

M. A. RODRÍGUEZ

C. AMAYA

A. LINARES

R. PAZ VICENTE

F. DÍAZ DEL RÍO

GRUPO DE ROBÓTICA
Y TECNOLOGÍA
DE COMPUTADORES APLICADA
A LA REHABILITACIÓN
FACULTAD DE INFORMÁTICA
AVDA. REINA MERCEDES, S/N
41012 SEVILLA
rodriguj@atc.us.es

PERIFÉRICOS PARA PERSONAS CON TEMBLORES INVOLUNTARIOS

LOS PERIFÉRICOS USUALES, RATÓN Y TECLADO, SON COMPLETAMENTE INÚTILES PARA USUARIOS CON DISCAPACIDADES MOTRICES TALES COMO TEMBLORES INVOLUNTARIOS: EL TECLADO POR LA CANTIDAD DE TECLAS QUE POSEE Y LO PEQUEÑAS QUE SON, QUE OBLIGA A REALIZAR PULSACIONES PRECISAS. EL RATÓN POR UN MOTIVO SIMILAR: AL SEGUIR FIELMENTE LOS MOVIMIENTOS DE LA MANO QUE LO SUJETA, EL CURSOR DEL MISMO NO PODRÁ APUNTAR A NINGÚN OBJETO CONCRETO DE LA PANTALLA SI EL USUARIO NO PUEDE CONTROLAR SUS MOVIMIENTOS.

RESUMEN

En este artículo se presenta y describe una interfaz adaptable, que puede suplir a un teclado y/o ratón estándar, para manejar un ordenador personal compatible PC bajo el sistema operativo Windows. Esta interfaz está construida usando una tableta digitalizadora estándar de tamaño A3. Diseñando plantillas parecidas a las que se encuentran en los programas de CAD, la tableta puede emular distintos tipos de teclados, y gracias al software configurable desarrollado, puede responder de forma distinta a distintos tipos de teclado. Por ejemplo, puede emular un teclado convencional o un teclado reducido con algoritmos de desambiguación tipo T9 [4]. Se describen asimismo las herramientas que se han diseñado alrededor de esta interfaz, para permitir su uso tanto a usuarios finales como a investigadores que quieran estudiar los temblores involuntarios de per-

Con entornos visuales como Windows(r) en los que existen muchos elementos seleccionables por el ratón, y muchos de ellos de pequeña superficie, el problema de la precisión se agrava. Se han desarrollado soluciones mecánicas para adaptar los teclados a los usuarios con necesidades especiales, como el licornio, coberturas especiales para las teclas, etc. [2]

El ordenador puede permitir no sólo ayudar al usuario, sino además darle todo tipo de información sobre las intenciones que el sistema detecta por parte del mismo (realimentación). Otro elemento muy importante es el estudio de los temblores: existen discapacidades que impiden manejar con soltura aparatos en los que se requiera un cierto grado de precisión. Sin embargo, es posible que esos temblores obedezcan a un patrón conocido o calculable. Para ello el sistema debe saber en todo momento la posición de la mano del usuario. Esta posición a lo largo del tiempo dibuja una figura, un patrón de temblor que puede seguir una pauta bien definida. Si el ordenador conociera tal patrón, podría corregir las imperfecciones del usuario devolviéndole la habilidad que no posee.

Algunos autores han propuestos dispositivos electromecánicos [10], para reducir mecánicamente los temblores en general [9] o en actividades específicas como comer [11], escribir [12], conducir una silla de ruedas [10], etc. Estas actividades pueden realizarse también mediante brazos robotizados controlados por el usuario [8][13], donde los brazos teooperados permiten el preprocesado de los comandos de control filtrando los efectos no deseados del temblor.



(Figura 1)

Tableta digitalizadora empleada normalmente en CAD.

Desde hace ya 10 años, el Grupo de Robótica y Tecnología de los Computadores aplicada a la Rehabilitación de la Universidad de Sevilla ha investigado, diseñado y puesto a punto una serie de



dispositivos y programas que permiten facilitar el manejo de ordenadores a usuarios con parálisis cerebral y otras minusvalías profundas [1]. En este artículo presentaremos un sistema interfaz adaptable usando como único hardware una tableta digitalizadora estándar.

El problema del diseño de interfaces hombre-máquina ha sido estudiado extensivamente tanto en el caso general [14][15][16] como en el caso de usuarios con necesidades especiales [2][5], pero las soluciones actuales están lejos de ser óptimas, al menos en lo que al tratamiento del temblor concierne. Se han realizado algunos estudios tratando diferentes aspectos específicos de las interfaces de ordenador para usuarios con temblores. Las diferentes tentativas de diseño de dispositivos de entrada de datos están concretadas en joysticks [8], joysticks con control de realimentación [16][17], ratones [12], tabletas [18][1].

