

## تصدیق برخط امضا با استفاده از ویدئو

بهرام افرا<sup>۱</sup> و هادی گرایلو<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از روش‌های تشخیص هویت افراد، امضا یا دست خط هر فرد می‌باشد. در این مقاله روشی برای تشخیص امضای یک فرد بر مبنای اطلاعات پویای موجود در ویدئوی دست فرد امضاکننده در حین امضا ارائه شده است. روش پیشنهادی شامل چهار مرحله است. در مرحله اول تصویر پیش‌زمینه که شامل دست و قلم فرد امضاکننده است، در هر فریم استخراج می‌شود. در مرحله بعد مختصات نوک قلم تصویر پیش‌زمینه در هر فریم تعیین می‌شود تا بتوان شکل امضا را با پیوند دادن این نقاط تشکیل داد. در این مرحله روشی برای تشخیص و رفع خطا در یافتن مختصات نوک قلم ارائه شده است. در مرحله سوم، تعدادی ویژگی مربوط به شکل امضا و تصویر انرژی حرکتی از امضای هر فرد استخراج می‌شود. در مرحله آخر مدل امضای هر فرد تشکیل می‌شود که توسط آن امضاها اصلی از جعلی تمیز داده شود. به منظور آزمایش روش پیشنهادی از پایگاه داده‌ای که در کار این مقاله تهیه شده و شامل امضاها ۵۰ فرد است استفاده می‌شود. از ۱۳ امضای اصلی هر فرد برای آموزش و تشکیل مدل امضا و از ۸ امضا اصلی دیگر و ۸ امضای جعلی برای آزمایش روش پیشنهادی استفاده می‌شود. دقت و نرخ خطای برابر، معیارهای ارزیابی کمی روش پیشنهادی هستند. مقادیر این دو معیار برای روش پیشنهادی به ترتیب ۹۵/۰۲ و ۳/۸ درصد به دست آمده است.

### کلیدواژه‌ها

تشخیص برخط امضا، ردیابی نوک قلم، استخراج ویژگی‌های پویا، تبدیل موجک، تصویر انرژی حرکتی

### ۱ مقدمه

برای هر فرد، به کار گرفته شده‌اند. استفاده از سیگنال‌های حیاتی مانند سیگنال مغزی و صوت از دیگر کاربردهای روش‌های بیومتریک در تشخیص هویت افراد می‌باشد.

روش دیگری که در رابطه با تشخیص هویت افراد بیان می‌شود، رفتارشناسی در اشخاص است. این رفتار می‌تواند نمودهای مختلفی داشته باشد؛ به‌عنوان مثال نوع حرکات پاها و نحوه حرکات دست در هنگام راه رفتن یا دویدن می‌تواند برای هر شخص منحصر به فرد باشد. این مقاله قصد دارد با استفاده از ویژگی‌های رفتاری و حرکتی دست یک شخص در هنگام امضا کردن، روش جدیدی در تشخیص امضا ارائه دهد. تاکنون روش‌های مختلفی در زمینه تشخیص امضای افراد ارائه شده است. استفاده مستقیم از تصویر امضا از روش‌های قدیمی در این حوزه می‌باشد که فقط از اطلاعات برون‌خط و ایستای

تشخیص هویت افراد یکی از مسائلی است که تاکنون مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. احراز هویت افراد با استفاده از روش‌های مختلفی انجام می‌شود. استفاده از روش‌های بیومتریک مثل اثر انگشت و قرینه چشم، از مدرن‌ترین تکنیک‌های موجود است که بر مبنای منحصر بودن این ویژگی‌ها

این مقاله در خردادماه سال ۱۳۹۵ دریافت، در آبان‌ماه بازنگری و در دی‌ماه همان سال پذیرفته شد.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

رایانامه: [bahramAfra@shahroodut.ac.ir](mailto:bahramAfra@shahroodut.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

رایانامه: [grailu@shahroodut.ac.ir](mailto:grailu@shahroodut.ac.ir)

نویسنده مسئول: هادی گرایلو

می‌شود. میزان خطای این روش ۴/۱ درصد است. روشی که در [۱۰] نیز ارائه شده است، بر اساس ردیابی نوک قلم است. این ردیابی با استفاده از فیلتر ذره‌ای<sup>۶</sup> انجام شده است. در این مقاله همچنین در مورد مکان قرار گرفتن دوربین بحث و تأثیر مکان دوربین در میزان دقت بررسی شده است.

استفاده از ویژگی‌های محلی و کلی<sup>۷</sup> و تشخیص امضای صحیح از ناصحیح با استفاده از الگوریتم DTW روش دیگری است که در [۱۱] ارائه شده است. در این روش ویژگی‌های محلی و کلی به صورت متوالی برای تشخیص امضا به کار گرفته شده‌اند. به عبارتی ابتدا از ویژگی‌های محلی بین امضای ورودی و اصلی استفاده می‌شود. سپس در صورتی که امضای ورودی توسط ویژگی‌های محلی تأیید نشود، ویژگی‌های کلی مقایسه خواهند شد.

در [۱۲]، روشی بر مبنای الگوریتم تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۸</sup> و استفاده از سیگنال‌های سرعت حرکت نوک قلم، مکان قلم، زاویه گرفتن قلم و فشار نوک قلم ارائه شده است. این روش بر روی سه بخش از پایگاه داده‌های SVC2004 و SUSIG پیاده‌سازی از چندطبقه بند مختلف آزمایش و ارزیابی شده است. مقدار پارامتر نرخ خطای برابر<sup>۹</sup> (EER) حاصل شده برای بخش اول، دوم و سوم ایندو پایگاه داده به ترتیب ۳/۶۱، ۲/۰۴ و ۱/۴۹ درصد به دست آمده است.

مقاله حاضر قصد دارد با استفاده از اطلاعات برخط ویدئویی هر فرد در طول امضا کردن، کار شناسایی و تصدیق امضا را انجام دهد. مزیت این روش نسبت به روش‌های قدیمی‌تر (استفاده برون‌خط از تصویر امضا) این است که همزمان اطلاعات ایستا و پویا قابل بهره‌گیری هستند. علاوه بر این، ویژگی‌های فیزیکی و ظاهری دست امضاکننده و همچنین نحوه قرارگیری دست بر روی قلم نیز توسط دوربین قابل رؤیت و استفاده هستند. ویژگی‌هایی که برای امضای هر فرد در نظر گرفته می‌شود شامل دودسته ویژگی‌های مبتنی بر تبدیل موجک و انرژی حرکتی می‌باشند. ابتدا با استفاده از پردازش پیش‌زمینه، نوک قلم در فریم‌های مختلف مشخص و شکل امضا با اتصال نقاط نوک قلم در فریم‌های متوالی تشکیل می‌شود. پس از اعمال تبدیل موجک روی این شکل، ویژگی‌های تبدیل موجک از آن استخراج می‌شود. انرژی حرکتی معیاری از جهت و سرعت حرکت دست در دنباله‌ی ویدئویی است. پس از استخراج تمام ویژگی‌ها و کاهش ابعاد آنها به روش تجزیه مؤلفه‌های اساسی، مدل امضای فرد تشکیل می‌شوند. این مدل شامل مجموعه‌ای از یک بردار میانگین و یک آستانه است. برای تشخیص امضا کافی است که بردار ویژگی استخراج شده از امضای داوطلب با این

تصویر و شکل امضا به منظور تفکیک افراد استفاده می‌کند. پس از آن بهره‌گیری از تابلت‌های فشاری شیوه‌ای جدیدتر را در زمینه‌ی تشخیص امضا فراهم نمود [۱-۴]. این تابلت‌ها قابلیت جاروب مسیر حرکت و ضبط نقاط تمرکز و مکث دست افراد را دارا هستند و به دلیل ثبت اطلاعات پویای حرکت دست افراد در حین امضا، اطلاعات بیشتری را به منظور تشخیص امضای هر فرد فراهم می‌کنند [۵]. به طور مثال در [۱] با استفاده از زنجیره مخفی مارکوف<sup>۱</sup> نقاط فشار دنبال می‌شود و تشخیص امضا بر اساس این زنجیره صورت می‌گیرد. روش دیگری که با استفاده از تابلت فشاری انجام شده است، استفاده از ویژگی‌هایی همچون سرعت حرکت قلم بین دو نقطه فشار، زمان بین برداشتن و گذاشتن قلم بر روی تابلت، زاویه حرکت قلم و میزان فشار در نقاط مختلف است. در این مقاله امضاها گرفته شده از ۱۳۰ نفر، با استفاده از یک شبکه عصبی چندلایه آموزش داده شده، بازشناسی می‌شود [۶].

تاکنون در زمینه‌ی تشخیص برخط امضا بر اساس ویدئو روش‌هایی ارائه شده است. اولین روش تشخیص امضا مبتنی بر ویدئو در [۷] ارائه شد. در این مقاله با استفاده از دوربین موجود در نمای روبه‌رو فریم‌های امضا ثبت می‌شوند. روش پیشنهادی این مقاله شامل دو مرحله کلی می‌شود. در گام اول نوک قلم ردیابی می‌شود. نحوه ردیابی در این روش بدین صورت است که ابتدا موقعیت نوک قلم توسط کاربر در فریم اول تعیین می‌شود. برای یافتن نوک در فریم‌های فعلی، نقاطی اطراف نوک قلم در فریم قبلی کاندید شده و یک مستطیل<sup>۲</sup> ROI اطراف آنها در نظر گرفته می‌شود و میزان همبستگی پیکسل‌های هر مستطیل با مستطیل ROI نوک قلم در فریم قبلی محاسبه شده و مرکز مستطیلی که بیشترین همبستگی را داشته باشد، به عنوان نوک قلم در فریم فعلی شناسایی می‌شود. بدین ترتیب دنباله نقاط نوک قلم به دست می‌آید.

گام دوم، استخراج ویژگی و تصدیق و تطبیق امضا است. ویژگی استخراج شده از نقاط امضا، همان طرح یا منحنی<sup>۳</sup> امضا است (منحنی امضا با پیوند نقاط نوک قلم متوالی به یکدیگر حاصل می‌شوند). این ویژگی توسط یک روش تطبیق منحنی بر اساس DPM<sup>۴</sup> [۸] با منحنی امضای دیگر مقایسه می‌شود. نحوه تطبیق دو منحنی دوبعدی توسط DPM و تشخیص اصلی یا جعلی بودن امضا به طور مفصل در [۷] توضیح داده شده است.

