

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده برق و رباتیک

رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک سیستم

پایان نامه کارشناسی ارشد

تصدیق برخط امضا با استفاده از اطلاعات ویدئویی

برای تأیید هویت افراد

نگارنده: بهرام افرا

استاد راهنما :

دکتر هادی گرایلو

شهریور ۱۳۹۵



مدیریت تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

شماره: ۱۳۹۵/۰۶/۱۸

تاریخ: ۱۳۹۵/۰۶/۱۸

ویرایش: -----

فرم شماره ۷: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای بهرام افرا به شماره دانشجویی ۹۲۰۲۲۸۴ رشته مهندسی برق - الکترونیک گرایش سیستم که در تاریخ ۹۵/۰۶/۱۸ تحت عنوان:

تصدیق بر خط امضا با استفاده از اطلاعات ویدیویی برای تأیید هویت افراد

با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

<input type="checkbox"/> مردود	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز ۱۸/۷۵)
		نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/>

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

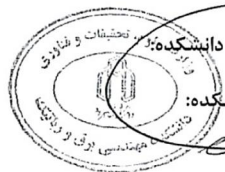
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	هادی کریملو	۱- استاد راهنمای اول
---	---	---	۲- استاد راهنمای دوم
---	---	---	۳- استاد مشاور
		عمار ابوالحسنی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	رئیس	عرفان ابوالحسنی	۵- استاد ممتحن اول
	استاد	امیر البرزچی	۶- استاد ممتحن دوم



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

شکر و قدردانی

سپاس که زار کسانانی، هستم که سرآغاز تولد من هستند. از یکی زاده می شوم و از دیگری جاودانم. استادی که سعیدی را بر تخت نیاه
زندگی ام نگاشت و مادری که تار مویی از او به پای من سیاه نماند. تقدیم به مقدس ترین واژه مادر لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگی ام را
مدیون مهر و عطف او می دانم. پدر مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

تعهد نامه

اینجانب بهرام افرا دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق / الکترونیک سیستم

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تصدیق برخط امضا با استفاده از اطلاعات

ویدئویی برای تأیید هویت افراد تحت راهنمایی دکتر هادی گرایلو متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه سیستم‌های امنیتی کامپیوتری، منجر به ایجاد تحولی نوین در افزایش میزان سرعت و دقت تصدیق هویت افراد شده است. این سیستم‌ها از اطلاعات منحصر به فرد اشخاص مانند انواع خصوصیت‌های بیولوژیکی افراد و یا ویژگی‌های رفتاری، به منظور تصدیق هویت افراد استفاده می‌کنند. در این پایان‌نامه هدف، تصدیق هویت افراد بر اساس اطلاعات موجود در ویدئوی امضای هر شخص می‌باشد. در حقیقت عمل امضای فرد با استفاده از یک دوربین که در موقعیت روبه‌رو قرار دارد، ثبت می‌شود. روش پیشنهادی به منظور تصدیق امضا شامل سه بخش کلی می‌شود؛ در مرحله اول، ابتدا فریم آغاز و شروع امضا در ویدئو مشخص و موقعیت نوک قلم در فریم‌های مختلف ردیابی می‌شود. در همین مرحله به منظور رفع خطای احتمالی در تشخیص نوک قلم، از دو الگوریتم فیلتر ذرات و *K-Means* به طور متوالی استفاده می‌شود. در مرحله دوم از ویدئوی امضای فرد استخراج ویژگی می‌شود. این ویژگی‌های شامل دو نوع پویا و ایستا می‌شود. ویژگی‌های پویا شامل دنباله سرعت حرکت دست، دنباله سرعت حرکت مچ دست، دنباله فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز ثقل امضا و دنباله زاویه بین خطوط واصل نقاط متوالی می‌شود. مدت زمان امضا، نسبت قطر اصلی به فرعی، رنگ پوست دست و چپ‌دستی یا راست‌دستی فرد از جمله ویژگی‌های ایستا هستند. در مرحله سوم و پس از استخراج ویژگی از ویدئوهای امضای یک فرد، یک سیستم تصدیق امضا طراحی می‌شود. در این سیستم برای هر فرد، یک مدل امضا بر اساس ویژگی‌های پویا و ایستای استخراج شده از ویدئوهای آموزشی فرد ایجاد می‌شود. این مدل شامل دو بردار ویژگی است که به ویدئوهای آموزشی یک فرد نسبت داده می‌شود. این بردارهای ویژگی شامل دو بخش پویا و ایستا است. بخش پویای بردارهای ویژگی بر اساس ویژگی‌های پویا و یک روش مبتنی بر *DTW* تعیین می‌شود. همچنین بردار ویژگی بخش ایستا شامل مقادیر میانگین ویژگی‌های ایستای مربوط به داده‌های آموزشی فرد است. پس از تشکیل مدل برای امضای هر فرد برای تصدیق هویت یک فرد ورودی، مدل تشکیل شده

برای امضای فرد اصلی با مدل تشکیل شده برای امضای فرد ورودی مقایسه می‌شود و تائید یا عدم تائید امضای فرد تعیین می‌شود. برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی، از پایگاه داده تشکیل شده در کار این پایان‌نامه که شامل ۱۹ امضای اصلی و ۵ امضای جعلی از ۸۲ فرد مختلف می‌باشد استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی کمی روش پیشنهادی از چند معیار مختلف استفاده می‌شود. میزان دو معیار دقت و نرخ خطای برابر برای روش پیشنهادی در بهترین حالت به ترتیب $3/8$ و $98/51$ درصد به دست آمد.

کلمات کلیدی: تشخیص هویت، تصدیق امضا، ویدئوی امضا، ویژگی‌های پویا، ردیابی نوک قلم، سرعت حرکت دست.

لیست مقالات:

۱- بهرام افرا و هادی گرایلو، "تشخیص برخط امضا با استفاده از ویدئو"، اولین کنفرانس بین

المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مکانیک، مکاترونیک و بیومکانیک، دانشگاه صنعتی

امیرکبیر، تهران، ایران، خرداد ۱۳۹۵

فهرست عناوین:

۱. فصل اول مقدمه ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- روش‌های احراز هویت افراد ۲
- ۳-۱- احراز هویت با استفاده از امضا ۳
- ۱-۳-۱- سیستم‌های خودکار تصدیق امضا ۴
- ۲-۳-۱- مزایای استفاده از دوربین در مقایسه با تبلت فشاری ۵
- ۴-۱- هدف پایان‌نامه ۵
- ۵-۱- مزیت روش‌های مبتنی بر ویدئو نسبت به روش مبتنی بر تصویر امضا ۶
- ۶-۱- کاربردهای مدنظر این پایان‌نامه ۸
- ۷-۱- معرفی و مروری بر فصل‌های دیگر ۹
۲. فصل دوم مروری بر کارهای گذشتگان ۱۱
- ۱-۲- مقدمه ۱۲
- ۲-۲- روش‌های مبتنی بر دوربین تشخیص امضا ۱۳
- ۱-۲-۲- روش اول ۱۳
- ۱-۲-۲-۱- گام اول- استخراج پیش‌زمینه ۱۳

- ۱۴ ۲-۱-۲-۲- گام دوم- ردیابی نوک قلم
- ۱۵ ۳-۱-۲-۲- گام سوم- استخراج ویژگی
- ۲۰ ۴-۱-۲-۲- تشکیل مدل امضای هر فرد و شناسایی امضا
- ۲۰ ۲-۲-۲- روش دوم
- ۲۴ ۳-۲-۲- روش سوم
- ۲۵ ۳-۲- روش مبتنی بر تبلت فشاری
- ۲۹ ۳- فصل سوم روش پیشنهادی
- ۳۰ ۱-۳- مقدمه
- ۳۲ ۲-۳- شناسایی فریم آغاز و پایان امضا
- ۳۲ ۱-۲-۳- تعیین نمودار سرعت حرکت دست
- ۳۴ ۲-۲-۳- تشخیص فریم آغاز و پایان
- ۳۶ ۳-۳- یافتن نوک قلم
- ۳۷ ۱-۳-۳- یافتن محور اصلی قلم
- ۴۲ ۲-۳-۳- تعیین گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه
- ۴۸ ۳-۳-۳- شناسایی و رفع خطا در تشخیص نوک قلم
- ۴۹ ۱-۳-۳-۳- تصحیح خطا با استفاده از الگوریتم فیلتر ذره‌ای
- ۴۹ ۱-۱-۳-۳-۳- شناسایی خطا

- ۳-۵-۲-۱-۱- توضیح مختصری از الگوریتم *DTW* ۸۴
- ۳-۵-۲-۱-۲- نحوه استفاده از *DTW* در تشکیل بخش پویا بردارهای میانگین و
ماکزیمم ۸۵
- ۳-۵-۲-۲- بخش ایستای بردارهای ماکزیمم و میانگین ۸۶
- ۳-۵-۳- فاز تصدیق و تأیید امضا ۸۷
- ۳-۵-۱-۳- تشخیص چپدستی راستدستی ۸۸
- ۳-۵-۲-۳- بخش مقایسه بردارهای ویژگی میانگین فرد اصلی با بردار ویژگی فرد مدعی
..... ۸۸
- ۳-۵-۱-۲- محاسبه بردار ویژگی فرد مدعی ۸۸
- ۳-۵-۲-۲- مقایسه بردار ویژگی فرد مدعی و بردار میانگین فرد اصلی ۹۰
- ۴ . فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی ۹۳
- ۴-۱- معرفی پایگاه داده ۹۴
- ۴-۱-۱- مشخصات ابزار فیلم‌برداری ۹۴
- ۴-۱-۲- نرم‌افزار ضبط ویدئو و فرمت ویدئو ۹۵
- ۴-۱-۳- موقعیت دوربین‌های فیلم‌برداری ۹۵
- ۴-۱-۴- پس‌زمینه و محل امضا ۹۷
- ۴-۱-۵- تعداد و شرایط زمانی فیلم‌برداری ۹۷
- ۴-۲- نتایج شبیه‌سازی ۹۹

- ۹۹ ... ۱-۲-۴- بررسی ویژگی‌های استخراج‌شده برای امضاهای آموزشی یک فرد نمونه
- ۱۰۰ ۱-۱-۲-۴- ردیابی نوک قلم و تشکیل شکل امضا
- ۱۰۴ ۲-۱-۲-۴- دنباله زوایای بین خطوط واصل نقاط متوالی
- ۱۰۶ ۳-۱-۲-۴- دنباله فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز امضا (R_{mn})
- ۱۰۶ ۱-۳-۱-۲-۴- تحلیل نمودارهای R_{mn}
- ۱۰۸ ۴-۱-۲-۴- دنباله سرعت حرکت دست
- ۱۱۰ ۱-۴-۱-۲-۴- تحلیل نمودارهای سرعت حرکت دست
- ۱۱۰ ۵-۱-۲-۴- دنباله سرعت حرکت میچ دست
- ۱۱۱ ۱-۵-۱-۲-۴- تحلیل نمودار سرعت حرکت میچ دست
- ۱۱۳ ۲-۲-۴- بررسی نتایج عددی شبیه‌سازی
- ۱-۲-۲-۴- حالت اول: سیستم تصدیق امضا بدون در نظر گرفتن مرحله تشخیص
چپدستی یا راستدستی ۱۱۵
- ۲-۲-۲-۴- حالت دوم: سیستم تصدیق امضا با در نظر گرفتن مرحله تشخیص چپدستی یا
راستدستی ۱۲۳
- ۳-۲-۲-۴- تحلیل و مقایسه دو حالت سیستم تصدیق امضا (سیستم دومرحله‌ای و
تک‌مرحله‌ای) ۱۲۷
- ۴-۲-۲-۴- مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج روش‌های چند مقاله ۱۲۸
- ۳-۲-۴- تعیین پارامترهای موجود در روش پیشنهادی ۱۳۰

۵. فصل پنجم جمع‌بندی و پیشنهادات ۱۳۱

۵-۱- جمع‌بندی ۱۳۲

۵-۲- محاسن و معایب روش پیشنهادی ۱۳۴

۵-۳- پیشنهادات ۱۳۵

مراجع ۱۳۶

فهرست شکل‌ها:

- شکل ۱-۱: روندنمای یک سیستم تصدیق امضا مبتنی بر تابلت [۲]..... ۴
- شکل ۱-۲: تصویر دوربین و دست فرد امضاکننده [۱]..... ۷
- شکل ۱-۲: مراحل استخراج پیش‌زمینه و یافتن محور اصلی و نوک قلم [۳]..... ۱۵
- شکل ۲-۲: نمونه‌ای از طرح امضا با اتصال متوالی نقاط نوک قلم [۳]..... ۱۵
- شکل ۳-۲: تقسیم شکل امضا (الف): شکل اصلی امضا. (ب): محدوده سه بازه، ابعاد هر یک از سه تصویر $N*N$ می‌باشد [۳]..... ۱۶
- شکل ۴-۲: نتیجه اعمال تبدیل کرولت (الف): تصاویر سه بازه. (ب): تصاویر تبدیل کرولت هر سه بازه [۳]..... ۱۷
- شکل ۵-۲: روند نمای تشکیل بردار ویژگی مربوط به ضرایب کرولت..... ۱۸
- شکل ۶-۲: روند نمای روش ارائه‌شده در [۱]..... ۲۱
- شکل ۷-۲: موقعیت ذرات. (الف): موقعیت نوک قلم در یک فریم نمونه. (ب): ذرات پخش شده اطراف نوک قلم [۱]..... ۲۳
- شکل ۸-۲: تصویر قلم و صفحه محل امضا. در این شکل خط قرمز رنگ راستای قلم را نشان می‌دهد [۱۶]..... ۲۶
- شکل ۱-۳: روند نمای روش پیشنهادی..... ۳۰
- شکل ۲-۳: تشکیل تصویر تفاضل. (الف) و (ب): دو فریم متوالی. (ج): تصویر تفاضل دو فریم متوالی..... ۳۳
- شکل ۳-۳: نمودار سرعت حرکت دست یک فرد نمونه..... ۳۴

- شکل ۴-۳ : نمودار هموار شده شکل ۳-۳ ۳۵
- شکل ۵-۳ موقعیت فریم آغاز و پایان امضا در حالت واقعی (خطوط قرمز) و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (خطوط سبز رنگ) ۳۶
- شکل ۶-۳: روند نمای روش پیشنهادی برای یافتن نوک قلم ۳۷
- شکل ۷-۳ نمای دست به همراه قلم ۳۷
- شکل ۸-۳. استخراج پوست دست. (الف): تصویر یک فریم نمونه. (ب): تصویر باینری پوست دست. (پ): مرز پوست دست. (ت): تصویر باینری مربوط به ناحیه قلم موجود در دست فرد امضاکننده ۳۸
- شکل ۹-۳ : لبه‌های موجود در ناحیه قلم ۴۰
- شکل ۱۰-۳ : نتیجه اعمال تبدیل هاف. الف: ۶ خط غالب یافت شده با تبدیل هاف. ب: محور اصلی قلم ۴۲
- شکل ۱۱-۳: فریمی نمونه از یک ویدئو ۴۳
- شکل ۱۲-۳ تصویر خلوص شکل ۱۱-۳ ۴۴
- شکل ۱۳-۳: تصویر باینری پیش‌زمینه ۴۵
- شکل ۱۴-۳: گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه. نقاط گوشه با ستاره‌های قرمز نشان داده شده‌اند. ۴۶
- شکل ۱۵-۳: نقطه نوک قلم ۴۶
- شکل ۱۶-۳: تصویر ناحیه ای از دست که الگوی حرکت نقاط این ناحیه شبیه نوک قلم است. ستاره قرمز رنگ نقطه ای از انگشت سبابه را نشان میدهد. ۴۷
- شکل ۱۷-۳ : تصویر ناحیه اطراف نوک قلم (الف): ناحیه دایره‌ای اطراف نوک قلم. (ب): بخش

- پیش‌زمینه از پیکسل‌های قسمت دایره‌ای ۵۰
- شکل ۱۸-۳: توزیع ذرات در فیلتر ذره ای الف: مرز تصویر پیش‌زمینه و دایره محدودکننده موقعیت ذرات در فیلتر ذره‌ای. ب: ذرات سبزرنگ مربوط به فیلتر ذره‌ای ۵۳
- شکل ۱۹-۳: تعیین تعداد نمونه‌ها در هر نقطه (الف): نمودار سرعت یک فرد نمونه. (ب): نمودار n_i ۵۹
- شکل ۲۰-۳: حالات مختلف قرارگیری نقاط یک مجموعه (الف): مجموعه داده حالت اول. (ب): مجموعه داده حالت دوم ۶۱
- شکل ۲۱-۳: خطوط بین نقاط متوالی و زاویه بین خطوط ۶۳
- شکل ۲۲-۳: دو نمونه امضای یک فرد ۶۴
- شکل ۲۳-۳: نمودار فاصله تا مرکز ثقل مربوط به نقاط امضای شکل (۳-۲۲ الف و ب). ... ۶۵
- شکل ۲۴-۳: ناحیه مچ دست (الف): مچ دست فرد چپ‌دست. (ب): مچ دست فرد راست‌دست. ۶۷
- شکل ۲۵-۳: استخراج پوست دست (الف): تصویر یک فریم نمونه. (ب): تصویر باینری پوست دست ۶۷
- شکل ۲۶-۳: تصویر دودویی پوست دست ۶۸
- شکل ۲۷-۳: تصاویر چرخانده شده با زاویه $(-\theta)$: (الف) تصویر چرخانده شده دست چپ (ب) تصویر چرخانده شده دست راست ۶۹
- شکل ۲۸-۳: تصاویر پوست دست چرخانده شده مربوط به شکل ۲۷-۳: (الف) پوست دست چپ (ب) پوست دست راست. ۷۰
- شکل ۲۹-۳: پنج ناحیه تقسیم شده ناحیه پوست دست. (الف) پوست دست چپ (ب) پوست دست

- راست ۷۰
- شکل ۳-۳۰: ناحیه مچ دست استخراج شده توسط الگوریتم پیشنهادی: (الف) مچ دست چپ (ب)
- مچ دست راست ۷۱
- شکل ۳-۳۱: قسمت برجستگی دست: (الف) فرد راست دست (ب) فرد چپ دست ۷۳
- شکل ۳-۳۲: استخراج پوست دست (الف) تصویر پیشزمینه (ب) تصویر دودویی پوست دست. ۷۴
- شکل ۳-۳۳: محور اصلی پوست دست. ۷۵
- شکل ۳-۳۴: پیکسل‌های مرزی پوست دست. ۷۶
- شکل ۳-۳۵: پیکسل‌های مرز هموار شده. الف: مرز هموار شده. ب: گسستگی در مرز هموار شده.
- ۷۸
- شکل ۳-۳۶: تصویر مرز پوست دست به همراه محور اصلی آن ۷۹
- شکل ۳-۳۷: نمودار فاصله پیکسل‌های مرزی تا محور اصلی الف: نمودار فاصله پیکسل‌های سمت راست تا محور اصلی. ب: نمودار فاصله پیکسل‌های سمت چپ تا محور اصلی. ۸۰
- شکل ۳-۳۸: سیگنال مشتق. الف: سیگنال مشتق سمت راست محور. ب: سیگنال مشتق سمت چپ محور. ۸۰
- شکل ۳-۳۹: روند نمای سیستم تصدیق امضا ۹۱
- شکل ۴-۱: محیط ضبط امضا و موقعیت دوربین‌ها ۹۷
- شکل ۴-۲: تصویر یک فرد امضاکننده در یک ظهر آفتابی ۹۸
- شکل ۴-۳: شکل امضا. (الف): امضای دست‌نوشته فرد، (ب): طرح امضای اولیه به دست آمده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ۱۰۰
- شکل ۴-۴: امضای اصلاح‌شده توسط فیلتر ذره‌ای ۱۰۱

شکل ۴-۵: روند تصحیح امضا. الف: موقعیت اولیه نقاط امضا. ب: اصلاح اول با استفاده از فیلتر

ذره‌ای. پ: اصلاح دوم با استفاده از *K-Means*..... ۱۰۲

شکل ۴-۶: شکل امضاهای تشکیل شده برای سه نمونه امضای جعلی ۱۰۴

شکل ۴-۷: دنباله زاویه بین خطوط واصل دو نقطه متوالی برای ۱۴ داده آموزشی فرد نمونه

..... ۱۰۵

شکل ۴-۸: دنباله زاویه بین خطوط واصل دو نقطه متوالی برای سه نمونه امضای جعلی. ۱۰۵

شکل ۴-۹: دنباله های فاصله نقاط تا مرکز ثقل (R_{mi}) مربوط به ۱۴ امضای آموزشی فرد نمونه

..... ۱۰۷

شکل ۴-۱۰: دنباله های فاصله نقاط تا مرکز ثقل (R_{mi}) مربوط به امضاهای جعلی ۱۰۷

شکل ۴-۱۱: شکل امضا و موقعیت مرکز ثقل. موقعیت مرکز ثقل با دایره مشخص شده است. الف:

امضای اصلی. ب: امضای جعلی ۱۰۸

شکل ۴-۱۲: دنباله های سرعت حرکت دست مربوط به ۱۴ امضای آموزشی فرد نمونه ۱۰۹

شکل ۴-۱۳: دنباله های سرعت حرکت دست مربوط به امضاهای جعلی ۱۰۹

شکل ۴-۱۴: دنباله های سرعت حرکت مچ دست ($Speed_{wr}$) مربوط به ۱۴ امضای آموزشی فرد

نمونه. ۱۱۲

شکل ۴-۱۵: دنباله های سرعت حرکت مچ دست ($Speed_{wr}$) مربوط به امضاهای جعلی. ۱۱۲

شکل ۴-۱۶: نمودار دو معیار اول. الف: نمودار FAR بر اساس T_{tot} . ب: نمودار FRR بر اساس T_{tot}

..... ۱۱۹

شکل ۴-۱۷: نمودار تغییرات FRR بر اساس، FAR ، (ROC) ، به ازای مقادیر مختلف ۱۱۹

شکل ۴-۱۸: نمودار دو معیار دوم. الف : نمودار TPR بر اساس $Ttot$. ب: نمودار TNR بر اساس $Ttot$

۱۲۱.....

شکل ۴-۱۹: نمودار تغییرات TPR بر اساس TNR به ازای مقادیر مختلف $Ttot$

شکل ۴-۲۰: نمودار دقت بر اساس تغییرات $Ttot$

شکل ۴-۲۱: نمودار دو معیار اول. الف : نمودار FAR بر اساس $Ttot$. ب: نمودار FRR بر اساس $Ttot$

۱۲۳.....

شکل ۴-۲۲: نمودار تغییرات FRR بر اساس FAR ، (ROC) ، به ازای مقادیر مختلف $Ttot$

شکل ۴-۲۳: نمودار دو معیار دوم. الف : نمودار TPR بر اساس $Ttot$. ب: نمودار TNR بر اساس $Ttot$

۱۲۵.....

شکل ۴-۲۴: نمودار تغییرات TPR بر اساس TNR به ازای مقادیر مختلف $Ttot$

شکل ۴-۲۵: نمودار دقت بر اساس تغییرات $Ttot$

فهرست جدول‌ها:

جدول ۴-۱: مقایسه نتایج حالت اول (تک‌مرحله‌ای) و حالت دوم (دو مرحله‌ای) ۱۲۷

جدول ۴-۲: مقایسه نتایج روش‌های مختلف تشخیص امضا ۱۲۹

جدول ۴-۳: مقادیر و نحوه تعیین پارامترهای روش پارامترهای پیشنهادی ۱۳۰

۱. فصل اول مقدمه

۱-۱- مقدمه

بسیاری از فرآیندهای صنعتی که تا چند دهه پیش پیاده‌سازی آن‌ها دور از انتظار بود، هم‌اکنون با بهره‌گیری از پردازش هوشمند تصاویر به مرحله عمل رسیده‌اند. با پیشرفت سیستم‌های تصویربرداری و الگوریتم‌های پردازش تصویر، شاخه‌های جدیدی در زمینه‌هایی همچون کنترل کیفیت، سیستم‌های امنیتی، ابزار دقیق، کنترل ترافیک و غیره به وجود آمده است و هر روز شاهد عرضه سیستم‌های تصویری پیشرفته در این حوزه‌ها هستیم.

امروزه استفاده از سیستم‌های امنیتی خودکار و کامپیوتری، باعث افزایش دقت و سرعت در تشخیص هویت و شناسایی افراد شده است. تشخیص و تصدیق هویت افراد یکی از مسائلی است که تاکنون مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

۱-۲- روش‌های احراز هویت افراد

روش‌های احراز هویت افراد، شامل سه دسته اساسی می‌شود. روش اول روشی است که در آن از آگاهی یک فرد در مورد اطلاعاتی خاص استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال تعیین رمز عبور^۱ برای ورود به یک سامانه کامپیوتری نمونه‌ای از این نوع سیستم امنیتی است.

روش دوم بر پایه سندی یا مدرکی است که فرد در اختیار دارد؛ مانند کارت اعتباری یا کارت ملی افراد. یکی از معضلاتی که در دو روش فوق وجود دارد، فراموشی رمز عبور و یا مفقود شدن سند می‌باشد. همچنین در این دو روش اگر فردی به هر نحوی رمز عبور و یا سند فرد را به دست آورد می‌تواند به راحتی به جای فرد اصلی شناسایی شود.

^۱ Password

روش سوم تصدیق و احراز هویت فرد از طریق ویژگی‌های بیولوژیکی و رفتاری منحصر به فرد اشخاص انجام می‌شود. در این روش امکان مفقود شدن و فراموشی وجود ندارد. از ویژگی‌های منحصر به فرد یک شخص می‌توان به اثر انگشت، قرنیه چشم، چهره، صدا و یا امضای فرد اشاره کرد [۱].

استفاده از روش‌های بیومتریک مثل اثر انگشت و قرنیه چشم، از مدرن‌ترین تکنیک‌های موجود است که بر مبنای منحصر بودن این ویژگی‌ها 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؛ به عنوان مثال نحوه حرکات پاها و حرکات دست در هنگام راه رفتن و یا دویدن می‌تواند برای هر شخص منحصر به فرد باشد.

۱-۳-۱- احراز هویت با استفاده از امضا

استفاده از امضا و نحوه انجام این عمل توسط اشخاص، یک روش تصدیق هویت افراد است که در حوزه رفتارشناسی قرار می‌گیرد. همانطور که می‌دانیم امضا، دست‌نوشته‌ای از یک فرد است که فرد می‌تواند با توجه به آن هویت خود را احراز نماید. استفاده از تصویر امضا یا همان دست‌نوشته، یکی از پرکاربردترین روش‌های احراز هویت افراد در جوامع امروزی مخصوصاً ایران است.

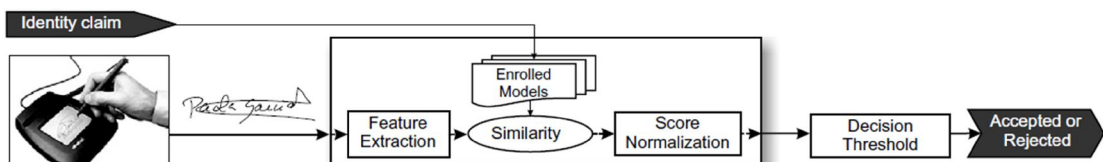
در سیستم‌های قدیمی تصدیق هویت افراد که یک ناظر مسئول احراز هویت فرد بود، امکان خطا و اشتباه بسیار زیاد بود چون اولاً علی‌رغم اینکه تقریباً شکل دست‌نوشته امضا، برای هر شخص منحصر به فرد است ولی امکان دارد که این تصویر برای دو فرد متفاوت دارای طرح و شکل یکسانی باشد و همچنین امکان فریب فرد ناظر با جعل کردن امضای اصلی بسیار ممکن است.

هرچند سیستم‌های قدیمی مبتنی بر ناظر انسان نیز دارای محاسنی بود ولی با بروز سیستم‌های نوین تصدیق امضا، امکان ایجاد خطا در تصدیق هویت افراد کم‌تر شد. چون در این سیستم‌ها، یک سامانه کامپیوتری و خودکار به‌عنوان ناظر قرار می‌گیرد که خطاهایی را که یک ناظر انسان به دلایل مختلفی همچون خطای دید و کم بودن سرعت پردازش مغز دارد، کاهش می‌دهد.

۱-۳-۱- سیستم‌های خودکار تصدیق امضا

سیستم‌های کامپیوتری و خودکار تصدیق امضا به دودسته ایستا و پویا تقسیم می‌شوند. سیستم‌های ایستا سیستم‌هایی هستند که بر اساس فقط شکل و تصویر امضا، در مورد تأیید هویت فرد تصمیم‌گیری می‌کنند. ولی در سیستم‌های پویا، الگوهای حرکتی دست نیز مورد بررسی قرار می‌گیرند. منظور از الگوهای حرکتی، ویژگی‌هایی مثل سرعت حرکت دست، ترتیب قرارگیری نقاط امضا، میزان فشار در طول امضا، نحوه به دست گرفتن قلم و غیره می‌باشند. این الگوهای حرکتی انواع مختلفی دارند که ما به چند مثال از آن اشاره کردیم.

ابزارهایی که برای ثبت امضا در روش‌های پویا مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز شامل تبلت فشاری و دوربین می‌شوند. نمونه‌ای از یک سیستم تشخیص امضا که مبتنی بر تبلت فشاری است در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: روندنمای یک سیستم تصدیق امضا مبتنی بر تبلت [۲].

۱-۳-۲- مزایای استفاده از دوربین در مقایسه با تبلت فشاری

مزایای استفاده از دوربین در مقابل استفاده از تبلت فشاری این است که امروزه دوربین یا وبکم معمولاً یک جزء جدایی ناپذیر یک سیستم کامپیوتری است و به طور معمول در همه جا موجود است ولی تبلت فشاری یک ابزار الکترونیکی معمول در همه مکان‌ها به حساب نمی‌آید. ثانیاً چون در تبلت فشاری افراد باید با استفاده از یک قلم الکترونیکی امضا را انجام دهند، ممکن است به دلیل عادت همیشگی استفاده از قلم‌های معمول برای نوشتن، افراد نتوانند امضای طبیعی و واقعی خود را بر روی تبلت فشاری اجرا کنند. ثالثاً سایر ویژگی‌های بیومتریک فرد مانند شکل دست و نحوه به دست گرفتن قلم در اطلاعات ویدئویی قابل استفاده است در حالی که در تبلت فشاری فقط می‌توان نوک قلم را به صورت پویا ردیابی نمود [۱].

۱-۴- هدف پایان نامه

در این پایان نامه، هدف تصدیق امضا با استفاده از اطلاعات موجود در ویدئوی فرد امضاکننده است. در حقیقت قصد داریم یک سیستم مبتنی بر دوربین طراحی کنیم که در آن بر اساس ویدئوی امضا، هویت آن شخص تصدیق یا رد شود. روند کلی کار این سیستم به این صورت است که فرد برای تأیید هویت خود، در مقابل دوربین امضا می‌کند و پس از ضبط ویدئوی امضا و پردازش آن توسط سیستم، تأیید یا عدم تأیید هویت فرد مشخص می‌شود.

سیستم تصدیق هویتی که در این پایان نامه ارائه شده است، شامل بخش‌های مختلفی است. در بخش اول ویدئوی امضای فرد توسط یک دوربین ثبت می‌شود و دنباله‌ای از فریم‌ها تشکیل می‌شود. در بخش دوم، از این دنباله ویژگی‌هایی استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها شامل تعدادی ویژگی پویا و ایستا می‌باشد. از جمله ویژگی‌های پویا می‌توان به سرعت حرکت دست، نحوه جابجایی نوک قلم و از ویژگی‌های

ایستا می‌توان به مدت‌زمان عمل امضا و یکسری ویژگی‌های ظاهری دست اشاره کرد. در بخش سوم برای آموزش سیستم و تعیین یک مدل برای امضای هر فرد، تعدادی ویدئوی امضا به‌عنوان امضاهای آموزشی از هر فرد تهیه می‌شود. پس از استخراج ویژگی از امضاهای آموزشی هر فرد، مدل امضای او تشکیل می‌شود. بر این اساس، یک سیستم تصدیق امضا طراحی می‌شود.

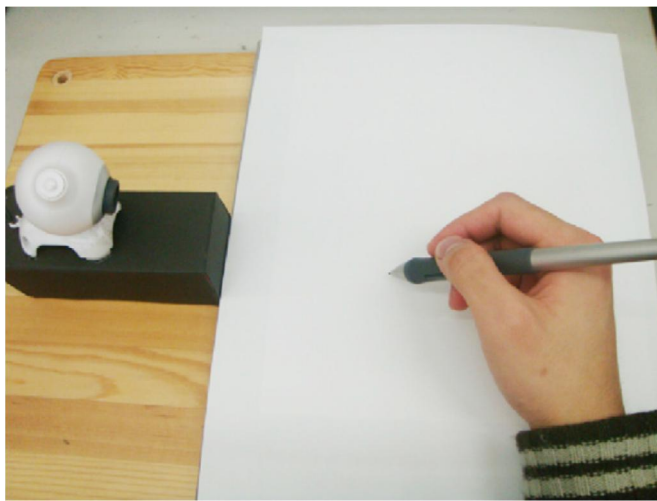
حال فرض کنیم که قصد داریم امضای یک فرد مدعی را بر اساس این سیستم تصدیق یا رد کنیم. برای این کار ابتدا ویدئوی امضای فرد ثبت می‌شود. در گام بعد، از این ویدئو تعدادی ویژگی استخراج و پس از مقایسه با مدل تشکیل‌شده برای امضای فرد اصلی، تأیید یا عدم تأیید هویت فرد اعلام می‌شود.

۱-۵- مزیت روش‌های مبتنی بر ویدئو نسبت به روش مبتنی بر تصویر امضا

همانطور که در بخش (۱-۳-۱) توضیح داده شد، سیستم‌های خودکار تصدیق امضا به دو بخش پویا و ایستا تقسیم می‌شوند. در سیستم‌های ایستا که بر اساس طرح و شکل امضا در مورد هویت افراد قضاوت می‌شود، امکان بروز خطا نسبت به روش‌های پویا بیشتر است. چون در روش‌های ایستا، امکان دارد یک فرد ناشناس بتواند به‌راحتی با اطلاع از شکل امضای یک فرد، امضای او را جعل و طرح و دست‌نوشته‌ای از امضای اصلی ایجاد کند که حتی تفاوت آن توسط یک سیستم کامپیوتری مشخص نشود. این مشکل بسیار معمول و شایع است. چون یک انسان می‌تواند با تمرین زیاد برای جعل کردن امضای یک فرد، به طرح امضای او مسلط شود و طرحی کاملاً شبیه به امضای اصلی ایجاد کند؛ اما در سیستم‌های پویا که الگوهای حرکتی و ویژگی‌های ظاهری دست و قلم فرد امضاکننده در آن مشخص است، امکان بروز خطا نسبت به روش ایستا کمتر می‌شود. دلیل این مطلب را با یک مثال توضیح می‌دهیم.

فرض کنیم که یک فرد جاعل، از تصویر امضای یک شخص دیگر اطلاع داشته و با تمرین زیاد، قابلیت ایجاد یک طرح کاملاً مشابه با طرح امضای فرد اصلی را دارد. هنگامی که امضای این فرد توسط یک دوربین ثبت می‌شود، تمامی اطلاعات حرکتی و ظاهری دست او نیز ثبت می‌شود. با تقریب خوبی می‌توان گفت که فرد جاعل نمی‌تواند در حین امضا، الگوی رفتاری فرد اصلی را تکرار کند و این موضوع باعث خواهد شد که نتواند هویت فرد اصلی را جعل نماید؛ زیرا الگوهای رفتاری و ظاهر دست می‌تواند برای یک شخص خاص، منحصر به فرد بوده و تقریباً برای دیگران تکرارپذیر نباشد.

هرچند که امکان دارد بعضی از الگوهای رفتاری قابل جعل باشد ولی تقریباً نمی‌توان همه الگوها را مشابه فرد اصلی تکرار کرد. همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود، تمام ویژگی‌های ظاهری و رفتاری دست فرد امضاکننده توسط دوربین قابل ثبت است.



شکل ۱-۲: تصویر دوربین و دست فرد امضاکننده [۱].

۱-۶- کاربردهای مدنظر این پایان نامه

یکی از کاربردهای سیستم تصدیق امضایی که در این پایان نامه می توان به آن اشاره کرد، استفاده از آن در باجه های بانک می باشد. امروزه در کشور ایران هنگام افتتاح حساب بانکی تصویری از امضای فرد گرفته می شود و در اطلاعات حساب او ذخیره می شود. پس از مراجعه بعدی شخص به بانک، امضای آن شخص با امضای موجود در پروفایل حساب او توسط کارمند بانک به صورت بصری مقایسه و هویت فرد تأیید می شود که همانطور که در بخش (۱-۳) توضیح داده شد، این روش دارای خطای زیادی است؛ بنابراین می توان از سیستم طراحی شده در این پایان نامه به عنوان سیستم تصدیق هویت یا امضای فرد هنگام مراجعه به بانک استفاده شود.

کاربرد دومی که می توان برای سیستم مطرح شده در این پایان نامه ذکر کرد، استفاده از آن برای امضاهای اینترنتی است. چون امروز معمولاً وبکم یا دوربین یک جز جدایی ناپذیر هر کامپیوتر و یا تلفن همراهی است و می توان یک فرد با ضبط ویدئوی امضای خود و ارسال آن برای یک سرور موردنظر، هویت خود را معرفی یا تأیید کند. البته این کاربرد منوط به طراحی یک سیستم انعطاف پذیر و مستقل از شرایط مکانی و فردی می باشد.

کاربرد سومی که می توان در این زمینه ذکر کرد، استفاده از روش این پایان نامه در موقعیت هایی است که نیاز به طراحی یک سیستم امنیتی چندمرحله ای است. به عبارتی در موقعیت های که چندین سیستم امنیتی با روش ها و ابزارهای مختلف برای تصدیق هویت افراد نیاز است، می توان از سیستم این پایان نامه به عنوان یک مرحله از این سیستم چندمرحله ای استفاده نمود.

۱-۷- معرفی و مروری بر فصل‌های دیگر

در این پایان‌نامه ابتدا در فصل ۲، به معرفی برخی روش‌ها و مطالعات پیشین در زمینه تصدیق امضا می‌پردازیم. سپس در فصل ۳، روش پیشنهادی این پایان‌نامه را به طور کامل توضیح خواهیم داد. روش پیشنهادی شامل چند بخش مختلف است که در فصل ۳ به بررسی جزئیات آن با ذکر مثال خواهیم پرداخت. در فصل ۴ ابتدا پایگاه داده تهیه شده در کار این پایان‌نامه و ویژگی‌ها و شرایط آن را معرفی می‌کنیم. در ادامه فصل ۴، نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی، بررسی و تحلیل و بر اساس چند معیار مختلف ارزیابی می‌شود. در نهایت نتایج عددی روش پیشنهادی را با چند روش دیگر مقایسه می‌کنیم. در فصل ۵ به جمع‌بندی کلی از روش پیشنهادی خواهیم پرداخت و مزایا و معایب آن را بررسی و سپس پیشنهاداتی برای پژوهش در این حوزه ارائه خواهد شد.

۲. فصل دوم مروری بر کارهای گذشتگان

۲-۱- مقدمه

یک سیستم امنیتی وابسته به نوع کاربرد و شرایط مکانی و زمانی و همچنین ابزارهای موجود، دارای انواع متفاوتی می‌باشد. در این قسمت قصد داریم که به روش‌های مختلف تصدیق امضای افراد پردازیم. این روش‌ها نیز بر اساس ابزار موجود و همچنین محدودیت‌های زمانی، دارای انواع متفاوتی هستند.

روش‌های تشخیص امضا از نظر زمانی به دو دسته برخط^۱ و برون خط^۲ تقسیم می‌شوند. منظور از روش‌های برخط در این پایان‌نامه در حقیقت روش‌هایی است که در آن الگوریتم موردنظر برای شروع پردازش بر روی داده ورودی، منتظر اتمام دریافت کامل داده موردنظر نمی‌ماند. به‌عنوان مثال برای پردازش بر روی یک دنباله ویدئویی، الگوریتم موردنظر با دریافت فریم اول شروع به کار می‌کند و منتظر دریافت تمام فریم‌ها به‌صورت یکجا نمی‌ماند.

تعریف روش‌های برون خط دقیقاً معکوس تعریف روش‌های برخط است. در این گونه روش‌ها شروع الگوریتم مستلزم اتمام دریافت کل داده می‌باشد. به‌طور مثال تشخیص امضا که مبتنی بر یک تصویر طرح امضا می‌باشد، نمونه‌ای از این روش‌هاست.

چون روش پیشنهادی این پایان‌نامه در دسته روش‌های برخط قرار می‌گیرد، بنابراین در این فصل به بررسی روش‌های برخط تشخیص امضا می‌پردازیم. روش‌های برخط نیز بر اساس نوع ابزار مورد استفاده به چند دسته تقسیم می‌شوند. به‌عنوان مثال ابزار مورد استفاده در این حوزه می‌تواند یک دوربین فیلم‌برداری و یا یک تبلت فشاری باشد.

¹ Online

² OffLine

۲-۲- روش‌های مبتنی بر دوربین تشخیص امضا

۲-۲-۱- روش اول

اولین روشی که به بررسی آن می‌پردازیم یک روش تشخیص امضا با استفاده از ویدئو است که در آن با استفاده از ویژگی‌های موجود در شکل امضا و نحوه گرفتن قلم در دست^۱، امضای جعلی از اصلی تمییز داده می‌شود [۳]. در این روش دوربین در موقعیت سمت چپ دست فرد قرار گرفته و فریم‌ها حاوی اطلاعاتی از نمای سمت چپ هستند.

