



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Trabajo Fin de Grado:

**ANÁLISIS DE USABILIDAD Y
UNIVERSALIDAD DE SISTEMAS
BIOMÉTRICOS DE FIRMA EN
ENTORNOS MÓVILES**

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

AUTOR: Alfredo González
Ramírez

TUTOR: Raúl Sánchez Reíllo

DIRECTOR: Ramón Blanco Gonzalo

Leganés, Marzo de 2013

AGRADECIMIENTOS

Para empezar, quisiera agradecer a mi tutor del Trabajo de Fin de Grado Raúl Sánchez Reillo por darme la oportunidad de ser parte de este proyecto. También quisiera agradecer al director Ramón Blanco-Gonzalo por toda su ayuda y dedicación durante el proyecto.

No me olvido, por supuesto, de las 20 personas que me han ayudado enormemente participando como usuarios y por su paciencia para que esto fuera posible.

RESUMEN

Esta evaluación de usabilidad de reconocimiento de firma manuscrita se ha llevado a cabo por la necesidad de resolver los problemas debidos al uso erróneo de sistemas biométricos junto con el incremento en las tasas de error en los productos finales. Además, de acuerdo con la popularidad de los dispositivos móviles y la tendencia del mercado, la evaluación se ha realizado firmando en escenarios móviles con smart phones, tablets y algunos otros dispositivos móviles comunes. Este estudio revela interesantes resultados relacionando preferencias del usuario con los resultados objetivos y muestra la necesidad de involucrar más al usuario en el desarrollo de soluciones biométricas, no sólo por la comodidad, sino también por un mejor rendimiento en los sistemas.

ABSTRACT

Along with the necessity to solve the problems due to the misuse of biometric systems and the consistent increase in the final products error rates, a usability evaluation on handwritten signature recognition was carried out. Furthermore, according to the popularity of mobile devices and the market trends, the evaluation was performed signing in mobile scenarios with smart phones, tablets and some other common mobile devices. This study reveals interesting results correlating habituation and preferences with better or worst results and it shows the need of involve the user more incisively in the development of biometric solutions, not only for comfort issues but for better systems throughput.

Índice de contenido

| | |
|---|---------|
| Resumen | pág. 3 |
| Abstract | pág. 3 |
| 1. Introducción | pág. 8 |
| 1.1 Motivación..... | pág. 11 |
| 1.2 Objetivos..... | pág. 12 |
| 1.3 Estructura del documento..... | pág. 12 |
| 2. Estado del arte | pág. 13 |
| 2.1 Biometría y reconocimiento de firma manuscrita..... | pág. 13 |
| 2.2 Dispositivos móviles..... | pág. 16 |
| 2.3 Usabilidad..... | pág. 16 |
| 3. Plataforma de desarrollo | pág. 18 |
| 4. Diseño de la solución | pág. 19 |
| 5. Desarrollo | pág. 22 |
| 5.1 Usuarios, dispositivos electrónicos y escenarios..... | pág. 22 |
| 5.2 Guía en la evaluación..... | pág. 30 |
| 5.3 Fallos en el proceso y algoritmo utilizado..... | pág. 37 |
| 5.4 Problemas..... | pág. 41 |
| 6. Pruebas | pág. 43 |
| 6.1 Experimentos..... | pág. 43 |
| 6.2 Resultados..... | pág. 49 |

| | |
|---|----------------|
| 7. Conclusiones y líneas futuras..... | pág. 53 |
| 7.1 Conclusiones en el rendimiento..... | pág. 53 |
| 7.2 Conclusiones en la ergonomía..... | pág. 54 |
| 7.3 Rendimiento, efectividad, adaptabilidad y satisfacción..... | pág. 55 |
| 7.4 Trabajo Futuro..... | pág. 55 |
| Bibliografía..... | pág. 57 |
| Anexo 1. Presupuesto y planificación del trabajo..... | pág. 60 |

Índice de figuras

- Figura 1 El modelo conceptual del HBSI
- Figura 2 Modelo biométrico general
- Figura 3 Diagrama de proceso de firmas
- Figura 4 Dispositivo Asus
- Figura 5 Dispositivo STU
- Figura 6 Dispositivo iPad
- Figura 7 Dispositivo HTC
- Figura 8 Interfaz programa
- Figura 9 Escenarios
- Figura 10 Ejemplo de un escenario modelado
- Figura 11 Escenario con el usuario firmando
- Figura 12 Documento de consentimiento (1)
- Figura 13 Documento de consentimiento (2)
- Figura 14 Notas sobre los usuarios
- Figura 15 Notas de errores de una de las visitas
- Figura 16 Cámara Axis
- Figura 17 Captura de la pantalla del dispositivo Asus
- Figura 18 Estructura HBSI de las interacciones biométricas
- Figura 19 Grafico FRR FAR ERR
- Figura 20 Formulario satisfacción (1)
- Figura 21 Formulario satisfacción (2)
- Figura 22 Formulario satisfacción (3)
- Figura 23 Efectividad
- Figura 24 Eficiencia
- Figura 25 Tiempo medio
- Figura 26 Datos de satisfacción

Índice de tablas

Tabla 1 Relación escenarios–dispositivos–visitas

Tabla 2 Resultados del rendimiento

Tabla 3 EER divididos por sesiones

Tabla 4 Coste materiales

Tabla 5 Coste de personal

Tabla 6 Coste total

Índice de acrónimos

CI Concealed Interactions

DI Defective Interactions

DTW Dynamic Time Warping

EER Equal Error Rate

FAR False Accept Rate

FI False Interactions

FRR False Reject Rate

FTA Failure To Acquire

FTD Failure to Detect

FTP Failure to Process

HBSI Human–Biometric Sensor Interaction

HCI Human Computer interaction

IDE Integrated Development Environment

PDA Personal Digital Assistant

NIST National Institute of Standards and Technology

1 Introducción

Los dispositivos móviles tienen cada vez más importancia, tanto para las comunicaciones como para el entretenimiento, trabajo o relaciones sociales. Junto con el alto incremento del uso de smart phones y dispositivos móviles en general, la cantidad de datos confidenciales que estos almacenan también aumenta, y con ello la necesidad de protegerlos. La biometría está empezando a trabajar en ello [1]. Según el libro Handbook of biometrics [2] “*La biometría es la ciencia del reconocimiento de la identidad de una persona basándose en las características físicas y atributos de la conducta del individuo como la cara, las huellas dactilares, la voz o el iris*”. Por lo tanto, con las características de los smart phones, la variedad de posibilidades biométricas integradas son muy prometedoras: firma de documentos unívocamente, acceso seguro a páginas web, procesos administrativos, etc. Sin embargo, la migración de la biometría a escenarios móviles supone un gran reto debido a las nuevas limitaciones, como disponer de menos espacio y de menos potencia de procesamiento. La bibliografía relacionada con el tema es muy extensa [3] pero crecerá con la “revolución” móvil. Las investigaciones realizadas hasta la fecha de éste contexto están más centradas en conseguir buenas tasas de error que en desarrollar sistemas que puedan ser realmente útiles y fáciles de usar para el usuario. Esto tiene también sus inconvenientes como peores tasas de error o el mal uso de los sistemas y puede terminar con los usuarios rechazando la tecnología y prefiriendo otras opciones.

Hay varios trabajos cuyo objetivo es mejorar la experiencia del usuario al interactuar con sistemas biométricos. Por ejemplo, investigadores de HCI [4] y el NIST han trabajado activamente en ello [5]. Uno de los trabajos más extensos en éste campo es el HBSI [6] que está enfocado en las tasas de error producidas por la incorrecta interacción usuario-sistema.

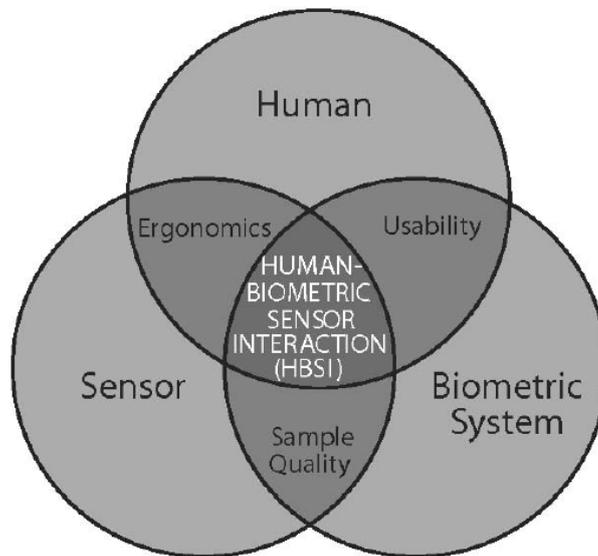


Figura 1 EL modelo conceptual del HBSI [7]

La modalidad usada en esta evaluación es el reconocimiento de firma manuscrita. Esta se utiliza en muchos procesos como procedimientos civiles ordinarios. Además la acción de firmar en sí misma es considerada por los usuarios como algo normal y cotidiano. Hay múltiples investigaciones relacionadas con el reconocimiento de firma manuscrita y estas están divididas en dos principales direcciones [8]: una es la firma online que usa atributos dinámicos como lo son el tiempo y la presión y la otra es la firma offline que solamente utiliza la imagen de la firma. Estos métodos capturan la firma desde un papel o una tablet especializada, pero en esta investigación, la información de las firmas se obtiene de dispositivos de uso común que no han sido especialmente diseñados para ese fin, sino para las típicas funciones de un smart phone. Además, hay muy pocos trabajos que relacionan smart phones y reconocimiento de firma manuscrita [9].

Ya que la firma manuscrita es una modalidad biométrica muy aceptada entre los usuarios, y los entornos móviles cada vez más populares, se ha propuesto una línea de investigación basada en mejorar la experiencia del usuario y las tasas de error usando un algoritmo de reconocimiento de firma manuscrita basado en DTW (Dynamic Time Warping) en escenarios móviles [10]. El experimento que se ha llevado a cabo es una

evaluación de escenario donde los usuarios firmaron en 4 dispositivos distintos en 5 escenarios diferentes y en 3 visitas separadas al menos una semana. Los parámetros de usabilidad fueron medidos con cuestionarios de satisfacción, notas tomadas por el guía responsable de la evaluación y además toda la evaluación fue grabada en vídeo. Durante la evaluación todo resultado fue verificado y todas las firmas fueron capturadas y almacenadas en una base de datos. El proceso de verificación comenzó después de recoger todas las firmas. Una vez obtenidos los resultados del proceso de verificación y los parámetros de usabilidad, es factible llegar a conclusiones que relacionen ambos factores.

1.1 Motivación

Como se ha mencionado antes, los dispositivos móviles están cobrando gran importancia en la actualidad, utilizándose en multitud de escenarios con diferentes propósitos. Del mismo modo, la firma manuscrita se utiliza cada vez más frecuentemente para hacer compras, firmar contratos, etc. La intención de esta investigación es simular entornos semejantes a los que el usuario se puede encontrar habitualmente, con el objetivo de testar la usabilidad de los dispositivos móviles a la hora de recoger dichas firmas manuscritas. La firma manuscrita es una modalidad de reconocimiento biométrico por la cual es posible reconocer a las personas de forma unívoca. Con este trabajo, aparte de evaluar la usabilidad, se contribuye a mejorar los sistemas de reconocimiento biométrico por firma manuscrita aportando una completa base de datos.

