

A New Iris Recognition Method for Identification Systems

Mahabadi A, MSc; Mirzaei A, BSc

Purpose: To present a new reliable and accurate iris recognition method applicable in identification systems.

Methods: The system was implemented and tested on 876 standard iris images (Daugman Iris Images Database) from 876 persons of different nationalities via image processing techniques.

Results: False Accept Reject (FAR) and False Reject Reject (FRR) were smaller in our suggested method as compared to Daugman's method. Moreover, time needed for image processing and volume of image processing was smaller in our method as compared to Daugman's method. In other words, our suggested method for iris recognition was more accurate and faster than the currently standard method.

Conclusion: This new method can be applied as an accurate and rapid method in many domains such as identification systems or diagnosis of ophthalmic diseases.

- Bina J Ophthalmol 2008; 14 (1): 50-59.

روش نوین تشخیص عنبیه در تعیین هویت

امین‌اله مه‌آبادی^۱، اصغر میرزایی^۲

هدف: ارائه یک روش قابل اطمینان، دقیق و سریع تشخیص عنبیه چشم که در یک سامانه تعیین هویت نیز قابل اجراست.

روش پژوهش: پیاده‌سازی و آزمون سامانه بر روی ۸۷۶ نمونه تصویر استاندارد چشم (بانک اطلاعات تصویری عنبیه داگمن) از ۸۷۶ فرد با ملیت‌های مختلف، با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر انجام شد.

یافته‌ها: خطاهای مثبت و منفی روش پیشنهادی ما مشابه روش داگمن یا کمتر از آن بوده‌اند. به علاوه، زمان پردازش و حجم تصویر مورد پردازش نیز در روش پیشنهادی ما نسبت به روش داگمن کمتر بوده‌اند. به عبارت دیگر، روش پیشنهادی ما نسبت به روش داگمن، دقیق‌تر و در عین حال سریع‌تر (با تسريع ۹۰ درصد) است.

نتیجه‌گیری: روش پیشنهادی ما به عنوان یک روش صنعتی سریع و دقیق تشخیص عنبیه و مقاوم در برابر عوامل مزاحم مانند پلک چشم می‌تواند در اهداف کاربردی مختلف مانند تعیین هویت یا تشخیص بیماری‌های چشم به کار رود.

• مجله چشم‌پزشکی بینا ۱۳۸۷؛ دوره ۱۴، شماره ۱: ۵۹-۵۰.

- این مقاله با حمایت مالی مرکز تحقیقات مهندسی و فن‌آوری دانشگاه شاهد از طرح تحقیقاتی IRIS321 استخراج شده است.

- پاسخ‌گو: امین‌اله مه‌آبادی (e-mail: mahabadi@shahed.ac.ir)

دریافت مقاله: ۲۰ اسفند ۱۳۸۶

تایید مقاله: ۳۰ خرداد ۱۳۸۷

۱- عضو هیات علمی- گروه کامپیوتر- دانشگاه شاهد

۲- کارشناس کامپیوتر- دانشگاه شاهد

تهران- خیابان کارگر شمالی- پلاک ۱۱۷- مرکز تحقیقات مهندسی و فن‌آوری دانشگاه شاهد

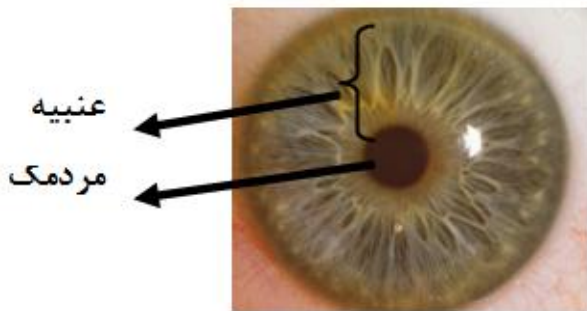
مقدمه

چشم، منحصربه‌فرد هستند و با گذشت زمان ثابت می‌مانند ولی ویژگی‌های رفتاری مانند امضا، صدا و دست‌خط، به یادگیری و آموزش مربوطند. بررسی ویژگی‌های ساختاری دارای قابلیت اطمینان بیش‌تری است؛ زیرا با تمرین و گذشت زمان، تغییرناپذیرند.

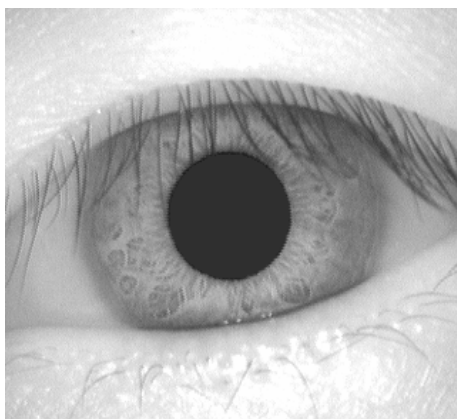
امروزه استفاده از مشخصات زیستی، راه حل رایج و مطمئن تعیین هویت افراد است که برپایه ویژگی‌های ساختاری یا رفتاری انسان بنا شده است. ویژگی‌های ساختاری افراد مانند اثر انگشت، چهره، شبکیه و عنبیه

باشد.^۲ علاوه بر بافت ظاهری، عنبیه می‌تواند رنگ‌های متفاوت سیاه، قهوه‌ای، سبز یا آبی داشته باشد. در عنبیه روشن، به وضوح می‌توان بافت آن را مشاهده کرد اما در نوع تیره، مشاهده بافت عنبیه مشکل و یا حتا غیرممکن است. از این‌رو برای تعیین بافت این نوع عنبیه، از فن‌آوری پرتو مادون قرمز در تصویربرداری استفاده می‌شود (تصاویر ۲ و ۳).^۸

در تعیین هویت با عنبیه، اعمال مختلفی بر روی تصویر چشم صورت می‌گیرند که ابتدایی‌ترین آن‌ها، یافتن محدوده داخلی و خارجی عنبیه است. گاهی محدوده عنبیه به تنهایی با تعیین مرز آن با مردمک و بخش سفید چشم به طور کامل مشخص نمی‌شود و باید مرز آن با پلک‌ها نیز تعیین گردد (مانند تصویر ۳).^{۹،۱۰}



تصویر ۲- عنبیه با رنگ روشن (دوربین عادی)^۸



تصویر ۳- عنبیه با رنگ روشن (دوربین مادون قرمز)^۸

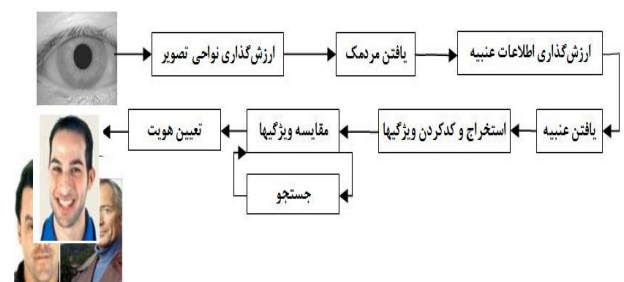
ارزش‌گذاری تصویر

مردمک بارزترین بخش تصویر چشم است و با توجه به این که در مرکز عنبیه قرار دارد؛ استفاده از آن در استخراج محدوده عنبیه بسیار مفید خواهد بود. در روش پیشنهادی، برای یافتن مردمک با

