

استخراج ویژگی ترکیبی مبتنی بر ژنتیک دودویی جهت بهبود عملکرد تشخیص در سیستم‌های بازشناسی عنبیه

مهران نصرپور^۱ و منصور اسماعیل‌پور^۲

چکیده

سامانه تشخیص عنبیه از چند مرحله تشکیل شده، که یکی از مهم‌ترین مراحل آن استخراج ویژگی است. اکثر سامانه‌های موجود از یک روش خاص جهت استخراج ویژگی استفاده می‌کنند. در راستای ایجاد بهبود عملکرد سامانه از الگوریتم ژنتیک دودویی با استفاده از یک معیار برازندگی جدید جهت یافتن روش استخراج ویژگی ترکیبی بهره گرفتیم. روش پیشنهادی از تعداد زیادی فیلتر و تبدیل که در استخراج ویژگی از عنبیه کاربرد فراوانی دارند، استفاده و بهترین ترکیب آن‌ها را در طی تکرار الگوریتم پیدا می‌کند. در پایان مجموعه‌ای از روش‌ها شامل تعدادی از تبدیل‌های موجک، فیلتر گابور و تبدیل فوریه به‌عنوان بهترین روش استخراج ویژگی ترکیبی به دست آمدند. در آزمایش‌ها، بهبود عملکرد روش ترکیبی پیشنهادی نسبت به روش‌هایی که تنها از یک فیلتر بهره می‌گیرند با استفاده از نمودار ROC نشان داده شد. مقایسات نشان داد که روش پیشنهادی در اکثر موقعیت‌ها عملکرد بهتری نسبت به جدیدترین روش‌ها دارد. این روش موفق به دستیابی به FAR برابر با صفر و FRR برابر با ۰/۰۹۲ شد.

کلیدواژه‌ها

زیست‌سنجی، عنبیه، تشخیص هویت، استخراج ویژگی و الگوریتم ژنتیک.

۱ مقدمه

زمینه شناسایی ویژگی‌ها در موارد عملی و واقعی دارند؛ برخی از روش‌ها مستلزم تماس با بدن شخص می‌باشند، برخی به‌صورت نمونه‌برداری عمل می‌نمایند، تعدادی از روش‌ها مستلزم تنظیم نهایی توسط یک شخص هستند و برخی دیگر از آن‌ها هزینه‌های بالایی دارند. روشی که اخیراً بیشتر از سایر روش‌ها مورد توجه قرار گرفته است، شناسایی افراد از روی خصوصیات موجود در عنبیه^۱ آن‌هاست. هم‌چنین این روش‌ها باید هم منحصر به فرد و هم به‌راحتی قابل اندازه‌گیری باشند و در طول زمان تغییر نکنند. منظور از زیست‌سنجی^۲ معمولاً استفاده خودکار یا نیمه‌خودکار از ویژگی‌های فیزیولوژیکی^۳ و یا ویژگی‌های رفتاری است که به بدن انسان بستگی دارند. مشخصه‌های فیزیولوژیکی به‌عنوان مثال شامل اثر انگشت یا تصاویر صورت است. مشخصه‌های رفتاری شامل اعمال یا رفتاری است که از فرد سر می‌زند که می‌توان به امضا یا لحن صحبت کردن اشاره کرد.

امروزه نیاز قابل‌توجهی به وسایل قابل‌اطمینان و سریع برای تشخیص خودکار هویت اشخاص وجود دارد. تکنیک‌های کامپیوتری که برای شناسایی ویژگی‌های افراد مانند صورت، اثر انگشت، شبکه، صوت، هندسه کف دست، چشم و غیره به کار می‌روند، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های امنیتی، نظارتی و مالکیت دارند؛ اما بسیاری از روش‌های موجود توانایی‌های محدودی در این مقاله در اسفندماه ۱۳۹۵ دریافت، در شهریورماه ۱۳۹۶ بازنگری و در همان ماه پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی رایانامه: nasrpour@gmail.com

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی

رایانامه: esmaeilpour@iauh.ac.ir

^۱ Iris

^۲ Biometric

^۳ Physiologic

در ادامه به کارهای پیشین انجام‌گرفته در زمینه سامانه‌های زیست‌سنجی تشخیص هویت پرداخته و مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم. در قسمت بعدی این پژوهش نیز به‌طور کامل به تشریح دادگان و روش‌های مورد استفاده اختصاص دارد. همچنین روش پیشنهادی با ذکر کامل جزئیات را مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم. در قسمت آخر نیز عملکرد روش را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم و روش‌های مختلف را با روش پیشنهادی مقایسه کرده و مزایا و معایب هریک را بیان خواهیم کرد، سپس به نتیجه‌گیری و بحث در زمینه کارهای قابل انجام آتی پرداخته می‌شود.

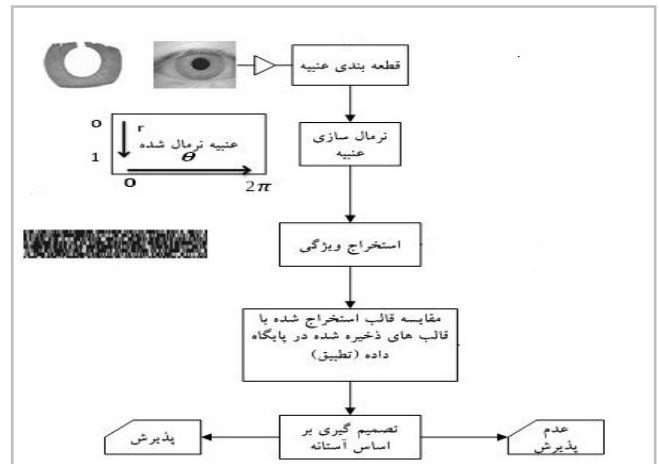
۲ پیشینه تحقیق

تشخیص هویت مبتنی بر تصاویر عنبیه شامل تجزیه و تحلیل ویژگی‌هایی است که در بافت رنگی چشم محصور بین مردمک و عنبیه قرار دارند. بافت‌های پیچیده عنبیه می‌توانند شامل ویژگی‌های مشخص و فراوانی از قبیل شیارها و برآمدگی‌ها، بافت‌های زیگزاگی، حلقه‌ها و لکه‌ها باشند [۱]. اسکن عنبیه از یک دوربین عکس‌برداری متوسط و معمولی استفاده می‌کند که نیازی به تماس نزدیک شخص و دوربین ندارد. این مزیت سامانه زیست‌سنجی در مقایسه با دیگر سامانه‌ها که نیاز به تماس فیزیکی دوربین با شخص دارند، مثل اسکن شبکیه، کاربر احساس راحتی بیشتری می‌کند. عنبیه از هر فرد به فرد دیگر منحصر است چراکه بافت‌های مختلف فراوانی وجود دارند که پیرامون مردمک قرار گرفته‌اند [۲]. بدین جهت گفته می‌شود عنبیه از اثرانگشت منحصر به فردتر است [۳].

