سیستم فازی هشدار خواب آلودگی راننده مبتنی بر پردازش چهره در گوشی تلفن همراه با قابلیت تفکیک عینک

مهران گلرخی[1]، مهدی قطعی[2]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲- استادیار گروه علوم کامپیوتر و مدیر طرح کلان ملی مطالعه و طراحی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند درون‌شهری و برون‌شهری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

با توجه به آمار ۱۸ هزار کشته سالیانه در حوادث رانندگی در ایران و سهم قابل توجه خستگی و خواب‌آلودگی راننده در این موارد، ارائه راه‌حلی مناسب در جهت کاهش تعداد حوادث جاده‌ای و رفع این مشکل الزامی به نظر می‌رسد. در این مقاله، یک سیستم نرم افزاری ارزان و کارآمد پیشنهاد می شود که خواب‌آلودگی راننده را با استفاده از فیلم‌برداری از چهره راننده به وسیله دوربین گوشی همراه تشخیص می دهد. برای این کار با استخراج ویژگی‌های چشم و روش منطق فازی، میزان خواب‌آلودگی راننده محاسبه می‌شود و سیستم در مواقع لزوم هشدارهای لازم ارائه می نماید. با انجام این کار احتمال بروز حادثه به دلیل خواب‌آلودگی پایین می آید. در سیستم پیشنهادی جهت شناسایی چهره و چشم از الگوریتم ادابوست و تطبیق الگو وفقی و همچنین جهت شناسایی دقیق موقعیت چشم از الگوریتم شناسایی لکه بهره برداری شده است. ویژگی‌های استخراج شده از چشم، شامل PERCLOSE و ECD به‌عنوان ورودی به سیستم فازی داده خواهند شد تا میزان خواب‌آلودگی محاسبه شوند. سیستم پیشنهادی قابلیت شناسایی چشم با عینک طبی را نیز دارا می باشد. به دلیل ظریب نفوذ گوشی همراه در کشور، این سیستم دستیار راننده می تواند به صورت کارا در ایران به صورت گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه: خواب‌آلودگی، خستگی، پردازش تصویر، ماشین بردار پشتیبان، ادابوست، شناسایی لکه، تطبیق الگو وفقی.

۱- مقدمه

بهبود امنیت جاده‌ها و کاهش تصادفات هدف اصلی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می‌باشد [۱]. بنا بر آمارهای موجود، ایران سالانه دارای بیش از ۱۸ هزار کشته در جاده‌های خود می‌باشد، از این‌رو سیستم‌های کمک‌راننده[3] که به منظور کمک به راننده در حین رانندگی طراحی و ساخته می‌شوند، می‌توانند موردتوجه قرار گیرند. بر اساس آمار، بالای ۵۰٪ تصادفات ماشین‌های سنگین و نیز در تصادفاتی که فقط یک خودرو صدمه می‌بینند، مربوط به خواب‌آلودگی و یا حواس‌پرتی می‌باشد [۲،۱]. به همین دلیل، سیستم کمک راننده هشدار خواب‌آلودگی می‌تواند نقش بسزایی در کاهش تصادفات درون جاده‌ای ایفا کند.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت این موضوع، تحقیقات زیادی بر روی سیستم‌های تشخیص خواب‌آلودگی انجام شده است. به‌طورکلی برای تشخیص خواب‌آلودگی، ۴ دسته روش وجود دارد:

۱) مبتنی بر علائم فیزیولوژی
۲) مبتنی بر عملکرد راننده و خودرو
۳) مبتنی بر ظاهر راننده (پردازش تصویر)
۴) روش‌های ترکیبی.

هر کدام از روش‌های ذکر شده دارای معایب خاص خود می‌باشند؛ اما روش مبتنی بر ظاهر راننده روشی ارزان و غیر آزاردهنده با کارکردی مناسب می‌باشد؛ بنابراین، در این مقاله روش مبتنی بر ظاهر راننده انتخاب شده است. تحقیقات بسیاری پیرامون تشخیص خواب‌آلودگی بر اساس چهره راننده انجام پذیرفته است.

