



ردیابی بلادرنگ جهت نگاه چشم انسان با استفاده از فیلترهای ذره ای

محمود خوش گفتار*، دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان،
mahmoud.khoshgofar@gmail.com

محمود محلوجی، دکتری تخصصی، عضو هیات علمی گروه برق و مخابرات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان،
mmahlouji@yahoo.com

چکیده: در این مقاله روشی برای آشکارسازی ناحیه صورت به عنوان یک مرحله کلیدی در استخراج ویژگی‌های صورت و بالاخص چشم‌ها در تصاویر رنگی و ردیابی جهت نگاه فرد برای کاربردهای بلادرنگ با استفاده از فیلترهای ذره‌ای ارائه شده است. برای جلوگیری از اثرات تغییرات شدت نور ابتدا فضای رنگ از RGB به YCbCr تبدیل شده و سپس با استفاده از تابع گوسین دومقداره و آستانه ناحیه پوستی، ناحیه صورت استخراج می‌شود. سپس با تابع پروجکشن عمودی و افقی حدود ناحیه چشم استخراج شده و با استفاده از تبدیل هاف محل دقیق مردمک به دست می‌آید. پس از آن با استفاده از فیلتر ذره‌ای عملیات ردیابی انجام می‌گیرد. استفاده از فیلتر ذره‌ای باعث می‌شود سرعت و دقت کار ردیابی بالاتر رود. از آنجائیکه روش پیشنهادی بر اساس محاسبات ساده ریاضی و بهینه‌سازی پردازش انجام شده فقط برای محدوده صورت می‌باشد برای کاربردهای از کارآیی خوبی برخوردار است. نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی نشان می‌دهد این روش توانایی قابل ملاحظه‌ای در ردیابی بلادرنگ جهت نگاه انسان دارد.

کلمات کلیدی: آشکارسازی صورت، آشکارسازی چشم، تبدیل هاف، ردیابی جهت نگاه، فیلتر ذره‌ای

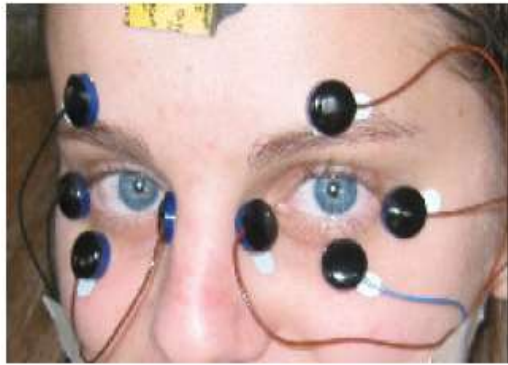
۱. مقدمه

با اختراع کامپیوتر در اواسط قرن گذشته و برای استفاده انسان از آن نیاز به رابط‌های مناسب برای کاربران آن بوجود آمد که از اولین آنها می‌توان از صفحه کلید نام برد. اکنون بسیاری از تحقیقات در زمینه تعامل کامپیوتر و انسان با هدف ایجاد تعامل ساده‌تر، مستقیم‌تر، و کارآمدتر ایجاد شده است. امروزه انواع مختلف دستگاه‌های اشاره، سطوح حساس به لمس، نمایشگر با وضوح بالا، میکروفن و بلندگو دستگاه‌های دارای کاربرد عمومی برای تعامل کامپیوترهای امروزی و انسان می‌باشند. روش‌های جدیدی نیز مانند صحبت کردن، حرکات فیزیکی و یا ابزارهای لمسی با سنسور وجود دارد که یکی از این روش‌ها ردیابی جهت نگاه است. در اکثر سیستم‌ها خیره شدن چشم انسان تنها روش ورودی است ولی در بعضی نیز می‌تواند با ابزارهای دیگر مانند موس نیز ترکیب شود. روش‌های مختلفی برای آشکارسازی ناحیه‌ی صورت وجود دارد که در ۴ دسته قابل تقسیم‌بندی می‌باشند:

