

# Special Coverage

# پرونده ویژه

|     |  |
|-----|--|
| ۲۷۶ | مقدمه - کلیدهای آینده                          |
| ۲۷۸ | انطباق اثر انگشت: قدمتی صدساله                 |
| ۲۸۹ | تشخیص عنبیه: راهی به آینده                     |
| ۲۹۵ | تشخیص چهره: انسان یا کامپیوتر                  |
| ۳۰۶ | تشخیص هویت بیومتریک غیرتحمیلی؛ فناوری‌های نوپا |

# کلیدهای آینده

## فناوری‌های امنیتی بیومتریک

« احمد شریف پور



بیومتریک فناوری و علم اندازه‌گیری و تحلیل خصوصیات بدن انسان مانند اثر انگشت، شبکیه چشم، الگوی رگ‌ها، عنبیه، الگوهای صوتی، الگوهای چهره و اندازه‌گیری‌های تناسب‌دست و انگشت است که به منظور تشخیص هویت و صدور مجوز دسترسی‌ها انجام می‌پذیرد. تشخیص هویت از طریق بررسی‌های بیومتریک به سرعت در حال همه‌گیر شدن است و ظاهر شدن فناوری‌های مرتبط با بیومتریک در بسیاری از جنبه‌های زندگی روزمره ما آغاز شده است.

### • که هستید؟

این شیوه جدیدترین و شاید دقیق‌ترین سیستم تشخیص هویت و تعیین سطح دسترسی است. در سیستم‌هایی که به این شیوه کار می‌کنند، هویت با استفاده از مشخصه‌های منحصر به فرد بیولوژیک فرد تعیین می‌شود. این سیستم‌ها را سیستم‌های بیومتریک می‌نامیم. یکی از دلایل محبوبیت اندازه‌گیری‌های بیومتریک راحتی و یکتایی آن است، زیرا هر انسانی خصوصیات بیومتریک منحصر به فردی دارد که می‌توانند به صورت خودکار اندازه‌گیری و ضبط شده و همچنین به سادگی قابل تغییر و تعویض نیستند.

### جنبه‌های تجاری

در چند سال گذشته نگرانی‌های امنیتی، باعث رشد و توسعه فناوری‌های بیومتریک شده است و به طور کلی تمام فعالیت‌های مرتبط با تحقیقات بیومتریک سرعت زیادی به خود گرفته‌اند.

تشخیص هویت و تعیین سطح دسترسی و قدرت افراد، قدمتی به اندازه تاریخ بشر دارد. از لباس‌های متفاوت طبقات اجتماعی در جوامع کهن گرفته تا Token‌های دسترسی به حساب‌های بانکی کنونی، همه و همه تنها یک هدف را دنبال می‌کنند و آن این است که تعیین کنند: «شما کیستید و اجازه انجام چه کاری را دارید.»

در جهت تحقق این هدف، به صورت معمول سه راهکار عمده مورد استفاده قرار می‌گیرد که هر سه بر پایه پاسخ به پرسشی ساده بنا شده‌اند. این پرسش‌ها عبارتند از:

### • چه به همراه دارید؟

بسیاری از سیستم‌های کنونی و قدیمی بر اساس پاسخی که به این پرسش می‌دهید، هویت و سطح دسترسی شما را تعیین می‌کنند. دسته کلیدی که همواره در جیب خود حمل می‌کنید، یکی از پرکاربردترین ابزارهای مرتبط با این سیستم‌ها است. در دنیای کنونی، کارت‌های مغناطیسی، Token‌ها و کلیدهای دیجیتال در واقع معادل‌های کلیدهای فلزی معمول هستند.

### • چه می‌دانید؟

استفاده از اسم شب در عملیات‌های نظامی، رمز عبور کامپیوترها و کارت‌های بانکی و... از طریق آزمودن دانسته‌های شما هویت و سطح دسترسی شما را تعیین می‌کنند.

این رشد نه تنها به واسطه افزایش ملاحظات امنیتی صورت گرفته، بلکه متأثر از ملاحظات مربوط به حریم خصوصی کاربران، در زمینه استفاده محرمانه و امن از اطلاعات شخصی افراد است که در فضاهای مجازی ذخیره شده یا از طریق اینترنت انتقال می‌یابند. پروژه‌های هویت ملی که توسط دولت‌های مختلف در سطح جهان پیاده می‌شود نیز باعث رشد بازار بیومتریک خواهد شد. براساس برآوردهای securitypark.net بازار بیومتریک در سال ۲۰۱۰ ارزشی حدود شش میلیارد دلار خواهد داشت. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود تا آینده‌ای دور، در سراسر دنیا بازاری پایدار و مستحکم برای بیومتریک وجود داشته باشد.

### دنیای آینده

اگر دنیای فناوری بتواند به وعده‌های خود در زمینه بیومتریک عمل کند، که همیشه با کمی دیر و زود چنین بوده است؛ دنیای آینده بسیار با آنچه اکنون می‌شناسیم، متفاوت خواهد بود. زیرا با ارزان شدن روز به روز تجهیزات و پردازش‌های مورد نیاز تشخیص هویت بیومتریک، این سیستم‌ها به سادگی در تمام وسایلی که به صورت روزمره با آن‌ها سروکار داریم نفوذ خواهند کرد. درهای ورودی که چهره یا صدای شما را می‌شناسد، بدون نیاز به کلید در برابر شما باز می‌شوند، سیستم خودکار بانکی که بدون نیاز به کارت و شماره حساب، تنها در اثر تماس دست شما با سنسور، تراکنش‌های مالی را امکان‌پذیر می‌کنند، خودرویی که با

اینجا است که شاید سخن آرتور سی. کلارک فقید را به خاطر بیاورید: «هر فناوری به حد کافی پیشرفته، از جادو قابل تشخیص نخواهد بود.» و به جادو‌هایی نظیر داستان‌های چهل دزد بغداد بیاندیشید که در مخفی‌گاه دزدان تنها با شنیدن کلمات «باز کن سسامی» گشوده می‌شد. جادویی که اکنون به یک فناوری معمول تبدیل شده است.

### پرونده ویژه

پرونده ویژه این شماره دربرگیرنده چهار مقاله است که طیف وسیعی از زمینه‌های تحقیقاتی بیومتریک را بررسی کرده است. سه مقاله نخست به بحث درباره پیشرفت‌های اخیر تشخیص هویت بیومتریک از طریق تشخیص عنبیه، اثر انگشت و تشخیص چهره پرداخته که این سه در واقع نماد بخش‌های سنتی بیومتریک هستند و در چند سال اخیر شاهد تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجهی بوده‌اند. در نهایت، مقاله چهارم به بررسی بخش نوپای تشخیص هویت بیومتریک غیر تحمیلی خواهد پرداخت.

در مقاله «تشخیص عنبیه: راهی به آینده» دیدی کلی از واحدهای متفاوت شکل‌دهنده یک سیستم تشخیص عنبیه معمول را، با تأکید بر واحدهای تقسیم‌بندی و کدگذاری، که در این سیستم‌ها نقشی محوری دارند، ارائه خواهد شد. سپس به بحث درباره زمینه‌های جدیدتر تشخیص عنبیه نظیر تحلیل چند وجهی، اندازه‌گیری‌های شمارشی و امنیت عنبیه پرداخته خواهد شد.

در مقاله «انطباق اثر انگشت: قدمتی صد ساله» به بررسی کلی سیستم‌های تشخیص اثر انگشت پرداخته شده و سپس درباره برخی چالش‌های حیاتی و زمینه‌های مطالعاتی ممکن در زمینه تطبیق اثر انگشت بحث خواهد شد.

مقاله «تشخیص چهره: انسان یا کامپیوتر» توضیح خواهد داد که تشخیص چهره چگونه کار می‌کند و چرا تا این حد برای کامپیوتر دشوار و برای انسان ساده است. همچنین تازه‌ترین دستاوردهای فناوری تشخیص چهره را معرفی کرده و مسیر انجام تحقیقات آتی را مشخص خواهد کرد.

مقاله نهایی یعنی «تشخیص هویت بیومتریک غیر تحمیلی: فناوری‌های نوپا» به معرفی تلاش تحقیقاتی گروهی از دانشگاه‌ها پرداخته که به تازگی موفق به دریافت جایزه اول مرکز تعالی آکادمیک از دفتر مدیر مرکز اطلاعات ملی علوم و فناوری (ODNI S&T CAE) شده است. کنسرسیوم CASIS یا مرکز مطالعات پیشرفته علوم هویتی در حال بررسی روش‌های جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بیومتریک در شرایط غیر تحمیلی است.

شرایط غیر تحمیلی به این معنا است که لازم نیست سوژه موردنظر در حالت یا محیط ایده‌آل قرار داشته باشد تا سیستم ثبت اطلاعات بتواند تمام داده‌های مورد نیاز را جمع‌آوری کند.

گروه CASIS روی مجموعه عظیمی از مسائل از قبیل ردگیری چهره، نشانه‌گذاری چهره از طریق وضعیت و حالت صورت، ثبت عنبیه از راه دور و تغییر چهره سه‌بعدی و خودکار در اثر تغییر سن کار می‌کنند.

تخمین سن راننده جوان از روی تصویر چهره متوقف شده و از بروز حادثه جلوگیری می‌کند؛ همه نمونه‌هایی باورپذیر و حتی تا حدی در دسترس هستند. اما مهم‌ترین چالش در راه همه‌گیر شدن این تجهیزات شاید گسترش مرزهای فناوری بیومتریک در عرصه‌های جدید نباشد. به نظر می‌رسد، تلاش‌ها حداقل در آینده نزدیک باید روی افزایش دقت این تجهیزات و به ویژه کاهش نرخ خطای تشخیص مثبت اشتباه (False Positive) متمرکز شوند.

بیش از یک قرن است که انطباق اثر انگشت با موفقیت در محاکم قضایی و قانونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری اکنون در کاربردهای تازه‌ای نظیر مدیریت هویت و تعیین دسترسی نیز استفاده می‌شود. این مقاله نمونه‌ای از سیستم خودکار تشخیص اثر انگشت را تشریح کرده و چالش‌های اساسی و فرصت‌های مطالعاتی پیش‌رو را تعریف خواهد کرد.

# انطباق اثر انگشت: قدمتی صد ساله



« نویسنده: آریل ک. چین / جیانجیان فنگ / کارتیک ناگداکومار » « منبع: IEEE Computer، فوریه ۲۰۱۰ » ترجمه: احمد شریف پور

SHABAKEH  
NETWORK

۲۷۸  
آبان  
۱۳۸۹

پوست کف دست و کف پای ما، الگویی متحرک از خط‌ها و شیارها را به وجود می‌آورند. این خطوط برجسته روی انگشت که «خطوط اصطکاکی» نامیده می‌شوند، از طریق افزایش اصطکاک به دست کمک می‌کنند تا بتواند اشیاء را نگه دارد و همچنین باعث افزایش قدرت حس لامسه در تماس با سطح اشیاء می‌شود. کادر «الگوی خطوط اصطکاک» ماهیت و سرمنشاء این خطوط و خصوصیات آن‌ها را تشریح می‌کند. یکی دیگر از کاربردهای مهم خطوط اصطکاکی تشخیص هویت افراد است. الگوی خطوط اصطکاکی هر یک از انگشتان منحصر به فرد و غیر قابل تغییر است و همین امر باعث می‌شود بتوان از آن‌ها به عنوان نشانه‌های تشخیص هویت استفاده کرد. در حقیقت، به کمک اثر انگشت حتی می‌توان دوقلوهای همسان را از یکدیگر تمیز داد. جراحات سطحی ناشی از بریدگی یا سوختگی در سطح انگشت، تنها به صورت موقت الگوی خطوط را در ناحیه آسیب دیده از بین می‌برند، اما پس از بهبود آسیب دیدگی، ساختار این خطوط دوباره ظاهر می‌شود.

در اواخر قرن نوزدهم، هنری فالدز، فرانسیس گالتون و ادوارد هنری در کنار سایر محققان پایه‌های علمی استفاده از اثر انگشت را به عنوان شیوه تشخیص هویت بنا نهادند. از آن زمان تاکنون نهادهای قانونی در سطح جهان از سیستم تشخیص اثر انگشت به دو منظور اساسی استفاده می‌کنند:

- تعیین هویت متهم (یا قربانی) بر اساس آثار پراکنده به جا مانده یا به اصطلاح آثار ناپیدایی که در صحنه جرم باقی مانده است.

- تشخیص هویت خلافکاران سابقه‌دار بر اساس اثر تمامی انگشتان (استفاده از ده اثر انگشت دقت تطابق را افزایش خواهد داد).

یکی از بزرگ‌ترین سیستم‌های تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت، سیستم خودکار و مجتمع تشخیص اثر انگشت (IAFIS) است که از سال ۱۹۹۹ در ایالات متحده توسط پلیس استفاده می‌شود. سیستم IAFIS در حال حاضر اطلاعات اثر انگشت بیش از شصت میلیون نفر به همراه اطلاعات آماری مرتبط با آثار به جا مانده در صحنه‌های جرم و تشخیص هویت با ده اثر انگشت را برای شناسایی متهمان پرونده‌ها و کنترل آماری در پس زمینه در خود ذخیره کرده است. پلیس فدرال ایالات متحده در سال ۲۰۰۸ ارتقای IAFIS را به سیستم‌های نسل جدید تشخیص هویت (NGI) شروع کرد. این سیستم‌ها علاوه بر اثر انگشت، می‌توانند از سایر خصوصیات بیومتریک نظیر اثر کف دست، عنبیه و چهره هم پشتیبانی کنند.

به واسطه نگرانی‌های فزاینده در زمینه امنیت و ترس از تقلب، دولت‌ها و نهادهای اقتصادی، شروع به گسترش میزان استفاده از سیستم‌های تشخیص اثر انگشت مختص خود، در کاربردهای غیرقضایی کرده‌اند. کاربردهایی نظیر تعیین دسترسی فیزیکی و مجازی، تراکنش‌های خودپردازها، کنترل مرزها و دسترسی به ابزارهای معمول کاربران. اثر انگشت در میان سایر نشانه‌های بیومتریک نظیر چهره، عنبیه، صدا و حتی نشانه‌های نوظهور نظیر سیستم کنترل گام، اندازه‌گیری گوش و الگوی رگ‌های دست، به پرکاربردترین و فراگیرترین نشانه‌های شناسایی تبدیل شده است.<sup>۱</sup>

مهم‌ترین دلایل فراگیر شدن تشخیص اثر انگشت عبارتند از:

- موفقیت این شیوه در کاربردهای مختلف نظیر کاربردهای قضایی، دولتی، مدنی و...
- این واقعیت که به طور معمول اثر انگشت مجرمان در صحنه جرم باقی خواهد ماند.

- وجود پایگاه داده‌ای کامل از آثار انگشت
- وجود دستگاه‌های خواننده اثر انگشت کم حجم و ارزان قیمت

یک سیستم تشخیص اثر انگشت می‌تواند هم برای تعیین هویت و هم برای مقایسه به کار رود. در حالت مقایسه، سیستم اثر انگشت ورودی را با اثر انگشت ثبت شده یک کاربر خاص مقایسه می‌کند تا تعیین کند، آیا هر دو

اثر به یک انگشت مربوط هستند یا خیر (انطباق ۱ به ۱). در حالت تعیین هویت، سیستم، اثر انگشت ورودی را با کل نمونه‌های ثبت شده در پایگاه داده مقایسه می‌کند تا مشخص شود آیا کاربر به عنوان یک کاربر تکراری یا غیرمجاز شناخته می‌شود یا خیر (انطباق ۱ به n). تشخیص چندثبتي، یعنی حالتی که یک شخص واحد چندین مدرک هویتی مختلف مانند پاسپورت‌هایی با نام‌های مختلف داشته باشد، نیازمند وجود قابلیت تشخیص منفی هویت (Negative Identification) در سیستم تشخیص اثر انگشت است. برنامه‌ای در ایالات متحده موسوم به US-VISIT مبادی ورودی و محل‌های صدور ویزای مجهز به سیستم‌های تشخیص اثر انگشت را تدارک دیده است که دولت را قادر می‌سازد هویت افرادی را که به ایالات متحده وارد می‌شوند، تعیین و کنترل کند. این سیستم خودکار تشخیص اثر انگشت، از سال ۲۰۰۴ تاکنون اطلاعات بیش از صد میلیون بازدیدکننده را پردازش کرده است. این سیستم، از طریق مقایسه اثر انگشت متقاضی با پایگاه داده‌ای از افراد تحت تعقیب؛ تروریست‌ها، مجرمان و تخطی‌کنندگان از قوانین مهاجرت را شناسایی کرده و همچنین کنترل می‌کند که هر فرد متقاضی در مبادی ورودی، صاحب اصلی ویزا باشد. فهرست فزاینده کاربردهای تجاری و دولتی تشخیص اثر انگشت، در کنار توسعه و گسترش سنسورهای ارزان قیمت و پردازنده‌های قدرتمند، تقاضا برای سیستم‌های تمام خودکار، با دقت بالا و بی‌درنگ را افزایش داده است. توسعه این سیستم‌های نسل جدید، چالش‌ها و فرصت‌هایی را پیش روی ما قرار می‌دهد.

### تشخیص خودکار اثر انگشت

شکل ۱ شمای کلی یک سیستم تشخیص خودکار اثر انگشت را نشان می‌دهد.

در مرحله ثبت اثر انگشت، حسگر اثر انگشت کاربر را اسکن کرده و آن را به یک تصویر دیجیتال تبدیل می‌کند. جداکننده «مینوتا» تصویر اثر انگشت را برای تعیین جزئیات خاصی که به اصطلاح نقاط مینوتا یا Minutiae Points نامیده می‌شوند، پردازش می‌کند که این نقاط در مراحل بعدی برای تفکیک کاربران مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقاط مینوتا محل‌هایی را که خطوط اصطکاکی ناگهان قطع شده یا به دو یا چند شاخه تقسیم شده‌اند، مشخص می‌کنند. یک تصویر اثر انگشت معمول و با کیفیت، حاوی حدود بیست تا هفتاد نقطه مینوتا خواهد بود. تعداد واقعی مینوتاها به اندازه سطح سنسور و همچنین نحوه قرارگیری انگشت کاربر بستگی دارد. سیستم اطلاعات این نقاط مینوتا، محل و جهت هر یک را به همراه پاره‌ای اطلاعات آماری جمعیتی (Demographic) کاربر را به عنوان یک نمونه در پایگاه داده ثبت نام ذخیره می‌کند.

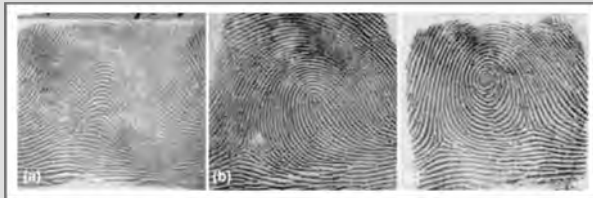
در مرحله تشخیص، کاربر دوباره همان حسگر را لمس می‌کند و از این طریق یک تصویر جدید اثر

فهرست فزاینده کاربردهای تجاری و دولتی تشخیص اثر انگشت، در کنار توسعه و گسترش سنسورهای ارزان قیمت و پردازنده‌های قدرتمند، تقاضا برای سیستم‌های تمام خودکار، با دقت بالا و بی‌درنگ را افزایش داده است.

## الگوهای خطوط اصطکاکی

کلمه VolarSkin از کلمه باستانی رومی Vola به معنای کف دست و پا گرفته شده است. پوست کف دست و پا با پوست سایر نقاط بدن متفاوت است: در تمام قسمت‌ها و به صورت پیوسته، با خطوط نازکی چین خورده است و دارای غده‌های چربی یا مو نیست! این فرم پوست مختص انسان‌ها نیست. تقریباً تمام پستانداران این الگوی معمول خطوط درهم پیچیده را در پوست کف دست و پای خود دارند. چون این خطوط اصطکاکی روی لایه اپیدرمیک (بیرونی) پوست به وجود می‌آیند، به آن‌ها خطوط اپیدرمیک هم گفته می‌شود. اما در واقع لایه داخلی اپیدرم نیز الگوی خطوطی شبیه لایه بیرونی دارد.

تحقیقات رویان‌شناسی (بررسی نحوه رشد جنین) نشان داده که شکل‌گیری لایه‌های بافت volar یا به اصطلاح volar pad پیش از ایجاد خطوط اصطکاکی و در هفته ششم رشد جنین انجام می‌گیرد. خطوط اصطکاکی در نتیجه فشارهای وارد شده ناشی از رشد جنین در ماه چهارم بارداری ظاهر می‌شود. و این خطوط تا حدود هفته هجدهم برجسته نخواهند شد. با جدا شدن خطوط اصطکاکی و باز شدن جا برای خطوط جدید در اثر گسترش مساحت نوک انگشتان، جزئیات خطوط و الگوی آن‌ها به تدریج شکل می‌گیرد.



الگوهای اصلی اثر انگشت: a. کمانی، b. حلقه‌ای، c. مارپیچی

الگوی نهایی خطوط بر اساس شکل، اندازه و جای‌گیری لایه‌های volar یا volar pad با وجود خواهد آمد! به نظر می‌رسد، volar pad های بلندتر و متقارن‌تر باعث ایجاد حالت مارپیچی، volar pad های کوتاه‌تر و متقارن باعث ایجاد حالت کمانی و volar pad های نامتقارن باعث ایجاد حالت حلقه‌ای (مانند آنچه در شکل بالا مشاهده می‌کنید) خواهند شد. تشخیص الگوی کلی اثر انگشت می‌تواند باعث آسانی انجام عمل جست‌وجو در کاربردهای تشخیص اثر انگشت در مقیاس‌های بسیار بزرگ شود. به طور کلی این عقیده وجود دارد که الگوی خطوط اصطکاکی تنها تحت تأثیر فاکتورهای ژنتیکی قرار نمی‌گیرد، بلکه تنش‌ها و کشش‌های فیزیکی تصادفی هنگام رشد جنین نیز بر شکل‌گیری این الگوها اثر خواهند گذاشت و همین تأثیر رخدادهای تصادفی در شکل‌گیری اثر انگشت، باعث یکتایی آن خواهد شد.

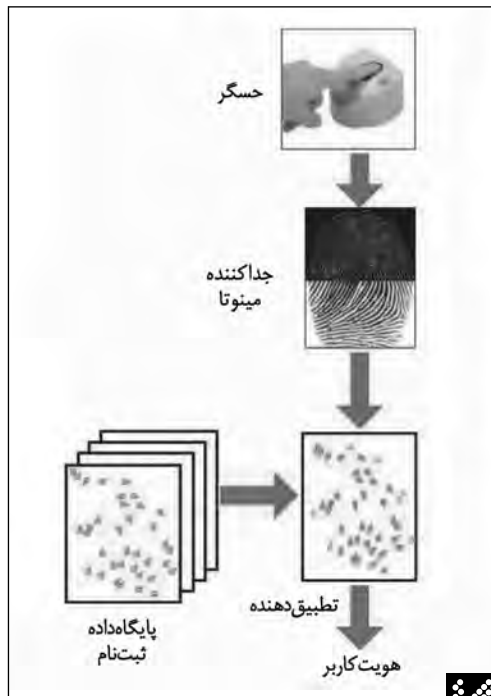
منابع:

- ۱- کتاب «اثر انگشت، کف دست، کف پا: پیش‌درآمدی بر درماتولوژی» نوشته اچ. کامینز و سی. میدلو انتشارات دور ۱۹۶۱
- ۲- مقاله «شکل‌گیری اثر انگشت» نوشته ام. کوکن و ای. سی. نیوول در ژورنال تئوری بیولوژی، شماره ۲۳۵ صفحات ۱۷۱ تا ۸۳

انگشت ایجاد می‌شود که در اصطلاح تصویر پرس و جو (Query Print) نامیده می‌شود. نقاط مینوتای این تصویر پرس و جو نیز استخراج شده و واحد تطبیق نیز مجموعه این نقاط مینوتا را با نمونه‌های موجود در پایگاه داده ثبت‌نام مقایسه می‌کند تا تعداد نقاط مینوتای مشترک را محاسبه کند. به دلیل تفاوت در نحوه قرارگیری انگشت و فشار وارده بر سنسور، تصویر پرس و جو و نمونه تصاویر پایگاه داده باید پیش از مقایسه، برهم منطبق یا به اصطلاح رجیستر شوند. پس از انطباق دو نمونه، واحد تطبیق تعداد جفت‌های یکسان نقاط را تعیین می‌کند. جفت یکسان به دو نقطه‌ای گفته می‌شود که محل و جهت یکسانی داشته باشند. پس از آن، سیستم هویت کاربر را از طریق مقایسه امتیاز تطابق با آستانه‌ای که از سوی مدیر سیستم تعیین شده است، تشخیص می‌دهد.

### تشخیص اثر انگشت

آثار انگشت به روش‌های مختلفی قابل تشخیص هستند. تعداد زیادی از نهادهای قضایی هنوز از روش سنتی «جوهر و کاغذ» استفاده می‌کنند. این روش مستلزم پوشش سطح انگشت با جوهر، چرخش انگشت روی یک کارت از یک سمت ناخن به سمت دیگر آن و سپس



شکل ۱ دیاگرام یک سیستم معمول تشخیص خودکار اثر انگشت. سیستم، هویت کاربر را از طریق مقایسه امتیاز تطابق با یک آستانه مشخص، تعیین می‌کند.

حسگرهای با سطح مؤثر کوچک و دقت پایین به واسطه سهولت جاسازی و استفاده در ابزارها و دستگاه‌های مورد استفاده، معمولاً برای کاربردهای تجاری مناسب‌تر تشخیص داده می‌شوند.

اسکن کردن این کارت برای به دست آوردن یک تصویر دیجیتال است.

در روش پر کاربردتر، یعنی اسکن زنده، تصویر دیجیتال به صورت مستقیم و با قرار دادن انگشت روی سطح یک خواننده اثر انگشت همانند شکل ۲ به دست می آید. در کاربردهای قضایی و دولتی از حسگرهای نوری بر اساس تکنیک انعکاس تمام داخلی خنثی شده یا FTIR (سرنام Frustrated Total Internal Reflection) به صورت گسترده برای ثبت اسکن های زنده از اثر انگشت استفاده می شود، در حالی که در کاربردهای تجاری، حسگرهای تماسی جارویی حالت جامد (Solid-State) بیشترین استفاده را دارند. این حسگرها، دستگاه هایی با پایه سیلیکون هستند که در واقع تفاوت خصوصیات فیزیکی، نظیر رسانایی یا ظرفیت الکتریکی برجستگی ها و فرورفتگی های اثر انگشت را اندازه گیری می کنند.

ثبت آثار انگشت به جا مانده در صحنه های وقوع جرم، نیازمند استفاده از تکنیک های دستی برداشت نظیر روش پودری<sup>۲</sup> است.

مهم ترین خصوصیات خواننده های اثر انگشت، کیفیت تصویر و مساحت محدوده قابل اسکن است. دقت تصویر استاندارد در نهادهای قضایی برابر با نصد پیکسل در هر اینچ است، اما برخی از حسگرهای موجود دو حالت اسکن (۵۰۰ و ۱۰۰۰ پیکسل در اینچ) دارند. سطح مؤثر حسگرهایی که توسط نهادهای قضایی استفاده می شود، معمولاً به اندازه ای بزرگ است که بتواند اثر کف دست و چهار انگشت را همزمان ثبت کند. به چنین حسگرهایی، حسگرهای 10-print یا ده اثره می گویند.

حسگرهای با سطح مؤثر کوچک و دقت پایین به واسطه سهولت جاسازی و استفاده در ابزارها و دستگاه های مورد استفاده، معمولاً برای کاربردهای تجاری مناسب تر تشخیص داده می شوند. حسگرهای جارویی به واسطه اندازه کوچک (به عنوان مثال ۵×۱۴ میلی متر) و قیمت پایین (زیر ۵ دلار) کاربرد وسیعی در گوشی های موبایل، PDA و لپ تاپ ها یافته اند. کارکرد این سیستم مستلزم کشیدن کل سطح انگشت روی سطح حسگر است که در این حالت سنسور برش های تصویری ایجاد می کند که با هم همپوشانی دارند و از طریق این برش ها تصویر کامل اثر انگشت به دست می آید. از حسگرهای اثر انگشت به کار رفته در گوشی های موبایل و PDAها نیز برای راهبری دستگاه و کلیدهای عملیاتی خاص استفاده می شود، به این صورت که اثر انگشت به یک عملیات خاص نسبت داده می شود.

### استخراج خصوصیات

همان گونه که در شکل ۳ (الف) نشان داده شده، خصوصیات استخراج شده از یک تصویر اثر انگشت به طور معمول به سه سطح تقسیم می شوند. مرحله نخست، شامل برداشت جزئیات مقیاس بزرگ نظیر شکل جریان خطوط

اصطکاکی، الگوی اصلی خطوط و نقاط تکی خواهد بود. مرحله دوم به مینو تاهایی نظیر دوشاخه شدن خطوط اصطکاکی و نحوه اتمام آن ها مربوط است و مرحله سوم شامل تمام خصوصیات ابعادی اثر انگشت مانند انحراف خطوط، ضخامت آن ها، شکل خطوط، منافذ و خلل و فرج آن ها، لبه های نهایی خطوط و دیگر جزئیاتی نظیر چین و شکن های خطوط و آثار زخم و بریدگی است.

از خصوصیات به دست آمده در مرحله نخست می توان برای تقسیم بندی آثار انگشت به دسته هایی با الگوهای فرمی کمائی، حلقه ای یا مارپیچی استفاده کرد. خصوصیات مرحله های دوم و سوم را نیز می توان برای تعیین یکتایی اثر انگشت به کار برد جزئیات سطوح بالاتر تنها در صورتی قابل استخراج هستند که دقت تصویر اثر انگشت بالا باشد. به عنوان مثال، جزئیات مرحله سوم به تصاویری با دقت بالاتر از پیکسل در اینچ نیاز دارند.