از روش‌های پردازش تصویر گوناگون برای استخراج ویژگی از خصوصیات منحصر به فرد تصاویر عنبیه استفاده می‌شود و تصویر را به یک کد زیست‌سنجی تبدیل می‌کنند. کد زیست‌سنجی نتیجه اعمال عملگرهای ریاضی به تصویر است. کدهای به‌دست‌آمده از تصاویر مختلف پس از استخراج در پایگاه داده سامانه ذخیره می‌شوند و وقتی شخصی بخواهد در سامانه تشخیص هویت شود ابتدا کدی از تصویر عنبیه او استخراج می‌شود و سپس این کد با سایر کدهای موجود در پایگاه داده مقایسه می‌گردد. در این مرحله سامانه به دنبال کدی می‌گردد که کمترین تفاوت را با کد به‌دست‌آمده از شخص دارد؛ اگر فاصله کد یافته شده از حد آستانه‌ای کمتر بود فرد تشخیص هویت داده می‌شود و در غیر این صورت تشخیص داده نمی‌شود. سامانه تشخیص هویت توسط تصاویر عنبیه اخیراً مورد توجه قرار گرفته است و بحث اصلی در این زمینه توسط پروفیسور جان داگمن در دانشگاه کمبریج انگلستان انجام شده است [۴]. سامانه دیگری که نرخ موفقیت بالایی را نشان داده، سامانه وایدلز^۱ است. این سامانه بر روی ۵۲۰ تصویر هیچ‌گونه خطایی از خود نشان نداده است [۵]. سامانه دیگر سامانه

در مقایسه بین روش‌های مختلف زیست‌سنجی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که در بافت‌های پیچیده عنبیه شامل ویژگی‌های مشخص و فراوانی از قبیل شیارها و برآمدگی‌ها، بافت‌های زیگزاگی، حلقه‌ها و لکه‌ها می‌باشند از محبوبیت خاصی برخوردار است [۱] و منجر به عملکرد تشخیص بهتری نسبت به سایر روش‌ها می‌شود. در ضمن جمع‌آوری نمونه‌ها نسبت به برخی روش‌ها (مثلاً DNA) راحت‌تر بوده و این ویژگی به راحتی قابل تغییر با زمان (مثل تن صدا) و یا توسط شخص متقلب (مثلاً سوزاندن اثرانگشت با اسید) نیست.

استخراج ویژگی مهم‌ترین بخش سامانه تشخیص هویت است؛ که در آن بردار ویژگی به‌دست‌آمده علاوه بر اینکه باید حاوی تمام اطلاعات مهم موجود در بافت عنبیه باشد، باید دارای ابعاد حتی‌الامکان کوچک نیز باشد زیرا بردارهایی با ابعاد بزرگ علاوه بر اینکه حجم زیادی برای ذخیره کردن لازم دارند، حجم محاسباتی بالایی را نیز در مراحل استخراج و تطابق به سامانه تحمیل می‌کنند.



شکل ۱: روند نمای سامانه تشخیص هویت با استفاده از تصاویر عنبیه.

پس از پیدا کردن مرزهای داخلی و خارجی عنبیه و نگاشتن این ناحیه به یک نوار مستطیل شکل با ابعاد، 512×64 ، باید از نوار به‌دست‌آمده یک بردار ویژگی استخراج کنیم. این بردار ویژگی باید به‌گونه‌ای باشد که از ویژگی‌های منحصر به فرد بافت عنبیه استفاده کند. بردار به‌دست‌آمده فقط باید اطلاعات مهم موجود در بافت عنبیه را کد کند که بتوان مقایسه بین تصویر ورودی و کدهای ذخیره‌شده را با موفقیت انجام داد. بیشتر سامانه‌های تشخیص هویت با استفاده از تجزیه اطلاعات باند میانی بافت عنبیه در حوزه فرکانس، کدهای مناسب را تولید می‌کنند. در کاربردهای عملی، کارایی سیستم عبارت است از تعادل بین نرخ تشخیص به‌اشتباه (FAR) و نرخ تشخیص ندادن به‌اشتباه (FRR)؛ که اولی عبارت است از تعداد افرادی که اشتباه تشخیص داده شده‌اند و دومی برابر تعداد افرادی است که در پایگاه داده وجود داشتند ولی تأیید هویت نشده‌اند.

¹ Wildes Iris Recognition System

استفاده شده است. این تجزیه و تحلیل می‌تواند بر روی هر نوع سیگنال دوبعدی انجام گرفته و ویژگی‌های بافت آن را استخراج کند. این مطالعه بر سه کتابخانه CASIv3، UBIRISv1 و IITD انجام گرفته است. نتایج بیانگر این مطلب است که تکنیک بکار رفته در این مطالعه نسبت به تکنیک‌های قبلی از دقت بالاتری برخوردار است [۱۰]. اشتوک^{۱۲} و همکاران در [۱۱] روشی ارائه کرده‌اند که در آن قدرت سه طبقه‌بندی مبتنی بر نزدیک‌ترین فاصله^{۱۳}، نمایش تنک و الگوریتم ژنتیک را به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌دهد. آزمایش‌ها بیانگر آن است که نرخ خطای نادرست در این روش تقریباً به صفر می‌رسد.

الگوریتم جدیدی در [۱۲] توسط امیر عزیزی و همکاران ارائه شده است که از طریق به‌کارگیری تبدیل و ضرایب تقریب غیرخطی^{۱۴} تشخیص عنبیه را انجام می‌دهد. در این پژوهش برای انجام قطعه‌بندی و نرمال‌سازی تصاویر عنبیه از روش‌های داگمن استفاده شده است. در مرحله استخراج ویژگی نیز تنها باند میانی تصاویر نرمال شده عنبیه توسط تبدیل کانتورلت تجزیه می‌شوند. این روش در مقایسه با روش تبدیل موجکی از دقت بیشتری برخوردار است. چراکه تبدیل کانتورلت نسبتاً از قابلیت کشف اطلاعات جهت‌غنی‌تری برخوردار است.

۳ بازشناسی عنبیه

مراحل بازشناسی عنبیه شامل دریافت تصویر، جداسازی عنبیه، نرمال‌سازی، استخراج ویژگی و تطبیق است. تصاویر گرفته شده از عنبیه فقط شامل ناحیه عنبیه نبوده و در آن‌ها مردمک، پلک‌ها، مژه‌ها و انعکاس‌ها نیز دیده می‌شوند؛ که برای عملکرد دقیق سیستم تشخیص عنبیه قسمت‌های ذکر شده باید از بافت اصلی عنبیه (که در فرآیند تشخیص مورد استفاده قرار می‌گیرند) مجزا شوند.

۳-۱ قطعه‌بندی

داگمن در روش خود از عملگر انتگرال دیفرانسیل برای تشخیص مرزهای عنبیه استفاده کرد و پلک‌های بالا و پایین را توسط دو کمان جدا می‌کند. روش انتگرال دیفرانسیل را می‌توان به‌صورت تغییرات تبدیل هاف^{۱۵} در نظر گرفت زیرا از مشتق اول تصویر برای جستجو استفاده می‌کند. [۱۳].

۳-۲ تبدیل هاف دایره‌ای برای مشخص کردن مرز داخلی و خارجی عنبیه و پلک‌ها و جدا کردن مژه‌ها

تبدیل هاف روشی برای استخراج ویژگی‌ها در تحلیل تصاویر، بینایی ماشین و پردازش تصویر است. این روش در یک تصویر به

لیم^۱ است که بر روی ۶۰۰۰ تصویر نرخ موفقیت ۹۸/۴٪ را نشان داده است [۶]. با توجه به نتایج گرفته شده در روش‌های مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که در مقایسه با سایر روش‌های زیست‌سنجی مثل اثرانگشت و صورت یا صدا، سامانه‌های مبتنی بر تصاویر عنبیه از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار هستند [۷]. مشکل اصلی در آزمایش‌ها مربوط به این زیست‌سنجی، نبود تصاویر زیاد از عنبیه است که باعث می‌شود نتایج فقط روی پایگاه تصاویر کم به دست آیند. در ضمن در اکثر آزمایش‌ها از تصاویر باکیفیت بالا استفاده می‌شود.