روند کلی این روش به این صورت است که در گام اول پیش‌زمینه^۲ در هر فریم استخراج و در گام دوم موقعیت نوک قلم در هر فریم شناسایی می‌شود. گام سوم مربوط به استخراج ویژگی از امضای فرد است. این ویژگی‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ دسته اول ویژگی‌های مربوط به شکل امضا هستند که با استفاده از تبدیل کرولت^۳ [۴، ۵] به دست می‌آیند و ویژگی دوم نحوه به دست گرفتن قلم توسط فرد امضاکننده را توصیف می‌کند. در گام چهارم برای هر فرد بر اساس بردار ویژگی استخراج‌شده از داده‌های آموزشی، یک مدل ساخته می‌شود که این مدل کار تشخیص امضای جعلی و اصلی را انجام می‌دهد. در ادامه به صورت مفصل به توضیح این مراحل می‌پردازیم.

۲-۲-۱-۱- گام اول- استخراج پیش‌زمینه

همانطور که گفته شد در گام اول، هدف استخراج پیش‌زمینه بود. بدین منظور از روش تفاضل پیش‌زمینه و پس‌زمینه^۴ استفاده شده و همچنین فرض بر این است که فریم پس‌زمینه عاری از هر شیء، است. بدین ترتیب پس از تفاضل، پیکسل‌هایی که دارای مقدار غیر صفر هستند به عنوان پیکسل‌های

¹ Pen-grasping posture

² Foreground

³ Curvelet

⁴ Background

پیش‌زمینه استخراج می‌شوند. حال یک تصویر باینری تولید می‌شود که در آن پیکسل‌های پیش‌زمینه دارای مقدار ۱ و بقیه پیکسل‌ها دارای مقدار صفر هستند.

۲-۲-۱-۲-۲-گام دوم- ردیابی نوک قلم

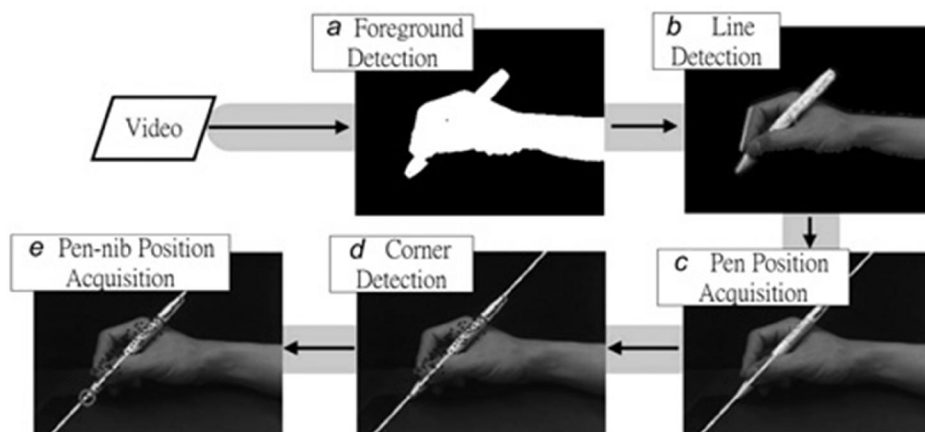
در گام دوم، هدف جستجوی موقعیت نوک قلم در هر فریم است. برای این کار ابتدا خطوط موجود در تصویر پیش‌زمینه توسط الگوریتم هاف بهبودیافته شده [۶] استخراج می‌شوند. شیب خطوط در این روش به ۹ بازه کوانتیزه می‌شوند و رأی‌گیری بر اساس شیب خط انجام می‌شود. پس از یافتن بازه‌ای که بیشترین رأی را آورده است، در این بازه خطی که بزرگترین طول را داشته باشد به‌عنوان خط و محور اصلی قلم در نظر گرفته می‌شود.

پس از یافتن خط قلم، هدف یافتن موقعیت نوک قلم در هر فریم است. بدین منظور از الگوریتم گوشه یابی هریس^۱ [۷] استفاده می‌شود. روش کار بدین صورت است که ابتدا نقاط گوشه توسط این الگوریتم شناسایی شده و سپس بر اساس فاصله تا خط قلم فیلتر می‌شوند. به عبارتی گوشه‌هایی که فاصله آنها تا خط قلم از آستانه‌ای کمتر باشد از فیلتر عبور می‌کنند. از بین این نقاط فیلتر شده، نقطه‌ای که پایین‌ترین موقعیت را دارد به‌عنوان نوک قلم در نظر گرفته می‌شود.

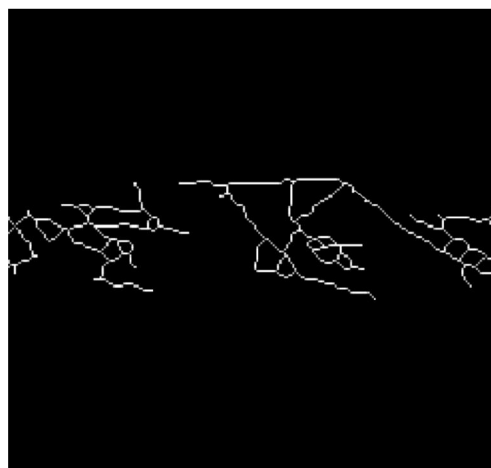
مراحل ۱ و ۲ به‌طور شماتیک در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

پس از شناسایی نوک قلم در هر فریم دنباله‌ای از نقاط به دست خواهد آمد. به‌منظور به دست آوردن شکل امضا، هر دو نقطه متوالی با یک خط مستقیم به هم متصل می‌شوند و طرحی از شکل امضا به دست می‌آید. نمونه‌ای از شکل امضا در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.

¹ Harris Corner Detection



شکل ۱-۲ مراحل استخراج پیش‌زمینه و یافتن محور اصلی و نوک قلم [۳]



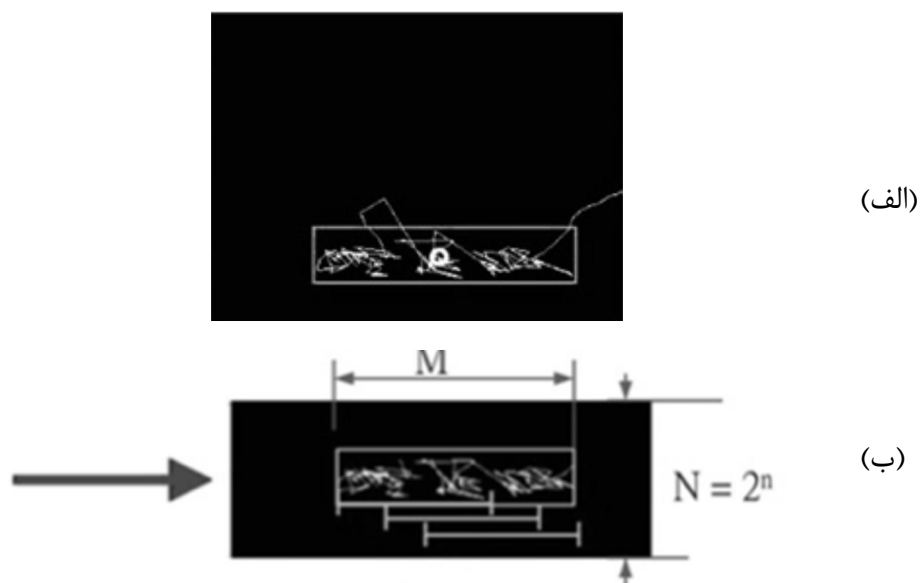
شکل ۲-۲ نمونه‌ای از طرح امضا با اتصال متوالی نقاط نوک قلم [۳]

۲-۲-۱-۳-گام سوم-استخراج ویژگی

گام سوم استخراج ویژگی از ویدئوی امضا یک فرد است. همانطور که در بخش (۲-۲-۱) گفته شد این ویژگی‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند. ویژگی اول، ویژگی است که با اعمال تبدیل کرولت بر روی تصویر شکل امضا (به‌طور مثال شکل ۲-۲) به دست می‌آید.

تبدیل کرولت یک تبدیل چندمقیاسه است که انرژی لبه‌های یک تصویر را در جهات مختلف به دست می‌آورد. در این مقاله از تبدیل کرولت گسسته سریع^۱ ($FDCT$) برای استخراج ویژگی استفاده می‌شود. تبدیل کرولت گسسته سریع بر اساس دو روش پیاده‌سازی شده است. این روش‌ها $WFFT$ و $USFFT$ نام دارند. در این مقاله، برای به دست آوردن ضرایب کرولت از روش $USFFT$ استفاده شده است.

برای استخراج ویژگی از تصویر شکل امضا با استفاده از کرولت، ابتدا محدوده شکل امضا به سه بازه (تصویر) تقسیم می‌شود به طوری که با یکدیگر هم‌پوشانی داشته باشند. این سه بازه در شکل ۲-۳ ب مشخص شده‌اند.



شکل ۲-۳. تقسیم شکل امضا (الف): شکل اصلی امضا. (ب): محدوده سه بازه، ابعاد هر یک از سه تصویر $N*N$ می‌باشد [۳]

¹ Fast Discrete Curvelet Transform

² Wrapping-based fast Fourier transform

³ unequally spaced fast Fourier transform

سپس تبدیل کرولت بر روی هر سه بازه به صورت جداگانه اعمال می‌شود. به طور نمونه نتیجه اعمال

تبدیل کرولت بر روی تصاویر شکل ۴-۲ الف با ۲ سطح تجزیه در شکل ۴-۲ ب نشان داده شده است.



شکل ۴-۲. نتیجه اعمال تبدیل کرولت (الف): تصاویر سه بازه. (ب): تصاویر تبدیل کرولت هر سه بازه [۳]

هر یک از سه تصویر مشخص شده در شکل ۴-۲ الف مربوط به یک بازه از تصویر امضا شکل ۳-۲ الف می‌باشد. همانطور که در شکل ۴-۲ ب مشاهده می‌شود ضرایب در یک مقیاس اصلی (مقیاس تخمین^۱) و همچنین در دو مقیاس جزئیات^۲، در جهت‌های مختلف در این شکل‌ها مشخص شده‌اند. مقدار این ضرایب در مستطیل‌های سیاه‌رنگ موجود در سه تصویر شکل ۴-۲ ب بر اساس میزان روشنایی مشخص شده‌اند. هر چه مقدار یک ضریب بیشتر باشد، موقعیت آن ضریب در مستطیل‌های سیاه‌رنگ روشن‌تر و سفیدتر است.

¹ Aproximation
² Details

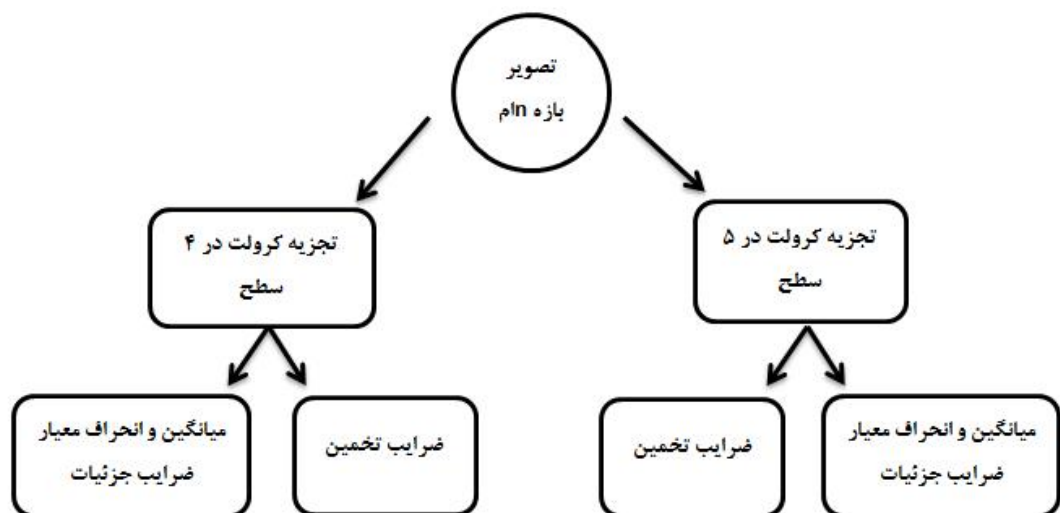
مربع مرکزی موجود در هر سه تصویر شکل ۲-۴ ب ضرایب تخمین را مشخص می‌کند که لایه اصلی^۱ نامیده می‌شود و بقیه مستطیل‌های سیاه‌رنگ ضرایب جزئیات را نشان می‌دهند.

برای استخراج ویژگی در این مقاله از اعمال تبدیل کرولت بر روی تصاویر هر سه بازه توضیح داده شده در قسمت قبل، استفاده می‌شود. تعداد سطوح تجزیه یک‌بار ۴ و بار دیگر ۵ انتخاب می‌شود. بردار ویژگی استخراج‌شده از هر سه تصویر شامل اجزای زیر می‌شود.

۱- بردار مقادیر ضرایب سیگنال تخمین (مربع مرکزی)

۲- میانگین و انحراف معیار ضرایب کرولت برای ضرایب هر یک از مستطیل‌های سیاه‌رنگ.

به‌منظور درک بیشتر، شماتیک روش استخراج ویژگی برای تصویر بازه n ام در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. مقدار n از ۱ تا ۳ تغییر می‌کند.



شکل ۲-۵: روند نمای تشکیل بردار ویژگی مربوط به ضرایب کرولت

¹ Coarse Layer

بدین ترتیب طبق روند نمای شکل ۲-۵ برای تصاویر هر سه بازه، یک بردار ویژگی تشکیل و با کنار هم قرار دادن بردارهای این سه تصویر، یک بردار ویژگی بزرگتر تشکیل می‌شود که حاوی اطلاعات مربوط به تبدیل کرولت شکل امضا می‌باشد.

همانطور که در بخش (۲-۲-۱) توضیح داده شد، قسمت دوم استخراج ویژگی، ویژگی‌های مربوط به نحوه به دست گرفتن قلم توسط فرد امضاکننده است. بدین منظور از مفهومی به نام تصویر انرژی حرکتی^۱ (*MEI*) استفاده شده است. این تصویر مشخصه‌ای است که میزان تحرک یک جسم در یک بازه مشخص را تعیین می‌کند [۹، ۱۰، ۱۱] 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. نحوه به دست آوردن این تصویر توسط رابطه (۲-۱) مشخص می‌شود.

$$G = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T F_k \quad (1-2)$$

که در این رابطه T تعداد فریم‌ها، F_k تصویر سطح خاکستری^۲ دست فرد امضاکننده و G تصویر انرژی حرکتی است. برای به دست آوردن F_k ، کافی است ماسک پیش‌زمینه را در تصویر خاکستری مربوط به هر فریم ضرب کرده تا این تصویر به دست آید. به منظور استفاده از *MEI*، تعداد فریم‌ها به سه قسمت تقسیم شده و در هر سه قسمت به‌طور جداگانه این تصویر محاسبه می‌شود. در نهایت هر سه تصویر *MEI* به دست آمده به صورت بردار ستونی تبدیل و با پشت سرهم قرار دادن این بردارها، بردار ویژگی مربوط به قسمت نحوه به دست گرفتن قلم، به دست می‌آید.

¹ Motion Energy Image

² Gray Scale Image

در نهایت بردار ویژگی کلی، حاصل دو بردار ویژگی به دست آمده مربوط به بخش کرولت و بخش نحوه به دست گرفتن قلم خواهد بود. این بردار دارای ابعاد بسیاری بزرگی است. بدین منظور برای کاهش ویژگی از روش (آنالیز مؤلفه‌های اساسی) PCA [۱۲] استفاده می‌شود.

۲-۲-۱-۴- تشکیل مدل امضای هر فرد و شناسایی امضا

در گام چهارم مدل امضای یک فرد بر اساس بردارهای ویژگی به دست آمده از ویدئوهای آموزشی همان فرد، به دست می‌آید. این مدل شامل دو پارامتر است. اولین پارامتر میانگین بردارهای آموزشی و دومین پارامتر یک آستانه است که ضریبی از مقدار فاصله دورترین بردار آموزشی از بردار میانگین است. بدین ترتیب امضای هر فرد با دو پارامتر مدل می‌شود. برای تصدیق و تائید امضای یک فرد ورودی کافی است بردار ویژگی امضای آن با مدل فرد مورد ادعا (فرد اصلی) مقایسه شود. اگر فاصله بردار ویژگی آن از بردار میانگین، کمتر از مقدار آستانه باشد، امضای این فرد، امضای اصلی و در غیر این صورت امضای جعلی معرفی می‌شود. بدین ترتیب امضای اصلی و جعلی از هم تمییز داده می‌شوند.

۲-۲-۲- روش دوم

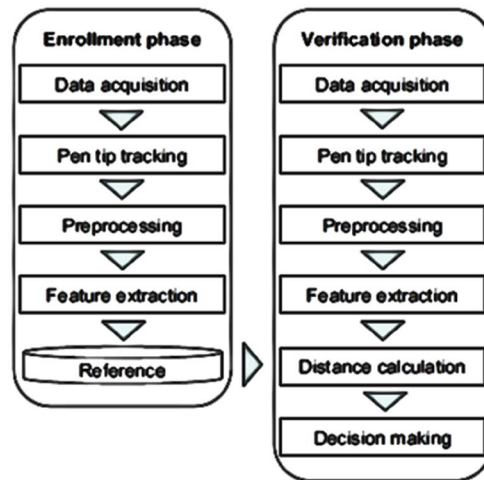
روش دوم برای تشخیص برخط امضا با استفاده از ویدئو، ردیابی نوک قلم توسط روش مونت کارلو^۲ برای شناسایی امضای اصلی و جعلی است [۱]. روند کلی این روش در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. این روش دارای دو فاز کاری می‌باشد: فاز ثبت امضا یا آموزش^۳ و فاز تصدیق امضا^۴.

¹ *Principal Component Analysis*

² *Monte Carlo*

³ *Enrollment phase*

⁴ *Verification Phase*



شکل ۲-۶: روند نمای روش ارائه شده برای تصدیق امضا [۱]

طبق این روند نما در فاز اول تعدادی نمونه امضا از یک فرد گرفته می شود و با ردیابی نوک قلم و تشکیل امضا، تعدادی ویژگی از امضاهای آن فرد استخراج شده و به عنوان ویژگی های مرجع معرفی می شود. در فاز دوم و به منظور تصدیق امضا، امضای فرد مدعی توسط دوربین ضبط شده و پس از اجرای مراحل ردیابی نوک قلم و استخراج ویژگی، توسط یک روش خاص بردار ویژگی امضای فرد مدعی با بردار ویژگی مرجع مقایسه می شود تا جعلی یا اصلی بودن امضای فرد مدعی مشخص شود. همچنین در این مقاله هفت موقعیت مختلف برای قرارگیری دوربین برای ثبت ویدئوی امضا بررسی شده است و بهترین موقعیت بر اساس میزان دقت تشخیص، نمای سمت چپ دست به دست آمده است.

همانطور که گفته شد گام اول در روند این مقاله، ردیابی نوک قلم توسط روش مونت کارلو [۱۳] می باشد. روش مونت کارلو یک روش ردیابی است که بر اساس مدل احتمالاتی بیزین^۱ کار می کند و حالت فعلی را بر اساس حالت قبلی تعیین می کند. در این روش ابتدا یک سری ذرات که کاندیدهای حالت فعلی هستند توسط یک مدل ریاضی احتمالاتی تولید می شوند و در گام بعد احتمال پسین این ذرات بر اساس

^۱ Bayesian

میزان احتمال^۱ تعیین می‌شود. حالت فعلی برابر با امید ریاضی ذرات وزن‌دار شده است. وزن ذرات همان احتمال پسین به دست آمده می‌باشد.

در این مقاله فرض بر این است که حالت موردنظر (مختصات نوک قلم) در زمان قبلی مشخص است. این موقعیت در فریم اول باید توسط کاربر تعیین شود.

برای یافتن حالت فعلی، همانطور که گفته شد باید یک مدل ریاضی احتمالاتی برای تعیین حالات کاندید در فریم فعلی طراحی شود. این مدل برای ردیابی نوک قلم در رابطه (۲-۲) نشان داده شده است.

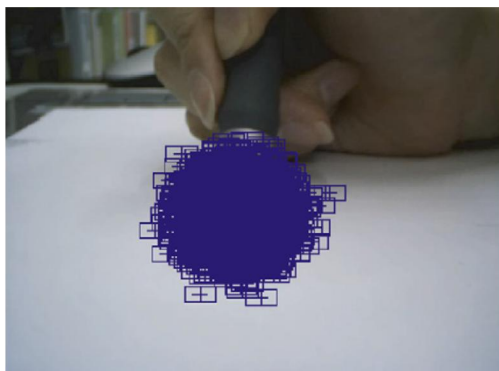
$$X_t = X_{t-1} + (X_{t-1} - X_{t-2}) + \omega_t \quad (2-2)$$

$$\omega_t \sim N(0, \delta)$$

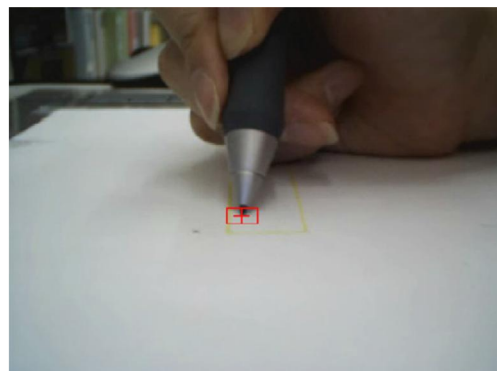
که در این رابطه X_t حالت فعلی، X_{t-1} حالت قبلی و ω_t توزیع احتمالاتی ذرات را نشان می‌دهد که در این مورد یک توزیع گاوسی با میانگین صفر و انحراف معیار δ می‌باشد.

به‌طور مثال موقعیت فعلی نوک قلم در یک فریم در شکل ۲-۷ الف با علامت + قرمز رنگ نشان داده شده است. همچنین ذرات تشکیل شده بر اساس مدل رابطه (۲-۲) در شکل ۲-۷ ب با علامت + آبی رنگ مشخص شده‌اند.

¹ Likelihood



(ب)



(الف)

شکل ۲-۷. موقعیت ذرات. (الف): موقعیت نوک قلم در یک فریم نمونه. (ب): ذرات پخش شده اطراف نوک قلم [۱]

این ذرات به عنوان کاندید در نظر گرفته شده و احتمال پسین آنها بر اساس تشابه بردار ویژگی آنها و بردار ویژگی ذره صحیح در فریم قبلی محاسبه می شود. برای به دست آوردن بردار ویژگی هر ذره در این مقاله ابتدا یک مستطیل با ابعاد ثابت اطراف هر ذره در نظر گرفته می شود و سپس شدت روشنایی پیکسل های این مستطیل که به بردار ستونی تبدیل شده اند، به عنوان بردار ویژگی هر ذره در نظر گرفته می شود. در نهایت حالت فعلی بر اساس معیار شباهت و امید ریاضی تعیین و نوک قلم در هر فریم مشخص می شود تا دنباله ای از موقعیت نوک قلم در تمام فریم ها تشکیل شود.

پس از یافتن نوک قلم در هر فریم نوبت به استخراج ویژگی از امضای فرد بر اساس نقاط این دنباله می رسد. این ویژگی ها شامل دنباله مؤلفه x نوک قلم، دنباله مؤلفه y نوک قلم، دنباله سرعت حرکت نوک قلم و دنباله جهت حرکت نوک قلم است. البته از دو دنباله x و y به طور مستقیم به عنوان ویژگی استفاده نمی شود بلکه در هر دنباله از فاصله مقادیر x و y از میانگین آنها به عنوان ویژگی استفاده می شود.

پس از استخراج چهار ویژگی از ویدئوهای آموزشی هر فرد، یک بردار میانگین و یک آستانه برای

آن فرد تعیین می‌شود. بردار ویژگی فرد مدعی با بردار میانگین مقایسه می‌شود. منظور از مقایسه در این مقاله، فاصله بین این دو بردار است و اگر این فاصله از مقدار آستانه کمتر باشد امضای فرد مدعی اصلی و در غیر این صورت جعلی است.

۲-۲-۳- روش سوم

روش دیگری که در آن هدف تشخیص امضا با استفاده از اطلاعات موجود در ویدئوی امضای افراد است، در [۹] ارائه شده است. 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 قلم در فریم‌های بعدی، نقاط اطراف نوک قلم در فریم قبلی کاندید شده و یک مستطیل ROI^1 اطراف آنها در نظر گرفته می‌شود. میزان همبستگی پیکسل‌های این مستطیل با مستطیل ROI نوک قلم در فریم قبلی محاسبه شده و مرکز مستطیلی که بیشترین همبستگی را داشته باشد، به‌عنوان نوک قلم در فریم بعدی 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^۲ امضا است. این ویژگی توسط یک روش تطبیق منحنی بر اساس DPM^3 [۱۴] با منحنی امضای دیگر مقایسه می‌شود. نحوه تطبیق دو منحنی دوبعدی توسط DPM و تشخیص اصلی یا جعلی بودن امضا به‌طور مفصل در [۹] توضیح داده شده است.

¹ Region of Interest

² Curve

³ Dynamic Programming Matching

۲-۳- روش مبتنی بر تبلت فشاری

روش‌های زیادی در زمینه^۱ استفاده از تبلت‌های فشاری برای تشخیص امضا ارائه شده است که ما در این قسمت به‌طور مختصر به معرفی تعدادی از این روش‌ها می‌پردازیم.

یک روش که با استفاده از تبلت فشاری انجام شده است، در [۱۵] ارائه شده است. ویژگی‌های مورد استفاده در این روش، ویژگی‌هایی همچون سرعت حرکت قلم بین دو نقطه فشار، زمان بین برداشتن و گذاشتن قلم بر روی تبلت، زاویه حرکت قلم و میزان فشار در نقاط مختلف است. در این مقاله امضاهای گرفته‌شده از ۱۳۰ نفر، با استفاده از یک شبکه عصبی چندلایه آموزش داده شده و در نهایت امضاهای افراد مدعی توسط شبکه عصبی آموزش داده‌شده بازشناسی می‌شود.

در یکی دیگر از روش‌های مبتنی بر تبلت که در [۱۶] ارائه شده است، از یک سری ویژگی‌های پویا به منظور تشخیص امضا استفاده شده است. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از:

۱- مشتق دنباله مختصات X (مختصات افقی) نقاط امضا.

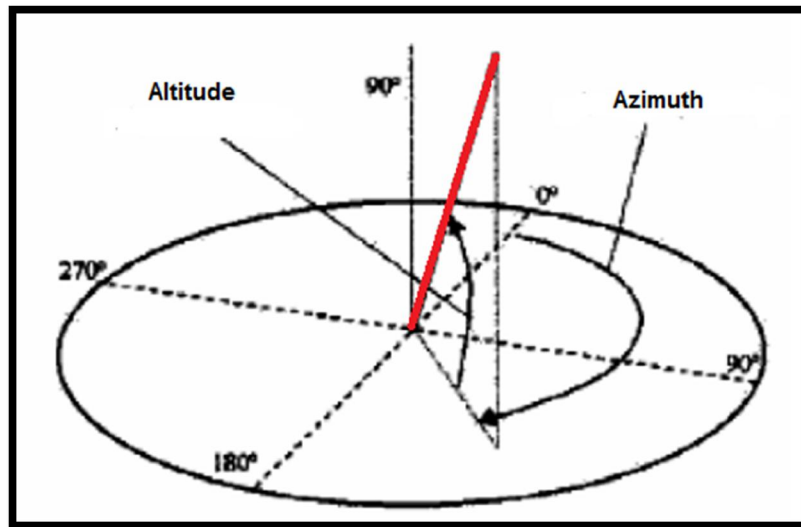
۲- مشتق دنباله مختصات y (مختصات عمودی) نقاط امضا.

۳- مشتق دنباله میزان فشار نقاط امضا.

۴- مشتق دنباله زاویه سطحی^۱ و ارتفاعی^۲ قلم با سطح تبلت. این زوایا در شکل ۲-۸ نمایش داده شده است.

۵- دنباله سرعت حرکت نقاط نوک امضا.

¹ Azimuth



شکل ۲-۸ تصویر قلم و صفحه محل امضا. در این شکل خط قرمز رنگ راستای قلم را نشان می‌دهد [۱۶]

پس از استخراج ویژگی از داده‌های آموزشی، یک سیستم تصدیق امضا بر اساس الگوریتم *DTW* طراحی می‌شود که جزئیات آن در مقاله موردنظر توضیح داده شده است.

در بخش ۲-۲ سه روش مختلف برای تصدیق بر خط امضا با استفاده از ویدئو معرفی شد. پس از جمع‌بندی این سه روش و روش‌های دیگر می‌توان به دو نکته اشاره کرد. نکته اول این است که همه روش‌های قبل وابسته به کاربر می‌باشند. در حقیقت در روش‌های قبلی تصدیق امضا که مبتنی بر تصاویر ویدئویی هستند، به منظور پردازش ویدئوی فرد امضاکننده، می‌بایست لحظه آغاز و پایان عمل امضا توسط کاربر تعیین شود و این کار، سیستم را از حالت خودکار یا اتوماتیک خارج می‌کند.

نکته دیگری که می‌توان به آن توجه نمود این است که الگوریتم تصدیق امضا در اغلب این روش‌ها، مبتنی بر ردیابی نوک قلم و استخراج ویژگی از دنباله نوک قلم است. وابستگی اغلب ویژگی‌ها به دنباله نوک قلم ممکن است سیستم را دچار خطا کند. چون وجود خطایی کوچک در دنباله نقاط نوک قلم،

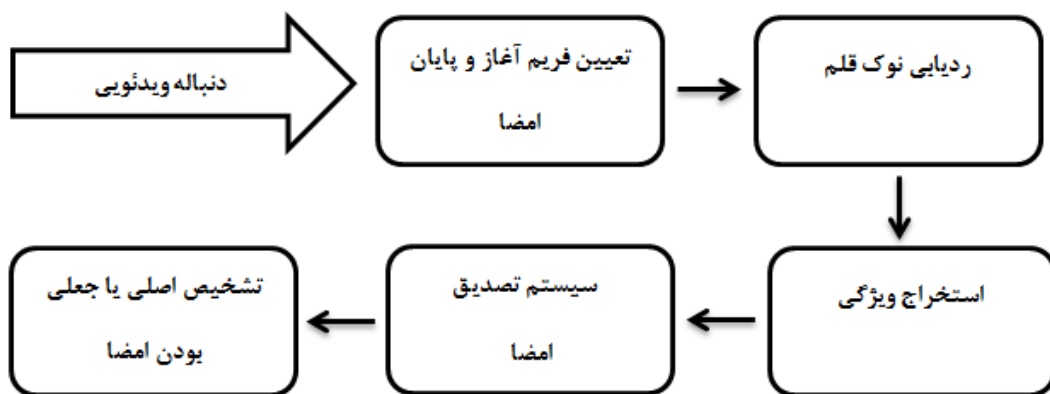
ویژگی‌های مدنظر را دچار خطا کرده و عملکرد سیستم تصدیق را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

به همین منظور در این پایان‌نامه اقدام به ارائه الگوریتمی خواهیم نمود که اولاً به طور خودکار و مستقل از کاربر، کار پردازش ویدئوی امضای ورودی را انجام دهد. به عبارتی لحظه آغاز و پایان امضا کاملاً به طور خودکار تعیین شود. ثانیاً ویژگی‌های مورد استفاده در طراحی سیستم تصدیق امضا فقط به ویژگی‌های دنباله نوک قلم وابسته نباشد. بلکه از ویژگی‌های پویای دیگری استفاده شود تا بتوان حساسیت عملکرد سیستم را نسبت به نحوه تعیین نوک قلم کمتر نمود.

۳. فصل سوم روش پیشنهادی

۳-۱- مقدمه

همانطور که گفته شد در این پایان نامه هدف شناسایی امضا با استفاده از ویدئو و تشخیص اصلی یا جعلی بودن امضا یک فرد می باشد. روش پیشنهادی برای این کار، شامل چندین مرحله می شود که در روندنمای شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: روند نمای روش پیشنهادی

همانطور که از این روند نما مشخص است، در این روش ابتدا توسط یک الگوریتم خاص فریم شروع و پایان امضا تعیین می شود. در مرحله بعد نوک قلم در دنباله ویدئویی ردیابی می شود تا دنباله مختصات نقاط نوک قلم تشکیل شود. سپس یک سری ویژگی های پویا و ایستا از ویدئوی امضای فرد استخراج می شود تا نماینده امضای فرد باشد. در نهایت با طراحی یک سیستم شناسایی با استفاده از داده های آموزشی، اصلی یا جعلی بودن امضای ورودی تعیین می شود. در ادامه به طور مفصل به بررسی و توضیح هر یک از بخش های این روند نما می پردازیم.

از نوآوری‌های روش پیشنهادی می‌توان به تعیین فریم آغاز و پایان اشاره نمود که باعث مستقل شدن سیستم از کاربر می‌شود؛ در صورتی که در روش‌های قبل به دلیل عدم وجود این مرحله، سیستم تصدیق امضا حالت نیمه خودکار به خود می‌گرفت. از نوآوری‌های دیگر روش پیشنهادی می‌توان به استفاده همزمان از ویژگی‌های پویا و ایستای مختلف اشاره کرد. در این پایان‌نامه همه ویژگی‌ها مبتنی بر دنباله نوک قلم نیستند، بلکه ویژگی‌های دیگری وجود دارد که میزان عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد. از نوآوری‌های دیگر روش پیشنهادی ارائه الگوریتمی برای تشخیص چپ‌دست یا راست‌دستی است که می‌تواند به‌به عنوان یک معیار اولیه برای اصلی یا جعلی بودن امضا مورد استفاده قرار گیرد.

به منظور ارائه روش پیشنهادی برای تصدیق امضا با استفاده از ویدئو، فرض‌هایی را در نظر می‌گیریم و بخش‌های مختلف روش پیشنهادی را مبتنی بر این فرضیات توضیح خواهیم داد. اولین فرض در روش پیشنهادی این است که ویدئوهای ضبط‌شده از امضای هر فرد از نمای روبه‌رو است. فرض دوم این است که پس‌زمینه محل امضا یک صفحه سفیدرنگ است و فرد با شنیدن دستور شروع امضا، فقط یک دست خود را وارد صحنه کرده و پس از انجام عمل امضا دست خود را از صحنه خارج می‌کند. همچنین فرد در حین امضا هیچ عمل اضافه دیگری انجام نمی‌دهد. فرض سوم این است که حداقل محدوده مچ دست تا نوک انگشتان دست فرد برهنه باشد. به عبارتی فرد با دستکش امضا نکند؛ ولی وجود انگشتر، ساعت و یا هر شیء دیگری مانعی ندارد. همچنین ساعد فرد می‌تواند آزاد و یا پوشانده‌شده با لباس باشد.

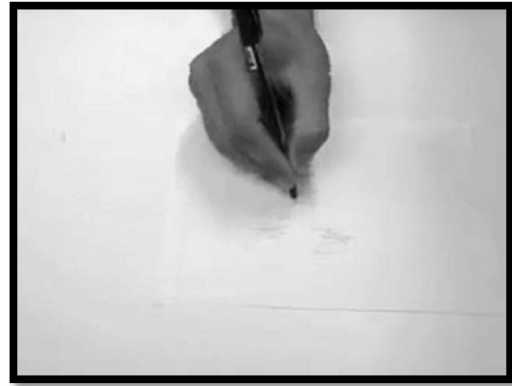
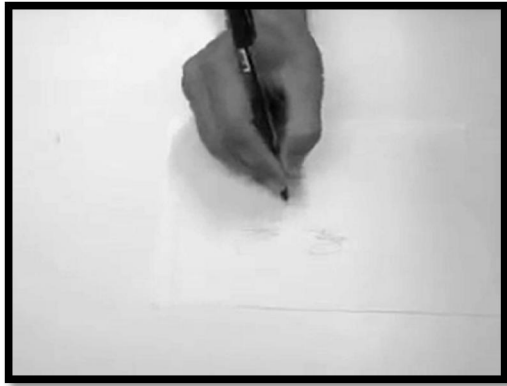
۳-۲- شناسایی فریم آغاز و پایان امضا

اولین پارامتر در بررسی دنباله ویدئویی امضای یک فرد، تشخیص فریم آغاز و پایان عمل امضای آن شخص است زیرا در ویدئوی امضای یک فرد، اعمال انجام شده قبل و بعد از عمل امضا از در روند سیستم تصدیق امضا بی اهمیت هستند. در این الگوریتم فرض بر این است که از فرد امضاکننده درخواست می شود که دستش را از هر جهت و با هر سرعت دلخواه وارد محل امضا کند و پس از انجام امضا، دستش را از صفحه خارج کند. به منظور تشخیص فریم آغاز و پایان امضا از نمودار سرعت حرکت دست استفاده می شود.

۳-۲-۱- تعیین نمودار سرعت حرکت دست

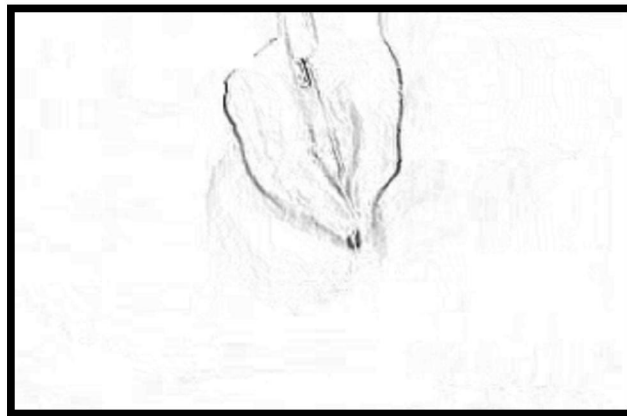
به منظور شناسایی فریم آغازین و انتهایی عمل امضا، از اطلاعات مربوط به سرعت حرکت دست استفاده می کنیم. دلیل استفاده از معیار سرعت در تشخیص این دو فریم این است که در لحظه آغاز و پایان عمل امضا سرعت حرکت دست به میزان حداقل می رسد. بدین منظور ابتدا باید سرعت حرکت دست را در هر فریم محاسبه کنیم. برای به دست آوردن سرعت تقریبی حرکت دست در یک فریم از روش تفاضل فریم ها استفاده می کنیم. در روش تفاضل فریم ها، مقدار پیکسل در تصویر خروجی برابر است با قدر مطلق تفاضل مقادیر پیکسل های متناظر در دو فریم متوالی. منظور از فریم های متوالی، تصاویر سطح خاکستری دو فریم متوالی است. این تصویر یک معیار نسبتاً خوب در مورد میزان سرعت حرکت دست در یک فریم در اختیار قرار خواهد داد؛ به طوری که در لحظه هایی که دست حرکتی نداشته است، میانگین مقادیر پیکسل های تصویر تفاضل مقداری کوچک خواهد بود و در مقابل در لحظه هایی که دست حرکت شدیدی داشته است، مقدار میانگین عدد بزرگتری خواهد بود؛ بنابراین میزان میانگین مقادیر پیکسل های تصویر تفاضل در هر فریم را به عنوان معیاری برای سنجش سرعت دست تعریف می کنیم.

شکل ۲-۳ الف و ب تصاویر دو فریم متوالی از ویدئوی امضای یک فرد نمونه و شکل ۲-۳ ج تصویر تفاضل این دو فریم متوالی را نشان می‌دهد.



ب

الف

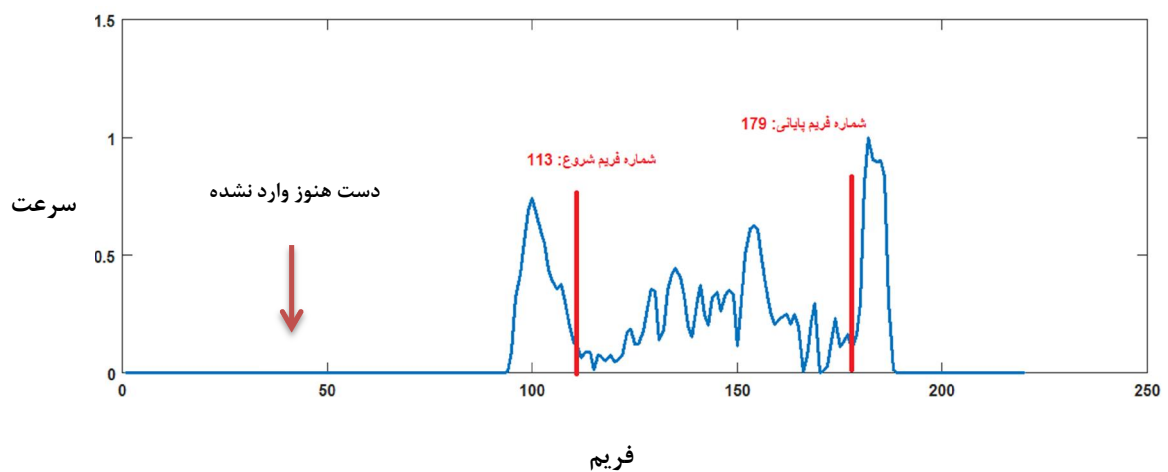


ج

شکل ۲-۳: تشکیل تصویر تفاضل. (الف) و (ب): دو فریم متوالی. (ج): تصویر تفاضل دو فریم متوالی

در شکل ۲-۳ ج پیکسل‌های تیره‌تر، نشان‌دهنده مقادیر بزرگتر و پیکسل‌های روشن‌تر نشان‌دهنده مقادیر کوچکتر هستند.

