

ویژگی‌های هندسی، حرکتی و فتومتریک منحصر به فرد چشم‌ها بستر مناسبی برای تشخیص، شناسایی و درک حالات چهره فراهم می‌کنند (D.W. Hansen et al, 2010, 1). از این رو تشخیص و ردیابی چشم یک موضوع تحقیقاتی بسیار گسترده در طول سال‌های اخیر بوده است. ردیابی چشم فرآیند اندازه‌گیری نقطه خیرگی^۱ چشم یا حرکات چشم نسبت به سر است (Wikipedia, 2014, 1). روش‌های مختلفی برای تشخیص و ردیابی چشم وجود دارد که به طور کلی به ۳ دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های مبتنی بر الکتروآکلوگرافی، روش‌های مبتنی بر لنز تماسی، روش‌های مبتنی بر بینایی ماشین (سمیرا افضحی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳). بسیاری از روش‌های ردیابی چشم ارائه شده از تکنیک‌های مبتنی بر بینایی ماشین استفاده می‌کنند. در این مقاله ابتدا روش‌های تشخیص و ردیابی چشم در سیستم‌های مبتنی بر بینایی ماشین مرور می‌شوند و خصوصیات، مزایا و محدودیت‌های هر کدام از این روش‌ها بیان می‌شود. در بخش ۲ به بیان نتایجی که از این روش‌ها بدست می‌آید و تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است پرداخته می‌شود. در بخش ۳ در مورد چالش‌ها و محدودیت‌های کلی این روش‌ها بحث شده و یک نتیجه‌گیری کلی بیان می‌شود.

۱-۱- تشخیص و ردیابی چشم مبتنی بر بینایی ماشین

به طور کلی یک سیستم ردیابی خیرگی چشم شامل مراحل تصویر برداری، آشکارسازی صورت، تشخیص چشم، ردیابی چشم و تخمین خیرگی چشم است. ابتدا یک یا چند دوربین و تجهیزات لازم روی یک یا هر دو چشم تنظیم شده و حرکات چشم را ضبط می‌کند. سپس تصاویر بدست آمده پردازش شده و موقعیت چشم در تصویر تشخیص داده می‌شود که یا به طور مستقیم در نرم‌افزار مورد استفاده قرار می‌گیرد یا به طور متوالی طی فریم‌هایی ردیابی می‌شود. بر اساس اطلاعات بدست آمده از جهت‌گیری کره چشم و حالت (موقعیت و جهت) سر جهت خیرگی چشم نیز تخمین زده می‌شود.

بر اساس ویژگی‌های هندسی و فتومتریک چشم‌ها روش‌های تشخیص و ردیابی چشم به چهار دسته مبتنی بر شکل، مبتنی بر ظاهر، مبتنی بر ویژگی و ترکیبی دسته بندی می‌شوند. روش‌های جایگزین دیگر ممکن است از حرکت و پلک زدن چشم‌ها و عملگرهای تقارن برای تشخیص و ردیابی چشم استفاده کنند. هر کدام از این روش‌ها ممکن است در نور مرئی و یا با استفاده از منبع نور مادون قرمز (IR) انجام شوند (D.W. Hansen et al, 2010, 2).

• روش‌های مبتنی بر شکل^۲

در روش مبتنی بر شکل ابتدا یک مدل کلی چشم بر اساس شکل چشم طراحی می‌شود. سپس تطبیق الگو برای جستجوی چشم‌ها در تصویر انجام می‌شود (Z. Zhu et al, 2005, 2). روش‌های مبتنی بر شکل معمولاً از دو بخش تشکیل می‌شوند: مدل هندسی چشم و اندازه‌گیری شباهت. این روش‌ها یا از ویژگی‌های محلی چشم و منطقه صورت و یا از کانتورهایشان ساخته می‌شوند و به طور کلی به دو دسته شکل ثابت و شکل دگرپذیر پذیر تقسیم می‌شوند. (D.W. Hansen et al, 2010, 2).

شکل ثابت: بسیاری از کاربردهای ردیابی چشم فقط به تشخیص و ردیابی عنبیه یا مردمک نیاز دارند. بسته به زاویه دید، هم عنبیه و هم مردمک بیضی گون به نظر می‌رسند و در نتیجه می‌توانند توسط پنج پارامتر مدل‌سازی شوند. مدل‌های بیضی گون ساده شامل روش‌های مبتنی بر رأی‌گیری^۳ و روش‌های برازش مدل^۴ هستند. روش‌های مبتنی بر رأی‌گیری ویژگی‌هایی را که فرضیه داده شده از طریق رأی‌گیری یا فرآیند انباشت^۵ پشتیبانی می‌کند انتخاب می‌کند و روش‌های برازش مدل ویژگی‌های انتخاب شده را به مدل (به عنوان مثال بیضی) نسبت می‌دهد (D.W. Hansen et al, 2010, 3).

شکل پیچیده: این روش‌ها مدل‌سازی دقیق‌تری از شکل چشم ارائه می‌دهند و می‌کوشند که الگوی کلی را با تصویر مطابقت دهند (G. Daunys et al, 2006, 31). یک نمونه بارز مدل الگوی دگرپذیر پذیر پیشنهاد شده توسط Yuille و همکاران است.