El filtrado de datos normal es válido para algunas personas [16], pero las técnicas de filtrado adaptativo [17][8] pro-

ducen resultados más favorables ya que los patrones de distorsión en movimientos voluntarios pueden variar incluso en un mismo individuo. Aunque estas variaciones dependen fundamentalmente del tipo de discapacidad, hay muchos otros factores individuales en liza: medicación, fatiga, nerviosismo durante las pruebas, etc.

DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ ADAPTABLE

Se basa en el uso de una tableta digitalizadora de las empleadas normalmente en CAD (**Fig. 1**). Un cursor, dispositivo análogo a un ratón, se desliza sobre la superficie de la misma, y a través del puerto serie le va enviando su posición en cada instante. Un software especial en el ordenador recogerá las muestras, las traducirá de manera conveniente y las almacenará para su posterior estudio.

La interfaz adaptable puede funcionar de dos formas: modo *seguimiento de trayectorias* y modo de *elección de zona*.

sonas discapacitadas. Finalmente, a modo de ejemplo, se discute una sesión con la interfaz donde se analiza el comportamiento de distintos usuarios en el seguimiento de trayectorias simples.

ABSTRACT

An adaptive interface is presented on this paper, which can work as a standard keyboard or a mouse, to allow using a PC compatible computer under Windows(tm) Operating System. This interface is designed around a standard A-3 size graphics tablet. It can emulate different types of keyboards using the appropriate pattern sheet, and it can respond in different ways using configurable software developed for it. For example, it can act as a conventional keyboard (full-size keyboard) or a reduced one with a T9-like algorithm for key disambiguation. A number of tools, specially developed for this interface, are also presented, which allow its use for both end users and researchers who want to study involuntary tremor on handicapped people. Finally, a real study session with the interface is described, in which the researcher analyzes the behavior of several users trying to follow simple paths on the interface. **KEYWORDS:** Human-computer interface, adaptive interfaces, keyboard emulation, tremor filtering.

PALABRAS CLAVE

INTERFAZ HUMANO-COMPUTADOR
INTERFACES ADAPTABLES
EMULACIÓN DE TECLADOS
FILTRADO DE TEMBLORES

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un conjunto de aplicaciones para una tableta digitalizadora estándar que permite que tal interfaz sea adaptable a distintos tipos de usuarios. Para ello se han definido dos modos de trabajo, uno donde el cursor de la tableta accede a una zona concreta, y otro, donde sigue una trayectoria. Para el primer modo se ha creado una API (rutina de estrategia) que intenta adivinar la zona de la tableta solicitada por el usuario. Para trabajar con tal modo se ha creado también un generador de plantillas para la tableta, y como muestra de su utilidad se presenta la emulación de un ratón y de un teclado sobre la interfaz adaptable. Por último, la utilidad del modo de trayectorias se muestra con una serie de tests realizados por individuos que presentan temblores involuntarios. A partir de los tests se pueden obtener conclusiones de cómo desarrollar filtros para adivinar o predecir la trayectoria que quieren realizar y que es perturbada por los temblores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría podido realizarse sin la ayuda de la Confederación Española de Federaciones y Asociaciones de Atención a las Personas con Parálisis Cerebral y Afines (ASPACE <http://www.aspace.org>) y la financiación del Instituto Andaluz de Servicios Sociales (IASS <http://www.cas.junta-andalucia.es>).

“ Desde hace ya 10 años, el Grupo de Robótica y Tecnología de los Computadores aplicada a la Rehabilitación de la Universidad de Sevilla ha investigado, diseñado y puesto a punto una serie de dispositivos y programas que permiten facilitar el manejo de ordenadores a usuarios con parálisis cerebral y otras minusvalías profundas”

• MODO DE SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS

Usando este modo la tableta manda a la aplicación que la esté usando, la posición del cursor en cada instante de tiempo, además de ir almacenando en disco. Está pensado para realizar aplicaciones en las que se quiera analizar la precisión de un usuario al obligarle a seguir una trayectoria con el fin de detectar patrones de temblores o tendencias. También se pueden realizar juegos en los que el ordenador pide al usuario que siga a un punto en pantalla moviendo el cursor de la tableta y viendo como un cursor en pantalla se va moviendo siguiendo los movimientos del brazo. La utilidad del modo de trayectorias se muestra en la última sección, donde se enseñan trayectorias de usuarios reales y conclusiones de sus discapacidades.