تعیین هویت با استفاده از عنبیه، دارای قابلیت اطمینان بیش‌تری است و دو انسان دارای عنبیه با بافت ظاهری یکسان وجود ندارند.^{۱۱} عنبیه با پلک و قرنیه محافظت می‌شود و در مقابل تغییرات ناشی از عوامل محیطی و یا دستکاری‌ها در امان است. تعیین هویت براساس عنبیه با مبنای تصویری، در حال گسترش است که محور آن تشخیص عنبیه است. برای تعیین هویت با عنبیه، روش‌هایی از جمله ^{۱۲}Daugman، ^{۱۳}Wilds و ^{۱۴}Bolse ارائه شده‌اند. به دلیل اهمیت زمان و دقت تشخیص در تعیین هویت، تنها روش داگمن کاربرد صنعتی موفق یافته است. برای سرعت بخشیدن به روش فوق، ارائه روشی جدید با سرعت زیاد و مقاوم در مقابل عوامل مزاحم مانند پلک و انعکاس نور، همواره مطرح بوده است. استنتاج از تصویر با توجه به گسترش سامانه‌های تصویری در آینده می‌تواند به تشخیص بیماری‌های چشم و یا درک شخصیت افراد منتهی شود.

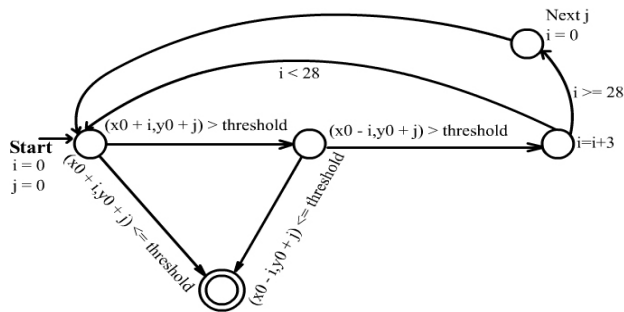
روش پژوهش و یافته‌ها

روش پیشنهادی ما در قالب یک سامانه تعیین هویت پیاده‌سازی شده است. الگوریتم انجام کار طی مراحل ارزش‌گذاری تصویر، یافتن مردمک، ارزش‌گذاری اطلاعات عنبیه، یافتن عنبیه، نمونه‌برداری، کدینگ ویژگی‌ها، مقایسه ویژگی‌ها و در نهایت تعیین هویت انجام می‌شود (تصویر ۱).



تصویر ۱- الگوریتم یافتن عنبیه برای تعیین هویت

عنبیه بخشی از چشم است که متشکل از تعداد زیادی ماهیچه ظریف می‌باشد و بین قرنیه و عدسی قرار دارد. نقش عنبیه کنترل میزان نور ورودی به چشم است. قطر متوسط عنبیه ۱۲ میلی‌متر است و قطر مردمک می‌تواند از ۱۰ تا ۸۰ درصد آن تغییر اندازه دهد.^{۱۵} ماهیچه‌های عنبیه باعث ایجاد ظاهر بافت‌گونه آن هستند. تحقیقات نشان داده‌اند که بافت ظاهری عنبیه هر کس منحصر به فرد است و می‌تواند معیار بسیار خوبی برای تعیین هویت



$(x_0, y_0) = \text{Center of A}$

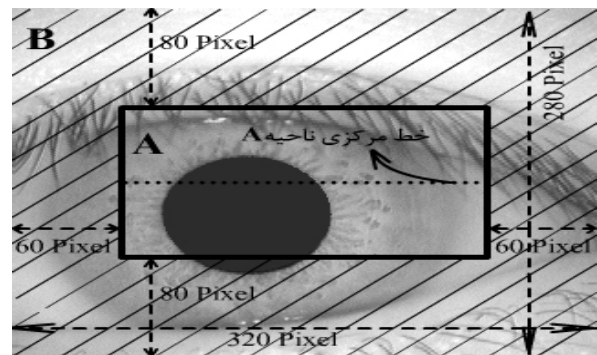
تصویر ۵- آتوماتای جستجوی مردمک

پس از تشخیص یک نقطه از مردمک، به یافتن چهار نقطه مرزی آن اقدام می‌گردد. به این منظور، به کمک نقطه یافت‌شده، یک نقطه داخلی‌تر از مردمک به دست می‌آید. از این نقطه در چهار جهت افقی و عمودی، پویش دیگری انجام می‌شود تا به نقاط مرزی مردمک برسد. حاصل کار، چهار نقطه مرزی مردمک است و محدوده مردمک با بهترین دایره محاطی دربرگیرنده این چهار نقطه تعیین می‌گردد که مرکز و شعاع این دایره، همان مرکز و شعاع مردمک خواهد بود.

ارزش‌گذاری عنیبه

تسریع روش پیشنهادی، در دو بخش یافتن مردمک و عنیبه است. در یافتن مردمک، تفکر کاملاً جدیدی ارائه شده است. در یافتن محدوده خارجی عنیبه، کار بر پایه روش داگمن استوار است. نتیجه مطرح شدن این تفکر، کاهش میزان پردازش و به طبع آن کاهش زمان تشخیص است. به طور طبیعی، در بسیاری از تصاویر چشم، بخشی از عنیبه توسط پلک‌ها پوشیده می‌شود. طبعاً این بخش عنیبه در تعیین هویت، اختلال ایجاد می‌کند و باید از روند پردازش حذف شود در حالی که روش داگمن تمامی مرزهای خارجی عنیبه با بخش سفیدی چشم و پلک‌ها را می‌یابد (تصویر ۶).^۱ در روش پیشنهادی (مانند تصویر ۷)، سطح قابل مشاهده عنیبه با یک بیضی تخمین زده می‌شود. برای ترسیم این بیضی، تنها ۴ نقطه بالا، پایین، چپ و راست مرز عنیبه کفایت می‌کند و نیازی به یافتن دیگر نقاط مرزی نیست. همان‌طور که در تصویر (۸) مشخص شده، ممکن است ۴ ناحیه کوچک از ۴ جهت عنیبه در محدوده بیضوی عنیبه قرار نگیرند. از آن‌جا که در استخراج و مقایسه ویژگی‌های عنیبه، روش داگمن در مقابل پوشش بخشی از آن توسط پلک مقاوم نیست؛ این تفکر قابل توجه است و صرف

ارزش‌گذاری تصویر، نقاطی به عنوان کاندیدا معرفی می‌گردند که با توجه به آن‌ها، از پردازش بخش عظیمی از تصویر (حدود ۷۳ درصد) خودداری می‌شود. با توجه به فن‌آوری دوربین مورد استفاده و مطالعه آماری بر روی تصاویر تهیه‌شده از چشم جهت استخراج مردمک، تصویر به دو بخش A (حدود ۲۷ درصد) و بخش B (۷۳ درصد) تقسیم می‌شود (تصویر ۴).



