

روشی جدید برای تشخیص خستگی راننده بوسیله شناسایی و ردیابی چشم در یک رشته تصویر

محمد رحمتی

علیرضا خان تیموری

استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشجوی دکترا دانشکده مهندسی کامپیوتر

دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

rahmati@ce.aut.ac.ir

khanteymooori@ce.aut.ac.ir

چکیده: تشخیص و ردیابی چشم در دنباله تصاویر کاربردهای فراوانی دارد که از جمله آنها می توان به تشخیص خستگی راننده اشاره نمود. طراحی سیستمی که حالت خستگی راننده را تشخیص دهد و در موقع مناسب اعلام خطر نماید، می تواند از بروز بسیاری از تصادفات که بعضاً موجب تلفات جانی و مالی می شود جلوگیری نماید. در این مقاله روشی جدید مبتنی بر هیستوگرام چشم ارائه شده است که قادر است وضعیت چشمها و موقعیت مردمک چشم را تعیین کند و چشم را در دنباله ای از تصاویر ردیابی نماید. روش پیشنهادی در مقایسه با روشهای موجود، عملیات محاسباتی کمتری دارد که این موجب می شود که بتوان سیستم را برای کاربرد بلادرنگ در تشخیص خستگی راننده استفاده نمود.

کلمات کلیدی: تشخیص خستگی، ردیابی چشم، تشخیص رنگ پوست، تشخیص صورت، تعیین تقارن

۱- مقدمه

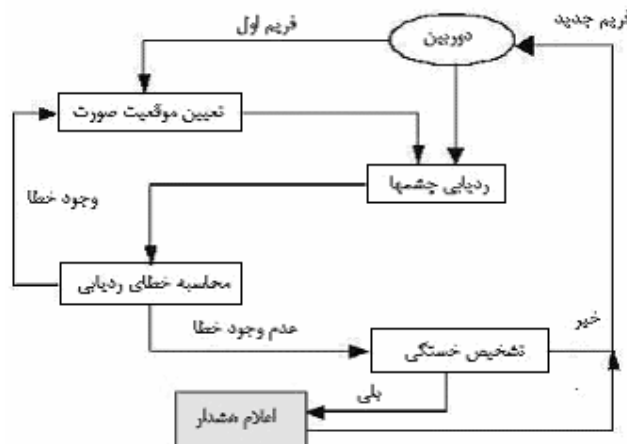
تشخیص و تحلیل اجزاء صورت، مقوله ای است که با توجه به کاربردهای آن در سالهای اخیر مورد توجه و تحقیق فراوان گرفته است. در این میان تشخیص چشم و حالت آن و ردیابی آن در یک رشته تصاویر کاربردهای بسیار وسیعی دارد و اهمیت آن روز به روز افزایش می یابد. از جمله مهمترین کاربردها می توان به موارد پیدا کردن صورت با استفاده از تشخیص اجزا آن از جمله چشم، تشخیص خیره گی [۴]، تشخیص خستگی راننده [۱]، استفاده از وضعیت چشمها به عنوان واسطه بین کاربر و کامپیوتر [۶]، کد کردن تصاویر با تکنیکهای مبتنی بر مدل [۴] اشاره کرد.

تشخیص خستگی راننده از جمله مهمترین کاربردها است که بدلیل اهمیت زیاد آن، موضوع اصلی این مقاله می باشد. قسمت عمده ای از تصادفات جاده ای، به علت خستگی راننده اتفاق می افتد که این خستگی اغلب ناشی از کم خوابی و یا بی نظمی در خوابیدن می باشد. آمار نشان می دهد که ۲۰ تا ۳۰ درصد از تصادفات رانندگی به علت خستگی راننده می باشد. این میزان در سال ۱۹۹۸، ۳۰ درصد بوده و خسارتهای ناشی از آن بالغ بر ۳ میلیارد دلار بر آورد شده است [۷]. در نتیجه با طراحی سیستمی که حالت خستگی راننده را تشخیص دهد و در موقع مناسب اعلام خطر نماید، می توان از بروز بسیاری از تصادفات جلوگیری نمود. بوسیله عوامل مختلف می توان خستگی راننده را تشخیص داد. از جمله این عوامل که بوسیله یک دوربین