¹ gaze

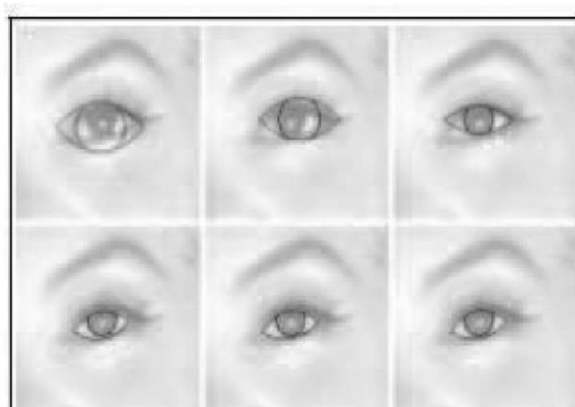
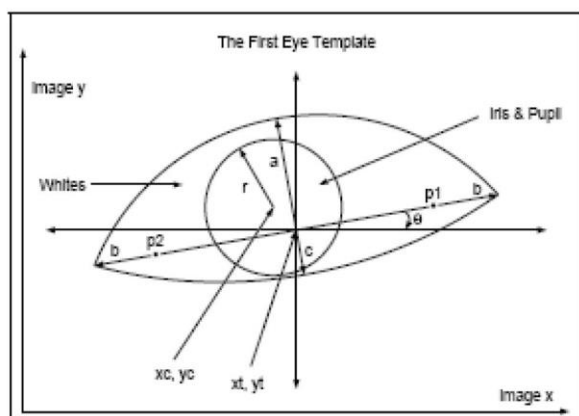
² Shape-Based Approaches

³ voting-based methods

⁴ model fitting methods

⁵ accumulation process

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است مدل چشم دگردیس پذیر شامل دو سهمی که معرف پلک‌هاست (مدلسازی شده با ۱۱ پارامتر) و یک دایره برای عنبیه است (D.W. Hansen et al, 2010, ۳).



(a)

(b)

شکل (۱): (a) مدل Yuille و همکاران، (b) نتایج تشخیص چشم (توسط Hallinan و Yuille) (D.W. Hansen et al, 2010, ۳)

ابتدا یک مدل چشم که می‌تواند به بهترین نمایش از شکل چشم تغییر شکل پیدا کند طراحی می‌شود. سپس موقعیت چشم طبق یک فرآیند بازگشتی از طریق کمینه سازی انرژی بدست می‌آید (Z. Zhu et al, 2005, ۲). پیدا کردن موقعیت اولیه از الگو بسیار مهم است. هر زمان که شباهت زیادی نسبت به تصویر بوجود آید، سیستم نسبت به تغییرات الگو مستحکم می‌شود (G. Daunys et al, 2006, 31). در حالیکه این روش منطقی و بطور کلی دقیق به نظر می‌رسد، اما چندین محدودیت دارد: (۱) به محاسبات طاقت فرسا نیاز دارند. (۲) به تصاویر با کنتراست بالا نیاز دارند. (۳) معمولاً به مقادیر اولیه نزدیک به چشم برای یک مدل سازی موفق نیاز دارند. (۴) از آنجایی که شکل و مرزهای چشم برای الگو سازی مهم هستند از این رو در داخل این مناطق الگو سازی می‌شوند (G. Daunys et al, 2006, 31). (۵) ممکن است قادر نباشند تغییرات حالت صورت و انسداد چشم را به خوبی کنترل کنند (D.W. Hansen et al, 2010, 4).

در حالی که برخی مدل‌های دگردیس پذیر مانند مدل‌های ماریچ^۶ تنوع زیادی در شکل ارائه می‌دهند، مدل‌های دگردیس پذیر دیگر تنوع زیادی ارائه نمی‌دهند. تحقیقات بیشتر به تولید مدل‌هایی نیاز دارد که بتواند تنوع زیادی در شکل ارائه دهد و حتی تغییراتی مانند بستن چشم یا وقوع ویژگی‌های متناقض (به عنوان مثال ظهور یا عدم ظهور ویژگی‌ها با تغییر در مقیاس) را نیز شامل شود (D.W. Hansen et al, 2010, ۴).

• روش‌های مبتنی بر ظاهر^۷

این روش چشم‌ها را مستقیماً بر اساس ظاهر فتومتریک‌شان که با توزیع رنگ یا پاسخ‌های فیلتر از چشم و اطرافش مشخص می‌شود، تشخیص و ردیابی می‌کنند. این روش‌ها مستقل از شی واقعی مورد نظر هستند و قادر به مدل سازی اشیا دیگر کنار چشم می‌باشند (D.W. Hansen et al, 2010, ۵).

