

طراحی و ساخت یک ردیاب حرکات چشم به روش تصویری

دیاکو مردان‌بگی^{۱*}، محمد رضا ملاک زاده^۲

دانشجوی کارشناسی ارشد بیومکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران^۱

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، گروه بیومکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران^۲

^۱ dmardanbeigi@mecheng.iust.ac.ir ^۲ [mallak@iust.ac.ir](mailto:mmallak@iust.ac.ir)

* نویسنده مسئول مکاتبات

چکیده

در این مقاله به ساخت یک ردیاب حرکات چشم بلادرنگ، ارزان و در عین حال کاربردی اشاره می‌شود که بر پایه تکنیک تصویری بوده و می‌تواند برای ارتباط راحت‌تر شخص با رایانه مورد استفاده قرار گیرد. البته رویکرد اصلی در طراحی سیستم، توانبخشی معلولین و کمک به آنها در برقراری ارتباط با کامپیوتر بوده است. در این مقاله به معرفی سخت‌افزار و نرم‌افزار سیستم و نیز دو الگوریتم استفاده شده برای تشخیص مردمک پرداخته شده است. همچنین در پایان، نتایج مربوط به ارزیابی عملکرد دو الگوریتم مختلف تشخیص مردمک در تصویر، و دقت سیستم در هر حالت ارائه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: توانبخشی، تعقیب حرکات چشم، ردیابی حرکات چشم (Eye Tracking)

۱- مقدمه

یک ردیاب چشم به راحتی می‌تواند در کنار ابزارهای ارتباطی چون موشواره و صفحه کلید مورد استفاده قرار گیرد و منجر به سرعت بخشیدن برخی فعالیت‌ها گردد. برای نمونه می‌توان به کار با مرورگرهای اینترنت و دیدن صفحات وب اشاره نمود. (به مرجع [3] مراجعه شود).

با لحاظ نمودن خطای کنونی سیستم‌های ردیاب چشم و طراحی نرم‌افزارهایی با اینترفیس مناسب، می‌توان از این سیستم‌ها به عنوان جایگزینی مناسب برای موشواره و حتی صفحه کلید استفاده نمود. این امر می‌تواند کمک شایانی به افراد با محدودیت‌های حرکتی در دست و پا نموده و آنها را قادر به برقراری ارتباط با رایانه و از طریق آن با دیگران نماید.

متدهای فراوانی تاکنون برای ردیابی چشم بکارگرفته شده است. یکی از آنها متد تصویری بوده که امروزه به عنوان روشی مناسب در این زمینه شناخته شده است. اساس این

فرایندی را که طی آن بتوان حرکات چشم شخص نسبت به سر او را اندازه‌گیری نموده و متعاقباً نقطه دید ناظر را پیدا کرد ردیابی حرکات چشم (Eye Tracking) می‌نامند. همچنین وسیله‌ای را که بتوان با آن به این امر نایل آمد، ردیاب حرکات چشم و یا اختصاراً ردیاب چشم (Eye Tracker) گویند. [1]

هر چند که فناوری ردیابی چشم هنوز در مرحله تحقیقاتی بوده و سیستم‌های موجود دارای قیمت بالایی هستند، امروزه شاهد کاربردهای بسیار قابل توجهی از این فناوری در زمینه‌های گوناگون همچون پزشکی، توانبخشی، ارگونومی [۲] و بازاریابی هستیم. یکی از زمینه‌های مهم دیگر ارتباط متقابل میان انسان و کامپیوتر (Human-Computer Interaction) می‌باشد.

دوربین بی‌سیم، گیرنده، کارت کپچر رایانه، منبع نورانی مادون قرمز و نهایتاً یک بخش قابل نصب بر روی سر که دوربین را در فاصله مشخصی از چشم نگه می‌دارد.

برای نصب دوربین بر روی سر شخص، از یک فریم سبک عینک استفاده شده است. اتصال دوربین به قاب عینک بسیار حائز اهمیت می‌باشد چرا که موقعیت دوربین نسبت به چشم می‌بایستی قابل تنظیم باشد در عین حال وضعیت دوربین در برابر حرکت و تکان‌های سر، ثابت و بدون لرزش باشد. مکانیزم نگهدارنده دوربین، ۵ درجه آزادی را برای آن فراهم نموده و براحتی می‌توان موقعیت دوربین را در مقابل چشم تنظیم نموده تا تصویر مناسبی از چشم بدست آید.