قابل تشخیص هست، تشخیص دوره‌های زمانی کوتاهی است که در آن راننده هوشیاری خود را از دست می‌دهد و معمولا حدود ۳ ثانیه می‌باشد. در ادامه مروری بر سیستم تشخیص راننده صورت می‌گیرد. سپس روشی که برای تشخیص صورت و چشم بکار می‌رود معرفی شده و در نهایت روشی جدید جهت ردیابی چشم در دنباله تصاویر پیشنهاد می‌گردد.

۲- مروری بر اجزا یک سیستم تشخیص خستگی در راننده

ساده‌ترین روش برای تشخیص خستگی در انسان توجه به وضعیت چشمها می‌باشد. یک سیستم تشخیص خستگی در راننده از چهار مرحله تشکیل شده است. مرحله تشخیص صورت، تشخیص چشم، ردیابی چشم و در نهایت تشخیص خستگی. دنباله تصاویر ویدیویی مورد نیاز توسط یک دوربین ارایه می‌گردد. در اولین تصویر ورودی با استفاده از مدل رنگ پوست، موقعیت صورت در تصویر مشخص می‌شود. ممکن است تحت تأثیر نور کنترل نشده و یا وضعیت سر راننده، این تشخیص با خطا روبرو شود. در این حالت عملیات مربوطه برای تصویر بعدی تکرار می‌شود تا موقعیت صورت را در تصویر مشخص شود. فرض بر این است که در دو فریم متوالی از تصویر، جهش ناگهانی سر وجود ندارد که البته با توجه به نرخ فریم اخذ شده در دوربین این فرضیه مشکل ایجاد نمی‌کند. پس از تعیین موقعیت صورت، موقعیت ابتدایی چشمها تعیین می‌گردد. در نهایت با ردیابی چشمها و بررسی وضعیت آنها خستگی راننده تشخیص داده می‌شود. در وضعیتی که ناحیه مربوطه به صورت تشخیص داده شد، نیازی به تشخیص صورت نخواهد بود مگر وقتی که سیستم با خطای ردیابی مواجه شود. در این حالت سیستم به مرحله تشخیص صورت بر می‌گردد (شکل ۱).



شکل (۱): بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی

۳- تشخیص محدوده صورت

برای تشخیص صورت از یک روش مبتنی بر رنگ استفاده شده است. شدت روشنایی مهمترین عامل تفاوت در رنگ ظاهری پوست در افراد مختلف می‌باشد. برای از بین بردن اثر شدت نور از فضای رنگی دیگری بنام "فضای خالص رنگ" استفاده می‌شود که باعث حذف مؤلفه روشنایی تصویر می‌شود و ابتدا تصویر از فضای RGB به این فضا منتقل می‌شود. برای تبدیل تصویر به فضای خالص رنگ از تبدیلات زیر استفاده شده است [۸]:

$$r = R / (R+G+B) \quad (1)$$

$$g = G / (R+G+B) \quad (2)$$

$$b = B / (R+G+B) \quad (3)$$

که در روابط فوق R, G, B مولفه‌های رنگی در فضای RGB و r, g, b مولفه‌های فضای خالص رنگ می‌باشند.