روش‌های مبتنی بر ظاهر به عنوان الگوی تصویر^۸ که هر دو اطلاعات شدت و مکانی هر پیکسل را حفظ می‌کنند و یا روش‌های کل نگر^۹ که در آن توزیع شدت با نادیده گرفتن اطلاعات مکانی مشخص می‌شود نیز شناخته می‌شوند. روش‌های تصویر مبتنی بر الگو مشکلات ذاتی با مقیاس و تغییرات چرخشی دارند. علاوه بر این در مدل‌های تک الگویی حتی تغییرات موقعیت سر و حرکات

⁶ snake models

⁷ Appearance-Based Methods

⁸ image template

⁹ holistic methods

چشم شخص می‌تواند تاثیر منفی بگذارد. روش‌های کل نگر از تکنیک‌های آماری برای تجزیه و تحلیل توزیع شدت کل ظاهر شی استفاده می‌کنند (D.W. Hansen et al, 2010, 5).

روش‌های مبتنی بر ظاهر معمولا به جمع‌آوری اطلاعات زیادی از چشم افراد مختلف با جهت گیری‌های مختلف صورت و تحت شرایط نوری مختلف نیاز دارند. سپس این اطلاعات در یک طبقه بندی کننده مانند شبکه عصبی یا ماشین بردار پشتیبان استفاده می‌شوند و تشخیص از طریق طبقه بندی^{۱۰} بدست می‌آید (Z. Zhu et al, 2005, 2).

• روش‌های مبتنی بر ویژگی^{۱۱}

روش‌های مبتنی بر ویژگی خصوصیات مانند رنگ پوست، توزیع رنگ مناطق چشم و غیره را برای تشخیص ویژگی‌های متمایز اطراف چشم استخراج می‌کنند. لیمبوس، مردمک (تصاویر مردمک تاریک/روشن) و بازتاب‌های قرنیه ویژگی‌های رایجی برای تشخیص چشم هستند. در مقایسه با روش‌های کل نگر روش‌های مبتنی بر ویژگی، ویژگی‌های محلی چشم و صورت که نسبت به تغییرات شرایط نوری و نقطه دید حساسیت کمتری دارند شناسایی می‌کنند (D.W. Hansen et al, 2010, 4).

این ویژگی‌های محلی ممکن است با توزیع شدت^{۱۲} تشخیص داده شوند به این صورت که ناحیه چشم که شامل مرزهای مختلفی است بوسیله تفاوت سطوح خاکستری تشخیص داده می‌شود. Herpers و همکاران روشی را پیشنهاد دادند که ویژگی‌های محلی از جمله لبه‌ها و خطوط، جهت گیری، طول و مقیاس را تشخیص می‌دهد و از یک مدل اولیه چشم برای هدایت کانتورهای محلی استفاده می‌کند. این روش ابتدا یک لبه خاص را تعیین می‌کند و سپس از فیلترهای Gabor برای ردیابی لبه عنبیه یا گوشه‌های چشم استفاده می‌کند. بر اساس مدل چشم و ویژگی‌هایش یک جستجوی پی در پی به منظور تعیین موقعیت، شکل و گوشه‌های چشم آغاز می‌شود (D.W. Hansen et al, 2010, 4).

یک سری از ویژگی‌ها با پاسخ‌های فیلتر^{۱۳} تشخیص داده می‌شوند به این صورت که فیلتر ویژگی‌های مطلوب تصویر را افزایش می‌دهد و اگر به خوبی تعریف شده باشد ویژگی‌های نامطلوب را در نظر نمی‌گیرد. مناطق با خصوصیات خاص در تصویر از طریق مقدار شباهت استخراج می‌شوند. Sirohey و همکاران روش‌هایی را برای تشخیص چشم با استفاده از فیلتر خطی و غیر خطی و مدل‌سازی صورت ارائه دادند. لبه‌های صلبیه چشم توسط چهار موجک Gabor تشخیص داده شد. یک فیلتر غیر خطی برای تشخیص کاندیدهای گوشه چشم چپ و راست استفاده شد. آزمایش‌ها نشان داد که فیلتر غیر خطی نرخ تشخیص بهتری نسبت به فیلترهای خطی مبتنی بر لبه بدست می‌آورد (D.W. Hansen et al, 2010, 4).

هنگامی که چشم از نزدیک دیده شود مردمک یک ویژگی قابل اطمینان برای تشخیص چشم است. مردمک و عنبیه معمولا تاریک‌تر از محیط اطراف هستند و اگر کنتراست به اندازه کافی بزرگ باشد آستانه‌هایی به کار برده می‌شود. Yang و همکاران و Stiefelwagen و همکاران یک الگوریتم آستانه تکرار شونده برای تعیین محل مردمک‌ها با جستجوی دو منطقه تاریک و با در نظر گرفتن رنگ پوست معرفی کردند. روش آن‌ها با توجه به رنگ پوست و در حضور مناطق تاریک دیگر مانند ابروها و سایه‌ها محدود می‌شود (D.W. Hansen et al, 2010, 5).

به طور کلی روش‌های مبتنی بر ویژگی نسبت به تغییرات روشنایی مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهند. هنگام استفاده از دوربین‌های با میدان دید وسیع، از آنجایی که ممکن است چندین منطقه شبیه به چشم باشند، کاندیدهای چشم فیلتر می‌شوند. تشخیص مردمک با استفاده از تکنیک اعمال نور مادون قرمز فعال می‌تواند بسیار موثر باشد. اما این تکنیک‌ها در خانه و حتی در تاریکی بهتر کار می‌کنند و استفاده از آن‌ها در محیط بیرون ممکن است بسیار سخت باشد زیرا مردمک‌ها در محیط‌های روشن کوچک‌تر می‌شوند و شدت‌شان با تغییرات روشنایی تغییر می‌کند. روش‌های تشخیص و ردیابی چشم که از ویژگی‌های آشکار (مثل لبه‌ها) استفاده می‌کنند به دلیل تغییر در روشنایی، متمرکز ساختن تصویر و انسداد ممکن است آنچنان مقاوم نباشند (D.W. Hansen et al, 2010, 5).

