

RESUMEN

ANÁLISIS DEL ALGORITMO DTW PARA RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO DE PERSONAS MEDIANTE FIRMA MANUSCRITA ON-LINE

En solo unos pocos años el interés por los rasgos biométricos para la verificación o autenticación de personas ha crecido notablemente. En la sociedad actual y hacia donde se está evolucionando es de vital importancia conocer la identidad del usuario y la biometría lo permite a través de características intrínsecas del sujeto.

La seguridad que proporciona el uso de rasgos biométricos es muy superior frente a los sistemas actuales, como contraseñas o claves, ya que no pueden ser robados, perdidos u olvidados.

Dependiendo de las características estudiadas existen dos grandes grupos de sistemas biométricos: los que se fijan en aspectos físicos y los que se fijan en aspectos vinculados a la conducta. Se conoce como biometría estática a la primera y como biometría dinámica a la segunda. Dentro de estas dos categorías existen distintas características de estudio como puede ser la huella dactilar, el iris, la firma manuscrita, la voz, entre otras. Este proyecto se centra en la firma manuscrita.

En particular, la firma manuscrita es una herramienta que el ser humano utiliza y ha utilizado desde la antigüedad para dejar constancia de que algo es suyo. Se trata de un signo de identidad y por ello es tan importante. Además, es usada ampliamente en multitud de escenarios como puede ser en un pago con tarjeta, en un contrato laboral, en un consentimiento médico, entre otros.

Al mismo tiempo, goza de una gran aceptación y extensión por lo que no presenta rechazo social. Los usuarios en general se sienten más cómodos al plasmar su firma que al dejar su huella dactilar o al permitir escanear su iris.

Además, la firma tiene grandes implicaciones legales puesto que es considerada un signo propio y singular de cada individuo y por tanto goza de total validez legal.

A pesar de que la tecnología está muy implantada en la sociedad actual, el papel continúa teniendo un papel importantísimo en dicha sociedad y todavía hay documentos que solo tienen validez en papel y con una firma manuscrita. Sin

embargo, cada vez más se están intentando converger la firma manuscrita con la era digital, como es el uso de tabletas digitales en comercios o bancos y por ello la importancia de la firma manuscrita como rasgo biométrico ha aumentado.

El alcance de este proyecto se centra en el estudio, evaluación y modificación de ciertos parámetros del algoritmo DTW (Dynamic Time Warping) aplicado a la firma manuscrita para verificar la identidad de un usuario.

De esta manera se intenta hacer un análisis global y específico en ciertos aspectos del algoritmo DTW y extraer unas conclusiones que sirvan para mejorar de algún modo la verificación mediante firma manuscrita.

Por lo tanto, **el principal objetivo de este proyecto es analizar los distintos parámetros del algoritmo DTW (Dynamic Time Warping) para evaluar su funcionamiento en una aplicación de reconocimiento biométrico de firma manuscrita on-line.** En concreto, se quiere analizar bajo qué condiciones su funcionamiento es más óptimo, atendiendo a dos características: el coste computacional y la tasa de equierror (EER-Equal Error Rate).

En este proyecto se analizan dos escenarios:

- ▶ **Escenario casual:** se trata de un escenario en el cual se emplean firmas falsas aleatorias, es decir, propias de otros usuarios. En este caso puede darse más prioridad al coste computacional, puesto que requiere menos seguridad, se trata de un entorno menos abierto a intrusismo. Un ejemplo de escenario casual podría ser el acceso a un ordenador personal.
- ▶ **Escenario seguro:** en este escenario se utilizan firmas falsas entrenadas, es decir, otros usuarios entrenan la falsificación de firmas. Este escenario requiere máxima seguridad, la prioridad es no permitir que falsos usuarios sean reconocidos como verdaderos. Por tanto, se requiere una tasa de equierror lo más baja posible. Un ejemplo de escenario seguro son las operaciones bancarias.

Ante esta perspectiva, se analiza en qué situaciones es mejor un coste computacional bajo y en cuales una tasa de equierror baja, cuándo se priorizará uno en detrimento del otro. Se determinará si estos elementos están relacionados. Se asumirá un compromiso entre ambos valores y se obtendrán unas conclusiones, siendo éstas el aporte novedoso en el estudio del DTW.

