

تشخیص و ردیابی چشم در تصاویر با استفاده از تکنیک بسته‌های پیکسل

محمدعلی عظیمی کاشانی^۱

^۱ مربی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر
Azimi.kashani@gmail.com

چکیده

برای تشخیص و ردیابی چشم در تصاویر با پس زمینه پیچیده، از ویژگی‌های متمایز چشم استفاده می‌شود. به طور کلی یک سیستم تشخیص و ردیابی چشم می‌تواند به چهار مرحله تقسیم شود. تشخیص صورت، تشخیص محدوده‌ی چشم، یافتن موقعیت مردمک و ردیابی چشم. برای بدست آوردن موقعیت مردمک چشم، ابتدا ناحیه‌ی صورت را از بقیه تصویر جدا نموده، که این امر باعث می‌شود پس زمینه تصاویر در مراحل بعدی کار ما بی‌تاثیر باشد. بر اساس تکنیک بسته‌های پیکسل، محدوده‌ی آن از صورت که شامل چشم‌ها و ابروها می‌باشد جدا می‌شود. تکنیک بسته‌های پیکسل (Bag Of Pixels) این امکان را فراهم می‌آورد تا بخش‌های آن از تصویر که اهمیت بیشتری دارد انتخاب شوند. فضای بسته‌های پیکسل‌ها افزایش تغییرات خطی معنی‌دار مانند مورفینگ‌ها و انتقال‌ها را نشان می‌دهد. این مرحله باعث کاهش حجم محاسبات و نادیده گرفتن عواملی مانند ریش می‌شود. در پایان با استفاده از الگوریتم هریس و ویژگی‌های محلی چشم، موقعیت مردمک را بدست می‌آوریم. در مرحله بعد به ردیابی محدوده‌ی چشم می‌پردازیم. نتایج آزمایش نرخ تشخیص صحیح ۹۴٫۹٪ رانشان می‌دهد، که نشان‌دهنده‌ی برتری این روش و پایداری بالای آن می‌باشد.

کلمات کلیدی

تشخیص چشم، بسته‌های پیکسل، الگوریتم هریس، ردیابی چشم.

می‌کند. هانسن و همکارش [۱] روش‌های موجود تشخیص چشم را به ۴ دسته‌ی اصلی تقسیم بندی کرده‌اند:

- روش‌های مبتنی بر شکل و ساختار
- روش‌های مبتنی بر ویژگی
- روش‌های مبتنی بر وضعیت ظاهری
- روش‌های ترکیبی

هر چند مرز بندی بین این گروه‌ها کار مشکلی است و گاه تشخیص این مرز بندی‌ها به سادگی امکان پذیر نیست. لازم بذکر است که در اغلب اوقات در کاربردهای عملی، ترکیبی از روش‌های فوق‌الذکر بکار گرفته می‌شوند. هانسن [۱] روش‌های مبتنی بر شکل و ساختار را نیز به دو شکل و ساختار ثابت و فرم پذیر تفکیک نموده است. این روش‌ها از ویژگی‌های محلی چشم و ناحیه‌ی صورت و یا کانتورهای چشم برای ایجاد الگوی چشم استفاده می‌کنند. با توجه به کاربردهای چشم، الگوهای مختلفی برای چشم پیشنهاد شده است. این الگوها [۲]، اغلب برای حذف داوطلب‌های غیر چشم در حالت‌ها،

۱- مقدمه

برای این که بتوان حرکت چشم‌ها را در تصاویر ویدیویی ردیابی کرد باید خصوصیات و ویژگی‌های شاخص و کلیدی چشم را تعریف نمود و در تصاویر مورد نظر آنها را استخراج نمود. استخراج این ویژگی‌ها بدین معنی است که مختصات و موقعیت چشم در تصویر داده شده تعیین گردیده است. برای استخراج این ویژگی‌ها در تصاویر می‌توان ابتدا محدوده‌ی صورت را در تصویر تشخیص داد. این امر سبب می‌شود که نواحی اطراف صورت حذف شود و باعث کوچکتر شدن محدوده‌ی جستجو گردد. وجود عوامل مزاحم در صورت مانند عینک، ریش، چرخش سر، تغییرات شدت نور می‌تواند روی خروجی تاثیر داشته باشد. به عنوان مثال، عینک اغلب ناحیه چشم را تار می‌کند، ریش یا نقاشی‌های روی صورت، چهره‌ی نرمال انسان را مخدوش

وزن M جزء توزیع گوسی می باشد. احتمال بردار ویژگی x به مدل توسط رابطه ۳ محاسبه می شود.