Los sistemas de firma sobre dispositivos móviles son cada día más comunes, sin embargo son muchas las ocasiones en las que su facilidad de uso se ve comprometida por factores como:

- La postura que tiene que adoptar el usuario al firmar es incómoda.
- El espacio para firmar es demasiado pequeño

El estudio que se ha llevado a cabo trata sobre cómo los usuarios interactúan con el sistema, qué tipo de dificultades se encuentran y cómo evitarlas.

1.2 Objetivos

Los objetivos planteados son los siguientes:

-Estudiar la interacción de los usuarios con los dispositivos al realizar su firma manuscrita sobre diferentes dispositivos móviles y sobre diferentes escenarios.

-Recopilar una base de datos de firmas con muestras válidas con el fin de mejorar el estado de la técnica en el reconocimiento biométrico de personas por firma manuscrita.

Este análisis de usabilidad tiene como objetivo encontrar los posibles inconvenientes que se le pueden presentar al usuario en el proceso con el fin de estudiarlos y poder evitarlos en futuros diseños y desarrollos tanto en firma manuscrita como en otras modalidades biométricas. A la vez, los errores de adquisición de firmas, en el caso de que los hubiese, se catalogan dentro del registro de errores formulado por el HBSI para reconocimiento biométrico en firma manuscrita.

1.3 Estructura del documento

El documento se divide en 3 partes principales constando cada una de ellas de varios puntos. Se comienza introduciendo la temática con los puntos de Introducción, Estado del arte y Plataforma de desarrollo del proyecto. La segunda parte es el cuerpo, que consta del Diseño de la Solución y Desarrollo. Finalmente, en la tercera parte se habla de las Pruebas y Conclusiones del trabajo.

2. Estado del arte

En esta parte de la memoria nos centramos en hablar de la evolución y situación actual de la biometría, reconocimiento por firma manuscrita, dispositivos móviles y usabilidad.

2.1 Biometría y reconocimiento de firma manuscrita

La biometría se dedica a la identificación y autenticación de individuos a partir de ciertas características anatómicas o rasgos de su comportamiento [11]. Una característica anatómica tiene la cualidad de ser relativamente estable en el tiempo, tal como una huella dactilar, la silueta de la mano, patrones de la retina o el iris. Un rasgo del comportamiento es menos estable, pues depende de la disposición psicológica de la persona, por ejemplo la firma.

Los primeros indicios del uso de la biometría son de la Antigua Babilonia en el siglo XVIII a.C. Los reyes grababan las yemas de sus dedos antes de cocer tabletas de arcilla para firmarlas. Posteriormente, en el año 650 D.C en China se estableció que para que un hombre se pudiera divorciar de su mujer debía exponer 7 motivos y poner sus huellas dactilares en el documento para firmarlo. También los comerciantes chinos estampaban la palma de la mano de los niños en papel con tinta. Esto se hacía para distinguir a los niños jóvenes [12].

Antiguamente, en occidente, la identificación de personas se basaba en la memoria fotográfica. Alphonse Bertillon, jefe del departamento fotográfico de la Policía de París, desarrolló un sistema científico en 1883 para poder identificar a los criminales. Este sistema consistía en medir de manera precisa ciertas partes de la cabeza y cuerpo y registrando marcas características tales como tatuajes y cicatrices. Se extendió por todo occidente y convirtió a la biometría en un campo de estudio.

Por la misma época, el médico británico Henry Faulds publicó un artículo en la revista "Nature" sobre la identificación biométrica de individuos por medio de las

huellas dactilares. El doctor Faulds ya se había percatado de la peculiaridad de las marcas en las yemas de los dedos y creía que éstas eran únicas para cada individuo cuando un amigo suyo fue acusado por un crimen y fue gracias a las huellas dactilares que se pudo demostrar su inocencia. También se percató de que estas huellas permanecían inalterables toda la vida. Este método dejó en desuso el método que había desarrollado Bertillon [12]

Ya en el siglo XX, surgieron otros medios de identificación como el uso del iris o el habla, y a finales de siglo se empezó a generalizar su uso. Hoy en día, la biometría ha ampliado sus áreas y métodos de aplicación. Entre los principales ámbitos de aplicación están la salud, seguridad y sector bancario.

Dentro de los sistemas de seguridad hay 3 niveles de clasificación: En el primero se encuentra lo que un usuario puede saber, como una contraseña o un PIN, en el segundo lo que un usuario puede tener como una tarjeta personal de identificación y en el tercero lo que un usuario puede ser (características física) o hacer (comportamiento). Este último nivel de clasificación se corresponde con la biometría [13].

Pueden distinguirse dos tipos de biometría. La primera está basada en ciertos rasgos físicos del individuo (lo que el usuario es) y la otra es la basada en rasgos del comportamiento (lo que el usuario hace).

Dentro del primer grupo están el reconocimiento por huella dactilar, iris, geometría de la mano, retina, cara o líneas de la mano entre otros. Dentro del segundo grupo, encontramos por ejemplo, la escritura manuscrita, la voz, el tecleo, gesto, caminar o el movimiento corporal. El reconocimiento por huella dactilar es el método más extendido actualmente.

Para todo análisis biométrico primero hay que darse de alta (reclutamiento) en el sistema. Después ya se puede proceder al proceso de autenticación y/o verificación. A continuación, en la figura 2 se puede ver el diagrama del modelo biométrico general

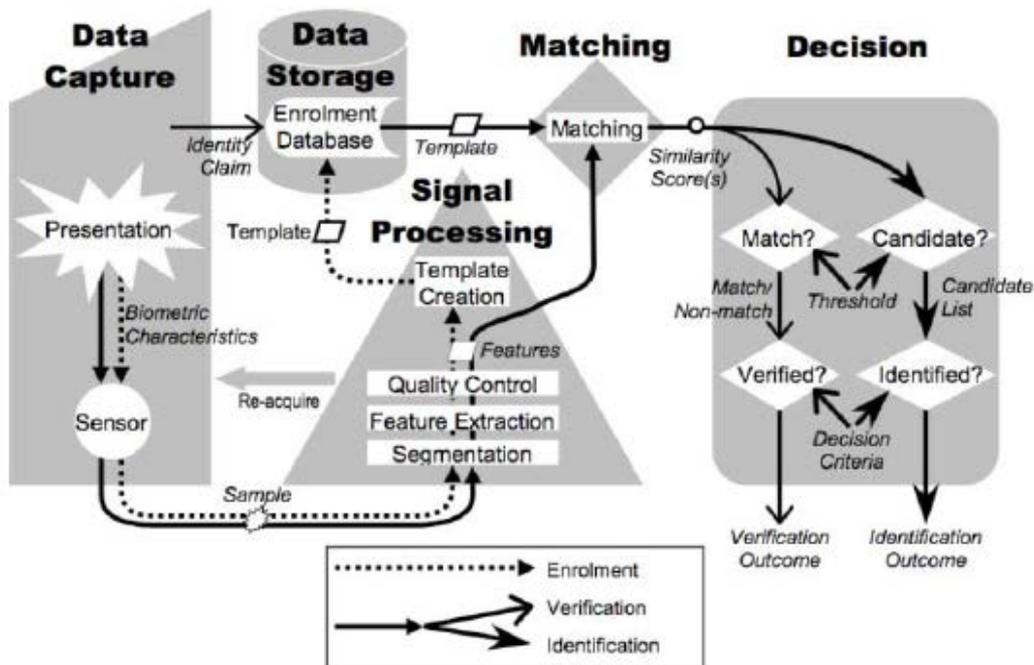


Figura 2 Modelo biométrico general [14]

En este proyecto, la modalidad biométrica utilizada es el reconocimiento de firma manuscrita.

Dentro del reconocimiento biométrico por firma manuscrita existen dos subcategorías: firma off-line y firma on-line. En la firma offline, se utiliza la imagen estática de la firma. En cambio, en la firma on-line se firma directamente sobre tabletas digitales u otros dispositivos que capturan datos dinámicos de la firma (presión y tiempo entre otros) [13].

Esta es una evaluación on-line, en la que utilizaremos como datos dinámicos las coordenadas X e Y de los puntos que conforman la firma y una marca temporal para cada uno de ellos.

2.2 Dispositivos móviles

En 1973 Martin Cooper de Motorola hizo la primera llamada desde el primer teléfono portátil [15]. A partir de entonces, la evolución de estos dispositivos fue muy rápida. Su tamaño y peso disminuyeron considerablemente y las antenas pasaron de ser casi tan grandes como el teléfono a ser internas. En el año 2000, Ericsson lanzó el primer "smart phone" con una pantalla táctil y que combinaba las funciones de un teléfono móvil con las de una PDA (Personal Digital Assistant). Más tarde, las pantallas cambiaron de blanco y negro a monocromáticas y después a color. También se integro cámaras en los teléfonos y posibilidad de reproducir música [16].

En 2007, Apple sacó el iPhone con la pantalla táctil más avanzada del mundo. Fue el primer teléfono con un sistema operativo, el iOS, pero la competencia no tardó mucho en reaccionar y en 2008 HTC sacó un dispositivo con el sistema operativo Android. A partir de entonces las pantallas de los móviles se hicieron más grandes ya que la mayoría tenían una tecnología táctil.

Actualmente, los sistemas operativos más importantes son: iOS (Apple), Android (Google), Windows Phone (Windows) y Symbian (Nokia). Los móviles cuentan ya con un hardware muy avanzado y los smart phones son dispositivos de uso común.

2.3 Usabilidad

La usabilidad es la facilidad con la que un usuario puede utilizar una herramienta en particular. Según la ISO 9211-11 "*Usabilidad es la eficacia, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico*" [17] El objetivo de esta es crear sistemas cuyo uso sea útil y fácil de aprender y recordar. No basta con crear una herramienta que cumpla sus funciones, sino que hay que tener en cuenta cómo el usuario se desenvuelve con esta herramienta.

Dentro de los objetivos de esta evaluación está el análisis de la usabilidad del reconocimiento de la firma manuscrita en dispositivos móviles, una línea de investigación novedosa en el campo de la biometría. Tiene una gran importancia este análisis en el proyecto, dado que la idea a largo plazo es poder utilizar éste sistema para la identificación de personas, las cuales no tienen porqué tener conocimientos previos sobre la biometría ni su aplicación en dispositivos móviles.

3. Plataforma de desarrollo

Para este proyecto, como dispositivos móviles se han usado una tablet PC Asus [18], un dispositivo específico para firmar STU [19], un iPad [20] y un smart phone HTC [21]. Los 3 sistemas operativos utilizados para los dispositivos (el STU hace falta que esté conectado a la tablet PC para que funcione) son Windows 7, iOS 5.1 y Android 2.2 respectivamente.

La aplicación que controla el dispositivo STU fue desarrollada con Visual Studio 2008 en C# [22], utilizando las librerías de Wacom para manejar el dispositivo.

Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para sistemas operativos Windows. Permite crear aplicaciones, aplicaciones web y servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET.

Para el iPad, el entorno de desarrollo integrado es el Xcode. Con este IDE se pueden desarrollar aplicaciones tanto para MacOS como para iOS. Como lenguaje de programación se usa Objective-C, que es open-source [23].

Para el HTC se utiliza Android SDK, el cual proporciona librerías API y las herramientas necesarias para que los desarrolladores puedan crear y gestionar aplicaciones para Android [24].

4. Diseño de la solución

Se plantean las siguientes bases para el diseño de la evaluación:

Se pretende crear un escenario de referencia con el cuál comparar los resultados del resto de escenarios, modificando los parámetros de tal forma que se puedan aislar los que se quieran estudiar y poder así valorar los resultados. Para ello se siguen las siguientes premisas:

- No se aplica ningún algoritmo durante la obtención de las firmas de los usuarios, ni de procesamiento de imagen, ni de creación de patrón, ni de verificación.
- Sólo se toman muestras de usuarios genuinos.
- Se definen varios escenarios tipo además del escenario de referencia.

