

بر آورد فاصله ویژگیهای سیگنالی الگوهای امضای حقیقی و جعلی با

استفاده از مشتقات مرتبه بالاتر در الگوریتم DTW

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

چکیده

مقایسه و تعیین فاصله یا شباهت سیگنالهای زمانی از موضوعات اساسی در مسئله بازشناخت الگو است. تطابق برنامه‌ریزی پویا از جمله روشهای بهینه‌ای است که برای ساختارهای دنباله‌ای کاربرد دارد. در این زمینه الگوریتم پیچش زمانی پویا ایده‌ای شناخته شده است که در بسیاری از کاربردهای عملی مانند تصدیق امضاء به منظور ارزیابی ویژگیهای سیگنالی مدنظر می‌باشد. در این مقاله برای تخمین میزان شباهت ویژگیهای سیگنالی در امضاهای حقیقی و جعلی روشی مبتنی بر الگوریتم پیچش زمانی پویا ارائه می‌شود که با استفاده از مجموع مشتقات مراتب بالای سیگنالها نقاط متناظر مشخص می‌گردد. نتایج آزمایشات تصدیق امضاء به منظور شناسایی الگوهای حقیقی و جعلی بر پایه طبقه‌بندی کننده‌های بیز، خطی و ماشین بردارهای پشتیبان نشان می‌دهد که برای جاعلان ماهر خطای EER به ترتیب برابر ۲/۰۷٪ و ۳/۲۱٪ برای سطح آستانه فردی و عمومی است.

کلمات کلیدی

پیچش زمانی پویا، تصدیق امضاء، ماشین بردارهای پشتیبان.

Evaluation of Signal Features Distance of Genuine and Forgery Signature Patterns with Using High Order Derivates on DTW

Saeid Rashidi, Ali Fallah, Farzad Towhidkhah

Abstract

Comparison and determine or similarity of time signals is an important subject in pattern recognition field. Dynamic programming matching is among them optimum methods that use for sequences structures. In this connection dynamic time warping technique that on most practical applications as signature verification used for evaluation signal features. This paper presents a method for measure of signals similarity in genuine and forgery signatures based on dynamic time warping that use sum of high order derivates in order to assign of match points. With using to bayes, linear and support vectors machine classifiers results are showed that for skilled forgeries equal error rate (EER) are ۲.۰۷% and ۳.۲۱% for user based and global threshold, respectively.

Keywords

Dynamic Time Warping, Signature Verification, Support Vectors Machine.

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

امروزه یکی از میدانهای تحقیقاتی جذاب بهره‌گیری از روشهای زیست‌سنجی برای شناسایی اشخاص است. تصدیق امضاء از جمله راهکارهای احراز هویت فرد می‌باشد. در این سیستمها از صفحات الکترونیکی یا دیجیتایزرها برای دریافت همزمان امضای فرد (روش پویا) و از اسکنرهای نوری جهت اخذ تصویر در روشهای ایستا استفاده می‌گردد [۱]. در روشهای پویا ابزارهای دریافت باید به گونه‌ای طراحی شوند که علاوه بر دسترسی به اطلاعات مختلف مانند موقعیت، فشار و زاویه قلم، کاربر احساس طبیعی در زمان امضاء بر روی صفحه کاغذ را نیز داشته‌باشد.

روشهای متعددی جهت بازشناسی الگو در مسئله تصدیق امضای پویا اعمال شده‌است. برخی از این روشها نیاز به استخراج پارامترها و شاخصهایی مانند میانگین سرعت، واریانس شتاب، میانگین فشار و غیره دارند که بیانگر رفتار طبیعی فرد در حین امضاء است و به کمک آنها می‌توان انحراف را در امضاهای جعل شده را تشخیص داد [۲ و ۳]. در روشهای دیگر شباهت الگوهای امضاء بر اساس مقایسه توابع و سیگنالهای زمانی نظیر سرعت در راستای x ، شتاب مماسی و غیره سنجیده می‌شود [۴ و ۵].

الگوریتم پیچش زمانی پویا (DTW) روشی مناسب برای ارزیابی شباهت سیگنالهای زمانی است. DTW بر پایه فاصله تجمعی نقاط در دو سیگنال مورد مقایسه، نقاط متناظر را بر اساس روش بهینه برنامه‌ریزی پویا (DPM) می‌یابد. DTW از روشهای موفق و مورد توجه در زمینه تصدیق امضاء است [۶، ۷ و ۸]. از آنجا که الگوریتم مذکور در تطابق نقاط تنها بر معیار کمیت همچون فاصله اقلیدسی تاکید دارد گاهی منجر به خطای فاحش در تناظر نقاط دو سیگنال می‌شود. برای مثال تطابق نقطه کمینه یک سیگنال بر نقطه بیشینه سیگنال دیگر رخ می‌دهد که به لحاظ معنایی اشتباه است.