شکل ۱: بخش قابل نصب بر روی سر

تنظیم موقعیت دوربین با نیروی اندک دست ممکن بوده و این مرحله بسیار سریع انجام می‌شود. وزن این سیستم بدون باتری تقریباً ۴۰ گرم می‌باشد.

گرفتن تصویر چشم از مقابل شیشه عینک موجب می‌شود که بازتاب نور محیط بخصوص صفحه نمایش، از سطح شیشه در تصویر ظاهر شده و تصویر نامناسبی حاصل می‌گردد که تشخیص مردمک در آن دشوار خواهد شد. در نمونه ردیاب ساخته شده این امکان وجود دارد که با پایین آوردن دوربین، تصویر چشم را از فاصله میان لبه پایینی عینک طبی و گونه شخص گرفت که در این حالت تصویر چشم باریک‌تر دیده می‌شود اما قابل استفاده خواهد بود.

۳- نرم افزار

نرم افزار طراحی شده برای سیستم ردیاب ساخته شده با زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است و از ویژگی‌های قابل ذکر آن امکانات مختلفی است که یکجا در نرم افزار گنجانده شده است.

متد بر پایه استفاده از تصاویر گرفته شده از چشم و تعیین موقعیت چشم با پردازش این تصاویر می‌باشد. در تصاویر گرفته شده می‌توان برخی از مشخصه‌های چشم را اندازه‌گیری نموده و با بررسی تغییرات این مشخصه‌ها است که موقعیت چشم و نقطه دید شخص اندازه‌گیری می‌گردد.

در این مقاله به معرفی یک ردیاب حرکات چشم با متد تصویری پرداخته شده است. سادگی، سرعت عمل و در عین حال کارا بودن، سه پارامتر مهم لحاظ شده در متدها و الگوریتم‌های استفاده شده در نرم‌افزار سیستم مذکور می‌باشد. همچنین در طراحی نرم‌افزار سیستم سعی شده تا حد امکان بخش‌های کاربردی متنوعی در آن گنجانده شود. طراحی سخت‌افزار سیستم نیز با هدف اصلی پایین آمدن قیمت تمام شده آن و راحتی استفاده از آن صورت گرفته است.

۲- بخش‌های سخت‌افزاری ردیاب چشم ساخته شده

مهمترین بخش سخت‌افزاری سیستم دوربین آن است. به منظور پرهیز از بازتاب نورهای مرئی محیط از سطح چشم، این دوربین می‌بایستی از نوع مادون‌قرمز باشد. از مشخصه‌های مهم دیگر آن می‌توان به سبکی، کوچک بودن، ارزان بودن و همچنین سرعت تصویر برداری بالای آن اشاره کرد. نکته قابل توجه دیگر در طراحی، کم کردن میزان سیم استفاده شده در بخش قابل نصب بر روی سر بود. این امر نه تنها به سبکی سیستم کمک می‌نماید، بلکه باعث آزادی بیشتر کاربر و احساس راحتی بیشتر او نیز می‌گردد.

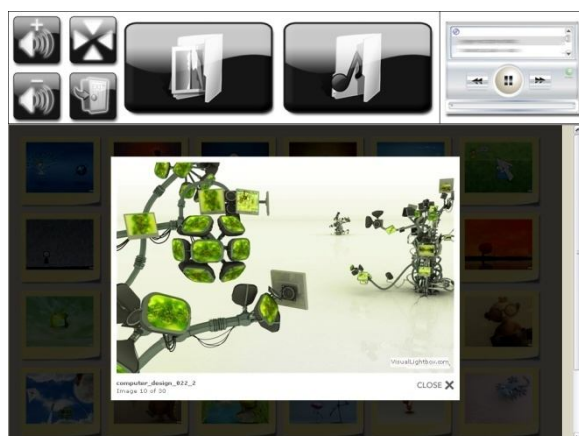
در میان وب-کم‌ها و دوربین‌های آنالوگ دید در شب موجود در بازار که تعداد آنها بسیار محدود بودند، یک دوربین آنالوگ با سنسور CMOS تقریباً تمام ویژگی‌های مورد نظر را دارا بوده که برای سیستم مورد نظر انتخاب گردید. این دوربین علاوه بر داشتن مداری کوچک و سبک به صورت بی‌سیم بوده و تصویر از طریق یک فرستنده کوچک به گیرنده که می‌تواند بر روی میز قرار داده شود ارسال می‌گردد.

بطور کلی اجزای اصلی ردیاب چشم ساخته شده عبارتند از:



شکل ۲: صفحهٔ مربوط به تایپ فارسی نرم‌افزار

بخش دیگری که در نرم‌افزار گنجانده شده است، یک محیط چندرسانه‌ای بوده که در آن امکان استفاده از فایل‌های صوتی و تصویری توسط کاربر وجود دارد. در این محیط کاربر می‌تواند آلبوم‌های تصویری و صوتی و فایل‌های موجود در آنها را انتخاب نماید.



