5th International Conference on
15 September 2018
Information Technology, Computer & Telecommunication

رویکردی از سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم برای تعامل انسان و کامپیوتر

الیاس عرب محقی

کارشناس ارشد هوش مصنوعی، موسسه آموزش عالی سلمان مشهد

چکیده

در این مقاله رابط مبتنی بر تصویر کامپیوتر و انسان نشان داده می‌شود. این رابط پلک‌زدن چشم ارادی را مدنظر قرار داده و آن‌ها را بر مبنای دستورات کنترل‌کننده تفسیر می‌کند. روش‌های پردازش تصویر بکار گرفته‌شده شامل خصوصیات هار مانند، برای تشخیص اتوماتیک چهره و تطبیق الگوها بر مبنای ردگیری چشم و تشخیص پلک‌زدن چشم می‌باشد. عملکرد رابط توسط ۴۹ کاربر تست شده است (که ۱۲ نفر از آن‌ها نقص عضو داشته‌اند). نتایج تست، کارآمدی رابط را به‌عنوان ابزار جایگزین ارتباط با کامپیوتر نشان می‌دهد. کاربران متن انگلیسی و لهستانی را وارد کرده (با میانگین زمانی کمتر از ۱۲ ثانیه برای هر کاراکتر) و قادر به جستجو در اینترنت بوده‌اند. این رابط براساس نوت‌بوک مجهز به دوربین‌های وب معمولی بوده و نیازی به منبع نوری اضافی نبوده است. این برنامه کاربردی، به‌صورت آنلاین به‌عنوان نرم‌افزاری با کدهای باز دردسترس می‌باشد.

واژگان کلیدی: رابط کامپیوتر و انسان، تشخیص پلک‌زدن چشم، تشخیص چهره

۱- مقدمه

رابط کامپیوتر و انسان بر مبنای نقاط ارتباطی بین کاربر انسانی و کامپیوتر می‌باشد. معمولاً دستگاه ورودی مورد استفاده شامل مواردی مانند کیبورد، موس کامپیوتر، تراک بال، موس لمسی، و صفحه نمایش لمسی می‌باشد. تمام این تجهیزات نیازمند کنترل دستی بوده و توسط فردی که دارای اختلالات حرکتی می‌باشد، کاربردی نیست. بنابراین نیاز به توسعه روش‌های جایگزین ارتباطات بین انسان و کامپیوتر دارد که برای افرادی با اختلالات حرکتی مناسب بوده و این فرصت را به آن‌ها می‌دهد تا به‌عنوان بخشی از جامعه اطلاعاتی باشند. در سال‌های اخیر، پیشرفت در رابط‌های جایگزین انسان و کامپیوتر، توجه محققان را در سرتاسر جهان به سمت خود جلب می‌کند. ابزارهای جایگزین برای افرادی که نمی‌توانند سخن بگویند یا از اعضایشان استفاده کنند (موارد مربوط به فلج خفیف، فلج عضوی و ...) به‌عنوان تنها راه ارتباط با جهان و دستیابی به تحصیلات و سرگرمی می‌باشد.

رابط کامپیوتر وانسان، کاربر پسند برای افرادی که دارای اختلالات حرکتی می‌باشند، می‌تواند در چند مورد کاربردی باشد: اول از همه، نیاز به تماس نداشته و دستگاه‌های خاص موردنیاز نمی‌باشند، شامل مشخصه عملکردی تمام‌وقت می باشند و بر روی کامپیوتر کاربر به اجرا در می‌آید.

در این مقاله، سیستم تصویری برای تشخیص پلک‌زدن چشم به‌صورت ارادی به همراه کاربرد آن به‌عنوان رابط کامپیوتر و انسان برای افرادی که دچار اختلال می‌باشند، نشان داده می‌شود. سیستمی که دارای قابلیت پردازش توالی از تصاویر چهره (۳۲۰ * ۲۴۰ پیکسل) با سرعت تقریباً ۳۰fps می‌باشد که از بخش‌های در دسترس ایجاد می‌گردند: که شامل کامپیوتر شخصی یا لپ‌تاپ کاربر و وب کم با کیفیت متوسط می‌باشد. الگوریتم طرح‌شده امکان تشخیص پلک‌زدن چشم، تخمین مدت زمان و تفسیر تعداد پلک‌زدن چشم‌ها در تمام زمان‌ها به‌منظور کنترل رابط انسان وکامپیوتر ناخوانده ایجاد می‌کند. تشخیص پلک‌زدن چشم‌ها بر طبق پلک‌زدن چشم‌های کوتاه (کمتر از ۲۰۰ هزارم ثانیه) و یا پلک‌زدن چشم طولانی‌تر (طولانی‌تر از ۲۰۰ هزارم ثانیه) دسته‌بندی می‌گردند. پلک‌زدن چشم‌های کوتاه به‌صورت همزمان بوده و در کدهای طراحی شده برای پلک‌زدن چشم مدنظر نمی‌باشند. روش تشخیص پلک‌زدن چشم بر مبنای تصور به دو گروه دسته‌بندی می‌گردد، فعال و غیرفعال. تکنیک تشخیص پلک‌زدن چشم فعال نیازمند روشنایی خاص برای مد نظر قرار دادن ویژگی‌های بازتابنده چشم می‌باشد. نوری که بر روی چشم می‌افتد از شبکیه بازتابیده می‌شود. شعاع بازتاب بسیار محدود می‌باشد. بنابراین در مردمک واقع شده و مستقیماً به سمت منبع نور می‌رود. زمانی‌که منبع نور بر روی محور کانونی دوربین یا بسیار نزدیک به آن واقع می‌شود، شعاع بازتاب بر روی تصویر ثبت شده به‌عنوان مردمک روشن قابل مشاهده می‌باشد. پدیده مردمک روشن در فلش عکس‌برداری بر مبنای تأثیر قرمزی چشم می‌باشد.

۲- پیشینه

به گفته محقق (MacKenzie, 2017) در مورد افراد فلج شدید که به حفظ کنترل ماهیچه‌هایشان بدون کمک از چشم، می‌پردازند، برای آن‌ها دو نوع رابط کامپیوتر و انسان مناسب می‌باشد: رابط کامپیوتر و مغز و سیستم‌هایی که از طریق خیره‌شدن یا پلک‌زدن چشم کنترل می‌گردند. نمونه‌ای از ابزارهای ارتباطی خیره‌شدن مزایایی را از روشن‌سازی به‌دست آورده که بر مبنای سیستم بصری می‌باشد. دیود اینفرارد واقع در گوشه مانیتور امکان تشخیص و پیگیری چشمان کاربر را که از تأثیر مردمک روشن استفاده می‌کند، فراهم می‌کند. این سیستم به جایگزینی موس و کیبورد کامپیوتر استاندارد پرداخته و دسترسی را به بسیاری از برنامه‌های کاربردی همانند نوشتن پیام، کنترل از را دور، جستجوگر اینترنت یا میل الکترونیک فراهم می‌کند. به هر حال اکثریت کاربران به‌طور کامل از این راه‌حل راضی نبوده و پیشنهاد بهبود یافتن را می‌کنند. عملکرد این بدین صورت است که از دو وب‌کم- یکی برای ردگیری مردمک و دومی برای موقعیت سر مرتبط به صفحه استفاده می‌کند.

