

روشی جهت بازشناسی چهره با استفاده از الگوریتم های هوشمند

سمیرا آقابابائی^۱، ماشاله عباسی دزفولی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، اهواز، ایران،

samira_aghbabaei@yahoo.com

۲- دکتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ایران،

m.abbasidezfuli@iauahvaz.ac.ir

چکیده

امروزه در حیطه های بسیاری به ابزاری نیازمندیم که هویت افراد را شناسایی و بر اساس خصوصیات بدن آن ها را مورد شناسایی قرار دهد و هر روزه این حیطه به طور فراوانی رشد می یابد و علاقه مندان بسیاری پیدا کرده است. بر این اساس تکنیک های متفاوتی برای تشخیص چهره توسعه یافته و الگوریتم های طبقه بندی فراوانی نیز برای آن پیشنهاد گردیده است. در این تحقیق سعی شده است روشی جهت شناسایی چهره با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم های درخت تصمیم و آدابوست ارائه شود. بر این اساس روش پیشنهادی ابتدا ویژگی ها را از تصویر استخراج می کند و در ادامه پس از انتخاب زیر مجموعه بهینه از این ویژگی ها توسط الگوریتم رقابت استعماری به کمک الگوریتم های درخت تصمیم و آدابوست عملیات تشخیص چهره را صورت می دهد. قابل ذکر است که روش پیشنهادی بر روی مجموعه تصاویر Yale اعمال شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که روش پیشنهادی، دقت را تا یک درصد به نسبت کارهای پیشین بهبود بخشیده است.

کلمات کلیدی: تشخیص چهره، انتخاب ویژگی، الگوریتم رقابت استعماری، درخت تصمیم، آدابوست

۱- مقدمه

شناسایی چهره عملی است که انسان با دقت بسیاری بطور روزمره در زندگی انجام می دهد. افزایش روزافزون رایانه های خانگی و سیستم های ارزان قیمت رومیزی، موجب شده تا توجه بسیاری بر پردازش های خودکار روی تصاویر از جمله بازشناسی ها، تعامل انسان و کامپیوتر و مدیریت چندرسانه ای جلب گردد. پژوهش و توسعه در حیطه شناسایی چهره نیز به همین دلایل در حال انجام و گسترش می باشد [۱].

در ۳۰ سال گذشته، تحقیقات بسیار زیادی بر روی ساخت یک سیستم تشخیص اتوماتیک چهره توسط کامپیوتر انجام گرفته است. کاربردهای متعددی برای یک سیستم تشخیص چهره ماشینی وجود دارد، که از جمله آنها می توان به مواردی همچون چک کردن کارتهای اعتباری، گواهینامه رانندگی، گذرنامه و کنترل ورود و خروج افراد به مراکز مهم، شناسایی متهمین از طریق مقایسه چهره آنها با افراد سابقه دارو بالاخره تأیید هویت کاربران اینترنت برای استفاده از خدمات یک سایت یا انجام معاملات پولی، اشاره کرد؛ اما متأسفانه سیستم های کامپیوتری قادر نیستند به همان سادگی و دقت انسانها، چهره افراد را تشخیص دهند که این مسئله دو علت اصلی دارد: (۱) شباهت حالت و فرم کلی چهره افراد مختلف به یکدیگر (۲) وضعیتها و حالت های مختلف چهره یک فرد خاص (خنده، ناراحتی و...). علاوه بر این، میزان دقت و کارایی یک سیستم شناسایی چهره،

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

شدیدا تحت تأثیر محدودیتها و شرایطی همچون کیفیت تصویر، شرایط نوری محیط، تغییرات زیاد در ابعاد چهره و چرخش سر، تغییر حالت چهره و یا استفاده افراد از عینک، ریش و... قرار می‌گیرد.

