

تشخیص و ردگیری دقیق مردمک چشم با استفاده از تبدیل هاف دایروی بهبود یافته و IR-EMD

علی باقریان حقیقی^۱، ایمان احدی اخلاقی^۲

^۱ دانشگاه صنعتی سجاد، a_bagherian_h@yahoo.com

^۲ دانشگاه صنعتی سجاد، i_a_akhlaghi@sadjad.ac.ir

چکیده- در این مقاله، روش جدیدی جهت تشخیص و ردگیری مردمک چشم با استفاده از تبدیل هاف بهبود یافته و به کارگیری عینک مجهز به دوربین مادون قرمز (IR-EMD) ارائه شده است. IR-EMD به کار رفته در این پژوهش پس از بررسی کارایی طرح‌های مختلف، طراحی و ساخته شده است و با وجود سادگی، کارایی خوبی دارد و یکی از نوآوری‌های عملی این پژوهش می‌باشد. در روش پیشنهادی برای تشخیص مردمک، از نسخه دایروی تبدیل هاف استفاده شده است و با اعمال چند تغییر و اصلاح مختلف، سرعت و دقت آن افزایش یافته است. با اعمال تبدیل هاف دایروی بهبود یافته بر روی تصویر به دست آمده از دوربین با کیفیت متوسط تعبیه شده در IR-EMD که مجهز به حلقه IR هم می‌باشد، مکان دقیق مردمک در تصویر آشکارسازی می‌شود. از مهمترین ویژگی‌های الگوریتم پیشنهادی می‌توان به سرعت و دقت بالا، عدم نیاز به دوربین با کیفیت، مقاوم بودن در برابر نویز تصویر و همچنین مقاوم بودن در مقابل دیگر عوامل محیطی نظیر چرخش سر، آرایش چشمان و نور پس زمینه محیط و... اشاره کرد. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های عملی که بر روی اشخاص مختلف صورت گرفته است، بیانگر دقت و کارایی بالای روش پیشنهادی می‌باشد. همچنین، جهت اطمینان از عملکرد درست روش پیشنهادی برای همه حالت‌های ممکن، این روش به بیش از هفتصد تصویر چشم موجود در مرکز داده چشم CASIA-Iris V.3 نیز اعمال گردید. نتایج به دست آمده نشان از عملکرد بسیار خوب روش پیشنهادی دارد. به طوری که حتی در حضور نویز فلفل نمک با شدت پنجاه درصد الگوریتم پیشنهادی با دقتی حدود نود درصد مکان مردمک چشم را در تصاویر این مرکز داده به درستی تشخیص می‌دهد.

کلیدواژه‌ها- تشخیص مردمک چشم، IR-EMD، ردگیری، تبدیل هاف دایروی بهبود یافته.

جوینانه با اتصال حسگرها یا الکترودهایی به چشم یا پوست اطراف آن، ردگیری را انجام می‌دهند. گرچه این روش‌ها دقیق می‌باشند، اما به طور وسیع مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. زیرا، از یک سو وسایل و تجهیزات مورد استفاده در این روش‌ها گران قیمت و حساس هستند و از سوی دیگر، نصب و به کار گیری این تجهیزات سخت و زمان بر می‌باشد. در مقابل، روش‌های غیر مداخله جوینانه آسان، ارزان و انعطاف پذیر هستند. از آنجا که روش‌های غیر مداخله جوینانه برپایه پردازش تصاویر گرفته شده از چشم عمل می‌کنند، بخش اصلی آنها یک دوربین متصل به رایانه می‌باشد [۱-۴].

در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه نحوه آشکارسازی صحیح و ردگیری چشم انجام شده است. در [۵]، روشی بر پایه لیزر ارائه گردیده است که با استفاده از اسکن لیزری و به دست آوردن نمودار مکانی شدت نور، مکان مردمک

۱. مقدمه
ردگیری مردمک به معنی تشخیص دقیق و لحظه به لحظه مردمک چشم در تصاویر می‌باشد. ردگیری مردمک چشم کاربردهای بسیاری در تعامل انسان با کامپیوتر، کاربردهای پزشکی، رفتار شناسی، بازاریابی و نظامی دارد. چشم انسان اطلاعات مهمی در مورد آنچه او اراده کرده است در اختیار قرار می‌دهد؛ به همین دلیل، تحقیقات فراوانی برای به دست آوردن جهت نگاه کاربر، که یکی از مهمترین ویژگی‌های چشم انسان می‌باشد صورت گرفته است.

روش‌های مختلفی برای تشخیص و ردگیری مردمک وجود دارد که میزان دقت و کارایی آنها متفاوت است؛ می‌توان این روش‌ها را به دو دسته کلی روش‌های مداخله جوینانه (تهاجمی) و غیر مداخله جوینانه (غیر تهاجمی) تقسیم کرد. روش‌های مداخله

۲. روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی، که روشی جدید و مقرون به صرفه با پیاده سازی آسان است، الگوریتم تبدیل هاف استاندارد مورد اصلاح قرار گرفته و از یک وسیله ابداعی نیز به نام IR-EMD استفاده شده است. الگوریتم تشخیص و ردگیری مردمک به کار رفته در این پژوهش از چهار مرحله ذیل تشکیل می‌شود:

- ۱- دریافت تصویر ورودی با IR-EMD
- ۲- اعمال الگوریتم آشکارسازی لبه به صورت افقی
- ۳- اعمال تبدیل هاف دایروی بهبود یافته
- ۴- مشخص کردن محل درست مردمک چشم در هر

فریم

ابزاری که برای افزایش سرعت اجرای الگوریتم مورد استفاده قرار گرفته است، عینک مجهز به دوربین با حلقه دیود نوری مادون قرمز، IR-EMD، است (شکل ۱). با استفاده از آرایش حلقوی مادون قرمز در کنار لنز دوربین در این ابزار، دقت و سرعت تشخیص و ردگیری افزایش یافته و حساسیت الگوریتم نسبت به کیفیت دوربین، نور پس زمینه و سایر عوامل کاهش می‌یابد.



