

## ارائه یک روش جدید بمنظور تعقیب حرکت چشم

پوریا جعفری مقدم فرد<sup>۱</sup>، دکتر منصور وفادوست<sup>۲</sup>، سامان پروانه<sup>۳</sup>،  
دکتر عمادالدین فاطمی زاده<sup>۴</sup>

دانشگاه امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی  
Pooria.Jafari@gmail.com

**چکیده:** به دنبال گسترش استفاده از کامپیوتر، کاربرد سیستمهای تعقیب حرکت چشم در زمینه های بسیاری از جمله در پزشکی، توانبخشی، نظامی و ... بطور قابل توجهی گسترش یافته است. به این منظور روشهای متعددی توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است. این روشها در مجموع گاه بسیار پیچیده و گاهی نیز به ابزارهای گرانقیمتی نیاز دارند. ما در این مقاله یک روش جدید را بر اساس تبدیل فاصله و الگوریتمی ساده تر از روشهای دیگر ارائه کرده ایم. مقایسه این روش با روش موسوم به Cross-line نشان می دهد که روش پیشنهادی ما از لحاظ سرعت بر این روش برتری دارد، هرچند از لحاظ دقت در شرایطی همسان قرار می گیرند. با این حال سادگی الگوریتم به همراه سرعت و ابزار ارزانتر روش پیشنهادی را در شرایط بهتری قرار میدهد.

### واژه های کلیدی: تعقیب حرکت چشم (Eye Tracking) - Cross-Line - تبدیل فاصله

#### مقدمه:

بوسیله لیزر اگزایمر برای پیگیری حرکت چشم و کاهش خطای انسانی و بعنوان یک سیستم کمکی برای تصحیح خطا بکار می رود.

از موارد دیگر می توان به کاربرد سیستمهای مذکور در توانبخشی معلولین حرکتی اشاره کرد که در این بخش تحقیقات وسیعی در حال انجام است تا بدین وسیله اشخاص را در انجام کارهای روزمره و شخصی یاری دهند. دستگاههای تعقیب حرکت چشم در کاربردهای نظامی برای هدایت سیستمهای اسلحه بکار می رود تا دستهای

سیستمهای تعقیب حرکت چشم از حدود ۳۰ سال پیش و با افزایش توانایی سیستمهای پردازش اطلاعات در همه ابعاد، بخصوص در بعد سرعت پردازش بوجود آمد. این سیستمها در موارد متعددی کاربرد یافته اند که از نمونه این کاربردها می توان کاربردهای پزشکی، نظامی و سیستمهای کنترل را عنوان کرد. بیشترین کاربریهای سیستمهای تعقیب حرکت چشم در بخش پزشکی است. بعنوان نمونه، تعقیب حرکت چشم در جراحی لیزیک

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه امیرکبیر

<sup>۲</sup> استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه امیرکبیر

<sup>۳</sup> دانشکده مهندسی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

<sup>۴</sup> استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف

خلبان برای هدایت هواپیما در مانورهای هوایی آزاد باشد. کاربری این سیستمها در چند سال اخیر حتی در حیطة بازیهای رایانه‌ای نیز وارد شده است. سیستمهای تعقیب حرکت چشم در طول ۳۰ سال گذشته پیوسته ارتقا داده شده‌اند. دستگاههای تعقیب حرکت چشم به یکی از مهمترین ابزار انسان- ماشین مبدل شده‌اند که حرکات چشم را به

مورد نظر از دست ندهیم. در واقع برای جبران این مشکلات می‌توانیم از روشهای تعقیب سر موجود استفاده کنیم. این روشها در واقع به بررسی حرکات سر و تغییرات جایگاه اعضای صورت می‌پردازند که در ادامه اشارهای به بعضی از آنها نیز می‌شود. ما با استفاده از این روشها می‌توانیم بر اساس تعقیب کردن حرکت موقعیت کلی چشم ابزارهای متمرکز شونده را حرکت دهیم، اما بطور کلی سعی می‌شود از این گونه روشها حتی‌المقدور استفاده نشود زیرا فقط بر پیچیدگی ابزارهای مورد استفاده می‌افزاید و از طرفی نویز پردازش ما را نیز بالا می‌برد. به جای یک چنین روشهایی از روشهای ccd ثابت که در آن با استفاده از ابزاری مشابه عینک فاصله ccd را با چشم ثابت می‌کنیم، بهره‌مند می‌شویم. در واقع ccd بر روی این وسیله سوار می‌شود.