۱. روش‌های دانش‌محور: که بر اساس قوانین خاصی، از کدگذاری دانش بشر در تعریف چهره استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های مطرح در این زمینه روش مبتنی بر قانون با دقت چندگانه است [۱].
 ۲. روش‌های مبتنی بر تغییرناپذیری ویژگی: روش‌هایی هستند که به دنبال ویژگی‌هایی در ساختار چهره می‌گردند که نسبت به ژست، نورپردازی و غیره تغییر نکنند و یکسان باشند. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان چهره‌های ویژه و مدل‌های پوستی را نام برد [۲].
 ۳. روش‌های تطبیق الگو: در این روش‌ها میزان همبستگی بین الگوهای استاندارد چهره با تصویر آشکارسازی شده‌ی ورودی محاسبه می‌شوند. نمونه‌ای از این روش‌ها، الگوهای از پیش تعریف شده و الگوهای تغییر شکل پذیر می‌باشند [۳].
- روش‌های ظاهر محور: برخلاف روش‌های تطبیق الگو در این روش‌ها از مدل‌هایی استفاده می‌کنند که برگرفته از فراگیری آموزشی در نشان دادن تنوع چهره‌ها است. شبکه‌های



مزیت های این روش آن است که هنگامی که چشم بسته است یا زمانی که شخص به خواب رفته است نیز می تواند حرکت چشم را تشخیص دهد. این روش آسان، ارزان و غیرتهاجمی برای اندازه گیری حرکت های بزرگ چشم است ولی برای اندازه گیری حرکات کوچک چشم دقت لازم را ندارد [۸، ۹].



شکل ۲ سنسورهای متصل به اطراف چشمها

همچنین در روش اکولوگرافی با نور مادون قرمز به این صورت است که اگر یک منبع نور ثابت بصورت مستقیم به چشم بتابد، اندازه نور منعکس شده به یک سنسور با مکان ثابت با حرکت چشمها، تغییر خواهد کرد. این روش در بسیاری از ارزیابی های هدف های تجاری استفاده می شود. نور قرمز بصورت نامرئی بوده و باعث پرت شدن حواس شخص مورد آزمایش نمی شود. این روش دقت نسبتا خوبی دارد و برای اندازه گیری حرکت افقی چشم مناسب تر می باشد ولی پلک زدن چشم باعث بوجود آمدن خطا می شود. روش های آشکارسازی صورت و چشم معمولا دارای چهار مرحله ی اساسی می باشند: ابتدا تصویر ورودی را می گیرند. ناحیه ی صورت را آشکارسازی می کنند. اجزای صورت نظیر چشمها، بینی و دهان استخراج می شوند و در نهایت با استخراج ویژگی های هر یک از اجزای صورت، مانند چشمها فرآیند شناسائی کامل می شود. شیوه های مختلفی برای آشکارسازی چشمها در روش های مبتنی بر تصویر وجود دارند که به چهار دسته کلی تقسیم می شوند: روش های مبتنی بر شکل، روش های مبتنی بر تغییرناپذیری ویژگی، روش های مبتنی بر ظاهر، روش های ترکیبی [۱۰].

۳. ردیابی چشم

درباره موضوع ردیابی باید دید انگیزه ضبط حرکات چشم چیست و اینکه چرا ردیابی چشم مهم است؟ بطور ساده ما چشمها را حرکت می دهیم تا یک بخش خاص از زمینه قابل

عصبی [۴]، مدل مارکوف مخفی [۵] و الگوریتم آدابوست (Adaboost) [۶] مثال های شاخص این روشها می باشند.

۲. روش های آشکارسازی چشم

راه های بسیاری برای ارزیابی حرکات چشم وجود دارد. برخی از این روشها در مشاهدات بالینی در آزمایشگاه و به صورت کیفی می باشد. با این حال، ارزیابی کمی پارامترها به اندازه گیری دقیق و قابل تکرار از حرکات چشم و اندازه گیری از مشخصه های بصری (معمولا درجه زاویه دید)، سرعت (معمولا به صورت درجه بر ثانیه) و زمان انجام می شود. برای ردیابی چشم سه روش کلی وجود دارد:

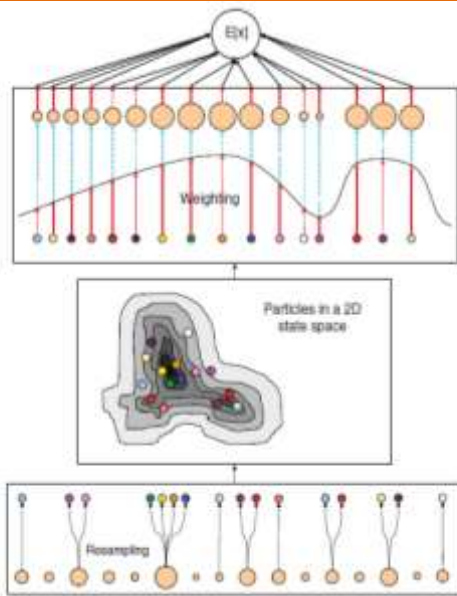
۱. قرار دادن حسگر مستقیم روی چشم انسان
۲. الکتروکولاگرافی
۱. روش های مبتنی بر تصویر

در روش اول اهرمهایی کوچک روی چشم انسان نصب می گردد اما از آنجا که احتمال آسیب زدن به چشم وجود دارد این روش به ندرت استفاده می شود. در روشی معمول تر لنزی اصلاح شده روی چشم قرار می گیرد (شکل ۱). هنگامی که یک سیم پیچ از سیم در یک میدان مغناطیسی حرکت می کند، این میدان باعث ایجاد ولتاژ در سیم پیچ می شود. به منظور اندازه گیری حرکات چشم انسان، حلقه کوچک از سیم در یک لنز اصلاح شده تعبیه شده است. این لنز به چشم وارد شده و برای حرکت افقی و عمودی دو سیم پیچ نصب می شود. یک سیگنال برای هر یک از حرکت های افقی و عمودی دریافت می شود. مزیت بزرگ این روش اندازه گیری تغییرات کوچک مکانی و زمانی چشم است. با این حال این روش یک روش تهاجمی بوده و وسیله باید روی چشم انسان نصب و در موارد حیوانات باید عمل جراحی انجام شود [۷].



شکل ۱ سیم پیچ های به شکل لنز قرار گرفته در چشم

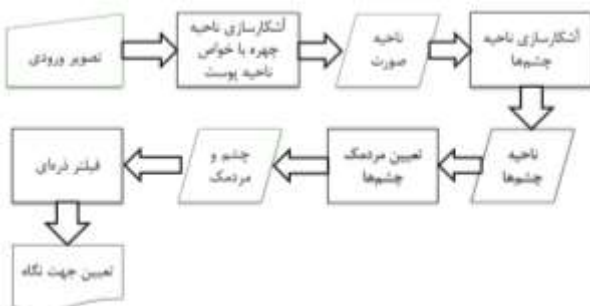
در روش الکتروکولاگرافی (شکل ۲) حسگرهایی روی پوست صورت انسان نصب می شوند و پتانسیل الکتریکی حرکت ماهیچه های چشم را اندازه گیری و تحلیل می نمایند. یکی از



شکل ۳. شماتیک یک فیلتر ذره‌ای با نمونه‌برداری اصولی. از پائین به بالا: ذره‌های نمونه توسط فیلتر و تغییر آنها در فضای حالت. سپس استفاده از مشاهدات تازه، فیلتر وزن ذرات را به‌روزرسانی می‌کند [۱۱]

۴. روش پیشنهادی

روش پیشنهادی آشکارسازی ناحیه پوست صورت بر اساس استفاده از تبدیل فضای رنگ از RGB به YCbCr و به کارگرفتن خاصیت رنگ پوست و تابع گوسین دومقداره است که با تعیین آستانه ناحیه صورت آشکارسازی می‌شود. سپس از توابع فرسایش و توسعه استفاده کرده و قسمتهای اضافه و نویز حذف شده و نواحی داخل ترمیم می‌شوند [۱۵].



شکل ۴. دیاگرام بلوکی روش پیشنهادی

برای آشکارسازی ناحیه چشم از توابع پروجکشن افقی و عمودی استفاده می‌شود. پس از به دست آوردن ناحیه حدودی چشمها از تبدیل هاف برای تعیین محل دقیق مردمک بکار گرفته

مشاهده از تصویر را با وضوح بالا و با جزئیات دقیق در مسیر جهت نگاه ببینیم. اغلب توجه خود را به نقطه‌ای مربوط به جسم یا منطقه موردنظر متمرکز می‌نماییم. بنابراین، ما اگر فرض کنیم که بتوانیم جهت حرکت چشم را ردیابی نماییم، می‌توانیم جهت توجه شخص ناظر را نیز دنبال نمائیم.

