Arch

سیستم هوشمند سلامت راننده بر اساس اینترنت چیزها

حسین عباسی[۱]، محبوبه شکاری[۱]، مریم سلیمی مفرد[۲]

۱-دکتری سیستمهای کامپیوتری،دانشگاه آزاد اهرم

۲-دکتری زبانشناسی همگانی،دانشگاه پیام نوراهرم

۳-کارشناسی ارشد تاریخ ،گرایش مطالعات خلیج فارس،دانشگاه ملی خلیج فارس بوشهر

چکیده

هر ساله تصادفات رانندگی زیادی به دلیل خواب‌آلودگی و عدم تمرکز حواس راننده در سراسر دنیا رخ می‌دهد که خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به همراه دارند. یکی از روش‌های تشخیص خستگی و عدم تمرکز حواس، استفاده از سیستم‌های نظارت چهره راننده است. سیستم‌های نظارت چهره راننده با دریافت تصاویر از دوربین و پردازش آنها، نشانه‌های خواب‌آلودگی و عدم تمرکز حواس را از چشم، سر و چهره استخراج می‌کنند. در این مقاله یک سیستم نظارت چهره راننده طراحی شده است که با استخراج نشانه‌های خستگی و عدم تمرکز حواس از ناحیه چشم و چهره، کاهش هوشیاری راننده را تخمین می‌زند. در این سیستم چهار ویژگی شامل درصد بسته بودن چشم (PERCLOS)، نرخ پلک زدن، کاهش فاصله بین پلک‌ها و میزان چرخش سر استخراج می‌شود. سه ویژگی اول مربوط به نشانه‌های بروز خستگی و عدم تمرکز حواس در ناحیه چشم و ویژگی آخر مربوط به نشانه‌های کاهش هوشیاری در ناحیه چهره و سر می‌باشد. ویژگی‌های ناحیه چشم بر اساس تغییرات پروجکشن افقی ناحیه چشم و ویژگی‌های ناحیه چهره بر اساس بررسی قالب چهره استخراج می‌گردد. سپس این ویژگی‌ها توسط یک سیستم خبره فازی مورد پردازش قرار می‌گیرد تا میزان خستگی و عدم تمرکز حواس راننده تخمین‌زده شود. تصویربرداری سیستم پیشنهادی در طیف مرئی و با دوربین سطح خاکستری انجام شده است. نتایج آزمایش‌ها بر روی فیلم‌های تهیه شده در محیط واقعی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دقت بسیار خوبی در استخراج ویژگی و تشخیص کاهش هوشیاری راننده دارد. از لحاظ سرعت اجرای الگوریتم، سرعت سیستم پیشنهادی حدود ۵ فریم در ثانیه می‌باشد که می‌توان آن را سیستم بلادرنگ محسوب کرد. **کلمات کلیدی:**نظارت چهره راننده، تشخیص خستگی، تشخیص خواب آلودگی، تشخیص عدم تمرکز حواس، پیشگیری از تصادف.

www.SID.ir

۱- ۱مقدمه

امروزه با توجه به انبوه سوانح و تصادفات جاده ای، خودروسازان تأکید و اشاره بر به کارگیری و استفاده از فناوری سیستم های کنترلی و نوآوری هایی در زمینه طراحی و تولید قطعات و تجهیزات هوشمند و الکترونیکی خودرو را سرلوحه خود قرار داده اند. (ورمزیار و همکاران 1391)زیرا پیاده سازی و اجرای سیستم های هوشمند قابل نصب بر روی خودرو، یکی از راهکارهای فروش خودروسازان بزرگ و مطرح جهت جلب اعتماد و کسب رضایت خریداران و ایجاد انگیزه خرید در بین آنها می باشد. همچنین القای حس آرامش و آسایش بهتر در نظر مصرف کننده، سیستم فرمان هوشمند خودرو با اجرای کنترل، نظارت و پایش خودرو، راننده و سرنشین ها و توجه به افزایش ضریب حفظ سلامتی، ایمنی و امنیت سرنشینان خودرو می تواند جهت تحقق این اهداف نقش موثری ایفا کند.همواره ساخت تجهیزات این سیستم های هوشمند با استفاده از پردازنده های مختلف همچون میکرو پروسسورها، میکروکنترلرهای AVR ،Fpga و با بهره گیری از استانداردها و پروتکل های ارتباطی نظیر GSM، TCP/IP، ZigBee ، IR، GPRS، RFID، NFC، WiFi و غیره صورت می گیرد. .(Wroblewski & Miesterfeld, 1988) تا کنون به منظور ساخت دستگاه هوشمندسازی وسایل نقلیه اقداماتی صورت گرفته است اما هیچکدام به صورت ویژه و اختصاصی به موضوع سلامت راننده در حین رانندگی نپرداخته اند. (Martinz et al 2013)

لذا در این پژوهش ما به منظور کاهش تلفات و سوانح جاده ای، به معرفی سیستم هوشمندی متشکل از شبکه سنسورهای ZigBee و سیستم خبره فازی جهت کنترل سلامت راننده پرداخته ایم. این سیستم هوشمند به وسیله پروتکل های ارتباطی و تعریف برنامه ها، الگوها و الگوریتم های هوش مصنوعی در حافظه خود می تواند به اجرا و ترویج فرهنگ صحیح رانندگی در سطح شهرها و جلوگیری از تصادفات و کاهش حجم ترافیک در کلان شهرها کمک شایانی نماید. جهت عنوان و معرفی بخشی از این الگوها و الگوریتم های هوشمند می توان به نظارت بر وضعیت سلامت راننده، کنترل سرعت در بزرگراه و آزادراه ها، ترویج رانندگی در بین خطوط سفید و غیره اشاره نمود که نظارت دقیق و مستمر بر آن یکی از معضلات و چالش هایی است که تمام کلان شهرها در سال های اخیر به نوعی با آن دست به گریبان و مواجه اند.

www.SID.ir

2-1 اهداف تحقیق

استفاده از سیستم سلامت هوشمند راننده باعث افزایش امنیت و حفظ سلامت رانندگان و سایر سرنشینان خودروهای شخصی و عمومی می گردد و با نظارت و کنترل بر وضعیت سلامت راننده و ممانعت از به خواب رفتن وی، احتمال وقوع تصادفات تا حد چشمگیری کاهش می یابد. همچنین موجب اطمینان خاطر بیشتر برای شرکت های مسافربری و تاکسی رانی گردیده و شهروندان نیز می توانند امنیت بیشتری را برای خود در هنگام رانندگی تامین نمایند. به طور کلی اجرایی شدن این طرح می تواند مورد استفاده و بهره وری شرکت های مسافربری، تاکسی رانی، ترمینال ها، شهرداری ها، شرکت های تبلیغاتی، شرکت های خصوصی، شهروندان و سایر علاقمندان و پژوهشگران در این حوزه قرار گیرد.