مفهومی که ما را به سمت یافتن نقاط ابتدا و انتهای عمل امضا هدایت می‌کند، نمودار سرعت حرکت دست می‌باشد. به‌طور مثال نمودار سرعت حرکت دست یک فرد در یک دنباله ویدئویی به همراه نقاط آغاز و پایان در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. مقادیر سرعت برای این نمودار بین ۰ تا ۱ نرمال شده‌اند. این نقاط آغاز و پایان که در شکل ۳-۳ مشخص شده است، نقاط آغاز و پایان واقعی امضا هستند که به‌طور بصری و با مشاهده ویدئو توسط یک فرد، مشخص شده‌اند.



شکل ۳-۳: نمودار سرعت حرکت دست هنگام امضا

۳-۲-۲- تشخیص فریم آغاز و پایان

ویژگی‌ای در نقاط آغاز و پایان وجود دارد که این دو نقطه را از دیگر نقاط تمییز می‌دهد. این ویژگی این است که در حقیقت این دونقطه محل توقف لحظه‌ای برای دست فرد امضاکننده است. به عبارتی سرعت حرکت دست در این دونقطه دارای کمترین مقادیر خواهد بود. چون هنگامی که دستور امضا کردن به یک فرد داده می‌شود، آن شخص دست خود را با یک سرعت نسبتاً زیاد وارد صحنه می‌کند و پس از یک توقف کوتاه، شروع به امضا کردن می‌کند. به همین ترتیب هنگامی که عمل امضای شخص به اتمام می‌رسد، پس از یک توقف کوتاه، دست از صحنه خارج می‌شود؛ بنابراین برای شناسایی محل شروع و پایان امضا کافی

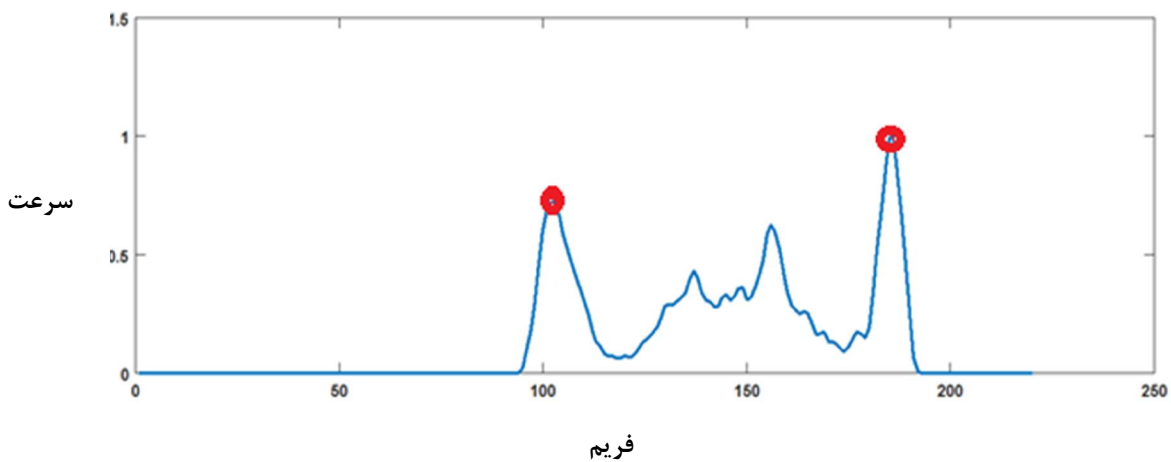
است این دو محل توقف را شناسایی کنیم.

همانطور که در شکل ۳-۳ مشخص است، نمودار سرعت حرکت دست، حالت نویز گونه و ناهموار دارد. برای رفع نویز و هموارسازی این نمودار از فیلتر میانگین گیر لغزان^۱ (MV) با طول پنجره w_m استفاده می‌کنیم. این فیلتر در رابطه (۱-۳) بیان شده است.

$$h_i^s = \sum_{k=i-w_m}^{i+w_m} h_k \quad (1-3)$$

در رابطه (۱-۳) ضرایب سیگنال ناهموار h_k ضرایب سیگنال هموار شده است. مقدار w_m را ۵ در نظر می‌گیریم.

سیگنال هموار شده نمودار شکل ۳-۳ در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.

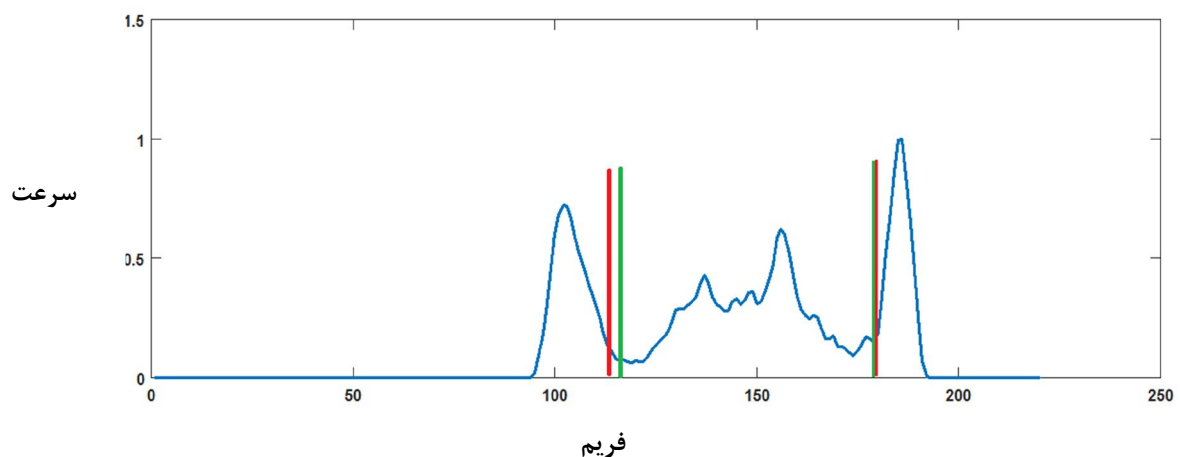


شکل ۴-۳ : نمودار هموار شده شکل ۳-۳

میزان سرعت حرکت دست در دو نقطه آغاز و پایان مقادیری کوچک هستند. در حقیقت این دو نقطه را می‌توان جزو نقاط مینیمم محلی نمودار سرعت حرکت دست در نظر گرفت. ویژگی دیگری که می‌توان برای این دو نقطه در نظر گرفت این است که این دو نقطه دقیقاً اولین و آخرین نقاط مینیممی

^۱ Moving Average

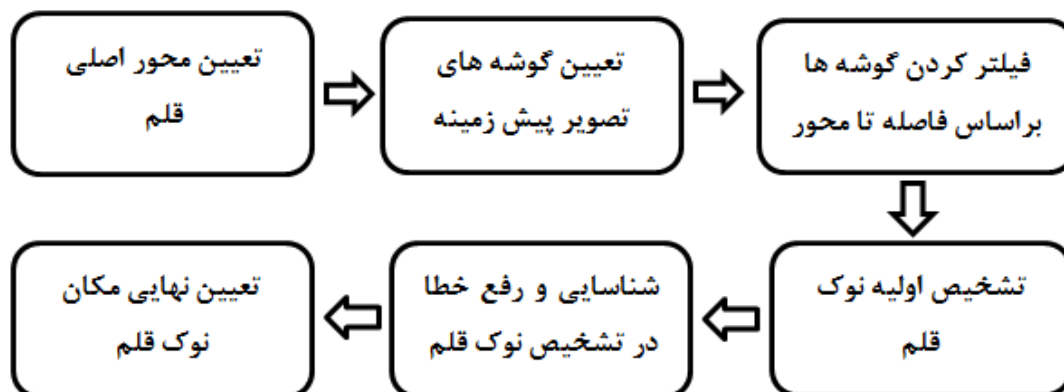
هستند که بین دو قله ابتدایی و انتهایی قرار گرفته‌اند. دو قله ابتدا و انتهایی در نمودار سرعت به دلیل ورود و خروج ناگهانی دست شخص امضاکننده به صحنه می‌باشد. این دو قله در شکل ۳-۴ با دایره نشان داده شده‌اند. برای شناسایی دو قله ابتدا و انتها، کافی است که اولین و آخرین نقاط **ماکزیمم** محلی نمودار سرعت را شناسایی کنیم. بنابراین نقاط آغاز و پایان امضا در حقیقت اولین و آخرین نقاط مینیمم بین دو قله ابتدا و انتهای نمودار سرعت هستند. محل آغاز و پایان به دست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی ما بارنگ سبز و محل واقعی این دونقطه با رنگ قرمز در شکل ۳-۵ مشخص شده‌اند.



شکل ۳-۵ موقعیت فریم آغاز و پایان امضا در حالت واقعی (خطوط قرمز) و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی (خطوط سبز رنگ)

۳-۳- یافتن نوک قلم

هدف از یافتن نوک قلم ردیابی آن و به دست آوردن دنباله نقاط امضا می‌باشد. الگوریتم مورد نظر برای یافتن نوک قلم در روند نمای شکل ۳-۶ مشخص شده است.



شکل ۳-۶: روند نمای روش پیشنهادی برای یافتن نوک قلم

۳-۳-۱- یافتن محور اصلی قلم

در این پایان نامه فرض بر این است که قلم فرد امضاکننده، هر قلم دلخواهی می تواند باشد. روش کلی برای یافتن محور اصلی قلم، بر پایه تبدیل هاف می باشد. روش پیشنهادی برای تعیین محور اصلی شامل چند مرحله می شود.

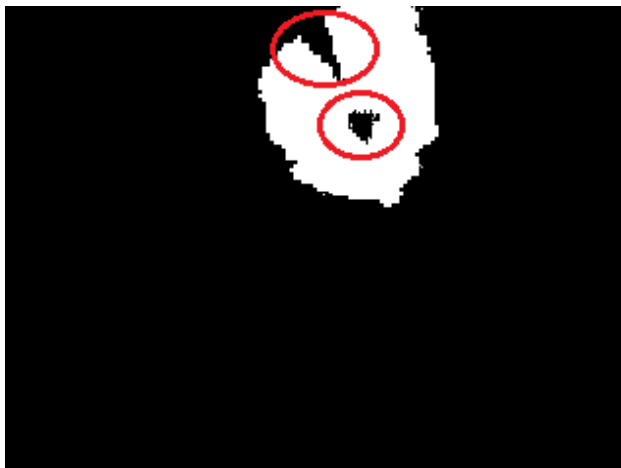
در گام اول ناحیه پوست دست فرد امضاکننده را به دست می آوریم. همانطور که در شکل ۳-۷ مشخص است، رنگ پیکسل های پوست دست با تقریب مناسبی شبیه به یکدیگر هستند.



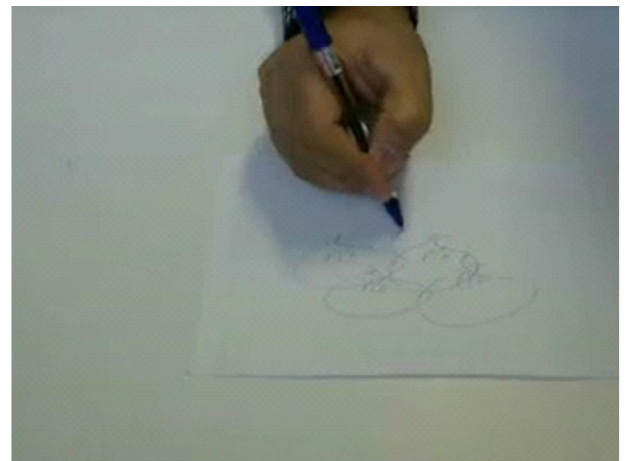
شکل ۳-۷ نمای دست به همراه قلم

بنابراین برای یافتن پیکسل‌های پوست دست کافی است از یک آستانه برای مقادیر کانال H تصویر هر فریم استفاده کنیم. به عبارتی اگر مقدار این کانال برای پیکسلی از آستانه T_h کوچکتر باشد، پیکسل متعلق به قسمت پوست دست است. تصویر باینری آستانه گذاری شده برای تصویر شکل ۸-۳ الف در شکل ۸-۳ ب نشان داده شده است.

قسمت‌های سیاه‌رنگ موجود در دایره‌های قرمز رنگ تصویر شکل ۸-۳ ب مربوط به وجود قلم در تصویر



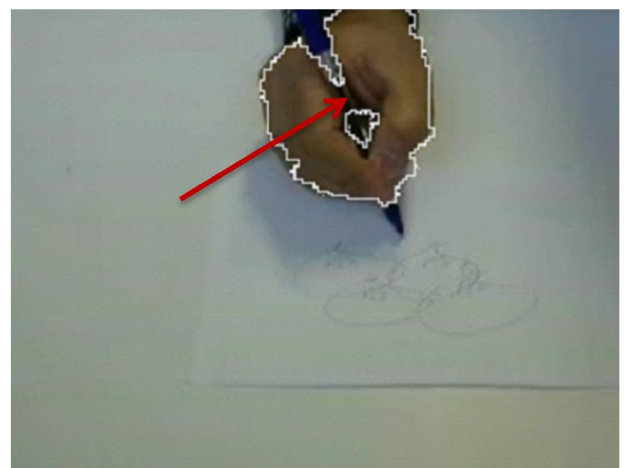
ب



الف



ت



پ

شکل ۸-۳. استخراج پوست دست. (الف): تصویر یک فریم نمونه. (ب): تصویر باینری پوست دست. (پ): مرز پوست دست. (ت): تصویر

باینری مربوط به ناحیه قلم موجود در دست فرد امضاکننده

دست است که به دلیل بزرگتر بودن مقدار H این پیکسل‌ها از مقدار آستانه، به‌عنوان پوست دست استخراج نشده‌اند؛ اما ممکن است این سؤال پیش آید که چرا مقدار پیکسل‌های تصویر باینری در برخی نواحی دیگر از قلم، ۱ می‌باشد؟ به طور مثال ناحیه‌ای که در شکل ۳-۸ پ با فلش قرمز مشخص شده است، مربوط به پیکسل‌های قلم است، ولی به‌عنوان پیکسل‌های پوست دست در نظر گرفته شده است. در پاسخ به این سؤال می‌توان گفت که اولاً به دلیل شیشه‌ای بودن بدنه این قلم ممکن است رنگ پوست دست بر رنگ قلم غالب شده باشد و این پیکسل‌ها به‌عنوان پوست دست در نظر گرفته شده باشند و ثانیاً امکان دارد که آستانه در نظر گرفته‌شده خیلی دقیق انتخاب نشده باشد.

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 ۳-۸ ب می‌باشد. برای این کار از تصویر باینری پوست دست که در مرحله قبل به دست آمد، استفاده می‌کنیم.

بدین منظور ابتدا عملگر بستن^۱ با المان ساختاری^۲ 20×20 را بر روی تصویر باینری پوست دست اعمال کرده تا حفره‌های سیاه‌رنگ پر شوند و سپس تصویر باینری حاصل را از تصویر باینری پوست دست کم می‌کنیم. این روند در رابطه (۳-۲) بیان شده است.

$$BW_{cls} = BW \cdot SE \quad (2-3)$$

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

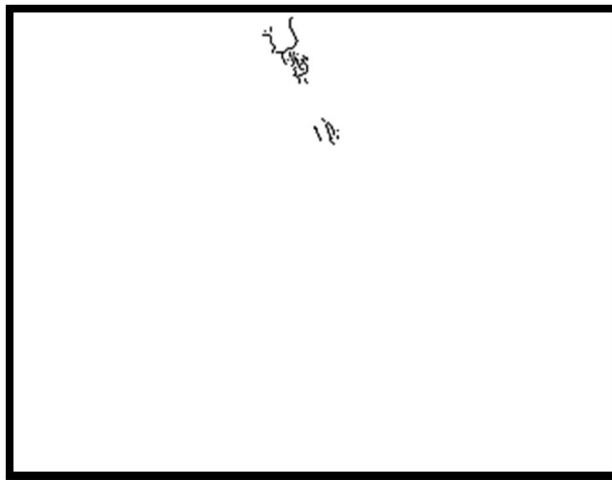
در این رابطه BW تصویر باینری پوست دست، BW_{cls} تصویر باینری حاصل از عملگر بستن، SE المان ساختاری و BW_{pen} تصویر باینری‌ای است که در آن برخی پیکسل‌های مربوط به قلم استخراج شده‌اند.

¹ Closing

² Structure Element

نتیجه اعمال رابطه (۲-۳) بر روی تصویر شکل ۸-۳ ب در شکل ۸-۳ ت نشان داده شده است. بدین ترتیب برخی نواحی قلم، تعیین می‌شود. همین نواحی اندک کافی است که در ادامه بتوانیم محور اصلی قلم را تشکیل دهیم.

در مرحله سوم یافتن محور اصلی قلم، ابتدا تصویر باینری مربوط به ناحیه قلم به دست آمده در مرحله دوم را توسط عملگر گسترش^۱ و المان ساختاری 3×3 بزرگتر می‌کنیم. سپس تصویر مقیاس خاکستری را در تصویر باینری گسترش یافته ضرب کرده و لبه‌های موجود در تصویر ضرب شده را توسط لبه یاب سوبل^۲ مشخص می‌کنیم. لبه‌های تصویر ضرب شده، در شکل ۹-۳ مشخص شده است. این تصویر حاصل اعمال لبه یاب سوبل بر روی تصویر حاصل از ضرب تصویر ۸-۳ ت در تصویر مقیاس خاکستری شکل ۸-۳ الف می‌باشد.



شکل ۹-۳: لبه‌های موجود در ناحیه قلم

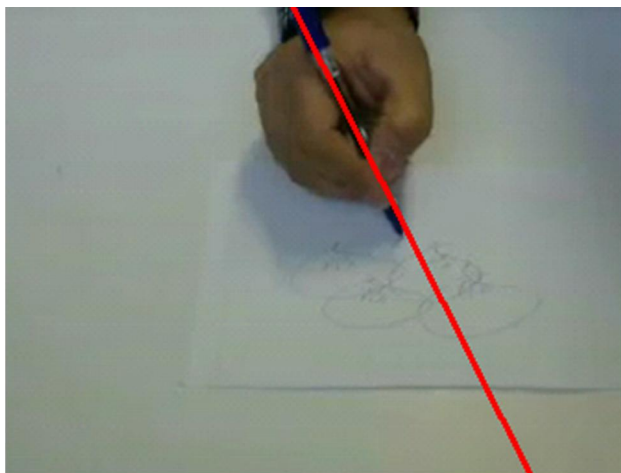
¹ Dilation

² Sobel

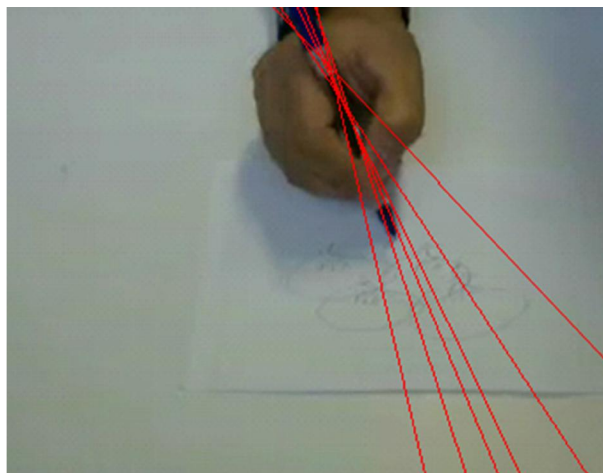
پس از یافتن لبه‌ها و باینری کردن تصویر لبه توسط آستانه T_{edge} ، با استفاده از تبدیل هاف [۱۷] خطوط را به دست می‌آوریم. در تبدیل هاف هر خط با دو پارامتر شعاعی (ρ) و پارامتر زاویه (θ) مدل می‌شود. هنگامی که می‌خواهیم خطوط را با استفاده از تبدیل هاف در یک تصویر جستجو کنیم، ابتدا برای دو پارامتر فوق، مقادیری را به‌عنوان کاندید در نظر می‌گیریم. سپس بر اساس این مقادیر کاندیدی، ماتریسی که در آن تمام ترکیب‌های این دو پارامتر وجود دارد را تشکیل داده و درنهایت به هر درایه از این ماتریس بر اساس پیکسل‌های غیر صفر موجود در تصویر باینری لبه، رأی داده می‌شود.

برای یافتن خطوط غالب موجود در تصویر باینری لبه، درایه‌هایی از ماتریس هاف که بیشترین رأی را کسب کرده باشند، به‌عنوان پارامترهای خطوط غالب معرفی می‌کنیم. ما در این پایان‌نامه ۶ خطی که بیشترین رأی را آورده باشند را به‌عنوان خطوط غالب در نظر می‌گیریم. به عبارتی ۶ زوج مرتب تشکیل می‌شود که در هر زوج مرتب، پارامتر ρ و θ خطوط غالب مشخص می‌باشد. به طور مثال ۶ خط غالب به دست آمده با استفاده از اعمال تبدیل هاف بر روی تصویر شکل ۳-۹، با رنگ قرمز در شکل ۳-۱۰ الف نشان داده شده است.

از این ۶ زوج مرتب یا ۶ خط غالب برای یافتن محور اصلی قلم استفاده می‌کنیم. به عبارتی پارامتر ρ محور اصلی قلم را میانگین مقادیر این پارامتر برای ۶ خط غالب و همچنین پارامتر θ محور اصلی را میانگین مقادیر این پارامتر برای ۶ خط غالب در نظر می‌گیریم. بدین ترتیب دو پارامتر محور اصلی قلم مشخص می‌شود و در نتیجه خط محور اصلی تعیین می‌شود. محور اصلی قلم به دست آمده برای تصویر شکل ۳-۸ الف در شکل ۳-۱۰ ب نشان داده شده است.



ب



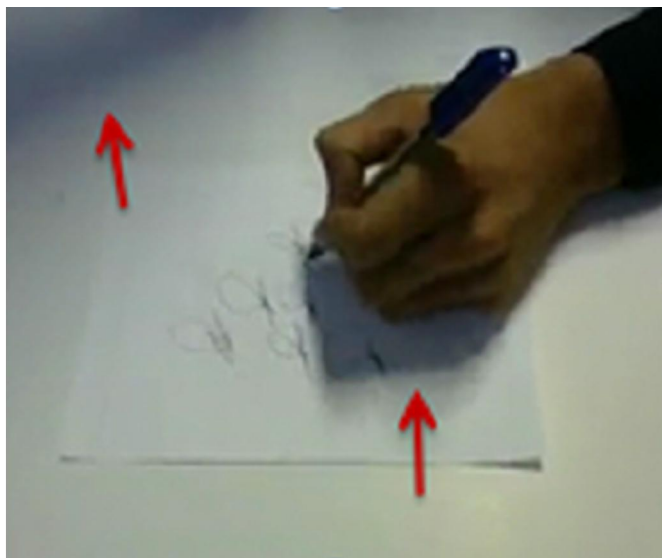
الف

شکل ۳-۱۰ : نتیجه اعمال تبدیل هاف. الف: ۶ خط غالب یافت شده با تبدیل هاف. ب: محور اصلی قلم

همانطور که در شکل ۳-۱۰ ب مشخص است، محور اصلی قلم با دقت بالایی تشخیص داده می‌شود. در ادامه از این محور اصلی برای یافتن نوک قلم استفاده می‌کنیم.

۳-۳-۲- تعیین گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه

در ابتدای این بخش به تعریف تصویر پیش‌زمینه می‌پردازیم. در کاربردهای پردازش تصویر، پیش‌زمینه در حقیقت قسمتی از تصویر است که عملیات پردازش بر روی پیکسل‌های آن به‌منظور دستیابی به یک هدف انجام می‌شود. به‌منظور جداسازی پیش‌زمینه از پس‌زمینه با توجه به نوع کاربرد و شرایط تصویر، روش‌های مختلفی ارائه شده است. در این پایان‌نامه، فرض بر این است که تصویر هر فریم، شامل یک پس‌زمینه سفیدرنگ به همراه دست و خودکار فرد امضاکننده است. نمونه‌ای از این تصویر در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱: فریمی نمونه از یک ویدئو

اولین راه‌حلی که برای جداسازی پیش‌زمینه از پس‌زمینه به نظر می‌رسد، استفاده از ویژگی‌های شدت روشنایی رنگ سفید پس‌زمینه است. چون رنگ سفید دارای بیشترین شدت روشنایی است و با یک آستانه گذاری می‌توان این قسمت را از سایر بخش‌ها جدا نمود؛ اما مشکلی که در این راه‌حل وجود دارد، نادیده گرفتن سایه به‌عنوان پس‌زمینه است. چون سایه همانند دست فرد، دارای شدت روشنایی کمتری نسبت به رنگ سفید است و ممکن است با پیش‌زمینه تلفیق شود. وجود سایه در شکل ۳-۱۱ کاملاً مشهود است.

برای جلوگیری از این مشکل، برای جداسازی پیش‌زمینه به‌جای استفاده از تصویر شدت روشنایی، از تصویر خلوص^۱ استفاده می‌کنیم. میزان خلوص رنگ سفید و پیکسل‌های سایه هر دو مقادیر کوچکی هستند و در مقابل، میزان خلوص پیکسل‌های دست فرد امضاکننده مقادیر بزرگتری نسبت به این دو ناحیه هستند. تصویر خلوص متناظر با شکل ۳-۱۱ در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است.

^۱ Saturation



شکل ۱۲-۳ تصویر خلوص شکل ۱۱-۳

بنابراین از این ویژگی مشترک بین پیکسل‌های سایه و رنگ سفید کاغذ استفاده می‌شود تا بتوان پس‌زمینه را از پیش‌زمینه جدا نمود. بدین منظور کافی است از یک آستانه برای میزان خلوص پیکسل‌های هر قاب استفاده کنیم. برای تعیین این آستانه از روش اتسو^۱ استفاده می‌کنیم. با توجه به این آستانه پیکسل‌هایی که مقدار خلوصشان بیشتر از آستانه باشند به‌عنوان پیکسل‌های پیش‌زمینه در نظر گرفته می‌شود و پیکسل‌های پیش‌زمینه از پس‌زمینه جدا خواهند شد و یک تصویر باینری (ماسک) تولید می‌شود که در آن پیکسل‌های پیش‌زمینه دارای مقدار ۱ و پیکسل‌های پس‌زمینه دارای مقدار صفر خواهند بود. این ماسک در شکل ۱۳-۳ نشان داده شده است.

^۱ Otsu Method



شکل ۳-۱۳: تصویر باینری پیش‌زمینه

هدف اصلی از یافتن پیش‌زمینه تشخیص نوک قلم است. چون نوک قلم یکی از گوشه‌های موجود در تصویر خاکستری پیش‌زمینه است که دارای یک سری مشخصات خاص است. به‌منظور یافتن نوک قلم ابتدا ناحیه پیش‌زمینه را توسط عملگر گسترش با المان ساختاری مربع با اندازه 3×3 افزایش داده و این ماسک جدید را در تصویر خاکستری ضرب می‌کنیم.

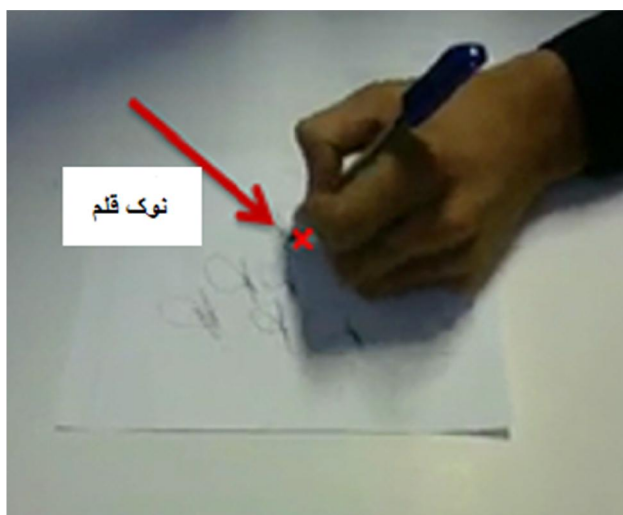
در گام بعد گوشه‌های موجود در این تصویر را توسط الگوریتم گوشه یابی هریس به دست می‌آوریم. گوشه‌های مربوط به تصویر ضرب شده، در شکل ۳-۱۴ توسط ستاره‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند.

همان‌طور که در شکل ۳-۱۴ مشخص است نوک قلم یکی از این گوشه‌هاست؛ بنابراین کافی است این گوشه‌ها را توسط یکسری ویژگی‌های خاص فیلتر کنیم تا نوک قلم از آن استخراج شود.



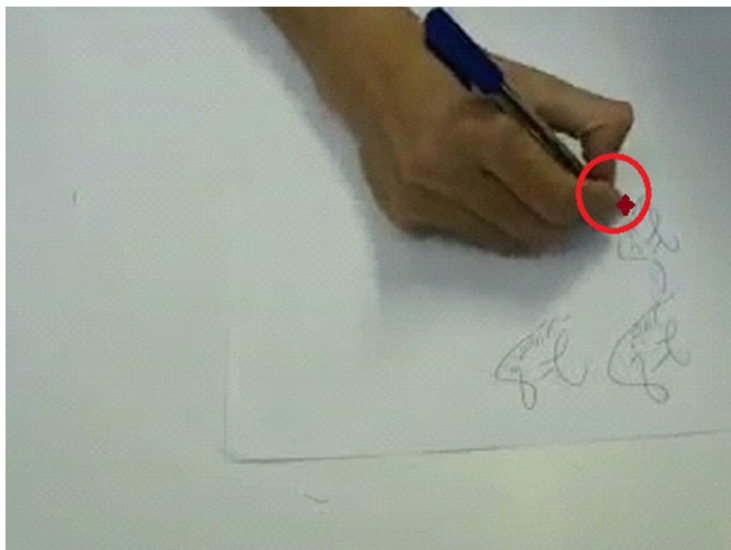
شکل ۳-۱۴: گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه. نقاط گوشه با ستاره‌های قرمز نشان داده شده‌اند.

برای فیلتر کردن گوشه‌ها ابتدا گوشه‌هایی که فاصله آنها تا محور اصلی قلم از یک آستانه Td کمتر است را جدا می‌کنیم و سپس از بین این نقاط جداشده، گوشه یا نقطه‌ای که پایین‌ترین γ (مختصات عمودی) را دارد به‌عنوان نوک قلم در نظر می‌گیریم. نقطه نوک قلم حاصل از این فیلترسازی در **Error!** *Reference source not found.* نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۵: نقطه نوک قلم

یکی از مسائلی که روند شناسایی نوک قلم را دچار مشکل می‌کند این است که امکان دارد فرد امضاکننده به‌گونه‌ای قلم را در دست بگیرد که نوک قلم از دید دوربین پنهان بماند. به عبارتی نوک قلم توسط انگشتان دست پوشیده می‌شود. نمونه‌ای از این مشکل در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است. برای حل این مشکل، ابتدا هدف از یافتن نوک قلم را یادآوری می‌کنیم. هدف از یافتن نوک قلم ردیابی آن و درنهایت تشکیل دنباله و شکل امضا است. از آنجایی که در یک ویدئوی امضا، نوک قلم و نواحی نزدیک آن به یک صورت حرکت می‌کنند، نیاز نیست که الزاماً فقط نوک قلم را برای یافتن شکل امضا ردیابی کنیم. به عبارتی برای یافتن دنباله و شکل امضا می‌توان نقاط نزدیک نوک قلم مثل محل گرفتن قلم توسط انگشتان را به‌عنوان مرجع ردیابی در نظر بگیریم و این نقطه را ردیابی کنیم. به‌عنوان مثال این نقطه می‌تواند یکی از گوشه‌های موجود در داخل دایره قرمز رنگ شکل ۳-۱۶ باشد.



شکل ۳-۱۶: تصویر ناحیه‌ای از دست که الگوی حرکت نقاط این ناحیه شبیه نوک قلم است. ستاره قرمز رنگ

نقطه‌ای از انگشت سبابه را نشان می‌دهد.

ظاهر نبودن نوک قلم، روند یافتن نوک قلم که در قسمت قبل توضیح داده شد را دچار مشکل نمی‌کند. چون همانطور که توضیح داده شد، به‌منظور یافتن نوک قلم ابتدا محور اصلی را تعیین و سپس گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه را مشخص می‌کنیم. پس از فیلترسازی این گوشه‌ها، گوشه‌ای که پایین‌ترین مختصات را داشته باشد به‌عنوان نوک قلم در نظر می‌گیریم. حال اگر به‌عنوان مثال به ستاره قرمز رنگ مشخص شده در شکل ۳-۱۶ (انگشت سبابه) دقت شود، مشاهده خواهیم کرد که این نقطه نیز یک گوشه است و از فیلتر فاصله که در قسمت قبل توضیح داده شده بود، عبور می‌کند و در نهایت به‌عنوان پایین‌ترین گوشه و مرجع ردیابی معرفی می‌شود. بدین ترتیب انگشت سبابه به‌عنوان نوک قلم مجازی تشخیص داده شده و به‌عنوان مرجع ردیابی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳-۳- شناسایی و رفع خطا در تشخیص نوک قلم

در قسمت قبل روشی نسبتاً دقیق برای یافتن نوک قلم ارائه کردیم. در این روش ابتدا محور اصلی قلم مشخص شد. در گام بعد با استفاده از الگوریتم گوشه‌یابی هریس، گوشه‌های تصویر پیش‌زمینه استخراج و پس از فیلترسازی این گوشه‌ها نوک قلم مشخص شد. هر گونه خطا در قسمت‌های مختلف این الگوریتم ممکن است باعث شناسایی اشتباه نوک قلم شود.

به‌عنوان مثال اگر به هر دلیلی ناحیه مربوط به قلم که در بخش (۳-۳-۱) توضیح داده شد به درستی استخراج نشود، استخراج لبه‌های اشتباه در این ناحیه باعث ایجاد خطا در شناسایی محور اصلی قلم می‌شود و به‌تبع آن نوک قلم به‌طور صحیح ردیابی نخواهد شد. همچنین ممکن است به دلیل تفاوت در کیفیت فریم‌ها، الگوریتم هریس دچار خطا شود و نوک قلم را به‌عنوان گوشه شناسایی نکند؛ بنابراین باید الگوریتمی طراحی شود که در ادامه الگوریتم قبل، روند شناسایی را اصلاح نماید.

به‌منظور تصحیح خطا، از دو روش مختلف به صورت متوالی استفاده می‌کنیم. در روش اول، تصحیح خطا

با استفاده از الگوریتم فیلتر ذره‌ای^۱ و در روش دوم با استفاده از الگوریتم *K-Means* انجام می‌شود.

در ادامه، دلیل استفاده از دو روش تصحیح خطا به صورت متوالی را توضیح خواهیم داد و به بررسی هر یک از این دو روش خواهیم پرداخت.

۳-۳-۱- تصحیح خطا با استفاده از الگوریتم فیلتر ذره‌ای

رفع خطا از دنباله نقاط نوک قلم با استفاده از الگوریتم فیلتر ذره‌ای، شامل دو مرحله شناسایی خطا و رفع خطا می‌شود که در ادامه به بررسی این دو مرحله می‌پردازیم.

۳-۳-۱-۱- شناسایی خطا

روند کلی شناسایی فریم‌های اشتباه به این شکل است که در هر فریم ویژگی‌هایی را از قلم و نوک قلم ردیابی شده در بخش ۳-۳، استخراج می‌کنیم و در گام بعد با استفاده از الگوریتم *K-Means* و این ویژگی‌ها، فریم‌های صحیح و اشتباه را مشخص می‌کنیم. ویژگی‌های موردنظر در این قسمت عبارت‌اند از زاویه محور اصلی قلم نسبت به محور افقی و ویژگی‌های ناحیه اطراف نوک قلم.

ناحیه اطراف نوک قلم را پیکسل‌های داخل یک دایره به مرکز نوک قلم و به شعاع *Rcc* در نظر می‌گیریم. این ناحیه برای یک فریم نمونه در شکل ۳-۱۷ الف نشان داده شده است. از ناحیه داخلی دایره شکل ۳-۱۷ الف، فقط از پیکسل‌هایی برای استخراج ویژگی استفاده می‌کنیم که مربوط به تصویر پیش‌زمینه هستند. این ناحیه در شکل ۳-۱۷ ب مشخص است.

^۱ Particle Filter



(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۷ : تصویر ناحیه اطراف نوک قلم (الف): ناحیه دایره‌ای اطراف نوک قلم. (ب): بخش پیش‌زمینه از پیکسل‌های قسمت دایره‌ای

از این ناحیه در هر فریم ۴ ویژگی استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از: میانگین مقادیر هر یک از کانال‌های *HSV* و میانگین شدت لبه برای این ناحیه؛ بنابراین ویژگی‌هایی که برای تشخیص خط با استفاده از *K-Means* مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل ۴ ویژگی مربوط به ناحیه دایره‌ای و زاویه محور اصلی قلم نسبت به سطح افقی می‌شود.

الگوریتم *K-Means* این ویژگی‌ها را به دو خوشه تقسیم می‌کند. حال می‌خواهیم خوشه‌ای که مشخص‌کننده فریم‌های صحیح است را مشخص کنیم. بدین منظور خوشه‌ای که مجموع آرایه‌های قطر اصلی ماتریس کوواریانس^۱ آن کوچکتر باشد به‌عنوان خوشه صحیح در نظر می‌گیریم؛ زیرا قطر اصلی این ماتریس معیاری از میزان پراکندگی و واریانس هر یک از ویژگی‌ها است و برای خوشه صحیح مجموع این مقادیر کمتر از خوشه ناصحیح است. نحوه به دست آوردن ماتریس کوواریانس در رابطه (۳-۳) نشان داده شده است.

¹ Within Class Matrix

$$\mu_k = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} Z_j^{(k)} \quad k = 1, 2 \quad (3-3)$$

$$\Sigma_k = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} (Z_j^{(k)} - \mu_k)(Z_j^{(k)} - \mu_k)^T$$

که در این رابطه $Z_j^{(k)}$ بردار مختصات نقاط خوشه k ام، N_k تعداد اعضای خوشه k ام، μ_k میانگین خوشه k ام و Σ_k ماتریس کوواریانس خوشه k ام می‌باشند.

بدین ترتیب خوشه حاوی نوک قلم‌های صحیح و اشتباه مشخص می‌شود.

۳-۳-۱-۲- رفع خطا با استفاده از فیلتر ذره‌ای

در ادامه شناسایی خطا، باید به تصحیح مکان نوک قلم در فریم‌هایی که در خوشه ناصحیح قرار گرفته‌اند پردازیم. برای این کار از الگوریتم فیلتر ذره‌ای [۱۸] استفاده می‌کنیم. از فیلتر ذره‌ای برای ردیابی و تخمین یک هدف در یک دنباله ویدئویی استفاده می‌شود. ولی ما در این پروژه از این فیلتر برای اصلاح موقعیت نوک قلم در فریم‌های اشتباه استفاده می‌کنیم. در روش فیلتر ذره‌ای از مدل احتمالاتی بیزین و احتمال پسین محاسبه‌شده توسط این مدل برای هر ذره استفاده می‌شود. به عبارتی ابتدا با استفاده از یک احتمال یکسان، ذرات را اطراف یک فرض اولیه پخش می‌کنیم. هر ذره یک حالت^۱ دارد و به هر ذره بر اساس مدل احتمالاتی بیزین و مشاهداتی^۲ که از آن دیده می‌شود، یک احتمال پسین یا وزن تعلق می‌گیرد. در نهایت بر اساس مجموعه ذرات وزن‌دار شده، حالت موردنظر تعیین می‌شود. در این بخش همانطور که گفته شد، منظور از وزن ذرات همان احتمال پسین محاسبه‌شده ذرات توسط مدل بیزین می‌باشد.

¹ State

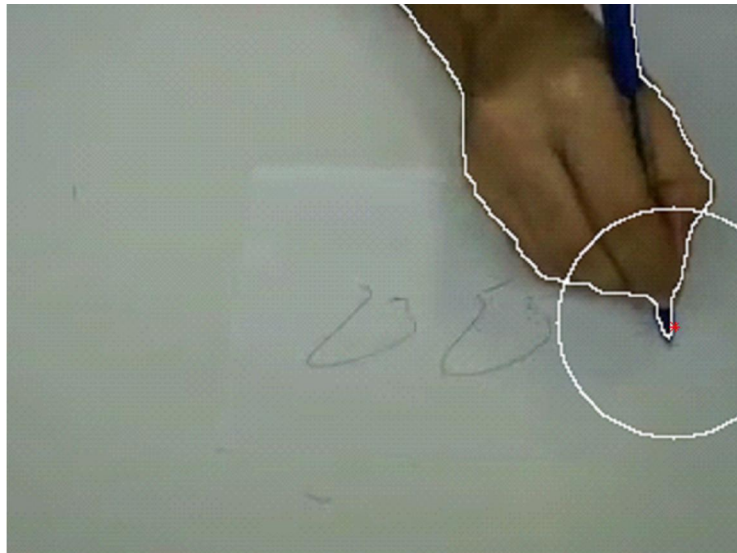
² Observation

نحوه استفاده از این فیلتر در این پایان نامه بدین صورت است که ما به دنبال یافتن نوک قلم در فریم k ام هستیم با این فرض که نوک قلم در فریم $k-I$ ام به درستی تشخیص داده شده است (صحت یا عدم صحت مختصات نوک قلم در هر فریم توسط الگوریتم $K-Means$ در بخش (۳-۳-۱-۱) مشخص شده است). اولین کاری که در استفاده از این فیلتر باید انجام شود این است که به هر ذره یک حالت نسبت دهیم. منظور از حالت یک ذره در حقیقت پارامترهایی است که در یک فریم به دنبال آن هستیم. در این نوع استفاده ما از این روش، حالت هر ذره را موقعیت مکانی آن ذره تعریف می کنیم. به عبارتی هر ذره دارای یک بردار دوبعدی حالت $S=(x,y)$ است که مختصات آن را مشخص می کند.

