



## ارایه روشی جهت تشخیص و رهگیری مردمک در ویدیو

احسان شهنازی<sup>۱\*</sup>، محمود محلوجی بیدگلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی ارشد، گروه مکترونیک، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران، Eshahnazi@Gmail.Com

<sup>۲</sup>استادیار، گروه مخابرات، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران، Mmahlouji@Yahoo.Com

چکیده - تشخیص و ردیابی چشم با استفاده از منبع نور مادون قرمز یک روش موثر است که ویژگی های طیفی (بازتابی) مردمک را تحت نور مادون قرمز استخراج میکند. بیشتر روشهای نوری فعال از منابع نور مادون قرمز با طول موج حدود  $880nm-780$  استفاده می کنند. این طول موجها توسط دوربین های تجاری موجود گرفته می شوند و برای چشم انسان نامرئی هستند بنابراین حواس کاربر را پرت نمی کنند. اگر یک منبع نور نزدیک به محور نوری دوربین (در محور نور) قرار گرفته باشد، تصویر گرفته شده یک مردمک روشن را نشان می دهد زیرا بیشتر بازتاب های نور به دوربین برمی گردند. این کار اثر چشم قرمز را هنگام استفاده از فلاش در عکاسی به یاد می آورد. روش پیشنهادی در این مقاله به این صورت می باشد که ابتدا محدوده چشم مشخص می شود، سپس با کنترل روشنایی و تعیین محدوده رنگی (در فضای HSV) تا حدودی مردمک از سایر قسمت های صورت متمایز می شود. برای شناسایی هر چه بهتر مردمک از سایر قسمت ها در مرحله آخر از توالی فیلترهای ریخت شناسی استفاده می شود. در ارزیابی کیفی سیستم پیشنهادی می توان گفت نتایج ارایه شده در شرایط نوری مناسب و ویدیوهای با کیفیت متوسط قابل قبول است. این سیستم روی ۳۰ ویدیو با کیفیت متوسط حاوی چهره کاربر آزمایش شد که تشخیص و رهگیری مردمک ۹۵ درصد با صحت کامل انجام شد.

**کلید واژه-** تشخیص مردمک، رهگیری مردمک، اپن سی وی، پردازش تصویر، فیلترهای رنگی، ردیابی مردمک

۱- مقدمه

در عین حال، حدود بیست سال است که تعقیب مسیر نگاه با هدف استفاده در کاربردهای توانبخشی و ایجاد ارتباط بین انسان و ماشین HCI<sup>۱</sup> مورد توجه محققین قرار گرفته است. [۱] باید خاطر نشان کرد که روش های تعقیب مسیر نگاه تنها منحصر به رویکردهای مبتنی بر ویدئو نیستند و روشهایی وجود دارند که از لنزهای تماسی و یا از سیگنالهای زیستی مانند EOG<sup>۲</sup> برای اندازه گیری میزان حرکت چشم بهره می گیرند. اگر چه این روشها به دلیل تماس مستقیم با کاربر، به نوعی تهاجمی محسوب می شوند، اما دقت قابل ملاحظه ای دارند و اغلب در

حدود صد سال است که مطالعه در زمینه تعقیب مسیر نگاه، توجه محققین را به خود جلب کرده است. در حقیقت، بحث تعقیب حرکت چشم با برخی حوزه های دیگر نیز در ارتباط بوده و بحث های نظری مشترک بسیاری در این میان وجود دارد. برخی از این حوزه ها عبارتند از تشخیص و تعقیب چهره در تصویر و ویدئو، بازشناسی چهره، سیستم پایش میزان هوشیاری راننده در حین رانندگی، ایجاد ارتباط بین انسان و کامپیوتر به منظور شبیه سازی حرکات چهره در انیمیشن انجام تحقیقات روانشناختی و بررسی میزان توجه در حین مطالعه یک متن یا تماشای یک برنامه تلویزیونی. [۱]

1. Human Computer Interaction

۲. Eletro Occulo Gram (EOG)

اصطلاحاً این تصاویر را تصاویر مردمک روشن می نامند. هنگامی که دوربین و منبع نور از هم دور باشند، بخش زیادی از نور تابانده شده به مردمک خارج از دید دوربین است و در این حالت مردمک، تاریک ترین ناحیه نسبت به سایر مناطق چشم خواهد بود. اصطلاحاً این تصاویر را تصویر مردمک تاریک گویند. [۵]



(الف)



(ب)

شکل ۱: الف- تصویر مردمک روشن (هنگامی که منبع نور و دوربین نزدیک باشند این تصویر تشکیل می شود). ب- تصویر مردمک تاریک (هنگامی که منبع نور و دوربین از هم دور باشند این تصویر تشکیل می شود).