El entorno se define por cómo se colocan los dispositivos, los usuarios, los instrumentos de captura de vídeo e imagen y el guía en los diferentes escenarios, aparte de las condiciones ambientales. No se establece un lugar físico fijo para realizar la evaluación, por lo que el proceso puede ser llevado a cabo en diferentes lugares. Lo que si se establece es un rango de medidas para los diferentes elementos donde se sitúa el usuario de forma que las condiciones en las que se realiza la evaluación son idénticas para todos los usuarios.

Las condiciones ambientales no son objeto de estudio en esta evaluación, por lo que no se miden. Sin embargo, debido a que pueden llegar a influenciar al usuario si son extremas (por ejemplo, demasiado frío o demasiada humedad), se controlan de forma que no son agresivas para el usuario y que éste se encuentre cómodo en todo momento.

La situación de los dispositivos cambia conforme se modifica el escenario (hay 5 escenarios). En el escenario 01 y en el escenario 04 se colocan encima de una mesa, en el Escenario 02 y en el Escenario 05 el usuario los sujeta en sus manos y en el escenario 03 se colocan encima de un atril. La situación final no es totalmente fija, de forma que los usuarios los pueden mover dentro de un rango determinado acorde a sus preferencias:

En cuanto a la situación de los elementos de captura de video, estos se utilizan para grabar toda la evaluación de forma que se puede realizar un estudio de usabilidad a posteriori atendiendo a las imágenes tomadas. La captura de imágenes se realiza antes de comenzar la evaluación, por lo que no interviene ningún dispositivo en el proceso. Sin embargo, la grabación de video debe ser continua durante la evaluación, por lo que se debe situar una cámara de video en cada escenario. Con objeto de obtener toda la información posible y por lo tanto el mejor ángulo de visión, la cámara se sitúa en frente del usuario en el lado opuesto a su lateralidad, por lo tanto, para los usuarios diestros la cámara se sitúa a la izquierda de ellos, en concreto a unos 45° tanto en su eje horizontal, como en su eje vertical, manteniendo una distancia que no perturbe al usuario. Para los usuarios zurdos, la cámara se coloca en su lado derecho con las mismas condiciones de inclinación.

El guía de la evaluación explica el proceso al usuario y lo ayuda durante la evaluación únicamente cuando éste lo requiere o cuando se produce un error sistemático (dejar firmas en blanco, no borrar la firma si ha habido un error, etc.). Por lo tanto, si el usuario ha comprendido perfectamente su función y no está incurriendo en ningún error, el guía no debe participar en ningún momento en la evaluación a parte de para entregar los dispositivos donde el usuario debe firmar. No se realiza ninguna fase de entrenamiento. Cuando el usuario tiene claro lo que tiene que hacer, se le proporciona el material y comienza a firmar.

En la siguiente página se puede ver un diagrama de flujo del proceso de firmas:

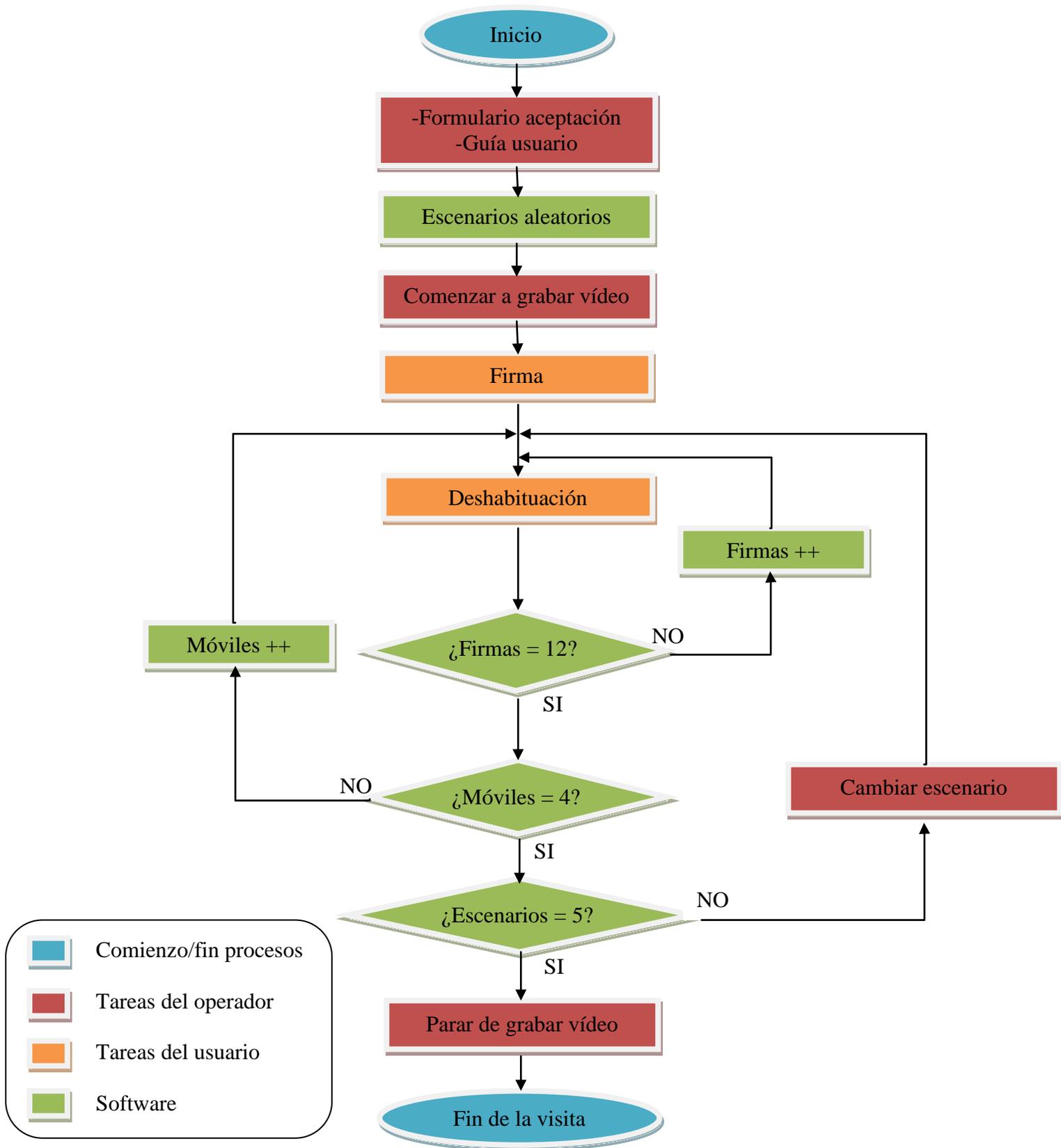


Figura 3 Diagrama de proceso de firmas

5. Desarrollo

5.1 Usuarios, dispositivos móviles y escenarios

Los usuarios deben de ser representativos de la población con edades comprendidas entre 18 y 65 años, de ambos sexos y distinta lateralidad. Por este motivo se requiere que al menos 7 usuarios sean mayores de 50 años. Se escogieron 13 hombres y 7 mujeres. El 70% de ellos tenían entre 18 y 30 años. Todos tenían al menos estudios mínimos y un 35% de ellos tenían un título universitario.

A ser posible, estas personas no deben estar relacionadas directamente con dispositivos biométricos (es decir, que simplemente sean usuarios de dispositivos móviles), ya que la idea del análisis de usabilidad es incluir usuarios sin formación previa en este campo. La mayoría de los usuarios escogidos estaban familiarizados con smart phones. Solamente uno de ellos estaba acostumbrado a usar dispositivos biométricos (scanner de huellas digitales). Los demás habían usado dispositivos específicos para firmas manuscritas con un stylus (correos, supermercados, etc.).

Para realizar el estudio son necesarios 4 dispositivos móviles con los que se pueda capturar la firma manuscrita personal de los usuarios. Como el experimento emula casos reales, estos dispositivos tienen que ser muy comunes. De esta manera se eligieron un smart phone, una tablet y un tablet PC. Además se escogió un dispositivo específico para firmas manuscritas como dispositivo de referencia.

Las características de los dispositivos son las siguientes:

-Asus EeePC MT101 (tablet-PC)



Figura 4 Dispositivo Asus

Este dispositivo tiene una pantalla resistiva. Su pantalla tiene 10,1 pulgadas de tipo LED retroiluminada WSVGA (1024x600px). Su procesador es un Intel Atom N450 y tienen 1GB DDR2 de memoria RAM. El Sistema Operativo es Windows 7 de 64 bits. Tiene un stylus propio que se utilizará para firmar. Por su peso, no está pensado para ser manejado sin apoyos. Es utilizado en los escenarios 01 y 03.

-Wacom STU-500 (dispositivo específico para firma manuscrita)



Figura 5 Dispositivo STU

Este dispositivo no se puede considerar como un dispositivo móvil ya que tiene que estar conectado a un PC que lo controle. En esta evaluación funciona como dispositivo de referencia. Los dispositivos de la familia Wacom son utilizados para el desarrollo de algoritmos debido a su precisión. Tiene una pantalla de 5 pulgadas de tipo TFT-LCD con una resolución VGA de 640x480. Además, tiene 512 niveles de presión e incorpora un Stylus especial para firmar. Este dispositivo se usa en todos los escenarios en los que el dispositivo se apoya en una superficie. (Escenarios 01, 03 y 04). Aunque este dispositivo devuelve presión, este dato no se utilizará en la evaluación dado que los dispositivos capacitivos no devuelven este parámetro.

-Apple iPad (tablet).



Figura 6 Dispositivo iPad

Este dispositivo tiene una pantalla de 9.7 pulgadas con una resolución de 1024x768px y 132 ppp de tipo LED capacitiva. Tiene un procesador A4 a 1GHz y 256 MB de memoria RAM. La versión del sistema operativo para la evaluación es iOS 5.1. Los usuarios firman en él con el dedo (una novedad en reconocimiento por firma manuscrita) en los escenarios 01, 02, 04 y 05. Es el dispositivo más común en la evaluación.

-HTC Desire (smart phone)



Figura 7 Dispositivo HTC

Tiene una pantalla SLCD capacitiva de 3.7 pulgadas con una resolución de 480x800 px y 252 ppp. Su procesador es un Scorpion a 1 GHz y tiene 576 MB de memoria RAM. La versión del sistema operativo Android para la evaluación es la 2.2. Los usuarios también utilizan el dedo para firmar en este dispositivo y lo hacen en todos los escenarios menos en el 04.

Como se ha mencionado, para los dos primeros dispositivos (ASUS y STU), se utiliza un stylus Para firmar, sin embargo en los otros dos dispositivos (iPad y HTC) se firma directamente con el dedo índice. Esto resultaba extraño (sobre todo en las primeras firmas) para los usuarios, ya que aunque firmar con el stylus no era del todo natural, con el dedo era una novedad.

Los dispositivos móviles muestran en su interfaz el número de firmas que ha realizado el usuario de forma que éste sabe cuándo debe terminar de firmar.