تصویر ۴- ارزش‌گذاری تصویر چشم با نواحی A و B

بخش A بیش‌ترین احتمال حضور کامل یا بخشی از مردمک را در خود دارد که نزدیک به ۱۰۰ درصد است. با توجه به ابعاد بخش‌های A و B تصویر (۴)، این تقسیم‌بندی به این معنا نیست که مردمک به هیچ وجه نمی‌تواند در بخش B باشد؛ بلکه احتمال حضور تمام یا قسمتی از مردمک در بخش A بسیار زیاد و نزدیک به ۱۰۰ درصد است. این پیشنهاد جدید موجب صرف‌نظر از ۷۳ درصد تصویر می‌شود که اصلاً نباید در یافتن مردمک مورد توجه و پردازش قرار گیرد؛ مگر در موارد خاصی که مردمک از طریق بخش A یافت نشود که احتمال آن بسیار کم و نزدیک به صفر است و در روش ما به طور کلی از آن صرف نظر شده است.

استخراج مردمک

استخراج مردمک در دو مرحله، یافتن مردمک^{۱۱}^{۱۲} و سپس به دست آوردن مرکز و شعاع آن صورت می‌گیرد. برای یافتن مردمک، از یک پوششگر افقی کمک گرفته می‌شود. نحوه پویش به این صورت است که نقطه شروع، مرکز بخش A (محل تلاقی قطرها) است و به صورت متناوب در دو جهت راست و چپ پویش می‌شود. خطوط افقی پویش نیز به صورت متناوب از بالا و پایین خط مرکزی به ترتیب انتخاب می‌شوند. آتوماتای (automata) جستجوی مردمک به شرح تصویر (۵) می‌باشد.

یافتن عنبیه

مردمک وسط عنبیه قرار دارد و می‌توان محدوده خارجی عنبیه تصویر را همانند محدوده داخلی آن، با یک دایره تعریف کرد (تصویر ۶)^{۱۲}. این سطح دایره‌ای، برای استخراج ویژگی‌های عنبیه به کار می‌رود و بخشی از عنبیه مانند تصویر (۶) می‌تواند توسط پلک‌ها پوشانده شود که برای جلوگیری از ایجاد خطا، در پردازش باید این محدوده حذف گردد. لذا مانند تصویر (۷)، محدوده معتبر عنبیه با یک سطح بیضی تخمین زده می‌شود. برای حصول به دایره محیطی عنبیه (تصویر ۹) کافی است دو نقطه (a و b) مطابق تصویر (۱۰) از دایره مذکور به دست آید که رابطه (۱) این نقاط را ارزیابی می‌دهد (تصویر ۱۱). همین‌گونه نیز سطح بیضی محدوده قابل رویت عنبیه با چهار نقطه (a, b, c و d) که دو نقطه آن قبلاً به دست آمده‌اند و دو نقطه دیگر (b و d) طبق رابطه (۲) حاصل می‌گردند. سطح بیضی، تعیین‌کننده مرز نقاط معتبر و غیرمعتبر سطح دایره‌ای عنبیه است که در محاسبات بعدی به عنوان ماسک به کار می‌رود.

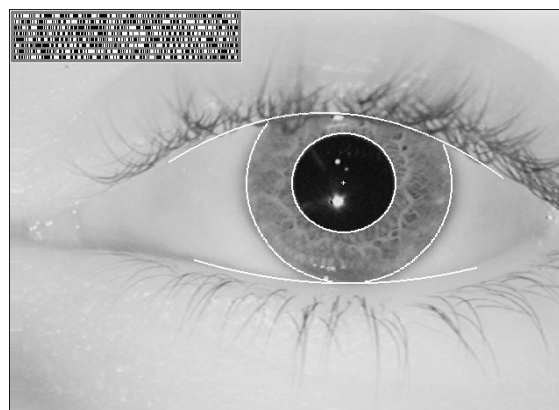
$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{MAX} \left\{ \frac{1}{15} \times \sum_{j=-7}^7 I \times (S \times [\sqrt{r^2 - j^2}] + x_0, y_0 + j) \right\}$$

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{MAX} \left\{ \frac{1}{15} \times \sum_{j=-7}^7 I \times (x_0 + i, S \times [\sqrt{r^2 - i^2}] + y_0 + j) \right\}$$

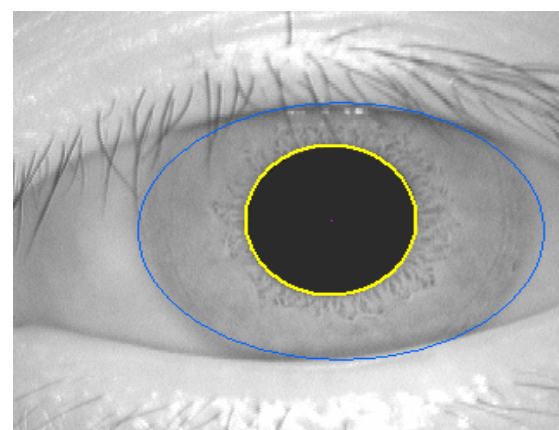
• I: تصویر ورودی، (x₀ و y₀): مختصات مرکز مردمک، x₀: شعاع مردمک
 • L: طول ناحیه، (r₀ < r < r₀ + L)، (s=1) area: a (or) C، (s=-1) area: b (or) d، S: ضریب ثابت.

برای یافتن مرکز عنبیه از رابطه (۳) استفاده می‌شود. این رابطه برای محدوده سمت راست است و جهت یافتن نقطه مرزی سمت چپ باید انتگرال روی فاصله $\pi - \frac{\pi}{10}$ تا $\pi + \frac{\pi}{10}$ صورت گیرد. برای تشخیص و حذف بخش پوشانده‌شده عنبیه توسط پلک، برخلاف روش داگمن که اقدام به یافتن تمامی مرز خارجی عنبیه با بخش سفید چشم و پلک‌ها می‌کند؛ در روش پیشنهادی ما، بخش قابل رویت عنبیه با یک سطح بیضی تخمین زده می‌شود. برای تعیین بیضی مورد نظر، احتیاج به ۴ نقطه مرزی عنبیه است که از جهات چپ و راست دو نقطه به شرح قبل به دست می‌آیند. از بالا و پایین عنبیه نیز دو نقطه مرزی مطابق رابطه (۳) به دست می‌آیند؛ با این تفاوت که برای نقطه مرزی بالای عنبیه باید انتگرال از $\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{10}$ تا $\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{10}$ و برای نقطه مرزی پایین عنبیه باید انتگرال از $\frac{3\pi}{2} - \frac{\pi}{10}$ تا $\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}$ محاسبه شود. با این ۴ نقطه به دست آمده می‌توان بیضی مورد نظر را رسم کرد که تعیین‌کننده