برای بازشناسی یک سری از خصوصیات مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای هر شخص منحصر به فرد می‌باشد و از شخصی به شخص متفاوت می‌باشد. امروزه در حیطه‌های بسیاری به ابزاری نیازمندیم که هویت افراد را شناسایی و بر اساس خصوصیات بدن آن‌ها را مورد شناسایی قرار دهد و هرروزه این حیطه به‌طور فراوانی رشد می‌یابد و علاقه‌مندان بسیاری پیدا کرده است [۲]. امروزه روش‌های متفاوتی برای بازشناسی چهره توسعه پیدا کرده‌اند. این روش‌ها با توجه به نوع کاربرد شناسایی چهره اهداف متفاوتی دارند. به صورتی که در برخی کاربردها تشخیص برخط بودن با اهمیت‌تر است لذا سرعت تشخیص مهم است، در برخی دقت تشخیص اهمیت دارد و در کل این روش‌ها به دنبال افزایش سرعت و دقت در تشخیص می‌باشند [۳].

۲- کارهای پیشین

در سال‌های گذشته تحقیقات زیادی در زمینه شناسایی چهره صورت گرفته است که برخی از آنها بطور خلاصه در جدول ۱ آمده‌اند:

به نقل از ویولا و فوتینگ، بیمر از اولین کسانی بود که ماشین‌هایی برای بازشناسی چهره بر اساس ضرایب تابع همبستگی متقابل ارائه داد [۵]، [۴]. بیمر برای بازشناسی چهره‌ها در زوایای متفاوت، الگوهای چرخانده شده را به مجموعه آموزشی خود اضافه کرد [۶].

معروف‌ترین تکنیک‌های بازشناسی چهره ویژه می‌باشد که ترک و پنتلند آن را ارائه دادند و تکنیک آنالیز المان‌های اصلی را مورد استفاده قرار می‌دهد [۷]. در ادامه پنتلند پژوهش‌هایی در حیطه شناسایی چهره با تکنیک Eigenfeatures به منظور تشخیص انجام داد. در این تکنیک بجای آنکه بسط PCA بر روی تصویر تمام چهره اعمال شود الگوهای بینی، چشم و دهان برای هر تصویر ورودی تهیه می‌شود و سپس روی این الگوها بسط کارهونن-لوو اعمال می‌گردد. برای اطلاع از تحقیقات پژوهشگران در استفاده از تبدیل PCA، می‌توان سنجش از راه دور [۸]، مهندسی پزشکی، تشخیص کاراکتر، روش‌های تحلیل صحنه (Scene Analysis) و غیره را مشاهده نمود.

یکی دیگر از با سابقه‌ترین گرایش‌های مطالعاتی استفاده از نسخه‌های متفاوت بسط آنالیز تفکیک‌پذیری خطی یا به اختصار LDA در مسئله بازشناسی چهره می‌باشد. نسخه معروف و جدید دیگری از الگوریتم LDA در سال ۲۰۰۵ میلادی به نام Regularized LDA توسط لو و همکاران با اصلاح معیار فیشرفر معرفی گردید [۹].

می‌توان تصور کرد در بازشناسی چهره، هر چهره از ترکیب خطی چند چهره خاص به وجود آمده است بنابراین با استفاده از بسط ICA یک فضای چهره برای بازشناسی می‌توان ایجاد کرد. از طرفی دیگر آنالیز ICA تکنیکی برای پیاده‌سازی نظریه افزونگی بارلو (Barlow) به‌منظور بازشناسی چهره پیشنهاد می‌دهد. بارتلت در پژوهش خود باهدف بررسی اثر فاز در تصاویر چهره، استدلال کرد که اگر فاز تصاویر تغییر یابد ماهیت تصویر به مقدار زیادی تغییر می‌کند [۶].

از تکنیک‌های جدید دیگر می‌توان به استفاده از یادگیری منیفولد در مسئله بازشناسی چهره اشاره کرد [۱۰]. در سال‌های اخیر مناسب‌ترین ابزارهای حل مسئله یعنی الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و الگوریتم رقابت استعماری در حیطه شناسایی الگو مسئله انتخاب ویژگی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷، ۱۲، ۱۱].

