

شناسایی چهره بر اساس ظاهر در رشته‌های ویدئویی

سجاد شفیع‌پور یوردشاهی^۱، دانش آموخته کارشناسی ارشد، میرهادی سیدعربی^۲، دانشیار، علی آقاگل‌زاده^۳، استاد

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - shafipor@yahoo.com

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - seyedarabi@tabrizu.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - بابل - ایران - aghagol@nit.ac.ir

چکیده: در چند سال گذشته شناسایی چهره بر اساس ویدئو مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در روش شناسایی چهره بر اساس ویدئو، مشکلاتی همچون تغییر شدت روشنایی، چرخش سر، پوشش قسمتی از چهره، تفکیک‌پذیری پایین تصویر، وجود دارد. هدف از این پژوهش ارائه یک روش جهت شناسایی چهره بر اساس ویدئو جهت حل مشکلات چرخش سر، تغییر شدت روشنایی و انسداد قسمتی از چهره است. در این تحقیق ابتدا جهت حذف تصویر زمینه، چهره در فریم‌های ویدئو تشخیص داده می‌شود. سپس تصاویر هر مجموعه بر روی منیفولد به صورت غیرخطی توزیع یافته را با استفاده از روش‌های مناسبی خوشه‌بندی می‌کنیم. تعیین تعداد خوشه‌ها و مدل‌های خطی کاملاً هوشمندانه بوده و با اجرای این روش، با توجه به حرکات سر تعداد خوشه‌های متفاوت برای هر رشته ویدئویی به دست می‌آید. دو روش جهت خوشه‌بندی و به دست آمدن مدل‌های خطی پیشنهاد می‌گردد. برای انجام شناسایی از محاسبه فاصله بین منیفولدهای غیرخطی استفاده می‌شود که از ترکیب دو روش تشکیل یافته است. در روش اول از فاصله بین خوشه‌های به دست آمده که به عنوان زیر فضای خطی در نظر گرفته می‌شوند استفاده می‌گردد و در روش دوم از فاصله بین فریم‌های کلیدی هر خوشه جهت شناسایی استفاده می‌شود. در نهایت نتایج به دست آمده با روش‌های دیگر مقایسه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شناسایی چهره، منیفولد، خوشه، زاویه اصلی، همبستگی، فریم کلیدی، بردار حرکت

Appearance-based Face Recognition in Video Sequences

S. Shafeipour¹, M. H. Seyed Arabi², A. Aghagolzadeh³

1, 2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Iran- Tabriz

3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Abstract: Video-based face recognition has received significant attention in recent years. There are some problems in video-based face recognition method such as pose, lighting and expression variations, occlusion, aging and low image resolutions. In this paper, first of all face in video frames is detected for background removing. Then each set of images is distributed on a nonlinear manifold and clustered using appropriate methods. Determination of the number of clusters and linear models is quite intelligent and with implementation of this method, the number of clusters depends on different movements of head. Two methods are proposed for clustering and linear models. The distance between nonlinear manifolds that is composed of the combination of two methods, are used for recognition. The first method uses the distance between the clusters which are considered as the linear space and the second method uses the distance between key frames for recognition. Finally the results are compared with other methods.

Keywords: Face recognition, manifold, clustering, principal angles, correlation, key frame, motion vector.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۶

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۱۱

نام نویسنده مسئول: میرهادی سیدعربی

نشانی نویسنده مسئول: تبریز - بلوار ۲۹ بهمن - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

شناسایی چهره از زمینه‌های تحقیقاتی مهم مرتبط با مباحث شناسایی الگو و بینایی ماشین است و علیرغم پیشرفت‌های قابل توجه، هنوز یک روش شناسایی کامل که دارای دقت و سرعت بالا و مستقل از تغییرات شدت روشنایی، چرخش سر، تغییرات سن، پوشش قسمتی از چهره و حالات چهره باشد، وجود ندارد. روش‌های شناسایی از جهت نوع اطلاعات ورودی به دو دسته‌ی تصاویر ثابت و تصاویر ویدئویی تقسیم‌بندی می‌شوند. بیش‌تر الگوریتم‌های ارائه‌شده در زمینه شناسایی چهره مربوط به تصاویر ثابت است. از جهت نوع اطلاعات مورد استفاده می‌توان روش‌های شناسایی را به سه دسته تقسیم‌بندی نمود: الف) تصاویر دوبعدی که از داده‌های شدت روشنایی چهره برای شناسایی استفاده می‌کنند و نسبت به تغییرات زاویه چهره و زاویه نور تابشی بسیار حساس هستند، ب) تصاویر سه‌بعدی که از داده‌های سه‌بعدی یا عمق جهت شناسایی استفاده می‌کنند. این تصاویر نسبت به تغییرات شدت روشنایی و زاویه چهره مقاوم بوده ولی نسبت به موهای چهره بسیار حساس هستند. به‌تازگی با توجه به اینکه تصویربرداری سه‌بعدی چهره بسیار ارزان و سریع شده است، این روش بسیار مورد توجه قرار گرفته است، ج) روش سوم از ترکیب تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی جهت شناسایی استفاده می‌کند. از جهت روش مورد استفاده، روش‌های شناسایی چهره را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود: ۱) روش‌های ظاهرگرا، ۲) روش‌های مدل‌گرا، ۳) روش‌های ترکیبی که از هر دو روش مذکور استفاده می‌کنند [۱].

در روش‌های ظاهرگرا از کل تصویر چهره یک بردار ویژگی به دست آورده می‌شود. با توجه به بالابودن ابعاد، از روش‌های آماری جهت کاهش بعد استفاده می‌کنند. از روش‌های ظاهرگرا می‌توان روش تجزیه و تحلیل المان‌های اصلی^۱ PCA (پیشنهاد شده توسط Turk و Pentland در سال ۱۹۹۱ [۲])، روش تجزیه و تحلیل المان‌های مستقل ICA^۲ (معرفی شده توسط Bartlett در سال ۱۹۹۸ [۳]) و روش تجزیه و تحلیل جداساز خطی^۳ LDA (ارائه شده توسط Belhumeur در سال ۱۹۹۷ [۴]) را نام برد. از روش‌های مدل‌گرا می‌توان به روش گراف الاستیکی^۴ [۵] و از روش‌های دسته سوم، می‌توان روشی که از ترکیب چهره ویژه، بینی ویژه و چشم ویژه استفاده می‌کند، اشاره کرد [۶]. استفاده از روش‌های ظاهرگرا به علت سادگی و نتایج مطلوب برای حل مشکل شناسایی چهره بسیار رایج است.