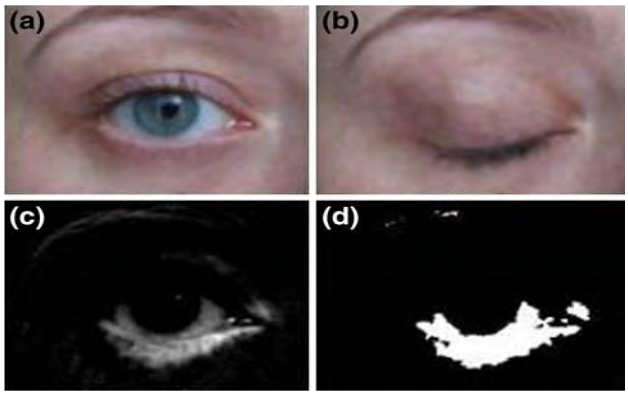
نشان اینفرارد که بر روی مانیتور قرار می‌گیرد باعث فعال کردن ردگیری و نگاه خیره دقیقی می‌گردد. سیستم توسعه‌یافته می‌تواند به جایگزینی موس کامپیوتر یا کیبورد برای افرادی با اختلال حرکتی بپردازد.

روش فعال برای تشخیص چشم و پلک‌زدن چشم نتایج بسیار دقیقی را نشان می‌دهد و این روش قدرتمندی می‌باشد. مزایای رابط انسان و کامپیوتر کنترل چشمان بر مبنای موازنه با هزینه‌های کاربر نهایی به دلیل سخت‌افزارهای اختصاصی می‌باشد. آن‌ها همچنین در محیط فضای باز بی‌اثر می‌باشند و این به دلیل تأثیر تابش آفتاب مستقیم بر روی روشن‌سازی می‌باشد. نگرانی دیگر در مورد ایمنی استفاده از چنین سیستم‌هایی برای مدت زیاد می‌باشد، زیرا قرار گرفتن طولانی‌مدت کره چشم در برابر نور منجر به آسیب شبکیه می‌گردد. بنابراین بهترین راه‌حل بهبود سیستم کنترل چشم خیره‌شده یا سیستم‌های بصری انفعالی، کنترل پلک‌زدن چشم می‌باشد.

روش‌های تشخیص پلک‌زدن چشم غیرفعال از منبع نور مازاد استفاده نمی‌کند. پلک‌زدن چشم‌ها از زنجیره‌ای از تصاویر در طیف مرئی شرایط روشن‌سازی طبیعی تشخیص می‌گردند. اکثر تکنیک‌های تشخیص پلک‌زدن چشم، در واقع روش‌هایی می‌باشند که منطقه چشم را در تصاویر تشخیص می‌دهند. بسیاری از روش‌ها برای این اهداف همانند تطبیق قالب، مدل‌های رنگ پوست، پرتو افکنی، انتقال و هدایت سیکل، امواج واکنش‌دهنده گابر چندگانه، یا تشخیص چشم با استفاده از مشخصه Haar مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساده‌ترین راه برای تشخیص پلک‌زدن چشم‌ها در توالی تصاویر، کم‌کردن قالب‌های متوالی از یکدیگر و ایجاد تصاویر متفاوت می‌باشد.

با این وجود این روش نیازمند ثابت نگه داشتن موقعیت سر بوده، زیرا حرکات سر باعث ایجاد تشخیص اشتباه می‌گردد. این نوع از تشخیص پلک‌زدن چشم اساساً به‌عنوان یک مرحله ارزش‌دهی در سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم برای موقعیت‌یابی چشم می‌گردد.

با استفاده از روش های محقق دیگری بنام (Viola,2018)، روش‌هایی مبتنی بر تطبیق الگو از مدل تصویر چشم مورد بررسی و استفاده قرار گرفت که در مقایسه با بخش‌های تصویر ورودی می‌باشد. بخش منطبق تصویر ورودی توسط تطبیق الگو در برابر قالب تصویر کنونی مشخص می‌گردد. یکی از موانع اصلی این رویکرد این می‌باشد که در ارتباط با مقیاس‌گذاری، چرخش یا تغییرات شدت روشنایی نمی‌باشد. به این دلیل، ایده الگوی ناپایدارپذیر معرفی می‌گردد. در این رویکرد، مدل پارامتری تصویر چشم جمعاً توسط تابع انرژی تعریف می‌گردد. در فرایند تکراری حداقل‌رسانی انرژی، تصویر مدل چرخش داشته به‌منظور متناسب شدن با الگوی تصویر چشم ناپایدارپذیر می‌گردد. یکی از روش‌های مطرح شده اخیر برای تشخیص تصاویر داده شده از مشخصه‌ها که به‌صورت آبشاری نوع دسته‌بندی درختی می‌باشند.

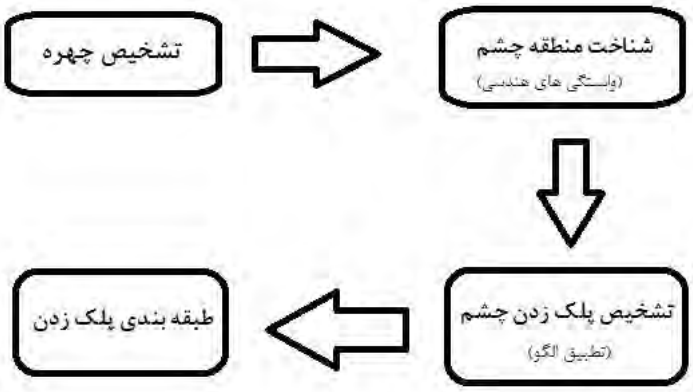


شکل۱) تشخیص پلک‌زدن چشم به‌وسیله تصاویر متفاوت: a) چشم باز b) چشم بسته c)وd) تصایر متفاوت آستانه

۳- سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم

سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم بر مبنای تصویر دارای کاربردهای احتمالی زیادی همانند نظارت بر خستگی چشم، رابط انسان و کامپیوتر و دروغ‌سنجی می‌باشد. مهم نیست که هدف سیستم چه می‌باشد، الگوریتم ایجاد شده باید منطقی و باثبات بوده و در زمان حقیقی در شرایط نورپردازی مختلف کار کند.