Es importante que después de cada firma el usuario complete un proceso muy sencillo de deshabitación con el fin de no producir en cada intento una firma idéntica. Esto se realiza haciendo que el usuario pulse un botón que esta incluido en el programa que tiene cada dispositivo móvil. De esta forma, cuando el usuario termina una firma, tiene que pulsar un botón "Siguiente" para comenzar con la firma posterior como se muestra en la Figura 8

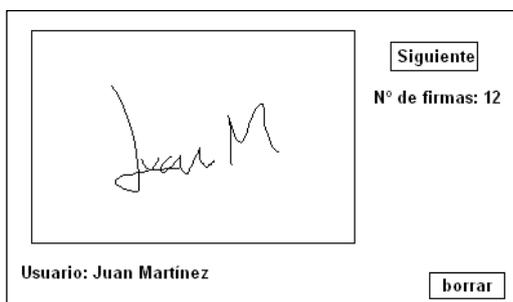


Figura 8 Interfaz programa

En estos dispositivos no solo se firma en una posición. Los usuarios tienen que completar el proceso en 5 escenarios diferentes que se pueden ver en la figura 9:

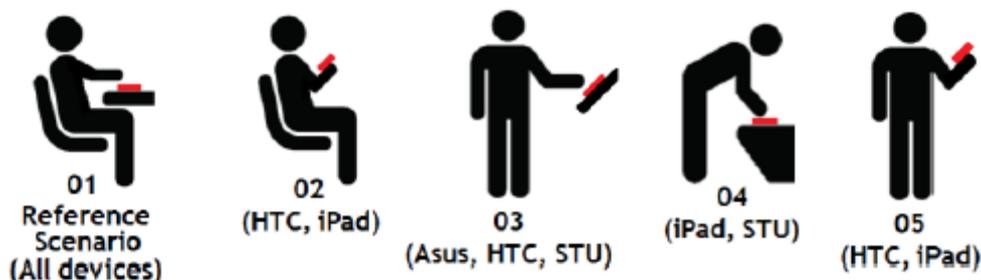


Figura 9 Escenarios

Los escenarios que considerados para la evaluación varían en la posición que deben adoptar el usuario para firmar, por lo que los elementos que se modifican son, además de los dispositivos móviles, los apoyos que tiene el usuario (mesa, silla y atril). Las condiciones de luz, temperatura y humedad, no deben influir en ésta evaluación, sin embargo los escenarios se disponen de forma que el usuario no sea ve afectado por éstos parámetros, por lo tanto no son agresivos (interiores e iluminación suficiente). A continuación se pueden ver dos imágenes de un escenario sin que el usuario esté firmando (figura 10) y otra con un usuario firmando (figura 11)



Figura 10 Ejemplo de un escenario modelado



Figura 11 Escenario con el usuario firmando

Los escenarios serán los siguientes:

-Escenario de referencia o Escenario 01

Usuario sentado en una silla, con el dispositivo apoyado en una mesa al lado de dicha silla. La altura del mobiliario debe ir en función de la comodidad del usuario dentro de un rango determinado (Los límites de la mesa, la silla y el atril). La colocación del dispositivo debe ir también en función de la comodidad del usuario, siempre y cuando esté apoyado encima de la mesa, es decir, el usuario puede girar el dispositivo según le resulte más cómodo para firmar. En éste escenario se utilizan todos los dispositivos.

En el caso del dispositivo HTC la orientación es siempre apaisada (aunque se puede girar sobre la mesa).

-Sentado o Escenario 02

Usuario sentado en una silla (la misma que la del escenario 01), dispositivo en las manos del usuario y colocado según le sea más sencillo firmar. La posición del dispositivo se deja a elección del usuario, pero han de realizarse todas las firmas en la misma posición. El guía debe indicar esto al usuario para que antes de comenzar la captura de firma elija la posición que considere más cómoda. Es importante insistir en que el usuario debe mantener una posición semejante en todas las capturas. Es decir, no debería haber cambios radicales de posición entre las muestras de captura. En este escenario se usan los dispositivos iPad y HTC.

-Atril o Escenario 03

Usuario de pie, dispositivo apoyado en un atril que debe estar colocado a una altura mayor de 100 cm en la que el usuario pueda firmar de pie sin forzar la espalda. La altura del atril deberá ser aquella que le resulte cómoda al usuario. En este caso, el usuario no podrá girar el dispositivo ni moverlo sobre el atril, es decir la posición del dispositivo esta fija. En este escenario se emplean los dispositivos Asus, STU y HTC.

-Mesa o Escenario 04

Usuario de pie, dispositivo apoyado encima de una mesa. La mesa debe estar situada a la misma altura que en el escenario 1, de forma que el usuario se tenga que inclinar para firmar. El usuario debe decidir si se apoya o no en la mesa, según se encuentre más cómodo. En este escenario, los dispositivos utilizados son el STU y el iPad.

-De pie o Escenario 05

Usuario de pie y dispositivo en las manos del usuario. En este caso el usuario no debe tener ningún tipo de apoyo, por lo que debe sostener el dispositivo en sus manos. En este escenario se usan los dispositivos iPad y HTC

Estos escenarios son los que el usuario debe completar en cada visita. Son necesarias 3 visitas con un intervalo mínimo de una semana entre cada visita. Este era el requisito que hacía más complicada la elección de los usuarios, ya que aunque muchos estaban disponibles para completar una primera visita, no todos ellos podían completar la evaluación. Por lo tanto, al elegir los usuarios, además de tener en cuenta los requisitos necesarios para tener una base de datos de firmas lo más variada posible, es muy importante la implicación que estos van a tener.

En estas 3 visitas, para que el usuario no se acostumbre a un orden específico para firmar, éste varía en cada una de ellas. En la primera visita, se sigue el orden en el que se ha expuesto y enumerado los escenarios, es decir, primero el escenario 1 seguido de los escenarios 2, 3, 4 y 5. En la segunda visita, sin embargo, el orden elegido es decreciente, es decir, primero el escenario 5 seguido de los escenarios 4, 3, 2 y 1. Finalmente, la tercera visita tiene un orden aleatorio. Primero es el escenario 3, después el 1, 5,4 y 2.

Se deben realizar 12 firmas en cada dispositivo por escenario. Teniendo en cuenta el número de escenario, visitas y dispositivos, cada usuario debe firmar en total

468 firmas. Como el número de usuarios fue 20, en total se recopilaron 9360 firmas. El software de cada dispositivo convierte estas firmas en ficheros de texto donde se recogen las coordenadas y marca temporal de los puntos de la pantalla donde el usuario firme.

| Session 1 | | Session 2 | | Session 3 | |
|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|
| E1 | ASUS, STU, IPAD, HTC | E5 | HTC, IPAD | E3 | ASUS, STU, HTC |
| E2 | IPAD, HTC | E4 | IPAD, STU | E1 | ASUS, STU, IPAD, HTC |
| E3 | ASUS, STU, HTC | E3 | HTC, STU, ASUS | E5 | IPAD, HTC |
| E4 | STU, IPAD | E2 | HTC, IPAD | E4 | IPAD, STU |
| E5 | IPAD, HTC | E1 | HTC, IPAD, STU, ASUS | E2 | HTC, IPAD |

Tabla 1 Relación escenarios–dispositivos–visitas

5.2 Guía en la evaluación

Varias son las funciones que el guía debe desempeñar durante la evaluación: acondicionamiento de los escenarios, captura de audio y vídeo, toma de notas sobre las impresiones y errores de los usuarios. A parte de esto, debe realizar funciones de guía. En la primera visita, cuando los usuarios ya están informados de todo el procedimiento que deben seguir, la idea general de la evaluación y los objetivos que se pretenden conseguir, estos reciben un documento en el que de manera legal dan el consentimiento de que sus firmas van a ser usadas como parte de la investigación. Este consentimiento, sin embargo, no es vinculante. Si los usuarios no quieren seguir siendo parte de la investigación, se retiran sus firmas y datos.

En la siguiente página se puede ver una imagen del documento de consentimiento

HOJA DE INFORMACIÓN DE USUARIOS

Usabilidad en firma manuscrita sobre dispositivos móviles

Está siendo invitado/a a tomar parte en un estudio de investigación que tiene como finalidad ayudarnos a entender mejor cómo interactúa la gente con dispositivos móviles a la hora de realizar una firma manuscrita. De esta forma, crearemos una base de datos compuesta de firmas, imágenes y vídeos, que será utilizada para llevar a cabo el estudio de usabilidad. Nos centraremos en la facilidad que tiene el usuario para firmar en diferentes escenarios y con diferentes dispositivos. El segundo objetivo de ésta evaluación es obtener una base de datos de firmas manuscritas que nos permitan mejorar el estado de la técnica de ésta modalidad biométrica, por esa razón es importante que las firmas que realice sean lo más semejantes posible a las que representaría en un papel.

Antes de decidir participar en ésta evaluación, es importante que usted comprenda por qué se está llevando a cabo esta recogida de datos y lo que ello supone. Por favor, tómese su tiempo para leer la siguiente información y coméntelo con otras personas si lo necesita. No dude en preguntar a la persona que lleva a cabo la investigación si encuentra algo que no esté lo suficientemente claro o si necesita más información.

Propósito del estudio

Los dispositivos móviles están cobrando gran importancia en la actualidad, utilizándose en multitud de escenarios con diferentes propósitos. Del mismo modo, la firma manuscrita se utiliza cada vez más frecuentemente para hacer compras, firmar contratos, etc. Nuestra intención es simular entornos semejantes a los que el usuario se puede encontrar habitualmente, con el objetivo de testar la usabilidad de los dispositivos móviles a la hora de recoger firmas manuscritas. La firma manuscrita es una modalidad de reconocimiento biométrico por la cual es posible reconocer a las personas de forma unívoca a través de su firma. Con esta base de datos, aparte de medir la usabilidad, contribuimos a mejorar los sistemas de reconocimiento biométrico por firma manuscrita.

Los sistemas de firma sobre dispositivos móviles son cada día más comunes, sin embargo son muchas las ocasiones en las que su facilidad de uso se ve comprometida por factores como:

- La postura que tiene que adoptar el usuario al firmar es incómoda.
- El espacio para firmar es demasiado pequeño

El estudio que queremos llevar a cabo trata sobre cómo los usuarios interactúan con el sistema, qué tipo de dificultades se encuentran y cómo evitarlas.

Nos gustaría que usted completase tres visitas que ocurrirían con, al menos, una semana de separación. En cada visita usted tendría que firmar en varias ocasiones en ciertos dispositivos móviles colocados en diferentes posiciones. Un operador le explicará el proceso al inicio y le atenderá durante la evaluación para responder a sus dudas. Será el mismo operador el que le indique cuando se ha terminado la evaluación.

Este estudio se compone de tres visitas en las que el usuario completará los mismos escenarios:

Figura 12 Documento de consentimiento (1)

- Visita 1: Se le explicará a usted el sentido de la evaluación y se le entregará este formulario de aceptación. Posteriormente comenzará la recogida de firmas en los diferentes escenarios.
- Visita 2: No será necesaria una explicación del sistema y se pasará directamente a la recogida de las firmas.
- Visita 3: De igual modo, no será necesaria una explicación del sistema y se pasará directamente a la recogida de las firmas. Al final de la visita, se le entregará un breve cuestionario de satisfacción para que nos indique su opinión sobre la evaluación.

El tiempo empleado en cada sesión depende de cada usuario, ya que puede haber tiempos de descanso cuando el usuario lo crea oportuno.

El sistema utilizado es totalmente seguro. No le ocurrirá ningún daño físico durante la evaluación.

¿Qué pasará con las firmas que haga?