3-1 فرضیه های تحقیق

به منظور عملیاتی ساختن مدل پیشنهادی این پژوهش فرضیاتی در نظر گرفته شده ات که این فرضیات عبارتند از:

- استفاده از تکنولوژی ZigBee و نصب دستگاه هوشمند سلامت راننده در خودروها جهت جلوگیری از سوانح و تصادفات.
- استفاده از دوربین ها و سنسورهای هوشمند که جهت کنترل وضعیت خواب و بیداری راننده تعبیه شده است.
- استفاده از تکنولوژی ZigBee جهت بهره مندی از خدمات خودرو هوشمند.
- امکان ارسال داده ها به مرکز و دریافت اطلاعات در زمان دقیق و با سرعت بالا.
- کمک به حفظ سلامت و افزایش امنیت رانندگان توسط سیستم کنترل هوشمند سلامت راننده.
- با ترکیب تکنولوژی ZigBee و سیستم خبره فازی می توان علائم حیاتی و وضعیت هوشیاری وی در هنگام رانندگی را رصد کرد.
- قابل کاربرد ویژه برای شرکت های تاکسی رانی، مسافربری و ترمینال ها جهت بهبود کیفیت خدمات رسانی به شهروندان.

www.SID.ir

۲-۱ ضرورت سیستم‌های نظارت چهره راننده

بیشترین عامل موثر در سوانح رانندگی و تصادفات، خصوصا در جاده‌های بین شهری، خستگی، خواب‌آلودگی و عدم تمرکز حواس راننده است. خستگی و خواب‌آلودگی باعث کاهش درک و قدرت تصمیم‌گیری راننده برای کنترل خودرو می‌شود. (احدی و همکاران ۱۳۸۴) طبق نظر برخی محققان معمولا به طور طبیعی، پس از یک ساعت رانندگی، راننده دچار خستگی می‌شود. اما در ساعات ابتدایی بعد از ظهر، بعد از نهار و همچنین در نیمه شب، راننده در مدت زمان بسیار کمتر از یک ساعت احساس خواب‌آلودگی می‌کند. البته علاوه بر دلایل طبیعی، گاهی اوقات مصرف الکل، مواد مخدر و داروهایی که منجر به کاهش هوشیاری می‌شوند نیز در خواب‌آلودگی راننده موثر است. اغلب تصادفاتی که علت اصلی آن خستگی یا عدم تمرکز راننده اعلام می‌شود، در جاده‌های بین شهری و برای خودروهای سنگین رخ می‌دهد. اکثر این تصادفات در حدود ساعت ۶-۲ یا ۱۶-۱۵ به وقوع می‌پیوندد(حجتی و همکاران ۱۳۹۵.) در کشورهای مختلف آمار متفاوتی درباره سوانحی که به علت خستگی و عدم تمرکز حواس راننده رخ می‌دهد، ارائه شده اما درواقع علت اصلی حدود ۳۰٪ از تصادفات منجر به مرگ، عدم تمرکز حواس و خواب‌آلودگی راننده می باشد. در تصادفات تک خودرو و تصادفات خودروهای سنگین این رقم تا ۵۰٪ گزارش شده است.(Alam., & McNabola,2014)

3-2پژوهش های صورت گرفته در حوزه ردیابی چهره

www.SID.ir

در تمام سیستم‌های نظارت چهره راننده، پس از آشکارسازی چهره، ردیابی آن انجام می‌گیرد. ردیابی چهره به جای آشکارسازی آن در فریم‌های متوالی باعث کاهش حجم محاسبات و در نتیجه افزایش سرعت تصمیم گیری سیستم خواهد شد و معمولا پس از آشکارسازی اولیه چهره، در فریم‌های بعد عملیات ردیابی چهره انجام می‌گیرد. ردیابی با فرض محدود بودن جابجایی چهره در دو فریم متوالی، به جای تمام تصویر تنها بخش محدودی از آن را جستجو می‌کند. تقریبا در تمام روش‌های ردیابی، محدودیت‌هایی برای ردیابی شی هدف در نظر گرفته می‌شود تا ردیابی با دقت و سرعت بیشتری انجام پذیرد. یکی از رایج‌ترین محدودیت‌های اعمال شده، ثابت بودن سرعت حرکت جسم یا مفروض بودن شکل هندسی یا ظاهری شی هدف است (Burkart,2017)

ردیابی چهره شامل دو مرحله اصلی است: تخمین حرکت و تطابق. دو روش عمده که معمولا در تخمین حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از پنجره جستجو و فیلترهای تطبیقی. در مرحله تطابق نیز معمولا از سه معیار ضریب همبستگی، مجموع قدرمطلق تفاضل (SAD) و مجموع مربعات تفاضل (SSD) استفاده می‌شود.

2-3-1 تخمین حرکت

مرحله تخمین حرکت اولین گام برای ردیابی یک شی متحرک می‌باشد و عبارتست از تخمین موقعیت فعلی شی متحرک بر اساس موقعیت آن در فریم‌های قبلی. ساده‌ترین روش برای تخمین حرکت، تعریف یک پنجره جستجو در اطراف موقعیت قبلی شی هدف است. در این روش فقط از مکان شی متحرک در فریم قبل برای تخمین مکان فعلی آن استفاده می‌گردد. هر چه اندازه پنجره بزرگتر باشد، دقت تخمین بیشتر خواهد شد. اما افزایش اندازه پنجره باعث افزایش حجم محاسبات در مرحله تطابق شده و سرعت ردیابی را می‌کاهد.انواع پنجره جستجو و ارزیابی آنها در ارائه شده است. روش پنجره جستجو در برای ردیابی استفاده شده است.(Maan,1996)

2-3-2 تطابق

مهمترین روش‌های مورد استفاده برای محاسبه تطابق، ضریب همبستگی، مجموع قدرمطلق تفاضل (SAD) و مجموع مربعات تفاضل (SSD) است. ضریب همبستگی بین قالب T و پنجره W با فرض این که هر کدام شامل N پیکسل باشند، از رابطه ۰ محاسبه می‌شود. به ضریب همبستگی مقدار همبستگی متقابل نیز گفته می‌شود. این مقدار همواره در بازه [-1,1] قرار دارد.

www.SID.ir

$$Corr = \frac{Cov(W,T)}{\sqrt{Var(W).Var(T)}} = \frac{N\sum_{i=1}^{N} W_i T_i - \left(\sum_{i=1}^{N} W_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N} T_i\right)}{\sqrt{\left[N\sum_{i=1}^{N} W_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} W_i\right)^2\right]\left[N\sum_{i=1}^{N} T_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} T_i\right)^2\right]}}$$

محاسبه ضریب همبستگی پیچیدگی محاسباتی زیادی دارد، به همین دلیل برخی اوقات برای کاهش حجم محاسبات، از مجموع قدرمطلق تفاضل (SAD) (رابطه ۰) استفاده می‌شود. در واقع SAD فاصله بین قالب و پنجره‌ای از تصویر را محاسبه می‌کند. هرچه مقدار SAD کمتر و نزدیک به صفر باشد، شباهت آن قسمت از تصویر به قالب بیشتر است.

$$SAD = \sum_{i=1}^{N} |T_i - W_i|$$

استفاده از مجموع مربعات تفاضل (SSD) نیز برای محاسبه میزان شباهت قالب و پنجره جستجو رایج است. دقت روش SSD برای محاسبه میزان تطابق بیشتر از روش SAD می‌باشد. مقدار SSD از رابطه ۰ قابل محاسبه است. [۱۷] [۱۹]

$$SSD = \sum_{i=1}^{N} (T_i - W_i)^2$$

4-2 نمونه پژوهش های صورت گرفته در حوزه شناخت علائم کاهش هوشیاری

در سیستم‌های نظارت چهره راننده، ویژگی‌های مفید برای تشخیص خستگی و عدم تمرکز حواس به سه دسته کلی قابل تقسیم است:

- ویژگی‌های ناحیه چشم
- ویژگی‌های ناحیه دهان
- ویژگی‌های ناحیه چهره و سر

1-4-2 ویژگی‌های ناحیه چشم

www.SID.ir

چشم مهمترین عضو چهره است که نشانه‌های خستگی و عدم تمرکز حواس در آن ظهور پیدا می‌کند. به همین دلیل بسیاری از سیستم‌های نظارت چهره راننده فقط بر اساس ویژگی‌های استخراج شده از ناحیه چشم، خستگی و عدم تمرکز حواس راننده را تشخیص می‌دهند. (Deiser, 2009)

- بسته بودن چشم ها

ساده‌ترین ویژگی برای تشخیص خواب‌آلودگی، بسته بودن چشم‌ها است. این ویژگی، در عین سادگی اطلاعات بسیار مفیدی در مورد خواب‌آلودگی و حتی بیهوشی راننده در اختیار سیستم قرار می دهد. ویژگی بسته‌بودن چشم به دو شکل مختلف برای تشخیص خواب‌آلودگی قابل استفاده است: بسته بودن ممتد چشم و درصد بسته بودن چشم در یک مدت معین. در روش بسته بودن ممتد چشم، اگر چشم برای یک مدت معین به طور ممتد بسته باشد، خواب‌آلودگی تشخیص داده می‌شود. این روش کارایی خوبی ندارد و چندان قابل اطمینان نیست. زیرا خواب‌آلودگی راننده تنها زمانی مشخص می‌شود که چشم‌های او برای مدت معینی کاملا بسته شده باشد. این ویژگی در مورد استفاده قرار گرفته است.

