

بررسی تکنیک‌های تشخیص چهره

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

تشخیص چهره یکی از با اهمیت‌ترین رویکردهای تسهیل‌کننده ارتباط میان انسان، ماشین و زمینه‌های فعال در حیطه علم بینایی ماشین می‌باشد. از سالیان پیش بازشناسی چهره افراد از یک پایگاه داده تعیین شده، مدنظر هر سیستم امنیتی خودکار بدون نیاز به کاربر، بوده است. به مرور زمان کاربردهای این سیستم‌ها با افزایش تلاش به منظور بهبود سیستم‌های امنیتی کاربردی، در حال توسعه می‌باشد. در این بین تکنیک‌های متفاوتی برای بازشناسی چهره توسعه پیدا کرده‌اند و الگوریتم‌های طبقه‌بندی فراوانی نیز برای آن پیشنهاد گردیده است. این تکنیک‌ها با توجه به نوع کاربرد شناسایی چهره اهداف متفاوتی دارند. لذا در این تحقیق سعی شده است علاوه بر بیان روش‌ها و پیشرفت‌های اخیر که توسط محققان در زمینه تشخیص چهره صورت گرفته است، روشی جدید نیز جهت شناسایی چهره ارائه دهیم. در روش پیشنهادی زیرمجموعه‌ای بهینه از ویژگی‌های چهره با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری استخراج شده و توسط الگوریتم‌های داده کاوی طبقه‌بندی می‌گردد.

کلمات کلیدی: تشخیص چهره، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، درخت تصمیم.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های سیستم بینایی انسان، توانایی شناسایی چهره است که نقش مهمی در زندگی اجتماعی هر فرد ایفا می‌کند. ارتباط ما با سایر افراد، مبتنی بر توانایی ما در شناسایی آنها است. یکی از برجسته‌ترین جنبه‌های سیستم شناسایی چهره در انسان، دقت و اطمینان بسیار بالای آن است؛ اما همه انسان‌ها عمل شناسایی چهره را به سادگی و بدون آنکه تلاش زیادی بکنند انجام می‌دهند، در حالی که این کار برای کامپیوترها عمل چندان ساده‌ای محسوب نمی‌گردد. بنابراین سال‌ها موضوع بازشناسی چهره مورد بررسی محققان واقع شده و الگوریتم‌های طبقه‌بندی فراوانی نیز برای آن پیشنهاد گردیده است. در واقع رسیدن به یک سیستم شناسایی الگو و به بالاترین نرخ طبقه‌بندی ممکن برای مسئله مورد نظر، هدف نهایی یک الگوریتم طبقه‌بندی می‌باشد [۱].

۲- مروری بر کارهای انجام شده

در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای شناسایی چهره صورت گرفته است که در ادامه برخی از این روش‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

پژوهشی توسط یو هو همکاران [۲] تحت عنوان افتراقی چندلایه نور قوی استخراجی برای تشخیص چهره انجام شد. در این مطالعه از روش افتراق چندلایه نوری بهره برده شده است. تحلیل‌های چند مقیاسی نشان می‌دهد که این روش در پایگاه‌های

مختلف داده دارای اثربخشی قابل قبولی میباشد و در مقیاس های کوچک نوری با استفاده از وزن اختصاص داده شده و ترکیب خطی توانایی تشخیص چهره را در مقیاس های بزرگ دارد.

پژوهشی توسط هوانگ^۱ و بین [۳] تحت عنوان تشخیص چهره قوی با ساختاری دودویی با توجه به الگوهای گرادیان انجام شد. در این مقاله یک چارچوب باینری کم حجم و کارآمد در عین حال قدرتمند براساس شیب تصویر برای نمایندگی قوی تشخیص چهره ارائه شده است. در این مطالعه برای تشخیص چهره از آنالیز در نرم افزار متلب استفاده شده است؛ و برای آنالیز با استفاده از فضای باینری از همبستگی محلی قابل ملاحظه ساده محاسباتی استفاده شده است.

