

طراحی و ساخت یک ردیاب چشم

به منظور توانبخشی معلولین در برقراری ارتباط با کامپیوتر

دیاکو مردانگی

محمد رضا ملاک زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد بیومکانیک

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک

دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

گروه بیومکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

E-mail: dmardanbeigi@mecheng.iust.ac.ir

E-mail: mmallak@iust.ac.ir

چکیده - اندازه‌گیری و دنبال کردن حرکات چشم از اواخر قرن نوزدهم میلادی ذهن محققین را به خود مشغول ساخته و امروزه با پیشرفت سیستم های کامپیوتری این امر بسیار بهتر و دقیق تر تحقق یافته است. به گونه ای که یک ردیاب چشم کاربردهای فراوانی در زمینه‌های پزشکی، نظامی، HCI، بازاریابی و ... پیدا کرده است. در این مقاله به طراحی و ساخت یک ردیاب چشم تصویری با متد بازتاب قرنیه-مردمک پرداخته شده است. این سیستم ردیاب چشم در عین سادگی و ارزانی، بصورت بلادرنگ یا آنلاین عملکرده و به منظور برقراری ارتباط بهتر میان کاربر و کامپیوتر بالاخص افراد معلول جسمی طراحی شده است.

کلید واژه- ردیابی حرکات چشم (Eye tracking)، تعقیب حرکات چشم، توانبخشی

۱- مقدمه

ردیابی حرکات چشم (Eye Gaze Tracking , EGT) به فرایندی گفته می شود که طی آن بتوان حرکات چشم شخص نسبت به سر او را اندازه‌گیری نمود و متعاقباً نقطه دید ناظر را پیدا کرد. وسیله‌ای را که بتوان با آن به این امر نایل آمد، ردیاب حرکات چشم و یا اختصاراً ردیاب چشم (Eye Tracker) گویند.

در ۱۸۷۹ میلادی فردی به نام لوئیس جاوال

(Louis Emile Javal) به این نکته اشاره کرد که در مطالعه یک متن، در چشم بجای حرکت نرم، یک سری حرکات پرشی تند (Saccades) و نقاط مکث (Fixations) دیده می‌شود. در همان سال‌ها بود که شخصی به نام هیوی (Huey) با استفاده از روشی کاملاً تهاجمی و با کمک یک لنز تماسی آزمایشاتی جهت اندازه‌گیری حرکات چشم انجام داد. در وسط این لنز سوراخی برای مردمک وجود داشت و یک اشاره‌گر آلومینیومی به آن متصل بود که با حرکت کره چشم این اشاره‌گر نیز حرکت می کرد. او با این

لنز ها به نتایج جالبی رسید، از قبیل اینکه چشم در هنگام خواندن یک جمله تنها بر روی برخی کلمات مکث می‌کند [1].

البته در همین سال‌ها بود که ظاهراً اولین ردیاب غیرتهاجمی (Non Invasive) نیز توسط جورج بوسول (George Buswell) در شیکاگو ساخته شد. او از تاباندن نور به چشم و ضبط بازتاب آن از چشم روی یک فیلم عکسبرداری کمک می گرفت و با این روش مطالعات اصولی درمورد خواندن و نگریستن به یک عکس انجام داد [1].

با ادامه تحقیقات در قرن بیستم میلادی در ۱۹۰۵ سه دانشمند دیگر به نام های Judd, McAllister & Steel از بازتاب نور قرنیه و استفاده از تصاویر متحرک استفاده کرده و حرکات عمودی چشم را هم ردیابی می‌کردند. در ۱۹۴۷ میلادی پاول فیتز (Paul Fitts) مطالعات جالبی با کمک دوربین های آن زمان بر روی حرکات چشم خلبانان در کابین انجام داد که شاید شروعی برای کاربردهای امروزی ردیاب های چشم در صنایع هوانوردی به حساب آید. در ۱۹۴۸، Hartridge و Thompson استفاده از سیستم‌های

غیر نوری که بر روی سر نصب می شدند را دنبال کردند[2].

در ۱۹۶۸، یاربوس (Alfred L. Yarbus) مطالعات زیادی در مورد کاربرد های این سیستم ها انجام داد و کتابی در این زمینه تالیف کرد که هنوز از مطالب آن استفاده های زیادی می شود. تحقیقات یاربوس انگیزه مجددی شد برای ساخت سیستم های دقیقتر[2].