شکل ۳: محیط چندرسانه‌ای نرم‌افزار

در بخش ترسیم نمودار از نرم‌افزار نیز سه قسمت گنجانده شده است. در قسمت اول می‌توان نمودار داده‌هایی چون قطر مردمک و مختصات مردمک را در طول زمان رسم نمود و تغییرات آن را شاهد بود. در قسمت دوم می‌توان داده‌های مربوط به مختصات نقاط دید شخص و مختصات نشانگر در صفحه را بصورت یک فایل استاندارد در بازه‌ای از زمان ذخیره نمود. این فایل بصورت یک فایل متنی بوده و با فرمت استاندارد که نرم‌افزارهای تحلیل داده‌های ردیاب چشم از آن استفاده می‌کنند استخراج می‌شود. در قسمت سوم داده‌های مذکور یعنی، مسیر حرکت چشم، نقاط مکث،

شش بخش اصلی در نرم‌افزار گنجانده شده است. این شش بخش عبارتند از: تنظیمات تصویربرداری، ردیابی چشم، کالیبراسیون، حرکت دادن نشانگر با چشم، کاربردها و ترسیم نمودار.

بخش‌های ویژهٔ تایپ، بازی و سرگرمی، دیدن آلبوم عکس و بخش مربوط به پخش فایل‌های صوتی و همچنین امکانات جانبی همچون رسم نمودار از داده‌های مربوط به ردیابی چشم و برخی مشخصات ظاهری چشم و بخش مربوط به رسم الگوهای حرکتی چشم در طول زمان هنگام دیدن فایل‌های ویدئویی و عکس، همگی از جمله امکانات این نرم‌افزار به شمار می‌رود.

در بخش مربوط به کاربردها، یک صفحهٔ مربوط به تایپ وجود دارد. در این صفحهٔ حروف به ترتیب در صفحه چیده شده و شخص با مشاهده حروف و انتخاب آنها می‌تواند جملهٔ مورد نظر را تایپ نماید. این بخش نرم‌افزار علاوه بر زبان انگلیسی از زبان فارسی نیز پشتیبانی می‌کند. در ردیاب ساخته شده نحوهٔ کلیک کردن و یا انتخاب بوسیلهٔ چشم با دو روش مختلف امکان پذیر گشته است. کلیک کردن با روش مکث "Dwell-time" و همچنین کلیک کردن به کمک ترکیب پلک زدن و مکث. در حالت کلیک به روش مکث، چنانچه کاربر برای مدتی مشخص و قابل تنظیم به یک آیتم خیره شود، آن آیتم انتخاب می‌شود. در حالت دوم کلیک کردن، هنگامیکه شخص یک نقطه را نگاه کرده و پلک بزند، یک علامت دایره کوچک در آن نقطه از صفحه ظاهر می‌شود، چنانچه مرکز دایرهٔ مذکور همان نقطهٔ مورد نظر کاربر برای کلیک کردن باشد، کاربر می‌بایستی برای مدتی به دایرهٔ مذکور خیره شود تا انتخاب گردد. در غیر این صورت با خروج نقطهٔ دید از دایرهٔ مذکور، دایره حذف گشته که به منزلهٔ انصراف از کلیک کردن می‌باشد.

بخش دیگر مربوط به بازی و سرگرمی بوده که در این بخش تعداد زیادی بازی و سرگرمی در رابطه با هوش، حافظه و غیره که همگی تنها با کمک چشم قابل اجرا می‌باشند گنجانده شده است. با کمک منوی اصلی این صفحه کاربر می‌تواند به بازی قبل و بعد رفته و یا از این بخش خارج گردد.

۴-۱- یافتن ناحیه حدودی مردمک

برای یافتن ناحیه حدودی مردمک در تصویر ابتدا از تصویر آستانه‌گیری می‌نماییم. مقدار آستانه به طور پیش فرض مقدار کمی برابر با ۵ گرفته می‌شود. با فرض آنکه مردمک در تصویر بدست آمده به صورت یک دایره و یا بیضی تیره رنگ در زمینه‌ای روشن دیده می‌شود با کمک یک مربع لغزان در تصویر به جستجوی آن می‌پردازیم. طول ضلع این مربع تقریباً برابر با قطر مردمک گرفته می‌شود. این مربع را با قدم‌هایی به اندازه نصف طول ضلعش بر روی تصویر لغزاند و در هر گام میانگین روشنایی پیکسل‌های داخل آن و همچنین میانگین روشنایی پیکسل‌های داخل مربع‌های همسایه آن نیز ذخیره می‌گردد. در پایان عملیات مربعی که کمترین میانگین رنگی را داشته باشد و همسایگان آن بیشترین میانگین رنگی را دارا باشد، به عنوان ناحیه حدودی مردمک در نظر گرفته می‌شود و مرکز مربع مورد نظر (P0) به عنوان مرکز حدودی مردمک لحاظ می‌گردد.