در [۹] با استفاده از روش مونت‌کارلو<sup>۵</sup> نوک قلم ردیابی و پس از تشکیل طرح امضا، شباهت بین امضا اصلی و ورودی محاسبه می‌شود؛ در نهایت امضای جعلی از اصلی تشخیص داده

<sup>۱</sup>Hidden Markov Model (HMM)

<sup>۲</sup>Region of Interest

<sup>۳</sup>Curve

<sup>۴</sup>Dynamic Programming Matching

<sup>۵</sup>Monte Carlo

<sup>۶</sup>Particle Filter

<sup>۷</sup>Local and Global

<sup>۸</sup>Discrete Cosine transform

<sup>۹</sup>Equal Error Rate

تصویر سطح خاکستری است؛ اما وجود سایه در تصویر، روش آستانه گذاری را دچار خطا می‌کند؛ زیرا مناطقی از پس‌زمینه که دارای سایه می‌باشند، به‌عنوان پیش‌زمینه در نظر گرفته می‌شوند. برای رفع این مشکل، از روش پیشنهادی جهت حذف سایه استفاده می‌شود.

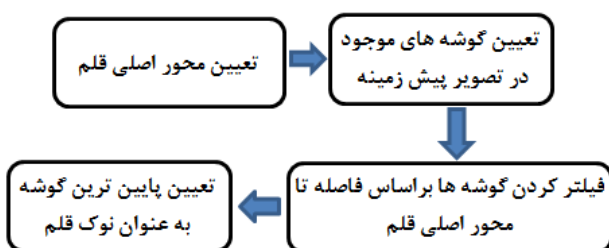
## ۲-۱-۱- حذف سایه

روش پیشنهادی جهت حذف سایه بر مبنای یکی از ویژگی‌های سایه است که آن را از پیش‌زمینه متمایز می‌سازد. هر تصویر ورودی گرفته‌شده از دوربین، یک تصویر رنگی است. هر تصویر رنگی را می‌توان بر اساس دستگاه‌های رنگی مختلف توصیف کرد. دستگاهی که در اینجا از آن استفاده می‌شود، HSI می‌باشد. در این دستگاه هر پیکسل از تصویر شامل سه مؤلفه است. مؤلفه‌های این دستگاه، رنگ<sup>3</sup> (H)، خلوص (S)<sup>4</sup> و شدت روشنایی (I)<sup>5</sup> هر پیکسل را تعیین می‌کنند. در اینجا سایه، با استفاده از مؤلفه خلوص شناسایی می‌شود؛ زیرا یکی از خصوصیت‌های بارز سایه خلوص بسیار کم می‌باشد. رنگ سفید نیز دارای چنین خاصیتی است؛ بنابراین اگر تصویر بر اساس مقدار خلوص به دودسته تقسیم شود، عمدتاً سایه و پس‌زمینه در یک گروه و دست و خودکار که پیش‌زمینه هستند در گروه دیگر واقع می‌شوند.

به‌منظور بخش‌بندی تصویر خلوص به دو دسته، از روش k-means استفاده می‌شود. دسته‌ای که میانگین یا مرکز دسته کمتری داشته باشد، دسته مربوط به سایه و پس‌زمینه و دسته دیگر مربوط به پیش‌زمینه است. بدین ترتیب دست و قلم از پس‌زمینه جدا شده و در نهایت یک تصویر باینری تشکیل می‌شود که پیکسل‌های مربوط به پیش‌زمینه دارای مقدار ۱ و بقیه پیکسل‌ها دارای مقدار صفر خواهند بود.

## ۲-۲- یافتن نوک قلم

هدف از یافتن نوک قلم ردیابی آن و سپس به دست آوردن شکل امضا می‌باشد. الگوریتم موردنظر برای یافتن نوک قلم در روندنمای شکل ۲ مشخص شده است.

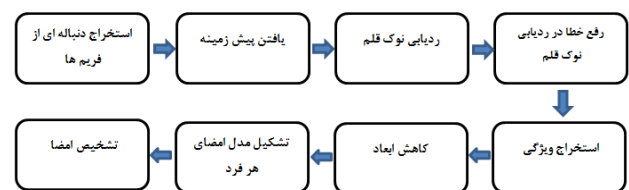


شکل ۲: روند نمای یافتن نوک قلم

مدل مقایسه شود. در این مقاله از پایگاه داده‌ای ک+ه در کار این مقاله تهیه شده است استفاده می‌شود. این پایگاه داده شامل ۲۱ امضای اصلی و ۸ امضای جعل شده از ۵۰ نفر می‌باشد. به‌منظور ارزیابی، روش پیشنهادی بر روی این پایگاه داده پیاده‌سازی و از معیارهای مختلف برای تعیین میزان درستی عملکرد الگوریتم استفاده خواهد شد.

## ۲ مطالب اصلی

روندنمای روش پیشنهادی برای تشخیص و تصدیق امضا در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: روند نمای روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل چند مرحله می‌باشد. در مرحله اول، هدف یافتن موقعیت نوک قلم در هر تصویر است. بدین منظور ابتدا تصویر پیش‌زمینه<sup>۱</sup> از پس‌زمینه<sup>۲</sup> جدا می‌شود تا بتوان نوک قلم را در تصویر پیش‌زمینه تشخیص داد. در مرحله بعد، خطای احتمالی در یافتن نوک قلم، برطرف می‌شود. در مرحله سوم، تعدادی ویژگی از ویدئوی امضای هر فرد استخراج می‌شود. به‌طور کل دو نوع ویژگی استخراج می‌شود. ویژگی نوع اول بر اساس شکل امضای تشکیل‌شده توسط اتصال نقاط نوک قلم محاسبه می‌شود و نوع دوم، ویژگی‌های مربوط به تصویر انرژی حرکتی دست فرد امضاکننده است. پس از استخراج ویژگی، در مرحله چهارم و کاهش ابعاد بردار ویژگی، مدل امضای هر فرد تشکیل می‌شود تا بتوان توسط این مدل، یک امضای مجهول تشخیص داده شود. بخش‌های مهم از این روند نما در ادامه توضیح داده خواهند شد.

## ۲-۱- یافتن پیش‌زمینه

پس از تشکیل دنباله‌ای از فریم‌ها می‌بایست پردازش بر روی هر فریم به‌صورت جداگانه انجام شود. اولین قدم، استخراج پیش‌زمینه می‌باشد. در این کاربرد، منظور از پیش‌زمینه، دست و قلم فرد امضاکننده است که می‌بایست طی یک عمل بخش‌بندی از پس‌زمینه تمیز داده شود.

در این روش فرض بر این است که پس‌زمینه، دارای رنگ سفید است. با این فرض اولین راه‌کاری که به نظر می‌رسد، استفاده از یک آستانه برای جداسازی پیش‌زمینه از پس‌زمینه در

<sup>3</sup>Hue

<sup>4</sup>Saturation

<sup>5</sup>Intensity

<sup>1</sup>Foreground

<sup>2</sup>Background

مرحله قبل به دست آمد، استفاده می‌شود. بدین منظور از اعمال عملگر مورفولوژی بستن<sup>۱</sup> و تفاضل بر روی تصویر باینری پوست دست به طور متوالی طبق رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$BW_{cls} = BW \cdot SE \quad (1)$$

$$BW_{pen} = BW - BW_{cls}$$

در این رابطه  $BW_{cls}$  تصویر باینری پوست دست،  $BW_{pen}$  تصویر باینری حاصل از عملگر بستن،  $SE$  المان ساختاری و  $BW$  تصویر باینری است که نواحی تقریبی مربوط به نوک قلم را نشان می‌دهد. نتیجه اعمال رابطه (۱) بر تصویر شکل ۳-ب و شکل ۳-ت نشان داده شده است. بدین ترتیب برخی نواحی قلم، تعیین می‌شود. همین نواحی اندک از قلم برای تعیین محور اصلی قلم کافی است.

در مرحله سوم یافتن محور اصلی قلم، ابتدا ناحیه قلم به دست آمده در مرحله دوم توسط عملگر گسترش<sup>۲</sup>، بزرگتر می‌شود. سپس تصویر مقیاس خاکستری در تصویر باینری گسترش یافته ضرب شده و لبه‌های موجود در تصویر ضرب شده توسط لبه یاب سوبل<sup>۳</sup> مشخص می‌شود. سپس تصویر لبه توسط آستانه  $T_{edge}$  باینری می‌شود. تصویر باینری شده لبه، در شکل ۴ مشخص شده است.

پس از یافتن لبه‌ها، با استفاده از تبدیل هاف خطوط موجود در تصویر باینری شده لبه تعیین می‌شود. در تبدیل هاف هر خط با دو پارامتر شعاعی ( $\rho$ ) و پارامتر زاویه ( $\theta$ ) مدل می‌شود. بدین منظور، ماتریسی که در آن تمام ترکیب‌های این دو پارامتر وجود دارد را تشکیل داده و در نهایت به هر درایه از این ماتریس بر اساس پیکسل‌های غیر صفر موجود در تصویر باینری لبه، رأی داده می‌شود.

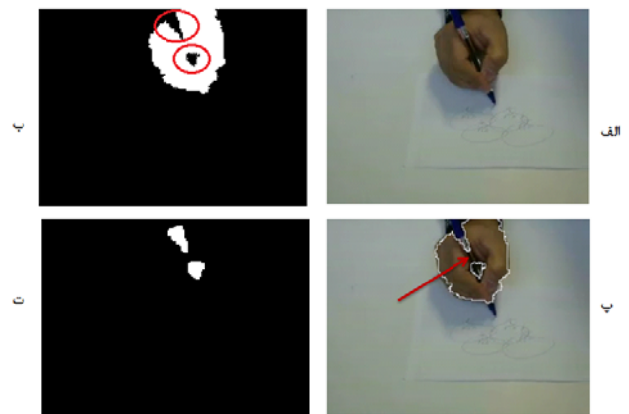


شکل ۴. لبه‌های موجود در ناحیه قلم. خطوط سیاه‌رنگ نماینده مقدار باینری ۱ و پیکسل‌های سفید پس‌زمینه، نماینده مقدار صفر هستند.

## ۲-۲-۱- یافتن محور اصلی قلم

روش کلی برای یافتن محور اصلی قلم، بر پایه تبدیل هاف [۱۳] می‌باشد. روش پیشنهادی برای تعیین محور اصلی شامل چند گام می‌شود. در گام اول ناحیه پوست دست فرد امضاکننده تعیین می‌شود. همانطور که می‌دانیم برای یک فرد خاص، رنگ (مقدار کانال H) پیکسل‌های پوست دست با تقریب زیادی شبیه به یکدیگر هستند؛ بنابراین برای یافتن پیکسل‌های پوست دست کافی است از دو آستانه برای کانال H هر فریم استفاده شود. به عبارتی اگر مقدار این کانال برای پیکسلی بین آستانه‌های  $T_1$  و  $T_H$  باشد، پیکسل متعلق به قسمت پوست دست است. تصویر باینری آستانه گذاری شده برای تصویر شکل ۳-الف در شکل ۳-ب نشان داده شده است.