هنگام خواب‌آلودگی علائم مختلفی در چهره، سر و چشم‌ها پدیدار می‌شود که از علائم پدیدار شده در چشم هنگام خستگی می‌توان به کند شدن پلک زدن، طولانی‌تر شدن بسته بودن چشم و ... اشاره نمود. بر این اساس ویژگی‌های مختلفی از چشم برای تشخیص خواب‌آلودگی استخراج می‌شود که به PERCLOSE[1] یا درصد بسته بودن چشم، ECD[2] یا میانگین مدت زمان بسته بودن چشم، FEC[3] یا تعداد بستن چشم در یک ثانیه می‌توان اشاره نمود. از جمله مقالاتی که در این زمینه تحقیقاتی داشته‌اند می‌توان به [۳] اشاره نمود که برای تشخیص خواب‌آلودگی از PERCLOSE استفاده کرده است. [۱] نیز با استفاده از ویژگی‌های PERCLOSE و نسبت فاصله پلک‌ها نسبت به حالت عادی قادر به تشخیص خواب‌آلودگی بوده است. روش‌های مختلف شناسایی خواب‌آلودگی نیز در [۴] و [۵] مورد توجه قرار گرفته است.

۳- ساختار سیستم پیشنهادی

در سیستم پیشنهادی ما، تشخیص خواب‌آلودگی بر اساس پردازش چهره و چشم می‌باشد. فلوچارت سیستم پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده‌شده است.

این سیستم دارای ۵ قسمت اصلی می‌باشد:

۱) شناسایی و ردگیری چهره
۲) شناسایی و ردگیری چشم
۳) تشخیص وضعیت چشم
۴) استخراج ویژگی‌ها
۵) تشخیص خواب‌آلودگی

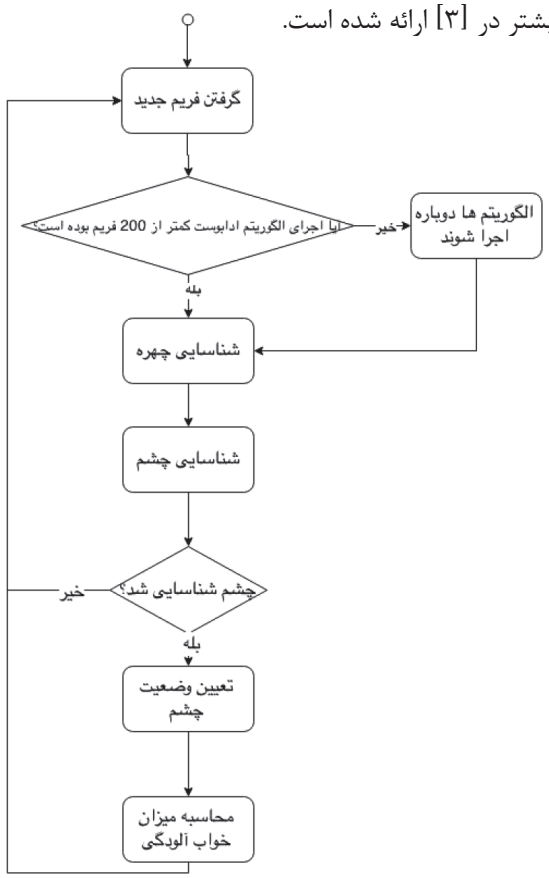
که در ذیل به‌طور کامل به آن‌ها پرداخته‌ایم.

۳-۱- شناسایی و ردگیری چهره

جهت شناسایی چهره، از دو الگوریتم ادابوست [۶][4] و تطبیق الگو وفقی[5] [۷] استفاده شده است. برای شناسایی اولیه چهره از الگوریتم ادابوست استفاده می‌شود. این الگوریتم همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده است برای چهره‌هایی با چرخش نسبتاً کم با دقت بالایی عمل خواهد کرد. درصورتی‌که راننده سرخود را بچرخاند، دقت الگوریتم کاهش پیدا می‌کند. برای حل این مشکل از الگوریتم تطبیق الگو وفقی به‌عنوان الگوریتم تکمیلی استفاده شده است. برای این کار ابتدا در فریم اول از الگوریتم ادابوست استفاده می‌شود.