Grace و همکارانش با استفاده از نورپردازی و تصویربرداری در طیف مادون قرمز و به کمک خاصیت بازتابش نور مادون قرمز از مردمک چشم، مکان چشم را تشخیص داده و از همین طریق بسته یا باز بودن آن را مشخص می‌کنند. در این روش اگر درصد بسته بودن چشم در بازه زمانی ۱ دقیقه بیشتر از ۸۰٪ باشد، سیستم اعلام هشدار می‌کند. تشخیص خواب‌آلودگی در بر اساس بسته بودن چشم در ۵ ثانیه متوالی صورت می‌گیرد. در این سیستم پس از تعیین ناحیه چشم، با استفاده از عملگر Prewitt لبه‌های تصویر استخراج شده و دوسطحی می‌شود. هنگامی‌که چشم بسته باشد، تنها لبه پلک‌ها آشکارسازی می‌شود، اما در صورت باز بودن چشم، علاوه بر پلک‌ها، حدقه و عنبیه چشم نیز لبه‌های قابل توجه دارند. پس انتظار می‌رود در صورت بازبودن چشم، پیکسل‌های لبه در نواحی اطراف چشم بیشتر باشد. به این ترتیب باز یا بسته بودن چشم مشخص می‌گردد. در پژوهش دیگری برای تشخیص بسته بودن چشم از بررسی اندازه مردمک چشم استفاده شده است. در این روش مردمک چشم بر اساس نوعی نورپردازی طیف مادون قرمز آشکارسازی می‌شود. اگر اندازه مردمک چشم کمتر از ۳۰٪ اندازه واقعی خود شود، چشم بسته تشخیص داده خواهد شد. سپس مقدار PERCLOS در ۳۰ ثانیه اخیر و مدت زمان بسته بودن ممتد چشم برای تخمین میزان خستگی راننده محاسبه می‌شود. (Chen et al 2008)

- فاصله بین پلک‌ها

www.SID.ir

برای تشخیص خواب‌آلودگی از فاصله بین دو پلک استفاده شده است. در حالتی که راننده بیدار باشد، فاصله بین دو پلک زیاد است، اما با افزایش خستگی، فاصله بین دو پلک کم می‌شود. در این روش، فاصله بین دو پلک بر اساس پروجکشن افقی چشم محاسبه می‌گردد.(barket ,1996)

- سرعت پلک‌زدن

یکی دیگر از ویژگی‌های خستگی، کاهش سرعت پلک‌زدن است. منظور از سرعت پلک‌زدن، زمان بین باز و بسته شدن پلک‌ها در یک پلک‌زدن است. دربرخی پژوهش های صورت گرفته از این ویژگی برای تشخیص خستگی استفاده شده است. در صورتی که مدت زمان پلک‌زدن بیشتر از یک حد آستانه (حدود ۰/۵-۰/۸ ثانیه) اندازه‌گیری شود، خواب‌آلودگی راننده تشخیص داده می‌شود.(کهزادی ,۱۳۹۷)

- جهت نگاه چشم

جهت نگاه چشم ویژگی موثری در تعیین عدم تمرکز حواس راننده است. با استفاده از این ویژگی، علاوه بر تشخیص عدم توجه راننده به جاده، می‌توان تصمیم راننده برای سبقت گرفتن یا تغییر مسیر را تشخیص داد. بر اساس تحقیقات نشان داده شده است که راننده به هنگام سبقت‌گرفتن، دائم جهت نگاه خود را از مسیر مبدا به مسیر مقصد و بالعکس تغییر می‌دهد. این ویژگی در براساس خاصیت بازتابشی چشم در طیف مادون قرمز استخراج شده و برای تشخیص عدم تمرکز حواس راننده مورد استفاده قرار گرفته است.

- حرکات جهشی چشم

یکی از ویژگی‌های قابل استخراج از جهت نگاه چشم، نرخ حرکات جهشی و نامنظم چشم است. هنگامی‌که راننده هوشیاری عادی دارد، هر چند وقت یک بار محیط اطراف خود را بازبینی سریع می‌کند. این بازبینی سریع همراه با حرکات سریع جهشی و نامنظم است. Bergasa و همکارانش نیز از همین ویژگی تحت عنوان «نگاه ثابت» برای تعیین میزان هوشیاری استفاده کرده‌اند. در واقع ثابت بودن جهت نگاه به مدت طولانی، نشانه عدم تمرکز حواس راننده است. (Lee &chung,2015)

2-4-2 ویژگی‌های دهان

www.SID.ir

Arch

خمیازه کشیدن یکی از نشانه‌های خستگی می‌باشد که همراه با بازشدن دهان است. همچنین صحبت‌کردن راننده به هنگام رانندگی می‌تواند از نشانه‌های کاهش تمرکز حواس باشد. از جمله مهمترین روش‌های تشخیص باز بودن دهان، محاسبه نسبت عرض به ارتفاع دهان ، محاسبه ضرایب موجک Gabor در نقاط گوشه دهان و استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM)

3-4-2 ویژگی‌های سر

از مهمترین ویژگی‌های مربوط به ناحیه سر می‌توان به افتادن سر، تعیین جهت سر و عدم تحرک سر اشاره کرد. در این بخش ویژگی‌های مربوط به ناحیه سر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

- افتادن سر

یکی از نشانه‌های خواب‌آلودگی در انسان افتادن سر است. در هنگام خواب‌آلودگی ماهیچه‌های گردن انقباض کامل ندارند و سر به تدریج خم می‌شود. این ویژگی یکی از نشانه‌های خواب‌آلودگی یا بیهوشی است و در سیستم‌های مختلف برای تشخیص خواب‌آلودگی مورد استفاده قرار گرفته است.

- جهت سر

تعیین جهت سر در تشخیص عدم تمرکز حواس راننده و پیش‌بینی قصد او برای تغییر مسیر موثر است. در حالت کلی، تعیین جهت سر نیاز به مدل سه بعدی از سر دارد. استفاده از بینایی استریو علاوه بر افزایش شدید حجم محاسبات، باعث افزایش قیمت تمام شده سیستم می‌شود. تاکنون در سیستم‌های نظارت چهره راننده از بینایی استریو برای این منظور استفاده نشده است، بلکه روش‌هایی ارائه شده که بدون نیاز به بینایی استریو، مدل سه بعدی چهره و جهت سر تعیین می‌شود. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به تشخیص جهت سر با استفاده از مکان هندسی چشم‌ها، بینی و دهان نسبت به یکدیگر و یا استفاده از تغییر شکل هندسی مردمک چشم اشاره کرد.(zheng et al, 2010)

- عدم تحرک سر

عدم تحرک سر برای یک مدت طولانی نشان از عدم تمرکز حواس راننده دارد. هنگامی‌که راننده بر روی موضوعی غیر از رانندگی تمرکز می‌کند، تحرک سر وی کم شده و تقریبا ثابت خواهد شد. این ویژگی به عنوان یکی از ویژگی‌های تشخیص عدم تمرکز راننده در پژوهش های برخی محققان مورد استفاده قرار گرفته است.

www.SID.ir

3-5پیکربندی کلی سیستم پیشنهادی

سیستم پیشنهادی این پژوهش نیز مانند سایر سیستم‌های نظارت چهره راننده از سه بخش اصلی تشکیل می شود:

- نورپردازی و تصویربرداری
- سخت‌افزار و پردازنده
- نرم‌افزار هوشمند

اگرچه تمامی بخش‌های یک سیستم نظارت چهره راننده نقش مهم و موثری در عملکرد و کارایی سیستم دارند، اما تمرکز اصلی این پایان‌نامه بر روی قسمت نرم‌افزار هوشمند است. زیرا مهمترین بخش سیستم نظارت چهره راننده، نرم‌افزار هوشمند آن است که شامل الگوریتم‌های پردازش تصویر و تصمیم‌گیری می‌باشد.