• MODO DE ELECCIÓN DE ZONA

En este modo de funcionamiento, la superficie de la tableta está dividida en zonas. El usuario puede elegir una de esas zonas poniendo el cursor encima de ella. Estas zonas están dibujadas sobre una hoja del tamaño adecuado según la tableta, por ejemplo, A3, que constituyen una plantilla. En la implementación actual, las zonas pueden ser rectangulares o circulares, y de cualquier tamaño, pudiendo existir hasta 255 diferentes. Estas zonas serían el equivalente a las teclas de un teclado o las elecciones en un menú, actuando de la misma manera que las

plantillas en programas estándar de CAD. Por ejemplo, podemos poner dibujos de frutas en la tableta, y pedir al usuario mediante un programa que vaya señalando en la tableta la fruta cuyo nombre se muestra en pantalla.

Básicamente, los dos tipos de análisis de movimientos que se pueden realizar son:

- Control de la precisión estática: ver qué grado de precisión tiene un usuario al que se le pide que señale a un punto concreto en la tableta gráfica.
- Control de la precisión dinámica: ver con qué grado de precisión un usuario es capaz de seguir una trayectoria con el cursor de la tableta, guiada por el ordenador en la pantalla.

El objetivo de estos estudios es descubrir los tipos de temblores que un usuario padece, encontrar un patrón para ellos, y hacer que el ordenador, sabiendo ese patrón, intuya la dirección o el punto hacia el cual el usuario pretende mover el cursor.

Para realizarlos es necesario realizar programas que por una parte interactúen con el usuario, y por otra parte con la tableta. A tal fin se ha diseñado una interfaz de programación (API) que permite con poco esfuerzo desarrollar programas en el S.O. Windows para su uso con usuarios con necesidades especiales. De esta manera, las tareas de configurar la tableta gráfica, el muestreo, el almacenamiento de muestras y la detección de zonas queda a cargo de esta interfaz de programación. Los desarrolladores de

programas pueden usarla como si de un teclado o un ratón se tratase.

Uno de las componentes de este API es la llamada *rutina de estrategia*. Es la que recibe todas las muestras de coordenadas (X,Y) de movimiento del usuario en la tableta. Se encarga de determinar cuándo se considera que se ha llegado a una zona, y en tal caso, notificarlo a la aplicación de usuario. La "inteligencia" que sea capaz de desarrollar esta rutina será la que condicione la adaptabilidad de la interfaz a uno u otro tipo de usuarios. Los esfuerzos de investigación en este sentido están orientados pues, a conseguir algoritmos que sean capaces en el menor tiempo posible de predecir la zona a la que intenta dirigirse el usuario con el cursor. En este sentido son muy útiles los resultados que se pueden obtener usando la tableta en el modo de seguimiento de trayectorias, como veremos después.

HERRAMIENTAS DE APOYO A LA INTERFAZ ADAPTABLE

• GENERADOR DE PLANTILLAS

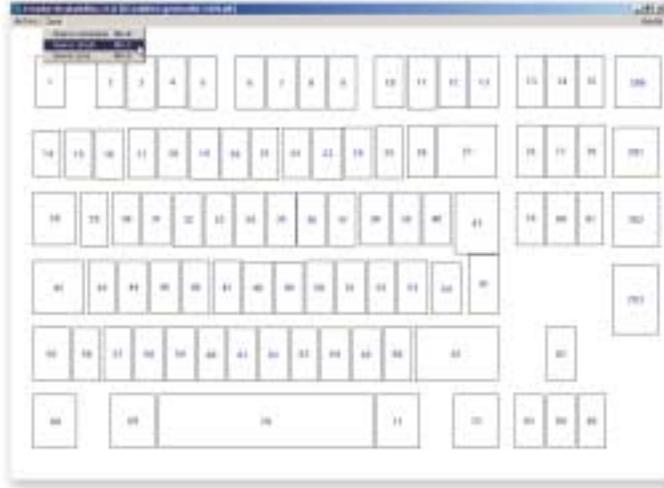
Un fichero de plantilla es un fichero ASCII que contiene la definición de las zonas y el identificador asociado a cada una. Las zonas pueden ser rectangulares o circulares. La rutina de estrategia devolverá el identificador de la zona que haya detectado como válida (valor entre 1 y 255) ó 0 si no se detectó ninguna zona válida en el tiempo asignado para el muestreo.