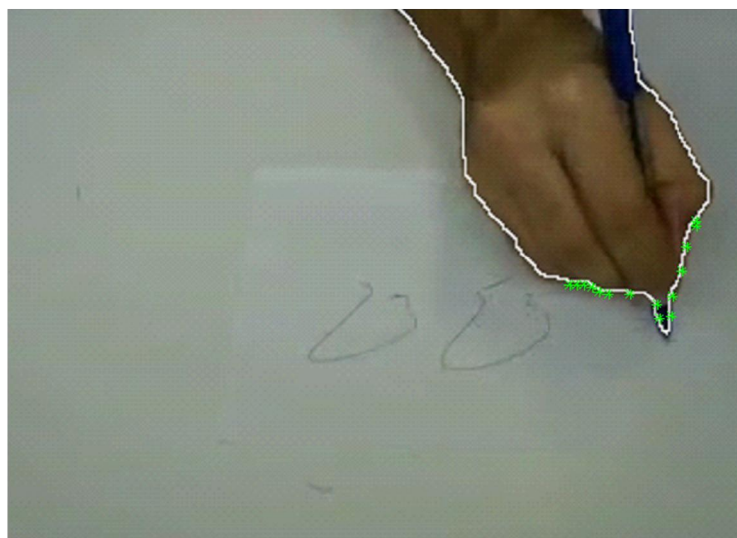
برای یافتن حالت صحیح در فریم K ام، باید با استفاده از یک احتمال اولیه یکسان، تعداد N_{prt} ذره اطراف نوک قلم در فریم $k-I$ ام پخش کنیم. S_k^n و S_{k-I} به ترتیب حالت ذره n ام در فریم K ام و حالت صحیح نوک قلم در فریم $k-I$ ام است.

نکته ای که در اینجا باید مورد توجه قرار گیرد این است که همان طور که در فریم نمونه شکل ۳-۱۸ الف مشخص است، نوک قلم در هر فریم یکی از نقاط موجود در پیکسل های مرزی تصویر پیش زمینه است؛ بنابراین برای تسریع در عملکرد یافتن نوک قلم صحیح، به جای پخش کردن ذرات اطراف نوک قلم در فریم $k-I$ ام (منظور از اطراف نوک قلم به طور مثال دایره ای به مرکز نوک قلم و یک شعاع یکسان است) ذرات را بر روی پیکسل های مرزی تصویر باینری پیش زمینه پخش می کنیم. علاوه بر این باید فاصله این ذرات (حالات) تا موقعیت نوک قلم موجود در فریم $k-I$ ام، از مقدار T_r کمتر باشد. دلیل این تغییر توزیع ذرات این است که ما به طور قطع می دانیم انتهای قلم جز یکی از پیکسل های مرزی تصویر پیش زمینه است. این نوع پخش کردن ذرات، یک نوع نوآوری و تغییر در الگوریتم فیلتر ذره ای است که باعث دقت بیشتری در روند تصحیح خطا می شود.

این ذرات به طور مثال برای فریم نمونه شکل ۱۸-۳ الف در شکل ۱۸-۳ ب نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۸-۳: توزیع ذرات در فیلتر ذره‌ای الف: مرز تصویر پیش‌زمینه و دایره محدودکننده موقعیت ذرات در فیلتر

ذره‌ای. ب: ذرات سبزرنگ مربوط به فیلتر ذره‌ای

همانطور که در شکل ۱۸-۳ الف مشاهده می‌شود ستاره قرمز رنگ، موقعیت نوک قلم در فریم ماقبل را نشان می‌دهد. همچنین دایره سفید رنگ موجود در این شکل، محدوده موقعیت ذرات توزیع شده را مشخص می‌کند. این ذرات که با احتمال یکسان بر روی پیکسل‌های مرزی توزیع شده‌اند، در شکل

۱۸-۳ ب با ستاره‌های سبزرنگ نشان داده شده‌اند.

پس از توزیع ذرات در فضای دوبعدی، نوبت به وزن دهی این ذرات می‌رسد. وزن هر ذره با توجه با مشاهداتی که از آن ذره وجود دارد تعیین می‌شود. به عبارتی برای هر ذره یک بردار ویژگی تعریف می‌شود و بر اساس این بردار، میزان وزن هر ذره مشخص می‌شود.

این بردار ویژگی توسط هیستوگرام رنگی پیکسل‌های ناحیه دایره‌ای اطراف هر ذره تعیین می‌شود. برای تعیین هیستوگرام رنگی این ناحیه، از دستگاه HSV استفاده می‌کنیم. تعداد سطوح برای تهیه هیستوگرام کانال‌های S, H و V را به ترتیب ۱۶ و ۱۶ و ۴ سطح در نظر می‌گیریم. علت تفاوت و کم بودن سطوح کانال V (شدت روشنایی) نسبت به کانال‌های دیگر این است که قصد داریم اثر تغییر شدت روشنایی را به دلیل سایه و یا نور محیط حذف کنیم.

شاخصی که وزن هر ذره را تعیین می‌کند میزان شباهت بردار ویژگی آن ذره و بردار ویژگی ذره صحیح در فریم قبلی است. ما در این قسمت معیار شباهت دو بردار را همبستگی بین دو بردار ویژگی تعریف می‌کنیم؛ یعنی دو بردار ویژگی را به صورت دو سیگنال با طول یکسان در نظر می‌گیریم و همبستگی بین آنها را محاسبه می‌کنیم و بر اساس آن، وزن هر ذره را تعیین می‌کنیم. این موضوع در رابطه (۳-۴) نشان داده شده است.

$$w_k^n = \text{corr}(v_n, v_{\text{ref}}) \quad (۳-۴)$$

در این رابطه w_k^n وزن ذره n ام در فریم K ام، v_n بردار ویژگی ذره n ام، v_{ref} بردار ویژگی مرجع (مربوط به ذره صحیح در فریم $k-I$) و $\text{corr}(v_n, v_{\text{ref}})$ همبستگی بین دو بردار را نشان می‌دهد.

مجموع وزن‌های تمام ذرات باید برابر با ۱ باشد (حالت نرمال)؛ بنابراین ذرات طبق رابطه (۳-۵)

نرمال می‌شوند.

$$w_{k \text{ nrm}}^n = \frac{w_k^n}{\sum_{i=1}^N w_k^i} \quad (5-3)$$

در نهایت با استفاده از این مجموعه وزن دار شده حالت تخمین زده شده برای نوک قلم در فریم k ام (فریم فعلی) را طبق رابطه (3-6) تعیین می کنیم.

$$S_{\text{est}}^k = \sum_{i=1}^N w_{k \text{ nrm}}^n \cdot S_K^n \quad (6-3)$$

که در این رابطه S_{est}^k موقعیت نوک قلم در فریم فعلی را مشخص می کند و این گونه مکان دقیق نوک قلم در این فریم تصحیح می شود. در حقیقت موقعیت نوک قلم برابر با میانگین وزن دار شده حالات ذرات است.

اگر به عنوان نمونه به ذرات پخش شده در شکل 3-18 ب دقت کنیم متوجه خواهیم شد که ممکن است در مجموعه ذرات که به طور تصادفی با میانگین یکسان بر روی پیکسل های مرزی پخش می شوند، ذره ای که نماینده نوک قلم است موجود نباشد و در تخمین موقعیت نوک قلم تا حدی دچار مشکل شویم. برای رفع این مشکل از یک مفهوم دیگری در مباحث فیلتر ذرات به نام نمونه برداری مجدد¹ استفاده می کنیم. به عبارتی پس از وزن دار کردن تمام ذرات بر اساس بردار ویژگی آنها، دوباره ذرات جدیدی با همان شرایط قبلی تولید می کنیم. با این تفاوت که این بار ذرات با احتمال یکسان بر روی پیکسل های مرزی پخش نمی شوند، بلکه احتمال توزیع ذرات بر اساس وزن به دست آمده در قسمت قبل تعیین می شود. به عبارتی توزیع احتمال جدید (رابطه (3-7)) برابر است با مجموع توابع گاوسی به مرکز ذرات و یک واریانس ثابت که دامنه این گاوسی بر اساس وزن این ذرات تعیین می شود.

$$P_{\text{Res}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{prt}}} w_{k \text{ nrm}}^n \cdot \text{Gaussian}(S_K^i, \delta_{\text{Res}}) \quad (7-3)$$

¹ Re-sampling

در این رابطه P_{Res} احتمال جدید، S_K^i ذره i ام و همچنین مرکز تابع گاوسی i ام، δ_{Res} واریانس ثابت برای همه توابع گاوسی و Gaussian یک تابع گاوسی دومتغیره می‌باشد.

ذرات در مرحله نمونه‌برداری مجدد، طبق احتمال جدید توزیع شده و در نهایت تخمین دقیق‌تری از نوک قلم در فریم فعلی به دست خواهد آمد.

سؤال دیگری که ممکن است پیش آید این است که اگر فریم‌های آغازین در خوشه ناصحیح (بخش ۳-۳-۱-۱) قرار گرفته باشند چگونه باید خطای آنها را رفع کرد. چون فریم‌های ماقبل این فریم‌ها وجود ندارد و بنابراین نقطه مرجع صحیحی در فریم ماقبل برای تصحیح خطا با استفاده از روش فیلتر ذره‌ای موجود نیست. در پاسخ به این مشکل باید گفت که اگر فریم آغازین دچار خطا شده باشد، باید از موقعیت نوک قلم در فریم بعد به‌عنوان مرجع در فیلتر ذره‌ای استفاده نمود.

۳-۳-۲- تصحیح دوباره خطا با استفاده از روش K-Means

تا اینجا روشی برای ردیابی نوک قلم و تصحیح آن با استفاده از فیلتر ذره‌ای ارائه دادیم. هرچند روش فیلتر ذره‌ای دارای دقت بالایی در تصحیح خطا دارد، ولی گاهی نمی‌تواند موقعیت نوک قلم را به‌طور صحیح به ما برگرداند. همانطور که در بخش (۳-۳-۱-۲) بیان شد، فیلتر ذره‌ای، با این فرض کار می‌کند که فریم ماقبل فریم فعلی که دچار خطا شده است، فریمی با موقعیت نوک قلم صحیح است. درحالی‌که ممکن است فریم ماقبل نیز، خود، فریمی با نوک قلم اشتباه باشد و الگوریتم *K-Means* در بخش (۳-۳-۱-۱) این فریم را به‌عنوان فریم صحیح در نظر گرفته باشد. بدین ترتیب تمام فریم‌های بعدی نیز دچار اشتباه شده و این موضوع روند تصحیح خطا توسط فیلتر ذرات را دچار مشکل می‌کند.

برای رفع این مشکل، از الگوریتم *K-Means* با یک کاربرد دیگر استفاده می‌کنیم. روند کلی برای تصحیح خطا توسط این روش بدین صورت است که در دنباله نقاط نوک قلم، برای مختصات هر چند نقطه متوالی در این دنباله، الگوریتم *K-Means* را اعمال کرده و خوشه‌ای که حاوی داده‌های خطا است را شناسایی و تصحیح می‌کنیم. نحوه شناسایی و تصحیح نقاط خطا در ادامه توضیح داده خواهد شد.

قدم اول در این روش این است که تعیین کنیم چه تعداد نقطه متوالی را به‌عنوان یک مجموعه در نظر بگیریم تا بتوانیم الگوریتم *K-Means* را بر روی این مجموعه‌ها اعمال کنیم. برای این کار از روش نمونه‌برداری غیریکنواخت^۱ (*NUS*) استفاده می‌کنیم. در حقیقت به ازای هر نقطه تعداد n_i نقطه بعد از آن را به‌عنوان یک مجموعه مستقل در نظر می‌گیریم. این مجموعه نقاط را با A_i نشان می‌دهیم. (رابطه (۸-۳))

$$A_i = \{P_k\} \quad , \quad k = i, \dots, i + n_i \quad (8-3)$$

که در این رابطه P_k ، مختصات نوک قلم در فریم k ام است.

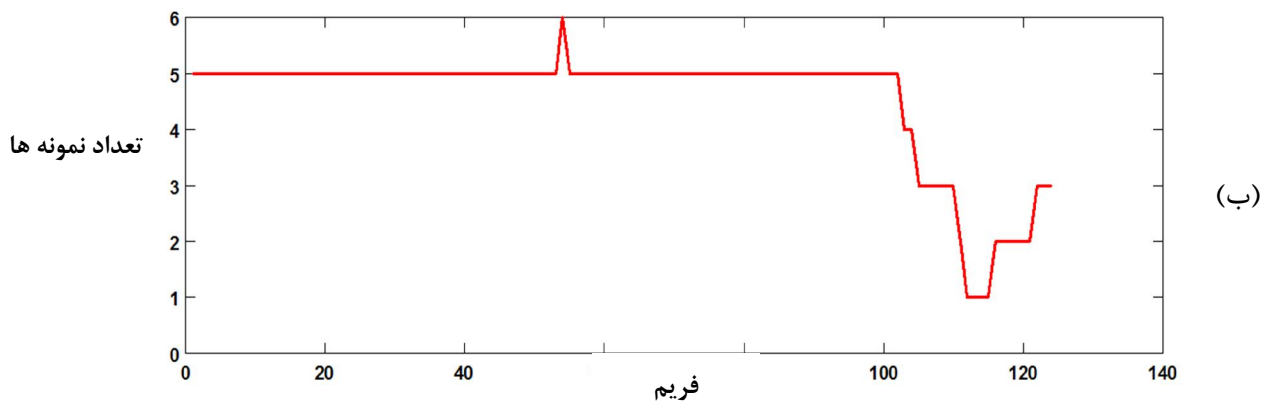
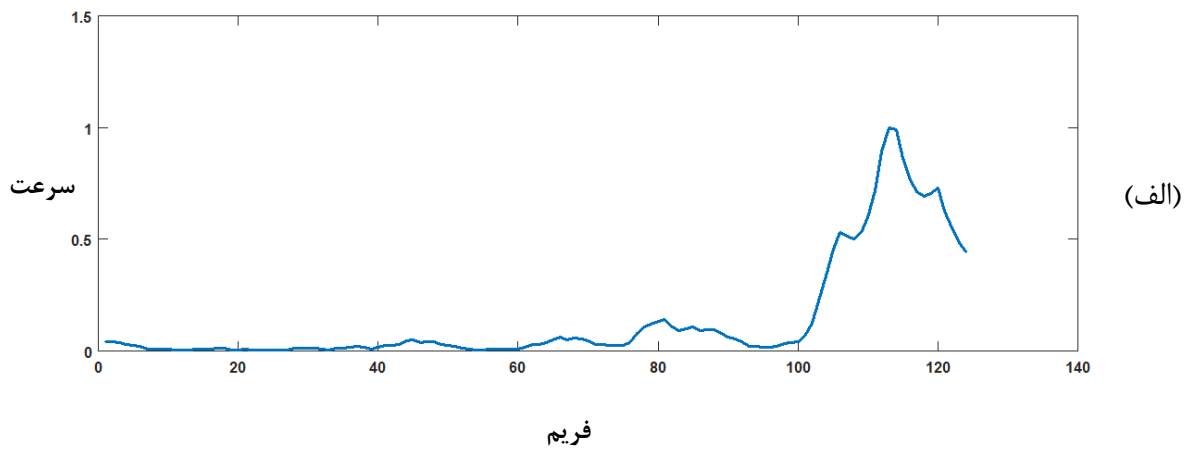
همانطور که گفته شد، برای تمامی نقاط دنباله اصلی یکسان نیست. بلکه این تعداد از روش *NUS* تعیین می‌شود. علت استفاده از این روش این است که سرعت حرکت نوک قلم و دست یک فرد در یک عمل امضا در همه فریم‌ها یکسان نیست. به عبارتی در یک بازه زمانی که سرعت حرکت دست کم است، مجموعه نقاط نوک قلم در این بازه فاصله زیاد و قابل توجهی از یکدیگر ندارند ولی در بازه زمانی که سرعت حرکت دست بسیار بالاست امکان اینکه به دلیل سرعت زیاد یک یا چند داده از مجموعه نقاط این بازه، از بقیه نقاط فاصله زیادی داشته باشد وجود دارد؛ بنابراین n_i نباید برای همه نقاط یکسان در نظر گرفته شود؛ بلکه باید برحسب نمودار سرعت حرکت دست که در بخش (۳-۲-۱) به دست آمد، تعیین

¹ Non-Uniform Sampling

شود. مقدار این پارامتر برحسب رابطه (۹-۳) تعیین می‌شود.

$$\text{Seg} = \frac{\max(\text{speed}) - \min(\text{speed})}{T_s}$$
$$n_i = T_s - \left\lfloor \frac{\text{speed}(i) - \min(\text{speed})}{\text{Seg}} \right\rfloor + 1 \quad (9-3)$$

در این رابطه $speed$ ، سیگنال سرعت حرکت دست و T_s حداکثر مقدار n_i است که برای فریم‌های با پایین‌ترین سرعت در نظر گرفته می‌شود. مقدار n_i در بازه ۱ تا T_s تغییر می‌کند. طبق این رابطه مقدار n_i معکوس سرعت حرکت دست در فریم i ام است. به‌طور مثال نمودار n_i برای سیگنال سرعت حرکت دست یک فرد که در شکل ۱۹-۳ الف نشان داده شده است، محاسبه و در شکل ۱۹-۳ ب مشخص شده است.

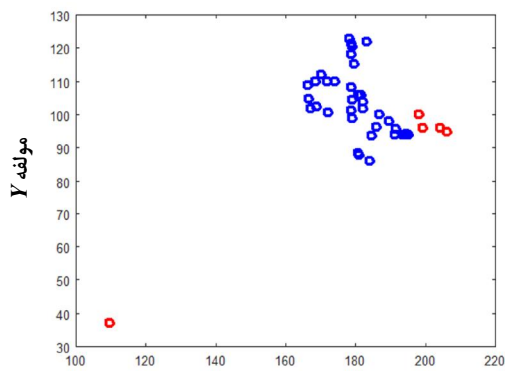


شکل ۳-۱۹: تعیین تعداد نمونه‌ها در هر نقطه (الف): نمودار سرعت یک فرد نمونه. (ب): نمودار n_i

بنابراین طبق n_i ، تعداد نمونه‌های مجموعه A_i برای تعیین اعضای هر مجموعه، محاسبه می‌شود. در قدم بعد باید با استفاده از الگوریتم *K-Means* بردارهای موقعیت نقاط هر مجموعه را به دو خوشه تقسیم کنیم. همانطور که قبلاً گفته شد، هدف از اعمال *K-Means* برای یک مجموعه، یافتن نقطه یا نقاطی از این مجموعه است که دچار خطا شده‌اند.

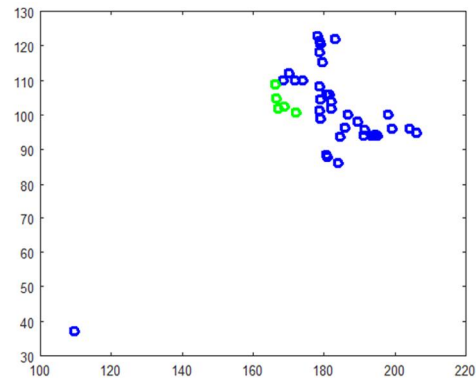
پس از اعمال *K-Means*، برای هر یک از مجموعه‌ها دو حالت را می‌توان متصور بود. حالت اول حالتی است که در آن ممکن است همه نقاط آن مجموعه صحیح باشند و دچار خطا نشده باشند که در این حالت هیچ نقطه‌ای نباید تصحیح شود و حالت دوم حالتی است که مجموعه دارای دو خوشه داده‌های صحیح و خطا باشد. در هر دو حالت الگوریتم *K-Means* مجموعه موردنظر را به دو خوشه تقسیم می‌کند؛ اما چگونه این دو حالت را از هم شناسایی کنیم تا متوجه شویم که اگر فقط حالت دوم برای مجموعه موردنظر اتفاق افتاده است، داده‌های خطا را شناسایی کنیم. یک روش ساده برای شناسایی این دو حالت این است که پس از خوشه‌بندی مراکز دو خوشه را با هم مقایسه کنیم. اگر مراکز خوشه‌ها فاصله زیادی از یکدیگر داشتند، حالت دوم و در غیر این صورت حالت اول رخ داده است. معیار داشتن فاصله زیاد این است که این فاصله از آستانه d_c بیشتر باشد دو نمونه مجموعه با دو حالت متفاوت در شکل (۳-۲۰) نشان داده شده است. نقاط مشاهده‌شده در این شکل مربوط به دنباله نقاط نوک قلم مربوط به امضای یک فرد نمونه است.

همانطور که مشاهده می‌شود در شکل ۳-۲۰ ب حالت دوم اتفاق افتاده است. در این مجموعه یک نقطه قرمز رنگ که متعلق به مجموعه قرمز رنگ است از بقیه نقاط فاصله زیادی دارد و با اعمال الگوریتم *K-Means* بر روی این مجموعه، دو خوشه با فاصله زیاد از هم خواهیم داشت. در شکل ۳-۲۰ الف، نقاط سبز رنگ متعلق به یک مجموعه دیگر هستند و همانطور که مشاهده می‌شود به دلیل نزدیکی نقاط آن، مراکز دو خوشه حاصل از الگوریتم *K-Means* خیلی به هم نزدیک هستند؛ بنابراین حالت اول در این مجموعه رخ می‌دهد و نیازی به اصلاح خطا در این مجموعه نیست.



مؤلفه X

(ب)



مؤلفه X

(الف)

شکل ۳-۲۰: حالات مختلف قرارگیری نقاط یک مجموعه (الف):مجموعه داده حالت اول. (ب): مجموعه داده حالت

دوم

پس از اینکه متوجه شدیم که حالت دوم برای مجموعه موردنظر رخ داده است، باید خوشه‌ای که حاوی داده‌های خطا است را شناسایی کنیم. برای شناسایی این خوشه، از تعداد عناصر خوشه‌ها استفاده می‌کنیم و خوشه‌ای که کمترین تعداد را دارد، به‌عنوان خوشه خطا در نظر می‌گیریم. پس از این درصد رفع خطا برای نقاط این خوشه بر می‌آییم. برای تصحیح خطا کافی است به ازای هر نقطه خطا، دو نقطه قبل و بعد آن را در دنباله یافته و میانگین برداری این دونقطه را به‌عنوان نقطه صحیح جایگزین کنیم. بدین ترتیب با بررسی همه مجموعه‌ها آخرین اصلاحات در مورد موقعیت نوک قلم انجام می‌شود و دنباله‌ای صحیح از نقاط نوک قلم خواهیم داشت.

۳-۴- استخراج ویژگی

یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در طراحی یک سیستم شناسایی افراد یا اشیاء، بخش استخراج ویژگی از داده‌های خام می‌باشند. در حقیقت این ویژگی‌ها هستند که افراد و یا اشیاء را از هم تمییز می‌دهند. در این پایان‌نامه که هدف تمییز امضای اصلی و جعلی است، ویژگی‌های موردنظر به دو بخش ویژگی‌های ایستا و پویا تقسیم می‌شوند. منظور از ویژگی‌های ایستا، ویژگی‌هایی است که در همه فریم‌های یک دنباله

ویدئویی یکسان است و تغییر نمی‌کند. در صورتی که ویژگی‌های پویا ویژگی‌هایی هستند که هر فریم معمولاً تغییر می‌کند. در بخش بعد به بررسی ویژگی‌هایی که در دو بخش ایستا و پویا وجود دارد، می‌پردازیم.

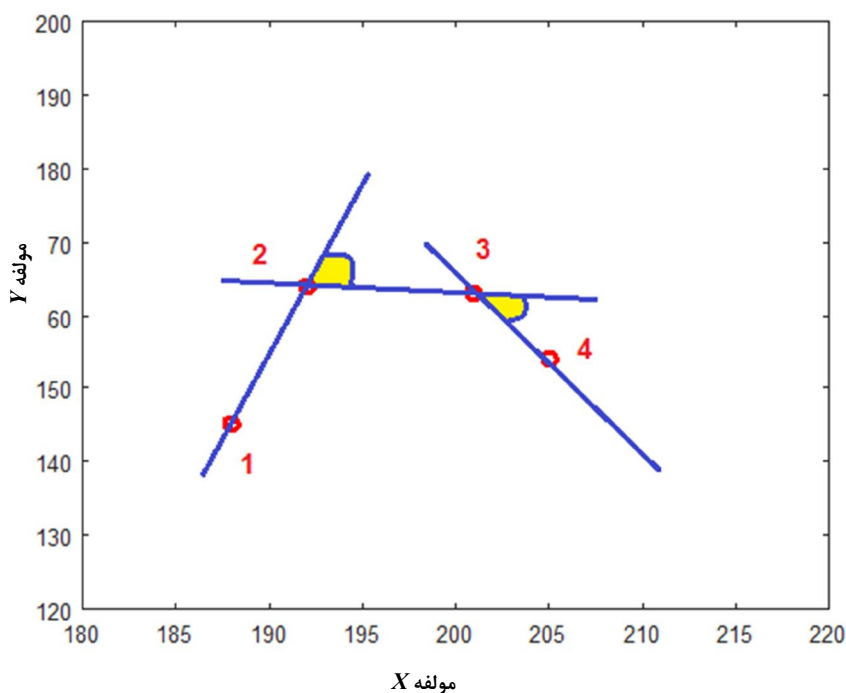
۳-۴-۱- ویژگی‌های پویا

۳-۴-۱-۱- دنباله زوایای بین خطوط واصل نقاط متوالی

هدف از یافتن دنباله نوک قلم، استخراج ویژگی از این دنباله و یافتن الگوی حرکت نوک قلم و دست در هنگام امضا می‌باشد. منظور از تهیه الگوی حرکت، یافتن نحوه جابجایی نوک قلم در ویدئو است و اینکه یک معیاری تعریف شود که مشخص شود که موقعیت یک نقطه نسبت به نقطه قبلی چگونه تغییر کرده است. دلیل استفاده از این ویژگی این است که از این الگوی حرکتی، فقط فرد امضاکننده اصلی آگاه است و فردی که می‌خواهد امضا را جعل نماید به احتمال زیاد، الگوی حرکت دست فرد امضاکننده را نمی‌داند. به عنوان مثال فرد جعل کننده امضا نمی‌داند که باید از چه نقطه‌ای شروع به امضا کند و ممکن است برخلاف امضاکننده اصلی، این الگوی نسبی را رعایت نکند.

به منظور استخراج الگوی حرکت نقاط نوک قلم، ابتدا هر دو نقطه متوالی در دنباله را توسط یک خط مستقیم به هم متصل می‌کنیم. بدین ترتیب اگر تعداد نقاط دنباله n_d باشد، تعداد خطوط بین این نقاط $n_d - 1$ خط می‌باشد.

در گام بعد میزان زاویه بین دو خط متوالی و یا به عبارتی تغییر جهت آنها را محاسبه می‌کنیم. علت استفاده از زاویه بین خطوط این است که ممکن است شکل کلی امضا در تصویر چرخیده باشد؛ بنابراین استفاده از تغییر جهت دو خط متوالی، می‌تواند نسبت به چرخش کلی شکل امضا مقاوم باشد. این زاویه در شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۱: خطوط بین نقاط متوالی و زاویه بین خطوط

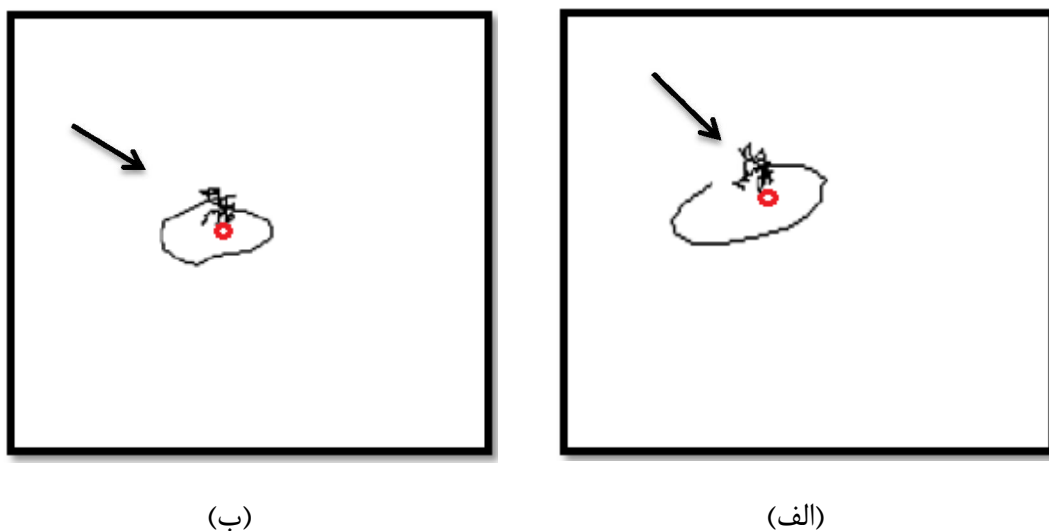
در شکل ۳-۲۱، چهار نقطه متوالی از دنباله نقاط نوک قلم امضای یک فرد نمونه نشان داده شده است که خطوط و زاویه بین این خطوط نیز در شکل مشخص شده است.

نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که تغییر جهت دو خط متوالی را بر اساس کوچک‌ترین زاویه بین دو خط متقاطع به دست می‌آوریم (ناحیه‌های زرد رنگ موجود در شکل ۳-۲۱). چون دو خط متقاطع دارای دو زاویه مکمل هستند و در این روش زاویه کوچک‌تر مدنظر ما است؛ بنابراین دنباله‌ای از زوایا به دست خواهد آمد که تغییر جهت بین هر دو خط متوالی را تعیین خواهد کرد. تعداد زوایای این دنباله $n-1$ مقدار خواهد بود. این دنباله را می‌توان به‌عنوان یک معیار برای تعیین الگوی حرکت موقعیت نوک قلم معرفی کرد. در حقیقت این سیگنال یک ویژگی برای فرد امضاکننده است.

۳-۴-۱-۲- دنباله فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز امضا (R_{mn})

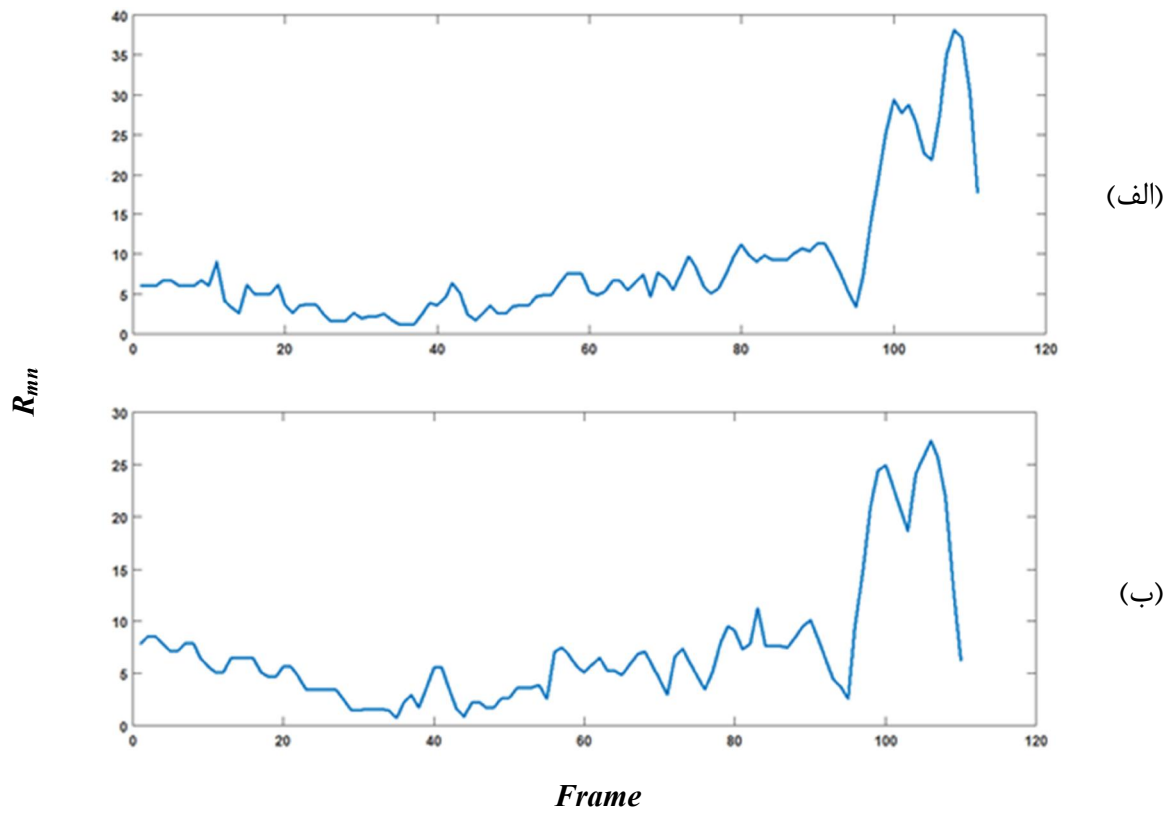
همانطور که در بخش‌های قبل در مورد الگوی حرکت دست بحث شد، می‌توان گفت که نحوه جابجایی نقاط نوک قلم برای یک فرد تقریباً ثابت است. به عبارتی الگوی رفتاری خاصی را می‌توان برای امضا فرد در نظر گرفت؛ بنابراین می‌توان از فاصله نقاط دنباله تا مرکز امضا به‌عنوان یک ویژگی پویای دیگر استفاده نمود.

به‌عنوان مثال دو نمونه شکل امضا برای یک فرد خاص که با اتصال نقاط متوالی نوک قلم به یکدیگر به دست آمده است، در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۲: دو نمونه امضای یک فرد

در این دو نمونه امضا که متعلق به یک فرد است، فرد ابتدا در قسمتی که با فلش به آن اشاره شده است، نام خود را می‌نویسد و سپس شروع به کشیدن دایره‌ای به اطراف آن می‌کند. نقطه دایره‌ای موجود در هر دو نمونه امضا مرکز ثقل نقاط امضا است. اگر نمودار فاصله نقاط امضا تا مرکز ثقل را برای هر یک از اشکال الف و ب به دست آوریم، به صورت شکل ۳-۲۳ مشخص خواهد شد.



شکل ۳-۲۳: نمودار فاصله تا مرکز ثقل مربوط به نقاط امضای شکل (۳-۲۲ الف و ب).

همانطور که در شکل ۳-۲۳ الف و ب نشان داده شده است، این نمودارها کاملاً شبیه به یکدیگر هستند و می توان از این نمودارها به عنوان ویژگی های منحصر به یک فرد خاص استفاده نمود.

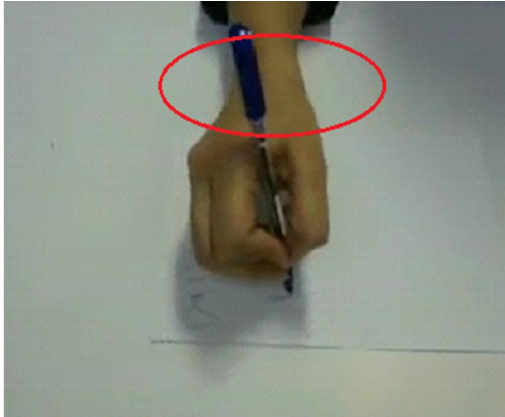
۳-۴-۱-۳- دنباله سرعت حرکت دست

سرعت حرکت دست فرد نیز می تواند یک الگوی رفتاری خاص مربوط به یک فرد باشد؛ بنابراین از دنباله سرعت نیز می توان به عنوان یک ویژگی پویا استفاده کرد. نحوه به دست آوردن این نمودار در بخش (۳-۲-۱) توضیح داده شد.

۳-۴-۱-۴-دنباله سرعت حرکت میچ دست ($Speed_{wr}$)

مدل امضا کردن هر فرد تقریباً منحصر به خود فرد است و از یک فرد به فرد دیگر تغییر می‌کند. یکی از ویژگی‌هایی رفتاری که هر فرد در هنگام امضا کردن رعایت می‌کند، نحوه حرکت میچ دست فرد است. عده‌ای هنگام امضا کردن میچ دست خود را ثابت بر محل امضا قرار داده و فقط قسمت انگشتان دست خود را برای کشیدن طرح امضا حرکت می‌دهند. عده‌ای دیگر میچ دست خود را به همراه تمامی قسمت‌های دست حرکت می‌دهند. حالتی دیگری که ممکن است رخ دهد این است در یک بازه زمانی از طول امضا دست ثابت باشد و در بازه دیگر دست در حال حرکت باشد. به هر حال در همه حالات که در اینجا به سه نمونه آن اشاره کردیم، الگوی حرکت و سرعت قسمت میچ دست می‌تواند برای یک فرد امضاکننده خاص تا حدی منحصر به فرد باشد. سرعت حرکت میچ پارامتری است که در یک دنباله ویدئویی قابل تشخیص است و همچنین فرد جعل کننده امضا به احتمال خیلی زیاد از الگوی سرعت حرکت میچ دست فرد امضاکننده اصلی، بی‌اطلاع است؛ بنابراین از این ویژگی نیز می‌توان برای شناسایی اصل و جعل بودن امضا و تشکیل مدل رفتاری امضای هر شخص استفاده نمود.

گام اول در تشخیص سرعت حرکت دست، یافتن میچ دست فرد امضاکننده است. همانطور که در شکل ۳-۲۴ الف وب مشخص است، میچ دست در حقیقت جزو ناحیه انتهایی پوست دست است؛ بنابراین ابتدا باید پوست دست استخراج شود.



(ب)

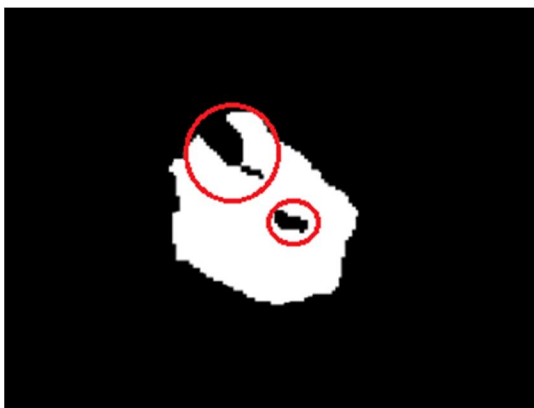


(الف)

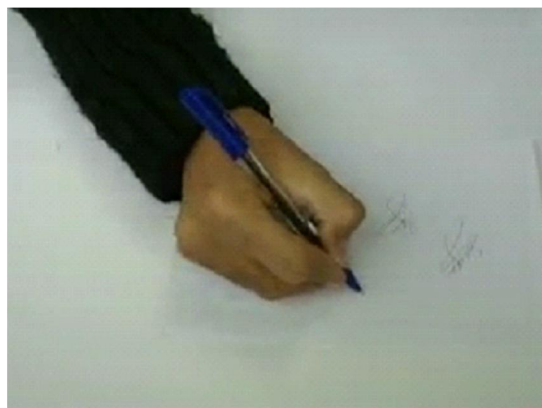
شکل ۳-۲۴: ناحیه مچ دست (الف): مچ دست فرد چپ دست. (ب): مچ دست فرد راست دست.

۳-۴-۱-۴-۱- یافتن تصویر باینری پوست دست

همانطور که در بخش ۳-۳-۱ توضیح داده شد، برای یافتن پیکسل‌های پوست دست کافی است از یک آستانه برای مقادیر کانال H این پیکسل‌ها استفاده کنیم. به عبارتی اگر مقدار این کانال برای پیکسلی از آستانه T_H کوچکتر باشد، پیکسل متعلق به قسمت پوست دست است. تصویر باینری آستانه گذاری شده برای تصویر شکل ۳-۲۵ الف در شکل ۳-۲۵ ب نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۲۵: استخراج پوست دست (الف): تصویر یک فریم نمونه. (ب): تصویر باینری پوست دست

قسمت‌های سیاه‌رنگ موجود در دایره‌های قرمز رنگ تصویر شکل ۳-۲۵ ب مربوط به وجود قلم در تصویر دست است که به دلیل بزرگتر بودن مقدار H این پیکسل‌ها از مقدار آستانه، به‌عنوان پوست دست استخراج نشده‌اند. برای رهایی از این حفره‌های سیاه و هموارسازی و جبران این قسمت‌ها در تصویر دست، از عملگر بستن با المان ساختاری مربع با اندازه 10×10 پیکسل استفاده می‌کنیم. تصویر باینری حاصل از اعمال این عملگر بر روی شکل ۳-۲۵ ب در شکل ۳-۲۶ نشان داده شده است.