سیستم تصویری مطرح‌شده برای تشخیص پلک‌زدن چشم ارادی از مولفه‌های در دسترس ایجاد می‌گردد که شامل: کامپیوتر شخصی یا لپ‌تاپ کاربر و درون‌بینی با کیفیت متوسط می‌باشد. تصاویر چهره با وضوح پایین ۲۴۰*۳۲۰ پیکسل تقریباً با سرعت ۲۸fps پردازش می‌گردند. الگوریتم تشخیص پلک‌زدن چشم شامل چند مرحله اصلی می‌باشد: تشخیص چهره، اقتباس منطقه چشمی، تشخیص پلک‌زدن چشم و دسته‌بندی پلک‌زدن چشم می‌باشد. تشخیص چهره توسط ابزارهای مشخصه Haar و دسته‌بندی درختی آبشاری به‌کار گرفته می‌شود. تمرکز چشمی بر مبنای ارتباط هندسی خاص شناخته شده برای چهره انسان می‌باشد. تشخیص پلک‌زدن چشم با استفاده از تکنیک تطبیق الگوها به گفته (عرفانیان، ۱۳۹۶) انجام می‌گیرد. تمام مراحل الگوریتم با جزئیات بیش‌تری در بخش‌های دیگر توضیح داده می‌شوند. این الگوریتم امکان تشخیص پلک‌زدن چشم، تخمین مدت زمان پلک‌زدن چشم و بر این مبنا، دسته‌بندی پلک‌زدن چشم به‌صورت هم‌زمان یا ارادی می‌پردازد.

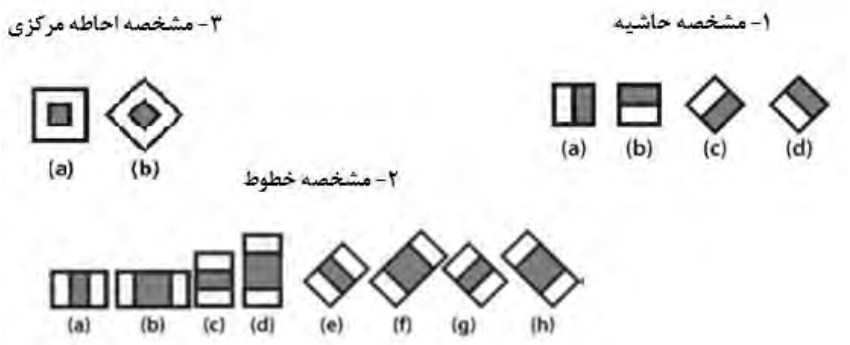


شکل ۲) طرح الگوریتم مدنظر قرار گرفته برای تشخیص پلک‌زدن چشم

۳-۱- تشخیص چهره

تشخیص چهره به‌عنوان بخش بسیار مهمی از الگوریتم تشخیص پلک‌زدن چشم می‌باشد. از آن‌جایی‌که با توجه به گفته (ابراهیمی، ۱۳۹۶) تمرکز بر روی صورت از نظر محاسباتی بسیار هزینه‌بردار و وقت‌گیر می‌باشد، این رویکرد تنها در طی ارزش‌دهی آغازی سیستم و در مواردی که صورت تشخیص شده گم می‌شود اجرا می‌گردد. بنابراین برای سیستم‌هایی که تمام وقت کار می‌کنند، روش انتخابی احتمالاً سریع کار می‌کند (کمتر از ۳۰ هزارم ثانیه در هر تصویر مجزا با سرعت ۳۰ fps). از طرف دیگر، دقت روش انتخابی نیز حائز اهمیت می‌باشد. سبک سنگین کردن می‌بایست بین نسبت آشکارسازی بالا، تغییر مسیر و میزان خطا انجام گیرد. روش انتخابی می‌بایست به‌صورت قوی در شرایط نورپردازی مختلف بکار برای حالات چهره مختلف، وجود عینک، موی صورت و سبک‌های موی مختلف به‌کار گرفته شود. راه‌حل‌های بیشماری برای تشخیص چهره مطرح شده است. آن‌ها به مواردی تقسیم می‌گردند روش بر مبنای اطلاعات که به توصیف خصوصیات تقارن چهره و رابط هندسی بین مشخصه‌های چهره می‌پردازد، روشی بر مبنای مشخصه براساس تشخیص دهان، چشم، بینی، رنگ پوست، روش‌های تطبیق الگو بر مبنای محاسبه انطباق بین تصویر ورودی و الگوهای ذخیره شده چهره و روشی بر مبنای مدل، که در آن الگوریتم‌ها بر روی مدل‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی قرار می‌گیرند، از ابزارهای برداری یا مدل‌های مارکف پنهانی حمایت می‌کنند. در الگوریتم ایجاد شده، روش حاصل شده از گروه تطبیق الگوها توسط ویولا و جونز ایجاد شده و توسط لینچارد و مایدت ایجاد شده و بر طبق آن به‌کار گرفته می‌شود.

مشخصه Haar از طریق ادغام تصاویر با الگوها با اندازه‌ها و جهت‌گیری‌های مختلف دسته‌بندی می‌گردند. این الگوی مشخصه‌ها به سه گروه طبقه‌بندی می‌گردد: حاشیه، خط و پوشش احاطه شده مرکزی. هر الگو متشکل از سه مستطیل سیاه و سفید می‌باشد.



شکل ۳) تصاویر مستطیلی مورد استفاده درتشخیص اهداف

مقدار مشخصه برای تصاویر داده شده بر مبنای مجموع وزنی شدت پیکسل‌ها تحت پوشش مستطیل سیاه و مجموع شدت پیکسل توسط کل پوشش محاسبه می‌گردد. تمام مشخصه‌های محاسبه شده برای تشخیص چهره در تصاویر مهم می‌باشند. دسته‌کننده قابل اجرا تنها با استفاده از بخشی از مشخصه‌ها با کوچکترین نسبت خطا ایجاد می‌گردد. به‌منظور یافتن این مشخصه‌ها، الگوریتم کمکی به نام افزایش تطبیقی ملایم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرایند افزایشی چندین بار بکارگرفته می‌شود تا ارتباط آبشاری دسته‌کننده‌ها را ایجاد کند. هر مرحله از این آبشار بر مبنای مجموع وزنی دسته کننده‌های ضعیف

می‌باشد که پیچیدگی مراحل با تعداد مراحل افزایش می‌یابد. برای محاسبه مشخصه‌ها، نمایش تصاویر جدید در شکل ۶ نشان داده می‌شود.

این روش با استفاده از مجموعه‌ای از ۱۵۰ تصویر چهره تست شد و دقت ۹۴٪ حاصل شد. سرعت الگوریتم بر روی تصاویر چهره وضوع مختلف با استفاده از پردازشگر Intel Core2 Quad CPU در ۲/۴ GHz آزمایش شد. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است. تصاویر نمونه با تشخیص چهره در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱- زمان تشخیص چهره با استفاده از مجموعه دسته‌بندی کننده‌ها و الگوی Haar

اندازه تصویر	تک چهره	۴ چهره
۲۴۴۸ * ۳,۲۶۴	۱۱,۸۶۰	**۱۱,۹۳۷**
۱,۸۳۶ * ۲,۴۴۸	۶,۵۳۱	**۶,۵۴۷**
۱,۲۲۴ * ۱,۶۳۲	۲,۹۵۳	**۳,۰۰۰**
۱,۲۸۰ * ۹۶۰	۱,۸۲۸	**۱,۸۷۵**
۶۴۰ * ۴۸۰	۴۸۴	**۵۱۶**
۳۲۰ * ۲۴۰	۱۵۶	**۱۵۷**

شکل ۴) نتایج تشخیص چهره و اتصال دسته‌بندی‌کننده درختی

۳-۲- اقتباس منطقه چشم

مرحله دوم الگوریتم تمرکز بر روی منطقه چشمی تصویر می‌باشد. موقعیت چشمی در تصویر چهره بر مبنای پیوند هندسی خاص شناخته‌شده صورت انسان مدنظر قرار می‌گیرد. قوانین سنتی نسبت نشان می‌دهد که چهره به شش مربع مساوی، دو به سه تقسیم می‌شود. بر مبنای این قانون، چشم‌ها در حدود ۰/۴ دورتر از نوک سر تا چشمان قرار می‌گیرند. تصویر منطقه چشمی اقتباس‌شده برای اجرای تشخیص پلک‌زدن چشم از پیش پردازش می‌گردد.