قسمت‌های سیاه‌رنگ موجود در دایره‌های قرمز رنگ تصویر شکل ۳-ب مربوط به وجود قلم در تصویر دست است که به دلیل قرار نگرفتن مقدار H این پیکسل‌ها بین دو آستانه، به عنوان پوست دست استخراج نشده‌اند؛ اما ممکن است این سؤال پیش آید که چرا مقدار پیکسل‌های تصویر باینری در برخی دیگر از نواحی قلم، ۱ می‌باشد؟ به طور مثال ناحیه‌ای که در شکل ۳-پ با فلش قرمز مشخص شده است، مربوط به پیکسل‌های قلم است، ولی به عنوان پیکسل‌های پوست دست در نظر گرفته شده است و مقدار آن ۱ است. در پاسخ به این سؤال می‌توان گفت که اولاً به دلیل شبیه‌ای بودن بدنه این قلم ممکن است رنگ پوست دست بر رنگ قلم غالب شده باشد و این پیکسل‌ها به عنوان پوست دست در نظر گرفته شده باشند و ثانیاً امکان دارد که آستانه در نظر گرفته شده دچار خطا باشد.



شکل ۳. دست و قلم فرد امضاکننده. الف: یک فریم نمونه.

ب: تصویر باینری پوست دست. پ: محدوده پوست دست. نواحی از قلم که به عنوان پوست دست در نظر گرفته شده‌اند با فلش قرمز رنگ مشخص شده‌اند. ت: تصویر باینری نواحی مربوط به قلم

مرحله دوم برای یافتن محور اصلی قلم، یافتن نواحی از محدوده‌ی دست است که متعلق به قلم است. در حقیقت در این مرحله، هدف یافتن نواحی سیاه‌رنگ موجود در شکل ۳-ب می‌باشد. برای این کار از تصویر باینری پوست دست که در

<sup>1</sup> Closing (Morphology Operation)

<sup>2</sup> Dilation

<sup>3</sup> Sobel

### ۲-۲-۳- فیلترکردن گوشه‌ها

به منظور محدود کردن دامنه انتخاب و تعیین دقیق نوک قلم، لازم است بعضی از گوشه‌ها حذف شوند. به منظور فیلترسازی، گوشه‌هایی که فاصله آن‌ها تا محور اصلی قلم از آستانه ( $T_d$ ) کمتر باشد پذیرش می‌شوند. بدین ترتیب نقاطی که دارای این شرط نباشند، حذف شده و مابقی نقاط برای ارزیابی بعدی پذیرش خواهند شد.

### ۲-۲-۴- تعیین پایین‌ترین گوشه به عنوان نوک قلم

پس از فیلترسازی گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه، گوشه‌ای که پایین‌ترین موقعیت را دارد به عنوان نوک قلم معرفی می‌شود. در اینجا منظور از پایین‌ترین گوشه، نقطه‌ای است که بیشترین مقدار را در محور عمودی تصویر را دارد.

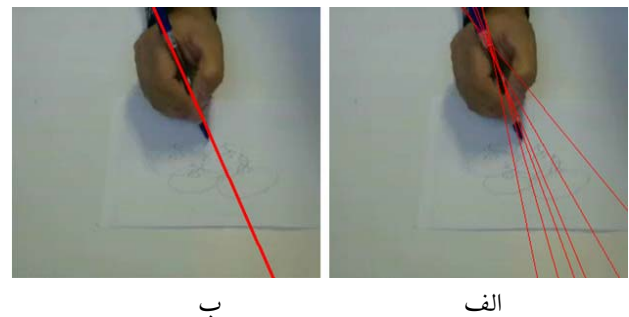
### ۲-۳- رفع خطا در ردیابی نوک قلم و تشکیل امضا

یافتن مکان دقیق نوک قلم بسیار مهم است. این اهمیت بدین خاطر است که پس از ردیابی نوک قلم در تمامی فریم‌ها، دنباله‌ای از نقاط تشکیل خواهد شد که به کمک آن، شکل دقیق امضا مشخص می‌شود؛ بنابراین حتی یک خطای کوچک در تشخیص موقعیت نوک قلم در یک فریم، باعث تغییر شکل اصلی امضا خواهد شد. برای افزایش دقت در تعیین نوک قلم از الگوریتم پیشنهادی این بخش استفاده می‌شود.

### ۲-۳-۱- تشخیص وقوع خطا در تعیین مکان نوک قلم

تشخیص وقوع خطا، گام اول در این مرحله می‌باشد. سؤالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که علی‌رغم ندانستن شکل اصلی امضا، چطور می‌خواهیم وجود خطا در دنباله مکان نقاط امضا را تشخیص دهیم. پاسخ این سؤال این است که در این روش برای تشخیص خطا به طور مستقیم از دنباله‌ی مختصات نقاط به دست آمده در بخش ۲-۲، استفاده نخواهد شد؛ بلکه برای تشخیص خطا، از اطلاعات رنگی موجود در اطراف نوک قلم در هر فریم استفاده می‌شود. به عبارت ساده‌تر پس از یافتن دنباله مکان نوک قلم، به هر نقطه یافت شده بر اساس اطلاعات رنگی اطراف آن، یک بردار ویژگی نسبت داده و پس از آن، نقاط ناهماهنگ با بقیه نقاط بر اساس این بردار ویژگی تشخیص داده خواهند شد. منظور از اطراف نوک قلم، پیکسل‌های موجود در دایره‌ای به مرکز نوک قلم و به شعاع  $R$  است. به طور مثال ناحیه اطراف نوک قلم در شکل ۶ مشخص شده است. این ناحیه پیکسل‌های داخل دایره سفیدرنگ است. هدف از یافتن خطا در دنباله نقاط امضا، تشخیص داده‌های ناهماهنگ با بقیه نقاط موجود در دنباله است.

برای یافتن خطوط غالب موجود در تصویر لبه، پارامترهای درایه‌هایی از ماتریس هاف که دارای بیشترین رأی باشند، به عنوان پارامترهای خطوط غالب معرفی می‌شوند. در این مقاله ۶ خطی که بیشترین رأی را آورده باشند را به عنوان خطوط غالب در نظر می‌گیریم. به عبارتی پس از اعمال الگوریتم هاف بر روی تصویر لبه و انتخاب ۶ درایه برتر، ۶ زوج مرتب به دست می‌آید که مؤلفه‌های هر زوج مرتب، دو پارامتر  $\rho$  و  $\theta$  مربوط به خطوط غالب می‌باشند. به طور مثال ۶ خط غالب به دست آمده با استفاده از اعمال تبدیل هاف بر روی تصویر شکل ۴، با رنگ قرمز در شکل ۵- الف نشان داده شده است.



شکل ۵. نتیجه اعمال تبدیل هاف. الف: ۶ خط غالب یافت شده با تبدیل هاف. ب: محور اصلی قلم

از این ۶ زوج مرتب یا ۶ خط غالب برای یافتن محور اصلی قلم استفاده می‌شود. بدین منظور میانگین مقادیر پارامتر  $\rho$  برای ۶ خط غالب، به عنوان  $\rho$  محور اصلی و همچنین میانگین مقادیر پارامتر  $\theta$  برای ۶ خط غالب، به  $\theta$  محور اصلی قلم معرفی می‌شوند. بدین ترتیب دو پارامتر محور اصلی قلم مشخص و در نتیجه خط محور اصلی تعیین می‌شود. محور اصلی قلم به دست آمده برای تصویر شکل ۳- الف در شکل ۵- ب نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۵- ب مشخص است، محور اصلی قلم با دقت بالایی تشخیص داده می‌شود. در ادامه از این محور اصلی برای یافتن نوک قلم استفاده می‌شود.

### ۲-۲-۲- تعیین گوشه‌های موجود در تصویر پیش‌زمینه

از آنجا که نوک قلم یک گوشه محسوب می‌شود نیاز است که گوشه‌ها در تصویر تعیین شوند. به منظور یافتن گوشه‌ها از الگوریتم هریس<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. این الگوریتم بر روی تصویر خاکستری پیش‌زمینه اعمال می‌شود تا گوشه‌های موجود در این تصویر شناسایی شوند. این گوشه‌ها در مرحله‌ی بعد فیلتر می‌شوند تا فقط نوک قلم باقی بماند.

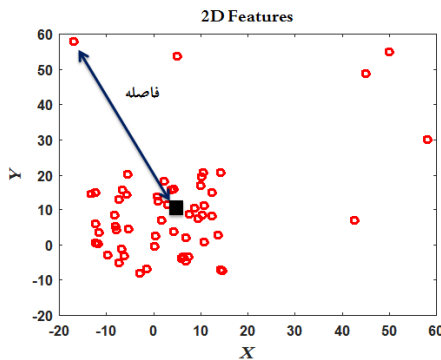
<sup>۱</sup>Harris

بنابراین در ناحیه مورد نظر برای هریک از کانال‌های  $S$ ،  $H$ ، و  $I$ ، به ترتیب ۸، ۸ و ۴ مقدار به عنوان هیستوگرام به دست می‌آید که با کنار هم قرار دادن این سه هیستوگرام، یک بردار ۲۰ بعدی تشکیل خواهد شد که نشان‌دهنده هیستوگرام رنگی ناحیه اطراف نقطه مورد نظر خواهد بود. این هیستوگرام بردار ویژگی نسبت داده‌شده به نقطه مورد نظر می‌باشد. به عنوان مثال شکل ۷ هیستوگرام‌های کانال‌های  $HSI$  مربوط به ناحیه داخل دایره سفید رنگ شکل ۶ را نشان می‌دهد.



شکل ۶. ناحیه اطراف نوک قلم که در داخل دایره محدود شده است.

