

• Proyecto TetraNauta •

DANIEL CAGIGAS MUÑIZ

JULIO ABASCAL GONZÁLEZ

NESTOR GARAY VITORIA

LUIS GARDEAZABAL MONTÓN

LABORATORIO DE INTERACCIÓN
PERSONA-COMPUTADOR

PARA NECESIDADES ESPECIALES

FACULTAD DE INFORMÁTICA

UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO

EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA

MANUEL LARDIZABAL 1. E-20018

DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN

TELÉFONO: +34 943 018067

FAX: +34 943 219306

{acbcamud,julio,nestor,luisg}@si.ehu.es



El objetivo del sistema TetraNauta es la creación de un sistema de ayuda a la navegación que permita a un usuario de una silla de ruedas ir de un punto a otro dentro de un entorno estructurado cerrado.

PROYECTO TETRANAUTA

(SUBVENCIONADO
POR EL IMSERSO)

EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE AYUDA A LA NAVEGACIÓN DE SILLAS DE RUEDAS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA HA SIDO UNA CONSTANTE A LO LARGO DE LA HISTORIA DE ESTE TIPO DE VEHÍCULOS

RESUMEN

El presente trabajo trata del diseño de la interfaz de usuario para el sistema de navegación asistida de una silla de ruedas de tracción eléctrica dentro del entorno TetraNauta. El diseño se ajusta a las restricciones impuestas por las características del sistema (móvil, empotrado, de tamaño reducido y de bajo coste económico), de los usuarios (personas con severas restricciones motoras y, a veces, sensoriales) y de la tarea (manejar un mapa de un entorno estructurado extenso para la planificación de rutas). Por otro lado, se plantea la necesidad de que la interfaz sea adaptable al usuario de manera que, además de adecuarse a sus necesidades y preferencias, le permita el aprendizaje progresivo. El objetivo final es que el usuario vaya asumiendo más funciones y actividades para lograr así una rehabilitación más completa.

La mayor parte de esos sistemas prestan más atención a las funcionalidades aportadas a la navegación que a la interfaz de usuario. De este modo, las interfaces utilizadas en las sillas de ruedas autónomas frecuentemente son o bien dispositivos sofisticados y caros, tales como ordenadores portátiles, claramente infrutilizados, o bien dispositivos poco usables, muy enfocados y especializados a la tarea concreta de navegación que se quiere implementar. Por ello, se plantea la necesidad de diseñar interfaces enfocadas a la navegación autónoma de una silla de ruedas

de tracción con el fin de que dichas interfaces sean más adecuadas y usables y que permitan una mejor integración con los dispositivos de entrada/salida estándar que estas sillas llevan incorporados. Además, estas interfaces han de permitir cumplir una tarea rehabilitadora que en los sistemas que aparecen en la bibliografía no ha sido tomada en cuenta hasta la fecha.

La interfaz que se va a describir en los próximos apartados está basada en el proyecto TetraNauta (un sistema de navegación asistida para sillas de ruedas) [2], aunque es fácilmente extensible a otros sistemas de navegación en

“ La interfaz hace un seguimiento personalizado del usuario, que incluye sus preferencias, habilidades y su nivel de aprendizaje/progreso. Esto, unido a la posibilidad de configuración de la interfaz (colores, formato,...) permite adecuar el sistema a los requisitos impuestos por los usuarios o sus asistentes (terapeutas, familia, etc.)”

entornos estructurados no necesariamente vinculados a la tecnología de la rehabilitación tales como grandes superficies comerciales, aeropuertos, minas, etc.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El objetivo principal del sistema TetraNauta es la creación de un sistema de ayuda a la navegación que permita a un usuario de una silla de ruedas ir de un punto a otro dentro de un entorno estructurado cerrado (hospital, centro de día, hogar...) con el mínimo esfuerzo físico y cognitivo. En los próximos apartados se describe de forma resumida el sistema de navegación en su conjunto; para un mayor detalle sobre el sistema TetraNauta, se sugiere la lectura de [3] y [4].

• ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En la arquitectura del sistema TetraNauta las partes más importantes son el módulo de control y el de planificación de trayectorias (ver figura 1). A su vez, ambos se descomponen en varios submódulos interconectados entre sí y que se encargan de realizar diversas funciones. El módulo de control se encarga de seguir balizas, procesar las señales externas recibidas por los sensores (principalmente balizas externas) e interactuar con los motores. Por su parte, el módulo de planificación de trayectorias se

encarga de generar trayectorias entre un origen y un destino, buscar trayectorias alternativas y garantizar la seguridad del usuario (evitación de obstáculos y coordinación del tráfico entre diferentes sillas). El sistema TetraNauta se integra como un módulo más dentro del bus DX (una versión especial para sillas de ruedas del bus CAN) y que es en la actualidad un estándar *de facto* en el ámbito de las sillas de ruedas de tracción eléctrica (lo que elimina la necesidad de intervenir en los dispositivos motores y de control originales de la silla).

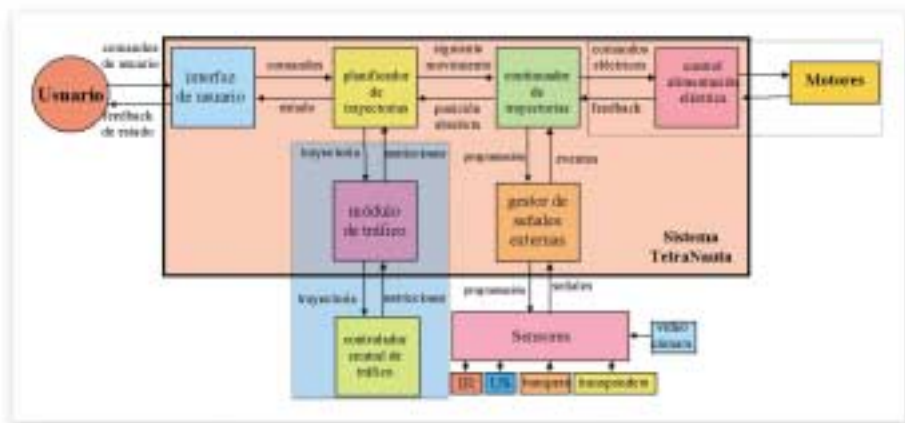
• ENTORNO DE NAVEGACIÓN Y SU ABSTRACCIÓN/MODELADO

Las sillas de ruedas TetraNauta se mueven en un entorno cerrado estructurado (concretamente las pruebas se han hecho en un hospital de cuatro plantas).

ABSTRACT

This paper focuses on the design of the user interface for an > assistive navigation system used to control electric powered wheelchairs within the TetraNauta environment. The design is driven by the restrictions imposed by the system characteristics (mobile, embedded, low-sized and very cheap), those imposed by the type of users (people with severe motor and, maybe, sensorial disabilities) and those imposed by the task itself (to manage the map of an extensive structured environment for route planning). A remarkable feature is that the interface adapts itself to the user so, on top of the advantages of adjusting to his or her needs and preferences, progressive learning can be achieved. The last goal is the user to assume as much functions and activities as he or she can, in order to achieve a better rehabilitation.

(Figura 1) *Arquitectura de TetraNauta*



• Proyecto TetraNauta •

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha descrito y analizado una interfaz de usuario para sillas de ruedas autónomas. Se ha dado a conocer cómo es posible integrar una interfaz de usuario que maneje un gran conjunto de información en una silla de ruedas estándar sin por ello tener que realizar complicados o costosos cambios en la arquitectura original. Además, se ha mostrado cómo se puede crear una interfaz que no sólo cumpla con sus funciones de asistencia a la navegación, sino que sea también razonablemente usable. A este último aspecto hay que añadir que se puede conseguir que un sistema de ayuda a personas con severas discapacidades motrices sea también rehabilitador. Por último, cabe indicar que funciones de seguimiento de los progresos de los usuarios y sistemas tutores y de ayuda al aprendizaje son fácilmente adaptables al sistema de navegación de una silla de ruedas eléctrica sin muchas dificultades en su ejecución.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por medio del contrato TER96-2056-C02-02 a cargo del Proyecto Integrado de Tecnología de la Rehabilitación (PITER), subvencionado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y el Instituto de Migraciones y Servicios Sociales (IMSERSO). Asimismo, Daniel Cagigas ha disfrutado de una beca de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) de Formación predoctoral de Personal Investigador en el periodo 1997-2001.