۴-۲- الگوریتم چهارضلعی محیطی

پس از آنکه ناحیه حدودی مردمک در تصویر بدست آمد، به یافتن چهار نقطه بالا، پایین، راست و چپ مردمک می‌پردازیم. این امر به کمک چهار خط لغزان که از نقطه P0 به سمت مرزهای مردمک حرکت می‌کنند انجام می‌شود. از نقطه P0 دو خط عمودی (V1, V2) و دو افقی (H1, H2) به ضخامت یک پیکسل، به سمت کناره‌های تصویر حرکت می‌کنند. پس از هر واحد حرکت، در هر خط، تعداد پیکسل‌هایی که روشنایی آنها در محدوده روشنایی مردمک می‌باشد شمارش می‌شود. چنانچه در هر کدام از خطها، تعداد این پیکسل‌ها به کمتر از ۳ پیکسل برسد، آن خط متوقف شده و موقعیت افقی و یا عمودی آن ذخیره می‌گردد.

در تصویر a از شکل (۵) سه خط به کناره‌های مردمک رسیده و خط H1 در حال رسیدن به مرز بالایی مردمک است. طول این خطها قابل تنظیم می‌باشد و تقریباً کمی بزرگتر از قطر تقریبی مردمک در نظر گرفته می‌شود. پس از محیط کردن چهارضلعی بر مردمک، محل تقاطع اقطار چهارضلعی را به عنوان مرکز مردمک در نظر می‌گیریم. این نقطه را P1 می‌نامیم. مختصات این نقطه در واقع میانگین

حرکات پرشی چشم و ترتیب آنها را در طول تماشای یک عکس و یا یک فایل ویدئویی با فرمت‌های مختلفی به نمایش در می‌آید. این بخش کاربردهای بسیار فراوانی دارد بخصوص در زمینه‌های تبلیغات، بازاریابی و تحقیقات مربوط به روانشناسی. در شکل ۴ یک عکس و مسیر حرکت چشم و دید شخص را مشاهده می‌نماییم که با فرمت "ScanPath" توسط نرم‌افزار رسم شده است.