با این حال ردیابی حرکات چشم در ابتدا به منظور بررسی رفتاری بینایی و دیدن انسان در انجام فعالیت های خاص استفاده می شد. (برای مطالعه ی بیشتر به مرجع [3] مراجعه شود.)

تکنیک های فراوانی تاکنون برای ردیابی چشم بکارگرفته شده است [4]. اما همگی محدودیت هایی دارند، برای مثال می توان به تهاجمی بودن برخی از آنها اشاره کرد، استفاده از الکتروود و لنزهای تماسی نمونه ای از آنها به شمار می رود. برخی از روش ها محدودیت های حرکتی برای شخص ایجاد می کنند بگونه ای که سر شخص را ثابت نگه می دارند. دقت کم، عدم امکان استفاده از آنها در شرایط و مکان های مختلف نیز محدودیت دیگر ردیاب های کنونی است. قیمت ردیاب های چشم نیز امروزه از ۵۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ دلار می باشد.

مطمئناً امروزه با وجود سیستم های پیشرفته می توان این موانع را بیش از پیش به کنار زد و کاربردهای آن را در زمینه های صنایع نظامی ، پزشکی و توانبخشی، ارگونومی، بازاریابی و... بیشتر و بهتر نمود. از مهمترین و عمومی ترین کاربردهایی که می توان به آنها اشاره کرد استفاده از ردیاب های چشم در Human-Computer Interaction (HCI) به عنوان یک ابزار ارتباط با کامپیوتر همچون موس و صفحه کلید است. برای مثال ردیابی چشم امکان ارتباط با کامپیوتر و کنترل آن توسط چشم را فراهم می نماید [5]. یکی از کاربردهای آن انجام سریع تر کارها با یک ردیاب چشم در کنار ماوس و صفحه کلید می باشد . یکی دیگر امکان تایپ با چشم در صفحه ی نمایشگر برای افراد معلول و ناتوان جسمی می باشد [6]. بدیهی است که چنین ابزاری می تواند نقش مهمی در توانبخشی معلولین حرکتی ایفا نماید.

تکنیک های تصویری تا حد زیادی محدودیت های ذکر شده را کمتر نموده بگونه ای که تکنولوژی مدرن ردیابی چشم در حال حاضر تا حد زیادی بر پایه ی علوم تصویر برداری و

پردازش تصویر انجام می شود .

ردیاب های چشم که برای ارتباط با کامپیوتر طراحی شده اند یا به صورت قابل نصب بر روی میز می باشد و یا باید بر روی سر نصب گردد. تصویر برداری از چشم از فاصله ی زیاد در نوع اول و سپس ردیابی مردمک در آن تصویر معمولاً نیازمند مکانیزم های پیچیده و استفاده از چند دوربین می باشد و در عین حال دقت محدودی دارد، هر چند تلاش هایی برای ارزان تر و ساده تر کردن این نوع ردیاب ها نیز صورت گرفته است که از آن جمله می توان به مراجع [7] و [8] اشاره نمود. در مقابل، سیستم های ردیاب چشم قابل نصب بر روی سر با تکنیک بازتاب قرنیه-مردمک می توانند بسیار ساده تر و در عین حال دقیق تر باشند.

در این مقاله به ساخت یک ردیاب چشم ساده ، ارزان، بلادرنگ و در عین حال کاربردی اشاره می شود که می تواند توسط افراد سالم و حتی معلول برای ارتباط راحت تر با کامپیوتر مورد استفاده قرار گیرد. این ردیاب از نوع قابل نصب بر روی سر بوده و از متد تصویری بازتاب قرنیه-مردمک استفاده می کند.

۲- ردیابی حرکات چشم

در این بخش انواع ردیاب های چشم ساخته شده و انواع روش های استفاده شده در آنها معرفی می گردد.

۲-۱- دسته بندی از لحاظ نحوه ارتباط با کاربر

سیستم های ردیاب چشم از لحاظ وضعیت قرارگیری نسبت به کاربر دو نوعند[10]:

الف) سیستم هایی که بر روی سر نصب می شوند.