¹⁰ classification

¹¹ Feature-Based Methods

¹² Intensity

¹³ Filter Responses

• روش های ترکیبی

هدف روش های ترکیبی ترکیب مزایای روش های مختلف در یک سیستم واحد برای غلبه بر نقایص مربوط به هر کدام از آنها می باشد.

Huang و همکاران الگوریتمی بر اساس شدت، شکل و اندازه برای تشخیص مردمک پیشنهاد دادند. آن ها از نور مادون قرمز استفاده کردند در نتیجه مردمک ها روشن تر از بقیه صورت به نظر می رسد. شدت مردمک به عنوان ویژگی اصلی در تشخیص مردمک استفاده شد. برای جدا کردن مردمک از دیگر اشیا روشن موجود در تصویر از ویژگی های دیگر مردمک مانند اندازه و شکل مردمک استفاده شد. از ماشین بردار پشتیبان برای تعیین محل موقعیت چشم استفاده کردند. سخت افزار استفاده شده شامل LED ها و دوربین IR است که گران قیمت نیستند. این الگوریتم برای تشخیص خستگی راننده استفاده شد (A. AL-rahayfeh et al, 2013, 5).

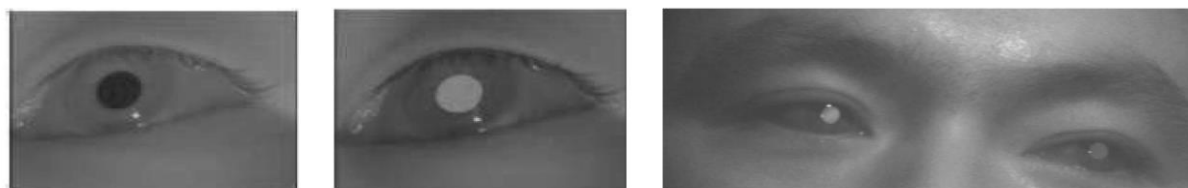
Li و Wee از بازتاب قرنیه و روش برازش منحنی برای تشخیص مردمک استفاده کردند. برازش بیضی برای بدست آوردن مرز مردمک لازم است. آن ها از سخت افزار خاصی که به طور مشخص برای این الگوریتم پیاده سازی شده است استفاده کردند. این الگوریتم برای تخمین میدان دید کاربر استفاده شده است که می تواند برای کاربردهای دیگر نیز استفاده شود (A. AL-rahayfeh et al, 2013, 5).

• تشخیص و ردیابی چشم با استفاده از منبع نور مادون قرمز فعال

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. تکنیک های بیشمار بر اساس این روش توسعه یافته اند از جمله ردیابی های چشم تجاری که همگی به یک منبع نور مادون قرمز برای تولید اثر مردمک تیره و روشن متکی هستند (Z. Zhu et al, 2005, ۲).

سیستم های خانگی ردیابی چشم از منبع نور مادون قرمز در همه مراحل تشخیص، ردیابی و تخمین خیرگی استفاده می کنند. روش های متکی به نور مرئی، منفعل^{۱۴} و روش هایی که از منبع نور مادون قرمز استفاده می کنند فعال^{۱۵} نامیده می شوند. بیشتر روش های نوری فعال از منابع نور مادون قرمز با طول موج حدود 780-880nm استفاده می کنند. این طول موج ها 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. هنگامی که یک منبع نور دور از محور نوری دوربین (خارج از محور) قرار می گیرد، تصویر یک مردمک تیره را نشان می دهد (D.W. Hansen et al, 2010, ۷).



(a)

(b)

(c)

شکل (۲): تصاویر مردمک (a) تاریک و (b) روشن. (c) تصاویر مردمک روشن با شدت مختلف (D.W. Hansen et al, 2010, ۷).

تحقیقات بسیاری روی رابطه بین شدت مردمک روشن و پارامترهایی مانند حالت سر، جهت خیرگی و نژاد انجام شده است. مطالعات آن ها نشان می دهد که پاسخ های مردمک روشن بین افراد و گروه های نژادی به طور قابل توجهی متفاوت است. تغییرات

¹⁴ passive

¹⁵ active

در موقعیت و حالت سر، روشنایی ظاهری مردمک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. روشن‌ترین حالت مردمک زمانی اتفاق می‌افتد که چشم‌ها از منبع نور دور می‌شوند (D.W. Hansen et al, 2010, 7).