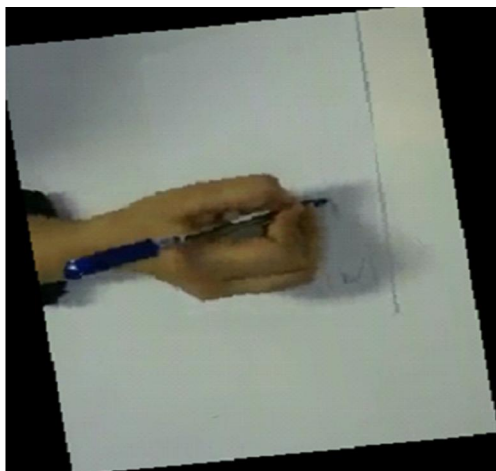


شکل ۳-۲۶: تصویر دودویی پوست دست

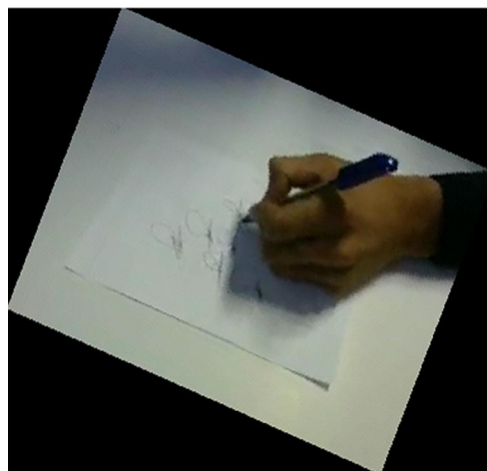
۳-۴-۱-۴-۲- یافتن مچ دست

پس از یافتن پوست دست، برای یافتن ناحیه انتهایی و یا به عبارتی مچ دست، ابتدا باید جهت یا زاویه محور اصلی دست با خط افقی (θ) را بیابیم. برای یافتن جهت محور اصلی پوست دست، کافی است که جهت بزرگترین بردار ویژه مربوط به پیکسل‌های تصویر باینری پوست دست را محاسبه کنیم.

در گام بعد تصویر هر قاب را به اندازه ($-\theta$) می‌چرخانیم تا محور اصلی، دقیقاً بر راستای افقی منطبق شود. تصاویر چرخانده شده شکل ۳-۲۵ الف و ب در شکل ۳-۲۷ الف و ب نشان داده شده است.



(ب)

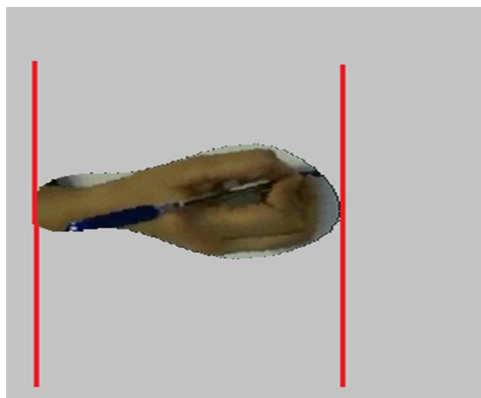


(الف)

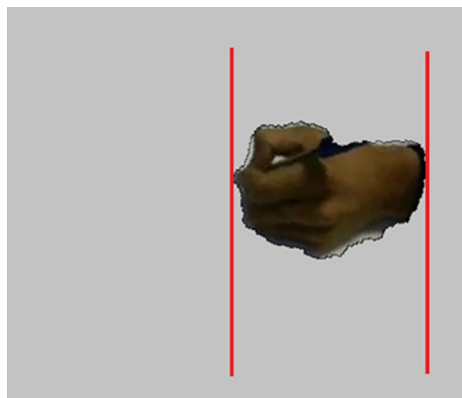
شکل ۳-۲۷: تصاویر چرخانده شده با زاویه $(-\theta)$: (الف) تصویر چرخانده شده دست چپ (ب) تصویر چرخانده شده

دست راست

مقدار (θ) برای هریک از دو تصویر شکل ۳-۲۷ الف و ب به ترتیب $۲۲/۸$ و $-۸۷/۳۳$ درجه بوده است. این دو تصویر برای دو نمونه فرد راست دست و چپ دست است. همانطور که برای این دو تصویر نیز دیده می شود اگر زاویه محور اصلی دست عددی منفی باشد، پس از چرخاندن تصویر، مچ دست در سمت چپ و اگر این عدد مثبت باشد مچ دست در طرف راست تصویر قرار می گیرد. حال پس از چرخاندن تصویر و افقی کردن دست، می توان روشی ساده برای یافتن مچ دست ارائه داد. ابتدا به تصاویر ناحیه پوست دست چرخانده شده شکل ۳-۲۷ در شکل ۳-۲۸ توجه کنید.



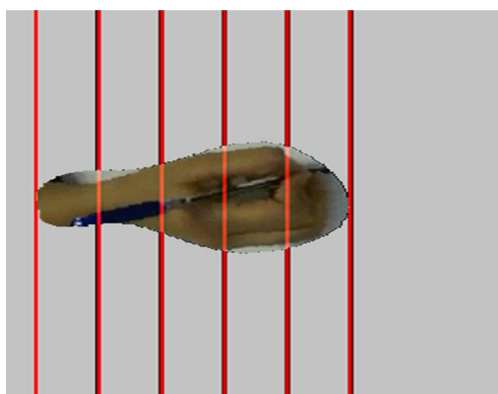
(ب)



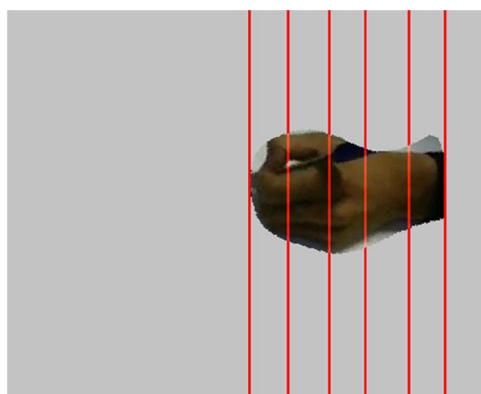
(الف)

شکل ۳-۲۸: تصاویر پوست دست چرخانده شده مربوط به شکل ۳-۲۷: (الف) پوست دست چپ (ب) پوست دست راست.

همانطور که در شکل ۳-۲۸ الف و ب مشاهده می‌شود، ناحیه مچ دست به ترتیب در قسمت انتهایی راست و چپ تصویر پوست دست واقع شده است. حال اگر بازه محور X ها (محور افقی) بین دو خط عمودی هر دو شکل را به ۵ قسمت مساوی تقسیم کنیم، ناحیه قرارگرفته در $\frac{1}{5}$ نهایی هر تصویر را به‌عنوان ناحیه مچ دست معرفی می‌کنیم. پنج قسمت تقسیم‌شده برای تصاویر شکل ۳-۲۸ در شکل ۳-۲۹ نشان داده شده است.



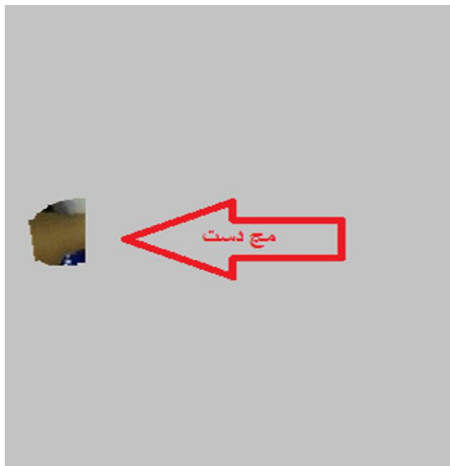
(ب)



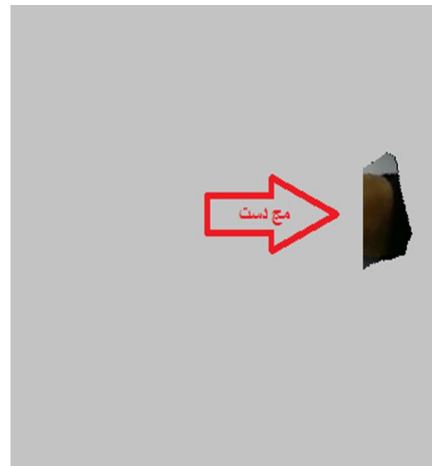
(الف)

شکل ۳-۲۹: پنج ناحیه تقسیم‌شده ناحیه پوست دست. (الف) پوست دست چپ (ب) پوست دست راست

همچنین ناحیه مچ دست استخراج شده در تصویر شکل ۳-۳۰ قابل مشاهده است. این دو ناحیه، در حقیقت آخرین قسمت از ۵ قسمت تقسیم شده می باشند. همانطور که گفته شد، آخرین قسمت بر اساس زاویه θ تعیین می شود؛ به عبارتی اگر مقدار این زاویه منفی باشد آخرین قسمت در سمت چپ و اگر این زاویه مثبت باشد در سمت راست قرار می گیرد.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۳۰: ناحیه مچ دست استخراج شده توسط الگوریتم پیشنهادی: (الف) مچ دست چپ (ب) مچ دست راست

بدین ترتیب ناحیه مچ دست توسط یک چرخش تصویر و تقسیم بندی ناحیه بین دو خط عمودی، به دست آمد. دقت شود که تمامی عملیات چرخاندن تصویر و تقسیم بندی نواحی را بر روی تصویر باینری پوست دست انجام می دهیم. استفاده از تصاویر رنگی فوق و اجرای عملیات یافتن مچ دست بر روی این تصاویر، صرفاً جهت توضیح روند کار به صورت کامل بود.

علی رغم اینکه توضیح این بخش کمی پیچیده به نظر می رسد، ولی یافتن مچ دست در مرحله پیاده سازی بسیار ساده است و پیچیدگی محاسباتی زیادی ندارد.

به منظور محاسبه سرعت مچ دست، تصویر باینری چرخانده شده این ناحیه را به اندازه θ

می‌چرخانیم تا تصویر به موقعیت اولیه خود بازگردد. برای یافتن سرعت حرکت مچ از اطلاعات موجود در تصویر تفاضل توضیح داده شده در بخش (۲-۳) استفاده می‌کنیم. به عبارتی برای یافتن سرعت این ناحیه کافی است که ابتدا تصاویر باینری بازگردانده شده به موقعیت قبلی را در تصویر تفاضل همان فریم ضرب کرده و میانگین مقادیر پیکسل‌های غیر صفر این ناحیه را محاسبه کنیم. بدین ترتیب برای هر فریم یک مقدار به‌عنوان سرعت حرکت مچ به دست می‌آید که با کنار هم قرار دادن آنها دنباله سرعت حرکت مچ دست ($Speed_{wr}$) به دست می‌آید که الگوی حرکتی مچ دست را مدل می‌کند.

۳-۴-۲- ویژگی‌های ایستا

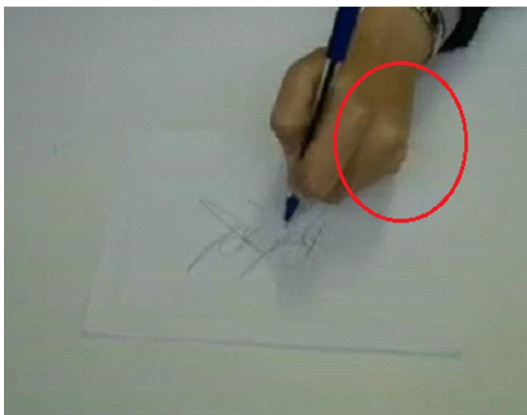
۳-۴-۲-۱- تشخیص چپ‌دستی یا راست‌دستی

اولین ویژگی ایستا که به توضیح آن می‌پردازیم، چپ‌دست یا راست‌دست بودن فرد است. این ویژگی بدین دلیل ایستا است که در طول امضای یک فرد تغییر نمی‌کند. به‌طور طبیعی هر فرد برای نوشتن، همیشه از یکی از دو دست خود استفاده می‌کند و این دست به‌عنوان دست غالب برای نوشتار شناخته می‌شود. هنگامی که با نوشته‌ای از یک فرد مواجه می‌شویم، معمولاً دشوار است که تشخیص دهیم این نوشته مربوط به فرد راست‌دست بود است یا چپ‌دست؛ اما این ویژگی به‌طور واضح در تصویر دست یک فرد هنگام امضا کردن مشخص می‌شود.

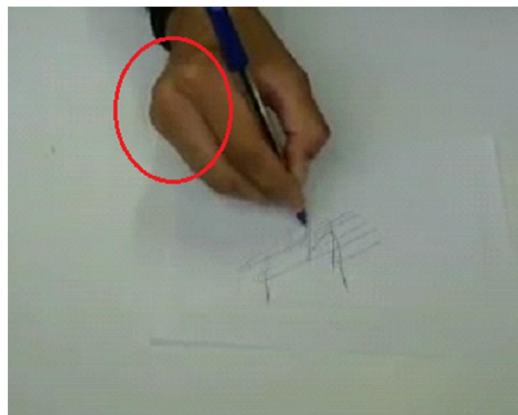
در این پایان‌نامه که هدف آن تشخیص اصلی یا جعلی بودن امضا با استفاده از ویدئو است، شناسایی این ویژگی در تصاویر ویدئوی امضا می‌تواند به‌عنوان یک ملاک تشخیص اصلی و جعلی بودن مورد استفاده قرار گیرد. چون امکان دارد که به خاطر عدم اطلاع، فردی چپ‌دست، امضای یک فرد دست راست را جعل کند و بالعکس. چون این ویژگی در دیگر روش‌های تشخیص امضا مثل استفاده از تصویر

شکل امضا و تبلت فشاری قابل استفاده نیست، می‌توان این ویژگی را به‌عنوان یک مزیت تصاویر ویدئویی برای تشخیص اصلی و جعل بودن امضا معرفی کرد.

ایده اصلی این پایان‌نامه برای شناسایی چپ‌دست و راست بودن یک فرد، تشخیص قسمت برجستگی دست فرد است که با رنگ قرمز در شکل ۳-۳۱ الف و ب مشخص شده است. اگر فرض کنیم که تصاویر دوربین از امضای یک فرد از نمای جلو باشد، اگر این قسمت در سمت چپ تصویر قرار گیرد، فرد، راست‌دست و در غیر این صورت فرد چپ‌دست است.



(ب)

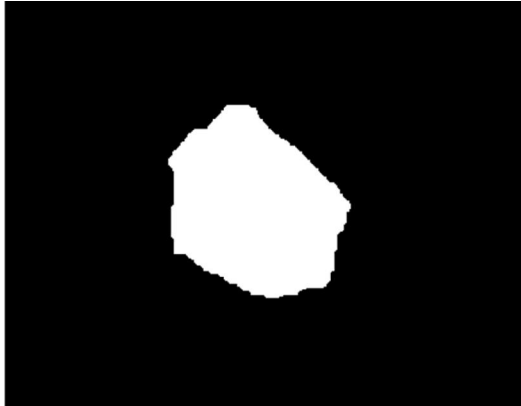


(الف)

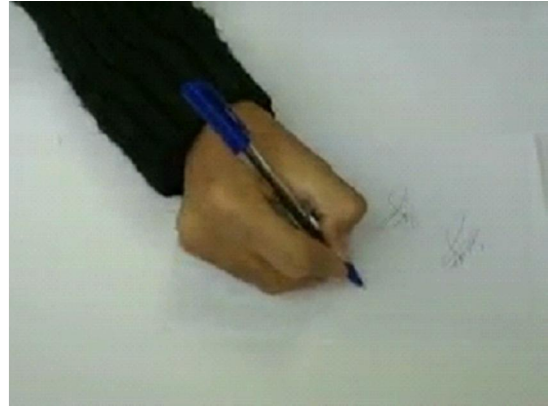
شکل ۳-۳۱: قسمت برجستگی دست: (الف) فرد راست‌دست (ب) فرد چپ‌دست

جزئیات روش شناسایی چپ‌دست و راست‌دست بودن در ادامه توضیح داده می‌شود.

در گام اول به منظور شناسایی چپ یا راست بودن دست فرد امضاکننده، از تصویر باینری پوست دست استفاده می‌کنیم. روش به دست آوردن تصویر باینری پوست دست در بخش (۳-۴-۱-۴-۱) توضیح داده شد. به‌عنوان مثال شکل ۳-۳۲ ب، تصویر دودویی پوست دست مربوط به شکل ۳-۳۲ الف است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۳۲: استخراج پوست دست (الف) تصویر پیش‌زمینه (ب) تصویر دودویی پوست دست.

گام دوم در روش شناسایی چپ/راست‌دستی فرد، یافتن خطی است که از مرکز ثقل تصویر پوست دست عبور کرده و جهت این خط با جهت اصلی مجموعه پیکسل‌های پوست فرد امضاکننده برابر باشد. بدین منظور، مختصات پیکسل‌های این تصویر را به‌عنوان بردار دوبعدی در نظر می‌گیریم و میانگین (مرکز ثقل) و جهت اصلی این مجموعه پیکسل را محاسبه می‌کنیم. محاسبه میانگین در رابطه (۳-۱۰) مشخص شده است.

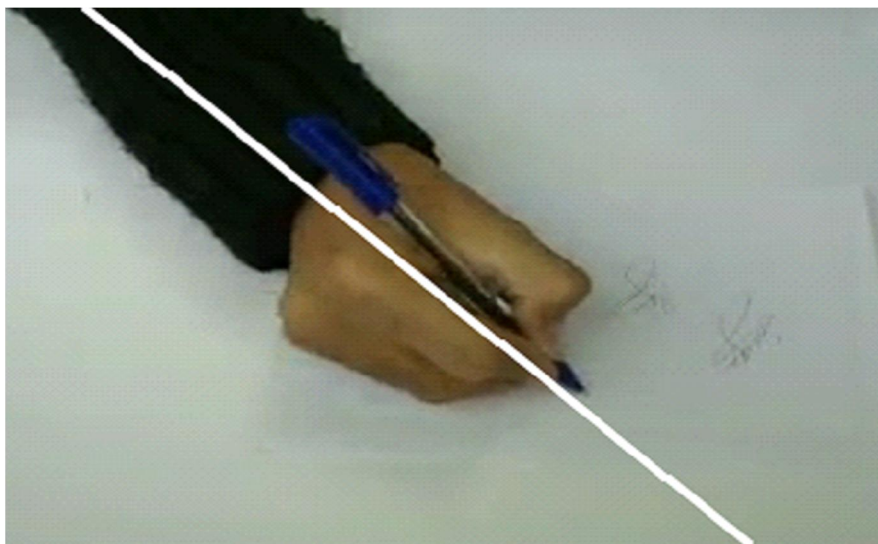
$$\mu = \sum_{i=1}^{N_{fg}} v_i \quad (۳-۱۰)$$

در این رابطه N_{fg} تعداد پیکسل‌های پوست دست، v_i مختصات پیکسل i ام و μ میانگین یا مرکز ثقل مجموعه نقاط می‌باشد.

برای محاسبه جهت اصلی، کافی است مقادیر و بردارهای ویژه ماتریس C_{sk} که در رابطه (۳-۱۱) آمده است را محاسبه کرد و جهت بردار ویژه‌ای که دارای بیشترین اندازه مقدار ویژه است را به‌عنوان جهت اصلی این پیکسل‌ها در نظر بگیریم.

$$C_{sk} = \sum_{i=1}^{N_{fg}} (v_i - \mu) \times (v_i - \mu)^T \quad (11-3)$$

پس از محاسبه این دو پارامتر، خط موردنظر به دست می‌آید. به‌طور مثال برای تصویر نمونه شکل ۳-۳۳ این خط با رنگ سفید مشخص شده است. از این خط برای یافتن قسمت برجستگی توضیح داده‌شده در ابتدای این بخش استفاده می‌کنیم.



شکل ۳-۳۳: محور اصلی پوست دست.

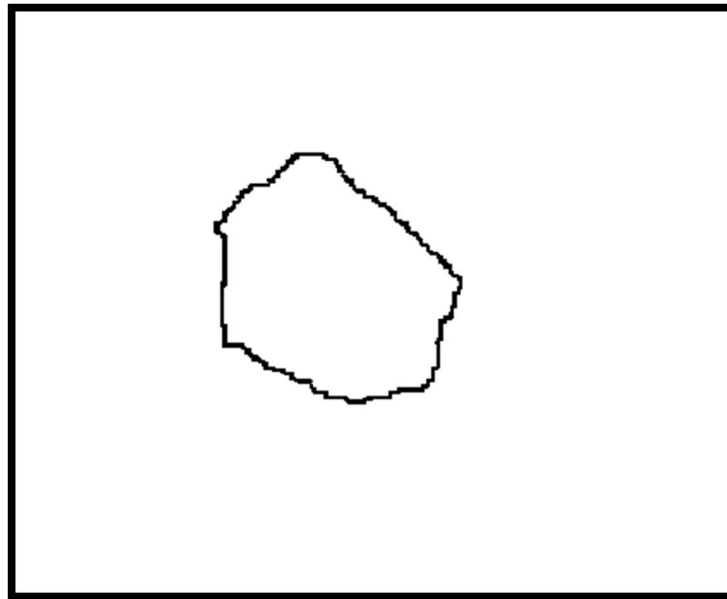
در گام سوم پیکسل‌های مرزی تصویر باینری پوست دست را استخراج می‌کنیم. برای به دست آوردن پیکسل‌های مرزی تصویر باینری پوست دست، از رابطه (۳-۱۲) استفاده می‌کنیم.

در این رابطه *erosion* عملگر فرسایش، *SE* المان ساختاری برای عملگر فرسایش، *Frg* تصویر

$$Frg_{Eroded} = erosion(Frg) \quad , \quad SE = \text{square matrix } 3 \times 3 \quad (12-3)$$

$$Boundary = Frg \quad \& \quad \sim Frg_{Eroded}$$

باینری پوست دست و Boundary تصویر باینری است که در آن پیکسل‌های مرزی دارای مقدار ۱ هستند. به‌طور نمونه تصویر پیکسل‌های مرزی مربوط به شکل ۳-۳۲ ب در شکل ۳-۳۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۴: پیکسل‌های مرزی پوست دست.

همانطور که در این شکل دیده می‌شود این مرز، دارای نویز می‌باشند و حالت نرم و همواری ندارد. برای هموارسازی مرز پوست دست، از توصیفگر فوریه استفاده می‌کنیم. برای این کار ابتدا مختصات پیکسل‌های مرزی را به دست آورده و در دنباله‌ای ذخیره می‌کنیم. دقت شود که در این دنباله‌ها پیکسل‌های مرزی باید در جهت یا خلاف عقربه‌های ساعت و به‌طور متوالی قرار گیرند. به عبارتی از یک پیکسل مرزی شروع کرده و در جهت یا خلاف عقربه‌ای ساعت حرکت کرده و در نهایت موقعیت پیکسل مرزی همسایه را در دنباله ذخیره کنیم.

پس از به دست آوردن دنباله پیکسل‌های مرزی، دنباله‌ای از اعداد مختلط توسط رابطه (۱۳-۳) تولید می‌کنیم.

$$S_i = X_i + j Y_i \quad i=1, \dots, N_s \quad (13-3)$$

که در این رابطه X_i و Y_i به ترتیب موقعیت افقی و عمودی پیکسل مرزی i ام و N_s تعداد پیکسل‌های مرزی است.

همانطور که گفته شد برای هموارسازی منحنی پیکسل‌های مرزی از تبدیل فوریه دنباله مختلط استفاده می‌کنیم. پس از محاسبه ضرایب تبدیل فوریه، به منظور هموارسازی کافی است این ضرایب را طبق رابطه (۱۴-۳) در ضرایب یک فیلتر پایین گذر ضرب کرده تا فرکانس‌های بالا مربوط به این دنباله حذف شود.

$$(14-3)$$

$$S = F(s)$$

$$S_{\text{Filtered}} = H_1 \cdot S$$

$$S_{\text{Smoothed}} = F^{-1}(S_{\text{Filtered}})$$

$$x_s^i = \text{Real} \{ s_{\text{Smoothed}}^i \}$$

$$y_s^i = \text{Image} \{ s_{\text{Smoothed}}^i \}$$

در این رابطه S تبدیل فوریه سیگنال s ، H_1 تبدیل فوریه فیلتر پایین گذر ایده آل، S_{Smoothed}

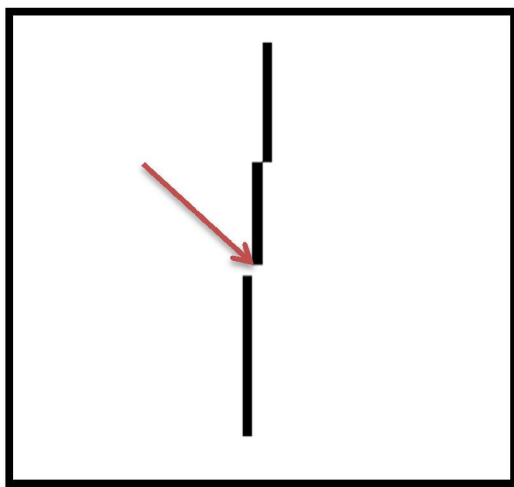
سیگنال مختلط هموار شده و x_s^i و y_s^i به ترتیب مؤلفه افقی و عمودی نقاط منحنی هموار شده است.

تعداد ضرایب غیر صفر فیلتر پایین گذر (فرکانس قطع f_c) را توسط رابطه (۳-۱۵) تعیین می‌کنیم.

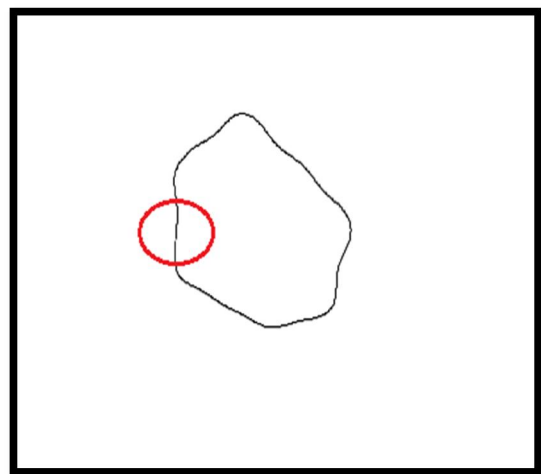
$$f_c = \left[\frac{Ns}{8} \right] \quad (۳-۱۵)$$

بدین ترتیب مرز پوست دست هموار می‌شود. تصویر هموارشده شکل ۳-۳۴ در شکل

۳-۳۵ الف نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۳۵: پیکسل‌های مرز هموارشده. الف: مرز هموارشده. ب: گسستگی در مرز هموارشده.

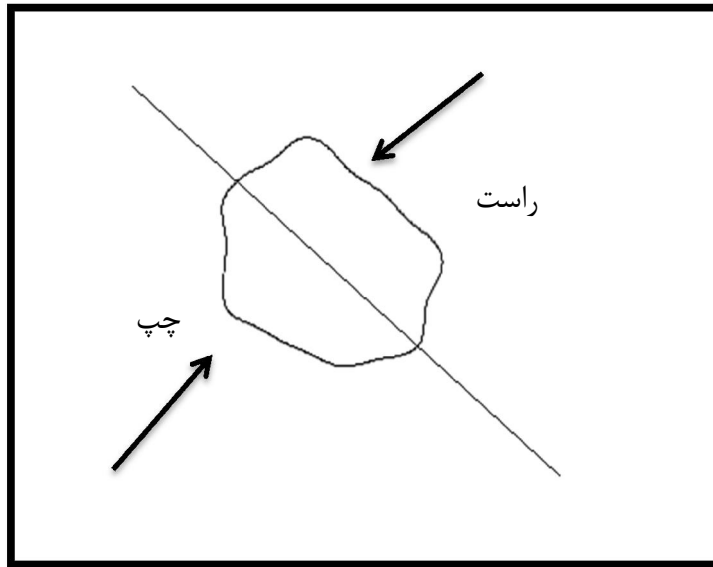
به دلیل استفاده از بخش صحیح مقادیر مؤلفه‌های پیکسل‌های هموارشده، ممکن است

گسستگی‌هایی در پیکسل‌های مرزی ایجاد شود (مثل گسستگی موجود در دایره قرمز رنگ

شکل ۳-۳۵ ب). برای رفع این گسستگی کافی است عملگر بستن را بر روی تصویر هموارشده اعمال کنیم

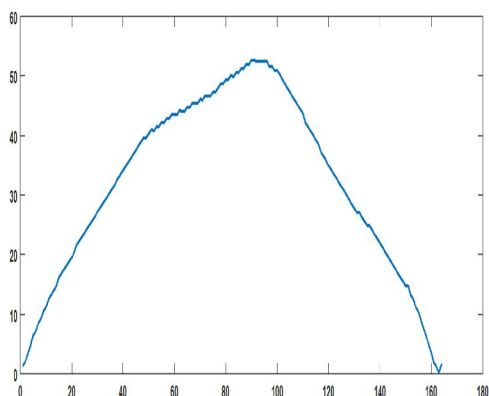
تا این گسستگی‌ها برطرف شود. المان ساختاری را مربع 3×3 در نظر می‌گیریم.

تا اینجا توانستیم هم پیکسل‌های مرزی و هم خط اصلی تصویر پوست دست را به دست بیاوریم. خط یا محور اصلی پوست دست، پیکسل‌های مرزی را به دو قسمت سمت راست و چپ تقسیم می‌کند. این موضوع در شکل ۳-۳۶ نشان داده شده است.

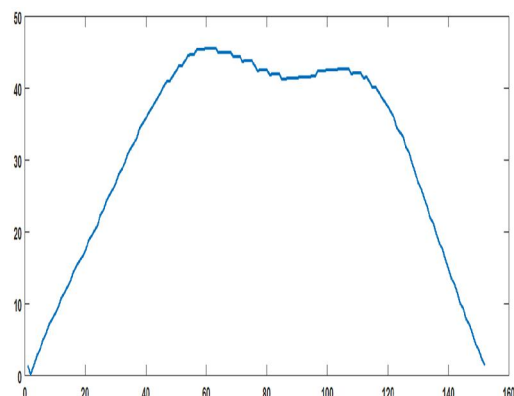


شکل ۳-۳۶: تصویر مرز پوست دست به همراه محور اصلی آن

گام چهارم و نهایی برای تشخیص راست و چپ دست بودن این است که برجستگی موجود در تصویر پوست دست را تشخیص دهیم. به عنوان مثال این برجستگی برای تصویر شکل ۳-۳۳ که یک فرد راست دست بوده است در سمت چپ قرار گرفته است. روش کلی برای شناسایی این برجستگی این است که ابتدا فاصله عمودی پیکسل‌های مرزی هر دو طرف را نسبت به خط اصلی محاسبه می‌کنیم. به طور مثال سیگنال فاصله برای سمت راست و چپ مرز، به ترتیب در شکل ۳-۳۷ الف و ب نشان داده شده است. دقت شود که چپ یا راست بودن پیکسل‌ها، یک امر نسبی است. به عبارتی اگر میانگین مؤلفه‌های x مربوط به پیکسل‌های مرزی یک سمت، از میانگین این مقدار برای سمت دیگر بیشتر باشد، این سمت، سمت راست است.



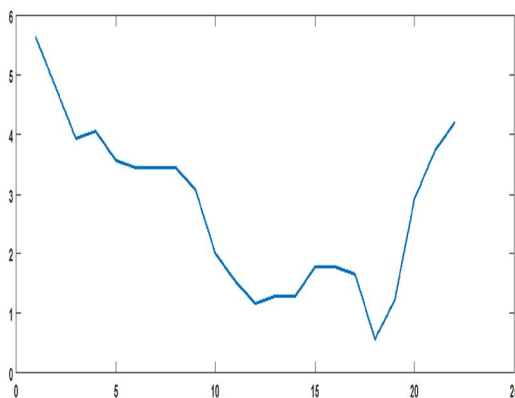
(ب)



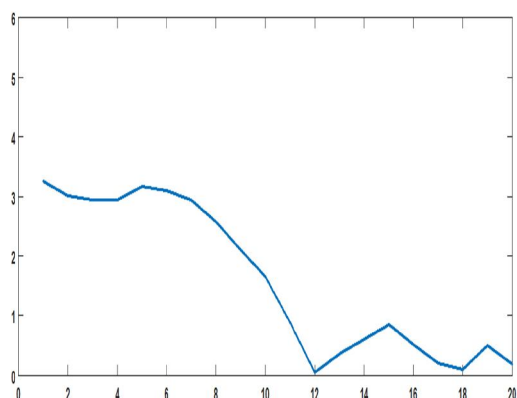
(الف)

شکل ۳-۳۷: نمودار فاصله پیکسل‌های مرزی تا محور اصلی الف: نمودار فاصله پیکسل‌های سمت راست تا محور اصلی. ب: نمودار فاصله پیکسل‌های سمت چپ تا محور اصلی.

سپس سیگنال فاصله را به دسته‌های پنج‌تایی تقسیم کرده و میانگین آنها را محاسبه می‌کنیم. (یعنی هر ۵ عدد را یک مجموعه در نظر می‌گیریم و میانگین آنها را محاسبه می‌کنیم). طول این سیگنال تقریباً $\frac{1}{5}$ سیگنال فاصله است. سپس از سیگنال میانگین، مشتق می‌گیریم. سیگنال مشتق در شکل ۳-۳۸ الف و ب قابل مشاهده است.



(ب)



(الف)

شکل ۳-۳۸: سیگنال مشتق. الف: سیگنال مشتق سمت راست محور. ب: سیگنال مشتق سمت چپ محور.

همانطور که در شکل ۳-۳۸ مشخص است میانگین مقادیر مشتق سمت چپ تصویر بیشتر از سمت راست تصویر است؛ بنابراین از میانگین این سیگنال‌ها برای شناسایی سمت برجستگی استفاده می‌کنیم. سمتی که میانگین آن بیشتر باشد سمت برجستگی است. اگر این برجستگی سمت چپ تصویر باشد فرد امضاکننده دست راستی است و اگر این برجستگی سمت راست باشد، فرد دست چپ است. بدین ترتیب چپ یا راست بودن فرد مشخص می‌شود.

۳-۴-۲-۲-ویژگی‌های ایستا دیگر

از جمله ویژگی‌های ایستا که از ویدئوی امضای یک فرد می‌توان استخراج نمود، میانگین رنگ پوست دست، میانگین تعداد فریم‌های امضا (زمان امضا) و میانگین نسبت قطر اصلی به فرعی تصویر باینری پوست دست در تمام فریم‌های فرد امضاکننده هستند.

ویژگی سوم، یعنی نسبت قطر‌ها، یک ویژگی مربوط به شکل دست فرد امضاکننده است. برای به دست آوردن این نسبت کافی است ابتدا تصویر باینری پوست دست امضاکننده را پیدا کرده و نسبت مقدار ویژه بزرگتر به کوچکتر مربوط به پیکسل‌های این ناحیه را به دست بیاوریم.

بنابراین در قسمت استخراج ویژگی از هر ویدئوی امضا، ۴ ویژگی پویا و ۴ ویژگی ایستا به دست آمد تا بتوانیم با استفاده از یک سیستم تفکیک‌کننده و این ویژگی‌ها، امضای اصلی و جعلی را از هم تشخیص دهیم.

۳-۵- طراحی سیستم شناسایی

۳-۵-۱- مقدمه

در بخش (۳-۳) به بررسی و تعریف ویژگی‌هایی که از امضای یک فرد استخراج می‌شود پرداختیم. در این بخش به معرفی یک روند تفکیک امضای جعلی از اصلی می‌پردازیم. در حقیقت می‌خواهیم سیستمی طراحی کنیم که جعلی یا اصلی بودن امضای یک فرد مدعی را تشخیص دهیم.

ابعاد ویژگی‌های پویایی که در قسمت استخراج ویژگی توضیح داده شد، معمولاً برای ویدئوهای مختلف ثابت نیست. به‌طور مثال دنباله سرعت حرکت دست یک فرد ممکن است در دو ویدئو مختلف از امضای یک فرد، دارای ابعاد یکسان نباشد. این موضوع بدین خاطر است که یک فرد ممکن است در شرایط مختلف با ریتم‌های مختلف امضا کند. به همین خاطر اگر بخواهیم با کنار هم قرار دادن دنباله‌هایی که در بخش استخراج ویژگی پویا توضیح داده شد، یک بردار ویژگی تهیه کنیم، غالباً ابعاد این بردارها برای ویدئوهای مختلف مقداری متغیر است؛ بنابراین نمی‌توان بلافاصله پس از مرحله استخراج ویژگی، به هر ویدئو یک بردار ویژگی اختصاص داد و یک سیستم طبقه‌بندی مبتنی بر بردار ویژگی طراحی کرد.

طراحی یک سیستم تفکیک‌کننده امضای اصلی و جعلی، شامل دو فاز آموزش و تصدیق می‌شود. هر یک از این دو فاز در ادامه توضیح داده می‌شود. از این قسمت به بعد فرض می‌کنیم که از هر فرد m داده آموزشی جمع‌آوری شده است.

۳-۵-۲- فاز آموزش

روند کلی در این فاز به این شکل است که قصد داریم با استفاده از تمام داده‌های آموزشی یک فرد، برای او یک مدل تعریف کنیم. (منظور از تمام داده‌های آموزشی، ویژگی‌های پویا و ایستا برای تمام ویدئوهای آموزشی یک فرد می‌باشد). این مدل شامل دو بردار زیر است:

الف : بردار ویژگی میانگین، ب: بردار ویژگی ماکزیمم.

هر یک از بردار ویژگی میانگین و ماکزیمم، خود، از دو بردار پویا و ایستا تشکیل می‌شود. نحوه به دست آوردن بردارهای پویا و ایستا را در ادامه توضیح خواهیم داد.

۳-۵-۲-۱- بخش پویای بردارهای میانگین و ماکزیمم

ویژگی‌های موردبررسی در این قسمت، شامل همه ویژگی‌های پویای توضیح داده‌شده در بخش (۳-۴-۱) است. در این بخش از الگوریتم DTW^1 [۱۹] برای محاسبه بخش پویای بردارهای میانگین و ماکزیمم استفاده می‌کنیم. الگوریتم DTW روشی است که در آن میزان شباهت بین دو سیگنال که دارای طول یکسانی نیستند، محاسبه می‌شود. از این الگوریتم در کاربردهای شناسایی گفتار نیز استفاده می‌شود. از آنجایی که ویژگی‌های پویای استخراج‌شده برای امضای یک فرد، در قالب سیگنال می‌باشند و طول این سیگنال‌ها برای امضاهای یک فرد ممکن است یکسان نباشد، ما نیز از این الگوریتم برای به دست آوردن میزان شباهت بین سیگنال‌ها استفاده می‌کنیم.

¹ Dynamic Time Wrapping

۳-۵-۲-۱-۱- توضیح مختصری از الگوریتم DTW

در این قسمت به معرفی الگوریتم DTW می‌پردازیم. فرض می‌کنیم طبق رابطه (۳-۱۶)، Q و R دو سیگنال نا هم طول با ابعاد M و N هستند که قرار است میزان شباهت بین آنها محاسبه شود

(۳-۱۶)

$$R = \{ r_i \}_{i=1:M}$$

$$Q = \{ q_i \}_{i=1:N}$$

که در این رابطه r_i و q_i به ترتیب نمونه‌های سیگنال‌های R و Q هستند.

روند کار به این صورت است که ابتدا یک ماتریس با نام $dist$ با ابعاد $M \times N$ تشکیل می‌شود. درایه‌های این

ماتریس به صورت رابطه

(۳-۱۷) محاسبه می‌شود.

$$\text{dist}(i, j) = \min \begin{cases} \text{dist}(i-1, j-1) + D(r_i, q_j) \\ \text{dist}(i-1, j) + D(r_i, q_j) \\ \text{dist}(i, j-1) + D(r_i, q_j) \end{cases} \quad (۳-۱۷)$$

$$D(r_i, q_j) = \sqrt{r_i^2 + q_j^2}$$

در نهایت طبق رابطه ۳-۱۸ میزان شباهت دو سیگنال طبق رابطه (۳-۱۸)، برابر است با مقدار درایه (M, N)

در ماتریس $dist$

$$DTW_{R,Q} = \text{dist}(M, N) \quad (۳-۱۸)$$

بدین ترتیب دو سیگنال با هم مقایسه می‌شوند. از این روند در این پایان‌نامه برای تعیین میزان شباهت سیگنال‌های ویژگی، استفاده می‌کنیم که در ادامه توضیح خواهیم داد.

۳-۵-۲-۱-۲- نحوه استفاده از DTW در تشکیل بخش پویا بردارهای میانگین و ماکزیمم

فرض کنیم که X_i مجموعه سیگنال‌های آموزشی ویژگی i ام است که از ویدئوهای آموزشی امضای یک فرد خاص به دست آمده است (رابطه (۱۹-۳)).

$$X_i = \{ x_i^k \} \quad k = 1:m \quad (19-3)$$

در این رابطه x_i^k سیگنال k ام مربوط به مجموعه ویژگی i ام و m تعداد داده‌های آموزشی یک فرد خاص است.

برای این مجموعه، ماتریس SIM_i که دارای ابعاد $m \times m$ است را طبق رابطه (۲۰-۳) به دست می‌آوریم.

$$SIM_i(p, q) = DTW(x_i^p, x_i^q) \quad (20-3)$$

به عبارتی SIM_i حاوی مقادیر DTW برای تمام زوج سیگنال‌های آموزشی مربوط به ویژگی i ام است. سپس ماکزیمم و میانگین مقادیر ماتریس SIM_i را طبق رابطه (۲۱-۳) به دست می‌آوریم.

$$Max_{SIM_i} = \max(SIM_i)$$

(۲۱-۳)

$$Avg_i = \sum_p \sum_q SIM_i(p, q)$$

در این رابطه Max_{SIM_i} و Avg_i به ترتیب مقدار ماکزیمم و میانگین در ماتریس SIM_i می‌باشند؛ بنابراین با محاسبه این مقادیر برای همه ویژگی‌های پویا و کنار هم قرار دادن آنها طبق رابطه (۲۲-۳)، بخش پویای بردارهای ماکزیمم و میانگین مدل یک فرد دست خواهد آمد

$$V_{dynamic}^{max} = \{ Max_{SIM_i} \} \quad i = 1:4 \quad (22-3)$$

$$V_{dynamic}^{avg} = \{ Avg_i \} \quad i = 1:4$$

در این رابطه $V_{dynamic}^{max}$ و $V_{dynamic}^{avg}$ به ترتیب بخش‌های پویای بردارهای ماکزیمم و میانگین مربوط به مدل فرد می‌باشند.