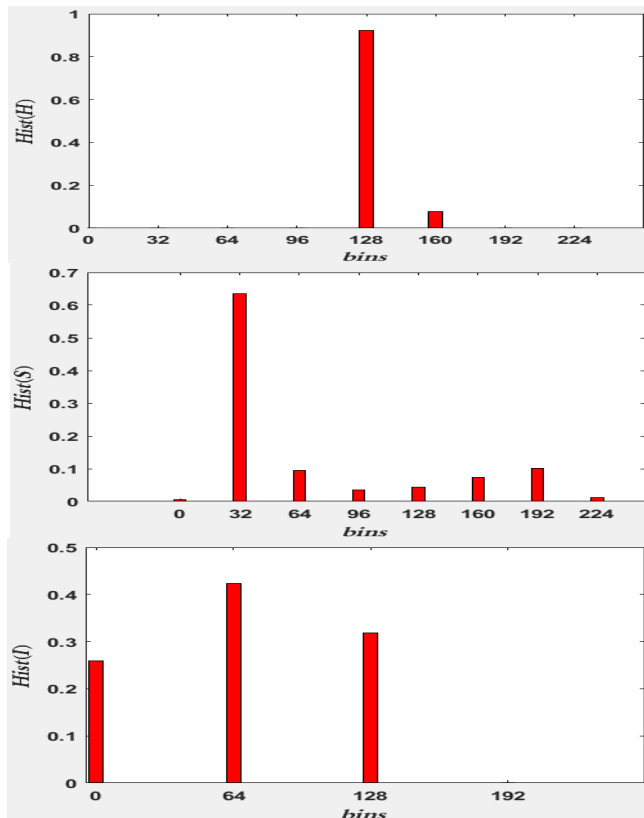
برای تشخیص نقاط نوک قلمی که اشتباه تشخیص داده شده‌اند، از روش  $K$ -Means و بردارهای ویژگی حاصل از هیستوگرام رنگی، استفاده می‌شود. به منظور درک بیشتر و توضیح دقیق‌تر این روش، فرض می‌کنیم که بردارهای استخراج‌شده از هر نقطه دویبعدی هستند. (بردارهای ویژگی استخراج‌شده اصلی ۲۰ بعدی می‌باشند). موقعیت بردارهای ویژگی دویبعدی در شکل ۸ با دایره‌های قرمز نشان داده شده‌اند.



شکل ۸. موقعیت بردارهای ویژگی دویبعدی فرضی و میانگین آنها

برای شناسایی خطا ابتدا میانگین بردارهای ویژگی استخراج‌شده محاسبه و سپس فاصله تمام بردارها را تا بردار میانگین تعیین می‌شود. در اینجا از فاصله اقلیدسی برای تعیین مقدار فاصله استفاده می‌شود. موقعیت بردار میانگین در شکل ۸ با مستطیل سیاه رنگ مشخص شده است. حال با استفاده از روش  $K$ -Means این فاصله‌ها به دو خوشه تقسیم می‌شوند. از آنجایی که در روش  $K$ -Means از داده‌های آموزشی استفاده نمی‌شود، برای تشخیص دسته یا خوشه صحیح بدین صورت عمل می‌شود که دسته‌ای که دارای بیشترین اعضا باشد، به عنوان دسته صحیح و دسته دیگر به عنوان دسته خطا در نظر گرفته می‌شود. موقعیت بردارهای ویژگی مربوط به دو خوشه حاصل از اعمال الگوریتم  $K$ -Means بر روی فاصله ویژگی‌ها تا میانگین، در شکل ۹-الف نشان داده شده است.

مشکلی که ممکن است در این قسمت با آن روبرو شویم این است که ممکن است تمامی نقاط ردیابی شده در بخش (۲) دارای مختصات صحیحی باشند و نیازی به رفع خطا نباشد. در حالی که الگوریتم  $K$ -Means صرف‌نظر از این مطلب، به طور خودکار داده‌ها را به دو خوشه صحیح و ناصحیح تقسیم می‌کند. این حالت در ویژگی‌های دویبعدی شکل ۹-ب نشان داده



شکل ۷: هیستوگرام‌های رنگی ناحیه سفید رنگ شکل ۶. نمودارها از بالا به پایین به ترتیب هیستوگرام‌های کانال‌های  $S$ ،  $H$  و  $I$  را نشان می‌دهند.

در این روش بردار ویژگی به کار گرفته‌شده بر اساس هیستوگرام رنگی پیکسل‌های ناحیه اطراف نوک قلم به دست می‌آید. به عبارتی به هر نقطه یک بردار ویژگی ۲۰ بعدی به عنوان هیستوگرام نسبت داده می‌شود. سیستم رنگی مورد نظر برای تعیین هیستوگرام، سیستم  $HSI$  می‌باشد. برای تعیین هیستوگرام مربوط به کانال‌های این سیستم در ناحیه اطراف نقطه مورد نظر، ابتدا تعداد سطوح مورد نیاز در هر کانال تعیین می‌شود. سطوح مجاز مربوط به کانال‌های  $S$ ،  $H$  و  $I$  به ترتیب ۸، ۸ و ۴ سطح در نظر گرفته می‌شود؛ دلیل انتخاب ۴ سطح به جای ۸ سطح برای کانال  $I$ ، حذف اثر تغییرات روشنایی در تصمیم‌گیری است؛

را جستجو و نقطه‌ای که بیشترین شباهت به نقطه مرکزی دارد، به‌عنوان نوک قلم در فریم فعلی در نظر می‌گیریم.  $d_w$  از نوع فاصله اقلیدسی است که بر اساس پیکسل بیان می‌شود.

معیار شباهت در این جستجو، خروجی کانولوشن بین دو ماتریسی (مستطیل) است که اطراف دو نقطه مورد مقایسه قرار می‌گیرد. به عبارتی میزان شباهت برابر است با کانولوشن بین دو پنجره اطراف دو نقطه آزمون. منظور از دو نقطه آزمون نقطه نوک قلم در فریم مرجع و نقطه‌ای در فریم فعلی است. اندازه این پنجره ( $w_c$ ) باید برای هر دو نقطه یکسان باشد. بدین ترتیب پس از انجام کانولوشن بین ماتریس‌های نقاط همسایه نقطه مرکزی در فریم فعلی و ماتریس نوک قلم در فریم مرجع، نقطه‌ای که دارای بیشترین مقدار کانولوشن باشد، به‌عنوان شبیه‌ترین نقطه به نوک قلم در فریم مرجع در نظر گرفته می‌شود و آن نقطه به عنوان مکان نوک قلم در فریم فعلی معرفی می‌شود. بدین ترتیب خطای احتمالی در تعیین مختصات نوک قلم تصحیح خواهد شد و دنباله‌ای دقیق از مختصات نوک قلم در هر فریم تشکیل می‌شود.

حال در این مرحله می‌توان شکل امضا را تخمین زد. برای تخمین شکل امضا، بین هر دو نقطه متوالی در دنباله نقاط نوک قلم، یک پاره‌خط رسم می‌شود. بدین ترتیب طرحی از امضا تشکیل خواهد شد که افزایش میزان تطابق آن با شکل اصلی امضا وابسته به تعداد نقاط موجود در دنباله خواهد بود.

## ۲-۴-۴ استخراج ویژگی

ویژگی‌هایی که در این قسمت معرفی می‌شوند، شامل ویژگی‌های مربوط به تبدیل موجک دوبعدی است که بر روی شکل امضا اعمال می‌شوند و همچنین ویژگی مربوط به تصویر انرژی حرکتی دست فرد امضاکننده می‌باشند.

### ۲-۴-۱- تبدیل موجک دوبعدی

تبدیل موجک، نمونه‌ای از تبدیلات حوزه زمان-فرکانس است که قادر است محتویات سیگنال را در باندهای مختلف فرکانسی توصیف کند. تبدیل موجک دوبعدی، تبدیلی است که بر روی سیگنال‌های دوبعدی مثل تصویر اعمال می‌شود و یک سری ضرایب را تولید می‌کند که بیانگر محتویات زمان-فرکانسی سیگنال دوبعدی هستند. این محتویات به دو دسته ضرایب تخمین و جزئیات تقسیم می‌شوند. در سیگنال‌های دوبعدی، بخش جزئیات شامل سه بخش جزئیات افقی، عمودی و قطری است. در این مقاله از تبدیل موجک دوبعدی برای استخراج ویژگی استفاده خواهد شد.

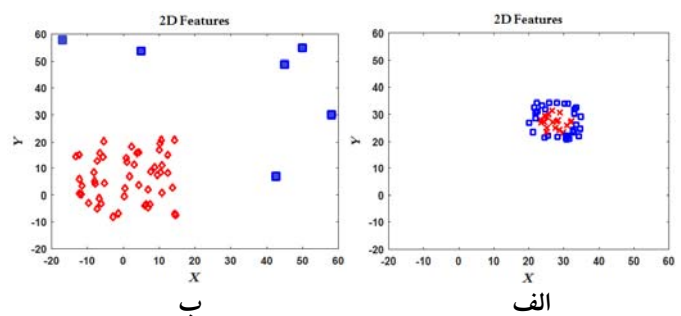
پس از تشکیل شکل امضا در مرحله قبل، تبدیل موجک بر روی این تصویر اعمال و سیگنال‌های دوبعدی جزئیات و

شده است و نقاط بیرونی آبی‌رنگ که فاصله آنها تا میانگین بیشتر است به عنوان یک خوشه مجزا در نظر گرفته شده‌اند؛ در صورتیکه در حقیقت همه این نقاط متعلق به یک خوشه هستند. برای رفع این مشکل، پس از خوشه‌بندی توسط این الگوریتم و محاسبه مراکز هر خوشه، اگر فاصله مراکز این دو خوشه از مقدار آستانه  $T_K$  کمتر باشد همه داده‌ها را در یک خوشه قرار داده و دیگر نیازی به رفع خطا نخواهد بود.

## ۲-۳-۲ رفع خطا در تشخیص مکان نوک قلم

پس از یافتن فریم‌هایی که در آن مکان نوک قلم اشتباه تشخیص داده شده است، می‌بایست روشی ارائه شود تا این خطا برطرف شود. بدین منظور از عملگر کانولوشن استفاده می‌شود. پارامتری که در این روش باید تعیین شود، فریم مرجع می‌باشد. در تعیین فریم مرجع، حالات مختلفی ممکن است رخ دهد. حالت اول حالتی است که نوک قلم در فریم قبلی فریم دارای خطا، به‌طور صحیح تشخیص داده شده باشد؛ در این حالت فریم مرجع، همان فریم ماقبل فریم فعلی است.

حالت دیگری که در این قسمت ممکن است رخ دهد این است که فریم ماقبل فریمی که در آن خطا رخ داده است نیز، خود دچار خطا شده باشد. در این حالت ابتدا فریم ماقبل را تصحیح کرده و پس از آن به سراغ فریم فعلی خواهیم آمد و در این حالت فریم مرجع، فریم قبل از فریم ماقبل است. حالت سوم حالتی است که تمام فریم‌های ماقبل فریم فعلی که در آن خطا رخ داده است، دچار خطا شده باشند. در این حالت فریم مرجع، اولین فریمی در نظر گرفته می‌شود که در آن خطا رخ نداده است.