Toda la información que usted nos proporcione formará parte de una base de datos perteneciente al GUTI (Grupo Universitario de Tecnologías de Identificación), que es parte del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid. Esta información sólo será utilizada por la Universidad Carlos III y será solamente para propósitos de investigación.

Las firmas obtenidas serán almacenadas con un número de usuario en vez de con su nombre. Únicamente el equipo de investigación que recoge los datos será capaz de relacionar sus firmas con sus datos personales y esta información será guardada de forma confidencial dentro del grupo de investigación.

Renuncia

La participación en cualquier parte de la evaluación es voluntaria y usted puede renunciar a ella en cualquier momento sin dar ninguna razón. También puede solicitar que sus datos sean eliminados de la base de datos.

¿Qué pasará con los resultados de la evaluación?

Los resultados de la evaluación serán documentados y presentados para publicar a la comunidad científica con el fin de mejorar el estado del arte. Sin embargo, ningún participante será identificado individualmente y ninguna muestra será publicada sin un permiso previo.

Yo , con DNI  acepto tomar parte en la Evaluación de Usabilidad de Firma Manuscrita sobre Dispositivos Móviles.

Fdo: 

A 3 de febrero de 2012

Figura 13 Documento de consentimiento (2)

Después de firmar el documento, los usuarios reciben las indicaciones de cómo deben proceder y de las características de la evaluación (escenarios, dispositivos, botones de la interfaz, dónde firmar...), sin incluir detalles de si en un dispositivo tienen que firmar con más fuerza para que este pueda leer el trazo o si tienen que hacerlo a una velocidad concreta, ya que la idea del análisis es que sea lo más natural posible y no influya de ninguna manera a los usuarios. Los usuarios deben firmar de manera que ellos estén cómodos. No hay tiempo límite para completar el proceso. Los usuarios pueden tomar todo el tiempo que necesiten y hacer pausas o descansar si lo estiman necesario. Cuando los escenarios estén montados, se toman fotos de estos sin el usuario y también con el usuario firmando.

En la segunda visita, no hay proceso de información y se pasa directamente a la recogida de firmas.

En la tercera visita, después de firmar los usuarios deben completar un formulario de satisfacción en el que deben evaluar los dispositivos, escenarios, el estudio en general, el guía, etc. Además deben rellenar datos personales como su intervalo de edad, sexo, raza, lateralidad, conocimientos sobre los dispositivos biométricos, etc.

Las notas tomadas durante el proceso incluyen:

- Postura del usuario respecto a los elementos del escenario y al dispositivo.
- Impresiones de los usuarios en el caso de que las haya.
- Errores que pueda cometer el usuario (dar a "Aceptar" en una firma que no esté bien, por ejemplo) o que se deban a los dispositivos.
- Cuando el usuario borre una firma.

Si un usuario no está satisfecho con una firma, este la puede borrar y hacerla de nuevo. Estos errores también hay que registrarlos, y no solo los errores, sino también el motivo de estos (el usuario no está satisfecho con su firma, apoyo de la muñeca en la zona de firma, problemas en el dispositivo, firma en el aire, etc.)

En la figura 14 se puede ver una imagen de las anotaciones tomadas mientras los usuarios firmaban:

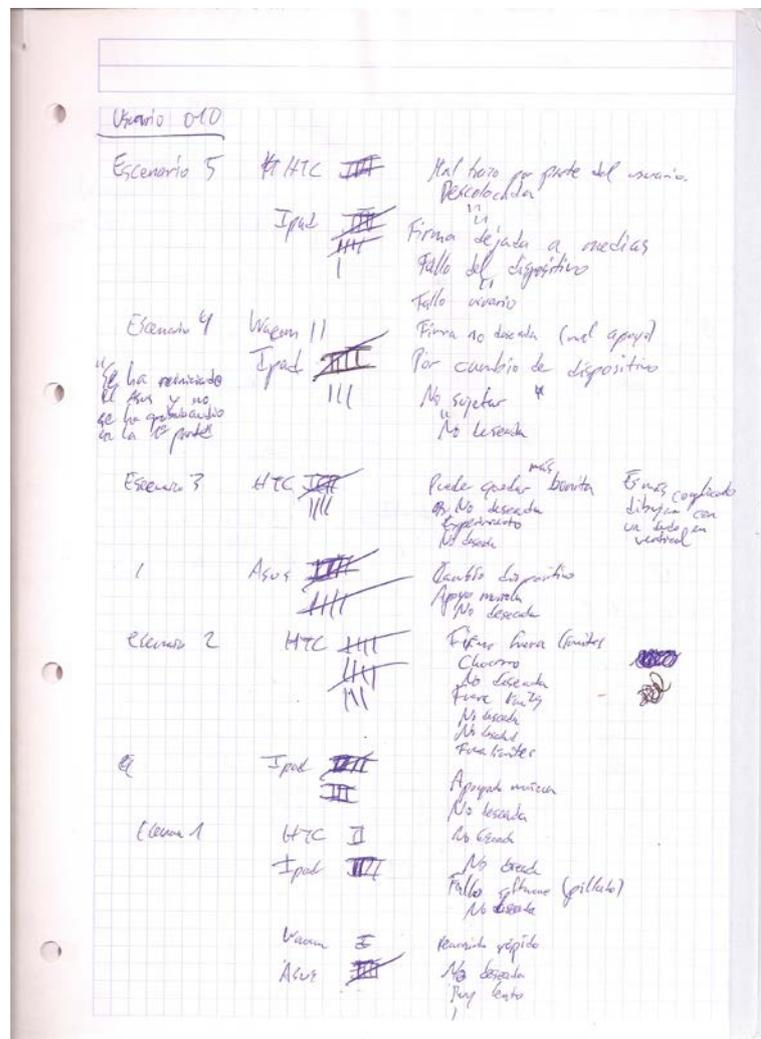


Figura 14 Notas sobre los usuarios

En la figura 15 se incluye una imagen con los errores más comunes:

| Usuario | Categorías de Errores | | | | | | | | | | | | Dispositivo | Comentarios | |
|---------|-----------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|
| | Ferme en la base E | Ferme en el aire B | Ferme fuera de límites E | Ferme fuera de límites B | Repetir espacio E | Repetir espacio B | Ferme no deseado E | Ferme no deseado B | Ferme con apoyo de material E | Ferme con apoyo de material B | Quedarse con el pie B | Salir de la superficie | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | STU | Comentarios |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | Firme en la base E |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | Firme en el aire B |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | HTC | Firme fuera de límites E |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | Firme fuera de límites B |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | Repetir espacio E |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | HTC | Repetir espacio B |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | STU | Ferme no deseado E |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | Ferme no deseado B |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | Ferme con apoyo de material E |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | HTC | Ferme con apoyo de material B |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | STU | Quedarse con el pie B |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | Salir de la superficie |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | HTC | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | HTC | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | STU | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | HTC | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | ASUS | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | IPAD | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | HTC | |

Figura 15 Notas de errores de una de las visitas

Toda la evaluación se debe grabar tanto en video como en audio, para tener constancia de los comentarios y comportamientos de los usuarios durante el procedimiento. Como se ha mencionado con anterioridad, la cámara debe colocarse de tal manera que no moleste al usuario y al mismo tiempo se debe obtener una buena perspectiva de la situación del usuario y de la firma que este está realizando. Las imágenes fueron grabadas con una cámara IP Axis M10 [25] (se puede ver en la figura 16) que estaba montada sobre un trípode. El audio fue grabado desde el Tablet PC. De esta forma, todos los comentarios de los usuarios quedaron registrados para un posterior análisis. También desde la Tablet PC se grabó la imagen de la pantalla para poder observar cómo los usuarios firmaron. Esto se puede ver en la figura 17.



Figura 16 Cámara Axis

La cámara IP AXIS graba 30 imágenes por segundo con una resolución VGA de 640x480.



Figura 17 Captura de la pantalla del dispositivo Asus

Con el fin de poder analizar los datos correctamente, es necesario llevar un orden en la obtención de las muestras y tener a su vez controlados los datos de los usuarios en todo momento. Para ello, dichos datos se almacenaron previamente y se le asignó a cada usuario un número identificativo. Los datos se almacenaron empleando dicho número identificativo, el escenario y la sesión en que se habían recogido. Los datos no se almacenaron junto con el nombre, apellidos u otros datos personales. Existe un fichero aparte donde se establece esta relación. Este fichero solo ha sido manejado por los administradores de la base de datos, manteniendo la privacidad del usuario y siendo consultado únicamente en el caso de que se quieran retirar datos de un usuario (tanto firmas, como datos personales).

5.3 Fallos en el proceso y algoritmo utilizado

Los fallos que pueden sucederse durante el proceso pueden ser de varios tipos. Los que son de mayor interés para la evaluación tienen relación con la adquisición de la firma del usuario en el dispositivo móvil. Por otra parte, también se pueden producir errores generales, que pueden afectar a todo el proceso de evaluación. Los errores generales son los siguientes:

-Fallo en los dispositivos. Si alguno de los dispositivos deja de funcionar o tiene un comportamiento extraño, se tiene que detener momentáneamente la evaluación hasta que el error se arregle. La evaluación no se reanuda hasta que el error no se soluciona.

-Fallo en los instrumentos de grabación. De ocurrir algún error en los instrumentos de grabación de video se detiene la evaluación hasta que se solucione.

Por otro lado, los fallos en la adquisición de la firma, son catalogados dentro del modelo HBSI. Este modelo divide el FTA (Failure to Acquire) en diversos errores, ya que se considera que no todos los errores producidos en el proceso de presentar las características biométricas al sistema (en este caso la firma) son iguales. Dichos errores

pueden ocurrir habiendo presentado el usuario la firma correcta o incorrectamente [14].

1. Firma presentada incorrectamente

DI (Defective Interactions): Ocurren cuando la firma se considera incorrecta y no se detecta ningún dato de la interacción del usuario con el dispositivo. Un caso de DI puede ser que el usuario ejerza poca presión sobre el dispositivo al firmar.

FI (False Interactions): Son las debidas a que el usuario firma de forma incorrecta y el sistema las clasifica como correctas. Un ejemplo sería que el usuario, aunque no estuviera satisfecho con la firma realizada, continuase firmando.

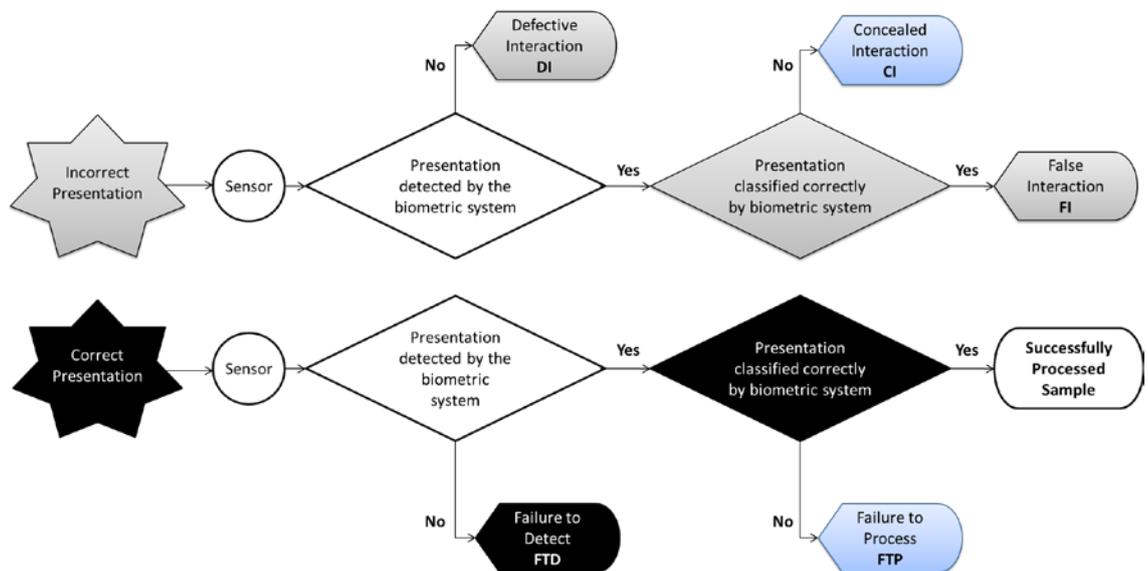


Figura 18 Estructura HBSI de las interacciones biométricas [26]

CI (Concealed Interactions): Son debidas a que el usuario presenta una firma incorrecta, el sistema lo detecta y la reconoce como incorrecta. Este caso se da, por ejemplo, cuando hay cierto retardo en el dispositivo para mostrar los trazos que el usuario ha realizado y el usuario los vuelve a

realizar de nuevo, provocando un error. Este error se da cuando el usuario pulsa el botón de “borrar”.

