



دومین کنفرانس ملی مهندسی برق ایران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد - ۵ و ۶ اسفند ماه ۱۳۸۸

ارائه روشی جهت انتخاب معیار شباهت بهینه در تأیید و شناسایی چهره مبتنی بر چهره-ویژه‌ها

مهرشاد سلماسی^(۱) - حسین پورقاسم^(۲)

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد و عضو باشگاه پژوهشگران جوان - گروه مخابرات - دانشکده برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

mehrshad_salmasi@yahoo.com

(۲) استادیار گروه مخابرات - دانشکده برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

h_pourghasem@iaun.ac.ir

خلاصه: چهره به عنوان یکی از رایج‌ترین ویژگی‌هایی است که در شناسایی و تأیید هویت افراد مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب یک معیار شباهت مناسب و سطح آستانه‌ی تصمیم از عوامل تأثیرگذار بر روی عملکرد سیستم‌های شناسایی و تشخیص چهره می‌باشد. در این مقاله، با ارائه یک ساختار مناسب سعی شده‌است که فرآیند تعیین معیار شباهت بهینه جهت شناسایی و تأیید چهره سازمان‌دهی گردد. در این راستا، این ساختار در یک الگوریتم شناسایی چهره مبتنی بر چهره-ویژه‌ها با معیارهای شباهت مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌ها از پایگاه داده‌ی ORL استفاده شده‌است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که کارایی معیارهای شباهت به تعداد چهره-ویژه‌ها بستگی دارد. به طور کلی در بین معیارهای فوق، معیار شباهت کسینوسی عملکرد بهتری را در شناسایی و تشخیص چهره‌ها نتیجه می‌دهد.

کلمات کلیدی: تأیید چهره، شناسایی چهره، چهره-ویژه، معیارهای شباهت

۱- مقدمه

تاکنون مطالعات و تحقیقات فراوانی بر روی سیستم‌های شناسایی چهره انجام شده‌است. مطالعات اولیه در زمینه‌ی شناسایی چهره مربوط به قرن نوزدهم میلادی می‌شود، با این وجود اولین سیستم‌های شناسایی چهره توسط Bledsoe در سال ۱۹۶۶ و Kanade در سال ۱۹۷۳ ارائه شد [۱، ۲]. روشهای شناسایی چهره بر اساس داده‌ی مورد استفاده به روشهای مبتنی بر تصاویر دوبعدی، تصاویر سه بعدی یا ترکیبی از هر دو دسته‌بندی می‌شوند. همچنین می‌توان روش‌های شناسایی چهره را براساس الگوریتم مورد استفاده برای شناسایی به روش‌های مبتنی بر ظاهر و روش‌های مبتنی بر مدل دسته‌بندی کرد. در روش‌های مبتنی بر مدل از اطلاعات اجزای مختلف چهره و مکان آنها برای شناسایی چهره استفاده می‌کنند. در صورتی که در روش‌های مبتنی بر ظاهر ویژگی‌هایی از اطلاعات کلی چهره استخراج می‌شود و شناسایی بر پایه‌ی آن ویژگی‌ها انجام می‌شود.

امروزه بیشتر توجه پژوهشگران به روش‌های مبتنی بر ظاهر معطوف شده‌است. شناسایی چهره براساس روش‌های مبتنی بر ظاهر برای اولین بار توسط Turk و Pentland در سال ۱۹۹۱ پیشنهاد شد. در

این روش برای شناسایی چهره از چهره-ویژه‌ها استفاده شده‌است [۳]. مبنای اصلی این روش بر اساس کار Kirby و Sirovich است. این دو نفر از آنالیز اجزای اصلی (PCA) برای توصیف تصاویر چهره استفاده کردند [۴]. پس از استفاده از آنالیز اجزای اصلی در شناسایی چهره‌ها، روش‌های دیگری نیز در شناسایی چهره مورد استفاده قرار گرفت. یکی از این روش‌ها آنالیز جداساز خطی (LDA) است که توسط Belhumeur در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد و نام روش خود را چهره‌های فیشر نامید [۵]. در سال ۲۰۰۲ نیز روش دیگری تحت عنوان آنالیز اجزای مستقل (ICA) توسط Bartlett پیشنهاد شد [۶]. روش‌های دیگری نیز تحت عنوان‌های 2DPCA توسط Yang در سال ۲۰۰۴ [۷] و 2DLDA توسط Li و Yaun در سال ۲۰۰۵ [۸] برای شناسایی چهره ارائه شده‌است.