در صورت شناسایی چهره، الگو آن ذخیره می‌شود و در فریم‌های بعدی به‌عنوان ورودی الگوریتم تطبیق الگو وفقی استفاده می‌شود. این الگوریتم وظیفه ردگیری موقعیت چهره در فریم جدید را دارد. جهت افزایش دقت الگوریتم تطبیق الگو وفقی در هر فریم، الگوی جدید جایگزین الگوی قبلی می‌شود این کار باعث افزایش دقت کلی شناسایی چهره در سیستم می‌شود. در صورت عدم به‌روزرسانی الگو، الگوریتم تطبیق الگو وفقی توانایی ردگیری چهره با تغییرات زیاد در فریم‌های بعدی مانند: چرخش سر، پوشیده شدن قسمتی از صورت و... را از دست خواهد داد که باعث خطا در سیستم می‌شود. (شکل ۲ مشاهده گردد.)

با وجود افزایش دقت، با بروز خطا در سیستم شناسایی چهره، این خطا گسترش پیدا خواهد کرد و باعث کاهش دقت کلی سیستم می‌شود. برای حل این مشکل از روش‌هایی جهت تشخیص خطا در شناسایی چهره استفاده می‌شود. به‌عنوان‌مثال به دلیل آن‌که این سیستم جهت استفاده در خودرو طراحی‌شده است، درصورتی‌که چهره شناسایی‌شده در محدوده تعیین‌شده توسط طراح سیستم نباشد سیستم دچار خطا در شناسایی‌شده است. با توجه به اینکه بروز خطا حتی با درصد اندک، محتمل است بنابراین هر ۲۰۰ فریم یا ۸ ثانیه، الگو چهره پاک و الگوریتم‌های ادابوست و تطبیق الگو وفقی دوباره اجرا خواهند شد. جزییات بیشتر در [۳] ارائه شده است.



شکل ۱: فلوچارت سیستم

1- Percentage Of Eye Closure
2- eye-closure duration
3- Frequency of eye closure
4- Adaboost
5-Adaptive Template Matching