روش‌های ردیابی چشم و تشخیص در سه دسته قرار می‌گیرند: الگوهای تغییرپذیر، روش‌های مبتنی بر ظاهر، روش‌های مبنی بر ویژگی

الگوهای قابل تغییر و روش‌های مبتنی بر ظاهر بر ساخت مدل بطور مستقیم بر ظاهر مدل ناحیه دربرگیرنده چشم تکیه می‌کنند در حالیکه روش مبتنی بر ویژگی در استخراج ویژگی‌های محلی از ناحیه چشم تکیه می‌کند.

ما می‌توانیم روش‌های تعیین موقعیت را به دو گروه تقسیم کنیم:

روش موقعیت‌یابی تک فرضیه‌ای^۲ (SHL) که در آن فقط یک شی نامزد ردیابی در هر زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد و روش موقعیت‌یابی چندفرضیه‌ای^۳ (MHL) که چند داوطلب برای ردیابی و شبیه‌سازی وجود دارند. امکان انتشار فرضیه‌های چندگانه می‌تواند کیفیت ردیاب را بهتر کند [۱۱].

روش چندفرضیه از روش‌هایی است که انتخاب فرضیه بر اساس کشفیات ساده‌ای برای حل مسائل پیچیده استوار بوده و بر اساس قالب‌های آماری هستند. محبوب‌ترین الگوریتم موقعیت چندفرضیه‌ای فیلتر ذره‌ای [۱۲-۱۴] نام دارد که یک تقریب مونت کارلو از ردیابی بازگشتی بیزین است (شکل ۳). استفاده از چندفرضیه‌ای‌ها به الگوریتم‌های مانند فیلتر ذره‌ای اجازه می‌دهند که بهتر با توابع چندرابطه‌ای در حالت‌های انسداد و یا درهمی کنار بیایند. در مقایسه با روش‌های تعیین موقعیت تک فرضیه، روش‌های موقعیت‌یابی چندفرضیه‌ای محاسبات سنگین‌تر و محدودیت‌های قوی‌تری روی ابعاد فضای حالت دارند. در واقع تعداد فرضیه که برای یک فضای حالت چندبعدی لازم است با تعداد ابعاد در فضای حالت زیاد می‌شود.

تخمین حالت معمولاً با در نظر گرفتن حداکثر برآورد پسینی انجام می‌شود. ذره با بزرگترین وزن، یا با محاسبه انتظار بیش از وزن ذرات است.

³ Multiple-hypothesis localisation

² Single-hypothesis localisation

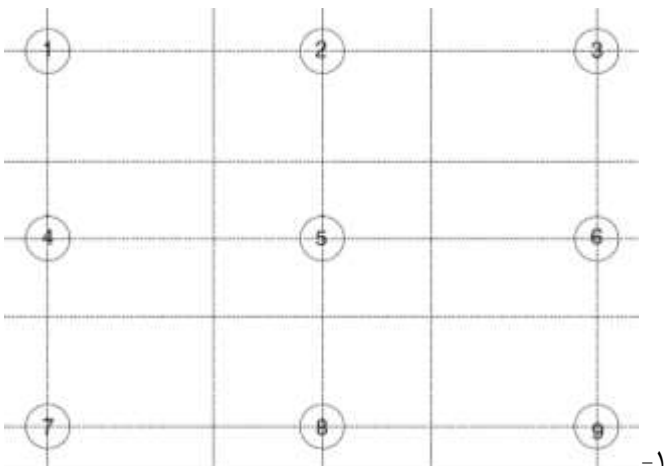


۴.۳. تعیین نقطه مبدا

این مبدا را می توان بر این اساس تعیین کرد که محور عمودی بین دو چشم می تواند گزینه خوبی برای تعیین مبدا باشد. برای این کار در منطقه چشم تعیین شده ابتدا نقاط تنها را به عنوان نویز شناسائی کرده و حذف می کنیم. در واقع چیزی که باقی می ماند چشم ها می باشند. حال با استفاده از پروجکشن افقی و میزان فراوانی نقاط در محور افقی منطقه کاملا با فراوانی خالی در تصویر به دست می آید که میانه این منطقه محور عمودی موردنظر است. برای تعیین محور افقی نیز از گوشه ها استفاده می شود. اکنون نقطه ای داریم که می توان به عنوان نقطه مرجع تعریف کرده و بر اساس آن عمل تحلیل جهت نگاه انجام شود.