در این مقاله برای شناسایی و تأیید چهره‌ها از چهره-ویژه‌ها استفاده شده و برای محاسبه‌ی چهره-ویژه‌ها از روش SVD استفاده می‌کنیم [۹]. شناسایی و تأیید چهره‌ها تحت تعداد مختلفی از چهره-ویژه‌ها و با استفاده از معیارهای شباهت مختلف انجام می‌شود. در این مقاله

$$U_l = \sum_{j=1}^M V_{lj} \phi_j, \quad l=1,2,\dots,M \quad (4)$$

در رابطه (4)، V بیانگر بردارهای ویژه ماتریس L و U همان چهره-ویژه‌ها می‌باشد.

روش دیگری که برای به دست آوردن چهره-ویژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد روش SVD⁸ است که در این مقاله از این روش استفاده شده است [10]. در این روش دیگر نیازی به محاسبه‌ی ماتریس کواریانس نیست. برای محاسبه‌ی چهره-ویژه‌ها به روش SVD، مطابق روش آنالیز اجزاء اصلی، تصاویر به فرم برداری تبدیل می‌شوند. سپس روابط (1) و (2) را بر روی تصاویر حاصله اعمال کرده و ماتریس $A = [\phi_1 \phi_2 \dots \phi_M]$ را تشکیل می‌دهیم. حال SVD را بر روی ماتریس A اعمال می‌کنیم.

در صورتی که SVD بر روی ماتریس A با سایز $D \times M$ اعمال شود، A به صورت $A = U S V^T$ تجزیه می‌شود که در آن U یک ماتریس با سایز $D \times D$ است و ستون‌های این ماتریس بردارهای متعامدی هستند که بیانگر بردارهای ویژه AA^T می‌باشند.

V یک ماتریس با سایز $M \times M$ است و ستون‌های این ماتریس بردارهای متعامدی هستند که بیانگر بردارهای ویژه $A^T A$ می‌باشند. S یک ماتریس قطری $D \times M$ می‌باشد که عناصر روی قطر آن جذر مقادیر ویژه AA^T یا $A^T A$ می‌باشند.

برای به دست آوردن چهره-ویژه‌ها از ماتریس U به دست آمده استفاده می‌شود که هر ستون آن بیانگر یکی از چهره-ویژه‌ها می‌باشد.

۳ - تأیید و شناسایی چهره با استفاده از چهره-ویژه‌ها

تأیید و شناسایی چهره یک عمل تشخیص الگو است که به طور خاص بر روی چهره‌ها انجام می‌شود. تأیید چهره عبارت است از دسته‌بندی یک چهره به عنوان شناخته‌شده یا ناشناس که پس از مقایسه با چهره‌های ذخیره‌شده‌ی افراد شناخته‌شده به دست می‌آید. پس از تأیید چهره می‌توان عمل شناسایی چهره را انجام داد که بیانگر تعیین گروه و دسته‌ی چهره‌های شناخته‌شده می‌باشد. در این پژوهش پس از تشخیص و جداسازی چهره‌های شناخته‌شده از ناشناس، عمل شناسایی چهره نیز انجام می‌شود. برای تأیید و شناسایی چهره‌ها ابتدا تعدادی از تصاویر به عنوان تصاویر آموزشی انتخاب شده و از تصاویر باقیمانده برای تست استفاده می‌شود. الگوریتم تأیید و شناسایی چهره با استفاده از چهره-ویژه‌ها در شکل (1) نشان داده شده است.

