

ارائه یک توصیفگر جدید به منظور استفاده در سیستم‌های شناسایی هویت زیستی مبتنی بر ویژگی‌های بهینه‌شده چروکیدگی انگشتان دست و ناخن

حدیث حیدری^۱ و عبدالله چاله‌چاله^۲

چکیده

در این مقاله یک توصیفگر بافتی جدید به منظور استفاده در سیستم‌های شناسایی هویت زیستی مبتنی بر مشخصه‌ی بافت پشت دست ارائه می‌شود. ابتدا تصاویر دست افراد مختلف توسط یک وسیله اخذ تصاویر جمع‌آوری، سپس با نگاشت تصاویر از فضای رنگی RGB به YUV و آستانه‌گیری مؤلفه U، پیکسل‌های پوست تشخیص داده شده و پنج انگشت از تصویر مجزا می‌گردند. سپس با استفاده از مرکز ثقل، طول و جهت انگشتان، نواحی چروکیدگی انگشتان و ناخن استخراج می‌شوند. ویژگی‌های بافتی چروکیدگی انگشتان با استفاده از توصیفگر پیشنهادی الگوهای چهارجهتی مبتنی بر آستانه‌گیری آماری و ویژگی‌های ناخن نیز با استفاده از تبدیل موجک گسسته تا سه سطح استخراج می‌شوند. به علاوه، با تعیین یک تابع هزینه در الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی دسته‌ذرات، مجموعه‌ای از ضرائب اهمیت به ویژگی‌های بافتی دست اعمال شده و در نتیجه این ویژگی‌ها بهینه می‌گردند. در نهایت با بهره‌گیری از معیار اندازه‌گیری فاصله d1 میزان مشابهت تصاویر محاسبه و هویت اشخاص با دقت ۹۲/۱۳٪ شناسایی شده است. نتایج آزمایش‌ها روی مجموعه تصاویر تهیه‌شده توسط نگارندگان با نام FKP_Nail، نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده در مقایسه با روش‌های شناخته شده موجود دقت و سرعت بهتری داشته و از محاسبات ساده‌تری نیز استفاده می‌کند.

کلیدواژه‌ها

الگوهای چهارجهتی، توصیفگر بافتی، چروکیدگی انگشتان دست، ناخن، بهینه‌سازی دسته‌ذرات

۱ مقدمه

تصاویر گسترش پیدا کرده و با توجه به اینکه هر نوع ویژگی دیداری منجر به ارائه‌ی سیستم بیومتریک کارا نمی‌شود، در نتیجه نیازمند تحلیل دقیق بافت تصاویر خواهیم بود تا به این وسیله بتوان در راستای افزایش امنیت و کاهش تخلفات برنامه‌ریزی نمود. در واقع کارکرد مطمئن سیستم‌های شناسایی هویت، کاملاً به نوع ویژگی‌های بافتی تصاویر وابسته است. تحلیل دقیق بافت مشخصه‌های مختلف بیومتریک، امنیت سیستم شناسایی هویت را افزایش و میزان نرخ خطا را کاهش می‌دهد.

مشخصه‌های بیومتریک به چندین دسته کلی از جمله شبکه، عنبیه، گوش، صورت، چروکیدگی انگشتان دست و صدا تقسیم می‌شوند [۱]. با توجه به اینکه جمع‌آوری تصاویر اکثر این مشخصه‌ها مشکل است، استفاده از ویژگی‌های بافت پشت دست

امروزه شناسایی هویت افراد در سیستم‌های بیومتریک زیستی به-عنوان یکی از ملزومات جوامع بشری در راستای افزایش امنیت مطرح است. اخیراً تشخیص هویت با تحلیل ویژگی‌های بافتی

این مقاله در آذرماه سال ۹۸ دریافت، در خردادماه سال ۹۹ بازنگری و در آذرماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه رازی

رایانامه: hadis.68.heidari@gmail.com

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه رازی
رایانامه: chalechale@razi.ac.ir

نویسنده مسئول: عبدالله چاله‌چاله

DOR: 20.1001.1.23831197.1400.8.3.2.0

- منجر به ارائه یک سیستم شناسایی هویت امن و ساده خواهد شد. همچنین بیشتر روش‌های احراز هویت بر مبنای ویژگی‌های موجود در سر و صورت از جمله مشخصات چهره و عنبیه هستند که در صورت عدم دسترسی پذیرنده مجموعه تصاویر مطلوب، شناسایی هویت امکان‌پذیر نبوده و در مواردی خوشایند کاربران نیستند [۲]. بنابراین شناسایی هویت با استفاده از مشخصه دست نسبت به تشخیص هویت از روی ویژگی‌های موجود در سر و صورت مقبولیت بیشتری در پی خواهد داشت.
- نظر به اینکه روش‌های شناسایی هویت دارای مشکلاتی چون عدم دسترسی راحت به پایگاه تصاویر، هزینه اجرایی بالا و سرعت پایین اجرا است، بر آن شدیم تا ضمن جمع‌آوری تصاویر دست و معرفی یک توصیفگر بافتی نوین مبتنی بر الگوهای چهارجتهی و تبدیل موجک گسسته، هویت افراد را با استفاده از مشخصه‌های چروکیدگی انگشتان دست و ناخن شناسایی نماییم. برای بررسی عملکرد روش ارائه‌شده از مجموعه تصاویر دست که توسط نگارندگان جمع‌آوری شده، استفاده شده است.
- به علاوه، امروزه تمایل به استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مسائل گوناگون افزایش یافته است. انواع این روش‌ها عبارت‌اند از: الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی آبکاری فلزات، برنامه‌ریزی تکاملی، بهینه‌سازی کولنی مورچگان [۳]، تکامل تفاضلی و بهینه‌سازی بر مبنای دسته‌ذرات [۴]. استفاده از الگوریتم‌های تکاملی به دلایل راحتی کاربرد، قابلیت حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی در یافتن بهینه سراسری در پژوهش‌ها و در صنعت بسیار گسترده شده است. در این مقاله دقت تشخیص راهکار پیشنهادی با به کارگیری الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی دسته‌ذرات و اعمال مجموعه ضرائب اهمیت به درایه‌های بردار ویژگی به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. مراحل روش پیشنهادی این مقاله به صورت خلاصه عبارت‌اند از:
- جمع‌آوری تصاویر دست با استفاده از یک وسیله دریافت تصاویر شامل یک دوربین دیجیتال و یک محفظه‌ی چوبی تخت. این وسیله در مطالعه [۵] نیز استفاده شده است.
- جداسازی تصویر دست از پس‌زمینه و پاک‌سازی نقاط غیرمطلوب با استفاده از یک روش تشخیص پوست شامل نگاشت فضای رنگی و آستانه‌گیری.
- تشخیص نواحی ناخن و چروکیدگی انگشتان دست با استفاده از الگوریتم ارائه‌شده (حذف نواحی کف دست و ساعد، استخراج انگشتان، تعیین مرکز ثقل، طول و جهت انگشتان).
- جداسازی مجموعه ۵۴۵۰ تصویر از ناخن افراد.
- جداسازی مجموعه ۵۴۵۰ تصویر از چروکیدگی دست افراد.
- تهیه یک پایگاه داده شامل ۱۰۹۰۰ تصویر که هر ۱۰۰ تصویر به یک شخص تعلق دارد.

- استخراج ویژگی‌های بافتی نواحی چروکیدگی انگشتان به صورت یک بردار ویژگی کوچک با مصرف کم حافظه و پیچیدگی محاسباتی پایین.
- استخراج ضرائب تبدیل موجک گسسته تا سه سطح از نواحی ناخن دست.
- بهینه‌سازی ویژگی‌های بافتی با استفاده از الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی دسته‌ذرات.
- اندازه‌گیری فواصل الگوها با استفاده از معیار اندازه‌گیری فاصله $d1$ که در کارهای قبلی رجحان آن به اثبات رسیده است [۶].
- ارزیابی سیستم تشخیص هویت پیشنهادی با استفاده از معیارهای مختلف از جمله نرخ پذیرش اشتباه^۱ (FAR)، نرخ عدم‌پذیرش اشتباه^۲ (FRR)، نرخ تشخیص^۳ (RR) و نرخ پذیرش صحیح^۴ (GAR).
- و نهایتاً مقایسه روش ارائه‌شده با کارهای پیشین انجام‌شده در این زمینه.

در ادامه ساختار مقاله حاضر به شرح زیر است: در بخش ۲ کارهای صورت‌گرفته در زمینه شناسایی هویت ارائه شده است. بخش ۳ به توضیح پیش‌پردازش‌های موردنیاز برای مسئله شناسایی هویت اختصاص داده شده است. در بخش ۴ مطالب مرتبط با مسئله بهینه‌سازی دسته‌ذرات آورده شده است. در بخش ۵ روش پیشنهادی تشریح شده و به بررسی بهینه‌سازی روش پیشنهادی پرداخته شده است. در بخش ۶ نتایج تجربی آزمایش‌های انجام‌شده ارائه و در بخش ۷ نتیجه‌گیری و کارهای آینده بیان شده است.

۲ کارهای مرتبط

در این بخش، برخی از کارهای پیشین در شناسایی هویت افراد مطرح شده است. تا کنون روش‌های محدودی برای شناسایی هویت با استفاده از ویژگی‌های پشت دست ارائه شده که اکثر آنها نتوانسته‌اند روشی جامع و با دقت بالا را معرفی نمایند. در این بخش تحقیق‌های انجام‌شده در این زمینه موردبررسی قرار گرفته و ایده اصلی آنها بیان می‌شود.