پژوهشی توسط وانگ و همکاران [۴] تحت عنوان تشخیص چهره قوی از طریق نمایندگی تقویت پراکنده انجام شد. در این مطالعه از نمایندگی خط به عنوان یک راه حل مؤثر برای تشخیص چهره استفاده می شود. یافته های مطالعه با استفاده از داده های موجود در پایگاه تصویر چهره AR نشان می دهد که می توان از روش نمایندگی خط^۲ به صورت دقیقی برای تشخیص چهره در شرایط خاص استفاده کرد. استنادات این مقاله با توجه به تعداد پایگاه های داده به کار رفته به طور قابل قبول دارای قابلیت اتکا می باشد.

پژوهشی توسط لی و سئون [۵] تحت عنوان تشخیص چهره قوی بر اساس حضور رتبه های پویا انجام شد. در این مطالعه از الگوریتم رتبه های پویا^۳ برای تشخیص چهره استفاده می شود. در این مطالعه از یک پروتکل رسمی طبقه بندی تصاویر چهره استفاده شده است و بر روی پایگاه های داده مانند AR و ORL آزمون گردیده است. نمونه های به کار رفته در این مطالعه نشان می دهد که این روش دارای سرعت مناسب بوده و نسبت به روش های دیگر کم هزینه تر است.

پژوهشی توسط کیان^۴ و همکاران [۶] تحت عنوان مقاوم نورم هسته ای رگرسیون منظم برای تشخیص چهره به منظور به رسمیت شناختن انسداد در آن انجام شد. در این مطالعه از روش رگرسیون برای تشخیص انسدادهای موجود در تشخیص چهره استفاده گردیده است. یافته های مطالعه نشان می دهد که ساختار خطای برنامه نویسی مدل های پراکنده برای تشخیص خطا به طور جداگانه و با ادغام در مدل رگرسیونی می تواند برای تشخیص چهره به کار رود. آزمون این روش در پایگاه های مختلف داده اثربخشی و استحکام روش را تأیید می کند.

پژوهشی توسط اسماعیلی و همکاران [۷] تحت عنوان ترکیب دو مدل قشر بینایی برای تشخیص چهره قوی انجام شد. در این مقاله سیستم تشخیص چهره قدرتمندی با استفاده از ویژگی های C2 در الگوریتم HMAX به صورت بصری و با الهام از رفتار سلول های عصبی باز طراحی گردید. نتایج نشان می دهد که تشخیص چهره با استفاده از این ویژگی به طور مؤثری در حالت هایی که چهره در محیط های پرنور قرار دارد به کار می رود و از دقت نسبتاً مناسبی برخوردار است.

پژوهشی توسط فنگ و همکاران [۸] تحت عنوان تشخیص چهره با توجه به ویژگی های کوچکی و بزرگی آن انجام شد. این مطالعه از یک طبقه بندی جدید با عنوان تشخیص ریز و درشت چهره^۵ استفاده نموده است. یافته های مطالعه نشان می دهد که عدد جرمی بکار رفته در صورت ها می تواند تا حد زیادی در طبقه بندی و تشخیص چهره با دقت بالا به کار رود این روش با استفاده از اطلاعات موجود در پایگاه داده YAlE اقدام به آنالیز چهره های موجود نموده است و به نتایج دقیقی در خصوص تشخیص آن دست یافته است.

پژوهشی توسط ازازی و همکاران [۹] تحت عنوان به سوی شناخت روش های مؤثر خودکار در تشخیص سه بعدی چهره انجام شد. هدف این مطالعه بررسی روش های تشخیص چهره و نشان دادن مکانیزم تشخیص سه بعدی برای آن می باشد. روش این مطالعه بر مبنای استفاده از الگوریتم بهینه سازی می باشد و یافته های آن نشان می دهد تشخیص چهره در حالت

^۱ Huang

^۲ linear representation

^۳ dynamic rank representation

^۴ Qian

^۵ coarse-to-fine face recognition

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

سه بعدی توسط الگوریتم بهینه سازی در سرعت های ۳۳ فریم در ثانیه امکان پذیر است و یکی از ویژگی های دقیق آن محسوب می شود. برای این منظور از حرکت عضلت چهره با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی اقدام به عکس برداری به طور مرتب و منظم شده است.