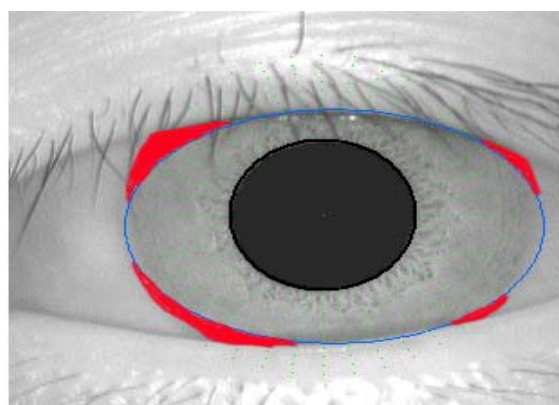
نظر از این نواحی (که می‌توانند توسط پلک‌ها پوشانده شوند)، تاثیری بر نتیجه نهایی تعیین هویت ندارد و می‌توان بدون نگرانی از کاهش دقت، از آن‌ها چشم‌پوشی کرد.



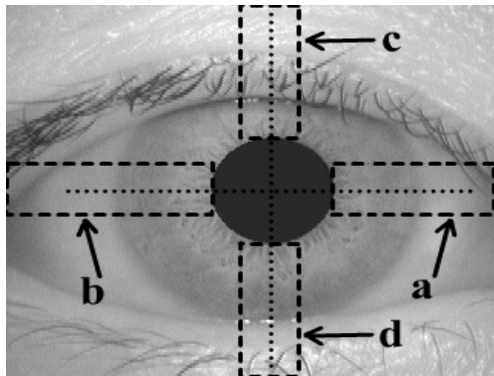
تصویر ۶- مرزهای روش داگمن^۱



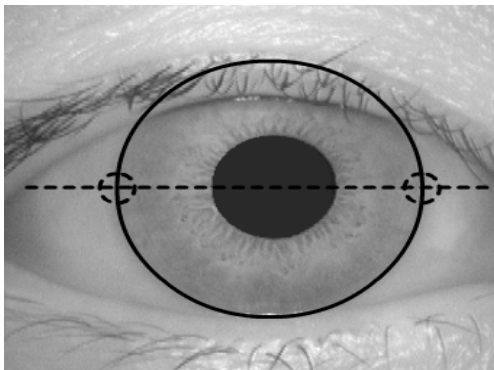
تصویر ۷- تخمین بیضی عنبیه



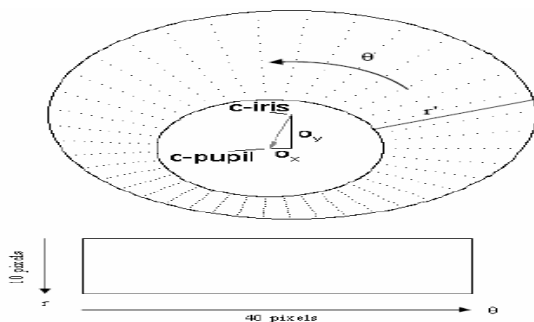
تصویر ۸- نواحی صرف‌نظرشده



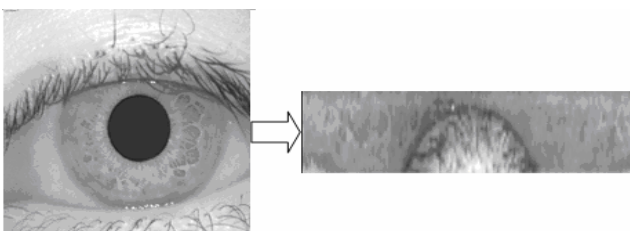
تصویر ۱۰- نقاط ترسیم دایره عنبیه



تصویر ۱۱- محدوده نقاط مرزی



تصویر ۱۲- نرمال سازی با دقت شعاعی ۱۰ و دقت زاویه ای ۱۴۰



تصویر ۱۳- نمونه عنبیه نرمال سازی شده^۱

مرز نقاط معتبر و غیرمعتبر سطح دایره ای عنبیه است و به عنوان ماسک نقاط معتبر در محاسبات بعدی به کار می رود. بعد از یافتن عنبیه، عمل نرمال سازی صورت می گیرد تا برای مقایسه ها، تصاویر عنبیه به ناحیه هایی تبدیل شوند که دارای ویژگی های بصری یکسانی باشند (تصویر ۱۲).^۱

$$\text{رابطه (۳)} \quad \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \int_{-\frac{\pi}{10}}^{\frac{\pi}{10}} I(r \times \cos \theta + x_0, r \times \sin \theta + y_0) d\theta \right\} \quad \text{MAX}(r, x_0, y_0)$$

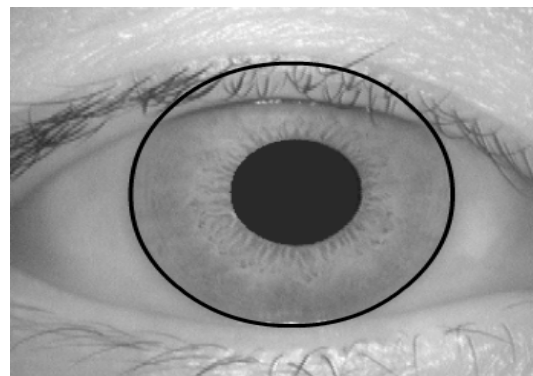
• r : شعاع کمان نمونه برداری، $(x$ و y): مختصات مرکز مردمک، $(x$ و y): شدت رنگ نقطه $(x$ و y) و θ : زاویه متغیر $[0, 2\pi]$.

در طول هر خط شعاعی، تعداد نقاط انتخابی، ثابت است و ربطی به باریک یا عریض بودن نوار عنبیه در زاویه ای که نقاط از آن انتخاب می شوند ندارد. این عمل نرمال سازی باعث تولید آرایه دو بعدی می شود که بعد افقی آن دقت زاویه ای را نشان می دهد و بعد عمودی آن نشان دهنده دقت شعاعی نمونه برداری است. یک آرایه دوبعدی دیگر به همین اندازه نیز برای نشانه گذاری محل هایی که پلک در آن ها قرار دارد تهیه می گردد که این آرایه به نام ماسک شناخته می شود. برای جلوگیری از تخریب نمایش نرمال سازی شده عنبیه توسط اطلاعات نامرتبط، نقاطی که بر روی مرز مردمک و مرز عنبیه قرار دارند؛ نادیده گرفته می شوند. حذف اثر ناشی از چرخش عنبیه، در مرحله مقایسه عنبیه ها انجام می شود (تصویر ۱۳).^۱ روش نرمال سازی پیشنهادی مانند روش داگمن و مطابق رابطه (۴) است.

$$\text{رابطه (۴)} \quad r' = \sqrt{\alpha \beta} \pm \sqrt{\alpha \beta^2 - \alpha - r_1^2}$$

$$\alpha = O_x^2 + O_y^2, \beta = \cos(\pi - \arctan\left(\frac{O_y}{O_x}\right) - \theta)$$

• O_x و O_y : اختلاف مختصات مرکز مردمک نسبت به مرکز عنبیه، r' : فاصله بین لبه دایره مردمک تا لبه دایره عنبیه در زاویه θ ، r_1 : شعاع عنبیه و θ : زاویه متغیر $[0, 2\pi]$.