تغییرات فاصله سر از ccd حتی در شرایطی که فاصله ccd از صفحه نمایش (Monitor) ثابت است خطای زیادی را به سیستم تحمیل می‌کند. در شکل‌های ۱ و ۲ هر دوی این خطاها مشاهده می‌شود. صفحه‌ای که تصویر روی آن ایجاد می‌شود و مورد پردازش قرار می‌گیرد در واقع همان ccd است و ما با در اختیار داشتن فاصله چشم با ccd (که در بحث ما ثابت در نظر گرفته شده است) و نیز فاصله ccd با صفحه نمایش و استفاده از روابط تناسب، محل دید را از روی تصویر دریافت شده از ccd به صفحه نمایش منتقل می‌کنیم (به شکل ۳ توجه شود).

### مراحل پردازش:

در ابتدا تصویری که بصورت سطح خاکستری (Gray Scale) گرفته شده است (ما در اینجا کار را از ابتدا بر روی ccd های سطح خاکستری بنا نهادیم) را با توجه به یک حد آستانه به یک تصویر دوسطحی (Two Level) تبدیل می‌کنیم. این حد آستانه بنا بر شرایط محیط عمل سیستم یعنی شدت نور محیط در مراحل کالیبراسیون اولیه توسط شخص استفاده کننده قابل تنظیم است. نتیجه این مرحله را در شکل ۴ مشاهده می‌کنید. از این مرحله به بعد ما از دو روش وزنی متفاوت به ترتیب برای کاهش خطا و متمرکز شدن بر نقاطی که با بیشترین احتمال مرکز مردمک می‌باشند، استفاده می‌کنیم. در

کارهای درخواستی تبدیل می‌کنند. به عنوان مثال در روش تعقیب حرکت چشم بوسیله لین و همکارانش یک روش جستجوی جدید و برتر نسبت به روشهای موجود، مورد استفاده قرار می‌گیرد که باز و بسته شدن چشم باعث فعال شدن دستوراتی می‌شود که در کنترل رباتها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳].

کامپیوتر در این سیستم برای صرفه‌جویی بیشتر در زمان، جستجو بر روی تصویر چهره از تعداد زیادی جستجو بر روی نقاط تمایز در تصاویر دودویی استفاده می‌کند. روش لین و همکارانش زمانی که بر روی اجزاء خارجی چهره حرکت می‌کند می‌تواند به سرعت از روی آنها بدون ایجاد الگوهای با جزئیات قابل مقایسه عبور کند. این روش را Diagonal-box Checker Search گویند.

واگنر و گالیانا (Wagner & Galiana) از الگوی تطبیق داده شده بوسیله انجام کرولیشن برای بدست آوردن مکان چشمها استفاده کردند [۱۰]. چامیت و اسپیندلر (Chaumette & Spindler) کالیبراسیون بصورت غیر همزمان (Offline) و فیلتر هماهنگ کننده دید چشم برای انجام اعمال بصری را بکار گرفتند [۹]. پالمرو گراتان (Palmer & Grattan) توسعه سیستمهای مبتنی بر میکرو کامپیوترها برای از معلولین که از روی تفاوتهای تصاویر گرفته شده از کره چشم بدست می‌آید، گسترش دادند [۵].

در این مقاله به بررسی یک روش نوین برای تعقیب حرکت چشم می‌پردازیم.