شکل ۹. موقعیت بردارهای ویژگی دوبعدی. الف: داده‌های

خوشه‌بندی شده شکل ۸، خوشه آبی‌رنگ خوشه نقاط خطا و خوشه قرمز رنگ مربوط به نقاط صحیح می‌باشد. ب: موقعیت بردارهای ویژگی مربوط به داده‌هایی که در حقیقت همگی باید در یک خوشه قرار بگیرند.

در حالت کلی در تمامی این حالات فرض بر این است که مختصات نوک قلم در فریم مرجع به‌طور صحیح مشخص شده است. حال برای یافتن نوک قلم و تصحیح خطا، در فریم فعلی نقطه متناظر با نوک قلم در فریم مرجع را پیدا کرده و پیکسل‌های همسایه این نقطه که به اندازه  $d_w$  از آن فاصله دارند

که به عنوان ویژگی از آن‌ها استفاده می‌شود. ویژگی‌هایی که در سه قسمت اخیر معرفی شدند ویژگی‌های مربوط به ضرایب موجک بودند که در مجموع ۱۶ مقدار را به عنوان ویژگی در اختیار قرار می‌دهند.

## ۲-۴-۲- تصویر انرژی حرکتی

تصویر انرژی حرکتی (MEI)<sup>2</sup> مشخصه‌ای است که میزان تحرک یک جسم در یک بازه مشخص را تعیین می‌کند [۱۴-۱۷]. به عبارتی این پارامتر، معیاری برای میزان جابه‌جایی یک جسم در یک زمان مشخص است. امضا کردن عملی است که در آن نحوه و میزان حرکت دست برای هر فرد تقریباً منحصر به فرد است. بدین منظور از این مشخصه برای استخراج ویژگی استفاده می‌شود.

این معیار به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

$$G = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T F_k \quad (5)$$

که در این رابطه  $T$  تعداد فریم‌هاست و  $F_k$  تصویر سطح خاکستری است فرد امضاکننده و  $G$  تصویر انرژی حرکتی است. برای به دست آوردن  $F_k$ ، کافی است ماسک تصویر پیش‌زمینه را در تصویر خاکستری مربوط به هر فریم ضرب کرده تا این تصویر به دست آید.

نکته‌ای که اینجا قابل ذکر است این است که تصویر  $F_k$  در هر فریم می‌بایست نرمال شده باشد. منظور از نرمال بودن در این قسمت این است که مرکز ثقل دست می‌بایست بر مرکز فریم تصویر منطبق باشد. بدین ترتیب پس از نرمال‌سازی تصویر دست در هر فریم، قادر به محاسبه معیار MEI در کل بازه امضا خواهیم بود.

مشکلی که ممکن است در محاسبه MEI برای کل بازه امضا رخ دهد این است که امکان دارد میزان حرکت دست در بازه زمانی ابتدا تا انتهای امضا برای دو نفر برابر شود و روند الگوریتم را تا حدی دچار خطا کند. برای رهایی از این مشکل کل زمان امضا به چند بخش تقسیم شده و معیار MEI برای هر بخش جداگانه محاسبه می‌شود. این بخش‌بندی باعث خواهد شد که حالت تمایزی بین امضای دو فرد مختلف ایجاد شود؛ چون نحوه حرکت دست دو فرد مختلف در بازه‌های مختلف قطعاً متفاوت خواهد بود؛ بنابراین رابطه ۵ را به صورت رابطه ۶ اصلاح خواهیم کرد.

$$G_i = \frac{1}{T_s} \sum_{k=t1}^{t2} F_k \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$t1 = 1 + (i - 1) * Ts$$

$$t2 = i * Ts$$

$$Ts = \left\lceil \frac{T}{N} \right\rceil$$

تخمین محاسبه می‌شود. در این تبدیل از موجک هار<sup>۱</sup> برای تجزیه سیگنال استفاده می‌شود. همچنین تعداد مراحل تجزیه یک مرحله در نظر گرفته می‌شود. پس از تجزیه تصویر امضا، ۴ تصویر خروجی به دست می‌آید که همان ضرایب تخمین و جزئیات افقی، عمودی و قطری هستند. از هر ۴ تصویر، ویژگی‌هایی که در ادامه معرفی می‌شوند، استخراج می‌شود.

## میانگین و انحراف معیار ضرایب

اولین ویژگی که می‌توان از این ضرایب استخراج کرد، میانگین و انحراف معیار برای هر ۴ بخش تجزیه شده است. بدین ترتیب برای بخش‌های تخمین و جزئیات هر کدام جداگانه ۲ مقدار و در نهایت ۸ مقدار به عنوان ویژگی محاسبه می‌شود.

## آنروپی

دومین ویژگی، آنروپی ضرایب موجک در هر چهار تصویر تجزیه شده می‌باشد. به منظور یافتن آنروپی نیاز است که ابتدا هیستوگرام یا به عبارتی تابع احتمال مقادیر ضرایب موجک در هر چهار تصویر تعیین شود. بدین منظور ابتدا مقادیر ضرایب هر تصویر به  $N$  سطح کوانتیزه شده و تابع احتمال هر سطح طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

که در این رابطه  $n_i$ ، تعداد ضرایب در سطح  $i$  ام،  $N$  تعداد سطوح تجزیه و  $P_i$ ، احتمال هر سطح را نشان می‌دهد. آنروپی ضرایب به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{i=1}^N P_i \log(P_i) \quad (3)$$

در این قسمت نیز ۴ مقدار آنروپی به بردار ویژگی اضافه می‌شود.

## انرژی نسبی ضرایب موجک

انرژی نسبی ضرایب موجک مشخصه دیگری است که برای استخراج ویژگی در این مقاله استفاده شده است. انرژی نسبی یک بخش از سیگنال برابر است با نسبت انرژی بخش جزئی به انرژی کل سیگنال که در رابطه ۴ نشان داده شده است.

$$RWE = \frac{E}{E_{tot}}, \quad E = \sum_i \sum_j |W(i, j)|^2 \quad (4)$$

که در این رابطه  $E_{tot}$  انرژی کل سیگنال،  $E$  انرژی جزئی از سیگنال و  $W(i, j)$  ضرایب مربوط به یکی از خروجی‌های تبدیل موجک است. در این مقاله انرژی نسبی برای چهار بخش تجزیه شده تصویر امضا تعریف می‌شود؛ بنابراین انرژی نسبی هر بخش برابر است با نسبت انرژی هر بخش تجزیه شده به انرژی کل ضرایب. بدین ترتیب چهار مقدار به دست خواهد آمد

<sup>2</sup>Motion Energy Image (MEI)

<sup>1</sup>Haar



در این روابط  $\lambda_{sorted}$  مجموعه مقادیر ویژه است که به صورت نزولی مرتب شده‌اند و  $E_{sorted}$  مجموعه بردارهای ویژه متناظر با مقادیر ویژه‌اند. ماتریس  $T$ ، ماتریس انتقال است که در آن  $n$  بردار ویژه بزرگ‌تر در کنار یکدیگر واقع شده‌اند.

$$\lambda_{sorted} = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_M\} \quad (8)$$

$$E_{sorted} = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_M\}$$

$$T = [e_1, e_2, e_3, \dots, e_n]$$

بدین ترتیب با ضرب هر یک از بردارهای ویژگی در ماتریس  $T$  (طبق رابطه ۹)، بردارهای  $n$  خواهیم داشت.

$$z_i = T * v_i \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

در رابطه ۹،  $z_i$  بردار ویژگی با  $n$  بعد می‌باشد.

## ۲-۶ تشکیل مدل امضای هر فرد

برای تشخیص امضای هر فرد نیاز است که یک مدل برای امضای هر فرد تهیه شود. به منظور تهیه داده‌های آموزشی برای تشکیل مدل امضا، از هر فرد تعداد مشخصی امضا گرفته می‌شود. پس از استخراج ویژگی از تمام نمونه‌های آموزشی یک فرد مشخص و کاهش ابعاد این بردارها، مدل موردنظر برای یک شخص ساخته می‌شود. این مدل شامل یک بردار ویژگی میانگین و یک آستانه است. به عبارتی پس از دریافت نمونه‌های آموزشی از هر فرد، به هر فرد یک بردار ویژگی میانگین و یک عدد به عنوان آستانه نسبت داده می‌شود. نحوه تشکیل مجموعه بردار ویژگی میانگین و آستانه مدل در رابطه ۱۰ بیان شده است. در این رابطه فرض بر این است که تعداد  $m$  داده آموزشی (امضا) از فرد  $i$  ام گرفته شده است.

$$\mu_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m z_k$$

$$Th_i = \gamma \times \max(\text{dist}(z_k, \mu_i)) \quad , \quad k = 1, 2, \dots, m$$

در این رابطه  $z_k$  بردارهای ویژگی مربوط به فرد  $i$  ام،  $\mu_i$  و  $Th_i$  به ترتیب بردار ویژگی میانگین و آستانه مربوط به مدل فرد  $i$  ام و  $\gamma$  ضریب اطمینان است. مقدار پارامتر  $\gamma$  باید بزرگ‌تر از ۱ باشد. منظور از  $\text{dist}(z_k, \mu_i)$  در این رابطه، فاصله اقلیدسی بین دو بردار  $z_k$  و  $\mu_i$  است. بدین ترتیب مدل مخصوص به هر فرد تشکیل می‌شود.

## ۲-۷ تشخیص امضا

مدلی که در بخش قبل ساخته شد، در حقیقت فضای تقریبی مربوط به هر فرد را در فضای  $n$  بعدی مشخص می‌کند. به عبارتی فضای اطراف بردار میانگین برای فرد  $i$  ام که به اندازه آستانه از این بردار فاصله دارد، متعلق به فرد  $i$  ام است. برای تشخیص اصلی یا جعلی بودن یک امضای مجهول ورودی، کافی است فاصله بردار ویژگی استخراج شده امضای ورودی، از

در رابطه ۶،  $N$  تعداد بخش‌ها،  $t_1$  و  $t_2$  مشخص‌کننده ابتدا و انتهای هر بخش و  $T$  تعداد فریم‌های موجود در هر بخش است که نحوه محاسبه  $t_1$ ،  $t_2$  و  $T$  نیز در رابطه ۶ مشخص شده است. بنابراین وابسته به تعداد بخش‌ها، تعدادی تصاویر MEI به دست خواهد آمد که از آن‌ها برای استخراج ویژگی استفاده می‌شود. به منظور استخراج ویژگی از هر تصویر، ماتریس تصویر هر بخش به صورت ستونی تبدیل شده و ستون‌های تشکیل شده برای هر بخش زیر هم قرار می‌گیرند تا یک بردار ستونی به عنوان یک بردار کلی تشکیل شود. با پشت سر هم قرار دادن بردار تشکیل شده در این قسمت و بردار ۱۶ بعدی تشکیل شده در بخش تبدیل موجک، یک بردار ویژگی تشکیل خواهد شد. ابعاد این بردار ویژگی دارای ابعاد بزرگی است و باعث طولانی شدن روند محاسبه الگوریتم می‌شود؛ بنابراین بهتر است که از یک روش خاص، برای کاهش ابعاد بردار ویژگی استفاده شود. این روش در ادامه توضیح داده خواهد شد.