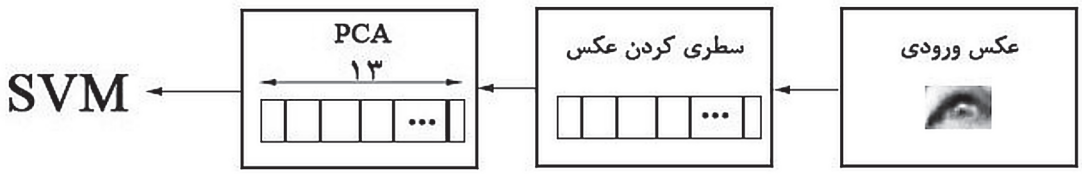
ب الف

شکل ۲: الف) چرخش سر و عدم شناسایی چهره ب) شناسایی چهره

۳-۲- شناسایی و ردگیری چشم

بعد از شناسایی چهره، می‌توانیم شناسایی چشم را انجام دهیم. برای این کار از الگوریتم‌های ادابوست، تطبیق الگو وفقی و شناسایی لکه[1] استفاده شده است. چشم نسبت به چهره، دارای ویژگی‌های کمتری می‌باشد به همین دلیل احتمال عدم‌تشخیص صحیح چشم در الگوریتم ادابوست بیشتر خواهد شد. برای بهبود شناسایی چشم، از دو روش شناسایی موقعیت چشم استفاده می‌شود و بعد از هر مرحله با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان (SVM[2]) که جهت شناسایی چشم از غیر چشم آموزش داده‌شده است [۸]، از وجود چشم در کادر شناسایی‌شده اطمینان حاصل می‌کنیم. روش پیشنهادی ما به این صورت عمل خواهد کرد که ابتدا الگوریتم ادابوست اجرا خواهد شد. در صورت پیدا نکردن هر دو چشم، الگوریتم شناسایی لکه نیز به‌عنوان الگوریتم کمکی اجرا خواهد شد. سپس در فریم‌های بعدی الگوهایی که توسط دو الگوریتم اشاره شده ذخیره شده بودند را ردگیری می‌نماییم. در صورت عدم تأیید هر کدام از آن‌ها، آن الگو حذف می‌شود و دو الگوریتم اشاره شده، مجدداً اجرا خواهند شد. لازم به ذکر است که در هر مرحله، اعتبارسنجی چشم صورت می‌گیرد. در الگوریتم ادابوست به این صورت عمل می‌شود که ابتدا با استفاده از الگوریتم ادابوست چشم‌های پیدا شده را اعتبارسنجی می‌نماییم. در صورتی که هرکدام از عکس‌ها، غیرچشم تشخیص داده شد. عملیات تصحیح موقعیت چشم را روی آن انجام می‌دهیم و آن را اعتبارسنجی می‌کنیم درصورتی‌که باز هم جواب منفی بود مجدداً عملیات تصحیح را انجام می‌دهیم. این عمل به خاطر این است که در مرحله اول امکان وجود چشم وجود دارد در صورت عدم تأیید با تصحیح کادر می‌توان فریم چشم را پاک نمود. در صورتی که باز هم جواب منفی بود. با تصحیح دوباره در موارد زیادی می‌توان ابرو را نیز از کادر چشم جدا نمود. جهت تصحیح موقعیت چشم، ابتدا کادر چشم را با استفاده از الگوریتم وفقی p-tile[۹] به عکس دودویی تبدیل می‌کنیم. سپس با الگوریتم مورفولوژی نویز را حذف می‌نماییم. در انتها با الگوریتم شناسایی لکه بزرگ‌ترین لکه شامل پیکسل‌های متصل به هم را انتخاب می‌نماییم و دور آن‌ها کادری مستطیلی شکل رسم می‌کنیم. موقعیت چشم را با استفاده از الگوریتم شناسایی لکه نیز می‌توان به دست آورد برای این کار عکس چهره را با استفاده از روش قبل دودویی می‌نماییم و با استفاده از شرایطی می‌توان کادرهای که احتمال وجود چشم در آن‌ها وجود ندارد را حذف و بقیه کادرها را اعتبارسنجی می‌کنیم. در صورت وجود چشم، آن‌ها را انتخاب نماییم. این عمل در شکل ۴ نشان داده شده است. کادرهایی با رنگ قرمز نشان دهنده اطمینان ما از عدم وجود چشم در آن کادر می باشد و رنگ سبز محتمل بودن وجود چشم در آن کادر می باشد. نتایج نشان داده است با استفاده از این الگوریتم می‌توان چشم‌هایی که الگوریتم ادابوست توانایی شناسایی ندارد را نیز به دست آورد. جهت طبقه‌بندی چشم از غیرچشم، مطابق شکل ۳، به‌عنوان ورودی SVM، ابتدا عکس کادر مورد نظر را به‌صورت سطری درآورده و سپس با استفاده از الگوریتم PCA، آن را به ۱۳ بعد، کاهش بعد خواهیم داد [۱۰]. PCA تبدیلی در فضای برداری است که معمولاً جهت کاهش بعد استفاده می‌شود. سپس این بردار را به‌عنوان ورودی به SVM ارسال خواهیم کرد. در انتها جواب SVM، چشم بودن یا نبودن عکس می‌باشد. با این کار می‌توانیم خطا را در سیستم به‌طور قابل توجهی کاهش دهیم.