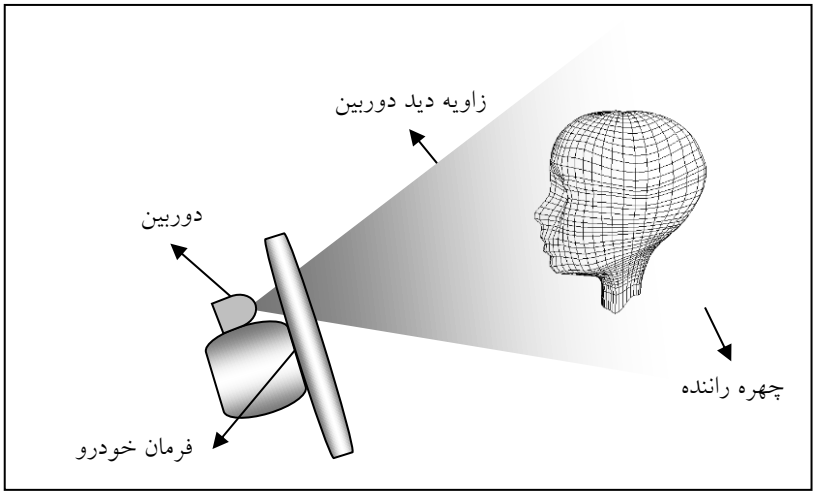
1-5-3 نورپردازی و تصویربرداری

نخستین بخش در یک سیستم نظارت چهره راننده، سیستم نورپردازی و تصویربرداری است. در این سیستم از نورپردازی طیف مرئی در شرایط مختلف نوری استفاده شده است و شرایط نوری برای تهیه فیلم در دو محیط آزمایشگاهی و محیط واقعی قرار می گیرد که میزان نور محیط متغیر است. تصویربرداری از طریق دوربین دیجیتال با حسگر CCD رنگی انجام شده است. ابعاد تصاویر دریافتی ۲۴۰×۳۲۰ و نرخ تصویربرداری ۲۵ فریم در ثانیه می‌باشد. برای انطباق بیشتر سیستم با شرایط واقعی، تصاویر رنگی به تصاویر سطح خاکستری ۲۵۶ سطحی تبدیل می‌شوند، زیرا یک سیستم واقعی باید در تمام شرایط نور، به ویژه شرایط نوری شب، عملکرد مناسبی داشته باشد. استفاده از تصاویر رنگی نیاز به نورپردازی مناسب در طیف مرئی دارد، اما به به دلیل این‌که نورپردازی چهره با استفاده از طیف مرئی در شب باعث ایجاد مزاحمت برای دید راننده می‌شود، استفاده از تصاویر رنگی مطلوب نیست. ضمن اینکه شباهت زیادی بین تصاویر سطح خاکستری و تصاویر طیف مادون قرمز نزدیک وجود دارد. این شباهت باعث می‌شود تا بتوان با تغییرات اندکی، الگوریتم‌های بینایی ماشین در تصاویر سطح خاکستری طیف مرئی را برای تصاویر طیف مادون قرمز نزدیک نیز به کار برد.

محل قرارگیری دوربین در خودرو نسبت به چهره راننده مطابق شکل ۳-۱ در بالای فرمان ماشین است. در اغلب سیستم‌های نظارت چهره راننده، مکانی مشابه این محل برای نصب دوربین پیشنهاد شده است.

www.SID.ir

Arch



شکل ۳-۱: محل قرارگیری دوربین در خودرو برای سیستم پیشنهادی

پس از ضبط تصاویر توسط دوربین دیجیتال، تصاویر از طریق کابل USB مربوط به دوربین بر روی کامپیوتر منتقل شده و آزمایش‌ها به صورت off-line برروی تصاویر انجام می گیرد.

3-5-2سخت‌افزار و پردازنده

در سیستم پیشنهادی این پژوهش از یک کامپیوتر شخصی به عنوان سخت‌افزار و پردازنده استفاده شده است. این کامپیوتر دارای یک پردازنده دوهسته‌ای Intel Core2Dou 2.66 GHz همراه با 2 GB حافظه است. در سیستم پیشنهادی از طریق سخت افزار تعبیه شده در خودرو به منظور ارسال داده هایی نظیر حالت راننده، علائم خستگی و خواب آلودگی وی، کاهش سطح هوشیاری، حمله های قلبی، سرعت غیر مجاز، از دست دادن کنترل فرمان، جلوگیری از بروز تصادف، ثبت و ارسال تمامی داده های راننده در حین رانندگی و ارسال به مرکز کنترل پلیس راهنمایی و رانندگی برای ثبت جریمه در هنگام بروز تخلف و همچنین تشخیص مقصر حادثه رانندگی می باشد و همچنین با توجه موقعیت جغرافیایی خودرو به نزدیک ترین اورژانس جاده ای برای کمک به سرنشینان خودرو استفاده شده است.