## ۲-۵ کاهش ابعاد به روش تجزیه مؤلفه‌های اساسی

همان‌طور که در بخش قبل گفته شد به دلیل بزرگی ابعاد بردار ویژگی، با حجم محاسباتی زیادی روبه‌رو خواهیم بود. برای رهایی از این مشکل از روش تجزیه مؤلفه‌های اساسی (PCA)<sup>1</sup> برای کاهش ابعاد استفاده می‌شود. بدین منظور پس از استخراج ویژگی از داده‌های آموزشی و تشکیل بردارهای ویژگی با ابعاد  $M$ ، ماتریس کوواریانس تشکیل می‌شود. نحوه به دست آوردن ماتریس کوواریانس در رابطه ۷ آمده است. در این رابطه فرض بر این است که تعداد  $N_s$  بردار ویژگی در اختیار داریم.

$$C = \sum_{i=1}^{N_s} (v_i - \mu) \times (v_i - \mu)^T$$

در این رابطه  $v_i$  بردار ویژگی استخراج شده و  $\mu$ ، میانگین تمام بردارهای ویژگی و  $C$  ماتریس کوواریانس می‌باشد که این ماتریس یک ماتریس مربعی با اندازه  $M * M$  است.

در گام بعدی مقادیر و بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس محاسبه می‌شود. به منظور کاهش ابعاد می‌بایست یک ماتریس انتقال تشکیل شود که با ضرب ماتریس در هر بردار ویژگی ورودی، برداری با اندازه کوچک‌تر تولید نماید. برای تشکیل ماتریس انتقال، ابتدا مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس بر اساس اندازه آن‌ها به صورت نزولی مرتب شده و بردارهای ویژه مربوط به  $n$  مقدار ویژه بزرگ‌تر به صورت ستونی کنار یکدیگر قرار گرفته و ماتریس انتقال تشکیل می‌شود. ابعاد ماتریس انتقال  $M * n$  است که  $n$  اندازه بعد بردار ویژگی کاهش یافته است. نحوه تشکیل ماتریس انتقال  $T$  در رابطه ۸ نشان داده شده است.

<sup>1</sup>Principal Component Analysis (PCA)

پیکسل‌های خوشه دیگر، مقدار صفر اختصاص داده می‌شود. بدین ترتیب تصویر باینری شکل ۱۰-پ حاصل می‌شود.



ب

الف

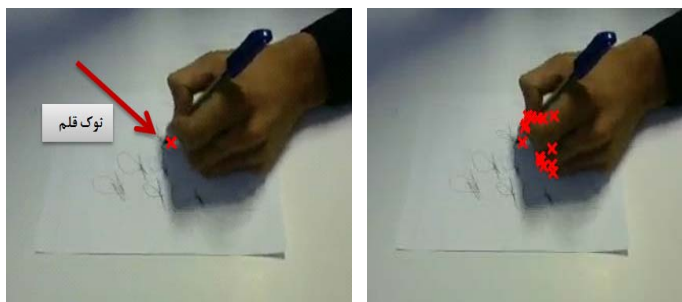


پ

شکل ۱۰. مراحل استخراج پیش‌زمینه الف: فریم نمونه از امضای یک فرد. ب: تصویر خلوص فریم نمونه. پ: تصویر باینری پیش‌زمینه

### ۲-۸-۳- یافتن نوک قلم و تصحیح خطا

پس از یافتن تصویر پیش‌زمینه، نوبت به یافتن نوک قلم می‌رسد. بدین منظور همان‌طور که در بخش ۲-۳ گفته شد ابتدا ناحیه قلم تعیین شده و سپس با استفاده از لبه یابی و تبدیل هاف محور اصلی قلم مشخص می‌شود. پس از یافتن این خط و تعیین گوشه‌های تصویر خاکستری پیش‌زمینه توسط الگوریتم هریس، همان‌طور که در بخش‌های (۲-۲-۳) تا (۲-۲-۵) توضیح داده شد نوک قلم تعیین می‌شود. گوشه‌های موجود در تصویر پیش‌زمینه و همچنین موقعیت نوک قلم به ترتیب در شکل ۱۱-الف و ۱۱-ب با ستاره‌های قرمز رنگ نشان داده شده است.



ب

الف

شکل ۱۱: گوشه یابی و تعیین نوک قلم. الف: موقعیت نقاط گوشه یافت شده با استفاده از الگوریتم هریس. ب: موقعیت نوک قلم

به‌منظور رفع خطا در یافتن نوک قلم از روش توضیح داده‌شده در ۲-۳ استفاده می‌شود. در این روش برای استخراج

بردار میانگین فرد موردادعا، محاسبه شود و با مقدار آستانه آن مقایسه شود. اگر میزان این فاصله کمتر یا مساوی آستانه مربوط به آن فرد باشد این امضا تأیید می‌شود در غیر این صورت امضای ورودی جعلی خواهد بود.

## ۲-۸-۲ نتایج آزمایش

### ۲-۸-۱- معرفی پایگاه داده

در کار این مقاله، پایگاه داده‌ای تهیه شده که در آن از ۵۰ نفر راست‌دست و چپ‌دست استفاده شده است. در این پایگاه برای تشکیل مدل، از هر فرد ۲۱ نمونه امضا در سه روز مختلف گرفته شده است. برای ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتر در پایگاه داده، این سه روز از لحاظ روشنایی و زمانی با یکدیگر متفاوت هستند. دوربین به کار گرفته‌شده در این پایگاه داده، دوربین مدل Logitech310 با نرخ فریم ۳۰ فریم بر ثانیه است که دارای کیفیت تصویر HD720P می‌باشد. دوربین از نمای روبه‌رو، امضای فرد را ثبت می‌کند. زاویه دوربین نسبت به سطح افقی ۳۵ درجه و فاصله آن تا صفحه امضا ۴۰ سانتی‌متر است. ابعاد تصاویر این دوربین ۲۴۰×۳۲۰ پیکسل می‌باشد. پس‌زمینه تصاویر این پایگاه داده به رنگ سفید است. همچنین قلم موجود در دست امضاکننده دارای نوک آبی است.

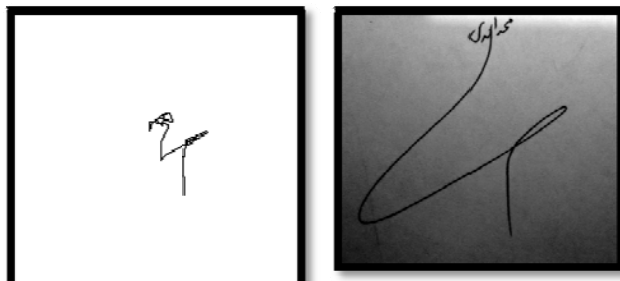
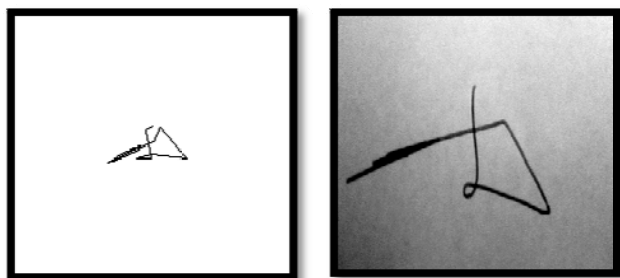
در این پایگاه داده، از ۸ فرد مختلف درخواست شده است که پس از دریافت تصویر امضای یک فرد مشخص و تمرین امضای آن، امضای موردنظر را جعل نمایند؛ بنابراین این پایگاه داده شامل ۲۱ ویدئوی امضای اصلی و ۸ امضای جعلی برای هر فرد است.

### ۲-۸-۲- تشخیص پیش‌زمینه و حذف سایه

همان‌طور که در بخش ۲-۱ گفته شد، برای استخراج پیش‌زمینه از پس‌زمینه در هر فریم، از تصویر مؤلفه خلوص رنگ استفاده می‌شود. تصویر یک فریم نمونه از ویدئوی امضای یک فرد، در شکل ۱۰-الف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سایه دست فرد امضاکننده در پس‌زمینه موجود است.

برای رفع این مشکل از تصویر خلوص این فریم برای جداسازی پیش‌زمینه استفاده می‌شود. این تصویر در شکل ۱۰-ب نشان داده شده است. در تصویر شکل ۱۰-ب رنگ سفید نشان‌دهنده مقدار صفر و رنگ مشکی معرف بیشترین مقدار است. در این شکل همان‌طور که دیده می‌شود میزان خلوص برای پیکسل‌های پس‌زمینه و همچنین پیکسل‌های سایه دارای مقدار بسیار کوچکی است.

به‌منظور یافتن تصویر باینری پیش‌زمینه، از روش K-Means استفاده می‌شود. پس از خوشه‌بندی، به پیکسل‌های خوشه‌ای که مقدار میانگین بیشتری دارد، مقدار باینری ۱ و به



ب

الف

شکل ۱۴: شکل امضا برای چهار فرد مختلف. الف: تصویر امضاهای اصلی. ب: امضاهای ردیابی شده

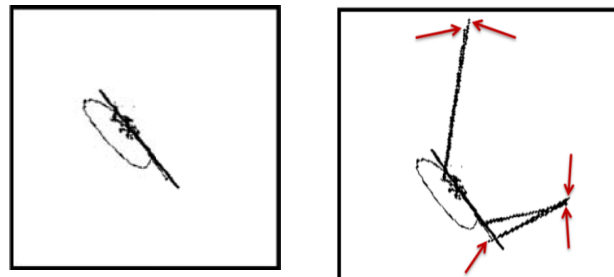
## ۲-۸-۴- استخراج ویژگی

به منظور بررسی ویژگی‌های معرفی شده، از امضای یک فرد مشخص استفاده می‌شود. طرح امضای این شخص در شکل ۱۵ نشان داده شده است. ویژگی‌های معرفی شده در بخش ۲-۴ بر روی این دنباله ویدئویی اعمال می‌کنیم. در ادامه به بررسی این ویژگی‌ها می‌پردازیم.