در مقایسه با تصاویر ثابت، ویدئو دارای اطلاعات زیادی همچون اطلاعات زمانی است. بنابراین شناسایی چهره بر اساس ویدئو به‌تازگی جزء بحث‌های مهم در شناسایی چهره شده است. روش‌های اولیه برای شناسایی چهره بر اساس ویدئو، بر مبنای تصویر ثابت بود که در آن چهره به‌طور خودکار از ویدئو تشخیص و تقسیم‌بندی شده، سپس روش‌های شناسایی چهره بر اساس تصویر ثابت اعمال می‌شد. عملکرد این روش‌ها را می‌توان با اعمال ردیابی ارتقا داده و با تعیین چهره دید

از روبرو از طریق تخمین زاویه و عمق در رشته‌ی ویدئویی، دقت شناسایی را بهبود بخشید.

روش دیگر شناسایی چهره بر اساس ویدئو، استفاده از ویژگی‌های مرکب همچون اثر انگشت، چهره و صدا است. با توجه به اینکه به‌طور معمول انسان از چندین ویژگی جهت شناسایی استفاده می‌کند، می‌توان انتظار داشت روش مرکب عملکرد بهتر از روش‌هایی که فقط بر اساس چهره عمل می‌کنند، داشته باشد. استفاده از ویژگی‌های مرکب یک راه‌حل جامع برای حالتی است که شناسایی تنها توسط چهره امکان‌پذیر نیست. به‌طور مثال چهره دزد در حین ارتکاب دزدی عموماً پوشانده است. تنها راه انجام شناسایی در این حالت استفاده از تجزیه و تحلیل حرکات بدن است.

با استفاده از ویدئو جهت شناسایی، امکان به‌کارگیری اضافه‌های موجود در رشته‌های ویدئویی وجود دارد که موجب اصلاح عملکرد شناسایی می‌شود. همچنین مطالعات اخیر روانشناسی نشان می‌دهد اطلاعات پویا در فرآیند شناسایی چهره خیلی مهم است. از طرف دیگر نمایش مؤثرتری همچون مدل سه‌بعدی چهره و یا تصاویر با تفکیک‌پذیری بالاتر از رشته‌های ویدئویی به دست می‌آید که در شناسایی چهره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با وجود موارد ذکر شده، معایبی هم در استفاده از ویدئو در شناسایی چهره وجود دارد، به‌طور مثال کیفیت پایین ویدئو، تفکیک‌پذیری پایین تصویر و عوامل مؤثر دیگر همچون تغییر شدت روشنایی، تغییر زاویه، حرکت، انسداد، فاصله زیاد از دوربین و ... علی‌رغم همه مزایا و معایب، روش‌های مختلفی برای شناسایی چهره بر اساس ویدئو وجود دارد. هدف از این پژوهش ارائه یک روش جهت شناسایی چهره بر اساس ویدئو برای حل مشکلات چرخش سر، تغییر شدت روشنایی و پوشش قسمتی از چهره است. نوآوری الگوریتم پیشنهادی شامل موارد زیر است:

- ارائه روش جدید در تعیین چهره در فریم‌های متوالی در رشته‌ی ویدئویی
- ارائه دو الگوریتم متفاوت برای خوشه‌بندی ویدئوها جهت به دست آوردن مدل‌های خطی و فریم‌های کلیدی حتی در حرکات سریع سر.
- مقاوم بودن الگوریتم پیشنهادی به عدم مرکزیت چهره در ناحیه تشخیص داده شده به‌عنوان چهره.

۲- بررسی منابع

Zhao و همکارانش سه مرحله مهم برای شناسایی چهره بر اساس ویدئو را ذکر کرده‌اند. این سه مرحله شامل بخش‌بندی و تخمین زاویه چهره در یک رشته ویدئویی، ردیابی و مدل‌کردن چهره هستند [۷]. در [۸]، Vivek و همکارانش یک روش مدل‌کردن چهره را توصیف نموده‌اند که در این مدل ویژگی‌های چهره و بافت از رشته ویدئویی تخمین زده می‌شوند. این روش هم از سه مرحله استفاده

Lee و همکارانش [۱۸] چهره هر شخص را توسط منیفولد ظاهر با ابعاد پایین در فضای تصویر نشان دادند. منیفولد ظاهر غیرخطی و پیچیده را با منیفولد زوایای چهره و ارتباطات بین آن‌ها نمایش دادند. به عبارت دیگر هر منیفولد زاویه چهره را، توسط یک صفحه شباهت تقریب زدند. جهت ساختن این طرز نمایش، نمونه‌هایی از ویدئو توسط الگوریتم K-means خوشه‌بندی شد. هر خوشه به‌عنوان یک صفحه، با استفاده از PCA محاسبه و نمایش داده شد. ارتباطات بین منیفولد زوایا توسط احتمال انتقال بین تصاویر در هر منیفولد زاویه چهره مدل‌سازی شده و توسط رشته‌های ویدئو، آموزش داده شد.

Roweis و همکارانش با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means و جاسازی خطی محلی (LLE^A)، فریم‌های نماینده هر منیفولد را استخراج و با محاسبه فاصله بین آن‌ها توانستند شباهت رشته‌های ویدئویی را تشخیص دهند [۱۹].

Wang و همکارانش توسط تبدیل منیفولدها به زیرفضاها و محاسبه فاصله بین آن‌ها شناسایی چهره را بر اساس مجموعه تصاویر، انجام دادند [۲۰].

در ایران بیشتر تحقیقات انجام‌یافته در زمینه شناسایی چهره مربوط به تصاویر ثابت است. در [۲۱] هرنندی الگوریتم پایه‌های محلی بهینه را ارائه نموده است. در این الگوریتم یک مجموعه نگاشت غیرایزومتریک باهدف بیشینه‌کردن قدرت تفکیک‌پذیری کلاس‌های مجاور در فضای چهره صورت می‌پذیرد.

در [۲۲] بزرگ‌تبار و همکارش از برنامه‌ریزی ژنتیک (GP^A) جهت شناسایی چهره استفاده نمودند بدین صورت که ابتدا توسط PCA ویژگی‌های چهره را استخراج سپس از GP جهت دسته‌بندی تصاویر و شناسایی چهره استفاده نموده‌اند.

در [۲۳] شمسی بابلی و همکارانش عملیات شناسایی چهره را توسط یک زیرفضای بهینه که با استفاده از تجزیه و تحلیل المان اصلی چندخطی و تجزیه و تحلیل جداساز چندخطی به‌دست می‌آید انجام داده‌اند.