این مقاله با ارائه روشی مبتنی بر استفاده از مشتقات مرتبه بالاتر در تابع فاصله اقلیدسی ضمن لحاظ نمودن معیار کیفیت سعی در افزایش دقت سنجش میزان شباهت سریهای زمانی دارد. با اصلاح معیار فاصله در الگوریتم DTW و افزودن مراتب مشتق سیگنالهای مورد بررسی به آن، علاوه بر پیچش محور زمان و اصلاح تغییرات غیرخطی آن، تغییرات محلی دامنه آنها نیز در تطابق نقاط ملحوظ می‌گردد. آزمایشات طراحی شده برتری روش پیشنهادی بر DTW را در کاهش خطای طبقه‌بندی الگوهای حقیقی و جعلی نشان می‌دهد.

۲- الگوریتم DTW

الگوریتم پیچش زمانی پویا روشی برای غلبه بر تغییرات غیرخطی محور زمان در تعیین فاصله سریها یا سیگنالهای زمانی است. این الگوریتم توسط ساکو^۲ و شیب^۳ برای مسئله بازشناخت گفتار در ۱۹۷۸ ارائه گردید [۱۰]. اگر دو سیگنال A, B با طولهای متفاوت داشته باشیم:

$$\begin{aligned} A &= a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n \\ B &= b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m \end{aligned} \quad (1)$$

برای تطابق دو سیگنال با استفاده از DTW ابتدا یک ماتریس $n \times m$ تشکیل می‌شود به نحوی که عنصر (i, j) فاصله دو نقطه (a_i, b_j) بر پایه معیارهای فاصله مانند فاصله اقلیدسی خواهد بود. چنانچه تناظر نقاط در مرحله k ام حاصل آید آن بصورت $S_k = (i_k, j_k)$ بیان می‌شود. بنابر این مسیر کلی تناظر دو سیگنال چنین بیان می‌شود:

$$S = S_1, S_2, \dots, S_k, \dots, S_K \quad \max(n, m) \leq K \leq n + m - 1 \quad (2)$$

برای محاسبه نقاط متناظر بهینه، تابع پیچش یا فاصله وزندار DS_k بصورت زیر معرفی می‌شود:

$$DS_k = d(i_k, j_k) \cdot w(i_k, j_k) \quad (3)$$

که $d(i_k, j_k)$ بیانگر فاصله (اقلیدسی، کانبرا و غیره) دو نقطه (i, j) از دو سیگنال است و $w(i_k, j_k)$ وزن تطابق در مرحله k ام می‌باشد. برای تعیین مسیر پیچش بهینه و محاسبه فاصله دو سیگنال A, B تابع ارزش زیر باید کمینه گردد.

$$D_{AB} = \min_S \left[\frac{\sum_{k=1}^K DS_k}{\sum_{k=1}^K w(i_k, j_k)} \right] \quad (4)$$

البته مسیر پیچش S تحت قیود زیر قرار دارد:

۱- شرایط اولیه: نقطه شروع با $(1, 1)$ و نقطه پایانی با (n, m) مشخص می‌شوند.

۲- پیوستگی: مسیر پیچش جهش ندارد بنابر این شرط $w(i_k, j_k) - w(i_{k-1}, j_{k-1}) \leq (1, 1)$ برقرار است.

۳- یکتائی: نقاط تناظر تحت $w(i_k, j_k) - w(i_{k-1}, j_{k-1}) \geq (0, 0)$ یکتا بدست می آیند.

۴- پنجره گذاری: بازه تغییرات مسیر پیچش در محدوده $|i_k - j_k| \leq R$ می تواند قرار گیرد.

برای حل مسئله بهینه سازی مسیر پیچش می توان از راهکار تطابق برنامه ریزی پویا (DPM) استفاده نمود که پاسخ را به شکل یک رابطه بازگشتی بیان می کند و داریم:

$$D(i_k, j_k) = \min_{DS_k} [D(i_{k-1}, j_{k-1}) + DS_k] \quad (5)$$

با توجه به شرایط اولیه و اینکه $w(i_k, j_k) = 1$ می توان رابطه فوق را به شکل زیر ساده نمود.

$$D(i, j) = d(i, j) + \min \begin{cases} D(i-1, j) \\ D(i-1, j-1) \\ D(i, j-1) \end{cases} \quad (6)$$