در [۷] سعی شده یک سیستم بیومتریک زیستی برای شناسایی هویت افراد معرفی شود که از فیلتر گابور برای استخراج ویژگی‌های تصویر استفاده می‌نماید. در رویکرد پیشنهادشده در این تحقیق، بانک فیلتر گابور و معیار اندازه‌گیری فاصله همینگ در نظر گرفته شده است. در روشی که در [۸] پیشنهادشده سعی می‌شود با استفاده از فیلتر گابور ویژگی‌های بافتی تصاویر

¹ False Acceptance Rate (FAR)

² False Rejection Rate (FRR)

³ Recognition Rate (RR)

⁴ Genuine Acceptance Rate (GAR)

تصاویر از الگوهای باینری محلی رنگی مقاوم در برابر نویز^۶ استفاده نموده‌اند [۱۹]. در این روش ابتدا مؤلفه‌های رنگی تصاویر استخراج شده و سپس ویژگی‌های بافتی هر یک از مؤلفه‌های قرمز، سبز و آبی محاسبه می‌شوند. در [۲۰] یک سیستم تشخیص هویت زیستی مبتنی بر شبکه‌های عمیق^۷ با استفاده از مشخصه چروکیدگی داخلی انگشتان دست^۸ پیشنهاد شده است. این سیستم توانایی تشخیص هویت ۳۳ فرد مختلف را دارا بوده اما در بسیاری از پایگاه‌های تصاویر به آموزش عمیقی^۹ در شبکه نیاز دارند که فرآیندی زمانگیر است.

ولی با این وجود به دلیل دقت کم روش‌ها و یا کندی آنها، همچنان به سیستم‌های دقیق شناسایی هویت زیستی نیاز می‌باشد. در این مقاله روشی مناسب (نسبتاً دقیق و سریع) برای شناسایی هویت مبتنی بر تلفیق ویژگی‌های چروکیدگی انگشتان و ناخن ارائه شده که منجر به شناسایی دقیق‌تر هویت افراد با میزان خطای اندک شده است. به بیان دیگر علت اصلی کارایی روش پیشنهاد شده نسبت به ویژگی سایر روش‌های پیشین، تشخیص هویت دقیق با مصرف بسیار محدود حافظه (فقط ۱۲ ویژگی بافتی) و در نتیجه تسریع زمان احراز هویت افراد است. نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی نشان‌دهنده کارایی مناسب سیستم تشخیص هویت ارائه شده است.

۳ استخراج نواحی مطلوب تصاویر دست

در این قسمت، چگونگی استخراج نواحی چروکیدگی انگشتان دست و ناخن تشریح شده است.

تاکنون پایگاه داده‌ای متشکل از تصاویر چروکیدگی انگشتان و ناخن افراد مختلف در دسترس قرار نگرفته است. به دلیل این محدودیت، ناگزیر به جمع‌آوری تصاویر دست افراد در سنین مختلف گشته‌ایم. جهت گردآوری تصاویر دست، یک وسیله اخذ تصاویر شامل یک دوربین دیجیتال canon مدل SX 600 HS و یک محفظه‌ی چوبی مناسب ساخته شده است. این وسیله طوری ایجاد گشته تا دوربین فاصله‌ای یکسان از کلیه تصاویر دست داشته باشد. شکل ۱ نحوه قرارگیری دوربین در قسمت فوقانی وسیله اخذ تصاویر و محفظه‌ی چوبی تخت جهت قرار دادن دست را نشان می‌دهد. ابعاد تصاویر اخذ شده توسط دوربین ۴۶۰۸×۳۴۵۶ پیکسل می‌باشد. از این وسیله در تحقیق دیگری هم توسط نویسندگان استفاده شده است [۵]. لازم به ذکر است که تصاویر اخذ شده از هر شخص متنوع و در جهت‌های مختلف اما شرایط نوری یکسان روی محفظه‌ی چوبی ساخته شده بوده و در

استخراج شده و هویت افراد از روی چروکیدگی انگشتان دست شناسایی گردد. همچنین چا [۹] از فیلتر گابور لگاریتمی یک بعدی و تحلیل متمایزکننده خطی برای تشخیص هویت استفاده کرده است. گاو و همکارش جهت‌های برجسته محلی تصاویر چروکیدگی انگشتان دست را به عنوان ویژگی برای شناسایی هویت مورد استفاده قرار داده‌اند. آنها از ترکیب جهت، اطلاعات بافت و یک روش آستانه‌گیری برای انجام کدگذاری پاسخ فیلترهای گابور بهره گرفته‌اند [۱۰].

در [۱۱] ابتدا با استفاده از روش نگاشت محلی، جهت نواحی چروکیدگی انگشتان استخراج شده و سپس اطلاعات اندازه و جهت فیلتر گابور برای استخراج ویژگی استفاده شده است. در [۱۲] یک سیستم احراز هویت مبتنی بر چروکیدگی انگشتان پیشنهاد شده که به کمک فیلترهای گابور نواحی مطلوب دست استخراج می‌گردد. همچنین آقای زینعلی و همکارانش در [۱۳] یک سیستم تشخیص هویت زیستی مبتنی بر مشخصه چروکیدگی انگشتان دست با استفاده از بانک فیلتر جهتی، تحلیل متمایزکننده خطی و معیار اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی روی مجموعه تصاویر Poly-U FKP ارائه نمودند. ایراد این روش‌ها، ابعاد بالای فیلترهای گابور و در نتیجه افزایش مصرف حافظه است. همچنین استخراج ویژگی‌های گابور به زمان محاسبات بالایی نیاز دارد که این امر باعث کاهش سرعت تشخیص هویت افراد خواهد شد.

نکلا و همکارش [۱۴] پس از دریافت و پیش‌پردازش تصاویر، از بردارهای رایج قابل تفکیک برای استخراج ویژگی چروکیدگی انگشتان و از معیار فاصله اقلیدسی برای اندازه‌گیری مشابهت الگوها استفاده نموده‌اند. در [۱۵] از معیار اندازه‌گیری تغییرات در سطح بافت تحت عنوان ویژگی‌های پوسته تصاویر و تابع انتروپی^۱ جهت شناسایی هویت استفاده شده است. مرایومیا روشی جهت شناسایی هویت براساس هیستوگرام گرادیان جهت-دار^۲ و دسته‌بند ماشین بردار پشتیبان^۳ ارائه نموده است [۱۶] که در آن برای هر پیکسل از تصویر، جهت و بزرگی گرادیان محاسبه شده و هیستوگرام این جهت‌ها برای هر سلول در نظر گرفته شده است. در این روش اندازه بردار ویژگی و میزان مصرف حافظه بالا است. گارج و همکارانش برای تشخیص هویت افراد از روی ناخن دست از تبدیل موجک هار آر بهره گرفته‌اند [۱۷]. همچنین توصیفگر الگوی تصحیح محلی^۴ با نگاشت پیکسل‌ها در هر الگو به مقادیر عددی قادر به استخراج ویژگی بافتی تصاویر است. این توصیفگر ابزاری مفید در تحلیل تصاویر است [۱۸]. به علاوه، ارشاد و همکارانش برای استخراج ویژگی‌های بافت و رنگ

¹ Topothesy features

² Entropy function

³ Histogram of Oriented Gradient (HOG)

⁴ Support Vector Machine (SVM)

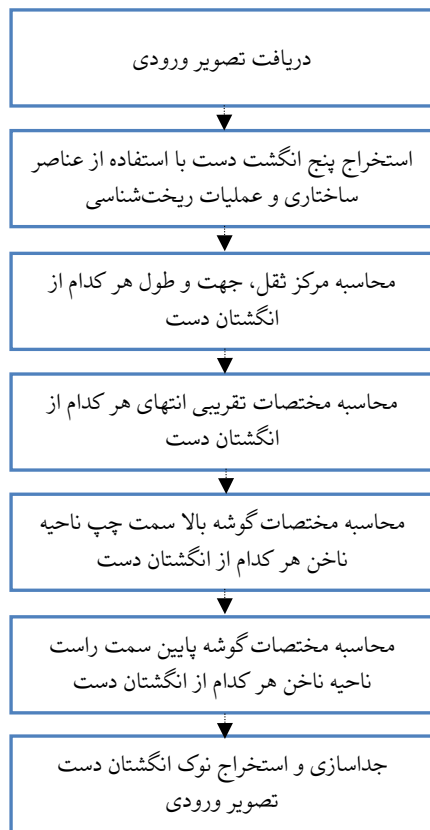
⁵ Local Correction Pattern (LCP)

⁶ Noise resistant Color Local Binary Pattern (NrCLBP)

⁷ Deep networks

⁸ Finger wrinkles

⁹ Intensive training



شکل ۳ روند مربوط به استخراج نوک انگشتان دست

در مرحله بعد، برای هر کدام از انگشتان دست با استفاده از مرکز ثقل، طول و جهت هر انگشت، مختصات نوک هر انگشت محاسبه می‌شود. با داشتن مختصات نوک انگشتان، زیرتصاویر مربوط به نوک انگشتان دست استخراج می‌گردد. شکل ۴ شبه کد مربوط به استخراج چروکیدگی انگشتان دست را نشان می‌دهد.