یو هو همکاران [۱۳] پژوهشی تحت عنوان افتراقی چندلایه نور قوی استخراجی برای تشخیص چهره انجام دادند. توسط هوانگ و بین [۱۴] در پژوهشی تشخیص چهره قوی با ساختاری دودویی با توجه به الگوهای گرادیان انجام شد. در پژوهشی توسط وانگ و همکاران [۱۵] تحت عنوان تشخیص چهره قوی از طریق نمایندگی تقویت پراکنده از نمایندگی خط به عنوان یک راه حل مؤثر برای تشخیص چهره استفاده می‌شود.

در مطالعه لی و سئون [۱۶] تحت عنوان تشخیص چهره قوی بر اساس حضور رتبه‌های پویا از الگوریتم رتبه‌های پویا برای تشخیص چهره استفاده می‌شود. پژوهشی توسط کیان و همکاران [۱۷] تحت عنوان مقاوم نورم هسته‌ای رگرسیون منظم

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

برای تشخیص چهره به منظور به رسمیت شناخت انسداد در آن انجام شد. در این مطالعه از روش رگرسیون برای تشخیص انسدادهای موجود در تشخیص چهره استفاده گردیده است. اسماعیلی و همکاران [۱۸] از ترکیب دو مدل قشر بینایی برای تشخیص چهره قوی استفاده کردند.

در پژوهشی توسط فنگ و همکاران [۱۹] تحت عنوان تشخیص چهره با توجه به ویژگی های کوچکی و بزرگی آن، از یک طبقه بند جدید با عنوان تشخیص ریز و درشت چهره استفاده نموده است. ازازی و همکاران [۲۰] در مطالعه ای تحت عنوان شناخت روش های مؤثر خودکار در تشخیص سه بعدی چهره، به بررسی روش های تشخیص چهره و نشان دادن مکانیزم تشخیص سه بعدی برای آن پرداختند. بانگ و همکاران [۲۱] در پژوهشی تحت عنوان تشخیص چهره سریع و قوی از طریق برنامه نویسی آموزش نقشه باقیمانده بر اساس پوشش تطبیقی از آموزش نمونه ها و توزیع باقیمانده برنامه نویسی برای تهیه یک نقشه از چهره بکار بردند.

همچنین پژوهشی توسط یان و همکاران [۲۲] تحت عنوان چند ناحیه بانک فیلتر همبستگی مبتنی بر تشخیص چهره قوی انجام شد. ژانگ و همکاران [۲۳] در مطالعه خود تحت عنوان طرح روش قوی تشخیص چهره از طریق تنک پیشنهاد میکنند که یک روش تشخیص چهره نیازمند بررسی تفاوت های کوچکی و بزرگی ژست های صورت می باشد. همچنین در پژوهشی که توسط گوا و همکاران [۲۴] تحت عنوان رگرسیون طیفی قوی برای تشخیص چهره صورت گرفت از روش رگرسیون طیفی برای تشخیص چهره بهره برده شده است.

جدول ۱: بررسی برخی از کارهای پیشین

محقق	ویژگی جدید روش	نتیجه و بررسی دقت
یو هو همکاران (۲۰۱۷)	افتراقی چندلایه نور قوی استخراجی برای تشخیص چهره	آنالیز برای مطالعات اخترشناسی
هوانگ و بین (۲۰۱۷)	تشخیص چهره قوی با ساختاری دودویی	چارچوب باینری کم حجم و کارآمد و سرعت در آنالیز
وانگ و همکاران (۲۰۱۴)	تشخیص چهره قوی از طریق نمایندگی تقویت پراکنده	دقت بالا در تشخیص چهره
لی و سنون (۲۰۱۶)	تشخیص چهره قوی بر اساس حضور رتبه های پویا	سرعت بالا در انجام آنالیز
کیان و همکاران (۲۰۱۵)	مقاوم نورم هسته ای رگرسیون منظم برای استحکام روش برای تشخیص چهره	استحکام روش برای تشخیص چهره در حالت گوناگون
اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۵)	ترکیب دو مدل قشر بینایی برای تشخیص چهره قوی	استفاده از الگوهای عصبی مغز در سیستم بینایی
فنگ و همکاران (۲۰۱۴)	تشخیص چهره با توجه به ویژگی های کوچکی و بزرگی	تشخیص چهره با ویژگی های متفاوت
ازازی و همکاران (۲۰۱۴)	شناخت روش های مؤثر خودکار در تشخیص سه بعدی	آنالیز نسبتا دقیق و سریع