و فاصله دو سیگنال عبارت است از:

$$D_{AB} = \frac{D(n, m)}{n + m} \quad (7)$$

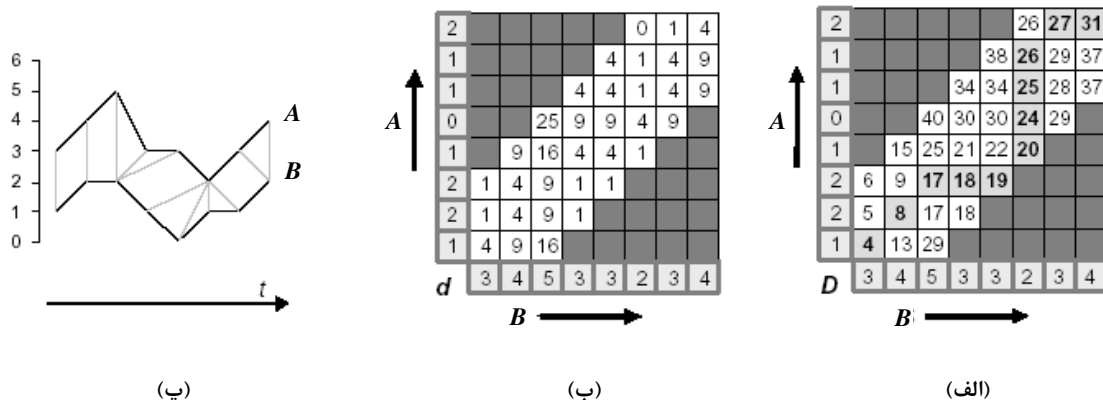
شکل (۱) نحوه اعمال الگوریتم را بر دو سیگنال نشان می دهد و نحوه محاسبه ماتریس فاصله $D(i, j)$ و تعیین نقاط متناظر را بیان می کند.

۳- اصلاح الگوریتم DTW

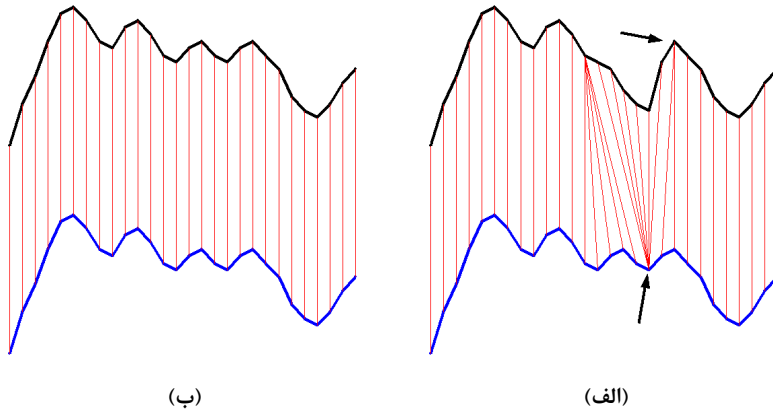
اگر چه الگوریتم DTW برای سیگنالهایی که تنها دارای تفاوتی در محور زمان هستند، موفق عمل می کند و تغییرات غیر خطی زمان را تشخیص می دهد ولی اگر سیگنالها دارای تغییراتی در اندازه نیز باشند، احتمال اشتباه و خطای الگوریتم در یافتن مسیرهای تناظر به شدت افزایش می یابد. تفاوتی کلی سیگنالها همچون اختلاف میانگین، اختلاف مقیاس در اندازه یا افزایش خطی دامنه ها را می توان بطور موثر با یکسان سازی اندازه جبران نمود [۱۱]. اما در سیگنالهایی که تفاوتی محلی در دامنه ها مشاهده می شود، احتمال انطباق نقاط بیشینه یکی بر نقاط کمینه دیگری وجود دارد. شکل (۲) مثالی در این زمینه است. دو سیگنال مشابه دارای نقاط متناظر یک به یک است اما اگر تغییری محلی در دامنه یکی ایجاد شود، DTW تلاش می کند این تغییر را بر اساس محور زمان توجیه نماید و این امر باعث خطای تطابق کمینه یکی بر بیشینه دیگری می گردد.

ضعف DTW در کمیت و کیفیت ویژگی و معیار فاصله مفروض یا همان عبارت $d(i, j)$ در رابطه (۶) است که بصورت محلی دو نقطه سیگنالها را ارزیابی می کند بدون توجه به این مسئله که ممکن است سیگنالی در حال صعود و دیگری در حال نزول باشد. برای جلوگیری از این امر می توان کیفیت سیگنالها را از نظر صعود، نزول، نقاط عطف و غیره را به کمک مشتقات مرتبه بالاتر در $d(i, j)$ لحاظ نمود و به بیان دیگر محتوای شکلی سیگنالها نیز مدنظر قرار گیرد.