پژوهشی توسط یانگ و همکاران [۱۰] تحت عنوان تشخیص چهره سریع و قوی از طریق برنامه نویسی آموزش نقشه باقیمانده بر اساس پوشش تطبیقی انجام شد. در این مطالعه آموزش نمونه ها و توزیع باقیمانده برنامه نویسی برای تهیه یک نقشه از چهره بکار برده شده است. برای عمل کرد بهتر از آستانه تطبیقی برای انسداد مشخصه های صورت بهره گرفته شد و با استفاده از پیکسل های بکار رفته در عکس اقدام به تشخیص چهره گردید. این طرح به ادعای نویسندگان از پیچیدگی زمانی بسیار پایین اما دقت مناسبی برخوردار است.

پژوهشی توسط یان و همکاران [۱۱] تحت عنوان چند ناحیه بانک فیلتر همبستگی مبتنی بر تشخیص چهره قوی انجام شد. در این مقاله، نگارنده یک الگوریتم استخراج ویژگی مؤثر، به نام چند ناحیه همبستگی بر اساس بانک فیلتر MS-CFB ایجاد کرد. این روش تفاوت بین نواحی چهره را با تأخیر شناسایی می کند. نتایج پایگاه داده های مختلف نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی برای طبقه بندی نیازمند مطالعه و بررسی و آنالیز بیشتر می باشد.

پژوهشی توسط ژانگ و همکاران [۱۲] تحت عنوان طرح روش قوی تشخیص چهره از طریق تنک^۱ انجام شد. این مطالعه پیشنهاد می کند که یک روش تشخیص چهره نیازمند بررسی تفاوت های کوچکی و بزرگی ژست های صورت می باشد. در این زمینه تشخیص چهره و اختلاف ژست ها با گالری چهره ها قابل تشخیص می باشد و تصویر چهره در آزمایش های گسترده به طور معناداری مثبت ارزیابی شده است. این مطالعه داده های مورد نیاز خود را از پایگاه داده CMU-PIE به دست آورده است. پژوهشی توسط گوا و همکاران [۱۳] تحت عنوان رگرسیون طیفی قوی برای تشخیص چهره انجام شد. در این مطالعه از روش رگرسیون طیفی برای تشخیص چهره بهره برده شده است. محققین دریافتند که بر اساس فریم های اضافه در تشخیص چهره می توان از روش بهینه سازی درجه دوم و روش حداکثر کردن پیکسلی به منظور تعیین ترکیب چهره بهره برده این موضوع با الگوریتم های گرادینان بهتر قابل درک است که برای تحلیل نیازمند رگرسیون های طیفی می باشد. تشخیص چهره در این روش با مقایسه هر نتیجه و تکرار مجدد آن بر مبنای اصول بنیادین رگرسیون صورت می گیرد.

پژوهشی توسط ژانگ و گائو [۱۴] تحت عنوان تشخیص چهره در سراسر حالت: یک مطالعه مروری انجام شد. در این مطالعه بیان می شود یکی از چالش های عمده مواجه می شوند با روش های کنونی تشخیص چهره داشتن حالت رسمی و تفهیم آن هنگام حرکات سریع و عمیق در چهره می باشد. استراتژی های این روش بطور عمیقی می تواند با حرکات چهره هماهنگ و در تشخیص آن کمک کند روش های مطالعاتی انجام شده نشان می دهد با آنکه هنوز تشخیص چهره در حالت حرکات سریع سر دارای اشکالاتی است اما مدل های سه بعدی تشخیص چهره به خوبی در حال تکامل و یافتن پاسخ دقیق تر نسبت به سال های قبل در این زمینه می باشند.