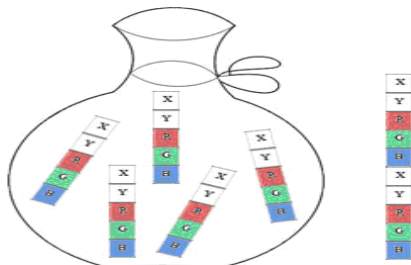
$$f(x|\lambda_i) = \sum_{i=1}^M p_i g_i(x) \quad (3)$$

از $g_i(x)$ احتمال مشاهده بردار x است که این احتمال از مخلوط i ام ناشی شده است و p_i وزن مخلوط i ام می باشد. بطور کلی می توان هر یک از توزیع های مخلوط گوسی را توسط بردار میانگین (μ_i) ، ماتریس کوواریانس (Σ_i) و وزن مخلوط (p_i) بیان کرد (رابطه ۴). هر کدام از پارامتر های فوق معرف یک رنگ پوست می باشند.

$$\lambda_i = (\mu_i, \Sigma_i, p_i) \quad (4)$$

۳- بسته های پیکسل

در این روش تصاویر به صورت بسته های پیکسل یا مجموعه بردارها نمایش داده می شوند. به عنوان مثال، تصاویر سیاه و سفید بصورت یک مجموعه یا بسته از بردار های پیکسلی (X, Y, I) مدل سازی می شوند. این نمایش، از یک نامتغیر تبدیل روی بسته پیکسل ها استفاده می کند به این معنی که هر تصویر را به صورت یک ماتریس تبدیل نظر می گیرد این کار با انتخاب تبدیل هایی که بردارهای تصویر تبدیل شده را در یک زیرفضای حجمی مینیمال فشرده می کند، انجام می شود. این عمل برای آنالیز اجزای اصلی وقتی که به بسته پیکسلی از نظر تبدیل نامتغیر اعمال می شود بسیار مناسب است [۸].



الف) بردار پیکسل ها ب) بسته ی پیکسل ها

شکل (۱): بسته ای از پیکسل ها در برابر یک نمایش برداری شده

مستقیم برای یک تصویر رنگی

انتخاب بسته پیکسل، بر اساس مقدار شدت در تصاویر سیاه و سفید و یا مقدار رنگ در تصاویر رنگی می باشد. در یک بسته پیکسل، مهم است که تأکید کنیم که، هیچ نظمی بر روی پیکسل ها وجود ندارد و این پیکسل ها می توانند بدخواه جا به جا شوند. قرار دادن پیکسل ها در یک بردار دراز واحد باعث می شود عامل مهم تغییر را در نظر بگیریم یعنی بدون توجه به مقدار پیکسل ها تنها بر اساس مکان پیکسل آن را در نظر بگیریم. ماتریس های تبدیل از طریق یک پوسته

چرخش ها و مقیاس های مختلف، استفاده می شوند. در این روش ها، مردمک یا عنبیه به عنوان ویژگی های چشم مورد استفاده قرار می گیرند.