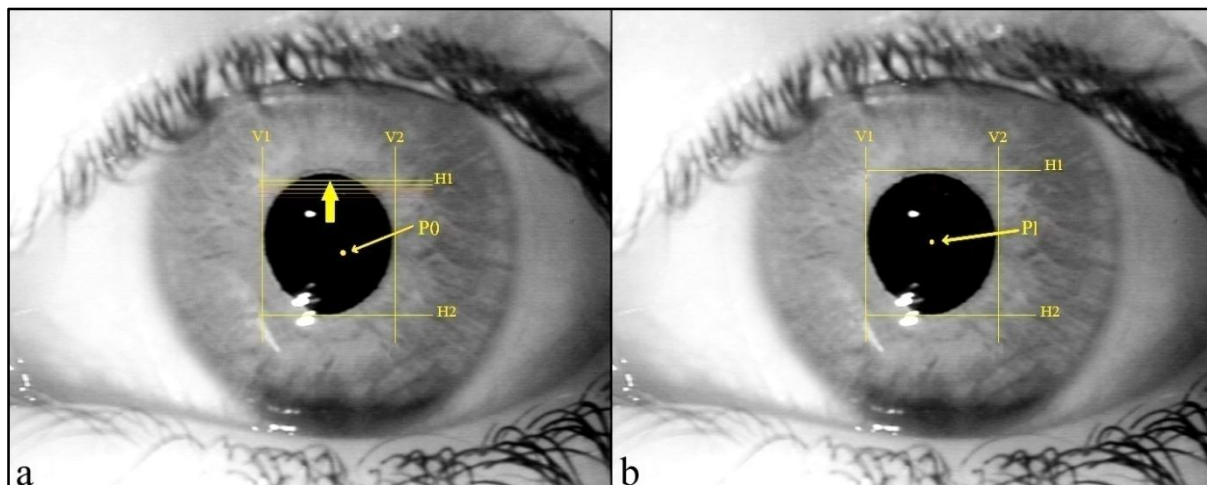


شکل ۴: نمایش مسیر حرکت چشم و نقاط مکث بر روی یک تصویر به صورت ScanPath

۴-۳ الگوریتم استفاده شده برای ردیابی حرکات چشم

در سیستم ردیاب ساخته شده پس از گرفتن تصویر از دوربین، به یافتن مرکز مردمک در تصویر پرداخته می‌شود. از آنجایی که حرکت سر باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری نقطه دید می‌گردد، سر شخص در طول استفاده از سیستم ثابت نگه داشته می‌شود. این کار براحتی با تکیه دادن به یک صندلی پشتی بلند ممکن می‌گردد.

در ردیاب مذکور هدف استفاده از روشی ساده و سریع برای تشخیص مرکز مردمک تیره در تصویر بوده تا بتوان ردیابی بلادرنگی را داشته باشیم. بنابراین از دو روش چهارضلعی محیطی و میانگین نقاط مرزی استفاده شده است. قبل از تعیین مرکز مردمک، ابتدا موقعیت حدودی مردمک در تصویر را پیدا نموده و سپس به یافتن دقیقتر مرکز مردمک با دو متد مختلف می‌پردازیم.

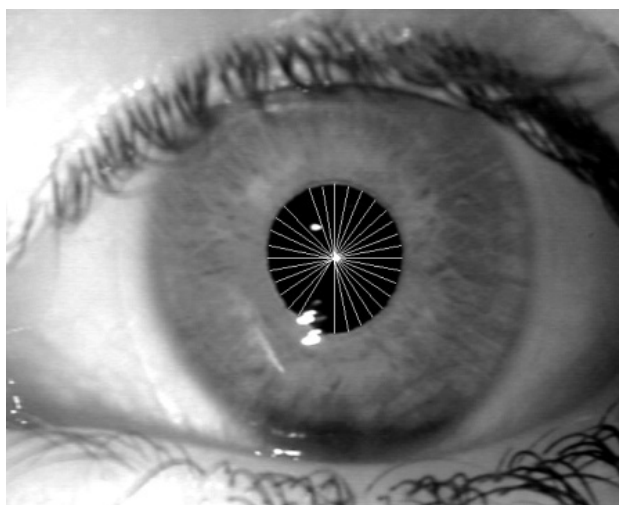


شکل ۵: (a) دو خط افقی و عمودی از نقطه P0 به سمت کناره‌های مردمک حرکت می‌کنند. در تصویر خط H1 در حال نزدیک شدن به مرز بالایی مردمک می‌باشد. (b) در پایان عملیات، وسط دو خط افقی و دو خط عمودی به عنوان P1 مرکز مردمک در نظر گرفته می‌شود. مختصات چهار نقطه کناری مردمک می‌باشد. نقطه P1 می‌تواند به عنوان مرکز مردمک در تصویر، در مراحل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۳- الگوریتم میانگین نقاط مرزی

برای بهبود دقت اندازه‌گیری مرکز مردمک می‌توان از یک گام تکمیلی پس از الگوریتم چهارضلعی محیطی استفاده نمود. در این روش همانند روش چهارضلعی محیطی، مرکز مردمک با روش ساده میانگین‌گیری بدست می‌آید. با این تفاوت که در روش چهارضلعی محیطی میانگین چهار نقطه گرفته می‌شود ولی در این روش از آرایه نقاط مرزی استفاده کرده و میانگین آنها را به عنوان مرکز مردمک قرارداد می‌کنیم. در این حالت جابجایی چند نقطه در آرایه نقاط، تغییرات کمتری را نسبت به جابجایی ۴ نقطه کناری در روش چهارضلعی محیطی در نتیجه ایجاد می‌نماید.

بدین منظور باید آرایه نقاط مرزی مردمک را بدست آوریم. برای اینکار از جستجوی شعاعی استفاده می‌نماییم بگونه‌ای که از نقطه P1 برای شروع جستجوی نقاط مرزی مردمک استفاده می‌نماییم بگونه‌ای که از این نقطه شعاع‌هایی با اختلاف زاویه مشخص خارج نموده و بر روی هر شعاع به دنبال نقطه‌ای می‌گردیم که اختلاف رنگ پس از آن مشاهده می‌شود، یعنی رنگ تیره داخل مردمک به رنگ روشن عنبیه در تصویر تبدیل می‌گردد. این نقطه به عنوان یک نقطه از مرز مردمک که بر روی آن شعاع واقع است ذخیره می‌گردد. با اجرای این عمل بر روی هر شعاع یک نقطه از مرز



شکل ۶: یافتن نقاط مرزی مردمک به کمک شعاع‌های خارج شده به سمت اطراف از نقطه P1

البته در این روش برای آنکه نقاط مرزی مردمک با دقت مطلوبی پیدا شود، می‌بایستی از جستجوی نقاط در محدوده نقاط نورانی بر روی مردمک صرف نظر کرد. بدین منظور از شعاع‌هایی که در مسیر جستجو به پیکسلی با سطح روشنایی بیش از ۲۰۰ برخورد نمایند صرف نظر خواهد شد.

