

طبقه‌بندی الگوهای امضای حقیقی و جعلی مبتنی بر نواحی با قابلیت تمایز بالا

سعید رشیدی^۱؛ علی فلاح^۲؛ فرزاد توحیدخواه^۳

چکیده

ویژگیهای سیگنالی به جهت برخورداری از غنای اطلاعاتی و بهره‌گیری از جامعیت الگوی امضاء نسبت به ویژگیهای پارامتری خطای کمتری در طبقه‌بندی گروههای جاعل و حقیقی دارند. لیکن نقاط و بخشهای مختلف یک ویژگی سیگنالی دارای ارزش محتوایی و قابلیت تمایز یکسانی نبوده و تعیین نقاطی با درجه تمایز بالا به منظور کاهش حجم و پیچیدگی محاسبات و برجسته‌سازی تفاوت‌های پنهان الگوهای حقیقی و جعلی بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله برای افزایش سرعت مقایسه ویژگیهای سیگنالی و دقت در طبقه‌بندی الگوها، نواحی با درجه تمایز بیشتر بر پایه شاخص انحنا استخراج می‌شود و سپس نواحی متناظر در در ویژگیهای سیگنالی مقایسه می‌گردد. نتایج آزمایشات با طبقه‌بندی کننده‌های پنجره پارزن، نزدیکی میانگین و ماشین بردارهای پشتیبان حاکی از آن است که خطای EER به ترتیب برابر ۱/۷۳٪ و ۲/۸۱٪ برای سطح آستانه فردی و مشترک در گروه جاعلان ماهر است.

کلمات کلیدی

انحنا، پنجره پارزن، پیچش زمانی پویا، تصدیق امضاء، نقاط غالب.

Classification of Genuine and Forgery Signature Patterns Based on Segments with Most Discriminating

Saeid Rashidi, Ali Fallah, Farzad Towhidkhah

Abstract

Function features have smaller error than parameter feature in classification of genuine and forgery groups for the reason that use to complete signature pattern. But time signals in all points are not the same order of discriminate and determining points with high discriminate is very important for this purpose that complexity of calculations decrease and hidden differences of genuine and forgery signatures are more manifest. This paper presents a method for increase of speed function features comparison and precision of classification based on regions with more curvature and then these regions echoed on other function features. With using to parzen window, nearest mean and support vectors machine classifiers experimental results are showed that for skilled forgeries equal error rate (EER) are ۱.۷۳% and ۲.۸۱% for user based and global threshold, respectively.

Keywords

Curvature, Dominant Point, Dynamic Time Warping, Parzen Window, Signature Verification.

۱. دانشجوی دکترای دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مربی دانشکده مهندسی پزشکی واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی: rashidi.saeid@gmail.com

۲. استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی: a_fallah@aut.ac.ir

۳. دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی: towhidkhah@aut.ac.ir

۱- مقدمه

روشهای شناسایی و تایید هویت افراد بر پایه مشخصه‌های فیزیولوژیکی و رفتاری را زیست‌سنجی^۱ نامند. این ویژگیها و خصوصیات باید دارای قابلیت تمایز، یکتا و تغییرناپذیر (تغییرات اندک) باشند. برای مثال اثر انگشت، امضاء، صدا، تصویر عنبه و هندسه پنجه دست از زمره این ویژگیها هستند [۱]. امضاء به عنوان یک مشخصه رفتاری که با ممارست فرد و کسب مهارت می‌تواند راهکاری برای احراز اصالت فرد باشد. از مزایای این روش می‌توان به مقبولیت نزد عامه، کاربرد گسترده در امور تجاری و اداری، سادگی و هزینه اندک تجهیزات سیستم اشاره نمود و ایراد اساسی آن قابلیت جعل آن توسط افراد دیگر است.

دو روش عمومی پویا و ایستا برای تصدیق امضاء مطرح است [۲، ۳ و ۴]. روش ایستا تصویر ثبت شده امضاء توسط دوربینهای CCD یا اسکنرها را برای پردازشهای آتی مورد استفاده قرار می‌دهد. روشهای پویا با دریافت سیگنالهای امضاء همزمان با اجرای فرد، اطلاعاتی مانند موقعیت، فشار و زاویه قلم را پردازش می‌کنند. روشهای پویا دقت، پایداری و قابلیت تعمیم‌پذیری افزونتری دارند بدین علت که در روش ایستا برای یک جاعل شبیه‌سازی شکل و تصویر امضاء آسانتر از همانندسازی ویژگیهای پویا نظیر سرعت در روشهای پویا می‌باشد [۵]. در این پژوهش تمرکز بر روش پویا است.