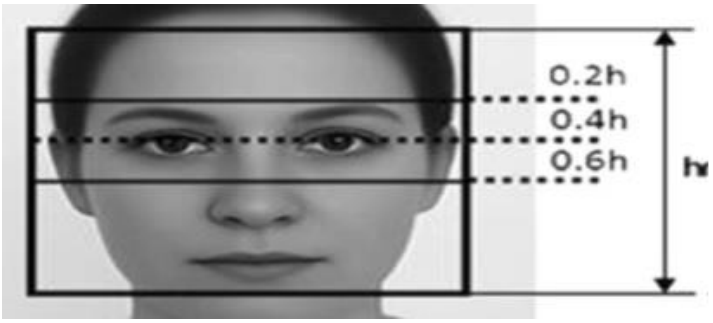
منطقه چشمی مربوطه از تصویر چهره برداشته شده و به‌عنوان الگویی برای تشخیص چشم از طریق تطبیق الگو مورد استفاده قرار می‌گیرد. اقتباس منطقه چشمی تنها در مقداردهی اولیه سیستم اجرا شده به‌صورتی‌که رویکرد تشخیص چهره تکرار می‌گردد.

۳-۳- تشخیص پلک‌زدن چشم

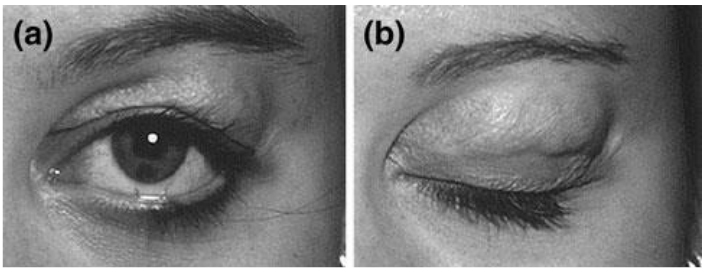
چشمان نمایان‌شده با استفاده از روش تطبیق عرضی نرمال تشخیص داده می‌شوند. تصویر الگوی چشمان کاربر به‌صورت اتوماتیک در طی مقداردهی اولیه سیستم حاصل می‌شود.

$$R(x',y') = \frac{\Sigma_{x'y'}[T'(x',y')I(x+x',y+y')]}{\sqrt{\Sigma_{x'y'}T'(x',y')^2\Sigma_{x'y'}I(x+x',y+y')^2}} \qquad (۱)$$

که در این فرمول R ضریب همبستگی، T تصویر الگو، I تصویر اصلی، x,y مختصات پیکسل می‌باشد. ضریب همبستگی بر مبنای اندازه‌گیری شباهت تصویر چشمان کنونی برای ذخیره‌کردن الگوی چشم باز (شکل ۶) می‌باشد.



شکل ۵) قوانین نسبت چهره انسان



شکل ۶)تصویر چشم نمونهمورد استفاده به عنوان الگو

بنابراین می‌توان آن را بر مبنای اندازه باز بودن چشم مدنظر قرار داد. نمونه‌ای از طرح تغییر مقدار ضریب همبستگی در زمان در شکل ۸ نشان داده شده است.

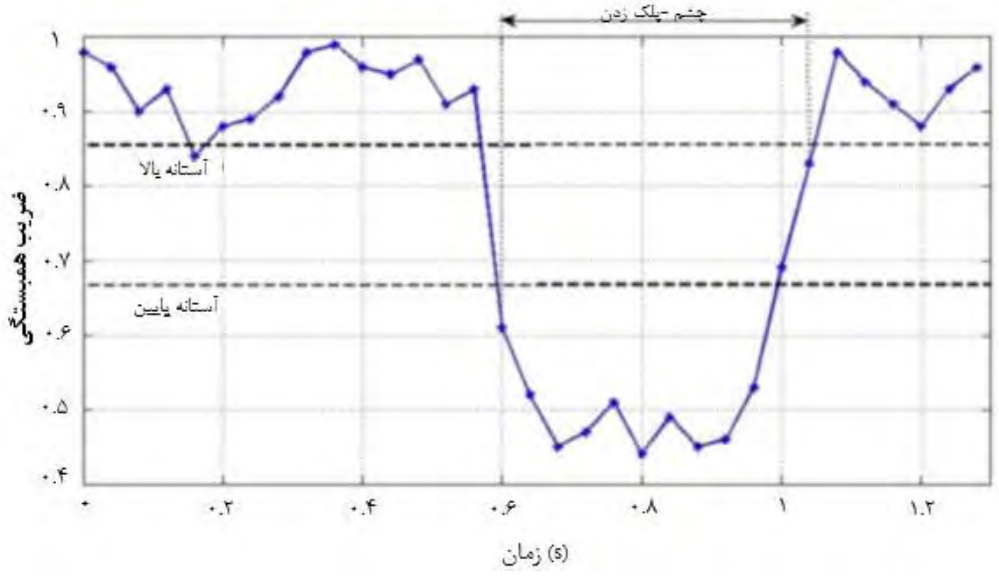
۳-۴- طبقه‌بندی پلک‌زدن

تغییر ضریب همبستگی زمانی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد تا پلک‌زدن چشم ارادی را در طی دوره بیش‌تر از ۲۵۰ ms تشخیص دهد. اگر مقدار ضریب پایین‌تر از مقدار آستانه از پیش تعریف‌شده TL برای دو فریم متوالی باشد، on-set پلک‌زدن چشم‌ها تشخیص داده می‌شود. off-set پلک‌زدن چشم زمانی مدنظر قرار می‌گیرد که مقدار ضریب همبستگی بیش‌تر از مقدار آستانه TH باشد. مقدار آستانه TL و TH به‌صورت آزمایشی تعیین می‌گردند. اگر مدت زمان تشخیص پلک‌زدن چشم طولانی‌تر از ۲۵۰ ms و کوتاه‌تر از ۲s باشد، به این ترتیب چنین پلک‌زدن چشمی بر مبنای کنترل ارادی می‌باشد.