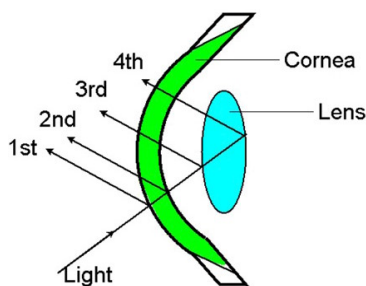
Head-mounted eye gaze tracker (HMET)

ب) سیستم هایی که ارتباط فیزیکی با کاربر ندارند.

Remote eye gaze tracker (REGT)

۲-۲- روشهای متداول در ردیابی حرکات چشم

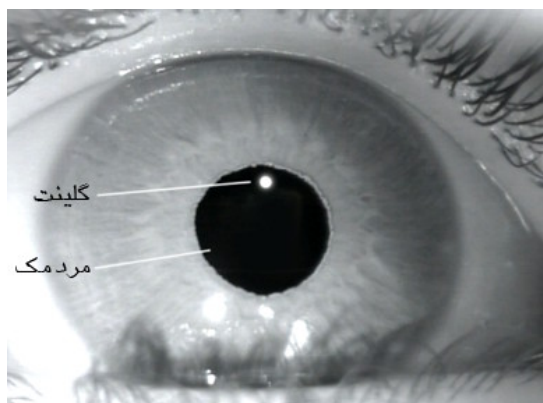
امروزه روش های زیادی برای ردیابی حرکات چشم استفاده می شود. به طور کلی سه روش برای اندازه گیری حرکات چشم (OculoGraphy) بکار برده می شود[10]:



شکل (۱): بازتاب نور در لایه های مختلف قرنیه و عدسی [11].

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، هنگامیکه پرتو نور به چشم می‌تابد چند نوع بازتاب نور در لایه‌های مختلف جلویی چشم خواهیم داشت که به آن تصاویر پورکینیا (Purkinje images) می‌گویند. اولین بازتاب پورکینیا را که از بقیه واضح تر و روشن تر است، گلینت (Glint) گویند [11].

فرض کنید یک منبع نورانی ساکن با موقعیتی ثابت در برابر چشم شخص قرار داشته باشد و شخص به یک نقطه مقابل خود زل بزند، در این حالت وضعیت مرکز مردمک و مرکز گلینت نسبت به هم با وجود حرکت سر ثابت خواهد ماند و می‌تواند تعیین کننده نقطه دید ناظر باشد.



شکل (۲): تصویر گلینت و مردمک

۳- ردیاب چشم ساخته شده

ردیاب ساخته شده از نوع قابل نصب بر روی سر بوده و بر اساس تصاویر ویدئویی گرفته از چشم کار می‌کند. در ادامه کلیات دستگاه و روش کار آن در سه بخش مختلف معرفی می‌گردد.

(۱) اندازه‌گیری به روش الکتریکی

Electro-OculoGraphy (EOG)

(۲) استفاده از لنزهای تماسی

Scleral Contact Lens-OculoGraphy

(۳) اندازه‌گیری با کمک تصویر

Photo-OculoGraphy (POG) or Video-OculoGraphy (VOG)

دو نوع اول در عین حال که دقت بالایی دارند، کاملاً تهجمی بوده و استفاده از آنها محدود به کارهای آزمایشگاهی می‌باشد.

اما روش سوم بر اساس استفاده از تصاویر گرفته شده از چشم و تعیین موقعیت چشم با پردازش این تصاویر می‌باشد. با کمک تصاویر گرفته شده می‌توان برخی از مشخصه‌های چشم را اندازه‌گیری کرد و با بررسی تغییرات این مشخصه‌ها است که میزان حرکت چشم اندازه‌گیری می‌گردد. از مشخصه‌های قابل اندازه‌گیری چشم می‌توان اشاره کرد به: مرکز مردمک، شکل مردمک، موقعیت لیمبوس (مرز میان عنبیه و صلبیه) و

۲-۳- متد بازتاب قرنیه-مردمک

(Corneal-Pupil reflection)

موقعیت مردمک و عنبیه در تصویر گرفته شده از چشم در صورتی نماینده یک نقطه مشخص از منظره مقابل شخص است که وضعیت سر کاملاً ثابت باشد. چراکه اگر شخص یک نقطه مشخص را نگاه کند با حرکت سر موقعیت مردمک در چشم تغییر می‌کند. در بسیاری از ردیاب‌های چشم که به منظور استفاده برای ارتباط با کامپیوتر ساخته شده‌اند، فرض اولیه همین است، بنابراین کاربر ملزم است چانه خود را بر روی یک پایه ثابت قرار دهد تا سر حرکتی نداشته باشد.