۲- ایجاد مدل برای رنگ پوست

۲-۱- مدل گوسی ساده

بر اساس مدل رنگ پوست می توان یک تابع همانندی تعریف کرد که بر مبنای آن بتوان تعلق یا عدم تعلق هر پیکسل در تصویر آزمایشی به ناحیه پوستی را تعیین کرد. توزیع رنگ پوست را می توان در فضای رنگ کروماتیک از طریق یک توزیع نرمال (گوسی) با پارامترهای μ و Σ بازنمایی کرد. توزیع نرمال چند متغیره بردار تصادفی D بعدی x به صورت رابطه ۱ تعریف می شود [۳].

$$N(x; \mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{D}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \Sigma^{-1}(x-\mu)\right] \quad (1)$$

در حالی که μ بردار میانگین و Σ ماتریس کوواریانس بردار x است پارامترهای مدل، از داده های آموزشی طبق رابطه ۲ بدست می آید:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (2)$$

$$\Sigma = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \mu)(c_i - \mu)^T$$

فاصله مهالونویس از بردار رنگ C تا بردار μ و کواریانس Σ اندازه گیری شده، تعلق پیکسل C را به رنگ پوست بیان می کند.

۲-۲- مدل مخلوط گوسی

علی رغم اینکه مدل گوسی ساده، در تشخیص ویژگی ها و تبعیض قائل شدن بین دسته های مختلف موفق عمل می کند اما هنگامیکه مولفه های مربوطه نسبت به میانگین تغییرات یکنواختی نداشته باشند ممکن است خطا هایی غیر قابل تحمل در محاسبات داشته باشد. مدل مخلوط گوسی کارایی مناسبی در سیستم های تعیین هویت به ویژه در حالت مستقل از متن دارند. به همین دلیل از مدل مخلوط گوسی به عنوان سیستم مبنا در بسیاری از مدل های هیبرید استفاده می شود و نیز در بسیاری از آزمایشات به عنوان مدل مرجع جهت مقایسه استفاده می شود. در مدل مخلوط گوسی، از چند تابع گوسی جهت مدل نمودن رنگ پوست استفاده می شود [۴]. مخلوط گوسی برابر مجموع

محدب از قیود، تعریف می شوند. دو تابع هزینه محدب برای تخمین آنها پیشنهاد می شود. اولین تابع، احتمال ماکزیمم تخمین گر میانگین گاوسی است. این تابع یک تخمین از ماتریس های جایگشت که تصاویر را به سمت یک مقدار معمول جمع می کند، محاسبه می کند. دومین تابع، احتمال ماکزیمم تخمین گر کوواریانس گاوسی است. این تابع تخمینی از ماتریس های تبدیل محاسبه می کند که تصاویر را در یک زیر فضای کم بعد حداقل مرتب می کند. این یک مرحله پیش پردازش ایده آل برای آنالیز اجزای اصلی است. پوسته محدب یکی از ملزومات هر ساختار برنامه سازی محدب است که در رابطه ۵ نشان داده شده است. [۹، ۱۰]

هریس مکان تقریبی مردمک بدست آورده خواهد شد. روش تشخیص گوشه ی هریس تا به حال برای تشخیص گوشه استفاده شده است اما در اینجا از آن جهت تشخیص مردمک چشم استفاده شده است. بعد از این که مردمک چشم ها در فریم اولیه تشخیص داده شد به ردیابی محدوده ی چشم در فریم های بعدی پرداخته می شود. در مرحله ردیابی از فیلتر کالمن برای ردیابی استفاده می شود. مزیتی که این روش پیشنهادی نسبت به روش های قبلی دارد این است که داری محدودیت های کمتر می باشد و همچنین محاسبات و پیچیدگی کمتری دارد و به حالت بلادرنگ نزدیکتر است. همچنین این روش دارای نرخ تشخیص بالایی است. بنابراین روش پیشنهادی را به ۴ بخش می توان تقسیم کرد.

مرحله تشخیص صورت

مرحله استخراج محدوده ی چشم

مرحله تشخیص مردمک چشم

مرحله ردیابی محدوده ی چشم

ابتدا در فریم اولیه با استفاده از مدل گاوسی رنگ پوست و آستانه ی مناسب، رنگ پوست در تصویر جداسازی شده و با انتخاب بزرگترین ناحیه در تصویر، ناحیه چهره (صورت) مشخص می شود. برای جلوگیری از تاثیر تغییرات شدت نور روی الگوریتم پیشنهادی، تصویر ورودی از فضای رنگی RGB به فضای رنگی YCbCr تبدیل می شود. پس از یافتن صورت، بوسیله تکنیک بسته های پیکسل ناحیه چشم ها را مشخص می نمایم.