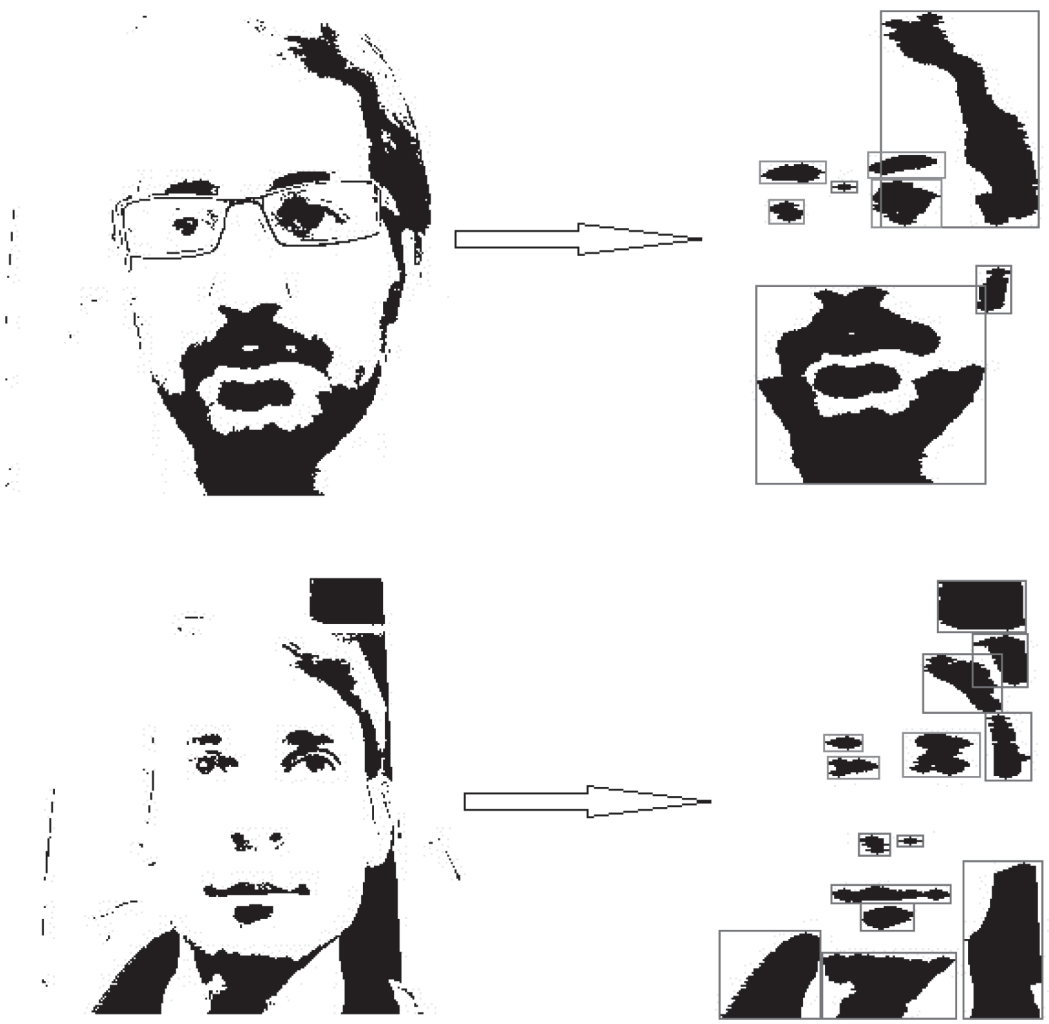
1- Blob detection
2- Support Vector Machine



شکل ۳: تأیید چشم با الگوریتم SVM

۳-۳- تشخیص وضعیت چشم

این مرحله جهت استخراج ویژگی‌های چشم ضروری می‌باشد. وضعیت چشم‌ها ازنظر ما چشم باز و چشم بسته می‌باشد. برای تشخیص وضعیت چشم‌ها، از الگوریتم SVM و PCA استفاده شده است. به‌منظور آموزش SVM فقط چشم‌های کاملاً باز و چشم‌های کاملاً بسته به عنوان ورودی به این الگوریتم داده‌شده است. از الگوریتم‌های SVM و PCA همانند مرحله قبل استفاده می‌شود.



شکل ۴: شناسایی موقعیت چشم ها با استفاده از الگوریتم شناسایی لکه

۳-۴- استخراج ویژگی‌ها

در سیستم پیشنهادی ویژگی‌های درصد بسته بودن چشم‌ها (PERCLOSE) و میانگین مدت‌زمان بسته بودن چشم (ECD) جهت تشخیص خواب‌آلودگی استفاده شده است. معادله مربوط به PERCLOSE در (رابطه ۱) و معادله مربوط به ECD در (رابطه۲) آورده شده است. دلیل انتخاب همزمان این دو ویژگی، تفاوت در پلک زدن افراد مختلف در هنگام خواب‌آلودگی می‌باشد که با ترکیب این دو ویژگی می‌توان خواب‌آلودگی را در اشخاص مختلف تشخیص داد. جزییات بیشتر در [۱۱] ارائه شده است.