راهکارهای متعددی برای طبقه‌بندی الگوهای حقیقی و جعلی استفاده شده‌است. در زمینه هوش مصنوعی روشهایی مانند شبکه عصبی [۶]، منطق فازی [۷] و نروفازی [۸] را می‌توان نام برد. محققین دیگر مدل‌های مخفی مارکوف [۹]، ویولت [۱۰] و تطابق رشته‌ای [۱۱] را نیز بکار برده‌اند.

در این مقاله ما روشی نوین برای مقایسه ویژگیهای سیگنالی مبتنی بر آشکارسازی نواحی با درجه انحنای بالا ارائه می‌دهیم. با تعیین انحنای الگوی امضاء در تمام نقاط و فرض یک سطح آستانه، قطعاتی از الگوی ورودی با انحنای بزرگتر از سطح فرضی، متمایز می‌شود. با تصویر نمودن نواحی مشخص شده بر دیگر ویژگیهای سیگنالی فرآیند مقایسه و طبقه‌بندی الگوها با استفاده از روشهای پنجره پازرن، نزدیکترین میانگین و ماشین بردارهای پشتیبان انجام می‌شود.

۲- فرآیند تصدیق امضاء

فرآیند تصدیق امضاء در نگاه کلی شامل مراحل: اخذ دادگان، پیش پردازش، استخراج ویژگی، فرآیند مقایسه، تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی است. در شکل (۴) مراحل کلی یک سیستم تصدیق نشان داده شده‌است.

در این پژوهش، پایگاه دادگان شامل دو مجموعه است. بخش اول در این تحقیق تهیه شده، الگوهای امضای ۵۰ نفر به عنوان افراد حقیقی به کمک دیجیتایزر WACOM (Graphier ۴) با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ HZ دریافت شده‌است (شامل ۱۳ زن). از هر فرد ۲۵ نمونه امضای حقیقی دریافت و به ازای هر فرد حقیقی دو گروه جاعل مبتدی و ماهر تعریف گردید. ۲۰ نفر جاعل مبتدی و ۳۰ نفر جاعل ماهر که هر کدام به تعداد ۱۰ نمونه کلیه الگوهای مرجع را جعل می‌نمودند. پایگاه دوم شامل افراد انگلیسی و چینی زبان می‌باشد که از سایت اولین مسابقه تصدیق امضاء دریافت شده، شامل ۸۰ فرد حقیقی که هر کدام ۲۰ بار امضای خویش را تکرار کرده‌اند و برای هر الگو نیز ۲۰ نمونه جاعل ماهر وجود دارد [۱۲]. افراد جاعل بر حسب میزان مهارت و تبحر آنها در جعل الگوهای حقیقی به سه گروه تقسیم می‌شوند:

(الف) - جاعل تصادفی^۲: که از امضای خودش (بدون توجه به امضای فرد حقیقی) بجای الگوی آزمون استفاده می‌کند.

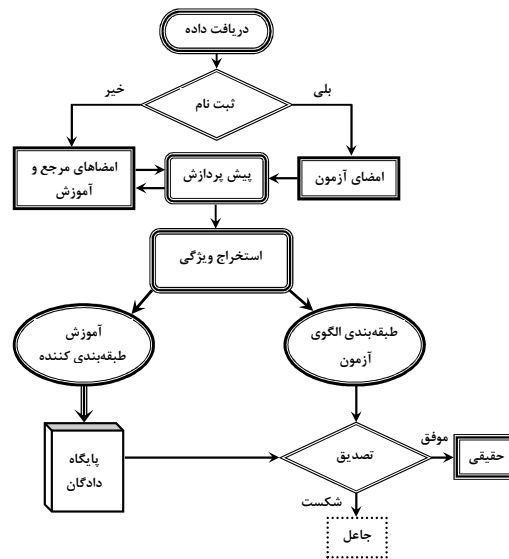
(ب) - جاعل مبتدی^۳: بدون داشتن آگاهی از خصوصیات الگوی حقیقی، تنها سعی در مشابه‌سازی تصویر الگوی حقیقی دارد.

(ج) - جاعل ماهر^۴: با ممارست، علاوه بر آنکه سعی در نزدیک نمودن تصویر الگوها دارد، درصدد حفظ ویژگیها پویای الگو نیز است. در این حالت اطلاعات و پسخوردهای لازم نظیر: ترتیب اجرای اجزاء، نقاط جدائی قلم از صفحه، سرعت ترسیم و ... به جاعل داده می‌شود.