برای کاهش تأثیرات حرکت سر و بدن شخص، ابتکار جالبی بکارگرفته شده و آن استفاده از بازتاب نور از چشم می‌باشد.

۳-۱- سخت افزار دستگاه

تصویر توسط یک دوربین بی سیم در فاصله مشخصی از چشم گرفته شده و به کامپیوتر ارسال می گردد. این دوربین کوچک و سبک با یک مکانیزم ساده به بدنه یک عینک سبک متصل بوده و منبع تغذیه آن یک باتری کتابی ساده می باشد. مکانیزم ذکر شده چند درجه آزادی برای دوربین فراهم نموده تا براحتی بتوان موقعیت دوربین را تنظیم نمود. تصویر از پایین چشم گرفته می شود بطوریکه دوربین در میدان دید شخص قرار نمی گیرد. شایان ذکر است که این سیستم براحتی توسط افراد عینکی نیز قابل استفاده می باشد.

دوربین بکاررفته حساس به پرتوی مادون قرمز بوده ، چرا که در ردیاب مورد نظر از متد بازتاب قرنیه-مردمک استفاده شده است. منبع نوری بکار رفته یک LED مادون قرمز بوده که در فاصله ای ثابت نسبت به نمایشگر روبروی شخص قرار داده شده است. طول موج نور آن نیز در حدود ۹۰۰ نانومتر بوده و آسیبی به چشم نمی رساند و به دلیل نامرئی بودن آن مزاحمتی برای کاربر ایجاد نمی کند.



شکل (۳): ردیاب چشم و نحوه نصب بر روی سر

۳-۲- نرم افزار دستگاه

نرم افزاری که برای این سیستم طراحی گردیده با زبان ویژوال بیسیک نوشته شده و در آن عملیات گرفتن تصویر (Capturing) و پردازش آن انجام شده و خروجی اصلی آن منتقل کردن نشانگر (کرسر) در صفحه نمایش به نقطه دید شخص است.

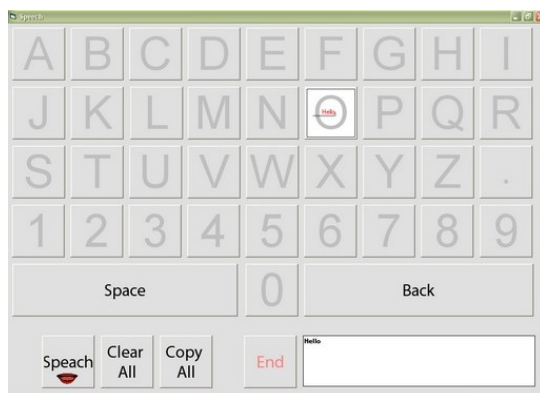
تصاویر ارسالی از دوربین توسط یک گیرنده گرفته شده و به کارت ویدئویی کامپیوتر منتقل می شود و در نرم افزار پردازش می شود.

در تصویر گرفته شده ابتدا موقعیت حدودی مردمک

شناسایی شده و سپس با تشخیص نقاط مرزی آن یک مستطیل در اطراف آن محیط می شود. مرکز این مستطیل به عنوان مرکز مردمک فرض می گردد. گلینت نیز در تصویر شناسایی شده و با محیط کردن یک دایره در اطراف آن مرکز دایره به عنوان مرکز گلینت فرض می شود. بردار حاصل از اتصال مرکز مردمک به مرکز گلینت معیاری برای موقعیت نقطه دید می باشد که با یک نگاشت مناسب و یک کالیبراسیون ساده می توان با داشتن این بردار، موقعیت نشانگر را روی صفحه نمایش تعیین نمود.