Extraction of finger knuckle print

Require: I: Image of five fingers, H: Hand Image

Ensure: F: Finger knuckle print

$p := \text{regionprops}(I)$ {Compute centroid (c), orientation (o) and length of major axis (L)}

for k:=1 to 5 **do**

hlen := p(k).L/2

xCentre := p(k).c(1)

yCentre := p(k).c(2)

cosOrient := cos(p(k).o)

sinOrient := sin(p(k).o)

xcoords := xCentre + hlen * [cosOrient -cosOrient]

ycoords := yCentre + hlen * [-sinOrient sinOrient]

[mi,positionmin] := min(ycoords)

xcoords2 := xcoords(positionmin) - hlen * [cosOrient -cosOrient]

ycoords2 := ycoords(positionmin) - hlen * [-sinOrient sinOrient]

N = imcrop(H, [xcoords(positionmin)-37

ycoords(positionmin)-15 74 74]) {Crop of finger knuckle print}

imwrite(F, fullfile(FKPPPath, strcat(num2str(ima), '_', num2str(k), '.jpg')))) {Write of finger knuckle in a path}

end for

شکل ۴ شبه کد مربوط به استخراج چروکیدگی انگشتان دست

نهایت کلیه تصاویر دست در شرایط محیطی نسبتاً یکسانی عکس-برداری شده‌اند.



شکل ۱ وسیله دریافت تصاویر دست

پس از جمع‌آوری تصاویر، به منظور مجزاسازی نواحی مطلوب دست، مرحله استخراج دست از تصویر پس‌زمینه اعمال می‌گردد. ابتدا تصویر از فضای رنگی RGB به فضای رنگی YUV نگاشت می‌گردد [۲۱]. در فضای رنگی YUV از مؤلفه U به دلیل آشکارسازی دقیق‌تر نواحی رنگ پوست در تصاویر دست جمع-آوری شده استفاده می‌شود. سپس با آستانه‌گیری مؤلفه U بین دو مقدار T_1 و T_2 رنگ پوست آشکارسازی می‌گردد و یک تصویر باینری به دست می‌آید که در آن پیکسل‌های محدوده رنگ پوست، دارای مقدار یک و سایر پیکسل‌های دارای مقدار صفر هستند.

محاسبه این دو آستانه برای تشخیص پوست دست، با تحلیل آماری تصاویر صورت گرفته است. بدین صورت که محاسبه انحراف معیار مقادیر میانگین پیکسل‌های تصویر منجر به تعیین آستانه پایین T_1 و همچنین محاسبه اختلاف کوچک‌ترین مقدار میانگین پیکسل‌های تصویر از بزرگ‌ترین مقدار میانگین پیکسل‌ها منجر به تعیین آستانه بالای T_2 شده است.

به دلیل اینکه هدف استخراج چروکیدگی انگشتان و ناخن می‌باشد، در نتیجه لازم است در مرحله بعد پنج انگشت دست را جدا نماییم. برای این منظور، ابتدا مرکز ثقل تصویر دست به دست می‌آید، سپس فاصله مرکز ثقل تا تمام نقاط مرزی تصویر محاسبه می‌شود. با یافتن نقطه مرزی‌ای که فاصله کم‌تری با مرکز ثقل دارد شعاع کف دست محاسبه می‌گردد. در گام بعدی کف دست و ساعد با استفاده از عناصر ساختاری مربعی و عملیات ریخت‌شناسی استخراج و سپس تفاضل کف دست و ساعد از تصویر اصلی منجر به استخراج پنج انگشت دست خواهد شد. استخراج پنج انگشت دست برای یک تصویر نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ استخراج پنج انگشت دست

سپس برای هر انگشت با استفاده از مرکز ثقل و جهت آن انگشت، مختصات نوک انگشت محاسبه شده و زیرتصویر مربوط به نوک انگشت دست استخراج می‌گردد. شکل ۳ روند مربوط به استخراج نوک انگشتان دست از تصویر ورودی را نشان می‌دهد.

ذره‌ها برای یافتن پاسخ بهینه تغییر می‌یابد. این تغییرات در رابطه-های ۱ و ۲ محاسبه شده‌اند

$$V_{id}^{k+1} = W \times V_{id}^k + c_1 \times rand_1^k (pbest_{id}^k - X_{id}^k) + c_2 \times rand_2^k (gbest^k - X_{id}^k) \quad (1)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (2)$$

که X_{id}^k موقعیت مکانی، V_{id}^k سرعت بعد d ام از i امین ذره، $pbest$ بهترین تجربه‌ای که خود ذره تا کنون به دست آورده، W ضریب اینرسی، c_1 و c_2 ضرایب یادگیری در بازه صفر و دو و $rand_1$ و $rand_2$ دو عدد تصادفی در بازه صفر و یک در تکرار k ام هستند. الگوریتم پس از تعداد خاصی تکرار متوقف می‌شود.

در رابطه ۱، $W \times V_{id}^k$ ، $c_1 \times rand_1^k (pbest_{id}^k - X_{id}^k)$ و $c_2 \times rand_2^k (gbest^k - X_{id}^k)$ به ترتیب معرف ضریبی از سرعت فعلی ذره، حرکت ذره در جهت بهترین تجربه شخصی و حرکت ذره به سمت بهترین تجربه گروهی است. در نهایت جستجو حول بهترین ذره شکل گرفته و پاسخ بهینه حاصل می‌گردد. با استفاده از این الگوریتم بهینه‌سازی، مجموعه‌ای از ضرایب بهینه به ویژگی‌های بافتی اعمال شده و دقت تشخیص هویت افراد افزایش می‌یابد.

۵ الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص هویت افراد

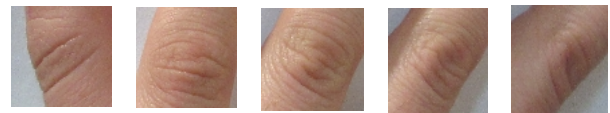
در مقاله حاضر به منظور تشخیص هویت افراد روش کدگذاری چهارجهتی مطرح و مورد مطالعه قرار گرفته است. مراحل اصلی الگوریتم پیشنهادی در ادامه شرح داده خواهد شد.

۱-۵ شرح روش

با توجه به شکل ۶ پنج مرحله اصلی سیستم بیومتریک پیشنهادی شامل دریافت تصاویر دست توسط وسیله اخذ تصاویر، جداسازی نواحی مطلوب، محاسبه ویژگی‌های بافتی با استفاده از توصیفگر پیشنهادی، بهینه‌سازی ویژگی‌ها توسط یک الگوریتم تکاملی و شناسایی هویت افراد است.

در مرحله اول، تصاویر دست افراد مختلف جمع‌آوری می‌گردد. با توجه به این که پایگاه داده استاندارد تصاویر دست تا کنون تولید نشده، بنابراین در این مرحله با استفاده از یک دوربین دیجیتال و یک محفظه‌ی چوبی، تصاویر گردآوری شده‌اند. در مرحله دوم عملیات پیش‌پردازش برای استخراج نواحی چروکیدگی انگشتان دست و ناخن بر روی تصاویر جمع‌آوری شده انجام می‌شود. در این مرحله، سه پایگاه داده شامل تصاویر چروکیدگی انگشتان دست، ناخن و ترکیب چروکیدگی انگشتان دست و ناخن استخراج می‌گردد. در مرحله سوم، ویژگی‌های بافتی چروکیدگی انگشتان با روش پیشنهادی کدگذاری چهارجهتی مبتنی بر آستانه-گیری میانگین پیکسل‌های همسایه پیکسل مرکزی بین فواصل

با داشتن مختصات گوشه بالا سمت چپ چروکیدگی تصویر دست، ناحیه موردنظر را برش داده و تصویر نتیجه در پایگاه داده با نامی که تعیین کننده فرد منسوب به تصویر است ذخیره می‌گردد. استخراج چروکیدگی انگشتان دست یک تصویر نمونه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ استخراج خودکار نواحی چروکیدگی انگشتان دست

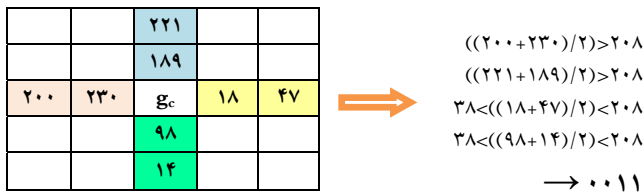
لازم به ذکر است که هنگام عکس برداری از تصاویر دست، در صورت بسته بودن انگشتان دست از کاربرد تقاضا می‌شود تا آنها را باز نگه دارد. بازبودن انگشتان دست منجر به استخراج دقیق نواحی مطلوب خواهد شد. مرحله بعدی استخراج ویژگی‌های بافتی این نواحی می‌باشد که در بخش ۵ تشریح شده است. در ادامه به تشریح مختصر الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات می‌پردازیم.

۴ الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات

در این بخش الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات به صورت مختصر و دلیل استفاده از آن تشریح می‌شود. پس از محاسبه ویژگی‌های بافتی تصاویر که در بخش ۵ بیان خواهد شد، به منظور افزایش دقت سیستم تشخیص هویت پیشنهادی، اعمال ضرایب اهمیت مناسب به هر یک از ویژگی‌های بافتی مفید خواهد بود. معمولاً تعیین این ضرایب اهمیت با استفاده از یک روش تکاملی انجام می‌گیرد. برای این منظور، در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات که توسط کندی و ابرهات مطرح شده و از رفتار دسته-جمعی پرنده‌ها و ماهی‌ها برای یافتن غذا الهام می‌گیرد [۲۲] برای محاسبه ضرایب اهمیت و در نتیجه افزایش دقت تشخیص هویت استفاده شده است.