El sistema usa mapas para planificar y supervisar las trayectorias.

Cabe indicar que las sillas de ruedas eléctricas pueden verse como ejemplo de los vehículos guiados automáticamente (Automated Guided Vehicles o AGVs) en el campo de la robótica móvil. Por ello, como ocurre con los robots móviles, los mapas que se utilizan son de los siguientes tipos: métricos y topológicos. Los primeros dividen el espacio en celdas (generalmente cuadrangulares) y las etiquetan en función de si representan espacio libre de obstáculos o no. Los segundos están basados en grafos y representan los espacios libres mediante nodos y arcos a lo largo de los cuales no existe ningún obstáculo.

Debido a que el módulo de control de TetraNauta se basa en el seguimiento de balizas o marcas, el sistema de navegación tiene que hacer uso de mapas topológicos (grafos). Para darle una mayor generalidad, se utiliza un mapa multinivel. De este modo, el sistema de navegación puede generar trayectorias entre puntos (nodos en el grafo) en distintas plantas del edificio. La gran cantidad de información que ha de manejar el planificador de trayectorias con el fin de obtener la trayectoria óptima entre dos nodos hace que el mapa global haya de ser descompuesto en varios submapas formando entre sí una jerarquía de mapas en forma de árbol n-ario. La búsqueda de trayectorias óptimas en estas estructuras se realiza mediante algoritmos basados en el A* y tablas de rutas precalculadas que aceleran los cálculos [3].

LA INTERFAZ DE USUARIO

En los 10 últimos años se ha producido una gran expansión de dispositivos electrónicos portátiles que han puesto en evidencia problemas de usabilidad que en otros sistemas habían pasado inadvertidos. Debido a ello, el interés por las interfaces más apropiadas a estos nuevos dispositivos ha ido en