۴-۱- تشخیص صورت در تصاویر با پس زمینه های

پیچیده

روش پیشنهادی باید بتواند رنگ پوستهای متفاوت را در تصاویری با پس زمینه های پیچیده تشخیص دهد. پرواضح است که دستیابی به چنین دامنه ای از موفقیت با مدل رنگ پوست با چند مخلوط گاوسی امکان پذیر است و پیشنهاد استفاده از مدل مخلوط گاوسی برای تصاویر مختلف موجه به نظر می رسد. یکی از مشکلاتی که در روند تعیین نواحی رنگ پوست وجود می آید، همانندی رنگ پیکسلهایی از تصویر با مدل رنگ پوست است که هیچگونه تعلق به نواحی مد نظر ما ندارند. وجود این نواحی اضافی باعث افزایش پیچیدگی محاسبات و تداخل در عملکرد صحیح سیستم خواهد شد. باید از میان نواحی تقطیع شده، یکی را به عنوان ناحیه ی مد نظر انتخاب و از پردازش بقیه نواحی صرفنظر شود. برای این منظور بزرگترین ناحیه ی مشمول رنگ پوست را به عنوان ناحیه ی اصلی انتخاب می کنیم. انجام این کار به راحتی با محاسبه ی مساحت هر ناحیه امکان پذیر است. برای پایداری بیشتر این روش نیز می توان در مواقعی که چند ناحیه با

$$\min_A C(A) \sum_{ij} A_t^{ij} Q_{td}^{ij} b_{td} \geq \forall t, d \quad (5)$$

در اینجا $C(A)$ یک تابع هزینه محدب است که باید مینیمم شود Q_{td} و b_{td} ثوابتی هستند که یک پوسته محدب را مشخص می کنند (مثل قیود دابل - استوکاستیک ها). ساده ترین مورد تخمین یک میانگین گاوسی را در نظر بگیرید که ماکزیمم کردن احتمال داده با اعمال تنظیمات تبدیل مختلف صورت می پذیرد. احتمال رابطه ۶ را در نظر بگیرید.

$$l(A, \mu) = \sum_t \log N(A_t X_t; \mu, I) \quad (6)$$

میانگین بهینه برای T تصویر ورودی برابر رابطه ۷ است.

$$\hat{\mu} = 1/T \sum_t A_t X_t \quad (7)$$

که می توان در عبارت لگاریتم احتمال جایگذاری کرد و در نتیجه (رابطه ۸):

$$l(A, \hat{\mu}) = -\frac{TD}{2} \log(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_t \|A_t X_t - \hat{\mu}\|^2 \quad (8)$$

حال احتمال بالا می تواند روی ماتریس های تبدیل ها ماکزیمم شود. با منفی کردن، احتمال را به یک تابع هزینه که بایستی روی A مینیمم شود تبدیل می کنیم. با دستکاری های بیشتر، تابع هزینه که پدید می آید، اثر کوواریانس داده تصویر تبدیل شده را بطور اساسی مینیمم می کند (رابطه ۹).

$$C(A) = \text{tr}(\text{Cov}(AX)) \quad (9)$$

۴-۲- روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی از اطلاعات رنگی، در محیط YCBCR برای تشخیص رنگ پوست استفاده شده است. همچنین برای استحکام این روش نسبت به رنگ پوستهای مختلف، از مدل مخلوط گاوسی استفاده شده است. پس از یافتن صورت برای کاهش زمان محاسبات با ارائه روشی محدوده ی چشم را از تصویر استخراج کرده و با اعمال روش



