

DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA LA PREDICCIÓN DEL AJUSTE DEL CALZADO BASADO EN TÉCNICAS AVANZADAS DE ANÁLISIS DE FORMAS

*Beatriz Nácher Fernández, Sandra Alemany Mut
José García Hernández, Stella Heras Barberá, Alfons Juan Císcar**
Instituto de Biomecánica de Valencia

*Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC) -UPV-

EL INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA (IBV) EN COLABORACIÓN CON EL DEPARTAMENTO de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC) de la UPV ha desarrollado un sistema experto de asignación de calzado basado en criterios de confort. El estudio de la forma y dimensiones del pie de la población y su interacción con el calzado al caminar han permitido establecer algoritmos de predicción del ajuste del calzado. La aplicación de este sistema de ayuda a la selección del calzado en el punto de venta representa una innovación en el sector desde la perspectiva de la distribución y venta del producto, así como una aproximación a la personalización a un precio competitivo.

El procedimiento para aplicar esta nueva metodología de venta consiste en una primera caracterización del usuario en el que se registra la forma tridimensional del pie con un escáner. Esta información sirve de entrada al sistema experto que selecciona entre todos los modelos de la tienda aquellos que, con mayor probabilidad, proporcionarán al usuario más confort.

Development of a system for the prediction of footwear fitting based on advanced shape analysis techniques

The Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), in collaboration with the Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC) of the UPV, has developed an expert system to assign footwear based on comfort criteria. The study of the shape and dimensions of the foot and their interaction with the footwear during walking has permitted to establish algorithms to predict footwear fitting. The application of this system to aid in the selection of footwear in the sale point represents an innovation on the footwear sector from the point of view of product distribution and sale, as well as a customization approach with a competitive cost.

The process to applied this new methodology consist of a first characterization of the user, where the three dimensional shape of the foot is registered using a laser scanner. This information is used as an input for the expert system which selects, among all the shoe models in the store those which, with higher probability, provide to the user high comfort features.

INTRODUCCIÓN

La forma de los productos de uso humano determina, no sólo su estética final, sino también la adaptación al cuerpo del usuario, influyendo de manera decisiva en sus prestaciones funcionales y en el confort. El calzado pertenece a este tipo de

productos y su adaptación al pie no es sencilla ya que el cuerpo humano presenta partes blandas y deformables así como formas orgánicas complejas en 3D.

Por lo tanto, una correcta adaptación del calzado requiere de un análisis sistemático de las características de la forma del pie, de donde surge la forma inicial del producto, a la que se

>

> aplican una serie de correcciones determinadas por los materiales, el sistema de fabricación y la estética. Sin embargo, la calidad del ajuste del calzado y su forma final dependen íntegramente del **estudio de la interacción entre el calzado y el usuario final**. Es en este aspecto donde la Biomecánica juega un papel importante, proporcionando herramientas para su estudio, modelos biomecánicos e instrumentación capaces de explicar los resultados del estudio de la adaptación funcional entre el producto y el usuario.

Actualmente los usuarios demandan cada vez más productos de altas prestaciones ergonómicas adaptados o personalizados a sus propias necesidades. A partir de este enfoque, surgen varias formas de aproximarse al concepto de calzado orientado al usuario, según el logro de adaptación del producto a las características del cliente.

El grado más alto de adaptación se consigue a través de una **personalización** completa del producto, para ajustarse a las necesidades concretas de usuarios individuales. Sin embargo, esta opción supone la adaptación de los sistemas de producción actuales hacia sistemas más flexibles que permitan abordar la personalización del calzado. Esta adaptación requiere que las empresas realicen grandes inversiones, lo que supone que la personalización completa del calzado no sea posible a un coste competitivo y se practique únicamente en casos muy singulares, como deportistas de elite o en pies patológicos.

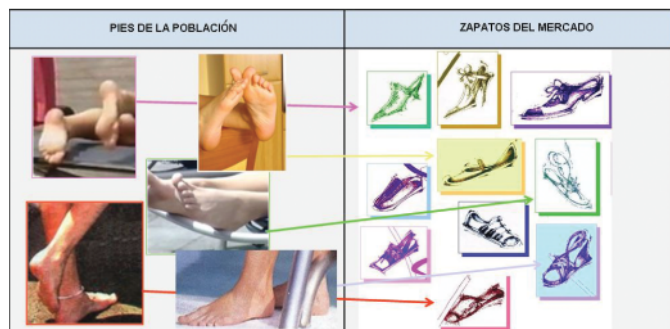


Figura 1. Representación gráfica de la clasificación de pies en clases de zapatos.