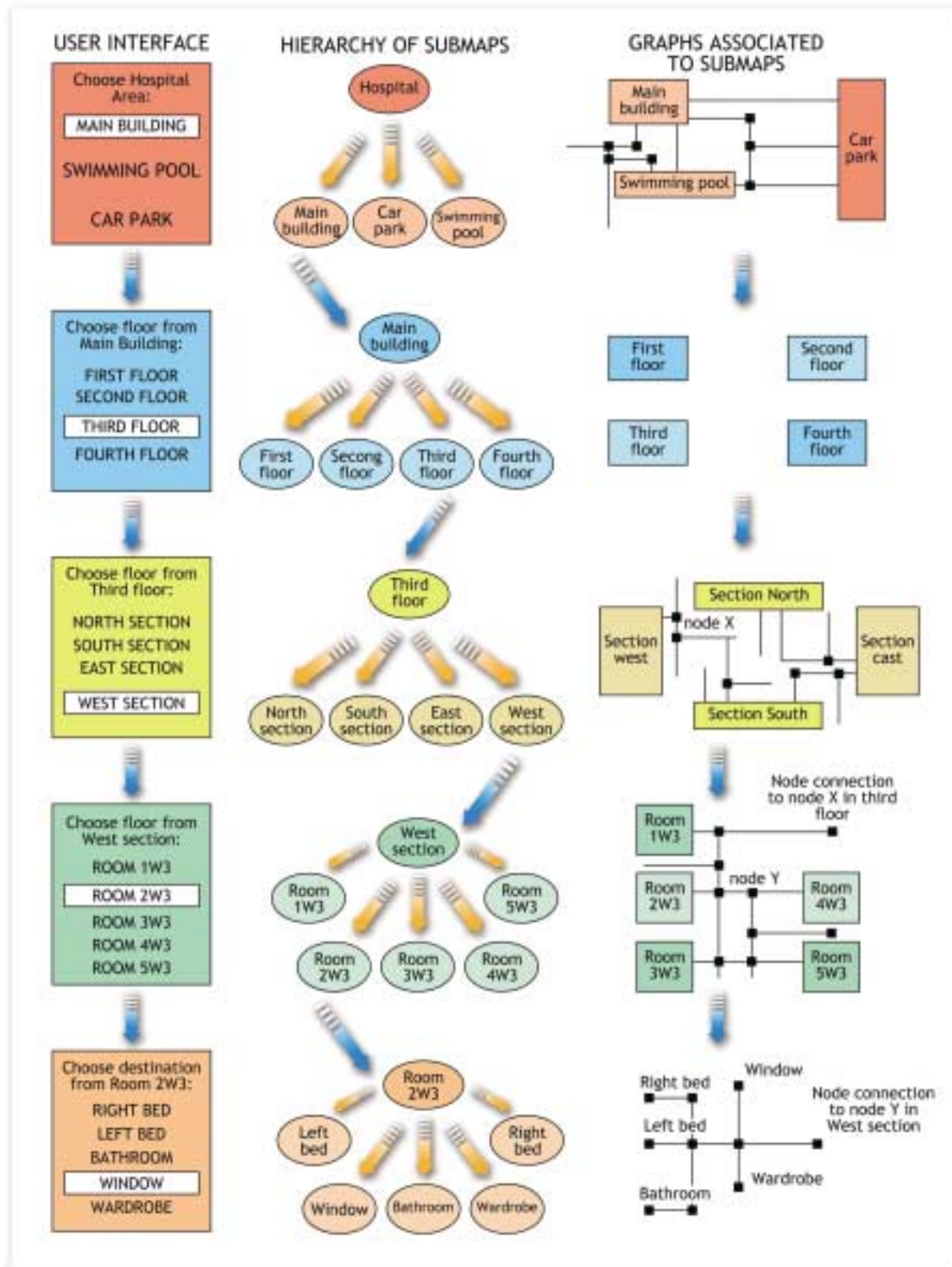
aumento. Pier et al, por ejemplo, analizan los problemas que tienen los displays pequeños y proponen métodos para abordar estas dificultades [5]. [6] estudia los requisitos de usabilidad de los denominados wearable computers (dispositivos informáticos que interactúan con el usuario de manera más próxima a través de la ropa o el calzado por ejemplo). Landay et al. destacan acertadamente que, aunque muchas de las aplicaciones que se utilizan en entornos no móviles sean útiles y deseables en entornos móviles, no ocurre lo mismo con la interfaz o el sistema de interacción [7]. Otro aspecto interesante es el que hace referencia a la necesidad de considerar todos los aspectos presentes en la interacción con el dispositivo en el entorno de trabajo; según Rodden et al., es necesario tener muy en cuenta el contexto en el que se va a utilizar el dispositivo móvil [8]. Este último aspecto ha sido clave en la interfaz que se propone en este artículo.

En los siguientes apartados se plantea una solución para una interfaz de usuario de una silla de ruedas teniendo en cuenta estudios anteriormente realizados en el campo de los dispositivos móviles.

• NECESIDADES Y PROBLEMAS DE DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO

El usuario de TetraNauta tiene importantes limitaciones motoras, lo que le impide usar teclados normales, pantallas táctiles y dispositivos apuntadores que requieran gran precisión motora. Usualmente utiliza joystick o dispositivos de entrada equivalentes (mouthsticks, headsticks, etc.).