2. Firma presentada correctamente

FTD (Failure to Detect): Ocurre cuando el usuario presenta una firma correctamente, pero el sistema no la detecta. Esto se puede deber, por ejemplo, a la latencia o a algún error en el software.

FTP (Failure to Process): Se debe a que, habiendo presentado el usuario una firma correcta y habiéndola interpretado el sistema también como correcta, se guarda de una forma que no es exactamente la que el usuario proporciona (por errores de latencia, por ejemplo).

Es interesante recordar que el reconocimiento de firma manuscrita es una modalidad relacionada con la conducta, por lo que no se puede decir si una firma está bien hecha o no (siempre y cuando se firme dentro de los límites y no se firme en blanco). Contrario a esto, en una modalidad física como el reconocimiento de huella dactilar, es posible aconsejar al usuario cómo debe colocar el dedo en el dispositivo para obtener los mejores resultados. Debido a los altos grados de libertad para el proceso de firma manuscrita, ésta es una de las modalidades más complicadas para acotar los posibles usos erróneos y asegurar la usabilidad.

La razón por la que no se hace un entrenamiento de los usuarios (a pesar de que la mayoría de las guías de usabilidad recomiendan lo contrario [27]), es la de experimentar la evolución de las firmas de los usuarios. La intención es comprobar el esfuerzo que requiere desarrollar una firma estable en un dispositivo móvil sin tener previo conocimiento o práctica. Sin embargo, el software de los dispositivos permite a los usuarios borrar su firma de no estar satisfechos con ella, por lo que en realidad sí que hay un proceso de entrenamiento, pero depende del usuario cuánto tiempo quiere que este dure. Cabe recordar que todas las firmas borradas se registran para calcular tasas de usabilidad.

El algoritmo utilizado para obtener las tasas de error después del proceso de evaluación está basado en DTW (Dynamic Time Warping) [10].

Las dos alternativas más comunes para determinar la semejanza de firmas online son las aproximaciones basadas en referencia y las basadas en modelo. La diferencia entre ambas es que las basadas en referencia necesitan la imagen de la firma, mientras que las basadas en modelo solamente necesitan representaciones de los parámetros del modelo. El algoritmo DTW es un algoritmo basado en modelo que tiene unos resultados con una precisión alta y una implementación eficiente en diferentes escenarios [10]. Para esta evaluación se utiliza la aproximación basada en modelo.

Los resultados del rendimiento del sistema biométrico se dan como EER (Equal Error Rate) que aun no ofreciendo una información completa de todo el proceso, sirve perfectamente para comparar los resultados.

Los parámetros utilizados como datos de entrada son el tiempo y las coordenadas X e Y de los puntos realizados por el usuario al firmar. Solamente el dispositivo STU y el ASUS pueden medir la presión, por lo que esta medida no se tendrá en cuenta en la evaluación.

Para la comparación, se usan las tres primeras muestras de cada dispositivo y escenario para el patrón. Se intenta reproducir un caso real donde el usuario no tenga que repetir el procedimiento muchas veces. El FRR (False Rejection Rate) se obtiene comparando el patrón de los usuarios con el resto de las firmas de la misma combinación usuario-escenario-dispositivo. El FAR (False Acceptance Rate), en cambio, se obtiene comparando el patrón de los usuarios con todas las firmas del resto de usuarios en la misma combinación dispositivo-escenario.

En la figura 19 se puede ver un gráfico en el que están representados el FRR y el FAR por dos curvas distintas. Se puede observar que la intersección de ambas curvas representa el EER (rendimiento del sistema)

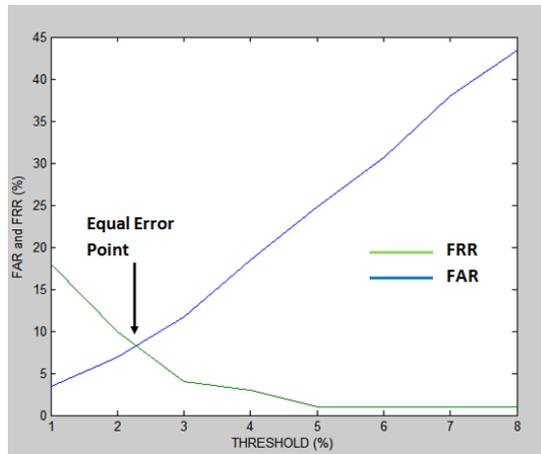


Figura 19 Grafico FRR FAR ERR [28]

5.4 Problemas

El primer problema encontrado fue hallar a 20 personas que cumplieran con los requisitos para que fueran usuarios válidos para la investigación y que además estuvieran dispuestos a realizar las 3 visitas. Una vez encontradas dichas personas, el siguiente problema, el cual era aún mayor, fue organizar un calendario que permitiese cumplir con los tiempos de la evaluación.

Durante la evaluación surgieron además problemas que no estaban previstos. Por ejemplo, al no estar pensado el atril para este experimento específico, hasta que los usuarios no estaban firmando en ese escenario, no se pudo apreciar que la profundidad de este era mucho mayor que la del dispositivo HTC, por lo que hubo que usar un objeto que hiciera de soporte y para que los usuarios pudieran firmar cómodamente.

Otro problema fue el reflejo de las pantallas del iPad y el HTC en las grabaciones cuando los usuarios firmaban. Esto no tenía mucha importancia en los dispositivos Asus y STU ya que el Asus se encargaba de grabar la imagen de la pantalla. En estos

casos había que mover la cámara para que no hubiese reflejo ya que el usuario no debía moverse de su posición mientras firmaba.

Otro problema fue que al final de la evaluación hubo algunas firmas que faltaban de algún usuario en algún dispositivo, por lo que hubo que eliminar varios usuarios de la evaluación.

6. Pruebas

6.1 Experimentos

Los experimentos realizados son de dos tipos: primero, se calculan las tasas de error (rendimiento) para poder comparar resultados entre sesiones y obtener conclusiones sobre la ergonomía. Después, se obtienen los datos de usabilidad: satisfacción, efectividad, eficiencia y aprendizaje. Combinando ambos experimentos se puede obtener un completo análisis de usabilidad.

Hay que recalcar que esta evaluación es una evaluación offline de reconocimiento de firma manuscrita online. Esto quiere decir que las firmas manuscritas se han obtenido con parámetros online (como se ha comentado antes, este tipo de firmas tiene en cuenta parámetros como la presión o el tiempo, mientras que la firma offline solamente tiene en cuenta la imagen de la firma) pero el análisis se ha hecho de manera offline, ya que la verificación no se ha realizado en el mismo momento en el que los usuarios completaban las firmas, sino que se completó una vez fueron recopiladas todas las firmas.

Hay muchas maneras de comparar las firmas obtenidas. En este caso, el objetivo es analizar los parámetros de usabilidad, pero del mismo modo dependiendo del EER obtenido, se puede hacer una comparación del rendimiento de los dispositivos. Estos resultados no son totalmente definitivos ya que en este caso están influenciados por otros factores como el orden de los dispositivos y los escenarios. Para estos resultados, todas las firmas obtenidas son usadas sin separarlas por sesión y se las compara con el patrón obtenido con las 3 primeras firmas.

En cuanto a la ergonomía, se han hecho varios experimentos para evaluar qué escenario encaja mejor con qué dispositivo y al mismo tiempo es más cómodo para los usuarios. Estas pruebas son muy importantes para representar las preferencias de los usuarios e indican la dirección en la cual se pueden desarrollar los sistemas.

La diferencia entre los escenarios está básicamente basada en la posición que los usuarios adoptan (y también los dispositivos). Los escenarios están diseñados para representar las posturas más comunes que los usuarios adoptan al firmar, como sentado en una silla, de pie, sujetando el dispositivo con las manos o con el dispositivo colocado sobre una mesa. De acuerdo con las características de cada dispositivo y el EER obtenido, se puede obtener una comparativa entre dispositivo y escenario.

Acostumbrarse a firmar en dispositivos móviles con el dedo no es algo trivial y toma su tiempo, por lo que los usuarios no realizan sus mejores firmas al principio. Debido a esto, cabe destacar que las tasas de error en los primeros dispositivos son mayores por la falta de entrenamiento, y en consecuencia, el orden tanto de los dispositivos como de los escenarios tiene gran importancia. Teniendo en cuenta esto, se puede obtener una comparación entre las tasas de error y el orden de los dispositivos y escenarios.

Los experimentos llevados a cabo en esta evaluación tienen la intención de estudiar la eficiencia, la efectividad, la capacidad de aprendizaje y la satisfacción para poder mejorarlos en el desarrollo de sistemas futuros.

-Tiempo de ejecución: Es el tiempo que tardan los usuarios en completar las firmas. Se hace una comparación del tiempo que tardaban los usuarios en completar un conjunto de firmas en cada escenario.

-Eficiencia: Tiempo empleado por el usuario en completar una tarea. Por lo tanto, la eficiencia se obtiene dividiendo el número de firmas borradas entre el número total de firmas en conjunto con el tiempo empleado [17]. En el apartado de resultados llamaremos a esta tasa FTA1

-Efectividad: Capacidad de los usuario de completar una tarea adecuadamente. Esta medida considerada en el apartado de resultados como FTA2 se calcula dividiendo el número de firmas erróneas enviadas por el usuario entre el total de firmas. Además,

para el cálculo de la eficiencia se tiene en cuenta el número de veces que el usuario solicita ayuda.

-Aprendizaje: El esfuerzo que requiere el usuario para acostumbrarse al sistema. La capacidad de aprendizaje se obtiene teniendo en cuenta la efectividad y la eficiencia. Se espera que los resultados en la primera sesión sean peores que en la segunda, y a su vez éstos sean peores que en la tercera. Sin embargo, se espera una diferencia mayor entre la primera sesión y la segunda que entre la segunda sesión y la tercera.

-Satisfacción: Es la experiencia del usuario en la evaluación. Este es un parámetro subjetivo que se obtiene de los formularios de satisfacción. En estos formularios, se les piden a los usuarios datos personales, opiniones sobre la evaluación y que puntúen del 1 al 5 cinco factores de usabilidad: comodidad, tiempo empleado, facilidad, intrusión y experiencia general.

En las figuras 20, 21 y 22 se puede ver el formulario de satisfacción que los usuarios rellenaron.