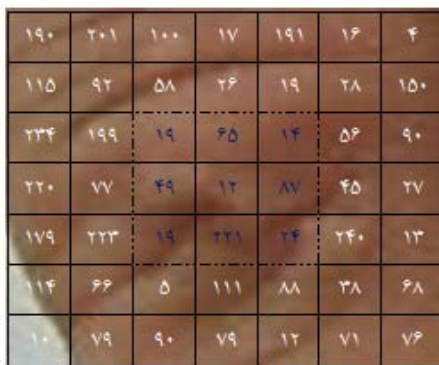
در این الگوریتم تکاملی، دسته‌ای از پرنده‌ها و ماهی‌ها در یک فضای تصادفی در جستجوی غذا هستند و هیچ کدام از محل غذا اطلاعی نداشته و فرض بر این است که فقط فاصله خود و دیگران تا غذا را می‌دانند. یکی از مناسب‌ترین روش‌ها دنبال کردن پرنده‌ی است که به غذا نزدیک‌تر است. هر پرنده یک پاسخ ممکن در فضای جستجو است که ذره نام دارد و دارای یک مقدار شایستگی تعیین شده توسط تابع صلاحیت است. مقادیر بالای شایستگی نشان می‌دهد که ذره به جواب نزدیک‌تر است. در الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌ذرات، تعدادی ذره در نظر گرفته می‌شود که دارای مکان‌ها و سرعت‌های متفاوتی هستند. سپس مکان و سرعت این

که μ, σ و N_{DB} به ترتیب میانگین پیکسل‌های تصویر، انحراف معیار پیکسل‌های تصویر و تعداد کل تصاویر پایگاه داده هستند. همچنین مقدار $Z_{u/2}$ برابر $1/96$ در نظر گرفته می‌شود [۲۳]. پس از محاسبه حد بالا و پایین فاصله اطمینان مقادیر پیکسل‌های تصویر، به ازای هر پیکسل مرکزی، میانگین دو پیکسل قبل، بالا، بعد و پایین آن در نظر گرفته می‌شود. در واقع اگر به ازای هر پیکسل مرکزی، میانگین دو پیکسلی که قبل از پیکسل مرکزی قرار گرفته‌اند بین فواصل Γ_1 و Γ_2 بود بیت ۱ و در غیر این صورت بیت ۰ در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر میانگین دو پیکسلی که بالای پیکسل مرکزی قرار گرفته‌اند بین فواصل Γ_1 و Γ_2 بود بیت ۱ و در غیر این صورت بیت ۰ در نظر گرفته می‌شود. همین عمل برای پیکسل‌های بعد و پایین پیکسل مرکزی انجام شده و در نتیجه‌ی این مقایسه‌ها یک کد چهاربیتی به دست می‌آید. شکل ۷ مثالی از بررسی این مقایسه‌هاست.

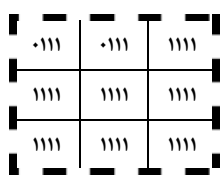


شکل ۷ کدگذاری چهارجهتی به ازای یک پیکسل مرکزی با مقدار g_c و مقادیر $\Gamma_1=38$ و $\Gamma_2=208$

این مقایسه‌ها برای پیکسل‌های تصویر انجام شده و مجموعه‌ای از کدهای چهاربیتی حاصل می‌گردد. شکل ۸ قسمت (الف) یک تصویر 7×7 پیکسلی را نشان می‌دهد که در آن مجموعه پیکسل‌های مشخص شده، کدگذاری شده‌اند. مجموعه کدهای چهاربیتی به دست آمده در شکل ۸ قسمت (ب) آورده شده‌اند.



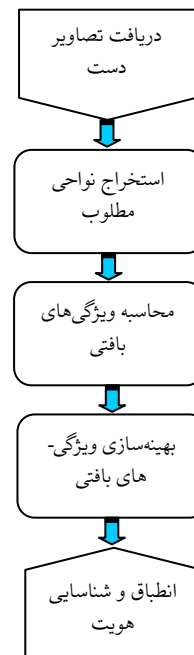
(الف)



(ب)

شکل ۸ پردازش مجموعه‌ای از پیکسل‌های تصویر (الف) تصویر ورودی (ب) کدهای چهاربیتی به دست آمده از روش کدگذاری چهارجهتی

اطمینان کلیه پیکسل‌های تصویر و ویژگی‌های بافتی نواحی ناخن با روش تبدیل موجک گسسته محاسبه شده، سپس در ادامه این ویژگی‌ها بهینه می‌گردند.



شکل ۶ شمای کلی سیستم بیومتریک پیشنهادی

بهینه‌سازی ویژگی‌های تصویر با استفاده از الگوریتم PSO که در بخش قبل توضیح داده شد، انجام شده است. با الگوریتم PSO، درایه‌های بردار ویژگی روش ارائه شده، بهینه شده و دقت تشخیص هویت افزایش می‌یابد. در نهایت از معیار اندازه‌گیری فاصله $d1$ [۶] (که در مطالعات متعددی از آن استفاده شده است) برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده شده و هویت افراد مورد شناسایی قرار می‌گیرد. این معیار در تحقیقات سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مطلوبی را موجب شده است. داده‌های ارزیابی گزارش شده در بخش ۶ نشانگر بهبود قابل توجه در دقت تشخیص هویت افراد از روی ویژگی‌های پشت دست می‌باشد. تشریح جزئیات روند کلی تشخیص هویت در ادامه مقاله ارائه می‌شود.

۵-۲ روش انتخاب ویژگی‌های بافتی دست

استخراج نواحی مطلوب تصاویر دست در بخش ۳ تشریح شد. در این قسمت نحوه استخراج ویژگی دست بیان خواهد شد. روش پیشنهادی کدگذاری چهارجهتی، توصیف‌کننده بافت تصاویر چروکیدگی انگشتان دست است. برای استخراج ویژگی‌های بافتی تصاویر، ابتدا به ازای هر تصویر ورودی دو آستانه Γ_1 و Γ_2 که به ترتیب معرف گستره پایین و بالای فاصله اطمینان پیکسل‌های تصویر به عنوان جامعه آماری در سطح خطای α هستند مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شوند

$$\Gamma_1 = \left[\mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{N_{DB}}} \right] \quad \Gamma_2 = \left[\mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{N_{DB}}} \right] \quad (3)$$

تصاویر ناخن، تبدیل موجک گسسته تک سطحی^۱ است که اطلاعات کافی و مناسبی درباره تجزیه سیگنال اصلی ارائه می‌دهد [۲۵] و نتایج تجزیه تا سه سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد.

دلیل اینکه از روش‌های استخراج ویژگی مختلفی برای نواحی چروکیدگی دست‌ها و ناخن استفاده شده، متفاوت بودن بافت نواحی مختلف دست است. هیستوگرام الگوهای چهارجهتی مبتنی بر آستانه‌گیری به دلیل در نظر گرفتن مجموعه پیکسل‌های همسایه، توصیفگر مناسبی برای تحلیل چروکیدگی دست‌هاست. اما، تبدیل موجک برای تحلیل ناخن‌ها ابزاری کارا و مؤثر بوده و این نکته با بررسی‌های تجربی به دست آمده است. بدین ترتیب بردار ویژگی تصاویر دست محاسبه خواهد شد. در اینجا اندازه بردار ویژگی هر انگشت دست $feature_vector_size = 12$ و بسیار کوچک است. از این تعداد شش ویژگی مربوط به چروکیدگی انگشت و شش ویژگی دیگر مربوط به اعمال تبدیل موجک روی هر تصویر ناخن است. این امر منجر به مصرف حافظه پایین می‌گردد.

این در حالی است که برخی توصیفگرهای بافتی از جمله الگوی باینری محلی (LBP) [۲۶] دارای اندازه بردار ویژگی بزرگ‌تر (۲۵۶ ویژگی برای هر تصویر) می‌باشد. کاهش تعداد ویژگی‌های هر تصویر و در نتیجه کاهش تعداد ویژگی‌های کل تصاویر پایگاه داده قطعاً منجر به استفاده بهینه از حافظه خواهد شد. همان‌طور که توضیح داده شد، روش پیشنهادی دارای محاسباتی بسیار ساده و مصرف حافظه محدود است. اینکه در روش ارائه شده برای هر پیکسل دو همسایه آن در هر جهت در نظر گرفته می‌شود از طریق سعی و خطا به دست آمده و هر چقدر تعداد همسایه‌های اطراف پیکسل پردازش شده بیش‌تر باشد زمان پردازش طولانی‌گشته و دقت تشخیص هویت نیز کاهش می‌یابد. کاهش دقت تشخیص هویت با در نظر گرفتن کلیه پیکسل‌های همسایه، مربوط به ساختار تصاویر جمع‌آوری شده است و این نتیجه با بررسی و آزمایش تصاویر، به دست آمده در حالی که با تحلیل تصاویر سایر پایگاه داده‌ها ممکن است این نتیجه صادق نباشد.