## ۲- روش پیشنهادی

مراحل زیر برای شناسایی و رهگیری مردمک در ویدیو مورد استفاده قرار گرفت.

### ۱-۱-۲- تبدیل فضای رنگی به HSV

با تبدیل فضای رنگی RGB به HSV مراحل آشکار سازی مردمک ساده تر می شود. فضای HSV دارای خاصیت یکنواختی ادراکی است، به همین دلیل از آن در سیستم های بازیابی تصویر به طور معمول استفاده می شود. ابعاد تشکیل دهنده ی این فضای رنگ را براساس رده یا طول موج (H) درجه اشباع رنگ (S) و درجه روشنایی آن (V) تعریف می کنند.

H مؤلفه اصلی مورد استفاده در سیستم های بازیابی است چرا که نسبت به تغییرات جهت تصویربرداری از شی یا منظره

مطالعات روانشناختی، سنجش میزان توجه و هوشیاری به کار میروند. [۱]

برای تشخیص محل اجزای چهره با روش های پردازش تصویر رویکردهای مختلفی وجود دارد. روشهای تشخیص چشم ها و اجزای چهره را بر اساس اطلاعات تصویری میتوان به روشهای مبتنی بر اطلاعات سطح روشنایی و مفهوم بافت گونه، روش های مبتنی بر اطلاعات رنگ، روشهای مبتنی بر اطلاعات لبه و گرادیان، روش های تطبیق الگو، و روش های مبتنی بر حرکت طبقه بندی کرد. [۲]

اصول به کار رفته در اکثر روشهایی که از پردازش تصویر برای تخمین جهت نگاه استفاده می کنند مشابه است. در این روشها ابتدا چهره کاربر تشخیص داده می شود، سپس چشم های وی شناسایی شده و در نهایت، با توجه به مشخصات تصاویر چشمها و دیگر اجزای چهره، جهت نگاه تخمین زده می شود. تفاوت اصلی در بین این روشها، نحوه تشخیص چهره، تشخیص چشم ها و مهمتر از همه نحوه تخمین جهت نگاه است. [۳]

تشخیص و ردیابی چشم با استفاده از منبع نور مادون قرمز یک روش موثر است که ویژگی های طیفی (بازتابی) مردمک را تحت نور مادون قرمز استخراج می کند. بیشتر روشهای نوری فعال از منابع نور مادون قرمز با طول موج حدود ۷۸۰-۸۸۰nm استفاده می کنند. این طول موجها توسط دوربین های تجاری موجود گرفته می شوند و برای چشم انسان نامرئی هستند بنابراین حواس کاربر را پرت نمی کنند. [۴]

اگر یک منبع نور نزدیک به محور نوری دوربین (در محور نور) قرار گرفته باشد، تصویر گرفته شده یک مردمک روشن را نشان می دهد زیرا بیشتر بازتاب های نور به دوربین برمی گردند. این کار اثر چشم قرمز را هنگام استفاده از فلاش در عکاسی به یاد می آورد. از همین ویژگی می توان برای رهگیری حرکات مردمک بهره گرفت و در نتیجه کار شناسایی مردمک راحت انجام می پذیرد. [۴]

بسته به اینکه فاصله منبع مادون قرمز و دوربین چقدر باشد، بازتاب نور از مردمک به دو صورت رخ خواهد داد. اگر منبع نور و دوربین نزدیک و تقریباً هم محور باشند، بخش زیادی از نور تابانده شده به مردمک بازتاب شده و به دوربین میرسد. در این حالت مردمک، روشن ترین ناحیه در تصویر چشم خواهد بود و



شکل ۲: فضای رنگی HSV

در اپن سی وی کد زیر فضای رنگی RGB ویدیو ورودی (imgOriginal) را به HSV تبدیل می کند. ویدیو با فضای رنگی HSV در متغییر imgHSV ذخیره می شود.  
`cvtColor(imgOriginal, imgHSV, COLOR_BGR2HSV);`

