فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶
صفحات ۳۷-۴۹
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

تحلیل و واکاوی مبانی تشخیص عنبیه در احراز هویت افراد

داریوش کاوسی[۱] و عباس کریمی[۲]

۱گروه مهندسی کامپیوتر،واحد اسلام آبادغرب،دانشگاه آزاد اسلامی،اسلام آبادغرب،ایران
Email: kavosy.daruosh@gmail.com
۲- گروه مهندسی کامپیوتر،دانشکده فنی و مهندسی،واحد اراک،دانشگاه آزاد اسلامی،اراک،ایران

چکیده

بایومتریک‌ها راه‌حلی آسان، دقیق و با صحت بالا برای احراز هویت افراد فراهم می‌کنند، این راه حل شناسایی افراد را به ویژگی‌های منحصربه فرد بدن آن ها مربوط می‌کند، بنابراین این روش‌ها بر مبنای چیزی که هستید عمل می‌کنند نه چیزی که می‌دانید (گذرواژه) یا همراه خود (مدارک شناسایی) دارید. تشخیص عنبیه یکی از امن‌ترین و معتبرترین روش‌ها در میان دیگر بایومتریک‌هاست. به طور کلی احراز هویت عنبیه بر مبنای سیستم شناسایی افراد، شامل تصویربرداری از عنبیه، برآورد کیفیت تصویر عنبیه، تشخیص عنبیه جعلی و شناسایی عنبیه می‌باشد. این تحقیق به تحلیل و واکاوی مبانی تشخیص عنبیه در احراز هویت افراد می پردازد. این تحقیق از نوع نظری است و در تجزیه و تحلیل اطلاعات با توجه به نوع تحقیق، بصورت توصیفی و تحلیلی عمل شد. بررسی ها نشان داد؛ مرحله اول درتشخیص عنبیه، جداسازی فضای واقعی عنبیه در تصویر چشم دیجیتال است. در مرحله دوم یعنی فرآیند نرمالیزه کردن، فضای عنبیه تولید می‌شود که دارای ابعاد پایدار یکسان می‌باشد، بطوری که دو عکس‌برداری از عنبیه یکسان در شرایط مختلف دارای ویژگی‌های مشخص در مکان فضایی یکسان می‌باشند. در مرحله به منظور فراهم آوردن شناسایی دقیق افراد، بیشتر اطلاعات تبعیض آمیز موجود در الگوی عنبیه استخراج می شود. در مرحله چهارم ویژگی با استفاده از فیلتر لگاریتمی گابور یک بعدی استخراج می‌شود، FFT و IFFT، ورودی برای فرآیند کوانتیزاسیون فاز به منظور تولید الگو با مقادیر باینری ۰ و ۱ بدست می‌آورد. این نتیجه به عنوان کد عنبیه شناخته می‌شود. در پایان برای تطبیق، فاصله همینگ به عنوان معیاری برای شناسایی انتخاب می‌شود، از این رو مقایسه بیتی نیاز است. الگوریتم فاصله همینگ تنها بیت‌های مهم و اصلی را در محاسبه فاصله همینگ بین دو کد عنبیه بکار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: احراز هویت، بایومتریک، تقسیم‌بندی، نرمالیزه کردن، استخراج ویژگی، تولید کد، تطبیق

مقدمه

روش‌های احراز هویت افراد، متناسب با نیازمندی‌های انسان و توسعه تکنولوژی اطلاعات تغییر می‌کند. در حال حاضر، سبک زندگی انسان نیازمند سیستم احراز هویت اتوماتیکِ سریع‌تر و قابل اطمینان‌تر است، زیرا جمعیت در حال افزایش است و به همین نسبت نیاز به امنیت بالاتر نیز احساس می‌شود. تشخیص عنبیه مبتنی بر PIS با توجه به دارا بودن سهولت و امنیت،بسیار مورد توجه می‌باشد [۴] و [۷]. به طور کلی تشخیص عنبیه مبتنی بر سیستم شناسایی شخص[1] (PIS)، شامل تصویربرداری از عنبیه، برآورد کیفیت تصویر عنبیه، تشخیص عنبیه جعلی و شناسایی عنبیه می‌باشد.

در تهیه تصویر عنبیه، دریافت تصویر عنبیه با کیفیت بالا، یکی از چالش‌های اساسی تشخیص عنبیه خودکار در کاربردهای عملی می باشد. برای حل این چالش، یک سری مسائل تکنیکی در نظر گرفته می‌شود، به عنوان مثال؛ عنبیه به عنوان یک شی کوچک در نظر گرفته می‌شود (حدود ۱ سانتی‌متر در ضخامت). به منظور انجام تشخیص صحیح و بدون خطا، تصاویر عنبیه باید دارای رزولوشن کافی باشند. تصاویر بدست آمده باید شامل بیشترین فضای عنبیه باشند. این تصاویر باید بدون دخالت بی‌جهت اپراتور، بخوبی فریم‌بندی شوند. نویز مصنوعی در تصاویر بدست آمده (که مربوط به بازتاب آینه طبی، انحراف‌های نوری و غیره هستند) باید حذف شود. تمام این مسائل تکنیکی باید در زمان طراحی دستگاه‌های اکتساب تصویر، در نظر گرفته شود.

تمام تصاویر بدست آمده در حین فرآیند تهیه تصویر، واضح و مناسب برای تشخیص نیستند. برخی از این تصاویر خارج از فاصله کانونی می‌باشند که دور از سطح مرکزی دوربین هستند. برخی دیگر شامل خطوط متقاطع قابل‌توجه، ناشی از حرکت چشم هستند (بخصوص در مناطق نزدیک به مرز)، در برخی دیگر فضای عنبیه تا حد زیادی توسط مژه و پلک مسدود شده است، این نتایج زمانی حاصل می‌شود که چشم تا حدی باز است. بنابراین، تکنیک‌های تشخیص کیفیت تصویر عنبیه نیاز به انتخاب تصویر مناسب با کیفیت بالا دارند. تشخیص کیفیت تصویر، مهمترین مرحله در سیستم تشخیص عنبیه می‌باشد، بطوری که عملکرد سیستم تشخیص مرتبط با کیفیت تصاویر گرفته شده می‌باشد. با این حال، همچنان تلاش برای تشخیص کیفیت تصویر محدود می‌باشد [۸].

ما[2] و همکاران [۸]، یک توصیف‌گر کیفیت مبتنی بر طیف فوریه دو فضای محلی در تصویر عنبیه برای تبعیض واضح تصاویر عنبیه از تصاویر با کیفیت پایین ناشی از محو بودن حرکت، دِفوکوس و بسته شدن مژه پیشنهاد کردند. داگمَن [۴]، تشخیص متمرکزی با اندازه‌گیری توان فرکانس بالا در طیف فوریه دو بعدی تصویر انجام می‌دهد و بدنبال به حداکثر رساندن این مقدار، یا با حرکت دادن لنز فعال یا با ارائه بازخوردصوتی برای تنظیم موقعیت خود می‌باشد. تصویر، حداقل معیار تمرکز را عبور داده سپس برای پیدا کردن عنبیه تجزیه و تحلیل می‌شود. ژانگ و سالگانیکوف[3][۹]، هوشمندی مرز بین مردمک و عنبیه را برای تعیین اینکه آیا تصویر در نقطه مرکزی هست یا نه را تجزیه و تحلیل کردند.