۲-۱- پیش پردازش دادگان

امضای یک فرد نیز از تمام جهات ظاهری و خصوصیات ذاتی در تکرارهای متعدد یکسان نیست. بنابر این یکی از مهمترین مسائل تصدیق امضاء فرآیند یکسان‌سازی ویژگیهای ظاهری الگوهاست که اجازه مقایسه دقیق‌تر دو امضاء را می‌دهد. این فرآیند را پیش پردازش نیز گویند. پیش پردازش شامل فرآیندهای هموارسازی، مشتق‌گیری عددی، حذف زاویه چرخش الگو، تقطیع الگو و مقیاس نمودن سیگنالها است. هموارسازی به کمک یک فیلتر گوسی غیرعلی انجام می‌شود و مشتقات سیگنال موقعیت نیز بر پایه توابع اسپلاین مکعبی حاصل می‌گردد [۱۳]. سیگنالها نسبت به مقدار انرژی آنها، مقیاس می‌شود و داریم:

$$S_{normalized} = \frac{S - \mu_s}{\sigma_s} \quad (1)$$



شکل ۱. فرآیند تصدیق امضای پویا.

که σ_s, μ_s به ترتیب میانگین و انحراف معیار سیگنال است. از آنجا که افراد در هنگام ترسیم الگوی امضاء با زاویه‌های متفاوتی نسبت به محور x ها قرار می‌گیرند برای حذف زاویه خط مبنا روشهای چندی مانند برازش خطی استفاده می‌شود. برازش خطی تلاش دارد رابطه‌ای خطی بر دادگان تصویر نماید.

$$y = ax + b \quad (2)$$

مدلهای مختلفی به منظور یافتن a, b بر پایه روش حداقل مربعات خطا پیشنهاد شده‌است که در این تحقیق روش حداقل فاصله متعامد از نقاط (x_i, y_i) مد نظر است [۱۴].

$$E(a, b) = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - ax_i - b)^2}{a^2 + 1} \quad (3)$$

که مقادیر بهینه a, b عبارتند از:

$$a = \frac{S_y^2 - S_x^2 + \sqrt{(S_y^2 - S_x^2)^2 + 4 \text{cov}^2(x, y)}}{2 \text{cov}(x, y)} \quad (4)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

که S بیانگر انحراف معیار استاندارد و \bar{y}, \bar{x} میانگین مولفه‌های دادگان است. حال با استفاده از زاویه شیب رابطه (۲) الگوی ورودی را دوران می‌یابد.

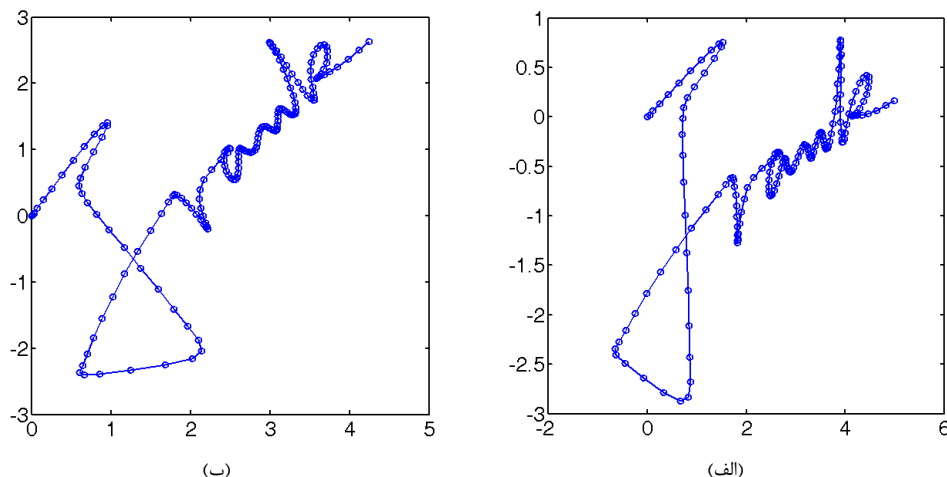
$$a = \tan(\beta) \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

شکل (۲) مثالی را در این باره نشان می‌دهد. دقت شود که در این روش زاویه ترسیم بر خلاف دیگر تخمینها به صفر اصلاح نمی‌شود.

۲-۲- تقطیع الگو بر اساس انحناء

الگوهای جعلی ماهرانه هر چند به لحاظ ویژگیهای تصویری و ظاهری بسیار مشابه نمونه اصلی است ولی از جنبه خصوصیات پویا مانند سرعت و فشار تفاوت‌های بارزی نیز وجود دارد. از سوی دیگر در زمینه بازشناخت الگو مطرح می‌شود که نقاط گوشه و خمیدگیهای یک الگو از محتوای اطلاعاتی بالائی برخوردار است و می‌تواند در طبقه بندی الگو نقش اساسی ایفاء می‌کند برای مثال مثلث با سه و مربع با چهار گوشه و کنج شناخته می‌شوند. برای آشکارسازی گوشه‌ها یا نقاط غالب می‌توان از ویژگیهای هندسی یا پویا نظیر سرعت مماسی یا سرعت زاویه‌ای استفاده نمود.