### ۲-۱-۲- افزایش روشنایی و آستانه گذاری

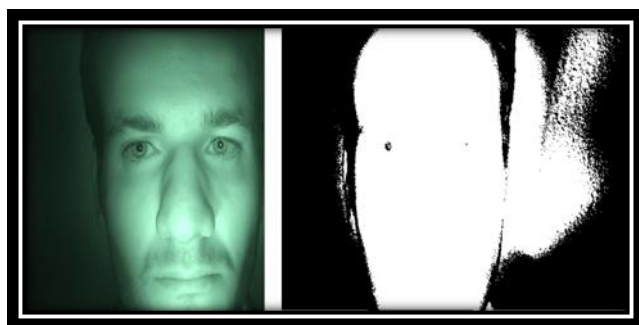
با افزایش روشنایی و سپس آستانه گذاری تا حدودی مردمک از سایر قسمت ها متمایز می شود.

با توجه به این که ویدیو به فضای رنگی HSV منتقل شده است، افزایش روشنایی کمک زیادی به حذف پس زمینه می کند.

محدود کردن دامنه آستانه گذاری (۲۵۰-۲۵۵) هم عاملی دیگر برای حذف قسمت های زاید تصویر است.

مقادیر روشنایی و آستانه برای ویدیوهای ثابت بودند چراکه مکان و نور محیط فیلم برداری ثابت و یکسان بود.

شکل ۳ تاثیر افزایش روشنایی و آستانه گذاری در متمایز سازی مردمک از سایر قسمت های صورت را نشان می دهد.



شکل ۳- تاثیر افزایش روشنایی و آستانه گذاری در متمایز سازی مردمک

در اپن سی وی از کدهای زیر برای افزایش روشنایی و آستانه گذاری استفاده می شود.

```
imgHSV.convertTo(imgHSV, -1, ctk+1, ctg);
threshold(imgHSV, imgHSV, Lthresh1, Hthresh1, THRESH_BINARY);
```

### ۲-۱-۳- مشخص کردن محدوده رنگ مردمک

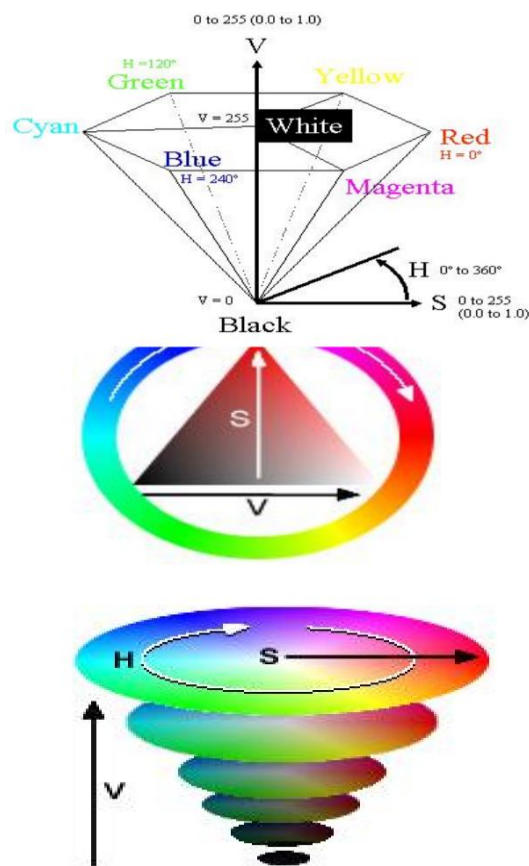
در مرحله بعدی باید حداقل و حداکثر میزان مجاز هر یک از کمیت های رنگ (Hue) درجه اشباع شدن (Saturation) و درجه روشنایی (Value) تعیین شود. می توان گفت در این مرحله یک

پایدارتر است. اما با این حال نسبت به تغییرات روشنایی، به شدت حساس می باشد.

شکل ۲ فضای رنگی HSV را نشان می دهد. هر برش دایره ای از ۰ تا ۳۶۰ درجه علامتگذاری می شود که هر درجه معرف یک طول موج مشخص رنگ است. بالاترین برش از این دایره، نام تجاری معادل رنگها و مقادیر زاویه و معادل RGB هر یک از آنها آمده است.