El principal problema de diseño es, sin duda, la necesidad de visualizar gran cantidad de información gráfica (en nuestro caso, un mapa con infinidad de puntos que pueden ser orígenes y destinos). Si se muestra simultáneamente, esta gran cantidad de información puede llegar a abrumar y confundir al usuario. Por ello, se ha de diseñar una interfaz junto con una estrategia de presentación de la informa-



(Figura 3)

Ejemplo de selección de un nodo destino en un display de 8 filas y 16 columnas mediante barrido o utilización del joystick de la silla de ruedas, teniendo en cuenta la jerarquía de los mapas.

• Proyecto TetraNauta •

BIBLIOGRAFÍA

- G. Bourhis, P. Pino.
Mobile Robotics and Mobility Assistance for People with Motor Impairments: Rational Justification for the Vahm Project. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering. Vol. 4. N. 1. 1996.

- J. Abascal, D. Cagigas, N. Garay, L. Gardezabal.
Interfacing Users with Severe Mobility Restrictions with a Semi-Automatically Guided Wheelchair.
ACM Press. SIGCAPH. N.63. 1999.

- D. Cagigas.
Un Sistema Eficiente de Planificación de Trayectorias en Entornos Cerrados Grandes para Robots Móviles y Sistemas AGV (Automated Guided Vehicles). Tesis Doctoral de la Universidad del País Vasco. 2001.

- S. Vicente.
Una Aportación al Guiado de Sillas de Ruedas Eléctricas en Entornos Estructurados. Tesis Doctoral de la Universidad de Sevilla. 2001.

- K. Pier, J. A. Landay.
Issues for Proximate User Interfaces. <http://www-2.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/user/landay/pub/www/research/publications/proximate.ps>. 1993.

- R. Toub.
The importance of Usability Studies and Experimental Design Evaluations for Wearable Computers. Workshop on Wearable Computer Systems, Seattle, August 19-21, 1996.

- J. A. Landay, T. R. Kaufmann.
User Interface Issues in Mobile Computing. Proceedings of the

“ El objetivo principal del sistema TetraNauta es la creación de un sistema de ayuda a la navegación que permita a un usuario de una silla de ruedas ir de un punto a otro dentro de un entorno estructurado cerrado (hospital, centro de día, hogar...) con el mínimo esfuerzo físico y cognitivo”

ción que permitan al usuario hacer las selecciones de orígenes y destinos de la manera más rápida y sencilla posible.

Además, la interfaz debe ser adaptativa y “rehabilitadora”. El sistema de navegación es capaz de llevar de un punto a otro al usuario sin intervención alguna por parte de éste. Sin embargo, desde el punto de vista de la rehabilitación resulta interesante que el usuario participe lo más activamente posible. Por tanto, el sistema debe adaptarse a las capacidades propias del usuario y permitirle intervenir en el guiado tanto como pueda.

La interfaz hace un seguimiento personalizado del usuario, que incluye sus preferencias, habilidades y su nivel de aprendizaje/progreso. Esto, unido a la posibilidad de configuración de la interfaz (colores, formato,...) permite adecuar el sistema a los requisitos impuestos por los usuarios o sus asistentes (terapeutas, familia, etc.) [9].

Además, la interfaz ha de ser de bajo coste económico y fácilmente integrable en una silla de ruedas estándar. Así, el objetivo es garantizar la seguridad, eficiencia y viabilidad económica de la solución obtenida sin disminuir la usabilidad y el buen diseño de la interfaz de usuario [10].

• LA INTERFAZ PROPUESTA

El diseño de la interfaz se puede dividir en dos partes bien diferenciadas. Por un lado está la interfaz física y por otro la interfaz cognitiva. La interfaz física es bastante sencilla (display integrado con otros dispositivos estándares de la silla)

y simplemente proporciona las funcionalidades necesarias para conseguir una comunicación eficaz. Por otro lado, está la interfaz cognitiva que ha de realizar diversas funciones que comprenden el manejo de información compleja y abundante, la adaptación a las necesidades del usuario y proporciona además capacidades rehabilitadoras al dejar que sea el usuario quien participe activamente en el seguimiento de una ruta.