P 10

Formulario de satisfacción

Investigación sobre usabilidad en firma en dispositivos móviles

Con este formulario pretendemos obtener datos estadísticos que nos ayuden a comprender mejor las preferencias de los usuarios para perfeccionar nuestros sistemas y obtener conclusiones sobre la evaluación. Toda la información que recopilemos será anónima. Por favor, rellénelo con calma. No tardará más de 5 minutos en completarlo. Muchas gracias.

1. ¿Es usted...?

Hombre
 Mujer

2. ¿Qué edad tiene?

18-30
 31-50
 51-70

3. ¿Cuál es su raza?

Caucasiana
 Asiática
 Negra
 Otra

4. ¿Cuál es su grado de estudios?

Sin estudios
 Graduado escolar
 Bachillerato
 Universitarios

5. ¿Tiene algún problema en las manos/brazos que el impide firmar cómodamente?

Si
 No

6. ¿Es usted...?

Zurdo
 Diestro

7. ¿Está familiarizado/a con la tecnología?

Si
 No

8. En caso afirmativo indique con qué tipo de dispositivos está más familiarizado/a

Ordenadores
 Camaras
 Biométricos
 Móviles

9. ¿Ha tenido alguna experiencia previa con dispositivos biométricos?

Si
 No

10. En caso afirmativo, indique cuál

11. ¿Cómo valora la experiencia? ¿Ha firmado de forma cómoda? ¿Le ha llevado demasiado tiempo? ¿Ha sido cómo usted esperaba?

ha sido como esperaba, no me ha resultado pesado.

Figura 20 Formulario satisfacción (1)

12. ¿Qué escenario le ha parecido más cómodo (marque del 1 al 5, siendo el 1 el más cómodo y el 5 el más incómodo)?

- Escenario 1: Mesa y silla 1
- Escenario 2: Silla 5
- Escenario 3: Atril 2
- Escenario 4: Mesa 3
- Escenario 5: De Pie 4

13. Puntúe los diferentes aspectos:

| | Muy Insatisfactorio | Insatisfactorio | Normal | Satisfactorio | Muy Satisfactorio |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|--------|---------------|-------------------|
| Comodidad | | | X | | |
| Tiempo empleado | | | | X | |
| Facilidad de interacción | | | | X | |
| Nivel de intrusión (privacidad) | | | X | | |
| Experiencia global | | | | | X |

14. ¿Considera suficientes las instrucciones recibidas?

- Sí
- No

15. ¿Utilizará si tiene oportunidad aplicaciones de firma en dispositivos móviles?

- Sí
- No

16. Explique si ha tenido alguna dificultad para completar la evaluación

NO, aunque me ha resultado un poco más cansado y
gastar de más.

Figura 21 Formulario satisfacción (2)

17. ¿Qué dispositivo le ha parecido más sencillo y cómodo de utilizar? (Ordénelos del 1 al 4 siendo 1 el más sencillo y cómodo y 4 el menos)

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---|
| Dispositivo 1: Wacom Intuos | <input checked="" type="checkbox"/> | 1 |
| Dispositivo 2: Asus Tab | <input type="checkbox"/> | 3 |
| Dispositivo 3: iPad | <input type="checkbox"/> | 2 |
| Dispositivo 4: HTC | <input type="checkbox"/> | 4 |

18. ¿Con qué le ha sido más cómodo firmar?

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| Con el Dedo | <input type="checkbox"/> |
| Con el Stylus | <input checked="" type="checkbox"/> |

19. ¿Con qué considera que su firma es más parecida a la hecha en papel?

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| Con el Dedo | <input type="checkbox"/> |
| Con el Stylus | <input checked="" type="checkbox"/> |

Figura 22 Formulario satisfacción (3)

6.2 Resultados

Los resultados pueden clasificarse en 3 tipos: rendimiento, ergonomía y usabilidad (eficiencia, efectividad, aprendizaje y satisfacción).

Todos los EER calculados en el rendimiento del experimento se pueden ver en la tabla 2.

| | S01 | S02 | S03 | S04 | S05 |
|------|------|------|------|------|------|
| STU | 1.06 | - | 1.97 | 2.43 | - |
| ASUS | 1.97 | - | 3.18 | - | - |
| IPAD | 7.27 | 0.49 | - | 0.92 | 0.6 |
| HTC | 3.63 | 2.89 | 3.01 | - | 1.36 |

Tabla 2 Resultados en el rendimiento

Los resultados de ergonomía se obtienen de la tabla 3 donde todos los EER calculados se pueden ver divididos en sesiones.

| | Session 1 | | | | | Session 2 | | | | | Session 3 | | | | |
|------|-----------|------|------|------|------|-----------|--------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|
| | S01 | S02 | S03 | S04 | S05 | S01 | S02 | S03 | S04 | S05 | S01 | S02 | S03 | S04 | S05 |
| STU | 0.56 | - | 1.67 | 2.2 | - | 0.55 | - | 4e-4 | 0.43 | - | 0.01 | - | 1.11 | 7e-3 | - |
| ASUS | 1.67 | - | 2.78 | - | - | 0.04 | - | 2.65 | - | - | 0.56 | - | 1.66 | - | - |
| IPAD | 3.88 | 0.56 | - | 0.55 | 0.47 | 1.2e-4 | 4.2e-4 | - | 0.44 | 1.11 | 0.56 | 0.56 | - | 0.55 | 0.01 |
| HTC | 2.29 | 1.66 | 2.22 | - | 0.99 | 0.56 | 0.55 | 1.11 | - | 1.11 | 1.11 | 1.12 | 0.56 | - | 1.06 |

Tabla 3 EER divididos por sesiones

Como se ha mencionado antes, se designa FTA1 a la efectividad y FTA2 a la eficiencia. Las fórmulas de ambas tasas son las siguientes

$$FTA_1 = \left(\frac{\text{Number of failure signatures}}{\text{Total number of signatures} \times \text{Users}} \right) \times 100$$

$$FTA_2 = \left(\frac{\text{Number of deleted signatures}}{\text{Total number of signatures} \times \text{Users}} \right) \times 100$$

El factor de aprendizaje se obtiene de la tabla 3, figura 23 y figura 24. El tiempo empleado es un factor para calcular la eficiencia. En la figura 25 puede verse el tiempo medio empleado en cada escenario.

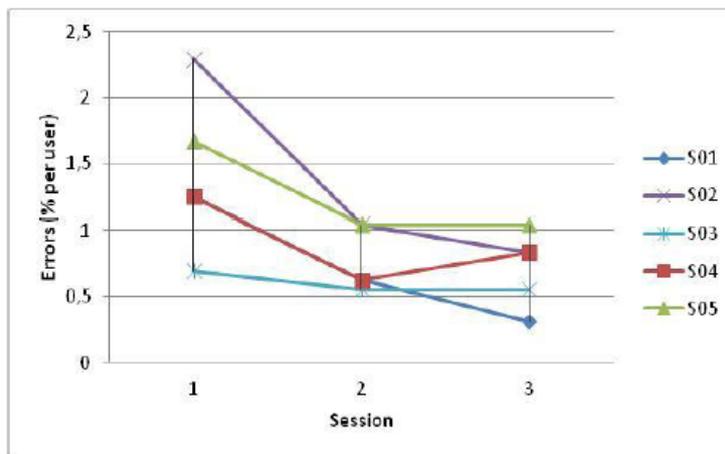


Figura 23 Efectividad

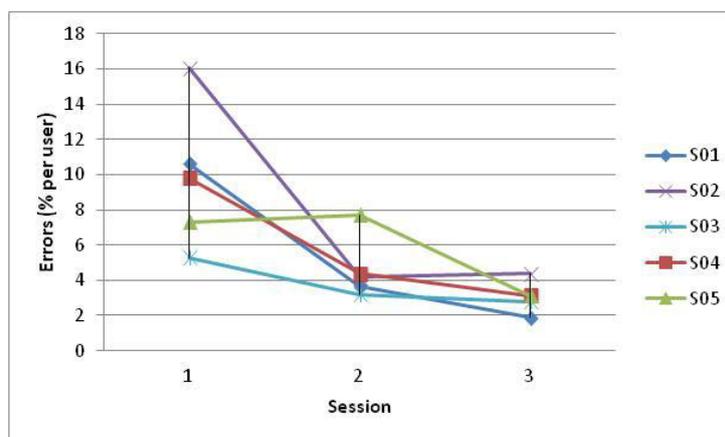


Figura 24 Eficiencia

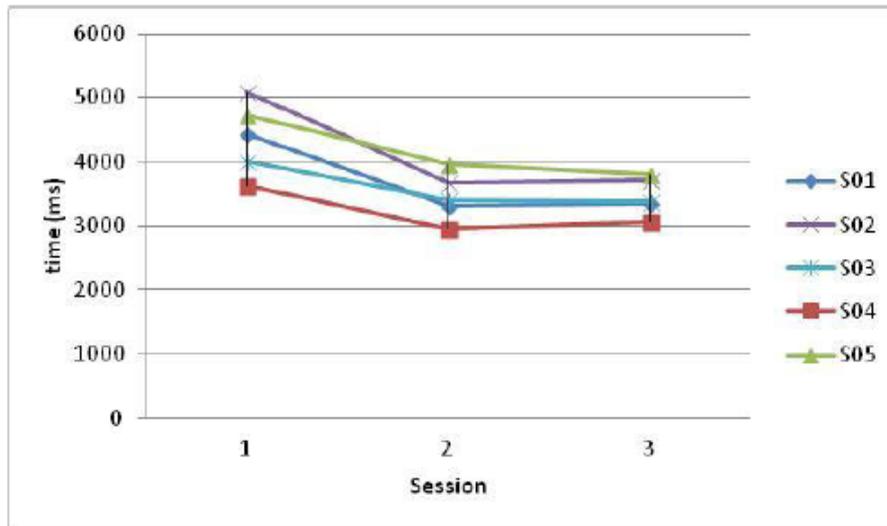


Figura 25 Tiempo medio

En la figura 26 se puede ver la puntuación que los usuarios dieron a los parámetros de satisfacción en el formulario que rellenaron en la tercera visita.

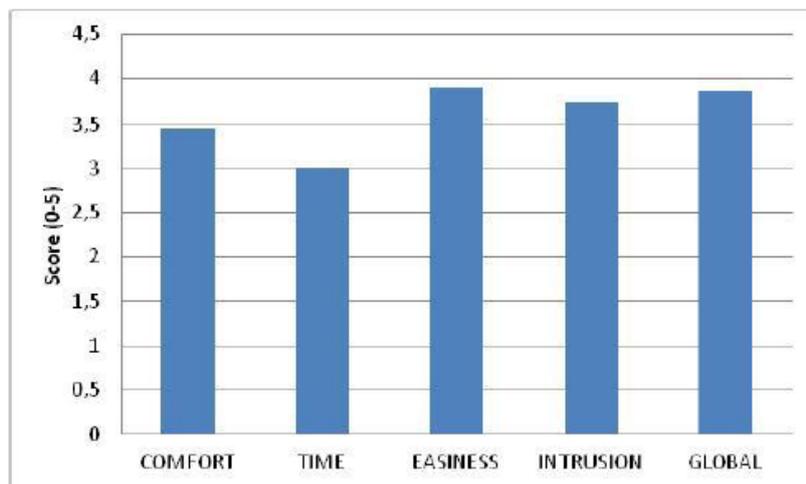


Figura 26 Datos de satisfacción

7. Conclusiones y líneas futuras

Como se ha mencionado antes, los resultados de esta investigación se pueden dividir en tres partes distintas (rendimiento, ergonomía y usabilidad), que se relacionan para extraer las conclusiones finales.