در الگوریتم فوق برای مقایسه‌ی بردار وزن تصویر جدید با ماتریس وزن‌های به دست آمده، از معیارهای شباهت استفاده می‌شود. انتخاب معیار شباهت مناسب یکی از پارامترهای اثرگذار در تأیید و شناسایی چهره‌ها است. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در بهبود عملکرد تشخیص چهره‌های شناخته‌شده و ناشناس از یکدیگر، انتخاب یک مقدار مناسب برای سطح آستانه⁹ است. انتخاب مقدار مناسب برای سطح آستانه،

شش معیار شباهت فاصله اقلیدسی¹، منهتن²، مینکوفسکی³، کنبرا⁴، مربع کای⁵ و کسینوسی⁶ برای شناسایی چهره‌ها به کار می‌رود. همچنین نمودار خطای رد نادرست و نمودار صحت شناسایی چهره‌ها، به ازای معیارهای شباهت مختلف بر حسب خطای پذیرش نادرست رسم می‌شود. با استفاده از نمودارهای فوق، معیارهای شباهت مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند.

در بخش ۲ نحوه‌ی به دست آوردن چهره-ویژه‌ها با استفاده از روش SVD نشان داده شده و در بخش ۳ طریقه‌ی شناسایی چهره با استفاده از چهره-ویژه‌ها شرح داده می‌شود. در بخش ۴ در مورد معیارهای شباهت که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است توضیح می‌دهیم. در بخش ۵ پایگاه داده‌ی ORL، چگونگی پیاده‌سازی و نتایج بیان شده و در بخش ۶ نتیجه‌گیری‌های حاصله ارائه می‌شود.

۲ - محاسبه‌ی چهره-ویژه‌ها

برای محاسبه‌ی چهره-ویژه‌ها می‌توان از روش آنالیز اجزاء اصلی یا روش SVD استفاده کرد. فرض کنید M تصویر چهره با سایز $h \times w$ به صورت F_1, F_2, \dots, F_M داشته باشیم.

برای محاسبه چهره-ویژه‌ها به روش آنالیز اجزای اصلی¹، ابتدا هر تصویر به صورت یک بردار ستونی با طول $D = hw$ در نظر گرفته می‌شود. سپس میانگین تصاویر (ψ) با استفاده از رابطه (1) محاسبه می‌شود.

$$\psi = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M F_j \quad (1)$$

پس از آن مطابق با رابطه (2) تفاضل هر چهره را از میانگین به دست می‌آوریم.

$$\phi_j = F_j - \psi \quad (2)$$

با استفاده از ϕ_j ‌های به دست آمده، $A = [\phi_1 \phi_2 \dots \phi_M]$ را تشکیل داده و ماتریس کواریانس را با استفاده از رابطه (3) به دست می‌آوریم.

$$C = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \phi_j \phi_j^T = AA^T \quad (3)$$

در عمل به دلیل ابعاد بزرگ ماتریس کواریانس C ، ماتریس $L = A^T A$ محاسبه شده و با استفاده از رابطه (4) چهره-ویژه‌ها محاسبه می‌شوند.

¹ Euclidean
² Manhattan
³ Minkowski
⁴ Canberra
⁵ Chi-Square
⁶ Cosine
⁷ Principal Component Analysis

⁸ Singular Value Decomposition
⁹ Threshold

$$d_{Minkowski}(p, q) = \left(\sum_{i=1}^m |p_i - q_i|^n \right)^{1/n} \quad (5)$$

با قرار دادن مقدار $n=1$ و $n=2$ در رابطه (۵) به ترتیب فاصله‌های منهتن و اقلیدسی به دست می‌آید. در روابط (۶)، (۷) و (۸) نیز به ترتیب معیارهای فاصله‌ی کنبرا، مربع کای و کسینوسی ارائه شده‌است:

$$d_{Canberra}(p, q) = \sum_{i=1}^m \frac{|p_i - q_i|}{|p_i| + |q_i|} \quad (6)$$

$$d_{Chi-Square}(p, q) = \sum_{i=1}^m \frac{(p_i - q_i)^2}{|p_i| + |q_i|} \quad (7)$$

$$d_{Cosine}(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^m p_i q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m p_i^2 \sum_{i=1}^m q_i^2}} \quad (8)$$