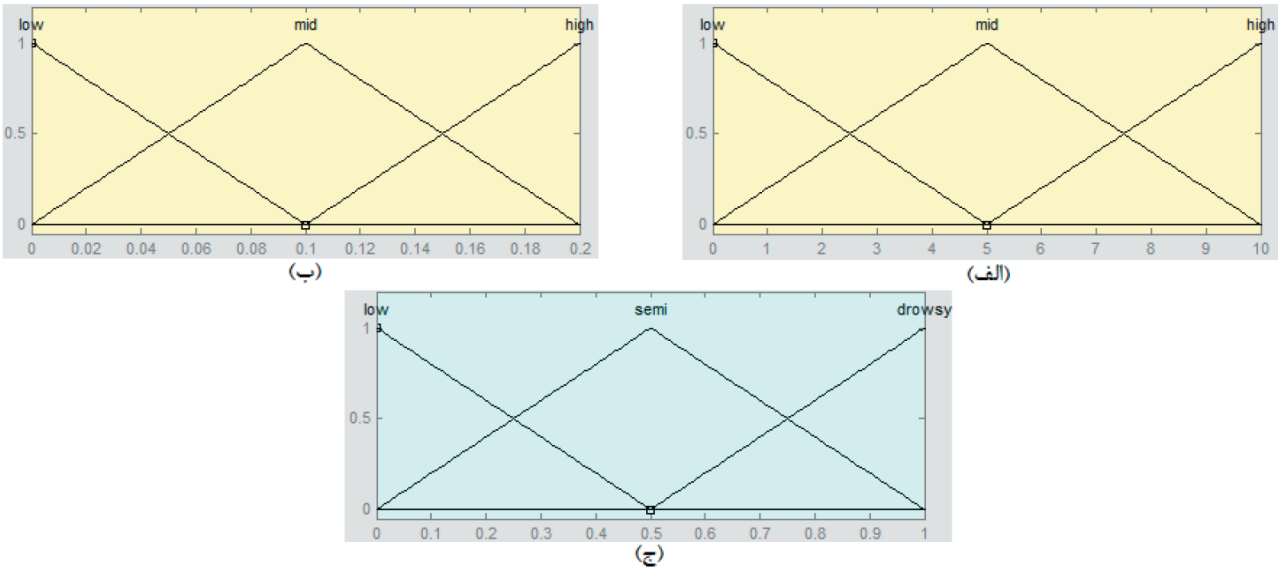
$$PERCLOS = \frac{\sum_{i=1}^{n} Blink\,[i]}{n} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$$ECD = \frac{\sum_{i=1}^{p} DurationOf\text{closure}[i]}{p} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این روابط، متغیرهای $DurationOf\text{closure}$ نشان دهنده آرایه وضعیت چشم (چشم بسته برابر با ۱ و چشم باز برابر با ۰ می‌باشد) و تعداد فریم هر دوره بسته بودن چشم و i اندیس می‌باشند. P و n نیز به ترتیب تعداد دوره‌های بسته بودن چشم و تعداد کل فریم‌ها را نشان می‌دهند. در صورتی که پارامترهای PERCLOSE و ECD را به صورت جداگانه جهت تشخیص خواب‌آلودگی در نظر بگیریم. هنگامی که اعداد پارامترهای PERCLOSE و ECD به ترتیب از اعداد ۰.۲ و ۱۰ بیشتر شوند می‌توان شخص را به عنوان شخصی خواب‌آلوده در نظر گرفت.

۳-۵- تشخیص خواب‌آلودگی با منطق فازی

با استفاده از روش منطق فازی می‌توان میزان خواب‌آلودگی راننده را تخمین زد. ورودی‌های این روش PERCLOSE و ECD و خروجی آن میزان خواب‌آلودگی می‌باشد. با استفاده از میزان خواب‌آلودگی می‌توان واکنش مناسب هنگام بروز خواب‌آلودگی انجام پذیرد. در شکل ۵ می توانید ورودی‌های و خروجی سیستم فازی و همچنین در شکل ۶ قواعد[1] سیستم فازی پیشنهادی مشاهده نمایید.