۳-۵-۲-۲-بخش ایستای بردارهای ماکزیمم و میانگین

به منظور به دست آوردن بخش ایستای بردارهای ماکزیمم و میانگین، از بین چهار ویژگی ایستا که در بخش (۲-۴-۳) معرفی شد، فقط از سه ویژگی میانگین رنگ پوست دست، میانگین تعداد فریم‌ها و میانگین نسبت قطر اصلی به فرعی استفاده می‌کنیم. اگر فرض کنیم که m ویدئوی آموزشی از یک فرد داشته باشیم، پس از مرحله استخراج ویژگی، تعداد m بردار سه‌بعدی که حاوی سه ویژگی ایستا هستند، برای هر فرد به دست خواهد آمد. رابطه (۲۳-۳).

$$B = \{ b_k \} \quad k = 1:m \quad (23-3)$$

در این رابطه b_k بردار ایستای سه‌بعدی استخراج‌شده از ویدئوی k ام و B مجموعه بردارهای سه‌بعدی یک فرد است.

حال طبق رابطه (۳-۲۴) بخش ایستای بردارهای ماکزیمم و میانگین مربوط به مدل فرد را محاسبه می‌شود.

$$\text{Max}^i = \max\{b_k^i\} \quad k = 1:m \quad (۳-۲۴)$$

$$V_{\text{Static}}^{\max} = \{\text{Max}^i\} \quad i = 1:3$$

$$V_{\text{Static}}^{\text{avg}} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m b_k$$

در این رابطه، $V_{\text{Static}}^{\text{avg}}$ و V_{Static}^{\max} به ترتیب بخش ایستای بردارهای ماکزیمم و میانگین مدل فرد می‌باشند

در نهایت در فاز آموزش با کنار هم قرار دادن بخش‌های پویا و ایستا طبق رابطه (۳-۲۵)، دو بردار ماکزیمم و میانگین مربوط به مدل فرد به دست خواهد آمد.

$$V^{\text{MAX}} = | V_{\text{dynamic}}^{\max}, V_{\text{Static}}^{\max} | \quad (۳-۲۵)$$

$$V^{\text{AVG}} = | V_{\text{dynamic}}^{\text{avg}}, V_{\text{Static}}^{\text{avg}} |$$

بردارهای V^{MAX} و V^{AVG} هر یک، دارای ۷ بعد می‌باشند.

۳-۵-۳- فاز تصدیق و تأیید امضا

در گام بعد وارد فاز تصدیق^۱ امضا می‌شویم. در این مرحله قصد داریم اصلی یا جعلی بودن امضای یک فرد ورودی را تشخیص دهیم و تعیین کنیم که این امضا متعلق به فرد مورد ادعا است یا نه. این فاز شامل دو مرحله متوالی مقایسه می‌شود: ۱- بخش تشخیص چپ‌دستی راست‌دستی ۲- بخش مقایسه بردارهای ویژگی میانگین فرد اصلی با بردار ویژگی فرد مدعی.

^۱ Verification

۳-۵-۳-۱- تشخیص چپ‌دستی راست‌دستی

به منظور تأیید امضای فرد ورودی، در مرحله اول چپ‌دست یا راست‌دست بودن فرد مدعی تشخیص داده می‌شود. اگر این ویژگی با ویژگی فرد اصلی یکسان نبود، امضا جعلی در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت روند شناسایی وارد مرحله بعد یعنی بخش مقایسه بردارهای ویژگی می‌شود.

۳-۵-۳-۲- بخش مقایسه بردارهای ویژگی میانگین فرد اصلی با بردار ویژگی فرد مدعی

۳-۵-۳-۲-۱- محاسبه بردار ویژگی فرد مدعی

الف- محاسبه بخش پویای بردار ویژگی فرد مدعی

پس از عبور از مرحله اول، به منظور تأیید امضای فرد، وارد مرحله دوم می‌شویم. در این بخش ابتدا ویژگی‌های پویا و ایستا از ویدئوی امضای شخص مدعی استخراج می‌شود؛ بنابراین ۴ سیگنال برای ویژگی‌های پویا و ۳ مقدار برای ویژگی‌های ایستا خواهیم داشت.

در گام بعد با استفاده از DTW سیگنال مربوط به هر ویژگی پویا (y_i) از شخص مدعی را با m سیگنال آموزشی پویای همان ویژگی (سیگنال‌های مجموعه X_i) در فرد اصلی مقایسه می‌کنیم؛ بنابراین طبق رابطه (۳-۲۶) برای هر ویژگی m مقدار به دست خواهد آمد.

$$\text{Dist}_i^p = DTW(y_i, x_i^p) \quad p = 1:m \quad (۳-۲۶)$$
$$x_i^p \in X_i$$

دنباله Dist_i دارای m عدد می‌باشد که میزان شباهت سیگنال y_i و سیگنال‌های آموزشی مجموعه X_i را تعیین می‌کند. دنباله Dist_i در حقیقت حاوی مقادیر شباهت سیگنال ویژگی i ام فرد مدعی و سیگنال‌های آموزشی ویژگی i ام از فرد اصلی است.

در گام بعد، دنباله $Dist_i$ را طبق رابطه (۲۷-۳) نرمال می‌کنیم و سپس برای هر ویژگی مقدار کمینه دنباله $Dist_i$ نرمال شده را مشخص می‌کنیم.

$$Dist_i^{nrm} = \frac{Dist_i}{V_i^{MAX}} \quad (27-3)$$

$$Min_i = \min(Dist_i^{nrm})$$

در این رابطه V_i^{MAX} ، مؤلفه مربوط به ویژگی i ام از بخش پویای بردار ماکزیمم است که در فاز آموزش برای فرد اصلی به دست آمده است و $Dist_i^{nrm}$ نرمال شده دنباله $Dist_i$ می‌باشد. همچنین Min_i مقدار کمینه دنباله نرمال شده است.

در گام نهایی بخش پویای بردار ویژگی مربوط به فرد مدعی به صورت رابطه (۲۸-۳) به دست می‌آید که در حقیقت مجموعه‌ای از مقدارهای کمینه برای هر ویژگی پویا است.

$$V_{dynamic}^{clm} = \{ Min_i \} \quad i = 1:4 \quad (28-3)$$

ب- محاسبه بخش ایستای بردار ویژگی فرد مدعی

در این قسمت از سه ویژگی ایستای استخراج شده از ویدئوی امضای فرد مدعی استفاده می‌کنیم. برای به دست آوردن بخش ایستای بردار ویژگی فرد مدعی، کافی است این ۳ مقدار را طبق رابطه (۲۹-۳) نرمال کنیم.

$$b_i^{nrm} = \frac{b_i}{V_{i+4}^{MAX}} \quad i = 1:3 \quad (29-3)$$

$$V_{static}^{clm} = \{ b_i^{nrm} \} \quad i = 1:3$$

در این رابطه، i b_i امین ویژگی ایستا است و V_{static}^{clm} بخش ایستای بردار ویژگی فرد مدعی است. (دقت شود که در کل ۳ ویژگی ایستا داریم).

در نهایت بردار ویژگی کلی برای فرد مدعی با کنار هم قرار دادن بخش پویا و ایستا طبق رابطه (۳-۳۰) به دست می‌آید.

$$V^{CLM} = | V_{static}^{clm} , V_{dynamic}^{clm} | \quad (۳-۳۰)$$

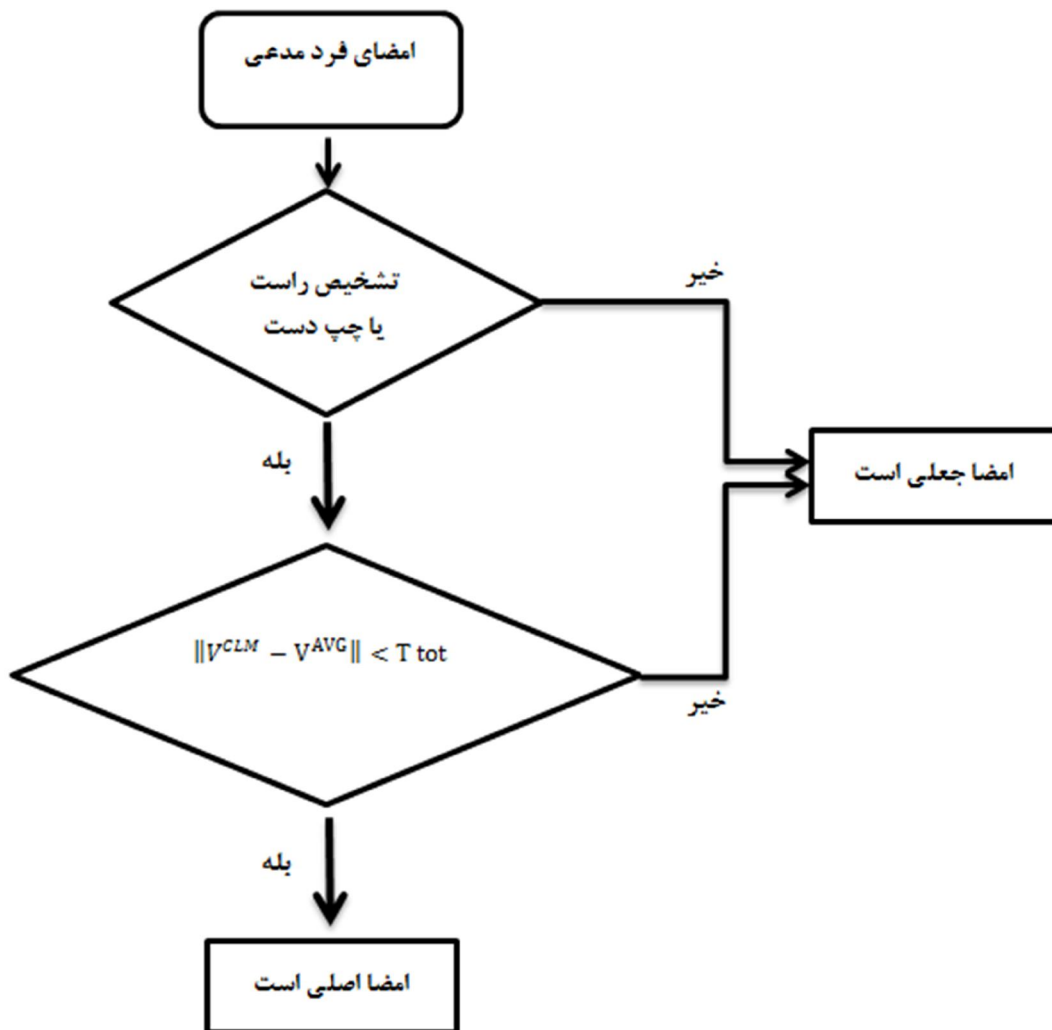
۳-۵-۲-۲-۲-مقایسه بردار ویژگی فرد مدعی و بردار میانگین فرد اصلی

به منظور مقایسه این بردارها و تصدیق امضای فرد، فاصله اقلیدسی بین بردار میانگین فرد اصلی که در فاز آموزش به دست آمد و بردار ویژگی فرد مدعی را به دست آورده و اگر این فاصله از مقدار آستانه T_{tot} کمتر باشد، امضای فرد مدعی، اصلی و در غیر این صورت جعلی می‌باشد.

روند تصدیق امضای فرد مدعی در

شکل ۳-۳۹ نشان داده شده است که می‌توان روند توضیح داده شده در این بخش را به طور خلاصه

در این شکل مشاهده کرد.



شکل ۳-۳۹: روند نمای سیستم تصدیق امضا

۴. فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- معرفی پایگاه داده

همانطور که در فصل‌های قبل به آن اشاره شد، هدف از این پایان‌نامه ارائه روشی برای تشخیص اصلی یا جعلی بودن امضا با استفاده از ویدئو است. بدین منظور برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی آن باید از تعدادی ویدئوی امضا استفاده شود. از آنجایی که تعداد مقالاتی که در زمینه شناسایی امضا با استفاده از ویدئو کار کرده‌اند محدود است و از طرفی پایگاه داده آنها در اختیار ما نبود، اقدام به تهیه پایگاه داده‌ای نمودیم که بتوان توسط آن روش پیشنهادی را پیاده‌سازی و ارزیابی نمود.

۴-۱-۱- مشخصات ابزار فیلم‌برداری

برای تهیه پایگاه داده این پایان‌نامه از ۳ عدد وبکم *Logitech C310* با مشخصات زیر استفاده شده است.

۱- کیفیت تصویر: *HD 720p*

۲- وضوح یا تفکیک‌پذیری: *5 Mega Pixels*

۳- نرخ تصویربرداری: *30 frame per second*

۴- اندازه قاب تصاویر: حداکثر تا 1280×720

۵- دارا بودن قابلیت کاهش نویز داخلی و اتصال به *USB 2.0*

۴-۱-۲- نرم افزار ضبط ویدئو و فرمت ویدئو

به منظور ضبط ویدئوهای امضای هر نفر از نرم افزار *iSpy. V6.2.7.0* استفاده می شود. این نرم افزار قابلیت ضبط همزمان ویدئوهای چند دوربین مختلف را دارد. از دیگر قابلیت های این نرم افزار تنظیم نرخ فریم برای ضبط ویدئو و همچنین تنظیم ابعاد تصاویر خروجی است. ما برای ضبط ویدئوهای امضا، نرخ فریم را بر روی ماکزیمم مقدار یعنی ۳۰ فریم بر ثانیه و ابعاد تصاویر ویدئوی امضا را بر روی 320×240 تنظیم نموده ایم. فرمت ویدئوهای ضبط شده توسط این نرم افزار قابل تغییر است که ما در این پایگاه داده از فرمت *mp4* استفاده نموده ایم.

۴-۱-۳- موقعیت دوربین های فیلم برداری

به منظور تهیه پایگاه داده از سه وبکم با مشخصات اشاره شده در سه موقعیت سمت راست، چپ و روبه رو برای فیلم برداری استفاده نمودیم.

فاصله عمودی هر یک از دوربین ها تا صفحه محل امضا، ۳۵ سانتی متر است. همچنین زاویه دوربین های چپ، راست و روبه رو با پایه عمودی متصل به هر کدام^۱، به ترتیب ۳۰، ۳۰ و ۴۳ درجه می باشد. تصویر محل امضا و موقعیت این دوربین ها در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

در این پایان نامه ما فقط از دوربین نمای روبه رو برای تشخیص امضا استفاده می کنیم. این دوربین با فلش قرمز رنگ در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. دلیل استفاده از نمای روبه رو این است که روش پیشنهادی برای تشخیص امضا در این پایان نامه برای هر دو گروه افراد چپ و راست دست طراحی شده است و استفاده از دوربین های چپ و راست به صورت تنهایی، الگوریتم

^۱ Azimuth

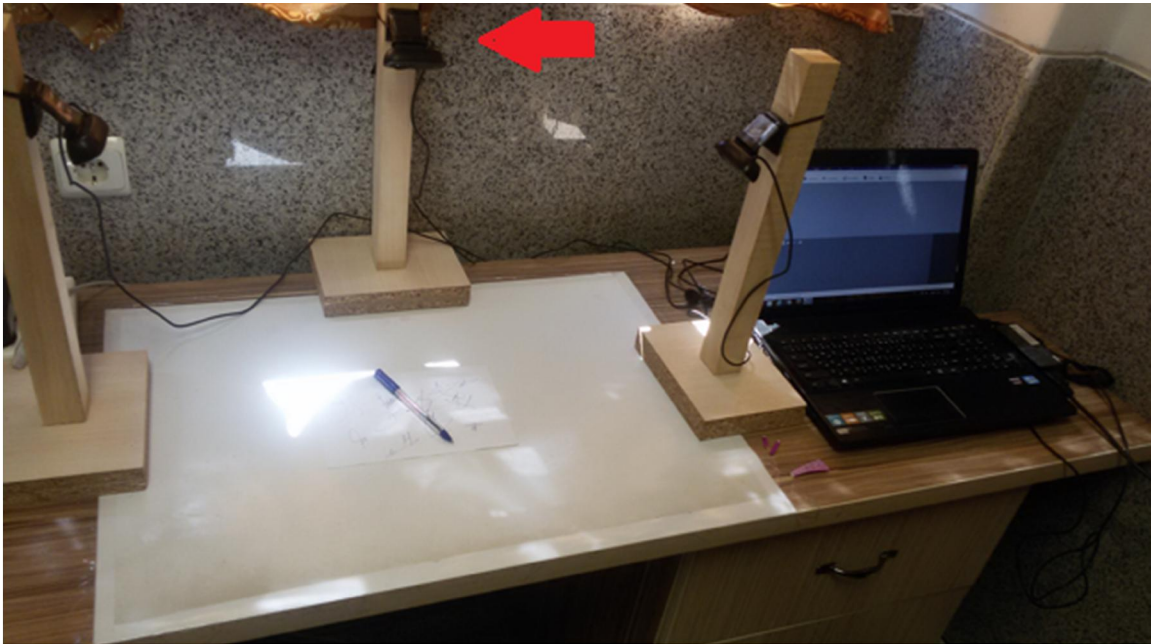
پیشنهادی را دچار مشکل می‌کند.

اما ممکن است این سؤال پیش آید که علی‌رغم استفاده از دوربین نمای روبرو در این پایان‌نامه، چرا از دو دوربین دیگر برای فیلم‌برداری استفاده کرده‌ایم؟ در پاسخ می‌توان سه دلیل ذکر نمود.

دلیل اول برای استفاده از سه وبکم به طور همزمان این بود که وجود دو دوربین در موقعیت‌های چپ و راست، اطلاعات بیشتری در اختیار قرار می‌دهد که با استفاده همزمان اطلاعات هر سه دوربین، به احتمال زیاد دقت بیشتری را در شناسایی امضا موجب خواهد شد. در ابتدای جمع‌آوری پایگاه داده که هنوز طراحی روش پیشنهادی کامل و شبیه‌سازی نشده بود، به طور قطع مطمئن نبودیم که آیا فقط اطلاعات نمای روبرو برای تشخیص امضا کافی است یا خیر. برای همین اقدام به فیلم‌برداری از سه نمای مختلف نمودیم که در صورت نیاز بتوان از اطلاعات دو دوربین چپ و راست نیز برای تشخیص امضا استفاده نمود.

دومین دلیل استفاده از سه دوربین این بود که هرچند که ما در این پایان‌نامه فقط از موقعیت روبرو استفاده نمودیم ولی ممکن است در کاربردهای خاص دیگران که نیاز به وجود اطلاعات بیشتری باشد، این پایگاه داده گزینه مناسبی برای استفاده در آن روش‌ها باشد و دیگران بتوانند در پژوهش‌های خود از این پایگاه داده استفاده نمایند.

دلیل سوم نیز این است که ما در این پایان‌نامه باید نتایج روش پیشنهادی را با نتایج مقاله‌های دیگر مقایسه کنیم. در بعضی مقالات، روش تصدیق امضا مبتنی بر ویدئوهای نمای سمت چپ دست است و می‌بایست برای پیاده‌سازی این روش‌ها، ویدئوهایی از نمای سمت چپ داشته باشیم. به همین دلیل و به دلیل عدم دسترسی به پایگاه داده این مقالات، ویدئوهای نماهای دیگر تهیه شد.



شکل ۴-۱: محیط ضبط امضا و موقعیت دوربین‌ها

۴-۱-۴- پس‌زمینه و محل امضا

در این پایگاه داده از یک پس‌زمینه سفیدرنگ استفاده شده است. همچنین محل امضا برای هر فرد یک کاغذ سفیدرنگ می‌باشد. این کاغذ الزماً خالی از نوشته نیست و ممکن است بر روی این کاغذ نوشته‌هایی از قبل موجود باشد.

۴-۱-۵- تعداد و شرایط زمانی فیلم‌برداری

پایگاه داده موردنظر شامل ۱۹ امضای اصلی به ازای ۸۲ نفر مختلف می‌باشد. این ۱۹ امضا برای هر فرد در سه روز مختلف جمع‌آوری شده است. در روز اول ۷ امضا، در روز دوم ۷ امضا و در روز سوم ۵ امضا از هر نفر گرفته شده است. فاصله زمانی این سه روز از یکدیگر یک هفته بوده است. همچنین سعی شده است که میزان نور مکان فیلم‌برداری در این روزها تقریباً متنوع باشد. به طور مثال ویدئوها در روزهای ابری و آفتابی و همچنین صبح زود، ظهر و غروب ضبط شده است. این تنوع برای ایجاد انعطاف‌پذیری در

شرایط ویدئوهاست. شکل ۲-۴ تصویر یک فرد امضاکننده را در یک ظهر آفتابی نشان می‌دهد.

همچنین این پایگاه داده شامل ۵ امضای جعلی از امضای یک فرد خاص است. برای تهیه امضای جعلی، از ۵ فرد مختلف درخواست شده است که برگه امضای اصلی را به مدت یک هفته تمرین کنند و بعد از یک هفته برای جعل کردن آن مراجعه نمایند؛ بنابراین به ازای هر فرد خاص، ۵ امضای جعلی وجود دارد.

به طور کل در این پایگاه داده سعی شده است که تنوع در شرایط روشنایی و همچنین جنسیت و راست‌دست و چپ‌دستی ایجاد شود.



شکل ۲-۴: تصویر یک فرد امضاکننده در یک ظهر آفتابی

۴-۲- نتایج شبیه‌سازی

در این فصل قصد داریم که روش پیشنهادی را بر روی پایگاه داده معرفی شده در بخش (۴-۱) پیاده‌سازی کرده و بر اساس نتایج شبیه‌سازی، روش پیشنهادی را ارزیابی کنیم.

بدین منظور در گام اول مراحل روش پیشنهادی را بر روی داده‌های جمع‌آوری شده از یک فرد نمونه بررسی می‌کنیم. به عبارتی ویژگی‌های به‌دست‌آمده برای امضاهای اصلی این یک فرد نمونه را معرفی کرده و با ویژگی‌های استخراج شده برای امضاهای جعلی مقایسه می‌کنیم.

در گام دوم، روش پیشنهادی را بر روی تمام امضاهای پایگاه داده پیاده‌سازی کرده و نتایج ارزیابی را بر اساس معیارهای مختلف بیان خواهیم کرد. در ادامه این نتایج را با نتایج به‌دست‌آمده در دو مقاله دیگر مقایسه می‌کنیم.

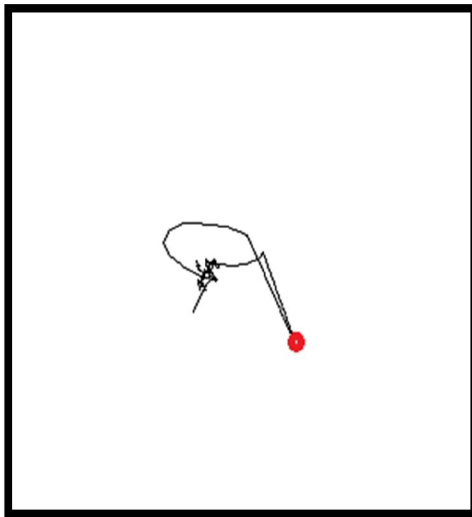
همانطور که در فصل ۳ مشخص است، روش پیشنهادی شامل یکسری پارامترها است که باید مقادیر آنها در هنگام پیاده‌سازی عملی مشخص شود. در گام سوم با استفاده از جداولی مقادیر این پارامترها و نحوه دستیابی به آنها را تعیین می‌کنیم.

۴-۲-۱- بررسی ویژگی‌های استخراج شده برای امضاهای آموزشی یک فرد نمونه

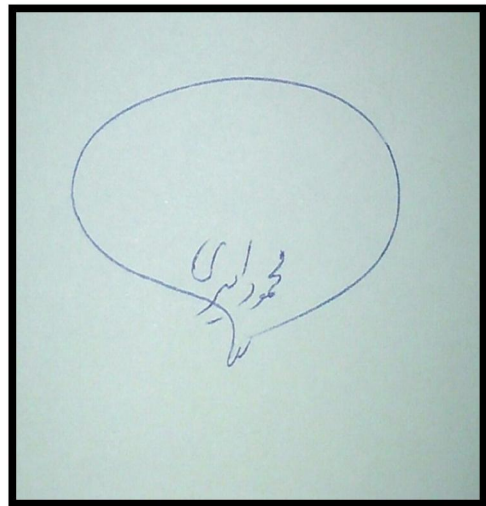
همانطور که در بخش روش پیشنهادی بیان شد، برای استخراج ویژگی از یک ویدئوی امضا، ابتدا باید نقاط شروع و پایان عمل امضا را تعیین کرد. پس از یافتن این نقاط، بر اساس روش‌هایی که در فصل ۳ توضیح داده شد، ویژگی‌های موردنظر از یک ویدئو استخراج می‌شود. در ادامه ویژگی‌های به‌دست‌آمده را برای داده‌های آموزشی یک فرد نمونه بررسی خواهیم کرد.

۴-۲-۱-۱-ردیابی نوک قلم و تشکیل شکل امضا

طبق روند نمای شکل ۳-۶ در هر ویدئو، ابتدا موقعیت اولیه نوک قلم پس از یافتن محور اصلی قلم و استفاده از الگوریتم هریس در فریم‌های مختلف تعیین می‌شود. این موقعیت‌ها ممکن است دارای خطا باشد. به‌عنوان مثال برای یک ویدئو آموزشی از این فرد نمونه، شکل دست‌نوشت امضا و شکل به‌دست‌آمده با استفاده از اتصال موقعیت اولیه نقاط یافت شده (قبل از تصحیح خطا)، به ترتیب در شکل ۴-۳ الف و ب نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

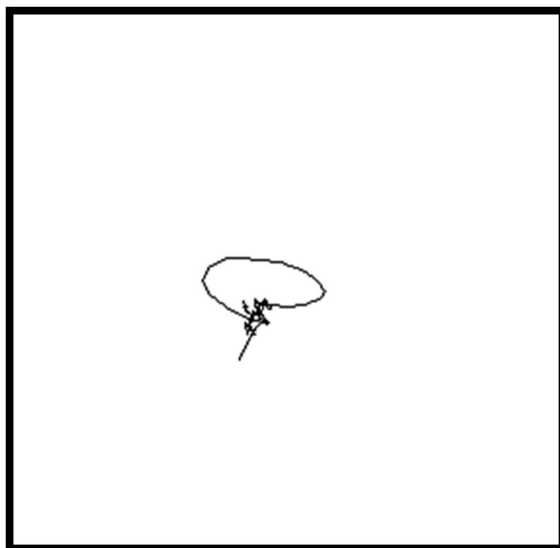
شکل ۴-۳ : شکل امضا. (الف): امضای دست‌نوشت فرد، (ب): طرح امضای اولیه به دست آمده با استفاده از الگوریتم

پیشنهادی

اگر شکل امضای شکل ۴-۳ الف و شکل ۴-۳ ب را مقایسه نماییم، می‌توان دریافت که در شکل ۴-۳ ب در نقطه قرمز رنگ، نقطه یافت شده دچار خطا شده است؛ بنابراین در مرحله دوم برای رفع خطا در این

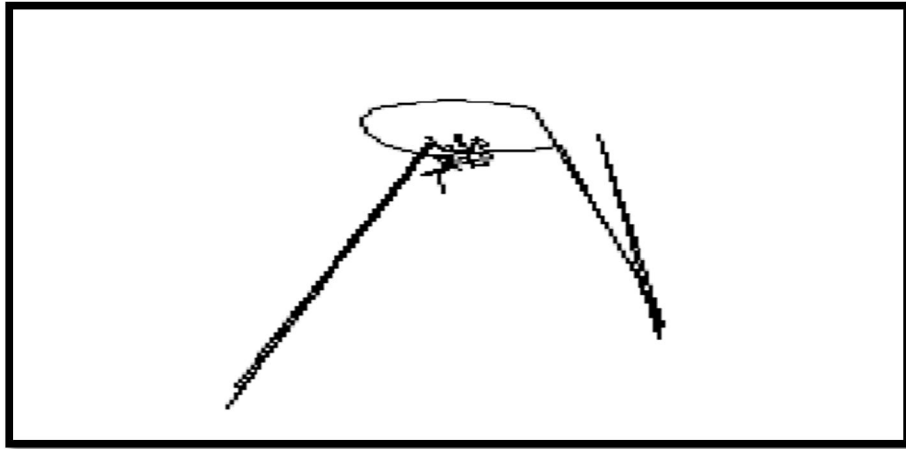
نقطه از روش فیلتر ذره‌ای استفاده می‌شود.

نتیجه اعمال این روش بر روی دنباله نقاط شکل ۳-۴ ب، به صورت شکل ۴-۴ به دست می‌آید.

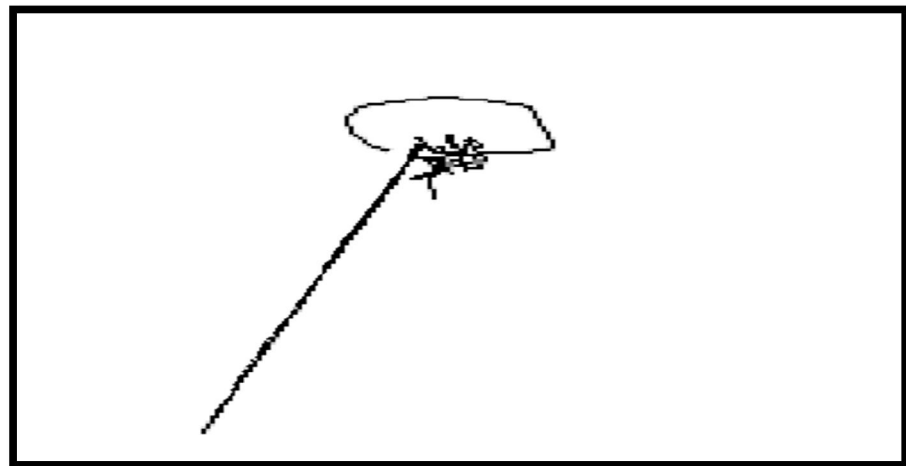


شکل ۴-۴: امضای اصلاح‌شده توسط فیلتر ذره‌ای

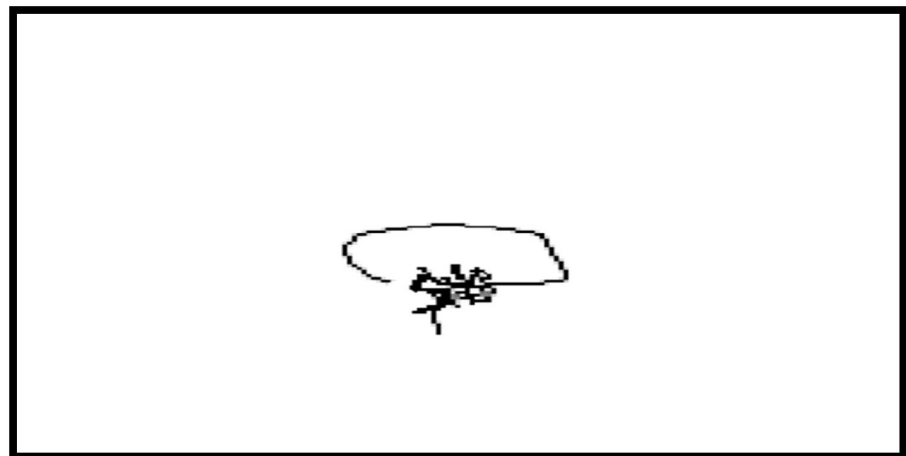
بدین ترتیب دنباله نقاط به طور صحیح استخراج می‌شود و آماده استخراج ویژگی از این دنباله می‌شود؛ اما همانطور که در بخش (۳-۳-۳-۲) توضیح داده شد، ممکن است پس از رفع خطا از دنباله نقاط با استفاده از فیلتر ذره‌ای، باز هم دنباله نقاط دچار خطا شده باشد. این مشکل در یک امضای دیگر از همین فرد نمونه اتفاق افتاده است. روند تصحیح امضا در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. شکل ۴-۵ الف موقعیت اولیه نقاط و شکل امضا که با استفاده از یافتن محور اصلی و الگوریتم هریس یافت شده است را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۵ ب شکل امضا با استفاده از فیلتر ذرات تصحیح شده است و در شکل ۴-۵ پ شکل امضا بعد از تصحیح نهایی با استفاده از الگوریتم *K-Means* را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)



(پ)

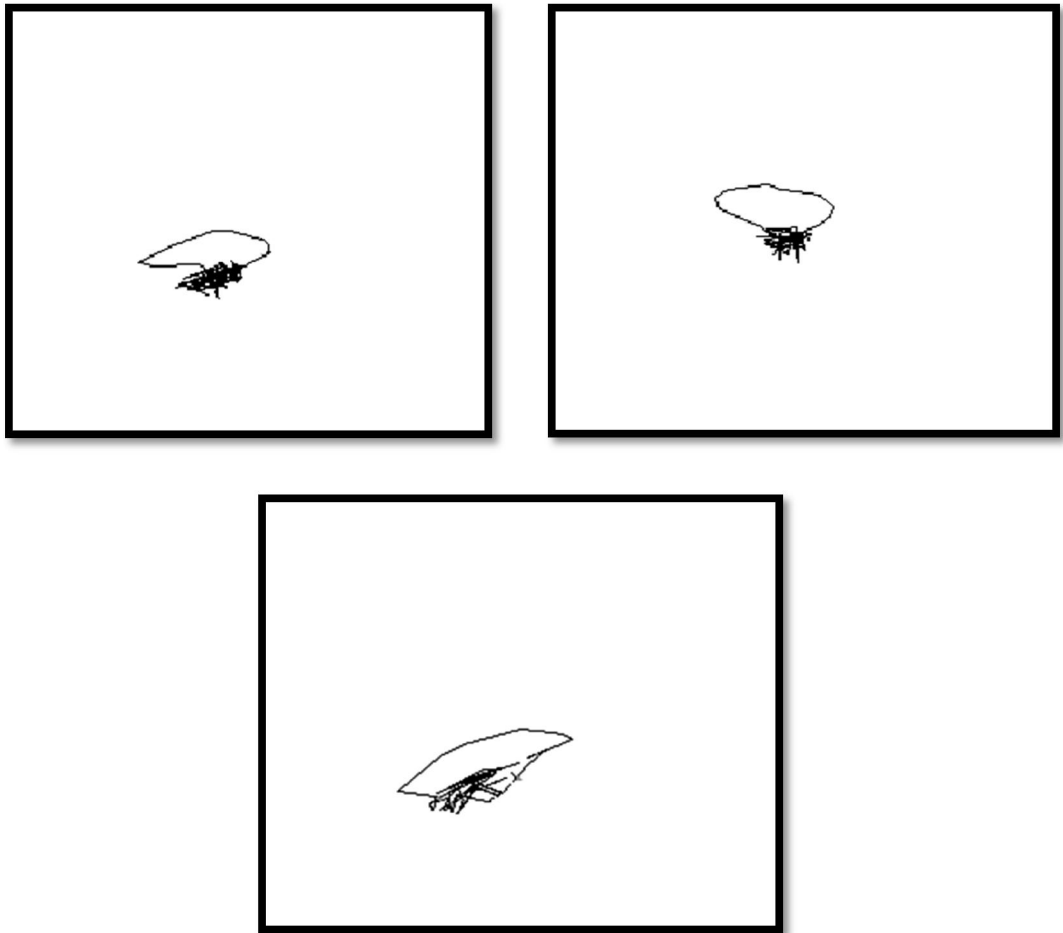
شکل ۴-۵: روند تصحیح امضا. الف: موقعیت اولیه نقاط امضا. ب: اصلاح اول با استفاده از فیلتر ذره‌ای. پ: اصلاح دوم

با استفاده از *K-Means*

علت عدم حذف تمام خطاهای شکل ۴-۵ الف پس از استفاده از فیلتر ذرات این است که ممکن است که نقطه قبل از نقطه‌ای که دچار خطا شده است، خود نیز، دچار خطا شده است و در بخش شناسایی نقاط خطا تشخیص داده نشده است. به همین دلیل در فیلتر ذرات که مبنا و الگو، نقطه‌ی قبلی است، این الگوریتم به درستی عمل نمی‌کند؛ بنابراین نیاز به اصلاح شکل با استفاده از روش دوم اصلاح خطا وجود دارد که در بخش (۳-۳-۲) توضیح داده شده است. بدین ترتیب پس از عبور از دو مرحله تصحیح امضا، نقاط دنباله به طور صحیح به دست می‌آید و از آن برای استخراج ویژگی استفاده می‌شود.

حال اگر الگوریتم ردیابی نوک قلم و تشکیل شکل امضا که در روندنمای شکل ۳-۶ نشان داده شده است را برای سه نمونه امضای جعلی از این فرد اعمال کنیم، شکل امضاهای جعلی پس از انجام مراحل رفع خطا به صورت شکل ۴-۶ به دست خواهد آمد.

همانطور که در شکل ۴-۶ مشخص است، این امضاهای جعلی تقریباً از لحاظ ظاهری با امضای اصلی فرد که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است، شباهت دارند؛ اما اگر ویژگی‌های پویای استخراج شده از این امضاهای جعلی را بررسی نماییم متوجه خواهیم شد که این امضاها متعلق به فرد اصلی نیست. در ادامه به بررسی ویژگی‌های امضاهای فرد اصلی و امضاهای جعلی می‌پردازیم.

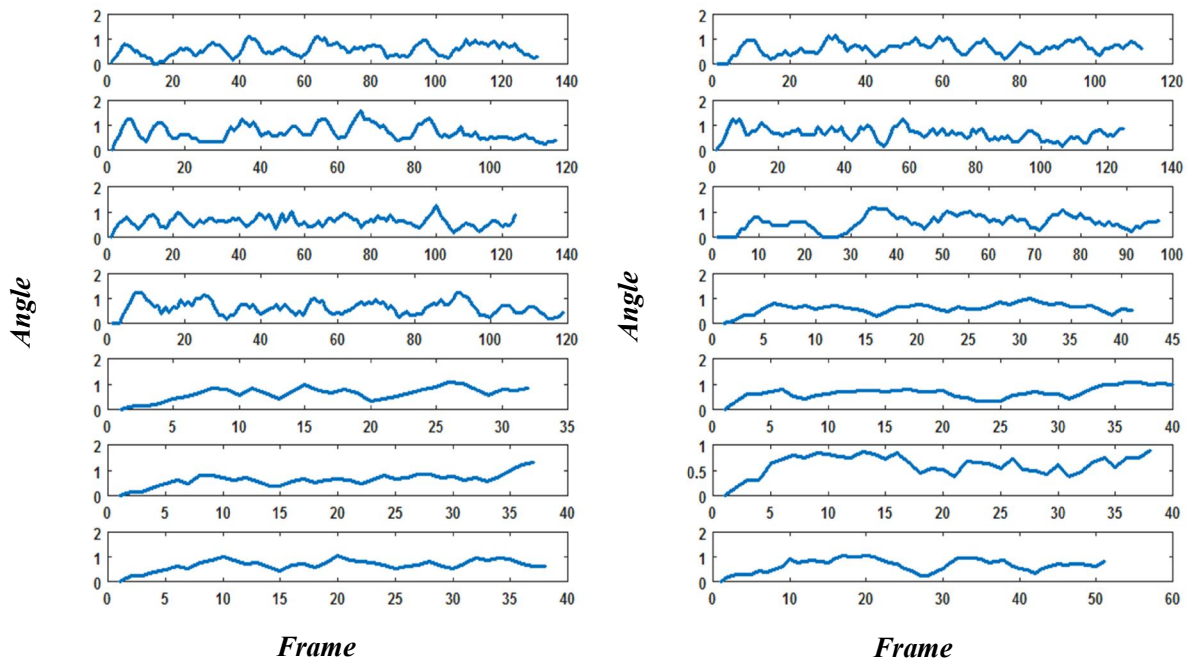


شکل ۴-۶: شکل امضاهای تشکیل شده برای سه نمونه امضای جعلی

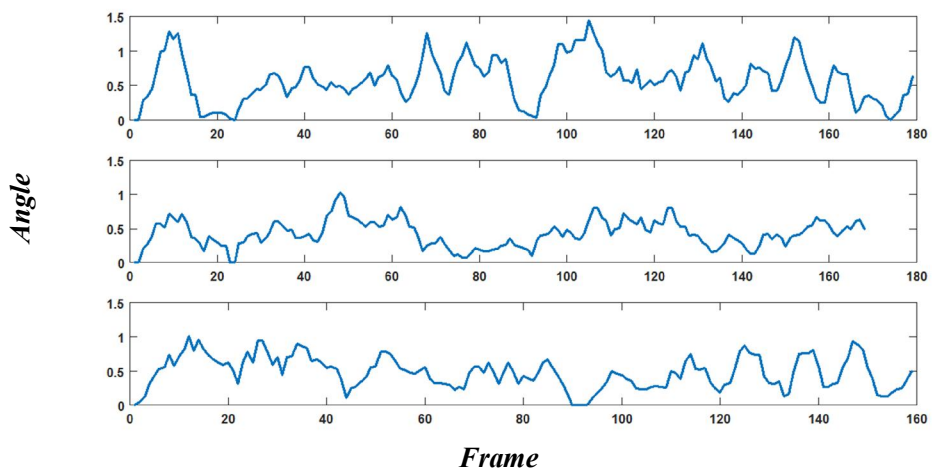
۴-۲-۱-۲-دنباله زوایای بین خطوط واصل نقاط متوالی

اولین ویژگی پویایی که از این دنباله نقاط به دست می آید، زاویه بین خطوط متوالی است. منظور از خطوط متوالی، خطوطی است که بین دونقطه متوالی رسم می شود. این ویژگی که برای ۱۴ داده های آموزشی فرد نمونه به دست آمده است، در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. همچنین دنباله به دست آمده مربوط به این ویژگی برای سه نمونه امضای جعلی از این فرد در شکل ۴-۸ مشخص شده

است.