شکل ۱: نمای عینک مجهز به دوربین مادون قرمز (IR-EMD)

الگوریتم تشخیص لبه

جهت افزایش دقت تشخیص مردمک چشم، کاهش اثر نویز در تصویر و افزایش مقاومت الگوریتم در مقابل نویزهای مختلف و کاهش لبه‌های غیر ضروری تصویر (نظیر لبه‌های آشکار شده ناشی از پلک‌ها، مژه‌ها و ...) از الگوریتم تشخیص لبه تنظیم شده، استفاده شده است. در مرحله اول، ابتدا تصویر به تصویری با سطوح خاکستری تبدیل می‌شود و سپس شدت روشنایی سطوح خاکستری تصویر تنظیم می‌شود. با این کار تنها لبه‌های تیز تصویر باقی خواهند ماند. در مرحله بعدی، با اعمال الگوریتم آستانه‌گیری روی خروجی آشکارساز لبه Canny، لبه‌های تصویر به دقت مشخص می‌شوند [۱۲].

چشم را شناسایی می‌کند، این روش به دلیل هزینه بر بودن و احتمال آسیب رساندن لیزر به چشم و دیگر نقاط صورت مورد اقبال عملی قرار نگرفته است. در [۶]، برای تعیین مکان مردمک چشم از دو منبع نور IR و یک دوربین CCD استفاده می‌شود. در این روش، یک حلقه با فاصله کم پیرامون دوربین و یک حلقه دیگر با فاصله دورتری نسبت به دوربین قرار می‌گیرند. حلقه داخلی در فریم‌های زوج روشن می‌شود و در نور آن مردمک به صورت مشکی نمایان می‌گردد و حلقه بیرونی در فریم‌های فرد روشن می‌شود و مردمک را به صورت سفید رنگ نمایان می‌کند. با کم کردن دو تصویر از یکدیگر و آستانه‌گیری، مردمک چشم تشخیص داده می‌شود.

در [۷]، از دو دوربین CCD مادون قرمز با طول موج مختلف در کنار هم استفاده می‌شود و هر دوربین مردمک چشم را مشخص می‌کنند، با تفریق دو تصویر یکسان و با در نظر گرفتن یک سطح آستانه مناسب، مردمک چشم‌ها تشخیص داده می‌شود. در روش ارائه شده در [۸]، با استفاده از ادغام فیلتر کالمن و جابجایی میانگین، مردمک تحت تابش مادون قرمز به صورت زمان واقعی ردگیری می‌شود. با قرار دادن تابشگر مادون قرمز در راستای محور تصویر دوربین، مردمک به صورت یک نقطه سفید دیده می‌شود و سپس توسط فیلتر کالمن ردگیری شده و خطا توسط جابجایی میانگین اصلاح می‌شود. در [۹]، ردگیری مردمک با مدل سازی آن توسط یک بیضی استاندارد و تخمین مکان مردمک با استفاده از تفاوت سطوح خاکستری و اعمال فیلتر ذره، صورت می‌گیرد. در [۱۰]، برای ردگیری مردمک در هنگام خیره شدن، از فیلتر ذره استفاده شده است. به این صورت که یک دوربین ثابت با تابش مادون قرمز برای درخشان کردن مردمک استفاده می‌شود. سپس، یک عملگر شکل‌شناسی مناسب برای تعیین مکان دقیق مردمک به کار گرفته می‌شود. در نهایت، فیلتر ذره پارامترهای مردمک را ردگیری می‌کند. در [۱۱]، برای بررسی تغییرات رفتاری شخص در تصاویر ویدیویی، یک سامانه ردگیری چشم مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم ارائه شده به این صورت است که ابتدا تصاویر توسط دوربینی که در مقابل شخص قرار دارد ذخیره شده و سپس با استفاده از روش آتسو و الگوریتم ژنتیک مکان‌یابی می‌شود. پس از مدل سازی مردمک توسط تبدیل هاف دایره‌ای، فیلتر کالمن برای ردگیری مردمک به کار گرفته می‌شود.

تبدیل هاف دایروی

تبدیل هاف به عنوان نگاشت یک نقطه از صفحه R^2 به فضای پارامتری بر اساس شکل شیء مورد نظر تعریف می‌شود. به عنوان مثال، معادله یک دایره در مختصات دکارتی به صورت ذیل بیان می‌شود:

$$R^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad (1)$$

که a و b مختصات مرکز دایره و r شعاع دایره می‌باشند. نمایش پارامتری این معادله به صورت ذیل است:

$$\begin{cases} x = r + a \cos \theta \\ y = r + b \sin \theta \end{cases} \quad 0 \leq \theta < 2\pi \quad (2)$$

با افزایش پارامترهای مورد نیاز برای تعریف هر شیء، ابعاد فضای پارامتری افزایش می‌یابد و در نتیجه تبدیل هاف متناظر پیچیده‌تر خواهد شد. از آنجایی که در تبدیل هاف ساده و استاندارد معمولاً شعاع تصویر مردمک ثابت در نظر گرفته می‌شود، شعاع دایره به صورت یک عدد ثابت خواهد بود و تنها دو پارامتر a و b به عنوان مختصات مرکز دایره در نظر گرفته می‌شوند.

مراحل یافتن دایره در یک تصویر به کمک تبدیل هاف دایروی به این صورت است که ابتدا تمام لبه‌ها در تصویر با یک الگوریتم لبه‌یابی مناسب مشخص می‌شوند. سپس، در هر نقطه از لبه، یک دایره به مرکز همان نقطه با شعاع ثابت و مشخص ترسیم می‌شود. تعداد دایره‌های عبور کننده از هر نقطه در دریاچه متناظر آن نقطه در یک ماتریس که به آن ماتریس ذخیره‌ساز می‌گوییم قرار داده می‌شود. مکان دریاچه‌ای که بیشترین مقدار را دارد به عنوان مکان مرکز دایره در تصویر اصلی انتخاب خواهد شد [۱۳-۱۷].

تبدیل هاف دایروی بهبود یافته

از نقاط ضعف تبدیل هاف دایروی استاندارد که در بخش قبل معرفی گردید، می‌توان به سرعت پایین الگوریتم در فضای جستجوی بزرگ، خطای نسبتاً زیاد آن در پیدا کردن محل درست مردمک چشم، وابستگی زیاد الگوریتم به فاصله شخص از دوربین، وابستگی زیاد به شعاع مردمک و شرایط محیط تصویربرداری اشاره کرد.