شکل ۳ (ب) نمونه فلوجارت یک الگوریتم استخراج مینو تای معمول را نشان می دهد. الگوریتم نخست از روی شکل، جهت خطوط و میزان تکرار آن ها را تخمین می زند.

بر اساس این مقادیر و با انجام عملیات فیلتر بر اساس زمینه (Contextual Filtering) کیفیت تصویر را افزایش داده و استخراج خطوط را آسان می کند. الگوریتم سپس با تعقیب خطوط موجود در تصویر بهبود یافته، اسکلت های اصلی خطوط اصطکاکی را به صورت دودویی استخراج می کند. الگوی انتهای خطوط و دوشاخگی ها یا همان مینو تاهای از طریق اسکلت های خطوط استخراج می شوند. در نهایت، الگوریتم برای شناسایی و حذف مینو تاهای اشتباه که ناشی از کامل نبودن تصویر اسکلتی هستند، از یک سری قوانین مکاشفه ای (Heuristic) استفاده می کند.

### انطباق

واحد تطبیق برای هر دو اثر انگشت امتیاز تطابقی را محاسبه می کند که باید برای آثار یک انگشت بالا و برای آثار انگشتان مختلف پایین باشد. انطباق اثر انگشت در میان انواع سیستم های تشخیص الگو، به عنوان یکی از سخت ترین مسائل شناخته می شود. زیرا تفاوت های درون گروهی یا Intraclass Variation (تفاوت بین تصاویر مختلف یک انگشت واحد) و شباهت های برون گروهی Interclass Similarity (شباهت بین تصاویر آثار انگشتان مختلف) در بین آثار انگشتان بسیار زیاد است. تفاوت های درون گروهی معمولاً از فاکتورهایی مانند فشار انگشت و نحوه قرارگیری آن که به واسطه چرخش، جابه جایی و محل انگشت روی محدوده تماس تغییر می کند و همچنین فاکتورهای مرتبط با سنسور و شرایط خود انگشت مانند خشکی پوست یا بریدگی ناشی می شوند. در همین حال شباهت های برون گروهی به واسطه وجود تنها سه نوع کلی الگوی اثر انگشت یعنی کمائی، حلقه ای و مارپیچ بسیار زیاد خواهد بود.

انطباق اثر انگشت در میان انواع سیستم های تشخیص الگو، به عنوان یکی از سخت ترین مسائل شناخته می شود. زیرا تفاوت های درون گروهی و شباهت های برون گروهی در بین آثار انگشتان بسیار زیاد است.

## کارایی سیستم‌های تشخیص اثر انگشت بر اساس نرخ تشخیص مثبت اشتباه یا FPIR

### و نرخ تشخیص منفی اشتباه FNIR یا اندازه‌گیری می‌شود.

اغلب الگوریتم‌های انطباق اثر انگشت، از یکی از این چهار روش استفاده می‌کنند: همبستگی تصویر، انطباق فاز، انطباق اسکلت و انطباق مینوتا. نمونه مبتنی بر مینوتا به دلایل زیر بیشتر استفاده می‌شود:

- نهادهای قضایی با موفقیت کامل و به مدت بیش از یک قرن از این روش برای انطباق آثار انگشت استفاده کرده‌اند.

- سیستم‌های مبتنی بر مینوتا در استفاده از فضای ذخیره‌سازی بهره‌وری بیشتری دارند.

- شهادت متخصصان درباره هویت مجرمان بر اساس انطباق نمونه‌های مینوتا در دادگاه معتبر است.

روشی که اکنون در سیستم‌های مبتنی بر انطباق مینوتا مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارت است از: استفاده از ساختار محلی مینوتاها برای یافتن سریع یک انطباق نسبی بین دو نمونه اثر انگشت و سپس بررسی و اطمینان از انطباق کامل دو نمونه. این نوع الگوریتم تطابق ۲ به صورت کلی مشتمل بر چهار مرحله است. همان‌گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد، الگوریتم نخست جفت شباهت‌های موجود میان دو اثر انگشت را بر اساس مقایسه توصیف‌کننده‌های مینوتا (Minutiae Descriptor) محاسبه می‌کند که این توصیف‌کننده‌ها در برابر عملیات دوران و جابه‌جایی بدون تغییر باقی می‌مانند.

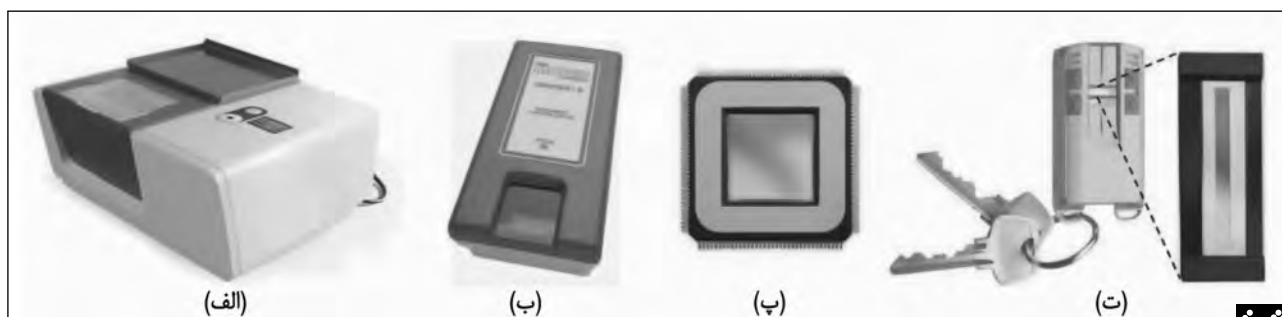
در ادامه الگوریتم بر اساس شبیه‌ترین جفت مینوتاها، دو اثر انگشت را بر هم منطبق می‌کند. مینوتاها یکی که هم از لحاظ موقعیت و هم از لحاظ جهت به حد کافی شبیه هم هستند، به عنوان مینوتاها مر تبسط یا جفت فرض می‌شوند و در نهایت الگوریتم بر اساس فاکتورهایی مانند تعداد مینوتاها یکی‌سان، درصد مینوتاها یکی‌سان در مناطق منطبق شده دو تصویر و سازگاری تعداد خطوط در مینوتاها مشابه امتیاز تطابق دو اثر انگشت را محاسبه می‌کند. این امتیاز نشان‌دهنده میزان شباهت بین دو اثر انگشت است.

### کارایی

سیستم تطابق اثر انگشت می‌تواند دو نوع خطا تولید کند. نوع نخست تطابق اشتباه نامیده می‌شود که در این

خطا، واحد مقایسه، تصاویر دو اثر انگشت متفاوت را یکسان اعلام می‌کند. خطای دوم عدم تطابق اشتباه نامیده می‌شود که در آن دو تصویر یک اثر انگشت واحد متفاوت اعلام می‌شوند. نرخ تطابق اشتباه یا FMR (سرنام False Match Rate) و عدم تطابق اشتباه FNMR (سرنام False NonMatch Rate) یک سیستم، به آستانه عملیاتی سیستم بستگی دارد. امتیاز آستانه خیلی بالا موجب کاهش شدید FMR و در عوض افزایش FNMR می‌شود. برای یک سیستم تشخیص اثر انگشت واحد، کاهش همزمان نرخ هر دو این خطاها غیرممکن است. کارایی سیستم‌های تشخیص اثر انگشت بر اساس نرخ تشخیص مثبت اشتباه یا FPIR (سرنام False Positive Identification Rate) و نرخ تشخیص منفی اشتباه یا FNIR (سرنام False Negative Identification Rate) اندازه‌گیری می‌شود. تشخیص مثبت اشتباه زمانی رخ می‌دهد که سیستم برای بررسی یک اثر انگشت ثبت نشده، نتیجه مثبت (انطباق) را بازمی‌گرداند.

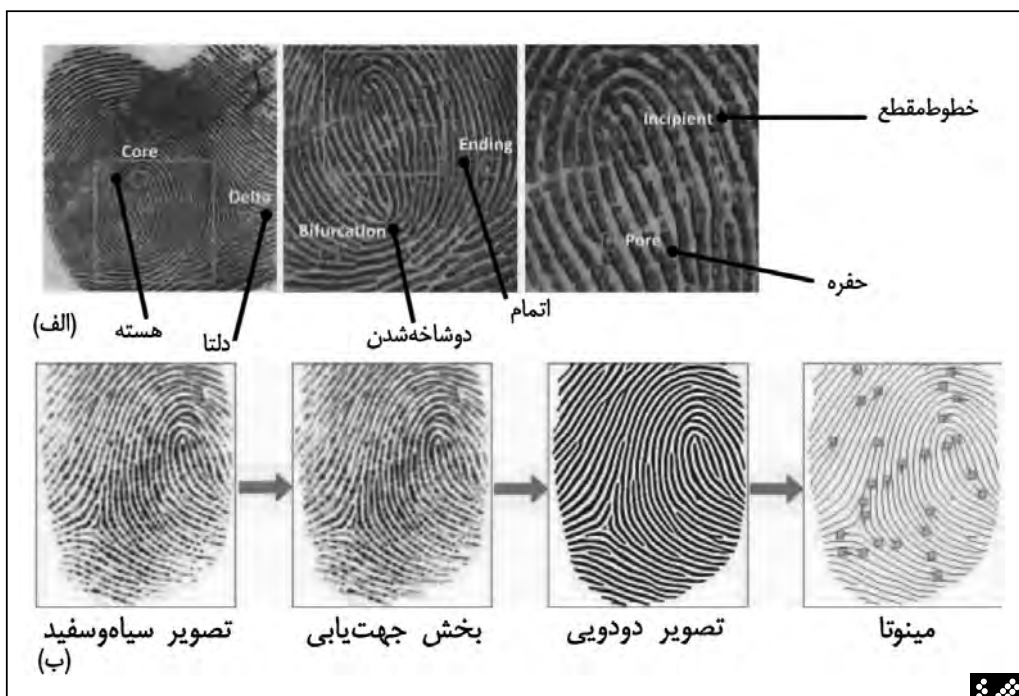
تشخیص منفی اشتباه زمانی رخ می‌دهد که سیستم برای یک اثر انگشت ثبت شده، نتیجه منفی (تطابق اشتباه یا عم تطابق) را بازمی‌گرداند. ارتباط بین این دو فاکتور از طریق رابطه  $FPIR=1-(1-FMR)^N$  محاسبه می‌شود. در این رابطه N تعداد کاربران ثبت شده در سیستم است. از این رو، هر چه تعداد کاربران ثبت شده سیستم افزایش می‌یابد، میزان FMR یا نرخ تطابق اشتباه باید به شدت کاهش یابد تا کارایی سیستم در حد مطلوب حفظ شود. اگر میزان FPIR مورد نیاز برای یک سیستم تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت با صد میلیون کاربر، برابر یک درصد فرض شود، میزان FMR چنین سیستمی باید برابر یک ده میلیاردیم باشد. چنین نرخ سختگیرانه‌ای برای FMR تنها زمانی قابل پیاده‌سازی است که اثر تمام انگشتان افراد برای تشخیص هویت مورد استفاده قرار بگیرد. این امر نشانگر نیاز مداوم به کاهش میزان خطاهای تطابق دهنده‌های اثر انگشت به کار رفته در سیستم‌های تشخیص هویت با مقیاس کلان است. انسیتیوی ملی استاندارد و فناوری امریکا (NIST) ارزیابی‌های زیادی را روی فناوری‌های تشخیص اثر انگشت



شکل ۲ انواع حسگر اثر انگشت: محصولات اپتیکی کراس مچ: الف. (www.crossmatch.com) مدل tnrp-10 (هر ۱۰ انگشت با هم)؛ ب. مدل single-print (اسکن تک اثر انگشت) محصولات حالت جامد آوتنتک؛ پ. (www.authentec.com) مدل تماسی؛ ت. مدل جارویی که در دستگاه‌های (www.privaris.com) Privaris plusID مورد استفاده قرار می‌گیرد.



امکان فیلم برداری انگشتان از فاصله دور سؤالی است که هنوز پاسخی به آن داده نشده و هر راه حلی که برای این مشکل ارائه شود، می تواند انقلابی در این زمینه به وجود آورده و به کشف کاربردهای جدید بسیاری منجر شود.



شکل ۳ استخراج خصوصیات: الف. سطوح استخراج خصوصیات در اثر انگشت. توجه کنید که تصاویر دوم و سوم بزرگ نمایی قسمت هایی هستند که در شکل قبلی با کادر سبز رنگ مشخص شده اند. ب. فلوجارت یک الگوریتم استخراج مینوتای معمول

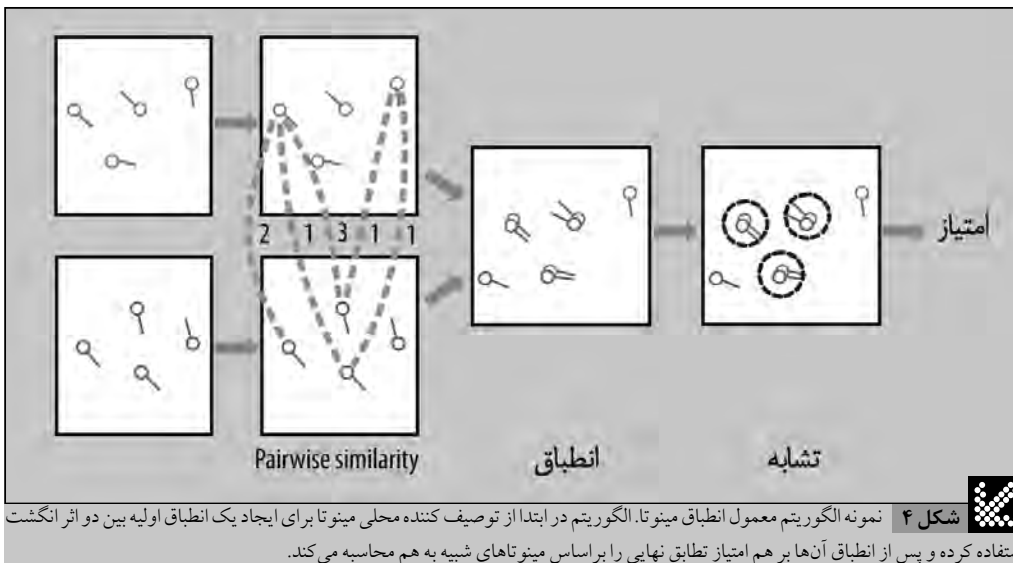
دما، رطوبت و... بستگی دارد. علاوه بر آن، میزان FMR و FNMR مورد نیاز کاملاً به کاربرد مورد نظر برای دستگاه بستگی دارد. به عنوان مثال، سیستم های مبتنی بر اثر انگشت مجموعه های دیزنی، با نرخ بسیار پایین FNMR کار می کنند تا موجب ناراحتی و دردسر مشتریان نشوند، اما در عوض نرخ FMR بالایی دارند. از سوی دیگر، سیستم تشخیص اثر انگشت یک دستگاه خودپرداز ATM به کمترین نرخ FMR نیاز دارد و در نتیجه FNMR بالایی خواهد داشت.

در برخی موارد ممکن است یک سیستم تشخیص اثر انگشت حتی نتواند اثر انگشت کاربر را به درستی دریافت یا ثبت کند. اصطلاحات اشکال در ثبت یا FTE (سرنام Failure To Enroll) و اشکال در دریافت یا FTA (سرنام Failure To Acquire) به مواردی گفته می شود که اطلاعات برخی از کاربران به واسطه کیفیت پایین اثر انگشتانشان در تعدادی از سیستم های تشخیص اثر انگشت قابل ثبت یا پردازش نباشد. به عنوان مثال، افرادی که به کارهای بدنی مشغول هستند یا افرادی که انگشتانشان به واسطه کهولت سن از فرم طبیعی خارج شده ممکن است با این مشکل مواجه شوند. در عمل میزان FTE براساس تعداد و وضعیت اشتغال جمعیت هدف می تواند به نسبت بالا (چندین درصد) باشد.

### فرصت های مطالعاتی موجود

هنوز مشکلات چالش برانگیز زیادی در زمینه دستگاه های تشخیص اثر انگشت، حل نشده باقی مانده اند. تقاضای روزافزون برای کاهش نرخ خطا و اشکال در

انجام داده است (<http://fingerprint.nist.gov>). پاره ای از این ارزیابی ها که از داده های عملیاتی جمع آوری شده در موارد قضایی و دولتی استفاده می کنند، عبارتند از، ارزیابی فروشندگان دستگاه های اثر انگشت (FpVTE)، آزمایش تبادل متقابل مینوتا (MINEX)، قالب اختصاصی اثر انگشت (PFT) و ارزیابی فناوری تشخیص اثر انگشت به جا مانده در صحنه جرم (ELFT). دانشگاه بولونیا پروژه ای به نام FVC-onGoing را (<https://tinyurl.com/38gwg8>) هدایت می کند که در واقع رقابت بین المللی تشخیص اثر انگشت است که بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ پایه گذاری شده است. جدول ۱ به صورت خلاصه نتایج آزمون مقیاس متوسط ۲۰۰۳ FpVTE و تست ۲۰۰۶ FVC2006 و مرحله دوم ۲۰۰۸ ELFT را نشان می دهد. به وضوح مشخص است که کارایی سیستم های مختلف با توجه به خصوصیتی که مورد ارزیابی قرار می گیرد، به شدت متفاوت است. به رغم مفید بودن این ارزیابی ها باید توجه داشت که کارایی سیستم های بیومتریک مختلف همواره قابل مقایسه نیست. افزون بر این، ارزیابی های فناورانه همیشه میزان کارایی عملی دستگاه را نمایش نمی دهند، زیرا همواره میان محیط آزمایشگاه و محیط استفاده دستگاه تفاوت هایی در خصوصیات داده ها، محیط اطراف و نحوه تعامل کاربران با دستگاه خواننده اثر انگشت وجود خواهد داشت. کارایی عملی دستگاه های تشخیص هویت مبتنی بر اثر انگشت به فاکتورهای مختلفی از جمله خصوصیات سنسور، تعداد و نحوه توزیع جمعیت کاربران ثبت شده در سیستم و بسیاری فاکتورهای محیطی نظیر داخل یا خارج قرار گرفتن دستگاه،



یکی از مهم‌ترین ملاحظات امنیتی در زمینه سیستم‌های تشخیص اثر انگشت، دستکاری یا تغییر اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و همچنین سرقت اطلاعات اثر انگشت هنگام انتقال از طریق کانال‌های ارتباطی است.

جهت تصویر برداری و میزان فشار و... کارهای زیادی باید صورت گیرد. حتی در سنسورهای بی‌نیاز از لمس لازم است تا کاربر انگشت یا انگشتانش را در فاصله‌ای نزدیک به سنسور قرار دهد. سیستم‌های بی‌نیاز از لمس را هنوز نمی‌توان برای کاربردهای نظارتی مورد استفاده قرار داد. امکان فیلم‌برداری انگشتان از فاصله دور سؤالی است که هنوز پاسخی به آن داده نشده و هر راه حلی که برای این مشکل ارائه شود، می‌تواند انقلابی در این زمینه به وجود آورده و به کشف کاربردهای جدید بسیاری منجر شود.

سیستم‌های خودکار تشخیص اثر انگشت و نیاز به بهبود امنیت در این سیستم‌ها، فرصت‌های مطالعاتی جالبی را در زمینه‌های مختلف از جمله پردازش تصویر، بینایی ماشینی، مدل‌سازی آماری، رمزنگاری و تولید حسگرها فراهم آورده است.

#### سنسورهای جدید

شکل فیزیکی انگشتان، تهیه الگوی کامل اثر انگشت را به وسیله حسگرهای لمسی مشکل می‌کند. در کاربردهای قضایی، برای به دست آوردن تصاویر باکیفیت مناسب از تمام انگشتان و اغلب از هر انگشت چندین تصویر مختلف تهیه و ثبت می‌شود. از آنجا که اغلب حسگرهای لمسی اثر انگشت به اندازه‌گیری مستقیم خصوصیات سطح انگشت متکی هستند، در تشخیص اثر انگشت افراد مسن که خطوط اصطکاکی پوستشان تحلیل رفته یا افرادی که به واسطه انجام کار بدنی پوست انگشتانشان دارای خراش و بریدگی است، با مشکل مواجه خواهند شد. فشار نامناسب و چرخش انگشت هنگام لمس این نوع سنسورها نیز می‌تواند باعث اعوجاج در تصویر نهایی شود.

#### تصاویر کم کیفیت

به واسطه شرایط غیر ایده آل پوست، انگشتانی که به طور ذاتی کیفیت پایینی دارند (دچار بریدگی شده یا به واسطه عواملی نظیر پیری و... خطوط اصطکاکی را از دست داده‌اند) و نویزهای سنسور، درصد بالایی از تصاویر اثر انگشت تهیه شده، کیفیت پایینی دارند. استخراج خصوصیات از این تصاویر کم کیفیت یا تطبیق آن‌ها، مانند آنچه در شکل‌های ۵(الف) و ۵(ب) آورده شده است، چالشی بزرگ محسوب می‌شود که به مطالعات وسیعی نیاز دارد. در بسیاری از کاربردهای قضایی و دولتی، برای کدگذاری (استخراج الگو) تصاویر کم کیفیت و مقایسه تطابق‌های به دست آمده به وسیله سیستم‌های خودکار تشخیص اثر انگشت، از تخصص انسانی استفاده می‌شود. یکی از راه حل‌های موجود در شرایطی که مداخله انسانی پرهزینه یا مشکل باشد، استفاده از سیستم بیومتریک چندگانه (Multibiometric) است. سیستم بیومتریک چندگانه عبارت است از به کارگیری همزمان چندین خصوصیت بیومتریک نظیر اثر انگشت، اثر کف دست، صورت، عنبیه و صدا. اگرچه تلفیق کامل و بدون نقص خصوصیات بیومتریک مختلف، در هر دو مرحله دریافت اطلاعات (چگونگی دریافت و ثبت یکباره تمام خصوصیات) و همچنین در مرحله پردازش (چگونگی ترکیب کارآمد اطلاعات به دست آمده از خصوصیات

هم‌اکنون سنسورهای جدیدی برای غلبه بر این مشکلات در مراحل طراحی و توسعه قرار دارند. به عنوان مثال، لومیدیگم ([www.lumidigm.com](http://www.lumidigm.com)) سنسورهای اثر انگشتی را تولید کرده که از فناوری چند طیفی برای اسکن مستقیم الگوی اثر انگشت از لایه‌ای پایین تر از سطح پوست استفاده می‌کنند. چنین فناوری‌ای می‌تواند تصاویر با کیفیت تری را از انگشتان خشک، خیس یا کثیف تهیه کند. پژوهشگران تی‌بی‌اس ([www.tbsinc.com](http://www.tbsinc.com)) در حال مطالعه سیستم فیلم‌برداری اثر انگشت دوبعدی و سه بعدی بی‌نیاز از لمس هستند که به احتمال می‌تواند بدون اعوجاج ناشی از چرخش انگشت یا فشار نامناسب، اطلاعات کاملی از اثر انگشت را جمع‌آوری کند. به هر حال، برای بهبود کیفیت تصاویر انگشتان به اصطلاح مشکل دار، در عین اعمال کمترین محدودیت (نظیر

## نمونه نتایج ارزیابی‌های سه‌گانه دقت برای یک فناوری تشخیص اثر انگشت

| بهترین دقت گزارش شده  | داده‌ها   | آزمایش انجام شده          |
|---|---|---------------------------|
| FNMR = 0.6% at FMR = 0.1%   | ۱۰۰۰۰ اثر انگشت ساده  | NIST FpVTE 2003 (MST)     |
| FNMR = 15% at FMR = 0.1%<br>FNMR = 0.02% at FMR = 0.1%<br>FNMR = 3% at FMR = 0.1% | ۱۴۰ انگشت در ۱۲ شکل<br>سنسور میدان الکتریکی (250 ppi)<br>سنسور نوری (569 ppi)<br>سنسور جارویی (500 ppi) | FVC2006                   |
| FNIR = 8% at FPIR = 1%  | ۸۳۵ اثر انگشت به جا مانده در صحنه جرم در برابر صد هزار اثر ثبت شده                                      | NIST ELFT 2008 (Phase II) |

جدول ۱

تخمین نرخ  
خطای تشخیص  
هویت بر اساس  
آثار انگشتان به  
جای مانده در  
صحنه‌های جرم،  
مشکلی اساسی  
است که هنوز حل  
نشده باقی مانده  
است.

مختلف) یکی از مشکلاتی است که به تحقیق و مطالعه نیاز دارد.

### محدوده‌هایی با همپوشانی کم و تغییرات غیر خطی

بیشتر سنسورهای به کار رفته در دستگاه‌های الکترونیکی معمول، سطح حس‌کننده کوچکی دارند. همان‌گونه که شکل ۵ (پ) نشان می‌دهد، این عامل در ترکیب با فرار گرفتن نامناسب انگشت کاربر از روی سنسور، باعث می‌شود که دو تصویر به دست آمده از یک انگشت محدود همپوشانی اندکی داشته باشند. با در نظر گرفتن این نکته که در این ناحیه محدود همپوشانی، تعداد مینو تاهای بسیار کمی وجود خواهد داشت، تعیین این موضوع که آیا دو اثر موجود متعلق به یک انگشت هستند، مشکل خواهد شد. یکی از راه‌های کاهش این مشکل، در زمانی که سطح همپوشانی دو نمونه مورد نظر کم است، استفاده از جزئیات مرحله سوم برای افزایش میزان دقت تشخیص است. اما جزئیات مرحله سوم ممکن است برای کاربردهای تجاری مناسب نباشد، زیرا سنسورهای به کار رفته در این کاربردها معمولاً تنها قادر به ارائه تصاویری با کیفیت پایین هستند. راه‌حل عملی‌تر استفاده از روشی به نام قطعه‌بندی اثر انگشت (Fingerprint Mosaicking) و در کنار آن استفاده از رابط‌های ارگونومیک تر و قابل درک تر برای هدایت کاربران جهت قرار دادن صحیح قسمت میانی انگشتان روی سنسور است.

در روش قطعه‌بندی اثر انگشت، تصویر بزرگ مورد نظر از ترکیب چندین تصویر کوچک تر به دست می‌آید.

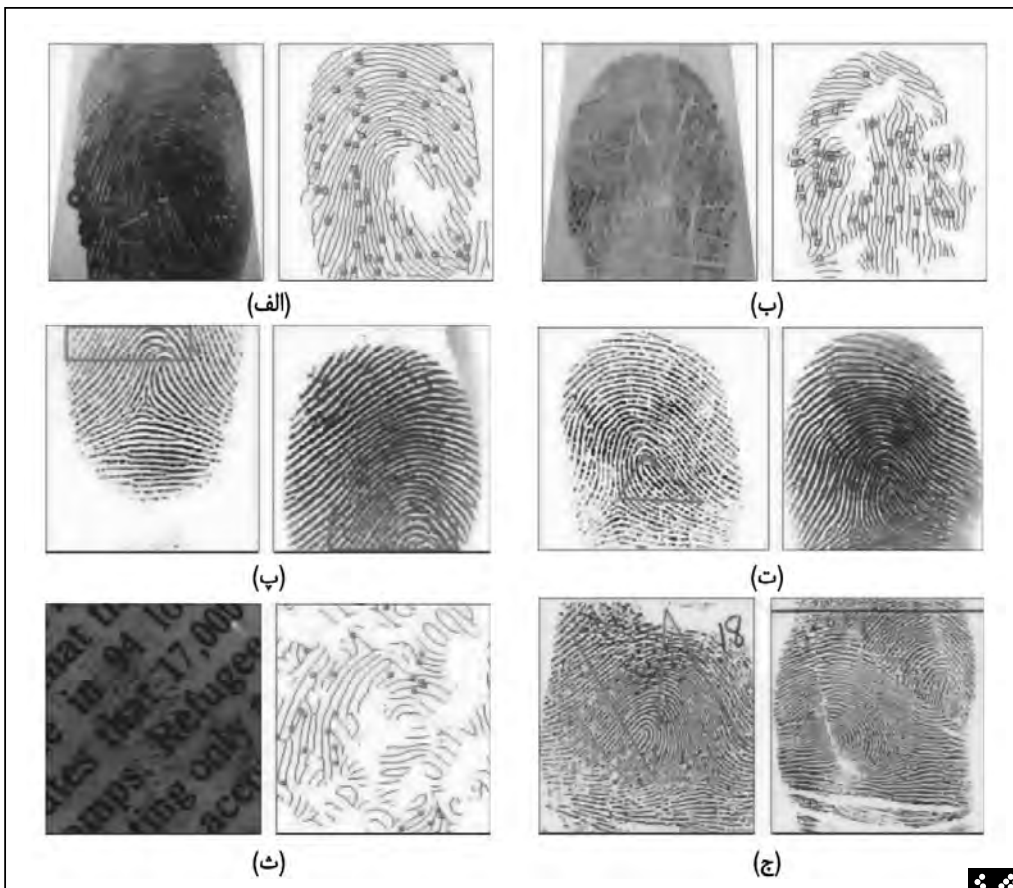
فشار دادن پوست نرم انگشت روی سنسور همواره تغییر شکلی را به وجود می‌آورد که معمولاً تکرار پذیر نیست. همان‌طور که شکل ۵ (ت) نشان می‌دهد، آثار انگشت یکسان ممکن است در اثر تغییر شکل‌های شدید متفاوت به نظر برسند. سنسورهای ارگونومیک و ارائه بازخورد مناسب به کاربر می‌تواند به کاهش این مشکل کمک کند. گزینه دیگر انطباق موضعی آثار انگشت به کمک توصیف‌کننده‌های محلی مینو تا، قبل از جمع‌آوری و مقایسه کلی آن‌ها است.