۴.۳.۱. کالیبراسیون جهت نگاه

انجام کالیبراسیون به این صورت است که کاغذ A4 را مطابق شکل ۶ به نقطه مشخص کرده و کاربر به نقاط شماره گذاری شده نگاه کرده و از آن عکسبرداری می شود. باید دقت شود کاربر چرخش نداشته باشد و در حالت کاملا افقی و بدون حرکت از موقعیت اولیه انجام شود. حرکت سر در جهت های مختلف باعث تغییر در اعداد شده و در نتیجه کار تاثیر خواهد گذاشت.



شکل ۶ موقعیت نقاط کالیبراسیون

این کالیبراسیون در فاصله ۴۰ سانتیمتری صفحه ذکر شده ۳ بار انجام شده است و تصویر مربوط به هر جهت را در شکل ۷ مشاهده می کنید.

می شود. سپس با اعمال کالیبراسیون و تعیین ۹ جهت برای تشخیص جهت نگاه جهت نگاه به دست آمده است. برای ردیابی چشم و جهت نگاه نیز از فیلتر ذره ای استفاده شده است (شکل ۴).

۴.۱. آشکارسازی مردمک با تبدیل هاف

با استفاده از تبدیل هاف دایره ای [۱۶] و اعمال تنظیمات برای عملگر آن می توان روی تصویر، دایره با محدوده شعاعی تنظیم شده را آشکارسازی نمود. در این حالت و با جداسازی ناحیه چشم در مرحله قبل و استفاده از عملگر تبدیل هاف دایره ای دو دایره موردنظر یعنی مردمک چشم چپ و راست و مرکز آنها آشکارسازی می شود. الگوریتم تبدیل هاف دایره ای استفاده شده به صورت زیر خلاصه می شود:

۱. یافتن لبه ها در تصاویر
۲. برای هر نقطه لبه تبدیل هاف انجام می شود
۳. دو دایره با مرکزیت نقطه لبه با شعاع تنظیم شده رسم و تطبیق داده می شود



شکل ۵ تعیین محل دقیق مردمک

با استفاده از لبه یاب سوبل و تنظیم آستانه موردنظر ابتدا لبه های مفید تصویر به دست آمده و با استفاده از تبدیل هاف و تنظیم محدوده شعاع دایره مردمک چشم و تعداد دایره موردنظر که در اینجا ۲ عدد است، محل دقیق مردمک چشم به دست می آید (شکل ۵).

۴.۲. تشخیص جهت نگاه

برای تشخیص جهت نگاه ما احتیاج به یک مبدا داریم که بر اساس مرکز مردمک یکی از چشم ها بتوانیم جهت نگاه را تعیین کنیم. همچنین با کالیبراسیون می توانیم جهت نگاه را تشخیص دهیم.



مردمک در مرحله قبل از ردیابی و تعیین فاصله فقط کافی است یکی از مردمک‌ها ردیابی و جهت نگاه تحلیل و تعیین شود.

در الگوریتم‌های مونت کارلو بر مبنای فرآیندهای تصادفی، ذرات را بصورت تصادفی پخش کرده و هیستوگرام هر ذره محاسبه می‌شود. سپس وزن هر ذره بر اساس فاصله هیستوگرام، به عنوان مکان هدف انتخاب می‌شود. منظور از فاصله همان فاصله باتاچاریا است که عبارت است از میزان شباهت دو توزیع آماری چه بصورت پیوسته یا گسسته.