۵ - ساختار شناسایی و تأیید چهره

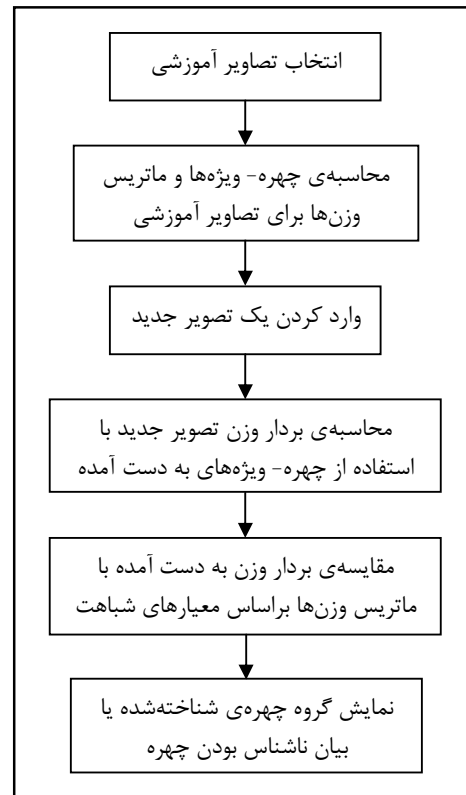
در این قسمت چگونگی انجام شبیه‌سازی بر روی پایگاه داده‌ی ORL بیان شده‌است. به همین منظور ابتدا توضیحاتی در مورد پایگاه داده‌ی ORL داده شده و سپس نحوه‌ی انجام شبیه‌سازی‌ها شرح داده می‌شود.

الف- پایگاه داده‌ی ORL

پایگاه داده‌ی ORL توسط مؤسسه AT&T بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ میلادی تهیه شد. تصاویر این پایگاه داده تغییراتی از قبیل شدت روشنایی، حالت‌های چهره (چشم‌ها باز و بسته، لب‌خند)، تصاویر با عینک و بدون عینک، فاصله و چرخش زاویه‌ی سر را شامل می‌شود. کلیه‌ی تصاویر این پایگاه داده با یک پس زمینه‌ی تیره و یکدست تصویربرداری شده‌اند. این پایگاه داده شامل ۴۰۰ تصویر با ابعاد ۱۱۲×۹۲ می‌باشد. از ۴۰ شخص متفاوت (زن و مرد) و از هر شخص ۱۰ تصویر در این پایگاه داده قرار داده شده‌است.

ب- چگونگی پیاده‌سازی

در این شبیه‌سازی‌ها هدف این است که معیارهای شباهت مختلف بر اساس تعداد چهره-ویژه‌های متفاوت مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند. برای این منظور پس از انتخاب تصاویر آموزشی مورد نظر، چهره-ویژه‌ها و ماتریس وزن‌های مربوط به آنها محاسبه می‌شود. حال برای مقایسه‌ی معیارهای شباهت، مقدار FRR بر حسب تمام مقادیری



شکل (۱): الگوریتم تأیید و شناسایی چهره با استفاده از چهره-ویژه‌ها

در صورت عدم انتخاب یک معیار شباهت مناسب یا انتخاب مقداری نامناسب برای سطح آستانه، با مقدار خطای زیادی در سیستم‌های تأیید و شناسایی چهره روبرو می‌شویم. در سیستم‌های تأیید چهره با دو نوع خطا روبرو هستیم. خطای پذیرش نادرست^۱ (FAR) به این معناست که هویت یک جاعل به عنوان یک کاربر تعیین گردد و خطای رد نادرست^۲ (FRR) بیانگر تعیین هویت یک کاربر به عنوان یک جاعل می‌باشد. در سیستم‌های شناسایی چهره تعیین صحیح گروه چهره‌های شناخته شده تحت عنوان صحت شناسایی^۳ بیان می‌شود.