ایده اصلی این روش بر پایه بسط توابع ریاضی حول یک نقطه خاص قرار دارد که بسط تیلر و مک لورن حالات بسیار شناخته شده ای هستند. بسط مک لورن یک تابع مانند $f(x)$ حول نقطه $x_0 = 0$ عبارت است از:



شکل ۱. نحوه محاسبه تناظر نقاط در DTW. (الف) - تطابق بهینه. (ب) - ماتریس فاصله حاوی فاصله اقلیدسی نقاط. (پ) - نقاط متناظر بر اساس کمترین فاصله تجمعی که با رنگ تیره تر مشخص شده اند.



شکل ۲. استفاده از DTW برای تطابق دو سیگنال. (الف) - دو سیگنال مشابه و تطابق یک به یک. (ب) - همان دو سیگنال با تغییر اندک در دامنه یکی و تطابق اشتباه در نقاط با کیفیت متفاوت.

$$f(x) = f(0) + \frac{f'(0)}{1!}x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n + R_n \quad (8)$$

و می‌توان نشان داد که دو تابع $f(x), g(x)$ دارای جملات با کمترین فاصله در بسطهای مک‌لورن باشند را می‌توان با یکدیگر جایگزین نمود و یا به تعبیری آن دو تابع دارای کمترین فاصله خواهند بود.

$$D_{fg} = f(x) - g(x) = (f(0) - g(0)) + \frac{f'(0) - g'(0)}{1!}x + \frac{f''(0) - g''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0) - g^{(n)}(0)}{n!}x^n \approx 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} f(0) \approx g(0) \\ f'(0) \approx g'(0) \\ f''(0) \approx g''(0) \\ \vdots \\ f^{(n)}(0) \approx g^{(n)}(0) \end{cases} \Rightarrow f(x) \approx g(x) \quad (9)$$

بطور مشابه برای تعیین فاصله دقیقتر دو سیگنال می‌توان چنین فرض نمود که در رابطه (۶) عبارت $d(i, j)$ بصورت ذیل تصحیح نمود.

$$d(i, j) = w_0(a_i - b_j)^2 + w_1(a'_i - b'_j)^2 + w_2(a''_i - b''_j)^2 + \dots \quad (10)$$

که w_q وزن اختصاصی بر مبنای اهمیت مراتب مشتق است و می‌توان آنها را برابر انتخاب یا بر اساس سعی و خطا بهینه کرد. البته چون سیگنالهای تحت پردازش در کامپیوتر دیجیتال هستند باید به دو نکته اساسی توجه داشت:

- ۱- برای پردازش و کاهش نویز کوانتیزاسیون^۵ دامنه سیگنال، معمولاً به کمک فیلترهای گوسی سیگنال هموار می‌شود.
- ۲- برای محاسبه مشتقات از روشهای گسسته که خود دارای خطا هستند، استفاده می‌شود و با افزایش مرتبه مشتق خطای حاصل نیز افزایش می‌یابد.
- ۳- با افزایش مرتبه مشتق، دامنه مولفه‌های فرکانس بالا که بیانگر نویزهای ذاتی سیگنال دیجیتال هستند نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به نکات فوق در رابطه (۱۰) چنانچه مرتبه مشتق موجود در افزایش یابد به معنای محاسبه دقیقتر فاصله دو سیگنال نخواهد بود و می‌توان بر مبنای سعی و خطا عمل بهینه‌سازی را انجام داد. از سوی دیگر روش پیشنهادی به لحاظ زمان، حجم و پیچیدگی محاسبات تفاوتی با الگوریتم مرسوم DTW ندارد چراکه تعداد عمل ضرب در الگوریتمها مبنای مقایسه است. در شکل (۳) مثالی برای مقایسه بین الگوریتم مرسوم DTW و روش پیشنهادی که آنرا بنام الگوریتم مجموع مشتقات پیچش زمانی پویا SDDTW معرفی می‌کنیم، مشاهده می‌شود. دو سیگنال مورد بررسی مشابه بوده و باید خطای مقایسه مقداری کوچک گردد. با انتخاب برابر وزنها $w_i = 1$ در رابطه (۱۰) مشاهده می‌شود که با افزودن مشتق مرتبه اول فاصله دو سیگنال مشابه کمتر شده حال آنکه استفاده از مشتق مرتبه دوم خطای بیشتری را در مقایسه دو سیگنال بدست می‌دهد که می‌تواند ناشی از انتخاب نامناسب وزنها یا خطای محاسباتی در عمل مشتق‌گیری است. در بخشهای آتی مقایسه جامعی بین روشها انجام می‌شود.