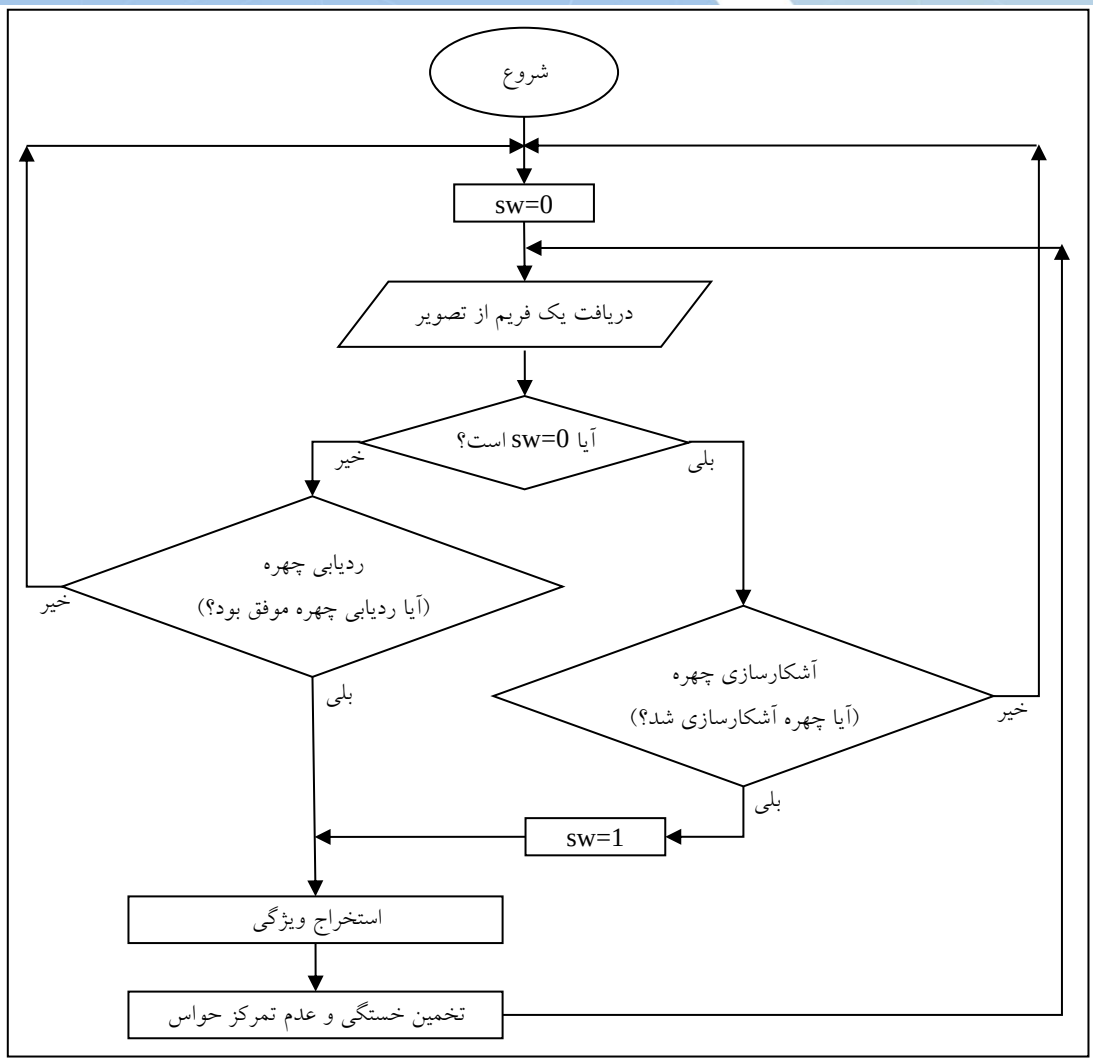
3-5-3 نرم‌افزار هوشمند

www.SID.ir

Arch

بخش سوم که شامل نرم‌افزار هوشمند است به دو قسمت قابل تقسیم است: الگوریتم‌های بینایی ماشین برای استخراج ویژگی و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری برای تشخیص وضعیت راننده. در بخش الگوریتم‌های بینایی ماشین، پس از دریافت تصاویر، ابتدا آشکارسازی چهره انجام می‌گیرد. سپس ویژگی‌های مفید جهت تشخیص کاهش هوشیاری شامل نشانه‌های خواب‌آلودگی و عدم تمرکز حواس از چهره استخراج می‌شود. زیربخش تصمیم‌گیری، ویژگی‌های استخراج شده از زیربخش بینایی ماشین را دریافت کرده و با پردازش آنها وضعیت هوشیاری راننده را تخمین می‌زند. برای کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت سیستم، به جای آشکارسازی چهره در هر فریم، از روش‌های ردیابی استفاده شده است. به این ترتیب، بعد از آشکارسازی چهره در فریم اول، در فریم‌های بعد مکان چهره ردیابی می‌گردد.

www.SID.ir



شکل ۳-۲ فلوچارت بخش نرم‌افزار هوشمند در سیستم پیشنهادی

6-3تشخیص کاهش ضریب هوشیاری

بهره گیری از قوانین ابتکاری و اعمال چند حد آستانه برای تصمیم‌گیری در مورد میزان خستگی و عدم تمرکز حواس راننده چندان مناسب نیست. اگرچه در این حالت، تصمیم‌گیری بسیار ساده خواهد شد، اما احتمال بروز خطا در این نوع سیستم‌ها بیشتر است. در سیستم پیشنهادی برای تشخیص کاهش هوشیاری راننده از سنسورهای ZigBee برای به وجود آوردن شبکه ای از سنسورهایی که با انحراف ماشین از خط جاده و یا تغییر حالات راننده مثل پایین افتادن سر، بسته شدن چشم ها، خمیازه

www.SID.ir

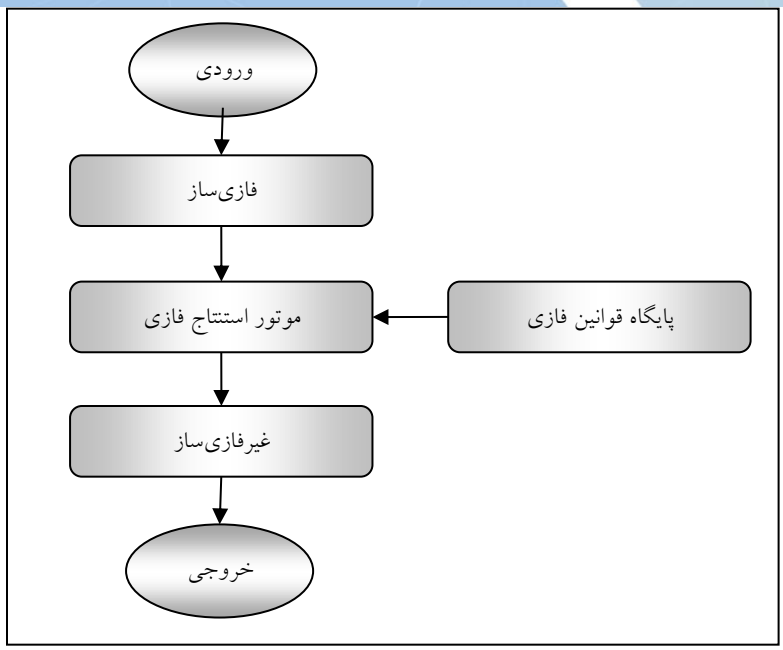
کشیدن، و حالات خواب آلودگی شبکه ای از داده ها را ایجاد کنیم که با ارسال آن به سرور مرکزی نسبت به تصمیم گیری سریع و به موقع و به صدا درآمدن آژیر به راننده هشدار دهد. همچنین در کنار این سنسورها از یک سیستم خبره فازی استفاده شده است، علت انتخاب سیستم خبره فازی به عنوان بخش تشخیص کاهش هوشیاری، استفاده از دانش بشری در قالب سیستم هوشمند و وجود عدم قطعیت در اطلاعات استخراج شده از تصاویر چهره و چشم است. سیستم‌های خبره فازی می‌توانند دانش بشری را به شکلی مناسب برای تصمیم‌گیری در مورد اطلاعات غیرقطعی استفاده کنند.

1-6-3 سیستم خبره فازی

یک سیستم خبره فازی شامل سه بخش اصلی است: فازی‌ساز داده‌های ورودی، موتور استنتاج فازی و غیرفازی‌ساز داده‌های خروجی. نمای کلی سیستم خبره فازی در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. انتخاب روش‌های فازی‌سازی و غیرفازی‌سازی معمولا با استفاده از روش آزمون و خطا و بر اساس نوع کاربرد و ماهیت داده‌های ورودی و خروجی تعیین می‌گردد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، موتور استنتاج فازی از یک پایگاه قوانین فازی استفاده می‌کند. این قوانین فازی، تعدادی قانون اگر-آنگاه می‌باشد که توسط فرد خبره تعیین می‌گردد. در واقع سیستم خبره فازی، هوشمندی خود را بر اساس قوانینی بدست می‌آورد که فرد خبره آنها را تعیین می‌کند. در قوانین فازی از متغیرهای زبانی استفاده می‌شود (Van Langenhove, 2007).

www.SID.ir

Arch



شکل ۳-۳: مدل کلی سیستم خبره فازی

این سیستم چهار ورودی و دو خروجی دارد. ورودی‌های سیستم خبره فازی عبارتند از: درصد بسته بودن چشم (PERCLOS)، نرخ پلک زدن (CLOSNO)، میزان تغییرات فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی (ELDC)، میانگین چرخش سر (ROT)

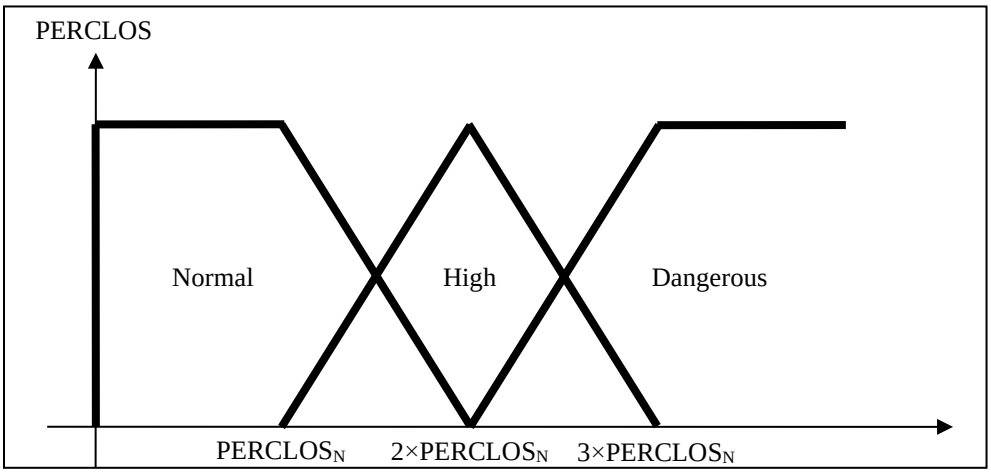
خروجی‌های سیستم عبارتند از: میزان خستگی و خواب‌آلودگی، میزان عدم تمرکز حواس.