۳- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی بر اساس ترکیب دو روش شناسایی استوار است روش اول تبدیل دقیق منیفولد غیرخطی به زیرفضاهای خطی سپس انجام شناسایی با محاسبه کمترین فاصله بین زیر فضاهای و روش دوم استفاده از مراکز خوشه‌ها به‌عنوان فریم‌های کلیدی و استفاده از کمترین فاصله نقطه‌به‌نقطه بین منیفولدها جهت شناسایی است. شکل (۱) بلوک دیاگرام طرح کلی الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد مهم‌ترین مراحل الگوریتم پیشنهادی شامل مراحل زیر است:

- ۱- تشخیص چهره در اولین فریم و تشخیص محل چشم‌ها در چهره تشخیص داده شده
- ۲- یافتن چهره در فریم‌های متوالی
- ۳- خوشه‌بندی فریم‌ها

می‌کند. بخش‌بندی چهره بر اساس رنگ پوست برای به دست آوردن حالت اولیه ردیابی، استفاده از مدل سه‌بعدی چهره برای یافتن چهره دید از روبرو و ساختن یک زیر فضای ویژه از سه‌بعدی است.

در سال ۲۰۰۷، Huang و همکارانش روش دیگری برای شناسایی چهره بر اساس ویدئو ارائه نموده‌اند [۹]. روش کار آن‌ها به این صورت بود که جهت تشخیص چهره از رنگ پوست و شکل چهره که به‌صورت بیضی است استفاده نمودند. این الگوریتم جهت پیدا نمودن چهره سریع عمل می‌کند. با استفاده از مشخصات رنگ پوست، محل‌های کاندید چهره مشخص می‌شود و با توجه به شکل بیضی چهره، از بین این کاندیدها، چهره تشخیص داده می‌شود. برای شناسایی چهره از ترکیب PCA و مدل مخفی مارکوف استفاده نموده‌اند و رشته‌ی ویدئویی را به‌صورت سری زمانی در نظر گرفته‌اند.

در [۱۰]، Aggarwal همکارانش چهره متحرک را به‌صورت یک مدل پویای خطی همراه با تغییرات ظاهر و زاویه چهره در نظر گرفته و از مدل $ARMA^5$ استفاده نموده‌اند. انتخاب ARMA بر اساس توانایی‌اش در مدل‌کردن تغییرات چهره (موقعیت، زوایای چهره و ...) است. شناسایی با استفاده از مفهوم زاویه زیرفضا، با محاسبه فاصله بین رشته‌های ویدئویی آموزشی و نمونه آزمایشی انجام گرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نسبت به تغییرات روشنایی و زاویه چهره مقاوم است. Zhou و همکارانش مدل آماری از ویدئو را با استفاده از ویژگی‌های سطح پایین (همچون PCA) موجود در تصاویر به دست آورده‌اند که جهت تطبیق بین یک فریم تنها و رشته ویدئویی و یا بین دو رشته ویدئویی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱].

Satoh تطبیق بین دو رشته ویدئویی را توسط انتخاب جفت فریم‌هایی که نزدیک‌ترین فاصله را در بین دو رشته ویدئویی دارند، انجام داد که در واقع همان تطبیق تصویر ثابت با تصویر ثابت است [۱۲]. در [۱۳] یک روش با استفاده از زوایای اصلی کرنل روی فضای تصویر اصلی و فضای ویژه به‌عنوان معیار شباهت بین رشته‌های ویدئویی پیشنهاد شده است. روش زیرفضای متقابل (MSM^M) فریم‌های ویدئو برای هر شخص را به‌طور مجزا در نظر گرفته و فضای ویژه را برای هر کدام محاسبه می‌کند سپس با محاسبه زوایای اصلی بین زیرفضای مرجع و ورودی، معیار شباهت دو زیرفضا به دست می‌آید. Liu و همکارانش [۱۴] با استفاده از مدل مخفی مارکوف و ARMA شناسایی چهره را انجام داده‌اند.

See و همکارانش [۱۵-۱۶] با استفاده از مفهوم منیفولد و جداساز همسایگی^۷، چهره را در رشته‌های ویدئویی شناسایی کرده‌اند. در [۱۷] Chen و همکارانش شناسایی چهره را بر اساس تطبیق بین تصاویر ثابت، تصویر ثابت و ویدئو و بین تصاویر ویدئو را مورد بررسی قرار داده‌اند.

کمترین فاصله بین آن‌ها محاسبه می‌شود. در روش دوم مراکز خوشه‌ها به‌عنوان نماینده هر خوشه تعیین و کمترین فاصله بین این نقاط محاسبه می‌شود، به عبارت دیگر در این روش، شناسایی توسط جفت فریم‌هایی که نزدیکترین فاصله را در دو رشته ویدئویی دارند انجام می‌گیرد. در نهایت با ترکیب این دو فاصله محاسبه‌شده شناسایی نهایی انجام می‌پذیرد. در ادامه در خصوص مراحل مذکور توضیحاتی داده می‌شود.

۳-۱- تشخیص چهره در اولین فریم و تشخیص محل چشم‌ها در چهره تشخیص داده‌شده

در شناسایی چهره بر اساس ویدئو تشخیص بلادرنگ چهره خیلی مهم است. روش‌های تشخیص چهره بلادرنگ، به دو گروه تقسیم می‌شوند روش Cascade AdaBoost که توسط Viola & Jones پیشنهاد شده است [۲۴] و گروه دوم از اطلاعات رنگ جهت تشخیص استفاده می‌کند [۲۵].

برای تعیین ناحیه دقیق چهره، محل چشم‌ها را در اولین فریم به‌دست آمده و ناحیه چهره بر اساس آن مشخص می‌شود. برای تعیین محل چشم‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است. مهم‌ترین این روش‌ها شامل روش تطبیق الگو، روش فضای ویژه و استفاده از تبدیل هاف است. یک روش دیگر از ترکیب دو نگاشت جزء روشنایی (EyeMapL) و اجزای رنگ (EyeMapC) در فضای YC_bC_r استفاده می‌کند [۲۶]. EyeMapL با استفاده از عملگرهای ریخت‌شناسی^۱ به‌صورت زیر به دست می‌آید [۲۶]:

$$EyeMapL = \frac{Y(x, y) \oplus g(x, y)}{Y(x, y) \otimes g(x, y)} \quad (1)$$

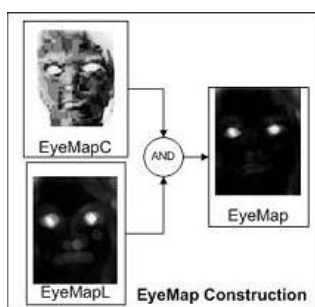
در EyeMap از این واقعیت که ناحیه چشم دارای مقدار C_b بالا و C_r پایین است بهره‌گیری نموده و به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۲۶]:

$$EyeMapC = \frac{1}{3} \left\{ \left[(C_b)^2 + (\bar{C}_r)^2 + \left(\frac{C_b}{C_r} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

و در نهایت EyeMap به‌صورت زیر به دست می‌آید [۲۶]:

$$EyeMap = (EyeMapC) AND (EyeMapL) \quad (3)$$

شکل (۲) نتیجه ترکیب دو نگاشت را نشان می‌دهد.