اگرچه فضای رنگ RGB برای نمایشگرها ایده آل است، ولی برای انسان ها غیرطبیعی است. برای مثال تشخیص چگونگی روشن تر کردن یک رنگ در فضای رنگ RGB کاری بسیار مشکل است. برای انسان ها بسیار راحت تر است تا از ویژگی های رنگ (Hue) درجه اشباع شدن (Saturation) و درجه روشنایی (Value) برای توصیف یک رنگ استفاده کند.

برتری این فضای رنگ نسبت به فضای رنگ RGB در عدم ارتباط عناصر سازنده رنگ، به میزان درخشندگی آن می باشد. [۶]



عملگرهای ریخت شناسی به صورت پایه بر روی تصاویر باینری و خاکستری تعریف می شوند. زمانی که فیلتر بر روی یک پیکسل اعمال می شود، پیکسل لنگر المان ساختاری بر روی این پیکسل قرار گرفته و تمامی پیکسل های همسایگی آن پیکسل که تحت پوشش المان ساختاری قرار می گیرند در این مجموعه خواهد بود.

سایش و گسترش مهمترین عملگرهای ریخت شناسی هستند. المان های ساختاری ابزارهای پایه ریخت شناسی محسوب می شوند. یک المان ساختاری به سادگی به صورت پیکربندی پیکسل ها (به صورت یک شکل) با تعریف یک مرکز (نقطه لنگر) برای آن تعریف می شود. اعمال فیلترهای ریخت شناسی با پیمایش تک تک پیکسل های تصویر با المان ساختاری انجام می گیرد. [۴]

در روش پیشنهادی، توالی فیلترهای سایش و گسترش به صورت زیر استفاده می شود.

الف) سایش (ب) گسترش (ج) آستانه گذاری (د) گسترش (ه) سایش

فیلتر سایش: مقدار پیکسل را با کمترین مقدار موجود در مجموعه پیکسلی جایگزین می کند.

فیلتر گسترش: مکمل سایش بوده و مقدار پیکسل را با بیشترین مقدار موجود در مجموعه پیکسلی جایگزین می کند.

از آنجایی که تصاویر باینری تنها شامل مقادیر سیاه (مقدار صفر) و سفید (مقدار ۲۵۵) هستند، هر پیکسل با یک پیکسل سیاه و یا سفید جایگزین خواهد شد.

مقادیر هر یک از فیلترهای ذکر شده برای ویدیوهای مختلف مقداری تفاوت دارد. برای رفع این مشکل از دکمه های لغزنده برای کنترل مقادیر هر یک از فیلترها مطابق شکل ۵ استفاده شده است.

بدین ترتیب متناسب با هر ویدیو به راحتی می توان مقادیر فیلترها را تنظیم کرد.

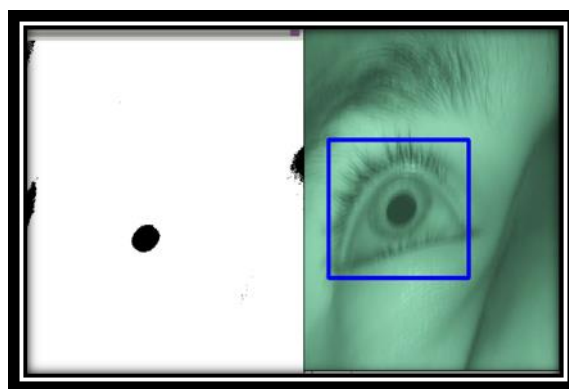
برای پیاده سازی سایش و گسترش در این سی وی از دستورات زیر استفاده می شود.

```
Erode(imgThresholded,imgThresholded,getStructuringElement(MORPH_ELLIPSE,Size(erode1+1, erode1+1)));
```

```
dilate(imgThresholded,imgThresholded,getStructuringElement(MORPH_ELLIPSE,Size(dilate1+1, dilate1+1)));
```

فیلتر رنگی برای تشخیص مردمک ایجاد می شود. با توجه به فیلترهای افزایش روشنایی و آستانه گذاری که در مرحله قبل روی ویدیو اعمال شد تقریباً تصویر حاصل به صورت سیاه و سفید در می آید. بنابراین کار تعیین محدوده رنگی مردمک انچنان مشکل نیست و با مقداری تمرین و تکرار محدوده رنگ مردمک به دست می آید.