قابلیت کلیک کردن توسط چشم نیز در نرم افزار برای معلولینی که کلیک کردن توسط دست نیز برای آنها مقدور نمی باشد در نظر گرفته شده است ، این کار با نگهداشتن چشم بر روی نقطه مورد نظر برای یک مدت زمان مشخص براحتی انجام می شود که البته یک حالت دیگر نیز برای کلیک کردن در نظر گرفته شده و آن حرکت خاصی از سر می باشد در حالتیکه به نقطه مورد نظر خیره شده است. چراکه با حرکت سر در این حالت موقعیت مرکز مردمک جابجا می شود در حالیکه بردار معیار ثابت می ماند.

یک بخش دیگر نیز در نرم افزار برای تایپ کردن توسط چشم در نظر گرفته شده که در شکل (۴) نمایی از آن دیده می شود. با زدن دکمه Speech متن تایپ شده توسط کامپیوتر خوانده می شود. بدین صورت فرد معلول حتی می تواند با چشم خود با دیگران صحبت کند.



شکل (۴): پنجره مخصوص تایپ و سخن گفتن با چشم، ویژه معلولین

در شکل (۵) نمایی از صفحه اصلی نرم افزار نشان داده شده است. موقعیت مرکز مردمک و نقطه نورانی را می توان در تصویر چشم مشاهده نمود.

کالیبراسیون که یک بار توسط کاربر می بایستی انجام شود به این گونه است که شخص به ۹ نقطه مشخص در صفحه خیره شده و درحالیکه نشانگر را توسط ماوس در آن نقطه قرار داده است ، با ماوس آن نقطه را کلیک می کند. البته انتقال نشانگر و کلیک کردن ماوس در این مرحله می تواند توسط شخص دیگری بجز کاربر انجام شود.

در واقع با هر بار کلیک ماوس ، با داشتن موقعیت بردار و نقطه دید شخص عملاً یک دستگاه دو معادله و ۱۲ مجهول خواهیم داشت و در پایان ۹ دستگاه یعنی ۱۸ معادله و ۱۲ مجهول بدست می آید که با روش Least Square Method قابل حل می باشد. در این روش مجموع مربعات خطا را کمینه می کنیم. برای مثال تابع مجموع مربعات خطا برای S_x ها بصورت زیر می باشد:

$$F = \sum_{i=1}^9 r_i^2 = \sum_{i=1}^9 (S_{xi} - (a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_iy_i + a_4x_i^2 + a_5y_i^2))^2 \quad (2)$$

که در آن S_{xi} معرف S_x برای نقاط ۱ تا ۹ می باشد.

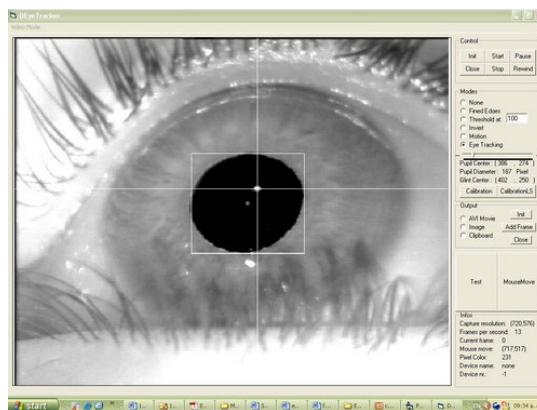
برای اینکه F کمینه گردد باید معادله (۳) برقرار باشد:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a_0} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial a_1} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial F}{\partial a_5} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

به همین ترتیب ۶ معادله نیز برای S_y ها خواهیم داشت که در مجموع ۱۲ معادله و ۱۲ مجهول بدست می آید و قابل حل می باشد.

۴- نتایج و جمع بندی

برای ارائه میزان دقت ردیاب ساخته شده و اطمینان از صحت عملکرد الگوریتم های بکار رفته در آن می توان آن را بر روی چند فرد سالم آزمود. جهت تسریع در ارزیابی صحت کار سیستم از یک آزمون بصری کمک می گیریم که به شرح ذیل است : نتایج عملکرد دستگاه بر روی ۵ کاربر که هیچ کدام عینکی نبودند، آزموده شده است، بگونه ای که پس از