در روش پیشنهادی تبدیل هاف دایروی بهبود یافته، پس از تشخیص لبه با الگوریتم Canny روی لبه‌های تشخیص داده شده آستانه‌گیری می‌گردد و نقاطی از تصویر که روی لبه‌هایی با شدت کافی قرار دارند مشخص می‌شوند. این عمل باعث کاهش فضای جستجو برای پیدا کردن مرکز دایره می‌شود. در نتیجه؛

لبه‌های غیر مفید تصویر حذف خواهند شد و خطای الگوریتم به صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

پس از محاسبه شعاع‌ها برای پیکسل‌های لبه، ماتریسی مقداردهی می‌شود، که سه بعد دارد. بعد اول و دوم مختصات مرکز دایره را در خود ذخیره می‌کند و بعد سوم شعاع‌های مختلف را در خود نگه می‌دارد. مقادیری که ماتریس می‌گیرد تعداد پیکسل‌هایی است که مختصات آنها در رابطه (۱) صدق می‌کند. پیکسلی که بیشترین عبور محیط دایره از آن صورت گرفته است و از مقدار آستانه از پیش تعیین شده بیشتر است، به عنوان مرکز دایره انتخاب می‌شود و سپس دایره‌ای حول آن با شعاع R رسم می‌شود. با توجه به روش انتخابی، اکثر لبه‌های موجود در تصویر، روی محیط این دایره قرار می‌گیرند.

از آن جایی که با استفاده از IR-EMD فاصله دوربین از چشم ثابت است، شعاع تصویر مردمک نیز تقریباً ثابت خواهد بود. در نتیجه، در تبدیل هاف مورد استفاده، شعاع دایره به صورت یک بازه کوچک در نظر گرفته خواهد شد. پس از شناسایی دقیق مردمک چشم در فریم اول و تنظیم وفقی شعاع در الگوریتم، شعاع تصویر مردمک عددی ثابت در نظر گرفته می‌شود. لذا، الگوریتم در هر مرحله تنها به دنبال یافتن دو پارامتر a و b در معادله (۲)، به عنوان مختصات مرکز دایره است. این تنظیم وفقی باعث خواهد شد سرعت اجرای الگوریتم افزایش یابد و همچنین وابستگی الگوریتم نسبت به فاصله چشمان شخص از دوربین و اندازه شعاع مردمک، کاهش یابد.

مهم‌ترین مزیت به کارگیری تبدیل هاف بهبود یافته کاهش فضای جستجو جهت پیدا کردن مرکز دایره و همچنین کاهش خطای ایجاد شده ناشی از لبه‌های اضافه در تصویر است. با استفاده از الگوریتم تبدیل هاف بهبود یافته در کنار استفاده از IR-EMD دقت و سرعت اجرای الگوریتم بهبود فراوان می‌یابد. از آن جا که با کمک یک پردازشگر قوی، تشخیص مردمک با سرعت بالا و طی زمانی کوتاه‌تر از زمان یک فریم مقدور است، در عمل، مردمک به صورت زمان حقیقی ردگیری می‌شود. روندنمای روش پیشنهادی در شکل ۲ آورده شده است.

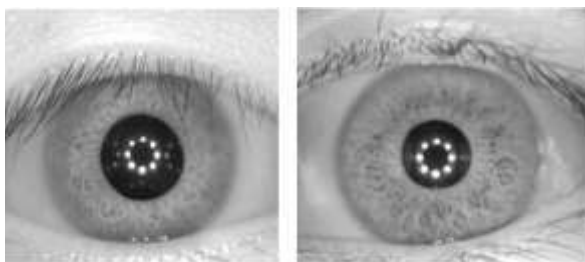
۳. بررسی روش پیشنهادی

عملکرد روش پیشنهادی برای آشکارسازی مردمک چشم، بر روی تصاویر مرکز داده چشم CASIA-Iris V.3، با بیش از ۷۰۰ تصویر، مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت. مرکز داده چشم CASIA-Iris V.3 شامل سه زیر مجموعه، CASIA-Iris

در جدول ۱، اطلاعاتی درباره این مراکز داده ارائه شده است. مرکز داده CASIA-Iris V.3 شامل ۲۲۰۳۴ عکس از بیش از ۷۰۰ فرد مختلف می‌باشد که تمام عکس‌های چشم، از نوع تصاویر با سطوح خاکستری و با پسوند jpeg می‌باشند. این تصاویر تحت نور مادون قرمز، تهیه شده‌اند. اکثر افراد مورد آزمایش قرار گرفته در تهیه این مرکز داده، با ملیت چینی بوده‌اند [۱۸].

در این پژوهش، به دلیل مشابه بودن شرایط آزمایش، تمامی نتایج به دست آمده با استفاده از تصاویر مرکز داده CASIA-Iris Interval است. در پیاده‌سازی عملی روش پیشنهادی، از یک IR-EMD مجهز به دوربین وب کم با لنز ثابت، با فاصله کانونی ۳ میلی‌متر، با اندازه حسگر ۲.۲ میلی‌متر، با کیفیت CIF و حلقه مجهز به IR استفاده شده است.

روش پیشنهادی برای بیش از ۴۰ فرد مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل شده بیانگر مقاوم بودن الگوریتم در مقابل نویز و تغییرات چهره، آرایش چشم و چرخش سر و ... است. لازم به ذکر است تمامی آزمایش‌ها با استفاده از رایانه‌ای با پردازشگر اینتل دو هسته‌ای با سرعت سه گیگا هرتز، مجهز به حافظه اصلی دو گیگا بایت و حافظه گرافیکی ۲۵۶ مگا بایت و سیستم عامل ویندوز XP و نرم افزار MATLAB 2010 صورت گرفته است.



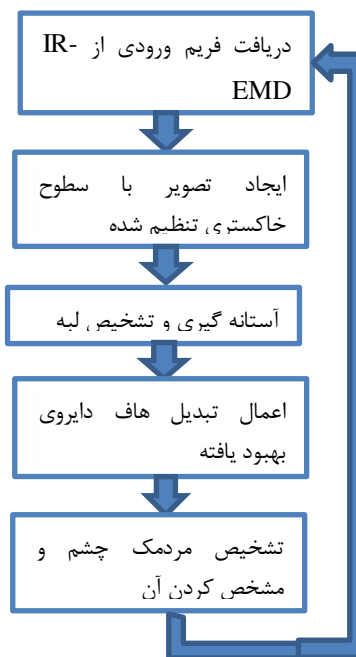
شکل ۳: نمونه‌ای از CASIA-Iris-Interval [۱۸]



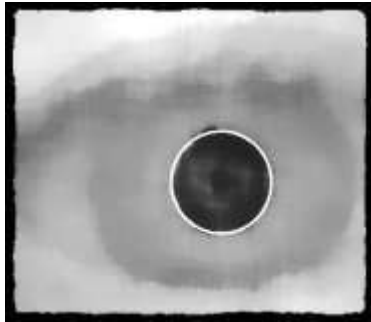
شکل ۴: نمونه‌ای از CASIA-Iris-Lamp [۱۸]

CASIA-Iris Twins و CASIA-Iris Lamp و Interval

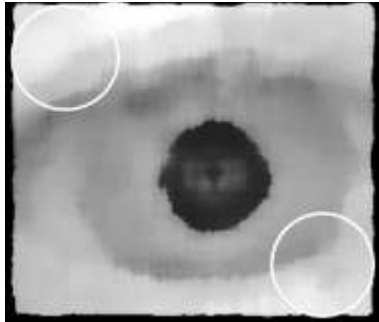
می‌باشد که به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نمونه‌هایی از آن‌ها نشان داده شده است.