## تبدیل موجک دوبعدی

ویژگی‌های معرفی شده در این قسمت همان‌طور که در بخش ۲-۴-۱ گفته شد، شامل میانگین و انحراف معیار، آنتروپی و انرژی نسبی ضرایب موجک به دست آمده از تجزیه تصویر شکل امضا است. در این تجزیه از موجک هار با یک سطح تجزیه استفاده می‌شود.

ویژگی‌های رنگی، شعاع  $R$  را برابر ۵، میزان  $d_w$  را برابر ۱۰ پیکسل، اندازه پنجره کانولوشن ( $w_c$ ) را برابر  $5 \times 5$  و مقدار پارامتر  $T_K$  را برابر ۰/۱ در نظر می‌گیریم. به طور مثال امضای تشکیل شده با اتصال نقاط نوک قلم قبل از تصحیح خطا در شکل ۱۲-الف نشان داده شده است. نقاطی که با فلش قرمز رنگ نشان داده شده‌اند، نقاط دارای خطا می‌باشند.



ب

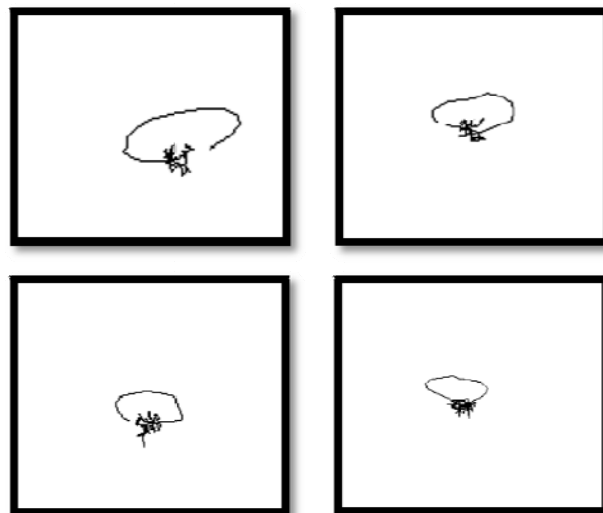
الف

شکل ۱۲: تصحیح شکل امضا. الف: شکل امضا قبل از تصحیح خطا، نقاط نشان داده شده با فلش، نقاط دارای خطا هستند. ب: شکل امضا بعد از تصحیح خطا

همچنین امضای به دست آمده پس از مرحله تصحیح امضا، در شکل ۱۲-ب مشخص شده است. بدین ترتیب دنباله‌ای صحیح از مختصات نوک قلم در فریم‌های مختلف به دست خواهد آمد.

## تشکیل شکل امضا

پس از یافتن دنباله نقاط با به هم وصل کردن مختصات نوک قلم از دو فریم متوالی شکل امضا تشکیل خواهد شد. تصاویر شکل ۱۳، امضاهای ردیابی شده برای ویدئوهای امضای یک فرد را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۱۴، تصاویر امضاهای اصلی و ردیابی شده توسط الگوریتم پیشنهادی را برای چهار فرد مختلف نشان می‌دهد.



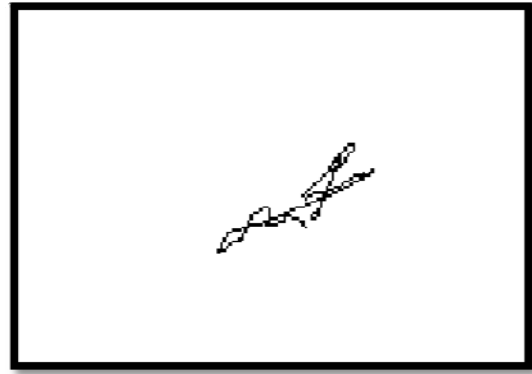
شکل ۱۳: چهار نمونه امضای ردیابی شده از یک فرد نمونه

چهار تصویر مربوط به ضرایب موجک که شامل یک تصویر تخمین و سه تصویر جزئیات است، در شکل ۱۶ نشان داده شده است. از این ضرایب برای به دست آوردن ویژگی‌های ذکر شده استفاده و بردار ویژگی ۱۶ بعدی برای هر فرد تشکیل می‌شود.

### تصویر انرژی حرکتی

یکی از پارامترهای مهم تشکیل انرژی حرکتی همان‌طور که گفته شد، تعیین تعداد بخش‌ها است. در این مقاله این تعداد ۳ در نظر گرفته می‌شود. سه تصویر MEI به دست آمده برای یک نمونه دنباله ویدئویی در شکل ۱۷ نشان داده شده است. برای تشکیل بردار ویژگی مربوط به این بخش، هر یک از سه تصویر به صورت ستونی تبدیل شده و با پشت سر هم قرار دادن آن‌ها بردار ویژگی مربوط تشکیل خواهیم شد. اندازه این بردار ویژگی  $3 \times 240 \times 320 = 230400$  است.

به منظور تشکیل بردار ویژگی مجموع، بردارهای حاصل از دو قسمت تبدیل موجک و انرژی حرکتی، پشت سر هم قرار می‌گیرند. اندازه بردار ویژگی مجموع  $230416$  خواهد شد. پس از تشکیل بردار ویژگی، به دلیل اندازه بسیار بزرگ این بردار، اقدام به کاهش بعد می‌نماییم. از روش PCA برای کاهش ابعاد به ۲۰ بعد استفاده می‌شود.

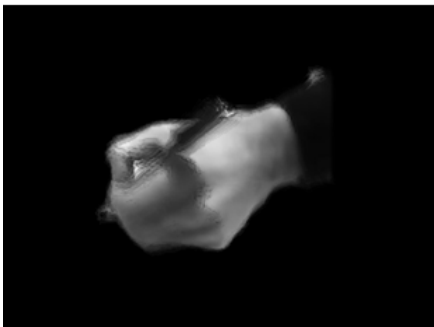


شکل ۱۵: شکل امضای یک فرد نمونه

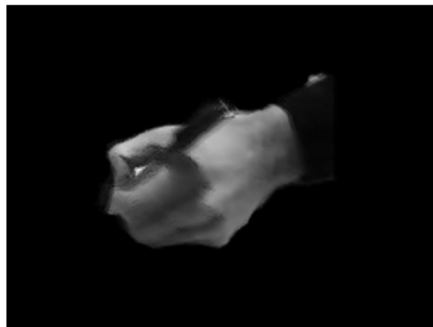


شکل ۱۶: تجزیه موجک دوبعدی تصویر طرح امضا

MEI - 1



MEI - 2



MEI - 3



شکل ۱۷: تصاویر MEI برای سه بخش دنباله ویدئویی فرد نمونه

حساسیت<sup>۳</sup> (TPR)، شاخصیت<sup>۴</sup> (TNR) و دقت<sup>۵</sup> (ACC) استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا مقادیر هر یک از این پارامترها را بر اساس مقادیر مختلف پارامتر  $\gamma$  (ضریب اطمینان) محاسبه کرده و سپس منحنی تغییرات FRR بر اساس FAR (منحنی ROC)، منحنی تغییرات TPR بر اساس TNR و منحنی تغییرات ACC بر اساس  $\gamma$  را به دست می‌آوریم. بازه تغییرات  $\gamma$ ، بین ۰/۲ تا ۳ می‌باشد. این منحنی‌ها در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

### ۲-۸-۵- تشکیل مدل و تشخیص امضا

مدل هر فرد طبق آنچه گفته شد شامل یک بردار میانگین و یک آستانه است. برای تشکیل این مدل، از ۱۳ ویدئوی امضا هر فرد به عنوان داده‌های آموزشی استفاده می‌شود. از ۸ ویدئوی باقی مانده امضاها هر فرد و ۸ ویدئوی امضای جعلی، به عنوان داده‌های آزمون استفاده می‌شود.

در این مقاله، به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از معیارهای نسبت پذیرش اشتباه<sup>۱</sup> (FAR)، نسبت رد اشتباه<sup>۲</sup> (FRR)،

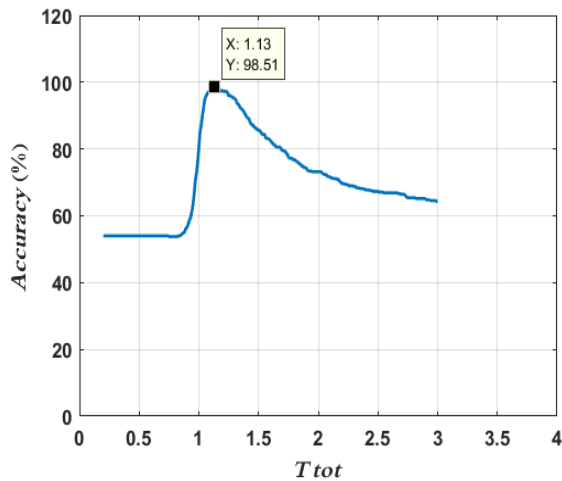
<sup>3</sup> True Positive Ratio/ Sensivity

<sup>4</sup> True Negative Ratio / Specifity

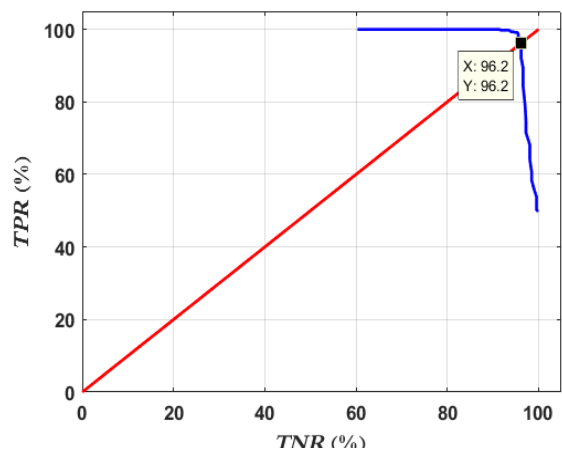
<sup>5</sup> Accuracy

<sup>1</sup> False Accepted Ratio

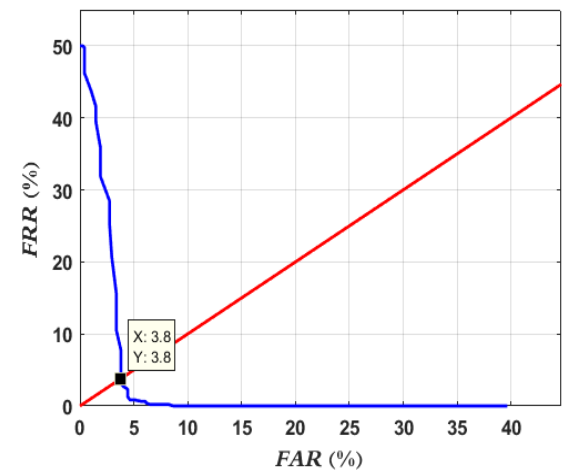
<sup>2</sup> False Rejected Ratio



الف



ب



پ

شکل ۱۸: نمودار تغییرات معیارهای مختلف. الف: نمودار تغییرات ACC بر اساس  $\gamma$ ، ب: نمودار تغییرات TPR بر اساس TNR. پ: نمودار ROC