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

استفاده از پیکسل ها و تطبیق با تعداد زیادی از پایگاه های داده	تشخیص چهره سریع و قوی از طریق برنامه نویسی آموزش نقشه باقیمانده	یانگ و همکاران (۲۰۱۴)
دقت در تشخیص چهره	چند ناحیه بانک فیلتر همبستگی مبتنی بر تشخیص چهره	یان و همکاران (۲۰۱۴)
استفاده از کلبه تفاوت های موجود در چهره	روش قوی تشخیص چهره از طریق بازنمایی تنک	ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)
استفاده حداکثری از پیکسل های یک عکس برای تشخیص چهره	رگرسیون طیفی قوی برای تشخیص چهره	گوا و همکاران (۲۰۱۳)

۳- درخت تصمیم

دسته بندی درخت های تصمیم مجموعه ای از قواعد متوالی می باشند که در نهایت منجر به تصمیم گیری می شوند. برعکس تکنیک های عددی، توانایی تفسیر دارند و استراتژی تقسیم و غلبه را مورد استفاده قرار می دهند. دسته بندی با استفاده از درخت تصمیم گیری به این صورت است که دسته بندی از ریشه شروع می گردد که مقدار خاص یک مشخصه را از نمونه سؤال می کند. این ریشه (مشخصه) به مقادیر متفاوت خود وصل می باشد. بر اساس این که نمونه برای این مشخصه دارای چه مقداری است، به گره دیگر وارد می شود. تنها باید یک حالت انتخاب گردد. در این مرحله باید در رابطه با مشخصه داده در گره این نود وارد شده مربوط به سطح دوم درخت تصمیم گرفته شود (به طور بازگشتی ریشه زیر درخت نیز می تواند به حساب آید). این مراحل تا رسیدن داده به برگ های درخت تکرار می گردند [۲۵].

۴- الگوریتم رقابت استعماری

این الگوریتم یک الگوریتم تکاملی از گروه الگوریتم های فرامکاشفه ای می باشد. الگوریتم های فرامکاشفه ای از انواع الگوریتم های بهینه سازی تقریبی هستند که قابلیت فرار از کمینه های محلی را دارند و می توانند در مسائل بسیاری مورد استفاده قرار بگیرند. تئوری این الگوریتم بر اساس سیاست های اجتماعی سیاسی می باشد. این الگوریتم با تعدادی جمعیت اولیه که به طور تصادفی به وجود می آیند، آغاز می گردد. هر یک از این جمعیت ها، «کشور» نام گذاری شده است. در واقع این کشورها همان کروموزوم ها در الگوریتم ژنتیک می باشند. هر کشور متشکل از مجموعه ای از متغیرها است. این متغیرها در دنیای واقعی فرهنگ، زبان، اقتصاد و غیره می توانند باشند. این کشورها بر اساس تابع هزینه مسئله به دو دسته مستعمره و استعمارگر تقسیم بندی می گردند. در ابتدا تعداد کشورهای استعمارگر تعیین می شود. برای مشخص شدن تعداد مستعمره های هر کشور استعمارگر، باید قدرت آن ها محاسبه گردد چون این تعداد به قدرت آن ها بستگی دارد. یک گام اصلی این الگوریتم سیاست همگون سازی (جذب) می باشد. در سیاست همگون سازی استعمارگرها با انجام سیاست جذب، موجب می شود مستعمره ها در ابعاد متفاوت سیاسی اجتماعی به آن ها نزدیک شوند. سیاست جذب در این الگوریتم به شکل حرکت مستعمره به سوی استعمارگرها مدل سازی گردیده است. گاهی امکان دارد مستعمره در حرکت به سوی استعمارگر به موقعیتی برسد که در موقعیت جدیدی تابع هزینه کمتری نسبت به استعمارگر داشته باشد. در این حالت استعمارگر و مستعمره جای خود را با یکدیگر عوض می کنند. حال الگوریتم با کشور استعمارگر جدید به روند خود ادامه می دهد و استعمارگر جدید آغاز به اعمال سیاست جذب می نماید پس از ایجاد امپراتوری با استفاده از هزینه های هر امپراتوری، قدرت کل هر کدام به دست می آید. هزینه کل امپراتوری در واقع هزینه استعمارگر به اضافه درصدی از هزینه همه ی مستعمره های آن می باشد محاسبه می گردد. دومین گام اصلی الگوریتم، رقابت استعماری می باشد. در رقابت استعماری هر امپراتوری سعی می نماید که قدرت خود را بیشتر کند یا حداقل مانع کاهش آن گردد. در این رقابت امپراتوری های قوی، قوی تر خواهند شد و امپراتوری های ضعیف، تدریجاً ضعیف تر می گردند