با این حال همچون دیگر سیستم‌های بایومتریک، سیستم عنبیه نیز با حمله جعل عنبیه تهدید می‌شود. تشخیص موثر جعل عنبیه می‌تواند امنیت سیستم‌های شناسایی شخص را بهبود بخشد. برخی از ابزارها مانند عنبیه چاپ شده روی کاغذ، لنز تماسی آرایشی و ویدئوهای نمایش مجدد به منظور شناسایی عنبیه جعلی برای PIS در نظر گرفته می‌شوند. لنز تماسی آرایشی، یک لنز تماسی با بافت رنگی چاپ شده روی آن می‌باشد. جعل ناشی از پوشش لنز تماسی آرایشی به شدت خطرناک است. این موضوع به سادگی توسط سیستم پذیرفته شده و به سختی تشخیص داده می‌شود. در مطالعات گذشته بر روی تشخیص جعل عنبیه، چندین نوع روش پیشنهاد شده است. داگمَن در مرجع[۴]، یک FFT مبتنی بر روشی که انرژی طیف در حوزه فرکانس را چک می کند پیشنهاد داد، بطوری که از ویژگی‌های متناوب چاپگر استفاده می‌کند. لی[4] و همکاران [۱۰]، یک یک روش برای تشخیص اصلی یا جعلی بودن عنبیه بر اساس تصویر Purkinje پیشنهاد دادند. لی و همکاران [۱۱]، روش

1 Personal Identification System
2Ma
3Zhang and Salganiciff
4Lee

تشخیص عنبیه جعلی با اندازه‌گیری نسبت بازتاب اندازه‌گیری شده در روشنایی۷۵۰ و۸۵۰ نانومتر را معرفی کردند. وِی[5]و همکاران [۱۲]، روش‌های تشخیص جعل عنبیه مبتنی بر ماتریس co-occurence و textonsرا پیشنهاد کردند. هی[6]و همکاران [۱۳]،از ویژگی LBP[7]و روش boosting برای تشخیص جعل عنبیه استفاده کردند. کارهای بسیار دیگری نیز روی تهیه تصویر عنبیه، تشخیص کیفیت و تشخیص عنبیه جعلی انجام شده است.

بطور کلی یک الگوریتم تشخیص عنبیه شامل چهار مرحله است؛ تقسیم‌بندی یا محلی‌سازی، نرمالیزه کردن، استخراج ویژگی و تطبیق. تشخیص، مولفه کلیدی در PIS می‌باشد که مطالعات زیادی در این حوزه انجام شده است. در تمام این تلاش‌ها هدف اصلی،تبدیل تصویر عنبیه بدست آمده با کد مناسب است که بتواند به سادگی مدیریت شود.

با توجه به اهمیت موضوع هدف این مقاله تحلیل و واکاوی مبانی تشخیص عنبیه در احراز هویت افراد است.

روش تحقیق

این تحقیق از نوع نظری و به روش توصیفی و تحلیلی است. همچنین بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای انجام گرفت و تبعاً از منابع کتابخانه‌ای سنتی و الکترونیکی، کتب و مقالات منتشره در مجلات و ... استفاده شده است. در این تحقیق در تجزیه و تحلیل اطلاعات با توجه به نوع تحقیق، بصورت توصیفی و تحلیلی عمل شد.

بررسی بایومتریک عنبیه

در دهه اخیر پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در زمینه بایومتریک چشمی صورت گرفته است. چشم یکی از مهمترین ارگان‌های بدن انسان محسوب می‌شود که شامل قرنیه، عدسی، عصب نوری، شبکیه، مردمک، عنبیه و منطقه اطراف چشم است. در میان این‌ها عنبیه، شبکیه و ناحیه اطراف چشم، بخش‌هایی هستند که به عنوان خواص بایومتریک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [1].

بایومتریک‌های چشمی به یک ویژگی بایومتریک پابرجا تبدیل شده‌اند و عمدتاً این موضوع با توجه به تلاش‌های گسترده توسط جامعه بایومتریک در حوزه تشخیص عنبیه ایجاد شده است. احتمالاً عنبیه به عنوان یک اثرانگشت نوری برای اولین بار توسط فلوم و سفیر[8][۲] کشف شده است. سپس در یک ویژگی بایومتریک تکامل یافته و به طور گسترده توسط جامعه تحقیقات بایومتریک توسعه یافته است. محبوبیت بایومتریک چشمی در یک موضع با مقیاس بزرگ تجاری و سیستم‌های تشخیص عنبیه عمومی در سراسر جهان نتیجه شده است. یکی از نمونه‌های قبلی، پروژه سازمان شناسایی منحصربفرد ادهار هند[9] (UIDAI) [۳] می‌باشد که روزانه حدود ۱۰۰ تریلیون تطبیق عنبیه را انجام می‌دهد.

الگوریتم کد عنبیه داگمَن[10][۴]، به عنوان یک مبنا برای برخی تلاش‌های انجام شده توسط محققان در حوزه بایومتریک مورد استفاده قرار گرفته است. توصیف‌گر ویژگی، شامل یک دنباله پیوسته از ضرایب موجک گابور دو بعدی مربعی چند مقیاسی می‌باشد. در مرجع[۵]، داگمَن تنوع آماری را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد که پایه و اساس تشخیص عنبیه را تشکیل می‌دهد. پیچیدگی ترکیبی این روشِ توصیف اطلاعات در میان جامعه‌ای از افراد، حدود ۲۴۹ درجه آزادی است. آنتروپی متمایزی روی عنبیه در حدود 3.2bits/mm2 تولید می‌شود، به طوری که آن را قادر می‌سازد که شناسایی بلادرنگ برای جستجوی کامل از طریق پایگاه داده بسیار بزرگ را پشتیبانی کند. در مرجع[۶]، داگمَن موارد زیر را ارائه می‌کند؛ ۱- پیشرفت‌های رو به جلوی الگوریتم کد عنبیه برای تشخیص عنبیه؛ تشخیص دقیق‌تر و مدل‌سازی مرزهای عنبیه با محیط‌های مرئی (خطوط) فعال؛ ۲- روش‌های استنتاج آماری برای تشخیص و بیرون نگه داشتن مژه چشم و ۳- امکان بکارگیری نمره نرمال شده بسته به میزان اطلاعات معتبر در دسترس عنبیه.

5Wei
6He
7 Local binary patterns
8 Flom and Safir
9 Unique Identification Authority of India
10Daugman

همانطور که در شکل ۱-نشان داده شده است، جریان اطلاعات در سیستم تشخیص عنبیه می‌تواند بصورت دریافت تصویر، استخراج ویژگی، تقسیم‌بندی، پیش‌پردازش و تطبیق سازماندهی شود.

شکل ۱- جریان اطلاعات در سیستم بایومتریک عنبیه

فرآیند تشخیص عنبیه

در این جا فرآیند تشخیص عنبیه تشریح می‌شود که متشکل از پنج مرحله است؛ ۱- تقسیم‌بندی یا محلی سازی، ۲- نرمالیزه کردن، ۳- استخراج ویژگی، ۴- تولید و ۵- تطبیق کد. در این روش از آشکارساز لبه و تبدیل‌های هافبه منظور بهبود سرعت و دقت فرآیند تقسیم‌بندی استفاده می‌شود. عنبیه بخش‌بندی شده با استفاده از مدل صفحه لاستیکیداگمَن[11]، منطقه عنبیه به $[-32^{\circ}, 32^{\circ}]$ و $[148^{\circ}, 212^{\circ}]$ نرمالیزه می‌شود که درادامه شرح داده می‌شود. ویژگی‌ها با پیچیده کردن سیگنال یک بعدی با کمک فیلتر لگاریتمی گابور[12] یک بعدی، FFT و معکوس FFT استخراج می‌شوند که اطلاعات فازی نامیده می‌شوند. این ویژگی‌ها به طور موثر با استفاده از تکنیک کوانتیزاسیون فاز برای تولید بردار ویژگی با ویژگی‌های بافت متمایز و ابعاد مناسب رمزگذاری می‌شوند، بطوری که دقت تشخیص و بازدهی محاسباتی بهبود داده می‌شود.