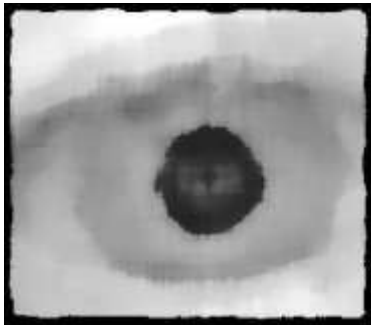
شکل ۲: روندنمای روش پیشنهادی



شکل ۷: نمونه‌ای از تشخیص صحیح مردمک چشم



شکل ۸: نمونه‌ای از تشخیص اشتباه مردمک چشم



شکل ۹: نمونه‌ای از عدم تشخیص مردمک چشم

در جدول ۲، زمان متوسط اجرا و دقت الگوریتم پیشنهادی برای حالتی که هیچ عامل مخربی وجود ندارد (از جمله قرار گرفتن نادرست عینک و وجود نویز) مشاهده می‌شود که بیانگر دقت و سرعت بسیار بالای آن است.

جدول ۲: سرعت و دقت الگوریتم پیشنهادی

زمان متوسط اجرای الگوریتم	تشخیص صحیح	تشخیص اشتباه	عدم تشخیص اشتباه
۳۰۰ میلی ثانیه	٪۹۷	٪۲.۵	<٪۰.۵



شکل ۵: نمونه‌ای از CASIA-Iris-Twins [۱۸]

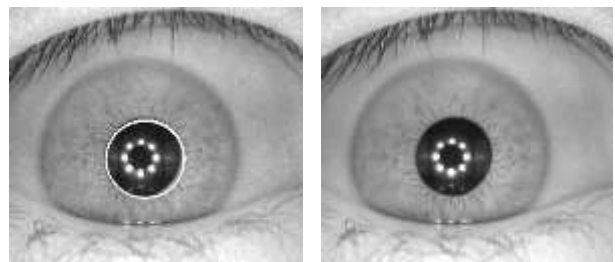
جدول ۱: مقایسه زیر مجموعه‌های CASIA-Iris V.3 [۱۸]

مشخصه	CASIA-Iris-Interval	CASIA-Iris-Lamp	CASIA-Iris-Twins
حسگر	CASIA close-up iris camera	OKI IRISPAS S-h	OKI IRISPAS -h
تعداد افراد	۲۴۹	۴۱۱	۲۰۰
تعداد عکس	۲۶۳۹	۱۶۲۱۲	۳۱۸۳
کیفیت تصویر	۳۲۰*۲۸۰	۶۴۰*۴۸۰	۶۴۰*۴۸۰

۳.۱. بررسی سرعت و دقت روش پیشنهادی بدون در

نظر گرفتن عوامل مخرب

در شکل ۶، نمونه‌ای از تصاویر ورودی و خروجی الگوریتم، بدون اعمال نویز مشاهده می‌شود.



(ب) خروجی الگوریتم

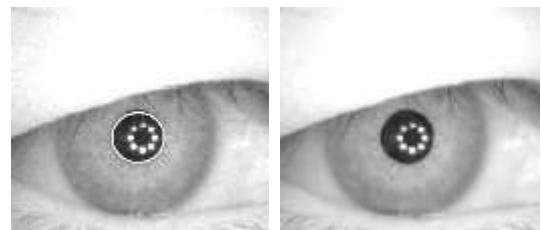
(الف) فریم ورودی

شکل ۶: نمونه‌ای از تصاویر ورودی و خروجی الگوریتم بدون حضور نویز

جهت تعیین دقت الگوریتم، دو نوع خطای "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه" مردمک جداگانه بررسی شده است. شکل‌های ۷، ۸ و ۹ به ترتیب نمونه‌هایی از "تشخیص صحیح"، "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه"، را نشان می‌دهند. در این تصاویر، نخست، نویز فلفل نمکی با شدت ٪۸۰ به تصاویر ورودی اعمال شده و سپس، پیش از انجام الگوریتم با کمک فیلتر میانه حذف گردیده است.

۳.۲. بررسی اثر عوامل مخرب بر الگوریتم پیشنهادی

در این بخش، تاثیر عوامل مخرب تصویر ورودی نظیر نور پس زمینه غیریکنواخت، ناکامل بودن تصویر مردمک و عنبیه (اغلب برای افراد شرقی) و آرایش چشم، که ممکن است باعث عدم کارکرد صحیح الگوریتم شود، بررسی می شود. در شکل های ۱۰ (الف) و ۱۱ (الف) و ۱۲ (الف) نمونه هایی از این عوامل مخرب آورده شده و در شکل های ۱۰ (ب) و ۱۱ (ب) و ۱۲ (ب) نیز خروجی الگوریتم مشاهده می شود. همان طور که ملاحظه می شود، الگوریتم نسبت به نور پس زمینه غیر یکنواخت، ناکامل بودن تصویر مردمک و عنبیه و آرایش چشم، مقاوم بوده و به درستی عمل می کند.