شکل (۵): پنجره اصلی نرم افزار و نمایش مرکز مردمک و مرکز گلینت

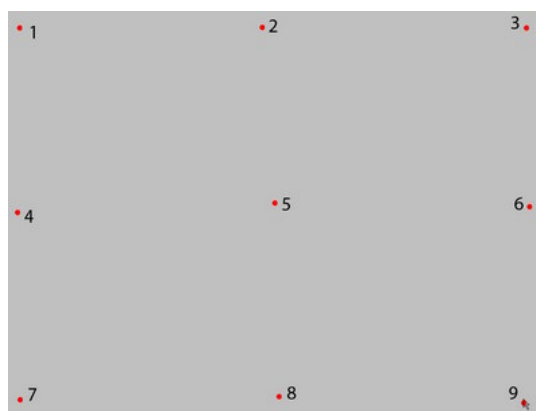
رزولوشن تصویر گرفته شده 720×576 بوده و مدت زمان پردازش هر فریم حداکثر ۰.۰۷ ثانیه می باشد، به طوری که ۱۵ فریم در ثانیه توسط نرم افزار پردازش می گردد.

۳-۳- نگاشت و کالیبراسیون

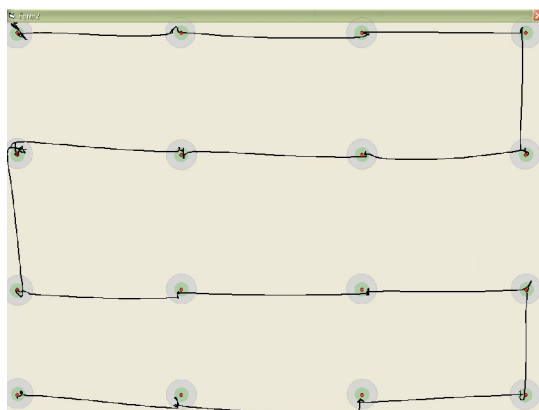
نگاشتی که استفاده گردیده چند جمله ای مرتبه دو می باشد. این نگاشت اولین بار توسط موریموتو [11] استفاده گردید و بصورت زیر است:

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

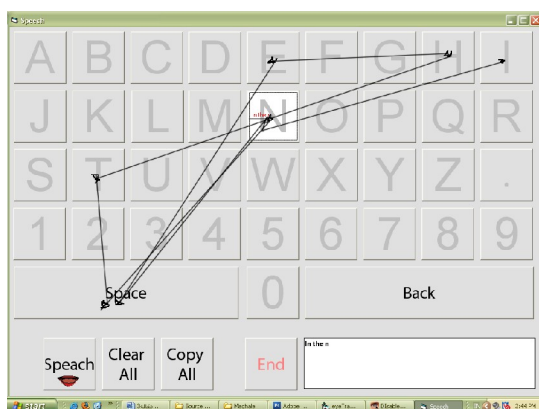
که در آن ، (s_x, s_y) موقعیت نشانگر در صفحه یا همان نقطه دید شخص بوده و (x, y) مولفه های بردار گفته شده در بخش قبل می باشد. ۱۲ پارامتر مجهول بالا نیز طی یک مرحله کالیبراسیون تعیین می گردد.



شکل (۶): صفحه مربوط به کالیبراسیون



شکل (۷): صفحه مربوط به تست و مسیر حرکت چشم در آن برای یکی از افراد



شکل (۸): صفحه مربوط تایپ و مسیر حرکت چشم در آن برای یکی از افراد پس از تایپ ۶ حرف اول

جدول (۱): نتایج آزمون تایپ جمله "In the name of God" توسط ۵ کاربر

تعداد حروفی که اشتباه تایپ شده است	مدت زمان تایپ (s)	کاربر
۰	۴۵/۲	۱
۱	۵۱/۵	۲
۰	۷۱/۶	۳
۰	۵۷/۸	۴
۰	۶۹/۲	۵

۵- مراجع

- [1] "Eye tracking", Date of using the web site : August 1, 2008: <www.wikipedia.com>
- [2] R. J. K. Jacob, K. S. Karn, "Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises". In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), The Mind's Eye: Cognitive and Applied