شکل ۵: الف) ورودی سیستم فازی (ECD) ب) ورودی سیستم فازی (PERCLOSE) ج) خروجی سیستم فازی

1- Rule

1. If (Perclos is low) and (ECD is low) then (drowsy is low)
2. If (Perclos is low) and (ECD is mid) then (drowsy is low)
3. If (Perclos is low) and (ECD is high) then (drowsy is low)
4. If (Perclos is mid) and (ECD is low) then (drowsy is low)
5. If (Perclos is high) and (ECD is low) then (drowsy is low)
6. If (Perclos is mid) and (ECD is mid) then (drowsy is semi)
7. If (Perclos is mid) and (ECD is high) then (drowsy is drowsy)
8. If (Perclos is high) and (ECD is mid) then (drowsy is drowsy)
9. If (Perclos is high) and (ECD is high) then (drowsy is drowsy)

شکل ۶: قواعد سیستم فازی پیشنهادی

۴- شبیه‌سازی و نتایج

جهت پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی، از زبان برنامه‌نویسی C++ و چهارچوب OpenCV جهت پیاده‌سازی الگوریتم‌های پردازش تصویر استفاده شده است. کلیه پیاده‌سازی‌ها بر روی سیستمی با مشخصات corei۵ با ۴ گیگابایت حافظه موقت آزمایش‌شده است. دوربین مورد نظر دوربین ۵ مگاپیکسلی گوشی موبایل می‌باشد.

میزان تشخیص چشم در سیستم پیشنهادی را می‌توانید در جدول ۱ مشاهده نمایید. در این جدول، دو نوع دقت وجود دارد. دقت نوع اول درصد چشم‌هایی هستند که چشم شناسایی شده‌اند و دقت نوع دوم درصد غیرچشم‌هایی هستند که غیرچشم شناسایی شده‌اند.

دقت نوع اول	٪۹۵/۵۳
دقت نوع دوم	٪۹۲/۹۶

جدول ۱: دقت شناسایی چشم

در جدول ۲، میزان دقت تشخیص چشم باز و بسته را می‌توانید مشاهده نمایید. در این جدول، همانند جدول ۱ دو نوع دقت در نظر گرفته شده است. دقت نوع اول درصد چشم‌های باز که باز شناسایی شده‌اند و دقت نوع دوم درصد چسم‌های بسته که سیستم بسته شناسایی کرده است.

دقت نوع اول	٪۹۶/۴۳
دقت نوع دوم	٪۹۴/۱۲

جدول ۲: دقت شناسایی وضعیت چشم

در این سیستم تنها با شناسایی یک چشم می‌تواند به کار خود ادامه دهد و خواب‌آلودگی را تشخیص دهد. به همین دلیل در آزمایشی که بر روی فیلم هایی با مشخصات درج شده در جدول ۳ میزان شناسایی چشم در آن‌ها را مورد بررسی قرار دادیم. با توجه موارد گفته شده، درصورت چرخش سر، گرفته شدن یکی از چشم‌ها و ... سیستم قادر به ادامه کار می‌باشد. جدول ۴، درصد تعداد چشم‌های شناسایی‌شده توسط سیستم را نشان می‌دهد.

	تعداد فریم	مشخصات
فیلم 1	۶۶۷	با عینک و دوربین در راستای صورت
فیلم 2	۶۷۵	بدون عینک و دوربین در راستای صورت
فیلم 3	۷۵۶	بدون عینک و دوربین در راستای صورت
فیلم 4	۶۴۸	بدون عینک و دوربین در راستای صورت