در مرحله بعد مجموعه ذرات از روی ذرات مرحله قبلی انتخاب و بروزرسانی می‌شوند. پس از آنکه ذرات بصورت تصادفی رو ناحیه هیستوگرام تعیین شده قبلی پخش شدند، این محوطه که بصورت بیضی افقی انتخاب می‌شود و بصورت کادر مستطیلی محیط شده روی بیضی قرار می‌گیرد و در این محیط کوچک دنبال مردمک با تبدیل هاف می‌گردیم. در تمامی این مراحل حرکت چشم توسط فیلتر ذره‌ای دنبال می‌شود. برای به دست آوردن جهت نگاه احتیاج به مرکز مردمک داریم که توضیح دادیم که چگونه با تبدیل هاف آن را به دست می‌آوریم. در این مرحله به جای آن که تمامی مراحل شناسائی ناحیه پوستی، چشمی و مردمک را انجام دهیم بر اساس روش ردیابی مبتنی بر فیلتر ذره‌ای فقط کافی است که ناحیه چشم‌ها را دنبال نمائیم و پس از آن نیز عمل تحلیل انجام شود. یعنی در محدوده کوچکی باز از تبدیل هاف استفاده کرده و مردمک را شناسایی نموده و پس از آن جهت نگاه را با تعریف‌هایی که مشخص کرده‌ایم و با توجه به کالیبراسیون انجام می‌دهیم. جهت نگاه صحیح مطابق نمونه‌ای در شکل ۸ به دست آمده است.



شکل ۸ نمونه تعیین جهت نگاه

جهت	تصویر دریافت شده
جهت ۱ بالا چپ	
جهت ۲ بالا روبرو	
جهت ۳ بالا راست	
جهت ۴ روبرو چپ	
جهت ۵ روبرو	
جهت ۶ روبرو راست	
جهت ۷ پائین چپ	
جهت ۸ پائین روبرو	
جهت ۹ پائین راست	

شکل ۷ جهت نگاه در ۹ جهت تعیین شده کالیبراسیون

پس از آن موقعیت مردمک و مرکز موردنظر که فاصله وسط بین دو گوشه چشم است، را محاسبه کرده و موقعیت نسبی یا همان فاصله را برای چشم راست و چشم چپ محاسبه کرده و برای هر چشم دو ماتریس ۹ در ۹ یکی برای موقعیت فاصله افقی و دیگری برای موقعیت فاصله عمودی محاسبه و مبنای محاسبات تعیین جهت نگاه قرار می‌دهیم. پس از آن اعداد به دست آمده در طی این سه آزمایش در جدول ذخیره شده و متوسط این اعداد به عنوان فاصله از مرکز در تابع تعیین جهت نگاه ذخیره می‌شود.

۵. تعیین جهت نگاه

روش کار به این صورت است که فاصله افقی بین مرکز مردمک سمت راست تا مبدا و همچنین مرکز مردمک سمت چپ تا مبدا محاسبه می‌شود. اگر این دو مقدار تا حدودی برابر بودند یعنی مقدار کوچکی را بر اساس کالیبراسیون صرفنظر می‌کنیم و همچنین فاصله عمودی نیز محاسبه می‌گردد. سپس بر اساس جهت‌های تعریف شده ۹ حالت برای جهت نگاه در نظر می‌گیریم و آن را اعلام می‌نماییم. البته در مرحله ردیابی دیگر احتیاج به تعیین هر دو مردمک نداریم و با استفاده از تعیین



۶. نتایج

همانطور که توضیح داده شد برای بدست آوردن دقیق مرکز مردمک از تبدیل هاف استفاده شده که نتایج آزمایش شده روی تعدادی از ناحیه چشم‌های جدا شده از صورت را در جدول ۱ مشاهده می‌کنید. همچنین در

جدول ۱ تعیین محل دقیق مردمک



شکل ۱۰ نمونه تشخیص صحیح جهت نگاه

نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی نسبتاً سریع برای آشکارسازی ناحیه چشم‌ها و ردیابی آنها و همچنین تشخیص جهت نگاه معرفی شده است. استفاده از فیلتر ذره‌ای باعث سرعت بخشیدن به کار ردیابی شده است بطوریکه در آزمایشی بدون استفاده از فیلتر ذره‌ای سرعت پردازش برای ردیابی جهت نگاه و استفاده از بهترین حالت‌های بهینه‌سازی که مثلاً در این آزمایش محدود نمودن ناحیه صورت از کل تصویر و پردازش فقط در اطراف این ناحیه بوده است، تنها سرعت ۱۰ فریم بر ثانیه برآورد شده است. در حالیکه استفاده از فیلتر ذره‌ای سرعت پردازش تصویر آزمایش را از ۱۷ تا ۱۹ فریم بر ثانیه بالا برده است. میزان درستی این روش و دقت به دست آمده در حدود ۹۱٪ بوده است.