### آثار انگشت به جا مانده در صحنه‌های جرم

همان‌گونه که شکل ۵ (ث) نشان می‌دهد، آثار به جا مانده در صحنه‌های جرم، معمولاً با مشکلاتی نظیر کیفیت پایین،

محدوده اندک همپوشانی، تغییر شکل‌های غیر خطی و همچنین وجود پس‌زمینه‌های پیچیده روبه‌رو هستند. سیستم‌های خودکار تشخیص هویت برای فائق آمدن بر این مشکل در مراحل کدگذاری (استخراج الگوها) و مقایسه فهرست مظنون‌های ارائه شده از سوی سیستم، به مداخله شدید نیروی انسانی نیاز دارند. به واسطه افزایش تراکنش‌های مرتبط با آثار انگشت به جا مانده در صحنه‌های جرم در کاربردهای قضایی، مدنی، امنیت ملی، پردازش و انطباق خودکار این گونه آثار انگشت، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. مدارک مبتنی بر آثار انگشت به جا مانده در صحنه‌های جرم، مدت یک قرن است که در دادگاه‌های ایالات متحده به عنوان شواهدی خطاناپذیر استفاده می‌شوند. اگرچه در سال‌های اخیر، این روش به صورت پیاپی توسط استاندارد داوبرت (Daubert) به چالش کشیده شده است.

استاندارد داوبرت قانونی در زمینه مدارک محکمه پسند است که شرایط قابل پذیرش بودن مدارک و شواهد علمی را (بیشتر بر اساس قضیه مطرح شده در دادگاه عالی در سال ۱۹۹۳ میلادی: <http://cfr.law.cornell.edu/supct/html/92-102.ZS.html>) کنترل می‌کند. استاندارد داوبرت برای پذیرش نظر متخصصان، دو شرط کلی را در نظر می‌گیرد. نخست اصول علمی زیربنایی باید به صورت گسترده مورد پذیرش قرار گرفته باشند؛ دوم میزان خطای سیستم باید قابل تخمین باشد. تصمیم‌گیری‌های تطابق و عدم تطابق معمولاً توسط نیروی متخصص انسانی انجام می‌گیرد که میزان خطای آن غیر قابل تعیین و برای افراد مختلف متفاوت است. اگرچه محققان بسیاری تلاش کرده‌اند که میزان یکتایی ذاتی آثار انگشت را تخمین بزنند، مشکل اصلی یا همان تخمین میزان خطای تشخیص هویت بر اساس آثار انگشت به جا مانده در صحنه جرم، که در بسیاری از مراحل (نظیر استخراج آثار به جا مانده، استخراج الگوها و تطابق) شامل فاکتورهای انسانی است، هنوز حل نشده باقی مانده است. به احتمال، تنها راه‌حل ماندگار در آینده نزدیک، افزایش مداوم کارایی سیستم‌های خودکار تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت و در نهایت استفاده از آن‌ها به جای نیروی متخصص انسانی است.



**شکل ۵** چالش‌های پیش روی پردازش خودکار اثر انگشت: الف. سمت چپ: اثر انگشت خیس سمت راست: الگوهای استخراج شده؛ ب. سمت چپ: اثر انگشت با بریدگی‌های زیاد، سمت راست: الگوهای استخراج شده پ محدود و همپوشانی با مساحت کم که با مستطیل مشخص شده است ت تغییر شکل‌های غیر خطی بزرگ که هر کدام با یک مثلث نشان داده شده است؛ ث. اثر انگشت به جا مانده در صحنه جرم، با حرفی که در پس زمینه دیده می‌شوند؛ ج. اثر انگشت تحریف شده: مجرم بریدگی‌هایی به شکل حرف Z روی هر یک از انگشتانش ایجاد کرده (شکل سمت چپ) و پس از جابه‌جا کردن دو مثلث به وجود آمده آن‌ها را دوباره به انگشت بخیه زده است (شکل سمت راست).

”  
**اثر انگشت**  
**مهم‌ترین خصیصه**  
**بیومتریک**  
**باقی خواهد**  
**ماند و بسیاری**  
**از کاربردهای**  
**کنترل دسترسی**  
**و مدیریت هویت**  
**به واسطه کارایی**  
**اثبات شده، وجود**  
**پایگاه داده‌های**  
**غنی از گذشته و**  
**در دسترس بودن**  
**خواننده‌های**  
**ارزان قیمت و با**  
**اندازه کوچک،**  
**همچنان به**  
**سیستم‌های**  
**تشخیص اثر**  
**انگشت متکی**  
**خواهند بود.**

### آثار انگشت جعلی یا دستکاری شده

افراد ممکن است به دلایل مختلف و به روش‌های مختلف، اثر انگشت خود را دستکاری کنند. به عنوان مثال، یک کاربر غیر مجاز می‌تواند با استفاده از یک انگشت جعلی که الگوی اثر انگشت یک کاربر مجاز را شبیه‌سازی می‌کند، به سیستم‌های کامپیوتری دسترسی پیدا کند. مجرمان ممکن است آثار انگشت جعلی ساخته شده را با موادی نظیر چسب روی انگشتان خود قرار دهند یا همان‌گونه که شکل ۵ (ج) نشان می‌دهد، برای پیش‌گیری از شناسایی توسط سیستم‌های خودکار اثر انگشت به عمد در اثر انگشتشان تغییر و تحریف ایجاد کنند.

نخستین واکنش در جهت عقیم گذاشتن استفاده از انگشتان جعلی، تشخیص حیات است. تشخیص حیات به معنای کنترل زنده بودن انگشت از طریق اندازه‌گیری و بررسی علائم حیاتی مختلف نظیر نبض، تفرق و تغییر فرم است. اگرچه راه‌حل‌های تشخیص حیات نرم‌افزاری به کار رفته در اسکنرهای اثر انگشت موجود ممکن است به لحاظ هزینه مقرون به صرفه باشند، اما هنوز آینده روشنی برای آن‌ها پیش‌بینی نمی‌شود. برای مقابله با آثار انگشت تحریف شده،

باید از تشخیص دهنده تحریف استفاده کرد. زمانی که تحریفی در اثر انگشت تشخیص داده شد، باید تلاش شود تا از طریق بازسازی اثر انگشت اولیه یا استفاده از قسمت‌هایی که مورد تحریف قرار نگرفته‌اند، هویت سوژه مشخص شود. با رواج استفاده از مشخصات بیومتریک چندگانه در سیستم‌های مقیاس کلان تشخیص هویت، نظیر سیستم NGI متعلق به FBI، بیومتریک چندگانه به ابزاری کارآمد برای کنترل آثار انگشت تحریف شده، تبدیل خواهد شد.

### سازگاری (بین قطعات و سازندگان مختلف)

مشکل سازگاری می‌تواند در هر سه قسمت اصلی یک سیستم تشخیص اثر انگشت یعنی سنسور، استخراج‌کننده الگو و تطبیق دهنده به وجود آید. تصاویر خروجی سنسورهای مختلف ممکن است به لحاظ دقت، اندازه، تغییر شکل، کنتراست، نویز پس‌زمینه و سایر موارد متفاوت باشند. استخراج‌کننده‌های مختلف ممکن است الگوهای متفاوتی را استخراج کنند یا تعریف‌های متفاوتی از یک الگوی واحد ارائه دهند. چنین تنوعی ساخت یک سیستم تشخیص اثر انگشت را با استفاده از قطعات اولیه تولید شده توسط سازندگان مختلف مشکل می‌کند.



شکل ۶ آثار انگشت قابل تعویض: اعمال یک تغییر شکل ریاضی برگشت ناپذیر روی نمونه اثر انگشت سمت چپ باعث تولید نمونه سمت راست می شود. در این صورت حتی با فاش شدن نمونه تغییر شکل یافته، اثر انگشت اصلی را نمی توان به سادگی بازیابی کرد.

چند جانبه در پایگاه های داده مختلف برای رد گیری مخفیانه افراد بدون اطلاع و رضایت آنها استفاده شود و به این ترتیب حریم خصوصی آنها را نقض کند.

مسورد دیگر این که برخلاف سایر روش های تعیین دسترسی نظیر کلمه عبور یا کارت های شناسایی که می توانند به آسانی از اعتبار ساقط و تعویض شوند، افراد نمی توانند به دلخواه نمونه اثر انگشت خود را تغییر دهند و در نتیجه فاش شدن نمونه های اثر انگشت باعث می شود، اعتبار آنها برای همیشه از دست برود. رمزنگاری صرف نمونه های اثر انگشت کافی نخواهد بود، زیرا چنین نمونه هایی تا زمانی از امنیت برخوردار هستند که کلید بازگشایی آنها به صورت امن نگه داری شود. اغلب حمله های گزارش شده به گذرنامه های بیومتریک در کشورهای اروپایی، از طریق سرقت هوشمندانه کلیدهای رمزگشایی سعی در نفوذ به این حفره امنیتی کرده اند. دو راهبرد برای امن سازی نمونه های اثر انگشت پیشنهاد شده است: راه نخست، اعمال یک تغییر شکل ریاضی برگشت ناپذیر روی نمونه و تنها ذخیره فرم تغییر یافته است. در این حالت حتی اگر نمونه تغییر شکل یافته فاش شود. نمونه اصلی اثر انگشت را نمی توان به سادگی بازیابی کرد. چون در این روش می توان از یک انگشت واحد و با اعمال تغییر شکل های مختلف، الگوهای متفاوتی تولید کرد (همان گونه که شکل ۶ نشان می دهد) که در این صورت آن را اثر انگشت قابل تعویض (Cancellable Fingerprint) می نامند. روش امید بخش دیگر استفاده از سیستم رمزنگاری بیومتریک است که بر اساس نمونه های بیومتریک به تولید کلید رمزنگاری می پردازد.

مشکل هر دو شیوه این است که در طی فرآیند تغییر شکل یا تولید کلید رمزگذاری قسمتی از اطلاعات اثر انگشت از بین خواهد رفت که این امر متأسفانه بر دقت سیستم های تشخیص اثر انگشت تأثیر خواهد داشت. البته، محققان در حال بررسی روش هایی جهت کاهش این افت

برای افزایش سازگاری میان سیستم های مختلف اثر انگشت، سازمان بین المللی استاندارد، استانداردهایی را درباره سنسورها، الگوها و آزمایش سیستم منتشر کرده است. استاندارد کیفیت تصویر سنسورهای اثر انگشت و استاندارد فرمت انتقال داده ها برای الگوهای مینوتا، از جمله این موارد هستند<sup>۷</sup>. البته برتری نمونه های اختصاصی این سیستم ها در آزمایش های تعیین دقت NIST MINEX نسبت به نمونه های ساخته شده با اصول استاندارد، بیانگر این مطلب است که استانداردهای فعلی باید به عنوان مثال از طریق افزودن قابلیت های اضافی بهبود یابند.

مشکلات قابل توجه در تطبیق دهنده های اثر انگشت به نسبت کمتر است. توزیع امتیاز در تطبیق دهنده های مختلف ممکن است متفاوت باشد که همین امر باعث بروز مشکل هنگام استفاده از الگوریتم های چندگانه یا بیومتریک چندگانه خواهد شد. تلاش های محدودی در زمینه استانداردسازی خروجی تطبیق دهنده ها صورت گرفته است.

#### سیستم روی یک دستگاه

یکی از مهم ترین ملاحظات امنیتی در زمینه سیستم های تشخیص اثر انگشت، دستکاری یا تغییر اجزای سخت افزاری یا نرم افزاری و همچنین سرقت اطلاعات اثر انگشت هنگام انتقال از طریق کانال های ارتباطی (نظیر واسطه بی سیم بین یک دستگاه خواننده پاسپورت و تراشه حاوی نمونه اثر انگشت فرد جای داده شده در داخل پاسپورت) است. برای غلبه بر این مشکل می توان از رویکرد «سیستم روی یک دستگاه» استفاده کرد، که در این رویکرد سنسور، استخراج کننده الگو، تطبیق دهنده و حتی نمونه اثر انگشت فرد، همه در یک دستگاه مقاوم در برابر دستکاری (نظیر محصولات Privaris PlusID که در شکل ۲ (پ) نشان داده شده اند) جای داده می شوند. مزیت این فناوری این است که اطلاعات مربوط به اثر انگشت کاربر هیچ گاه از دستگاه خارج نمی شود. تنها نتیجه تطابق به صورت کاملاً امن به بیرون منتقل خواهد شد. همچنین می توان از ابزارهای شناخته شده رمزنگاری برای جلوگیری از تغییر یا دستکاری اطلاعات اثر انگشت استفاده کرد.

#### امنیت نمونه اثر انگشت

در حالی که فناوری «سیستم روی یک دستگاه» را می توان در کاربردهای محدود و مقایسه ای اثر انگشت به کار برد، سیستم های تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت، ملزم به ذخیره متمرکز اطلاعات اثر انگشت در پایگاه های داده هستند. فاش شدن یا استفاده غیر مجاز از اطلاعات نمونه های اثر انگشت موجود در چنین پایگاه های داده ای تهدید بزرگی برای امنیت و حریم خصوصی کاربران خواهد بود. اطلاعات سرقت شده نمونه های اثر انگشت را نه تنها می توان توسط مهندسی معکوس در جهت ساخت یک نمونه جعلی<sup>۸</sup> یا ارائه دوباره آن به سیستم مورد استفاده قرار داد، بلکه ممکن است از طریق مقایسه

”  
**تشخیص هویت بی درنگ در کاربردهای که شامل میلیاردها نمونه اثر انگشت است، ایجاد نمونه‌های امن و قابل تغییر اثر انگشت در عین حفظ دقت سیستم و در نهایت اثبات علمی یکتایی اثر انگشت از چالش‌های بزرگ آینده محسوب می‌شوند.**  
 “

دقت بدون به خطر افتادن امنیت نمونه‌ها هستند. سیستم‌های خودکار تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت، در کل دنیا برای کاربردهای قضایی و مدنی با موفقیت کامل مورد استفاده قرار گرفته‌اند و هر روز کاربردهای جدیدی برای سیستم‌های تطبیق اثر انگشت کشف می‌شود. به هر حال، اثر انگشت مهم‌ترین خصیصه بیومتریک باقی خواهد ماند و بسیاری از کاربردهای کنترل دسترسی و مدیریت هویت به واسطه کارایی اثبات شده، وجود پایگاه داده‌های غنی از گذشته و در دسترس بودن خواننده‌های ارزان قیمت و با اندازه کوچک، همچنان به سیستم‌های تشخیص اثر انگشت متکی خواهند بود. همچنین شواهد مبتنی بر اثر انگشت در محاکم قانونی قابل پذیرش و استناد هستند. اگر چه نیم قرن است که فناوری تشخیص اثر انگشت در حال بسط و توسعه قرار دارد، مشکلات جدید مطالعاتی نیز به همراه گسترش وسیع این فناوری در حال بروز هستند، که از جمله این مشکلات می‌توان به استخراج خصوصیات مرحله سوم، تشخیص زنده بودن انگشت و تشخیص خودکار آثار به جا مانده در صحنه‌های جرم اشاره کرد. همچنین مواردی نظیر تشخیص اثر انگشت از فاصله دور، تشخیص هویت بی درنگ در کاربردهایی که شامل میلیاردها نمونه اثر انگشت است، ایجاد نمونه‌های امن و قابل تغییر اثر انگشت در عین حفظ دقت سیستم و در نهایت اثبات علمی یکتایی اثر انگشت از چالش‌های بزرگ آینده محسوب می‌شوند.

اگر چه تشخیص اثر انگشت یکی از نخستین کاربردهای تشخیص الگو توسط کامپیوتر محسوب می‌شود، دقت سیستم‌های تطبیق اثر انگشت بسیار مدرن نیز هنوز در بسیاری از موارد به ویژه در زمینه آثار به جا مانده در صحنه‌های جرم، قابل مقایسه با دقت نیروی متخصص انسانی نیست. دستیابی به پیشرفت‌های بزرگ در این زمینه نه تنها نیازمند درک عمیق تر از نحوه شکل‌گیری خطوط اصطکاکی است، بلکه به سازگاری با پیشرفت‌های حاصل در زمینه فناوری حسگرها، پردازش تصویر، تشخیص الگو، یادگیری ماشینی، رمزنگاری و مدل‌سازی آماری نیز نیاز دارد. هر چند فناوری تشخیص اثر انگشت با موفقیت در کاربردهای تجاری مورد استفاده قرار گرفته است، اما سرمایه‌گذاری بیشتر در تحقیقات بنیادین<sup>۹</sup> می‌تواند دستاوردهای بیشتری را برای ما به ارمغان آورد. در نهایت، همکاری متقابل بین گروه‌های تحقیقاتی صنعتی و دانشگاهی نیز می‌تواند بر سرعت توسعه سیستم‌های تطبیق اثر انگشت بیافزاید. 

### درباره نویسندگان:

• **آنیل ک. جین:** استاد مشهور بخش مهندسی و علوم کامپیوتر و همچنین بخش مهندسی برق و کامپیوتر در دانشگاه ایالتی میشیگان است. وی همچنین با دپارتمان مغز و مهندسی دانش دانشگاه کره در مسئول همکاری دارد. زمینه‌های تحقیقاتی وی عبارتند از: تشخیص الگو، بینایی کامپیوتری و تشخیص

بیومتریک. جین مدرک دکترای خود را در زمینه مهندسی برق از دانشگاه ایالتی اوهایو دریافت کرده است. او همچنین از اعضای ACM، IEEE، انجمن توسعه علوم آمریکا، انجمن بین‌المللی تشخیص الگو (IAPR) و SPIE است. از طریق آدرس jain@cse.msu.edu می‌توانید با وی تماس بگیرید.

• **جیان جیان فنگ:** دانشیار بخش اتوماسیون در دانشگاه سینگ هوا در پکن است. زمینه‌های تحقیقاتی وی عبارتند از: پردازش تصویر، تشخیص الگو و تشخیص بیومتریک. فنگ مدرک دکترای خود را در زمینه مهندسی ارتباطات از دانشگاه پست و ارتباطات راه دور پکن دریافت کرده است. از طریق آدرس jfeng@tsinghua.edu.cn می‌توانید با وی تماس بگیرید.

• **کار تیک نانداکومار:** یکی از اعضای گروه تحقیقاتی انستیتوی تحقیقات اطلاعات و ارتباطات A\*STAR سنگاپور است. زمینه‌های تحقیقاتی وی عبارتند از: تشخیص الگوی ایستا، بینایی کامپیوتری، پردازش تصویر و تشخیص بیومتریک. وی مدرک دکترای خود را در زمینه مهندسی و علوم کامپیوتر از دانشگاه ایالتی میشیگان دریافت کرده است. او همچنین یکی از اعضای IEEE، گروه کامپیوتر IEEE و IAPR است. از طریق آدرس knandakumar@i2r.a-star.edu.sg می‌توانید با وی تماس بگیرید.

### پی‌نوشت:

۱- «**راهنمای بیومتریک**»، نوشته: ای. کی. جین، پی. فلین و ای. ای. راس، سال ۲۰۰۷، انتشارات Springer.

۲- «**پیشرفت در فناوری تشخیص اثر انگشت**»، ویرایش دوم، نوشته: اچ. سی. لی و آر. ای. جنسلن، سال ۲۰۰۱، انتشارات CRC Press.

۳- «**راهنمای بیومتریک چندگانه**»، نوشته: ای. ای. راس، کی. نانداکومار و ای. کی. جین، سال ۲۰۰۸، انتشارات Springer.

۴- مقاله «**ترکیب توصیف‌کننده‌های مینوتا برای انطباق اثر انگشت**»، نوشته: جی. فنگ ژانویه ۲۰۰۸، نشریه تشخیص الگو.

۵- مقاله «**در باب یکتایی آثار انگشت**»، نوشته: اس. پانکانتی، اس. پراب‌هاکار و ای. کی. جین، آگوست ۲۰۰۲، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی.

۶- «**تحلیل کمی-کیفی خطوط اصطکاکی: مقدمه‌ای بر خط شناسی پایه و پیشرفته**»، نوشته: دی. آر. آشیاو سال ۱۹۹۹، انتشارات CRC Press.

۷- «**راهنمای تشخیص اثر انگشت**»، نوشته: دی. مالتونی و دیگران، ویرایش دوم، سال ۲۰۰۹، انتشارات Springer.

۸- مقاله «**تشخیص تصویر اثر انگشت از طریق قالب‌های استاندارد**»، نوشته: آر. کاپلی و دیگران، سپتامبر ۲۰۰۷، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی.

۹- «**تقویت علوم قضایی در ایالات متحده: مسیری به سوی آینده**»، نوشته: شده توسط انجمن تحقیقات ملی آکادمی ملی، سال ۲۰۰۹، انتشارات آکادمی ملی.

سیستم‌های تشخیص عنبیه در دهه گذشته جهشی عظیم را شاهد بوده‌اند، اما برای اثبات کارایی و دقت آن‌ها در شرایط غیر ایده‌آل نظیر نورپردازی نامناسب، فاصله زیاد نسبت به چشم فرد و سوژه‌های متحرک، هنوز راه زیادی در پیش است.

# تشخیص عنبیه: راهی به آینده

«نویسنده: آرون راس «منبع: IEEE Computer، فوریه ۲۰۱۰» ترجمه: احمد شریف پور

SHABAKEH  
[NETWORK]

شبکه



۲۸۹

آبان

۱۳۸۹

بیومتریک در واقع علم احراز هویت انسان‌ها با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی یا رفتاری نظیر چهره، اثر انگشت، اثر کف دست، عنبیه، فرم هندسی دست و صدا است. در این میان سیستم‌های تشخیص عنبیه به طور خاص توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، زیرا بافت غنی عنبیه معیارهای بیومتریک قوی را برای تشخیص هویت افراد فراهم می‌کند!



”

**چالش سنگین پیش‌رو، تعیین دقیق موقعیت کره چشم و سپس محل عنبیه در تصاویر تهیه شده از فاصله‌های به نسبت زیاد و در وضعیت‌های مختلف افراد است.**

“

عنبیه که در دست در پشت قرنیه و جلوی لنز قرار گرفته است، از ماهیچه‌های کشنده و اسفنکتر که اندازه مردمک را تغییر می‌دهند، استفاده می‌کند تا میزان نوری را که وارد چشم می‌شود، تنظیم کند. تصاویر طیف نزدیک مادون قرمز (NIR) از سطح جلویی عنبیه، الگوهای پیچیده‌ای را نمایش می‌دهند که سیستم‌های کامپیوتری می‌توانند از آن‌ها برای تشخیص هویت افراد استفاده کنند. از آنجا که پروتوکل‌های NIR می‌توانند از سطح عنبیه رد شوند، خواهند توانست جزئیات پیچیده بافت‌های داخل عنبیه را حتی در تیره رنگ‌ترین عنبیه‌ها آشکار کنند. پیچیدگی بافت عنبیه و تنوع آن در چشم‌های مختلف دانشمندان را به این نتیجه رساند که عنبیه افراد منحصر به فرد است. همچنین عنبیه تنها اندام داخلی بدن است که به طور عادی از بیرون هم قابل رؤیت است. بنابراین، برخلاف اثر انگشت و اثر کف دست، شرایط محیطی نمی‌توانند به سادگی بر آن تأثیر گذاشته یا الگوی آن را تغییر دهند. کادر «چه چیز عنبیه را منحصر به فرد می‌کند؟» به قابلیت‌های تشخیص هویت از طریق عنبیه اشاره می‌کند.

سیستم تشخیص هویت براساس عنبیه از انطباق الگوها برای مقایسه دو تصویر عنبیه استفاده کرده و یک امتیاز تطابق را ارائه می‌کند که درجه تطابق یا عدم تطابق دو تصویر را نشان می‌دهد. سیستم‌های تشخیص عنبیه مدت‌ها است که در سراسر جهان استفاده می‌شوند. نمونه‌های این استفاده عبارتند از، سیستم ردگیری تبعیدشدگان در امارات متحده عربی، سیستم خدمات رفاهی برای آوارگان افغانی در پاکستان، سیستم کنترل مرزی مهاجرت در فرودگاه شیپول در هلند و برنامه مسافران کم‌خطر شناخته‌شده در مرزهای کانادا و آمریکا. برای ارتقای هر چه بیشتر پیشرفت‌هایی که در دهه گذشته در زمینه تشخیص هویت از طریق عنبیه رخ داده، محققان باید بر مشکلاتی نظیر ثبت تصویر عنبیه با کیفیت مناسب در شرایطی غیر از شرایط ایده‌آل یا تشخیص دقیق محدوده عنبیه در تصاویر با کیفیت پایین غلبه کنند. به هر حال، آینده نوید بخش تشخیص از طریق عنبیه که خود زاده پیچیدگی‌های الگوی عنبیه و پایداری اثبات شده آن است، باعث ایجاد انگیزه برای حل این مشکلات شده و استفاده وسیع‌تر از سیستم‌های تشخیص عنبیه را آسان‌تر می‌کند.

### آنانومی قرنیه

عنبیه برای کنترل میزان نوری که وارد چشم شده و به شبکیه برخورد می‌کند، اندازه مردمک را بزرگ و کوچک می‌کند. عنبیه از دو بخش بافت قدامی و لایه مخاطی خلفی تشکیل شده که بافت قدامی در واقع نقطه تمرکز تمام سیستم‌های خودکار تشخیص از طریق عنبیه است. همان‌گونه که شکل ۱ نشان می‌دهد، سطح جلویی عنبیه به دو بخش ناحیه مردمکی و مویرگی تقسیم می‌شود که

به وسیله طوقه (Collarette) از یکدیگر جدا می‌شوند. طوقه در واقع محل همپوشانی ماهیچه‌های اسفنکتر و کشنده است که به شکل یک خط زیگزاگ عجیب دیده می‌شود. جزئیات بافت این دو ناحیه به صورت معمول با یکدیگر متفاوت است.

با بزرگ و کوچک شدن مردمک، حفره‌های Crypt که در واقع بافت‌هایی بیضوی و گودال مانند در ناحیه اطراف طوقه هستند، امکان ورود و خروج سریع مایعات بافتی به عنبیه را فراهم می‌کنند. یک سری خطوط شعاعی که مشتمل بر نوارهایی از جنس بافت متصل کننده هستند و در اطراف Crypt قرار دارند، با منقبض شدن مردمک کشیده و مستقیم شده و با باز شدن مردمک به حالت موجی شکل جمع می‌شوند. شیارهای هم مرکز نزدیک بخش بیرونی ناحیه مویرگی هنگام باز شدن مردمک عمیق‌تر شده و باعث چین خوردن عنبیه می‌شود. این شیارهای همگرا به سادگی در عنبیه‌های تیره قابل تشخیص است.

مرکز مردمکی (Pupillary) و مرز میان بافتی (Limbus) محدوده فضایی عنبیه را مشخص کرده و در تصاویر دو بعدی چشم به تمیز دادن عنبیه از سایر ساختارهای بصری نظیر مژه‌ها، پلک‌ها، سفیدی چشم و مردمک کمک می‌کنند. جزئیات غنی بافتی که در سطح خارجی عنبیه نهفته است، معیارهای بیومتریکی قدرتمندی را برای تشخیص هویت افراد فراهم می‌کنند.

### اجزای سیستم‌های تشخیص عنبیه

همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، اغلب سیستم‌های تشخیص هویت بر اساس عنبیه از پنج بخش پایه تشکیل شده‌اند که در نهایت به اتخاذ تصمیم درست منجر می‌شوند.

- **واحد ثبت:** به کمک یک دوربین CCD تک رنگ حساس به پرتو نزدیک مادون قرمز (NIR) تصویر دو بعدی از چشم تهیه می‌کند.
- **واحد تفکیک:** محدوده فضایی عنبیه را از طریق جداسازی آن از سایر اندام‌های بصری نظیر سفیدی چشم، مردمک، مژه‌ها و پلک تعیین می‌کند.
- **واحد نرمال‌سازی:** با اجرای یک روند نرمال‌سازی هندسی، مشخصات عنبیه تفکیک شده را از مختصات دکارتی به مختصات قطبی تبدیل می‌کند.
- **واحد کدگذاری:** از یک روال استخراج الگو برای تولید یک کد دودویی استفاده می‌کند.

● **واحد تطبیق:** تعیین می‌کند که کد تولید شده تا چه حد با نمونه ذخیره شده در پایگاه داده مطابقت دارد.