شکل ۲. برازش خطی و اصلاح خط مبدا. (الف) - الگوی اولیه. (ب) - پس از اصلاح زاویه ترسیم.

در این تحقیق نقاط غالب بر پایه ویژگی انحنای مسیر تعریف می‌شود. انحنای یک منحنی دو بعدی عبارت از نرخ لحظه‌ای تغییرات زاویه شیب خط مماس بر منحنی می‌باشد:

$$K(t) = \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

که با بسط رابطه فوق در مختصات دکارتی داریم:

$$K(t) = \frac{\ddot{y}}{(1 + \dot{y}^2)^{3/2}} \quad (7)$$

چنانچه منحنی $C(t)$ بصورت پارامتری و تابعی از $(x(t), y(t))$ باشد خواهیم داشت:

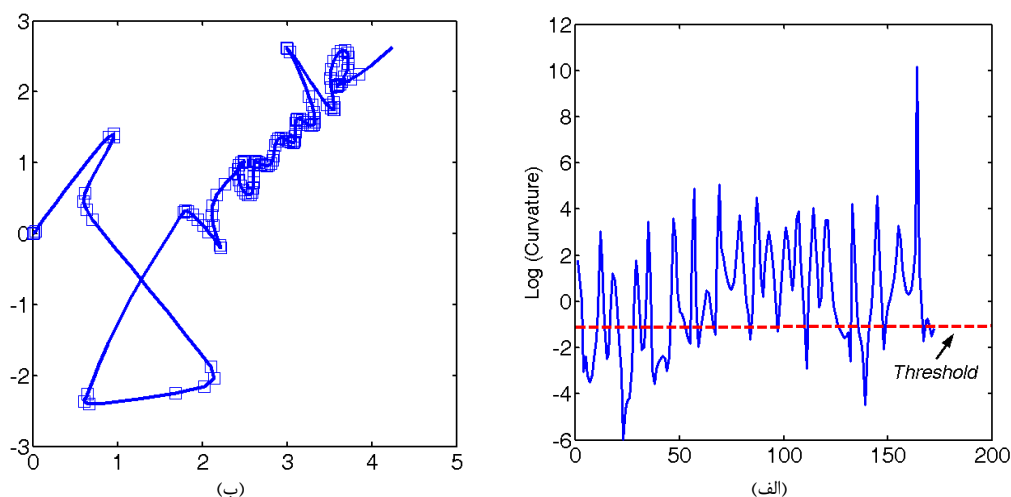
$$K(t) = \frac{|\dot{x}\ddot{y} - \ddot{x}\dot{y}|}{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}} = \frac{|V_x A_y - V_y A_x|}{(V_x^2 + V_y^2)^{3/2}} \quad (8)$$

اگر در رابطه فوق دقت شود افزایش انحناء با کاهش سرعت مماسی رابطه عکس دارد بدین معنا که افراد در گوشه‌ها و خمیدگیها برای حفظ دقت سرعت ترسیم را کاهش می‌دهند و این مسئله در جاعلان کاملاً مشهود است. این افراد برای جعل دقیق‌تر و مشابه‌سازی الگوی خویش با امضای حقیقی ناچار به حرکت قلم با سرعت کمتر هستند [۲]. حال با تعیین بخشهایی از الگو که دارای انحنای بزرگتر از یک سطح آستانه هستند، می‌توان آنها را برای مقایسه با الگوهای حقیقی و تشخیص جاعلان بکار برد. در واقع با اتخاذ این روش قطعات دارای اهمیت و ارزش اطلاعاتی کمتر در فرآیند مقایسه سیگنالها حذف و سرعت افزایش می‌یابد.

البته با توجه به آنکه برای محاسبه $K(t)$ نیاز به مشتقات مرتبه اول در مخرج است و برای جلوگیری از مشکلات عددی ناشی از کوچک شدن مخرج، از لگاریتم انحناء استفاده می‌شود. شکل (۳) استفاده از لگاریتم انحناء برای تعیین نواحی با قابلیت تمایز بالا نشان می‌دهد. نکته اساسی تعیین سطح آستانه بهینه به منظور دستیابی به کمترین خطای طبقه‌بندی است. با کاهش سطح آستانه وسعت نواحی به کل الگو نزدیکتر و با افزایش آن وسعت کاهش یافته و سرعت مقایسه افزایش می‌یابد. گزینش قطعاتی از الگوی امضاء که تفاوت‌های نهانی را برجسته‌تر ساخته اول دقت فرآیند تصدیق را افزایش می‌دهد و دوم باعث کاهش ابعاد سیگنالها و صرف زمان کمتر در امر مقایسه ویژگیها می‌گردد. برای تعیین سطح آستانه از مجموعه الگوهای مرجع استفاده می‌شود.

$$\mu_C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{C}_i \quad (9)$$

$$\sigma_C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_i$$



شکل ۳. تعیین قطعات با انحنای بالا. الف) - منحنی لگاریتم انحناء با یک سطح آستانه فرضی. ب) - تصویر قطعات مذکور بر الگوی امضاء که با مربع مشخص است.