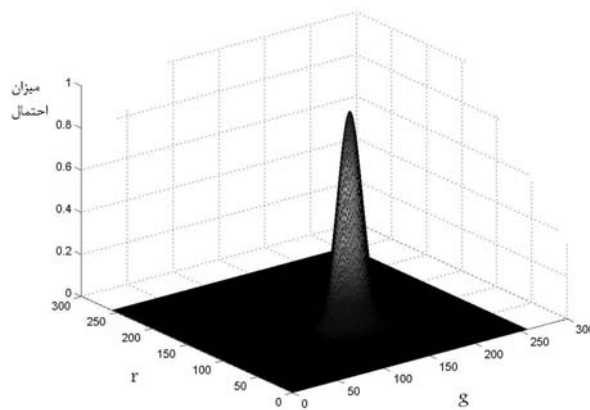
۳-۱-۱ ایجاد مدل برای رنگ پوست

به منظور تشخیص محدوده مربوط به پوست در تصاویر مدلی بر اساس رنگ پوست ایجاد شده با استفاده از آن، ناحیه مربوط به پوست در تصاویر شناسایی می گردد. بدین منظور ابتدا مجموعه ای از تصاویر پوست با رنگهای مختلف تهیه می شود و پس از انتقال به فضای خالص رنگ، نویزهای احتمالی با استفاده از فیلتر میانگین رفع می شود. سپس میانگین مقادیر و ماتریس کواریانس بدست می آید. اگر X برداری باشد که مولفه های آن r, b هستند، بردار میانگین m و ماتریس کواریانس C از روابط زیر محاسبه می شود:

$$m = E\{X\} \quad \text{where } X = (r \ b)^T \quad (4)$$

$$C = E\{(X-m)(X-m)^T\} \quad (5)$$

با استفاده از مقادیر میانگین و کواریانس مدل رنگ پوست بوسیله مدل گاوسین با $N(m, C)$ تخمین زده می شود، که مدل نرمال تخمین مناسبی بدین منظور می باشد [۸] (شکل ۲).



شکل (۲): توزیع گاوسین جهت مدل کردن رنگ پوست

برای تشخیص نواحی مربوط به پوست در تصویر، از مدل توزیع احتمال ارایه شده استفاده می شود. بدین منظور ابتدا حاصل عبارت زیر محاسبه می شود:

$$P(r,b) = P(X) = \exp [-0.5 (X-m)^T C^{-1} (X-m)] \quad (6)$$

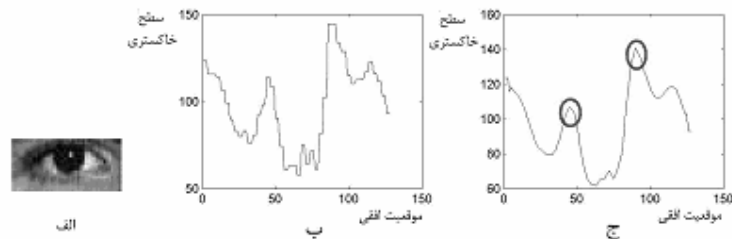
مقادیری مختلف برای (r, b) ، بیانگر این است که یک پیکسل از تصویر به چه احتمالی ممکن است پوست باشد. با استفاده از این مقادیر یک تصویر سطح خاکستری ایجاد می شود که مقدار هر پیکسل در آن معرف مقدار احتمال بدست آمده است. بعد از ایجاد تصویر سطح خاکستری، با مقدار آستانه ای مناسب، این تصویر به یک تصویر باینری تبدیل می شود. بدلیل اینکه رنگ پوست افراد مختلف در فضای تبدیل مقادیر متفاوتی دارد مناسب است که آستانه ای نمودن با مدل تطبیقی انجام شود. بدین منظور می توان مقدار آستانه را از ۰/۶۵ شروع و تا ۰/۱ هر بار به اندازه ۰/۰۵ کاهش داد. مقدار بهینه آستانه زمانی پیدا می شود که بعد از تغییر این مقدار آستانه، تعداد نواحی ایجاد شده در تصویر کمترین تغییر را پیدا کند [۸]. در تصویر بدست آمده، نواحی سفید رنگ، بیانگر ناحیه پوست و نواحی سیاه رنگ نشان دهنده نواحی است که پوست نیستند. برای تشخیص نواحی مربوط به صورت، از اطلاعات فیزیکی مربوطه از قبیل وجود حداقل دو حفره و همچنین شکل فیزیکی صورت استفاده می شود.