۱- تقسیم‌بندی[13]: مرحله اول درتشخیص عنبیه، جداسازی فضای واقعی عنبیه در تصویر چشم دیجیتال می‌باشد. در این مرحله، از آشکارساز لبه برای پیدا کردن لبه تصویر چشم و از تبدیل هاف برای تشخیص هویت مرزهای داخلی و خارجی عنبیه استفاده می‌شود. مرزها برای جداسازی فضای عنبیه از تصویر چشم اصلی به کار گرفته می‌شوند که در شکل ۲- قسمتd نشان داده شده است.

۱-۱- تشخیص لبه: تشخیص لبه یکی از تکنیک‌های پردازش تصویر می‌باشد که برای تغییرات ناگهانی در روشنایی مقادیر پیکسل استفاده می‌شود. آشکارساز لبه یک رویه تشخیص لبه چند مرحله‌ای است. نتایج آشکارساز لبه بر روی تصویر چشم در شکل ۲- قسمتb نشان داده شده است. رویه ارائه شده زیر برای بکارگیری آشکارساز لبه دنبال می‌شود.

۱. هموارکردن تصویر با فیلتر گوسی (به معادله ۱- مراجعه کنید) به منظور کاهش نویز و بافت‌ها و جزئیات ناخواسته.

$$g(m.n) = G(m,n) * f(m,n) \quad (۱)$$

که

$$G = \frac{1}{2\sigma^2} exp\left(\frac{-(m^2+n^2)}{2\sigma^2}\right)$$

۲. محاسبه گرادیان $g(m.n)$ با استفاده از عملیات گرادیان برای بدست آوردن؛

$$M(n,n) = \sqrt{(g_m^2(m,n) + g_n^2(m,n)} \quad and \quad (m,n) = tan^{-1}\left[\frac{g_n(m,n)}{g_m(m,n)}\right] \quad (۲)$$

۳. آستانه M:

$$M_T(m,n) = \begin{cases} M(m,n) & if \ \ M(m,n) > T \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (۳)$$

T طوری انتخاب می‌شود که تمام عناصر لبه حفظ شود، در حالی که بخش زیادی از نویز سرکوب می‌شود.

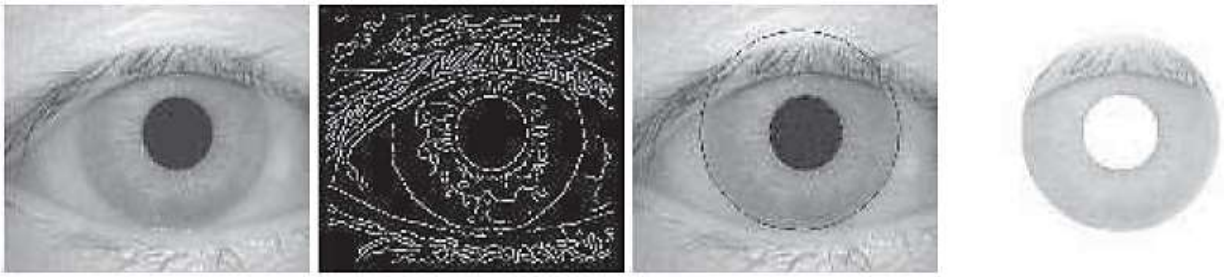
۴. توقیف کردن پیکسل‌های غیرحداکثر در لبه‌ها در M_T بدست آمده از معادله (۳) برای باریک کردن مرز لبه (لبه‌ها ممکن است در مرحله ۱ پهن شوند). برای انجام این کار، بررسی می‌شود که آیا هر $M_T(m,n)$ غیرصفر بزرگ‌تر از دو همسایه خود در

11 Daugman's rubber sheet model
12Log-Gabor Filter
13Segmentation

امتداد جهت گرادیان (شیب) $\theta(m,n)$ هست یا نه. اگر چنین باشد، $M_T(m,n)$بدون تغییر می‌ماند، در غیر این صورت با صفر تنظیم می‌شود.

۵. آستانه قبلی با دو آستانه مختلفT_1و T_2 برای بدست آوردن تصاویر باینری T_1 و T_2 نتیجه می‌شود. توجه داشته باشید که مقایسه T_1 و T_2دارای نویز کمتر و لبه‌های نادرست اندک می‌باشد اما فاصله‌های بین بخش‌های لبه زیاد می‌باشد.

۶. بخش‌های لبه در T_2 به منظور تشکیل لبه‌های پیوسته اتصال داده می‌شود. برای انجام این کار، هر بخش در T_2 با انتهای خود ردیابی می‌شود، سپس همسایگان خود را در T_1 برای پیدا کردن هر بخش لبه در T_1به منظور پر کردن فاصله جستجو می‌کند تا اینکه به یکی دیگر از بخش‌های لبه در T_2 برسد.



(a) Original eye image (b) After applying Canny edge detector (c) After applying Hough Transform (d) Isolated iris region

شکل ۲- فرآیند تقسیم‌بندی سیستم تشخیص عنبیه

۱-۲- تشخیص مرز عنبیه و مردمک: تبدیل هاف یک الگوریتم بینایی ماشین استاندارد است که می‌تواند برای تعیین پارامترهای مسائل هندسی ساده مانند خطوط و دایره‌های موجود در تصویر استفاده شود. تبدیل هاف دایره‌ای، برای کم کردن شعاع و مختصات مرکزی فضاهای عنبیه و مردمک بکار گرفته می‌شود.

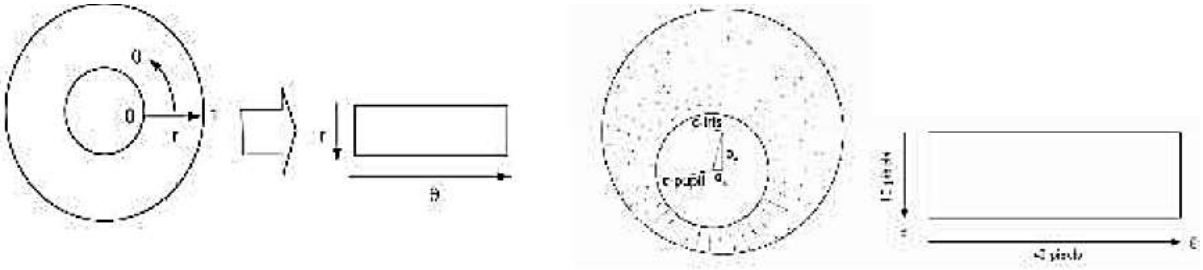
نگاشت لبه با محاسبه مشتق اول مقادیر شدت در تصویر چشم تولید شده و سپس نتایج، با اعمال حد آستانه مشخص می‌شود. توسط نگاشت لبه، فضای هاف برای پارامترهای عبور دایره‌ای از طریق هر نقطه تعیین می‌شود. این پارامترها مختصات مرکزیx_c y_c و شعاع r می‌باشند که قادر به تعیین هر دایره مطابق با معادله ۴- می‌باشند.

$$x_c^2 + y_c^2 - r^2 = 0 \quad (۴)$$

نقطه ماکزیمم در فضای هاف، متناظر با شعاع و مختصات مرکزی بهترین دایره تعریف شده با نقاط لبه می‌باشد. نتایج تبدیل هاف اعمال شده روی نگاشت لبه تصویر چشم اصلی در شکل ۲- قسمتc نشان داده شده است.