در مطالعه انجام شده توسط آوارز^۲ و همکاران، آن‌ها یک روش قدرتمند استخراج ویژگی مبتنی بر نقاط کلیدی^۳ را تحت شرایط کیفی متغیر ارائه کردند. روش آن‌ها بر اساس همجوشی^۴ مؤثر سه منبع اطلاعات از ویژگی‌های SIFT در سطح یکسان عمل می‌کند. این روش از طریق استفاده از طرح همجوشی پیشنهاد شده که مبتنی بر سه واحد اندازه‌گیری شناخته شده AUC، EER و CRR، کار می‌کند. این روش دارای یک نوآوری است که از پتانسیل ویژگی‌های SIFT برای تشریح نقاط کلیدی و فیوز کردن آن‌ها جهت ارتقای عملکرد در تصاویر غیرایده‌آل^۵ عنبیه استفاده می‌کند. تجزیه و تحلیل‌ها، قدرت بالای هریک از منابع در ترکیب با یکدیگر را نشان می‌دهد. همچنین قدرت تشخیص این روش با کاهش وضوح^۶ تصاویر، کم می‌شود. اگرچه استخراج ویژگی با این الگوریتم زمان‌بر است، در مرحله تطبیق نسبت به دیگر الگوریتم‌ها بسیار سریع عمل می‌کند. در نتیجه می‌توان این روش را برای کاربردهای تشخیص اشخاص بلادرنگ به کار گرفت [۸].

در پژوهش صورت گرفته توسط ابیکوی^۷ و همکاران، یک روش استخراج ویژگی جدید با استفاده از تبدیل موجک سریع پیشنهاد شده است که از آن برای استخراج ویژگی‌های عنبیه استفاده می‌شود. در این سیستم، ویژگی‌ها جهت تولید کدهای عنبیه رمزگذاری می‌شوند. این روش ابتدا عنبیه را از مختصات دکارتی به مختصات قطبی می‌برد و سپس عمل استخراج ویژگی توسط تبدیل موجک سریع FWT انجام می‌گیرد. این الگوریتم از سرعت بالا و نرخ پیچیدگی کمی برخوردار است [۹].

در تحقیقی دیگر که توسط سنکار^۸ و همکاران صورت گرفت یک روش نوین استخراج ویژگی مبتنی بر منطقه^۹ برای تشخیص عنبیه پیشنهاد شد. در این پژوهش از یک روش به نام سه‌گانه بانک فیلتر نیم باند^{۱۰} (THFB) برای اعمال تجزیه و تحلیل چندبعدی^{۱۱}

¹ Lim

² Yuniol Alvarez-Betancourt

³ Keypoints-Based

⁴ Fusion

⁵ Non-Ideal

⁶ Resolution

⁷ Abikoye Oluwakemi

⁸ Soubhagya Sankar

⁹ Region Based

¹⁰ Triplet Half-band Filter Bank

¹¹ Multi-resolution Analysis

¹² Ashok K Bhateja

¹³ K-Nearest Distance

¹⁴ Linear Approximation Coefficients

¹⁵ Hough Transform

یک مجموعه از ضرایب موجک است؛ که سهم موجک را در این مکان‌ها و مقیاس‌ها اندازه می‌گیرند [۱۶].

تبدیل موجک تصویر را به تصاویری با وضوح مختلف تجزیه می‌کند. وضوح توسط یک آستانه معین می‌شود؛ که در آن جزئیات نادیده گرفته می‌شوند و فرق بین دو وضوح مختلف، جزئیات را نشان می‌دهد. از این رو می‌توان یک تصویر را توسط یک تصویر با وضوح پائین (تقریب یا حد وسط) و جزئیات نسبت به وضوح بالاتر نمایش داد.

۳-۴-۲ فیلترهای گابور

در کاربردهای مختلف بینایی کامپیوتر از قبیل آنالیز بافت و آشکارسازی لبه، توابع گابور به‌طور وسیعی استفاده شده‌اند. فیلتر گابور یک فیلتر خطی و محلی است. هسته کانولوشن فیلتر گابور حاصل ضرب یک تابع نمایی مختلط و گوسین است. فیلترهای گابور در صورتی که به‌طور مناسب و دقیق تنظیم شوند، عملکرد بسیار مناسبی در تشخیص ویژگی‌های بافت و لبه بافت دارند. ویژگی دیگر فیلترهای گابور درجه تفکیک مشترک بالای آن‌هاست. این بدان معنی است که پاسخ آن‌ها هم در حوزه مکان و هم در حوزه فرکانس کاملاً محلی و قابل تنظیم کردن است [۱۷].

۳-۵-۲ تطبیق

قالب‌های به‌دست‌آمده از بافت عنبیه در مرحله قبل توسط یک مقیاس بنام میانگین فاصله کسری همینگ با یکدیگر مقایسه شده و در حالت نرمال شده آن نمره (عددی) بین صفر تا نیم می‌دهد؛ که اگر این مقدار کمتر از آستانه تعیین شده بود می‌توان الگوی عنبیه را به‌عنوان شخص مجاز پذیرفت در غیر این صورت به‌عنوان شخص غیرمجاز پذیرفته نمی‌شود. در تئوری اطلاعات^۱ فاصله همینگ برای دو رشته با طول مساوی، برابر تعداد مکان‌هایی است که سبب‌های متناظر متفاوت هستند. به دلیل این که خروجی استخراج ویژگی در مرحله قبل یک ماتریس متشکل از صفر و یک است، فاصله همینگ دو تصویر عنبیه با یک نوع استخراج ویژگی خاص برابر تعداد درایه‌هایی است که بیت‌های متفاوتی دارند.

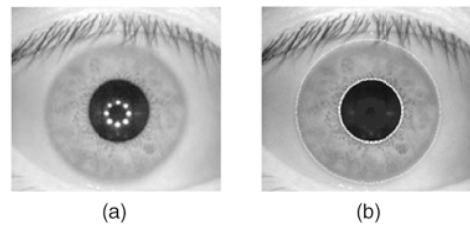
۴ روش پیشنهادی

در الگوریتم پیشنهادی از سامانه تشخیص عنبیه لیورمسک^۲ استفاده می‌شود. این سامانه شامل یک بخش قطعه‌بندی خودکار بر مبنای تبدیل هاف است و همچنین توانایی مکان‌یابی حلقه عنبیه و ناحیه مردمک و هم‌پوشانی پلک و مژه‌ها و انعکاس نور را داراست؛ در اولین مرحله پیش‌پردازش جداسازی مرزهای عنبیه از قسمت‌های باقیمانده از تصویر چشم ورودی انجام می‌گیرد. در این جداسازی، مرز داخلی عنبیه با مردمک و مرز خارجی آن با صلیبه با استفاده از لبه‌یاب کنی (مشخصات این دوایر درونی و بیرونی)

دنبال نمونه‌هایی از یک الگو می‌گردد. این نمونه‌ها ممکن است کامل نباشند و همچنین تا حدی دچار اعوجاج شده باشند [۱۴]. به‌عنوان نمونه از کاربردهای این روش می‌توان به تشخیص وجود خط مستقیم در یک تصویر اشاره کرد؛ بنابراین تبدیل هاف، الگوریتمی است که با استفاده از آن می‌توان اشکال مشخصی را در تصویر شناسایی و جدا کرد؛ برای پیدا کردن یک شکل خاص با تبدیل هاف لازم است که آن شکل دارای فرم پارامتری مشخصی باشد، به همین دلیل از تبدیل هاف معمولاً برای پیدا کردن اشکالی مثل خط، دایره و سهمی استفاده می‌شود. برای پیدا کردن دایره در تصویر ابتدا با استفاده از یک الگوریتم لبه یاب مثل کنی یا سوبل نقاط لبه تصویر را پیدا می‌کنیم سپس با استفاده از تبدیل هاف دایروی شعاع و مرکز مختصات مردمک و نواحی عنبیه را پیدا می‌کنیم [۱۵].

۳-۳ نرمال‌سازی

از آنجایی که سایز عنبیه متناسب با شدت نور ورودی به چشم تغییر پیدا می‌کند؛ لذا به‌منظور سهولت در محاسبات و استقلال از این تغییر سایز دایره شامل بافت عنبیه به شکل مستطیل نرمال‌سازی می‌شود.



شکل ۲: (a) تصویر عنبیه، (b) نتیجه تبدیل هاف دایره‌ای و (c) نمونه تصویر نرمال شده [۱۵].