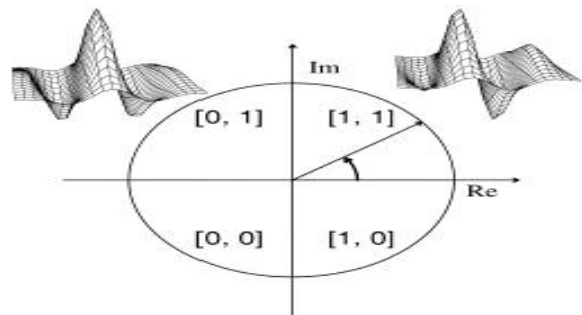
تصویر ۹- مرز دایره ای عنبیه

کدگذاری عنبیه

فیلتر موجک گابور (Gabor wavelet) جهت مقایسه سطوح است که برای تصویر ورودی مورد نظر، دارای دو بخش حقیقی و فرضی است^{۱۴}. جهت استخراج ویژگی‌های عنبیه، سطح دایره‌ای آن به شکل یک نوار در می‌آید و فیلتر موجک گابور دوبعدی بر روی این نوار عنبیه اعمال می‌شود. با مد نظر بودن خروجی حقیقی و فرضی این فیلتر برای هر نقطه و با توجه به این که فاز خروجی اعمال فیلتر روی تصویر در کدام یک از ۴ ناحیه صفحه اعداد مختلط قرار گیرد (تصویر ۱۴)^۵؛ یک زوج (۰ و ۱) مطابق رابطه (۵) به آن نسبت داده می‌شود و مانند تصویر (۱۵) به صورت رشته‌ای از ۰ و ۱ کد می‌گردد^۱.

$$h\{Re, Im\} = Sgn\{Re, Im\} \times \iint_{\rho, \varphi} I(\rho, \varphi) e^{-i\omega(\theta_0 - \varphi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \varphi)^2 / \beta^2} \rho d\rho d\varphi \quad (5)$$

• $h(Re \text{ و } Im)$: یک زوج بیت (bit)، $(\rho \text{ و } \varphi)$: تصویر عنبیه در مختصات قطبی، $(\theta_0 \text{ و } r_0)$: مختصات قطبی هر ناحیه از عنبیه، φ : فرکانس فیلتر موجک، α و β : مولفه‌های تعیین‌کننده اندازه فیلتر موجک



تصویر ۱۴- کدگذاری اطلاعات با فیلتر موجک گابور (Gabor wavelet) دوبعدی^۵

اندازه یک زوج بیت $[h(Re, Im)]$ بسته به قرار گرفتن فاز حاصل از انتگرال دوگانه، در هر کدام از ۴ ناحیه صفحه اعداد مختلط، می‌تواند ۰۱، ۰۰، ۱۰ یا ۱۱ باشد. α و β مولفه‌هایی هستند که اندازه فیلتر موجک را مشخص می‌کنند و اعدادی بین ۰/۱۵ تا ۱/۲ هستند. (r_0, θ_0) نشان‌دهنده مختصات قطبی هر ناحیه از عنبیه است که $h(Re, Im)$ نسبت به آن محاسبه می‌شود. کد تولیدی برای عنبیه، به صورت یک رشته از ۰ و ۱ است و ویژگی مطلوب کد تولیدشده، چرخشی (cyclic) یا گری (grey) بودن آن است^{۱۵}. یعنی برخلاف کدهای دودویی که ممکن است ۲ بیت تغییر کند؛ در حرکت از هر ناحیه صفحه مختلط به ناحیه مجاور آن، فقط یک بیت تغییر دارد (تصویر ۱۵). به طور کلی برای

هر عنبیه ۲۵۶ بایت (byte) کد تولید می‌شود. با توجه به سطح بیضوی تعیین‌شده، به همین تعداد هم یک ماسک از بیت‌ها تولید می‌گردد که نشان می‌دهد کدام نواحی از عنبیه توسط پلک پوشیده شده و نباید در مقایسه با کد سایر عنبیه‌ها مدنظر قرار گیرد. برای تشخیص عنبیه، فقط اطلاعات فاز تصویر فیلترشده مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا اطلاعات ابعاد و اندازه، خیلی تمیز-دهنده بین تصویر عنبیه‌های مختلف نیستند و بستگی به عوامل فرعی از قبیل تضاد تصویر، روشنایی و دقت دوربین دارند. مزیت دیگر استخراج اطلاعات فاز از تصویر آن است که بدون توجه به وضوح تصویر، زاویه فاز ثابت باقی می‌ماند. بنابراین تصاویر مختلف یک عنبیه که با وضوح مختلف گرفته شده‌اند؛ قابل تشخیص هستند و اشتباه نمی‌شوند.

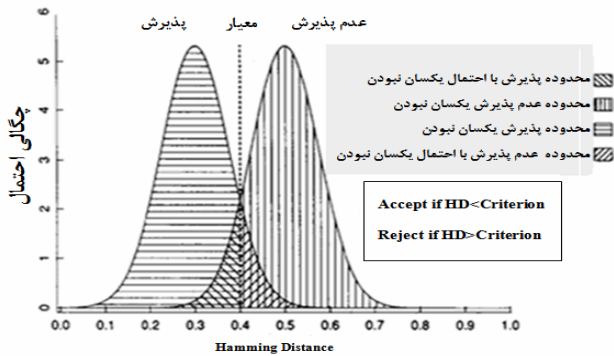
01 00 00 10 11 11 01 01 00 10 10 11 11 01 01 00 10 10
10 10 01 11 00 01 11 10 11 10 10 00 10 01 10 00 11 01