**واحد ثبت**

در اغلب سیستم‌های تشخیص عنبیه فرد باید چشم خود را در فاصله شش اینچی دوربین قرار دهد. یک منبع خارجی نور نزدیک مادون قرمز، که به طور معمول در کنار سیستم ثبت قرار گرفته عنبیه را روشن می‌کند. سیستم



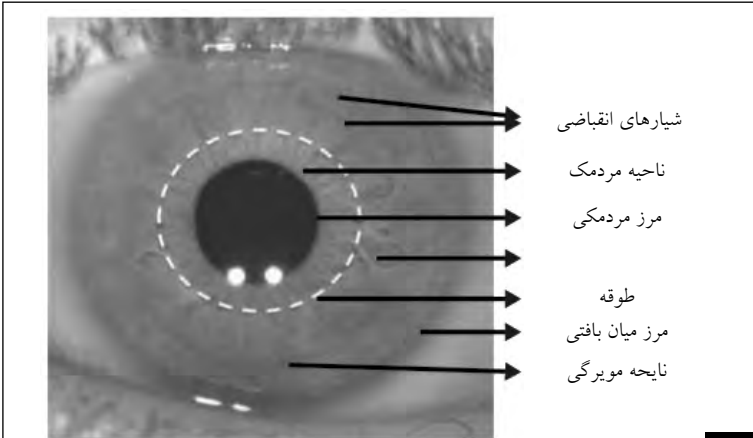
## «چه چیز عنبیه را منحصر به فرد می‌کند؟»

بر اساس سوابق مطالعات بیومتریکی عنبیه به طور ذاتی بین افراد مختلف متفاوت است. حتی عنبیه دوقلوهای همسان هم تفاوت‌های ساختاری از خود نشان می‌دهند که نشأت گرفته از تأثیر عوامل اتفاقی بر روند شکل‌گیری بافت‌ها است. آزمایش‌هایی که در مقیاس وسیع انجام شده است، قابلیت تشخیص هویت افراد را بر اساس بانک اطلاعاتی از انواع الگوهای عنبیه تأیید می‌کند. یکی از این آزمایش‌ها که روی بانک اطلاعاتی مشتمل بر ۶۳۲۵۰۰ تصویر عنبیه - تهیه شده از ۳۱۶۲۵۰ داوطلب از ۱۵۲ کشور مختلف - انجام شده است، تأیید می‌کند که ایجاد یک سیاست تصمیم‌گیری که نرخ تشخیص اشتباه آن صفر باشد، کاملاً امکان‌پذیر است.<sup>۱</sup>

البته، این نرخ بر اساس کیفیت تصاویر عنبیه تهیه و پیش‌بینی شده است، که کیفیت این تصاویر باید به دقت کنترل شود تا از وضوح الگوهای بافتی قرینه اطمینان حاصل شود. تحقیقاتی که مؤسسه ملی استاندارد و فناوری در سال ۲۰۰۶ روی تصاویری با محدوده گسترده‌ای از کیفیت انجام شده، نشان می‌دهد که در کارآمدترین سیستم‌های تشخیص عنبیه، نرخ تشخیص اشتباه عدم تطابق ۱/۱ تا ۱/۴ درصد در مقابل نرخ تشخیص اشتباه تطابق معادل ۰/۱ درصد است.<sup>۲</sup>

### مراجع:

- ۱- «تصادفی بودن اپیزونیک، پیچیدگی و یکتایی الگوی عنبیه»، نوشته: جی. داوگمن و سی. داونینگ، شماره ۲۶۸ سری B ژورنال انجمن سلطنتی علوم، سال ۲۰۰۱، صفحات ۱۷۳۷ الی ۱۷۴۰
- ۲- مقاله «آزمایش یکتایی و تصادفی بودن عنبیه: نتایج مقایسه ۲۰۰ میلیارد جفت عنبیه»، نوشته: جی. داوگمن، شماره ۱۱ سری ۱۴ نشریه Proc. IEEE، سال ۲۰۰۶، صفحات ۱۹۲۷ الی ۱۹۳۵
- ۳- مقاله «نتایج مقیاس بالای FVRT 2006 و ICE 2006»، نوشته: پی. جی. فیلیپس و سایرین، شماره ۴۸، شماره ۷۰ نشریه NIST (مؤسسه ملی استاندارد و فناوری)، سال ۲۰۰۷، <http://iris.nist.gov/ice/ice2006.htm>



شکل ۱ سطح خارجی عنبیه که توسط نور نزدیک مادون قرمز فیلم برداری شده است. این بخش خارجی الگوهای بافتی پیچیده‌ای دارد که معیارهای قدرتمندی برای تشخیص هویت افراد فراهم می‌کنند.

تفکیک، پیکسل‌های عنبیه (با ارزش یک) را از پیکسل‌های مژه‌ها و پلک و... (با ارزش صفر) جدا می‌کند. پس از نرمال‌سازی، تبدیلات فتومتریک، ساختار بافتی عنبیه بازگشایی شده را تقویت می‌کنند.

### واحد کدگذاری

با این که سیستم تشخیص می‌تواند به صورت مستقیم از تصاویر بازگشایی شده عنبیه برای مقایسه استفاده کند (به عنوان مثال، با فیلترهایی نظیر همبستگی)، اما اغلب سیستم‌ها ابتدا از یک فرآیند استخراج الگو برای کدگذاری محتوای تصویر بافت عنبیه استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های کدگذاری به صورت معمول با استفاده از یک سری فیلتر موجی (Wavelet) و مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها، تصاویر عنبیه را با دقت‌های مختلف تحلیل

ثبت، یک سری تصویر از چشم تهیه می‌کند و با استفاده از تعدادی نقشه، کیفیت تصاویر را بررسی کرده و تصویری را که حاوی اطلاعات مناسبی از عنبیه است، انتخاب می‌کند که این تصویر خود در ادامه وارد مراحل دیگری از پردازش می‌شود.

### واحد تفکیک

واحد تفکیک مرز مردمکی و مرز میان بافتی را تشخیص داده و قسمت‌هایی را که پلک و مژه‌ها با خط مرز میان بافتی تداخل داشته‌اند، شناسایی می‌کند. عمل انتگرال تفاضلی (integro-differential) متد معمولی است که برای تشخیص این تداخل‌ها به کار برده می‌شود. هر چند تحقیقات اخیر، استفاده از منحنی‌های میزان فعال را برای بررسی خصوصیات حد مرزهای غیر مخروطی پیشنهاد می‌کنند<sup>(۳)</sup>. معادله انتگرال تفاضلی به فرم زیر تعریف می‌شود:

$$\max(r, X_0, Y_0) \left| G_{\delta}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, X_0, Y_0} \frac{I(X, Y)}{2\pi r} ds \right|$$

در این معادله  $(x, y)$  نشان دهنده شدت نور در پیکسل با مختصات  $(x, y)$  است. R نماد شعاع عنبیه یا مردمک و  $(x_0, y_0)$  مرکز این دایره و  $G_{\delta}(r)$  تابع ملایم کننده گاوسی با مقیاس  $\delta$  است. بنابراین، عملیات انتگرال تفاضلی در تصویر به دنبال نواحی دایره‌شکل می‌شود که شعاع آن‌ها  $r$  و مرکزشان  $(x_0, y_0)$  باشد و درست در خط مرزشان بیشترین تغییر را در شدت شعاعی نور نشان دهند.

واحد تفکیک، بخشی حیاتی در تمام سیستم‌های تشخیص عنبیه است، زیرا خطا در تعیین محدوده عنبیه می‌تواند دقت تطابق سیستم را به شدت کاهش داده و در نتیجه کارایی سیستم را از بین ببرد.

### واحد نرمال‌سازی

پس از این که واحد تفکیک محدوده عنبیه را تخمین زد، واحد نرمال‌سازی با استفاده از مدلی به نام صفحه لاستیکی، بافت عنبیه را از مختصات دکارتی به قطبی تبدیل می‌کند. حاصل این فرآیند که اغلب بازگشایی نامیده می‌شود، یک فرم مستطیلی است که برای فرآیندهای بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرمال‌سازی سه مزیت عمده در پی دارد:

- تفاوت‌های اندازه مردمک ناشی از تغییرات نور محیط را از بین می‌برد.

- این اطمینان را به وجود می‌آورد که تصاویر عنبیه چشم افراد مختلف به رغم تفاوت‌های موجود در اندازه مردمک، به یک دامنه تصویر یکسان ترجمه می‌شود.

- امکان ثبت عنبیه را هنگام فرآیند تطابق از طریق یک عملیات ساده ترجمه فراهم می‌کند که این فرآیند ترجمه می‌تواند برای حذف اثرات ناشی از حرکات دورانی داخل صفحه‌ای چشم و سر به کار رود.

به هر تصویر عنبیه بازگشایی شده، یک الگوی دودویی نسبت داده می‌شود که بر اساس تشخیص واحد

کنترل تغییر شکل الاستیک عنبیه موجود است.<sup>۴</sup> در تحقیقات اخیر براساس تبدیلات گسسته کسینوسی<sup>۵</sup> (discrete cosine transform)، الگوهای ترتیبی<sup>۶</sup> (ordinal feature) و تغییرات الگوی نامتغیر مقیاسی (scale-invariant feature transform)، مدل‌های دیگری از فرآیندهای کدگذاری و مقایسه نیز ارائه شده است.<sup>۷</sup>

### تشخیص چند طیفی

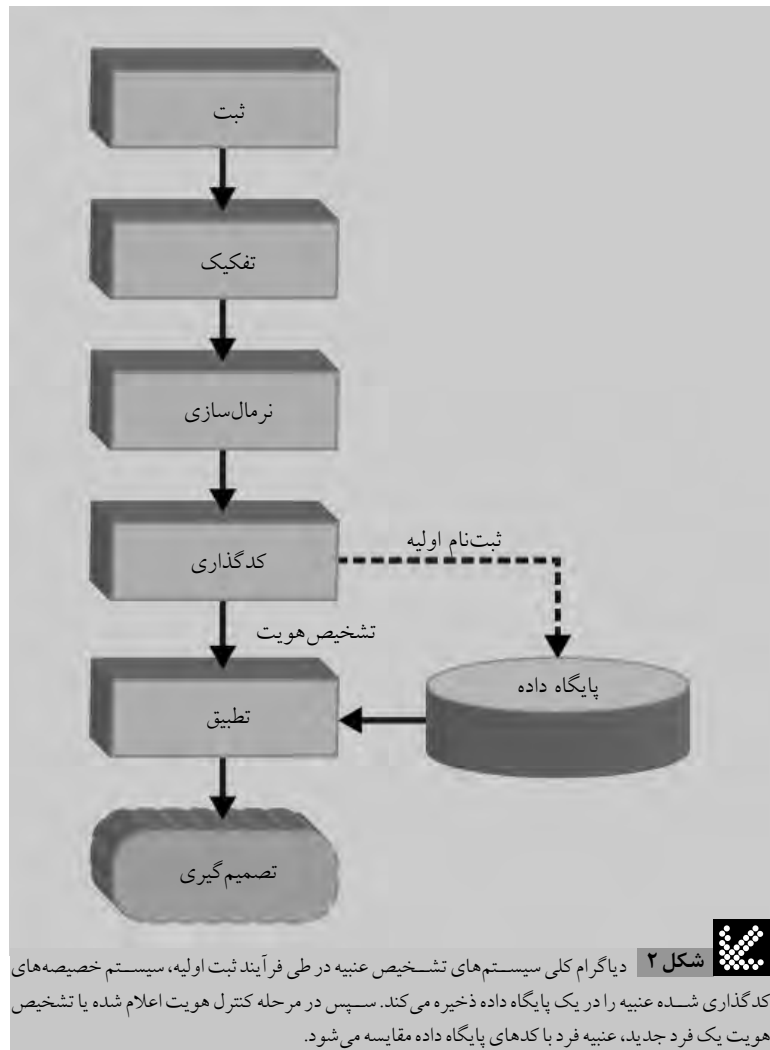
یک تصویر چند طیفی، حاوی اطلاعاتی براساس طول موج‌های مختلف یا به عبارتی کانال‌های طیفی مختلف از طیف امواج الکترومغناطیس است. تصاویر چند طیفی در زمینه‌هایی نظیر محاسبات جغرافیایی از راه دور (GIS و...)، سیستم‌های دید در شب، بررسی اسناد تاریخی و تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین استفاده از این تصاویر یکی از روش‌های تحلیل بیومتریک صورت، اثر انگشت و اثر کف دست است. پژوهش‌های اخیر شروع به بررسی استفاده از این فناوری در سیستم‌های تشخیص عنبیه کرده‌اند. این سیستم‌ها بر این اصل تکیه دارند که ساختار بیولوژیک عنبیه منحصر به فرد است و بنابراین، گستره‌های مختلف طیف الکترومغناطیس بهتر می‌توانند برخی خصوصیات فیزیکی و ژنتیکی عنبیه را ثبت کنند.

در یکی از این پژوهش‌ها برای بررسی سیستم‌های تشخیص چند طیفی، پژوهشگران نشان دادند که چگونه تصاویر طیف مرئی - یعنی تصاویر طیف قرمز و سبز و آبی با طول موج ۴۰۰ تا ۶۵۰ نانومتر - در ترکیب با تصاویر نزدیک مادون قرمز در مرحله تعیین امتیاز تطابق می‌توانند دقت تشخیص را افزایش دهند.<sup>۸</sup> از آنجا که ساختارهای آناتومیک مختلفی در بافت عنبیه وجود دارند، انعکاس‌های مختلف این بافت‌ها می‌تواند مجموعه کاملی از الگوهای مقایسه‌ای را فراهم آورد.

محققان همچنین متوجه شدند، ماهیت اطلاعات به دست آمده در تصاویر کانال‌های مختلف رنگی براساس رنگ چشم متفاوت خواهد بود. شکل‌های ۴، ۵ و ۶ شدت انعکاس نوری را در چهار کانال مختلف رنگی برای چشم‌های قهوه‌ای تیره، قهوه‌ای روشن و آبی نشان می‌دهند.

استفاده از اطلاعات چند طیفی می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیند تفکیک و بهبود روند تشخیص عنبیه منجر شود. همچنین می‌تواند به تشخیص خال‌ها یا لکه‌های سطح عنبیه کمک کند که سیستم تشخیص عنبیه قادر است از این اطلاعات در واحد تطبیق برای بهبود تشخیص استفاده کند.

تحقیقات کنونی در حال بررسی امکان پردازش اطلاعات عنبیه موجود در تصاویر رنگی و با کیفیت بالای صورت هستند. محققان همچنین در حال بررسی



می‌کنند. در یک مکانیسم کدگذاری پر استفاده معمول، ابتدا از توابع دو بعدی گابور (2D Gabor wavelet) برای استخراج اطلاعات برداری (phasor) بافت عنبیه استفاده می‌شود. سپس سیستم هر یک از خروجی‌های برداری را با استفاده از دو بیت اطلاعات به یک «کد عنبیه» تبدیل می‌کند. شکل ۳ نمونه یک کد عنبیه را نشان می‌دهد.

### واحد تطبیق

واحد تطبیق با مقایسه مجموعه الگوها و خصوصیات دو تصویر امتیاز تطابق را ارائه می‌کند. یکی از تکنیک‌های مقایسه، استفاده از فاصله همینگ (یک الگوری ریاضی به نام ریچارد همینگ)، یعنی تعیین تعداد بیت‌های متفاوت بین دو کد عنبیه است. الگوی دودویی که در واحد نرمال‌سازی تولید شده، تضمین می‌کند که تنها بیت‌هایی مورد مقایسه قرار می‌گیرند که به پیکسل‌های معتبر تصویر عنبیه مربوط هستند. دو تصویر عنبیه مورد نظر، پیش از انجام مقایسه باید بر هم منطبق شوند که این کار از طریق یک فرآیند ثبت (Registration Procedure) انجام می‌گیرد. با این که در بیشتر موارد عملیات ترجمه ساده می‌تواند کافی باشد، اما روندهای پیچیده‌تری نیز برای

نحوه استفاده از تصاویر عنبیه تهیه شده با طول موج های بالاتر (به عنوان مثال ۹۵۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر) هستند. این تصاویر می توانند در زمینه هایی که به صورت معمول نیاز به حسگرهایی با خصوصیات مختلف دارند - همانند کاربردهای نظامی - استفاده شوند.

### چالش های پیش روی تحقیقات

پیشرفت های شگرف حاصل در زمینه سیستم های تشخیص عنبیه، چالش ها و فرصت های متعددی را ایجاد کرده که به نقطه تمرکز تلاش های تحقیقاتی اخیر تبدیل شده است.

#### تعیین محل عنبیه

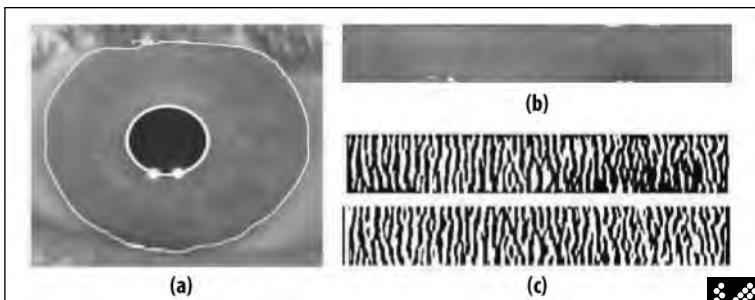
عنبیه یک شیء متحرک با سطح بسیار کم است که روی کره چشم قرار گرفته است. کره چشم ضمن داشتن حرکتی مستقل از عنبیه، خود روی سر واقع شده که آن نیز شیء متحرک دیگری است. بنابراین چالش سنگین پیش رو، تعیین دقیق موقعیت کره چشم و سپس محل عنبیه در تصاویر تهیه شده از فاصله های به نسبت زیاد و در وضعیت های مختلف افراد است. از آنجا که اغلب واحدهای ثبت، به کمک پرتوهای نزدیک مادون قرمز از عنبیه فیلم برداری می کنند، نیاز به نورپردازی عنبیه به کمک پرتوهای تقریباً نامرئی پیش از ثبت تصویر همواره وجود خواهد داشت. بنابراین، به واسطه این فاکتورها، زمانی که سوژه در فاصله ای دورتر از چندین متر نسبت به دوربین قرار گرفته باشد، سیستم قابلیت خود را از دست می دهد. تلاش های اخیر به طراحی و توسعه سیستم های تشخیص «عنبیه در حال حرکت» و «عنبیه در فاصله دور» منجر شده است<sup>۱</sup>. همچنین امکان استفاده از فناوری هایی نظیر تصاویر کد شده بر حسب طول موج (Wavefront-coded Image) جهت افزایش عمق میدان و وضوح دوربین در حال بررسی است<sup>۱</sup>.

#### پردازش عنبیه های غیر ایده آل

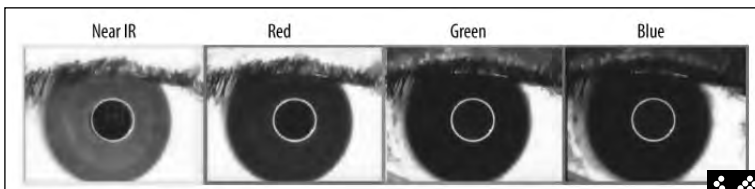
عنبیه غیر ایده آل ممکن است حاصل تاری ناشی از حرکت، تداخل دوربین، نویزهای حین انتقال، تصویربرداری خارج از فاصله کانونی، بسته شدن پلک ها و مژه ها، چرخش سر، عدم تنظیم محور دوربین با چشم، انعکاس آینه ای، کنتراست کم یا نور محیطی نامناسب باشد که همه این فاکتورها می توانند میزان خطای عدم تشخیص را افزایش دهند. برای بهبود کیفیت چنین تصاویری پیش از پردازش آن ها توسط سیستم، به روند های قدرتمند بازبانی تصویر نیاز خواهیم داشت. در تحقیقات اخیر تلاش می شود با طراحی مدل های تصحیح هندسی و کالیبراسیون، مشکل تصاویر نامناسب ناشی از عدم تنظیم محور بر طرف شود<sup>۱</sup>.

#### اثبات هویت

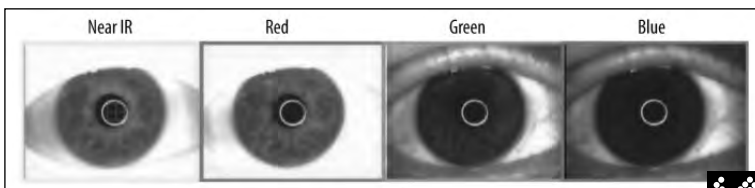
تصور کلی بر این است که عوارض و خواص موجود در عنبیه به واسطه تغییرات ژنتیک تصادفی



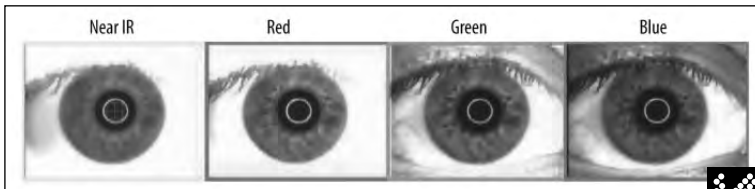
شکل ۳ a: نمونه خروجی واحد تفکیک b: نمونه خروجی واحد نرمال سازی c: نمونه خروجی واحد کد گذاری. واحد نرمال سازی تصویر عنبیه را باز گشایی کرده و بهبود می بخشد و واحد کد گذاری خصوصیات بافت تصویر را استخراج کرده و آن را به یک کد دو بعدی دودویی تبدیل می کند. از آنجا که کد گذاری هر پیکسل از تصویر نرمال شده عنبیه بر اساس دو بیت اطلاعات انجام می شود، نتیجه نهایی نیز دو نسخه کد دودویی خواهد بود. هر نسخه برای یکی از بیت ها.



شکل ۴ تصویر چند طیفی یک عنبیه به رنگ قهوه ای تیره. میزان انعکاس در طیف نزدیک مادون قرمز بسیار زیاد است و در سایر طیف ها به طرز چشم گیری کاهش می یابد.



شکل ۵ تصویر چند طیفی یک عنبیه به رنگ قهوه ای روشن یا سبز. میزان انعکاس در طیف قرمز و نزدیک مادون قرمز بسیار زیاد است و در سایر طیف ها به طرز چشم گیری کاهش می یابد.



شکل ۶ تصویر چند طیفی یک عنبیه به رنگ آبی. میزان انعکاس در هر چهار کانال کم و بیش یکسان است.

متنصر به فرد هستند و مطالعات تجربی در مقیاس های کلان هم این نظریه را در بین جمعیت مورد مطالعه تأیید می کند. محققان با استفاده از این یکتایی اثبات شده، توانسته اند خصوصیات بیومتریکی عنبیه را در یک چارچوب رمزنگاری به کار برده و به سیستم تشخیص عنبیه قابلیت استخراج رشته های دودویی قابل تکرار از نمونه های متفاوت یک عنبیه را اضافه کنند<sup>۲</sup>. اما هنوز هیچ مدل تئوری برای اثبات هویت از طریق عنبیه وجود ندارد. محققان با استفاده از توزیع «امتیاز تطابق» و آمار «کد عنبیه» سعی در تخمین درجه آزادی بیومتریکی عنبیه کرده اند، اما هنوز هیچ کس به صورت مستقیم از خصوصیات بیومتریکی عنبیه برای اثبات هویت خویش

## درباره نویسنده:

آرون راس: استاد دپارتمان علوم کامپیوتر و مهندسی برق دانشگاه ویرجینیای غربی است. زمینه‌های مطالعاتی وی تشخیص الگو، ترکیب‌های طبقه‌بندی شده، یادگیری ماشینی، بینایی ماشینی و بیومتری است. راس مدرک دکترای خود را در رشته علوم کامپیوتر و مهندسی از دانشگاه ایالتی میشیگان دریافت کرده و عضو IEEE، گروه کامپیوتر IEEE و گروه پردازش سیگنال IEEE است. از طریق آدرس arun.ross@mail.wvu.edu می‌توانید با او تماس داشته باشید.

## پی‌نوشت:

- ۱- مقاله «درک تصویر برای بیومتری مبتنی بر عنبیه: مروری اجمالی»، نوشته: کی. دلبیو. باویر و کی. هالینگورث، شماره دوم، سال ۲۰۰۸، مجله بینایی کامپیوتری و درک تصویر.
- ۲- مقاله «شیوه‌های نوین در تشخیص عنبیه»، نوشته: جی. داوگمن، شماره ۳۷، بخش دوم، سال ۲۰۰۷، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه سیستم‌ها، انسان و سایر نیتیک.
- ۳- مقاله «تشخیص عنبیه با استفاده از لبه‌های فعال ژنودزیک»، نوشته: اس. شاه و ای. راس، شماره چهارم، سال ۲۰۰۹، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه اطلاعات قضایی و امنیت.
- ۴- مقاله «راهبرد بیسی به انطباق تغییر شکل یافته در تصاویر عنبیه»، نوشته: جی. تورتون، ام. ساویدس و بی. وی. کی. کومار، شماره چهارم، سال ۲۰۰۷، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی.
- ۵- مقاله «تشخیص عنبیه بر پایه تبدیلات گسسته سینوسی (DCT)»، نوشته: دی. ام. مورنو، اس. رکشیت و دی. ژانگ، شماره چهارم، سال ۲۰۰۷، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی.
- ۶- مقاله «معیارهای تربیتی برای تشخیص عنبیه»، نوشته: زی. سان و تی. تان، شماره دوازدهم، سال ۲۰۰۹، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی.
- ۷- مقاله «راهبرد تغییر الگوی نامتغیر مقیاسی (SIFT) بر پایه ناحیه در تشخیص عنبیه»، نوشته: سی. بلچر و ای. دو، شماره یکم، سال ۲۰۰۹، مجله اپتیک و لیزر در مهندسی.
- ۸- مقاله «تحلیل چندطیفی عنبیه: مطالعه مقدماتی»، نوشته: سی. بویس و دیگران، ارائه شده در ورک‌شاپ بیومتریک IEEE، سال ۲۰۰۶.
- ۹- کتاب «تشخیص عنبیه در محیط‌های با محدودیت کمتر پیشرفت‌هایی در بیومتریک: سنسورها، الگوریتم‌ها و سیستم‌ها»، نوشته جی. مانی و دیگران، انتشارات اسپرینگر ۲۰۰۸.
- ۱۰- مقاله «سیستم‌های تشخیص عنبیه با عمق میدان افزایش یافته برای محیط‌های کاربردی»، نوشته: آر. نارایانسوامی ارائه شده در کنفرانس دوم تکنولوژی بیومتریک برای تشخیص هویت انسان SPIE 2005.
- ۱۱- مقاله «درباره تکنیک‌های تصحیح زاویه در تصاویر عنبیه غیرایده‌آل»، نوشته: اس. ای. سی. شوکرز و دیگران، شماره پنجم، سال ۲۰۰۷، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه سیستم‌ها، انسان و سایر نیتیک.
- ۱۲- مقاله «ترکیب موثر رمزنگاری و بیومتریک»، نوشته: اف. هائو، آر. اندرسون و جی. داوگمن، شماره ۹، سال ۲۰۰۶، مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه کامپیوترها.

استفاده نکرده است. این مشکل جالب توجه، تلویحاً به استفاده از سیستم تشخیص هویت بر اساس عنبیه در دادگاه‌ها و بر مبنای قوانین شهادت فدرال و محتوای قابل پذیرش بر اساس استاندارد قضایی داوبرت (Daubert) نیز مربوط خواهد بود.

## ترکیب خصیصه‌های بصری

به احتمال با ترکیب عنبیه و سایر خصیصه‌های بصری نظیر شبکه رگ‌ها (Conjunctival Vasculature)، محققان خواهند توانست سیستم‌های بیومتریک چندگانه قدرتمندی را توسعه دهند که بتوانند در محیط‌هایی با نورپردازی نامناسب، سوژه‌های متحرک و فاصله‌های دور به کار گرفته شوند. ترکیب خصیصه‌های بصری و مشخصات چهره نظیر بافت صورت و نشانه‌های موجود در ناحیه اطراف چشم، به وضوح می‌تواند کارایی سیستم‌های تشخیص هویت بر اساس چهره را افزایش دهد. استفاده از عنبیه در یک چارچوب چند وضعیت می‌تواند دقت تطابق را افزایش داده و با ممکن شدن استفاده از تصاویر کم کیفیت، میدان عمل این سیستم‌های تشخیص هویت را افزایش دهد.

## اطمینان از امنیت و حریم خصوصی

استفاده گسترده از سیستم‌های بیومتریک در کاربردهای دولتی و مدنی، نگرانی‌ها را در باب امنیت الگوهای عنبیه و حفظ حریم خصوصی صاحبان آن‌ها افزایش داده است. نگرانی عمده به خصوص در باب امنیت و حریم خصوصی پایگاه‌های داده متمرکز است. که می‌تواند میلیون‌ها الگوی عنبیه را نگهداری کنند. به نظر می‌رسد، فناوری‌های افزایش حریم خصوصی و مشخصات بیومتریک قابل حذف توانسته‌اند سطح امنیت و حفظ حریم خصوصی این اطلاعات را افزایش دهند. البته، استفاده همه جانبه از چنین الگوهای در محیط‌های عملیاتی، نیازمند تحقیقات و وسیع‌تری خواهد بود.

به رغم تمام این چالش‌ها، تشخیص هویت از طریق عنبیه به عنوان یک فناوری بیومتریک قابل اعتماد و قدرتمند، توانسته است توجه زیادی را به خود جلب کند. بافت پیچیده عنبیه و ثبات مسلم آن، نوید بخش استفاده هر چه بیشتر از سیستم‌های تشخیص هویت بر مبنای عنبیه در کاربردهای متنوع و گوناگونی نظیر کنترل مرزها، تحقیقات دادگاهی و رمزنگاری است.

استفاده از سایر خصیصه‌های بصری و مشخصات چهره در کنار عنبیه می‌تواند تشخیص هویت بیومتریک از راه دور را با دقتی مناسب امکان‌پذیر کند و آینده تشخیص هویت به کمک عنبیه به خصوص در کاربردهای نظامی که مستلزم تشخیص سریع هویت افراد در محیط‌های پر جنب و جوش است، بسیار درخشان به نظر می‌رسد.



# تشخیص چهره: انسان یا کامپیوتر

« نویسنده: راما چلاپا، پاون سین ها و پی جوناتان فیلیپس « منبع: IEEE Computer, فوریه ۲۰۱۰ « ترجمه: احمد شریف پور

تحقیق در زمینه تشخیص چهره فرصت‌های مطالعاتی را فراهم می‌آورد که دانشمندان و مهندسان را برای چند سال آینده به چالش خواهد کشید. به عنوان نمونه، ایجاد یک سیستم تشخیص چهره قدرتمند می‌تواند در پروژه‌های مرتبط با امنیت ملی، تعامل انسان و کامپیوتر و بسیاری از موارد دیگر به کار برده شود.