تصویر خروجی این مرحله در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴- تعیین محدوده رنگی

در ویدیوهایی که بررسی شد مقادیر مربوطه برای تشخیص مردمک به صورت زیر تنظیم شد.

حداقل رنگ مایه  $iLowH = 0$ ;

حداکثر رنگ مایه  $iHighH = 179$ ;

حداقل اشباع رنگ  $iLowS = 0$ ;

حداکثر اشباع رنگ  $iHighS = 255$ ;

حداقل روشنایی رنگ  $iLowV = 5$ ;

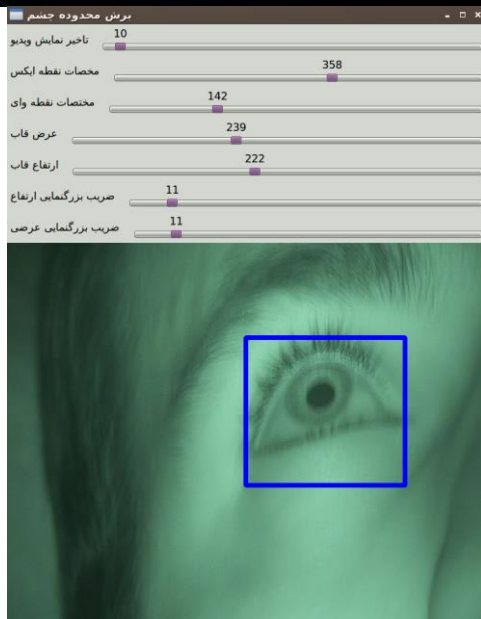
حداکثر روشنایی رنگ  $iHighV = 255$ ;

با توجه به اینکه مکان فیلم برداری از نظر روشنایی یکنواخت (تاریک) بود، در تست های که با ویدیوهای مختلف انجام گرفت مقادیر فوق ثابت بودند.

در این سی وی با استفاده از تابع `inRange` رنج رنگی شی مورد نظر (در اینجا مردمک) را در فضای `HSV` تعیین می کنند.

```
inRange(imgHSV, Scalar(iLowH, iLowS, iLowV), Scalar(iHighH, iHighS, iHighV), imgThresholded);
```

۱-۴- شناسایی (متمایزسازی) مردمک با استفاده از فیلترهای ریخت شناسی



شکل ۶: ابزارک های برش تعبیه شده در نرم افزار برای برش محدود چشم



شکل ۵- فیلترهای ریخت شناسی

دستور برش محدوده ای از تصویر در این سی وی به صورت زیر است. که در آن `imgThresholded` فریم ورودی است که باید برش بخورد، `Rx` و `Ry` مختصات پیکسلی گوشه بالای سمت چپ کادر برش هستند. `(Width)+1` و `(Height)+1` اندازه طول و عرض کادر برش بر حسب پیکسل هستند.

```
Mat croppedRectangle1=imgThresholded(Rect(Rx, Ry, (Width)+1, (Height)+1));
```

۲-۱-۶- تعویض رنگ پس زمینه (سفید) با پیش زمینه (سیاه) برای اینکه در مرحله بعدی رهگیری مردمک انجام شود باید رنگ مردمک سفید باشد. به همین جهت رنگ پس زمینه (سفید) با پیش زمینه یا همان مردمک (سیاه) تعویض می شود.

دستور زیر رنگ پس زمینه و پیش زمینه را تعویض می کند. که در آن `croppedRectangle1` نام فریمی است که باید تصویر پیش زمینه و پس زمینه آن عوض شود.

```
croppedRectangle1=~croppedRectangle1;
```

شکل ۷ برش محدوده حرکت چشم و تعویض رنگ مردمک را نشان می دهد.

۲-۱-۵- برش محدوده چشم

با طی کردن دو مرحله قبلی مردمک به اندازه کافی متمایز شده است و در این مرحله محدوده قاب چشم (به عبارت دیگر محدوده حرکت مردمک) به صورت دستی تعیین می گردد (کادر آبی رنگ). در واقع رهگیری مردمک صرفاً در این محدوده برش خورده انجام می شود.