شکل (۳): تشخیص مردمک با روش پیشنهادی

۴-۴- ردیابی چشم

در اکثر کاربردها، پس از تشخیص و شناسایی چشم، نوبت به تعقیب و ردیابی حرکات چشم یا صورت می‌رسد. همان مسائل و مشکلاتی که در قسمت تشخیص چشم مطرح بود، در تعقیب و ردیابی نیز مطرح است. با این تفاوت که در مواردی مشکلات قوی‌تر ظاهر شده، تاثیر مخرب بیشتری در پروسه تعقیب دارند. انعکاس نور از روی عینک، در یک فریم خاص، نیز می‌تواند همین مشکلات را ایجاد کند. برای پشتیبانی از حرکات سر، خود چشم را ردیابی نمی‌کنیم برای این کار، قسمتی از صورت که شامل محدوده‌ی دو چشم می‌باشد ردیابی خواهد شد. از بین روش‌های موجود، فیلتر کالمن دارای پیچیدگی محاسباتی کمتر و سرعت بالاتری می‌باشد از این رو برای ردیابی محدوده‌ی چشم از فیلتر کالمن استفاده خواهیم کرد. فیلتر کالمن در هر مرحله با استفاده از اطلاعات حرکت در زمان‌های قبل، بردار حالت زمان بعد را پیش‌بینی می‌کند. برای ردیابی بردار حالت به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$X = (x, y, v_x, v_y)$$

x, y مختصات مرکز محدوده‌ی شامل چشم و v_x, v_y اختلاف مختصات مرکز محدوده‌ی چشم در دو فریم متوالی است. فیلتر کالمن بردار حالت را در زمان $t+1$ از روی بردار حالت t تخمین می‌زند.

$$X_{t+1} = \Phi X_t \quad (10)$$

بردار مشاهده به صورت $z = (x, y)$ در نظر گرفته می‌شود و معادله ارتباط دهنده‌ی بردار حالت و بردار مشاهده به صورت رابطه‌ی (۱۱) بیان می‌شود.

$$Z_{t+1} = H X_{t+1} \quad (11)$$

که در آن ماتریس Φ به صورت زیر می‌باشد.

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

H ماتریس ارتباط دهنده بردار X, Z است و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

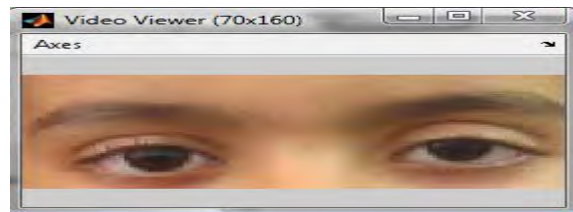
مساحت‌های تقریباً یکسان داریم از نسبت طول محور اصلی به فرعی ناحیه‌ی مورد نظر استفاده کرد.

۴-۲- استخراج محدوده‌ی چشم

یکی از مهمترین نواحی چهره که تعداد زیادی از نقاط ویژگی مطلوب ما در آن اجتماع یافته‌اند، محدوده‌ی چشم است. این محدوده که از بالای ابروها شروع و تا زیر پلک‌ها ادامه می‌یابد، در بردارنده‌ی دو ابرو، دو چشم و ویژگی‌های آنها مانند پلک‌ها و گوشه‌های چشم می‌باشد.

برای بدست آوردن محدوده‌ی چشم بعد از اینکه ناحیه‌ی چهره را از تصویر استخراج شد بسته‌های پیکسل را بر اساس مقدار رنگ صورت افراد یا ویژگی‌های خاص آن‌ها مانند چشم، پلک‌ها و... با تعداد پیکسل مشخص ایجاد می‌نماییم.

در این جا تعداد ۳۶۰۰ پیکسل برای هر بسته انتخاب می‌شود. در مرحله دوم با استفاده از تکنیک PCA و کاهش مقادیر ویژه بر روی بسته‌های پیکسل تصاویر را بازسازی می‌نماییم. شکل (۲) نتیجه‌ی استخراج محدوده‌ی چشم را از ناحیه‌ی چهره نشان می‌دهد.