7.1 Conclusiones en el rendimiento

El dispositivo STU cumple con las expectativas de ser el dispositivo de referencia. De acuerdo a los resultados este dispositivo tiene el rendimiento más constante durante toda la evaluación (se puede ver en la tabla 2). En el escenario de referencia se obtiene el menor EER, por lo que los usuarios firman mejor en este dispositivo si están sentados. El peor EER se obtiene en el escenario 4, se firma mejor de pie sobre el atril que apoyándose sobre la mesa.

El dispositivo Asus tiene un mayor rendimiento en el escenario 1 que en el escenario 3. Esto sucede también en el dispositivo STU aunque la diferencia no es grande. Se refuerza la conclusión de que en los dispositivos que se necesita un apoyo los usuarios firman mejor si están sentados.

El mejor resultado de la evaluación se obtiene con el iPad en el escenario 2 (sentado sin apoyar el dispositivo), aunque en el escenario de referencia se obtiene el peor resultado de la evaluación con un EER de 7% (aquí influye que en este escenario con este dispositivo el usuario firma por primera vez con el dedo). Esto demuestra la importancia del orden de los escenarios y dispositivos en los resultados finales, no sólo de rendimiento del algoritmo, sino también la usabilidad.

El HTC tiene un rendimiento bastante constante en la evaluación, aunque no tanto como el dispositivo STU. Se puede ver que los mejores resultados se consiguen en los escenarios en los que el usuario no tiene ningún apoyo y tiene que sujetar el dispositivo con las manos.

7.2 Conclusiones en la ergonomía

Los resultados se analizan por cada dispositivo. Estos resultados llegan a tener una variación muy grande en distintos escenarios para un mismo dispositivo. Esto está influenciado por el orden.

STU: Este dispositivo no está pensado para la movilidad y como cabía esperar, los mejores resultados se consiguen en el escenario número 1. Se puede apreciar la mejora gradual que hay de una sesión a otra debido a que los usuarios se han habituado al dispositivo. Sin embargo, en la tercera sesión hay un incremento en el EER ya que los usuarios firmaron en este dispositivo en primer lugar según el orden que había sido elegido para esta sesión.

ASUS: Lo mismo sucede con este dispositivo. El escenario con mejores resultados es el 1 y hay una mejora de una sesión a otra. Cabe señalar que la mejora que hay de la sesión 1 a la 2 es mayor que de la 2 a la 3 debido al aprendizaje de los usuarios.

iPad: En este dispositivo el EER varía mucho según el orden en el que se firma en los dispositivos. En el escenario 1 en la primera sesión, este era el primer dispositivo en que se firma con el dedo. Es por esto que los resultados son significativamente peores. Los mejores resultados, en cambio, se obtienen en los escenarios en los que hay que sujetar el dispositivo con la mano y no están sobre una superficie.

HTC: Curiosamente, en este dispositivo el orden no afecta al rendimiento como a los otros dispositivos. Se puede apreciar además una gran mejora de la primera sesión a la segunda.

Se puede tener una mejor perspectiva de la relación dispositivo–escenario viendo los resultados de la tabla 2. Viendo estos resultados, y los de la tabla 3, se puede concluir que el mejor rendimiento para el smart phone y la tablet se obtiene en los escenarios en los que el usuario debe sujetar el dispositivo y no en el escenario de referencia como se espera.

7.3 Eficiencia, efectividad, aprendizaje y satisfacción

Hay una clara relación entre los gráficos de eficiencia, efectividad y tiempo y es la disminución del tiempo e índice de errores. Esta disminución se puede apreciar claramente entre las sesiones 1 y 2 aunque no es tan notable entre las sesiones 2 y 3 (incluso en algunos casos esta no llega a suceder). Este efecto da importancia al entrenamiento previo. Una vez que el usuario se ha habituado al proceso, estos factores de usabilidad se vuelven constantes y mejora el rendimiento.

Los usuarios adquieren un grado de aprendizaje aceptable de media en la sesión 2 durante la evaluación, ya que aunque hay una disminución de las tasas de error de la sesión 2 a la 3, no es significativa. Y dichos valores se estabilizan.

En el valor global de la evaluación calificada por los usuarios (los factores de satisfacción en su conjunto), estos puntúan como media un 3.85 sobre 5. La mayor puntuación la obtiene la facilidad de uso (un 3.9) y la peor el tiempo empleado con un 3. Un 80% de los usuarios usarían otra vez en el futuro el reconocimiento de firmas manuscritas en dispositivos móviles (solamente uno de los usuarios lo haría sólo con stylus). Los dispositivos preferidos son el STU (stylus) y el iPad (dedo). El orden de los escenarios según preferencia es 1, 3, 4, 2 y 5. Esto refleja claramente que los usuarios prefieren los escenarios más comunes para firmar que aquellos en los que el dispositivo se puede apoyar en una superficie. Sin embargo, y curiosamente, estos escenarios a veces no son los que reflejan los mejores resultados.

7.4 Trabajo futuro

Después de esta primera aproximación para mejorar la usabilidad en el reconocimiento de firma manuscrita en dispositivos móviles, la investigación puede dirigirse en distintas direcciones. Una de ellas es hacer una evaluación similar pero teniendo en cuenta distintos parámetros o aplicando distintos métodos.

Otro camino que se puede seguir, es diseñar un escenario teniendo en cuenta los resultados y conclusiones obtenidas de esta evaluación, donde el usuario esté lo más cómodo posible y de esta manera se mejoren los resultados. En este caso, según los resultados obtenidos los usuarios tendrían que recibir un entrenamiento para así familiarizarse con los dispositivos.

Bibliografía

- [1] S. Mansfield-Devine, "Biometrics for mobile devices struggle to go mainstream," *Biometric Technology Today*, vol. 2011, no. 9, pp. 10–11, Oct. 2011.
- [2] A.K. Jain, P. Flynn, and A.A. Ross, *Handbook of Biometrics*. NJ, USA: Springer-Verlag, 2007.
- [3] M. O. Derawi, "Biometric options for mobile phone authentication," *Biometric Technology Today*, vol. 2011, no. 9, pp. 5–7, Oct. 2011
- [4] L. Coventry, G. I. Johnson, T. Mcewan, and C. Riley, "Biometrics in Practice: What Does HCI Have to Say?," in *Proceedings of the 12th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction: Part II*, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 920–921.
- [5] M Theofanos, B. Stanton, and C.A. Wolfson, *Usability and Biometrics - Ensuring Successful Biometric Systems*.
- [6] Eric P. Kukula and S. J. Elliott, "Implementing Ergonomic Principles in a Biometric System: A Look at the Human Biometric Sensor Interaction (HBSI)," in *Carnahan Conferences Security Technology, Proceedings 2006 40th Annual IEEE International*, 2006, pp. 86–91.
- [7] S. J. Elliott, and Eric P. Kukula, *IEEE*, "A Definitional Framework for the Human-Biometric Sensor Interaction Model"
- [8] D. Impedovo and G. Pirlo, "Automatic Signature Verification: The State of the Art," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, vol. 38, no. 5, pp. 609 –635, Sep. 2008.

- [9] A. Mendaza-Ormaza, O. Miguel-Hurtado, R. Blanco-Gonzalo, and F. Diez-Jimeno, "Analysis of handwritten signature performances using mobile devices," in *2011 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, 2011, pp. 1–6.
- [10] J. M. Pascual-Gaspar, V. Cardeñoso-Payo, and C. E. Vivaracho-Pascual, "Practical On-Line Signature Verification," in *Advances in Biometrics*, vol. 5558, M. Tistarelli and M. S. Nixon, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1180–1189.
- [11] http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed429/sistemas_biometricos.htm
- [12] http://www.securetech.com.uy/servicios/info/biometria_5.htm
- [13] <http://www.varpa.es/Docencia/TAPI/biometrics-tapi.pdf>
- [14] M. Brockly, R. Guest, S.J. Elliott, J. Scott "Dynamic Signature Verification and the Human Biometric Sensor Interaction Model"
- [15] <http://edition.cnn.com/2011/OPINION/04/01/greene.first.cellphone.call/index.htm>
- [16] <http://www.cntr.salford.ac.uk/comms/25yrsinthemobile/survey.php>
- [17] ISO/IEC. 9241-14 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s - Part 14 Menu dialogues, ISO/IEC 9241-14: 1998 (E), 1998
- [18] http://www.asus.es/Eee/Eee_PC/Eee_PC_T101MT/
- [19] <http://www.wacom.com/en/products/pen-displays/stus/stu-500>
- [20] <http://www.apple.com/es/ipad/>
- [21] <http://www.htc.com/es/smartphones/htc-desire-x/>

[22] <http://www.microsoft.com/es-es/download/details.aspx?id=3092>

[23] <https://developer.apple.com/technologies/tools/>

[24] <http://developer.android.com/sdk/index.html>

[25] http://www.axis.com/es/products/cam_m1011/index.htm

[26] E. Kukula, M. J. Sutton, and S. J. Elliott, "The Human–Biometric–Sensor Interaction Evaluation Method: Biometric Performance and Usability Measurements," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, no. 4, pp. 784–791, Apr. 2010.

[27] E. P. Kukula and R. W. Proctor, "Human–Biometric Sensor Interaction: Impact of Training on Biometric System and User Performance," in *Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction*, vol. 5618, G. Salvendy and M. J. Smith, Eds. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 168–177.

[28] Nasser S. Abouzakhar and Praneeth Enjamuri "An Enhanced Eigenfaces - based Biometric Forensic Model" CFET 10, 2nd & 3rd Sept. 2012, UK.

Anexos 1. Presupuesto y planificación del trabajo

Planificación

A continuación se detalla el tiempo de ejecución de las tareas realizadas

Documentación inicial (30 horas)

- Estudio sobre biometría y firma manuscrita (10 horas)
- Asistencias a charlas y presentaciones sobre biometría (17 horas)
- Estudio sobre el método de evaluación y recolección de los datos (3 horas)

Desarrollo (190 horas)

- Búsqueda de usuarios y organización de calendario y transporte (15 horas)
- Montaje de escenarios, información del proceso a los usuarios, obtención de las firmas y evaluación final (175 horas)

Elaboración de la memoria (80 horas)

- Redacción de la memoria (65 horas)
- Corrección (15 horas)

Total horas (300 horas)

Presupuesto

El presupuesto del proyecto se detalla a continuación

| Materiales | Coste (€) |
|--------------------|------------------|
| Asus EeePC MT101 | 450 |
| Wacom STU-500 | 200 |
| iPad | 200 |
| HTC desire | 200 |
| Cámara IP Axis M10 | 120 |
| Trípode | 25 |
| Atril | 25 |
| Portatil Dell | 550 |
| Total | 1770 |

Tabla 4 Coste materiales

| Ocupación | Horas | Precio/Hora | Importe (€) |
|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| Jefe de proyecto | 30 | 50 | 1500 |
| Ingeniero | 270 | 30 | 8100 |
| Total | 300 | | 9600 |

Tabla 5 Coste de personal

| Concepto | Precio (€) |
|-------------------------|-----------------|
| Coste de materiales | 1170 |
| Coste de personal | 9600 |
| Costes indirectos (20%) | 2154 |
| Subtotal | 12924 |
| I.V.A (21%) | 2714.04 |
| Total | 15638.04 |

Tabla 6 Coste total

El coste total de los materiales es de *quinze mil seiscientos* treinta y ocho euros con cuatro céntimos

Leganés, 11 de febrero de 2013