که N تعداد الگوهای مرجع، \bar{C}_i, σ_i بیانگر میانگین و انحراف معیار الگوی مرجع μ_C, σ_C میانگین و انحراف معیار کل در مجموعه مرجع است. بر اساس رابطه فوق سطح آستانه عبارت است از:

$$T_C = \mu_C - k.5\sigma_C \quad (10)$$

۳- استخراج و مقایسه ویژگیها

ویژگیهای سیگنالی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

- ۱- مولفه‌های موقعیت الگوی ترسیمی X, Y, R
- ۲- مولفه سرعت در راستای V_x, V_y, V_r
- ۳- زاویه مولفه سرعت θ
- ۴- مولفه‌های شتاب A_x, A_y, A_r, A_c, A_t
- ۵- زاویه مولفه شتاب ϕ

در ذیل ویژگیهای مطرح شده تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ V &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \\ \theta &= \text{tg}^{-1}(V_y / V_x) \\ V_r &= dR / dt \\ A &= \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \\ A_r &= dV_r / dt \\ A_t &= dV / dt \\ a_c &= V \cdot d\theta / dt \\ \phi &= \text{tg}^{-1}(A_y / A_x) \end{aligned} \quad (11)$$

با استخراج ویژگیها و انتخاب تصادفی مجموعه امضاهای مرجع از میان امضاهای حقیقی، انحنای مجموعه مرجع محاسبه و بر پایه روابط (۹) و (۱۰) سطح آستانه مطلوب برای فرد هر فرد تعیین می‌شود. با استفاده از سطح آستانه نقاطی از سیگنال انحنای الگوهای مرجع که دارای انحنای بزرگتر از آن بوده تعیین می‌گردد. این نواحی مبنای مقایسه ویژگیهای دیگر خواهد بود. با انعکاس نواحی تعیین شده در سیگنال انحناء بر روی

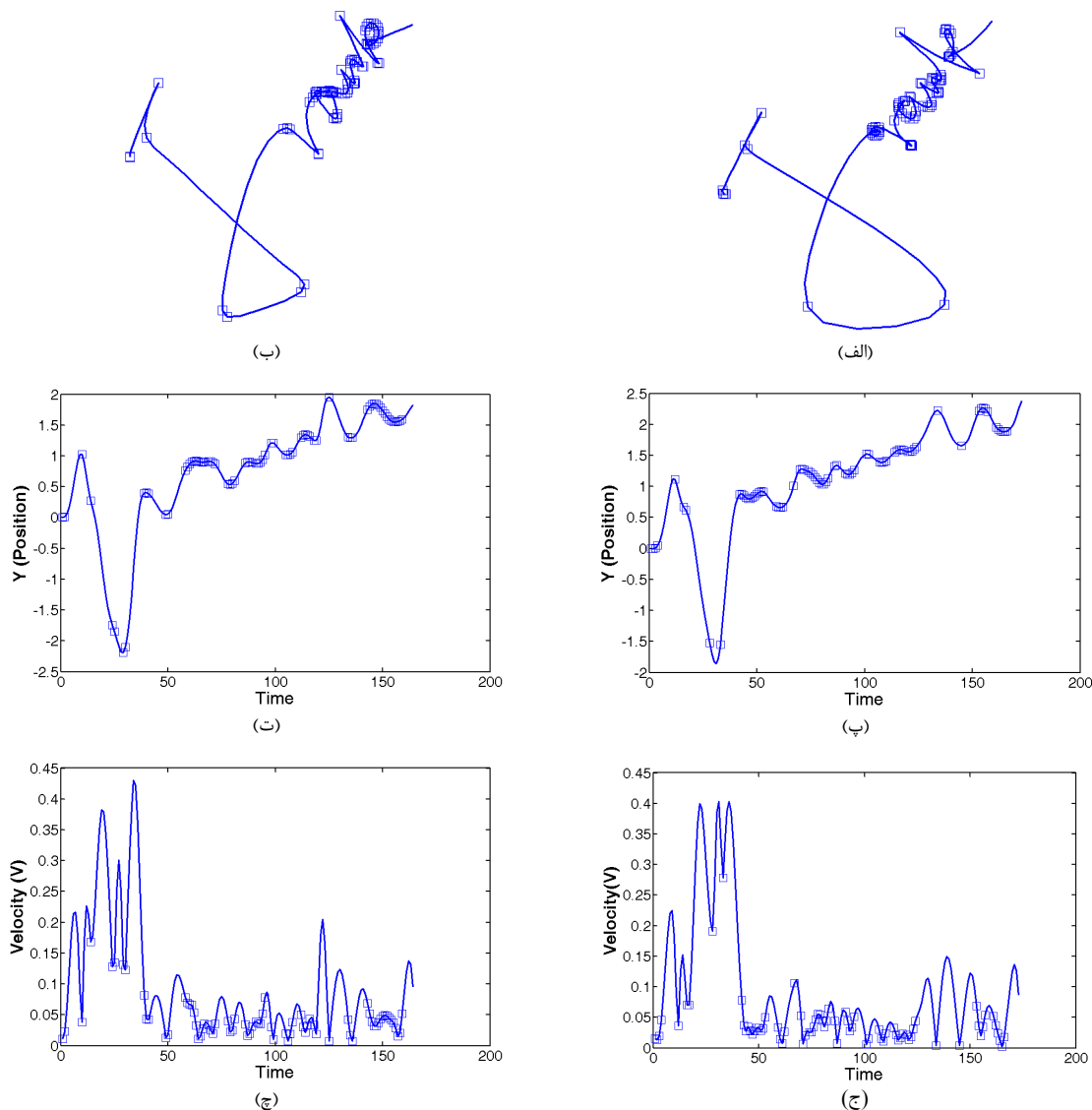
ویژگیهای تعریف شده فرآیند مقایسه بین ویژگیهای سیگنالی الگوهای آزمون و مرجع انجام می‌شود. شکل (۴) انعکاس نواحی با قابلیت تمایز بالا بر ویژگیهای سیگنالی را نشان می‌دهد.