۲- نرمالیزه کردن: در مرحله قبل، فضای عنبیه با موفقیت از تصویر چشم تقسیم‌بندی شد، مرحله بعد در تبدیل فضای چشم به این صورت است که دارای ابعاد ثابت به منظور همسنجیِ (برابری) مجاز می‌باشد. ناسازگاری ابعاد بین تصاویر چشم، بطور عمده ناشی از گشاد شدن عنبیه به دلیل گشاد شدن مردمک از سطوح متغیر روشنایی می‌باشد. منابع دیگر ناسازگاری شامل، فاصله تصویربرداری متغیر، چرخش دوربین، شیب راس و چرخش چشم در حفره چشم می‌باشد.

فرآیند نرمالیزه کردن، فضای عنبیه را تولید می‌کند که دارای ابعاد پایدار یکسان می‌باشد، بطوری که دو عکس‌برداری از عنبیه یکسان در شرایط مختلف دارای ویژگی‌های مشخص در مکان فضایی یکسان می‌باشند. مورد دیگر که باید به آن توجه کرد این است که فضای مردمک همیشه درون فضای عنبیه متحدالمرکز نیست و معمولاً کمی وابسته به بینی می‌باشد. فرآیند نرمالیزه کردن شامل باز کردن عنبیه و تبدیل آن به معادل قطبی آن می‌باشد که در شکل ۳- قسمتa نشان داده شده است. نتایج نرمالیزه کردن برای عنبیه بخش‌بندی شده برای $[0^\circ, 360^\circ]$ از فضای عنبیه جداسازی شده از تصویر چشم اصلی در شکل ۵- قسمتa نشان داده شده است.



(a) Generating Normalized Iris Image (b) Outline of Normalization Process

شکل ۳- فرآیند نرمالیزه کردن

مدل صفحه لاستیکی مشابهی توسط داگمَن در مرجع[۴۰] تعبیه شده است که هر نقطه در فضای عنبیه برای جفت مختصات قطبی (r,θ) مجدداً نگاشت می‌شود که r در فاصله [0,1] و θدر محدوده$[0,2\pi]$ می‌باشد. نگاشت مجدد فضای عنبیه از مختصات کارتزین برای نرمالیزه کردن نمایش قطبی غیرمتحدالمرکز با معادله 5- مدل‌سازی می‌شود.

$$I(x(r,\theta),y(r,\theta)\rightarrow I(r,\theta) \quad (۵)$$

با

$$x(r,\theta)=(I-r)x_p(\theta)+rx_i(\theta)$$

$$y(r,\theta)=(I-r)y_p(\theta)+ry_i(\theta)$$

که $I(x,y)$تصویر فضای عنبیه، (x,y)مختصات کارتزین اصلی، (r,θ) مختصات قطبی نرمالیزه شده متناظر وx_p,y_p و x_i,y_i مختصات مرزهای مردمک و عنبیه در امتداد جهت θ می‌باشند. در این مدل تعداد نقاط داده در امتداد هر خط شعاعی (تعریف شده به عنوان رزولوشن شعاع) انتخاب می‌شود.

مرکز مردمک به عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته می‌شود و بردار های شعاعی از طریق فضای عنبیه عبور می‌کنند، همانطور که در شکل۳- قسمتb نشان داده شده است. تعداد خطوط شعاعی اطراف فضای عنبیه بصورت رزولوشن زاویه‌ای تعریف می‌شود. از آنجا که مردمک می‌تواند برای عنبیه غیرمتحدالمرکز باشد، فرمول نگاشت مجدد نیاز به نقاط نقشه‌کشی وابسته به زاویه اطراف دایره دارد و در معادله ۶- محاسبه شده است.

$$r'=\sqrt{\alpha\beta}\pm\sqrt{\alpha\beta^2-\alpha-r_I^2} \quad (۶)$$

با

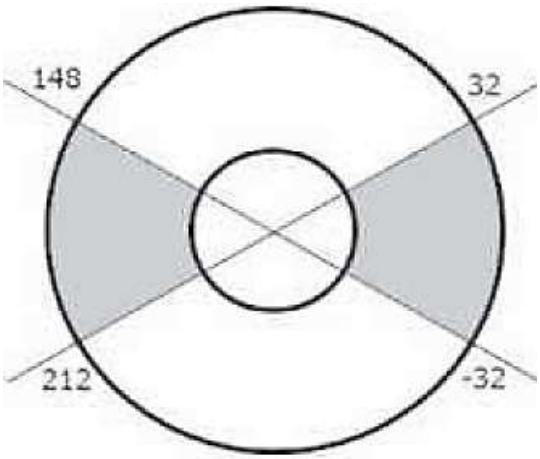
$$\alpha=o_x^2+o_y^2$$

$$\beta=cos[\pi-arctan\left(\frac{o_x}{o_y}\right)-\theta]$$

جانشینی مرکز مردمک منسوب به مرکز عنبیه است که با o_x و o_yمشخص می‌شود و r'فاصله بین لبه مردمک و لبه عنبیه در زاویه θ اطراف ناحیه و r_I شعاع عنبیه است. تعداد ثابتی از نقاط در امتداد هر خط شعاعی انتخاب می‌شوند، بطوری که تعداد ثابت نقاط داده شعاعی، صرف‌نظر از اینکه شعاع باریک و پهن چگونه در زاویه خاصی است، گرفته می‌شود. الگوی نرمالیزه شده با رد گم کردن، مختصات کارتزین نقاط داده از شعاع و موقعیت زاویه در الگوی نرمالیزه را تشخیص می‌دهد. از فضای عنبیه 'doughnut'یک آرایه دو بعدی تولید می‌شود که در شکل ۵- قسمتa با ابعاد افقی رزولوشن زاویه و ابعاد عمودی رزولوشن شعاع نشان داده شده است.

از آنجا که در اغلب موارد بخش‌های بالایی و پایینی ناحیه عنبیه با پلک مسدود می‌شود، تصمیم گرفته می‌شود که تنها بخش‌های چپ و راست ناحیه عنبیه برای تشخیص عنبیه استفاده شود. بنابراین کل عنبیه $[0^\circ,360^\circ]$ در سیستم پیشنهادی تغییر شکل پیدا نمی‌کند. آزمایشات با روش نرمالیزاسیون 32° هدایت می‌شود، یعنی نرمالیزه کردن عنبیه از $[-32^\circ,32^\circ]$ و $[148^\circ,212^\circ]$، هر دو ناحیه پلک بالایی و پایینی را نادیده می‌گیرد، همانطور که در شکل ۴- نشان داده شده است. نتایج

نرمالیزاسیون از $[-32^{\circ}, 32^{\circ}]$ و $[148^{\circ}, 212^{\circ}]$ برای تقسیم‌بندی عنبیه از تصویر چشم اصلی در شکل ۵- قسمتb نشان داده شده است.



شکل ۴- نادیده گرفتن بخش بالا و پایین عنبیه

بنابراین اندازه بلوک مستطیلی کاهش می‌یابد. سمت راست و چپ تصویر عنبیه یکسان با اندازه ۱۰×۸۶ بدست می‌آید. با بکار گیری این روش، زمان تشخیص پلک‌های بالا و پایین و 64.4% هزینه تبدیل قطبی ذخیره می‌شود (به شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که اطلاعات در این بخش‌های عنبیه، ذهنیتی برای شناسایی عنبیه می‌باشد.