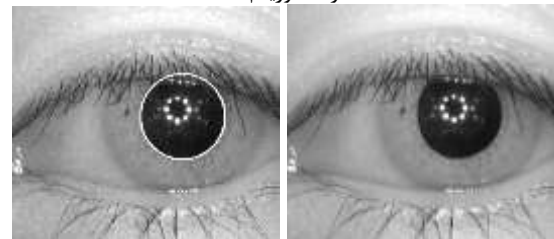


(ب) خروجی الگوریتم

(الف) تصویر ورودی

(نم. س. زمینه غیر یکنواخت)

شکل ۱۰: نمونه ای از تصویر ورودی با نور پس زمینه غیر یکنواخت و نحوه عملکرد الگوریتم

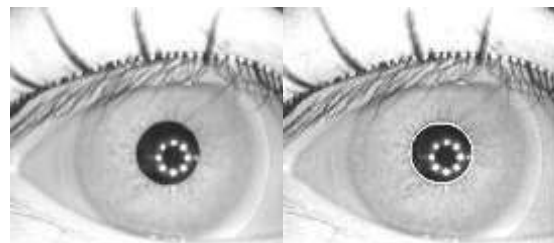


(ب) خروجی الگوریتم

(الف) تصویر ورودی

(ناکامل بودن از مردمک و عنبیه چشم)

شکل ۱۱: نمونه ای از تصویر ورودی ناکامل بودن از مردمک و عنبیه چشم (افراد چشم تنگ) و نحوه عملکرد الگوریتم



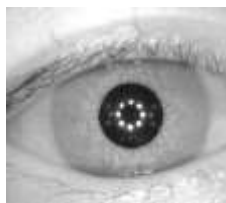
(ب) خروجی الگوریتم

(الف) تصویر ورودی (آرایش چشم)

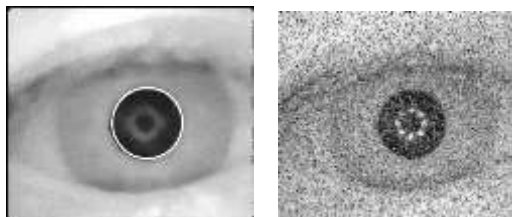
شکل ۱۲: نمونه ای از تصویر ورودی با آرایش چشم و نحوه عملکرد الگوریتم

۳.۳. بررسی تاثیر نویز فلفل نمک بر روش پیشنهادی

در شکل ۱۳، نمونه ای از تصاویر ورودی قبل از اعمال نویز و در شکل های ۱۴ (الف) و ۱۵ (الف) و ۱۶ (الف) نمونه هایی از تصاویر آغشته به نویز فلفل نمک با شدت های ۳۰٪ و ۵۰٪ و ۸۰٪ مشاهده می شود. شکل های ۱۴ (ب) و ۱۵ (ب) و ۱۶ (ب) نتایج الگوریتم را بعد از اعمال نویز نشان می دهد. در جدول های ۳ و ۴ و ۵، دقت و زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی بر حسب درصد نویز فلفل نمک اضافه شده به تصاویر بانک اطلاعاتی به ترتیب برای ابعاد فیلتر ۲۵*۲۵ و ۱۵*۱۵ و ۵*۵ آورده شده است.