۴ - معیارهای شباهت^۴

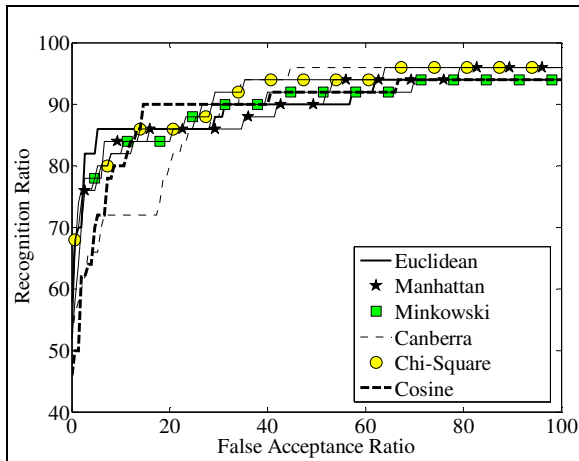
همان‌طور که گفته شد برای مقایسه‌ی وزن‌های حاصل از تصویر جدید با وزن‌های تصاویر آموزشی می‌توان از معیارهای شباهت مختلفی استفاده کرد. در این مقاله از شش معیار شباهت استفاده شده‌است [۱۱]. فرض کنید p و q به ترتیب بیانگر بردار وزن حاصل از تصویر جدید و بردار وزن یکی از نمونه‌های آموزشی باشند و m نیز طول بردارهای p و q باشد. یکی از متداولترین توابع فاصله، فاصله مینکوفسکی است که با استفاده

¹ False Acceptance Ratio

² False Rejection Ratio

³ Recognition Accuracy

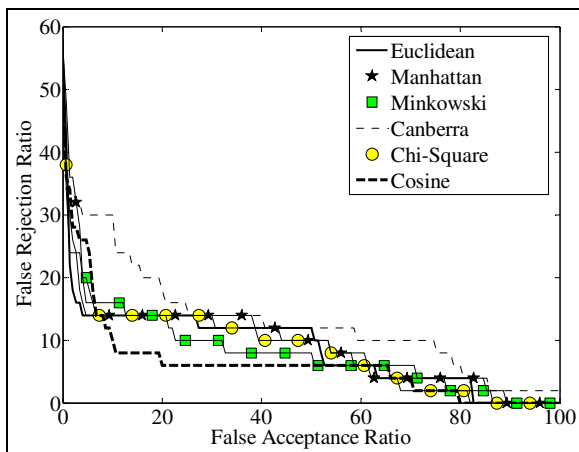
⁴ Similarity Measures



شکل (۳): نمودار صحت شناسایی بر حسب FAR با ۲۰ چهره-ویژه

همان‌طور که در شکل‌های (۲) و (۳) ملاحظه می‌شود عملکرد معیارهای شباهت در تأیید و شناسایی چهره‌ها متفاوت است. با توجه به نمودارهای فوق می‌توان معیار شباهت مناسب را برای سیستم‌های تأیید و شناسایی چهره انتخاب نمود. با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) مشاهده می‌شود که عملکرد معیارهای شباهت مربع کای و کسینوسی تا حدودی بهتر از معیارهای دیگر است.

در شبیه‌سازی دوم تعداد چهره-ویژه‌ها برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده‌است. در شکل (۴) نمودار FRR و در شکل (۵) نمودار صحت شناسایی چهره‌ها، بر حسب FAR و با استفاده از معیارهای شباهت مختلف رسم شده‌است.



شکل (۴): نمودار FRR بر حسب FAR با استفاده از ۱۰۰ چهره-ویژه

در شکل‌های (۴) و (۵) ملاحظه می‌شود که عملکرد معیارهای شباهت با تغییر تعداد چهره-ویژه‌ها تغییر کرده‌است. در این شبیه‌سازی عملکرد معیار کسینوسی در تأیید و شناسایی چهره بهتر از معیارهای دیگر است. همچنین معیار شباهت کنبرا عملکرد بدی را در تأیید و شناسایی چهره‌ها داشته‌است.

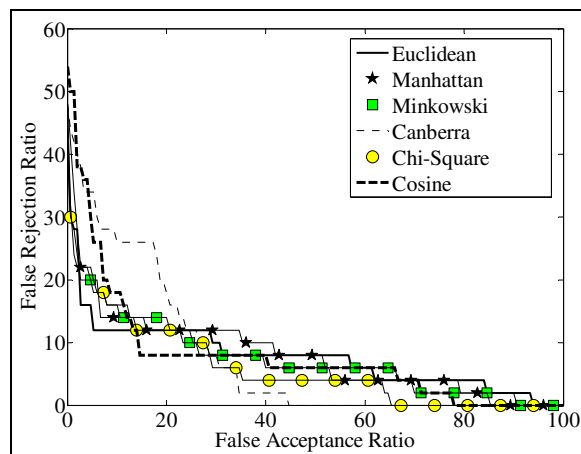
که FAR می‌تواند اختیار کند، محاسبه می‌شود. روش کار به این صورت است که با وارد کردن مقادیر FAR، ابتدا مقدار سطح آستانه را محاسبه کرده و سپس با استفاده از مقدار سطح آستانه، ماتریس وزن‌ها و چهره-ویژه‌ها، مقدار FRR به دست می‌آید. مقادیر FRR را با استفاده از ۶ معیار شباهت مختلف به دست آورده و برای مقایسه‌ی آنها از نمودار FRR بر حسب FAR استفاده می‌شود.