En un punto intermedio entre el calzado hecho a medida y el sistema de fabricación en serie, el más utilizado actualmente, se puede situar el sistema de **Best-Fitting** o asignación del producto que mejor se adapta a las características y necesidades del cliente. El **Best-fitting** o la ayuda a la selección, es el método que relaciona los atributos del producto con las necesidades y preferencias del cliente para seleccionar la mejor opción de entre un conjunto, pero sin llegar a hacer un producto para cada usuario. Este modelo, constituye un punto intermedio entre la personalización completa de alto coste y el sistema de diseño y producción en serie actual, y es por tanto la opción más económica. Sin embargo, el éxito o grado de personalización que se consiga dependerá de la gama y variedad de productos de la que disponga la empresa y en qué medida con ella se cubren las necesidades de los consumidores a los que se va a dirigir la oferta de productos. Para abordar el sistema de **Best-Fitting**, el problema que se plantea es la **predicción del ajuste del calzado**.

El presente artículo presenta la aplicación del conocimiento de la forma del pie y su interacción con el calzado durante la marcha para el desarrollo de un método de predicción del ajuste. Este método está basado en técnicas de interpolación con el que se ha elaborado un sistema experto de selección de calzado (*best-fitting*).

MATERIAL Y MÉTODOS

Modelo de elección del ajuste

Para abordar el problema se seleccionaron un conjunto de zapatos con características de ajuste diferentes. El objetivo era asignar a cada usuario el calzado que mejor se ajustaba a la forma de su pie. Por tanto, el análisis de la predicción del ajuste del calzado se planteó como un problema de clasificación de pies en clases de zapatos.

Para desarrollar un sistema de *Best-Fitting*, es decir, de asignación de calzado confortable a pies individuales sin que haga falta que el usuario se pruebe todos los modelos del mercado, es necesario abordar el problema de la *predicción del ajuste* e intentar crear un modelo matemático que lo solucione. Para resolverlo se experimentó con varias técnicas de clasificación derivadas del *Reconocimiento de Formas*, disciplina que se ocupa del estudio y desarrollo de sistemas automáticos capaces de emular aspectos "perceptivos" propios del comportamiento humano.

Las técnicas de clasificación en general trabajan con dos tipos de información:

- Un conjunto de datos que caracterizan cada elemento de la muestra, en este caso los pies de un grupo representativo de personas.
- Una variable de clasificación que determina el criterio de asignación de elementos de la muestra (pies) a clases (zapatos).

Un modelo matemático que sea capaz de predecir el ajuste del calzado se tiene que desarrollar a partir de datos de ajuste obtenidos con una muestra representativa del grupo de población a la que va destinado el calzado que se quiere estudiar. Estos datos sirven como muestras de aprendizaje para el entrenamiento del clasificador.

El algoritmo de clasificación se encarga de establecer la relación entre las medidas del pie de un nuevo usuario, que no ha probado ni conoce los zapatos del estudio, y las medidas de los pies utilizados para el entrenamiento de la técnica. A continuación determina cuáles de estos pies son más parecidos morfológicamente al "pie desconocido" y utiliza la información que conoce de ellos acerca de su relación con los zapatos del estudio para estimar de forma matemática el ajuste que presentarán con los pies del nuevo usuario.

De esta forma, el zapato con mayor probabilidad de conseguir un buen ajuste será el modelo asignado para el nuevo usuario como el más confortable.

Estudio piloto

Recurrir a técnicas de clasificación para desarrollar un modelo de predicción del ajuste robusto y fiable, implica conseguir un elevado número de muestras, esto es una gran cantidad de

pies de los cuales se conozcan sus propiedades de ajuste con un conjunto de zapatos determinado.

Este requisito se enfrenta a la realidad práctica de los estudios que se realizan en el ámbito de la Ergonomía, en el que se comprueba lo costoso que puede llegar a ser realizar estudios con usuarios que no están acostumbrados a la terminología utilizada para designar los distintos componentes del producto o incluso a percibir los aspectos por los que se le pregunta en la encuesta.