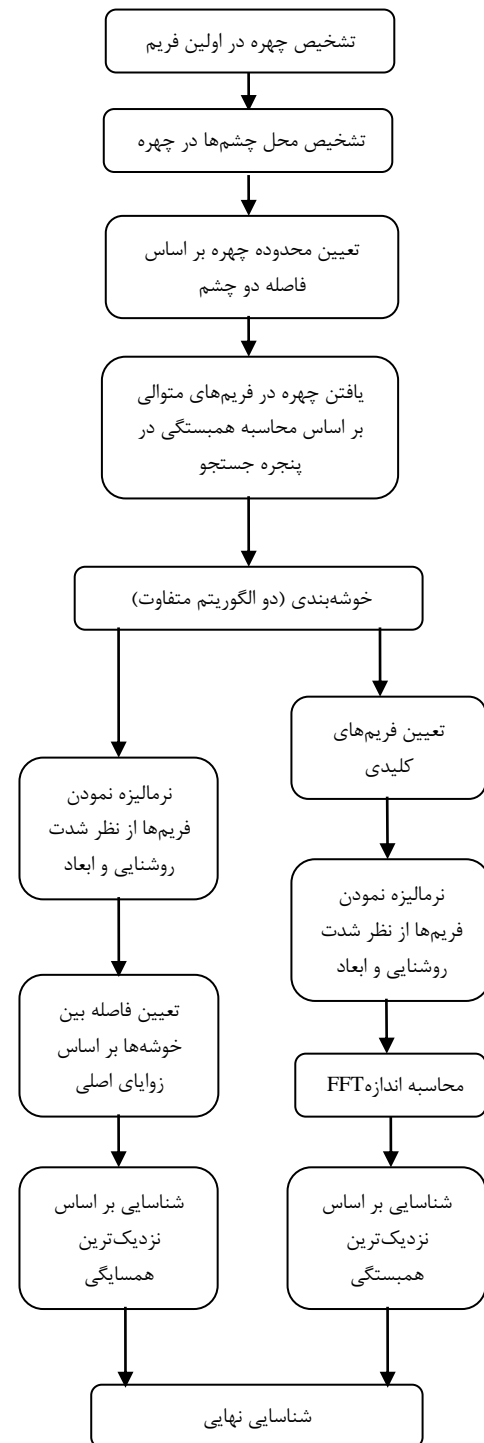


شکل (۲): EyeMap به‌دست آمده از ترکیب دو نگاشت را نشان می‌دهد [۲۶].

۴- شناسایی بر اساس زیرفضاها

۵- شناسایی بر اساس فریم‌های کلیدی

۶- ترکیب دو روش شناسایی



شکل (۱): بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی بر اساس ترکیب دو روش شناسایی متفاوت.

همان‌طوری که از بلوک دیاگرام مشخص است بعد از انجام خوشه‌بندی، دو الگوریتم متفاوت برای انجام فرایند شناسایی ارائه می‌گردد. در روش اول بعد از نرمالیزه نمودن فریم‌های خوشه‌ها،

۳-۲- یافتن چهره در فریم‌های متوالی

جهت تعیین چهره در فریم‌های متوالی دیگر، از این واقعیت که در یک ویدئو فریم‌های متوالی دارای همبستگی بالا هستند، استفاده کرده و همبستگی ناحیه مذکور در فریم اول را با فریم بعدی در حوالی ناحیه مشخص شده در اولین فریم، به دست می‌آوریم. جایی که بیش‌ترین همبستگی را نتیجه بدهد، به عنوان ناحیه چهره در فریم مذکور است. این روش به صورت تکراری برای کل فریم‌ها انجام می‌گیرد. تعیین اندازه پنجره جستجو نقش اساسی در میزان محاسبات دارد.

۳-۳- خوشه‌بندی فریم‌ها

جهت ساختن مدل خطی محلی از منیفولد غیرخطی، چندین روش پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آن‌ها از روش‌های خوشه‌بندی بر اساس تکرار همچون k-means جهت نسبت دادن نمونه‌ها به خوشه‌های مختلف استفاده می‌کنند. این روش‌ها دو محدودیت اساسی دارند. اول اینکه در ابتدای اجرای الگوریتم بایستی تعداد خوشه‌ها به صورت دستی مشخص شوند، ثانیاً خاصیت خطی بودن مدل‌های محلی قطعی نیست. در الگوریتم خوشه‌بندی تک شاتی^{۱۱} که از مفهوم MLP^{۱۲} استفاده می‌کند، خاصیت خطی بودن نسبتاً بهتر می‌شود. MLP گسترش زیرفضای خطی ماکزیمم است که خطی بودنش توسط انحراف بین فاصله اقلیدسی و کوتاه‌ترین فاصله^{۱۳} در تکه تعیین می‌شود. با این مفهوم از تکه خطی محلی، روش کار خوشه‌بندی تک شاتی به این صورت خواهد بود که هر MLP جدید از یک نقطه شروع و به تدریج تا زمانی که محدودیت خطی بودن از بین نرود ادامه می‌یابد. این روش نسبت به روش‌های خوشه‌بندی بر اساس تکرار دارای خاصیت خطی بالاتری است و به طور وقتی تعداد مدل‌های محلی را کنترل می‌کند. سنگین بودن محاسبات بزرگ‌ترین ایراد این روش است.

در این مقاله دو الگوریتم متفاوت برای خوشه‌بندی ویدئوها پیشنهاد می‌شود. در الگوریتم اول جهت تبدیل منیفولد غیرخطی به مدل‌های خطی از اطلاعات موجود در یافتن چهره در فریم‌های متوالی در رشته‌ی ویدئویی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر توسط بردارهای حرکت به دست آمده در فریم‌های متوالی می‌توان حرکت سر را پیش‌بینی نموده و خوشه‌بندی فریم‌ها را انجام داد. این روش دارای مزایای زیر است:

- ۱- تعیین تعداد خوشه‌ها و مدل‌های خطی کاملاً هوشمندانه است و با اجرای این روش با توجه به حرکات سر تعداد خوشه‌های متفاوت برای هر رشته ویدئویی به دست می‌آید.
- ۲- خطی بودن مدل‌ها دارای دقت بالایی است.
- ۳- به علت موجود بودن اطلاعات بردارهای حرکت این روش بسیار ساده است.