جدول ۳: فیلم های مورد آزمایش

	نوع الگوریتم	عدم شناسایی چشم	شناسایی چشم
فیلم ۱	تنها الگوریتم ادابوست	٪۴۳/۰۲	٪۵۶/۹۸
فیلم ۱	ادابوست و تطبیق الگو وفقی	٪۱۶/۴۹	٪۸۳/۵۱
فیلم ۱	هر سه الگوریتم	٪۰۸/۳۹	٪۹۱/۶۱
فیلم ۲	تنها الگوریتم ادابوست	٪۰۳/۱۱	٪۹۶/۸۹
فیلم ۲	ادابوست و تطبیق الگو وفقی	٪۰۰/۰۰	٪۱۰۰
فیلم ۲	هر سه الگوریتم	٪۰۰/۰۰	٪۱۰۰۰
فیلم ۳	تنها الگوریتم ادابوست	٪۰۴/۹۲	٪۹۵/۰۸
فیلم ۳	ادابوست و تطبیق الگو وفقی	٪۰۷/۵۴	٪۹۲/۴۶
فیلم ۳	هر سه الگوریتم	٪۰۲/۶۵	٪۹۷/۳۵
فیلم ۴	تنها الگوریتم ادابوست	٪۹۷/۹۹	۲/۰۱
فیلم ۴	ادابوست و تطبیق الگو وفقی	٪۵۶/۶۴	٪۴۳/۳۶
فیلم ۴	هر سه الگوریتم	٪۱۱/۸۸	٪۸۸/۱۲
میانگین	**تنها الگوریتم ادابوست**	٪۳۷/۲۶	٪۶۲/۷۴
میانگین	**ادابوست و تطبیق الگو وفقی**	٪۲۰/۱۷	٪۷۳/۸۳
میانگین	**هر سه الگوریتم**	٪۰۵/۷۳	٪۹۴/۲۷

جدول ۴: چشم‌های شناسایی‌شده

با توجه به دقت شناسایی چشم می‌توان نتیجه گرفت که این سیستم، سیستمی کارا و مفید جهت تشخیص بموقع خواب‌آلودگی راننده است و می‌تواند در صورت استفاده باعث کاهش آمار تصادفات جاده‌ای شود.

با توجه به الگو پلک زدن افراد مختلف، استفاده از تنها یک پارامتر، می‌تواند عملی پر خطا برای این سیستم باشد؛ بنابراین ما سیستم فازی را جهت ترکیب معنادار این دو پارامتر انتخاب نموده‌ایم.

۵- مراجع

1- Sigari, M. H., Fathy, M., & Soryani, M. (2013). A driver face monitoring system for fatigue and distraction detection. International journal of vehicular technology, 2013.

2- Ji, Q., Yang, X. (2002). Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance. Real-Time Imaging, 8(5), 357-377.Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (Vol. 1, pp. I-511). IEEE.

3- Jo, J., Lee, S. J., Jung, H. G., Park, K. R., & Kim, J. (2011). A vision-based method for detecting driver's drowsiness and distraction in driver monitoring system. Optical Engineering, 50, 127202-1–127202-24.

4- Wierwille, W. W., Ellsworth, L. A., Wreggit, S. S., Fairbanks, R. J., & Kim, C. L. (1994).Research on vehicle-based driver status/performance monitoring:development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver

5- D'Orazio, T., Leo, M., Guaragnella, C., & Distante, A. (2007). A visual approach for driver inattention detection. Pattern Recognition, 40(8), 2341-2355.

6- Viola, P., Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001.

7- Wei, S. D., & Lai, S. H. (2008). Fast template matching based on normalized cross correlation with adaptive multilevel winner update. Image Processing, IEEE Transactions on, 17(11), 2227-2235.

8- Vapnik, V. (1999). An overview of statistical learning theory.IEEE Transactions on Neural Networks, 10(5), 988–999.

9- Jain, R., Kasturi, R., & Schunck, B. G. (1995). Machine vision (Vol. 5). New York: McGraw-Hill.

10- Turk, M., & Pentland, A. (1991). Eigenfaces for recognition.Journal Cognitive Neuroscience, 3, 71–86

11- Jo, J., Lee, S. J., Park, K. R., Kim, I. J., & Kim, J. (2014). Detecting driver drowsiness using feature-level fusion and user-specific classification. Expert Systems with Applications, 41(4), 1139-1152.

12- Hsu, C. W., Chang, C. C., & Lin, C. J. (2003). A practical guide to support vector classification.

۱۳- مطالعات مدیریت ترافیک، ۱۳۸۸، بررسی روش‌های هوشمند تشخیص خواب آلودگی راننده، ۱۵، ۸۷-۱۰۲