شکل ۱۳: تصویر ورودی قبل اعمال نویز

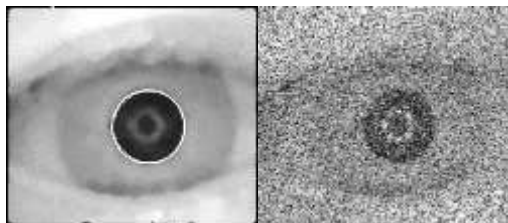


(الف) تصویر ورودی بعد اعمال از نویز

(ب) خروجی الگوریتم

فلفل نمک با شدت ۳۰٪

شکل ۱۴: تاثیر اعمال نویز فلفل نمک ۳۰٪ بر کارایی الگوریتم

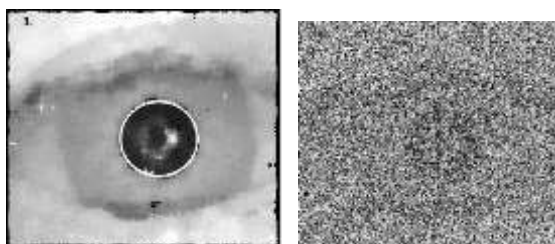


(الف) تصویر ورودی بعد اعمال از نویز

(ب) خروجی الگوریتم

فلفل نمک با شدت ۵۰٪

شکل ۱۵: تاثیر اعمال نویز فلفل نمک ۵۰٪ بر کارایی الگوریتم

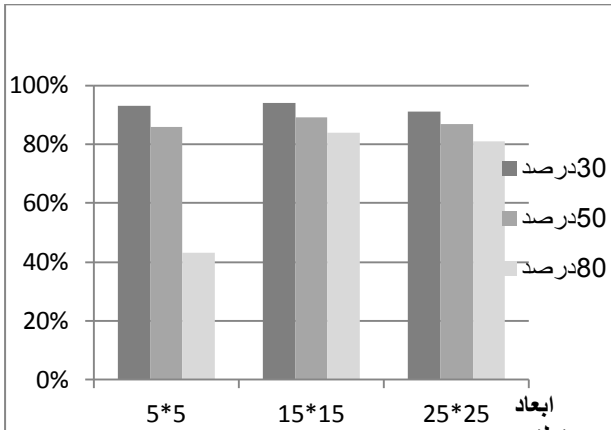


(الف) تصویر ورودی بعد اعمال از نویز

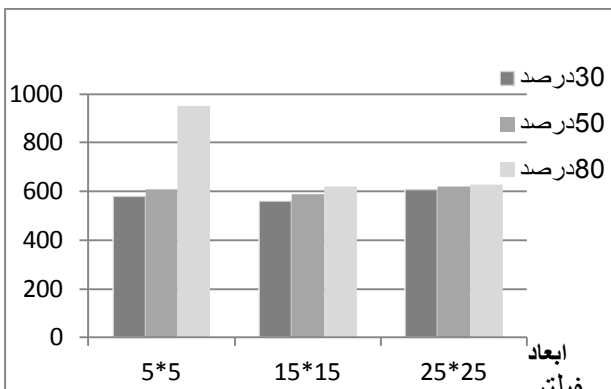
(ب) خروجی الگوریتم

شکل ۱۶: تاثیر اعمال نویز فلفل نمک ۸۰٪ بر کارایی الگوریتم

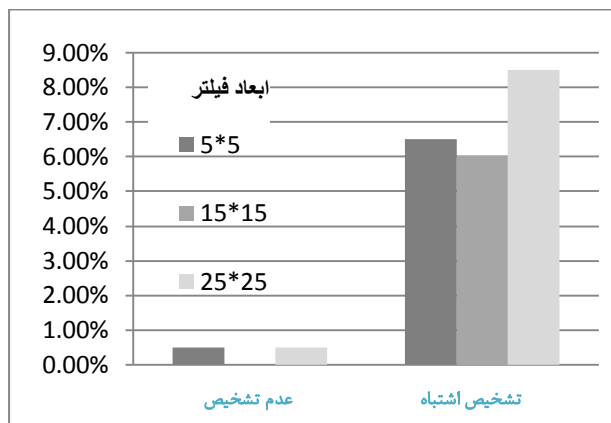
جدول ۶، ۷ و ۸ میزان درصد دو نوع خطای "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه" را بر حسب شدت نویز فلفل نمک اضافه شده به ترتیب برای ابعاد فیلتر ۲۵*۲۵، ۱۵*۱۵ و ۵*۵ برای شدت‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ و ۸۰٪ نشان می‌دهند. تفاوت کارایی الگوریتم برای حالت‌های مختلف در نمودارهای شکل‌های ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۷: نمودار تشخیص صحیح الگوریتم برای تصاویر آغشته با نویز فلفل نمک با شدت‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ و ۸۰٪



شکل ۱۸: نمودار زمان اجرای الگوریتم برای تصاویر آغشته با نویز فلفل نمک با شدت‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ و ۸۰٪



شکل ۱۹: درصد خطاهای "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه" برای حذف نویز فلفل نمک با شدت ۸۰٪ با فیلتر میانه با ابعاد مختلف ۵*۵، ۱۵*۱۵ و ۲۵*۲۵

جدول ۳: بررسی تاثیر شدت نویز فلفل نمک بر سرعت و دقت الگوریتم پیشنهادی برای فیلتر میانه با ابعاد ۲۵*۲۵

درصد نویز اعمال شده در تصویر	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪
زمان اجرای الگوریتم (بر حسب میلی ثانیه)	۶۱۰	۶۲۰	۶۳۰
دقت	۹۱٪	۸۷٪	۸۱٪

جدول ۴: بررسی تاثیر شدت نویز فلفل نمک بر سرعت و دقت الگوریتم پیشنهادی برای فیلتر میانه با ابعاد ۱۵*۱۵

درصد نویز اعمال شده در تصویر	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪
زمان اجرای الگوریتم (بر حسب میلی ثانیه)	۵۶۰	۵۹۰	۶۲۰
دقت	۹۴٪	۸۹٪	۸۴٪

جدول ۵: بررسی تاثیر شدت نویز فلفل نمک بر سرعت و دقت الگوریتم پیشنهادی برای فیلتر میانه با ابعاد ۵*۵

درصد نویز اعمال شده در تصویر	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪
زمان اجرای الگوریتم (بر حسب میلی ثانیه)	۵۸۰	۶۱۰	۹۵۰
دقت	۹۳٪	۸۶٪	۴۳٪

همان طور که در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، از یک سو، ابعاد بزرگ فیلتر (مثلا ابعاد ۲۵*۲۵) علیرغم آن که نویز را به طور کامل حذف می‌کند، باعث افت کیفیت و کدر شدن تصویر می‌شود و در نتیجه کارایی الگوریتم کاهش می‌یابد؛ از سوی دیگر، ابعاد کوچک فیلتر (مثلا ابعاد ۵*۵) نویز را به طور کامل حذف نمی‌کند و باعث می‌شود الگوریتم کارایی ایده‌آل نداشته باشد. نتایج بررسی‌ها ابعاد ۱۵*۱۵ را برای فیلتر میانه مناسب نشان می‌دهد.

جدول ۶: درصد رخ داد انواع خطاها در حالت حذف نویز فلفل نمک با فیلتر میانه به ابعاد ۲۵*۲۵

درصد نویز اعمال شده در تصویر	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪
تشخیص اشتباه	۸.۵٪	۱۲٪	۱۴٪
عدم تشخیص	۰.۵٪	۱٪	۵٪

جدول ۷: درصد رخ داد انواع خطاها در حالت حذف نویز فلفل نمک با فیلتر میانه به ابعاد ۱۵*۱۵

درصد نویز اعمال شده در تصویر	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪
تشخیص اشتباه	۵.۵٪	۱۰٪	۱۲٪
عدم تشخیص	< ۰.۵٪	۱٪	۴٪

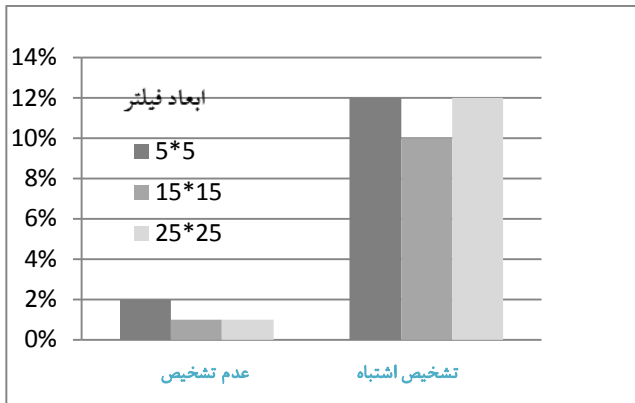
جدول ۸: درصد رخ داد انواع خطاها در حالت حذف نویز فلفل نمک با فیلتر میانه به ابعاد ۵*۵

درصد نویز اعمال شده در تصویر	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪
تشخیص اشتباه	۶.۵٪	۱۲٪	۴۶٪
عدم تشخیص	۰.۵٪	۲٪	۱۱٪

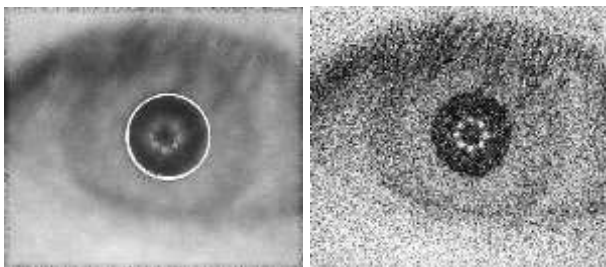
پیشنهادی بر حسب واریانس نویز گوسی با میانگین صفر، اضافه شده به تصاویر بانک اطلاعاتی به ترتیب برای فیلتر بهینه وینر، با ابعاد 15×15 آورده شده است [۱۹].