همچنین پس از جداسازی چهره‌های شناخته‌شده و ناشناس، تعیین گروه چهره‌های شناخته‌شده نیز انجام می‌گیرد. پس از تعیین گروه چهره‌های شناخته‌شده، نمودار صحت شناسایی چهره‌ها بر حسب مقادیر FAR و با معیارهای شباهت مختلف رسم می‌شود. این آزمایش‌ها برای تعداد ۲۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ چهره-ویژه انجام شده و نمودار هر یک از حالات فوق رسم می‌شود.

در صورت معلوم بودن مقدار خطای پذیرش نادرست، می‌توان از روی نمودارهای رسم شده بهترین معیار شباهت را انتخاب کرد. در صورتی که مقدار خطای پذیرش نادرست معلوم نباشد، از سطح زیر نمودارهای رسم شده برای مقایسه معیارهای شباهت استفاده می‌شود. روش کار به این صورت است که هرچه سطح زیر نمودار FRR بر حسب FAR کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی کارایی و عملکرد بهتر معیار شباهت در تأیید چهره‌ها است. همچنین هرچه سطح زیر نمودار صحت شناسایی بر حسب FAR بزرگتر باشد، بیانگر عملکرد بهتر معیار شباهت در شناسایی چهره‌ها است.

ج- نتایج و بحث

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده بر روی پایگاه داده‌ی ORL ارائه می‌شود. آزمایش اول با تعداد ۲۰ چهره-ویژه انجام شده‌است. در شکل (۲) نمودار FRR بر حسب FAR و با استفاده از معیارهای شباهت مختلف نشان داده شده‌است. در شکل (۳) نمودار صحت شناسایی چهره‌ها بر حسب FAR و با استفاده از معیارهای شباهت مختلف رسم شده‌است.^۱



شکل (۲): نمودار FRR بر حسب FAR با استفاده از ۲۰ چهره-ویژه

^۱ واحد محورهای افقی وعمودی شکل‌های رسم‌شده بر حسب درصد می‌باشد.

معیار شباهت کسینوسی در تأیید و شناسایی چهره بهتر از معیارهای دیگر است. در شکل (۷) ملاحظه می‌شود که معیار شباهت کنبرا عملکرد بسیار بدی را در شناسایی چهره‌ها دارد.

از روی نمودارهای رسم شده، در صورت معلوم بودن مقدار خطای پذیرش نادرست می‌توان مناسب‌ترین معیار شباهت را انتخاب کرد. در صورت نامشخص بودن خطای پذیرش نادرست، برای مقایسه‌ی معیارهای شباهت، سطح زیر نمودارهای رسم شده محاسبه می‌شود. در جدول (۱) سطح زیر نمودار FRR بر حسب FAR، با معیارهای شباهت مختلف و تعداد چهره-ویژه‌های متفاوت نشان داده شده‌است.

جدول (۱): مقادیر سطح زیر نمودار FRR بر حسب FAR

معیار	۲۰ چهره-ویژه	۱۰۰ چهره-ویژه	۲۰۰ چهره-ویژه
اقلیدسی	۷۶۷	۸۶۰	۸۱۱
منهتن	۷۸۶	۹۵۴	۷۳۱
مینکوفسکی	۷۶۰	۸۰۲	۸۰۰
کنبرا	۷۵۴	۱۳۰۶	۹۱۶
مربع کای	۵۹۲	۸۵۲	۶۲۳
کسینوسی	۷۷۱	۶۱۸	۵۸۱