۴- با توجه به تغییرات بردارهای حرکت می‌توان جهت چرخش سر را پیش‌بینی نموده و در هنگام محاسبه فاصله بین زیرفضاها تعداد مقایسه‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش داد. در روش دوم خوشه‌بندی فریم‌ها، اولین فریم هر ویدئو به عنوان مرکز اولین خوشه انتخاب می‌شود با محاسبه همبستگی فریم بعدی با این فریم و تعیین یک آستانه، فریم‌های متعلق به این خوشه تعیین می‌شوند برای به دست آوردن دومین خوشه، اولین فریمی که متعلق به اولین خوشه نمی‌باشد به عنوان مرکز خوشه دوم تعیین می‌شود و مشابه حالت قبلی همبستگی فریم‌های متوالی با این فریم محاسبه و با اعمال آستانه فریم‌های متعلق به این خوشه تعیین می‌شوند. این روش تا زمانی که همه فریم‌ها به خوشه‌های موجود تعلق یابند، ادامه پیدا می‌کند. در نهایت فریم‌های کلیدی به دست آمده برای ترکیب شدن خوشه‌ها، با آستانه تعیین شده مقایسه می‌شوند. انتخاب مناسب آستانه، نقش مهمی در تعیین تعداد خوشه‌ها دارد.

۳-۴- شناسایی بر اساس زیر فضاها

با تبدیل منیفولد غیرخطی به صورت مجموعه‌ای از مدل‌های خطی محلی از طریق محاسبه کم‌ترین فاصله بین زیرفضاها، فاصله بین منیفولدها به دست می‌آید.

زوایای اصلی^{۱۴} $0 \leq \theta_1 \leq \theta_2 \leq \dots \leq \theta_r \leq (\pi/2)$ بین دو زیرفضای خطی S_1 و S_2 به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۰]:

$$\cos(\theta_k) = \max_{u_k \in S_1} \max_{v_k \in S_2} u_k^T v_k \quad (4)$$

$$u_k^T u_k = v_k^T v_k = 1, u_k^T u_i = v_k^T v_i = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, k-1$$

که در آن $r = \min(\dim(S_1), \dim(S_2))$ است u_k ، v_k و k امین جفت از بردارهای اصلی است. کسینوس‌های زوایای اصلی، همبستگی‌های اصلی نامیده می‌شوند. الگوریتم محاسبه زوایای اصلی، بر اساس SVD^{۱۵} ارائه شده است. اگر $P_1 \in R^{D \times d_1}$ و $P_2 \in R^{D \times d_2}$ به ترتیب نشان‌دهنده پایه‌های متعامد دو زیرفضای S_1 و S_2 باشد و d_1 و d_2 ابعاد زیرفضاها باشند، SVD، $P_1^T P_2$ به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$P_1^T P_2 = Q_{12} \Lambda Q_{21}^T \quad (5)$$

$$\Lambda = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_r)$$

که در آن Q_{12} و Q_{21} ماتریس‌های متعامد هستند. مقادیر منفرد $\sigma_1, \dots, \sigma_r$ کسینوس زوایای اصلی است به عبارت دیگر همبستگی اصلی به صورت زیر به دست می‌آید [۲۰]:

$$\cos(\theta_k) = \sigma_k \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (6)$$

$U = P_1 Q_{12} = [u_1, \dots, u_{d_1}]$ و $V = P_2 Q_{21} = [v_1, \dots, v_{d_2}]$ بردارهای اصلی می‌باشند. استفاده از مفهوم زوایای اصلی جهت محاسبه فاصله بین زیرفضاها برای اولین بار توسط Hotelling مطرح شده است [۲۷]. از این زوایا برای محاسبه فاصله بین زیرفضاها به شیوه‌های گوناگون استفاده شده است که به طور نمونه روش‌های زیر را می‌توان نام برد:

لحاظ مکانی به انسداد نواحی چشم در اولین فریم حساس است. از طرف دیگر با توجه به اینکه فریم‌های انسداد یافته در یک خوشه قرار می‌گیرند لذا روش ارائه شده زیاد به انسداد از نظر تعداد فریم حساس نیست.

۴- نتایج الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی از دو پایگاه داده [۳۲] Honda/UCSD و [۳۳] CMU MoBo که در پژوهش‌های شناسایی چهره در رشته‌های ویدئویی معروف هستند، استفاده شده است. در پایگاه داده ویدئو Honda/UCSD هر رشته ویدئویی در شرایط بیرونی با سرعت ۱۵ فریم در ثانیه ضبط شده است که طول هر کدام از رشته‌ها حداقل ۱۵ ثانیه است. تفکیک پذیری هر رشته ویدئویی ۶۴۰×۴۸۰ است. چهره هر شخص حداقل در دو رشته ویدئویی ضبط شده است. با توجه به اینکه تغییرات زاویه سر بزرگ‌ترین چالش در شناسایی چهره است، همه رشته‌ها شامل چرخش‌های سر دویبعدی و سه‌بعدی هستند. در هر ویدئو شخص سرش را مطابق میل خود در جهت و سرعت مورد نظر می‌چرخاند.

پایگاه داده CMU MoBo شامل ۹۶ رشته از ۲۴ شخص متفاوت است که در حال قدم زدن هستند. از هر شخص چهار رشته ویدئویی توسط چند دوربین ضبط شده است. با توجه به اینکه در برخی از رشته‌های این پایگاه داده، چشم‌های افراد قابل تشخیص نیستند لذا در شبیه‌سازی انجام یافته فرض بر این است که در هر رشته، ناحیه چهره در اولین فریم از قبل تعیین شده است.

شکل (۳) چند نمونه از چهره‌های افراد را در پایگاه‌های داده Honda/UCSD و CMU MoBo را نشان می‌دهد. بعد از تشخیص چهره و چشم، ناحیه چهره را توسط مربعی با ابعاد $2/8d \times 2/8d$ مشخص می‌کنیم که در آن d فاصله بین دو چشم است. شکل (۴) این ناحیه مستطیلی را در پایگاه داده Honda/UCSD نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۳): چند نمونه از چهره‌های افراد در پایگاه داده‌های

(الف) CMU MoBo (ب) Honda/UCSD.