۲-۳- تعیین موقعیت ابتدایی چشم

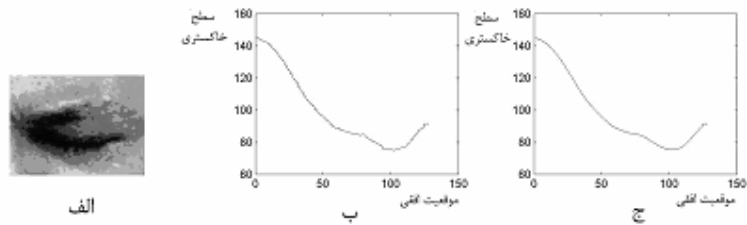
برای تشخیص موقعیت چشم از تکنیک تطبیق با کلیشه استفاده می شود. کلیشه مورد نظر با ناحیه ای که برای صورت تخمین زده شده، مطابقت داده می شود و جایی که بیشترین تطابق وجود دارد مربوط است به موقعیت چشم و بدین ترتیب موقعیت چشم شناسائی می گردد.

۳-۳- تشخیص وضعیت چشم با استفاده از هیستوگرام

با استفاده از هیستوگرام افقی چشم که با تصویر کردن ناحیه اطراف چشم بر محور افقی بدست می آید، وضعیت چشمها تشخیص داده می شود. هیستوگرام بدست آمده برای چشم بسته هموارتر از هیستوگرام چشم باز می باشد. همچنین هیستوگرام چشم باز به علت وجود عنیبه و مردمک دارای دو ماکزیمم محلی مشخص خواهد بود که از این ویژگی می توان برای تشخیص حالت چشم استفاده نمود. روش مورد استفاده بدین صورت است که بعد از اینکه هیستوگرام مربوطه استخراج شد، نقاط ماکزیمم محلی نمودار تعیین می گردد. این نقاط باید به اندازه I که برابر شعاع عنیبه است از مقادیر مجاور خود بزرگتر باشند. با توجه به ناحیه اطراف چشم که در این سیستم استخراج می شود مقدار I برابر 0.1 طول ناحیه در نظر گرفته می شود. قبل از استخراج ویژگی، نمودار با اعمال فیلتر میانگین گیری هموار می شود. البته هموار سازی به گونه ای است که سبب از بین رفتن ماکزیمم های محلی نخواهد شد و تنها باعث می شود اثرات احتمالی نویزها از بین رفته نتایج بهتری بدست آید. در شکل ۳ تصویر مربوط به یک چشم باز و همچنین هیستوگرام حاصل از تصویر نمودن افقی آن مشاهده می شود. همانگونه که اشاره شد وجود مردمک و عنیبه در تصویر، ماکزیمم های محلی را ایجاد خواهند کرد. این ماکزیمم ها در منحنی هموار شده مشخص شده اند. اما در چشم بسته (شکل ۴)، به علت عدم رویت عنیبه هیستوگرام افقی فاقد ماکزیمم های محلی خواهد بود و منحنی مربوطه هموارتر از حالت قبل می باشد.



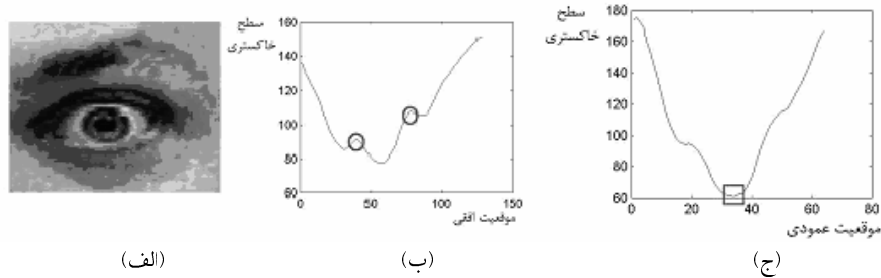
شکل (۳): الف) چشم باز ب) هیستوگرام تصویر افقی ج) هیستوگرام افقی هموار شده