تصویر ۱۵- بخشی از کد استخراجی یک عنبیه^۱

مقایسه ویژگی‌ها

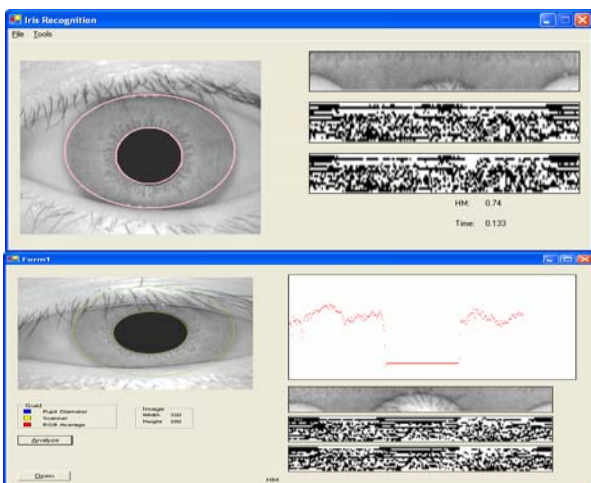
کلید اصلی تشخیص عنبیه یک آزمون، استقلال آماری است. پذیرفته شدن در این آزمون برای دو نسخه تصویر متفاوت از یک چشم، تضمین‌شده و در عین حال رد شدن در آن نیز برای دو تصویر متفاوت از دو چشم مختلف تضمین‌شده است^۷. پیاده‌سازی این آزمون از طریق عملگر یای منطقی انحصاری (XOR) است که بر روی کد ۲۰۴۸ بیتی دو تصویر مختلف عنبیه اعمال می‌شود و با ماسک مربوط به هر یک از دو تصویر نیز AND می‌گردد تا مناطقی از عنبیه که توسط پلک‌ها پوشیده شده‌اند؛ در مقایسه کد دو عنبیه دخالت داده نشوند. عملگر XOR اختلاف بین هر جفت بیت را تشخیص می‌دهد؛ درحالی که عملگر AND بین کد دو عنبیه و ماسک آن‌ها، اطمینان می‌دهد که هر دو بیت مورد مقایسه، با پلک پوشیده نشده باشند. در رابطه (۶)، نحوه محاسبه فاصله همینگ (HD: Hamming distance) آمده است. صورت کسر نشان‌دهنده تعداد بیت‌هایی است که علاوه بر این که با پلک پوشیده نشده‌اند؛ در کدهای مربوط به دو عنبیه A و B نیز غیرمشابه هستند. مخرج کسر نیز نشان‌دهنده تعداد کل بیت‌هایی است که در هر دو عنبیه به طور مشترک با چیزی پوشیده نشده و قابل مقایسه با یکدیگرند. HD در واقع، درصد اختلاف بین کد دو عنبیه را نشان می‌دهد.

بودن آن‌ها نشان داده شده است که در روش پیشنهادی ما دقت تشخیص آن بیش‌تر است.



تصویر ۱۷- توزیع احتمال فاصله همینگ (Hamming distance) و پذیرش و عدم پذیرش^۱

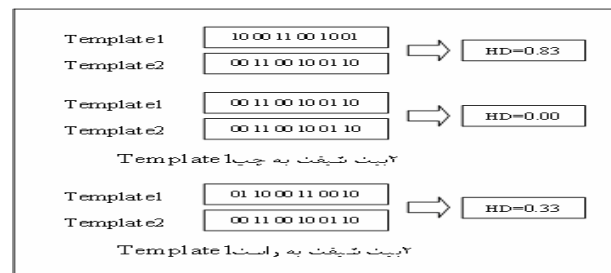
با پیاده‌سازی روش داگمن و روش پیشنهادی با یک ماشین Pentium III 1GHZ به زبان C++ (تصویر ۱۸)، میزان خطاهای مثبت و منفی (FAR: False Accept Reject) در روش پیشنهادی، کم‌تر و نقطه جداسازی بهینه‌تر است. آزمون سیستم بر روی ۸۷۶ نمونه تصویر استاندارد چشم (بانک اطلاعات تصویری عنبیه داگمن) عکس‌برداری شده با دوربین‌های ویژه از ۸۷۶ نفر با ملیت‌های مختلف صورت گرفته است^{۱۹}. از نتایج آزمون‌ها، تسریع زیادی به دست آمده که با استدلال و مقایسه نتایج زمانی حاصل با نتایج رسمی داگمن، آرایه می‌شود.



تصویر ۱۸- سیستم نرم‌افزار روش پیشنهادی و روش داگمن

$$\text{رابطه (۶)} \quad HD = \frac{\| (codeA \otimes codeB) \cap maskA \cap maskB \|}{\| maskA \cap maskB \|}$$

گرچه به لحاظ نظری، HD مربوط به دو کد تولیدشده از یک عنبیه، برابر صفر خواهد بود اما به دلیل وجود عواملی چون دقت تصویر و نویزهای (noise) احتمالی موجود در تصویر، این امر در عمل اتفاق نمی‌افتد. علاوه بر این، وجود چرخش در تصویر عنبیه نیز بر مقدار HD محاسبه‌شده تاثیر می‌گذارد. برای جلوگیری از تاثیر این چرخش بر نتیجه نهایی مقایسه، هنگام مقایسه HD مربوط به دو عنبیه، کد یکی از عنبیه‌ها به چپ و راست شیفت داده و برای هر کدام یک HD جداگانه محاسبه می‌شود (مانند تصویر ۱۶). شیفت دادن افقی بیت‌های کد یک عنبیه، معادل چرخش عنبیه در جهات مختلف است. در نهایت، از بین چند HD محاسبه‌شده، کم‌ترین آن‌ها که معادل بهترین تطابق ممکن بین دو عنبیه است؛ انتخاب می‌شود.



تصویر ۱۶- نمونه کدهای استخراجی تصاویر دو عنبیه^۱

تعیین هویت

برای تعیین هویت و مقایسه در پایگاه داده، از محاسبه HD بین ویژگی‌های استخراج‌شده عنبیه‌ها استفاده می‌شود. یعنی هرچه میزان HD به صفر نزدیک‌تر باشد؛ دو عنبیه به هم شبیه‌ترند و در صورتی که به یک نزدیک‌تر باشد؛ دو عنبیه کم‌تر با هم تشابه دارند^{۱۸-۱۶}. از آن‌جا که احتمال ۰ یا ۱ بودن هر بیت کد استخراج‌شده عنبیه با هم برابر است؛ در صورت ایجاد تصادفی دو کد برای دو عنبیه فرضی، تفاوت مقدار HD آن به صورت احتمالی ۰/۵ خواهد بود. بنابراین اگر دو عنبیه مشابه باشند؛ باید مقدار HD آن دو از ۰/۵ کم‌تر و اگر دو عنبیه متفاوت باشند؛ باید مقدار HD آن‌ها به ۰/۵ نزدیک‌تر و حتی بیش‌تر باشد. هرچه فاصله مقدار HD از ۰/۵ بیش‌تر باشد؛ با اطمینان بهتری می‌توان تصمیم‌گیری کرد. در تصویر (۱۷) که به صورت تجربی به دست آمده است؛ محدوده‌های تصمیم‌گیری برای یکسان بودن عنبیه‌ها و یا متفاوت