همان طوری که قبلاً توضیح داده شد در روش اول خوشه‌بندی، از اطلاعات به دست آمده در موقعیت چهره حاصله در داخل پنجره جستجو، استفاده می‌شود. پنجره جستجوی مورد استفاده در این شبیه‌سازی دارای ابعاد 10×10 پیکسل است. تغییرات در جهت افقی و عمودی نسبت به فریم قبلی را به ترتیب با dx و dy نشان می‌دهیم. به عبارت بهتر dx و dy ابعاد بردارهای حرکت هستند.

$$d_p(S_1, S_2) = \left(\sum_i \sin^2 \theta_i \right)^{1/2} \quad (7)$$

$$d_{BC}(S_1, S_2) = \left(1 - \prod_i \cos^2 \theta_i \right)^{1/2} \quad (8)$$

$$d_{Max}(S_1, S_2) = (1 - \cos^2 \theta_i)^{1/2} \quad (9)$$

$$d_{CF}(S_1, S_2) = 2 \left(\sum_i \sin^2 (\theta_i/2) \right)^{1/2} \quad (10)$$

روابط (۷) تا (۱۰)، به ترتیب، از طریق مراجع [۲۸] تا [۳۱] قابل استخراج می‌باشند. با توجه به اینکه در بین این زوایای اصلی، زاویه اول از اهمیت بالایی برخوردار است لذا در این مقاله طبق بررسی به عمل آمده، از کسینوس زاویه اول به عنوان معیار ارزیابی شباهت بین زیرفضاها استفاده شده است.

۳-۵- شناسایی بر اساس فریم‌های کلیدی

در روش‌هایی که برای شناسایی از زوایای اصلی استفاده می‌کنند اساساً مدهای مشترک تغییرات بین دو زیرفضا منعکس می‌شوند و اطلاعات موجود در هر زیرفضا نادیده گرفته می‌شود. این روش به عنوان اندازه‌گیری بر اساس تغییرات معروف است. در چندین روش دیگر ارائه شده، نمونه‌های منیفولد جهت اندازه‌گیری شباهت مدل‌ها استفاده شده است. این روش‌ها، به عنوان روش اندازه‌گیری بر اساس نمونه شناخته می‌شوند. به عبارت دیگر در این روش‌ها فاصله بین دو منیفولد غیرخطی توسط کوچک‌ترین فاصله نقطه به نقطه محاسبه می‌شود [۲۰]. بهتر است برای اندازه‌گیری کامل فاصله، هر دو معیار را در نظر بگیریم. در این روش از فریم‌های کلیدی هر خوشه به عنوان نماینده هر خوشه جهت شناسایی استفاده می‌شود. برای تعیین فریم‌های کلیدی در روش اول خوشه‌بندی، بعد از به دست آوردن خوشه‌ها، فریمی را که در داخل هر خوشه بیش‌ترین تغییرات بردارهای حرکت در جهت افقی و عمودی را دارد به عنوان فریم کلیدی آن خوشه انتخاب می‌شود. این فریم‌ها به همراه اولین فریم هر رشته به عنوان فریم‌های کلیدی آن رشته ویدئویی در نظر گرفته می‌شوند. در روش دوم خوشه‌بندی اولین فریم هر خوشه به عنوان فریم کلیدی آن خوشه انتخاب می‌شود.

با توجه به اینکه تصویر هر چهره به دست آمده ممکن است در وسط قرار نداشته باشد بنابراین جهت حل این مشکل از اندازه FFT استفاده کرده، سپس همبستگی بین تصاویر محاسبه می‌شود.

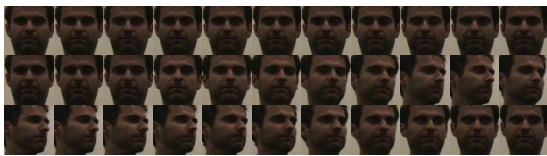
۳-۶- ترکیب دو روش شناسایی

بعد از محاسبه دو روش شناسایی مذکور با تعیین یک آستانه مطلوب برای هر کدام از روش‌های مذکور، در صورتی که هر کدام از این روش‌ها مقداری بزرگ‌تر از مقدار آستانه نتیجه بدهد می‌توان چهره مورد نظر را شناسایی نمود در غیر این صورت می‌توان با ترکیب روش‌های مذکور شناسایی را انجام داد. با توجه به اینکه در الگوریتم پیشنهادی از اولین فریم برای مشخص نمودن موقعیت چشم‌ها و سپس مشخص کردن ناحیه چهره استفاده می‌شود لذا این الگوریتم از

برای تعیین فریم‌های کلیدی، در روش اول خوشه‌بندی، علاوه بر اولین فریم هر رشته ویدئویی، فریم‌های کلیدی خوشه‌ها بر اساس بیش‌ترین مقدار $|dx| + |dy|$ داخل هر خوشه انتخاب می‌شوند. به‌طورمثال این فریم‌ها برای یکی از رشته‌های پایگاه داده Honda/UCSD در شکل (۵) نشان داده شده است. در روش دوم خوشه‌بندی همان‌طوری که توضیح داده شد، اولین فریم هر رشته به عنوان اولین فریم کلیدی انتخاب می‌شود با محاسبه همبستگی فریم بعدی با این فریم و تعیین یک آستانه، اولین فریمی که متعلق به اولین خوشه نمی‌باشد به‌عنوان فریم کلیدی دوم تعیین می‌شود.

شکل (۸) فریم‌های کلیدی برای دو رشته از ویدئوهای پایگاه داده Honda/UCSD را نشان می‌دهد. در ادامه دو روش شناسایی توضیح داده شده به‌طور مجزا اجرا می‌شود. در شبیه‌سازی انجام‌یافته، در روش اندازه‌گیری بر اساس تغییرات مقدار آستانه ۰/۹ و در روش اندازه‌گیری بر اساس نمونه مقدار آستانه ۰/۹۸ تعیین شده است. در صورت عدم وصول آستانه‌های تعیین شده از ترکیب دو روش برای انجام شناسایی با دقت بالا استفاده می‌شود. الگوریتم‌های پیشنهادی مذکور را با دو روش زیر مقایسه می‌کنیم:

- تطبیق نزدیک‌ترین همسایگی در خوشه‌بندی K-means و LLE که یک نمونه از روش شناسایی بر اساس نمونه است.
- روش زیرفضای متقابل که یک نمونه از روش شناسایی بر اساس تغییرات است.