۳- مدل های یادگیری ماشین برای تشخیص چهره

مدل های یادگیری ماشین مختلفی برای شناسایی چهره (و دیگر کاربردهای بازشناسی الگو) موجود است. در این بخش تعدادی از این تکنیک ها که در این پژوهش استفاده شده، توضیح داده می شود.

۳-۱- ماشین بردار پشتیبان

تکنیک طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان که یکی از تکنیک های طبقه بندی خطی می باشد، بهترین ابر سطحی را می یابد که با حداکثر فاصله (maximum margin)، داده های مربوط به دو طبقه جداسازی می شوند. در تکنیک ماشین بردار پشتیبان، بردارهای

^۱ Spars

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

ورودی به یک فضای چندبعدی نگاشت می‌شوند. پس از آن، یک ابر سطح ساخته می‌شود که با بیشترین فاصله ممکن، بردارهای ورودی را از یکدیگر تفکیک می‌کند. این ابر سطح، " ابر سطح با حداکثر مرز جداکننده " نام دارد. دو ابر سطح موازی در دو سمت " ابر سطح با حداکثر مرز جداکننده " به وجود می‌آید که داده‌های مربوط به دو طبقه را به صورتی از هم جداسازی می‌کنند که هیچ داده‌ای در مرز بین این دو ابر سطح وجود ندارد. " ابر سطح با حداکثر مرز جداکننده " ابر سطحی می‌باشد که فاصله بین دو ابر سطح موازی را به بالاترین حد می‌رساند. فرض بر این است که هرچقدر مرز جداکننده یا در واقع، فاصله بین دو ابر سطح موازی بیشتر باشد، خطای طبقه‌بندی هم کمتر می‌باشد [۱۵].

۳-۲- جنگل تصادفی

الگوریتم جنگل تصادفی تنها دارای یک تکنیک یادگیری برای نمونه‌ها می‌باشد. با نمونه‌گیری‌های مختلف همراه با جایگزینی از مجموعه آموزشی، چندین مجموعه آموزشی جدید با همان اندازه اولیه به وجود می‌آید و به این صورت از هر کدام می‌توان یک دسته‌بند درخت تصمیم جداگانه را آموزش داد. جنگل تصادفی در عمل نشان داده که نتایج بسیار مناسبی مخصوصاً زمانی که اندازه مجموعه داده‌ها کوچک باشد، حاصل می‌گردد. در این تکنیک مجموعه داده اصلی از تکنیک نمونه‌برداری با جایگذاری استفاده می‌کند و به تعدادی مجموعه داده تقسیم‌بندی می‌گردد [۱۶].

۳-۳- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری یک الگوریتم تکاملی از گروه الگوریتم‌های فرا مکاشفه‌ای می‌باشد. الگوریتم‌های فرا مکاشفه‌ای از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که قابلیت فرار از کمینه‌های محلی را دارند و می‌توانند در مسائل بسیاری مورد استفاده قرار بگیرند. تئوری این الگوریتم بر اساس سیاست‌های اجتماعی سیاسی می‌باشد. این الگوریتم با تعدادی جمعیت اولیه که به‌طور تصادفی به وجود می‌آیند، آغاز می‌گردد. هر یک از این جمعیت‌ها، «کشور» نام‌گذاری شده است. در واقع این کشورها همان کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک می‌باشند. هر کشور متشکل از مجموعه‌ای از متغیرها است. این متغیرها در دنیای واقعی فرهنگ، زبان، اقتصاد و غیره می‌توانند باشند [۱۷].