شکل (۴): الف) چشم بسته ب) هیستوگرام تصویر افقی ج) هیستوگرام افقی هموار شده

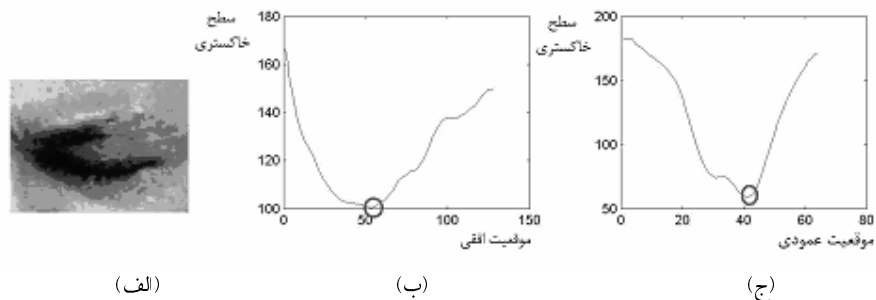
۴- ردیابی چشم

برای ردیابی چشم، فرض می‌کنیم موقعیت مردمک چشم در فریم قبلی مشخص گردیده است. در فریم کنونی ابتدا ناحیه‌ای که برای اطراف چشم تصور می‌شود، همان ناحیه‌ای است که در فریم قبلی بدست آمده است. با توجه به اینکه بین دو فریم متوالی جهش ناگهانی سر وجود ندارد، در فریم کنونی مردمک چشم کماکان در همان ناحیه فرض شده قرار دارد. با استفاده از هیستوگرام افقی می‌توان وضعیت چشمها را تشخیص داد. بعد از تعیین وضعیت چشمها، می‌بایست بتوان موقعیت کنونی مردمک چشم را تخمین زد و سپس با استفاده از آن ناحیه جدیدی را برای اطراف چشم استخراج کرد. با استفاده از اطلاعات هیستوگرام موقعیت مردمک چشم تشخیص داده می‌شود. از آنجا که عنبیه و مردمک نواحی تیره هستند، تصویر کردن ناحیه اطراف چشم بر روی محور افقی باعث ایجاد ماکزیمم‌های محلی در این نواحی خواهد شد. نقطه وسط دو ماکزیمم محلی تخمین بسیار خوبی برای موقعیت افقی مرکز مردمک می‌باشد. با استفاده از هیستوگرام عمودی که بوسیله تصویر مقادیر پیکسلها بر روی محور عمودی بدست می‌آید، موقعیت عمودی مرکز مردمک نیز مشخص می‌شود. از آنجا که قسمت کمینه در نمودار به علت وجود عنبیه و مردمک بوجود آمده است. می‌توان مینیمم را به عنوان موقعیت عمودی مرکز مردمک و عنبیه در نظر گرفت و بدین ترتیب مختصات مرکز مردمک بدست می‌آید (شکل ۵).



شکل (۵): (الف) تصویر چشم باز (ب) هیستوگرام افقی (ج) هیستوگرام عمودی

باید توجه داشت چنانچه ابروها نیز داخل این ناحیه قرار بگیرند، بعلت تیره بودن رنگ ابرو، در نمودار مربوطه ایجاد می‌نماید. در این حالت بهتر است که آخرین می‌نیمم محلی موجود در نمودار را به عنوان موقعیت عمودی مردمک چشم در نظر گرفت. برای تعیین موقعیت مردمک در وضعیتی که چشم بسته است، چون در این حالت نیز پلکها باعث بوجود آمدن مینیمم در هیستوگرام عمودی می‌شوند، موقعیت عمودی مردمک با استفاده از هیستوگرام عمودی و همانند چشم باز بدست می‌آید برای تخمین موقعیت افقی، بهترین تخمین مینیمم در هیستوگرام عمودی است (شکل ۶).