۳-۴ استخراج ویژگی‌های عنبیه

در این مرحله ویژگی‌ها برای مقایسه افراد از بافت عنبیه استخراج می‌شوند و ویژگی‌های استخراج شده برای به وجود آوردن یک نمونه زیست‌سنجی استفاده خواهد شد. چند روش رایج جهت استخراج ویژگی از تصویر نرمال شده عنبیه در ادامه معرفی شده‌اند:

۳-۴-۱ تبدیل موجک

تبدیل موجک یک تصویر را به شکل مجموعه‌ای از توابع موجک با مکان‌ها و مقیاس‌های مختلف نمایش می‌دهد. هر تجزیه تصویر، شامل یک جفت شکل موج است؛ که یکی از آن‌ها به نمایش فرکانس‌های بالای مرتبط با جزئیات یک تصویر (تابع موجک) و دیگری به نمایش فرکانس‌های پائین یا قسمت‌های هموار تصویر (تابع مقیاس) اختصاص دارد. نتیجه تبدیل موجک

¹ Information Theory

² Libor Masek

مؤثر از عنبیه کاربرد داشته‌اند، بهره گرفته می‌شود و با ترکیب تعدادی از آن‌ها به بهینه‌ترین روش استخراج ویژگی خواهیم رسید؛ که با استفاده از آن‌ها می‌توان به عملکرد بهتری دست‌یافت. در ادامه به انواع روش‌های استخراج ویژگی خواهیم پرداخت و روش یافتن بهترین ترکیب آن‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک را توضیح خواهیم داد.

۴-۱ ترکیب فیلترها در الگوریتم پیشنهادی

ما از چهار نوع استخراج ویژگی در روش پیشنهادی بهره گرفتیم؛ که این روش‌ها شامل تجزیه موجک، ماسک لاپلاسی، تبدیل گابور و تبدیل فوریه هستند. فیلترهای مورد استفاده در این روش در جدول ۲ نمایش داده شده‌اند.

در اینجا دلیل استفاده از این فیلترها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. تبدیل فوریه یک فیلتر با هزینه محاسباتی پایین است و امکان استفاده از اطلاعات فاز تصویر را فراهم می‌کند. پیش‌ازین نیز به فراوانی در بازشناسی عنبیه مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸]، فیلترهای لاپلاسی نسبت به خیلی از فیلترها جزئیات بیشتری از تصویر را مشخص می‌کنند و خاصیت تیزکنندگی دارند و در مواردی برای تشخیص هویت با استفاده از عنبیه به کار رفته‌اند [۲۰]. فیلتر گابور را می‌توان به‌عنوان آشکارسازهای جهت‌دار و تطبیق‌پذیر با مقیاس، به‌منظور آشکارسازی خطوط و لبه‌ها در تصاویر مورد استفاده قرار داد. همچنین از خصوصیت‌های آماری این تبدیل می‌توان جهت تعیین ساختار و محتوای بصری تصاویر بهره گرفت. ویژگی‌های تبدیل گابور در تحلیل تصاویر، قطعه‌بندی بافت‌ها و بازشناسی تصاویر به کار رفته‌اند. در سامانه لیورمسک، تنها این فیلتر برای استخراج ویژگی به کار رفته است [۱۵]. در این تحقیق از فیلتر گابور با پهنای باند $0/5$ و فرکانس مرکزی $0/0556$ استفاده شد. موجک دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مؤلفه‌های فرکانسی آن بکار می‌رود. در این توابع رزولوشن هر مؤلفه برابر با مقیاس آن است. تبدیل موجک تجزیه یک تابع بر مبنای توابع آن تعریف می‌شود. موجک‌ها (که به‌عنوان موجک‌های دختر شناخته می‌شوند) نمونه‌های انتقال یافته و مقیاس شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی و نوسانی شدیداً میرا هستند. در مقایسه با تبدیل فوریه می‌توان گفت که تبدیل موجک دارای خصوصیت محلی‌سازی بسیار خوبی است. این فیلترها اقبال گسترده‌ای در بازشناسی عنبیه به خصوص در سال‌های اخیر یافته‌اند [۲۱-۲۳].

تعیین می‌شود و بعد بوسیله تبدیل هاف نقاط روی مرزهای دایره‌ای شکل یا اشکال با معادله پارامتری مشخص، تعیین می‌شود.



شکل ۳: تصویر عنبیه نرمال‌شده آماده استخراج ویژگی

ناحیه عنبیه خارج‌شده سپس درون یک بلوک مستطیلی با ابعاد ثابت نرمال‌سازی می‌شود؛ تا با مشکل ابعاد مختلف اندازه عنبیه روبرو نباشیم (شکل ۳). به‌منظور استخراج ویژگی در سامانه لیورمسک، داده فاز^۱ از فیلتر یک‌بعدی لگاریتم گابور استخراج می‌شود و در چهار سطح کوانتیزه‌سازی می‌شود.

```
01 00 00 10 11 11 01 01 00 10 10 11 11 01 01 00 10 10 11 01 01 01 01 00 00
10 10 01 11 00 01 11 10 11 10 10 00 10 01 10 00 11 01 10 11 00 01 01 11 10
```

شکل ۴: قالب ویژگی استخراج‌شده توسط فیلتر گابور [۱۵]

به‌منظور یگانه‌سازی الگوی عنبیه داخل یک قالب زیست‌سنجی مبتنی بر بیت، فاصله همینگ جهت تطبیق قالب‌های عنبیه استفاده شده است. دو قالب در صورتی باهم تطابق دارند که فاصله آن‌ها از یک آستانه کوچک‌تر باشد. با تغییر مقدار آستانه، تغییر در مقادیر FAR و FRR را می‌بینیم؛ که با کاهش هر کدام از آن‌ها شاهد افزایش در دیگری هستیم؛ بنابراین باید در بین آن‌ها تعادل برقرار نماییم. برای ایجاد این تعادل مقدار آستانه را تغییر می‌دهیم تا به حداقل مقدار در FAR و FRR برسیم. در بعضی سامانه‌ها یکی از این دو معیار (معمولاً FAR) از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ پس مقدار آستانه با توجه بیشتری به این معیار تنظیم می‌شود؛ اما معمولاً هدف ما حداقل بودن هر دوی آن‌ها است؛ همچنین برای رسم نمودار ROC مقادیر مختلف معیارها با استفاده از تغییر این آستانه به دست می‌آید. در [۱۵] نشان داده شده است که بهترین مقدار آستانه برای دادگان CASIA، $0/38$ است که در این آستانه شاهد تعادل بین مقادیر FAR و FRR هستیم (چیزی در حدود صفر برای هر دو معیار، جدول ۱).

جدول ۱: مقادیر FAR و FRR در آستانه‌های مختلف.