از آنجا که طول نواحی در هر الگوی مرجع و آزمون با دیگری متفاوت است لازم است روشی برای حل این مسئله پیشنهاد شود. الگوریتم پیچش زمانی پویا روشی برای غلبه بر طول متفاوت و نیز فائق آمدن بر تغییرات غیرخطی زمان در تعیین فاصله سریها یا سیگنالهای زمانی است. این الگوریتم توسط ساکو^۵ و شیبا^۶ برای مسئله بازساخت گفتار در ۱۹۷۸ ارائه گردید [۱۵]. اگر دو سیگنال A, B با طولهای متفاوت داشته باشیم:

$$\begin{aligned} A &= a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \\ B &= b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m \end{aligned} \quad (12)$$

برای تطابق دو سیگنال با استفاده از DTW ابتدا یک ماتریس $D(n, m)$ تشکیل می‌شود به نحوی که عنصر (i, j) فاصله دو نقطه (a_i, b_j) بر پایه معیارهای فاصله مانند فاصله اقلیدسی $d(i, j)$ خواهد بود. آنگاه مسیر تناظر نقاط از رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$D(i, j) = d(i, j) + \min \begin{cases} D(i-1, j) \\ D(i-1, j-1) \\ D(i, j-1) \end{cases} \quad (13)$$



شکل ۴. انعکاس نواحی با قابلیت تمایز بالا بر ویژگیهای سیگنالی. سمت راست امضای فرد حقیقی و سمت چپ امضای جاعل ماهر.

با تعیین نقاط متناظر فاصله کلی بین دو ویژگی سیگنالی D_i بدست آمده و از آنجا که هر ویژگی با مجموعه ویژگیهای مرجع مشابه مقایسه می‌شود بنابراین این به ازای هر ویژگی بردار فاصله‌ای تشکیل گشته و فاصله نهائی با تبدیل مقیاس اندازه چنین تعیین می‌شود.

$$D_{F_T, F_R} = \text{Mean} \{D_1, D_2, \dots, D_N\} \quad (14)$$

که F_T, F_R ویژگی انتخابی الگوی مرجع و آزمون است و N تعداد اعضای مرجع است. نکته دیگر در الگوریتم DTW آن است که حجم محاسبات با حاصل ضرب طول دو سیگنال رابطه مستقیم دارد و اگر طول سیگنالهای مورد بحث کاهش یابد محاسبات نیز کاهش خواهد یافت.