شکل (۶): (الف) چشم بسته (ب) هیستوگرام افقی (ج) هیستوگرام عمودی

در چشم بسته تعیین محل مردمک با دقت کمتری بدست می آید ولی این امر نمی تواند مشکل جدی برای الگوریتم ارایه شده ایجاد می کند چرا که معمولا در فریم بعدی چشمها باز می شوند و دوباره موقعیت مردمک تشخیص داده می شود. پس از تعیین موقعیت مردمک، ناحیه جدیدی را اطراف مردمک در نظر گرفته و در فریم بعدی از این جهت انجام عملیات استفاده می گردد. ردیابی چشم تا هنگامیکه ادامه می یابد که با خطای ردیابی مواجه شود.

۵- تشخیص خستگی راننده

عوامل مختلفی وجود دارد که بوسیله آنها می توان خستگی راننده را تشخیص داد. بعضی از این عوامل بوسیله دوربین قابل تشخیص هستند، از جمله اینکه می توان دوره های زمانی کوتاهی را که در آن راننده هوشیاری خود را از دست می دهد، تشخیص داد. تمرکز و بحث اصلی ما بروی تشخیص این دوره های کوتاه است که بوسیله کنترل وضعیت چشمهای راننده در دنباله تصاویر صورت می گیرد. معمولا اگر زمان بسته ماندن چشم بیش از ۲/۵ ثانیه طول بکشد، نشان دهنده این است که راننده هوشیاری خود را از دست داده است [۱]. بدین منظور اگر در هر ثانیه ۸ فریم پردازش شود، پس از تعیین وضعیت چشم در ۲۰ فریم متوالی می توان حالت غیر عادی راننده را تشخیص داده به طریقه مناسبی به وی اعلام کرد.

۶- تشخیص خطای ردیابی

برای اطمینان از عملکرد صحیح باید همواره خطای ردیابی را بررسی نمود و بعد از تشخیص خطای ردیابی، دوباره از مرحله تشخیص صورت، همانگونه که قبلا توضیح داده شد عملیات تکرار گردد. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، عملیات سیستم از مرحله تشخیص صورت و سپس تشخیص چشم شروع می شود. در ادامه مرحله ردیابی چشم آغاز می گردد. این مرحله تا وقتی ادامه می یابد که سیستم خطایی را تشخیص ندهد. بعد از تشخیص خطا مراحل تشخیص صورت و چشم دوباره محاسبه و عملیات ادامه می یابد. در این حالت می توان از کلیشه ای که قبلا برای چشم استخراج شده بجای کلیشه عمومی استفاده کرده و موقعیت دقیق چشم را تشخیص داد.

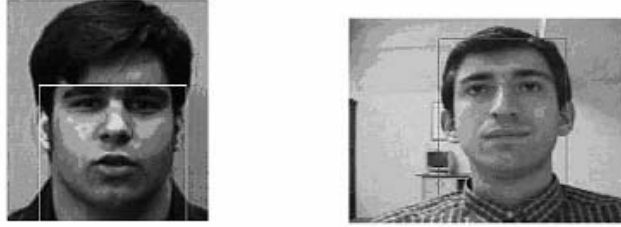
برای تشخیص خطای ردیابی روشهای زیر پیشنهاد می شود.