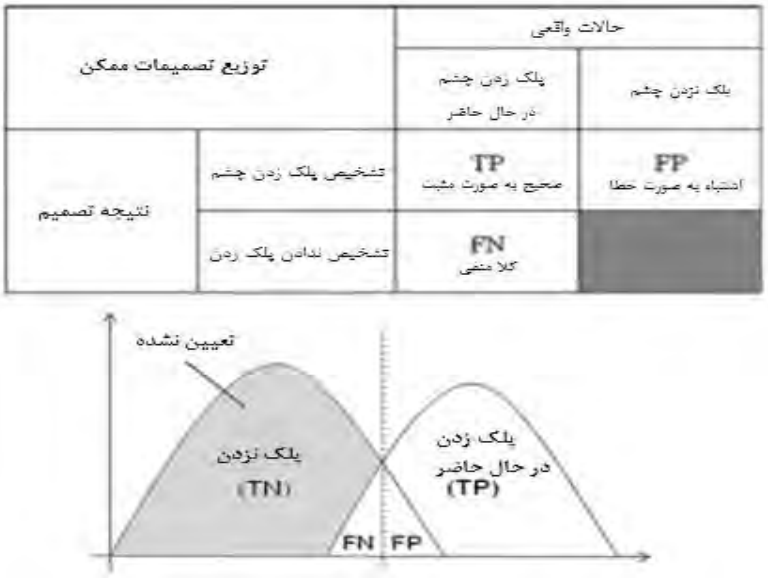
۳-۵-عملکرد سیستم

سیستم پیشرفته برای تشخیص پلک‌زدن چشم و بازبینی با استفاده از پردازش‌گر IntelCoreQuad CPU at 2.4 GHz بر روی توالی وب‌کم USB Logitech QuickCam 9000 Pro آزمایش می‌گردد. اندازه توالی تصویر ورودی برابر با ۳۲۰*۲۴۰ پیکسل می‌باشد. تست سیستم در اتاقی که با ۳ لامپ فلوروسنت و روشنایی روز از یک پنجره، روشن می‌شود، انجام می‌گیرد. فرد در جلوی مانیتور می‌نشیند، که دستورالعمل مرتبط با پلک‌زدن چشم در آن به نمایش گذاشته می‌شود. از هر فرد خواسته شد تا ۴۰ بار (۲۰ پلک‌زدن چشم بلند و ۲۰ پلک‌زدن چشم کوتاه) بزند. دوربین USB در بالای مانتیتور قرار داده شد که ۷۰ سانتیمتر از صورت فرد فاصله داشت. تشخیص پلک‌زدن چشم به‌صورت تمام‌وقت با میانگین سرعت ۲۹fps انجام شد. دو نوع خطا مشخص شد: تشخیص خطا (این سیستم، پلک‌زدن چشم را زمانی که نشان داده نمی‌شد تشخیص می داد)، پلک‌زدن چشم‌های از دست‌رفته (پلک‌زدن چشم‌هایی که توسط سیستم تشخیص داده نمی‌شد). توزیع احتمال خروجی ردیاب به‌صورت گرافیکی در شکل ۸ نشان داده شده است.

پلک‌زدن چشم‌های تشخیص داده شده صحیح به‌صورت مثبت (TP)، تشخیص اشتباه به‌صورت خطا (FP) و پلک‌زدن چشم‌هایی که از دست‌رفته بودند به‌صورت منفی نشان داده شدند.



شکل ۷- تغییر مقدار ضریب همبستگی در زمان در طی پلک‌زدن چشم



شکل ۸- توزیع احتمال خروجی تشخیص‌دهنده پلک‌زدن چشم

بر مبنای این پارامترها، سه اندازه‌گیری مرتبط با عملکرد سیستم مدنظر می‌باشد: دقت، فراخوانی و صحت، که به‌ترتیب تعریف می‌گردند.

$$\text{دقت} = \frac{TP}{TP+FP} \qquad (۲$$

$$\text{فراخوانی} = \frac{TP}{TP+FN} \qquad (۳$$

$$\text{صحت} = \frac{TP}{TP+FP+FN} \qquad (۴$$

این سه مورد برای ارزیابی تقویت سیستم در تشخیص پلک‌زدن چشم کوتاه و پلک‌زدن چشم بلند به‌صورت مجزا و هم‌چنین برای عملکرد کلی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. تست سیستم در شرایط روشنایی پایین و صورت‌های روشن‌شده به‌صورت غیرهمسان هم‌چنین به اجرا در می‌آید.

جدول ۲- پارامترهای کارایی سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم (در محیطی با روشنایی خوب)

اندازه	دقت ٪	فراخوانی ٪	صحت ٪
تشخیص پلک‌زدن چشم بلند	۹۶,۹۱	۹۸,۱۳	**۹۵,۱۷**
تشخیص پلک‌زدن چشم کوتاه	۹۶,۹۹	۹۸,۵۰	**۹۵,۵۳**
دقت کلی سیستم	۹۶,۹۵	۹۸,۳۱	**۹۵,۳۵**

جدول ۳-پارامترهای کارایی سیستم تشخیص پلک زدن چشم (در محیطی با روشنایی کم)

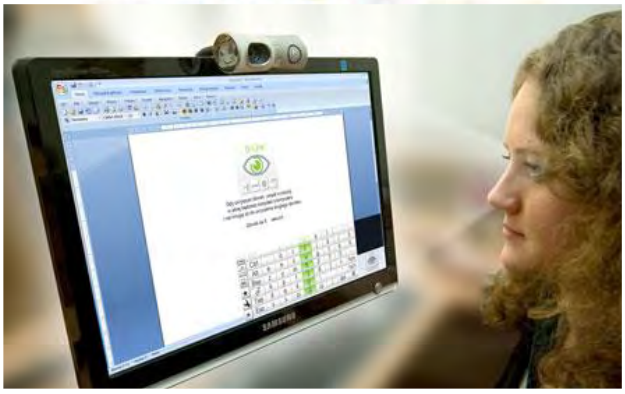
اندازه	دقت ٪	فراخوانی ٪	صحت ٪
تشخیص پلک‌زدن چشم بلند	۷۸,۴۳	۸۲,۱۱	**۷۷,۳۸**
تشخیص پلک‌زدن چشم کوتاه	۷۶,۱۵	۸۱,۹۳	**۷۷,۰۲**

توجه داشته باشید که نتایج حاصله قابل مقایسه با میزان عملکرد برای سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم بر مبنای تصور فعال می‌باشد. در راه‌حل مطرح شده، نسبت تشخیص چهره صحیح، برابر با ۹۹/۷۴٪ می‌باشد. این نتایج الگوریتم پیشرفته‌ای را در میان بهترین الگوهای موجود نشان می‌دهد. دقت سیستم تقریباً برابر با ۹۵٪ می‌باشد که دارای صحت ۹۷٪ و فراوانی ۹۸٪ می‌باشد. این ارقام نزدیک به نتایج حاصل‌شده برای سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم با استفاده از تکنیک روشن‌سازی فعال می‌باشد. الگوریتم ایجاد شده در نسبت fps ۲۵-۲۷ برای کامپیوترهای شخصی متوسط کار می‌کند. این پارامترها نشان می دهد که الگوریتم مطرح‌شده فرضیات مطرح‌شده توسط سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم معقول را مدنظر قرار می‌دهد.