۵- کالیبراسیون

در ردیاب ساخته شده از نگاشت غیر خطی مرتبه دو

استفاده شده است. این نگاشت اولین بار توسط موریموتو [5] استفاده گردید و بصورت زیر است:

$$\begin{cases} s_x = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \\ s_y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، (s_x, s_y) موقعیت نشانگر در صفحه یا همان نقطه دید شخص بوده و (x, y) مختصات مرکز مردمک در تصویر می باشد.

۱۲ پارامتر مجهول در این نگاشت برداری دویبعدی دیده می شود که طی یک مرحله کالیبراسیون تعیین می شوند. در نرم افزار سیستم امکان کالیبراسیون با ۹، ۱۶ و ۲۵ نقطه وجود دارد. در مرحله کالیبراسیون این نقاط نقطاتی در موقعیت های مشخص از صفحه برای مدتی کوتاه نشان داده می شود و کاربر باید به آنها خیره شود.

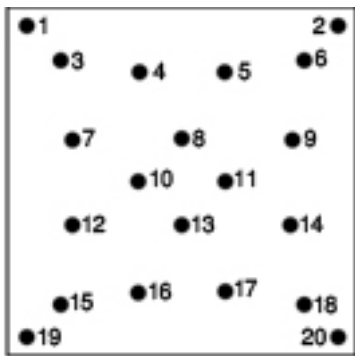
۶- تشخیص پلک

در نرم افزار ردیاب مورد نظر، عدم شناسایی درست مردمک در تصویر، به عنوان معیاری برای تشخیص پلک زدن تلقی می گردد. چنانچه ناحیه حدودی مردمک در تصویر یافت نشود و یا آنکه در روش چهارضلعی محیطی، یکی از گوشه های مردمک یافت نشود و همچنین هنگامیکه نسبت طول به عرض چهار ضلعی محیطی مقداری غیر قابل قبول باشد، پلک زدن به حساب آمده و در این حالت در فریم مربوطه عملیات شناسایی مردمک متوقف می گردد. در چنین فریمی دیگر مقادیر مرکز مردمک و مرکز گلینت مقدارهائی نشده و مقدار آنها همان مقدار فریم قبلی خواهد ماند، به این ترتیب از پرش های ناگهانی نشانگر ماوس در هنگام پلک زدن، در حالت حرکت نشانگر با چشم، جلوگیری می شود.

۷- ارزیابی

در این قسمت از مقاله به ارزیابی دو الگوریتم استفاده شده برای ردیابی مردمک، از لحاظ دقت و سرعت می پردازیم. برای نشان دادن دقت عملکرد دستگاه، پس از مرحله کالیبراسیون، از ۵ شخص خواسته می شود که به ۲۰ نقطه با موقعیت های مشخص در صفحه، برای مدت زمان کوتاهی