۱. خط واصل مراکز مردمک باید زاویه نسبتا کوچکی با سطح افقی بسازند. در نتیجه اگر در فریمی این زاویه بیشتر از حد مجاز بود خطای ردیابی را بدست می آید. در این حالت فرض بر این است که سر چرخشی ندارد.
 ۲. مراکز مردمکها باید نسبت به خط تقارن عمودی متقارن باشند. اگر اختلاف فاصله مراکز تا خط تقارن از یک حدی بیشتر باشد به عنوان خطای ردیابی گزارش می شود.
- در سیستم پیشنهادی، اگر این، دو شرط نقض شده باشد، بعنوان خطای ردیابی تلقی شده و دوباره پس از بازگشت به مرحله تشخیص، مراحل بعدی ادامه می یابد.

۷- نتایج عملی

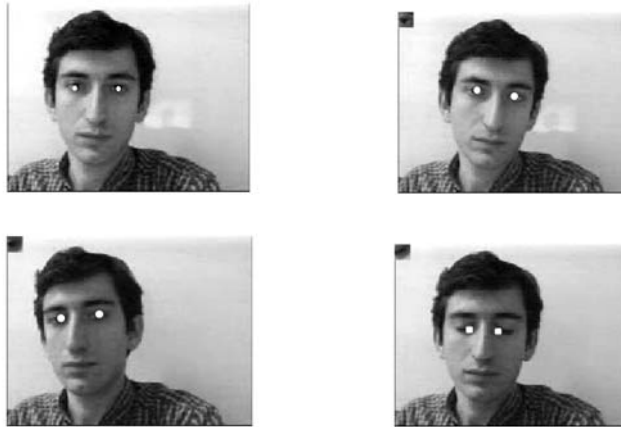
برای تعیین محدوده صورت ابتدا با استفاده از تصویر ۲۰ پوست مختلف یک مدل گاوسین برای رنگ پوست ایجاد شده است. نتایج حاصل از بدست آوردن مدل گاوسین و اعمال الگوریتم تشخیص صورت، بر روی چند تصویر در شکل ۷ آمده است. در این تصاویر الگوریتم ارایه شده ناحیه مربوط به صورت را بدرستی تعیین کرده است.





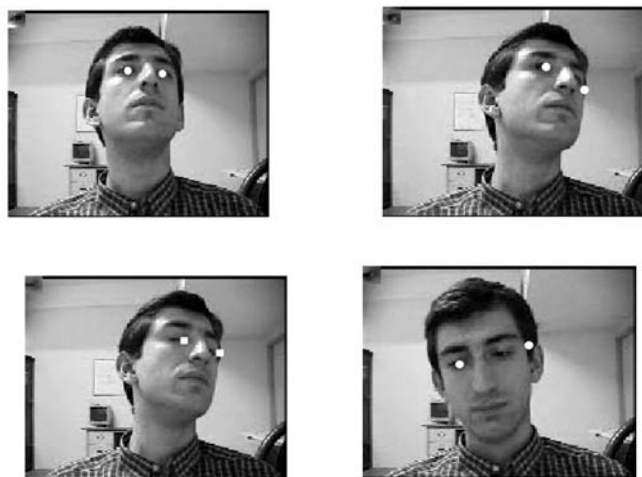
شکل (۷): تشخیص ناحیه صورت

در شکل ۸ نتایج حاصل از روش ردیابی پیشنهادی بر روی دنباله ای از تصاویر مشاهده میشود. در گوشه سمت چپ هر تصویر ناحیه اطراف چشم نشان داده شده است. در این تصاویر چشمهای باز با دایره و چشمهای بسته با مربع سفید رنگ نشان داده شده اند. فریمها با اندازه 200×256 پردازش می شوند و ناحیه اطراف چشمها دارای اندازه 17×17 می باشد.



شکل (۸): ردیابی چشم

همانطور که اشاره شد، در برخی موارد عملیات ردیابی با خطا مواجه می شود. از جمله حالاتی که در آن خطای ردیابی را شاهد هستیم زمانی است که سر به یک سمت خم می شود. در این حالت به علت مشخص نبودن موقعیت مردمک در تصویر، چنانچه در شکل ۹ نشان داده شده است، ناحیه ای از مو به اشتباه به عنوان مردمک چشم معرفی می گردد.