در تبیین عملکرد مطلوب توصیفگر بافتی پیشنهاد شده در این مقاله می‌توان به این نکته مهم اشاره نمود که این توصیفگر هنگام پردازش هر یک از پیکسل‌های تصویر، هشت پیکسل همسایه آن در جهت‌های چپ، راست، بالا و پایین را مدنظر قرار می‌دهد. این پردازش در جهت‌های مختلف منجر به استخراج ویژگی‌های دیداری با اهمیتی می‌گردد که قادرند در تشخیص هویت افراد با دقت بالایی عمل نمایند. به علاوه، استفاده از آستانه‌گیری هنگام تعیین کدهای باینری مربوطه، نقش به‌سزایی در کدگذاری دقیق‌تر توصیفگر پیشنهادی داشته و پیکسل‌هایی که خارج از گستره Γ_1 و قرار گرفته‌اند از سایر پیکسل‌ها تفکیک گشته‌اند.

در اینجا اگر تعداد پیکسل همسایه بیش‌تر شود، تعداد الگوها نیز افزایش خواهد یافت. همچنین، با چرخش تصاویر مقدار الگوها نیز تغییر می‌یابد. برای کاهش تعداد الگوها، از یک روش مقاوم به چرخش زاویه‌های مضرب ۹۰ درجه استفاده می‌گردد. معیار یکنواختی U تعداد دفعاتی است که دو بیت متوالی در عدد چهاربیتی به دست آمده $C[i]$ و $C[i+1]$ تغییر یافته‌اند. تغییرات بیت اول و چهارم نیز در محاسبه معیار یکنواختی در نظر گرفته می‌شود [۲۴]. حال مقدار کمیت U بررسی می‌شود، اگر مقدار U کوچک‌تر و یا مساوی دو بود، مجموع ارقام عدد چهاربیتی و در غیر این صورت حاصل جمع مجموع ارقام عدد چهاربیتی، آستانه δ و یک در نظر گرفته می‌شود که رابطه ۴ نحوه این کدگذاری را بیان می‌نماید.

$$F = \begin{cases} \sum_{i=0}^3 C[i] & \text{if } U \leq 2 \\ \left(\sum_{i=0}^3 C[i]\right) + \delta + 1 & \text{if } U > 2 \end{cases} \quad (4)$$

مقدار آستانه δ برابر $\text{floor}(U/2)$ بوده و floor تابع جزء صحیح است. پس از محاسبه رابطه فوق برای مجموعه پیکسل‌های پردازش شده، هیستوگرام مقادیر به دست آمده برای المان‌های تصویر به عنوان بردار ویژگی نواحی چروکیدگی انگشتان در نظر گرفته می‌شود. این هیستوگرام دارای شش عضو، ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ خواهد بود. در جدول ۱ کلیه حالت‌های باینری ممکن به همراه مقادیر F و U درج شده‌اند.

جدول ۱ انواع مقادیر مختلف کدهای باینری و مقادیر F و U

کد باینری	U	F
۰۰۰۰	۰	۰
۰۰۰۱	۲	۱
۰۰۱۰	۲	۱
۰۰۱۱	۲	۲
۰۱۰۰	۲	۱
۰۱۰۱	۴	۵
۰۱۱۰	۲	۲
۰۱۱۱	۲	۳
۱۰۰۰	۲	۱
۱۰۰۱	۲	۲
۱۰۱۰	۴	۵
۱۰۱۱	۲	۳
۱۱۰۰	۲	۲
۱۱۰۱	۲	۳
۱۱۱۰	۲	۳
۱۱۱۱	۰	۴

بردار ویژگی نواحی ناخن نیز با استفاده از تبدیل موجک گسسته محاسبه می‌شود. تبدیل موجک استفاده شده در تحلیل

¹ Single-level Discrete Wavelet Transform (SWT)

این الگوریتم تکاملی پیاده‌سازی شده دارای یک تابع هزینه $(cost_fun)$ است. در ابتدا مجموعه‌ای از ذرات با سرعت‌ها و موقعیت اولیه تصادفی در نظر گرفته می‌شوند. در هر تکرار، وزن‌های جدید محاسبه شده و موقعیت مکانی ذرات برحسب مقدار صلاحیت آن‌ها تغییر می‌یابد. در اینجا هر ذره به دنبال یک راه‌حل بهینه جستجو می‌نماید و فضای راه‌حل شامل $f = 1, \dots, 12$ به‌ازای هر یک از انگشتان دست است. بردار ویژگی هر یک از تصاویر پایگاه داده با x_j نشان داده می‌شود که $j = 1, \dots, N_{DB}$ است. به‌ازای هر انگشت دست یک بردار ویژگی دوازده عضوی به دست می‌آید، سپس به هر کدام از عناصر بردار ویژگی یک ضریب اعمال می‌گردد. انتخاب این ضریب بهینه توسط الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی دسته‌ذرات به نحوی است که با محاسبه میزان شباهت تصویر ورودی با سایر تصاویر موجود در پایگاه داده، شبیه‌ترین تصاویر و در نتیجه بیش‌ترین نرخ تشخیص به دست آید.

تابع هزینه با دریافت ویژگی‌های بافتی هر تصویر، ضرائب اهمیت متفاوت برای عناصر بردار ویژگی را طوری اعمال می‌نماید که نرخ تشخیص با علامت منفی کمینه و در نتیجه صحت تشخیص هویت بیشینه گردد. در واقع هدف اصلی روش‌های ابتکاری تعیین کمینه سراسری با تعریف توابع هزینه و اصلاح میزان صلاحیت ذرات می‌باشد. در اینجا برای محاسبه فاصله بین بردار ویژگی تصویر ورودی با بردارهای ویژگی سایر تصاویر مرتبط در مجموعه تصاویر از روش فاصله $d1$ [۶] وزن دار که به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود استفاده شده است

$$D(x_q, x_j) = \sum_{f=1}^{12} \left| \frac{x_q^f - x_j^f}{1 + x_q^f + x_j^f} \right| \times w^{k,f} \quad (5)$$

که w وزن مربوطه می‌باشد. استفاده از ضرائب مختلف برای بردارهای ویژگی دقت سیستم تشخیص هویت را افزایش می‌دهد. برای این منظور در هر تکرار الگوریتم بردار وزن دهی w^k دوباره محاسبه شده تا اینکه در نهایت ضرائب بهینه به دست می‌آیند. دلیل اینکه از معیار اندازه‌گیری فاصله $d1$ برای محاسبه فواصل الگوها بهره گرفته شده، این است که در مقایسه با سایر معیارهای اندازه‌گیری فاصله از جمله فاصله اقلیدسی، مانهاتان و کسینوسی عملکرد مناسب‌تری روی مجموعه تصاویر مربوطه داشته است.

۶ ارزیابی و آزمایش

در این بخش به ارزیابی دقت تشخیص هویت روش ارائه شده که آن را Tex4Dir می‌نامیم روی مجموعه تصاویر چروکیدگی انگشتان، ناخن و ترکیب تصاویر چروکیدگی انگشتان و ناخن (پایگاه داده FKP_Nail) می‌پردازیم.

برای مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های موجود، روش‌های (۱) ویژگی‌های گابور [۷]، (۲) ترکیب ویژگی‌های گابور و تحلیل متمایزکننده خطی [۸]، (۳) چا و همکاران [۹]، (۴) گاوا و همکاران [۱۰]، (۵) زانگ و همکاران [۱۱]، (۶) نیگام و همکاران

به صورت خلاصه، کارایی اصلی روش پیشنهادی نسبت به سایر توصیفگرهای بافتی، کاهش تعداد ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر (شش ویژگی به‌ازای تصاویر چروکیدگی انگشتان و شش ویژگی به‌ازای تصاویر ناخن)، مصرف حافظه پایین نسبت به اکثر توصیفگرهای بافتی از جمله انواع الگوهای باینری محلی و در نتیجه استفاده بهینه از حافظه، انجام پردازش‌ها و محاسبات نسبتاً ساده و در نتیجه کاهش زمان پردازش تصاویر با لحاظ کردن فقط دو پیکسل همسایه به‌ازای هر پیکسل پردازشی در جهت‌های مختلف و نهایتاً افزایش دقت تشخیص هویت با استفاده از روش آستانه‌گیری در تعیین کدهای باینری و بهینه‌سازی ویژگی‌ها و نهایتاً فراهم آوردن امکان استفاده از سیستم بیومتریک پیشنهادی در کاربردهای امن و بلادرنگ می‌باشد.