۳-۴- درخت تصمیم

دسته‌بند درخت‌های تصمیم، مجموعه‌ای از قواعد متوالی می‌باشند که در نهایت منجر به تصمیم‌گیری می‌شوند. برعکس تکنیک‌های عددی، توانایی تفسیر دارند و استراتژی تقسیم و غلبه را مورد استفاده قرار می‌دهند. روال کلی آن به شرح زیر می‌باشد:

برای ساخت درخت T ، فرض می‌شود که f مجموعه‌ی مشخصه‌ها است. آنگاه مشخصه‌ی f_1 (اولین مشخصه) انتخاب می‌شود و سپس در میان مجموعه نمونه‌های آموزش نمونه‌ها برحسب معیار f_1 تقسیم‌بندی می‌گردند. اگر فرض بر این باشد که f_1 دارای دو مقدار yes و no است، به دودسته تقسیم می‌گردد. آنگاه درخت T به دو زیرمجموعه مجزا تفکیک می‌شود، زیرمجموعه‌ی T_{yes} متعلق به مشخصه f_1 و زیرمجموعه T_{no} آن‌هایی می‌باشند که در این مشخصه دارای مقدار no هستند. این روال بازگشتی برای T_{yes} و T_{no} می‌باشد، و برای همه‌ی مشخصه‌های دیگر از مجموعه مشخصه‌ها تکرار می‌گردد. روال بازگشتی هنگامی تمام می‌شود، که همه نمونه‌های زیرمجموعه‌ای در یک دسته قرار بگیرند. در این حالت مجموعه‌ای از قوانین درخت، با دادن مقادیر واقعی به هر دسته به وجود می‌آیند. این تکنیک از پارامتر بهره‌ی اطلاعاتی به منظور تشخیص تأثیرگذارترین خصوصیت استفاده می‌کند و آن را در ریشه می‌گذارد. در مرحله‌ی بعد، دومین خصوصیت با بیش‌ترین بهره‌ی اطلاعاتی، در سطح دوم درخت جای می‌گیرد. سپس به ازای مقدار آن خصوصیت شاخه‌ها به وجود می‌آیند.

به عبارت دیگر، اولین و تأثیرگذارترین مشخصه در ریشه و در بالاترین موقعیت جای می‌گیرد. سپس بقیه نودها به ترتیب در سطوح پایین‌تر قرار داده می‌شوند. با پیشروی به سمت برگ‌ها تأثیرگذاری ویژگی‌ها کم‌تر می‌گردد. دسته‌بندی با استفاده از

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

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 [۱۵].

۴- پایگاه داده مورد استفاده

پایگاه داده استفاده شده در این تحقیق مجموعه تصاویر دانشگاه Yale است که شامل ۱۶۵ تصویر سیاه و سفید از ۱۵ نفر می باشد. این مجموعه شامل ۱۱ تصویر از هر نفر است. این افراد چهره های با قیافه و ترکیب متفاوت هستند. این مجموعه داده دارای نور مرکزی، راست و چپ است [۸].

۶- روش پیشنهادی

هدف از روش پیشنهادی، شناسایی ترکیب بهینه ای از ویژگی ها برای طبقه بندی است. در این راستا جهت شناسایی ترکیب بهینه ای از ویژگی ها، الگوریتم رقابت استعماری مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور تشکیل جمعیت اولیه، از بین جایگشت های مختلف ۰ و ۱ در یک بردار ویژگی برابر با ۱۹۳ عنصری (یعنی از بین 2^{193} جایگشت مختلف بهینه سازی انجام می شود)، N بردار حداکثر ۱۹۳ عنصری به طور تصادفی انتخاب می شوند. به این ترتیب، یک جمعیت اولیه متشکل از N بردار ویژگی تقلیل یافته تشکیل می شود که به بلوک انتخاب ویژگی تزریق می شوند تا ترکیب ویژگی بهینه، با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری ساخته شود. در روش پیشنهادی پس از انتخاب زیرمجموعه بهینه از ویژگی ها، مرحله پایانی طبقه بندی است. در این تحقیق طبقه بندی با استفاده از جنگل تصادفی صورت می گیرد و در نهایت با سه روش درخت تصمیم، آدابوست و ماشین بردار پشتیبان مقایسه می گردد.