فازی‌ساز سیستم خبره پیشنهادی فازی‌ساز منفرد است. در این روش در واقع فازی‌سازی انجام نمی‌گیرد، بلکه عدد قطعی ورودی بدون هیچ تغییری به موتور استنتاج داده می‌شود. استفاده از سایر روش‌های فازی‌سازی مانند توابع مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسی و ... باعث افزایش حجم محاسبات در بخش موتور استنتاج خواهد شد. برای هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم خبره فازی، باید چند مقدار فازی و توابع عضویت آنها به شکل مناسب تعیین گردد. برای ورودی درصد بسته بودن چشم (PERCLOS) توابع عضویت براساس مقدار طبیعی آن ($PERCLOS_N$) که در مرحله یادگیری محاسبه شد،

www.SID.ir

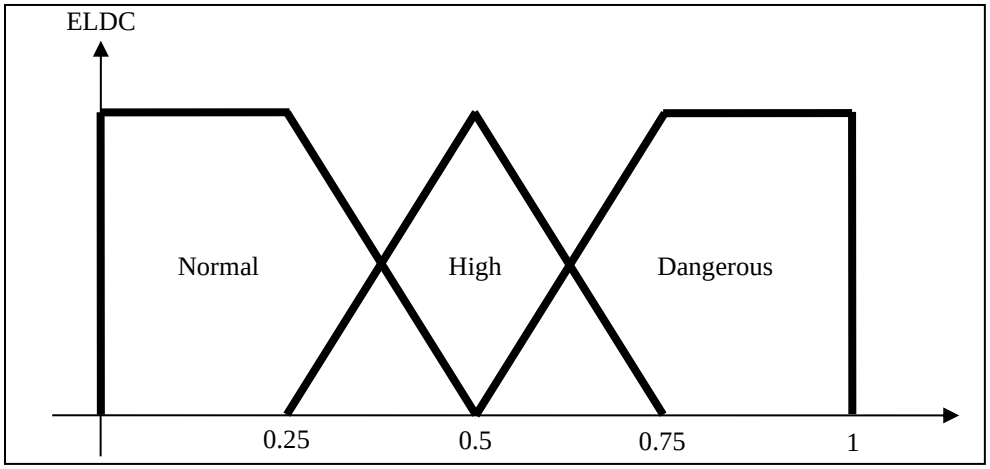
Arch

مطابق شکل ۳-۴ پیشنهاد شده است. برای ورودی نرخ پلک زدن (CLOSNO) نیز توابع عضویت براساس مقدار طبیعی آن ($CLOSNO_N$) مطابق شکل ۳-۵ استفاده شده است.



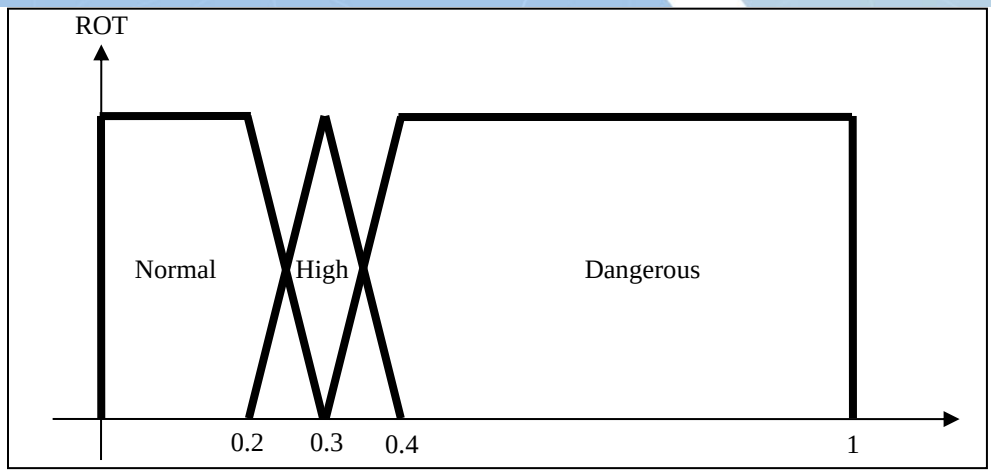
شکل ۳-۴: شکل توابع عضویت تعریف شده برای ورودی درصد بسته بودن چشم (PERCLOS)

مقادیر تغییرات فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی (ELDC) و میانگین چرخش سر (ROT) همواره در بازه [0,1] قرار دارند. بنابراین برای هر دوی این ورودی‌ها توابع عضویت در بازه [0,1] به ترتیب مطابق شکل ۳-۵ و شکل ۳-۶تعریف شد.



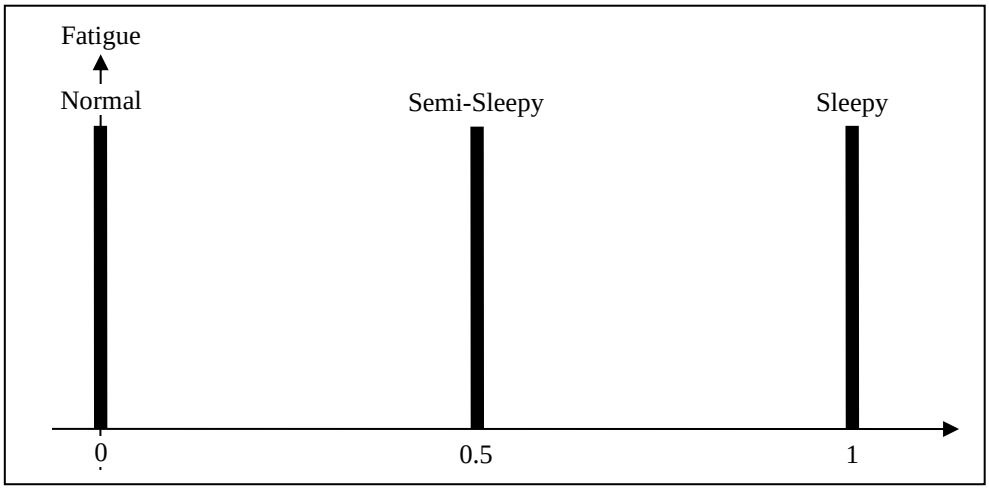
شکل ۳-۵: شکل توابع عضویت تعریف شده برای تغییرات فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی (ELDC)

www.SID.ir



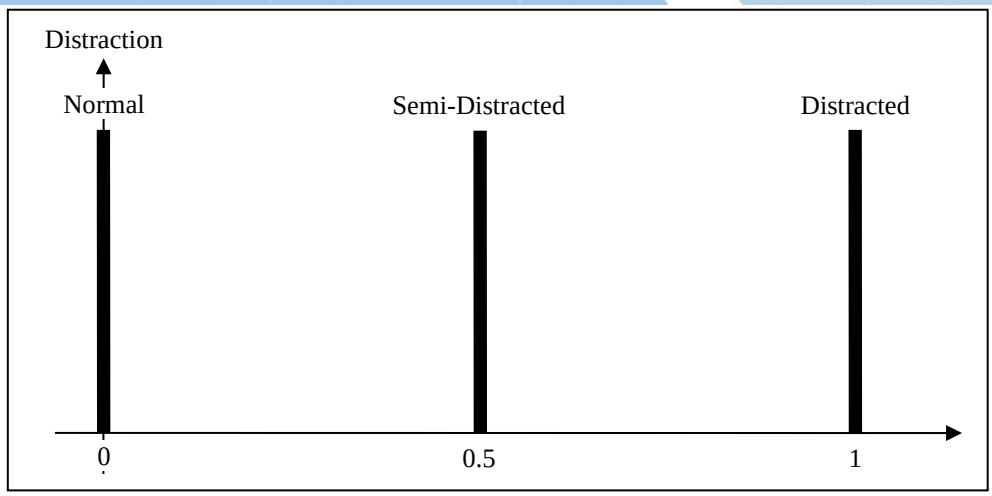
شکل۳-۶ شکل توابع عضویت تعریف شده برای میانگین چرخش سر (ROT)

خروجی سیستم خبره فازی، میزان خستگی و عدم تمرکز حواس راننده را در بازه [0,1] بیان می‌کند. توابع عضویت به کار گرفته شده برای مقادیر فازی میزان خستگی و عدم تمرکز حواس شامل مقادیر منفرد است.