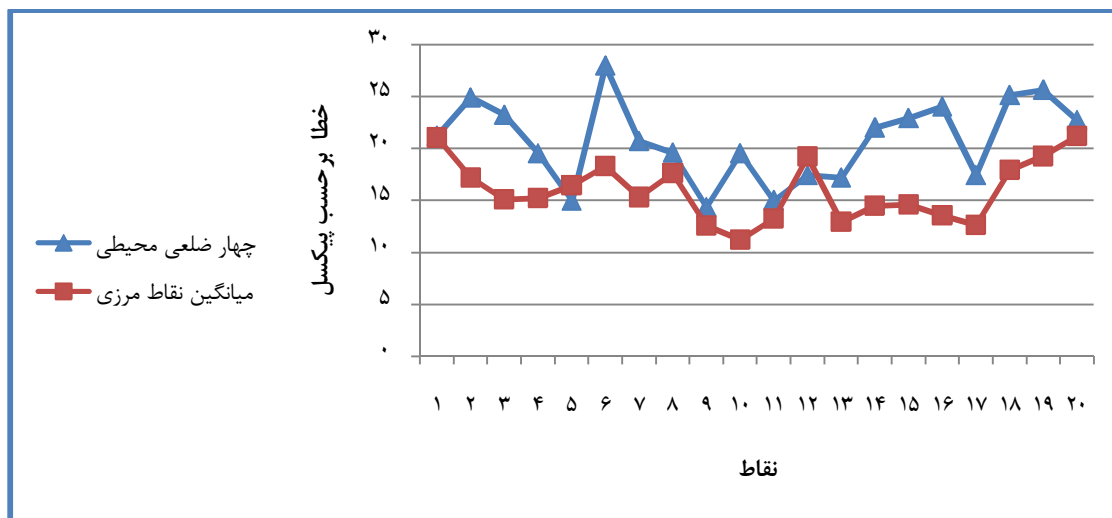
خیره شود. در طول خیره شدن به هر نقطه موقعیت نشانگر در صفحه نمایش که همان نقطه دید اندازه گیری شده توسط سیستم می باشد، در یک فایل متنی ذخیره می گردد. همچنین مسیر حرکت نقطه دید در صفحه به صورت خطوط سیاه در اطراف نقطه دید واقعی رسم می گردد. حالت ایده آل اینست که در طول مدت زمانی که شخص به یک نقطه خیره می شود، نشانگر در صفحه بر روی همان نقطه قرار گرفته و ثابت بماند. اما بدلیل خطای موجود در سیستم نقطه دید اندازه گیری شده توسط دستگاه (موقعیت نشانگر) ممکن است در هر لحظه در فاصله ای جزئی نسبت به نقطه دید واقعی قرار گیرد. فاصله نشانگر تا نقطه دید واقعی بر حسب پیکسل اندازه گیری شده و به عنوان خطا معرفی می گردد. موقعیت ۲۰ نقطه در صفحه نمایش نیز بگونه ای چیده شده است که تقریباً وضعیت خطا در کل صفحه مشاهده گردد. موقعیت این نقاط و شماره هر کدام در شکل (۷) مشاهده می شود. این آزمایش توسط ۵ کاربر برای هر کدام از دو روش تکرار گردیده است. در نهایت برای هر کدام از نقاط میانگین خطا در ۵ بار آزمایش بدست آمده و با این معیار دو روش را با هم مقایسه می نماییم.



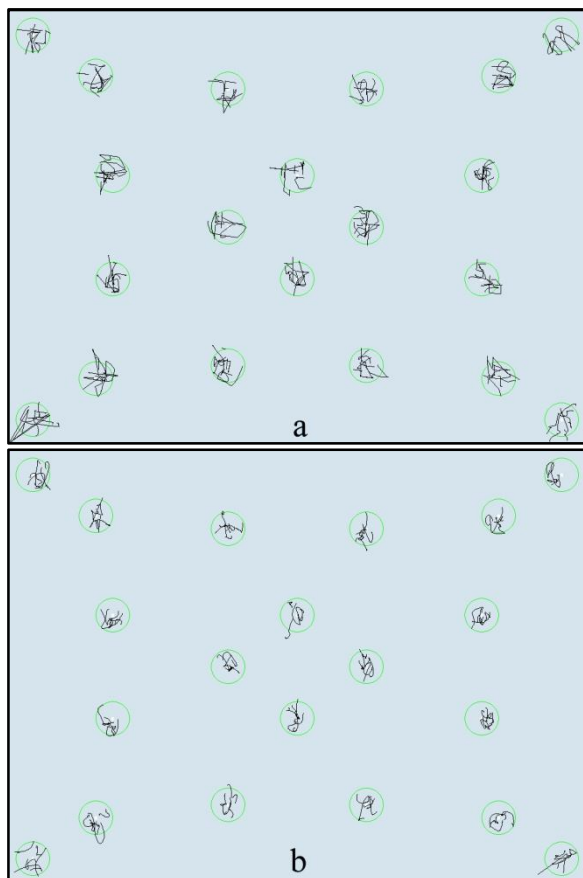
شکل ۷: موقعیت و شماره ۲۰ نقطه استفاده شده جهت ارزیابی خطا

در طول این آزمایش، فاصله سر اشخاص تا صفحه نمایش تقریباً ۷۰ سانتی متر و رزولوشن صفحه ۱۰۲۴×۷۶۸ می باشد. همچنین از ۱۶ نقطه برای کالیبراسیون استفاده شده است. لازم به ذکر است که آزمایش بر روی یک سیستم با پردازنده اینتل دو هسته ای ۳ گیگاهرتز با رم ۳ گیگا بایت صورت گرفته است.