۶- یافته ها

نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی همراه با سایر الگوریتم های مورد مقایسه جهت تشخیص چهره در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: نتایج بدست آمده

روش	صحت	بازیابی	دقت
درخت تصمیم	۰,۸۹	۰,۸۷۲	۰,۸۸۶
درخت تصمیم (با انتخاب ویژگی)	۰,۹۱۲	۰,۹۰۳	۰,۹۰۶
ماشین بردار پشتیبان	۰,۹۲۴	۰,۹۴۱	۰,۹۴
ماشین بردار پشتیبان (با انتخاب ویژگی)	۰,۹۴۵	۰,۹۶۹	۰,۹۵۹
آدابوست	۰,۹۴۴	۰,۹۵۱	۰,۹۵
آدابوست (با انتخاب ویژگی)	۰,۹۵۵	۰,۹۷۹	۰,۹۶۹
روش پیشنهادی	۰,۹۶	۰,۹۷۶	۰,۹۶۶

۰,۹۸۶	۰,۹۹۶	۰,۹۸	روش پیشنهادی (با انتخاب ویژگی)
-------	-------	------	--------------------------------

با توجه به نتایج روش پیشنهادی برای انتخاب ویژگی حتی روی الگوریتم‌های جایگزین مدل اصلی (ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم و آداپوست) نیز بهبود در زمان و خروجی را نشان می‌دهد که این موضوع توانایی تعمیم نتایج و مستقل بودن فاز طبقه‌بندی را مشخص می‌کند. از سوی دیگر دقت بالاتر روش پیشنهادی مبتنی بر انتخاب ویژگی بهینه، صحت انتخاب این مدل (جنگل تصادفی) را نشان می‌دهد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله علاوه بر بررسی تکنیک‌های مختلفی که در سال‌های اخیر توسط محققان جهت تشخیص چهره صورت گرفته شده است، روشی نیز با استفاده از انتخاب ویژگی‌های بهینه بافت و مدل جنگل تصادفی جهت شناسایی چهره پیاده‌سازی گردید. نتایج به دست آمده نشان از موفقیت روش پیشنهادی در تشخیص چهره‌هایی با خصوصیات مختلف دارد به گونه‌ای که چهره حتی در تصاویری با میزان روشنایی کم و یا با چرخش گردن نیز به درستی آشکار شده است.

۸- مراجع

- [1]. Tiwari, V. (2012). Face recognition based on cuckoo search algorithm. *image*, 7(8), 9.
- [2]. 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.
- [3]. Huang, W., & Yin, H. (2017). Robust face recognition with structural binary gradient patterns. *Pattern Recognition*, 68, 126-140.
- [4]. Liu, T., Mi, J. X., Liu, Y., & Li, C. (2016). Robust face recognition via sparse boosting representation. *Neurocomputing*, 214, 944-957.
- [5]. Li, H., & Suen, C. Y. (2016). Robust face recognition based on dynamic rank representation. *Pattern Recognition*, 60, 13-24.
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. Yan, Y., Wang, H., & Suter, D. (2014). Multi-subregion based correlation filter bank for robust face recognition. *Pattern Recognition*, 47(11), 3487-3501.
- [12]. Zhang, H., Zhang, Y., & Huang, T. S. (2013). Pose-robust face recognition via sparse representation. *Pattern Recognition*, 46(5), 1511-1521.

- [13]. Guo, Y., He, R., Zheng, W. S., Kong, X., & He, Z. (2013). Robust spectral regression for face recognition. *Neurocomputing*, 118, 33-40.
- [14]. Zhang, X., & Gao, Y. (2009). Face recognition across pose: A review. *Pattern Recognition*, 42(11), 2876-2896.
- [15]. 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.
- [16]. Alpaydin, E. (2018, October). Classifying multimodal data. In *The Handbook of Multimodal-Multisensor Interfaces* (pp. 49-69). Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool.
- [17]. 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.