● **تشخیص هویت:** سیستم هویت یک فرد را از روی تصویر چهره تعیین می کند.

● **کنترل فهرست مراقبت:** سیستم از روی تصویر چهره تعیین می کند که آیا فرد مورد نظر در فهرست وجود دارد یا خیر و اگر وجود دارد هویت او را مشخص می کند. شکل ۲ این سه عملکرد را نمایش می دهد. دشواری کار و دقت سیستم در حالت های تشخیص هویت و فهرست مراقبت به اندازه پایگاه داده یا فهرست مراقبت بستگی دارد.

### چرا تشخیص چهره دشوار است

شرایط ثبت تصویر نظیر وضعیت چهره نسبت به دوربین، نورپردازی، حالت های چهره و تعداد پیکسل ها در ناحیه چهره و همچنین روند طبیعی پیر شدن انسان می تواند تغییرات زیادی را بر تصویر چهره انسان تحمیل کند. تغییرات دیگری هم ممکن است از طریق تغییر قیافه، پوشش هایی نظیر کلاه یا عینک آفتابی و موی صورت به وجود آید. همچنین روند پیری در برخی افراد باعث افزایش یا کاهش وزن می شود که خود بعد جدیدی بر تنوع و حالت های مختلف چهره انسان می افزاید. همان گونه که شکل ۳ نشان می دهد، حتی وقتی بر سوژه واحدی تمرکز می کنیم، دامنه تنوع تصاویر چهره بسیار وسیع خواهد بود. چالش اصلی سیستم های تشخیص چهره، تعیین هویت یک فرد در عین وجود تمام این تنوع ها و تفاوت ها است.

### درک چهره

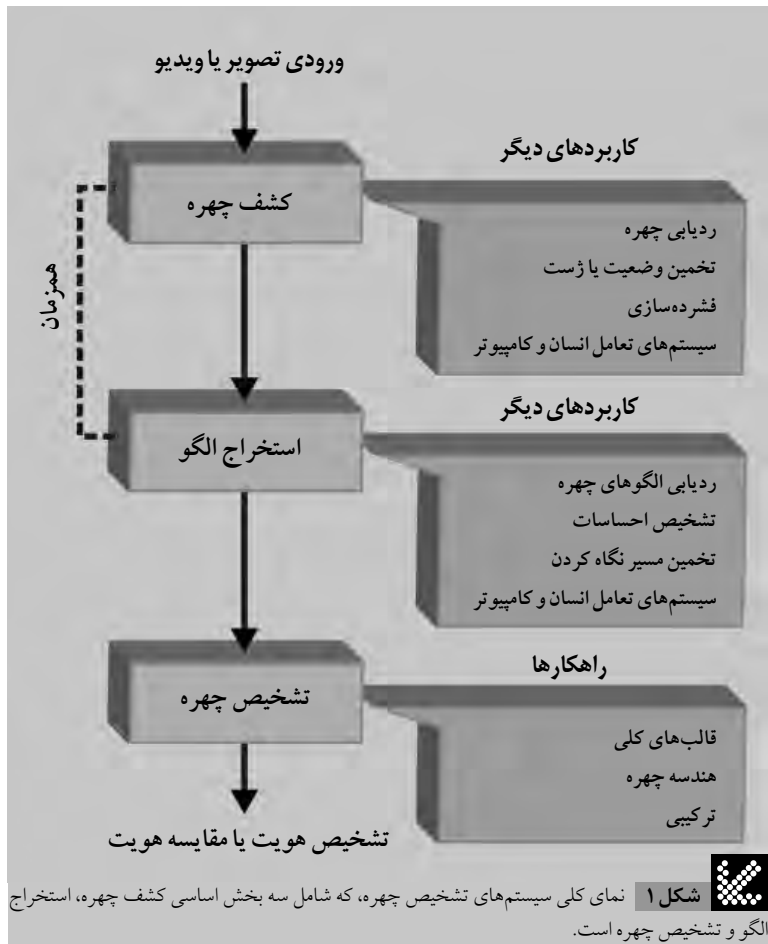
از آنجا که انسان در تشخیص چهره مهارت فوق العاده ای از خود نشان می دهد، طراحان سیستم های تشخیص چهره باید از فاکتورهای تأثیرگذار در ادراک چهره توسط انسان آگاهی داشته باشند. انجام پژوهش های گسترده در این زمینه به مدت دست کم سه دهه<sup>۱</sup>، یافته هایی اساسی را به ارمغان آورده که می توان آن ها را به پنج دسته تقسیم کرد:

#### تشخیص

انسان ها می توانند قیافه های آشنا را حتی در تصاویر با کیفیت بسیار پایین تشخیص دهند که این قابلیت بخشی از توانایی تحلیل فضایی انسان است. قابلیت تحمل تغییر و تبدیل چهره با افزایش میزان آشنایی افزایش می یابد، اما اطلاعات با فرکانس بالا (تکرار شونده و مداوم) به تنهایی برای انجام یک تشخیص چهره خوب کافی نیست.

#### جزء به جزء در برابر کلی

در حالی که طبیعت فرآیند تشخیص چهره توسط انسان، جزء به جزء است، اما الگوهای چهره به صورت کلی مورد بررسی قرار می گیرند. از میان تمام مشخصات و الگوهای چهره، ابروها یکی از مهم ترین عوامل تشخیص هستند. به نظر می رسد تناسبات شکلی و فرمی نیز در جهت های طولی و عرضی مستقل باشند.



تحقیقات درباره چگونگی درک چهره توسط انسان، یافته های جالب فراوانی را در پی داشته است که می تواند در طراحی سیستم های کاربردی و عملی، کمک مفیدی باشد<sup>۱</sup>. کارایی تشخیص چهره علاوه بر کاربردهای مرتبط با تعیین و مقایسه هویت نظیر کنترل دسترسی، امور قضایی، صدور مجوزها و مدارک هویتی و نظارت در زمینه هایی نظیر تعامل انسان و کامپیوتر، واقعیت مجازی، بازیابی اطلاعات از پایگاه های داده، مالتی مدیا و سرگرمی های کامپیوتری نیز به اثبات رسیده است<sup>(۲-۴)</sup>.

شکل ۱ شمای کلی یک سیستم معمول تشخیص چهره را نشان می دهد که شامل سه بخش اساسی کشف چهره (Face Detection)، استخراج الگوها (Feature Extraction) و تشخیص چهره (Face Recognition) است. مانند هر مسئله تشخیص الگوی دیگری، تفاوت الگوی ناشی از نورپردازی، ژست، قیافه و... در واحد استخراج الگو، با تبدیل الگوها به حالت های یکنواخت و مقاوم در برابر تغییر یا با تعیین قوانینی برای این واحد که در تمام حالت ها قابل استفاده باشند، مدیریت می شوند. در طراحی سیستم های تشخیص چهره دست کم سه وظیفه مهم سیستم را همواره باید در نظر داشت:

● **مقایسه:** در این حالت سیستم تعیین می کند که آیا شخصی که از او تصویربرداری شده با هویت مورد ادعا مطابقت دارد یا خیر.

”  
 ابروها می توانند  
 یکی از  
 خصوصیات یا  
 الگوهای پایدار  
 چهره باشند. از  
 آنجا که ابروها  
 به طور عادی از  
 مشخصه‌های به  
 نسبت بزرگ و با  
 کنتراست صورت  
 هستند می توانند  
 در برابر تغییرات  
 ناشی از کاهش  
 کیفیت تصویر  
 صورت پایدار  
 بمانند.



شکل ۲ این دیاگرام ساختار سه وظیفه اساسی تشخیص چهره مقایسه، کنترل فهرست مراقبت و تشخیص هویت را نشان می‌دهد.

### نگاه به ابروها

در میان خصوصیات و الگوهای مختلف چهره، ابروها به لحاظ اهمیت در هنگام تشخیص چهره با چشم‌ها قابل مقایسه‌اند<sup>۱</sup>. برای تشریح اهمیت ابروها در تشخیص چهره دلایل متعددی وجود دارد.

نخست به نظر می‌رسد ابروها در انتقال احساسات و سایر علائم غیر کلامی بسیار مهم هستند. چون بخش تصویری سیستم ممکن است از قبل برای کنترل ابروها جهت تشخیص و تفسیر این علائم برنامه‌ریزی شده باشد، این برنامه‌ریزی می‌تواند برای استفاده در عملیات تشخیص چهره نیز گسترش یابد. دوم به دلایل متعدد، ابروها می‌توانند یکی از خصوصیات یا الگوهای پایدار چهره باشند. چون ابروها به طور عادی از مشخصه‌های به نسبت بزرگ و با کنتراست صورت هستند می‌توانند در برابر تغییرات ناشی از کاهش کیفیت تصویر صورت پایدار بمانند. همچنین از آنجا که ابروها روی یک برآمدگی (برجستگی که حلقه چشم را از پیشانی جدا می‌کند) قرار دارند، به نسبت سایر اجزای صورت کمتر تحت تأثیر تغییرات نورپردازی و سایه‌ها قرار می‌گیرند.

### طبیعت نشانه‌ها

به نظر می‌رسد فرم چهره به شیوه‌ای کاریکاتور گونه که بر رنگ‌بندی، فرم و حرکت تمرکز دارد، کدگذاری می‌شود.

تماشای طولانی مدت یک چهره می‌تواند به آثار جانبی سطح بالای متعددی منجر شود که ممکن است به سادگی تغییر یک چهره با شکلی متضاد با چهره اولیه یا به پیچیدگی یک ضدچهره با هویتی مشخص و بدون تغییر شکل مشخصی باشد و در نتیجه، امکان کدگذاری براساس نمونه را به ذهن متبادر می‌کند. نشانه‌های رنگ بندی دست‌کم به اندازه سایر نشانه‌ها مهم هستند.

نشانه‌های رنگی به خصوص زمانی که نشانه‌های فرمی کیفیت مناسبی ندارند، نقش مهمی را بر عهده دارند، در حالی که وارونگی حاصل از قطبیدگی نور، به احتمال به علت ناتوانی سیستم در استفاده از نشانه‌های رنگی، به شدت کارایی سیستم تشخیص چهره را کاهش می‌دهد.

### رشد تصاعدی

سیستم بصری انسان با ترجیح ابتدایی برای تشخیص الگوهای شبیه صورت شروع به کار می‌کند. در ادامه و در چند سال نخست زندگی، سیستم از حالت تشخیص تکه تکه به راهکار کلی‌نگری ارتقا می‌یابد.

### پشتوانه‌های عصبی

به نظر می‌رسد، سیستم بینایی انسان پاره‌ای منابع عصبی متخصص را به ادراک چهره اختصاص می‌دهد. مدت زمان پاسخ‌گویی به چهره‌ها (شناخت چهره) در ناحیه اینترفرو تمپورال کورتکس (Infero-temporal cortex)

## آیا کامپیوترها بهتر از انسان‌ها هستند؟

مطالعات اخیر نشان داده، کامپیوترها در زمینه تشخیص چهره از روی تصاویر ثابت چهره گرفته شده است از روبه‌رو و با نورپردازی‌های متفاوت می‌توانند انسان را مغلوب کنند<sup>۱</sup>. این نتیجه تا چه حد عمومیت دارد؟ انسان در زمینه شناختن چهره‌های آشنا بسیار موفق‌تر است، اما ما در مورد توانایی‌هایمان در شناخت چهره‌های نا آشنا کمی زیاده‌روی کرده‌ایم. در عین حال حتی زمانی که با تشخیص چهره افراد نا آشنا مواجه باشیم، انسان‌ها قوی‌ترین سیستم تشخیص چهره ممکن را در اختیار دارند. سیستم تشخیص چهره انسان بسیار بهتر از نمونه‌های کامپیوتری می‌تواند با ترکیبات مختلف ژست، نورپردازی، تار شدن و کاهش کیفیت تصویر هماهنگ شود.

در یک ویدیو با کیفیت پایین، انسان‌ها به طور ذاتی الگوهای زمانی و بدنی را با هم ترکیب می‌کنند. کاری که محققان پیش‌رو فعلی تازه متوجه آن شده‌اند. یکی از کارهای اخیر نشان داده که ترکیب انسان و کامپیوتر می‌تواند به تولید یک سیستم تشخیص چهره تقریباً کامل منجر شود (مقاله «ترکیب انسان و الگوریتم‌های مقایسه چهره» نوشته ای. جی. اتول و دیگران، مجله IEEE Trans ویژه‌نامه سیستم‌ها، انسان و سایبرنتیک سال ۲۰۰۷).

### پی‌نوشت:

۱- مقاله «نتایج مقیاس بالای FVRT 2006 و ICE 2006» نوشته پی. جی. فیلیپس و دیگران مجله IEEE Trans ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی شماره مارس ۲۰۱۰

موضوعی مانند بافت و نقاط ثابت یا از اجزای چهره مانند چشم و بینی و دهان باشند<sup>۵</sup>.

یکی از پرکاربردترین و قوی‌ترین الگوریتم‌های تشخیص چهره توسط بل و یولا و مایکل جونز<sup>۶</sup> طراحی شده است. آن‌ها برای تشخیص اشیا، شیوه‌ای مبتنی بر یادگیری ماشینی را معرفی کردند که در آن از طریق ترکیب تعداد زیادی یادگیرنده ضعیف، یک سیستم طبقه‌بندی کننده قوی آموزش داده می‌شود. برای مسئله‌ای که تنها نیازمند دو دسته است و با نمونه‌های تمرینی برچسب‌دار، یک الگوریتم یادگیری آداپوست (Adaboost یا Adaptive Boosting)، می‌تواند تعداد اندکی از مشخصه‌های بصری را انتخاب کند تا بیشترین دقت طبقه‌بندی فراهم شود.

شکل ۴ نمونه‌ای از عملکرد الگوریتم معمول کشف چهره و خصوصیت را نشان می‌دهد.

### سال‌های نخست

در اواخر دهه هشتاد و اوایل دهه نود میلادی، استفاده از شیوه‌های متعلق به زیرشاخه تشخیص چهره ساکن (Still-Face) نظیر تحلیل اجزای اصلی یا PCA (سرنام تحلیل جداکننده‌های (Principal Component Analysis)، تحلیل خطی یا LDA (سرنام Linear Discriminant Analysis) و روندی ساختارگرا به نام انطباق گراف الاستیک یا EGM (سرنام Elastic Graph Matching) به تحقیقات در زمینه تشخیص چهره رونق بخشید. از آن زمان تحقیقات زیادی در زمینه توسعه و بهبود این الگوریتم‌ها صورت گرفته است.

در آزمون فناوری تشخیص چهره FRET (سرنام Facial Recognition Technology) که در اواخر سال ۱۹۹۶ و اوایل ۱۹۹۷ روی الگوریتم‌های تشخیص چهره انجام شد<sup>۷</sup>، بهترین کارایی مربوط به روش‌های LDA و EGM بود، یعنی الگوریتم‌هایی که از تحلیل‌های شبه فضای احتمالات مشتق شده بودند. مشکل‌ترین آزمون FRET تشخیص چهره فرد بر اساس تصاویری بود که با فاصله زمانی حداقل هجده ماهه گرفته شده بودند. جدول ۱ خلاصه نتایج سری آزمون‌های FRVT (سرنام Face Recognition Vendor Test) را نشان می‌دهد که از اوایل سال ۲۰۰۰ توسط انستیتوی ملی استاندارد و فناوری NIST (سرنام National Institute of Standard and Technology) آغاز شده است.

### ژست، نورپردازی و حالت چهره

محققان توانسته‌اند مشکل تشخیص چهره در وضعیت‌های مختلف ژست، نورپردازی و حالت‌های مختلف PIE (سرنام Pose, Illumination, Expression) چهره را حل کنند. تلاش‌های قبلی شامل استفاده از روش بسط چهره آیکن [نسخه‌ای از تصویر چهره که معادلات ریاضی Eigenvector و Eigenspace بر آن اعمال شده است] می‌شد که در این روش فضاهای آیکن متفاوتی ایجاد شده و هر یک از این فضاها اطلاعات متفاوتی از چهره را در زاویه‌های دید مختلف ثبت می‌کرد و برای حل مشکل تفاوت ژست‌ها، از



فرآیند پیری



ژست



حالت‌های چهره



نورپردازی یا تار بودن تصویر

شکل ۳ حالت‌های متنوع چهره یک شخص واحد

۱۲۰ میلی‌ثانیه است که نشان دهنده نوعی پردازش بازخورد به جلو [feed-forward: نوعی سیستم تشخیص لایه‌ای که خروجی هر لایه به لایه بعدی منتقل می‌شود، نه به لایه‌های قبلی. بنابراین، فاقد حلقه بازخورد است] است. به احتمال فرآیندهای تشخیص چهره و درک حالت چهره توسط سیستم‌های متفاوتی انجام می‌شود.

### بررسی جدیدترین فناوری‌ها

گام نخست در هر سیستم تشخیص چهره خودکار، کشف صورت در یک تصویر است.

### کشف صورت

هنگامی که صورت تشخیص داده شد، بخش استخراج الگو اطلاعاتی را به دست می‌دهد که می‌تواند به یک سیستم طبقه‌بندی چهره منتقل شود. با توجه به نوع سیستم طبقه‌بندی، این خصوصیات و الگوها می‌توانند شامل مشخصات





شکل ۴ نمونه‌ای از سیستم کشف چهره و استخراج خصوصیات (شکل از هانکیو مون و همکاران؛ مقاله پردازش شکل، مجله IEEE Trans، ویژه‌نامه پردازش تصویر شماره نوامبر ۲۰۰۲).

ساخت یک مدل سه بعدی و استخراج نماهای دو بعدی برای هر ژست استفاده می‌شود. برای کنترل حالت‌های متفاوت ژست و نورپردازی، محققان مدل سه بعدی قابل تغییری<sup>۸</sup> را پیشنهاد کردند که در آن ترکیب خطی مجموعه‌ای از نمونه‌های چهره پارامترهای لازم را برای بافت و فرم چهره فراهم می‌کند. این پارامترها از طریق جفت کردن مدل سه بعدی روی تصویر ورودی تخمین زده می‌شوند.

به این ترتیب، شیوه مبتنی بر مدل سه بعدی قابل تغییر توانست در تشخیص تصاویر چهره‌ای که از روبه‌رو گرفته نشده بودند، نرخ تشخیص بالایی را از خود نشان دهد. حالت‌های فرعی زیادی از این شیوه با درجه‌های گوناگون موفقیت عرضه شده‌اند. اغلب این شیوه‌های مبتنی بر مدل سه بعدی، به محاسبات سنگین نیاز دارند و به طور معمول باید تعداد کمی از مشخصات و الگوها به صورت دستی انتخاب شوند. در کنار توسعه شیوه‌های مبتنی بر مدل سه بعدی قابل تغییر، روش‌هایی برای نرمال‌سازی نورپردازی باعث جلب توجه محققان عرصه بینایی کامپیوتری شد. تلاش‌های اولیه برای کاهش اثر نورپردازی شامل حذف تعداد کمی از نخستین مقادیر آیگن مربوط به بسط اجزای اصلی صورت می‌شده که این کار با استفاده از سمت و جهت تغییر طیف رنگی به عنوان یک مشخصه یا ساخت یک زیر فضای نمونه با نام مخروط نورپردازی (Illumination Cone) برای ثبت تصویر شیء لامبرتی محذب انجام می‌شد. مدل‌های همسازهای کروی ابعاد پایین (Low-Dimensional Spherical Harmonics Representations) نیز برای تشخیص چهره در شرایط نوری متفاوت مؤثر شناخته شده‌اند. همچنین از طریق توسعه روش مبتنی بر مدل سه بعدی قابل تغییر، روش‌هایی پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند الگویی از چهره را تولید کنند که نسبت به تغییرات نور ثابت باشد. پیشنهاد دیگر عبارت است از استفاده از محاسبه و ساخت یک تصویر خود تقسیمی که از طریق تقسیم تصویر اصلی بر کپی ملایم شده آن (کپی که در آن شدت تیره و روشن‌ها کاهش یافته است) به دست می‌آید و در نتیجه نسبت به تغییرات نورپردازی حساس نخواهد بود. این روش نوعی الگوریتم استریو فتومتریک عمومی است که امکان تغییر شکل‌های درون گروهی را فراهم می‌آورد. در تحقیقات جدیدتر، محققان الگوریتم فیلتر اتفاقی (Stochastic) و غیرایستایی را توسعه داده‌اند که برای تخمین نقشه‌های بازتابی (Albedo) تشخیص چهره غیر حساس به نورپردازی استفاده می‌شود. شکل ۵ نمونه تخمین این نقشه‌ها و مدل‌های سه بعدی را از یک تصویر واحد نشان می‌دهد. اما بیشتر محققان بر این نکته توافق دارند که این روش‌ها نسبت به روش‌های زیر فضای آیگن و... در تشخیص چهره با نورپردازی‌های متفاوت، موفق‌تر عمل می‌کنند، اما همه آن‌ها روی مجموعه داده‌های کنترل شده نظیر مجموعه B در دانشگاه ییل یا مجموعه PIE جمع‌آوری شده در دانشگاه کارنگی ملون آزمایش شده‌اند. طراحی

روش‌هایی که در برابر تغییرات نورپردازی در محیط‌های کنترل نشده مقاوم و قدرتمند باشند، هنوز مسئله‌ای حل نشده به شمار می‌رود. تحلیل و تشخیص حالت‌های چهره در تحقیقات مربوط به تعامل انسان و کامپیوتر بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است<sup>۹</sup>. هویت و حالت چهره ممکن است با سیستم‌های جداگانه‌ای پردازش شوند. برای تشخیص خودکار حالت‌های چهره روش‌های بسیاری موجود است که اغلب آن‌ها برای حالت‌های کلی و مقیاس بالای چهره مانند شادی، عصبانیت، تعجب و ترس مؤثر هستند<sup>۱۰</sup>. یکی از زمینه‌هایی که فعالیت تحقیقاتی در آن دنبال می‌شود و توسط برنامه تلویزیونی «به من دروغ بگو» (Lie to Me) به فرهنگ عامه مردم هم نفوذ کرده، تحلیل و تشخیص حالت‌های مقیاس کوچک چهره است.

#### تشخیص چهره طی روند پیری

یکی از جنبه‌های مشکل و ترسناک تشخیص چهره، یعنی «پیری» از این جهت چالش برانگیز است که باید تمام حالت‌های مختلف دیگر را نیز پوشش دهد. زمانی که تصاویر چهره فرد در فاصله‌های زمانی چندساله گرفته شوند، ژست، حالت چهره یا نورپردازی به سادگی ممکن است تغییر کند. همچنین خصوصیات بافت پوست نیز ممکن است در اثر آرایش، کاهش یا افزایش وزن، ریزش مو، استفاده از عینک و... نیز تغییر کند. تغییراتی که به واسطه پیری در چهره رخ می‌دهند، به فاکتورهای محیطی فراوانی نظیر تشعشع خورشیدی، دخانیات، مصرف داروها و میزان استرس وابسته هستند<sup>۱۱</sup>. فاکتورهای بیولوژیکی و محیطی می‌توانند باعث تسریع یا تأخیر روند پیری شوند. پیری باعث بروز تغییراتی هم در بافت نرم و هم در بافت سخت صورت خواهد شد. از بین رفتن حالت الاستیک بافت صورت، تغییر حجم صورت و تغییر در بافت صورت نیز در اثر پیری رخ

## خلاصه ارزیابی‌های FVRT

| نام آزمون | توضیح   | نتیجه   |
|-----------|---|---|
| FVRT 2000 | این آزمون از پروتکل Sep96 FERET استفاده کرده، اما به شدت سخت‌گیرتر از آن عمل کرده است. شرکت در این آزمون تنها محدود به سیستم‌های COTS بوده است. انواع مختلفی از سیستم‌های فیلم‌برداری در این آزمون مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج حاصل در هشت زمینه بررسی شدند که این هشت زمینه عبارتند از: فشرده‌سازی، فاصله، حالت چهره، نوع رسانه، نورپردازی، ژست، کیفیت تصویر و زمان. در این هشت زمینه هیچ یافته عمومی و مشترکی به دست نیامده است.          | الف- فشرده‌سازی تصاویر براساس متد JPEG تا مرز یک به چهل نرخ تشخیص را کاهش نداد.<br>ب- نتایج تحقیق نشان داد، ژست فرد تا زمانی که زاویه بین صورت و دوربین در محدوده $\pm 25^\circ$ درجه باشد، تأثیر زیادی در کارایی ندارد، اما زاویه‌های حدود $\pm 40^\circ$ درجه به شدت بر کارایی اثر گذارند.<br>پ- تغییر نورپردازی در محیط داخلی تأثیر زیادی بر کارایی سیستم ندارد، اما انتقال از نور داخلی به نورپردازی بیرونی به شدت بر کارایی مؤثر است.<br>ت- در این آزمایش هنگامی که تصاویر چهره فرد در فاصله‌های زمانی دست‌کم هجده ماهه گرفته شده بودند کارایی سیستم افزایش می‌یافت.<br>ث- تشخیص چهره در عین وجود تغییر در ژست و نورپردازی همچنان جزو زمینه‌های مورد توجه باقی خواهند ماند، همچنین تصاویر چهره افراد که با فاصله زمانی دست‌کم یک ساله تهیه شده باشند.<br>این نتایج از سایت <a href="http://www.fvrt.org">www.fvrt.org</a> نقل شده‌اند. |
| FVRT 2002 | هدف اصلی این آزمایش تعیین درجه کارایی سیستم‌ها برای اندازه‌گیری میزان تطابق سیستم‌های خودکار تشخیص چهره با نیازهای موجود در کاربردهای واقعی بود. ده شرکت‌کننده مورد بررسی قرار گرفتند. آمار عملکرد واقعی سیستم‌ها در زمینه مقایسه و تشخیص هویت، روی مجموعه عظیمی از ۱۲۱۵۸۹ تصویر از ۲۷۴۲۷ نفر منتشر شده است.  | الف- کارایی سیستم‌ها درون ساختمان نسبت به آزمون سال ۲۰۰۰ بهبود یافته است.<br>ب- کارایی سیستم تقریباً به صورت خطی به نسبت زمان سپری شده کاهش می‌یابد.<br>پ- سیستم‌های کارا تر نسبت به نورپردازی داخلی حساس نیستند.<br>ت- مدل‌های سه بعدی قابل تبدیل، کارایی سیستم را افزایش می‌دهند.<br>ث- تشخیص مردان از تشخیص زنان ساده‌تر است.<br>ج- تشخیص سوژه‌های مسن‌تر از تشخیص سوژه‌های جوان‌تر ساده‌تر است.<br>چ- کارایی در محیط بیرونی هنوز نیازمند توسعه و پیشرفت است.<br>این نتایج از سایت <a href="http://www.fvrt.org">www.fvrt.org</a> نقل شده‌اند.   |
| FVRT 2006 | هدف اصلی این آزمایش ارزیابی الگوریتم‌های تشخیص چهره مبتنی بر تصاویر معمول و تصاویر سه بعدی بود. این ارزیابی از طریق سه آزمایش مجزا انجام شد. آزمایش نخست دو تصویر ساده دو بعدی را که در نورپردازی آتلیه‌ای گرفته شده بودند، مقایسه می‌کرد. آزمایش دوم به تطبیق داده‌های سه بعدی صورت با استفاده از اطلاعات بافت و فرم می‌پرداخت. آزمایش سوم یک عکس ساده دو بعدی با نورپردازی آتلیه‌ای را با عکس گرفته شده در تالارها و فضاهای داخلی مقایسه می‌کرد | الف- نسبت به سال ۱۹۹۳ بهبود کارایی تشخیص، به میزان دو برابر افزایش یافته است.<br>ب- این افزایش نسبت به سال ۲۰۰۲ یک برابر بوده است.<br>پ- براساس داده‌های این آزمایش، در شرایط ثبت کنترل شده مشابه، کارایی سیستم‌های مبتنی بر عنبیه و مبتنی بر چهره مشابه بوده است.<br>ت- کارایی سیستم‌های مبتنی بر تصویر دو بعدی و مبتنی بر سه بعدی قابل مقایسه و مشابه است.<br>ث- در برخی شرایط کامپیوترها بهتر از انسان‌ها قادر به تشخیص چهره بودند.<br>ج- برای دستیابی به نرخ تشخیص بالا، نورپردازی و کیفیت تصویر از اهمیت زیادی برخوردار است.<br>این نتایج از مقاله زیر استخراج و تلخیص شده‌اند:<br>مقاله «نتایج مقیاس بالای FRVT 2006 و ICE 2006» نوشته فیلیپس و دیگران در مجله IEEE Trans. ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی، مارس ۲۰۱۰   |

خلاصه ارزیابی‌های FVRT

جدول ۱



صورت و نتایج آن‌ها و همچنین تغییر در فرم و میزان چین و چروک‌های صورت و عمیق‌تر یا کم‌رنگ‌تر شدن آن‌ها است. محققانی که در زمینه بینایی کامپیوتری فعالیت می‌کنند روش‌های مختلفی را بر پایه زیرفضاها، مدل‌های سه بعدی و یادگیری ماشینی برای تشخیص چهره در طی روند پیری پیشنهاد داده‌اند.<sup>۱۱</sup> شکل ۶ نمونه‌هایی از نتایج پیش‌بینی قیافه بر اساس مدل رشد چهره-جمع‌مانه را نشان می‌دهد.

### تشخیص چهره بر اساس ویدیو

تشخیص چهره بر اساس ویدیو یا VFR (سرنام Video Face Recognition) می‌تواند هویت فرد یا افرادی را که در یک ویدیو وجود دارند بر پایه مشخصات چهره تعیین

خواهد داد. روند پیری به شدت غیر قابل پیش‌بینی است، اما به نظر می‌رسد یک سری تغییرات وجود دارد که به یک الگوی ساده تصاعدی در طول زمان وابسته است.