Por lo tanto, emprender un estudio de campo de gran envergadura sin antes comprobar que las técnicas de clasificación suponen una expectativa real al estudio del ajuste del calzado, puede resultar demasiado arriesgado. Por esta razón se realizó un estudio piloto con un número de muestras reducido, pese al inconveniente que supone entrenar un clasificador con pocas muestras.

El objetivo de este estudio piloto fue:

- Probar distintas técnicas de clasificación.
- Identificar las características morfológicas del usuario relevantes para el problema de la predicción del ajuste: preferencias, podometría clásica, podometría automática, coeficientes de Fourier y puntos anatómicos clave.
- Seleccionar la variable de clasificación adecuada al problema de predicción del ajuste.
- Validar la técnica de clasificación seleccionada.

Caracterización dimensional del pie

El pie se caracterizó desde dos perspectivas. En primer lugar se pensó en el método tradicional, que consiste en las medidas de podometría clásica obtenidas con una cinta métrica. Se trata de un sistema sencillo y de bajo coste, pero tiene el inconveniente de ser lento de completar y además tiene que realizarlo una persona que conozca la anatomía del pie humano.

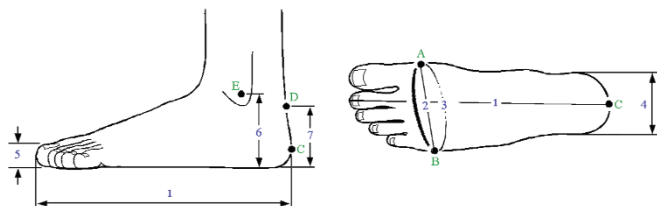


Figura 2. Magnitudes recogidas en la tabla de podometría clásica: (1) Largo del pie, (2) ancho de antepié, (3) perímetro de antepié, (4) anchura de talón, (5) altura del dedo más alto, (6) altura del tobillo externo, (7) altura de la inserción de Aquiles en el calcáneo.

Como alternativa más innovadora se pensó en los sistemas de escaneado 3D. La información del pie derecho de 15 mujeres, obtenida con el escáner 3D FastScan de Polhemus fue procesada mediante una aplicación informática que se desarrolló específicamente para el cálculo de las medidas de podometría. Este cálculo se realiza a partir de unos puntos anatómicos clave que son detectados automáticamente a partir de la información del pie escaneado. Para evitar confusión con la podometría calculada de forma clásica, se ha denominado a este conjunto de medidas *podometría automática*.

Estudio de la interacción pie - zapato

Con la intención de definir una variable de clasificación con la que asignar calzado confortable a una muestra de pies se

realizaron pruebas de valoración subjetiva de 8 modelos de calzado de mujer de la talla 37 europea que fueron evaluados por las 15 mujeres participantes.

El resultado es un conjunto de variables sobre el ajuste que reflejan el nivel de molestias y la falta de calce en varias zonas del pie. Estos valores se combinaron en una variable única que representa la ausencia de confort en el calzado, la cual se utilizó como variable de clasificación para el modelo de predicción del ajuste.

Experiencias y valoración del clasificador

En el proceso de **desarrollo de la técnica de clasificación** se utilizaron, por un lado, los dos conjuntos de dimensiones de podometría, la clásica y la automática, de las 15 mujeres participantes en el estudio, y por otro la variable "ausencia de confort" de cada zapato, cuyo valor permite determinar cuál es el zapato que mejor calza a cada uno de los 15 pies del estudio.

Una forma de medir las prestaciones alcanzadas por el algoritmo desarrollado es a través del número de errores cometidos tras 15 repeticiones del mismo proceso, utilizando la técnica conocida como *leaving one out*.

La tabla 1 muestra los porcentajes de acierto del algoritmo de clasificación según el número de pies utilizados para aproximar el dato de entrada ("pie desconocido"), utilizando la podometría clásica y la podometría automática. La optimización del algoritmo se obtiene utilizando cuatro pies para aproximar al ajuste, obteniendo un porcentaje de acierto del 86,7%.

Tabla 1: Clasificación de pies en zapatos, número de errores con cada configuración experimental.