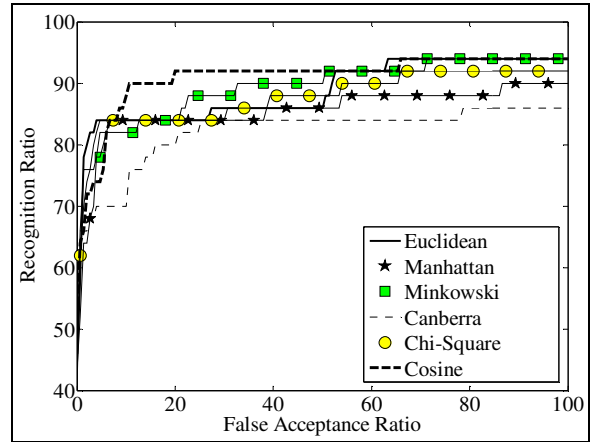
هرچه اعداد جدول (۱) مقادیر کمتری داشته‌باشند، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر معیار شباهت در تأیید چهره‌ها است. همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود معیار شباهت کسینوسی به دلیل داشتن مقدار کمتر، عملکرد بهتری را در تأیید چهره‌ها داشته‌است. پس از آن معیار مربع کای نتایج بهتری را داشته‌است. معیار کنبرا در بین معیارهای فوق بدترین عملکرد را در تأیید چهره‌ها داشته‌است.

در جدول (۲) سطح زیر نمودار صحت شناسایی چهره‌ها بر حسب FAR، با تعداد چهره-ویژه‌های متفاوت و معیارهای شباهت مختلف نشان داده شده‌است.

جدول (۲): مقادیر سطح زیر نمودار صحت شناسایی چهره‌ها بر حسب FAR

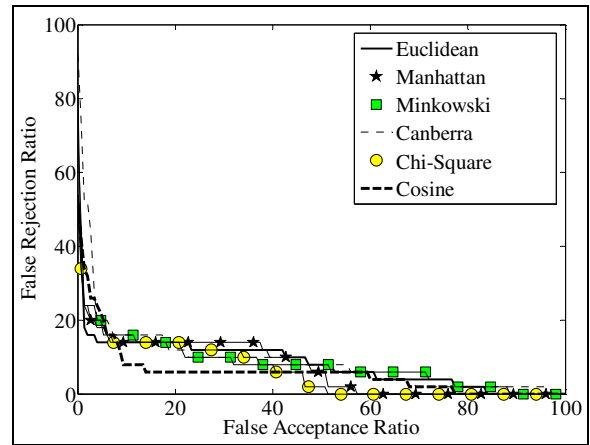
معیار	۲۰ چهره-ویژه	۱۰۰ چهره-ویژه	۲۰۰ چهره-ویژه
اقلیدسی	۸۹۸۹	۸۸۷۲	۸۹۱۷
منهتن	۸۹۸۴	۸۵۵۴	۸۸۹۷
مینکوفسکی	۸۹۵۵	۸۹۳۷	۸۹۳۷
کنبرا	۸۹۱۷	۸۲۱۳	۸۱۹۰
مربع کای	۹۱۳۸	۸۷۶۸	۸۹۸۵
کسینوسی	۸۹۳۶	۹۰۹۴	۹۱۲۶

هرچه اعداد جدول (۲) مقادیر بزرگتری داشته‌باشند، نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر معیار شباهت در شناسایی چهره‌ها است. معیار شباهت کسینوسی، عملکرد بهتری را در شناسایی چهره‌ها دارد. پس از آن معیارهای مربع کای و مینکوفسکی نتایج بهتری را داشته‌اند. معیار کنبرا در شناسایی چهره‌ها نیز عملکرد بدی را داشته‌است.