انجام مرحله کالبراسیون، از افراد خواسته می‌شود تا به ترتیب ۱۶ نقطه مختلف قرمز رنگ در صفحه را نگاه کند (شکل ۶). مسیر حرکت چشم در طول آزمایش بر روی صفحه نمایشگر رسم می‌شود تا بتوان اختلاف نقطه دید اندازه گیری شده توسط دستگاه نسبت به نقاط دید واقعی که در صفحه نشان داده شده است را مشاهده نمود. دو دایره مختلف به شعاع های ۵ و ۱۰ میلیمتر در اطراف نقاط قرمز تعیین شده رسم شده‌اند تا مقیاسی باشند جهت اندازه‌گیری بصری میزان خطا. نتایج مربوط به یکی از افراد در شکل ۷ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل می‌توان دید، هنگامیکه شخص به نقاط قرمز زل زده است، خطوط سیاه نمایانگر نتایج اندازه‌گیری سیستم در بدترین حالات هم درون دایره به قطر ۱۰ میلیمتر قرار دارد. با بررسی نتایج سایر افراد بیشترین مقدار خطا، ۸ میلیمتر مشاهده می‌گردد که معادل ۳۱ پیکسل می‌باشد.

پس از آن، از افراد خواسته می‌شود که به بخش مربوط به تایپ نرم افزار رفته و عبارت "In the name of God." را بدون استفاده از دکمه Back یعنی پاک کردن، تایپ نمایند. نتیجه مربوط به یکی از افراد در شکل ۸ نشان داده شده است. همچنین زمان تایپ و تعداد حروف غلط افراد در جدول ۱ آورده شده است.

شایان ذکر است که فاصله چشمان کاربر تا صفحه نمایش ۱۵ اینچی، ۷۰ سانتی‌متری بوده و از ۱۶ نقطه جهت کالبراسیون استفاده شده است. همچنین به منظور کلیک کردن، از مکت چشم بر روی ناحیه مورد نظر به مدت ۱ ثانیه استفاده گردیده است.

با توجه به استفاده از متد بازتاب قرنیه-مردمک در ردیاب ساخته شده، آزادی حرکت اندکی برای سر شخص ممکن می‌گردد. برای داشتن خطای حدودی ۱۰ میلیمتر در صفحه نمایش، سر شخص می‌تواند حداکثر ۱۰ سانتی متر جابجایی داشته باشد، اما سیستم در برابر حرکت دورانی سر آنچنان مقاوم نبوده و خطا در این حالت زیاد خواهد شد.

البته با توجه به اینکه الگوریتم ساده‌ای برای تعیین مرکز مردمک و مرکز نقطه نورانی بکار گرفته شده است، این نتایج در صفحه نمایش با رزولوشن ۷۶۸×۱۰۲۴، نتایج بسیار خوبی بشمار می‌رود.

Aspects of Eye Movement Research pp. 573–605. Amsterdam, The Netherlands:Elsevier Science. 2003.

- [3] A. Duchowski, “A breadth-first survey of eye-tracking applications”, Behavior Research Methods, Instruments and Computers, vol. 34, no. 4, pp. 455-470, 2002.
- [4] L. Young and D. Sheena, “Survey of eye movement recording methods”, Behavior Research Methods and Instrumentation, vol. 7, pp. 397-429, 1975.
- [5] R. Jacob, “The use of eye movements in humancomputer interaction techniques: what you look at is what you get”, ACM Transactions on Information Systems, vol. 9, no. 2, pp. 152-169, 1991.
- [6] P. Majaranta and K. Raiha, “Twenty years of eye typing: systems and design issues”, in Proceedings of the symposium on Eye tracking research and applications, New Orleans, Louisiana, USA, pp. 15. 22, March 2002.
- [7] C.Hennessey, B. Nouredin, P. Lawrence, “A Single Camera Eye-Gaze Tracking System with Free Head Motion”, ETRA 2006, San Diego, California, 27–29 March 2006.
- [8] M.kumar, “Reducing the Cost of Eye Tracking Systems”, Stanford University, HCI Group Gates Building, Room 382 353 Serra Mall,2006.
- [9] “Eyeball”, Date of using the web site : August 12, 2008: <www.Britannica.com>
- [10] A.T. Duchowski, (in press). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. Springer, London.
- [11] C.H. Morimoto, Marcio R.M. Mimica,” Eye gaze tracking techniques for interactive applications”, Computer Vision and Image Understanding 98, pp. 4–24, 2005.