### روش تبدیل فاصله برای تعقیب حرکت چشم:

در این مقاله مانند اکثر روشهای مورد استفاده در تعقیب حرکت چشم، در ابتدا می‌بایست شرایط کلی حاکم بر عملکرد سیستم را توضیح داده و مشخص کنیم. در ابتدا باید عنوان کنیم که ما در این روش جدید، مستقل از روشهای تعقیب سر (Head Tracking) عمل می‌کنیم یعنی فرض ما این است که سر حرکتی نداشته باشد یا در حدی حرکت داشته باشد که محدوده مورد پردازش ما را از کادر خارج نکند یا تمرکز (Focus) دوربین را بر ناحیه

در این روش که بصورتی می توان آنرا تکمیل شده روش اول نیز نامید، در یک مرحله محدوده سیاه را از خارج به داخل لایه لایه می کند. ابتدا مقدار همه پیکسلهای سیاه را به یک عدد بزرگ مانند ۱۰۰ تغییر می دهیم، سپس شروع به پردازش تمامی نقاط تصویر می کنیم و از روی نقاطی که از ابتدا سفید بوده اند و مقدار آنها صفر است عبور کرده و نقاطی را که مقدار آنها برابر ۱۰۰ است را در نظر می گیریم مقدار هر نقطه را یکی بیشتر از کوچکترین عدد اطرافش در نظر می گیریم و آنرا جایگزین عدد ۱۰۰ اولیه می کنیم حال خود این عدد جدید در فرآیند محاسبه اعداد نقاط کناری خود موثر خواهد بود. در این روش با یک بار پردازش نقاط، تمامی لایه های محدوده سیاه ما مشخص می شود و در نتیجه بزرگترین اعداد داخلی، مرکز شی مورد نظر را به ما نشان می دهند. این عمل را در شکل های ۶ و ۷ مشاهده می کنید.

حال ما تعدادی نقطه در اختیار داریم که هر یک از آنها بالقوه می توانند مرکز تصویر ما باشند و این مسئله کاملاً به این نکته که شی ما چگونه است مربوط می شود. از آنجایی که ما مردمک را مورد بررسی قرار می دهیم، می توانیم آن را تقریباً به شکل دایره ای در نظر بگیریم. ما از مجموعه نقاطی که بعنوان نقاط احتمالی مرکز بدست می آوریم، میانگین گرفته و بدلیل کوانتیزه بودن نقاط تصویر قدر مطلق این میانگین را حساب می کنیم. این نقطه یک نقطه تقریبی است که بیشترین احتمال قرار داشتن در مرکز محدوده ما را دارد.

باید در نظر داشته باشیم که هیچگاه نقطه دید ما کاملاً بر یک نقطه متمرکز نمی شود و این موضوع را در عمل نیز می توانیم با توجه به حرکات سریع چشم (Saccade) حتی وقتیکه به یک نقطه زل زده ایم، دریابیم.

در واقع ما به یک محدوده متمرکز می شویم، بنابراین ما نیز در این روش دایره ای به شعاع تقریبی ۱۵-۲۰ پیکسل را بعنوان این محدوده در نظر گرفته ایم. نتیجه نهایی را می توانید در شکل ۸ مشاهده کنید.

### حذف عوامل ناخواسته :

یکی از مهمترین مسائل در کاربرد عملی این روش کالیبراسیون است. چند عامل در این مسئله دخیل

حقیقت ما نقاط تصویر را با این دو روش، فازی می کنیم که در نهایت تعدادی از نقاط (معمولاً کمتر از ۲۰ نقطه از مجموع ۴۰۰۰۰ نقطه) که بیشترین احتمال را در این مورد دارند بدست می آید.

این دو روش به شرح زیر هستند:

۱- الگوریتم تبدیل فاصله برای لایه برداری از تصویر

ما در این روش ابتدا به تمام نقاط مشکی عدد یک و به تمامی نقاط سفید عدد صفر را نسبت می دهیم، سپس بر اساس رابطه زیر مقدار هر نقطه بدست می آید:

(۱)

$$W(i,j)=W(i-1,j-1)+W(i,j)+W(i-1,j)+W(i,j-1) \\ + W(i+1,j) + W(i,j+1) + W(i+1,j-1) \\ + W(i-1,j+1)+ W(i+1,j+1)$$

پس از هر بار اعمال رابطه فوق به کلیه پیکسلها، تمامی پیکسلها بجز پیکسلهایی که در خارجی ترین لایه قرار دارند برابر عدد ۹ می شوند که ما تمامی نقاطی که برابر ۹ هستند را برابر ۱ و بقیه را برابر صفر قرار می دهیم به این ترتیب لایه خارجی محدوده سیاه را حذف کرده ایم که این عمل در شکل ۵ مشاهده نمایش داده شده است.