برای ایجاد تفاوت در تصاویر مردمک تاریک و روشن از تغییر محور منابع نوری استفاده می‌شود و اغلب به همزمان سازی با دوربین از طریق یک رمزگشای ویدیویی نیاز است. مزایای اصلی روش‌های تفاوت تصویر، استحکام در برابر تغییرات روشنایی، سادگی و کارایی است. حرکات سریع و بزرگ سر موجب تفاوت بیشتری در تصاویر مردمک تاریک و روشن می‌شود. روش‌هایی برای جبران تاثیر این حرکات پیشنهاد شد. گروهی از امواج فراصوت در محدوده صورت کاربر، آینه‌ها و pan و tilt استفاده کردند. برای اطمینان از اینکه چشم‌ها در میدان دید دوربین هستند، چندین دوربین به همراه pan و tilt به کار گرفتند. Tomono و همکاران سیستمی که در آن از سه دوربین CCD و دو منبع نوری مادون قرمز با طول موج‌های مختلف استفاده می‌شد پیشنهاد دادند. بازتاب از منابع نور مادون قرمز روی عینک یک موضوع چالش برانگیز است که تا حدی از طریق تکنیک‌های تثبیت روشنی مردمک حل شده است (D.W. Hansen et al, 2010, 7).

بسیاری از ردیاب‌های چشم موجود از نور مادون قرمز استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها به خصوص در محیط خانگی و کم نور موثر هستند. بیشتر این روش‌ها برای کارایی بهتر به اثر مردمک تاریک و روشن نیاز دارند. موفقیت چنین سیستم‌هایی شدیداً به روشنایی و اندازه مردمک بستگی دارد. روشنایی به وسیله چندین عامل از جمله بسته شدن چشم، انسداد چشم به دلیل چرخش صورت، تداخل روشنایی خارجی، فاصله فرد از دوربین و ویژگی‌های ذاتی چشم‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرد (D.W. Hansen et al, 2010, 8).

• استفاده از عملگرهای تقارن برای تشخیص و ردیابی چشم

تقارن یک عامل مهم برای ادراک انسان است که برای تشخیص خودکار چشم و صورت نیز مورد بررسی قرار گرفته است. یک عملگر تقارن شناخته شده، تبدیل تقارن تعمیم یافته^{۱۶} Reissfeld و Yeshurun است که مناطقی با کنتراست بالا و تقارن شعاعی محلی را برجسته می‌کند. این عملگر گرادیان را در یک همسایگی برای هر نقطه محاسبه می‌کند. در این همسایگی گرادیان‌های هر جفت نقطه که به صورت قرینه حول پیکسل مرکزی قرار گرفته‌اند به عنوان ملاکی برای تقارن شعاعی در نظر گرفته می‌شوند و یک سهم تقارن شعاعی از نقطه مرکزی محاسبه می‌شود. به جای تعیین سهم هر پیکسل که موجب تقارن پیکسل‌ها در همسایگی خود می‌شود، Loy و Zelinsky تبدیل تقارن شعاعی سریع^{۱۷} را با در نظر گرفتن سهم همسایگی محلی به یک پیکسل مرکزی پیشنهاد دادند. روش آن‌ها پیچیدگی زمانی کمتری نسبت به روش قبل دارد. استفاده از عملگرهای تقارن برای تشخیص و ردیابی چشم با نیاز به آستانه‌هایی که برای انتخاب ویژگی و پیچیدگی زمانی (که با اندازه شعاع این ویژگی محاسبه می‌شود) دارد، تا حدی محدود می‌شود (D.W. Hansen et al, 2010, 8).

• پلک زدن و حرکت چشم‌ها

پلک زدن‌ها غیر ارادی و دوره‌ای هستند و معمولاً در هر دو چشم به طور همزمان می‌باشند. پلک زدن برای حفظ رطوبت، خنکی و تمیزی چشم‌ها لازم است. این ویژگی‌ها برای تشخیص چشم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به تازگی حرکت و پلک زدن چشم‌ها به عنوان ملاکی برای تشخیص چشم و چهره استفاده شده است. Grauman و همکاران چشم‌ها را با فرض تثبیت موقعیت سر تعیین محل کردند. موقعیت‌های فرضی چشم بر اساس تفاوت آستانه فریم‌های متوالی استخراج می‌شود. Bala و همکاران با تجزیه و تحلیل تفاوت روشنایی بین تصاویر پی در پی منطقه صورت یک منطقه صورت را بر اساس ترکیبی از تفاضل پس زمینه و اطلاعات رنگ پوست به منظور استخراج پلک زدن چشم تعیین کردند. پس از تعیین محل موفق مناطق چشم یک منطقه دایره شکل تاریک (مردمک) در درون منطقه چشم جستجو شد. سپس مرکز مردمک به عنوان مرکز الگوی چشم، در نظر گرفته شده و برای فرآیند تطبیق زیرین ذخیره شد. یک کار مشابه توسط Crowley و Berard پیشنهاد شد که تشخیص پلک زدن چشم بر اساس تفاوت روشنایی در تصاویر پی در پی مناطق مرزی کوچک چشم است (D.W. Hansen et al, 2010, 8).