همانگونه که گفته شد، روش تکمیلی میانگین نقاط مرزی تا



شکل ۸: مقایسه میزان خطا در دو روش ردیابی مردمک



شکل ۹: مسیر حرکت نشانگر در اطراف نقاط دید واقعی (a) روش چهارضلعی محیطی (b) روش میانگین نقاط مرزی

حدودی باعث کاهش میزان تغییرات کوچک مرکز مردمک در فریم‌های متوالی و در نتیجه کاهش جابجایی نقطه دید اندازه‌گیری شده می‌گردد. همین امر باعث کاهش خطا در سیستم می‌شود که در نتایج آزمایش نیز مشاهده می‌شود.

در شکل (۹) مسیر حرکت نشانگر در اطراف هر نقطه در دو روش استفاده شده، دیده می‌شود که در آن می‌توان کاهش خطا و کاهش جابجایی نقطه دید اندازه‌گیری شده را مشاهده نمود. در این شکل نقاط دید واقعی به صورت یک نقطه سفید مشخص شده و همچنین در اطراف آنها یک دایره به شعاع ۱ سانتی‌متر یا همان ۳۰ پیکسل رسم گردیده تا بتوان محدوده خطا را بصورتی بصری مشاهده نمود.

سرعت پردازش بخش‌های مختلف الگوریتم بکار رفته نیز در جدول (۱) آورده شده است. بنابراین جدول، زمان کل عملیات در روش چهارضلعی محیطی ۱۳ میلی‌ثانیه بوده که در روش تکمیلی میانگین نقاط مرزی به ۲۵ میلی‌ثانیه می‌رسد.

جدول ۱: سرعت پردازش یک فریم در بخش‌های مختلف الگوریتم استفاده شده در سیستم

الگوریتم	زمان پردازش هر فریم [ms]
تشخیص محدوده حدودی مردمک	۷
روش چهارضلعی محیطی	۶
میانگین نقاط مرزی با ۱۸۳ نقطه	۱۲

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله به طراحی و ساخت سخت افزار و نرم‌افزار یک سیستم ردیاب حرکات چشم قابل نصب بر روی سر با روش

تصویری اشاره گردید. از ویژگی‌های مهم سخت‌افزاری این سیستم می‌توان به ارزان بودن و راحتی استفاده از آن اشاره نمود. نرم‌افزار سیستم نیز دارای بخش‌های کاربردی و متنوعی می‌باشد. در پایان دو متد استفاده شده جهت تشخیص مرکز مردمک در تصویر، از لحاظ سرعت و دقت ارزیابی شده که متد میانگین نقاط مرزی علاوه بر داشتن دقت بالاتر، افت و خیز کمتری را نیز در موقعیت نشانگر در صفحه نمایش ایجاد خواهد کرد. در هر دو متد استفاده شده بدلیل زمان پردازش کم مورد نیاز، می‌توان ردیابی کاملاً آنلاین و بلادرنگی داشت. در نهایت دقت عملکرد سیستم ردیاب ساخته شده در حدود ۱ درجه میدان دید می‌باشد.

به نتیجه رسیدن متدها و اطمینان از عملکرد نرم‌افزار سیستم زمینه را برای تبدیل سیستم به یک ردیاب قابل نصب بر روی میز فراهم نموده، بگونه‌ای که دوربین بجای اینکه بر روی شخص نصب گردد بر روی میز و مقابل صفحه نمایش نصب می‌گردد. لازمه این کار استفاده از تجهیزات و دوربین گرانتر و همچنین الگوریتم‌های پردازش تصویر جانبی و اضافه چون ردیابی صورت و چشم می‌باشد.

مراجع

- [1] "Eye tracking", Date of using the web site : August 1, 2008: <www.wikipedia.com>
- [۲] محمد پرنیان پور، دیاکو مردانگی و محمد سرشار، "ردیابی حرکات چشم (Eye Tracking) و کاربردهای آن در ارگونومی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی ارگونومی ایران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- [3] M. Kumar, A. Paepcke, and T. Winograd, "EyePoint: Practical Pointing and Selection Using Gaze and Keyboard", In Proceedings of CHI. San Jose, California, USA: ACM Press, 2007.
- [4] D. Li, D. Win, and D. J. Parkhurst, "Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches", In Proceedings of the IEEE Vision for Human-Computer Interaction Workshop at CVPR, pp. 1.8. , June 2005
- [5] C.H. Morimoto, R.M. Marcio, "Eye gaze tracking techniques for interactive applications", Computer Vision and Image Understanding 98, 4-24, 2005.