۴- فعل و انفعال پلک‌زدن چشم

الگوریتم تشخیص اتوماتیک پلک‌زدن چشم ارادی در ایجاد رابط کاربری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برنامه کاربردی با استفاده از مجموعه برنامه‌های ویژال استودیو C++ و OpenCV نوشته می‌شود. این سیستم با توجه به بررسی‌های (Magee, 2018) از اجزای در دسترس ایجاد می‌گردد: که شامل دوربین داخلی و کامپیوتر شخصی کاربر می‌باشد. برای عملکرد بهتر سیستم، فاصله بین دوربین و سر کاربر نباید بیش از ۱۵۰ سانتیمتر باشد. تنظیمات سیستم در شکل ۹ نشان داده شده است.

رابط موردنظر توسط پلک‌زدن ارادی فعالیت می‌کند. مدت زمان متوسط پلک‌زدن چشم همزمان برابر با ۱۰۰ هزارم ثانیه می‌باشد. تشخیص پلک‌زدن چشم به‌صورت کوتاه (همزمان) و بلند (ارادی) می باشد.



شکل ۹) برنامه تست برای رابط کاربری موردنظر

به‌منظور اجتناب از خطاهای ایجاد شده توسط تفسیر پلک‌زدن چشم همزمان به‌عنوان ارادی، پلک‌زدن چشم با مدت زمان طولانی‌تر از ۲۰۰ هزارم ثانیه به‌صورت کنترل شده بوده و بر مبنای دستور، برای سیستم مدنظر قرار می‌گیرد. نمونه‌ای از طرح با چشمان باز در زمان با پلک‌زدن چشم کوتاه و بلند در شکل ۹ نشان داده می‌شود.

رابط موردنظر که برای سیستم عامل ویندوز طراحی می‌گردد، دارای وظایف زیر می‌باشد.

- بارگذاری و جستجوی صفحات وب

- کنترل کردن نشان‌گر موس و تقلید کیبورد و کلیدهای موس

- وارد کردن متن به ویرایشگر متنی اختیاری، صفحه گسترده یا پیامگیر

- خاموش کردن کامپیوتر

یکی از عوامل اصلی رابط کاربری ایجاد شده، کیبورد مجازی و موس صفحه‌ای می‌باشد. عملیات رابط بر مبنای فعال‌سازی کلیدهای خاص کیبورد مجازی یا موس با اجرای پلک‌زدن چشم کنترل‌شده می‌باشد. کلیدهای ثانویه به‌صورت اتوماتیک در توالی مدنظر قرار می‌گیرند. اگر پلک‌زدن چشم کنترل‌شده توسط سیستم تشخیص داده شود، فعالیت‌های تعیین‌شده برای کلید انتخابی به اجرا در می‌آید. به کاربر در مورد تشخیص پلک‌زدن چشم به دو صورت هشدار داده می‌شود: صدا در زمانی‌که پلک‌زدن چشم تشخیص داده می‌شود ایجاد شده و صدای دیگری نیز زمانی‌که پلک‌زدن چشم کنترل‌شده توسط سیستم تشخیص داده می‌شود، پخش می‌گردد.

در مورد کیبورد مجازی، علائم الفبایی در دو مرحله انتخاب می‌گردند. اولین مرحله انتخاب ستون‌هایی شامل علائم موردنظر می‌باشد. زمانی‌که پلک‌زدن چشم کنترل‌شده تشخیص داده می‌شود، علائم در ستون به‌صورت متوالی انتخاب شده و پلک‌زدن چشم کنترل‌شده دوم، امکان ورود حروف انتخابی را به ویرایشگر متن فعال ایجاد می‌کند.

الف

Shift		e	t	s	d	w	,	;
Ctrl	.	o	i	l	f	b	/	5
Alt	a	n	c	g	k	1	6	9
Bsp	h	u	m	j	2	7	0	-
Enter	r	y	x	3	8	[	=	PgUp
TAB	p	q	4	↑	\	`	'	PgDn
Esc	v	z	←	↓	→	]	del	Win

ب

Shift		a	i	w	s	l	,	;
Ctrl	.	o	r	t	j	b	/	5
Alt	e	n	c	u	g	1	6	9
Bsp	z	y	m	h	2	7	0	-
Enter	k	p	f	3	8	[	=	PgUp
TAB	d	q	4	↑	\	`	'	PgDn
Esc	v	x	←	↓	→	]	del	Win

شکل ۱۰- آرایش کیبورد صفحه‌ای برای : الف) زبان لهستانی، ب) زبان انگلیسی

Shift		A	I	W	S	L	<	:
Ctrl	>	O	R	T	J	B	?	%
Alt	E	N	C	U	G	!	^	(
Bsp	Z	Y	M	H	@	&	)	_
Enter	K	P	F	#	*	{	+	Home
TAB	D	Q	$	↑	|	~	"	End
Esc	V	X	←	↓	→	}	del	Win

شکل ۱۱- آرایش کیبورد صفحه‌ای به زبان لهستانی برای انتخاب کلید shift

آرایش‌های کیبورد مختلف برای ورود متن همانند الفبایی و اسکن کردن کیبوردهای نامعلوم نشان داده شده است. نشانه‌های الفبایی بر روی کیبورد مجازی در سیستم مطرح شده به صورتی آرایش داده می‌شود که زمان دسترسی به نشانه‌های خاص به نسبت تعداد وقوع این علائم در یک زبان خاص می‌باشد. بنابراین برای هر زبان، آرایش‌های متفاوتی از حروف موردنیاز می‌باشد. طرح‌های کیبورد به زبان لهستانی (الف) و انگلیسی (ب) آمده در شکل ۱۰ توضیح داده می‌شود.

کیبورد صفحه‌ای هم‌چنین شامل چندین کلید عملیاتی همانند Shift، Alt یا Ctrl می‌باشد. کاربر از کلید Shift برای وارد کردن حروف بزرگ یا نمادهای کلید مبدل استفاده می‌کند.

کلید Alt این امکان را برای کاربر ایجاد می‌کند تا نمادهای خاصی را همانند حروفی که بومی الفبای لهستانی می‌باشد وارد کنیم. هر دو کلید Shift و Alt و هم‌چنین کلیدهای وظیفه‌ای دیگر فشار داده می‌شوند تا زمانی‌که کلیدهای موردنظر انتخاب شده به گونه‌ای که ترکیب کیبورد موردنظر ایجاد می‌گردد.

منو موس صفحه شامل چهار کلید وظیفه و کلید Exit می‌باشد. فعال‌سازی یکی از چهار کلید بردار باعث می‌شود که نشانگر موس، در مسیر انتخابی حرکت کند. پلک‌زدن چشم کنترل‌شده دوم حرکت نشانگر را متوقف می‌کند. کلید L ، R و 2L مسئول کلیک چپ، راست و دو بار کلیک چپ می‌باشند.

Shift	ą	ń	ż		
Ctrl	ó	ć	ł		
Alt	ę	ś	ź		
Bsp					
Enter					
TAB					
Esc					

شکل ۱۲- آرایش کیبورد صفحه‌ای به زبان لهستانی برا انتخاب کلید Alt

شکل ۱۳) پنل هایموس صفحه‌ای، میانبر، بوک مارک

به این ترتیب، موس صفحه باعث دسترسی کاربر به تمام وظایف مرورگر اینترنت می‌گردد.