۴- نتایج آزمایشات

با استخراج ویژگیها و مقایسه آنها با مجموعه مرجع، طبقه‌بندی الگوها با استفاده از روشهای پنجره پارزن^۷ (PWC)، نزدیکترین میانگین^۸ (NMC) و ماشین بردارهای پشتیبان^۹ (SVM) با هسته RBF صورت می‌پذیرد. برای این منظور پایگاه دادگان به سه بخش تقسیم گردید. ۵ امضای حقیقی به ازای هر فرد برای مجموعه مرجع، ۸ امضای حقیقی و ۱۰ امضای جعلی ماهرانه برای مرحله آموزش طبقه‌بندی کننده‌ها و باقی الگوها برای آزمایش اختصاص داده‌شد. در مرحله آموزش سیستم پس از مقایسه ویژگی نام با مجموعه مرجع و به ازای هر ۸ امضای حقیقی و ۱۰ امضای جعلی، بردار فاصله به مقیاس واحد تبدیل می‌شود.

$$D(i)_F = \exp \left(- \frac{\{D(i,1)_{F_T, F_R}, D(i,2)_{F_T, F_R}, \dots, D(i,18)_{F_T, F_R}\}}{2 \text{Max} \{D(i,1)_{F_T, F_R}, D(i,2)_{F_T, F_R}, \dots, D(i,18)_{F_T, F_R}\}} \right) \quad (15)$$

با ادامه روند فوق فاصله تمام ویژگیها با ویژگیهای مرجع به ازای یک فرد و سپس برای تمام افراد حاضر در پایگاه دادگان، آموزش طبقه‌بندی کننده انجام می‌شود. شاخص خطا نرخ خطای برابر^{۱۱} EER است و آن نقطه‌ای است که دو خطای نرخ پذیرش اشتباه^{۱۱} FAR و خطای نرخ رد اشتباه^{۱۲} FRR مساوی می‌گردند. آزمایشات در دو حالت سطح آستانه فردی و مشترک تعریف شده‌اند. در حالت فردی رابطه (۱۵) جداگانه برای هر فرد تعریف می‌شود و برای سطح آستانه مشترک، بیشترین مقدار فاصله در رابطه (۱۵) در کل دادگان تعیین می‌گردد.

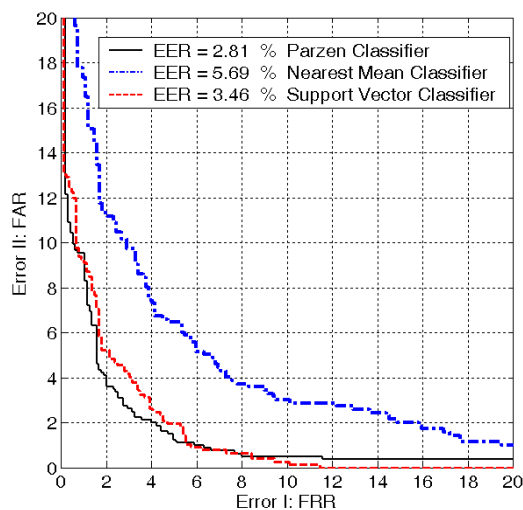
جدول (۱) خطای EER در طبقه‌بندی الگوها با شرکت گروه جاعلان ماهر نشان می‌دهد. طبقه‌بندی کننده پنجره پارزن به ازای سطح آستانه فردی و مشترک کمترین خطا را به ترتیب برابر ۱/۷۳٪ و ۲/۸۱٪ دارد. در شکل (۵) نیز منحنی تغییرات خطای FAR بر حسب FRR ملاحظه می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

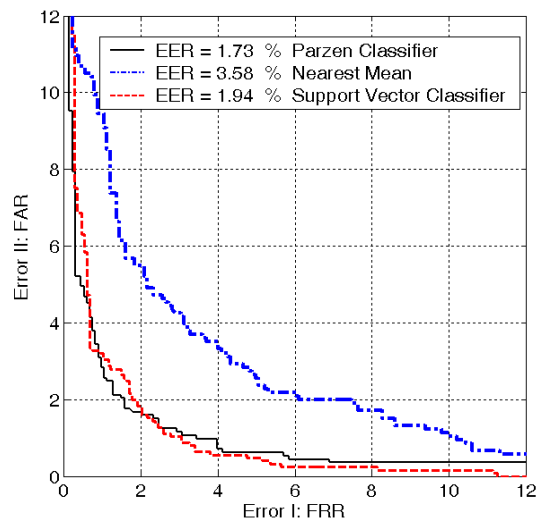
شفاف نمودن مرزهای تصمیم‌گیری و حذف اطلاعاتی که باعث درهم آمیختگی فضای ویژگی مربوط به کلاسهای مختلف می‌گردد، می‌تواند زمان مصروف و خطای طبقه‌بندی را کاهش دهد. در مسئله تصدیق امضاء هر چند الگوهای حقیقی و جعلی ماهرانه در ظاهر دارای شباهت بسیاری می‌تواند باشد ولی در نواحی با تغییرات زیاد زاویه الگو فرد جاعل برای حفظ دقت، سرعت اجرا را کاهش می‌دهد و این امر تفاوت‌های بین ویژگیهای پویا را در این نقاط برجسته می‌سازد. با یافتن چنین نقاطی و انعکاس آن بر دیگر ویژگیهای سیگنالی می‌توان تنها به مقایسه نواحی از سیگنالها پرداخت که درجه تفاوت آنها در امضای حقیقی و جعلی بالاتر است و دیگر نواحی را که شباهت بیشتری داشته و می‌تواند عامل تداخل مرزهای تصمیم‌گیری باشد، حذف نمود.