مراجع

- [1] G. Yang and T. S. Huang, "Human face detection in a complex background," *Pattern recognition*, vol. 27, pp. 53-63, 1994.
- [2] M. S. Allili and D. Ziou, "Object tracking in videos using adaptive mixture models and active contours," *Neurocomputing*, vol. 7, pp. 2001-2011, 2008.

این تحقیق به بررسی فیلمی با ۸۰۰ فریم از کاربر در فاصله تعیین شده و حالت سر کاملاً ثابت پرداخته شده که از این تعداد فریم حدود ۷۵ فریم با تشخیص غلط جهت نگاه همراه بوده و در سایر تصاویر به درستی جهت نگاه تشخیص داده شده است (شکل ۹ و ۱۰). مقدار صحت این روش در تعداد فریم آزمایش شده حدود ۹۱٪ درصد می‌باشد.



شکل ۹ نمونه تشخیص غلط جهت نگاه



- [3] Z. Jin, Z. Lou, J. Yang, and Q. Sun, "Face detection using template matching and skin-color information," *Neurocomputing*, vol. 70, pp. 794-800, 2007.
- [4] C. Lin, "Face detection in complicated backgrounds and different illumination conditions by using YCbCr color space and neural network," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, pp. 2190-2200, 2007.
- [5] N. Rajput, P. Jain, and S. Shrivastava, "Face detection using HMM-SVM method," in *Advances in Computer Science, Engineering & Applications*, ed: Springer, 2012, pp. 835-842.
- [6] J.-q. Zhu and C.-h. Cai, "Real-time face detection using gentle AdaBoost algorithm and nesting cascade structure," in *Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), 2012 International Symposium on*, 2012, pp. 33-37.
- [7] N. A. Ramey, H. S. Ying, K. Irsch, M. C. Müllenbroich, R. Vaswani, and D. L. Guyton, "A novel haploscopic viewing apparatus with a three-axis eye tracker," *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, vol. 12, pp. 498-503, 2008.
- [8] A. Bulling, J. A. Ward, H. Gellersen, and G. Troster, "Eye Movement Analysis for Activity Recognition Using Electrooculography," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 33, pp. 741-75, 2011.
- [9] J. C. Bárcia, "Human electrooculography interface," Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Física Tecnológica, Lisboa, 2010.
- [10] D. W. Hansen and Q. Ji, "In the eye of the beholder: A survey of models for eyes and gaze," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 32, pp. 478-500, 2010.
- [11] E. Maggio and A. Cavallaro, *Video tracking: theory and practice*: John Wiley & Sons, 2011.
- [12] M. S. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon, and T. Clapp, "A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-Gaussian Bayesian tracking," *Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 50, pp. 174-188, 2002.
- [13] K. Nummiaro, E. Koller-Meier, and L. Van Gool, "Object Tracking with an Adaptive Color-Based Particle Filter," in *Pattern Recognition*. vol. 2449, L. Van Gool, Ed., ed: Springer Berlin Heidelberg, 2002, pp. 353-360.
- [14] S. K. Zhou, R. Chellappa, and B. Moghaddam, "Visual tracking and recognition using appearance-adaptive models in particle filters," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 1491-1506, 2004.
- [۱۵] محمود محلولی، محمود خوش‌گفتار، "آشکارسازی ناحیه‌ی چشم‌ها در تصاویر رنگی صورت انسان برای کاربردهای بلادرنگ." دوازدهمین کنفرانس ملی سیستمهای هوشمند، ۱۳۹۲.
- [16] M. van Ginkel, C. L. Hendriks, and L. J. van Vliet, "A short introduction to the Radon and Hough transforms and how they relate to each other," *the Quantitative Image Group Technical Report Series, N. QI-2004-01*, pp. 1-9, 2004.