¹⁶ generalized symmetry transform

¹⁷ Fast Radial Symmetry Transform

در هر دو روش فوق حداقل بین دو تصویر پی در پی که پلک زدن رخ می‌دهد سر ثابت فرض می‌شود. Kawato و Tetsutani از پلک زدن‌های چشم برای مقاردهی اولیه بین الگوی چشم استفاده کردند. روش آن‌ها از تفاوت بین تصاویر پی در پی حرکات پلک از حرکات سر به منظور تشخیص پلک زدن چشم حتی زمانی که سر حرکت می‌کند استفاده می‌کند. تشخیص پلک زدن چشم ممکن است از طریق اندازه‌گیری‌های نسبتاً ساده منطقه چشم (به عنوان مثال هبستگی الگو یا تنوع متوسط شدت) بدست آید. با این حال پلک زدن و حرکات سریع سر تشخیص پلک زدن را مشکل می‌کند. نگهداری و ردیابی ویژگی‌های چشم در طول پلک زدن ممکن است لازم باشد بنابراین ویژگی‌های خارج از چشم ممکن است قابل اطمینان‌تر باشند. به طور کلی تشخیص چشم بر اساس پلک زدن در حال حاضر محدود به تشخیص چشم‌ها در صورت‌های رو به جلو می‌شود. یک راه حل ممکن برای تشخیص پلک زدن هنگام حرکات سر، ردیابی حرکت چند نقطه انعطاف ناپذیر صورت و تفریق حرکت آن‌ها از حرکت چشم برای به حداقل رساندن تاثیر حرکت سر است (D.W. Hansen et al, 2010, 8).

۲- نتایج

در قسمت قبل روش‌های تشخیص و ردیابی چشم را با استفاده از ویژگی‌های مختلف چشم از جمله ظاهر، شکل، حرکت و یا ترکیب آن‌ها مرور شد. روش‌های مبتنی بر شکل و مبتنی بر ظاهر به مدل‌هایی که به طور مستقیم از ظاهر منطقه چشم ساخته می‌شوند متکی هستند در حالیکه روش‌های مبتنی بر ویژگی به استخراج ویژگی‌های محلی از منطقه چشم متکی هستند. روش‌های مبتنی بر ویژگی پایین به بالا^{۱۸} بوده و در حالیکه روش‌های مبتنی بر شکل و مبتنی بر ظاهر معمولاً بالا به پایین^{۱۹} هستند. روش‌های مبتنی بر ویژگی به نسبت دادن ویژگی‌های تصویر به مدل متکی هستند در حالیکه روش‌های مبتنی بر شکل دگر دیس پذیر و مبتنی بر ظاهر می‌کوشند مدل را برای تصویر مناسب کنند (G. Daunys et al, 2006, 31). با اینکه این روش‌ها در بهبود تشخیص و ردیابی چشم موفق بوده‌اند اما هنوز پتانسیل قابل توجهی برای پیشرفت‌های بیشتر در آینده وجود دارد. تشخیص و ردیابی قابل اطمینان چشم‌ها تحت شرایط نوری متغیر و حالات مختلف سر عمدتاً با مشکلات بسیاری همراه است. به کارگیری روش‌هایی که با بهره‌گیری از ویژگی‌های موجود بتواند همه این شرایط را پوشش داده و یکپارچه سازد رویکردی برای پیشرفت‌های بیشتر در این زمینه فراهم می‌کند. جدول ۱ تحقیقاتی که در زمینه تشخیص و ردیابی چشم با استفاده از روش‌های ذکر شده موجود انجام شده است نشان می‌دهد.

¹⁸ bottom up

¹⁹ top-down

جدول (۱) تحقیقات در زمینه تشخیص و ردیابی چشم با استفاده از روش های ذکر شده

مراجع	روش های تشخیص و ردیابی چشم
(K.-N. Kim et al,1999) (D. Young et al,1995) (R. Valenti et al,2008) (A. Perez et al,2003) (D.W. Hansen et al,2005) (A. Yuille et al,1992) (G.J. Edwards et al,1998) (T.F. Cootes et al,1992) (K. Lam et al,1996) (A. Pranith et al,2010) (R. M. Sundaram,2011)	روش های مبتنی بر شکل
(D. Cristinacce et al, 2006) (I.R. Fasel et al, 2005) (D.W. Hansen et al, 2007) (J. Huang et al,1999) (J. Tang et al,2009) (H. Liu et al,2010) (B. Fu et al,2011)	روش های مبتنی بر ظاهر
(S.A. Sirohey et al,2001) (S. Sirohey et al,2002) (J. Yang et al,1998) (S. Kawato et al,2002)	روش های مبتنی بر ویژگی
(D. Cristinacce et al,2006) (T. Ishikawa et al,2004) (H. Huang et al,2007) (R. C. Coetzer et al,2011) (X. Li et al,2009) (R. C. Coetzer et al,2011)	روش های ترکیبی
(J.S. Agustin et al,2006) (K. Nguyen et al,2002) (J. Coughlan et al,2000) (Q. Ji et al,2001) (C. Yang et al,2010)	استفاده از منبع نور مادون قرمز فعال
(D. Reisfeld et al,1992) (G. Loy et al,2003) (G. Sela et al,1997) (C.-C. Lin et al,1996)	استفاده از عملگرهای تقارن
(K. Grauman et al,2001) (L.-P. Bala et al,1997) (J.L. Crowley et al,1997) (S. Kawato et al,2002)	پلک زدن و حرکت چشم ها