اما باید توجه داشته باشیم که اگر چه این روش از دقت خوبی برخوردار است اما برای هر بار لایه برداری از محدوده سیاه باید کلیه نقاط تصویر پردازش شوند که این عمل برای نمونه در تصویر پایه ما که یک تصویر ۲۰۰×۲۰۰ است به معنای پردازش ۴۰۰۰۰ نقطه در هر مرتبه می باشد و چون اغلب در چنین تصاویری تا ۲۰ لایه مشاهده می شود این عمل زمان بسیاری گرفته و در کل باعث کندی فرآیند ما می شود. البته برای رفع این مشکل راه حلهایی موجود است که افزایش سرعت پردازنده و نیز کاهش رزولوشن تصویر از آن جمله است بصورتی که در تصاویر با رزولوشن ۵۰×۵۰ یعنی ۲۵۰۰ نقطه سرعت حدود ۱۵ برابر افزایش می یابد و در عمل نیز این رزولوشن برای کاربرد مورد نظر ما بسیار مناسب می باشد و نمونه های ۲۰۰×۲۰۰ فقط برای نمایش کارایی روش ما انتخاب شده اند.

۲- الگوریتم فاصله برای لایه لایه کردن یک مرحله ای تصویر

اطلاعاتی یکسان مقایسه شدند و نتایج جدول ۱ را از این مقایسه بدست آوردیم.

#### جدول ۱: مقایسه الگوریتم مطرح شده در این مقاله با روش Cross-line

مشخصه	الگوریتم فاصله	الگوریتم Cross-line
سرعت	۸ قاب در ثانیه	۵ قاب در ثانیه
دقت	حدود ۸۰٪	حدود ۸۰٪

البته باید در نظر داشته باشیم که روش Cross-line برای نوع خاص و متفاوتی از تصاویر نسبت به الگوریتم مطرح شده در اینجا بکار رفته است و در کل روش تصویرگیری ما نیز کاملاً منحصر بفرد است ولی برای مقایسه دو روش به اجبار از بانک داده مشترک استفاده کردیم.

#### مقایسه و نتیجه گیری:

بوضوح مشاهده می شود که الگوریتم تبدیل فاصله مطرح شده در این مقاله از الگوریتم Cross-line سریعتر عمل می کند که این شاخص در افزایش تعداد قابهایی (Frame) که می تواند در هر ثانیه پردازش شود بسیار موثر است. در بعد دقت نیز هر دو الگوریتم تقریباً یکسان عمل می کنند، با این وجود در بعضی تصاویر الگوریتم Cross-line اندکی بهتر عمل می کند. اما در نهایت مزیت سرعت الگوریتم تبدیل فاصله باعث ایجاد مزیت این روش نسبت به روش cross-line شده است.

#### مراجع:

۱-

Allison RA, Eizenman M., "Combined head and eye tracking system for dynamic testing of the vestibular system", IEEE trans. Bio. Eng. 1996

۲-

هستند از جمله فاصله چشم تا ccd (که ما در اینجا آن را با توجه به مسائل گفته شده ثابت در نظر گرفته ایم)، فاصله ccd تا صفحه نمایش که باید بصورت تقریبی آنرا محاسبه و به سیستم بدهیم و نیز اندازه صفحه نمایش را نیز باید برای سیستم مشخص کنیم. در مرحله بعدی ما می باید محدوده حرکات چشم را تعیین کنیم که این کار به ما کمک می کند تا از پردازش تصاویری که در محدوده قرار ندارند صرف نظر کنیم و بعلاوه با بدست آوردن مراجعی به تصحیح عملکرد برنامه می پردازیم، در واقع با دست داشتن این نقاط مرجع ما عملکرد برنامه را با واقعیت مقایسه کرده و برای رسیدن به بهترین حالت با استفاده از ضرابی به تصحیح عملکرد سیستم می پردازیم برای این کار ما شکلی مشابه شکل ۹ را بر روی صفحه نمایش ایجاد می کنیم که وسط و چهار گوشه اصلی صفحه نمایش را با علائمی مشخص ساخته ایم و از کاربر می خواهیم که به ترتیب به این اشکال زل بزند و برنامه نیز با بدست آوردن مرکز مردمک و نقطه دید با توجه به اطلاعات اولیه خود و مقایسه آن با محل واقعی نقطه دید، تصحیحهای احتمالی را در محاسبات لحاظ می کند.