۴- فرآیند تصدیق امضاء

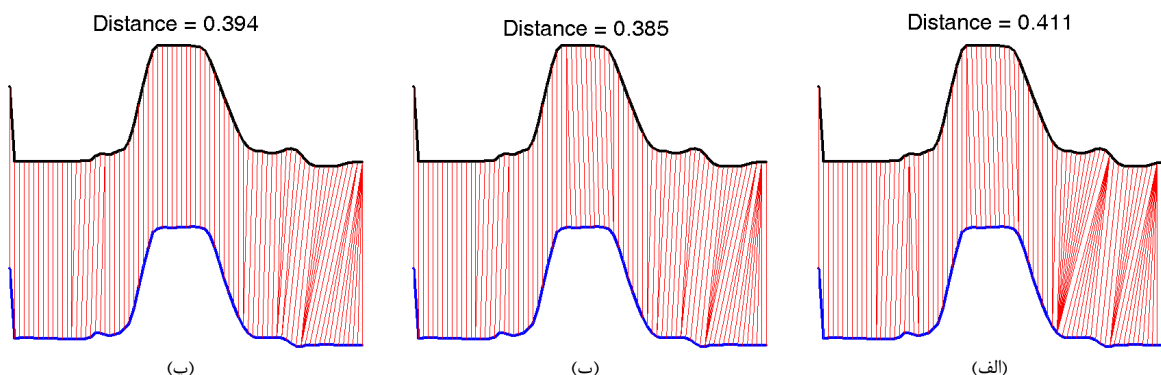
فرآیند تصدیق امضاء در نگاه کلی شامل مراحل: اخذ دادگان، پیش پردازش، مدلسازی و استخراج ویژگی، فرآیند مقایسه و تصمیم‌گیری است. در شکل (۴) مراحل کلی یک سیستم تصدیق نشان داده شده‌است.

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 (۴ Graphier) WACOM 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 ۴۰ 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:

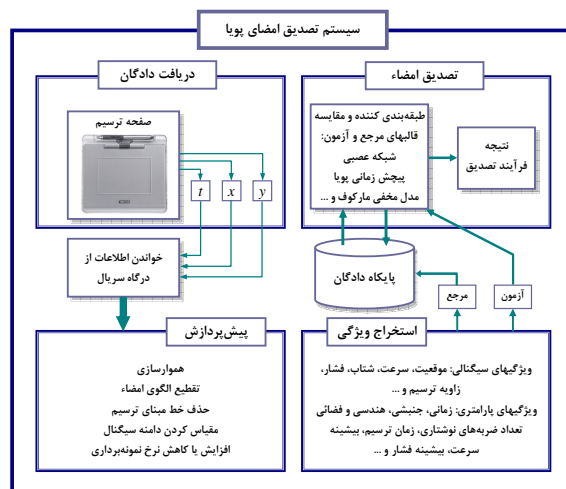
(الف) - جاعل تصادفی^۶: که از امضای خودش (بدون توجه به امضای فرد حقیقی) بجای الگوی آزمون استفاده می‌کند.

(ب) - جاعل مبتدی^۷: بدون داشتن آگاهی از خصوصیات الگوی حقیقی، تنها سعی در مشابه‌سازی تصویر الگوی حقیقی دارد.

(ج) - جاعل ماهر^۸: با ممارست، علاوه بر آنکه سعی در نزدیک نمودن تصویر الگوها دارد، درصدد حفظ ویژگیهای 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.



شکل ۳. تعیین فاصله دو سیگنال مشابه بر اساس مجموع مشتقات فاصله اقلیدسی با وزنهای برابر. الف) - مشتق مرتبه صفر یا همان الگوریتم مرسوم DTW. ب) - مجموع تا مشتق مرتبه اول. پ) - مجموع تا مشتق مرتبه دوم.



شکل ۴. فرآیند تصدیق امضای پویا.

پیش پردازش شامل فرآیندهای هموارسازی، مشتق گیری عددی، حذف زاویه چرخش الگو و مقیاس نمودن سیگنالها است. هموارسازی به کمک یک فیلتر گوسی غیرعلی انجام می شود و مشتقات سیگنال موقعیت نیز بر پایه توابع اسپلاین حاصل می گردد [۱۳]. سیگنالها نسبت به مقدار انرژی آنها، مقیاس می شود و داریم:

$$S_{normalized} = \frac{S - \mu_s}{\sigma_s} \quad (11)$$

که σ_s, μ_s به ترتیب میانگین و انحراف معیار سیگنال است.

۵- نتایج آزمایشات

در این بخش ابتدا با استفاده از مجموعه دادگان به بررسی و مقایسه دقیقتر روش پیشنهادی و الگوریتم معمولی DTW پرداخته می شود و سپس کاربرد روش حاصل برای مسئله احراز هویت و تصدیق امضاء مدنظر قرار می گیرد.

