵ کیلومتربرساعت و در تخمین ابعاد ۲/۳٪ است.

برای افزایش کارایی این روش می‌توان در آینده با بهبود هرکدام از مراحل و ترکیب با روش‌های دیگر، دقت را در کالیبراسیون افزایش داد. همچنین می‌توان برای افزایش دقت در ترسیم خطوط مماس و تطابق بهتر جعبه سه‌بعدی با چهارچوب خودرو، روش‌های ارائه‌شده در [۳۰] و [۳۱] را برای تعیین دقیق‌تر بیکسل‌های متعلق به خودرو، مورد آزمایش قرار داد. علاوه‌براین می‌توان با افزایش تصاویر مجموعه داده، روش پیشنهادی را در الگوریتم‌های دیگر برای شناسایی نوع خودرو به‌کار برد.

مراجع

- Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 29, no. 2, pp. 272-285, Feb 2017.
- [7] J. Sochor, R. Juránek, J. Špaňhel, L. Maršík and A. Široký, "BrnoCompSpeed: review of traffic camera calibration and comprehensive dataset for monocular speed measurement", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017.
- [8] X. You and Y. Zheng "An accurate and practical calibration method for roadside camera using two vanishing points," Neurocomputing, April 2016.
- [9] P. Filipiak, B. Golenko and C. Dolega, "NSGA-II based auto-calibration of automatic number plate recognition camera for vehicle speed measurement" 19th European Conference on Applications of Evolutionary Computation, pp. 803-818, April 2016.
- [10] D. C. Luvizon, B. T. Nassu and R. Minetto, "Vehicle speed estimation by license plate detection and tracking," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, pp. 6563-6567, 2014.
- [11] I. Sina, A. Wibisono, A. Nurhadiyatna, B. Hardjono, W. Jatmiko and P. Mursanto, "Vehicle counting and speed measurement using headlight detection," International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), Bali, pp. 149-154, 2013.
- [12] H. Eslami, A. Raieand, K. Faez, "Precise vehicle speed measurement for law enforcement applications based on calibrated camera with parallel standard patterns" IET Computer Vision, vol. 10, 2016.
- [13] M. Famouri, Z. Azimifar and A. Wong, "A novel motion plane-based approach to vehicle speed estimation," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2018.
- [۱۴] آقایان و خسروی «تخمین بلادرنگ سرعت خودرو از طریق دوربین به کمک ردیابی مرکز ثقل و پیاده‌سازی آن روی برد توسعه XU4» دهمین کنفرانس بینایی ماشین و پردازش تصویر ایران، اصفهان، انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، آذرماه ۱۳۹۶.
- [15] M. Dubska, J. Sochor and A. Herout, "Automatic camera calibration for traffic understanding", BMVC, 2014.
- [16] J. Sochor, *Traffic analysis from video*, PHD. Thesis, Brno university of technology, 2014.
- [۱۷] عسگریان دهکردی و خسروی «شناسایی خودکار ابعاد خودروها بر اساس ویدیوی دریافتی از دوربین کنار جاده‌ای» دهمین کنفرانس بینایی ماشین و پردازش تصویر ایران، اصفهان، انجمن ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، آذرماه ۱۳۹۶.
- [18] C. Lin, C. Yang and YW. Shou, "An efficient and robust moving shadow removal algorithm and its applications in ITS" EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010.
- [۱۹] عسگریان دهکردی و خسروی « روشی سریع و کارآمد برای حذف سایه خودروهای متحرک به‌منظور تخمین محدوده دقیق خودرو در تصاویر دریافتی از دوربین جاده‌ای» سومین
- [1] M. Dubska, A. Herout, R. Juránek and J. Sochor, "Fully Automatic roadside camera Calibration for traffic Surveillance, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 3, pp. 1162-1171, June 2015.
- [2] D.N. Dawson and S. T. Birchfield, "An energy minimization approach to automatic traffic camera calibration," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 3, pp. 1095-1108, Sept 2013.
- [3] T. N. Schoepflin and D. J. Dailey, "Dynamic camera calibration of roadside traffic management cameras for vehicle speed estimation," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 4, no. 2, pp. 90-98, June 2003.
- [4] K. Wang, H. Huang, Y. Li and F. Wang, "Research on lane-marking line based camera calibration," IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, Beijing, pp. 1-6, 2007.
- [5] T. Pai and W. Juang, "An adaptive windowing prediction algorithm for vehicle speed estimation," Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems (ITSC), Oakland, pp. 901-906, 2001.
- [6] X. Zhan, Yi. Zheng and S. V. Ukkusuri, "Citywide traffic volume estimation using trajectory data," IEEE

- [26] How to Compute Intrinsic from Vanishing Points: September 2018, <https://www.coursera.org/lecture/robotics-perception/how-to-compute-intrinsic-from-vanishing-points-jnaLs>
- [27] Z. Zivkovic, "Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction," Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition(ICPR), Vol.2, pp. 28-31,2004.
- [28] S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi and M. Sakauchi, "Traffic monitoring and accident detection at intersections," International Conference on Intelligent Transportation Systems, Tokyo, pp. 703-708, 1999.
- [29] K. Simonyan and A. zesserman, "Very deep convolutional networks for large-scale Image recognition" in Computer Science - Computer Vision and Pattern Recognition, 2015
- [۳۰] اکبری زاده، تیرانداز و آل سیدغفور «بخش بندی نظارت نشده سلسله مراتبی تصاویر SAR با استفاده از سوپریکسل و فشرده سازی پر اتلاف داده» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵.
- [۳۱] طیبی، اکبری زاده و فرشیدی «آشکارسازی شکستگی های سنگ مخزن مبتنی بر آنالیز بافت جهتی و نگاشت خود سازمان ده» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷.
- کنفرانس پردازش سیگنال و سیستم های هوشمند ایران، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، آذرماه ۱۳۹۶.
- [20] J. Wang, H. Zheng, Y. Huang and X. Ding, "Vehicle type recognition in surveillance images from labeled web-Nature data using deep transfer learning," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 27 November 2017.
- [21] S. Ren, K. He, R. Girshick and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 39, no. 6, pp. 1137-1149, 2017.
- [22] L. Yang, P. Luo, C. C. Loy and X. Tang, "A large-scale car dataset for fine-grained categorization and verification," 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, pp. 3973-3981,2015.
- [23] S. Yu, Y. Wu and W. Li " A model for fine grained vehicle classification based on deep learning" in Neurocomputing, vol. 257, pp. 97-103, 2017.
- [24] J. Sochor, A. Herout and J. Havel, "BoxCars: 3D Boxes as CNN Input for Improved Fine-Grained Vehicle Recognition," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, pp. 3006-3015, 2016.
- [25] J. Sochor, J. Špaňhel and A. Herout, "BoxCars: Improving Fine-Grained Recognition of Vehicles using 3-D Bounding Boxes in Traffic Surveillance" in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018.

زیر نویس ها:

⁴ visual geometry group

⁵ Fine-tune

¹ intelligent transportation system

² motion plane

³ pooling