همچنین جابه‌جایی در نشانه‌های چهره به خوبی تغییرات شکلی ناشی از افزایش سن را به خصوص در سنین دو تا هجده سال توصیف و مشخص خواهد کرد. برای سوژه‌های مسن‌تر، میزان تغییر در بافت صورت بیش از میزان تغییر فرم و شکل صورت است. تحقیقات پژوهشگران در زمینه‌های بینایی کامپیوتری و فیزیک-روان‌شناسی (Psychophysics) نیز به مطالعات ریخت‌شناسی چهره و تغییرات چهره در طول زمان کمک کرده است. روش‌های فیزیک-روان‌شناسی شامل بررسی و استنتاج منحنی تغییرات قابلیت کشسانی

## چالش اولیه ثبت نام چهره

در نشست که در سال ۲۰۰۲ برای بحث در خصوص چالش‌های آینده تشخیص چهره برگزار شد، پروفیسور تاکو کانادا، اعلام کرد، روش انطباق چهره موردی حیاتی را به همراه خواهد آورد که نباید آن غافل شد. او این نظریه را بر پایه آزمایش‌هایی که روی مجموعه داده ژست و نورپردازی و حالت چهره (PIE) متعلق به CMU انجام داده بود، عنوان کرد (برای اطلاعات بیشتر به آدرس <http://facealignment.ius.cs.cmu.edu/alignment/webdemo.html> مراجعه کنید).

ادعای پروفیسور کانادا تأیید شد و همچنین مورد توجه سایر پژوهشگران قرار گرفت. اگر تصاویر چهره درست در سیستم ثبت نشده باشند، روش‌های نرمال‌سازی نورپردازی بر اساس توصیف‌کننده‌های پیکسلی مانند استریو فوتومتریک عمومی شده (generalized photometric stereo) یا تصویربرداری خود تقسیمی (Self-quotient imaging) یا استخراج فرم از سایه (Shape-from-shading) و حتی مدل‌های سه بعدی قابل تغییر دچار مشکل خواهند شد. ثبت انطباق‌های صورت در سیستم برای کاهش تأثیر تفاوت‌های ناشی از ژست‌های مختلف امری ضروری است. محققان بینایی کامپیوتری، سال‌ها با این مسئله درگیر بوده و روش‌های مختلفی را برای انطباق چهره پیشنهاد کرده‌اند که این روش‌ها شامل استفاده از گراف‌های خصوصیات، مدل‌های سه بعدی قابل تغییر و سایر تکنیک‌های مرتبط می‌شده است. اما هنوز ثبت خودکار چهره در سیستم به صورت مسئله‌ای حل نشده باقی مانده است.

تشخیص هویت است. طرح‌های ارائه شده برای استفاده و ترکیب اطلاعات می‌توانند شامل گستره وسیعی از حالت‌ها مانند انتخاب ساده فریم‌های مناسب که محققان بعدها آن‌را در سیستم‌های تشخیص هویت مبتنی بر تصاویر ثابت به کار می‌برند تا تخمین ساختار کامل سه بعدی چهره باشند که مورد آخر را می‌توان برای عمومی سازی در شرایط مختلف نور، ژست و سایر پارامترها به کار برد. انتخاب انجام شده به نیازهای عملیاتی سیستم بستگی کامل دارد. به عنوان نمونه، در کاربردهای نظارتی، دقت تصاویر چهره برای تخمین مناسب فرم چهره کافی نیست. بنابراین، استفاده از این روش، قابلیت تشخیص سیستم را کاهش می‌دهد. همچنین روش انتخاب تصویرهای منفرد، نمی‌تواند عمومی سازی قیافه را در مواجهه با تغییرات ژست پیاده کند و در نتیجه، به حالت‌هایی نیاز دارد که ژست سوژه در ویدیوی مورد نظر شباهت‌هایی با ویدیوهای ثبت شده داشته باشد.

### مدل سازی خصوصیات چهره

مدل سازی مؤثر خصوصیات چهره هر سوژه از روی داده‌های ویدیویی، تنها زمانی امکان پذیر می‌شود که تغییرات ظاهر چهره در طول مدت ویدیو را بتوان به درستی

کند. روند معمول FVR روی یک ویدیوی چهره مشخص، برای تشخیص چهره از خصوصیات مقطعی (موقتی) حرکت صورت در ترکیب با تغییر ظاهر فرد استفاده می‌کند. این روند به طور معمول شامل توصیف مقطعی صورت برای تشخیص، ساخت یک مدل سه بعدی یا یک با تفکیک پذیری فوق العاده بالا [سوپر رزولوشن تکنیکی برای افزایش دقت تصویر است] از چهره یا یادگیری ساده تغییرات ظاهر شخص از روی فریم‌های مختلف ویدیو است.

### فاکتورهای عمومی سازی سیستم (تعمیم)

قابلیت تعمیم سیستم برای وضعیت‌های متفاوت ژست، نورپردازی و حالت چهره به ترکیب انتخاب شده بستگی دارد. VFR به طور معمول در سناریوهای نظارتی کاربرد دارد که در آن‌ها ممکن است شرایط تهیه یک فریم مناسب از چهره، که شرط اصلی و غالب روش‌های مبتنی بر تصویر ثابت است؛ وجود نداشته باشد.

یک سیستم VFR به طور معمول خوراکی‌های ویدیویی خود را از یک یا چند دوربین دریافت می‌کند، چهره را از داده‌های ورودی تفکیک و ردگیری کرده و نمونه‌هایی را برای توصیف خصوصیات چهره‌های موجود در ویدیو استخراج می‌کند. در نهایت این نمونه‌ها با نمونه‌های ثبت شده سوژه‌ها در پایگاه داده سیستم مقایسه می‌شود. این مرحله‌ها فاز مرحله آزمایش سیستم را تشکیل می‌دهند.

در طی روند ثبت نام یا آموزش سیستم، ترتیبی از مراحل مشابه روی چندین ویدیوی متفاوت از هر شخص، تکرار خواهد شد. سپس محققان نمونه ترکیبی مرتبط به هر فرد را در پایگاه داده سیستم ذخیره می‌کنند. تفاوت روش‌های مختلف VFR در نمونه‌هایی است که هر یک برای توصیف چهره‌های متحرک استفاده می‌کنند. یک سیستم ایده آل VFR تمام این مراحل را بدون مداخله انسان انجام خواهد داد.

### ترکیب اطلاعات

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی سیستم‌های VFR نیاز به استفاده مؤثر از اطلاعات - هم فضایی و هم زمانی - موجود در یک ویدیو و ترکیب آن‌ها برای عمومی سازی (generalization) بهتر هر سوژه و همچنین درک تمایز بین سوژه‌های مختلف جهت بهبود قابلیت



شکل ۵

نمونه‌های استخراج نقشه‌های بازتابی غیر حساس به نورپردازی و مدل‌های سه بعدی از روی تصاویری که از اینترنت دانلود شده‌اند. در هر ردیف، تصویر سمت چپ از اینترنت دانلود شده است. دو تصویر بعدی مدل سه بعدی بازسازی شده را از دو زاویه دید مختلف نشان می‌دهند. آخرین مجموعه تصاویر از طریق ترکیب تصاویر جدید حاصل از مدل سه بعدی بر اساس ژست‌های مختلف به دست آمده‌اند (از مجموعه تصاویر سوما بیسواس و سایرین (Soma Biswas et al) - مقاله هوش ماشینی و تحلیل الگو - مجله IEEE Trans. می ۲۰۰۹)

## اطلاعات مربوط به پیکربندی

نخست ما باید دقیقاً تعیین کنیم که چه اطلاعاتی در رابطه با پیکره (شکل کلی) چهره برای تشخیص آن مهم است. در بیشتر تحقیقات سعی شده با تمرکز بر تفاوت بین روش‌های تشخیص چهره مبتنی بر خصوصیات چهره و روش‌های مبتنی بر پیکره چهره از این مسئله صرف نظر شود. به طور مشخص در این میان چیزی از کلیت چهره (Face Gestalt) اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد، اما ما هنوز دقیقاً نمی‌دانیم که چگونه این مفهوم کلی را جمع‌بندی و مشخص کنیم. کدام یک از ابعاد و خصوصیات چهره می‌تواند در این سیستم نشانه‌گذاری به ما کمک کند؟

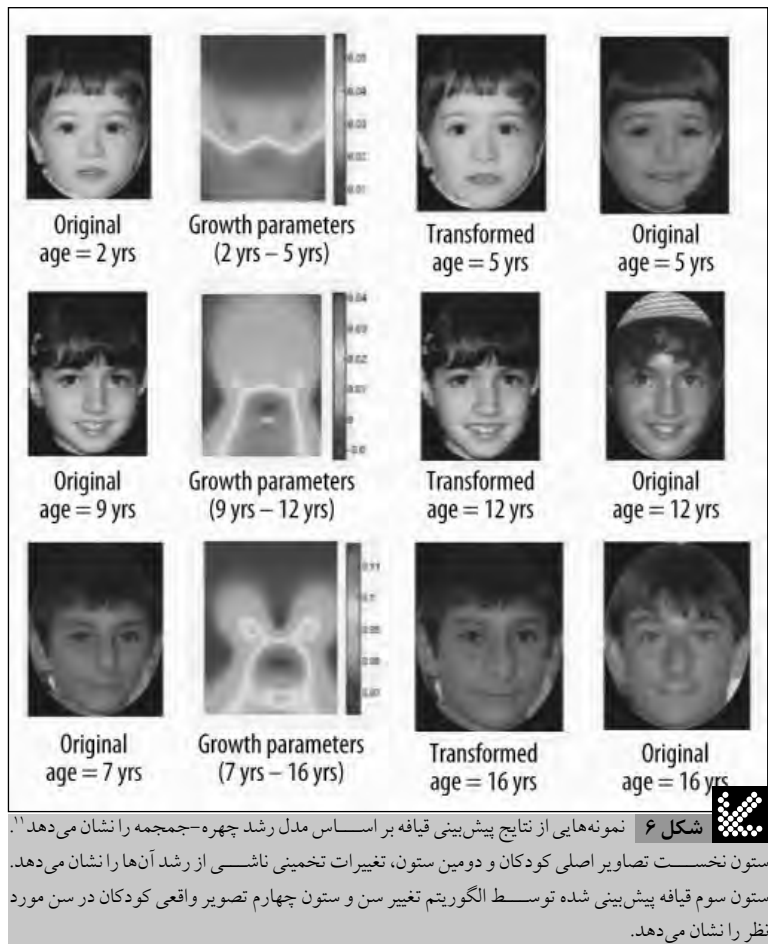
### نقش آشنا بودن چهره

در حله بعدی ما باید به این نتیجه برسیم که چگونه آشنا بودن چهره بر نحوه درک و تصور ما از چهره تأثیر می‌گذارد. فرآیند تشخیص چهره در انسان، می‌تواند با کاهش دقت تصویر افراد آشنا، بسیار بهتر از افرادی که فقط با آنها آشنایی مختصری داریم، کنار بیاید. این امر ما را به این نتیجه می‌رساند که تصور درونی (ذهنی) ما از چهره افراد با افزایش میزان آشنایی، تغییرات زیادی را متحمل خواهد شد و در نتیجه سؤالات متعددی را پیش روی ما قرار خواهد داد. ماهیت این تغییرات چیست؟ آیا تغییر فرآیند کدگذاری از حالت مبتنی بر جزئیات به حالت کل‌گرا نتایج بهتری را فراهم خواهد آورد؟ چگونه می‌توان از این تغییرات برای افزایش قدرت و قابلیت سیستم در برابر تغییر شکل‌ها بهره برد؟

### انتظارات از بالا به پایین

[در روش طراحی یا پردازش بالا به پایین، ابتدا شمای کلی طرح یا محصول ایجاد یا شناخته می‌شود، سپس مراحل بعدی بدون جزئیات توصیف شده و هر کدام جداگانه پردازش می‌شود. این روند تا رسیدن به جزئیات لازم ادامه می‌یابد. در روش پایین به بالا، از ابتدا تمام زیرسیستم‌های اولیه با جزئیات کافی طراحی و ساخته شده و از اتصال آنها به یکدیگر سیستم سطح بالاتر ساخته می‌شود و این روند تا رسیدن به سیستم پیچیده نهایی ادامه می‌یابد.]

سوم ما باید تصمیم بگیریم که انتظارات مدل بالا به پایین چه نقشی در سیستم تشخیص بازی خواهد کرد. به خاطر داشته باشید که زمان تأخیر نورون‌های انتخابی در تشخیص چهره انسانی، در ناحیه اینفروتیمپورال کورتکس (Infero-Temporal Cortex) بیش از صد میلی‌ثانیه بود. با در نظر گرفتن ایده‌های معمول کدگذاری تناوبی [Rate Coding] که فرآیندی مربوط به واکنش نورون‌ها در برابر محرک‌های تکراری است [این تأخیر پایین ما را به این فکر می‌اندازد که شاید، فرآیند پردازش چهره ذاتاً باید به شدت مبتنی بر سیستم بازخورد به جلو (Feed Forward) باشد. در چنین صورتی، انتظارات و توقعات قبلی چگونه می‌تواند بر محاسبه هویت تأثیر بگذارد؟ همچنین، تحت چه شرایطی تأثیرات روش بالا به پایین می‌تواند به سیستم‌های



شکل ۶ نمونه‌هایی از نتایج پیش‌بینی قیافه بر اساس مدل رشد چهره-جمع‌مانند را نشان می‌دهد. ستون نخست تصاویر اصلی کودکان و دومین ستون، تغییرات تخمینی ناشی از رشد آنها را نشان می‌دهد. ستون سوم قیافه پیش‌بینی شده توسط الگوریتم تغییر سن و ستون چهارم تصویر واقعی کودکان در سن مورد نظر را نشان می‌دهد.

بر اساس فاکتورهای مختلف نظیر ژست، نور و حالت چهره دسته‌بندی کرد. برخلاف سناریوهای مبتنی بر تصویر ثابت، این تغییرات به طور ذاتی در سیستم‌های VFR وجود دارند و برای بهره‌برداری از اطلاعات افزوده موجود در داده‌های ویدیویی باید آنها را نیز مدنظر قرار داد.

همچنین، با در نظر گرفتن طبیعت داده‌های ورودی، VFR معمولاً با مسئله «ردگیری» مواجه است که خود چالش بزرگی به شمار می‌آید. در بیشتر مواقع دقت ردگیری سیستم به در اختیار داشتن مدل قابل اعتمادی از قیافه و ظاهر بستگی دارد، اما نتایج تشخیص سیستم معمولاً به دقت تعیین محل چهره در ویدیوی ورودی بستگی دارد.

محققان، سیستم‌های VFR موجود را بر اساس متد ترکیبی ردگیری و تشخیص طراحی کرده‌اند. این متد عبارت است از ترکیب یک الگوریتم تطابق گراف خصوصیات چهره در طول محور زمان با یک روش مبتنی بر مدل سه بعدی یا مدل‌های پنهان ماسکاروف یا نمودار احتمالات تنوع ظاهری. جدول ۲ خلاصه‌ای از روش‌های موجود را نشان می‌دهد.

### جهت‌دهی تحقیقات آینده

اگرچه حجم عظیمی از سابقه‌های آزمایش و پژوهش در زمینه درک چهره توسط انسان وجود دارد، اما بسیاری از موارد اساسی هنوز حل نشده باقی مانده‌اند.

## نمونه‌های سیستم‌های تشخیص چهره بر اساس ویدیو

| الگوریتم   | توضیح مختصر  | توضیح آزمایشی (تجربی)   |
|--|--|---|
| تشخیص چهره انسان از طریق ویدیو بر اساس قوانین احتمالات*  | ردگیری و تشخیص همزمان با استفاده از مدل فضایی با وضعیت متغیر و نمونه‌گیری اهمیت متوالی (SIS) (سرنام Sequential Importance Sampling)  | آزمایش خصوصی: با دوازده سوژه سازمان استاندارد (NIST): سی سوژه Mobo: ۲۵ سوژه Mobo به احتمال (سرنام MOBILE Operator)        |
| VFR با استفاده از احتمالات تنوع ظاهری <sup>۲</sup>       | چهره با استفاده از روش تنوع ظاهری ابعاد پایین که خود از طریق زیرفضای خطی تکه‌ای و تنوع ویژه تخمین زده شده، مدل‌سازی می‌شود.  | مجموعه داده Honda/UCSD: بیست سوژه و ۵۲ ویدیو (این مجموعه داده با هدف تبیین استانداردهای تشخیص چهره ویدیویی تأسیس شده است) |
| VFR با استفاده از ردگیری خصوصیات چهره                    | خصوصیات چهره تعریف شده در یک شبکه شطرنجی را با استفاده از ویژگی‌های گابور <sup>۳</sup> (Gabor) و الگوریتم نمونه‌گیری اهمیت متوالی (SIS) ردگیری می‌کند یا VFR با استفاده از مدل پنهان ماکاروف | مجموعه داده Li: نوزده سوژه (هر کدام با دو تسلسل)  |
| VFR با استفاده از مدل پنهان‌ماکاروف تطابقی <sup>xx</sup> | آمار آموزش (یاددهی) ویدیویی و دینامیک زمانی آن‌ها که توسط یک HMM (سرنام Hidden Markov Model) یادگرفته می‌شود   | آزمایش خصوصی: دوازده سوژه Mobo8: ۲۵ سوژه  |

x: ژو و سایرین، CVIU 2003 y: لی و سایرین، CVIU 2005 z: لی و سایرین، JOSA 2001 xx: لیو و چن، CVPR 2003 yy: مجموعه داده لی، نوزده سوژه (هر یک دو تسلسل)

جدول ۲

است. در مراحل اولیه توسعه، تحقیقات در زمینه VFR باید با کمبود داده‌های ویدیویی دست و پنجه نرم می‌کرد. در برنامه مسابقات بزرگ بیومتریک چندگانه که توسط مؤسسه استاندارد و فناوری امریکا (NIST) برگزار شد (<http://face.nist.gov/mbgc>)، ۴۴۸۹ سکانس ویدیویی برای توسعه و ارزیابی و امتیازبندی روش‌های تطابق ویدیو به ویدیو در اختیار شرکت کنندگان قرار گرفت. برای هر چه مؤثرتر شدن چنین اقداماتی، این مشکلات باید حل شوند: ردگیری و نرمال‌سازی ژست چهره‌های متحرک به صورت بی‌درنگ، نرمال‌سازی نورپردازی، جبران کیفیت پایین تصاویر چهره با تکیه بر تکنیک‌های افزایش کیفیت و ردگیری و تشخیص همزمان. همچنین الگوریتم‌های دارای قابلیت سازگاری با تصاویر چندین گالری و سکانس‌های کاوش ویدیویی باید توسعه داده شوند.

### تشخیص چهره در شبکه دوربین‌ها

شبکه‌های چنددوربینی به راه‌حل‌هایی بسیار معمول برای کاربردهای نظارتی مقیاس وسیع تبدیل شده‌اند. در اختیار داشتن شبکه‌ای از دوربین‌ها که بتواند تصاویر متعددی از چهره افراد تهیه کند، به توسعه دهندگان کمک خواهد کرد تا با روش‌های قدرتمندتری به توصیف چهره بپردازند. چنین وضعیتی این احتمال را که تصویر فردی با ژستی از روبه‌رو یا تقریباً از روبه‌رو ثبت شود، نیز افزایش خواهد داد. اما برای استفاده از اطلاعات این دیدهای مختلف، باید بتوانیم وضعیت سر فرد را برآورد کنیم. این کار می‌تواند به صورت صریح و از طریق محاسبه و تبدیل ژست واقعی فرد به یک حالت تخمینی قابل قبول انجام شود یا به صورت ضمنی و از طریق یک الگوریتم انتخاب دید انجام پذیرد. اما تعیین وضعیت دقیق سر سوژه به خصوص زمانی

تشخیص چهره معمول کمک کند؟ پاسخ به این سؤالات نه تنها نوید آشکار کردن فرآیند تشخیص چهره در مغز را با خود به همراه دارد، بلکه نشانه‌ها و راهنمایی‌هایی را برای توسعه راهبردهای مؤثرتر و ارائه‌هایی مناسب کاربرد در سیستم‌های مبتنی بر بینایی کامپیوتری را نیز فراهم خواهد کرد.

### تشخیص چهره از راه دور

اغلب سیستم‌ها و الگوریتم‌های تشخیص چهره موجود، تنها زمانی کارا هستند که سوژه در فاصله چندین ده متری دوربین قرار گرفته باشد. افزایش فاصله مؤثر در سیستم‌های تشخیص چهره، دغدغه و نیروی محرکه جدیدی در کاربردهای نظارتی است. در سناریوهای تشخیص چهره از دور، تصاویر چهره اغلب مات و محو خواهند بود، ممکن است تعداد پیکسل‌های کافی در محدوده چهره موجود نباشد و همچنین ممکن است تنوع نورپردازی و ژست‌های فراوانی داشته باشند یا در برابر این تصاویر موانعی وجود داشته باشد. در سناریوهای تشخیص چهره از دور، ثبت نشانه‌های صورت با کیفیت مناسب و کافی جهت انتقال به موتور تشخیص چهره خود چالشی بزرگ محسوب می‌شود. این مشکل به خصوص زمانی که حسگر و سوژه متحرک باشند، شدیدتر خودنمایی می‌کند. در چنین حالتی ابتدا باید ویدیو را تثبیت و استوار کرد تا بتوان چهره را پیش از تشخیص ردگیری کرد.

### تشخیص چهره مبتنی بر ویدیو

بخش امنیت نیروی دریایی و سایر کاربردهای امنیتی، به راهکارهای قابل اعتمادی نیاز دارند که بتوانند توالی‌های ویدیویی را استخراج کنند. تشخیص چهره مبتنی بر ویدیو، در طی نه سال اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده

## تشخیص چهره: آیا نوع پوست هم مهم است؟

رنگ و زمختی پوست می تواند از طریق استخراج رنگ بندی های پوست، خصوصیات شفافیت پوست و الگوهای ناهمواری سطحی؛ امکان دسته بندی سریع افراد را در گروه های سنی و نژادی مختلف فراهم کند. این خصوصیات می تواند به غربال کردن و کاهش تعداد نامزدهای انطباق با نمونه مورد نظر کمک کند.

خال ها، کک و مک و جراحات، خصوصیات موضعی پوست هستند که در صورت وجود و ماندگاری، نشانه های شناختی قدرتمندی را برای تشخیص چهره فراهم می کنند، زیرا امکان این که این نشانه های موضعی در افراد مختلف یکسان باشد، بسیار اندک است. اختلالات و موارد غیر عادی موجود در پوست، سطوح ماندگاری متفاوتی دارند. نشانه هایی نظیر خال ها و کک و مک معمولاً دائمی هستند، در حالی که اغلب خراش ها، جوش ها و قرمزی های پوست گذرا و ناپایدارند. اما چالش اساسی، اندیشیدن تمهیدی است برای فائق آمدن بر مشکل تنوع ظاهر پوست در اثر عواملی نظیر میزان گردش خون در پوست و تفاوت های نورپردازی.

زمختی و زبری پوست را می توان به دو بخش موضعی و سرتاسری تقسیم کرد. چروک های پیشانی و گوشه چشم، نمونه های زبری موضعی سطح پوست هستند. فاکتورهای سنی و سلامتی مختلف می توانند باعث ایجاد زبری و ناهمواری سرتاسری در بدن شوند که اغلب سطح وسیعی از صورت را نیز خواهد پوشاند. زبری سطح پوست، اغلب در تصاویر با کیفیت متوسط یا بالا قابل رؤیت است. مزیت این خصوصیات، ظاهر به نسبت پایدار و بدون تغییر آن ها در برابر فاکتورهای مزاحم نظیر تغییر حالت چهره، تغییر نورپردازی و وضعیت سرتاسر است.

تغییرات شکل و بافت هر دو اثرگذار بوده و در این میان تغییرات بافت به شدت مؤثرتر هستند. در یکی از تحقیقات اخیر<sup>۱</sup>، محققان خلاصه گزارشی از شیوه های متفاوت ساخت تصویر مسن تر افراد بالغ ارائه کردند. یکی از این مدل ها مشتمل بر تغییرات شکلی و بافتی بود.

با درک این که تغییر خصوصیات الاستیک ماهیچه های صورت، عامل اصلی تغییر شکل صورت در طی روند پیری افراد بالغ است، محققان با استفاده از مدل های فیزیکی که عملکرد ماهیچه های متفاوت صورت را توصیف می کردند، مدل تغییر شکل چهره را ایجاد کردند. برخی از محققان<sup>۱</sup> با طبقه بندی ماهیچه های صورت به یکی از دسته های خطی، صفحه ای و اسفنجی، برای هر یک مدل تغییراتی را پیشنهاد کرده اند. آن ها این تغییر شکل ها و جابه جایی های خصوصیات چهره را از طریق ترکیب خطی مشاهده شده در هر یک از ماهیچه های صورت مدل سازی کرده اند.

مدل تغییرات بافت، به طور خاص برای توصیف چین و چروک های صورت در نواحی از پیش تعیین شده نظیر پیشانی و ناحیه لب ها و بینی طراحی شده است. شکل ۷ چیدمان ماهیچه های صورت و همچنین مدل فشاری پیش بینی شده برای هر یک از انواع ماهیچه ها را نشان می دهد. با این حال، هنوز کارایی این روش ترکیبی در تشخیص چهره طی فرآیند پیری باید مورد ارزیابی قرار گیرد. روش جایگزین دیگر، که بر مدل های شبیه سازی پیری تکیه ندارد، به سادگی جست و جو می کند که آیا دو صورت موجود که از لحاظ سنی متفاوت هستند، به یک فرد مربوط است یا خیر. برای کاربردی شدن این روش ما باید خصوصیات مستقل از سن صورت را استخراج کنیم.

تلاش های اخیر بیشتر به سمت سیستم های غیر تولیدی (Nongenerative) متمایل بوده است. هدف آن ها استخراج معیارهایی برای اندازه گیری پیوستگی جابه جایی مشخصه های صورت در تصاویر سنین مختلف یک سوژه مشخص و سپس مقایسه آن با داده های چهره های سنین مختلف سوژه های متفاوت است. طراحی نحوه ارائه و قوانین تصمیم گیری مناسب برای تشخیص چهره طی فرآیند پیری، هنوز مسئله ای حل نشده محسوب می شود.

### چهره و سایر خصوصیات بیومتریک

الگوریتم های تشخیص چهره برای تثبیت کارایی و قدرت، اغلب در ترکیب با سیستم های تشخیص اثر انگشت، عنبیه، گام و صدا به کار برده شده اند. این امر به زمینه پژوهشی جدیدی شده منجر است: سیستم های چندوضعیتی یا بیومتریک چندگانه. یکی از چالش های مهم ترکیب الگوریتم ها یا سیستم های بیومتریک، ساخت و طراحی روش های کارا و قدرتمند ترکیب است.

در این زمینه به شدت از تئوری و طراحی های سیستم های طبقه بندی چندگانه استفاده شده است. اگرچه محققان نمونه های متعددی از ترکیب های چهره-انگشت، چهره-گام، چهره-صدا و چهره-عنبیه را طراحی کرده

که کیفیت تصاویر پایین باشد یا کالیبراسیون هر دو دوربین داخلی و خارجی از دقت کافی جهت ترکیب مناسب چند دید مختلف برخوردار نباشد، بسیار مشکل خواهد بود. این مشکل زمانی که سوژه در فاصله دوری از دوربین ها قرار دارد نیز وجود خواهد داشت. همچنین مشکلات دیگری نظیر ردگیری در چند دید مختلف، ارائه و تفسیر مناسب از تصاویر چهره چند دیدی و تشخیص چهره چند دیدی هم در انتظار راه حل به سر می برند. و در نهایت این موضوع که آیا الگوریتم های مورد نیاز باید متمرکز یا توزیع شده باشند، خود مسئله حیاتی دیگری است.

### تشخیص چهره در وب ۲

در چند سال گذشته، ماجول های تشخیص چهره به بسیاری از نرم افزارها نظیر، پیکاسای گوگل و iPhoto افزوده شده است. این ماجول ها برای تشخیص چهره های موجود در گالری تصاویر فرد یا یک شبکه اجتماعی برنامه ریزی شده اند. آن ها همچنین امکان تصحیح چهره هایی را که اشتباه برچسب گذاری شده اند، نیز فراهم می کنند. باز خورد دریافتی از کاربران، به تشخیص سریع نقاط ضعف سیستم های خودکار تشخیص چهره و تعیین زمینه های نیازمند سرمایه گذاری تحقیقاتی کمک خواهد کرد.

بسیاری از مشکلات موجود در شبکه های دوربینی چنددیدی، در وب ۲ هم وجود خواهند داشت. اگرچه مواردی هم مختص این کاربری ویژه وجود دارد، نظیر الگوریتم های استخراج یا توانایی برچسب گذاری صحیح چهره ها در بین مخاطبان موجود در شبکه های همپوشان اجتماعی.

### تشخیص چهره در طی فرآیند پیری

الگوریتم های تخمین سن موجود، تنها برای تعیین سن در محدوده های چندین ساله استفاده می شوند. ترکیب چهره مسن تر برای سوژه های بین دو تا هجده سال اغلب از طریق تغییرات شکلی تعیین می شود، در حالی که برای افراد بالغ،

”

با درک این که تغییر خصوصیات الاستیک

ماهیچه های

صورت، عامل

اصلی تغییر شکل

صورت در طی

روند پیری افراد

بالغ است، محققان

با استفاده از

مدل های فیزیکی

که عملکرد

ماهیچه های

متفاوت صورت

را توصیف

می کردند، مدل

تغییر شکل چهره را

ایجاد کردند.