رابط ایجاد شده هم‌چنین به کاربر بعضی از مراحل شخصی‌سازی را ارائه می‌دهد. کاربر هم‌چنین به تعریف ۱۷ میانبر شکل ۱۶ پرداخته که به سرعت برای اجرای برنامه‌های انتخابی کاربردی برای مثال ویراستار متن، جستجوگر اینترنت، یا ایمیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این میانبر با موارد جدیدتر اضافه، حذف و جایگزین می‌گردند.

منو بوکمارک این امکان را به کاربر می‌دهد تا لینک‌هایی را به وب‌سایت‌های پر بازدید اضافه کنند. انتخاب کلید روی صفحه به بوکمارک باعث می‌شود که مرورگر اینترنت پیش‌فرض به اجرا در آمده و به نمایش صفحات وب گلچین شده بپردازد.

کلید وظیفه آخر منو، خاموش می‌باشد که این امکان را به کاربر می‌دهد تا به‌صورت ایمن تمام برنامه‌های اجرایی را بسته و کامپیوتر را خاموش کند.

۵- نتایج

رابط کاربری کنترل‌شده پلک‌زدن چشم توسط ۴۹ کاربر تست شده است: ۱۲ شرکت‌کننده با معلولیت بوده و گروه کنترل‌شده شامل ۳۷ شرکت‌کننده بدون معلولیت بوده است. تمام افرادی که به تکمیل مراحل آموزشی اجباری پرداختند، تقریباً ۱۰-۱۵ دقیقه به طول انجامیده است. مرحله تست متشکل از سه بخش می‌باشد: استفاده از کیبورد مجازی به زبان لهستانی، استفاده از رابط با کیبورد مجازی به زبان انگلیسی و استفاده از جستجوگر وب، در بخش اول و دوم مرحله تست، از افراد خواسته شد تا کلمات یا عبارت‌های کاملی را به زبان لهستانی و انگلیسی ایجاد کنند. زمان ورود اندازه‌گیری شده بر مبنای ثانیه بوده است. تعداد کاراکترهای ورودی غیر صحیح شمارش شده با تعداد کاراکترها در کلمات اصلی تقسیم شد. در زمان اجرای تست، اجازه تصحیح داده نمی‌شد. نتایج در جدول ۴، ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. سرعت ورودی متوسط برای رابط کاربری با کیبورد مجازی لهستانی برابر با ۵/۷ کاراکتردر قیقه بوده، در حالی‌که برای کیبور مجازی انگلیسی، سرعت ورود برابر با ۶/۵ کاراکتر در دقیقه بوده است. نسبت خطای کل برای تست کیبورد صفحه‌ای برابر با ۰/۴ بود (نشانه‌های ورودی غیر صحیح در ۳۶ کاراکتر)، سومین بخش از مرحله تست شامل ارزیابی عملکرد جستجوگر وب می‌باشد. از افراد خواسته شد تا فعالیت‌های زیر را انجام دهند:

الف) بارگذاری صفحات وب از پیش تعریف‌شده توسط فعال‌سازی کلیدهای مناسب بر روی کیبورد مجازی

ب) مرور صفحات وب مجازی

پ) جابه‌جایی نشانگر موس در یک محل مشخص شده و انجام کلیک

ج) وارد کردن آدرس اینترنتی مورد نظر و بازگذاری صفحات وب جدید

د) جابه‌جایی نشانگر از گوشه بالا سمت چپ به مرکز و سمت راست صفحه با وضوح پیکسل ۹۰۰ * ۱/۴۴۰

جدول ۴- عملکرد زمانی رابط پیشنهادی با کیبورد انگلیسی (نتایج قبل از آموزش)

کلمات	محدوده زمانی	متوسط زمان	توزیعاندازه
ایمیل	۳۰,۴-۷۶,۳	۴۰,۱	**±۶,۸۵**
نام	۳۷,۱-۷۸,۹	۴۶,۲	**±۷,۰۲**
نام من هست	۹۱.۳-۱۴۲,۷	۱۱۱,۸	**±۸,۳۹**
اطلاعات	۹۸.۱-۱۵۷,۹	۱۳۲,۵	**±۱۴,۲**
صبح بخیر	۱۰۴,۲-۱۷۸,۳	۱۴۱,۳	**±۱۳,۹۸**

جدول ۵- عملکرد زمانی رابط پیشنهادی با کیبورد انگلیسی (نتایج بعد از آموزش)

کلمات	محدوده زمانی	متوسط زمان	توزیع اندازه
ایمیل	۲۷/۳-۵۰/۱	۳۵/۰۳	±۳/۳۶
نام	۳۰/۸-۵۶/۹	۳۹/۷۷	±۶/۹۵
نام من هست ..	۸۲/۶-۱۰۹/۳	۹۳/۴۵	±۷/۰۵
اطلاعات	۸۲/۹-۱۳۱/۲	۱۰۰/۵۷	±۱۳/۱۳
صبح بخیر	۹۳/۱-۱۴۰/۳	۱۰۸/۲۷	±۱۴/۴۷

جدول ۶- عملکرد زمانی رابط پیشنهادی با کیبورد لهستانی (نتایج قبل از آموزش)

کلمات	محدوده زمانی	متوسط زمان	توزیع اندازه
ایمیل	۶۳/۱-۱۰۵/۳	۸۱/۳	±۸/۳۷
نام	۵۰/۸-۸۲/۱	۶۹/۸	±۶/۴۲
نام من هست ..	۱۱۸/۳-۱۵۲/۷	۱۳۳/۵	±۹/۶۱
اطلاعات	۱۱۹/۱-۱۴۶/۸	۱۲۷/۴	±۷/۱۸
صبح بخیر	۱۲۲/۴-۱۶۵/۲	۱۴۲/۷	±۶/۰۹

جدول ۷- عملکرد زمانی رابط پیشنهادی با کیبورد لهستانی (نتایج بعد از آموزش).

کلمات	محدوده زمانی	متوسط زمان	توزیع اندازه
ایمیل	۴۹/۶-۷۵/۱	۶۱/۳۹	±۷/۸۹
نام	۳۷/۱-۵۷/۱	۴۴/۸۵	±۵/۳۴
نام من هست ..	۹۶/۷-۱۲۹/۳	۱۰۸/۶۱	±۹/۲۵
اطلاعات	۹۰/۶-۱۱۶/۰	۹۹/۷۱	±۶/۱۲
صبح بخیر	۹۵/۸ -۱۲۹/۴	۱۱۱/۹۴	±۸/۹۸

نتایج مرتبط به بخش سوم تست در جدول ۸ خلاصه شده‌اند. بعد از تکمیل مراحل تست، ۷ نفر شکایتی در مورد خستگی و فشار چشم داشته‌اند.

رابط کاربری پیشرفته‌تری هم‌چنین برای دو فردی که از بیماری اختلال عضلاتی رنج می‌بردند، ارائه شد. اختلال عضلاتی مجموعه‌ای از حرکات غیر ارادی، لرزشی و کند در ارتباط با انعطاف‌پذیری، کشش و چرخش انگشت و دست و انگشت پا و پاها می‌باشد. به نظر می‌رسد که این موارد از طریق آسیب به جسم مختلط مغز ایجاد شده و هم‌چنین توسط ضایعه تالاموس حرکتی ایجاد می‌گردد.