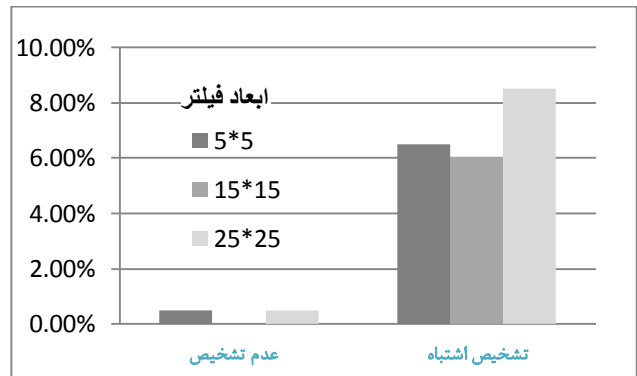
شکل ۲۲- تصویر ورودی قبل اعمال نویز



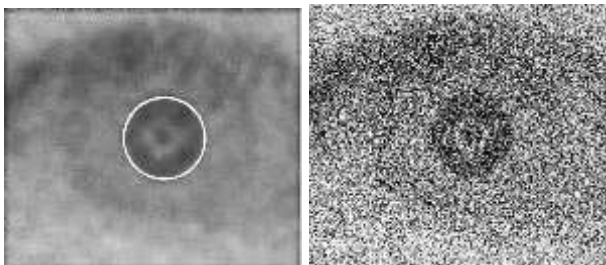
شکل ۲۰: درصد خطاهای "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه" برای حذف نویز فلفل نمک با شدت 0.5% با فیلتر میانه با ابعاد مختلف 5×5 ، 15×15 و 25×25



شکل ۲۳: تأثیر اعمال نویز گوسی با واریانس 0.1 و میانگین صفر، بر تصویر ورودی و نحوه عملکرد الگوریتم



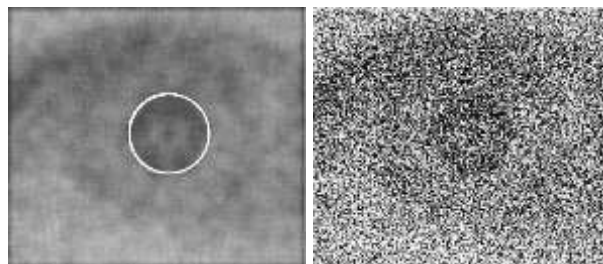
شکل ۲۱: درصد خطاهای "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه" برای حذف نویز فلفل نمک با شدت 0.3% با فیلتر میانه با ابعاد مختلف 5×5 ، 15×15 و 25×25



شکل ۲۴: تأثیر اعمال نویز گوسی با واریانس 0.5 و میانگین صفر، بر تصویر ورودی و نحوه عملکرد الگوریتم

همان طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم نسبت به نویز فلفل نمک بسیار مقاوم است و در نویزهای با درصد پایین حتی بدون اعمال فیلتر میانه، قادر است به درستی مردمک چشم را تشخیص دهد. دلیل این امر آن است که برای تشخیص لبه از روش استاندارد Canny استفاده می‌شود و این روش با نرم‌سازی تصویر نویز را کاهش می‌دهد.

۳.۴. بررسی تأثیر نویز گوسی بر روش پیشنهادی



شکل ۲۵: تأثیر اعمال نویز گوسی با واریانس 1 و میانگین صفر، بر تصویر ورودی و نحوه عملکرد الگوریتم

در این بخش، به بررسی تأثیر نویز گوسی بر نحوه عملکرد روش پیشنهادی می‌پردازیم. در شکل ۲۲، نمونه‌ای از تصویر ورودی قبل از اعمال نویز و در شکل‌های ۲۳ (الف) و ۲۴ (الف) و ۲۵ (الف) (نمونه‌ای از تصویر آغشته به نویز گوسی با میانگین صفر به ترتیب با واریانس‌های 0.1 و 0.5 و 1 ، مشاهده می‌شود. شکل‌های ۲۳ (ب) و ۲۴ (ب) و ۲۵ (ب) نتایج الگوریتم را بعد از اعمال نویز نشان می‌دهد. در جدول ۹، دقت و زمان اجرای الگوریتم

می‌توان از آن در ردگیری مردمک چشم برای کاربردهای زمان حقیقی نیز بهره جست.

با وجود آن که شرایط شبیه‌سازی روش پیشنهادی کاملاً مشابه روش ارائه شده در [20] می‌باشد، این روش به دلیل استفاده از تبدیل هاف بهبود یافته و استفاده از IR-EMD عملکرد بسیار بهتری را از خود نشان می‌دهد. همچنین، برخلاف بیشتر روش‌های مشابه [20-21]، روش پیشنهادی به دوربین لنز متغییر و با کیفیت بالا نیازی ندارد و به دلیل بهره بردن از وسیله ابداعی IR-EMD می‌توان از دوربین‌های با کیفیت معمولی با لنز ثابت نیز استفاده کرد.

جهت افزایش سرعت اجرا بهتر است، تنظیمات اولیه (نظیر شعاع دقیق مردمک چشم) برای هر کاربر انجام شود و همچنین از رایانه‌ای با عملکرد بالا استفاده گردد. جهت پیاده‌سازی به صورت مستقل از کامپیوتر، استفاده از پردازنده‌های DSP، گزینه مناسبی به نظر می‌رسد.

همچنین، با استفاده از دستگاه IR-EMD می‌توان به طور همزمان مردمک هر دو چشم را ردگیری نمود و با ترکیب اطلاعات به دست آمده عمق دید کاربر و نقطه فوکوس چشمان او را تشخیص داد. تشخیص نقطه فوکوس کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف صنعتی، علمی و نظامی دارد. در حال حاضر، نویسندگان سرگرم توسعه روش پیشنهادی برای این منظور هستند.

مراجع

- [1] T. Nash, *Jane's Simulation and Training Systems*. Ihs Global Inc., pp. 140-145, 2011-2012.
- [2] H. Hua and P. Krishnaswamy and J. Rolland, "Video-Based Eyetracking Methods And Algorithms In Head-Mounted Displays," *Optics Express*, Vol. 14, No. 10, pp. 4328-4350, 2006.
- [3] X.Li and W.G. Wee, "An Efficient Method For Eye Tracking And Eye-Gazed Fov Estimation," *16th IEEE International Conference on Image Processing*, 2009.
- [4] W.Tunhua and Z.Changle and L.Kunhui, "Real-Time Non-Intrusive Eye Tracking For Human-Computer Interaction," *The 5th International Conference On Computer Science & Education Hefei*, 2010.
- [5] K.Irie and B.Wilson and R. D. Jones, "A Laser-Based Eye-Tracking System Behavior Research Methods," *Instruments & Computers*, 2002.