۵-۱- مقایسه روش پیشنهادی SDDTW و DTW

برای مطالعه و بررسی دقت روش حاضر و مقایسه آن با الگوریتم مرسوم DTW استفاده از سیگنالهای حاصل از امضای افراد حقیقی و جاعل ماهر بسیار مناسب است. امضای هر فرد در تکرارهای متعدد هرچند از نظر ساختار اساسی مانند سرعت، شتاب و فشار همچنین تناسب دامنه در بخشهای مختلف مشابه است ولی در محور زمان تغییرات و اعوجاجات غیرخطی مشاهده می شود [۱۳]. در امضای فرد جاعل نسبت به فرد حقیقی در الگوی ظاهری امضاء تفاوت آشکاری وجود ندارد ولی ویژگیهای پویا و مشخصات بنیادین آنها دارای اختلاف می باشد. استفاده از روش حاضر بدلیل برخورداری از اطلاعات و ویژگیهای پویا مانند مشتق اول یا همان سیگنال سرعت و دیگر مشتقات مرتبه بالاتر می تواند در برجسته سازی تفاوت های دو سیگنال به ظاهر مشابه موثر باشد.

بدین منظور سیگنالهای موقعیت (x, y) الگوی امضاء در پایگاه دادگان به کمک الگوریتم پیشنهادی SDDTW و DTW در افراد حقیقی و جاعل ماهر مطالعه شدند. برای تعیین خطا تعداد ۵ امضاء از هر فرد حقیقی به عنوان مجموعه مرجع انتخاب و امضاهای دیگر اعم از حقیقی و جعلی با آنها مقایسه می گردد. لازم به ذکر است که معیار خطا در سیستمهای تصدیق نرخ خطای برابر EER تعریف می شود و عبارت است از نقطه ای که دو خطای نرخ پذیرش اشتباه FAR و خطای نرخ رد اشتباه FRR مساوی می گردند. روند اجرا و مقایسه روشها چنین است:

- تعیین فاصله الگوی آزمون و مجموعه مرجع و تشکیل بردار فاصله $\bar{D} = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5\}$

- محاسبه میانگین بردار به عنوان فاصله کلی دو سیگنال $D_{mean} = \text{mean}(\bar{D})$

- تبدیل فاصله به مقیاس واحد پس از اعمال الگوریتم بر روی تمام دادگان

$$D_{normalized} = \frac{D_{mean} - \min(D_{mean})}{\max(D_{mean}) - \min(D_{mean})} \quad (12)$$

- تغییر سطح آستانه از صفر به یک $0 \leq D_{normalized} \leq 1$ و محاسبه خطای EER

آزمایشات با دو سطح آستانه فردی و عمومی صورت می پذیرد که در حالت فردی رابطه (۱۲) جداگانه برای هر فرد تعریف می شود و برای سطح آستانه عمومی کمترین و بیشترین مقادیر فاصله در کل دادگان بدست آمده و سپس رابطه (۱۲) اعمال می شود. همچنین در SDDTW تا مشتق مرتبه اول با $w_i = 1$ استفاده شده است. نتیجه در جدول (۱) ملاحظه می شود. روش پیشنهادی در تمام شرایط از DTW برتر و خطای کمتری دارد و بطور متوسط باعث کاهش ۱۴٪ در خطای طبقه بندی و تشخیص صحیح سیگنالهای مشابه شده است.

جدول ۱. خطای (%) EER در گروه جاعلان ماهر.

الگوریتم	سطح آستانه فردی		سطح آستانه عمومی		متوسط کل
	X	Y	X	Y	
DTW	۳۲/۲۸	۲۳/۲۴	۴۲/۵۴	۳۵/۷۴	۳۳/۷
SDDTW	۲۹/۷۲	۲۰/۸۴	۳۴/۱۹	۳۱/۵۷	۲۹/۰۸
متوسط	۳۱	۲۲/۰۴	۳۸/۸۷	۳۳/۶۵	
متوسط کل	۲۵/۶۲		۳۶/۲۶		

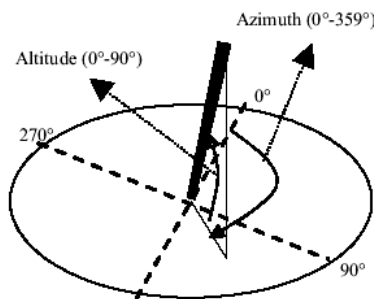
۵-۲- تأیید هویت و تصدیق امضاء

اکنون با تعریف ویژگیهای سیگنالی و با استفاده از الگوریتمهای DTW و SDDTW یک سیستم تصدیق امضاء برای تأیید و احراز هویت افراد طراحی می‌شود. ویژگیهای سیگنالی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

- ۱- موقعیت X, Y
- ۲- سرعت V_x, V_y
- ۳- فشار P
- ۴- تغییرات فشار V_p
- ۵- زاویه قلم نسبت به افق θ_{AL}
- ۶- زاویه قلم نسبت به محور Y ها θ_{AZ}

در شکل (۵) تعریف سیگنالهای θ_{AL}, θ_{AZ} مشاهده می‌شود. برای محاسبه فاصله سیگنالها در الگوریتم SDDTW حداکثر تا مشتق اول استفاده شده‌است. پس از تعیین فاصله سیگنالها با سیگنالهای مرجع (۵ نمونه حقیقی از هر فرد) و تبدیل به مقیاس واحد (رابطه ۱۲) طبقه‌بندی الگوهای حقیقی و جعلی انجام می‌گردد. بدین منظور سه طبقه‌بندی کننده BNC، خطی بر پایه کمترین مربعات یا فیشر FLC و ماشین بردارهای پشتیبان SVM با هسته RBF فرض گردید.