خوشه اول



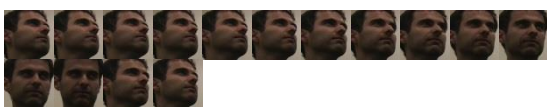
خوشه دوم



خوشه سوم

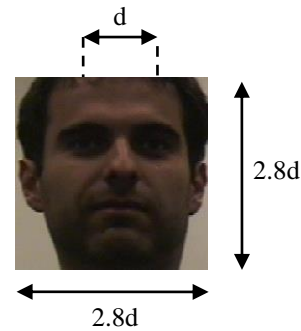


خوشه چهارم



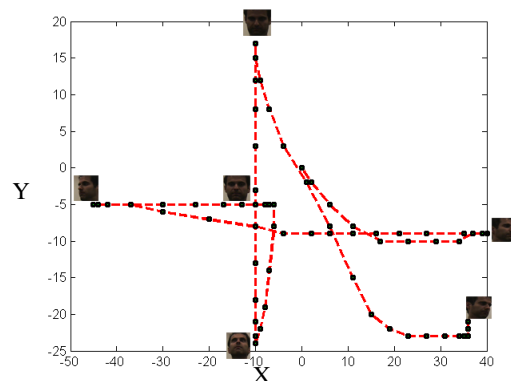
خوشه پنجم

شکل ۶: خوشه‌های به‌دست آمده با استفاده از تحلیل بردارهای حرکت



شکل (۴): ناحیه چهره بر اساس فاصله بین دو چشم در پایگاه داده Honda/UCSD

شکل (۵) تغییرات dx و dy در فریم‌های متوالی برای یکی از ویدئوهای پایگاه داده Honda/UCSD را نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل مشخص است با حرکت سر به‌طور مثال به سمت راست، بردارهای حرکت نیز به سمت راست حرکت می‌کنند. با توجه به حرکت این بردارها، می‌توان خوشه‌بندی مناسب را انجام داده و با به‌وجود آوردن امکان مقایسه خوشه‌های معادل در دو رشته ویدئویی، دقت شناسایی را بهبود بخشید. شکل (۶) پنج خوشه به‌دست آمده توسط روش مذکور را نشان می‌دهد. همان‌طوری که قبلاً توضیح داده شد در روش دوم، خوشه‌بندی با مقایسه همبستگی‌های فریم‌های متوالی انجام می‌گیرد. تعیین آستانه در این مقایسه نقش اساسی در تعداد خوشه‌های به‌دست آمده دارد. در شبیه‌سازی انجام‌یافته مقدار آستانه ۰/۷ اعمال شده است. شکل (۷) هفت خوشه به‌دست آمده با روش مذکور را برای رشته ویدئویی استفاده شده در روش اول نشان می‌دهد. با بالا بردن حد آستانه به ۰/۹، تعداد خوشه‌ها به سیزده و با پایین آوردن حد آستانه به ۰/۵، تعداد خوشه‌ها به چهار عدد تغییر می‌یابد.



شکل (۵): تغییرات dx و dy در یکی از ویدئوهای پایگاه داده Honda/UCSD را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه ابعاد و روشنایی چهره‌های به‌دست آمده از رشته‌های ویدئویی، متفاوت هستند بنابراین چهره‌ها را از نظر ابعاد و تغییر شدت روشنایی نرمالیزه می‌کنیم.

سر از نظر بار محاسباتی نسبت به روش دوم ساده‌تر است. الگوریتم پیشنهادی بر روی رایانه‌ای با مشخصات پردازنده: Intel Core i3 M3350@2.27 GHz و حافظه: ۴ گیگابایت اجرا گردید و با احتساب تشخیص چهره و اجرای فرآیند شناسایی، مدت‌زمان پردازش برای پایگاه داده Honda/UCSD به‌طور متوسط ۲/۵ ثانیه به‌ازای هر فریم و برای پایگاه داده CMU MoBo ۲/۲ ثانیه به‌ازای هر فریم طول کشید.

جدول (۱): نرخ متوسط شناسایی روش‌های مختلف شناسایی در پایگاه داده‌های CMU MoBo و Honda/UCSD

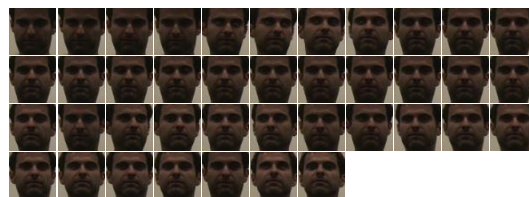
روش مورد استفاده	نرخ متوسط شناسایی در پایگاه داده Honda/UCSD	نرخ متوسط شناسایی در پایگاه داده CMU MoBo
LLE+K-means	۹۱/۸	۸۹/۸
MSM	۸۸/۲	۸۵/۱
روش پیشنهادی خوشه‌بندی اول	۹۵/۲	۹۱/۸
روش پیشنهادی خوشه‌بندی دوم	۹۶/۴	۹۳/۴
روش پیشنهادی مقایسه فریم‌های کلیدی	۹۶/۴	۹۳/۰
روش ترکیبی	۹۸/۸	۹۴/۲

۵- نتیجه

در این مقاله یک روش شناسایی چهره بر اساس ویدئو جهت حل مشکلات چرخش سر، تغییر شدت روشنایی و انسداد قسمتی از چهره ارائه شد. الگوریتم پیشنهادی بر اساس محاسبه فاصله بین منیفولدها بوده و از ترکیب دو روش شناسایی تشکیل یافته است روش اول تبدیل دقیق منیفولد غیرخطی به زیرفضای خطی سپس انجام شناسایی با محاسبه کم‌ترین فاصله بین زیرفضاها و روش دوم استفاده از مراکز خوشه‌ها به‌عنوان فریم‌های کلیدی و استفاده از کم‌ترین فاصله نقطه به نقطه بین منیفولدها است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نرخ شناسایی نسبت به روش‌های دیگر بهبود یافته است.

مراجع

- [1] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Phillips and A. Rosenfeld, "Face recognition: a literature survey," ACM Computing Surveys, pp. 399-458, 2003.
- [2] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for recognition," Journal of Cognitive Neuroscience, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, Mar. 1991.
- [3] M. S. Bartlett, H.M. Lades and T.J. Sejnowski, "Independent component representations for face recognition," in Proceedings of SPIE, vol. 3299, pp. 528-539, 1998.
- [4] P. Belhumeur, J. Hespanha and D. Kriegman, "Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, pp. 711-720, 1997.
- [5] L. Wiskott, J. Fellous and C. Malsburg, "Face recognition by elastic bunch graph matching," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, pp. 775-779, 1997.