۳- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله روش های تشخیص و ردیابی چشم در سیستم های مبتنی بر بینایی ماشین را مرور کرده و خصوصیات هر کدام از این روش ها بیان شد. هر کدام از روش های تشخیص و ردیابی چشم ذکر شده مزایا و محدودیت های خاص خود را دارند اما عملکرد مطلوب هر تکنیک نشان می دهد که شرایط مطلوب خود را با توجه به کیفیت تصویر بدست می آورند. این شرایط به روشنایی، حالت سر، نژاد و درجه انسداد چشم مربوط می شود. به عنوان مثال تکنیک های مبتنی بر روشنایی مادون قرمز فعال در محیط خانگی به خوبی کار می کنند در حالی که روش های مبتنی بر الگو و ظاهر نه تنها در محیط خانه بلکه در خارج از خانه نیز به خوبی کار می کنند. روش های موجود تا حد زیادی تنها قابل اعمال به زاویه های دید رو به جلو، چشم های کاملاً باز و تحت شرایط

نوری نسبتاً محدود شده هستند. علاوه بر این ظاهر چشم ممکن است به طور قابل توجهی با تغییر در مقیاس تغییر کند. ویژگی‌های تعریف شده روی یک مقیاس وجود ندارد و یا به طور چشم گیری در مقیاس دیگر تغییر می‌کند. از این رو اعمال یک مدل چشم در مقیاس واحد به چندین مقیاس همچنان چالش‌های فراوانی دارد. تا به حال محققان تحقیقات بسیاری در زمینه تشخیص و ردیابی چشم انجام داده‌اند که در این مقاله تعدادی از موارد مهم آنها معرفی شدند. اما تشخیص و ردیابی چشم به علت تغییرات پیچیده و گسترده در ویژگی‌های تصویر ناشی از قومیت، شرایط روشنایی، مقیاس، حالت سر و حالت چشم (چشم باز/بسته) همچنان با چالش‌های فراوانی رو به رو است. از این رو تحقیقات برای یافتن روش‌هایی که بتوانند با بهره گیری از ویژگی‌های موجود این شرایط را تعدیل کنند همچنان ادامه دارد.

4- منابع

افصحی، سمیرا و عباسی، مهدی (۱۳۹۳): «مرور و مقایسه روش‌های ردیابی چشم»، اولین کنفرانس ملی الگوریتم‌های فرا ابتکاری و کاربردهای آن در علوم مهندسی، موسسه آموزش عالی پردیسان، فریدونکنار.

A. Perez, M.L. Cordoba, A. Garcia, R. Mendez, M.L. Munoz, J.L. Pedraza, and F. Sanchez, "A Precise Eye-Gaze Detection and Tracking System," J. WSCG, pp. 105-108, 2003.

A. Pranith and C. R. Srikanth, "Iris recognition using corner detection," in *Proc. 2nd ICISE*, 2010, pp. 2151_2154.

A. Yuille, P. Hallinan, and D. Cohen, "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 8, no. 2, pp. 99-111, 1992.

AL-rahayfeh A. , Faezipour M.(2013): «Eye Tracking and Head Movement Detection:A State-of-Art Survey» , *Rehabilitation Devices and Systems* , VOLUME 1.

B. Fu and R. Yang, "Display control based on eye gaze estimation," in *Proc. 4th Int. CISP*, vol. 1. 2011, pp. 399_403.

C. Yang, J. Sun, J. Liu, X. Yang, D. Wang, and W. Liu, "A gray difference-based pre-processing for gaze tracking," in *Proc. IEEE 10th ICSP*, Oct. 2010, pp. 1293_1296.

C.-C. Lin and W.-C. Lin, "Extracting Facial Features by an Inhibitory Mechanism Based on Gradient Distribution," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 12, pp. 2079-2101, 1996.

D. Cristinacce and T. Cootes, "Feature Detection and Tracking with Constrained Local Models," *Proc. 17th British Machine Vision Conf.*, pp. 929-938, 2006.

D. Reisfeld and Y. Yeshurun, "Robust Detection of Facial Features by Generalized Symmetry," *Proc. Int'l Conf. Pattern Recognition*, vol. I, pp. 117-120, 1992.

D. Young, H. Tunley, and R. Samuels, "Specialised Hough Transform and Active Contour Methods for Real-Time Eye Tracking," *Technical Report 386*, School of Cognitive and Computing Sciences, Univ. of Sussex, 1995.

D.W. Hansen and A.E.C. Pece, "Eye Tracking in the Wild," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 98, no. 1, pp. 182- 210, Apr. 2005.

D.W. Hansen and R. Hammoud, "An Improved Likelihood Model for Eye Tracking," *Computer Vision and Image Understanding*, 2007.

Daunys, G. et al. (2006) D5.2 Report on New Approaches to Eye Tracking. Communication by Gaze Interaction (COGAIN), IST-2003-511598: Deliverable 5.2. Available at http://www.cogain.org/results/reports/COGAIN_D5.2.pdf .