El generador de plantillas es un programa que nos va a simplificar la tarea de crear el fichero de plantillas, permitiendo dibujarlo en la tableta, cambiar interactivamente el identificador que corresponde a cada zona, borrar zonas, etc.

Para crear el fichero de plantilla con esta aplicación debemos tener previamente un diseño de la misma en papel, que será la plantilla que usemos en la tableta. Esta aplicación nos permite "digitalizar" la plantilla impresa y obtener una descripción en memoria de la misma, que después podemos grabar a disco con el formato que espera el API de manejo de la tableta.

(Figura 2)

Plantilla digitalizada correspondiente a la plantilla física de la Fig. 1.



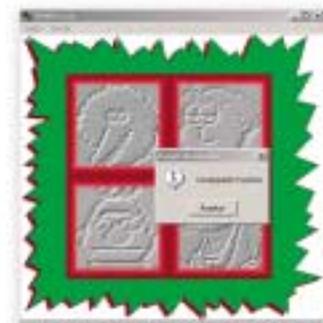
Para crear una zona, elegiremos qué tipo de zona queremos crear en el menú Zona. En ese momento, la tableta entra en modo seguimiento y un cursor en forma de cruz nos indicará en pantalla la posición que estamos apuntando en la tableta. Con la plantilla impresa colocada en la tableta procederemos a marcar los puntos importantes de dicha zona, para lo cual nos situaremos con el cursor en uno de los puntos y pulsaremos el botón primario (el más grande). Repetiremos la acción para el otro punto. Seguidamente se presentará el cuadro de diálogo de asignación de identificador, con lo cual y una vez introducido un valor, se dará por terminada la creación de la zona.

Para borrar una zona la seleccionaremos primero y elegiremos la opción Borrar del menú Zonas. Tras pedirnos confirmación se eliminará la zona de la plantilla.

• JUEGOS DE ENTRENAMIENTO

Como ejemplo, hemos escogido uno que depende exclusivamente de la memoria, no de la habilidad. La idea es hacer que el usuario no se ponga nervioso esforzándose por llegar a la zona requerida en el menor tiempo posible. En muchos discapacitados motores, el simple hecho de tener que esforzarse para llegar a una zona determinada les provoca un estado de nerviosismo que les bloquea el brazo haciendo más difícil el manejarse con soltura con la tableta.

La idea viene del popular juego de mesa electrónico Simón™. Al arrancar el juego, se presenta una ventana dividida en cuatro cuadros. Cada cuadro presenta un dibujo distinto que puede estar apagado (en tonos grises) o encendido (en color). Cada cuadro tiene además asociado un sonido.



(Figura 3)

Versión electrónica del juego Simón™.

El juego se juega en turnos, cada turno consta de dos partes: en la primera parte, el ordenador genera una secuencia de encendido aleatoria de los cuadros. Esta secuencia va aumentando con cada turno, de tal manera que en el primer turno se enciende sólo un cuadro, en el segundo se enciende ese cuadro y otro más después, en el tercero, se repite la secuencia de los dos primeros cuadros más un tercero, y así sucesivamente, añadiendo un cuadro a la secuencia anterior.

• Periféricos para Personas con Temblores Involuntarios •

En la segunda parte el jugador debe repetir la misma secuencia que generó el ordenador, en el mismo orden. Si lo hace correctamente, se gana ese turno y se prosigue con el siguiente. Obviamente en cada turno la dificultad aumenta progresivamente a medida que el jugador debe recordar una secuencia más larga.

Si durante la segunda parte del turno el jugador se equivoca el juego termina y se muestra en pantalla el número de turnos ganados. En este momento se puede empezar una nueva partida si así se desea, con una nueva secuencia aleatoria de cuadros.

La posibilidad de poder cambiar la plantilla permite al educador/investigador probar los progresos del usuario colocándole una plantilla con zonas de diferentes tamaños, y en diferentes posiciones. Se puede empezar con una plantilla que divida la superficie de la tableta en cuatro zonas ocupando cada una cuarta parte de dicha superficie, reduciendo paulatinamente el área de cada zona a medida que el alumno progresa en la destreza del manejo de la tableta.

• EMULACIÓN DE TECLADO Y RATÓN

El comportamiento de la interfaz puede suplir en muchos casos al teclado. Desde el punto de vista del desarrollador de aplicaciones, ésta emite mensajes que se procesan igual que los mensajes que produce el *driver* de teclado incluido en Windows.

Por otra parte es deseable poder aprovechar programas ya diseñados de los que no se tiene el código fuente por ser comerciales o bien no podemos modificarlos por no tener los medios para hacerlo.