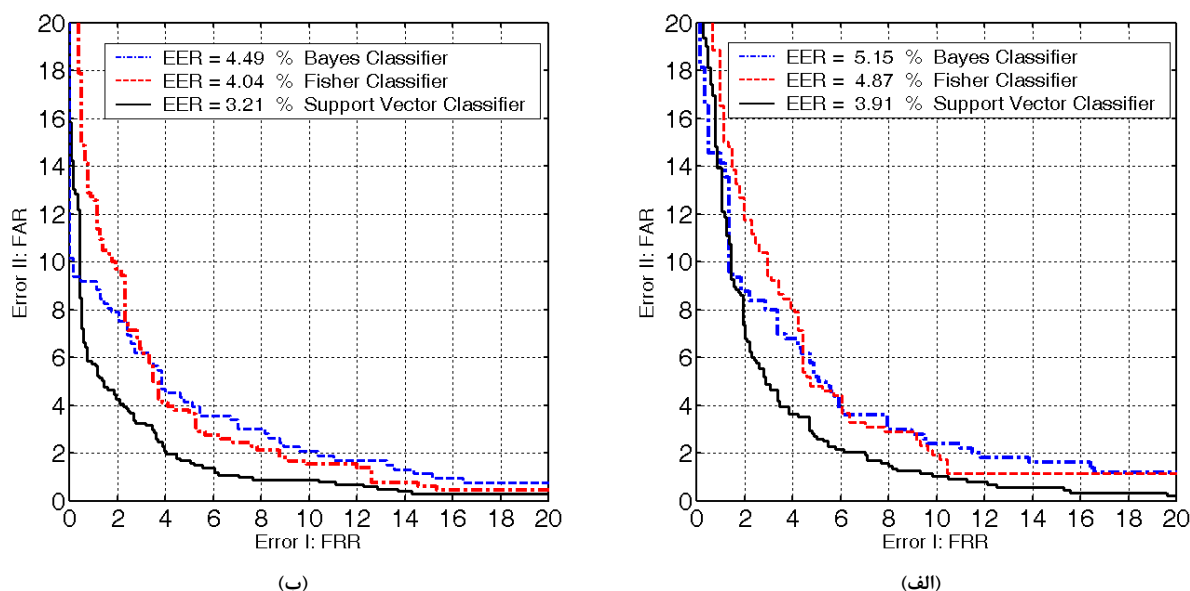
برای آموزش طبقه‌بندی کننده‌ها از ۵ نمونه حقیقی و ۸ نمونه به ازای هر فرد جاعل ماهر و بقیه دادگان جهت ارزیابی سیستم تصدیق استفاده شده‌است. در جدول (۲) نتایج حاصل از طبقه‌بندی الگوها مشاهده می‌شود. شکل (۶) منحنی تغییرات FAR بر حسب FRR را بیان می‌کند که برای جاعلین ماهر و در شرایط سطح آستانه مشترک بدست آمده‌است. بهترین نتیجه با طبقه‌بندی کننده SVM بر پایه الگوریتم SDDTW حاصل شد که خطای ۰.۷٪ و ۳.۲۱٪ را به ترتیب برای سطح آستانه فردی و عمومی بدست می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که روش پیشنهادی SDDTW در شرایط سطح آستانه فردی در حدود ۱۴٪ و برای سطح آستانه عمومی تقریباً ۱۶٪ خطای EER را کاهش می‌دهد.



شکل ۵. زاویه قلم نسبت به سطح افق و محور Y ها [۱۴].

جدول ۲. خطای EER (%) حاصل از طبقه‌بندی الگوها در گروه جاعلان ماهر.

طبقه‌بندی کننده	سطح آستانه فردی		سطح آستانه عمومی	
	SDDTW	DTW	SDDTW	DTW
BNC	۳/۸۳	۳/۲۶	۵/۱۵	۴/۴۹
FLC	۳/۰۷	۲/۷۴	۴/۸۷	۴/۰۴
SVM	۲/۵۲	۲/۰۷	۳/۹۱	۳/۲۱
متوسط	۳/۱۴	۲/۶۹	۴/۶۴	۳/۹۱



شکل ۶. تغییرات خطا در گروه جاعلین ماهر و با سطح آستانه مشترک. (الف) - روش DTW. (ب) - روش پیشنهادی SDDTW.