"Eye tracking", Date of using the web site : July, 2014: [www.wikipedia .com](http://www.wikipedia.com)

- G. Loy and A. Zelinsky, "Fast Radial Symmetry for Detecting Points of Interest" IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 25, no. 8, pp. 959-973, Aug. 2003.
- G. Sela and M.D. Levine, "Real-Time Attention for Robotic Vision," Real-Time Imaging, vol. 3, pp. 173-194, 1997.
- G.J. Edwards, T.F. Cootes, and C.J. Taylor, "Face Recognition Using Active Appearance Models," Proc. Fifth European Conf. Computer Vision, vol. 2, pp. 581-95, 1998.
- H. Huang, Y. S. Zhou, F. Zhang, and F. C. Liu, "An optimized eye locating and tracking system for driver fatigue monitoring," in *Proc. ICWAPR*, vol. 3. 2007, pp. 1144_1149.
- H. Liu and Q. Liu, "Robust real-time eye detection and tracking for rotated facial images under complex conditions," in *Proc. 6th ICNC*, vol. 4. 2010, pp. 2028_2034.
- Hansen D. W. , Qiang J.,(2010):« In the Eye of the Beholder:A Survey of Models for Eyes and Gaz»,IEEE Transactions on Patern Analysis and Machine Intelligence, VOL. 32, NO. 3, MARCH 2010.
- I.R. Fasel, B. Fortenberry, and J.R. Movellan, "A Generative Framework for Real Time Object Detection and Classification,"*Computer Vision and Image Understanding*, vol. 98, no. 1, pp. 182-210, Apr. 2005.
- J. Coughlan, A. Yuille, C. English, and D. Snow, "Efficient Deformable Template Detection and Localization without User Initialization," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 78, no. 3, pp. 303-319, 2000.
- J. Tang and J. Zhang, "Eye tracking based on grey prediction," in *Proc. 1st Int. Workshop Educ. Technol. Comput. Sci.*, 2009, pp. 861_864.
- J. Yang, R. Stiefelhagen, U. Meier, and A. Waibel, "Real-Time Face and Facial Feature Tracking and Applications," *Proc. Conf. Auditory-Visual Speech Processing*, pp. 79-84, 1998.
- J.L. Crowley and F. Berard, "Multi-Modal Tracking of Faces for Video Communications," *Proc. 1997 IEEE CS Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 640-645, 1997.
- J.M. Miller, H.L. Hall, J.E Greivenkamp, and D.L. Guyton, "Quantification of the Bru" ckner Test for Strabismus," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 36, no. 4, pp. 897- 905, 1995.
- J.S. Agustin, A. Villanueva, and R. Cabeza, "Pupil Brightness Variation as a Function of Gaze Direction," *Proc. 2006 Symp. Eye Tracking Research and Applications*, pp. 49-49, 2006.
- K. Grauman, M. Betke, J. Gips, and G.R. Bradski, "Communication via Eye Blinks: Detection and Duration Analysis in Real Time," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. I, pp. 1010-1017, 2001.
- K.-N. Kim and R.S. Ramakrishna, "Vision-Based Eye-Gaze Tracking for Human Computer Interface," *Proc. IEEE Int'l Conf. Systems, Man, and Cybernetics*, 1999.
- L.-P. Bala, K. Talmi, and J. Liu, "Automatic Detection and Tracking of Faces and Facial Features in Video Sequences," *Proc. Picture Coding Symp.*, Sept. 1997.
- Q. Ji, X. Yang, Real time visual cues extraction for monitoring driver vigilance, in: *Proc. Int. Workshop on Computer Vision Systems*, Vancouver, Canada, 2001.
- R. C. Coetzer and G. P. Hancke, "Eye detection for a real-time vehicle driver fatigue monitoring system," in *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, Jun. 2011, pp. 66_71.
- R. M. Sundaram, B. C. Dhara, and B. Chanda, "A fast method for iris Localization," in *Proc. 2nd Int. Conf. EAIT*, 2011, pp. 89_92.
- R. Valenti and T. Gevers, "Accurate Eye Center Location and Tracking Using Isophote Curvature," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008.
- S. Kawato and N. Tetsutani, "Detection and Tracking of Eyes for Gaze-Camera Control," *Proc. 15th Int'l Conf. Vision Interface*, 2002.

S. Sirohey, A. Rosenfeld, and Z. Duric, "A Method of Detecting and Tracking Irises and Eyelids in Video," *Pattern Recognition*, vol. 35, no. 6, pp. 1389-1401, June 2002.

S.A. Sirohey and A. Rosenfeld, "Eye Detection in a Face Image Using Linear and Nonlinear Filters," *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 1367-1391, 2001.

T. Ishikawa, S. Baker, I. Matthews, and T. Kanade, "Passive Driver Gaze Tracking with Active Appearance Models," *Proc. 11th World Congress Intelligent Transportation Systems*, Oct. 2004.

T.F. Cootes and C.J Taylor, "Active Shape Models—'Smart Snakes'", *Proc. British Machine Vision Conf.*, pp. 266-275, 1992.

X. Li and W. G. Wee, "An efficient method for eye tracking and eye-gazed FOV estimation," in *Proc. 16th IEEE Int. Conf. Image Process.*, Nov. 2009, pp. 2597_2600.

Zhu Z., Qiang J. (2005): «Robust real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations», *Computer Vision and Image Understanding*, Elsevier.