#### بانک تصویری:

برای این تحقیق از تعداد ۳۰ تصویر ۲۰۰×۲۰۰ نقطه با سطوح خاکستری استفاده کرده ایم که هر یک از این تصاویر شامل کره چشم و محدوده اطراف آن شامل مژه ها و قسمتی از ابرو می شوند. این تصاویر از یک فاصله و با یک نوردهی ثابت تهیه شده اند. و بصورت تصادفی از هر دو چشم انتخاب شده اند. نمونه هایی از عملکرد سیستم را در شکل ۱۰ مشاهده می کنید.

#### نتایج:

برای مقایسه الگوریتم بکارگرفته شده در این مقاله، یکی از جدیدترین روشهای مطرح شده [۴] تحت عنوان الگوریتم Cross-line پیاده سازی شد و نتایج حاصل از آن با نتایج روش مطرح در این مقاله بر روی یک بانک

Tian Y., Kanade T., Chon J., "Dual-state Parametric Eye Tracking", Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition Proceedings, 2000

Carlos H., Arnon A., Flickner M., "Detecting Eye Position and Gaze from a single Camera and 2 Light Source", IEEE 2002

-۳

Chern-Sheng L., Chih-Chung C., "The method of diagonal-box checker search for measuring one's blink in eyeball tracking device", Opt. Lasers Technol 1998

-۴

Chern-Sheng L., Chia-Chin H., Chao-Ning C., "Design of a computer game using an eye-tracking device for eye's activity rehabilitation", Optic and Laser in engineering 2003

-۵

Grattan K., Palmer A., "Interrupted reflection fiber optic communication device for the severely disabled", Biomed 1984

-۶

Gook J., Nam K., Ramakrishna R.S., "Facial feature tracking for eye-head controlled human computer interface", TENCON 99, Proceedings of the IEEE Region 10 Conference 1999

-۷

Martin CF, Schovance L., "A control model of eye movement". Conference on Decision and Control, USA, 1997

-۸

Kawato S., Ohaya J., "Two-step approach for real-time eye tracking with a new filtering technique", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2000

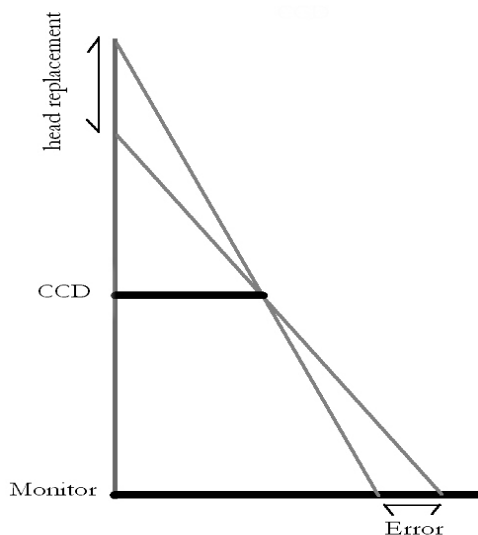
-۹

Spindler F., Chaumette F. "Gaze Control Using Human Eye Movement. IEEE international Confrence on Robotic and Automation, 1997 New Mexico

-۱۰

Wagner R., Galiana H., "Evaluation of three template matching algorithms for registering images of the eye", IEEE Trans. Bio. Eng. 1992

-۱۱



شکل ۱- خطای ایجاد شده بر اثر حرکت سر

```

0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0
    
```

(الف)

```

1 2 2 2 2 1
2 4 6 6 4 2
2 6 9 9 6 2
2 6 9 9 6 2
2 4 6 6 4 2
1 2 2 2 2 1
    
```

(ب)