شکل ۳-۷: شکل توابع عضویت تعریف شده برای میزان خستگی (Fatigue)

www.SID.ir



شکل۳-۸: شکل توابع عضویت تعریف شده برای میزان عدم تمرکز حواس (Distraction)

در این سیستم خبره فازی از یک روش متفاوت یعنی روش استنتاج ممدانی [۶۸] استفاده شده است. در روش استنتاج ممدانی که به روش کمینه‌گیری هم معروف می باشد، از عملگر محاسبه مقدار کمینه برای استنتاج استفاده می‌گردد. روش دیگر استنتاج، استنتاج لارسن می‌باشد که به جای عملگر محاسبه مقدار کمینه، از عملگر ضرب استفاده می‌کند. به علت سادگی روش استنتاج ممدانی نسبت به استنتاج لارسن، از این روش برای سیستم‌های خبره فازی بیشتر استفاده می‌شود. سیستم خبره‌ای که برای کاربرد کنونی استفاده می‌شود، یک سیستم چندورودی/چندخروجی (MIMO) است. با فرض مستقل بودن هر یک از خروجی‌ها، سیستم را می‌توان به تعدادی سیستم چندورودی/یک‌خروجی (MISO) تقسیم کرد. تعداد سیستم‌های MISO برابر تعداد خروجی‌های سیستم MIMO است. در این حالت از پیچیدگی سیستم کاسته خواهد شد.

در سیستم خبره فازی موردنظر این پژوهش هم دو خروجی وجود دارد: میزان خستگی و میزان عدم تمرکز حواس. بنابراین برای طراحی پایگاه قوانین فازی از دو دسته قانون استفاده می شود: قوانین تشخیص خستگی و قوانین تشخیص عدم تمرکز حواس. برای هر قانون ضریبی نیز تعیین می‌گردد که این ضریب میزان تاثیر قانون در عملیات استنتاج را تعیین خواهد کرد. نحوه تعیین قوانین و تعریف توابع عضویت بر اساس روش آزمون و خطا انجام گرفته است. قوانین تشخیص خستگی بر اساس درصد بسته بودن چشم (PERCLOS) و تغییر فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی (ELDC) طراحی گردیده است. درصد بسته بودن چشم و تغییر فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی به یکدیگر وابسته هستند، بنابراین قسمت شرط قوانین

www.SID.ir

تشخیص خستگی دو بخشی است. یک بخش مربوط به وضعیت PERCLOS و بخش دیگر مربوط به وضعیت ELDC.. قوانین تشخیص عدم تمرکز حواس نیز بر پایه نرخ پلک زدن (CLOSNO) و میانگین چرخش سر (ROT) می‌باشند. نرخ پلک زدن (CLOSNO) و میانگین چرخش سر (ROT) هر کدام نشانه نوع خاصی از عدم تمرکز حواس است. نرخ پلک زدن (CLOSNO) مربوط به عامل درونی عدم تمرکز حواس (مشغولیات ذهنی) و میانگین چرخش سر (ROT) مربوط به عامل برونی عدم تمرکز حواس راننده است. بنابراین قسمت شرط قوانین تشخیص عدم تمرکز حواس معمولا فقط شامل یکی از دو پارامتر نرخ پلک زدن (CLOSNO) و میانگین چرخش سر (ROT) می‌باشد. در این قوانین، برای جلوگیری از اشتباه سیستم هنگام افتادن سر به دلیل چرت زدن و تشخیص اشتباه آن به عنوان عدم تمرکز حواس، درصد بسته بودن چشم (PERCLOS) و تغییر فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی (ELDC) نیز بررسی می‌شوند. اگر درصد بسته بودن چشم (PERCLOS) و تغییر فاصله بین پلک‌ها (ELDC)، در حالت طبیعی بود، چرخش سر به عنوان نشانه عدم تمرکز حواس استفاده خواهد شد، در غیر این صورت، چرخش سر ناشی از چرت زدن راننده است. مشابه این کار برای قوانین تشخیص عدم تمرکز حواس از روی ویژگی کاهش نرخ پلک زدن نیز اعمال شده است.

بدین ترتیب به منظور بررسی ویژگی کاهش نرخ پلک زدن، ابتدا ویژگی‌های درصد بسته بودن چشم (PERCLOS) و تغییر فاصله بین پلک‌ها نسبت به حالت طبیعی (ELDC) بررسی می‌شوند. اگر این دو ویژگی در حالت طبیعی باشند، کاهش نرخ پلک زدن نشانه‌ای از عدم تمرکز حواس است. زیرا در حالت چرت زدن نیز نرخ پلک زدن کاهش می‌یابد، اما در اغلب موارد چشم بسته شده یا فاصله بین پلک‌ها بسیار کم می شود. این حالت نباید به عنوان وضعیت عدم تمرکز حواس تشخیص داده شود.

7-3تکنولوژی ZigBee

ZigBee یک تکنولوژی بر مبنای استاندارد IEEE 802.15.4 است که برای دسته ای از پروتکل های ارتباطی سطح بالا طراحی شده و به کمک رادیو های دیجیتال کوچک و کم مصرف از آن برای ساخت شبکه های شخصی بی سیم برای مصارفی چون اتوماسیون خانگی، جمع آوری داده های دستگاه های پزشکی و سایر نیاز های با پهنای باند کم برای پروژه های کوچک مقیاس که به ارتباط بی سیم نیاز دارند استفاده می شود.

هدف تکنولوژیکی که توسط ZigBee تعریف شده، ساده تر و ارزان تر بودن نسبت به سایر شبکه های شخصی بی سیم (WPAN)مانند بلوتوث یا وای فای است. کاربرد های این تکنولوژی شامل چراغ های برق بی سیم، کنترل کننده های

www.SID.ir

مصرف برق به همراه نمایشگر های داخل خانه، سیستم های مدیریت ترافیک و سایر تجهیزات مصرفی و صنعتی که به انتقال داده بی سیم، کوتاه برد و با نرخ انتقال پایین نیاز دارند می باشد.

مصرف توان کم این سیستم فاصله انتقال را به ۱۰ تا ۱۰۰ متر شعاع دید محدود می کند که میزان دقیق آن به توان خروجی خصوصیات محیطی بستگی دارد .دستگاه های ZigBee می توانند با گذراندن داده ها از یک شبکه توری از دستگاه های واسطه آن ها را در فواصل طولانی نیز منتقل کنند .معمولا در کاربرد های با نرخ انتقال داده کم که به عمر باتری طولانی و شبکه های ایمن نیاز دارند استفاده می شود(شبکه های ZigBee با کلید های رمزنگاری متقارن 128بیتی ایمن شده اند.

1-7-3کنترل سطح هوشیاری راننده از طریق تکنولوژی ZigBee

از آنجا که بیش از ۳۰٪ تصادفات ناشی از خستگی و خواب آلودگی رانندگان می باشد، در این پژوهش با استفاده از تکنولوژی سنسورهای زیگبی اقدام به کنترل وضعیت راننده درصورت بروز حالتهای نشان دهنده کاهش هوشیاری وی و اخذ تصمیم گیری های صحیح و به موقع، سعی در کنترل خودرو و جلوگیری از وقوع تصادفات می شود.

۱- با استفاده از یک دوربین تشخیص چهره حالت های راننده را رصد کرده و برای هر حالت تصمیم های متفاوتی گرفته می شود. برای مثال در صورت بسته بودن طولانی چشم ها برای بیش از ۵ ثانیه از سنسور لرزشی تعبیه شده در صندلی راننده برای ویبره کردن جهت بیدار کردن راننده استفاده می شود.