۶- نتیجه گیری

مقایسه سیگنالهای زمانی و تعیین میزان شباهت یا تفاوت آنها مسئله‌ای اساسی در زمینه بازشناخت الگو است. الگوریتم DTW از جمله روشهای موفق است که بر پایه فاصله تجمعی نقاط مجاور، مسیر بهینه تناظر دو سیگنال را معرفی می‌کند. از آنجا که معیارهای فاصله مرسوم مانند اقلیدسی تنها حاوی اطلاعات کمی و کلی است و کیفیت تغییرات محلی دو سیگنال را شامل نمی‌شود، سعی گردید با تعمیم معیار فاصله مبتنی بر مجموع فاصله مشتقات سیگنالها، اطلاعات محتوایی نظیر نقاط کمینه یا بیشینه دو سیگنال نیز مد نظر قرار گیرد. راهکار پیشنهادی علاوه بر حفظ خصوصیت اصلی DTW یعنی یافتن تغییرات غیرخطی محور زمان، تغییرات دامنه‌ای و چگونگی این تغییرات را نیز کاوش می‌نماید و بدین ترتیب تفاوت‌های ذاتی الگوهای حقیقی و جعلی برجسته‌تر می‌سازد.

بهینه‌سازی وزنه‌ای اختصاص یافته به مراتب مشتق در معیار فاصله می‌تواند در ارزیابی صحیح‌تر نقش موثری ایفا نماید که در تحقیقات و پژوهشهای آتی بررسی خواهد شد.

مراجع

- [۱] 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.
- [۲] J. Richiardi, H. Ketabdar, A. Drygajlo, "Local and global feature selection for on-line signature verification", Proc. 8th Int. Conference on Document Analysis and Recognition, pp. ۶۲۵-۶۲۹, ۲۰۰۵.
- [۳] L. Nanni, A. Lumini, "Advanced methods for two class problem formulation for on-line signature verification", Neurocomputing, Vol. ۶۹, No. ۵, pp. ۸۵۴-۸۵۷, ۲۰۰۶.
- [۴] V. S. Nalwa, "Automatic on-line signature verification", Proc. IEEE, Vol. ۸۵, No. ۲, pp. ۲۱۵-۲۳۹, ۱۹۹۷.
- [۵] H. Lei, S. Palla, V. Govindaraju, " ER^2 : An intuitive similarity measure for on-line signature verification", Proc. of the 9th Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, pp. ۱۹۱-۱۹۵, ۲۰۰۴.
- [۶] K. Huang, H. Yan, "On-line signature verification based on dynamic segmentation and global and local matching", Optical Engineering, Vol. ۳۴, pp. ۳۴۸۰-۳۴۸۷, ۱۹۹۵.
- [۷] R. Martens, L. Claesen, "Dynamic programming optimisation for on-line signature verification". Proc 4th Int. Conference on Document Analysis and Recognition, Vol. ۲, pp. ۶۵۳-۶۵۶, ۱۹۹۷.

- [۸] K. Zhang, I. Pratikakis, J. Cornelis, E. Nyssen, "Using landmarks to establish a point-to-point correspondence between signatures", Pattern Anal. Appl. Vol. ۳, No. ۱, pp. ۶۹-۷۵, ۲۰۰۰.
- [۹] A. Kholmatov, B. Yanikoglu, "Identity authentication using improved online signature verification method", Pattern Recognition Letters, Vol. ۲۶, No. ۱۵, pp. ۲۴۰۰-۲۴۰۸, ۲۰۰۵.
- [۱۰] H. Sakoe, S. Chiba, "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition", IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Proc., Vol. ۲۶, No. ۱, pp. ۴۳-۴۹, ۱۹۷۸.
- [۱۱] E. Keogh, M. Pazzani, "An enhanced representation of time series which allows fast and accurate classification, clustering and relevance feedback", Proc. Of the ۱۴th Int. Conference of Knowledge Discovery and Data Mining, pp. ۲۳۹-۲۴۱, ۱۹۹۸.
- [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] J. Fierrez-Aguilar, Adapted fusion schemes for multimodal biometric authentication, PHD Thesis, Universidad Politecnica de Madrid, Supervised by Javier Ortega-Garcia, ۲۰۰۶.

-
- ^۱ Dynamic Time Warping
^۲ Dynamic Programming Matching
^۳ Sakoe
^۴ Chiba
^۵ Quantization
^۶ Substitution or Random Forgery
^۷ Simple Forgery
^۸ Skilled Forgery
^۹ Equal Error Rate
^{۱۰} False Acceptance Rate
^{۱۱} False Rejection Rate