شکل (۹): خطای ردیابی به علت چرخش سر

۸- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله روش جدید و سریعی مبتنی بر اطلاعات هیستوگرام ارایه شد که با توجه به نتایج عملی پیاده سازی شده می توان روش پیشنهادی را به عنوان روش مناسبی جهت تشخیص وضعیت و ردیابی چشم ارزیابی نمود. استفاده از هیستوگرام جهت تشخیص وضعیت چشم روش جدیدی است که در مقایسه با روشهای موجود از جمله تطبیق با کلیشه بسیار سریعتر است. همچنین استفاده از هیستوگرام ناحیه اطراف چشم جهت تعیین موقعیت مردمک چشم، ایده ای است که باعث می شود مرحله ردیابی به سادگی صورت گیرد. نتایج حاصل نشان می دهد که این روش می تواند به خوبی موقعیت مردمک چشم را در ناحیه اطراف آن تعیین نماید.

مشکلاتی که در ارتباط با این روش مطرح است عبارتند از:

۱. اگر در ردیابی چشم حرکات و جهشهای ناگهانی وجود داشته باشد، چون ناحیه اطراف چشم زیاد جابجا می شود مردمک چشم از ناحیه مربوطه خارج شده الگوریتم با مشکل مواجه می گردد.
 ۲. چرخش سر سبب می شود که مردمک چشم قابل رویت نبوده سیستم با خطا مواجه گردد.
 ۳. تعیین اندازه محدوده ای که برای اطراف چشم در نظر گرفته می شود در نتایج عملی بصورت تجربی تعیین شده است. کوچک یا بزرگ در نظر گرفتن این ناحیه سبب می شود ردیابی با خطا مواجه گردد.
- برای بهبود کار سیستم پیشنهادات زیر ارایه می گردد:
۱. از آنجا که تشخیص صورت با استفاده از مدل رنگ بار محاسباتی زیادی دارد پیشنهاد می شود از روش دیگری بدین منظور استفاده گردد.
 ۲. ارایه مکانیزمی که بتوان با توجه به اندازه تصویر و فاصله از دوربین سائز ناحیه ای که برای اطراف چشم تعیین می شود را تعیین نمود.
 ۳. بررسی تاثیر عینک و تصویر برداری هنگام شب در سیستم پیشنهادی
 ۵. بررسی حالاتی که در آن سر چرخش نسبتا زیادی دارد.

مراجع

- [1] Martin Eriksson, Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Eye_Tracking for Detection of Driver Fatigue", *IEEE Conference on Transportation System, ITSC 98*, pp. 314-319, 1998.
- [2] Shinjiro Kawato, Jun Ohya, "Two_Step Approach for Real_Time Eye Tracking with a New Filtering Technique". *Proc. Int. Conf. on System, Man & Cybernetics*, pp. 1366-1371, 2000
- [3] Montse Pardo, "Extraction and Tracking of the Eyelids", *Proc. of IEEE Int. Con. On Acoustics Speech and Signal Processing*, vol. 4, pp. 2357-2360, 2000.
- [4] Steiefel, Yang and Waibel, "A Model-Based Gaze Tracking System", *Int. IEEE Joint Sympasia on Intelligence and systems*, pp. 304-310, 1996.
- [5] Harini Veeraghavan, Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Detecting Driver Fatigue Through the Use of Advanced Face Monitoring Techniques", *Technique Report of ITS Institute*, (CTS 01-05), 2001.
- [6] Zelinsky, "Real-Time visual recognition of facial gestures for human-computer interaction", *Proc. IEEE 2nd Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 351-356, 1996.
- [7] <http://www.tacsafety.com.au/jsp/content/NavigationController>

[۸] خان تیموری علیرضا، تشخیص و ردیابی چشم و کاربرد آن در تشخیص خستگی راننده، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر

گرایش هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، زمستان ۱۳۸۱.