شکل ۵- نرمالیزاسیون عنبیه

۳- استخراج ویژگی: به منظور فراهم آوردن شناسایی دقیق افراد، بیشتر اطلاعات تبعیض آمیز موجود در الگوی عنبیه باید استخراج شود. تنها ویژگی‌های مهم عنبیه باید رمزگذاری شوند، بطوری که مقایسه بین الگوها می‌تواند ایجاد شود. بیشتر سیستم‌های شناسایی عنبیه از تجزیه باند گذر تصویر عنبیه برای ایجاد الگوی بایومتریک استفاده می‌کنند. الگویی که در فرآیند رمزگذاری ویژگی تولید می‌شود نیز نیاز به معیار تطبیق متناظر دارد که معیار مشابهی بین دو الگوی عنبیه ارائه می‌دهد. این معیار باید محدوده‌ای از مقادیر را در زمان مقایسه الگوهای تولید شده از چشم یکسان، ارائه دهد که تحت عنوان مقایسه درون طبقاتی شناخته می‌شود و محدوده دیگری از مقادیر در زمان مقایسه الگوهای ایجاد شده از عنبیه‌های مختلف ارائه می‌شود که با عنوان مقایسه بین طبقه‌ای شناخته می‌شود. این دو مورد باید مقادیر جداگانه و متمایزی را ارائه دهند، بطوری که تصمیم‌گیری می‌تواند با اطمینان بالا ایجاد شود که آیا هر دو الگو از عنبیه یکسانی هستند یا از دو عنبیه مختلف. استخراج ویژگی با پیچیده کردن الگوی عنبیه نرمالیزه شده با موجک‌های لگاریتمی گابور یک بعدی اجرا می‌شود. الگوی نرمالیزه شده دو بعدی در تعدادی از سیگنال‌های یک بعدی شکسته شده و سپس این سیگنال‌های یک بعدی با موجک‌های لگاریتمی گابور با استفاده از FFT و معکوس FFT محاسبه می‌شوند.

فیلترهای گابور قادر به ارائه نمایش پیوسته بهینه سیگنال در فضا و فرکانس فضایی می‌باشند. فیلتر گابور با مدوله کردن موج سینوسی/کسینوسی گوسی ایجاد می‌شود. این فیلتر قادر به ارائه محلی‌سازی پیوسته بهینه در هر دو حوزه فضا و فرکانس می‌باشد، موج سینوسی در فرکانس، کاملاً محلی‌سازی شده است، اما در فضا محلی‌سازی نمی‌شود. مدولاسیون سینوسی با یک سیگنال گوسی، محلی‌سازی در فضا را با از دست دادن محلی‌سازی در فرکانس ارائه می‌دهد. تجزیه سیگنال با استفاده از جفت

مربع فیلترهای گابور انجام می‌شود. مزیت فیلتر گابور این است که حتی اگر فیلتر متقارن دارای محتوای DC باشد، پهنای باند بزرگ‌تر از یک هشتم است [۱۴]. با این حال مولفه‌های DC صفر می‌تواند برای هر پهنای باند با استفاده از فیلتر گابور بدست آید که روی مقیاس لگاریتمی، گوسی می‌باشد و با عنوان فیلتر موجک لگاریتمی گابور شناخته می‌شود. پاسخ فرکانسی فیلتر موجک لگاریتمی گابور در معادله ۷- داده شده است.

$$(۷) G(f) = exp\left(\frac{-(log(\frac{f}{f_0})^2}{2(log(\frac{\sigma}{f_0}))^2}\right)$$

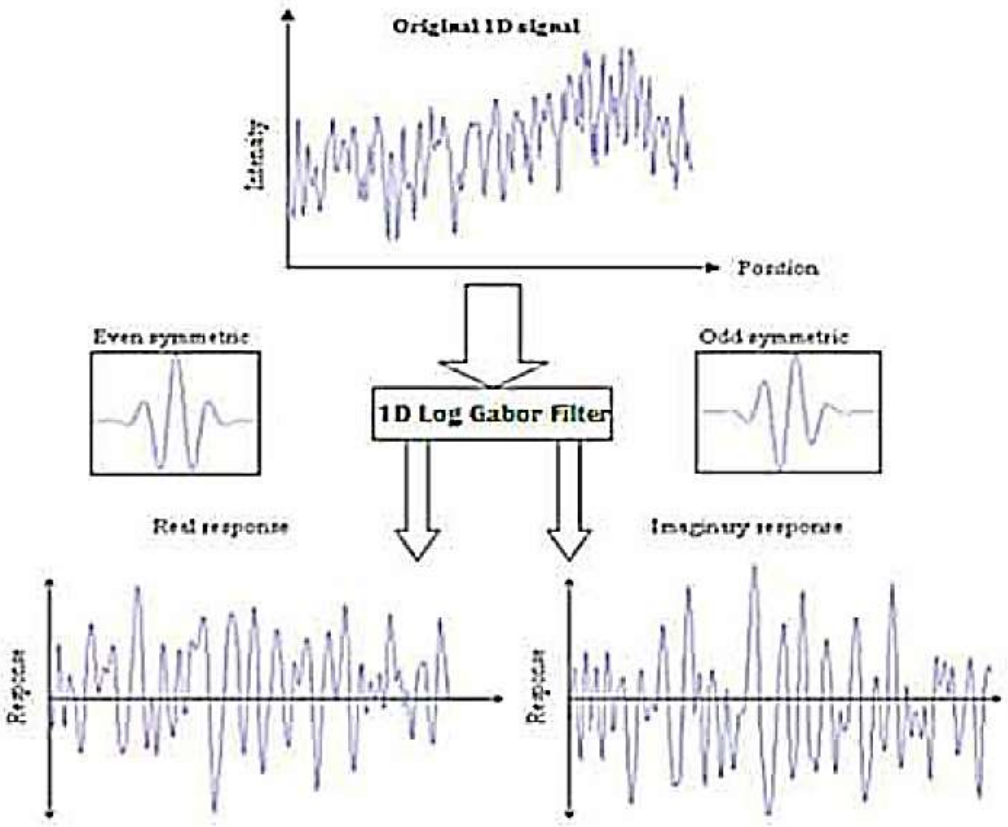
f_0 نشان دهنده فرکانس مرکزی و σ بهنای باند فیلتر را تعیین می‌کند. جزئیات فیلتر موجک لگاریتمی گابور توسط فیلد[۱۴][۴۱] آزمایش شده است. FFT(x)(معادله ۸) و معکوس FFT(X) (معادله ۹) در مرجع[۴۲] برای بردارهایی با طول Nاز رابطه زیر بدست می‌آید؛

$$(۸) X(k) = \sum_{j=1}^{N} x(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)}$$

$$(۹) x(j) = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} X(k)\omega_N^{-(j-1)(k-1)}$$

که $\omega_N = e^{\frac{-2\pi i}{N}}$ ، N امین ریشه واحد است.

فرآیند استخراج ویژگی در شکل ۶- نشان داده شده است. استخراج ویژگی با پیچیده کردن الگوی نرمالیزه عنبیه با موجک لگاریتمی گابور یک بعدی اجرا می‌شود. الگوی نرمالیزه دو بعدی در تعدادی سیگنال یک بعدی شکسته می‌شود و سپس این سیگنال‌های یک بعدی با موجک‌های لگاریتمی گابور یک بعدی با استفاده از FFT و معکوس FFTمحاسبه می‌شوند. سطرهای الگوی نرمالیزه شده دو بعدی به عنوان سیگنال یک بعدی گرفته می‌شوند. هر سطر مربوط به حلقه دایره‌ای روی فضای عنبیه می‌باشد.