جدول ۹: تاثیر شدت نویز گووسی با میانگین صفر بر سرعت و دقت الگوریتم پیشنهادی برای فیلتر وینر با ابعاد ۱۵*۱۵

۱	۰.۵	۰.۱	واریانس نویز گووسی اعمال شده
۶۳۰	۵۶۰	۵۱۰	زمان اجرای الگوریتم (بر حسب میلی ثانیه)
٪۸۷	٪۹۲	٪۹۵	دقت

جدول ۱۰ میزان دو نوع خطای "تشخیص اشتباه" و "عدم تشخیص اشتباه" را بر حسب شدت نویز گووسی اضافه شده برای فیلتر وینر با ابعاد ۱۵*۱۵ نشان می‌دهد.

جدول ۱۰: درصد رخ داد انواع خطاها در حالت حذف نویز گووسی برای فیلتر وینر با ابعاد ۱۵*۱۵

۱	۰.۵	۰.۱	واریانس نویز گووسی اعمال شده
٪۱۰	٪۶	٪۴	تشخیص اشتباه
٪۳	٪۲	<٪۱	عدم تشخیص

همان طور که در جداول ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، الگوریتم نسبت به حضور نویز گووسی با میانگین صفر مقاوم است و در نویزهای با واریانس پایین حتی بدون اعمال فیلتر، قادر است به درستی مردمک چشم را تشخیص دهد. با توجه به بکارگیری IR-EMD در این پژوهش، تاثیر چرخش سر، آرایش صورت و نور پس زمینه، کیفیت دوربین فیلم برداری و دیگر عوامل مخرب، بسیار کاهش یافته و روش نسبت به وجود این عوامل کاملاً مقاوم است؛ درنتیجه، برای به کارگیری و استفاده از این روش برخلاف دیگر روش‌های موجود، استفاده از دوربین با کیفیت بالا و با لنز با فاصله کانونی متغییر الزامی نیست.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش جدیدی جهت تشخیص و ردگیری چشم ارائه گردیده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که این روش در برابر افت کیفیت تصویر ناشی از نور پس زمینه غیر یکنواخت، ناکامل بودن مردمک و عنیبه در تصویر، آرایش چشم، نویز فلغل نمک و نویز گووسی با میانگین صفر، بسیار مقاوم است. به عنوان مثال، حتی با داشتن نویز فلغل نمکی با شدت ۸۰ درصد این الگوریتم عملکرد بسیار خوبی داشته و درصد صحت الگوریتم به حدود ۸۴ درصد می‌رسد. درحالت بدون اعمال نویز نیز، الگوریتم پیشنهادی کمتر از ۳ درصد خطا دارد. همچنین، زمان اجرای الگوریتم از مرتبه زمان یک فریم است و در نتیجه

- Academy of Science, Engineering and Technology*, pp. 312-321, 2011.
- [16] W. M. K. Wan Mohd Khairisfaizal and A. J. Nor'aini, "Eyes detection in facial images using circular Hough transform", *Proc. 5th Int'l Colloquium on Signal Processing & Its Application (CSPA)*, pp.238-242, 2009.
- [17] T. Rabbani and F. Vanden Heuvel, "Efficient Hough Transform for Automatic Detection of Cylinders In Point Clouds," *11th Annual Conference of the Advanced School for Computing and Imaging (ASCI '05)*, the Netherlands, 2005.
- [18] CASIA V3.0 Iris Image Database. [Online]. [Http://Biometrics.Idealtest.Org](http://Biometrics.Idealtest.Org).
- [19] Robert Grover Brown and Y. Hwang Patrick y. Hwang and Phyllis Ed. Brown, *Introduction To Random Signals And Applied Kalman Filtering (2nd Ed.)*, John Wiley & Sons, 1996.
- [20] M. Sadri and K. Kangarloo and F. Farokhi, "Particle Filtering In The Design Of An Accurate Pupil Tracking System," *International Journal Of Computer Applications*, Vol 51, No 8, 2012.
- [21] B. Kunka and B. Kostek, "Non-Intrusive Infrared-Free Eye Tracking Method," *International Journal of Computer Applications*, Vol. 51, No. 8, 2012.
- [6] C. Morimotoa and D. Koonsb and A. Amirb and M. Flicknerb, "Pupil Detection And Tracking Using Multiple Light Sources," *Elsevier. Image And Vision Computing*, 2000.
- [7] A. Tomono and M. Iida and Y. Kobayashi, "A TV Camera System Which Extracts Feature Points For Non-Contact Eye Movement Detection," *Proceedings Of The SPIE Optics. Illumination and Image Sensing For Machine Vision*, Vol. 1194, pp. 2-12, 1989.
- [8] Z. Zhu and Q. Ji and K. Fujimura, "Combining Kalman Filtering And Mean Shift For Real Time Eye Tracking Under Active IR Illumination," *16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Volume 4, pp.318-318, 2002.
- [9] S. Panev and O. Bombarov and S. Sokolov, "IR Based Pupil Tracking Using Particle Filtering," *International Scientific Conference Computer Science*, pp. 43-49, 2008.
- [10] C. Jian-Nan and Z. Chuang and Q. Yan-Jun and L. Ying and Y. Li, "Pupil Tracking Method Based On Particle Filtering In Gaze Tracking System," *International Journal of The Physical Sciences*, Vol. 6(5), pp. 1233-1243, 2011.
- [11] A. Liaghatdar and K. Kangarloo and F. Farokhi, "Pupil Localizing In Video Images The First Step Toward Eye Monitoring," *International Conference On Multimedia Technology (ICMT)*, pp. 3163-3166, 2011.
- [12] Canny. J, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Transactions. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, No. 6, 1986.
- [13] Y. Ito and W. Ohyama and T. Wakabayashi and F. Kimura, "Detection of Eyes by Circular Hough Transform and Histogram of Gradient," *21st International Conference on Pattern Recognition*, Japan, pp. 11-15, 2012.
- [14] J. Song, Z. Chi, and J. Liu, "A robust eye detection method using combined binary edge and intensity information", *Pattern Recognition*, Vol. 39, No. 6, pp.1110-1125, 2006.
- [15] S. Liangwongsan and B. Marungsri and R. Oonsivilai and Oonsivilai, "Extracted Circle Hough Transform and Circle Defect Detection Algorithm," *World*