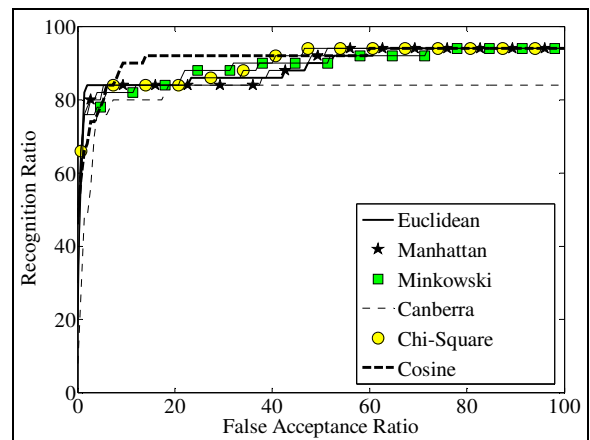


شکل (۵): نمودار صحت شناسایی بر حسب FAR با ۱۰۰ چهره-ویژه

شکل‌های (۶) و (۷) نتایج را برای شبیه‌سازی با تعداد ۲۰۰ چهره-ویژه ارائه می‌کنند.



شکل (۶): نمودار FRR بر حسب FAR با استفاده از ۲۰۰ چهره-ویژه



شکل (۷): نمودار صحت شناسایی بر حسب FAR با ۲۰۰ چهره-ویژه

در شکل‌های (۶) و (۷) نیز تفاوت کارایی معیارهای شباهت با تغییر تعداد چهره-ویژه‌ها نشان داده شده‌است. در این شبیه‌سازی عملکرد

۶ - نتیجه‌گیری

علاوه بر مقدار سطح آستانه که نقش اساسی در سیستم‌های تأیید چهره دارد، انتخاب یک معیار شباهت مناسب نیز می‌تواند درصد موفقیت این سیستم‌ها را بالا ببرد. در این مقاله شش معیار شباهت اقلیدسی، منهتن، مینکوفسکی، کنبرا، مربع کای و کسینوسی در تأیید و شناسایی چهره با استفاده از تعداد مختلفی از چهره-ویژه‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

همان‌طور که ملاحظه شد تعداد چهره-ویژه‌ها می‌تواند بر روی کارایی و عملکرد معیارهای شباهت در تأیید و شناسایی چهره اثر گذارد. با استفاده از نمودارهای رسم شده در مقاله می‌توان معیار شباهت بهینه را انتخاب کرد. در بین معیارهای شباهت ذکر شده، معیار شباهت کسینوسی در مقایسه با دیگر معیارها نتایج بهتری را دارد.

مراجع

- [۱] A. Eleyan, H. Demirel, "Face recognition system based on PCA and feedforward neural networks", Proceedings of Computational Intelligence and Bioinspired systems, Vol. 3512, 2005.
- [۲] C. Satyanarayana, D. M. Potukuchi, L. Pratap Reddy, "Performance evaluation of incremental training method for face recognition using PCA", Journal of real-time Image Processing, Vol. 1, No. 4, pp.311-327, 2007.
- [۳] M. Turk, A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition", Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pp.71-86, March 1991.
- [۴] M. Kirby, L. Sirovich, "Application of the KL procedure for the characterization of human faces", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12, No. 1, pp.103-108, 1990.
- [۵] P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, D. J. Kriegman, "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using class specific linear projection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 7, pp.711-720, 1997.
- [۶] M. S. Bartlett, J. R. Movellan, T. Sejnowski, "Face Recognition by Independent Component Analysis" IEEE Transactions on Neural Network, Vol. 13, No. 6, pp.1450-1464, 2002.
- [۷] J. Yang, D. Zhang, A. F. Frangi, J. Y. Yang, "Two-dimensional PCA: a new approach to appearance-based face representation and recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No. 1, pp.131-137, 2004.
- [۸] M. Li, B. Yaun, "2D-LDA: A statistical linear discriminant analysis for image matrix", Pattern Recognition Letters, Vol. 26, pp.527-532, 2005.
- [۹] N. Muller, L. Magaia, B. M. Herbst, "Singular Value Decomposition, Eigenfaces, and 3D Reconstruction", SIAM review, Vol. 46, No. 3, pp.518-545, 2004.
- [۱۰] C. H. Hsu, C. C. Chen, "SVD-Based projection for face recognition", IEEE International Conference on Electro/Information technology, 2007.
- [۱۱] M. Kokare, B. N. Chatterji, P. K. Biswas, "Comparison of similarity metrics for texture image retrieval", IEEE conference convergent technologies for Asia-Pacific region, Vol. 2, pp.571-575, 2003.