شکل ۶- نمایش فرآیند استخراج ویژگی

[14]Field

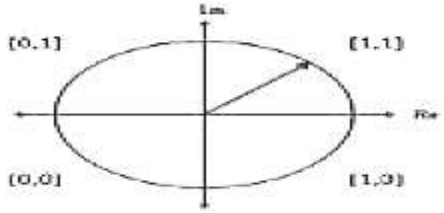
جهت زاویه بیشتر از یک شعاع در نظر گرفته می‌شود که مربوط به ستون‌های الگوی نرمالیزه است، از این رو حداکثر استقلال در جهت زاویه رخ می‌دهد. مقادیر شدت در ناحیه نویز شناخته شده در الگوی نرمالیزه، مجموعه‌ای با شدت متوسط پیکسل‌های احاطه شده به منظور ممانعت تأثیر نویز در خروجی فیلترینگ می‌باشد. این فرآیند می‌تواند با مثال زیر دنبال شود. یک ماتریس6×6از عنبیه نرمالیزه را فرض کنید؛

$$\begin{matrix} 120 & 125 & 150 & 160 & 150 & 120 \\ 120 & 123 & 156 & 166 & 156 & 120 \\ 125 & 125 & 155 & 165 & 155 & 120 \\ 124 & 124 & 154 & 164 & 154 & 120 \\ 122 & 122 & 152 & 162 & 152 & 120 \\ 127 & 127 & 157 & 167 & 157 & 120 \end{matrix}$$

سپس با فیلتر موجک لگاریتمی گابور با استفاده از FFT و معکوسFFTکانوالو می‌شود و ماتریس اعداد مختلط زیر به عنوان ویژگی‌ها تولید می‌شود؛

$$\begin{matrix} -3.14 - i0.23 & -1.44 - i2.82 & 1.75 - i2.69 & 3.23 + i0.17 & 1.44 + i2.92 & -1.84 + i2.64 \\ -3.68 - i0.27 & -1.67 - i3.31 & 2.06 - i3.14 & 3.76 + i0.21 & 1.68 + i3.42 & -2.15 + i3.10 \\ -3.68 - i0.23 & -1.58 - i3.00 & 1.86 - i2.92 & 3.84 + i0.17 & 1.55 + i3.15 & -1.98 + i2.82 \\ -3.32 - i0.18 & -1.61 - i2.97 & 1.82 - i2.92 & 3.46 + i0.14 & 1.57 + i3.11 & -1.93 + i2.82 \\ -3.28 - i0.09 & -1.66 - i2.89 & 1.73 - i2.92 & 3.14 + i0.07 & 1.61 + i3.02 & -1.82 + i2.82 \\ -3.37 - i0.32 & -1.53 - i3.07 & 1.95 - i2.92 & 3.53 + i0.25 & 1.51 + i3.25 & -2.09 + i2.82 \end{matrix}$$

۴- تولید کد عنبیه: ویژگی با استفاده از فیلتر لگاریتمی گابور یک بعدی استخراج می‌شود، FFT و IFFT، ورودی برای فرآیند کوانتیزاسیون فاز به منظور تولید الگو با مقادیر باینری ۰ و ۱ بدست می‌آورد. این نتیجه به عنوان کد عنبیه شناخته می‌شود.
هنگامی که ویژگی عنبیه استخراج می‌شود، خروجی برای تولید کد بدست می‌آید، در اینجا ما از تکنیکی به نام کوانتیزاسیون فاز برای تولید کد عنبیه استفاده می‌کنیم. در کوانتیزاسیون فاز، اگر هر دو بخش واقعی و موهومی ، ve+ باشد، "۱۱" اختصاص داده می‌شود. اگر هر دو بخش واقعی و موهومی ve– باشد، آنگاه "۰۰"، اگر بخش واقعی ve+ و بخش موهومی ve– باشد، "۱۰" و اگر بخش واقعی ve– و بخش موهومی ve+باشد، "۰۱" اختصاص داده می‌شود. بر اساس منطق نشان داده شده در شکل ۷، کد عنبیه بصورت جریان ۱ و ۰ تولید می‌شود.



شکل ۷- کوانتیزاسیون فاز

خروجی استخراج ویژگی، فاز کوانتیزه با چهار سطح می‌باشد [۶]. با هر فیلتر دو بیت از اطلاعات برای هر پیکسل تولید می‌شود. خروجی فاز کوانتیزاسیون برای کد گِری انتخاب می‌شود، بطوری که زمانی که از یک ربع دایره به ربع دیگر می‌رود، تنها بیت "۱" تغییر می‌کند، مانند شکل زیر؛

$$\begin{matrix} 00 & 00 & 10 & 11 & 11 & 01 \\ 00 & 00 & 10 & 11 & 11 & 01 \\ 00 & 00 & 10 & 11 & 11 & 01 \\ 00 & 00 & 10 & 11 & 11 & 01 \\ 00 & 00 & 10 & 11 & 11 & 01 \\ 00 & 00 & 10 & 11 & 11 & 01 \end{matrix}$$

این حداقل تعداد بیت‌هایی است که اختلاف دارند، اگر دو الگوی درون طبقه‌ای بیان شود، کمتر نامرتب می‌شوند و در نتیجه شناسایی با دقت بیشتری فراهم می‌شود. فرآیند رمزگذاری، الگوی بیتی شامل تعداد بیت‌های اطلاعات تولید می‌کند، حتی اگر اطلاعات فاز در نواحی بی‌معنی باشد که در اینجا دامنه صفر است. تعداد کل بیت‌ها در الگو دو برابر محصول دفعات رزولوشن زاویه‌ای و رزولوشن شعاعی می‌باشد.

۵- تطبیق عنبیه: برای تطبیق، فاصله همینگ به عنوان معیاری برای شناسایی انتخاب می‌شود، از این رو مقایسه بیتی نیاز است. الگوریتم فاصله همینگ تنها بیت‌های مهم و اصلی را در محاسبه فاصله همینگ بین دو کد عنبیه بکار می‌گیرد. فاصله همینگ مقیاسی از اینکه چطور بسیاری از بیت‌ها بین دو الگوی بیتی یکسان نیستند را ارائه می‌دهد. با استفاده از فاصله همینگ دو الگوی بیتی، می‌توان تصمیم گرفت که آیا دو الگو از عنبیه‌های مختلف تولید می‌شوند یا از عنبیه یکسان. در مقایسه الگوهای بیتی X و Y، فاصله همینگ، HD، به عنوان مجموع بیت‌های ناسازگار (معادله ۱۰) تعریف می‌شود، یعنی مجموع OR انحصاری بین X و Y روی N، تعداد بیت‌های کل در الگوی بیتی.

$$HD = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} X_j (XOR) Y_j \quad (۱۰)$$

از آنجا که فضای عنبیه فرد شامل ویژگی‌هایی با درجه بالایی از آزادی می‌باشد، هر فضای عنبیه یک الگوی بیتی تولید می‌کند که مستقل از الگوی بیتی تولید شده توسط عنبیه دیگر است، از سوی دیگر، دو کد عنبیه از عنبیه یکسان تولید می‌شود که همبستگی بالایی خواهند داشت.