شکل ۵- (الف) پیش از پردازش (ب) پس از اعمال لایه سازی چند مرحله‌ای

```

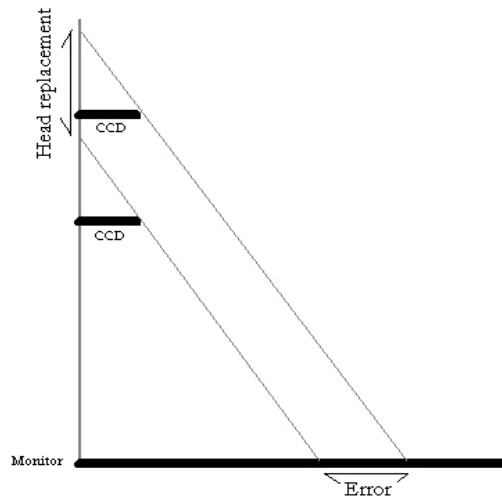
1 1 1 1 1 1
1 2 2 2 2 1
1 2 3 3 2 1
1 2 3 3 2 1
1 2 2 2 2 1
1 1 1 1 1 1
    
```

(الف)

```

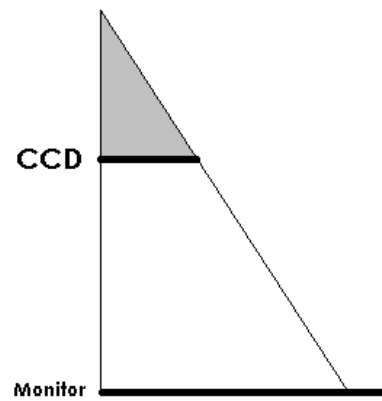
0 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0
    
```

(ب)



شکل ۲- خطای ایجاد شده بر اثر حرکت مجموعه سر و

ccd



شکل ۳- بکارگیری یک تناسب ساده برای بدست آوردن نقطه احتمالی دید بر روی صفحه نمایش



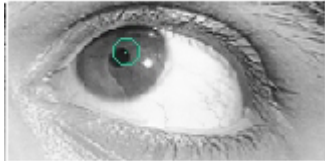
(الف)



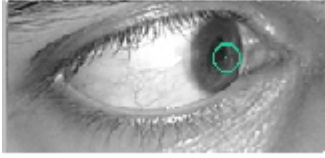
(ب)

شکل ۴- (الف) تصویر اصلی (ب) بعد از اعمال حد آستانه

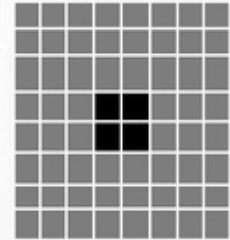
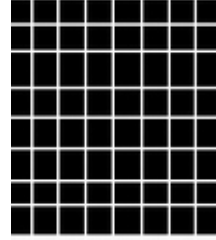
شکل ۶- (الف) پیش از پردازش (ب) پس از اعمال لایه سازی یک مرحله‌ای



(ج)

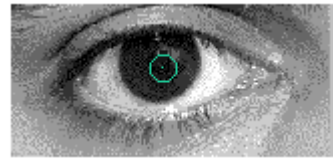


(د)

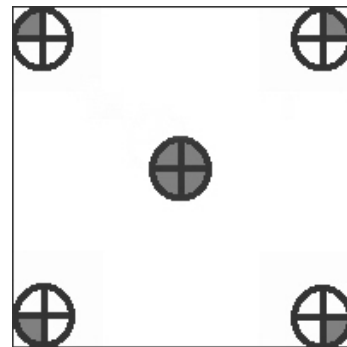


شکل ۷- چپ : مربع ۸×۸ سیاه رنگ - راست : پیکسل‌های مشخص شده در مرکز توسط روش ۲

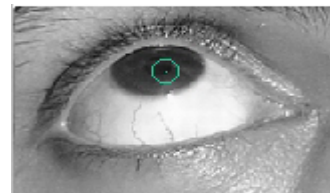
شکل ۱۰- موقعیتهای گوناگون چشم و نتایج پردازش آنها



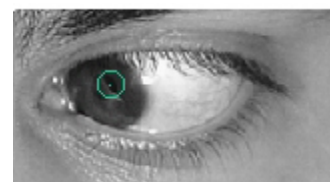
شکل ۸- نتیجه نهایی پردازش بر روی تصویر اولیه (شکل ۴ الف)



شکل ۹- نقاط کالیبراسیون بر روی صفحه نمایش



(الف)



(ب)