Para conseguir este objetivo global, el proyecto se ha dividido en dos subobjetivos más específicos:

- ◆ **Subobjetivo I:** Estudio e implementación del algoritmo DTW. En esta primera parte se estudia el algoritmo e implementa una primera aproximación.
- ◆ **Subobjetivo II:** Modificación de ciertas características para optimizar el reconocimiento de firmas manuscritas on-line, en función del coste computacional y la tasa de equierror. Se realizan diversos experimentos y se extraen conclusiones.

Para la elaboración de este proyecto se ha utilizado como herramienta el programa Matlab y se ha combinado con ciertas funciones en el lenguaje de programación C++, para reducir la carga computacional (tiempo).

Los experimentos se han llevado a cabo con la base de datos MCyT, la cual es una iniciativa de cuatros universidades españolas. Se trata de una base bimodal que contiene la huella dactilar y la firma manuscrita de 330 usuarios, pero en este proyecto se utilizan exclusivamente las firmas.

Por lo tanto, se emplea una versión libre la cual consta de 100 usuarios, teniendo cada uno 25 firmas verdaderas y 25 falsas. Los experimentos se han realizado con un patrón que se ha generado con las 5 primeras firmas verdaderas de cada usuario y se han hecho las pruebas con firmas falsas entrenadas y con falsas aleatorias. Siendo las falsas entrenadas aquellas que un usuario ha intentado falsificar y siendo las aleatorias firmas de otros usuarios.

A continuación, se expone un breve repaso de la organización y los contenidos del proyecto para poder tener una perspectiva general de lo que en sí es.

Este documento sigue una estructura ordenada en la que se explican los conceptos, los procedimientos y las herramientas utilizadas para alcanzar los objetivos propuestos.

Inicialmente se contextualiza el proyecto, se explican conceptos básicos como qué es la biometría y se hace una pequeña exposición de diversos sistemas biométricos hasta llegar a nuestro objeto de estudio, la firma manuscrita.

De la firma manuscrita se explica cómo se captura on-line y off-line, su marco legal y sus características. Debido a que la firma se captura por medio de una tableta gráfica, la información de la que se dispone y que por tanto es capaz de recoger dicha tableta, se puede resumir en los siguientes puntos:

- ▶ Coordenada x.
- ▶ Coordenada y.
- ▶ Presión.
- ▶ Azimut.
- ▶ Elevación.

► Nº de muestras.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de una firma con sus características, la cual se ha extraído de la base de datos MCyT mencionada anteriormente:

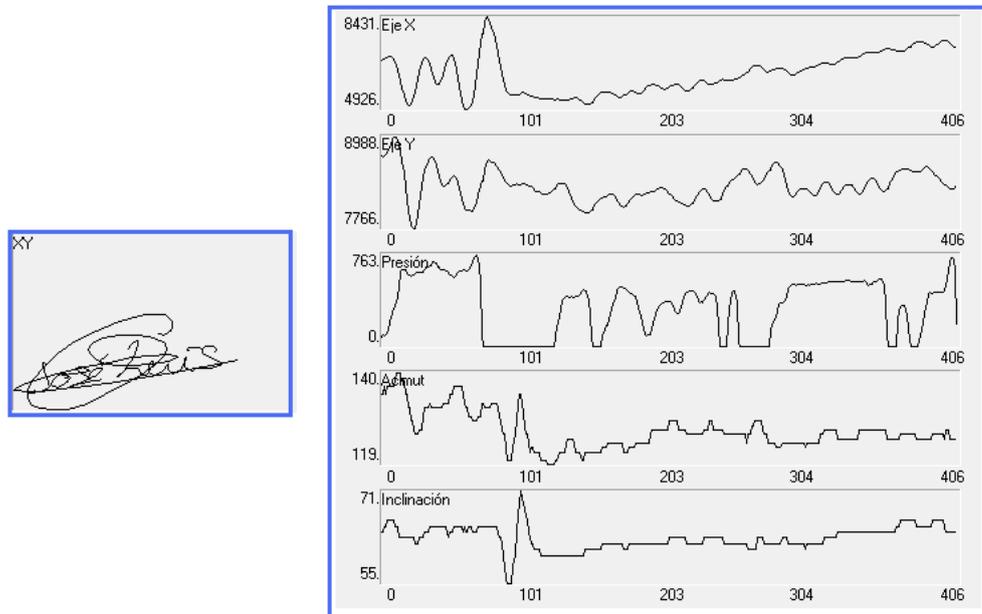


Figura 1: Ejemplo firma manuscrita y sus características.