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

تا در نهایت حذف شوند. برای مدل کردن این واقعیت، امپراتوری‌های قوی به‌منظور به دست آوردن ضعیف‌ترین مستعمره مربوط به ضعیف‌ترین امپراتوری، رقابت می‌کنند. با توجه به قدرت امپراتوری‌ها، امپراتوری که قدرت بیشتری برای به دست آوردن داشته باشد، با احتمال بیشتری مستعمره ضعیف را تصاحب می‌نماید. به‌این‌ترتیب با تکرار الگوریتم، امپراتوری ضعیف مستعمره‌های ضعیف خود را از دست خواهد داد. هنگامی که امپراتوری همه مستعمره‌های خود را از دست می‌دهد، دیگر برای رقابت قدرتی ندارد، سقوط کرده و از میان امپراتوری‌ها حذف می‌گردد. الگوریتم به همین شکل ادامه پیدا می‌کند تا هنگامی که به‌شرط خاتمه برسد یا تعداد کل تکرارها تمام شود. به‌تدریج با اجرای الگوریتم امپراتوری‌های ضعیف سقوط می‌کنند تا و در نهایت یک امپراتوری وجود خواهد داشت. در این دنیای جدید مستعمره‌ها و استعمارگرها هزینه و موقعیت‌های یکسانی دارند و در واقع تفاوتی میان آن‌ها وجود ندارد [۲۶].

۵-روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل پیش‌پردازش تصاویر، استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و در نهایت عملیات طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم و آداوست است که در زیر بیان می‌شوند:

۵-۱-پیش‌پردازش تصاویر

مرحله اول در پردازش تصویر تشخیص چهره است. در این بخش با استفاده از الگوریتم استاندارد تشخیص چهره، ناحیه چهره از تصاویر استخراج و باقی بخش‌های اضافی حذف می‌شود.

۵-۲-استخراج ویژگی

برای استخراج ویژگی از تحلیل بافت استفاده شده است. بدین منظور از سه روش الگوی باینری محلی دورانی، آنالیز گابور و هیستوگرام شدت لبه‌های تصویر استفاده شده است.

۵-۳-انتخاب ویژگی به کمک الگوریتم رقابت استعماری

مرحله بعدی در روش پیشنهادی، شناسایی ترکیب بهینه‌ای از ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی است. در این راستا، الگوریتم رقابت استعماری مورد استفاده قرار گرفته است. به‌منظور تشکیل جمعیت اولیه، از بین جایگشت‌های مختلف ۰ و ۱ در یک بردار ویژگی برابر با ۱۹۳ عنصری (یعنی از بین 2^{193} جایگشت مختلف بهینه‌سازی انجام می‌شود)، N بردار حداکثر ۱۹۳ عنصری به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند. در شکل ۱ نمونه‌ای از تطبیق بردار ویژگی پایه بر جایگشت‌ها جهت تشکیل جمعیت اولیه نشان داده شده است.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	...	۱۹۰	۱۹۱	۱۹۲	۱۹۳
۱	۰	۱	۱	۰	۱		۱	۱	۱	۰