آستانه	FAR(%)	FRR(%)
۰/۲۰	۰	۹۹/۰۴۷
۰/۲۵	۰	۸۲/۷۸۷
۰/۳۰	۰	۳۷/۸۸
۰/۳۵	۰	۵/۱۸۱
۰/۴۰	۰/۰۰۵	۰/۲۳۸
۰/۴۵	۷/۵۹۹	۰
۰/۵۰	۹۹/۴۹۹	۰

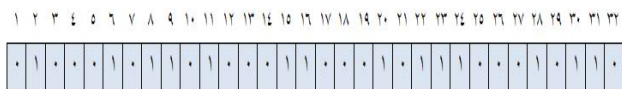
در کار پیشنهادی ما علاوه بر استخراج ویژگی مبتنی بر فیلتر گابور از چندین روش استخراج ویژگی دیگر که در استخراج ویژگی‌های

^۱ Phase Data

جدول ۲: انواع استخراج ویژگی در روش پیشنهادی

شماره	نوع استخراج ویژگی	توضیحات
۱	موجک هار	جزئیات افقی تجزیه
۲	موجک هار	جزئیات عمودی تجزیه
۳	موجک هار	جزئیات قطری تجزیه
۴	موجک دابیشز ^۱	جزئیات افقی تجزیه
۵	موجک دابیشز ^۲	جزئیات عمودی تجزیه
۶	موجک دابیشز ^۲	جزئیات قطری تجزیه
۷	موجک سیملت ^۲	جزئیات افقی تجزیه
۸	موجک سیملت ^۲	جزئیات عمودی تجزیه
۹	موجک سیملت ^۲	جزئیات قطری تجزیه
۱۰	موجک کویفلت ^{۱۲}	جزئیات افقی تجزیه
۱۱	موجک کویفلت ^۱	جزئیات عمودی تجزیه
۱۲	موجک کویفلت ^۱	جزئیات قطری تجزیه
۱۳	موجک بای‌آرتگنال ^{۱/۳}	جزئیات افقی تجزیه
۱۴	موجک بای‌آرتگنال ^{۱/۱}	جزئیات عمودی تجزیه
۱۵	موجک بای‌آرتگنال ^{۱/۱}	جزئیات قطری تجزیه
۱۶	موجک ریورس بای‌آرتگنال ^{۱/۱}	جزئیات افقی تجزیه
۱۷	موجک ریورس بای‌آرتگنال ^{۱/۱}	جزئیات عمودی تجزیه
۱۸	موجک ریورس بای‌آرتگنال ^{۱/۱}	جزئیات قطری تجزیه
۱۹	موجک میر ^۰	جزئیات افقی تجزیه
۲۰	موجک میر	جزئیات عمودی تجزیه
۲۱	موجک میر	جزئیات قطری تجزیه
۲۲	موجک بای‌آرتگنال ^{۲/۶}	جزئیات عمودی تجزیه
۲۳	موجک بای‌آرتگنال ^{۲/۶}	جزئیات قطری تجزیه
۲۴	موجک بای‌آرتگنال ^{۲/۶}	جزئیات افقی تجزیه
۲۵	موجک ریورس بای‌آرتگنال ^{۲/۶}	جزئیات افقی تجزیه
۲۶	موجک ریورس بای‌آرتگنال ^{۲/۶}	جزئیات عمودی تجزیه
۲۷	موجک ریورس بای‌آرتگنال ^{۲/۶}	جزئیات قطری تجزیه
۲۸	فیلتر گابور	قسمت حقیقی خروجی فیلتر
۲۹	فیلتر گابور	قسمت موهومی خروجی فیلتر
۳۰	فیلتر لاپلاسی	خروجی فیلتر
۳۱	تبدیل فوری	قسمت حقیقی خروجی فیلتر
۳۲	تبدیل فوری	قسمت موهومی خروجی فیلتر

پیدا کردن یک فیلتر ترکیبی از بین فیلترهای عنوان شده جهت استخراج ویژگی کار بسیار مشکلی به حساب می‌آید؛ بنابراین با یک مسئله جستجوی پیچیده روبرو هستیم. در روش پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به بهترین ترکیب فیلترها جهت رسیدن به جواب نزدیک به بهینه استفاده شده است. در الگوریتم پیشنهادی هر کروموزوم متشکل از تعدادی صفر و یک است که صفر عدم استفاده از فیلتر متناظر برای استخراج ویژگی و یک استفاده از فیلتر متناظر (فیلتری که با اندیس آرایه کروموزوم یکی است) برای استخراج ویژگی از تصاویر دیتابیس مورد ارزیابی را نشان می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵: مثالی از کروموزوم در الگوریتم ژنتیک روش پیشنهادی

برای کروموزوم نشان داده شده در شکل ۵ که مثالی از کروموزوم در الگوریتم ژنتیک روش پیشنهادی است، فیلتر متناظر با درایه‌ای که مقدارش یک است، از جدول ۲ انتخاب می‌شود و برای استخراج ویژگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل این که خروجی استخراج ویژگی برای تطبیق باید دودویی باشد ما نتیجه حاصل از فیلتر را اگر از صفر بزرگ‌تر بود یک و در غیر این صورت صفر در نظر می‌گیریم. روند تطبیق بدین شرح است که در ابتدا برای هر دو تصویر در مرحله آموزش که با یکدیگر مقایسه می‌شوند با استفاده از فیلترهایی که در کروموزوم مورد بررسی مقدار یک دارند استخراج ویژگی انجام شده و سپس مقایسه صورت می‌گیرد اگر چنانچه مقدار فاصله همینگ به دست آمده کمتر از مقدار آستانه بود برای آن فیلتر به عنوان یک تطبیق درست پذیرفته می‌شود و در نهایت اگر بیشتر از ۵۰٪ از فیلترها، مقایسه مورد نظر را پذیرفته بودند (به عنوان یک ادعای درست) آن مقایسه به عنوان یک تطبیق صحیح پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت به عنوان یک تطبیق غلط رد می‌شود و این روند برای تمام عکس‌های موجود در پایگاه داده دوبه دو اعمال می‌شود. این رویه روی تمام کروموزوم‌های جامعه اعمال شده و در نهایت مقدار تابع برازندگی برای هر کروموزوم محاسبه می‌گردد. از آنجایی که هر چه مقدار دو خطای FAR و FRR کمتر باشد عملکرد روش استخراج ویژگی و در نهایت سامانه تشخیص عنبیه بهتر است؛ بنابراین برای تابع برازندگی از رابطه (۱) استفاده می‌شود و در نهایت الگوریتم جستجو به دنبال کم کردن این مقدار است؛ و سپس در مرحله بعدی الگوریتم ژنتیک با تولید نسل بعدی به دنبال جواب‌هایی می‌گردد که کمترین مقدار تابع برازندگی را داشته باشند.

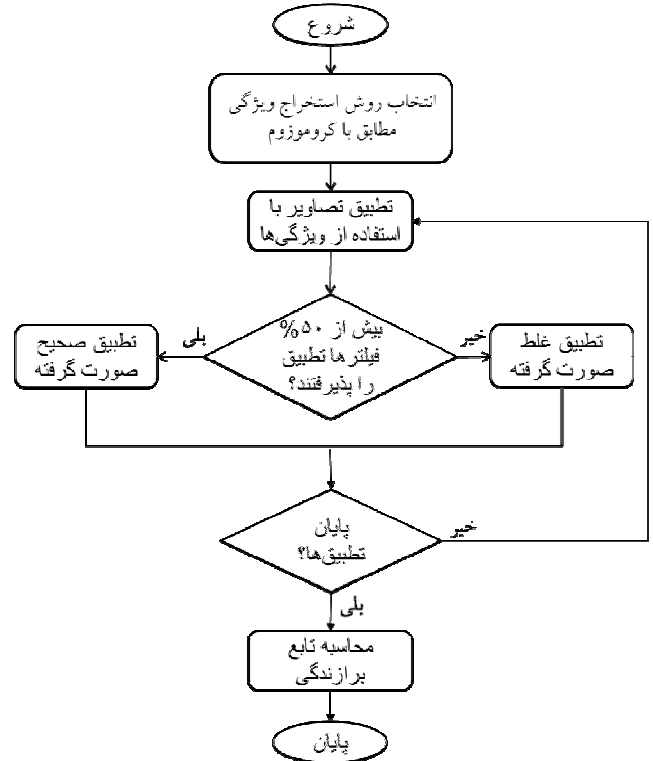
$$FAR = \frac{\text{Number of False Accepted Matches}}{\text{Total Matches}} \quad (1)$$

$$FRR = \frac{\text{Number of False Rejected Matches}}{\text{Total Matches}} \quad (2)$$

¹ Daubechies Wavelet
² Coiflet Wavelet
³ Biorthogonal Wavelet
⁴ Reverse Biorthogonal Wavelet
⁵ Meyer Wavelet

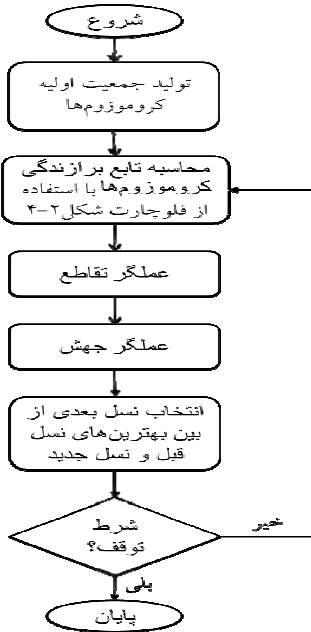
$$Fitness = \alpha \times FAR + \beta \times FRR \quad (3)$$

در رابطه (۳) مقادیر α و β ثابت‌هایی هستند که به صورت دستی تعیین می‌گردند و اندازه هرکدام نشان‌دهنده اهمیت نرخ خطاهای متناظر آنهاست. در شکل ۶ فلوجارت محاسبه تابع برازندگی آورده شده است.