Es importante resaltar que en este proyecto se ha elegido un subconjunto de las características, basado en estudios anteriores que demuestran que hay 4 características más significativas y discriminantes que el resto. Dichas características son las siguientes:

- Coordenada y.
- Presión.
- Velocidad de x.
- Velocidad de y.

Una vez conocidas las características de estudio de una firma, se puede centrar la atención en el algoritmo DTW. Dicho algoritmo tiene su origen en el reconocimiento de voz, pero posteriormente se descubrieron sus buenas cualidades en reconocimiento de firma manuscrita.

El algoritmo DTW permite realizar un alineamiento óptimo entre dos secuencias de vectores de distinta longitud mediante programación dinámica. De dicho alineamiento se obtiene una medida de distancia entre los dos patrones temporales. Es decir, el

DTW permite calcular la distancia o diferencia que hay entre una firma y otra con la que se compara y dependiendo de esa distancia se decide si ambas firmas pertenecen a la misma persona o no.

Esa distancia se calcula de forma iterativa usando unas restricciones que pueden ser locales y/o globales. Las restricciones locales indican sobre qué puntos vecinos al actual puede conectarse para formar así el camino de alineamiento. Por otro lado, las restricciones globales permiten reducir el número de cálculos limitando el espacio (la ventana).

En la Figura 2 se presenta un ejemplo del algoritmo DTW, donde se pueden observar las restricciones locales (la pendiente que se va tomando en cada punto del camino C_1 , C_2 , etc.) y las globales (el tamaño de la ventana que delimita por donde se pueden realizar los cálculos).

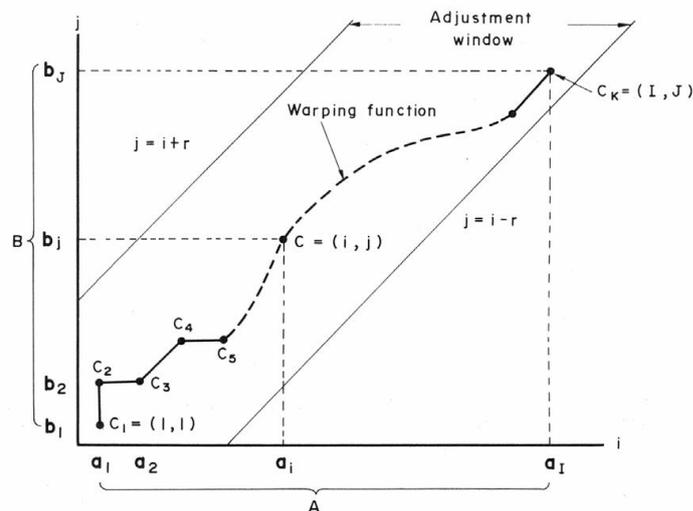


Figura 2: Algoritmo DTW.

En primer lugar se desarrolló una aproximación del algoritmo para entender su funcionamiento en profundidad y posteriormente se realizaron una serie de modificaciones sobre el algoritmo básico. Como se ha mencionado anteriormente el objetivo principal es variar una serie de parámetros y ver cómo afecta esto a su funcionamiento.

Por lo tanto, a partir del algoritmo DTW básico (restricción local $P(0)$ Simétrica, función de distancia L_2 , normalización usando la media y la desviación típica) se han realizado una serie de experimentos analizando 3 vías de investigación, es decir, se consideraron 3 tipos modificaciones:

- ◆ **1^{er} Conjunto de experimentos:** Esta modificación se centra en variar los tipos de restricciones locales. Se han analizado 8 restricciones locales posibles, en la Figura 3 se muestra un ejemplo, la restricción local P(0) Simétrica:



$$\min \begin{bmatrix} g(i, j-1) + d(i, j) \\ g(i-1, j-1) + 2d(i, j) \\ g(i-1, j) + d(i, j) \end{bmatrix}$$

Figura 3: Restricción local P(0) Simétrica.

- ◆ **2^o Conjunto de experimentos:** Como segunda modificación se ha elegido variar el tipo de distancia empleada en el cálculo de la matriz de distancias para el DTW. Se ha optado por analizar 3 distancias:

- ▶ Norma L_2 o distancia euclídea.
- ▶ Norma L_1 o distancia Manhattan.
- ▶ Norma $L_{1/2}$.

- ◆ **3^{er} Conjunto de experimentos:** Como última modificación se ha decidido variar el tipo de normalización. Para las dos anteriores modificaciones se ha utilizado una normalización basada en la media y la desviación típica, en este conjunto se prueba qué ocurre al normalizar usando el máximo y el mínimo de los datos a procesar.