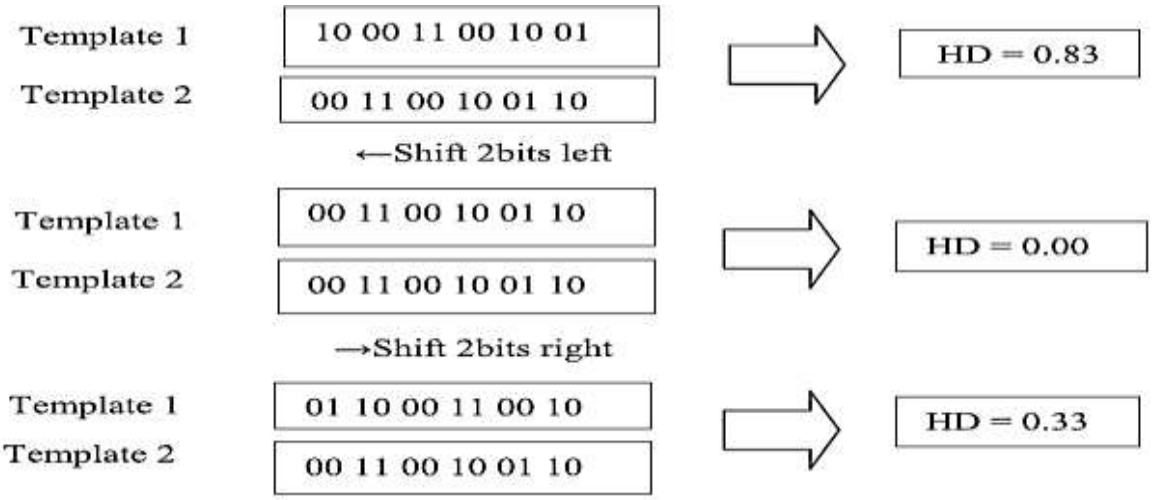
جدول ۲- معیار تطبیق اعمال شده روی نمرات فاصله همینگ نرمالیزه

HD Criterion	Observed False Match Rate
0.220	*0 (thoer: 1 in 5 x 10^{15})*
0.225	*0 (thoer: 1 in 1 x 10^{15})*
0.230	*0 (thoer: 1 in 3 x 10^{14})*
0.235	*0 (thoer: 1 in 9 x 10^{13})*
0.240	*0 (thoer: 1 in 3 x 10^{13})*
0.245	*0 (thoer: 1 in 8 x 10^{12})*
0.250	*0 (thoer: 1 in 2 x 10^{12})*
0.255	*0 (thoer: 1 in 7 x 10^{11})*
0.262	*1in 200 billion*
0.267	*1in 50 billion*
0.272	*1in 13 billion*
0.277	*1in 2.7 billion*
0.282	*1in 284million*
0.287	*1in 96 million*
0.292	*1in 40 million*
0.297	*1in 18 million*
0.302	*1in 8 million*
0.307	*1in 4 million*
0.312	*1in 2 million*
0.317	*1in 1 million*

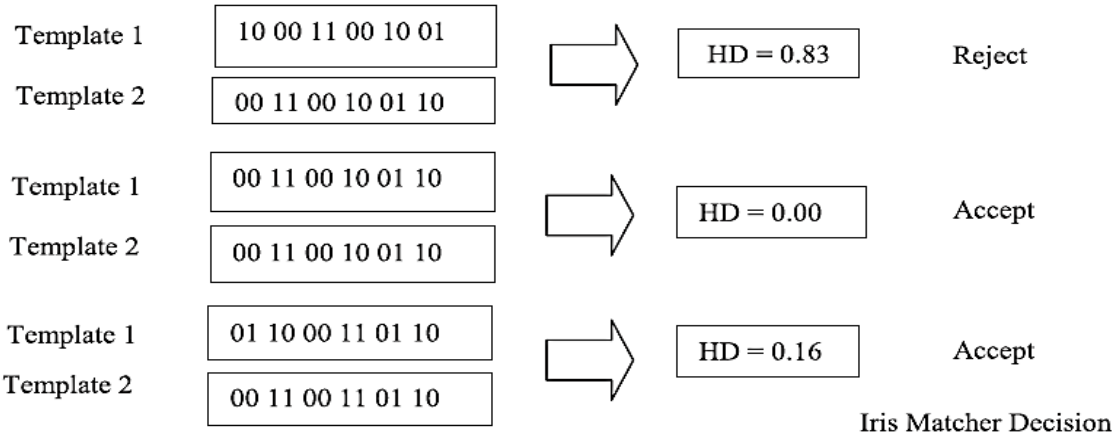
اگر هر دو الگوی بیتی کاملاً مستقل باشند، بطوری که الگوهای عنبیه از عنبیه یکسان تولید شود، فاصله همینگ بین دو الگوی بیتی باید معادل با 0.5 باشد. این اتفاق به این دلیل رخ می‌دهد که مستقل بودن این مفهوم را می‌رساند که دو الگوی بیتی کاملاً تصادفی خواهند بود، به طوری که 0.5 شانس تنظیم هر بیت با ۱ و بالعکس می‌باشد. بنابراین، بین هر دو الگو نیمی از بیت‌ها سازگار و نیمی از بیت‌ها ناسازگار هستند. اگر دو الگو از عنبیه یکسان نتیجه شود، فاصله همینگ بین آنها نزدیک به 0.0 می‌باشد، از این رو آنها همبستگی بالایی دارند. نرخ تطبیق غلط مشاهده شده در توزیع نمرات [۶]یا در پیشگویی نظری (جدول

۲)، به عنوان تابعی از معیار تطبیق سیاست تصمیم‌گیری اعمال شده ممکن روی نمرات فاصله همینگ نرمالیزه، جدول‌بندی می شود.

به منظور محاسبه ناسازگاری دورانی، زمانی که فاصله همینگ دو الگو محاسبه می‌شود، یک الگو شیفت بیتی چپ و راست پیدا می‌کنند و تعداد مقادیر فاصله همینگ از شیفت‌های متوالی محاسبه می‌شوند. این شیفت بیتی در جهت افقی مربوط به چرخش فضای عنبیه اصلی با زاویه بدست آمده توسط رزولوشن زاویه‌ای استفاده شده می‌باشد. اگر رزولوشن زاویه‌ای ۱۸۰ استفاده شود، هر شیفت مربوط به چرخش دو درجه‌ای در فضای عنبیه می‌باشد. این روش توسط داگمَن [۶]پیشنهاد شد و برای منطبق نبودن در الگوی عنبیه نرمالیزه ناشی از چرخش‌های مختلف در طول تصویربرداری، صحیح می‌باشد. از مقادیر محاسبه شده فاصله همینگ، تنها پایین‌ترین آن گرفته می‌شود،از این رو این مربوط به تطبیق بهتر بین دو الگو می‌باشد.



شکل ۸- فرآیند شیفت



شکل ۹- فرآیند تطبیق

تعداد شیفت‌های واقعی مورد نیاز برای ناسازگاری چرخش نرمالیزه با حداقل اختلاف زاویه‌ای بین دو تصویر از چشم یکسان تعیین می‌شود و یک شیفت به سمت چپ و یک شیفت به راست تعریف می‌شود. فرایند شیفت در شکل ۸- نشان داده شده است. از این رو کوانتیزاسیون فاز دو بیت از اطلاعات را از یک پیکسل فضای نرمالیزه تولید می‌کند، در اینجا دو بیت شیفت پیدا می‌کند.

کمترین فاصله همینگ، در این مورد صفر است و پس از آن در بهترین تطبیق بین دو الگو استفاده می‌شود. فرآیند تطبیق در شکل ۹- نشان داده شده است. ما پیشنهاد می‌کنیم آستانه (TH) برای HD برای CASIA-IrisV3-Interval، 0.10 و برای UBIRIS، 0.25باشد، بطوری که اگر مقدار HD کمتر از TH باشد، تطبیق نزدیکی انجام شده است، اگر مقدار HD، 0.0 باشد،

تطبیق کاملاً انجام شده است و اگر مقدار HD بیشتر از TH باشد، تطبیق انجام نشده است. بر اساس این مقدار آستانه HD، تطبیق‌گر عنبیه شناسایی شخص را یا می‌پذیرد یا رد می‌کند.

نتیجه گیری

با توجه به نیاز روز افزون به سیستم‌های تشخیص هویت افراد استفاده از سیستم‌های بایومتریک توجه زیادی را به سمت خود جلب کرد. بایومتریک در واقع به استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی و رفتاری انسان برای احراز هویت وی اشاره دارد. از میان تمام ویژگی‌های فیزیولوژیکی انسان، تعدادی از آن ها به عنوان خواص بایومتریک مورد مطالعه قرار می‌گیرند که این خواص در افراد مختلف منحصر بفرد هستند. مشاهده شده است که عنبیه چشم انسان یکی از پایدارترین بخش‌هایی است که می‌توان برای احراز هویت آن را به رسمیت شناخت.