شکل ۴-۷ دنباله زاویه بین خطوط واصل دونقطه متوالی برای ۱۴ داده آموزشی فرد نمونه



شکل ۴-۸: دنباله زاویه بین خطوط واصل دونقطه متوالی برای سه نمونه امضای جعلی

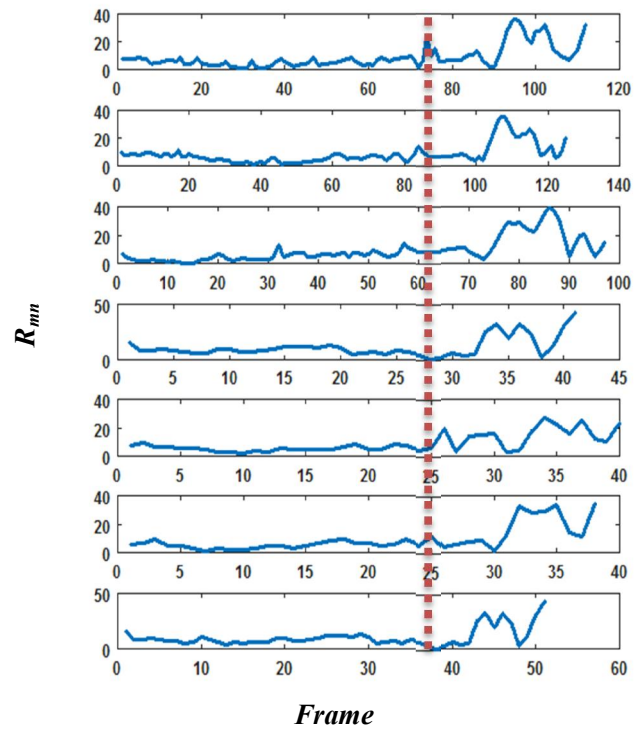
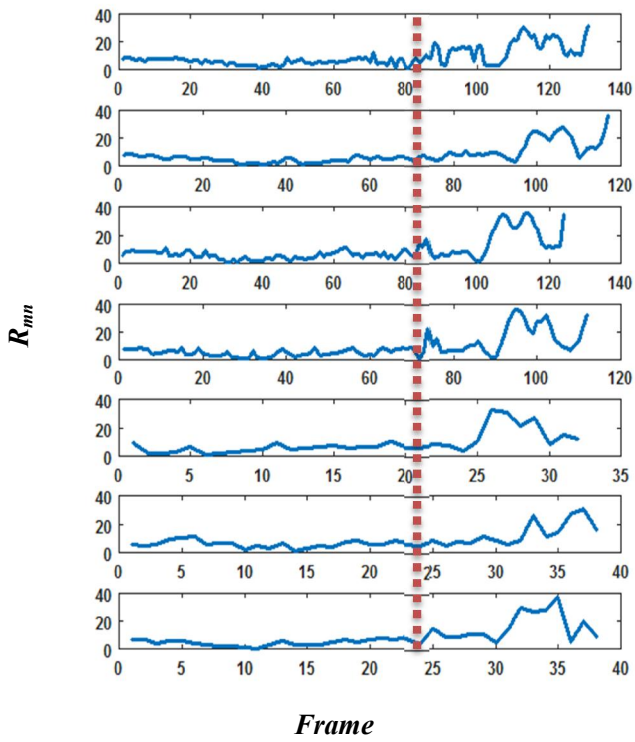
۴-۲-۱-۳-دنباله فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز امضا (R_{mn})

همانطور که در بخش (۳-۱-۴-۲) توضیح داده شد، دنباله R_{mn} با محاسبه فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز ثقل این نقاط به دست می‌آید. فقط باید دقت شود که برای محاسبه فاصله نقاط، ترتیب نقاط حفظ شود. دنباله فاصله نقاط برای ۱۴ داده آموزشی مربوط به فرد نمونه در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. دنباله مربوط به این ویژگی برای سه امضای جعلی نیز در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. همچنین دو نمونه امضای اصلی و جعلی که در آن موقعیت مرکز ثقل امضا با دایره قرمز رنگ مشخص است، در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.

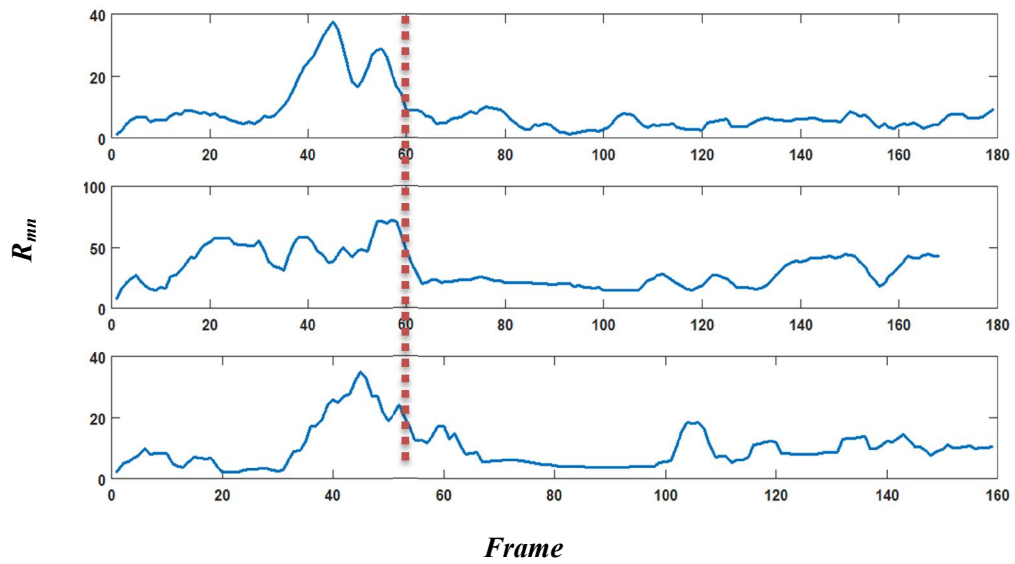
۴-۲-۱-۳-۱- تحلیل نمودارهای R_{mn}

نمودارهای شکل ۴-۹ مربوط به امضاهای اصلی فرد می‌باشد. اگر به نمودارهای این شکل دقت کنیم، متوجه خواهیم شد که رفتار این نمودارها تا حد نسبتاً زیادی شبیه به یک یکدیگر هستند. از رفتار این نمودارها می‌توان متوجه شد که در امضاهای فرد اصلی، در فریم‌های آغازین (فریم‌های سمت چپ خط چین‌ها)، فاصله نوک قلم تا مرکز ثقل کمتر از این فاصله در فریم‌های پایانی (فریم‌های سمت راست خط چین‌ها) است. این موضوع به ما نشان می‌دهد که مرکز ثقل به نقاط نوک قلم در فریم‌های آغازین نزدیک‌تر است.

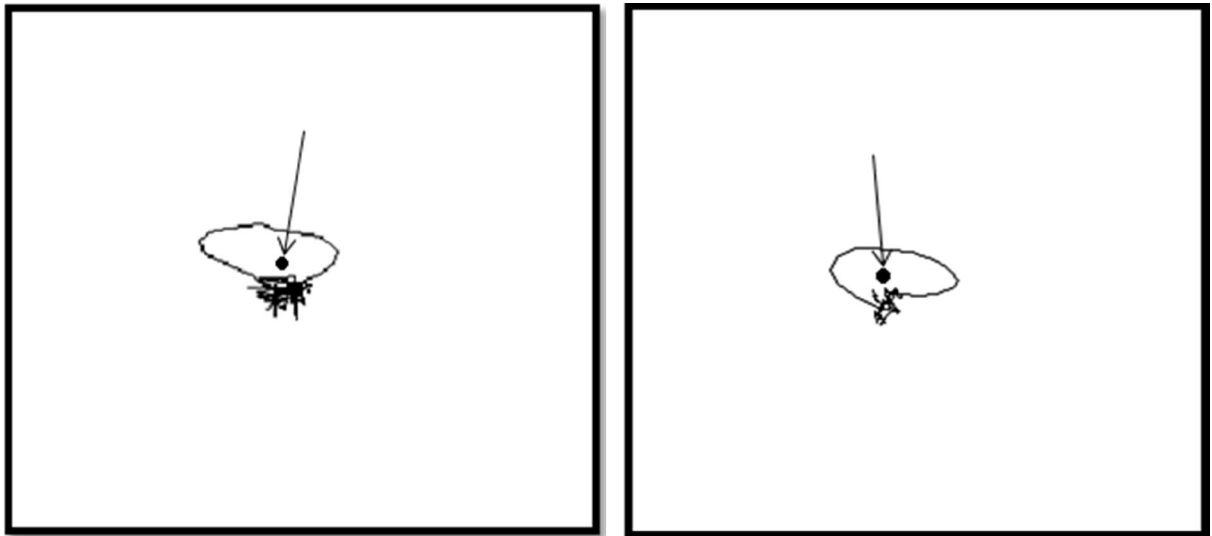
اما این رفتار در نمودارهای امضاهای جعلی که در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است کاملاً برخلاف امضاهای اصلی است؛ زیرا در فریم‌های آغازین امضاهای جعلی، فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز ثقل بیشتر از فریم‌های پایانی است. این تفاوت در رفتار نمودارهای اصلی و جعلی در حالی است که شکل دو امضای اصلی و جعلی نشان داده شده در شکل ۴-۱۱ و همچنین موقعیت مرکز ثقل با تقریب زیادی شبیه به یکدیگر است.



شکل ۴-۹: دنباله‌های فاصله نقاط تا مرکز ثقل (R_{mn}) مربوط به ۱۴ امضای آموزشی فرد نمونه



شکل ۴-۱۰: دنباله‌های فاصله نقاط تا مرکز ثقل (R_{mn}) مربوط به امضاهای جعلی



ب

الف

شکل ۴-۱۱: شکل امضا و موقعیت مرکز ثقل. موقعیت مرکز ثقل با دایره مشخص شده است. الف: امضای اصلی. ب: امضای جعلی

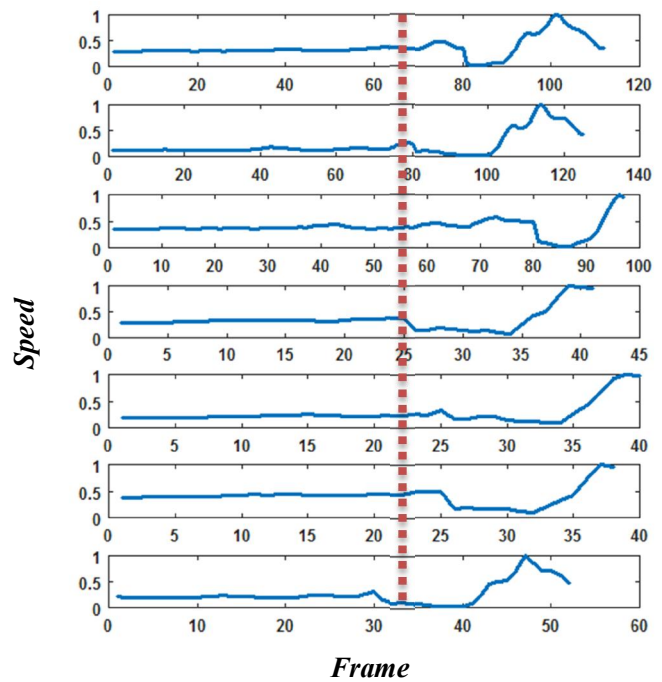
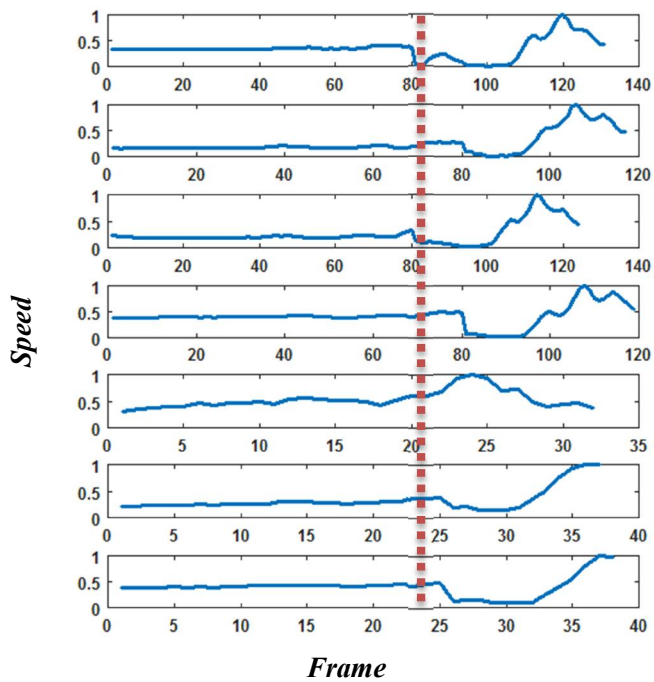
علت تفاوت در نمودارهای امضاهای اصلی و جعلی این است در امضای اصلی، فرد امضاکننده ابتدا نام خود را می‌نویسد و سپس دایره‌ای اطراف اسم خود رسم می‌کند؛ ولی در امضای جعلی، فرد جاعل به خاطر عدم اطلاع از نحوه حرکت دست فرد اصلی، ابتدا دایره را رسم می‌کند و سپس نام خود را می‌نویسد. اینجاست که می‌توان تفاوت ویژگی‌های پویا و ایستا را از هم تشخیص داد و نشان داد که این ویژگی پویا قابلیت قابل توجهی در تمییز امضای اصلی و جعلی ایجاد می‌کند.

۴-۲-۱-۴-دنباله سرعت حرکت دست

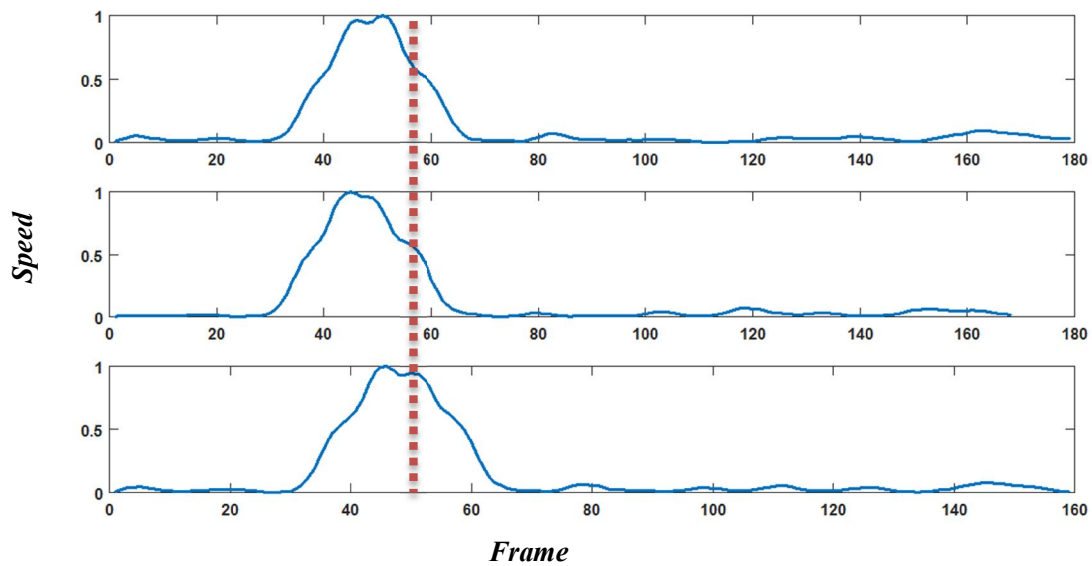
سرعت حرکت دست در نتیجه تفاضل فریم‌های متوالی به دست می‌آید. مجموعه دنباله سرعت

حرکت دست برای ۱۴ داده آموزشی فرد نمونه و ۳ امضای جعلی به ترتیب در شکل ۴-۱۲ *Error!*

Reference source not found. مشخص شده است.



شکل ۴-۱۲: دنباله‌های سرعت حرکت دست مربوط به ۱۴ امضای آموزشی فرد نمونه



شکل ۴-۱۳: دنباله‌های سرعت حرکت دست مربوط به امضاهای جعلی

۴-۲-۱-۴-۱- تحلیل نمودارهای سرعت حرکت دست

همانطور که گفته شد، شکل ۴-۱۲ نمودار سرعت حرکت دست را برای ۱۴ ویدئوی امضای یک فرد مشخص شده است. سرعت حرکت دست در فریم‌های اولیه مقدار کمتری نسبت به فریم‌های پایانی دارد. چون در ویدئوهای امضای فرد، ابتدا شخص نام خود را می‌نویسد (هنگام نوشتن سرعت دست کم است) و سپس با یک حرکت سریع، دایره‌ای اطراف نام خود رسم می‌کند. همچنین در این شکل تشابه نمودارهای سرعت بیانگر این است که این نمودارها مربوط به یک شخص خاص می‌باشد.

شکل ۴-۱۳ دنباله سرعت حرکت دست برای امضاهای جعلی مربوط به فرد نمونه را نشان می‌دهد. مقدار سرعت دست در فریم‌های آغازین بیشتر از فریم‌های پایانی است. این رفتار در امضاهای جعلی کاملاً برخلاف امضاهای اصلی است و فرد جاعل همانطور که گفته شد ابتدا با یک حرکت سریع دایره را رسم می‌کند و سپس نام خود را با سرعت کمتر می‌نویسد.

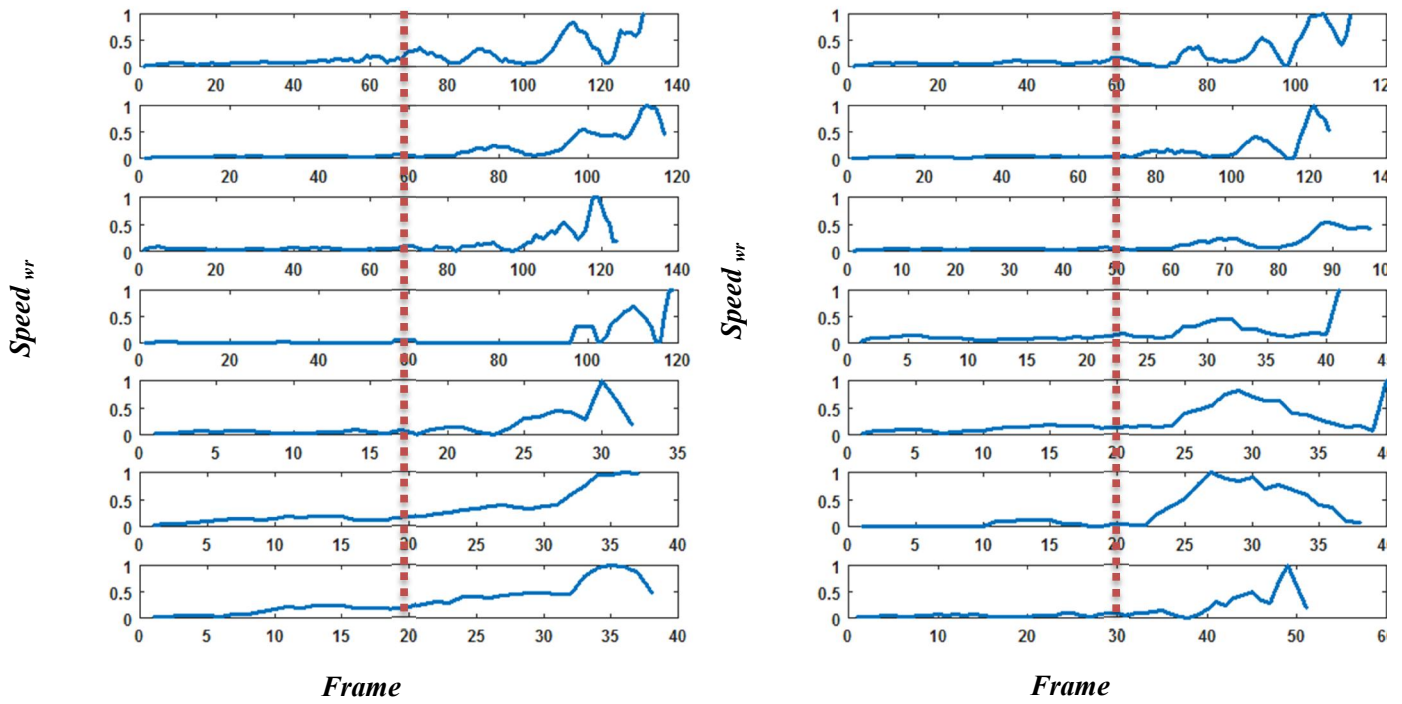
۴-۲-۱-۵- دنباله سرعت حرکت میچ دست

برای بعضی افراد سرعت حرکت میچ دست با سرعت حرکت دست تفاوت‌هایی دارد؛ چون همانطور که در بخش (۳-۴-۱-۴) توضیح داده شد، ممکن است در تمام طول امضا یا بخشی از آن، فقط محدوده از دست حرکت کند که اطراف نوک قلم باشد و میچ دست ثابت بماند. این حالت در امضاهای این فرد نمونه رخ می‌دهد و میچ دست این فرد در فریم‌های آغازین امضا تقریباً ثابت است. سرعت حرکت میچ دست برای ۱۴ داده آموزشی این فرد نمونه در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است.

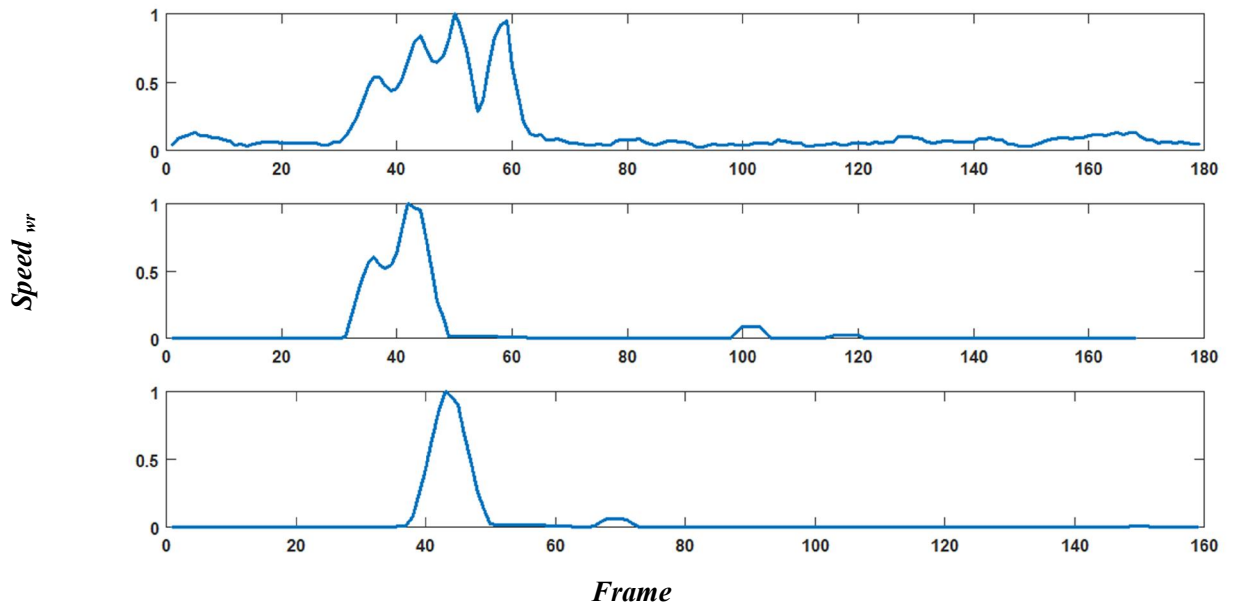
۴-۲-۱-۵-۱- تحلیل نمودار سرعت حرکت مچ دست

همانطور که گفته شد، فرد امضاکننده در فریم‌های آغازین در حال نوشتن نام خود می‌باشد. در ویدئوهای فرد مشخص است که این فرد در هنگام نوشتن نام خود، ناحیه مچ دست را تقریباً حرکت نمی‌دهد؛ بنابراین باید انتظار داشت که سرعت حرکت مچ دست در این فریم‌ها مقادیر کوچکی داشته باشد. این رفتار در نمودارهای شکل ۴-۱۴ اثبات می‌شود و مشخص می‌شود که سرعت مچ در فریم‌های آغازین مقادیر کوچکی دارد؛ اما اگر به نمودارهای شکل ۴-۱۵ نگاه کنید باز هم متوجه خواهید شد فرد جاعل به خاطر عدم اطلاع، ابتدا برای رسم دایره مچ خود را حرکت داده و سپس حرکت مچ کم می‌شود.

ممکن است این ابهام پیش آید که برای یک فرد، سرعت حرکت دست با سرعت مچ دست تفاوت چندانی ندارد. در پاسخ به این ابهام می‌توان گفت که اگر به نمودارهای شکل ۴-۱۲ و شکل ۴-۱۴ که به ترتیب متعلق به سرعت حرکت دست و سرعت مچ در امضاهای فرد اصلی است دقت کنیم، مشخص می‌شود که در فریم‌های آغازین که فرد در حال نوشتن نام خود است مقادیر این دو ویژگی با یکدیگر متفاوت است؛ این موضوع بدین خاطر است که در هنگام محاسبه سرعت حرکت دست، میانگین مقادیر تصویر تفاضل برای کل تصویر دست و قلم در نظر گرفته می‌شود و چون قلم و ناحیه‌ای از دست که اطراف قلم است در حال حرکت است، سرعت دست قابل توجه خواهد بود. ولی در هنگام محاسبه سرعت مچ دست فقط مقدار میانگین تصویر تفاضل در ناحیه مچ دست محاسبه می‌شود و به دلیل ثابت بودن تقریبی مچ دست، سرعت مچ مقداری نزدیک به صفر محاسبه خواهد شد.



شکل ۴-۱۴: دنباله‌های سرعت حرکت میچ دست ($Speed_{wr}$) مربوط به ۱۴ امضای آموزشی فرد نمونه.



شکل ۴-۱۵: دنباله‌های سرعت حرکت میچ دست ($Speed_{wr}$) مربوط به امضاهای جعلی

۴-۲-۲- بررسی نتایج عددی شبیه‌سازی

در این بخش قصد داریم که روش پیشنهادی را بر روی کل ویدئوهای پایگاه داده تهیه‌شده در کار این پایان‌نامه پیاده‌سازی کنیم. همانطور که در بخش (۴-۱-۵) توضیح داده شد، تعداد افراد این پایگاه داده ۸۲ نفر می‌باشد که برای هر فرد ۱۹ ویدئوی امضای اصلی و ۵ امضای جعلی وجود دارد. از ۱۴ ویدئوی امضای اصلی هر فرد برای تهیه مدل امضای آن فرد و از ۵ امضای اصلی دیگر و ۵ امضای جعلی به‌عنوان نمونه‌های آزمایشی استفاده می‌کنیم.

همانطور که در بخش (۳-۵-۳-۲-۲) گفته شد، روند نمای

شکل ۳-۳۹، یک سیستم تصدیق امضا را نشان می‌دهد. اگر به مرحله اول این روند ما دقت شود، مشخص می‌شود که شرط تصدیق امضای یک فرد مدعی این است که ویژگی چپ‌دستی یا راست‌دستی فرد مدعی مشابه با فرد اصلی باشد. اگر این شرط برای فرد مدعی برقرار نشود، امضای فرد در همان مرحله اول رد شده و وارد مرحله بعدی یعنی مقایسه بردار ویژگی‌ها نمی‌شود و امضای فرد به‌عنوان امضای جعلی در نظر گرفته می‌شود؛ اما اگر این شرط برای امضای فرد مدعی به‌درستی برقرار شود فرد وارد مرحله بعدی تصدیق امضا که مقایسه بردار ویژگی‌ها است، می‌شود.

در نظر گرفتن مرحله اول یعنی تشخیص چپ‌دستی یا راست‌دستی، برای سیستم

شکل ۳-۳۹، یک مزیت و یک عیب محسوب می‌شود. مزیت آن این است که به طور مثال اگر فرد جاعل راست‌دست باشد و به خاطر عدم اطلاع از چپ‌دستی فرد، امضای او را جعل نماید، در همان مرحله اول سیستم امضای او را رد می‌کند و امضای او وارد مرحله دوم نمی‌شود. این موضوع باعث این می‌شود که حجم محاسبات سیستم کاهش پیدا کند و سیستم وارد مراحل استخراج ویژگی‌های پویا و مراحل مقایسه نشود.

ایراد یا عیبی که می‌توان برای در نظر گرفتن مرحله اول سیستم تصدیق در نظر گرفت این است به طور مثال اگر فرد مدعی، فرد اصلی باشد و پس از ورود امضای او به سیستم، به دلیل خطای احتمالی الگوریتم تشخیص چپ‌دستی یا راست‌دستی، این ویژگی فرد درست تشخیص داده نشود، در همان مرحله اول فرد به‌عنوان فرد جاعل شناخته می‌شود و این روند سیستم را دچار خطا می‌کند.

بدین منظور برای ارزیابی روش پیشنهادی دو حالت را در نظر می‌گیریم. حالت اول حالتی است که در آن مرحله اول یعنی تشخیص چپ‌دستی یا راست‌دستی در سیستم

شکل ۳-۳۹ وجود ندارد (حالت تک‌مرحله‌ای) و حالت دوم حالتی است که مرحله اول در آن وجود دارد (حالت دو‌مرحله‌ای). علت این کار این است که می‌خواهیم میزان تأثیرگذاری مرحله اول را بر اساس میزان دقت و زمان محاسبات ارزیابی کنیم.

برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی و به دست آوردن نتایج از یک کامپیوتر با مشخصات زیر استفاده شده است.

Processor : Intel(R) , Core (TM) , i5

CPU clock speed : 2.6 GHz

RAM: 4 GB

در ادامه به بررسی دو حالت توضیح داده شده در بالا می‌پردازیم.

۴-۲-۱- حالت اول: سیستم تصدیق امضا بدون در نظر گرفتن مرحله تشخیص چپ-

دستی یا راست دستی

در این حالت همانطور که گفته شد، سیستم تصدیق امضا یک سیستم تک مرحله است ای است که فقط بخش مقایسه بردارهای ویژگی که در

شکل ۳-۳۹ نشان داده شده است وجود دارد. بدین منظور ابتدا بر اساس ۱۴ ویدئوی آموزشی هر فرد، مدل امضای افراد تشکیل می شود. این مدل همانطور که در بخش (۳-۵-۲) توضیح داده شد، شامل دو بردار ماکزیمم و میانگین می باشد.

در فاز آموزش، برای تشکیل مدل امضای هر فرد، از هر ۱۴ ویدئوی آموزشی، ویژگی های پویا و ایستا استخراج می شود. ابتدا طبق آنچه در بخش (۳-۵-۲-۱) گفته شد، هر یک از ویژگی های پویای این ۱۴ ویدئو با استفاده الگوریتم DTW با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت بخش پویای بردارهای ویژگی میانگین و ماکزیمم تشکیل می شود. در گام بعد طبق توضیحات بخش (۳-۵-۲-۲) بخش ایستای بردارهای ماکزیمم و میانگین تشکیل شده و در نهایت با کنار هم قرار دادن بخش پویا و ایستا، دو بردار ماکزیمم و میانگین (V^{MAX} و V^{AVG}) که هر کدام دارای ۷ بعد می باشند، به عنوان مدل امضای هر فرد معرفی می شود.

در فاز تصدیق از هر ۱۰ ویدئوی آزمایشی (۵ ویدئوی اصلی و ۵ ویدئوی جعلی) هر فرد، ویژگی های پویا و ایستا استخراج می شود. در هر ویدئو، هر ویژگی پویا با ۱۴ ویژگی های پویای مشابه خود در ویدئوهای آموزشی توسط الگوریتم DTW مقایسه می شود و سپس برای هر ویدئو از بین این ۱۴ مقدار کمترین عدد تعیین می شود. ویژگی های ایستا نیز از هر ۱۰ ویدئوی آزمایشی استخراج می شود. بنابراین برای هر ویدئوی آزمایشی، یک بردار ۷ بعدی خواهیم داشت. به منظور نرمال سازی، هر یک از این ۱۰

بردار را بر بردار ماکزیمم تقسیم می‌کنیم. این بردار نرمال شده V^{GLM} بعدی به‌عنوان بردارهای فرد مدعی شناخته می‌شوند.

حال برای تصدیق امضاهای هر یک از ۱۰ امضای آزمایشی، وارد مرحله مقایسه بردارهای ویژگی می‌شود. برای مقایسه کافی است که فاصله اقلیدسی بین بردارهای V^{GLM} مربوط به هر یک از ۱۰ امضای آزمایشی و V^{AVG} مربوط به فرد اصلی را محاسبه کنیم. اگر این فاصله از مقدار T_{tot} کمتر باشد امضای مدعی به‌عنوان امضای اصلی و در غیر این صورت امضای فرد رد و به‌عنوان امضای جعلی در نظر گرفته می‌شود.

این مراحل را برای ویدئوهای آزمایشی هر ۸۲ نفر موجود در پایگاه داده انجام می‌دهیم. همانطور که مشخص است، مقدار T_{tot} در میزان دقت سیستم نقش اساسی ایفا می‌کند. به عبارتی این مقدار باید به گونه‌ای انتخاب شود که بهترین نتیجه حاصل شود. بدین منظور سیستم تصدیق را به ازای مقادیر مختلف T_{tot} طراحی کرده و روش پیشنهادی را به ازای همه این مقادیر ارزیابی می‌کنیم.

به منظور ارزیابی نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی ویدئوهای آزمایشی ۸۲ نفر، از معیارهای نسبت پذیرش اشتباه^۱ (FAR)، نسبت رد اشتباه^۲ (FRR)، حساسیت^۳ (TPR)، تشخیص^۴ (TNR)، دقت^۵ (ACC) و نرخ خطای برابر^۶ (EER) استفاده می‌کنیم. هر یک از معیارهای فوق طبق رابطه ۴-۱ محاسبه می‌شود.

¹ False Accepted Ratio

² False Rejected Ratio

³ True Positive Rate or Sensivity

⁴ True Negative Rate or Specifity

⁵ Accuracy

⁶ Equal Error Rate

$$FAR = \frac{FP}{N} \quad , \quad FRR = \frac{FN}{P} \quad (1-4)$$

$$TPR = \frac{TP}{P} \quad , \quad TNR = \frac{TN}{N}$$

$$ACC = \frac{TP + TN}{P + N}$$

P = تعداد امضاهای اصلی

N = تعداد امضاهای جعلی

TP = تعداد امضاهای اصلی که به درستی تشخیص داده شده اند

TN = تعداد امضاهای جعلی که به درستی تشخیص داده شده اند

FP = تعداد امضاهای جعلی که به عنوان اصلی تشخیص داده شده اند

FN = تعداد امضاهای اصلی که به عنوان جعلی تشخیص داده شده اند

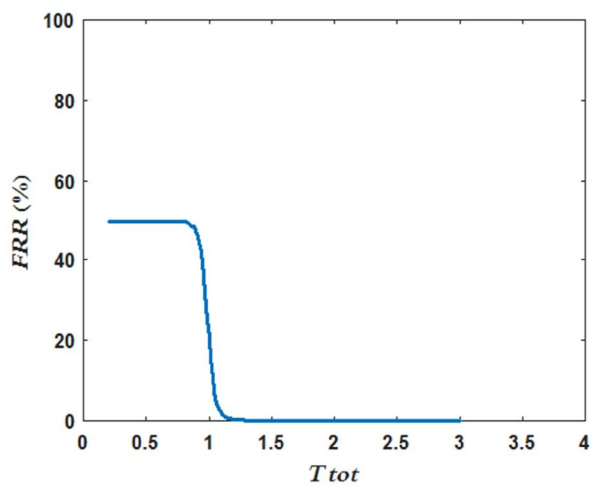
مقدار هر یک از معیارها بر اساس مقدار T_{tot} تعیین می شود. بدین منظور برای ارزیابی روش پیشنهادی توسط این معیارها، مقدار T_{tot} را در یک بازه مشخص تغییر می دهیم و میزان تغییرات مقادیر هریک از معیارها را بر اساس T_{tot} به دست می آوریم. بازه تغییرات T_{tot} را بین ۰/۲ تا ۳ در نظر می گیریم.

نمودار تغییرات FAR و FRR بر اساس T_{tot} به ترتیب در شکل ۱۶-۴ الف و شکل ۱۶-۴ ب با رنگ آبی نشان داده شده است. شکل ۱۷-۴ نیز نمودار تغییرات FRR را به ازای FAR نشان می‌دهد. به این نمودار اصطلاحاً نمودار ROC^1 گفته می‌شود. هر یک از نقاط این نمودار، میزان FAR و FRR را به ازای یکی از مقادیر بازه T_{tot} نشان می‌دهد.

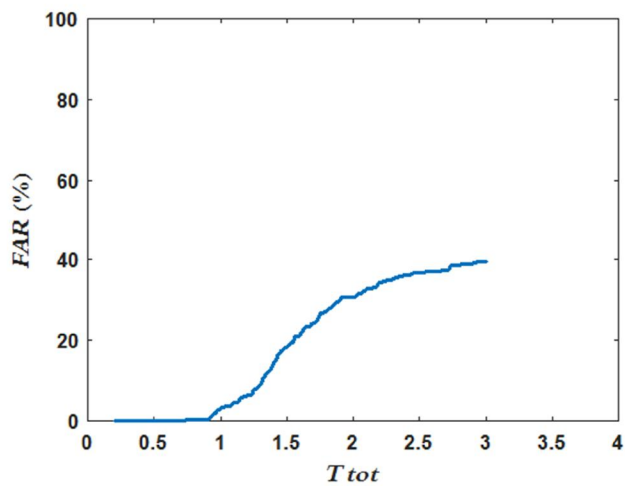
همانطور که در شکل ۱۶-۴ الف مشخص است میزان FAR با افزایش مقدار T_{tot} افزایش می‌یابد. این موضوع بدین خاطر است که با افزایش آستانه T_{tot} ، محدوده و یا فضای مربوط به مدل فرد اصلی بیشتر شده و امضاهای جعلی بیشتری به‌عنوان امضاهای اصلی در نظر گرفته می‌شوند. همچنین طبق شکل ۱۶-۴ ب با افزایش میزان آستانه T_{tot} ، محدوده مدل فرد اصلی بیشتر شده و احتمال بروز اشتباه در تشخیص امضاهای اصلی، کمتر می‌شود؛ بنابراین میزان معیار FRR کمتر می‌شود و امضاهای اصلی کمتری رد می‌شود.

نمودار قرمز رنگ در شکل ۱۷-۴، نیمساز ربع اول و سوم است که نقاط بر روی این نمودار دارای مؤلفه‌های برابر هستند؛ بنابراین نقطه‌ای که این نیمساز نمودار آبی رنگ را قطع می‌کند در حقیقت نقطه‌ای است که میزان FAR و FRR با یکدیگر برابر می‌شوند. نقطه‌ی سیاه رنگ موجود در شکل ۱۷-۴ نشان‌دهنده چنین نقطه‌ای است. مقدار معیار EER در حقیقت برابر است با مقدار FAR یا FRR در این نقطه؛ بنابراین میزان EER هم برابر با $3/8$ درصد می‌باشد. این نقطه به ازای T_{tot} برابر با $1/0.3$ به دست آمده است.

¹ Receiver Operating Characteristic

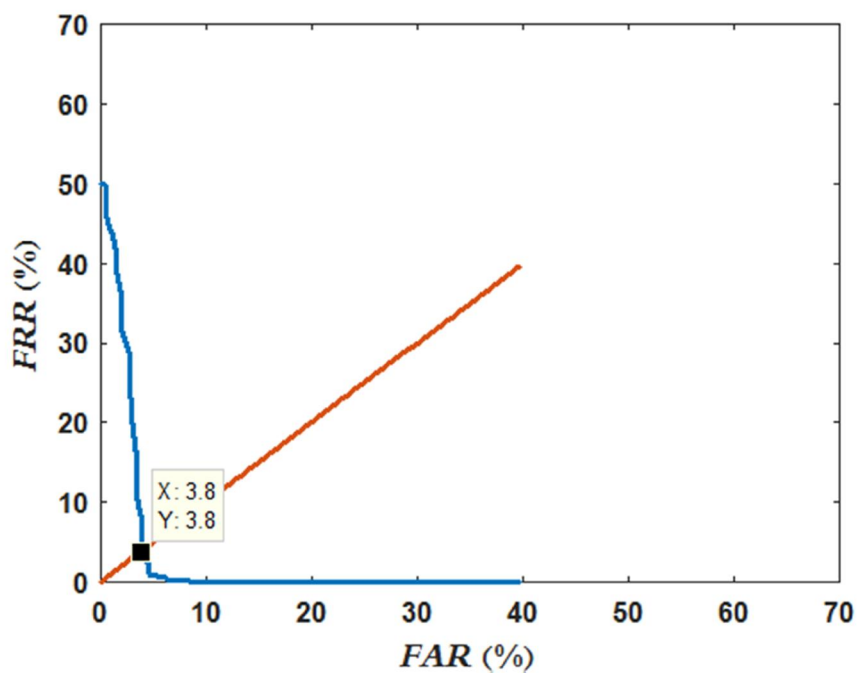


ب



الف

شکل ۴-۱۶: نمودار دو معیار اول. الف: نمودار FAR بر اساس T_{tot} . ب: نمودار FRR بر اساس T_{tot} .