۳-۵ بهینه‌سازی ویژگی‌های پشت دست با الگوریتم

PSO

در اینجا به منظور افزایش نرخ تشخیص سیستم بیومتریک پیشنهادی از مسئله بهینه‌سازی با الگوریتم PSO استفاده شده است. شکل ۹ شبه کد مربوط به الگوریتم PSO پیاده‌سازی شده را نشان می‌دهد. در این شبه کد، $par(i)$ ذره i ام، $par(i).X$ موقعیت مکانی ذره i ام، $par(i).V$ سرعت ذره i ام و k تعداد دفعات تکرار الگوریتم است. همچنین موقعیت مکانی و سرعت کلیه ذرات (p ذره) به روز شده و بهترین موقعیت یافت خواهد شد. همچنین X_Upper ، X_Lower و V_Upper و V_Lower به ترتیب حد بالای موقعیت مکانی، حد پایین موقعیت مکانی، حد بالای سرعت ذرات و حد پایین سرعت است.

```

k = 1
for i=1 to p do
  par(i).X := rand(1,1)×(X_Upper-X_Lower)+X_Lower
  par(i).V := rand(1,1)×(V_Upper-V_Lower)+V_Lower
  par(i).cost := cost_fun(par(i).X)
  par(i).pbest := par(i).cost
  par(i).best_position := par(i).X
end for
[global_best_position gbest] = min_cost(par)
while (k<=max_iteration)
  for i=1 to p do
    update par(i).X
    update par(i).V
    par(i).cost := cost_fun(par(i).X)
    if (par(i).cost < par(i).pbest)
      par(i).pbest := par(i).cost
      par(i).pbest_position := par(i).X
    end if
  end for
  [global_best_position gbest] = min_cost(par)
  k = k + 1
end while
return [global_best_position gbest]

```

شکل ۹ شبه کد الگوریتم PSO پیاده‌سازی شده

مجموعه تصاویر ناخن نیز شامل ۵۴۵۰ نمونه تصویر دیگر است که هر ۵۰ تصویر به یک شخص تعلق دارد. در نتیجه مجموعه تصاویر این تحقیق که FKP_Nail نامیده شده است شامل ۱۰۹۰۰ نمونه تصویر از چروکیدگی انگشتان دست و ناخن می‌باشد. در کلیه مراحل ارزیابی به این شکل عمل شده است که ۹۸۱۰ تصویر تصادفی از این مجموعه برای مرحله استخراج ویژگی و ذخیره آنها در یک پایگاه داده و ۱۰۹۰ تصویر باقیمانده برای مرحله آزمایش و شناسایی تصویر ناشناخته استفاده شده است.

۲-۶ معرفی معیارهای ارزیابی

در این بخش معیارهای ارزیابی مورد استفاده در روش پیشنهادی شرح داده می‌شود، در ابتدا مشخصات سیستم و نرم افزار استفاده شده در آزمایش‌ها معرفی می‌شود. در آزمایش‌ها از یک پردازنده اصلی Intel core i5 با چهار گیگابایت حافظه استفاده شده است. پیاده‌سازی‌ها بر روی ویندوز ۷ صورت گرفته‌اند.

معیار نرخ پذیرش اشتباه یا FAR و نرخ عدم پذیرش اشتباه یا FRR از رایج‌ترین معیارهای ارزیابی در سیستم‌های بیومتریک هستند. برای محاسبه معیار FAR باید فاصله تصویر تا کلیه تصاویری که در دسته تصویر ورودی قرار ندارند، محاسبه گردد و این فاصله Imposter score نام دارد. سپس گستره‌ای از آستانه‌ها طبق رابطه ۶ لحاظ می‌گردد

$$\eta = \min (\text{Imposter score}) : g : \max (\text{Genuine score}) \quad (6)$$

که g تفاضل گستره انتهایی و ابتدایی مجموعه آستانه‌ها است. همچنین Genuine score فاصله تصویر ورودی تا کلیه تصاویری است که به این تصویر شباهت دارند. به ازای هر آستانه اگر مقادیر Imposter score از مقدار آستانه بزرگ‌تر و یا مساوی بود، یک واحد به کمیت FAR افزوده می‌شود. به علاوه، اگر مقادیر Genuine score از مقدار آستانه کوچک‌تر بود، کمیت FRR یک واحد افزایش می‌یابد [۳۳]. همچنین در اینجا، نرخ تشخیص یا RR که نسبت تعداد تصاویری که به صورت صحیح تشخیص داده شده‌اند به تعداد کل تصاویر ارزیابی شده است، به عنوان معیار ارزیابی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۶ نتایج ارزیابی روی مجموعه تصاویر مختلف

بردار ویژگی استفاده شده در این تحقیق هیستوگرام مجموعه‌ای از الگوهای چهاربیتی و ضرائب تبدیل موجک هستند. در واقع ویژگی بافت با دوازده ویژگی استخراج شده و تمام پایگاه‌تصویر بر این اساس نمایه‌سازی شده‌اند. این ویژگی به دلیل خاصیت تفکیک پذیری مناسب به عنوان ابزاری قوی در تحلیل بافت استفاده شده‌اند. نکته حائز اهمیت این است که با وجود اندازه کوچک بردارهای ویژگی، توصیفگر پیشنهادی با دقت بالایی عمل نموده است.

[۱۲]، [۷] نکلا و همکاران [۱۴]، [۸] الگوی تصحیح محلی [۱۸]، [۹] الگوهای باینری محلی رنگی مقاوم در برابر نویز [۱۹]، [۱۰] الگوی باینری محلی [۲۶]، [۱۱] الگوی باینری میانه (MBP) [۲۷]، [۱۲] الگوی سه گانه محلی (LTP) [۲۸]، [۱۳] هیستوگرام گرادیان جهت‌دار (HOG) [۲۹]، [۱۴] آلفی و همکاران [۳۰] و [۱۵] جو و همکاران [۳۱] روی مجموعه تصاویر FKP_Nail پیاده‌سازی شده‌اند. در ادامه ابتدا مجموعه تصاویر مورد استفاده معرفی می‌شوند و سپس نتایج اجرای روش پیشنهادی و روش‌های پیشین بر روی این مجموعه تصاویر نشان داده می‌شود.

۱-۶ معرفی مجموعه تصاویر استفاده شده

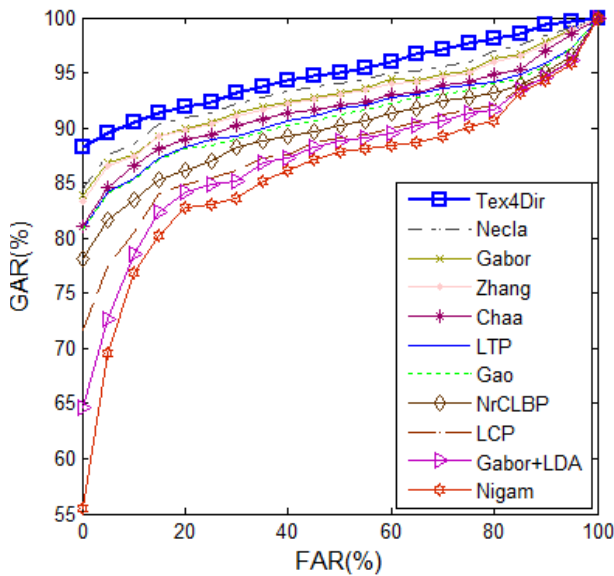
تا کنون پژوهش‌های زیادی در زمینه احراز هویت با استفاده از ترکیب چروکیدگی انگشتان دست و ناخن صورت نگرفته است. کال و همکارانش [۳۲] پایگاه داده‌ای متشکل از تصاویر دست افراد مختلفی مورد استفاده قرار دادند که این مجموعه تصاویر توسط ایشان گردآوری شده و امکان استفاده عمومی ندارد. با توجه به این محدودیت، پایگاه داده دست اخذ شده از وسیله دریافت تصاویر (شکل ۱) مورد استفاده قرار گرفته است. ۵۴۵۰ تصویر از مجموعه تصاویر چروکیدگی انگشتان دست تهیه شده است. این مجموعه تصاویر شامل تصاویر دست ۱۰۹ نفر با گستره سنی و جنسیت‌های متفاوت است.

به ازای هر شخص ۵ تصویر از پشت دست راست و ۵ تصویر از پشت دست چپ اخذ شده است. در نتیجه به ازای هر شخص ۱۰ تصویر از پشت دستش عکس برداری شده است. در هر تصویر پشت دست ۵ تصویر چروکیدگی انگشت و ۵ تصویر ناخن وجود دارد که کلیه این مجموعه تصاویر در شرایط محیطی نسبتاً یکسانی جمع‌آوری گشته‌اند. برای هر فرد ۵۰ تصویر چروکیدگی انگشتان در پایگاه وجود دارد که نمونه‌ای از این تصاویر در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل ۱۰ نمونه‌هایی از تصاویر چروکیدگی انگشتان افراد مختلف

مجموعه داده نرخ تشخیص الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم-های دیگر بالاتر و در نتیجه برای شناسایی هویت بهتر عمل می‌نماید.



شکل ۱۳ نمودار ROC روش پیشنهادی روی مجموعه داده FKP_Nail و روش‌های پیشین

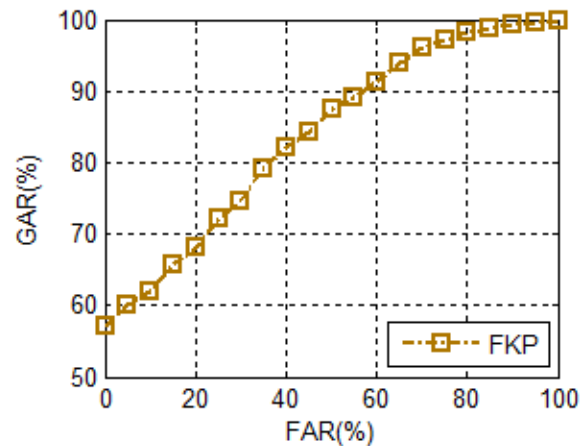
علاوه بر روش‌های پیشین تشخیص هویت با استفاده از چروکیدگی انگشتان دست، توصیفگرهای LBP، MBP، LTP، HOG و گابور نیز به‌عنوان مرجع مقایسه مورد بررسی قرار گرفته‌اند زیرا جزو پراستفاده‌ترین توصیفگرهای بافتی می‌باشند. با مشاهده نتایج به‌دست آمده در جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی از نظر نرخ تشخیص دارای برتری کامل است.