نقطه جداسازی

فاصله بین بیش‌ترین HD محاسبه‌شده عنبیه‌های یکسان و کم‌ترین HD عنبیه‌های غیریکسان، می‌تواند به عنوان نقطه جداسازی در نظر گرفته شود. اما این معیار چندان مناسب نیست زیرا به تعداد عنبیه‌های مقایسه‌شده بستگی دارد. لذا معیار بهتری به عنوان معیار تصمیم‌گیری به شرح رابطه (۷) تعریف شد که در آن میانگین و انحراف معیار نمودار توزیع عنبیه‌ها نیز در نظر گرفته شده است. معیار تصمیم‌گیری d' تابعی از اندازه فاصله میانگین HD عنبیه‌های یکسان (μ_s) و غیریکسان (μ_D) و هم‌چنین انحراف معیار HD عنبیه‌های یکسان (σ_s^2) و غیریکسان (σ_D^2) است. هرچه مقدار این معیار بزرگ‌تر باشد؛ دقت تشخیص عنبیه بالاتر می‌رود. در صورتی که نمودار مربوط به توزیع چشم‌های یکسان و غیریکسان روی هم‌افتادگی داشته باشند؛ ممکن است تعدادی از عنبیه‌ها به اشتباه یکسان (FAR، احتمال شناسایی اشتباه) و تعدادی به اشتباه غیریکسان (FRR، احتمال عدم شناسایی) تشخیص داده شوند. نقطه‌ای که به عنوان مرز دو ناحیه انتخاب می‌شود؛ بر مقادیر FAR و FRR اثر می‌گذارد و هرچه این نقطه کم‌تر باشد FAR کاهش و FRR افزایش می‌یابد و برعکس. این دو مقدار از روی میزان روی هم‌افتادگی نمودار HD عنبیه‌های یکسان و غیریکسان به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌شوند که در روش ما این نقطه بهتر شده است. تصاویر (۱۹) و (۲۰) نشان‌دهنده پراکندگی فاصله همینگ هستند. میانگین آن‌ها کاملاً جدا هستند و می‌توان با انتخاب نقطه جداسازی مناسب، عمل تشخیص را انجام داد.

$$d' = \frac{|\mu_s - \mu_D|}{\sqrt{\frac{\sigma_s^2 + \sigma_D^2}{2}}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$FRR = \frac{\int_0^k P_{diff}(x) dx}{\int_0^1 P_{diff}(x) dx}, \quad FAR = \frac{\int_k^1 P_{same}(x) dx}{\int_0^1 P_{same}(x) dx} \quad \text{رابطه (۸)}$$

FAR نرمال‌شده، بین نقطه صفر و نقطه جداسازی k در نمودار HD عنبیه‌های غیریکسان، تعریف می‌شود. FRR نرمال‌شده بین نقطه جداسازی k و نقطه ۱ در نمودار HD عنبیه‌های یکسان، تعریف می‌شود. با توجه به مقادیر FAR و FRR محاسبه‌شده جدول (۱)، نقطه ۰/۴ به عنوان نقطه جداسازی به دست می‌آید. در تصویر (۲۰) نیز فاصله بهتر همینگ برای تصاویر عنبیه روش پیشنهادی آمده است و مشاهده می‌شود که اگر نقطه ۰/۴ به عنوان نقطه

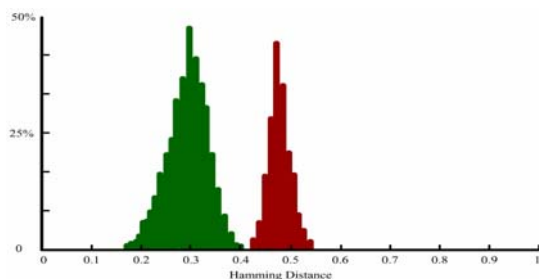
جداسازی انتخاب شود؛ به راحتی می‌تواند نشان دهد چنانچه مقایسه دو عنبیه کم‌تر از این مقدار باشد؛ آن دو یکسان هستند و در غیر این صورت، یکسان نیستند. مطابق جدول (۱)، مقدار محاسبه‌شده نقطه بهینه ۰/۴ در روش پیشنهادی، دقیق‌تر و مطابق جدول (۲) و روابط (۹) و (۱۰)، سریع‌تر از روش داگمن به دست آمده است. با کاهش حجم تصاویر مورد پردازش مردمک، عنبیه و پلک‌ها، مطابق روابط (۹) و (۱۰)، تسریع به دست آمده و زمان‌های یافت‌شده رابطه (۱۱)، یعنی زمان یافتن عنبیه (۷/۱۷ ms) و زمان یافتن مردمک (۳/۲۱ ms)، همان مقادیر مورد انتظار هستند.

$$\frac{\sum_{i=1}^{320} \sum_{j=1}^{280} P(i, j)}{\sum_{i=1}^{250} \sum_{j=1}^{15} P(i, j) + \sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{210} P(i, j)} = 12.98 \quad \text{رابطه (۹)}$$

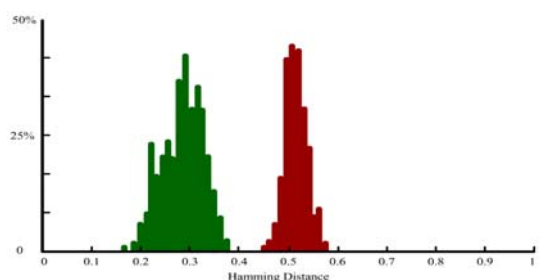
$$\frac{\sum_{i=1}^{320} \sum_{j=1}^{280} P(i, j)}{\sum_{i=1}^{200} \sum_{j=1}^{120} P(i, j)} = 3.73 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$\frac{93 \text{ ms}}{12.98} = 7.16 \text{ ms} \quad \text{و} \quad \frac{12 \text{ ms}}{3.73} = 3.21 \text{ ms} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