شکل ۱: نمونه‌ای از تطبیق بردار ویژگی پایه بر جایگشت‌ها جهت تشکیل جمعیت اولیه

به این ترتیب، یک جمعیت اولیه متشکل از N بردار ویژگی تقلیل یافته تشکیل می‌شود که به بلوک انتخاب ویژگی تزریق می‌شوند تا ترکیب ویژگی بهینه، با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری ساخته شود. در جدول ۲ پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری آمده است.

سومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر، داده کاوی و داده های حجیم

جدول ۲: پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری

مقدار	پارامتر
۳۰۰	جمعیت اولیه
۸	تعداد استعمارگر اولیه
۱۰۰	تعداد تکرار نهایی
۰,۵	ضریب شبیه سازی سیاست جذب β
$\pi / 4$	ضریب انحراف θ
۰,۳	نرخ انقلاب

۴-۵- طبقه بندی به کمک روش های مبتنی بر درخت تصمیم

پس از استخراج ویژگی از تصاویر و انتخاب زیرمجموعه بهینه، مرحله پایانی روش پیشنهادی طبقه بندی است. در این تحقیق برای طبقه بندی از روش های مبتنی بر درخت تصمیم استفاده می شود. دو روش درخت تصمیم و آدابوست در این تحقیق بررسی شده اند. لازم به ذکر است نتایج نهایی سیستم بر مبنای پارامترهای صحت و دقت گزارش می شود.

۶- نتایج

در جدول ۳ نتایج دو روش درخت تصمیم و الگوریتم آدابوست آمده است.

جدول ۳: نتایج به دست آمده

روش طبقه بندی	صحت	دقت
درخت تصمیم	۰,۸۹	۰,۸۸۶
درخت تصمیم (انتخاب ویژگی)	۰,۹۱۲	۰,۹۰۶
آدابوست	۰,۹۴۴	۰,۹۵
آدابوست (انتخاب ویژگی)	۰,۹۵۵	۰,۹۶۹

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق تشخیص چهره با استفاده از یک روش ترکیبی برای انتخاب ویژگی های بهینه بافت و مدل درخت تصمیم و آدابوست پیاده سازی شد. مهم ترین گام در این تحقیق استفاده ترکیبی از الگوریتم های درخت تصمیم و آدابوست در کنار شناسایی ویژگی های بهینه چهره توسط الگوریتم رقابت استعماری است. نتایج به دست آمد نشان دهنده دقت بالای الگوریتم آدابوست در هر دو حالت استفاده از تمام ویژگی ها و انتخاب ویژگی در تشخیص چهره دارد.