Sea como fuere, al usuario final lo que le interesa es poder manejar el ordenador y usar todas sus herramientas sin tener que limitarse a las escritas especialmente para él. Esta necesidad nos ha conducido a desarrollar una herramienta denominada *emulador de teclado y ratón*.

Usando la plantilla que corresponde a la Fig. 4 tendremos acceso a dos modos

“ El comportamiento de la interfaz puede suplir en muchos casos al teclado. Desde el punto de vista del desarrollador de aplicaciones, ésta emite mensajes que se procesan igual que los mensajes que produce el driver de teclado incluido en Windows”

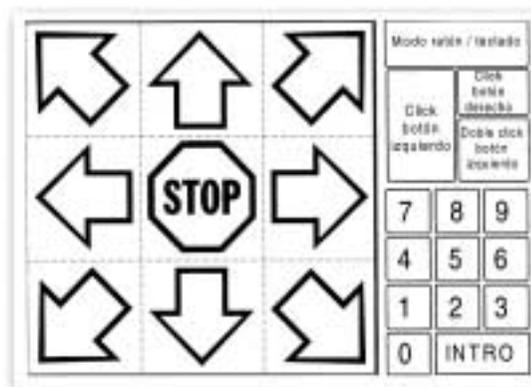
de funcionamiento del emulador: el modo ratón y el modo teclado. El teclado implementado es una versión reducida de un teclado numérico. Cambiando la rutina de estrategia dicho teclado numérico puede convertirse en un teclado reducido T9 [4].

Por otra parte, el ratón funciona como un joystick. Las ocho grandes zonas corresponden a las ocho direcciones posibles. Posicionando el cursor de la tableta en el cuadrado grande central etiquetado “Stop”, el puntero del ratón permanece inmóvil. Si se desplaza el cursor hacia una de las flechas, el cursor del ratón empieza a moverse en esa dirección, primero levemente, después más rápido, aumentando su velocidad mientras más tiempo esté el usuario con el cursor dentro del recuadro que corresponde a una dirección. En el momento en que el usuario cambia de dirección eligiendo otro recuadro, el puntero del

ratón empieza a moverse en la nueva dirección volviendo a empezar el ciclo de aumentos progresivos de velocidad.

UN CASO DE ESTUDIO: ANÁLISIS DE TEMBLORES DE USUARIO USANDO EL MODO SEGUIMIENTO DE LA INTERFAZ

Hay que recordar que existe un gran campo de investigación en el tratamiento tanto *off* como *on-line* de los movimientos de personas discapacitadas: filtros paso de baja (LPF) [2][5], métodos de eliminación de la banda donde está la frecuencia del temblor [7]; combinación lineal de Fourier (FLC) [8]; y filtros ecualizados siguiendo un criterio de rendimiento que contiene tanto información de la minimización de temblores en la salida como del confort del usuario [3], etc.



(Figura 4)

Plantilla con dos modos de funcionamiento: ratón y teclado.

• Periféricos para Personas con Temblores Involuntarios •

En esta sección presentamos los primeros resultados de pruebas realizadas con la tableta digitalizadora con objeto de analizar, y en lo posible modelar, el movimiento de diversos usuarios. Una vez realizada tal fase, el objetivo final sería desarrollar filtros y rutinas de estrategia personalizados, que permitieran que la misma tableta se pudiera sintonizarse para cada individuo [18].

En función de la tarea que debe realizar el usuario, se pueden distinguir los siguientes tests:

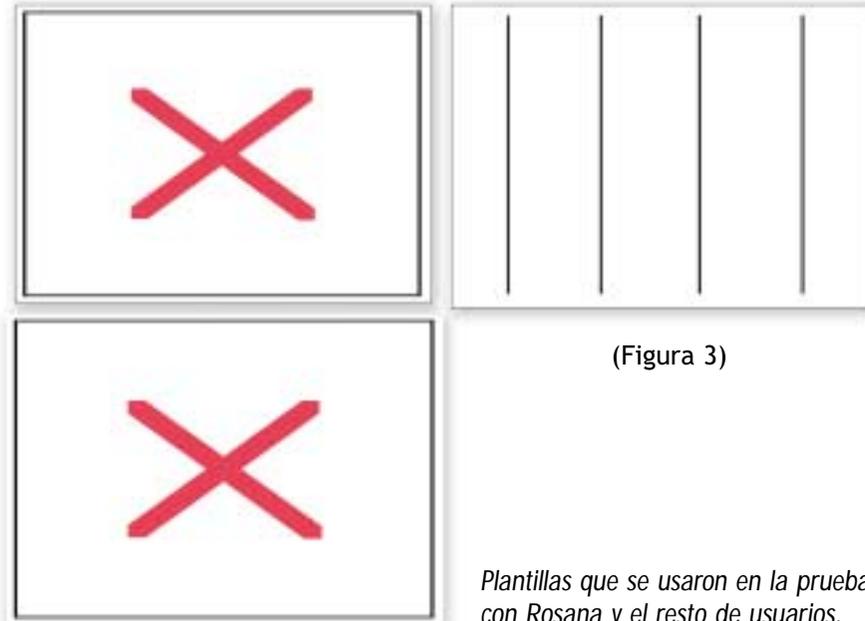
- Estacionarios, si se trata de caracterizar el temblor cuando el brazo del usuario no realiza ningún seguimiento;
- Tests punto a punto, donde se le solicita que mueva el cursor de un punto a otro, sin necesidad de seguir una trayectoria concreta;
- Tests de dibujo, es decir, se solicita que el usuario intente seguir una figura dibujada sobre la tableta.

Los tests estacionarios pueden servir como primera aproximación de la perturbación que presenta el individuo (por ejemplo precisar la frecuencia principal

del temblor en el estado de reposo) pero no permiten analizar movimientos más complejos. La caracterización de los tests punto a punto tiene una gran importancia, pues éstos son el movimiento usual cuando se eligen puntos sobre un teclado o menú. Por otra parte, el punto de destino de las mismas se aproxima a los tests

estacionarios. Por último, los tests de dibujo son los más complejos, ya que incluyen necesariamente la realimentación visual más forzada del usuario.

Tras analizar a las primeras personas, la conclusión más importante fue que la mayoría de los temblores tienen características similares, aunque procedan de



(Figura 3)

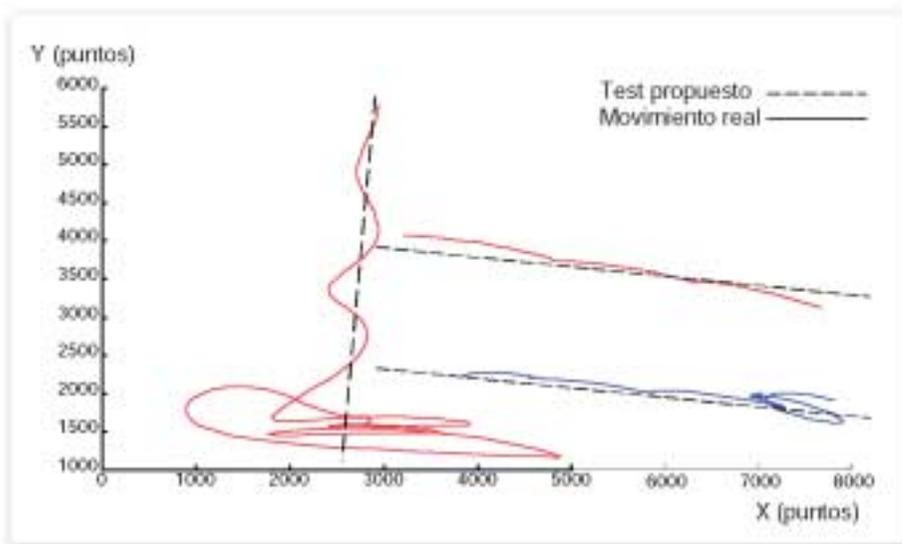
Plantillas que se usaron en la prueba con Rosana y el resto de usuarios.



• Periféricos para Personas con Temblores Involuntarios •

BIBLIOGRAFÍA

- Civit-Balcells, et al. (1999). "A System For The Analysis And Scanning Of Tremor On Handicapped People". AAATE 1999. Dusseldörf (Germany). También en "Assistive Technology on the Threshold of The New Millenium", Assistive Technology Research Series. Eds. C. Bühler and H. Knops. pp. 539-544. IOS Press, Netherlands. ISBN 1-58603-001-9. 1999.
- Cook, A. M., Hussey, S. M. (1995). "Assistive Technologies: Principles and Practice", Edit. Mosby.
- Gonzalez, Juan G. (1995). "A New Approach To Suppressing Abnormal Tremor Through Signal Equalization". PhD Thesis, University of Delaware, USA.
- Grover et al. Reduced Keyboard Disambiguationg Computer. US Patent:5.818.437. 1998.
- Lazzaro, J. J. (1995). "Adapting PCs for Disabilities", Edit. Addison-Wesley.
- Ogata, K. (1998). Modern Control Engineering. Third Edition. Prentice-Hall, Inc.
- Riviere, C. N., N.V.Thakor. (1995) "Assistive Computer Interface For Pen Input By Persons With Tremor". In Proc. RESNA International, Vancouver, BC, Canada.
- Riviere, C. N., N.V.Thakor. (May/June 1996) "Modeling and Canceling Tremor in Human-Machine Interfaces", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine.
- J. Kotovsky and M. J. Rosen, A Wearable Tremor-suppression Orthosis, Journal of Rehabilitation Research and Development 35 4 (1998), 373-387.