جدول ۲ نرخ تشخیص روش پیشنهادی و روش‌های موجود روی

مجموعه تصاویر FKP_Nail

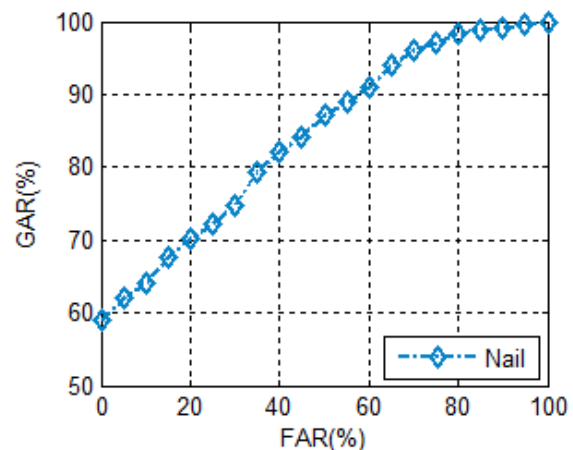
نرخ تشخیص (%)	الگوریتم
۸۸/۳۸	روش پیشنهادی بدون اعمال الگوریتم PSO
۹۲/۱۳	روش پیشنهادی (Tex4Dir) با اعمال الگوریتم PSO
۸۳/۸۷	ویژگی‌های گابور [۷]
۶۴/۵۹	ترکیب گابور و تحلیل متمایزکننده خطی [۸]
۸۱/۱۲	چا و همکاران [۹]
۸۰/۷۷	گاو و همکاران [۱۰]
۸۳/۳۱	زانگ و همکاران [۱۱]
۵۵/۴۷	نیگام و همکاران [۱۲]
۸۴/۴۵	نکلا و همکاران [۱۴]
۷۱/۶۶	الگوی تصحیح محلی [۱۸]
۷۸/۱۹	الگوی باینری محلی رنگی مقاوم در برابر نویز [۱۹]
۷۴/۳۲	الگوی باینری محلی [۲۶]
۷۶/۴۶	الگوی باینری میانه [۲۷]
۸۰/۸۱	الگوی سه‌گانه محلی [۲۸]
۵۸/۵۴	هیستوگرام گرادین جهت‌دار [۲۹]
۸۰/۳۷	آلفی و همکاران [۳۰]
۸۲/۹۳	جو و همکاران [۳۱]

در این بخش، ابتدا مجموعه تصاویر چروکیدگی انگشتان مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی سیستم‌های شناسایی هویت از نمودارهای ROC^۱ و CMC^۲ بهره‌گرفته می‌شود که ROC همان نمودار مشخصه عملیاتی دریافتی است. این نمودار مقادیر نرخ پذیرش واقعی یا GAR را در برابر FAR رسم می‌نماید که GAR همان 1-FRR است. همچنین CMC نمودار مشخصه انطباق جمعی است که نرخ تشخیص را در مرتبه‌های مختلف به‌تصویر می‌کشد. در شکل ۱۱ نمودار ROC روش پیشنهادی روی تصاویر چروکیدگی انگشتان دست رسم شده است.



شکل ۱۱ نمودار ROC روش پیشنهادی روی مجموعه تصاویر چروکیدگی انگشتان دست

مجموعه داده دوم که مورد بررسی قرار گرفته، مجموعه تصاویر ناخن است. در این مجموعه داده هم نمودار ROC و هم CMC رسم شده‌اند. شکل ۱۲ نمودار ROC روش پیشنهادی روی مجموعه تصاویر ناخن ترسیم شده که کارایی مطلوب الگوریتم پیشنهادی را اثبات می‌نماید.



شکل ۱۲ نمودار ROC روش پیشنهادی روی مجموعه تصاویر ناخن

نمودار ROC روش پیشنهادی و برخی از روش‌های موجود روی پایگاه‌داده FKP_Nail در شکل ۱۳ ترسیم شده‌اند. در این

¹ Receiver Operating Characteristic (ROC)

² Cumulative Match Characteristic (CMC)

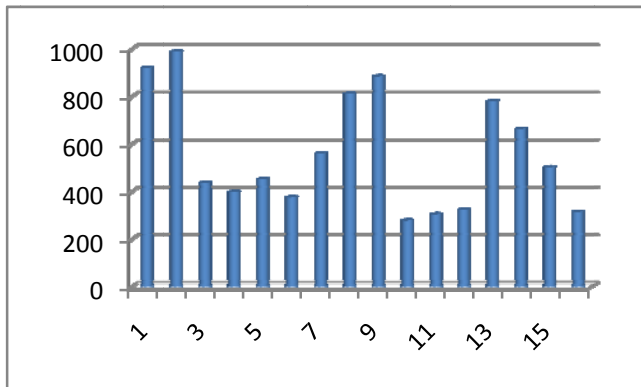
روش پیشنهادی این مقاله رویکرد جدیدی در مقایسه با کارهای مشابه در بحث تشخیص هویت ارائه می‌کند و با داشتن پیچیدگی محاسباتی پایین، مصرف حافظه اندک، اصل سادگی پیاده‌سازی روش نسبت به روش‌های پیشین به دقت تشخیص مطلوبی دست یافته است. به‌علاوه، استفاده از الگوریتم PSO نرخ تشخیص هویت را به میزان ۳/۷۵٪ افزایش داده است.

همچنین زمان تشخیص هویت روش پیشنهادی مجموعاً ۶۶۵ میلی‌ثانیه است که در مقایسه با اکثر روش‌ها کوتاه‌تر بوده و در نتیجه پیچیدگی محاسباتی آن کم‌تر است. جدول ۴ زمان لازم برای اجرای مراحل مختلف احراز هویت را نشان می‌دهد.

جدول ۴ زمان اجرای مراحل مختلف پردازش یک تصویر دست

زمان (میلی‌ثانیه)	مراحل مختلف
۵۳	بارگذاری تصویر
۲۱۹	پیش‌پردازش و استخراج نواحی مطلوب
۳۱۵	استخراج ویژگی‌های بافتی
۷۸	انطباق

شکل ۱۵ مدت زمان استخراج ویژگی روش‌های پیاده‌سازی شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۵ مدت زمان استخراج ویژگی روش‌های مختلف برحسب میلی‌ثانیه

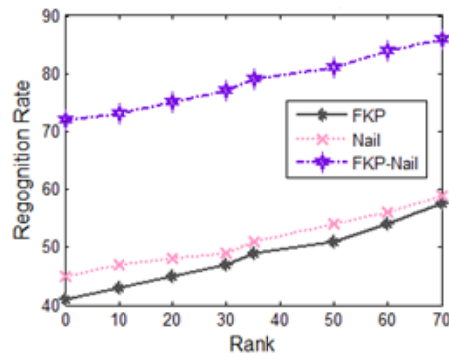
همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود روش دوم [۸] طولانی‌ترین روش استخراج ویژگی و روش پیشنهادی نسبت به اکثر روش‌های پیاده‌سازی شده، مدت زمان استخراج ویژگی کوتاه‌تری دارد. زمان نسبتاً کوتاه برای استخراج ویژگی و تشخیص هویت، امکان استفاده از سیستم بیومتریک پیشنهادی در کاربردهای امن و بلادرنگ را نیز فراهم خواهد کرد.

۷ جمع‌بندی و پیشنهادها تکمیلی

در این پژوهش روشی جدید به‌منظور تشخیص هویت افراد از روی ویژگی‌های پشت دست پیشنهاد شده که در آن به‌ازای هر پیکسل آستانه‌گیری میانگین پیکسل‌های همسایه در جهت‌های مختلف برای نواحی چروکیدگی انگشتان و تبدیل موجک گسسته برای

نتایج بررسی این مجموعه داده‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های رقیب برتری دارد و کارایی الگوریتم پیشنهادی بیشتر و نرخ اشتباه آن نسبت به الگوریتم‌های موجود کم‌تر است.

نمودار CMC روش پیشنهادی روی سه مجموعه تصاویر چروکیدگی انگشتان، ناخن و FKP_Nail در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این نمودار نیز عملکرد مطلوب روش پیشنهادی مشهود است. به‌علاوه، استفاده از الگوریتم PSO منجر به افزایش دقت تشخیص هویت افراد به میزان ۹۲/۱۳٪ گشته است.



شکل ۱۴ نمودار CMC روش پیشنهادی روی مجموعه تصاویر چروکیدگی انگشتان، ناخن و FKP_Nail

لازم به ذکر است که آستانه پایین T_1 و آستانه بالای T_2 برای تشخیص پوست دست به ترتیب مقادیر ۲۰ و ۷۴ می‌باشند. همچنین، مختصات تقریبی انتهای انگشتان دست راست و چپ با بررسی مختصات تصاویر مختلف از دست‌های راست و چپ به صورت تجربی به دست آمده‌اند.

۶-۴ تحلیل اندازه بردار ویژگی

در این بخش به بررسی اندازه بردار ویژگی بافتی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های رقیب می‌پردازیم. جدول ۳ اندازه بردار ویژگی تولیدشده در روش ارائه‌شده را با کارهای کیلبرگ و همکارش [۲۸]، آلفی و همکارش [۳۰]، جو و همکارش [۳۱] مقایسه می‌کند. روش پیشنهادی یک بردار ویژگی با دوازده درایه تولید می‌کند. داشتن یک بردار ویژگی کوچک‌تر سرعت سیستم را افزایش داده و حجم حافظه موردنیاز را تقلیل می‌دهد.