جدول ۱: مقایسه نتایج روش‌های مختلف

نرخ خطای برابر (%)	دقت (%)	
۶ / ۷	۸۸ / ۷۹	روش [۷]
۳ / ۸	۹۵ / ۰۲	روش پیشنهادی

شکل ۱۸- الف، نمودار دقت بر اساس تغییرات  $\gamma$  را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است، میزان دقت به ازای  $\gamma = 1/13$  دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

نمودار مشخص شده در شکل ۱۸- ب و پ، به ترتیب نمودار تغییرات میزان TPR (حساسیت) بر اساس TNR (شاخصیت) و نمودار تغییرات FAR بر اساس FRR (اول است که نقاط بر روی این نمودار دارای مؤلفه‌های برابر هستند؛ بنابراین نقاط تقاطع نمودارهای این دو شکل با نیمساز ربع اول در حقیقت نقاطی هستند که در آن مقدار TPR برابر با مقدار TNR و مقدار FAR برابر با مقدار FRR می‌شود.

در شکل ۱۸- ب و پ نقاطی که مقادیر مساوی دارند، با مربع سیاه‌رنگ مشخص شده‌اند. مقادیر مساوی این دو نمودار به ترتیب  $96/2$  و  $3/8$  درصد می‌باشند که به ازای  $\gamma = 1/0.3$  به دست آمده‌اند.

همانطور که گفته شد، نمودار شکل ۱۸- پ منحنی ROC را نشان می‌دهد. این منحنی در حقیقت نشان‌دهنده تغییرات FAR بر اساس FRR می‌باشد. مقدار نقطه‌ای که در آن میزان FAR و FRR با یکدیگر مساوی می‌شوند، معیاری به نام نرخ خطای برابر<sup>۱</sup> (EER) نامیده می‌شود. میزان معیار EER برای این نمودار  $3/8$  درصد به دست آمده است. همانطور که گفته شد، این مقدار به ازای  $\gamma = 1/0.3$  به دست آمده است.

به منظور مقایسه روش پیشنهادی با یک روش دیگر تصدیق امضا مبتنی بر ویدئو، الگوریتم [۷] را بر روی امضاها ۵۰ فرد پایگاه داده این مقاله پیاده‌سازی می‌کنیم. معیارهای مقایسه، ACC و EER هستند. نتیجه مقایسه در جدول ۱ مشخص شده است. میزان پارامتر متغیر برای دو معیار ACC و EER در این جدول با یکدیگر برابر هستند. به عنوان مثال مقادیر دو معیار فوق برای روش پیشنهادی مقاله، به ازای  $\gamma = 1/0.3$  محاسبه شده است.

همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است میزان دو معیار فوق، برای روش پیشنهادی بهتر از روش [۷] می‌باشد. به عبارتی میزان معیار EER و ACC برای روش پیشنهادی کمتر و بیشتر از روش [۷] به دست آمده است که این برتری روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. چون هر چقدر میزان EER کمتر و میزان ACC بیشتر باشد، عملکرد سیستم مطلوب‌تر است.

البته باید به این نکته توجه کرد که همان‌طور که گفته شد، نتایج به دست آمده در جدول ۱ بر اساس شبیه‌سازی هر دو روش بر روی پایگاه داده این مقاله است.

<sup>۱</sup>Equal Error Rate

### ۳ جمع بندی

در این مقاله، روشی برای تشخیص برخط امضا با استفاده از ویدئو ارائه شد. ابتدا پیش‌زمینه با استفاده از تصویر خلوص در هر فریم استخراج می‌شود. در گام دوم، پس از یافتن محور اصلی قلم توسط تبدیل هاف، نوک قلم در هر فریم ردیابی می‌شود. با ردیابی نوک قلم طرح امضا شکل می‌گیرد. به‌منظور استخراج ویژگی از طرح امضا از تبدیل موجک دوبعدی استفاده می‌شود.

ویژگی دیگری که در این مقاله از آن استفاده شده است، MEI است که میزان حرکت دست فرد امضاکننده را مشخص می‌کند. پس از استخراج این ویژگی‌ها به‌منظور کاهش حجم محاسبات، ابعاد بردار ویژگی به ۲۰ بعد کاهش داده می‌شود. در نهایت با استفاده از داده‌های آموزشی و استخراج بردار ویژگی از آن‌ها، مدل هر فرد که شامل یک مجموعه بردار میانگین و آستانه است تشکیل می‌شود. این مدل، معیار تشخیص امضای اصلی از جعلی برای داده‌های آزمایشی هر فرد می‌باشد.

به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی از پایگاه داده تهیه شده در کار این مقاله استفاده نمودیم. پس از آموزش سیستم توسط ۱۳ امضا اصلی از هر فرد، روش پیشنهادی بر روی ۸ امضای اصلی و ۸ امضای جعلی اعمال شد. برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی بر روی امضاها آزمایشی، از پنج معیار مختلف استفاده شد. در نهایت میزان معیار EER و ACC برای روش پیشنهادی به ترتیب  $3/8$  و  $0.2/95$  درصد به دست آمد.

هر روش پیشنهادی دارای یک سری معایب و محاسن است از جمله معایب روش پیشنهادی، محدود کردن پس‌زمینه و صفحه محل امضا به یک صفحه سفید رنگ است که کار شناسایی و تصدیق امضا را در پس‌زمینه‌های پیچیده دچار خطا می‌کند. از محاسن و نقاط قوت این روش می‌توان به دقت بالای شناسایی امضای اصلی از جعلی اشاره کرد. همچنین استفاده از ویژگی پویای بیشتر در رفتار دست فرد امضاکننده نسبت به روش‌های قبلی، از نقاط قوت این روش به حساب می‌آید. این ویژگی‌ها اطلاعات منحصر به فردی را در اختیار قرار می‌دهند که کار تشخیص آسان‌تر شود.

### مراجع

- [3] A. Kholmatov and B. Yanikoglu, "Identity authentication using improved online signature verification method," *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, pp. 2400-2408, 11// 2005.
- [4] L. L. Lee, T. Berger, and E. Aviczer, "Reliable online human signature verification systems," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 18, pp. 643-647, 1996.
- [5] A. Piyush Shanker and A. N. Rajagopalan, "Off-line signature verification using DTW," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, pp. 1407-1414, 9/1/ 2007.
- [6] K. Ahmed, I. M. El-Henawy, M. Z. Rashad, and O. Nomir, "On-line signature verification based on PCA feature reduction and statistical analysis," in *Computer Engineering and Systems (ICCES), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 3-8.
- [7] M. E. Munich and P. Perona, "Visual identification by signature tracking," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, pp. 200-217, 2003.
- [8] H. Sakoe and S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 26, pp. 43-49, 1978.
- [9] K. Yasuda, D. Muramatsu, S. Shirato, and T. Matsumoto, "Visual-based online signature verification using features extracted from video," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 33, pp. 333-341, 5// 2010.
- [10] S. Shirato, D. Muramatsu, and T. Matsumoto, "Camera-based online signature verification system: effects of camera positions," in *World Automation Congress (WAC), 2010*, 2010, pp. 1-6.
- [11] J. Fierrez-Aguilar, L. Nanni, J. Lopez-Peñalba, J. Ortega-Garcia, and D. Maltoni, "An On-Line Signature Verification System Based on Fusion of Local and Global Information," in *Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication: 5th International Conference, AVBPA 2005, Hilton Rye Town, NY, USA, July 20-22, 2005. Proceedings*, T. Kanade, A. Jain, and N. K. Ratha, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 523-532.
- [12] S. Rashidi, A. Fallah, and F. Towhidkhan, "Feature extraction based DCT on dynamic signature verification," *Scientia Iranica*, vol. 19, pp. 1810-1819, 12// 2012.
- [13] L. A. F. Fernandes and M. M. Oliveira, "Real-time line detection through an improved Hough transform voting scheme," *Pattern Recognition*, vol. 41, pp. 299-314, 1// 2008.
- [1] J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, D. Ramos, and J. Gonzalez-Rodriguez, "HMM-based on-line signature verification: Feature extraction and signature modeling," *Pattern Recognition Letters*, vol. 28, pp. 2325-2334, 12/1/ 2007.
- [2] L. Yang, B. K. Widjaja, and R. Prasad, "Application of hidden Markov models for signature verification," *Pattern Recognition*, vol. 28, pp. 161-170, 1995/02/01 1995.

- [14] A. F. Bobick and J. W. Davis, "The recognition of human movement using temporal templates," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, pp. 257-267, 2001.
- [15] S. A. Rahman, S. Y. Cho, and M. K. H. Leung, "Recognising human actions by analysing negative spaces," *IET Computer Vision*, vol. 6, pp. 197-213, 2012.
- [16] C.-C. Yu, H.-Y. Cheng, C.-H. Cheng, and K.-C. Fan, "Efficient human action and gait analysis using multiresolution motion energy histogram," *EURASIP J. Adv. Signal Process*, vol. 2010, pp. 1-10, 2010.
- [17] M. Ju and B. Bir, "Individual recognition using gait energy image," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, pp. 316-322, 2006.



**بهرام افرا** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۵ در دانشگاه صنعتی شاهرود به پایان برد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل بازشناسی الگو، حذف نویز و پردازش سیگنال‌های مهندسی پزشکی است.



**هادی گرایلو** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در سال ۱۳۸۲ در دانشگاه صنعتی شریف به پایان برد. وی همچنین، تحصیلات خود در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری را در دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال‌های به ترتیب ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ به پایان رساند. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان در مقاطع تحصیلات تکمیلی شامل پردازش تصاویر متنی بوده است. وی هم‌اکنون عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شاهرود بوده و حوزه‌های تحقیقاتی مورد علاقه‌ی ایشان شامل پردازش تصاویر متنی، پردازش سیگنال‌های حیاتی، و پیاده‌سازی سخت‌افزاری الگوریتم‌های پردازش سیگنال در بستر سخت‌افزاری به ویژه پردازشگرهای سیگنال است.