شکل ۶ پنجره مربوط به تعیین کادر محدوده حرکت مردمک (چشم) را نشان می دهد. در این شکل ابزارک هایی را می بینید که با استفاده از آن ها می توان محدوده حرکت مردمک را به صورت آنلاین روی ویدیو مشخص کرد.

این نوع ساختمان داده را بر می گرداند. از این ساختار برای بدست آوردن مرکز جرم اجزا استفاده می شود [8]. در این مرحله برای بدست آوردن مرکز ثقل مردمک از central moment مرتبه اول در جهت x و y استفاده می شود. M00 یک مساحت از شی مورد نظر (در اینجا مردمک) در تصویر است و m10/m00 و m01/m00 به عنوان مرکز ثقل یا centroid تصویر تعریف می شود. دستورات زیر را نگاه کنید.

```
Moments oMoments = moments(croppedRectangle1);
double dM01 = (oMoments.m01)*(K_dM01+1);
double dM10 = (oMoments.m10)*(K_dM10+1);
double dArea = oMoments.m00;
```

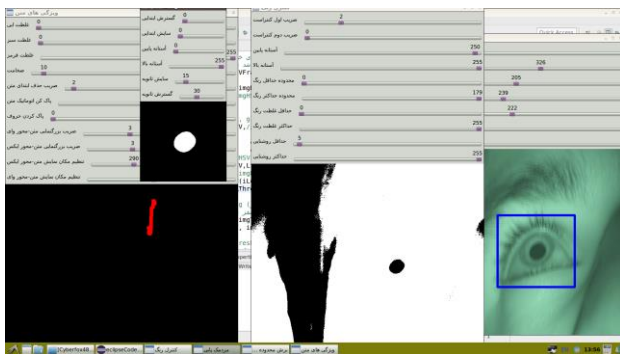
برای کاهش خطا صرفا اشکالی با مساحت کمتر از 1000 پیکسل ردیابی می شوند. با شرط زیر این امکان فراهم می شود.

```
if (dArea > 1000)
```

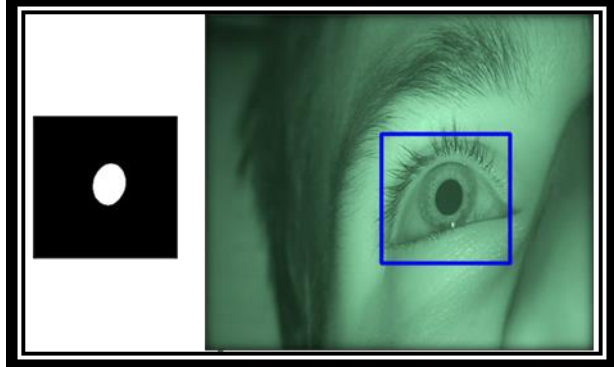
با دو دستور زیر نیز مختصات مرکز (ثقل) مردمک به دست می آید.

```
int posX = (dM10/dArea)-K_posX ;
int posY = (dM01/dArea)-K_posY;
```

شکل 8 مراحل طی شده برای تشخیص و رهگیری مردمک را نشان می دهد. خط قرمز رنگ مسیری که مردمک طی کرده را مشخص کرده است. علاوه بر اینکه می توان مسیر حرکت مردمک را در تصویر جداگانه نمایش داد، میتوان روی ویدیو اصلی نیز مسیر حرکت را رسم کرد. شکل 9 مسیر حرکت مردمک را روی ویدیو اصلی نشان می دهد.



شکل 8- تشخیص و رهگیری مردمک و مشخص کردن مسیر حرکت آن با خط قرمز



شکل 7- برش محدوده حرکت چشم و تعویض رنگ مردمک

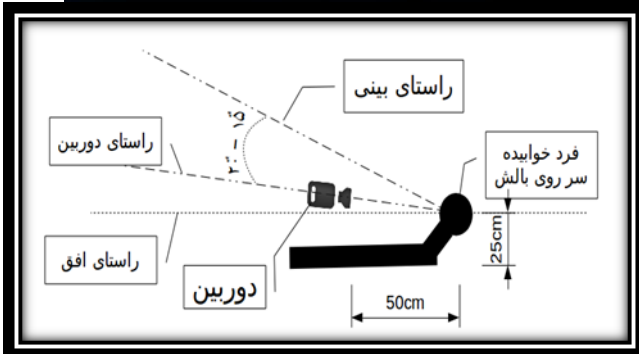
همانطور که در شکل 7 قابل مشاهده است مردمک به صورت یک نقطه کروی سفید مشخص می شود.