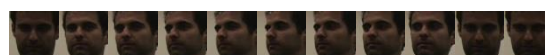
خوشه اول



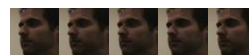
خوشه دوم



خوشه سوم



خوشه چهارم



خوشه پنجم



خوشه ششم



خوشه هفتم

شکل (۷): خوشه‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش مقایسه همبستگی‌ها



(الف)



(ب)

شکل (۸): تصاویر بالا فریم‌های کلیدی برای دو رشته از ویدئوهای پایگاه داده Honda/UCSD را نشان می‌دهد.

در محاسبه نرخ متوسط شناسایی، برای هر شخص از پایگاه داده یک ویدئو جهت آموزش، و بقیه رشته‌ها برای آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین آزمایش‌ها برای پنج ترکیب مختلف رشته‌های آموزشی و آزمایشی اجرا می‌گردد. جدول (۱) مقایسه روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. در این جدول برای ذکر مقادیر روش‌های LLE+K-means و MSM از مرجع [۲۰] استفاده شده است. روش پیشنهادی اول برای خوشه‌بندی با وجود اینکه دارای نرخ متوسط شناسایی پایین‌تر نسبت به روش دوم است ولی به دلیل تخمین حرکات

- [27] H. Hotelling, "Relations between two sets of variates," *Biometrika*, vol. 28, pp.321-372, 1936.
- [28] A. Edelman, T. A. Arias and S. T. Smith, "The geometry of algorithms with orthogonality constraints," *SIAM Journal of Matrix Analysis and Applications*, vol. 20, no. 2, pp.303-353, 1999.
- [29] L. Wolf and A. Shashua, "Learning over sets using kernel principal angles," *Journal of Machine Learning Research.*, vol. 4, pp. 913-931, 2003.
- [30] K. Fukui and O. Yamaguchi, "Face recognition using multi-viewpoint patterns for robot vision," In *Robotics Research*, pp. 192-201, 2003.
- [31] Y. Chikuse, *Statistics on Special Manifolds*, lecture notes in statistics, vol. 174. New York: Springer 2003.
- [32] K.C. Lee, J. Ho, M.H. Yang and D. Kriegman. "Video-based face recognition using probabilistic appearance manifolds," *CVPR*, pp. 313-320, June 2003.
- [33] R. Gross and J. Shi. *The CMU Motion of Body (MoBo) database*, Technical Report CMU-RI-TR-01-18, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, June 2001.
- [6] A. Pentland, B. Moghaddam, and T. Starner, "View-based and modular eigenspaces for face recognition," *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 1994.
- [7] W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Philips and A. Rosenfeld, "Face recognition: a literature survey," *ACM Computing Surveys*, vol. 35, no. 4, pp. 399-458, 2003.
- [8] R.Vivek and S.Imam, "An evaluation of face recognition techniques :A critical review," *MASAUM Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 1, no. 3, 2009.
- [9] K. S. Huang and Mohan M. Trivedi, "Integrated detection, tracking, and recognition of faces with omnivideo array in intelligent environments," *Hindawi Publishing Corporation EURASIP Journal on Image and Video Processing*, pp. 374-528, 2008.
- [10] G. Aggarwal, A. K. Roy-Chowdhury and R. Chellappa, "A system identification approach for video-based face recognition," In *Proc. International Conference on Pattern Recognition*, vol. 4, pp. 175-178, 2004.
- [11] S. Zhou, V. R. Kruger and R. Chellappa, "Probabilistic recognition of human faces from video," *International Conference on Image Processing*, vol. 1, pp. 41-45, 2002.
- [12] S. Satoh, "Comparative evaluation of face sequence matching for content-based video access," In *IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition*, pp.163-168, 2000.
- [13] L. Wolf and A. Shashua, "Kernel principal angles for classification machines with applications to image sequence interpretation," In *Proc. Of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2003.
- [14] X. Liu and T. Chen, "Video-based face recognition using adaptive hidden markov models," *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 340-345, 2003.
- [15] J. See and M. F. A. Fauzi, "Learning neighborhood discriminative manifolds for video-based face recognition," *International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP)*, Springer, pp. 247-256, 2011.
- [16] J. See and M. F. A. Fauzi, "Neighborhood discriminative manifold projection for face recognition in video," *International Conference on Pattern Analysis and Intelligent Robotics (ICPAIR)*, pp. 13-18, 2011.
- [17] S. Chen, S. Mau, M. T. Harandi, C. Sanderson, A. Bigdeli and B. C. Lovell, "Face recognition from still images to video sequences: a local-feature-based framework," *Hindawi Publishing Corporation EURASIP Journal on Image and Video Processing Volume 2011*.
- [18] K. C. Lee, J. Ho, M. H. Yang and D. Kriegman, "Video-based face recognition using probabilistic appearance manifolds," *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference* pp. 313-320, 2003.
- [19] S. Roweis and L. Saul, "Nonlinear Dimensionality Reduction by Locally Linear Embedding," *Science*, vol. 290, no. 5500 pp. 2323-2326, 2000.
- [20] R.Wang, S. Shan, X. Chen and W. Gao, "Manifold-manifold distance with application to face recognition based on image set," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2008.
- [21] M. T. Harandi. *Face recognition through optimal local basis learning*, PhD thesis, University of Tehran, 2009.
- [22] B. Bozorgtabar and G. A. R. Rad, "A genetic programming-pca hybrid face recognition algorithm," *Journal of Signal and Information Processing*, vol. 2, pp.170-174, 2011.
- [23] A. A. Shams-Baboli, M. Kaffashpour-Yazdi, A. Shams-Baboli and S. Araghi, "face recognition with the mixture of MDA and MPCA," *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, vol. 3, no. 3, pp.1110-1117, 2013.
- [24] P. Viola, M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," In *Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference*, pp. 511- 518, 2001.
- [25] J. Yang and A. Waibel, "A real-time face tracker," In *Proceedings of the Third IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, FL, pp. 142-147, 1996.
- [26] J. Nasiri, S. Khanchi and H. Pourreza, "Eye detection in color images," *The 4th Conference on Machine Vision and Image Processing (MVIP07)*, Mashhad, Iran, April 2007.

زیر نویس ها

- 1 Principal Component Analysis
- 2 Independent Component Analysis
- 3 Linear Discriminate Analysis
- 4 Elastic Bunch Graph
- 5 Autoregressive and Moving Average
- 6 Mutual Subspace Method
- 7 Neighborhood Discriminative
- 8 Locally Linear Embedding
- 9 Genetic Programming
- 10 Morphology
- 11 One Shot Clustering
- 12 Maximal Linear Patch
- 13 Geodesic
- 14 Principal angles
- 15 Singular Value Decomposition