“

و توسعه داده‌اند، اما هنوز بیومتریکی چندگانه که در آن چهره یکی از شاخصه‌های تشخیص هویت است، در دوران ابتدایی خود به سر می‌برد<sup>۱۲</sup>.

ادامه تحقیقات در زمینه تشخیص چهره، پروژه‌های بسیار مهمی را در زمینه‌هایی نظیر امنیت ملی، تعامل انسان و کامپیوتر و بسیاری کاربردهای ساده دیگر، برای دانشمندان و مهندسان به ارمغان خواهد آورد. زمینه‌هایی که از دید ما قابل تعقیب هستند، عبارتند از: تشخیص چهره از طریق سکناس‌های ویدیویی غیر تحمیلی، ترکیب تأثیرات آشنا بودن چهره در الگوریتم‌ها، مدل‌سازی اثرات پیری و توسعه مدل‌های بیولوژیک احتمالی برای توانایی تشخیص چهره در انسان.

### درباره نویسندگان:

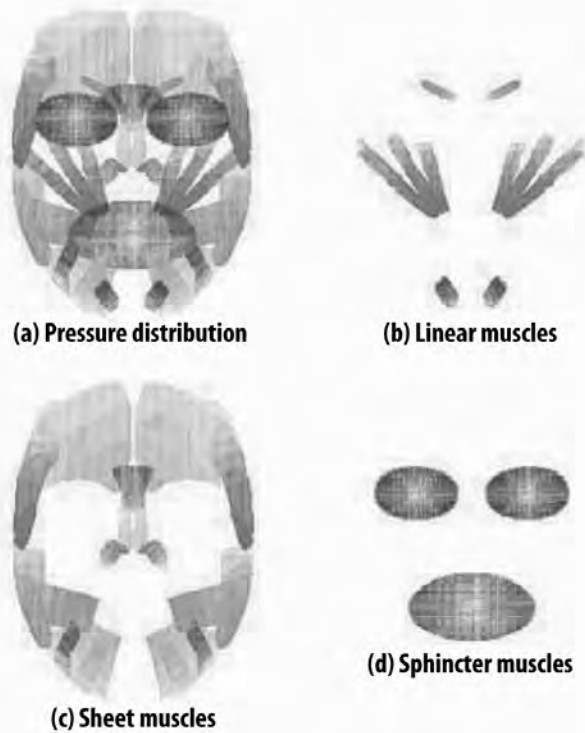
• **راما چلایا:** استاد علوم مهندسی و مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه مینتا مارتین است. وی همچنین استاد علوم کامپیوتری دانشگاه مریلند در کالج پارک است. زمینه‌های مطالعاتی وی عبارتند از: تشخیص چهره و گام، مدل‌سازی سه بعدی از ویدیو و تشخیص حرکات. چلایا مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه پوردو دریافت کرده است. از طریق آدرس [rama@cfar.umd.edu](mailto:rama@cfar.umd.edu) می‌توانید با او تماس داشته باشید.

• **پاوان سین‌ها:** استادیار دپارتمان مغز و علوم تشخیصی MIT است. زمینه‌های تحقیقاتی وی عبارتند از، نحوه تشخیص اشیاء، صحنه‌ها و توالی توسط مغز. وی مدرک دکترای خود را در زمینه بینایی از MIT دریافت کرده است. از طریق آدرس [psinha@mit.edu](mailto:psinha@mit.edu) می‌توانید با او تماس بگیرید.

• **پی جوناتان فیلیپس:** از مهندسان الکترونیک مؤسسه ملی استاندارد و فناوری گایتزبورگ در مریلند است. زمینه‌های تحقیقاتی وی عبارتند از، تشخیص چهره، ارزیابی الگوریتم و بیومتریکی. فیلیپس مدرک دکترای خود را در زمینه تحقیق در عملیات از دانشگاه روتگرز دریافت کرده است. از طریق آدرس [jonathan@nist.gov](mailto:jonathan@nist.gov) می‌توانید با وی تماس بگیرید.

### پی‌نوشت:

- ۱- مقاله «تشخیص چهره توسط انسان: ۱۹ نتیجه‌ای که تمام محققان در زمینه بینایی کامپیوتری باید بدانند»، نوشته، پی. سین‌ها و دیگران در شماره ۹۴، سال ۲۰۰۶، مجله IEEE
- ۲- مقاله «تشخیص چهره در تصاویر ثابت و متحرک: بررسی پیشینه‌ها»، نوشته، دبلیو. ژائو و دیگران، شماره دسامبر ۲۰۰۳ میلادی، ACM Computing Surveys
- ۳- «کتاب راهنمای تشخیص چهره»، نوشته، اس. لی. وی. کی. جین، سال ۲۰۰۵، انتشارات Springer
- ۴- مقاله «پردازش چهره: مدل‌سازی پیشرفته و شیوه‌ها»، نوشته، دبلیو. ژائو و آر. چلایا، سال ۲۰۰۶، انتشارات Academic Press
- ۵- مقاله «شناسایی چهره در تصویر: یک بررسی»، نوشته، ام. اچ. یانگ، دی. جی. کریگمان و ان. آهوچا، شماره ژانویه ۲۰۰۶، مجله IEEE Trans، ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی



شکل ۷ تصویر از چیدمان ماهیچه‌های صورت به همراه مدل فشاری پیشنهادی برای هر یک. مدل تغییرات بافت به طور خاص برای تشخیص چین و چروک صورت در نواحی از پیش تعیین شده طراحی شده است.

- ۶- مقاله «تشخیص چهره قدرتمند و بی‌درنگ»، نوشته، پی. ویولا و ام. جی. جونز، شماره ۵۷، سال ۲۰۰۴، ژورنال بین‌المللی بینایی کامپیوتری
- ۷- مقاله «شیوه ارزیابی FERET برای الگوریتم‌های تشخیص چهره»، نوشته، پی. جی. فیلیپس و دیگران، شماره ۲۲، سال ۲۰۰۰، مجله IEEE Trans، ویژه‌نامه تحلیل الگو و بینایی ماشینی
- ۸- مقاله «تشخیص چهره بر اساس انطباق مدل سه بعدی قابل تغییر»، نوشته، وی. بلانز و تی. وتر، شماره ۲۵، سال ۲۰۰۳، مجله IEEE Trans، ویژه‌نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی
- ۹- سری مقاله‌های «چهره چه چیز را مشخص می‌کند؟ مطالعات پایه و کاربردی حالت‌های بی‌اختیار چهره با استفاده از سیستم کدگذاری کنش چهره»، نوشته، پی. اکمن و ای. ال. روزنبرگ، مجله علوم روانی سال ۲۰۰۵، انتشارات آکسفورد
- ۱۰- مقاله «بازنگری ادبیات تحقیق در زمینه افزایش سن مجسمه و چهره بزرگسالان: استدلال‌هایی برای کاربردها و تحقیقات علوم قضایی»، نوشته، ام. آلبرت، کی. ریکانک و ای. پترسون، شماره آوریل سال ۲۰۰۷، ژورنال بین‌المللی علوم قضایی
- ۱۱- مقاله «روش‌های محاسباتی برای مدل‌سازی افزایش سن چهره: یک بررسی»، نوشته، ان. راماناتان و آر. چلایا، شماره می ۲۰۰۹، ژورنال زبان بصری و کامپیوتر
- ۱۲- «کتاب راهنمای بیومتریکی چندگانه»، نوشته، ای. راس، کی. نانداکومار و ای. کی. جین، سال ۲۰۰۶، انتشارات Springer

تشخیص هویت بیومتریک غیر تحمیلی

# فناوری‌های نوپا

« نویسنده: کارل ریکانک جونور، ماریوس ساویدس

دامون ال. وودارد وگری دوزیر

« منبع: IEEE Computer، فوریه ۲۰۱۰

« ترجمه: احمد شریف پور

تحقیقاتی که در مرکز مطالعات پیشرفته علوم شناختی CASIS (سرنام Center for Advanced Studies in Identity Sciences) در حال انجام است، به سرعت راه‌حلی را برای چالش‌های سیستم‌های تشخیص چهره و عنبیه ارائه می‌کند. این چالش‌ها زمانی رخ می‌دهند که سوژه مورد نظر در محیطی غیر تحمیلی [بدون نیاز به رعایت فاصله یا فرم خاص یا ژست مشخص] و معمولاً در فاصله‌ای دور نسبت به سنسورها قرار گرفته، در حال حرکت است یا بخشی از تصویر سوژه تار و مبهم است. در کاربردهای معمول بیومتریک نظیر محاسبه سطح دسترسی و کنترل مرزها، لازم است که کاربر نشانه بیومتریک خود را به شیوه‌ای کاملاً کنترل شده به سیستم وارد کند. در این شیوه محدود و تحمیلی ثبت مشخصات بیومتریک، کاربر اعمالی را با آگاهی و از روی عمد برای همکاری با سیستم انجام می‌دهد. به عنوان مثال، بی حرکت روبه روی دستگاه می‌ایستد. اما در بسیاری از کاربردها سوژه‌ها تا این اندازه تحت کنترل نیستند. در واقع، تقاضا برای سیستم‌های بیومتریک کنترل نشده از قبل در حال رشد بوده است و در آینده‌ای نه چندان دور، این سیستم‌ها جزئی از پارادایم‌های تجاری جدید و محصولات بدیع خواهند بود. ماشین‌های خودکار فروش خواهند توانست با سیستم کنترل عرضه بر اساس سن (نظیر عرضه دخانیات) هماهنگ شوند. کسب و کارها به آمار و ارقام فروش که به صورت خودکار و توسط سیستم‌های بیومتریک تولید شده‌اند، تکیه خواهند کرد. این سیستم‌ها از اطلاعات توزیع‌یون‌های مدار بسته برای تهیه داده‌های قابل اعتمادی در رابطه با سن، جنس و نژاد کاربران تجاری استفاده خواهند کرد. دوربین‌ها قادر خواهند بود از فواصل دور دست‌را از دشمن تشخیص داده و ردگیری کنند. عروسک‌ها خواهند توانست حرکات چهره را تقلید کنند. الگوریتم‌های افزایش سن چهره برای تعیین چگونگی تغییر چهره در طول زمان از قالب‌های مشخصی استفاده خواهند کرد.

SHABAKEH  
[NETWORK]

شبکه

۳۰۶

آبان

۱۳۸۹



برای تبدیل این کاربردهای بیومتریک کنترل نشده (غیر تحمیلی) از رویا به واقعیت، تعداد زیادی از سازمان‌ها و نهادها با همکاری یکدیگر «مرکز مطالعه پیشرفته علوم شناختی» یا CASIS را تشکیل داده‌اند؛ کنسر سیمومی تحقیقاتی که هدف آن تعیین و ارائه راه حل برای چالش‌های ذاتی این سیستم‌ها است. گروه CASIS اغلب شامل افرادی آکادمیک (اساتید دانشگاه و...) است که در بیشتر مدت فعالیت علمی خود روی جنبه‌های مختلف مسائل مربوط به بیومتریک غیر تحمیلی کار کرده‌اند. این اعضا در واقع نمایندگان مرکز بیومتریک دانشگاه کارنگی ملون، آزمایشگاه بیومتریک و تشخیص الگوی دانشگاه کلمسون، آزمایشگاه محاسبات کاربردی در دانشگاه ایالتی صنعت و کشاورزی کارولینای شمالی و گروه افزایش سن چهره از دانشگاه ویلمینگتون کارولینای شمالی هستند.

محققان CASIS در حال توسعه راه‌حل‌های درخشان و نوآورانه‌ای هستند که سیستم‌های بیومتریک را قادر می‌سازد از داده‌های بیومتریکی که در شرایطی پایین‌تر از حد ایده آل تهیه شده‌اند، استفاده کنند، تولید مشخصات و الگوهای بیومتریک را قدرتمندتر کنند و کارایی انطباق سیستم‌ها را افزایش دهند. راه‌حل‌های در دست توسعه، روی حالت‌های فیزیکی متنوع صورت، عنبیه و ناحیه چشم تمرکز کرده‌اند، که مورد آخر یکی از انواع جدید سیستم‌های بیومتریک است که تنها ناحیه اطراف چشم را مورد بررسی قرار می‌دهد.

در زمینه تشخیص چهره غیر تحمیلی، محققان در حال ارائه راه‌حل برای چالش‌هایی نظیر کشف و ردگیری چهره، ثبت نشانه‌های اختصاصی چهره، اصلاح ژست و افزایش سن چهره هستند که این موارد کارایی سیستم‌های موجود تشخیص چهره را به شدت کاهش می‌دهند. در زمینه تشخیص عنبیه غیر تحمیلی، تحقیقات انجام شده در CASIS محدوده ثبت تصویر را از چند سانتی متر به چندین متر افزایش داده و سیستم شبه قضایی انطباق عنبیه را به ثبت رسانده است. در آخر، محققان در حال بررسی سیستم تشخیص بر مبنای بافت ناحیه اطراف چشم و ترکیب آن با سیستم‌های تشخیص عنبیه هستند.

## کشف چهره

به رغم پیشرفت‌های اخیر، هنوز مشکلات متعددی بر سر راه کشف چهره در سیستم‌های تشخیص بیومتریک غیر تحمیلی وجود دارد. مشکلاتی نظیر زاویه و ژست صورت، نورپردازی شدید یا ضعیف، حالت‌های مختلف چهره، بسته شدن چشم‌ها و هزینه انجام محاسبات روی تصاویر چند مگاپیکسلی. راه‌حل‌های سخت‌افزاری، مانند استفاده از آرایه‌های دروازه‌ای ممیز شناور (Floating-point Gate Array) و یک واحد پردازش گرافیکی (GPU) می‌تواند هزینه‌های سنگین محاسباتی را کاهش دهد که اغلب باعث کاهش نرخ تشخیص به بیست فریم در ثانیه یا کمتر خواهد شد.

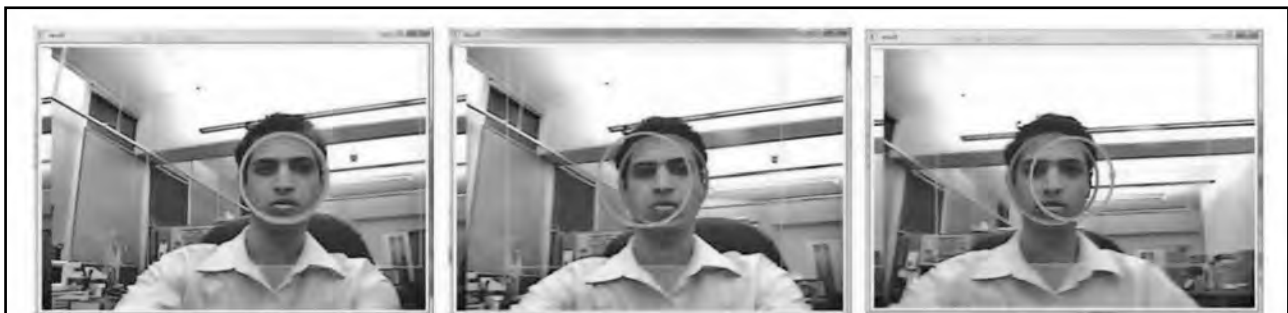
محققان CASIS روی شیوه‌های مؤثر شتاب‌دهی GPU برای تشخیص چهره کار می‌کنند که می‌تواند توان عملیاتی سیستم در کار با تصاویر چند مگاپیکسلی را افزایش داده و پردازش آن‌ها را بی‌درنگ یا حتی سریع‌تر کند. الگوریتم‌های جدید یادگیری ماشینی و تشخیص قدرتمند نشانه‌ها و الگوها نوید افزایش کارایی سیستم و کاهش تعداد تشخیص‌های مثبت اشتباه را به همراه دارند. در کاربردهای مبتنی بر ویدیو، ردگیری می‌تواند از طریق حذف برخی تشخیص‌های اشتباه، به حل مشکلات مشخصی کمک کند و برای استخراج داده‌های زمانی از فریم‌های ویدیو به کار رود.

## ردگیری چهره

الگوریتم‌های کشف چهره با مشکل تشخیص‌های اشتباه روبه‌رو هستند، به ویژه زمانی که پس‌زمینه تصویر مانند فیلم‌های دوربین‌های مدار بسته تلویزیونی، به هم ریختگی زیادی داشته باشد. همچنین این الگوریتم‌ها نمی‌توانند به صورت بی‌درنگ کار کنند، زیرا امکان پردازش تصاویر ویدیویی چند مگاپیکسلی با چنین سرعتی وجود ندارد. ردگیری چهره سعی در حل این دو مشکل دارد.

برخلاف کشف چهره که سعی در مشخص کردن چهره افراد در هر فریم ویدیو به صورت جداگانه دارد، ردگیری چهره از همبستگی‌های زمانی برای تعیین موقعیت

در زمینه تشخیص عنبیه غیر تحمیلی، تحقیقات انجام شده در CASIS محدوده ثبت تصویر را از چند سانتی متر به چندین متر افزایش داده و سیستم شبه قضایی انطباق عنبیه را به ثبت رسانده است.



شکل ۱ اصلاح کشف چهره ناپایدار از طریق ردگیری چهره. دایره سبز خروجی سیستم کشف چهره و دایره قرمز خروجی سیستم ردگیری خواهد بود.



شکل ۲ نتایج انطباق شیوه ردگیری چهره CASIS روی دیدهای مختلف. تصاویر از پایگاه داده MPIE انتخاب شده‌اند.

”  
 ردگیری چهره  
 می‌تواند به عنوان  
 فاز مقدماتی  
 ماجول‌های آنالیز  
 نظیر تشخیص  
 چهره، تحلیل  
 حالت چهره،  
 ردگیری سمت  
 دید، لب‌خوانی  
 و ردگیری و  
 تشخیص عنبیه به  
 کار رود.

“

پیاده‌سازی‌های موجود مدل فرم فعال یا ASM (سرنام Active Shape Model) به اندازه کافی برای تعامل با تنوع‌های ناشی از ژست‌های چهره، دوران چهره و حالت‌های غیر معمول چهره قدرتمند نیستند، محققان CASIS نمونه‌ای تغییر یافته از ASM را پیاده‌سازی کرده‌اند<sup>۱</sup> که موقعیت نشانه‌های چهره را با دقت بیشتری در وضعیت‌های متنوع ژست و حالت تعیین می‌کند. اگرچه این روش برای تصاویر تمام‌رخ چهره (نمونه‌ای از بیومتریک تحمیلی) به خوبی کار می‌کند، تشخیص چهره بیومتریک غیر تحمیلی نیازمند انطباق دقیق چهره برای کار روی چهره با ژست‌ها و دیدهای مختلف است. محققان CASIS برای حل مشکل تشخیص هویت غیر تحمیلی مدل‌های ASM را با مدل‌های ظاهر فعال یا AAM (سرنام Active Appearance Model) ترکیب کرده‌اند که کارایی انطباق بر اساس ASM را به شدت افزایش می‌دهد.

نتایج به دست آمده از ارزیابی پایگاه داده وضعیت‌های چندگانه ژست، نورپردازی و حالت چهره (Multi-PIE) نشان می‌دهد که این دو نوع مدل در کنار یکدیگر برای انطباق اولیه چهره‌ها به اندازه کافی قوی هستند. سیستم‌های ASM به نسبت AAMها، بهتر می‌توانند به چهره‌های جدید که سیستم درباره آن‌ها آموزش ندیده تعمیم داده شوند و به همین دلیل، به مجموعه داده کوچک‌تری جهت یادگیری نیاز دارند. در عوض AAMها دقت انطباق بالاتری را نسبت به ASMها از خود نشان می‌دهند. بنابراین، ترکیب سریال این تکنیک‌ها

چهره افراد در سکانس‌های ویدیویی استفاده می‌کند. حاصل کار محدود و جست‌وجوی کوچک‌تری است که امکان ردگیری در ناحیه کوچک‌تری را فراهم آورده و در نتیجه امکان ردگیری بی‌درنگ را فراهم می‌کند. ردگیری چهره می‌تواند به عنوان فاز مقدماتی ماجول‌های آنالیز نظیر تشخیص چهره، تحلیل حالت چهره، ردگیری سمت دید، لب‌خوانی و ردگیری و تشخیص عنبیه به کار رود. الگوریتم کشف چهره معمولاً نتایجی را باز می‌گرداند که به لحاظ پارامترهای مختصات فضایی و اندازه چهره با هم متفاوت هستند. این تشخیص بی‌ثبات و متغیر در سکانس شکل<sup>۱</sup> که شامل سه فریم است، دیده می‌شود. فیلتر کالمن مدل خطی<sup>۱</sup> (Linear-model Kalman Filter) یکی از پارادایم‌های مؤثر پیش‌گیری و اصلاح در ردگیری چهره است. محققان CASIS برای اعمال مدل‌های غیر خطی در سیستم، اضافه کردن یک فیلتر ذره‌ای غیر پارامتری<sup>۲</sup> (Nonparametric Particle Filter) و یک فیلتر بسط یافته کالمن<sup>۳</sup> (Extended Kalman Filter) به مدل خطی را پیشنهاد کرده‌اند. در چنین صورتی ردگیری چهره بسیار قوی‌تر خواهد شد و توانایی کار با تغییرات سریع ژست، بسته بودن طولانی مدت چشم‌ها و... را خواهد داشت.

### علامت‌گذاری نشانه‌های چهره

در مدل‌سازی چهره، نقاط خاص یا نشانه‌های چهره در طول لبه فرم‌های اجزای صورت نظیر چشم‌ها، لب‌ها، بینی، دهان و ابروها قرار دارند. چون الگوریتم‌ها و



شکل ۳ نتایج انطباق شیوه ردگیری چهره CASIS روی تصاویر با کیفیت پایین. تصاویر از پایگاه داده MPIE انتخاب شده‌اند.

## مقایسه تکنیک‌های قدیمی تخمین سن با روش CASIS بر اساس میانگین خطای مطلق برای هر دهه

| روش CASIS | تکنیک‌های قدیمی | محدوده سنی           |
|-----------|-----------------|----------------------|
| ۱/۳۹      | ۲/۳۰            | ۰-۹                  |
| ۲/۱۰      | ۴/۸۶            | ۱۰-۱۹                |
| ۳/۰۰      | ۴/۰۲            | ۲۰-۲۹                |
| ۲/۴۵      | ۷/۳۲            | ۳۰-۳۹                |
| ۲/۴۰      | ۱۵/۲۴           | ۴۰-۴۹                |
| ۲/۰۰      | ۲۲/۲۰           | ۵۰-۵۹                |
| ۵/۳۳      | ۳۳/۱۵           | ۶۰-۶۹                |
| ۴/۳۷      | ۴/۹۵            | کل میانگین خطای مطلق |



**شکل ۴** نمونه مدل‌سازی سه بعدی چهره بر اساس یک تصویر از سیلوستر استالونه در فیلم رامبو ۴. هندسه ریز و فشرده چهره سه بعدی اغلب برای ترکیب و تحلیل تصاویر گرفته شده در شرایط نوری متفاوت و برای حفظ کیفیت تصویر الزامی است.

الگوریتم قدرتمندی را برای نشانه‌گذاری فشرده و مترکم چهره به وجود می‌آورد.

شکل‌های ۲ و ۳ نتایج انطباق را برای ژست‌های مختلف در تصاویر با کیفیت پایین نشان می‌دهند.

### تشخیص چهره

ردگیری و نشانه‌گذاری چهره، واحدهای پیش‌پردازنده ضروری هستند که تشخیص چهره را بهبود می‌بخشند. تشخیص چهره از تصاویر ناتمام چهره، به عنوان مثال زمانی که تنها نیم‌رخ فرد در تصویر ثبت شده، بسیار مشکل‌ساز است، زیرا ایجاد پایگاه داده‌ای از مدل‌های سه بعدی چهره برای تمام سوزده‌های موردنظر، بسیار پرهزینه و غیرعملی خواهد بود.

محققان CASIS الگوریتم‌هایی را توسعه داده‌اند که از یک تصویر دوبعدی، برای ساخت یک مدل سه بعدی استفاده می‌کند. روش مورد استفاده آن‌ها خصوصیات کلیدی چهره را تعیین می‌کند، هویت را بر اساس این نقاط کلیدی بنا کرده، سپس این نتایج را به یک مدل عمومی و سه بعدی عمق چهره اعمال می‌کند. این مدل عمومی بر اساس اسکن‌های سه بعدی فیزیکی که دانشگاه فلوریدای جنوبی برای پایگاه داده هویت انسانی سه بعدی

خود جمع‌آوری کرده، ساخته شده است.<sup>۵</sup> برخلاف سایر روش‌ها تنها دانش قبلی مورد نیاز در این روش، مدل سه بعدی عمومی چهره است. فرآیند انطباق، که روی یک کامپیوتر خانگی معمولی تنها دو یا سه ثانیه به طول خواهد انجامید، شامل دو مرحله است: در مرحله نخست، یک کشف کننده خصوصیت خودکار و دقیق (با ۷۹ نقطه) خصوصیات چهره را در یک تصویر دوبعدی می‌یابد. یک الگوریتم، عمق داده‌های تصویر ورودی را تخمین زده و هر چهره را بر اساس نقاط و خصوصیات مرحله قبل به یک تورین (Mesh) با سطوح مثلثی تقسیم می‌کند.

در مرحله دوم، الگوریتم دیگری نقشه مدل عمومی سه بعدی عمق چهره را به یک تورین بر اساس خصوصیات از پیش تعریف شده تقسیم می‌کند. روش زیر تقسیم حلقه‌ای (Loop subdivision method)<sup>۶</sup> با تولید رأس‌های جدید از طریق جمع وزنی رأس‌های موجود، همزمان چگالی نقاط چهره ورودی و عمق نقشه را افزایش می‌دهد. در نتیجه هر نقطه در چهره ورودی، دقیقاً یک نقطه متناظر در نقشه عمق خواهد داشت و فشردگی و تراکم نقشه عمق، پایه‌ای مفید برای تخمین عمق چهره ورودی خواهد بود. شکل ۴ تصویری سه بعدی را نشان می‌دهد که بر اساس این سیستم دو مرحله‌ای از روی یک تصویر دو بعدی ساخته شده است.

بیومتریک نرم (Soft Biometrics) [بیومتریک نرم

**محققان CASIS الگوریتم‌هایی را توسعه داده‌اند که از یک تصویر دوبعدی، برای ساخت یک مدل سه بعدی استفاده می‌کند. فرآیند انطباق، روی یک کامپیوتر خانگی معمولی تنها دو یا سه ثانیه به طول خواهد انجامید.**



**شکل ۵** افزایش سن چهره شون کانری از ۲۵ به ۷۰ سال در مقایسه با تصویر واقعی چهره وی در سن ۷۰ سالگی. از چپ به راست به ترتیب: تصویری از کانری در سن ۲۵ سالگی به عنوان ورودی سیستم، تصاویر رندر شده از عکس ورودی بر اساس سطح فرابعدی اعمال شده (Hyperdimensional Surface)، تصویر رندر شده سن ۷۰ سالگی که روی یک پس‌زمینه واقعی قرار داده شده است و در نهایت عکس واقعی شون کانری در سن ۷۰ سالگی.

”

**نشانه‌های سنی  
افراد بالغ بیشتر بر  
الگوهای چین و  
چروک صورت  
یا حذف این  
الگوها، همچنين  
شکل‌گیری  
خطوط و  
شیارهای عمیق تر  
در چهره استوار  
است. نشانه‌های  
سنی کودکان  
مبتنی بر فرم  
صورت است.**

“

از اصطلاح محاسبات نرم یا Soft-Computing مشتق شده است که به معنی استفاده از راه‌حل‌های غیر دقیق در مسائلی است که نیازمند پردازش‌های سنگین هستند. بیومتریک نرم، به همین صورت سیستم‌هایی اشاره دارد که هدف آن‌ها تشخیص هویت دقیق فرد نیست. بلکه تنها مواردی کلی نظیر محدوده سنی، وجود و عدم وجود عینک و ... را تشخیص می‌دهند [سیستم‌های تشخیص چهره خودکار نمی‌توانند هوشی معادل اپراتور انسانی ارائه کنند، اما این سیستم‌ها می‌توانند از تحلیل بیومتریک نرم تصویر استفاده کنند تا اعتبار و اهمیت مشخصات پایه چهره نظیر سن، جنس، وجود عینک، ریش و سبیل را ارزیابی کرده و همچنین روند افزایش سن چهره را اعمال کنند.

### تخمین سن چهره

تخمین سن چهره علاوه بر هویت اصلی یک تصویر ورودی، اطلاعاتی اضافی را نیز فراهم خواهد آورد. محققان CASIS الگوریتم‌هایی را توسعه داده‌اند که از خصوصیات مختص رشد چهره برای تعیین سن یک سوژه استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، سوژه‌هایی با سن دو تا بیست سال نسبت به افراد مسن‌تر نشانه‌های افزایش سن متفاوتی خواهند داشت.

نشانه‌های سنی افراد بالغ بیشتر بر الگوهای چین و چروک صورت یا حذف این الگوها، همچنین

شکل‌گیری خطوط و شیارهای عمیق‌تر در چهره استوار است. نشانه‌های سنی کودکان مبتنی بر فرم صورت است، اما جنس و نژاد تخمین سن را پیچیده و مشکل خواهد کرد. به عنوان مثال، بین پسران و دختران در زمان و میزان تغییر ابعاد خصوصیات چهره تفاوت وجود دارد.