شکل ۶: فلوجارت محاسبه تابع برازندگی برای هر کروموزوم

لازم به ذکر است برای صرفه‌جویی در محاسبات، ابتدا از تمامی تصاویر ویژگی‌ها استخراج می‌شوند و در یک ماتریس چهاربعدي (بعد اول برای شماره تصویر، بعد دوم برای نوع استخراج ویژگی و بعد سوم و چهارم برای ماتریس ویژگی) ذخیره می‌شود؛ سپس با استفاده از کروموزوم از بین ویژگی‌های مختلف عمل انتخاب صورت می‌پذیرد. از بابت هزینه ذکر این نکته ضروری است که فقط یک‌بار ترکیب بهینه پیدا می‌شود؛ که بار اصلی سامانه در این قسمت است و در مرحله آزمایش فقط ویژگی‌های بهینه استخراج می‌شوند و هزینه محاسبه آن‌چنان بالا نیست. در محاسبه برازندگی، تک‌تک تصاویر پایگاه داده به صورت دوه‌دو باهم تطبیق داده می‌شوند و با استفاده از روابط (۱) و (۲)، FAR و FRR محاسبه می‌گردد و در نهایت با استفاده از رابطه (۱) برازندگی کروموزوم مربوطه یا همان ترکیب فیلترها در استخراج ویژگی را به دست می‌آوریم. شکل ۷ فلوجارت الگوریتم روش پیشنهادی را نشان می‌دهد:



شکل ۷: فلوجارت الگوریتم پیشنهادی

۵ داده‌ها و آنالیز عملکرد

در این قسمت در ابتدا به معرفی مشخصات پایگاه داده استفاده‌شده در این تحقیق پرداخته‌شده است. سپس به‌طور کامل روش بازشناسی عنبیه توضیح داده می‌شود. تمام مراحل در الگوریتم بازشناسی عنبیه با ذکر جزئیات آن آورده شده و نیز در هر قسمت توضیحاتی در مورد روش‌های مشابه نیز داده‌شده است. همچنین شرح مختصری درباره سامانه تشخیص عنبیه لیورمسک ارائه می‌گردد. از آنجایی‌که در این تحقیق برای به دست آوردن جواب‌های نزدیک به بهینه از الگوریتم ژنتیک کمک گرفته‌شده است؛ لذا به‌طور کامل به شرح این الگوریتم پرداخته‌ایم.

۵-۱ پایگاه داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق

برخلاف سایر روش‌های زیست‌سنجی مانند تشخیص اثرانگشت و چهره که پایگاه داده‌های زیادی برای آزمایش موجود است. برای عنبیه پایگاه داده‌های محدودی وجود دارد. در این تحقیق از پایگاه داده عنبیه CASIA v.1 (آکادمی علوم چین^۱) به دلیل کیفیت خوب تصاویر برای آزمایش‌های اصلی استفاده‌شده است. تصاویر توسط نور مادون‌قرمز گرفته‌شده و با فرمت BMP با وضوح ۳۲۰×۲۸۰ ذخیره‌شده‌اند [۸, ۲۴]. در این تحقیق برای دستیابی به بهترین فیلترها برای استخراج ویژگی از تصویر عنبیه (به‌منظور به حداکثر رساندن توانایی تشخیص) از تصاویر چشم ۵۰ نفر و برای هر فرد هفت تصویر استفاده‌شده است؛ بنابراین ۳۵۰ تصویر داریم؛ که مجموعاً ۲۴۵۰×۷=۳۵۰×۳۴۳=۱۲۰۰۵۰ و مقایسه صحیح^۲ و ۳۵۰×۳۴۳=۱۲۰۰۵۰ مقایسه غلط^۳ داریم.

^۲ Chinese Academy Of Sciences

^۳ Genuine Match

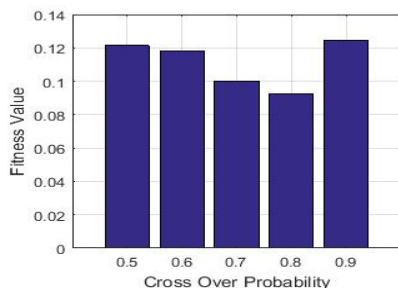
^۴ Imposter Match

تطابق‌ها و همچنین اهمیت بسیار بالای FAR این پارامترها $\beta=1$ و $\alpha=1000$ در نظر گرفته می‌شوند (از یک سامانه تشخیص عنبیه انتظار می‌رود که FAR نزدیک به صفر داشته باشد زیرا این معیار نرخ پذیرش غلط را نشان می‌دهد و در اکثر کاربردها اهمیت بالاتری نسبت به FRR دارد).

در ابتدا الگوریتم پیشنهادی به محاسبه تابع برازندگی جمعیت اولیه می‌پردازد. بدین صورت که مقدار تابع برازندگی هر کروموزوم برابر است با نوعی نرخ خطا بر روی تصاویر عنبیه استفاده شده برای دسترسی به بهترین فیلتر است. در هر تکرار بهترین فیلترها برای تولید نسل بعدی انتخاب شده و چنانچه تا ۱۰ تکرار متوالی فیلتری که عملکرد بهتری نسبت به بهترین فیلتر به دست آمده در مرحله قبل تولید نشد الگوریتم بهینه‌سازی متوقف می‌شود. شرط دیگر توقف گذشتن از یک مقدار مشخص تکرار است که این تعداد را ۱۰۰۰ در نظر گرفتیم. بدیهی است که حداقل میزان برازندگی صفر است و اگر بتوان کروموزومی با این برازندگی یافت ادامه الگوریتم بی‌معنا است و باید خاتمه یابد.

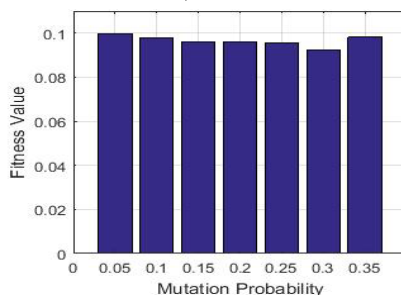
۵-۲-۱ ارزیابی عملکرد

با تغییر پارامترهای الگوریتم ژنتیک مقدار برازندگی به دست آمده نیز تغییر می‌کند؛ که ما به دنبال بهینه‌ترین حالت ممکن یعنی کمینه‌ترین مقدار هستیم. در شکل ۹ مقدار برازندگی سامانه را در ازای احتمال تقاطع‌های متفاوت بررسی نموده‌ایم و بهترین مقدار را به دست آورده‌ایم.