جدول ۱. خطای (%) EER حاصل از طبقه‌بندی الگوها در گروه جاعلان ماهر.

| طبقه‌بندی کننده | سطح آستانه فردی | سطح آستانه مشترک |
|-----------------|-----------------|------------------|
| PWC | ۱/۷۳ | ۲/۸۱ |
| NMC | ۳/۵۸ | ۵/۶۹ |
| SVM | ۱/۹۴ | ۳/۴۶ |



(ب)



(الف)

شکل ۵. تغییرات خطا در گروه جاعلین ماهر. الف) - سطح آستانه فردی. ب) - سطح آستانه مشترک.

مراجع

- [۱] A. K. Jain, A. Ross, S. Prabhakar, "An Introduction to Biometric Recognition", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics, Vol. ۱۴, No. ۱, pp. ۴-۲۰, ۲۰۰۴.
- [۲] R. Plamondon, G. Lorette, "Automatic Signature Verification and Writer Identification – The State of the Art", Pattern Recognition. Vol. ۲۲, No. ۲, pp. ۱۰۷-۱۳۱, ۱۹۸۹.
- [۳] R. Plamondon, N. Srihari, "On-line and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey", IEEE Trans. on Pattern Anal. Mach. Intel. Vol. ۲۲, No. ۱, pp. ۶۳-۸۴, ۲۰۰۰.
- [۴] Dimauro, G., S. Impedovo, M. G. Lucchese, R. Modugno, and G. Pirlo, "Recent Advancements in Automatic Signature Verification", Proceedings of the ۹th Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition. pp. ۱۷۹-۱۸۴, ۲۰۰۴.
- [۵] M. T. Ibrahim, K. Saleem, M. Aurangze, I. A. Taj, "Creation and selection of most stable discriminating features for on-line signature verification", IEEE Int. Conference on Machine Vision, pp. ۹۷-۱۰۱, ۲۰۰۷.
- [۶] F. R. Rioja, M. N. Miyatake, H. Perez, K. Toscano, "Dynamics features Extraction for on-Line Signature verification", Proceedings of the ۱۴th Int. Conference on Electronics, Communications and Computers, pp. ۱۵۶-۱۶۲, ۲۰۰۴.
- [۷] M. M. Ma, W. S. Wijesoma, E. Sung, "An Automatic On-line Signature Verification System based on Three Models", Proceedings of Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. ۸۹۰-۸۹۴, ۲۰۰۰.
- [۸] R. W. Zhou, C. Quek, "An Automatic Fuzzy Neural Network Driven Signature Verification System", IEEE International Conference on Neural Networks, pp. ۱۰۳۴-۱۰۳۹, ۱۹۹۶.
- [۹] M. M. Shafiei, H. R. Rabiee, "A New On-line Signature Verification Algorithm Using Variable Length Segmentation and Hidden Markov Models", Proceedings of the ۷th Int. Conference on Document Analysis and Recognition, pp. ۴۴۳-۴۴۶, ۲۰۰۳.
- [۱۰] D. Z. Lejtman, S. E. George, "On-line handwritten signature verification using wavelets and back-propagation neural networks", Proceedings on the ۶th Int. Conference on Document Analysis and Recognition, pp. ۹۹۲-۹۹۶, ۲۰۰۱.
- [۱۱] A. Kholmatov, B. Yanikoglu, "Identity authentication using improved online signature verification method", Pattern Recognition Letters, Vol. ۲۶, No. ۱۵, pp. ۲۴۰۰-۲۴۰۸, ۲۰۰۵.
- [۱۲] SVC; The First International Signature Verification Competition; <http://www.cs.ust.hk/svc۲۰۰۴>.

[۱۳] رشیدی س، فلاح ع، توحیدخواه ف، "تصدیق امضاء بر پایه ضربه‌های نوشتاری سیستم کنترل حرکتی"، هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۸.

[۱۴] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, Pattern Recognition, ۳rd Edition, John Wiley, ۲۰۰۰.

- [15] H. Sakoe, S. Chiba, “*Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition*”, IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Proc., Vol. 36, No. 1, pp. 43–49, 1988.
-

- ¹ Biometric
- ² Substitution or Random Forgery
- ³ Simple Forgery
- ⁴ Skilled Forgery
- ⁵ Sakoe
- ⁶ Chiba
- ⁷ Parzen Window
- ⁸ Nearest Mean
- ⁹ Support Vectors Machine
- ¹⁰ Equal Error Rate
- ¹¹ False Acceptance Rate
- ¹² False Rejection Rate