جلسات تست این دو نفر بدین صورت که یکی از این افراد معلول، سیستم در تشخیص چشمان کاربر به دلیل حرکات سر مستمر ناموفق بوده است. فرد دوم این سیستم را کارآمد دانسته و آماده استفاده از نمونه‌های عملیاتی بود.

وظایف رابط به دو شیوه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: برای تخمین زمان موردنیاز برای ورود توالی خاص نشانه‌های الفبا و از طریق ارزیابی دقت کاربرد موس صفحه‌ای.

جدول ۸- عملکرد زمانی رابط کامپیوتر و انسان در پلک‌زدن چشم

عملیات	متوسط زمان	توزیع اندازه
بارگیری وب‌سایت از پیش تعریف‌شده	۶/۲۱	±۰/۵۸
مرور کردن صفحه وب	۱۰/۴۸	±۱/۰۳
حرکت مکان‌نما به موقعیت داده شده و کلیک کردن	۱۳/۲۴	±۱/۳۸
وارد کردن آدرس اینترنت	۶۱/۳۳	±۷/۸۱
حرکت‌دادن مکان نما در امتداد قطر صفحه	۹/۵۴	±۰/۵۱

عملکرد کاربر دو بار اندازه‌گیری می‌گردد: قبل و بعد از جلسه آموزشی دو ساعته. نتایج در جدول ۴ و ۵ خلاصه شده‌اند. متوسط زمانی ورود علائم مجزا برابر با ۱۶/۸ ثانیه قبل از جلسه آموزشی و ۱۱/۷ بعد از جلسه آموزشی می‌باشد. زمان میانگین حرکت نشانگر از گوشه راست پایین به مرکز صفحه برابر با ۷/۴۶ ثانیه می‌باشد. هم‌چنین درصد تشخیص پلک‌زدن چشم کنترل‌شده محاسبه شده و تقریباً برابر با ۹۹٪ می‌باشد.

از کاربر خواسته شد تا به ارزیابی کارایی رابط موردنظر به‌صورت خوب یا ضعیف بپردازد. ۹۱٪ از تست‌شونده‌ها این رابط را خوب ارزیابی کرده‌اند. یکی از مشکلات اصلی در مورد پیچیدگی آموزش رابط و نیاز برای آموزش بیشتر بوده است. همچنین ۸۴٪ از کاربران شکایتی را در مورد خستگی چشم بعد از تقریباً ۱۵ دقیقه استفاده از این رابط کرده‌اند. این موارد توسط افشار زیاد برای انتخاب کاراکترها در صفحه بوده است. این مشکل با معرفی گزینه‌های متنی قابل پیش‌بینی برای پر کردن خودکار حل می‌شود. رابط پیشنهادی بعد از کمی تغییر، برای اهداف دیگر نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در شکل تعدیل‌شده آن، این رابط می‌تواند به بیمارستان‌ها برای بیماران فلج شدید به‌عنوان ابزاری برای آگاه‌شدن از نیازهای اصلی یا تماس با پرسنل پزشکی، معرفی گردد. سیستم تشخیص پلک‌زدن چشم می‌تواند برای کنترل تجهیزات بیرونی همانند دستگاه تلویزیون، رادیو یا ویلچر از طریق پلک‌زدن چشم ارادی و طولانی مدت به‌کار گرفته شود.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل‌شده نشان می‌دهد که الگوریتم مطرح‌شده امکان تشخیص دقیق پلک‌زدن چشم را با نسبت تقریباً ٪۹۹ ایجاد می‌کند. آزمایش‌های انجام شده اثبات می‌کند که رابط کاربری کنترل پلک‌زدن چشم طراحی‌شده به‌عنوان ابزار مفیدی برای ارتباط با تجهیزات می‌باشد. عقاید کاربران با تعدیل کارکرد جالب توجه می‌باشد.

این ایده مطرح شده در بعضی مواقع خاص ممکن است به صحت دقیقی نرسد که چند مورد پیشنهادی را ذکر کرده تا در آینده در کنار این سیستم، این پیشنهادهای هم محقق شوند:

۱) وجود انسان‌هایی با مشکل انقباض عضلانی ناخواسته به‌نام پرشپلک که یک حرکت خودکار و یکپارچه است که هر ثانیه یا چند ثانیه پلک شما باز و بسته می‌شود و این مشکل ممکن است گاهی تا چند روز طول بکشد، باید رابط مورد استفاده با سیستم را برای آن‌ها ایجاد کرد.

۲) استفاده از عینک‌ها و مانیتورهای چند بعدی (سه‌بعدی، پنج بعدی و...) برای بهتر شدن کیفیت دید.

۳) ایجاد سیستمی برای افرادی که بوتاکس کرده‌اند، به‌صورت عضلاتی تزریق می‌شود که مسئول بسته‌شدن پلک هستند و آن عضلات فلج می‌شوند و قادر به انقباض نیستند و یا در مدت زمان طولانی‌تری انجام می‌گیرد به همین دلیل متوسط زمان و محدوده زمان برای انجام آن عملیات با سیستم مطرح شده متفاوت می‌باشد.

در ادامه این سیستم مطرح شده، در بازار بر مبنای نرم‌افزار در دسترس توسط شرکت فناوری لهستان به‌عنوان رابطی برای افراد معلول هم به‌کار گرفته می‌شود.

۷- منابع

عرفانیان، مهدی، ۱۳۹۶، تشخیص فرمان‌های ادراکی چشم، کنفرانس مهندسی پزشکی ایران، دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

ابراهیمی، اکبر، ۱۳۹۶، روش ترکیبی برای شناسایی چهره انسان، کنفرانس محاسبات توزیعی و پردازش داده‌های بزرگ، دانشگاه آزاد میانه

MacKenzie, I.S, (2017). BlinkWrite: efficient text entryusing eye blinks. Universal Access in the Information Society.

Viola, P, Jones, M, (2018). Rapid object detection using a boostedcascade of simple features. Computer Vision and Pattern Recognition, 2018. Proceedings of the IEEE,Computer Society, vol. 1, pp. 511–518 .

Magee, J.J, Betke, M, (2018)., EyeKeys:A real-time vision interface based on gaze detection video camera. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. pp. 159–159 .

5th International Conference on
15 September 2018
Information Technology,Computer&Telecommunication

An Eye-Blink Detection System for Human-Computer Interaction

Elyas arab moheghghi
Salman univercity of Mashhad,Iran

Abstract

In this article, the interface is based on a computer and human image. This interface focuses on blinking eyes and interprets them according to the controller's commands. Image processing methods include rough features for face detection and pattern matching based on eye tracking and blinking eye detection. Interface performance has been tested by 49 users (12 of them have malfunctioning). The test results show the interface performance as an alternative to the computer connection. Users of English and Polish text (with an average time of less than 12 seconds per character) and able to search the Internet. This notebook-based notebook is equipped with regular web cameras and does not require an additional light source. This software is available online as an open source software.

Keywords: Computer and human interface, blink of eye detection, face detection