شکل (۲): استخراج محدوده‌ی چشم از ناحیه‌ی صورت که با توجه به بسته‌های پیکسل بدست می‌آید

۴-۳- تعیین موقعیت مردمک چشم

در تصاویر سطح خاکستری همواره عنبیه و مردمک از قسمت سفیدی چشم تیره‌تر هستند و این واقعیت بدون توجه به رنگ چشم، قابل مشاهده است. در اینجا برای تعیین موقعیت عنبیه از روش هریس استفاده شده است. هریس و استیفن [Harris88]، برای یافتن گوشه‌های اشیا در تصاویر روشی پیشنهاد دادند که در اینجا با اعمال تغییرات جزئی در روش هریس، از آن جهت یافتن موقعیت عنبیه چشم استفاده می‌شود.

در روش پیشنهادی، ابتدا تصویر را به سطح خاکستری تبدیل کرده و از روی گرادینان تصویر، مجموعه‌ای از نقاط داوطلب چشم استخراج می‌شود. سپس با استفاده از روش تقاطع خطوط، موقعیت مرکز مردمک محاسبه می‌شود. خروجی این مرحله یافتن مرکز مردمک چشم در تصویر است که این نقاط در شکل (۳) مارک‌دار شده است.

جدول (۱): نرخ تشخیص صحیح و اشتباه چشم

تشخیص اشتباه دو چشم	تشخیص اشتباه یک چشم	تشخیص صحیح دو چشم	تشخیص صحیح دو چشم
٪۴.۲	٪۳.۴	٪۹۲.۴	نفر اول
٪۵.۰	٪۵.۴	٪۸۹.۶	نفر دوم
٪۶.۱	٪۳.۱	٪۹۰.۸	نفر سوم
٪۱.۶	٪۳.۷	٪۹۴.۷	نفر چهارم
٪۶.۶	٪۲.۳	٪۹۱.۱	نفر پنجم
٪۷.۱	٪۴.۳	٪۸۸.۶	نفر ششم
٪۵.۱	٪۳.۷	٪۹۱.۲	میانگین

جدول (۲): مقایسه روشهای مختلف

تشخیص افراد دارای ریش	تشخیص با وجود عینک	چرخش سر	روش استفاده شده تشخیص چشم
بله	خیر	خیر	ترکیب ویژگی‌هایی مانند رنگ، شدت و لبه
خیر	خیر	خیر	تصویر افقی و عمودی
بله	بله	کمتر از ۴۰ درجه	روش پیشنهادی

۶- نتیجه

هدف از این مقاله، بررسی روش‌های جدید در حیطه‌ی تشخیص و ردیابی حرکات چشم انسان می‌باشد. آنچه در میان تمام این تلاش‌ها دیده می‌شود سعی در جهت ایجاد موازنه‌ای بین سادگی روش پیشنهادی و میزان کارایی آن است. روشی که در این مقاله ارائه شد با دوربین‌های مختلف تست شده و می‌توان ادعا کرد این روش مستقل از سخت افزار است. روش تشخیص گوشه‌ی هریس تا به حال برای تشخیص گوشه استفاده شده است اما در اینجا ما از این روش جهت تشخیص مردمک چشم استفاده کردیم. استفاده از تکنیک بسته‌های پیکسل جهت تشخیص چشم روش جدیدی است که در مقایسه با سایر روش‌های موجود بهتر عمل می‌کند. این امر باعث می‌شود محدوده‌ی عملیاتی کوچکتر شده و محاسبات کمتری نیاز باشد. نتایج حاصل، نشان می‌دهد که این روش می‌تواند به خوبی موقعیت مردمک چشم را تعیین نماید.

مراجع

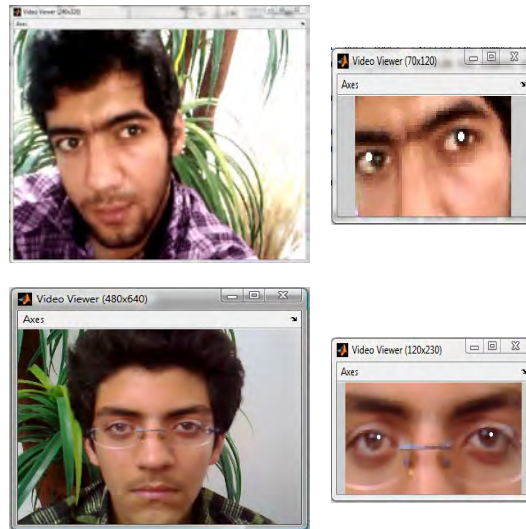
- [1] D. Hansen Q.Ji., *In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze*, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on March 2010