(Figura 6)

Seguimiento de líneas verticales y horizontales por parte de un individuo discapacitado.

patologías distintas. En general, el movimiento natural de los temblores puede ser detectado con la tableta, excepto para algunos usuarios cuyas capacidades no son las necesarias como para mantener el cursor lo suficientemente cerca de la tableta. Finalmente, también se intuye necesario que el proceso de sintonizado de los filtros y rutinas de estrategia de la interfaz tenga una componente individualizada.

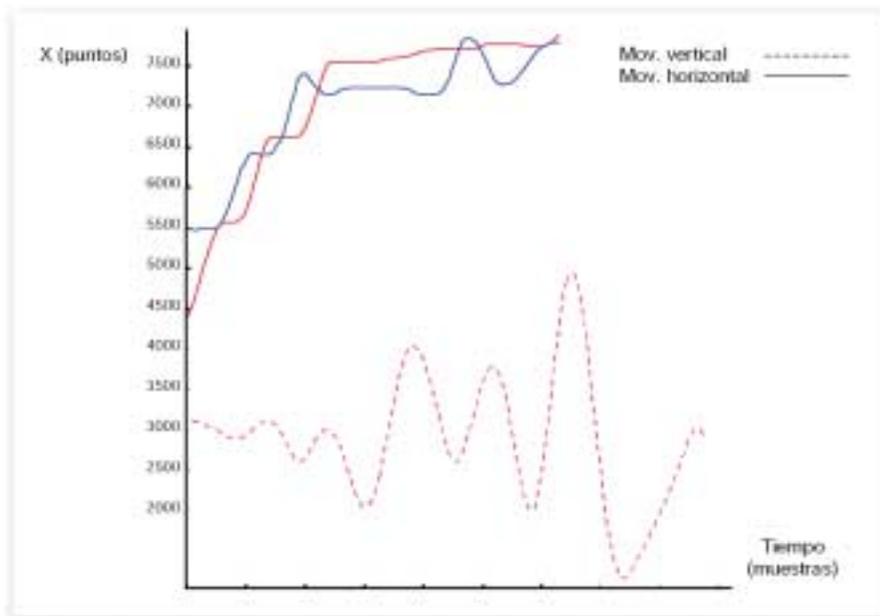
A continuación se detallará el caso de Rosana, especificando además otras conclusiones más precisas obtenidas tras el análisis. Se mostrarán algunos tests de dibujo, ya que de ellos se han obtenido las conclusiones más importantes. Rosana es una mujer de 28 años que presenta una parálisis cerebral atetósica. Su sintomatología incluye temblores en ambos brazos bastante bien definidos sobre un eje.

Los tests consistieron en seguir distintas líneas: horizontales situadas a distinta altura, y verticales situadas en distintas posiciones usando para ello una aplicación muy simple basada en el modo seguimiento de la interfaz.

En casi todos ellos, se observa a simple vista que el movimiento de su brazo está perturbado por una oscilación involuntaria de baja frecuencia más o menos constante (tal oscilación toma distintas direcciones según la persona). Por otra parte, es evidente que, cuando un sujeto

realiza un test de dibujo, tiene que realizar un esfuerzo considerable para contrarrestar o cancelar el movimiento involuntario. Este esfuerzo, junto a la tensión en que algunos individuos se encuentran (no pueden dejar de considerar el test como un reto a sus habilidades), les conduce a un estado de nerviosismo y fatiga, que además agrava otro tipo de patologías asociadas a su disfunción como por ejemplo dificultad en la respiración (si tienen asma). Consecuencia de todo esto, se suele observar dos pautas. La primera es avanzar sobre la línea dibujada en la plantilla algunos centímetros en un movimiento desigual, hasta que el cansancio o nerviosismo acumulado obligan a relajar el brazo, presentándose entonces la oscilación natural, (incluso a veces, un retroceso en el avance del cursor sobre la línea). La segunda es bien distinta: avanzar un cierto trecho sobre la línea empujando el cursor, y tras tal trecho detener con bastante firmeza en un punto retomando fuerzas para avanzar otro trecho.