Tras la realización de todos los experimentos se han obtenido una serie de conclusiones. Dichas conclusiones se han obtenido analizando la tasa de equierror, el coste computacional y una serie de gráficas que interpretan los resultados. Las gráficas que se han empleado para ello han sido la gráfica FAR (False Acceptance Rate) vs FRR (False Reject Rate), la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y la curva DET (Detection Error Tradeoff).

- ▶ **FAR (False Acceptance Rate) vs FRR (False Reject Rate):** Consiste en una representación gráfica de la tasa de falsos aceptados frente a los falsos rechazados, el punto de intersección entre ambas se conoce como tasa de equierror (Equal Error Rate-EER). Cuanto menor sea el EER mejor será el sistema. En la Figura 4 se muestra un ejemplo:

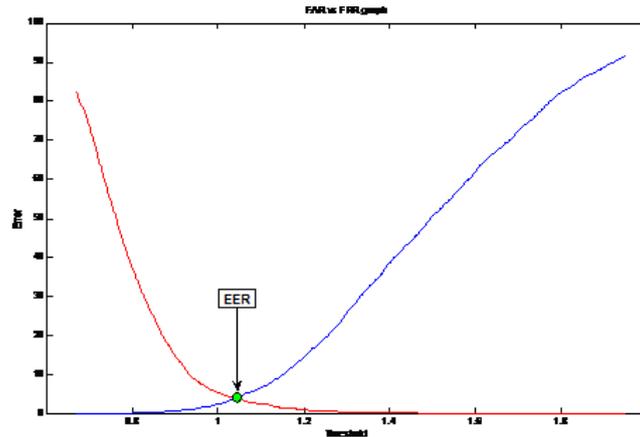


Figura 4: FAR vs FRR.

- **ROC** (Receiver Operating Characteristic): Esta curva representa los verdaderos positivos frente al ratio de falsos positivos. El sistema será mejor cuanto mayor sea la tasa de verdaderos positivos y menor la FAR. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de esta curva:

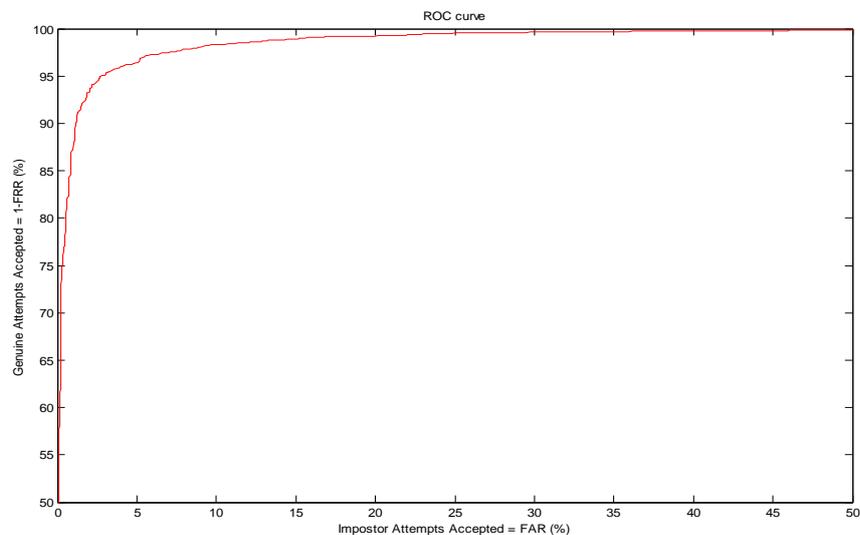


Figura 5: Curva ROC.

- **DET** (Detection Error Tradeoff): es una variación de la curva ROC pero los ejes son en escala logarítmica. Cuanto más cerca de cero se encuentre la curva mejor será el sistema. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de esta curva:

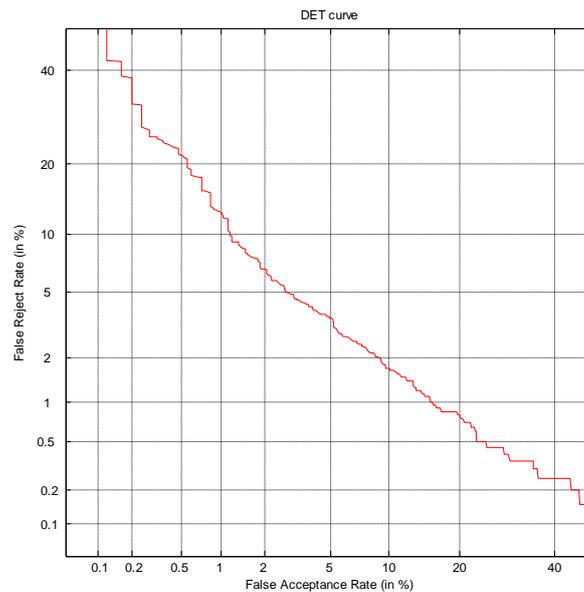


Figura 6: Curva DET.

Por lo tanto, se ha podido concluir que en rasgos generales las modificaciones que se han efectuado nos han aportado una información interesante acerca de cómo puede influir la variación de los parámetros del algoritmo. Del primer conjunto de experimentos, se concluye que la restricción local que conlleva menor tasa de equierror y a su vez no supone un coste computacional elevado frente al resto de restricciones, es la restricción $P(0)$ Simétrica para las firmas falsas entrenadas y el $P(1/2)$ Asimétrica para las falsas aleatorias. Tras el segundo conjunto de experimentos, se concluye que en base a los resultados del primer conjunto, para las falsas entrenadas utilizando la restricción local $P(0)$ Simétrica, los mejores resultados se obtienen con la norma L_1 . Mientras, para las falsas aleatorias se obtienen mejor resultados con la restricción $P(1/2)$ Asimétrica y la norma $L_{1/2}$. Con el tercer y último conjunto de experimentos, la variación de la normalización, se ha probado a aplicar por un lado la media y la desviación típica, y por otro el máximo y el mínimo de los datos procesados. Los mejores resultados se han obtenido al usar la media y la desviación típica.

Finalmente se puede concluir que, en general, la mejor opción del algoritmo es la siguiente:

- **1^{er} Conjunto de experimentos:** Restricción local $P(0)$ Simétrica.
- **2^o Conjunto de experimentos:** Norma L_1 .
- **3^{er} Conjunto de experimentos:** Normalización usando la media y la desviación típica.

Con esta configuración se ha obtenido una tasa de equierror para firmas falsas entrenadas de 3,71%, para las falsas aleatorias 0,3% y un tiempo de procesamiento medio de 0,73 segundos por firma.

Se ha elegido esta configuración del algoritmo debido a que, en general, presenta los resultados más beneficiosos frente al resto de configuraciones. Sin embargo, si el objetivo es un escenario muy seguro, se debe elegir la configuración que presenta la menor tasa de equierror para las firmas falsas entrenadas, en este caso se tendría que utilizar la restricción local $P(0)$ Simétrica y la norma L_2 , sin embargo, analizando el resto de resultados, es decir, la tasa de equierror de las falsas aleatorias y el coste computacional, podría ser una buena alternativa el uso de la restricción local $P(0)$ Simétrica y la norma L_1 , puesto que solo supone un aumento del 2% de la tasa de equierror de las falsas entrenadas y presenta una reducción significativa del coste computacional. Por el contrario, si el objetivo es un escenario casual, lo prioritario es el coste computacional, por lo que la mejor opción sería la restricción local $P(0)$ Simétrica y la norma L_1 , puesto que con ésta se obtiene el menor tiempo de procesamiento.

Al final del proyecto hay un apartado en el que se explican posibles mejoras que podrían aplicarse y futuras líneas de investigación.

Algunas de las mejoras o trabajos futuros que podrían aplicarse a este proyecto podría ser el uso de otras bases de datos, para obtener resultados más genéricos, como la base de datos SVG2004 o MyIdea, que tienen características distintas y podría extenderse a otras nacionalidades y alfabetos.

Por otro lado, se podrían realizar más conjuntos de experimentos del algoritmo DTW, variar otros parámetros como el tipo de ventana, reduciendo así el área de cálculo y se analizarían las posibles mejoras en lo referente al coste computacional.

Otra alternativa futura sería implementar todo el código en un lenguaje más genérico, robusto y eficiente computacionalmente, como podría ser en el lenguaje de programación C. Como añadido a esto podría crearse una interfaz que permitiese elegir los parámetros de forma sencilla y directa.

Por último, se ha pensado en extender este estudio a otras modalidades biométricas, para analizar si se pueden obtener buenos resultados.