بر اساس بردار مشاهده تخمین زده شده (Z_{t+1}) محدوده‌ی ای در نظر گرفته و روش پیشنهادی را در آن محدوده اجرا خواهد شد. این امر باعث می‌شود محدوده‌ی عملیاتی کوچکتر شده و محاسبات کمتری نیاز باشد. پس از این که مختصات دقیق محدوده‌ی شامل چشم بدست آورده شد بردار حالت جدید از رابطه‌ی (۱۲) بدست می‌آید. فیلتر کالمن [۵] بر اساس بردار حالت بدست آمده پارامترهایش را برای تخمین در مراحل بعدی اصلاح می‌کند.

$$x_{t+1} = x_{t+1}^{-1} + k_{t+1} (z_{t+1} - Hx_{t+1}^{-1}) \quad (12)$$

۵- نتایج و شاهده

در شکل ۴ نتایج حاصل از مرحله‌ی تشخیص چشم آن بیان شده است. پس از تشخیص چشم در فریم اولیه، در مراحل بعد برای کاهش حجم محاسبات از فیلتر کالمن استفاده نموده و به ردیابی چشم پرداخته می‌شود. برای ردیابی چشم علاوه بر تخمین و مکان‌یابی موقعیت چشم‌ها در فریم‌های متوالی، حرکات سر را نیز باید مورد توجه قرار داد. سر، درون تصویر ثابت نیست و می‌تواند در جهات مختلف جا به جا شود. مردمک و پلک‌ها نیز درون محدوده‌ی سر دارای حرکات مستقل خود هستند. نتایج آماری نرخ تشخیص چشم در جدول ۱ بیان شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان ادعا نمود که این روش دارای نرخ تشخیص بالایی است. مقایسه بین روش پیشنهادی ما و روش‌های دیگر به دلیل اجرای روش‌ها در پلتفرم‌های مختلف و پایگاه داده‌های مختلف، مشکل می‌باشد. بنابراین بدنه اصلی این روش‌ها را از نظر تئوری با هم مقایسه می‌کنیم. جدول ۲ مقایسه بین روش ما و روش‌های مشابه را نشان می‌دهد.



شکل (۴): تشخیص مردمک چشم



- [2] Ba Linh NGUYEN., *Eye Gaze Tracking*; IEEE vol. 2, 2009.
- [3] J. Zhang, Y. Liu and S. Ha., *A Novel Approach of Face Detection Based on Skin Color Segmentation and PCA*, The 9th International Conference for Young Computer Scientists, IEEE 2008
- [4] P. Gejgus, J. Placek, M. Sperka., *Skin color segmentation method based on mixture of Gaussians and its application in Learning System for Finger Alphabet*, International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'2004
- [5] Z Zhu, Q. Ji, K. Fujimura, *Combining Kalman Filtering and Mean Shift for Real Time Eye Tracking Under Active IR Illumination*, IEEE 2002
- [6] Y. Tian, M. T. Kanade, and F. Cohn, *Dual state Parametric Eye Tracking*, Technical Report TR 00-18, University of Alberta, September 2000
- [7] W Wang, Chao Xu, Hong-Wei Shen, *EYE OCALIZATION BASED ON HUE IMAGE PROCESSING*, Proceedings of 2007 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems Nov.28-Dec.1, 2007 Xiamen, China
- [8] Ayan Chakrabarti, Keigo Hiraakawa, Todd Zickler., *Color Constancy Beyond Bags of Pixels*, in IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008
- [9] T. Jebara., *Convex invariance learning*, In Artificial Intelligence and Statistics 9, 2003.
- [10] Yi Guo and Junbin GAO., *Manifolds of Bag of Pixels: A Better Representation for Image Recognition?*, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics October 8-11, 2006, Taipei, Taiwan