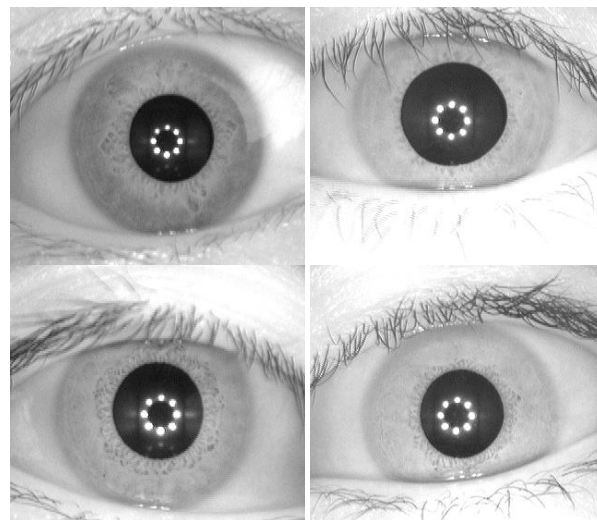


شکل ۹: برازندگی به ازای احتمال تقاطع‌های متفاوت.

دیگر پارامتر مهم الگوریتم ژنتیک احتمال جهش است؛ که با افزایش آن پویایی در الگوریتم افزایش می‌یابد، به طوری که الگوریتم جواب‌های متفاوتی نسبت به قبل تولید می‌کند و ممکن است به جواب‌هایی بهتر و یا حتی بدتر از والدین برسد. در ادامه تأثیر این پارامتر بر مقدار برازندگی را می‌بینیم.



شکل ۱۰: برازندگی به ازای احتمال جهش‌های مختلف.



شکل ۸: نمونه‌هایی از پایگاه داده CASIA V-1.0.

علاوه بر دادگان ذکر شده از دادگان 2 MNU که توسط دانشگاه چندرسانه‌ای مالزی ارائه شده و شامل تصاویر عنبیه افرادی از آسیا، خاورمیانه، آفریقا و اروپا است، نیز استفاده شد. این پایگاه داده شامل ۹۹۵ تصویر از ۱۰۰ نفر است [۲۵].

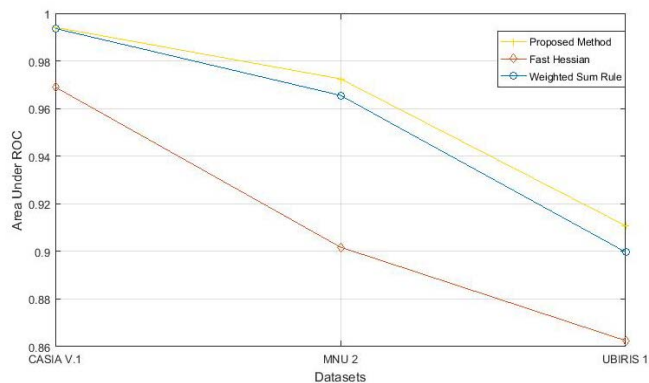
پایگاه داده UBIRIS 1 نیز به عنوان دادگان بعدی مورد آزمایش قرار گرفتند. این پایگاه داده شامل ۱۸۷۷ تصویر از چشم راست ۲۴۱ فرد اروپایی تهیه شده است؛ که دارای سه ورژن مختلف است [۱۸]. در آزمایش‌های این مقاله از ورژن 200×150 خاکستری استفاده گردید.

۵-۲ ارزیابی و آزمایش‌ها

در این قسمت به شرح دستیابی به بهترین فیلتر ترکیبی با استفاده از روش پیشنهادی پرداخته می‌شود و روند دستیابی به بهترین جواب (کروموزوم) به شکل مناسب آورده شده است. لازم به ذکر است که این آزمایش‌ها بر روی دادگان CASIA V.1 انجام گردید و سپس آزمایش‌های تکمیلی بر روی دو پایگاه داده دیگر تکرار شد. بعد از دستیابی به بهترین روش ترکیبی (همان فیلتر ترکیبی) عملکرد فیلتر به دست آمده توسط روش پیشنهادی با سایر فیلترهایی که از قبل بهترین عملکرد را در زمینه سامانه تشخیص عنبیه داشته‌اند مقایسه می‌شود. این مقایسه توسط نمودار ROC انجام می‌گردد. سامانه زیست‌سنجی بهترین عملکرد را دارد که مساحت سطح زیر نمودار آن بیشترین مقدار می‌باشد (حداکثر یک). در توضیحات نمودار نشان داده شده است که فیلتر به دست آمده با الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به فیلترهای قبلی دارد.

همان‌طور که در رابطه (۳) دیدیم دو ثابت در تابع برازندگی وجود دارند؛ که باید تنظیم شوند؛ ولی از آنجایی که مقدار FAR در مقایسه با نرخ رد کردن به اشتباه (در آستانه استاندارد استفاده شده با مقدار $0/37$) بسیار کوچک است (تقریباً ۱۰۰۰ برابر) و نیز مقدار FAR از اهمیت به سزایی در عملکرد کلی سیستم تشخیص عنبیه دارد به بیانی دیگر به دلیل کوچک بودن FAR نسبت به FRR در مجموع

در شکل ۱۷ می‌توان مساحت زیر نمودار ROC را در آزمایش‌ها بر روی پایگاه داده‌های مختلف مشاهده کرد؛ که در آن عملکرد بهتر روش پیشنهادی را نسبت به سایر روش‌ها شاهدیم.



شکل ۱۷: مساحت زیر نمودار ROC سامانه‌ها در پایگاه داده‌های مختلف.

۶ نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در روش پیشنهادی ما قصد داشتیم ترکیبی از فیلترها به دست بیاوریم که عملکرد کلی سامانه را بهبود ببخشد. برای این کار از الگوریتم ژنتیک دودویی بهره گرفتیم تا بتوانیم از انواع تبدیلات موجک، تبدیل فوریه و فیلتر گابور بهترین ترکیب را انتخاب نماییم. مقایسه‌ها و ارزیابی‌های صورت پذیرفته نشان داد که روش پیشنهادی برتری‌هایی نسبت به سایر روش‌های استخراج ویژگی و سامانه‌های تشخیص عنبیه دارد.

۶-۱ پیشنهادها و کارهای آتی

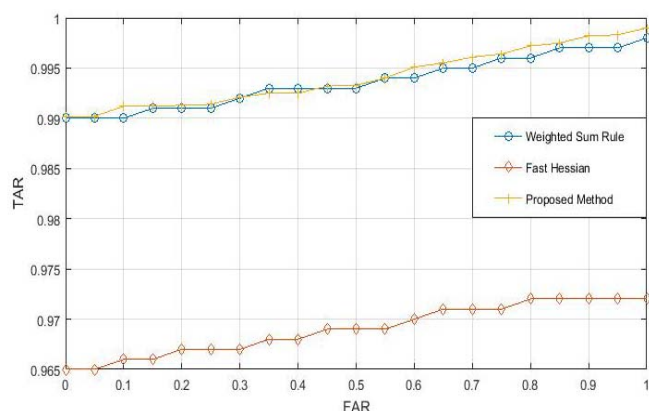
از روند مناسب کاهش میزان خطا با افزایش تکرار در الگوریتم پیشنهادی می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که با افزایش تکرار و نیز تغییر مداوم تنظیم پارامترهای اولیه در الگوریتم ژنتیک استفاده شده می‌توان در کارهای آتی به نتایج بهتری نیز دست یافت؛ بنابراین موارد زیر به عنوان کارهای آتی به محققان پیشنهاد می‌گردد:

۱. تغییر پارامترهای الگوریتم ژنتیک و بهبود روش.
۲. استفاده از انواع دیگر الگوریتم ژنتیک و سایر روش‌های تکاملی.
۳. استفاده از فیلترها و تبدیلات دیگر علاوه بر روش‌های ذکر شده.
۴. استفاده از روش‌ها پردازش موازی در استخراج و انتخاب ویژگی‌ها.