.سیستم احراز هویت عنبیه از چند مرحله تشکیل می‌شود؛ ۱-دریافت تصویر ۲- پیش‌پردازش ۳- قطعه‌بندی ۴- استخراج ویژگی ۵- انطباق.

مرحله نخست مرحله دریافت تصویر است. در این مرحله با استفاده از روش‌های گوناگون، تصویر عنبیه چشم تهیه شده و به مرحله پیش پردازش تحویل داده می‌شود. با توجه به اینکه ممکن است تصویر اخذ شده در مرحله قبل از نظر کیفیت در حد مطلوبی نباشد، لازم است که پیش از ورود این تصویر به فرآیند پردازش، مورد بررسی قرار گرفته و پیش پردازش شود.

گام بعدی قطعه‌بندی تصویر است. سنسورهای عنبیه نه تنها عنبیه بلکه نواحی اطراف چشم را نیز سنجش می‌کنند که با توجه به نوع دستگاه اخذ تصویر مساحت این نواحی متفاوت است. بنابراین در این مرحله وجود الگوریتمی برای قطعه‌بندی تصویر دریافتی، با هدف حذف قسمت‌های اضافی، از اهمیت بالایی برخوردار است.

گام بعدی در این فرآیند استخراج ویژگی است. استخراج ویژگی‌های مفید عنبیه یکی از حوزه‌هایی است که بیشترین مطالعات بر روی آن انجام گرفته است. آخرین گام در فرآیند تشخیص عنبیه، تطبیق یا انطباق عنبیه می‌باشد که یکی از مهمترین مراحل در این قسمت است. در حالت کلی ویژگی‌های مبتنی بر گابور برای نمایش عنبیه و فاصله همینگ برای انطباق ویژگی‌ها پیشنهاد می‌شود.

مراحل پردازش تصویر شامل دریافت تصویر، جداسازی عنبیه، نرمال‌سازی، استخراج ویژگی، تطبیق و بهبود کیفیت تصویر است. تصاویر گرفته شده از عنبیه فقط شامل ناحیه عنبیه نبوده و در آن‌ها مردمک، پلک‌ها و مژه‌ها نیز دیده می‌شوند. برای پردازش‌های بعدی ابتدا باید تصاویر اولیه عنبیه که از پایگاه UBIRISو CASIA گرفته شده‌اند، قطعه‌بندی شوند. برای تشخیص هویت با استفاده از تصاویر عنبیه تشخیص نویزها و قطعه‌بندی دقیق تصویر عنبیه از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در اولین مرحله از پیش پردازش، جداسازی مرزهای عنبیه از قسمت‌های باقیمانده تصویر چشم ورودی انجام می‌گیرد. در این جداسازی مرز داخلی عنبیه با مردمک و مرز خارجی آن باصلبیه با استفاده از لبه‌یاب canny، مشخصات این دوایر درونی و بیرونی تعیین شده سپس به وسیله تبدیل هاف نقاط روی مرزهای دایروی یا اشکال با معادله پارامتری مشخص تعیین می‌شود. در ادامه توضیح داده می‌شود که به منظور قطعه‌بندی تصویر روش‌های گوناگونی توسط محققان ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به عملگر انتگرال دیفرانسیل، تبدیل هاف، روش کانتور فعال و غیره اشاره کرد.

داگمن در روش خود از عملگر انتگرال دیفرانسیل برای تشخیص مرزهای عنبیه استفاده کرد و پلک‌های بالا و پایین را توسط دو کمان جدا کرد. روش انتگرال دیفرانسیل را می‌توان به صورت تغییرات تبدیل هاف در نظر گرفت زیرا از مشتق اول تصویر برای جستجو استفاده می‌کند. این روش در صورتی که تصویر اولیه دارای نویز باشد ممکن است جواب درستی ندهد زیرا به صورت محلی کار می‌کند و به زمان زیادی برای پیداکردن مرزها نیاز دارد.

عنبیه می‌تواند در سایزهای متفاوت با تغییر کردن مردمک ضبط شده باشد. کد عنبیه نرمال‌سازی شده در استخراج ویژگی و مقایسه پدیده تاثیر خواهد گذاشت. نرمال‌سازی تبدیل دایره به بلوک مستطیلی است تا اینکه قطر ثابت برای افزایش عملکرد

داشته باشد. در روش نرمال‌سازی داگمن عنبیه بعد از جداسازی مرزهای عنبیه به یک بلوک مستطیلی با یک سایز ثابت شده نرمالیز شده، به طوریکه شعاع دایره در رابطه با عرض بلوک مستطیلی و تغییر مکان زاویه دار، در رابطه با طول بلوک باشد.
در مرحله استخراج ویژگی‌های عنبیه، ویژگی‌های استخراج شده بیشتر برای مقایسه، محاسبه دقت و بوجود آوردن یک نمونه بایومتریک استفاده خواهند شد. روش‌های استخراج ویژگی عبارتند از؛ فیلترگوسی، تبدیل موجک، فیلترهای گابور، تبدیل کسینوسی گسسته و تبدیل هیلبرت. آخرین مرحله، مرحله تطابق یا تطبیق است. نمونه‌های بوجود آمده از مراحل قبل به یک متریک تطابق نیاز دارند، این متریک تشابه بین کلاس بین و کلاس داخل را اندازه گیری می‌کند. فاصله اقلیدسی، نزدیکترین خط ویژگی و تطابق درخت K_D از جمله متریک‌های این سنجش هستند.

منابع

[1] M.J. Burge and K.W. Bowyer, “Handbook of Iris Recognition”, first ed., Springer-Verlag, London, 2013.
[۲] L. Flom, A. Safir, Iris Recognition System, US Patent 4,641,349, 1987.
[۳] Unique Identification Authority of India. <http://uidai.gov.in/>.
[۴] J. Daugman, High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 15 (11) (1993), 1148–1160.
[۵] J. Daugman, The importance of being random: statistical principles of iris recognition, Pattern Recogn. 36 (2) (2003) 279–291.
[۶] J. Daugman, New methods in iris recognition, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part B: Cybern. 37 (5) (2007) 1167–1175.
[۷] T. Mansfield, G. Kelly, D. Chandler and J. Kane, “Biometric product testing final report”, National Physical Laboratory of UK; March 2001.
[۸] L. Ma, Y. Wang, T. Tan, D. Zhang, “Personal identification based on iris texture analysis”, IEEE Trans Pattern Anal. March Intell.; 2003, vol. 25, no. 12, p. 1519-1533.
[۹] G. Zhang, M. Salganiciff, “Method of measuring the focus of close-up images of eyes”, US Patent no. 5953440; 1999.
[۱۰] E. Lee, K. Park and J. Kim, “Fake iris detection by using purkinje image”, Advances in Biometrics; 2005, vol. 3832, p. 397-403.
[۱۱] S. Lee, K. Park and J. Kim, “Robust fake iris detection based on variation of the reflectance ratio between the iris and the sclera”, Biometric Consortium Conference, Biometrics Symposium; 2006, p. 1-6.
[۱۲] Z. Wei, X. Qiu, Z. Sun and T. Tan, “Counterfeit iris detection based on texture analysis”, ICPR; 2008, p. 1-4.
[۱۳] Z. He, Z. Sun, T. Tan and Z. Wei, “Efficient iris spoof detection via boosted local binary patterns”, ICB; 2009, p. 1087-1097.
[۱۴] D. Field, Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells”, Journal of the Optical Society of America; 1987.