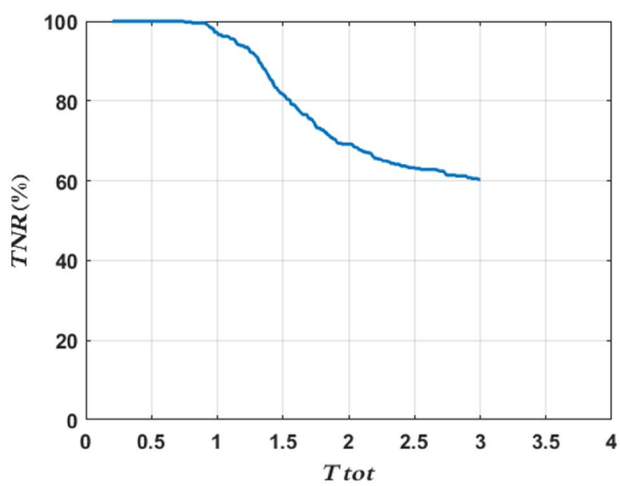
شکل ۴-۱۷: نمودار تغییرات FRR بر اساس FAR، (ROC)، به ازای مقادیر مختلف

معیارهای دیگر ارزیابی روش پیشنهادی TPR و TNR بودند. شکل ۱۸-۴ الف و شکل ۱۸-۴ ب به ترتیب نمودارهای تغییرات TPR و TNR را نسبت به تغییرات T_{tot} نشان می‌دهد.

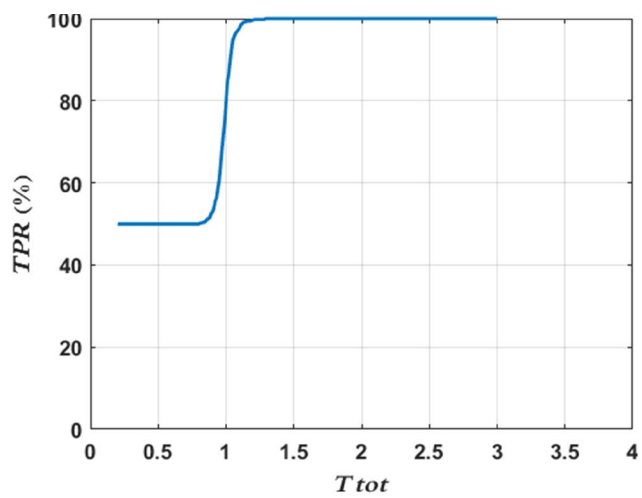
همانطور که در شکل ۱۸-۴ الف مشخص است میزان TPR با افزایش مقدار T_{tot} افزایش می‌یابد. این موضوع بدین خاطر است که با افزایش آستانه T_{tot} ، محدوده و یا فضای مربوط به مدل فرد اصلی بیشتر شده و احتمال بروز اشتباه در تشخیص امضاهای اصلی، کمتر می‌شود.

همچنین طبق شکل ۱۸-۴ ب با افزایش میزان آستانه T_{tot} ، محدوده مدل فرد اصلی بیشتر شده و امضاهای جعلی بیشتری به‌عنوان امضاهای اصلی در نظر گرفته می‌شوند؛ بنابراین میزان معیار TNR کمتر می‌شود.

شکل ۱۹-۴ تغییرات TPR را نسبت به TNR نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد، نمودار قرمز رنگ، نیمساز ربع اول و سوم است که نقاط بر روی این نمودار دارای مؤلفه‌های برابر هستند؛ بنابراین نقطه‌ای این نیمساز نمودار آبی رنگ را قطع می‌کند در حقیقت نقطه‌ای است که میزان TPR و TNR با یکدیگر برابر می‌شوند. نقطه‌ی سیاه رنگ موجود در شکل ۱۹-۴ نشان‌دهنده چنین نقطه‌ای است. مقدار این نقطه $۹۶/۲$ درصد است که به ازای $T_{tot} = ۱/۰۳$ به دست آمده است.

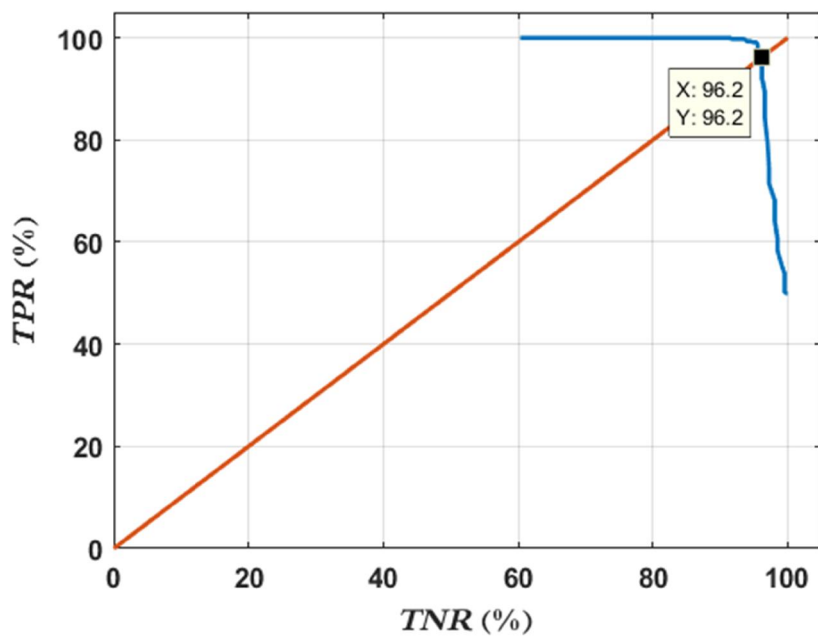


ب



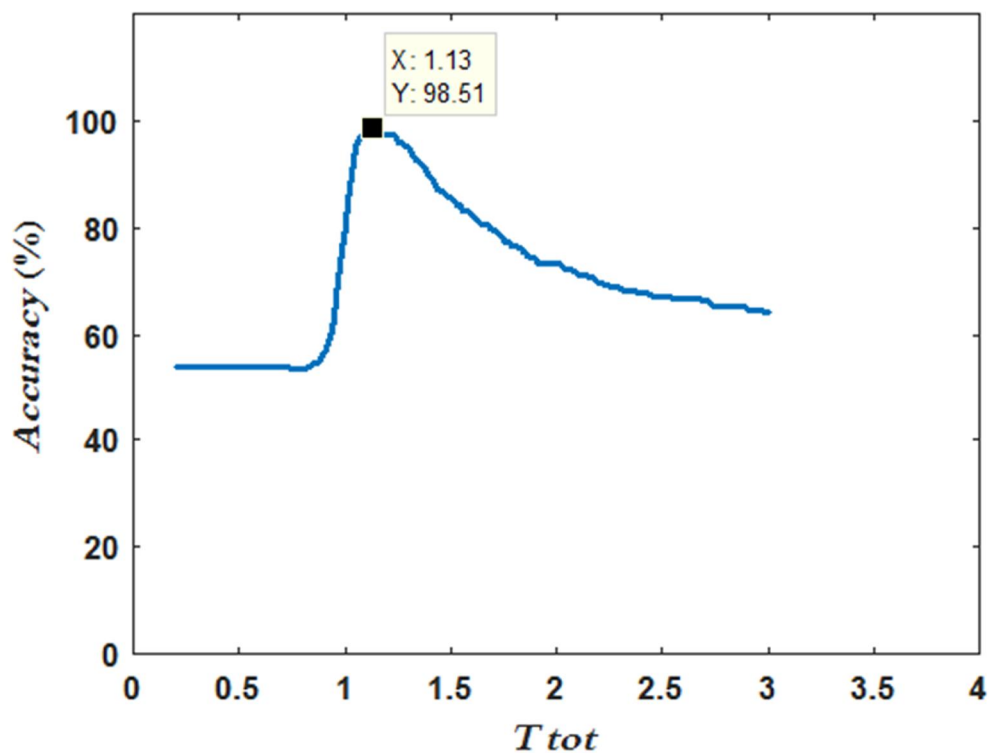
الف

شکل ۴-۱۸: نمودار دو معیار دوم. الف : نمودار TPR بر اساس T_{tot} . ب: نمودار TNR بر اساس T_{tot}



شکل ۴-۱۹: نمودار تغییرات TPR بر اساس TNR به ازای مقادیر مختلف T_{tot}

معیار نهایی برای ارزیابی روش پیشنهادی، دقت می‌باشد. نمودار تغییرات دقت بر اساس تغییرات T_{tot} در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است بیشترین مقدار دقت ۹۸/۵۱ درصد است که در مقدار T_{tot} برابر با ۱/۱۳ اتفاق می‌افتد.



شکل ۴-۲۰: نمودار دقت بر اساس تغییرات T_{tot}

۲-۲-۲-۴-۲-۲-۲-۴ حالت دوم: سیستم تصدیق امضا با در نظر گرفتن مرحله تشخیص چپ دستی

یا راست دستی

در این حالت همانطور که گفته شد، سیستم تصدیق امضا یک سیستم دومرحله‌ای مطابق با

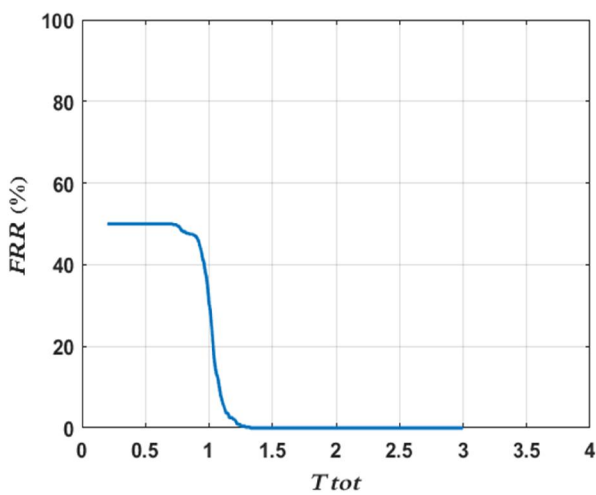
روندنمای

شکل ۳-۳۹ می‌باشد. در این حالت همانند حالت قبل به بررسی نمودارهای مربوط به معیارهای

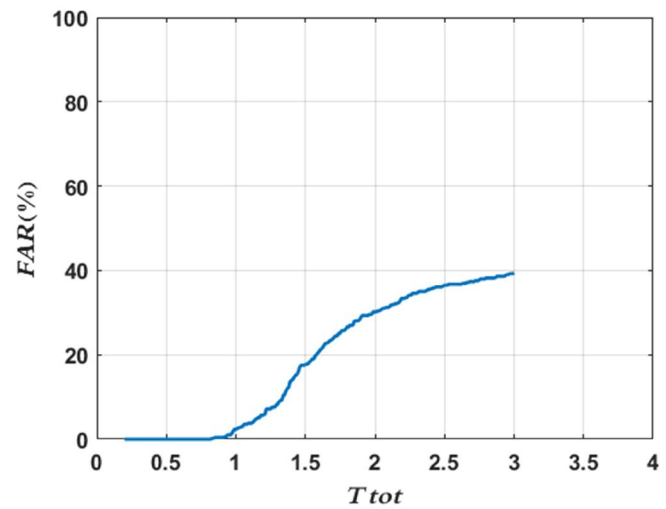
مختلف می‌پردازیم.

نمودارهای تغییرات دو معیار اول یعنی FAR و FRR بر اساس تغییرات T_{tot} ، به ترتیب در شکل ۴-۲۱ الف

و شکل ۴-۲۱ الف نشان داده شده است.



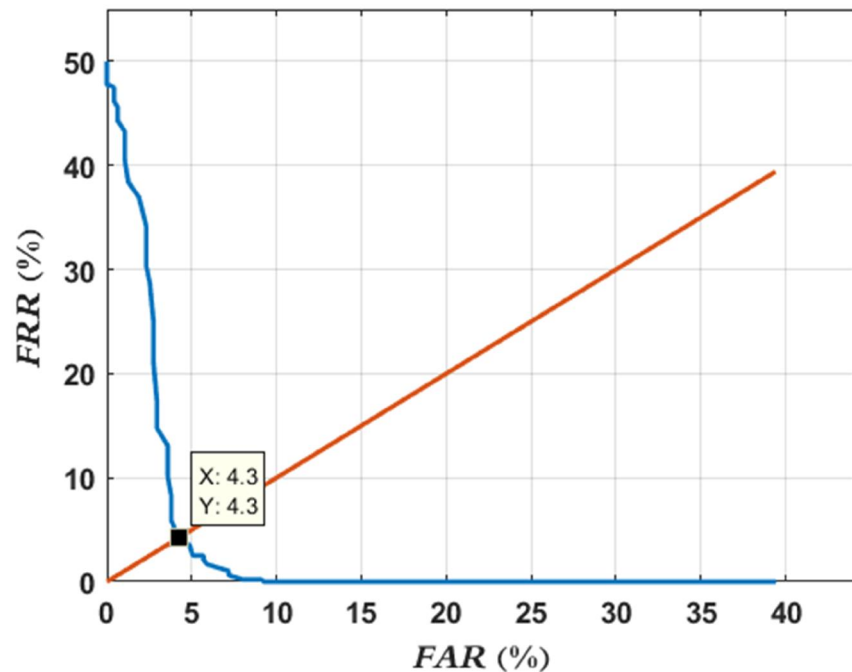
ب



الف

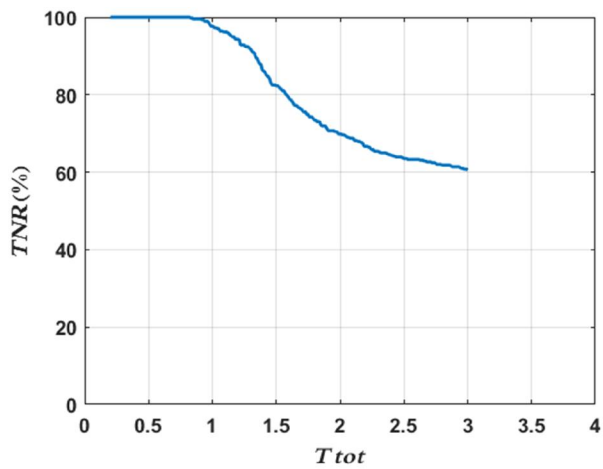
شکل ۴-۲۱: نمودار دو معیار اول. الف: نمودار FAR بر اساس T_{tot} . ب: نمودار FRR بر اساس T_{tot}

همچنین نمودار تغییرات FRR بر اساس FAR (نمودار ROC) به ازای مقادیر مختلف T_{tot} در شکل ۲۲-۴ نشان داده شده است. نقطه سیاه‌رنگ موجود در این شکل نشان‌دهنده نقطه‌ای از نمودار است که میزان EER در آن مشخص می‌شود. میزان EER در این نمودار برابر با $۳ / ۴$ است که در مقدار T_{tot} برابر با $۱/۱۴$ به دست آمده است.

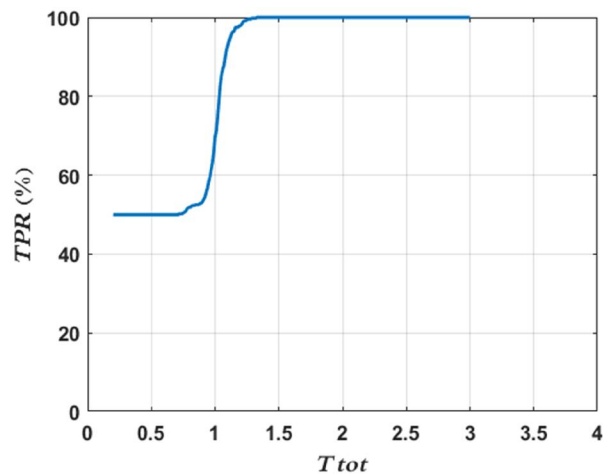


شکل ۲۲-۴: نمودار تغییرات FRR بر اساس FAR ، (ROC) ، به ازای مقادیر مختلف T_{tot}

نمودار تغییرات دو معیار دیگر TPR و TNR بر اساس تغییرات T_{tot} در شکل ۲۳-۴ الف و ب و همچنین نمودار تغییرات TNR بر اساس TPR در شکل ۲۴-۴ مشخص شده‌اند.

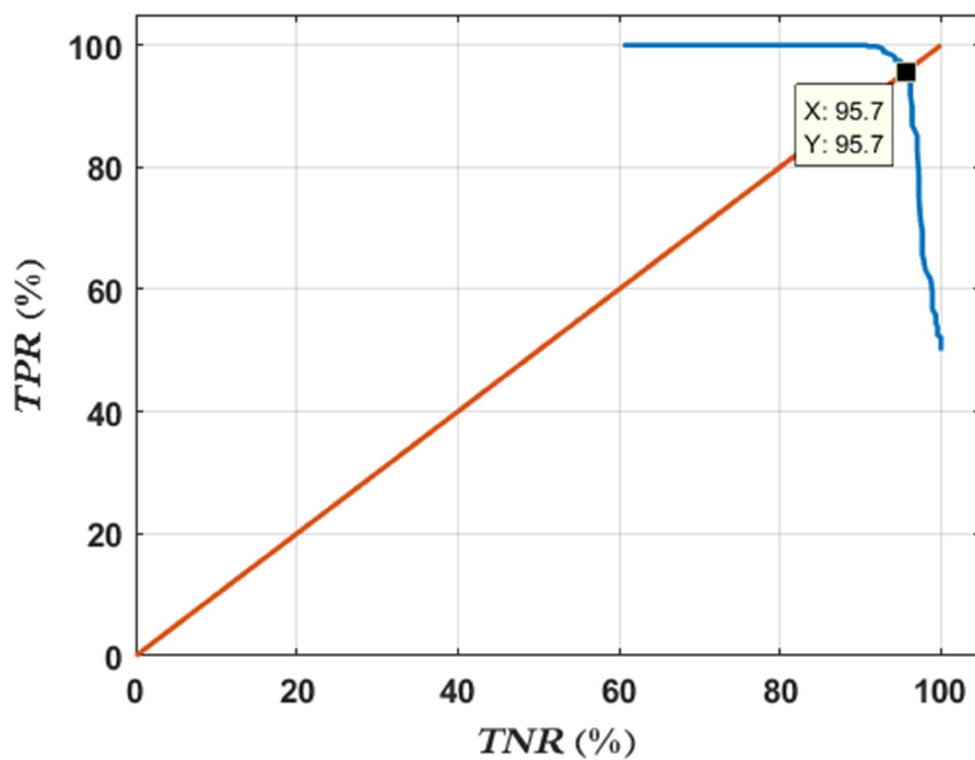


ب



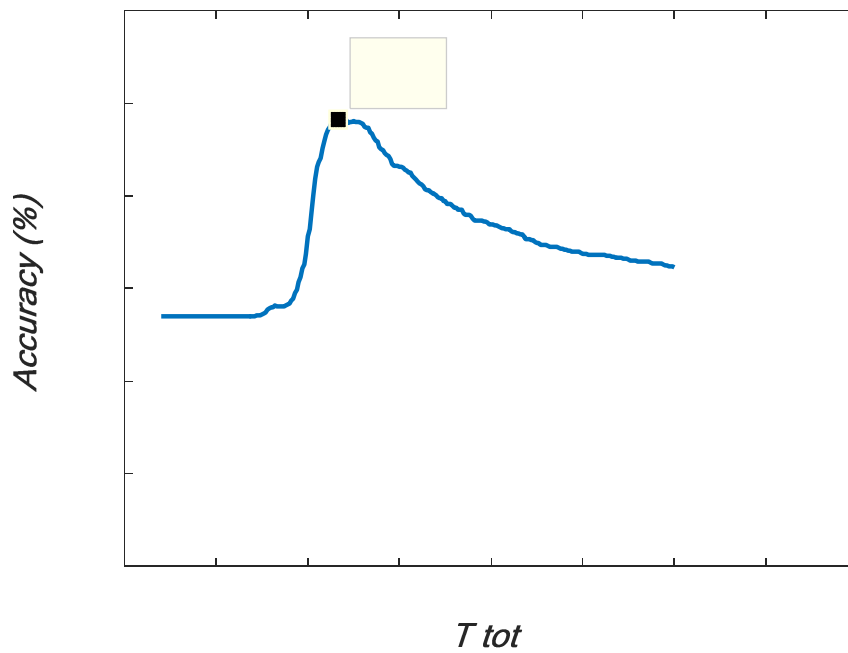
الف

شکل ۴-۲۳: نمودار دو معیار دوم. الف: نمودار TPR بر اساس T_{tot} . ب: نمودار TNR بر اساس T_{tot}



شکل ۴-۲۴: نمودار تغییرات TPR بر اساس TNR به ازای مقادیر مختلف T_{tot}

همانطور که گفته شد، معیار نهایی دقت می‌باشد. نمودار تغییرات دقت بر اساس تغییرات T_{tot} در شکل ۲۵-۴ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است بیشترین مقدار دقت ۹۶/۴۱ درصد است که در مقدار T_{tot} برابر با ۱/۱۷ اتفاق می‌افتد.



شکل ۲۵-۴: نمودار دقت بر اساس تغییرات T_{tot}

۴-۲-۳-تحلیل و مقایسه دو حالت سیستم تصدیق امضا (سیستم دومرحله‌ای و

تک‌مرحله‌ای)

در بخش‌های (۴-۲-۲-۱) و (۴-۲-۲-۲) دو حالت برای سیستم تصدیق امضا معرفی شد. در این بخش به مقایسه دو حالت فوق بر اساس معیارهای به دست آمده و همچنین زمان محاسبات می‌پردازیم.

همانطور که در نمودارهای بخش‌های (۴-۲-۲-۱) و (۴-۲-۲-۲) مشاهده شد، مقادیر هر یک از معیارها با توجه به مقادیر T_{tot} تغییر می‌کند. به همین دلیل به منظور مقایسه عملکرد این دو حالت، از مقادیر به دست آمده به ازای یک T_{tot} خاص استفاده می‌کنیم. ما در این بخش مقایسه را بر اساس مقداری از T_{tot} انجام می‌دهیم که به ازای آن دو معیار FAR و FRR با یکدیگر برابر شده‌اند. در حقیقت مقداری که در آن EER اتفاق افتاده است. مقادیر معیارها به ازای دو حالت فوق در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱: مقایسه نتایج حالت اول (تک‌مرحله‌ای) و حالت دوم (دومرحله‌ای)

	EER	ACC	FRR	FAR	TPR	TNR	$Average\ processing\ Time$
حالت اول	۳ / ۸	۹۳ / ۰	۳ / ۸	۳ / ۸	۹۶ / ۲	۹۶ / ۲	۳۷ / ۵۸ sec
حالت دوم	۴ / ۳	۹۱ / ۸	۴ / ۳	۴ / ۳	۹۵ / ۷	۹۵ / ۷	۲۸ / ۱۴ sec

همانطور که در جدول ۴-۱ مشاهده می‌شود بلااستثنا میزان همه معیارها برای حالت اول یعنی حالتی که مرحله تشخیص چپ‌دستی یا راست‌دستی در نظر گرفته نشده است، بهتر از حالت دیگر است؛ اما میانگین زمان محاسبات که در ستون آخر جدول ۴-۱ دیده می‌شود، برای حالت اول بیشتر از حالت دوم به دست آمد. این زمان گزارش شده، در حقیقت میانگین زمان محاسبات برای ۶×۸۲

امضا می‌باشد. زمان محاسبات کمتر برای سیستم دومرحله‌ای را بدین صورت می‌توان توجیه کرد که در تعدادی از امضاهای جعلی که فرد جاعل با دستی مخالف با دست فرد اصلی امضا کرده است، سیستم در همان مرحله اول امضای او را به‌عنوان امضای جعلی در نظر گرفته و وارد مرحله استخراج ویژگی‌های پویا و مقایسه نشده است.

۴-۲-۲-۴- مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج روش‌های چند مقاله

در این بخش قصد داریم نتیجه روش پیشنهادی را با نتایج مربوط به سه مقاله [۱] و [۳] و [۹] که در زمینه تشخیص امضا با استفاده از ویدئو کار کرده‌اند، مقایسه کنیم. به‌منظور مقایسه روش هر دو مقاله را بر روی پایگاه داده تهیه‌شده در کار این مقاله پیاده‌سازی نموده‌ایم.

روش [۱] و [۳] با این فرض کار تصدیق امضا را انجام می‌دهند که دوربین در موقعیت سمت چپ‌دست فرد امضا قرار دارد. به همین خاطر برای پیاده‌سازی این روش، از ویدئوهای ضبط‌شده توسط دوربین سمت چپ موجود در پایگاه داده خود استفاده می‌کنیم. چون همانطور که در بخش ۴-۱ گفته شد، پایگاه داده تهیه‌شده در این پایان‌نامه از ویدئوی امضای فرد را از سه نمای راست، روبه‌رو و چپ ثبت کرده است؛ اما در روش [۹]، فرض بر این است که ویدئوها در نمای روبه‌رو قرار دارند؛ بنابراین همانند روش پیشنهادی این پایان‌نامه از ویدئوهای نمای روبه‌رو برای پیاده‌سازی روش [۹] استفاده می‌کنیم. معیارهای ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی با سه روش فوق، EER ، دقت (ACC) و زمان محاسبات هستند. این نتایج در جدول ۴-۲ گزارش شده است. مقادیر دو معیار EER و $Accuracy$ برای چهار روش موجود در جدول ۴-۲، بهترین نتایج حاصل از هر روش می‌باشند.

جدول ۴-۲: مقایسه نتایج روش‌های مختلف تشخیص امضا

	<i>EER</i>	<i>ACC</i>	<i>Average Processing Time</i>
روش [۱]	۶/۲	۹۰ / ۵۸	۲۰ / ۶۶ sec
روش [۳]	۷/۷	۹۴ / ۳۲	۷ / ۲۷ sec
روش [۹]	۶/۸	۹۱ / ۹۷	۱۸ / ۸۶ sec
روش پیشنهادی	۳ / ۸	۹۸ / ۵۱	۳۷ / ۵۸ sec

همانطور که در جدول ۴-۲ مشخص است بر اساس دو معیار اول، روش پیشنهادی بهترین عملکرد را داشته است. چون میزان معیارهای *EER* و *Accuracy* مربوط به روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار است و این موضوع برتری روش پیشنهادی را بر اساس این دو معیار نسبت به سه روش فوق نشان می‌دهد؛ اما میانگین زمان محاسبات برای داده‌های آزمایشی روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر زیادتر است و این یک ضعف برای روش پیشنهادی در مقابل روش‌های دیگر است. این زمان زیاد برای روش پیشنهادی می‌تواند به دلیل محاسبه ویژگی‌های پویای متعدد و یا وجود مراحل زیاد در ردیابی و تصحیح مختصات نوک قلم باشد.

نکته‌ای که اینجا قابل ذکر است این است که در سه مقاله فوق، روشی برای یافتن فریم آغاز و پایان ارائه نشده بود و ما به ناچار مجبور شدیم که در هنگام پیاده‌سازی روش‌های این مقالات بر روی پایگاه داده خود، از روش این پایان‌نامه برای تشخیص فریم آغاز و پایان استفاده کنیم. این موضوع را می‌توان به عنوان یک ضعف برای روش‌های این سه مقاله معرفی نمود.

۴-۲-۳- تعیین پارامترهای موجود در روش پیشنهادی

در فصل ۳، به توضیح و تشریح روش پیشنهادی این پایان نامه پرداختیم. روش پیشنهادی سه بخش کلی، ردیابی نوک قلم، استخراج ویژگی و طراحی سیستم تصدیق امضا بود. در هر یک از این بخش‌ها پارامترهایی برای توضیح روند الگوریتم‌های موجود تعریف شد. در این بخش، مقادیر پارامترهای موجود در فصل ۳ که بر اساس آنها روش پیشنهادی را بر روی پایگاه داده پیاده‌سازی کرده‌ایم، معرفی و گزارش می‌کنیم.

جدول ۴-۳: مقادیر و نحوه تعیین پارامترهای روش پارامترهای پیشنهادی

نام پارامتر	مقدار پارامتر	نحوه تعیین مقدار پارامتر
T_h	۳۵	بر اساس محاسبه مقدار کانال H برای چند نمونه تصویر پوست دست
T_{edge}	۲۵	بررسی و محاسبه مقدار لبه بر روی چند تصویر حاوی دست و قلم
T_d	۵	بررسی بر روی چند ویدئوی مختلف و تعیین مناسب‌ترین فاصله
R_{cc}	۷	تجربی
N_{prt}	۵۰	با سعی و خطا متوجه شدیم که تقریباً از تعداد ۵۰ به بالا روند تصحیح خطا تقریباً نتیجه یکسانی خواهد داشت.
T_r	۱۵	تجربی و بصری
δ_{Res}	۲ / ۵	تجربی
T_s	۱۰	بررسی تعداد نمونه‌ها در ویدئویی که بیشترین فریم را دارد.
d_c	۵۰	بررسی بر روی چند نمونه امضای دارای خطا

۵. فصل پنجم جمع بندی و پیشنهادات

۵-۱- جمع بندی

در این پایان نامه، ابتدا روش های مختلفی برای شناسایی و تشخیص امضا مورد بررسی قرار گرفت که این روش ها به دو دسته ایستا و پویا تقسیم می شدند. در ادامه به بررسی جزئی تر چند روش پویا پرداختیم. هر یک از روش های پویا وابسته به نوع ابزار ثبت امضا و همچنین پایگاه داده مورد نظر، تکنیک های مختلفی را ارائه دادند. ابزارهای مورد استفاده برای ثبت امضا، شامل دوربین و تبلت فشاری می شوند. همان طور که توضیح داده شد روش های مبتنی بر دوربین محاسن بیشتری نسبت به روش های مبتنی بر تبلت داشتند و این به دلیل وجود اطلاعات بیشتر در دنباله ویدئویی است.

روش ارائه شده در این پایان نامه، یک روش مبتنی بر دوربین است. در حقیقت هدف، تصدیق امضای فرد بر اساس اطلاعات موجود در ویدئوی امضای آن شخص است. روش ارائه شده شامل سه بخش کلی بود. در بخش اول به ردیابی نوک قلم و رفع خطای احتمالی آن پرداختیم. به منظور ردیابی و یافتن نوک قلم در هر فریم، ابتدا محور اصلی قلم موجود در دست فرد امضاکننده مشخص شد و پس از آن با استفاده از الگوریتم هریس موقعیت نوک قلم مشخص شد. به منظور رفع خطای احتمالی در تشخیص موقعیت نوک قلم از دو الگوریتم فیلتر ذره ای و *K-Means* به طور متوالی استفاده شد.

در بخش دوم، دو نوع ویژگی پویا و ایستا از ویدئوی امضا استخراج شد. ویژگی های پویا در این پایان نامه، دنباله سرعت حرکت دست، دنباله سرعت حرکت مچ دست، دنباله فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز ثقل امضا و دنباله زاویه خطوط واصل بین نقاط متوالی هستند. سرعت حرکت دست در هر فریم بر اساس روش تفاضل فریم های متوالی صورت گرفت. در حقیقت سرعت حرکت دست را میانگین قدر مطلق پیکسل های تصویر تفاضل تعریف کردیم. به منظور یافتن دنباله سرعت حرکت مچ دست، ابتدا ناحیه مچ دست با استفاده از تصویر باینری پوست و جهت آن تشخیص داده شد. در ادامه برای محاسبه سرعت

حرکت مچ دست، میزان میانگین قدر مطلق تصویر تفاضل را برای این ناحیه محاسبه کردیم. دو ویژگی بعدی یعنی دنباله فاصله نقاط نوک قلم تا مرکز ثقل امضا و دنباله زاویه خطوط واصل بین نقاط متوالی، وابسته به دنباله نقاط نوک قلم بودند. به منظور یافتن زاویه بین خطوط، برای هر سه نقطه متوالی دو خط پشت سر هم رسم کرده و کوچکترین زاویه بین آن را به عنوان زاویه بین این دو خط در نظر گرفتیم.

ویژگی‌های ایستای مورد استفاده نیز شامل مدت زمان امضا، رنگ پوست دست، نسبت قطر اصلی به فرعی دست فرد و چپ‌دستی یا راست‌دستی فرد بودند.

در بخش سوم، یک سیستم تصدیق امضا بر اساس داده‌های آموزشی فرد تشکیل شد که به هر نفر دو بردار ویژگی ماکزیمم و میانگین به عنوان مدل نسبت می‌داد. این بردارهای ویژگی در دو بخش پویا و ایستا ارائه شدند که بخش پویا بر اساس مقادیر به دست آمده با استفاده از الگوریتم DTW برای محاسبه شباهت بین دنباله‌های ویدئوهای آموزشی تشکیل می‌شد. بخش ایستای این بردار در حقیقت میانگین ویژگی‌های ایستای نرمال شده مربوط داده‌های آموزشی می‌باشد. در نهایت برای تصدیق امضای یک فرد مدعی، بردار ویژگی فرد مدعی با مدل فرد اصلی (مدعا) مقایسه و امضای فرد تصدیق یا رد می‌شود.

یکی از کارهای انجام شده در این پایان نامه، تهیه یک پایگاه داده از ویدئوهای امضای ۸۲ نفر است که به منظور ارزیابی روش پیشنهادی از آن استفاده شد. در فاز آموزش از ۱۴ ویدئوی امضای فرد اصلی و در فاز تصدیق از ۱۰ ویدئوی آزمایشی هر فرد که شامل ۵ امضای اصلی و ۵ امضای جعلی بود، استفاده شد.

پس از تشخیص اصلی و جعلی بودن امضاهای آزمایشی همه افراد، از معیارهای مختلف برای ارزیابی کمی روش پیشنهادی استفاده شد. این معیارها بر اساس مقدار مختلف آستانه T_{tot} به دست آمد. در بهترین حالت میزان معیار EER برای روش پیشنهادی، $3/8$ درصد به دست آمد که به ازای مقدار T_{tot}

برابر با ۱/۰۳ محاسبه شده است. همچنین بیشترین مقدار برای معیار دقت ۵۱/۹۸ درصد به دست آمد که به ازای T_{tot} برابر با ۱/۱۳ محاسبه شده است.

۵-۲- معاین و معایب روش پیشنهادی

روش پیشنهادی برای تشخیص امضا شامل یکسری معایب است. یکی از معایب این روش این است که فرد فقط مجاز است برای امضا کردن فقط یک دست خود را وارد صحنه کند و پس از امضا کردن آن را از صحنه خارج کند و این ممکن است تا حد کمی طبیعی بودن عمل امضا را دچار نقص کند؛ زیرا اشخاص معمولاً عادت دارند که برگه امضا را با دست دیگر نگه دارند و یا بر محل امضا تکیه دهند.

یکی دیگر از معایب این روش، وجود محدودیت در پس‌زمینه محل امضا است. چون در این پایان‌نامه محل امضا باید یک صفحه سفیدرنگ باشد. این محدودیت باعث عدم کارکرد روش این پایان‌نامه در ویدئوهای امضایی است که در پس‌زمینه پیچیده ضبط شده‌اند.

روش پیشنهادی شامل محاسنی نیز می‌باشد. به‌عنوان مثال در این روش راست یا چپ‌دست بودن افراد، نوع قلم و تنوع در شرایط روشنایی محیط فیلم‌برداری امضا، تأثیر چندانی در نتیجه این روش ندارد. مزیت دیگر این روش نسبت به دیگر روش‌های موجود یافتن زمان آغاز و پایان عمل امضا به‌طور خودکار می‌باشد. در صورتی که در روش‌های دیگر راه‌حلی برای این موضوع ارائه نشده است.

۵-۳- پیشنهادات

پیشنهاد دیگر برای کارهای آینده نیز بر اساس عیب دومی است که در بخش (۵-۲) به آن اشاره شد. به عبارتی فرد، فقط باید یک دست خود را وارد صحنه امضا کند. به عنوان پژوهش برای کارهای آینده نیز می توان این موضوع را مورد نظر قرار داده و راه حلی برای بیشتر شدن حالت طبیعی عمل امضا ارائه داد به طوری که فرد بتواند دست یا هر قسمت از بدن خود را وارد محیط امضا کند.

بررسی موردی هر یک از ویژگی ها به صورت تنهایی به منظور تعیین نحوه عملکرد سیستم تصدیق امضای این پایان نامه، پیشنهاد دیگری است که می توان برای کارهای آینده ارائه داد. همچنین تأثیر ترکیب های مختلف این ویژگی ها را در بهبود عملکرد این سیستم را می توان بررسی نمود.

- [1] 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, 2010.
- [2] 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, 2007.
- [3] H. Y. Cheng, C. L. Lin, C. C. Yu, and V. Gau, "Video-based signature verification and pen-grasping posture analysis for user-dependent identification authentication," *IET Computer Vision*, vol. 6, pp. 388-396, 2012.
- [4] E. J. Cand , F. Guo, "New multiscale transforms, minimum total variation synthesis: applications to edge-preserving image reconstruction," *Signal Process.*, vol. 82, pp. 1519-1543, 2002.
- [5] E. J. Candes and D. L. Donoho, "Curvelets: A surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges," *DTIC Document* , 2000.
- [6] 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, 2008.
- [7] Li-hui Zou, Juan Zhang and Li-hua Dou, " The Comparison and Application of Corner Detection Algorithms," *Jornal Of Multimedia*, vol. 4, No. 6, 2009.
- [8] E. Candes, L. Demanet, D. Donoho, and L. Ying, "Fast discrete curvelet transforms," *Multiscale Modeling & Simulation*, vol. 5, pp. 861-899, 2006.
- [9] 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.
- [10] M. E. Munich and P. Perona, "Camera-based ID verification by signature tracking," in *Computer Vision — ECCV'98: 5th European Conference on Computer Vision Freiburg, Germany, June, 2–6, 1998 Proceedings, Volume I* , pp. 782-796. H. Burkhardt and B. Neumann, Eds., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [11] S. Shirato, D. Muramatsu, and T. Matsumoto, "Camera-based online signature verification system: effects of camera positions," in *World Automation Congress (WAC)*, 2010, pp. 1-6.
- [12] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern classification: John Wiley & Sons*, 2012.
- [13] A. Doucet, N. De Freitas, and N. Gordon, "An introduction to sequential Monte Carlo methods, " in *Sequential Monte Carlo methods in practice*, ed: Springer, pp. 3-14, 2001.
- [14] 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.

- [15] 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*, pp. 3-8. 2010,
- [16] L. Nanni, E. Maiorana, A. Lumini, and P. Campisi, "Combining local, regional and global matchers for a template protected on-line signature verification system," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, pp. 3676-3684, 2010.
- [17] H. Ye, G. Shang, L. Wang, and M. Zheng, "A new method based on hough transform for quick line and circle detection," in *2015 8th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, pp. 52-56, 2015.
- [18] K. Nummiaro, E. Koller-Meier, and L. Van Gool, "An adaptive color-based particle filter," *Image and vision computing*, vol. 21, pp. 99-110, 2003.
- [19] Zhang, Jing, and Benzhuo Qin. "DTW speech recognition algorithm of optimization template matching." *World Automation Congress (WAC),IEEE*, 2012.

Abstract

Nowaday, computer-based security systems improve the speed and accuracy of verification. In these systems, exclusive features such as biological and behavioral features are used to verificate a person. In this thesis, we proposed a video-based signature verification system. A camera which is located in front view, records the signature video. The proposed method for signature verification has three main steps. First, after detecting the signature-relevant start and stop frames, we track the pen-tip in this interval. Moreover in this step, we use Particle Filtering and K-Means algorithms consecutively to reduce tracking error. Second step performs feature extraction from signature frames. These features are in two categories, dynamic and static. The dynamic features include hand speed profile, wrist speed profile, the sequence of distance between pen-tip and signature centroid and finally sequence of angles between two lines drawn across any three sequential pen-tips. Signature duration, major and minor hand diametet ratio and right or left-handed are the static features. In the third step, after feature extraction we design a signature verification system. In this system, a model assigned to each person is according to dynamic and static features extracted from training videos. This model contains a feature vector for each person. This vector includes dynamic and static parts. Dynamic parts obtained based on DTW algorithm. The static part of the vektor iscomputed from average of static features extracted from training videos. Now for verification of a claimed signature, we compare it against thr relevant model. To implementation of the propsed method, we obtain a database. The database involves nineteen genuine and five feigned signature videos for each of 82 persons. We used several criterions to evaluate the proposed method. In the best condition, The proposed system achieved an equal error rate of 3.8 % and Accuarcy of 98.51 % against this database.

Keywords : Indentity authentication, signature verification, signature video, dynamic features, pen-tip tracking, hand speed.



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical and Robotics Engineering

MSc Thesis in Electrical engineering / Systematic Electronic

*Online video-based signature verification for identity
authentication*

By: Bahram Afra

Supervisor(s):

Dr. Hadi Grailu

September 2016