NÚMERO DE PIES PARA APROXIMACIÓN AL AJUSTE	PODOMETRÍA	
	CLÁSICA	AUTOMÁTICA
2	2(86,67%)	4(73,33%)
3	2	6 (60%)
4	2	2

Desarrollo de un sistema de *Best-fitting* para calzado de señora casual

Los resultados del estudio piloto demuestran que se ha desarrollado un sistema para predecir de forma mejorada el ajuste mediante la clasificación de pies en zapatos, y que se trata de una metodología válida ya que la fiabilidad utilizando 15 sujetos para su entrenamiento es bastante alta (86.7%).

Sin embargo el número reducido de muestras (pies) utilizado en el estudio piloto sigue siendo un inconveniente desde el punto de vista del ámbito del *Reconocimiento de Formas*, de donde proviene la técnica de clasificación utilizada. Por este motivo se decidió llevar a cabo un estudio de campo de mayor envergadura con el que conseguir un número de muestras suficiente para desarrollar un modelo de predicción del ajuste más robusto y fiable.

Selección de la muestra de calzado

Para seleccionar la muestra de calzado se hizo una descripción de las características de todos los estilos de calzado de calle de mujer; se descartaron las variantes que menos tiempo

20 proyectos de I+D

> permanecen en el mercado por su gran contenido en moda y todos aquellos modelos que presentaban elementos más duraderos fueron agrupados en ocho clases en función de sus características.

Los seis componentes o elementos de diseño que se utilizaron para describir y clasificar los zapatos del mercado fueron los siguientes: tipo de zapato, horma, forma de la puntera, corte, piso y cierre. Los modelos seleccionados para el estudio reúnen las características más frecuentes de cada estilo de calzado de señora de calle.



Figura 3. Modelos de calzado utilizados para el estudio.

Caracterización dimensional del pie

Para registrar los datos antropométricos de los sujetos de ensayo participantes en este estudio se utilizó el escáner de pies INFOOT, con el que es posible escanear la superficie completa del pie, tanto el dorso como la planta, además de detectar un conjunto de 14 puntos anatómicos clave para la obtención de 19 medidas del pie, entre ellas: longitudes, anchos, alturas, ángulos y perímetros.

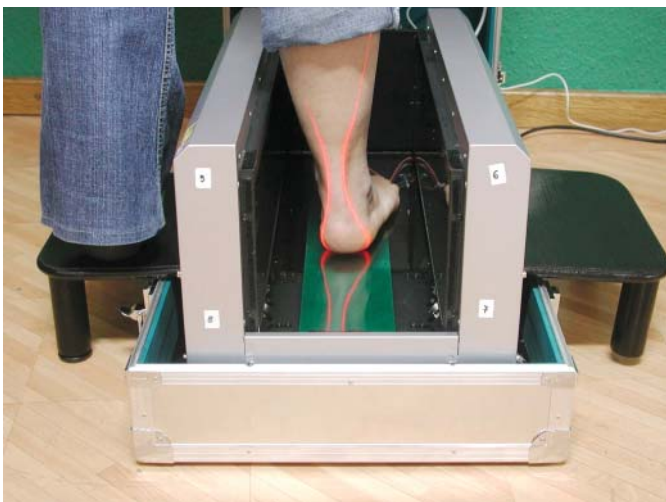


Figura 4. Escáner de pies INFOOT y representación de la forma del pie por el programa del equipo con puntos anatómicos que detecta.

Para que el equipo pueda detectar la posición de los puntos anatómicos del pie se colocan unos marcadores sobre la piel, que han de ser colocados por una persona experta. El tiempo empleado por persona para la digitalización del pie derecho es de 2 minutos.

Variable de clasificación. Estudio de la interacción pie – zapato

El mayor condicionante a la hora de poner a punto el estudio de campo es el gran número de muestras requeridas para diseñar un algoritmo de clasificación. Su influencia se dejó notar especialmente en el diseño de la prueba de calce en la que se redujo al máximo el número de preguntas para optimizar al máximo el ensayo. Para realizar esta tarea, se llevó a cabo una explotación estadística de las bases de datos de ensayos de calce y confort disponibles en el IBV con el fin de determinar cuál es la información, proporcionada por las encuestas, más relevante y significativa desde el punto de vista del ajuste del calzado, así como su relación con el confort a largo plazo.