- [1]Karczmarek, P., Kiersztyn, A., Pedrycz, W., & Dolecki, M. (2017). An application of chain code-based local descriptor and its extension to face recognition. *Pattern Recognition*, 65, 26-34.
- [2] Karczmarek, P., Kiersztyn, A., Pedrycz, W., & Dolecki, M. (2017). An application of chain code-based local descriptor and its extension to face recognition. *Pattern Recognition*, 65, 26-34.
- [3] Tiwari, V. (2012). Face recognition based on cuckoo search algorithm. *image*, 7(8), 9.
- [4] Foithong, S., Pinnern, O., & Attachoo, B. (2012). Feature subset selection wrapper based on mutual information and rough sets. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 574-584
- [5] Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on* (Vol. 1, pp. I-511). IEEE
- [6] Govindarajan, V., VVS, S. K., & Ramachandran, S. (2012). Face recognition using block-based DCT feature extraction. *Journal of Advanced Computer Science & Technology*, 1(4), 266-283.
- [7]Krisshna, N. A., Deepak, V. K., Manikantan, K., & Ramachandran, S. (2014). Face recognition using transform domain feature extraction and PSO-based feature selection. *Applied Soft Computing*, 22, 141-161.-
- [8] Luan, X., Fang, B., Liu, L., Yang, W., & Qian, J. (2014). Extracting sparse error of robust PCA for face recognition in the presence of varying illumination and occlusion. *Pattern Recognition*, 47(2), 495-508.
- [9] Venkatesan, S., & Madane, S. S. R. (2010). Face recognition system with genetic algorithm and ANT colony optimization. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1(5), 469.
- [10] Ouyang, S., Hospedales, T., Song, Y. Z., Li, X., Loy, C. C., & Wang, X. (2016). A survey on heterogeneous face recognition: Sketch, infra-red, 3D and low-resolution. *Image and Vision Computing*, 56, 28-48.
- [11] Ramadan, R. M., & Abdel-Kader, R. F. (2009). Face recognition using particle swarm optimization-based selected features. *International Journal of Signal rocessing, Image Processing and Pattern Recognition*, 2(2), 51-65.
- [12] Chakrabarty, A., Jain, H., & Chatterjee, A. (2013). Volterra kernel based face recognition using artificial bee colony optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(3), 1107-1114.
- [13] Yu, Y. F., Dai, D. Q., Ren, C. X., & Huang, K. K. (2017). Discriminative multi-layer illumination-robust feature extraction for face recognition. *Pattern Recognition*, 67, 201-212.
- [14] Huang, W., & Yin, H. (2017). Robust face recognition with structural binary gradient patterns. *Pattern Recognition*, 68, 126-140.
- [15] Liu, T., Mi, J. X., Liu, Y., & Li, C. (2016). Robust face recognition via sparse boosting representation. *Neurocomputing*, 214, 944-957.
- [16] Li, H., & Suen, C. Y. (2016). Robust face recognition based on dynamic rank representation. *Pattern Recognition*, 60, 13-24.
- [17] Qian, J., Luo, L., Yang, J., Zhang, F., & Lin, Z. (2015). Robust nuclear norm regularized regression for face recognition with occlusion. *Pattern Recognition*, 48(10), 3145-3159.
- [18] Esmaili, S. S., Maghooli, K., & Nasrabadi, A. M. (2015). Combining two visual cortex models for robust face recognition. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 126(21), 2818-2824.

- [19] Feng, Q., Zhu, Q., Tang, L. L., & Pan, J. S. (2015). Robust coarse-to-fine face recognition method. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 126(23), 4159-4165.
- [20] Azazi, A., Lutfi, S. L., Venkat, I., & Fernández-Martínez, F. (2015). Towards a robust affect recognition: Automatic facial expression recognition in 3D faces. *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3056-3066.
- [21] Yang, M., Feng, Z., Shiu, S. C., & Zhang, L. (2014). Fast and robust face recognition via coding residual map learning based adaptive masking. *Pattern recognition*, 47(2), 535-543.
- [22] Yan, Y., Wang, H., & Suter, D. (2014). Multi-subregion based correlation filter bank for robust face recognition. *Pattern Recognition*, 47(11), 3487-3501.
- [23] Zhang, H., Zhang, Y., & Huang, T. S. (2013). Pose-robust face recognition via sparse representation. *Pattern Recognition*, 46(5), 1511-1521.
- [24] Guo, Y., He, R., Zheng, W. S., Kong, X., & He, Z. (2013). Robust spectral regression for face recognition. *Neurocomputing*, 118, 33-40.
- [25] Leiva-Valenzuela, G. A., Mariotti, M., Mondragón, G., & Pedreschi, F. (2018). Statistical pattern recognition classification with computer vision images for assessing the furan content of fried dough pieces. *Food chemistry*, 239, 718-725.
- [26] Xing, B., & Gao, W. J. (2014). Imperialist competitive algorithm. In *Innovative Computational Intelligence: A Rough Guide to 134 Clever Algorithms* (pp. 203-209). Springer International Publishing.