محققان CASIS با استفاده از الگوریتم‌های AAM برای ترکیب فرم (نشانه مربوط به کودکان) و بافت (نشانه مربوط به افراد بالغ)، فضای تصویری تخمین سن را (Age-estimation Projective Space) استخراج می‌کنند. برای هر تصویر ورودی، تخمین زنده از تکنیک‌های یادگیری ماشینی، نظیر الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithms)، مربع‌های حداقل رگرسیون (Least Squares)، ماشین‌های بردار پشتیبان و Support-Vector Machines and) برای راهیابی در فضای تخمین سن و نسبت دادن تصویر به یک گروه سنی پیوسته استفاده می‌کند.

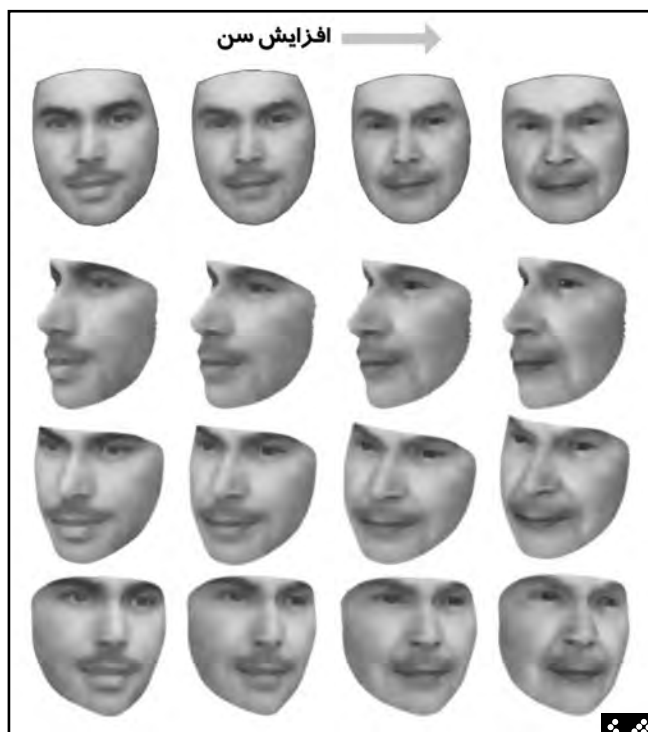
جدول ۱ با استفاده از میانگین خطای مطلق برای هر دهه MAE (سرنام Mean Absolute Error per Decade) روش‌های CASIS را با روش‌های قدیمی‌تر مقایسه کرده است. برای ایجاد امکان مقایسه، محققان روش CASIS را روی FG-NET<sup>v</sup>، یک پایگاه داده استاندارد طولی آزمایش کردند. روش استاندارد مقایسه اندازه نهایی میانگین خطای مطلق یا MAE است، اما محققان CASIS تصور می‌کنند MAE روش بهتری برای مقایسه است. تکنیک‌های قدیمی‌تر از نتایج کارهای شویی چنگ یان و همکارانش<sup>۸</sup> گرفته شده است.

### افزایش سن چهره

فرآیند افزایش سن چهره، تصاویری ساختگی از چهره فرد در آینده (یا در فرآیند کاهش سن در گذشته) ارائه می‌کند.

محققان CASIS سال‌های زیادی را صرف توسعه الگوریتم‌های پیچیده‌ای کرده‌اند که ظرافت‌های تغییر فرم چهره در گذشت زمان را بازسازی می‌کنند. این ظرافت‌ها اغلب به صورت نشانه‌های اختصاصی نژادی نظیر ضخیم شدن لب بالایی یا تغییر رنگ پوست و ظهور لکه‌های پیری در سفیدپوستان یا تیره شدن رنگدانه‌های پوست در نژاد آفریقایی دیده خواهد شد.

تحقیقات انجام شده در CASIS از الگوریتم‌های پیشرفته آماری برای ایجاد نگاشتی غیر خطی استفاده می‌کنند که نشانه‌های کلیدی آنترپومتریکی (علم اندازه‌گیری تناسبات بدن انسان) مربوط به ناحیه صورت را روی اطلاعات غنی و پر نشانه بافت پوست منطبق می‌کند. نتیجه یک سطح آموزش داده شده فرابعدی



شکل ۶ ترکیب افزایش سن چهره با ارائه سه بعدی. الگوریتم‌ها تصویری سه بعدی را بر اساس تصویر دو بعدی ورودی تهیه کرده و از آن یک ارائه شبه سه بعدی ایجاد می‌کنند. در این سری، افزایش سن یک سوژه از ۲۰ به ۳۰ سال، از ۳۰ به ۴۰ سال و در نهایت از ۴۰ به ۵۰ سال در زاویه‌های دید مختلف نشان داده شده است.

است (Learned Hyperdimensional Surface) که می‌تواند ظاهر چهره فرد را در آینده یا گذشته شبیه‌سازی کند. این تکنیک‌ها می‌توانند پارامترهای رفتاری نظیر استعمال دخانیات یا قرار گرفتن طولانی مدت در برابر اشعه خورشید که به صورت مصنوعی چهره را پیر می‌کنند، یا تغییر فرم صورت در اثر افزایش وزن یا ضعیف شدن طبیعی ماهیچه‌ها را نیز با الگوریتم اصلی ترکیب کنند.

شکل ۵ یک نمونه فرآیند افزایش سن با استفاده از این تکنیک‌ها را نشان می‌دهد.

می‌توان از فرآیند افزایش سن چهره برای بهبود الگوریتم‌های تشخیص چهره استفاده کرد تا نسبت به تفاوت‌های زمانی بین تصویر شناخته شده چهره (تصویر ثبت شده در گالری که برای کنترل چهره ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد) و تصویر ورودی (تصویر پرس و جو) حساسیت کمتری داشته باشند. محققان CASIS تمام تخصص خود را برای محاسبه مدل سه بعدی چهره از روی تصویر دو بعدی و فرآیند افزایش سن چهره به کار برده‌اند تا نمایی سه بعدی از چهره فرد در سنین مختلف تولید کنند. همان‌گونه که نتایج ارائه شده در شکل ۶ نشان می‌دهد، این تکنیک می‌تواند فرآیند افزایش سن را روی یک تصویر انجام دهد و زاویه‌های دید متعددی را از چهره فرد در سنین مختلف تولید کند.



شکل ۷ نتایج استفاده از «افزایش کیفیت» یا Super-Resolution در بهبود تصویر چهره. A: تصویر اصلی کم کیفیت ۳۲×۲۴ پیکسلی B: تصویر اصلی ۱۲۸×۹۶ پیکسلی و C: تصویر ۱۲۸×۹۶ پیکسلی پس از اعمال تکنیک افزایش کیفیت.

### افزایش کیفیت تصاویر چهره

محققان CASIS مدلی برای افزایش کیفیت تصویر توسعه داده‌اند که می‌تواند تصویری با کیفیت پایین را به عنوان ورودی گرفته و تصویر با کیفیت متناظر آن را با استفاده از مدلی مبتنی بر وصله (Patch-based Model) که از طریق مجموعه‌ای از نمونه‌های تمرینی آموزش داده شده است، تولید کند (Super-Resolution). این راه‌حل برای اعمال وصله‌های مورد نظر به تصویر کم کیفیت جهت ایجاد تصویر با کیفیت بالا، از روش‌های یادگیری چندگانه نظیر طرح حفظ موقعیت مکانی<sup>۱۰۹</sup> (LPP) (سرنام Locality Preserving Projection) استفاده می‌کند.

می‌توان از فرآیند افزایش سن چهره برای بهبود الگوریتم‌های تشخیص چهره استفاده کرد تا نسبت به تفاوت‌های زمانی بین تصویر شناخته شده چهره و تصویر ورودی حساسیت کمتری داشته باشند.



شکل ۸ نمونه نتایج تحقیقات CASIS در زمینه ثبت عنبیه. تصویر بالا چشم راست و چپ سوژه را نشان می‌دهد که توسط سیستمی در فاصله هشت متری سوژه ثبت شده است. با استفاده از لنزهای دارای فاصله کانونی مورد نیاز و منحنی MTF1 مناسب می‌توان تصاویر الگوهای عنبیه را با کیفیت مناسب برای تشخیص هویت تهیه کرد. تصویر پایین سمت چپ، ثبت تصویر عنبیه از فاصله ۱۳/۵ متری را نشان می‌دهد (1: MTF (سرنام Modulation Transfer Function) در واقع قدرت لنز، دوربین یا اسکنر در ثبت الگوهای تکراری در فواصل نزدیک نظیر صفحه شطرنج است. مترجم)

## ثبت عنیبه

یکی از اهداف اولیه تحقیقات، افزایش فاصله ثبت تصویر عنیبه از چند سانتی متر به پانزده متر یا بیشتر است. تمرکز ویژه بر این موضوع است که چگونه می توان بزرگ‌نمایی کافی را برای ثبت خصوصیات مورد نیاز عنیبه فراهم کرد. این خصوصیات به طور معمول در محدوده‌ای به عرض دوپست پیکسل در اطراف عنیبه قرار دارد. تحقیقات همچنین به تعیین نورپردازی و دیافراگم نیز خواهند پرداخت که از عناصر به شدت مرتبط طرح خواهند بود. سیستم‌های تشخیص عنیبه استاندارد برای ثبت خصوصیات عنیبه، از نورپردازی طیف نزدیک مادون قرمز (سرنام NIR) با طول موج هشتصد نانومتر استفاده می‌کنند، اما بسیاری از سنسورهای به کار رفته در دوربین‌ها میزان کارایی لازم را در طول موج هشتصد نانومتر ندارند و بنابراین نورپردازی با شدت بیشتر هم یکی از اهداف تحقیقات است.

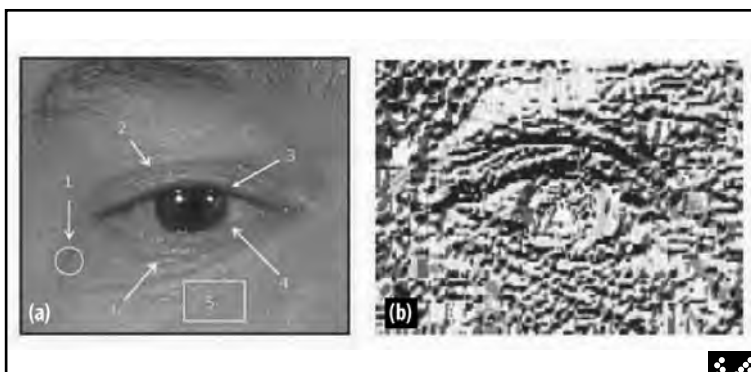
در یک محیط غیر تحمیلی، نورپردازی مشکل ساز است. دیافراگم بازتر دوربین، تعداد فوتون‌های نوری را که به سنسور می‌رسند، افزایش می‌دهد، اما دیافراگم باز می‌تواند به حساسیت شدید نسبت به آشفته‌گی‌های محیطی منجر شود. همچنین افزایش توان سیستم نورپردازی ممکن است مقدار زیادی انرژی را روی چشم متمرکز کند.

برای مقابله با این چالش‌ها، محققان CASIS اجزای تصویری ارزان‌قیمت و در دسترس را توسعه داده‌اند که قابلیت ثبت عنیبه و در نتیجه تشخیص آن را در فواصل حداکثر پانزده متری دارد. شکل ۸ نتایج تشخیص عنیبه را برای سوژه‌ای که در فاصله سیزده و نیم متری سیستم قرار داشته است، نشان می‌دهد.

## استفاده از ناحیه اطراف چشم

هرچند تشخیص عنیبه توانسته به دقتی معادل ۹۹ درصد دست یابد<sup>۱۱</sup>، بیشتر این نتایج بر این فرض تکیه دارند که سنسورهای با کیفیت، با محدوده تشخیص کوچک تمام الگوهای عنیبه را ثبت کرده‌اند. اگر سوژه همکاری نکند، کیفیت تصاویر عنیبه به طرز قابل توجهی کاهش خواهد یافت. زیرا انجام عملیات ثبت از راه دور، تیرگی تصویر در اثر حرکت و همچنین مخفی شدن قسمت‌هایی از الگوی عنیبه در اثر قرارگیری سوژه در پشت افراد و اشیاء باعث کاهش کیفیت تصویر حاصل خواهد شد. در ادامه، محققان CASIS برای بهبود تکنیک‌های ثبت، روش‌های متعدد دیگری را جهت خنثی‌سازی این عوامل توسعه داده‌اند.

یکی از این روش‌ها استفاده از کل ناحیه اطراف چشم را مدنظر قرار داده است<sup>۱۲</sup>. شکل ۹ برخی از خصوصیات و الگوهای بالقوه موجود در ناحیه اطراف چشم را نشان می‌دهد که شامل چین و چروک‌های اطراف چشم،



شکل ۹ نمونه نتایج تحقیقات CASIS در زمینه استفاده از ناحیه اطراف چشم‌ها.  
A: برخی الگوها و خصوصیات بالقوه موجود در ناحیه اطراف چشم (در جهت عقربه‌های ساعت از چپ) شامل: خال‌ها، چین و چروک بالای چشم، پلک بالایی چشم، خط لبه پلک پایین، بافت پوست و چین و چروک زیر چشم.  
B: بافت ناحیه اطراف چشم که به صورت یک الگوی دودویی محلی ارائه شده است.

روش LPP مشکلی را که محققان در زمینه تحلیل توزیع تصاویر چهره با آن مواجه بودند، حل کرده است. اغلب تحقیقات از فاصله اقلیدسی برای اندازه‌گیری شباهت‌های موجود بین تصاویر چهره استفاده می‌کنند و تنها هندسه کلی توزیع‌ها را در نظر می‌گیرند. اما چهره‌ها معمولاً در مانیفولدهایی غیر خطی قرار دارند و بنابراین آشکارسازی ساختار زیرین آن‌ها احتیاج به باز کردن و گسترش این مانیفولد دارد. روش LPP در پی یافتن نمایشی خطی برای حفظ ارتباط همسایگی‌های محلی در عین تغییر هندسه کلی است و می‌تواند ساختار مانیفولد را بدون از دست رفتن هندسه محلی از هم باز کند. با این روش، استخراج الگوهای قابل اعتماد که خصوصیات چهره را تعیین می‌کنند، امکان‌پذیر می‌شود. محققان CASIS روش LPP را به یک سیستم نگاشت غیر خطی توسعه داده‌اند، که ثابت شده برای مدل‌سازی پیچیده تصاویر چهره مناسب‌تر است. شکل ۷ یک تصویر چهره را قبل و بعد از افزایش کیفیت نشان می‌دهد.

## تشخیص عنیبه

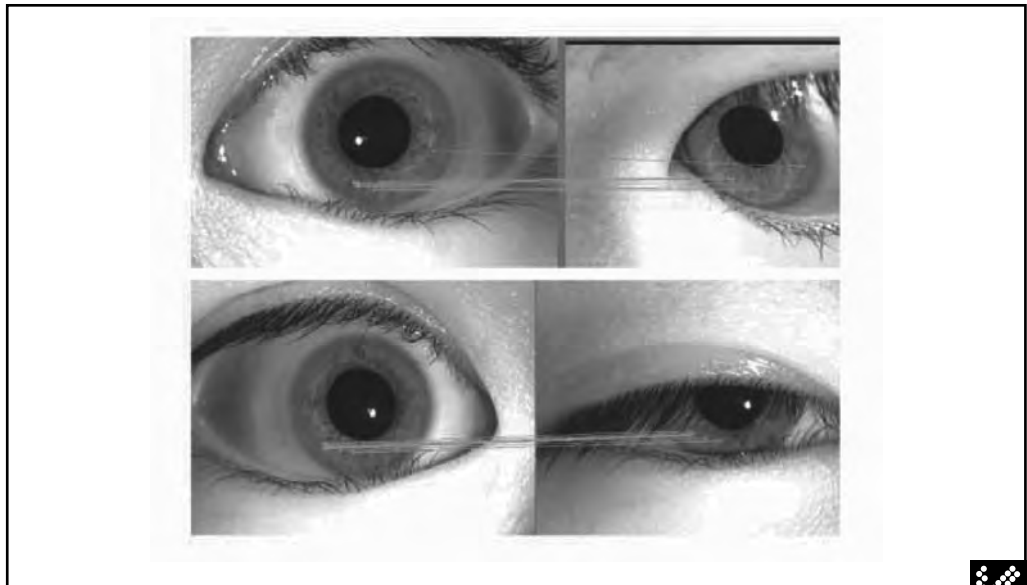
تشخیص عنیبه یکی از انواع باثبات تشخیص هویت بیومتریک است که به واسطه توانایی‌اش به عنوان یک جداکننده بیومتریک، نویدهای فراوانی را به همراه آورده است. همچنین بر خلاف تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت که احتیاج به همکاری کاربر و تماس نزدیک سوژه و سنسور دارد، ثبت عنیبه این قابلیت را دارد که بدون دخالت و آگاهی کاربر انجام شود. سیستم‌هایی که ابزارهای اپتیکی مدرن را با الگوریتم‌های تشخیص عنیبه ترکیب می‌کنند، امکان تشخیص هویت غیر تحمیلی را با افزایش فاصله ثبت عنیبه از چندین سانتی متر به چندین ده متر فراهم خواهند کرد. بدیهی‌ترین کاربرد این فناوری جدید در صنایع نظامی و دفاعی خواهد بود، اما بسیاری از کاربردهای تجاری از دسترسی به کامپیوترها از طریق دوربین‌های عنیبه گرفته تا تبلیغات شخصی شده نیز از این فناوری سود خواهند برد.

”  
بر خلاف تشخیص هویت بر اساس اثر انگشت که احتیاج به همکاری کاربر و تماس نزدیک سوژه و سنسور دارد، ثبت عنیبه این قابلیت را دارد که بدون دخالت و آگاهی کاربر انجام شود.“

”

**محققان CASIS**  
**تکنیک‌هایی را**  
**برای بررسی ناحیه**  
**اطراف مژه‌ها**  
**توسعه داده‌اند که**  
**می‌توان از آن‌ها**  
**در جهت استخراج**  
**اطلاعات مفیدی**  
**که بتواند به**  
**عنوان مثال به**  
**طبقه‌بندی نژادی**  
**کمک کرده و**  
**از این طریق**  
**الگوریتم‌های**  
**تشخیص هویت**  
**بیومتریک نرم را**  
**راهنمایی کند،**  
**استفاده کرد.**

“



**شکل ۱۰** تعیین محل نقاط کلیدی در تصاویر عنبیه با جهت‌های دید مختلف و میزان متفاوت بسته شدن پلک. یک تطبیق دهنده براساس این تکنیک امتیازی را ارائه می‌کند که مبتنی بر تعداد نقاط کلیدی دقیقاً منطبق شده خواهد بود.

### ثبت رسمی عنبیه (Fingerprinting Irises)

ثبت رسمی عنبیه نویدبخش روشی جدید از تشخیص هویت بیومتریک در دادگاه‌ها است. با در نظر داشتن این کاربرد، محققان CASIS در حال توسعه سیستم تطبیق ناتمام (تنها بخشی از) عنبیه هستند که تحلیل‌های قضایی و دادگاهی را شبیه‌سازی می‌کند. این شیوه شامل تعیین خصوصیات پایدار در تصاویر عنبیه و سپس استخراج آن‌ها برای مقایسه با هر شخص مورد نظر است.

سیستمی که از این شیوه استفاده می‌کند، تلاش خواهد کرد که دو تصویر را بر هم منطبق کند. یکی تصویر ذخیره‌شده عنبیه است که در شرایطی ثبت می‌شود که فرد به طور مستقیم به سنسور نگاه می‌کند و پلک‌هایش کاملاً باز هستند (بیومتریک تحمیلی). دیگری تصویر همان فرد در شرایطی است که جهت نگاه فرد متفاوت است، کمی خارج از زاویه سنسور قرار گرفته و پلک‌هایش کاملاً باز نیستند. شکل ۱۰ انطباق نقاط کلیدی عنبیه را در جهت‌های مختلف نگاه کردن نشان می‌دهد. وجود قابلیت انطباق عنبیه‌هایی که تصاویر آن‌ها به طور مستقیم از روبه‌رو گرفته نشده، در سیستم‌های انطباق عنبیه بسیار مهم و حیاتی است. زیرا سیستم ثبت عنبیه اغلب باید سعی کند هویت سوژه‌هایی را که با سیستم همکاری نمی‌کنند نیز تعیین کند. در یک محیط غیر تحمیلی، عنبیه ممکن است به شدت تحت تأثیر بسته شدن پلک‌ها قرار گیرد که چنین وضعیتی می‌تواند الگوریتم‌های سنتی تشخیص عنبیه را گیج کند. در عوض راه حل CASIS می‌تواند نتیجه تطابق را در چنین تصاویر عنبیه نامناسبی محاسبه کند.

خطوط لبه پلک‌ها، خال‌ها و بافت پوست می‌شود. نتایج مطالعات، قدرت بافت پوست ناحیه چشم به عنوان یک نشانه بیومتریک را نشان داده است.<sup>۱۱</sup> محققان CASIS از یک الگوی دودویی محلی<sup>۱۳</sup> به همراه بانک فیلترهای گابور بهینه شده برای تمیز دادن خصوصیات مرتبط به این ناحیه استفاده کرده‌اند.

همچنین محققان CASIS تکنیک‌هایی را برای بررسی ناحیه اطراف مژه‌ها توسعه داده‌اند که می‌توان از آن‌ها در جهت استخراج اطلاعات مفیدی که بتواند به عنوان مثال به طبقه‌بندی نژادی کمک کرده و از این طریق الگوریتم‌های تشخیص هویت بیومتریک نرم را راهنمایی کند، استفاده کرد. این تکنیک‌ها از یک سیستم ASM برای تعیین موقعیت محدوده مژه، مدل‌سازی خط لبه پلک و استخراج وصله‌های محلی در اطراف نشانه‌های چهره استفاده می‌کنند. پس از پردازش تصویر، سیستم مژه‌ها را جدا کرده و خصوصیات توصیفی را از روی جهت مژه‌ها استخراج می‌کند که می‌توان از آن‌ها برای آموزش الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده کرد. آزمایش‌های انجام شده نشان داد، این شیوه توانست با دقتی بیش از ۹۳ درصد، طبقه‌بندی آسیای شرقی/سفیدپوست را با موفقیت انجام دهد.<sup>۱۲</sup>

اگرچه استفاده از تشخیص ناحیه اطراف چشم، منافع بالقوه فراوانی دارد، اما خود ناحیه اطراف چشم باعث بروز مشکلاتی خواهد شد، زیرا این ناحیه در طی روند افزایش سن، تغییرات زیادی نظیر افزایش چین و چروک‌ها، تیره تر شدن حلقه اطراف چشم و افتادگی پلک‌ها را متحمل خواهد شد. محققان CASIS در حال استفاده از توان تخصصی خویش برای برطرف کردن اثر این تغییرات در بیومتریک بینایی هستند.

**پی نوشت:**

- ۱- مقاله «رهیافتی تازه در مسائل پیش بینی خطی»، نوشته: آر.ای. کالمن، شماره مارس سال، ۱۹۶۰، ژورنال مهندسی پایه منتشر شده توسط انجمن مهندسان مکانیک امریکا
- ۲- مقاله «فیلترهای تجربی برای مکان یابی، ناوبری و ردگیری»، نوشته: اف. گوستافسون و دیگران، شماره ۵۰، سال ۲۰۰۲، مجله، IEEE Trans. ویژه نامه پردازش سیگنال
- ۳- کتاب «برآورد با ابزارهای ردگیری و ناوبری»، نوشته: وای. بار شالوم، ایکس. آر. لی و تی. کیروباراجان، سال ۲۰۰۱، انتشارات Wiley & Sons
- ۴- مقاله «مدل شکلی فعال تغییر یافته و قدرتمند برای علامت گذاری نشانه های چهره در نمای روبه روی چهره»، نوشته: کی. سه شادری و ام. ساویدس، ارائه شده در کنفرانس بین المللی «بیومتریک: نظریه ها، کاربردها و سیستم ها» برگزار شده در سال ۲۰۰۹، توسط IEEE
- ۵- مقاله «تشخیص چهره با استفاده از انطباق مدل سه بعدی قابل تغییر»، نوشته: وی. بلانز و تی. وتر، شماره، ۲۵، سال ۲۰۰۹، مجله IEEE Trans. ویژه نامه تحلیل الگو و هوش ماشینی
- ۶- مقاله «زیر تقسیم توریته مثلثی خمیده کران دار با خصوصیات پوسته محذب»، نوشته: سی. لوب، شماره ۱۸، سال ۲۰۰۲، مجله The Visual Computer
- ۷- مقاله «مدل سازی فرآیند پیری در تصاویر چهره»، نوشته: ای. لانتیس، سی. جی. تیلور و تی. اف. کوتس، کنفرانس بین المللی «بینایی کامپیوتری»، برگزار شده در سال ۱۹۹۹، توسط IEEE
- ۸- مقاله «رگرسیون از هسته وصله شده»، نوشته: اس. یان و دیگران، کنفرانس بین المللی «تشخیص الگو» برگزار شده در سال ۲۰۰۸، توسط IEEE
- ۹- مقاله «شکستن محدودیت های تحلیل تنوع برای تصاویر چهره بسیار با کیفیت»، نوشته: اس. دلبلیو، پارک و ام. ساویدس ارائه شده در کنفرانس بین المللی «آکوستیک، پردازش سیگنال و گفتار»، برگزار شده در سال ۲۰۰۷، توسط IEEE
- ۱۰- مقاله «ارائه های حافظ مکان به عنوان روش تحلیل تنوع برای افزایش کیفیت مطمئن تصاویر چهره»، نوشته: اس. دلبلیو پارک و ام. ساویدس ارائه شده در سمپوزیوم «امنیت و دفاع: تکنولوژی های تشخیص هویت بیومتریک»، برگزار شده در سال ۲۰۰۷، توسط SPIE
- ۱۱- مقاله «تشخیص عنیبه چگونه کار می کند؟»، نوشته: جی. داوگمن، شماره ژانویه ۲۰۰۴، مجله IEEE Trans. ویژه نامه مدارها و سیستم های فناوری ویدیویی
- ۱۲- مقاله «تشخیص هویت افراد با استفاده از بافت پوست اطراف چشم»، نوشته: پی. میلر و دیگران ارائه شده در بیست و پنجمین سمپوزیوم محاسبات کاربردی برگزار شده در سال ۲۰۱۰ توسط ACM
- ۱۳- مقاله «طبقه بندی بافت چند کیفیتی طیف خاکستری بدون تغییر در برابر چرخش با استفاده از الگوهای دودویی موضعی»، نوشته: تی. اوجالا، ام. پیتی کاینن و تی. مائنا، شماره ۲۴، سال ۲۰۰۲، مجله IEEE Trans. ویژه نامه تحلیل الگوها و هوش ماشینی

همکاری و کار گروهی که در CASIS امکان پذیر شده، باعث بروز نتایج خارق العاده ای شده است. نتایجی مانند تشخیص ناحیه اطراف چشم که در آن، تشخیص عنیبه با تشخیص چهره ترکیب می شود و همچنین راه حل های نوآورانه ای برای تشخیص چهره مانند نشانه گذاری خود کار، اصلاح ژست و دسته بندی بر پایه بیومتریک نرم سن، جنس و نژاد.

ما پیش بینی می کنیم این راه حل ها به گسترش مرزهای تحقیقات بیومتریک ادامه دهند و برخی از این راه حل ها بتوانند راه خود را به محصولات تجاری باز کنند.

**درباره نویسندگان:**

• **کارل ریکانک جونیور:** استادیار دپارتمان علوم کامپیوتر دانشگاه کارولینای شمالی در ویلمینگتون است. او در همان دانشگاه مدیر گروه مطالعات پیری چهره و برنامه علوم هویتی است. ریکانک مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه ایالتی کشاورزی و صنعت کارولینای شمالی دریافت کرده است. او عضو ACM و AIAA و یکی از اعضای ارشد IEEE است. از طریق آدرس [ricanek@uncw.edu](mailto:ricanek@uncw.edu) می توانید با او تماس داشته باشید.

• **ماریوس ساویدس:** از اساتید دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه کارنگی ملون است. زمینه های تحقیقاتی وی شامل بیومتریک، بینایی ماشینی، تشخیص الگو و پردازش تصویر و سیگنال است. وی مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی برق و کامپیوتر از دانشگاه کارنگی ملون دریافت کرده است.

وی یکی از اعضای IEEE، جامعه مهندسان ابزار آلات فوتو اپتیکال و جامعه اپتیکال امریکا است. از طریق آدرس [marios.savvides@ri.cmu.edu](mailto:marios.savvides@ri.cmu.edu) می توانید با وی تماس بگیرید.

• **دامون ال. وودارد:** از اساتید دانشکده محاسبات دانشگاه کلمسون است. زمینه های تحقیقاتی وی شامل بیومتریک، تشخیص الگو و پردازش تصویر است. وی مدرک دکترای خود را در رشته علوم و مهندسی کامپیوتر از دانشگاه نوتردام دریافت کرده است. او از اعضای IEEE، ACM، جامعه ملی مهندسان سیاه پوست و انجمن پردازش تصویر و سیگنال اروپا است. از طریق آدرس [woodard@cs.clemson.edu](mailto:woodard@cs.clemson.edu) می توانید با وی تماس بگیرید.

• **گری دوزیر:** استاد تمام و رئیس دپارتمان علوم کامپیوتر دانشگاه ایالتی کشاورزی و فناوری کارولینای شمالی است. زمینه های تحقیقاتی وی شامل محاسبات ژنتیک و فرگشتی، هوش مصنوعی و بیومتریک است. وی مدرک دکترای خود را در رشته علوم کامپیوتر از دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی دریافت کرده است. او از اعضای IEEE و ACM است. از طریق آدرس [gvdozier@ncat.edu](mailto:gvdozier@ncat.edu) می توانید با وی تماس بگیرید.