جدول ۳ مقایسه اندازه بردار ویژگی روش ارائه‌شده با روش‌های دیگران

روش	اندازه بردار ویژگی (تعداد درایه)
روش پیشنهادی	۱۲
کیلبرگ و همکارش	۷۲
آلفی و همکارش	۳۶
جو و همکارش	۳۶

- Control, Signal Processing and Computing Applications, pp. 1-5, 2014.
- [9] Chaa M., Boukezzoula N., Meraoula A., and Korichi M., *An efficient biometric based personal authentication system using finger knuckle prints features*, International Conference on Information Technology for Organizations Development, pp. 1-5, 2016.
- [10] Gao G., Yang J., Qian J., and Zhang L., *Integration of multiple orientation and texture information for finger knuckle print verification*, Neurocomputing, Vol. 135, pp. 180-191, 2014.
- [11] Zhang L., Zhang L., Zhang D., and Zhu H., *Online finger-knuckle-print verification for personal authentication*, Pattern Recognition, Vol. 43, No. 7, pp. 2560-2571, 2010.
- [12] Nigam A., Tiwari K., and Gupta P., *Multiple texture information for finger-knuckle-print authentication system*, Neurocomputing, Vol. 188, pp. 190-205, 2016.
- [13] Zeinali B., Ayatollahi A., Kakooei M., *A novel method of applying directional filter bank (DFB) for finger-knuckle-print (FKP) recognition*, Iranian Conference on Electrical Engineering, pp. 1-4, 2014.
- [14] Ozkaya N., Kurat N., *Discriminative common vector based finger knuckle recognition*, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 25, No. 7, pp. 1647-1675, 2014.
- [15] Grover J., Hanmandlu M., *Hybrid fusion of score level and adaptive fuzzy decision level fusions for the finger-knuckle-print based authentication*, Applied Soft Computing, Vol. 31, pp. 1-13, 2015.
- [16] Meraoumia A., Korichi M., Chitroub S., and Bouridane A., *Finger knuckle print identification based on histogram of oriented gradients and SVM classifier*, International Conference on New Technologies of Information and Communication, pp. 1-6, 2014.
- [17] Garg S., Kumar A., and Hanmandlu M., *Biometric authentication using finger nail surface*, International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, pp. 497-502, 2012.
- [18] Xikai X., Dong J., Wang W., and Tan T., *Local correction pattern for image steganalysis*, IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing, pp. 1-6, 2015.
- [19] Ershah S., Tajeripour F., *Multi-resolution and noise-resistant surface defect detection approach using new version of local binary patterns*, Applied Artificial Intelligence, Vol. 31, Issue 5-6, pp. 1-10, 2017.
- [20] Kim C. S., Cho N. S., Park K. R., *Deep residual network-based recognition of finger wrinkles using smartphone camera*, IEEE Access, Vol. 7, pp. 71270-71285, 2019.
- [21] Subban R., Mishra R., *Combining color spaces for human skin detection in color images using skin cluster classifier*, Conference on Advances in Recent
- نواحی ناخن در نظر گرفته شده است. ابتدا از عملیات پیش‌پردازش برای استخراج نواحی مطلوب دست استفاده گشته است. جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی مقایسه‌ای بین آن و روش‌های پیشین صورت گرفت و نشان داده شد که دقت تشخیص الگوریتم پیشنهادی بالاتر و به میزان ۹۲/۱۳٪ می‌باشد. نتایج حاکی از بهبود قابل‌ملاحظه در برابر روش‌های پیشین می‌باشد که البته با بهینه‌سازی بردارهای ویژگی توسط الگوریتم PSO میزان نرخ تشخیص افزایش یافته، ضمن اینکه مصرف حافظه نیز اندک است. برای ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌گردد اولاً به منظور استفاده از سیستم بیومتریک پیشنهادی در زمینه‌های خاص از جمله کاربردهای امنیتی، تجاری و پزشکی با مجموعه‌ی عظیمی از تصاویر دست، توصیفگرهای مبتنی بر ترکیب بافت و شکل استفاده گردد چراکه این می‌تواند تأثیر بیشتری بر کاهش میزان خطا در سیستم بیومتریک داشته باشد. ثانیاً استفاده از توازی در محاسبات و به‌کارگیری پردازنده گرافیکی (GPU) برای تسریع بیشتر پیشنهاد می‌گردد.
- ## مراجع
- [1] Schall S., Kiebel SJ., Maess B. and Kriegstein K., *Voice Identity Recognition: Functional Division on the Right STS and its Behavioral Relevance*, Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 27, No. 2, pp. 280-291, 2014.
- [2] Choudhury SH., Kumar A., and Laskar SH., *Biometric authentication through unification of finger dorsal biometric traits*, Information Sciences, Vol. 497, pp. 202-218, 2019.
- [3] Messaoud E., Alaoui A., *Hybrid ant colony system algorithm for the vehicle routing problems with dynamic customers and traffic factors*, Intelligent Systems and Computer Vision, pp. 1-4, 2017.
- [4] Maldonado Y., Castillo O., and Melin P., *Particle swarm optimization of interval type-2 fuzzy systems for FPGA applications*, Applied Soft Computing, Vol. 13, Issue 1, pp. 496-508, 2013.
- [5] Heidari H., Chalechale A., *A new biometric identity recognition system based on a combination of superior features in finger knuckle print images*, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Vol. 28, Issue 1, pp. 238-252, 2020.
- [6] Verma M., Raman B., *Local tri-directional patterns: A new texture feature descriptor for image retrieval*, Digital Signal Processing, Vol. 51, pp. 62-72, 2016.
- [7] Muthukumar A., Kavipriya A., *A biometric system based on Gabor feature extraction with SVM classifier for finger knuckle print*, Pattern Recognition Letters, Vol. 125, pp. 1-12, 2019.
- [8] MR S., Ravishankar M., *Finger knuckle print recognition based on Gabor feature and KPCA+LDA*, International Conference on Emerging Trends in Communication,



حدیث حیدری مدرک کارشناسی (سال ۱۳۹۰) و کارشناسی ارشد (سال ۱۳۹۲) را از دانشگاه رازی در رشته مهندسی کامپیوتر به ترتیب در گرایش‌های نرم‌افزار و سخت‌افزار اخذ نمود. ایشان هم‌اکنون دانشجوی دکتری معماری کامپیوتر در دانشگاه رازی کرمانشاه است. ایشان در کلیه مقاطع تحصیلی رتبه اول، عضو گروه

استعدادهای درخشان، پژوهشگر برتر و دارای مقالات علمی متعددی است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه نام برده، پردازش تصویر و ویدئو، بازیابی مبتنی بر محتوا، دسته‌بندی تصاویر بافتی و تشخیص هویت زیستی است.



عبدالله چاله‌چاله مدرک کارشناسی (مهندسی برق) و کارشناسی ارشد (مهندسی کامپیوتر-نرم‌افزار) خود را از دانشگاه صنعتی شریف ایران و دکتری مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه ولونگونگ استرالیا دریافت نموده است. ایشان هم‌اکنون به‌عنوان عضو هیأت علمی در دانشگاه

رازی کرمانشاه مشغول به کار می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان پردازش تصویر و ویدئو، یادگیری عمیق و نیز روش‌های جدید تعامل انسان و کامپیوتر است.

Technologies in Electrical and Electronics, pp. 68-73, 2013.

- [22] Kennedy J., Eberhart R., *Particle swarm optimization*, IEEE International Conference Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.
- [23] Ross SM., *Introduction to probability and statistics for engineers and scientists*, Industrial Engineering and operations research university of California, Berkeley, Third edition, pp. 229-277, 2004.
- [24] Fathi A., Nagh-nilchi A., *General rotation-invariant local binary patterns operator with application to blood vessel detection in retinal images*, Pattern Analysis and Applications, Vol. 17, No. 1, pp. 69-81, 2014.
- [25] Sharbati R., Khoshnoudian F., Ramazi H., and Amindavar H., *Stochastic modeling and simulation of ground motions using complex discrete wavelet transform and Gaussian mixture model*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 114, pp. 267-280, 2018.
- [26] Pan Z., Li Z., Fan H., and Wu X., *Feature based local binary pattern for rotation invariant texture classification*, Expert Systems with Applications, Vol. 88, pp. 238-248, 2017.
- [27] Harfiane A., Palaniappan K., and Seetharaman G., *Joint adaptive median binary patterns for texture classification*, Pattern Recognition, Vol. 48, No. 8, pp. 2609-2620, 2015.
- [28] Kylberg G., Sintorn I., *Evaluation of noise robustness for local binary pattern descriptors in texture classification*, Journal on Image and Video Processing, pp. 1-, 2013.
- [29] Jung H., *Analysis of reduced-set construction using image reconstruction from a HOG feature vector*, IET Computer Vision, Vol. 11, No. 8, pp. 725-732, 2017.
- [30] Alfy E., Binsaadoon A., *Silhouette-based gender recognition in smart environments using fuzzy local binary patterns and support vector machines*, Procedia Computer Science, pp. 164-171, 2017.
- [31] Joo H., Jeon J., *Feature-point extraction based on an improved SIFT algorithm*, Control, Automation and Systems, pp. 1-5, 2015.
- [32] Kale K., Rode Y., Kazi M., Chavan S., and Dabhade S., *Multimodal biometric system using finger knuckle and nail: a neural network approach*, International Journal of Electrical Energy, Vol. 1, No. 4, pp. 222-227, 2013.
- [33] Guo G., *Performance Measures*, pp. 1-25, 2013.