مراجع

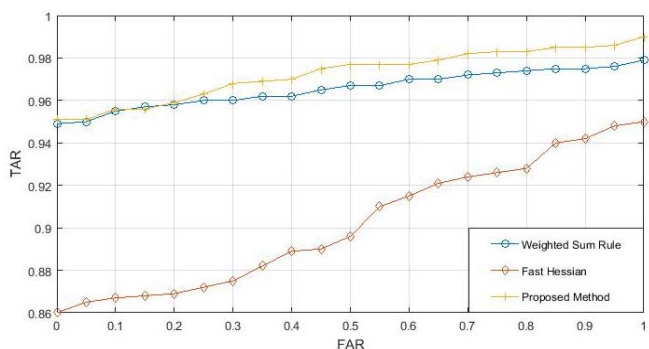
- [1] H. Davision, "The eye," London: Academic, 1962.
- [2] L. Ma, Y. Wang, and T. Tan, "Iris recognition using circular symmetric filters," in *Pattern Recognition, 2002. Proceedings. 16th International Conference on*, 2002, pp. 414-417.
- [3] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, *Biometrics: personal identification in networked society* vol. 479: Springer Science & Business Media, 2006.

شکل ۱۴ نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی نسبت به روش‌های اخیر در پایگاه داده CASIA V.1 است و حتی در اکثر موارد روش پیشنهادی عملکرد بهتری را نسبت به سایر روش‌ها دارد.



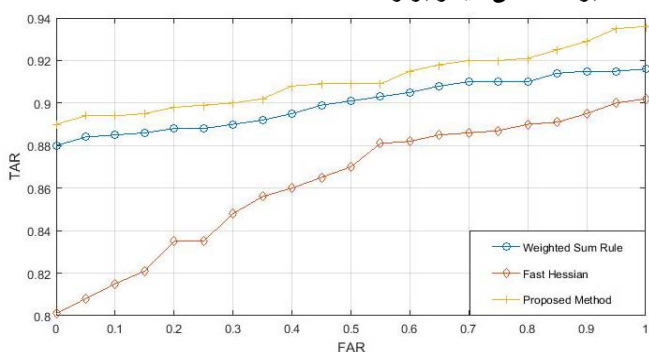
شکل ۱۴: نمودار ROC سه سامانه تشخیص عنبیه Fast-Hessian، Weighted sum rule و روش پیشنهادی در پایگاه داده CASIA V.1.

شکل ۱۵ آزمایش قبل را بر روی دادگان MNU 2 تکرار می‌کند. همان‌طور که می‌بینیم روش پیشنهادی عملکرد بهتری در این دادگان از خود نشان می‌دهد؛ که این موضوع در FARهای بالا بیشتر مشهود است.



شکل ۱۵ نمودار ROC سه سامانه تشخیص عنبیه Fast-Hessian، Weighted sum rule و روش پیشنهادی در پایگاه داده MNU 2.

شکل ۱۶ دیگر دادگان را مورد آزمایش قرار می‌دهد و با توجه به نمودارهای ROC می‌توان دید که روش پیشنهادی در تمام مقادیر FAR بر دو روش دیگر برتری دارد.



شکل ۱۶ نمودار ROC سه سامانه تشخیص عنبیه Fast-Hessian، Weighted sum rule و روش پیشنهادی در پایگاه داده UBIRIS 1.

- [19] H. Sung, J. Lim, J.-h. Park, and Y. Lee, "Iris recognition using collarette boundary localization," in *Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on*, 2004, pp. 857-860.
- [20] H. Proenca and L. A. Alexandre, "Toward noncooperative iris recognition: a classification approach using multiple signatures," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 29, pp. 607-612, 2007.
- [21] M. Pandey, "An amalgamated strategy for iris recognition employing neural network and hamming distance," in *Information Systems Design and Intelligent Applications*, ed: Springer, 2016, pp. 739-747.
- [22] S. Minaee, A. Abdolrashidi, and Y. Wang, "Iris recognition using scattering transform and textural features," in *Signal Processing and Signal Processing Education Workshop (SP|SPE), 2015 IEEE*, 2015, pp. 37-42.
- [23] A. Ignat, M. Luca, and A. Ciobanu, "New Method of Iris Recognition Using Dual Tree Complex Wavelet Transform," in *Soft Computing Applications*, ed: Springer, 2016, pp. 851-862.
- [24] *NLPR*. Available: <http://www.nlpr.ia.ac.cn/nlpren/EN/volumn/home.shtml>
- [25] Y. Alvarez-Betancourt and M. Garcia-Silvente, "An overview of iris recognition: A bibliometric analysis of the period 2000-2012," *Scientometrics*, vol. 101, pp. 2003-2033, 2014.
- [4] J. Daugman and C. Downing, "Epigenetic randomness, complexity and singularity of human iris patterns," *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, vol. 268, pp. 1737-1740, 2001.
- [5] R. P. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, pp. 1348-1363, 1997.
- [6] S. Lim, K. Lee, O. Byeon, and T. Kim, "Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier," *ETRI journal*, vol. 23, pp. 61-70, 2001.
- [7] S. Sanderson and J. Erbetta, "Authentication for secure environments based on iris scanning technology," 2000.
- [8] Y. Alvarez-Betancourt and M. Garcia-Silvente, "A keypoints-based feature extraction method for iris recognition under variable image quality conditions," *Knowledge-Based Systems*, vol. 92, pp. 169-182, 2016.
- [9] C. Abikoye Oluwakemi, J. Sadiku, S. Adewole Kayode, and G. Jimoh Rasheed, "Iris Feature Extraction for Personal Identification using Fast Wavelet Transform (FWT)," *structure*, vol. 6, 2014.
- [10] S. S. Barpanda, B. Majhi, and P. K. Sa, "Region based feature extraction from non-cooperative iris images using triplet half-band filter bank," *Optics & Laser Technology*, vol. 72, pp. 6-14, 2015.
- [11] A. K. Bhateja, S. Sharma, S. Chaudhury, and N. Agrawal, "Iris recognition based on sparse representation and k-nearest subspace with genetic algorithm," *Pattern Recognition Letters*, vol. 73, pp. 13-18, 2016.
- [12] A. Azizi and H. R. Pourreza, "A new method for iris recognition based on contourlet transform and non linear approximation coefficients," in *International Conference on Intelligent Computing*, 2009, pp. 307-316.
- [13] J. Daugman, "How iris recognition works," *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, vol. 14, pp. 21-30, 2004.
- [14] D. A. Forsyth and J. Ponce, *Computer vision: a modern approach*: Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002.
- [15] L. Masek, "Recognition of human iris patterns for biometric identification (2003)," *University of Western Australia*, 2006.
- [16] M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, and J.-M. Poggi, *Wavelets and their Applications*: John Wiley & Sons, 2013.
- [17] F. Kadri, A. Meraoumia, H. Bendjenna, and S. Chitroub, "Palmprint & iris for a multibiometric authentication scheme using Log-Gabor filter response," in *2016 International Conference on Information Technology for Organizations Development (IT4OD)*, 2016, pp. 1-5.
- [18] K. Miyazawa, K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, and H. Nakajima, "An effective approach for iris recognition using phase-based image matching," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 30, pp. 1741-1756, 2008.



مهران نصرپور مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در رشته مهندسی کامپیوتر-نرم افزار و هوش مصنوعی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر و همدان در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۹۵ دریافت نمود. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان بهینه سازی، پردازش تصویر و سیستم های بیومتریک است.



منصور اسماعیل پور مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر-نرم افزار در سال های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳ دریافت نمود. وی مدرک دکتری را در رشته مهندسی کامپیوتر - هوش مصنوعی از دانشگاه ملی مالزی در سال ۲۰۱۲ اخذ و از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ به عنوان فوق دکتری در همان دانشگاه

به تحقیق و پژوهش پرداخت و همچنین از سال ۱۳۸۱ تاکنون عضو هیات علمی گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان می باشد. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان داده کاوی، فرآیندکاوی، پردازش تصویر و سیستم های یادگیر است.