Al inicio de la prueba cada participante recibía instrucciones precisas de cómo debía realizar la evaluación: tras probar y caminar con el calzado durante dos minutos, cada participante debía rellenar de forma interactiva a través de un programa informático un formulario por cada zapato que se probaba, cuatro en total.

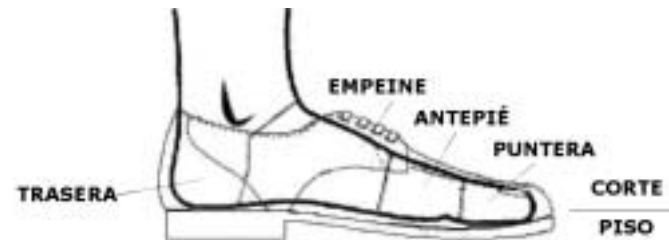


Figura 5. Aspectos importantes del calzado con influencia en el ajuste.

Los datos de evaluación subjetiva del calzado se utilizan como criterio para asignar calzado confortable a cada uno de los pies de las participantes en el estudio.

Caracterización subjetiva del usuario. Estudio de preferencias en el ajuste del calzado

En la valoración del ajuste y los requerimientos funcionales del calzado no sólo influyen las características objetivas del grupo de población al que va dirigido el producto, sino también la subjetividad de cada individuo. Una parte de los factores psicológicos involucrados en la percepción del ajuste del calzado se puede caracterizar de forma sistemática a través de las preferencias de ajuste.

Esta información fue registrada para todos los sujetos participantes en el estudio de campo. Incluyendo este tipo de información en la descripción del usuario se pretende que el algoritmo de predicción del ajuste sea más experto a la hora de asignar el calzado que mejor va a calzar al nuevo usuario.



Figura 6. Usuario probando los zapatos del estudio.

CONCLUSIONES

En cuanto a la parte técnica, se puede concluir que la predicción del ajuste del calzado a partir de las medidas antropométricas del usuario puede abordarse de forma fiable mediante técnicas de clasificación derivadas del *Reconocimiento de Formas*. La utilización de estas técnicas en el ámbito de la biomecánica puede ampliarse al estudio de otros productos: asientos, plantillas, etc.

Los datos de caracterización de la forma del pie, necesarios como entrada al sistema pueden ser adquiridos utilizando distintas técnicas. Esta peculiaridad permite que los algoritmos de clasificación puedan utilizarse tanto con sistemas tradicionales de bajo coste (cintas métricas, stick, brannock, etc.) como con escáneres 3D sofisticados que permiten obtener la forma del pie en tres dimensiones en algunos segundos y proporcionar las dimensiones del pie de forma automática sin la intervención de un experto.

En cuanto al perfil estratégico de este proyecto, cabe destacar que esta metodología permite avanzar en la línea de adaptación funcional del calzado, proporcionando al consumidor un método de ayuda a la selección del producto que se adapta a las características morfológicas particulares

de sus pies, frente a la producción en masa basada en la selección del calzado a través de la talla. Un sistema de este tipo supone una mejora y una innovación en el servicio de venta de calzado, sin embargo no implica abordar cambios en el sistema de fabricación con lo que su implementación es relativamente sencilla y económica.

Desde la perspectiva de la distribución y venta del producto, este sistema también puede implementarse en el proceso de venta por Internet. En este entorno, la ventaja radica en que mediante un conjunto de medidas objetivas del pie, el usuario puede saber a priori y sin necesidad de probarse el calzado, qué modelos del escaparate virtual le van a proporcionar un mejor ajuste y le van a resultar más confortables.

En definitiva, las características que incorpora esta nueva metodología permiten abrir nuevos modelos de negocio o líneas de producto que se ajustan mejor a las demandas de los consumidores que cada vez más, exigen productos con altas prestaciones de confort.

Por otra parte, la caracterización del cliente proporciona además, una herramienta que permite incluir al usuario en el proceso de diseño de la empresa. De esta forma se promueve también la fidelización de los clientes, transformándose el concepto tradicional del calzado, de un producto a un servicio. •

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología por la financiación del proyecto "Desarrollo de un modelo morfológico del pie para fabricación de calzado basado en técnicas avanzadas de análisis de formas" en el marco del IV Plan Nacional de Investigaciones Científicas.

Al Departamento de Sistemas Informáticos y Computación (DSIC) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) su colaboración en el desarrollo del algoritmo de clasificación.