۱-۲-۷- رهگیری مردمک از طریق محاسبه مرکز ثقل آن گرانیه یا مرکز ثقل<sup>۳</sup> یک دستگاه از ذرات، در فیزیک، نقطه مشخصی است که در بسیاری از مسائل سیستم طوری رفتار می کند که گویی همه جرم آن در آن نقطه متمرکز است و تمام نیروهای خارجی به آن نقطه اثر می کنند. گرانیه یک جسم همیشه روی مرکز هندسی آن نیست. و نقطه دیگری می تواند گرانیه جسم باشد. گرانیه در یک جسم کروی منظم، در مرکز قرار دارد. گرانیه یک مستطیل روی تقاطع دو قطر است [7]. به منظور تحلیل تصاویر از لحاظ محتوایی، ضروری است تا از مجموعه ای از پیکسل های تشکیل دهنده تصویر، ویژگی های معنا داری را استخراج کرد.

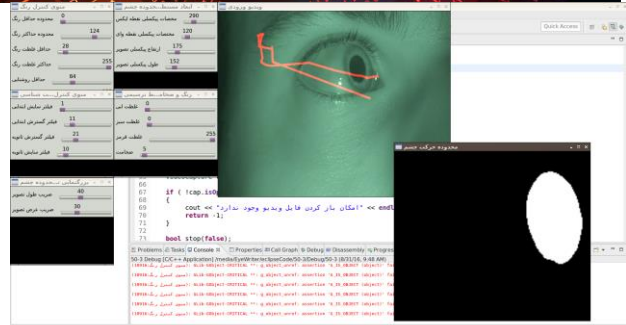
به صورت معمول اجزای متصل به هم، معرف یک شی در تصویر هستند. برای تشخیص این اشیاء و یا مقایسه آنها با دیگر المان های تصویر، انجام یک سری محاسبات بر روی آن ها به منظور به دست آوردن برخی از خصوصیات، مفید است.

این سی وی یک ساختمان داده برای ذخیره سازی گشتاور محاسبه شده تعریف کرده است. که تابع cv::moments شیئی از

<sup>۳</sup> Center of mass



شکل ۱۰- حالت فیلم برداری



شکل ۹: مسیر حرکت مردمک روی ویدیو اصلی با خط قرمز رسم شده است.

### ۳- پیاده سازی روش پیشنهادی

برای پیاده سازی روش پیشنهادی، نرم افزاری با استفاده از کتابخانه **OpenCv** به زبان ++C تحت سیستم عامل لینوکس (توزیع اوبونتو) طراحی و کدنویسی شد. برای دانلود کدها به مرجع [۹] مراجعه کنید. و برای مشاهده ویدیوهای مرتبط با این مقاله به مرجع [۱۰] رجوع کنید.

### ۴- نتایج

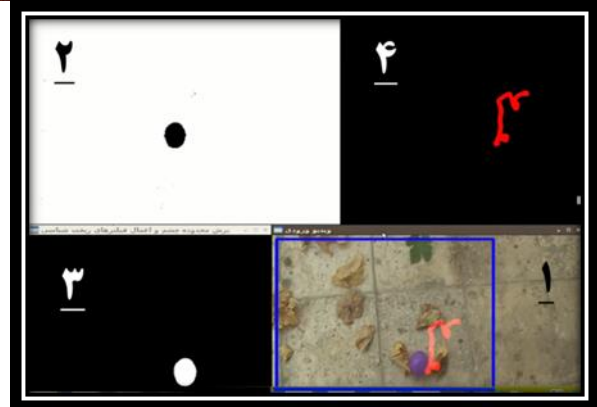
در ارزیابی کیفی سیستم پیشنهادی می توان گفت نتایج ارایه شده در شرایط نوری مناسب و ویدیوهایی با کیفیت متوسط بسیار خوب است. این سیستم روی ۳۰ ویدیو با کیفیت متوسط حاوی چهره کاربر آزمایش شد که تشخیص و رهگیری مردمک در ۹۵ درصد موارد با صحت کامل انجام شد. شکل های ۸ و ۹ نمونه ای از صحت کارکرد روش پیشنهادی را نشان می دهند. با استفاده از روش پیشنهادی این مقاله می توان به شناسایی و رهگیری اجسام گوناگونی پرداخت. علاوه بر رهگیری مردمک که هدف اصلی این مقاله بود؛ رهگیری توپ و یک شی مستطیل شکل نیز به صورت عملی تست شد که روش پیشنهادی عملکرد خوبی در این موارد نیز داشت. شکل ۱۱ فرایند رهگیری توپ را در ۴ عکس نمایش می دهد. نکته قابل ذکر این است که مسیر رهگیری توپ علاوه بر پنجره ۴ روی خود تصویر ورودی (پنجره شماره ۱) نیز رسم می شود.