• (z و i): P(i و z) پیکسل تصویر



تصویر ۱۹- فاصله همینگ (Hamming distance) عنبیه‌های یکسان و غیریکسان داگمن



تصویر ۲۰- فاصله همینگ (Hamming distance) عنبیه‌های یکسان و غیریکسان روش پیشنهادی

ایریدین تکنولوژی‌ها قرار دارد. گرچه سامانه تعیین هویت داگمن، موفق‌ترین و مشهورترین سامانه موجود است؛ سامانه‌های مشابه دیگری نیز با استفاده از الگوریتم‌های آن توسعه یافته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها توسط Wildes^۳، Bolse^۴ و Boashash^۵، Lim^{۱۶} و Noh^{۱۷} طراحی شده‌اند. الگوریتم‌هایی که توسط Lim طراحی شده‌اند؛ در سامانه‌های تشخیص هویت شرکت‌های اورمیدیا و سینکس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، الگوریتم Noh در سامانه ایریس ۲۰۰۰ شرکت ایریتک به کار رفته است. این سامانه‌ها کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سامانه داگمن بسیار مورد آزمایش قرار گرفته است و در تمامی آن‌ها، نرخ خطای سامانه، خیلی کم اعلام شده است. در مورد سامانه Wilds هم یک عملکرد کم‌خطا برای ۵۲۰ تصویر عنبیه گزارش شده است.^۹ سامانه Lim هم در یک پایگاه داده با ۶۰۰۰ عکس، به نرخ موفقیت بالایی دست یافته است. با این وجود، هیچ‌گونه نسخه آزمایشی و منبع کدی از این فن‌آوری‌ها در دسترس نیست. روش پیشنهادی ما، با تکیه بر تنها روش موفق توانسته ضمن حفظ دقت، در مقایسه با روش داگمن، به تسریعی حدود ۹۰ درصد دست یابد. نسبت به محدوده‌های مزاحم پلک چشم و انعکاس‌نور، مقاوم است و از کاهش چشم‌گیر زمان تعیین هویت برخوردار می‌باشد. هم‌چنین، نقطه جداسازی تشخیصی دقیق‌تر و بهینه‌تری ارائه داده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به ویژگی‌های عنبیه و قابلیت اطمینان بالای آن در تعیین هویت، دقت بالا و سرعت مناسب نقش مهمی دارد. روش پیشنهادی ما با حفظ دقت، ضمن تسریع در تشخیص، با کاهش زمان تعیین هویت، نسبت به محدوده مزاحم پلک چشم و انعکاس نور مقاوم است. با آزمون آن روی نمونه‌ها، نه تنها در یافتن عنبیه، با تسریع ۹۰ درصد، نقطه جداسازی دقیق‌تر و بهینه‌تری ارائه کرده است. سامانه مذکور تنها سامانه پیاده‌سازی شده داخلی است که می‌تواند به عنوان یک روش صنعتی سریع و دقیق تشخیص عنبیه در تعیین هویت به کار رود. این سامانه برای متناسب شدن با کاربردهای دیگر مانند تشخیص بیماری‌های چشم نیازمند دقت بیش‌تر در بافت‌ها می‌باشد که در حال توسعه است.

جدول ۱- خطاهای مثبت و منفی روش داگمن و روش پیشنهادی

نقطه جداسازی	روش داگمن		روش پیشنهادی	
	FRR	FAR	FRR	FAR
۰/۲۰	۰/۱۰۰	۹۹/۱۰۵	۰/۱۰۰	۷۴/۰۵
۰/۲۵	۰/۱۰۰	۸۳/۰۹	۰/۱۰۰	۳۶/۷۳
۰/۳۰	۰/۱۰۰	۳۶/۲۳	۰/۱۰۰	۲۳/۸۶
۰/۳۵	۰/۱۰۰	۴/۹۴۳	۰/۱۰۰	۴/۶۱۰
۰/۴۰	۰/۱۰۰	۰/۲۳۸	۰/۱۰۱۲	۰/۴۲
۰/۴۵	۷/۵۹۹	۰/۱۰۰	۲/۵۳۰	۰/۱۰۰
۰/۵۰	۹۹/۵۷۱	۰/۱۰۰	۹۳/۰۱۵	۰/۱۰۰

FAR: Fasle Accept Reject, FRR: False Reject Reject

جدول ۲- زمان پردازش و حجم تصویر پردازشی در روش داگمن

روش پیشنهادی		روش داگمن	
زمان پردازش:			
یافتن مردمک	۱۲ میلی ثانیه	۹ میلی ثانیه	
یافتن عنبیه و پلک‌ها	۹۳ میلی ثانیه	۱۰ میلی ثانیه	
حجم تصویر پردازش شده نسبت به کل تصویر:			
یافتن مردمک	۴۷ درصد	۲۷ درصد	
یافتن عنبیه	۸۸ درصد	۴ درصد	
یافتن پلک‌ها	۶ درصد	۳/۷ درصد	

بحث

عنبیه توسط پلک‌ها محافظت می‌شود و خصوصیات منحصر به فرد آن، در طول حیات بزرگسالی بدون تغییر باقی می‌ماند. همین ویژگی، استفاده از آن را در سامانه‌های تعیین هویت، به یک عضو قابل توجه تبدیل نموده است. برای این کار می‌توان از شیوه‌های پردازش تصویر استفاده کرد و آن را در یک پایگاه داده، ذخیره و بازیابی نمود. تا اوایل دهه ۹۰ که John Daugman، محقق دانشگاه کمبریج، یک سامانه خودکار تشخیص هویت از روی عنبیه را پیاده‌سازی و راه‌اندازی کرد؛ چنین سامانه‌هایی عملاً به کار گرفته نمی‌شدند^{۱۸}. هم‌اکنون، این اختراع داگمن ثبت شده و حق استفاده از آن در اختیار کمپانی

منابع

1. Daugman J. How iris recognition works. *IEEE Trans Circ Sys Vid Technol* 2004;141:21-30.
2. Belganoui Y, Guézel J, Mahé T. La Biometrie, Sesame Absolu. *Industries set Techniques France* 2000;7:116-121.
3. Gifford MM, McCartney DJ, Seal CH. Networked biometrics systems: requirements based on iris recognition. *BT Technol J* 1999;17:163-173.
4. Wildes R. Iris recognition: an emerging biometric

- technology. *Proc IEEE* 1997;9:1348-1363.
5. Bolse W, Boashash B. A human identification technique using images of the iris and wavelet transform. *IEEE Trans Signal Process* 1998;46:111-115.
6. Wolff E. Anatomy of the eye and orbit. 7th ed. H. K. Lewis & Co. LTD; 1976.
7. Daugman J. Biometric personal identification system based on iris analysis. United States Patent, Patent Number: 5, 291,560, 1994.
8. Chinese Academy of Sciences-Institute of Automation. Database of 756 Grayscale Eye Images Version 1.0,2006 (<http://www.sinobiometrics.com>).
9. Wildes R, Asmuth G, Green S, Hsu R, Kolczynski R, Matey J, et al. A system for automated iris recognition. *Proceedings IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, FL: 1994;2:121-128.
10. Kong W, Zhang D. Accurate iris segmentation based on novel reflection and eyelash detection model. *Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing*, Hong Kong: 2001:263-266.
11. Tisse C, Martin L, Torres L, Robert M. Person identification technique using human iris recognition. *International Conference on Vision Interface*, Canada: 2002: 294-299.
12. Ma L, Wang Y, Tan T. Iris recognition using circular symmetric filters. *National Laboratory of Pattern Recognition*. Institute of Automation; Chinese Academy of Sciences, 2002; 2: 414-417.
13. Tun N. Recognising iris patterns for person (or individual) identification. Honours thesis. The University of Western Australia. 2002.
14. Lee T. Image representation using 2D Gabor wavelets. *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996; 18; 10: 1013-1026.
15. Sanderson S, Erbetta J. Authentication for secure environments based on iris scanning technology. *IEE Colloquium Vis Biometr* 2000;18:1-8.
16. Lim S, Lee K, Byeon O, Kim T. Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier. *ETRI J* 2001;23:61-70.
17. Noh S, Pae K, Lee C, Kim J. Multiresolution independent component analysis for iris identification. *The International Technical Conference on Circuits Systems, Computers and Communications*, Phuket, Thailand: 2002.
18. Zhu Y, Tan T, Wang Y. Biometric personal identification based on iris patterns. *Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition*, Spain: 2000;2:2801-2900.
19. Barry C, Ritter N. Database of 120 grayscale eye images. Lions Eye Institute; Perth Western Australia (<http://www.Lei.org.au>).