Analizando los resultados de estos tests se observa muy claramente la dependencia del temblor con la posición (coordenadas X, Y de la tableta). Un ejemplo muy claro lo tenemos en Rosana para cualquier seguimiento de una línea vertical. En la Fig. 6 se observa el



(Figura 7)

Coordenadas X frente al tiempo para el seguimiento de líneas de la Fig. 6.

resultado del seguimiento de una línea vertical y de dos horizontales. Nótese como en la zona superior de la tableta Rosana consigue dominar con más precisión el cursor, mientras que en la parte inferior, debido a la flexión del brazo los movimientos son más descontrolados.

A pesar de la dependencia del temblor con la altura, en un simple análisis visual de las coordenadas X, se comprueba que el periodo fundamental del temblor es siempre similar, mientras que la amplitud de la vibración es la que varía, siendo claramente mayor en la parte inferior de la tableta, donde el control de Rosana es peor.

Por otra parte, hay que notar que estos seguimientos fueron realizados por Rosana a tramos, lo cual induce a pensar que ella intentaba en cada tramo mover el cursor y controlar la vibración asociada a su brazo hasta reducirla al mínimo. Esto se hace patente si se representan las coordenadas X frente al tiempo (Fig. 7). De esa forma, podemos intuir que para cada tramo, Rosana empezaba a mover el brazo cuando el sentido de la vibración coincidía con el avance deseado (es decir ella enganchaba la fase de la vibración para aprovechar su amplitud), y si la duración del tramo superaba el semiperiodo del temblor, entonces el sentido de éste

cambiaba (se hacía contrario al avance deseado) y por tanto le era necesario un esfuerzo superior para controlar el temblor, produciéndose las sobreoscilaciones que se observan en los tramos de más duración (más acusables en el seguimiento de la línea horizontal inferior, ya que el control de ella es peor allí).

Sin embargo, en el seguimiento de líneas verticales (Fig. 6), Rosana no podía acogerse al truco de avanzar a tramos, pues las direcciones de la recta deseada y de la vibración son casi perpendiculares. Además el esfuerzo por controlar el movimiento vertical, tal vez le llevaban a desatender el control del movimiento horizontal, produciéndose los temblores tan visibles en la parte inferior del seguimiento de la línea vertical.

En conclusión se mezclan dos acciones: si el dibujo a seguir es paralelo al temblor se superpone al temblor incontrolable, el movimiento deseado del brazo; mientras que si el dibujo es perpendicular, la acción voluntaria se puede modelar como una modulación del temblor. Además, la modulación del temblor realizada por el cerebro en el complejo proceso de la realimentación podría servir como base para perfeccionar la rutina de estrategia y adivinar la intención del usuario con mayor precisión y rapidez.

• M.J. Rosen, A. S. Arnold, I.J. Baiges, M. L. Aisen, S. R. Eglowstein, Design of a controlled dissipation orthosis (CEDO) for functional suppression of intention tremors, *Journal of Rehabilitation Research and Development* 32 (1995).

• J. Michaelis, Introducing the neater_eater, *Action Research: The Magazine of the National Fund for Research into Crippling Diseases* 6-1 (1988).

• D.S. Hsu, Assistive Control in Using Computer Devices for Those with Pathological Tremor, *Rehab R&D Progress Report* (1996).

• M. Whittaker, Handy1 Robotic Aid to Eating: A Study in Social Impact, *Proc. RESNA Int. Conf.* (1992).

• A. Dix, J. Finlay, G. Abowd, R. Beale, *Human-Computer Interaction*, Edit. Prentice Hall (1998).

• C. Faulkner, *The Essence of Human-Computer Interaction*, Edit. Prentice Hall (1995).

• P. O. Riley and M. J. Rosen, Evaluating manual control devices for those with tremor disability, *Journal of Rehabilitation Research and Development* 24-2 (1987).

• J. G. Gonzalez, E.A. Heredia, T. Rahman, K.E. Barner, K. Basu, G.R. Arce, A new approach to suppressing abnormal tremor through signal equalization, *Proc. RESNA Int. Conf., Canada* (1995).

• R.J. Elble, R. Sinha, C. Higgins, Quantification of tremor with a digitising tablet, *Journal of Neuroscience Methods* 32 (1990) 193-198.