با توجه به روش پیشنهادی در این مقاله، علاوه بر حروف میتوان اشکال و اعداد و هر چیز دیگری را با استفاده از حرکات مردمک رسم کرد.

### ۲-۲- حالت فیلم برداری

تمامی ویدیوها در یک اتاق ۳\*۳\*۳ متری با نور کم (تاریک) گرفته شد. ویدیو ها در قطعات ۳ الی ۵ دقیقه ای ضبط شد که به طور متوسط در هر ویدیو مردمک چشم ها ۱۵ الی ۲۰ حرکت مختلف انجام می دادند.

فیلم برداری در حالت مادون قرمز و فقط از صورت انجام شد. به صورتی که فقط یک چشم فرد در کادر دوربین باشد. البته برای افزایش دقت اینکار انجام شد. در هر صورت در مرحله ۲-۱-۵ فقط محدوده حرکت مردمک به صورت دستی با استفاده از ابزارک های تعبیه شده در نرم افزار تعیین می گردد. وضعیت فرد در هنگام فیلم برداری در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. همانطور که مشخص است، فرد خوابیده و سرش روی بالش با ارتفاع ۲۵ سانتی متر است. ضمناً زاویه دوربین نسبت به راستای بینی تقریباً ۱۵ تا ۲۰ درجه پایین تر است.



شکل ۱۱- فرایند رهگیری توپ

## ۵-مراجع

- [۱] بیگ زاده، مریم، "پردازش تصویر به منظور تعقیب حرکت چشم برای کمک به افراد ناتوان در اجرای کامپیوتری فرامین"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی - بیوالکتریک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی پزشکی، ۱۳۸۷.
- [۲] علیرضا رحیم پور، عباس نصیری مقدم، "تعقیب مسیر نگاه با استفاده از پردازش تصویر به منظور کمک به افراد ناتوان حرکتی"، مجله مهندسی پزشکی زیستی، دوره ششم، شماره ۳، پاییز ۹۱، ۱۹۵-۲۰۵
- [۳] محمدرضا محمدی، ابوالقاسم اسدالله راعی، "تخمین مقاوم جهت نگاه نسبت به چرخش سر با استفاده از یک دوربین معمولی"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۱، شماره ۱
- [۴] شهنازی، احسان، "نوشتن حروف فارسی به صورت خط شکسته از طریق تعقیب هموار حرکات چشم انسان"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد کاشان، ۱۳۹۵.
- [۵] سبحانی، الهه، "تشخیص محل مردمک چشم و ردیابی چشم"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۴
- [۶] تشخیص چهره انسان براساس مدل رنگ پوست و تصویرباینری با استفاده از فضای رنگ RGB و HSV، فرشاد محمودرضا و همکاران، چهارمین کنفرانس برق و الکترونیک ایران، ۱۳۹۱
- [7] <https://fa.wikipedia.org/wiki/گرانگه>
- [۸] مناجاتی و همکاران: طراحی و پیاده سازی دو ساختار خط لوله ای برای محاسبه بیدرتنگ گشتاورهای مرتبه بالا در تصاویر خاکستری، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، پاییز ۱۳۸۷، دوره ۶، شماره ۳
- [9] <https://github.com/Ehsan-Shahnazi/>
- [10] <http://www.aparat.com/mechatronic>