۲- همچنین زمانی که راننده بیش از ۵ثانیه به حالت ویبره صندلی، واکنشی نشان نداد با به صدا درآمدن آژیر هشدار و همچنین فرمان به کاهش سرعت خودرو به حالت تنظیم فرمان با توجه به سنسورهای فاصله سنج تعبیه شده در جلو و عقب خودرو جهت سنجش فاصله استاندارد با سایر وسایل نقلیه، اقدام به ترمز خودکار اتوموبیل بدهد.

۳- امکان ارسال داده ها به مرکز و دریافت اطلاعات در زمان دقیق و با سرعت بالا یکی دیگر از کاربردهای این سنسور می باشد. یعنی در صورت بروز هرگونه حادثه مثل انحراف خودرو از خط جاده، بی توجهی راننده به مقابل، خواب آلودگی، خستگی، بسته شده طولانی مدت چشم ها، بروز حالتهای عصبی یا بیماری، به یرعت به مرکز اطلاع رسانی کرده و با سرعت بالای روند ارسال و دریافت داده، سیستم هوشمند سلامت راننده اقدام به اخذ تصمیم گیری مناسب می نماید.

۴- کمک به حفظ سلامت و افزایش امنیت رانندگان توسط سیستم کنترل هوشمند سلامت راننده یکی دیگر از کاربردهای این تکنولوژی می باشد. برای مثال درصورت مشاهده حمله قلبی یا حالتهای شبیه به وقوع سکته در رانندگان و یا بروز حالات عصبی، در مرحله اول با داده های بدست آمده اقدام به کنترل خودرو کرده و سپس با توجه به سیستم موقعیت یاب

www.SID.ir

Arch

جغرافیایی GPS تعبیه شده در خودرو، به نزدیکترین اورژانس اطلاع رسانی کرده و با اعلام مشخصات خودرو و موقعیت جغرافیایی آن در جاده، اعلام نیاز به کادر اورژانس می نماید.

نتیجه گیری

در این مقاله پایان‌نامه یک سیستم نظارت چهره راننده برای تشخیص خستگی و عدم تمرکز حواس ارائه شد. در این سیستم چهار نوع ویژگی از ناحیه چشم و چهره استخراج می‌شود: درصد بسته بودن چشم (PERCLOS)، نرخ پلک زدن و کاهش فاصله بین پلک‌ها از ناحیه چشم و میانگین چرخش سر از ناحیه چهره. این چهار ویژگی به مرحله تشخیص کاهش هوشیاری داده می‌شود تا با استفاده از یک سیستم خبره فازی، میزان خستگی و عدم تمرکز حواس راننده تعیین گردد. برای تشخیص خستگی راننده از درصد بسته بودن چشم (PERCLOS) و کاهش فاصله بین پلک‌ها استفاده می‌شود. همچنین از نرخ پلک زدن و چرخش سر به عنوان نشانه‌های عدم تمرکز حواس استفاده شده است.

در روش پیشنهادی، استخراج ویژگی‌های ناحیه چشم بدون آشکارسازی صریح چشم انجام شده است. در این روش نیمه بالایی ناحیه چهره به عنوان ناحیه چشم در نظر گرفته شده و بر اساس تغییرات پروجکشن افقی این ناحیه در طول زمان، نشانه‌های خستگی و عدم تمرکز حواس استخراج شد. قبل از استخراج ویژگی‌های ناحیه چشم و ارزیابی وضعیت راننده، مرحله کوتاهی به عنوان مرحله یادگیری می‌باشد که در آن مقادیر طبیعی ویژگی‌های ناحیه چشم برای هر فرد استخراج می‌گردد. وجود مرحله یادگیری باعث افزایش دقت سیستم برای استخراج ویژگی از افراد مختلف خواهد شد. چرا که افراد در رنگ (تیرگی) پوست، نحوه پلک زدن و نرخ پلک زدن طبیعی تاحدودی با هم متفاوت‌اند. سیستم‌های نظارت چهره راننده، علاوه بر تشخیص خستگی و خواب‌آلودگی می‌توانند در شرایط بحرانی که برای راننده به وجود می‌آید، نقش بسیار موثری داشته باشند. به عنوان مثال اگر راننده دچار حمله قلبی یا سکته مغزی شود یا به دلیل بیماری‌های عصبی مثل صرع و میگرن از حالت طبیعی خارج شده و بیهوش شود، سیستم ضمن کنترل خودکار اتومبیل و هدایت آن برای توقف در کنار جاده، حادثه را به مرکز فوریت‌های پزشکی اطلاع دهد.

هنوز استفاده تجاری از این سیستم‌ها رایج نشده، اما حجم تحقیقات شرکت‌های معتبر خودروسازی در این زمینه، حکایت از آن دارد که به زودی سیستم نظارت چهره راننده در خودروهای سواری و سنگین ظاهر خواهد شد. یکی از مهمترین اهداف

www.SID.ir

Arch

در کارهای آینده، تجاری کردن سیستم پیشنهادی و ارائه آن به شرکت‌های خودروساز داخلی مانند ایران‌خودرو و سایپا است

منابع

احدی،محمدرضا، زایرزاده،علی،(۱۳۸۴) ***"پارامترهای موثر بر خستگی رانندگان و نقش آن در وقوع تصادفات"***، نخستین کنفرانس بین‌المللی حوادث رانندگی و جاده‌ای، تهران، ایران، صفحه ۳۵۸-۳۶۴.

حجتی حمید, طاهری نوراله, حیدری بهروز, طاهری فرشته.(۱۳۹۵)، ***"بررسی کیفیت خواب رانندگان اتوبوس شاغل در پایانه مسافربری شهر گرگان و ارتباط آن با سلامت عمومی"***، فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه تهران، دی ۱۳۹۵، ۸۹-۱۱۵.

کهزادی زهرا, کهزادی زینب, افراش محمدرضا, شاه مرادی لیلا.(۱۳۹۷) ***"طراحی سیستم هوشمند سنجش سلامت رانندگان با استفاده از منطق فازی."، پژوهش های برتر، شماره ۱۲۲***، ۱۹۲-۲۰۰.

ورمزیار سکینه, مرتضوی سیدباقر, ارقامی شیرازه, & حاجی زاده ابراهیم. ۱۳۹۱ ***تاثیر وضعیت ناراحتی های روحی و جسمی رانندگان اتوبوس رانی سیستم حمل و نقل عمومی تهران در بروز تصادفات***

Alam, M. S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. Transport Policy, 35, 42-49.

Burkart, Axel E. "Apparatus having a smart card accomodated by a diskette frame containing processor memory and battery power for interfacing with a standard diskette drive." U.S. Patent 5,584,043, issued December 10,1996.

Burkart, A. E. (2017). *U.S. Patent No. 5,584,043*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office

Chen, L., Peng, F. Z., & Cao, D. (2008, February). A smart gate drive with self-diagnosis for power MOSFETs and IGBTs. In *2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition* (pp. 1602-1607). IEEE.

Deiser, R. (2009). *Designing the smart organization: How breakthrough corporatelearning initiatives drive strategic change and innovation*. John Wiley & Sons.

Lee, Y. D., & Chung, W. Y. (2009). Wireless sensor network based wearable smart shirt for ubiquitous health and activity monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *140*(2), 390-395

www.SID.ir

Mann, S. (1996). Smart clothing: The shift to wearable computing. *Communications of the ACM*, *39*(8), 25-27

Martínez-Ballesté, A., Pérez-Martínez, P. A., & Solanas, A. (2013). The pursuit of citizens' privacy: a privacy-aware smart city is possible. *IEEE Communications Magazine*, *51*(6), 136-141.

Van Langenhove, L. (Ed.). (2007). *Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications*. Elsevier.

Wroblewski, T. R., & Miesterfeld, F. O. (1988). *U.S. Patent No. 4,736,367*. Washington, .DC: U.S. Patent and Trademark Office

www.SID.ir