Concretamente, la solución que se propone integra un *display* como sistema de salida, directamente conectado mediante una conexión estándar RS232 al computador que controla el sistema de navegación. El sistema de entrada es el estándar de la silla de ruedas (*joystick* o dispositivo equivalente) que es el que utiliza el usuario para el guiado. La interfaz permite seleccionar cualquier punto de origen o destino en el mapa que maneja el sistema de navegación, mediante menús y submenús. Además permite pasar a modo manual (uso normal de una silla de ruedas eléctrica), buscar la baliza más próxima, seleccionar un nodo destino u origen de una lista de destinos favoritos (lugares más frecuentemente visitados) y configurar la propia interfaz.

La opción de configuración está pensada para cambiar parámetros tales como la velocidad de barrido de la interfaz o añadir o borrar destinos favoritos. También se contempla la posibilidad de dejar que el usuario utilice un sistema de barrido o haga la selección de los menús a través del *joystick*. Al *joystick* hay sumar

como dispositivos de entrada los switches (botones/interruptores) que suelen acompañar a los dispositivos de control de las silla de ruedas. Si no se dispone de ninguno de estos switches, un pulsador conectado a otra salida RS232 del computador puede valer. En el caso de sillas que hacen uso del bus DX, el filtrado de las señales tanto del joystick como de los switches se puede hacer fácilmente sin tener que alterar la arquitectura estándar de la silla.

Respecto de la interfaz cognitiva, habría que destacar que los puntos de destino pueden ser, como se ha dicho, seleccionados de una manera intuitiva a través de menús jerárquicos. Un menú muestra las distintas zonas o regiones que se pueden visitar en un determinado escenario. La selección de una opción en un menú conduce a la aparición de menús encadenados hasta seleccionar el punto destino deseado en el nivel más bajo de la jerarquía. Como se verá posteriormente más en detalle, se puede apreciar que la interfaz de muchos teléfonos móviles constituye un buen ejemplo de este tipo de menús. En la figura 2 se puede ver un ejemplo de selección de un punto de destino a través de los menús de un display, teniendo en cuenta la jerarquía de menús. En general, el sistema de navegación no necesita obtener el punto de origen desde el cual se empieza la trayectoria ya que lo puede detectar mediante la utilización de las balizas colocadas a lo largo del entorno de trabajo. En concreto, el prototipo actual de TetraNauta, en el cual se basa este estudio, utiliza balizado pasivo (mediante *Transponders*) al nivel del suelo.

En cuanto a la función de interacción con el sistema de navegación, de cara a conseguir una rehabilitación más completa del usuario, la solución propuesta es similar a la de la selección de puntos de origen y destino. Una vez definidos el punto de origen y el de destino, se calcula la trayectoria entre ambos. En el display se muestran todos los posibles movimientos de la silla, resaltándose el mejor movimiento para la silla antes de

llegar al siguiente giro. El usuario podrá seleccionar el movimiento propuesto u otro, por medio de un sistema de barrido o el joystick. En el supuesto de que el usuario seleccione otro movimiento alternativo al propuesto, rápidamente se le propone otra trayectoria alternativa con nuevos movimientos. Todos estos incidentes son recogidos por el sistema de cara a realizar un modelado personalizado del usuario en el que se vayan recogiendo datos sobre, por ejemplo, su nivel de aprendizaje o sus preferencias.

Hay que destacar también que el sistema de navegación a través de menús presenta los mismos problemas que se han detectado en dispositivos de telecomunicación portátiles basados en tecnología WAP. Principalmente, el tiempo de acceso a la información es excesivo. Además, este tiempo no mejora sustancialmente con el uso y el aprendizaje. Como consecuencia, el usuario puede tender a reducir su utilización. Una alternativa al uso de menús encadenados puede ser un teclado virtual en el display mediante el cual el usuario escribe los puntos de origen y/o destino, aunque esto, claro está, depende de las capacidades del usuario.

Fourth Workshop on Workstation Operating Systems, Napa, CA, October 1993.

• T. Rodden, K. Chervest, N.I. Davies.

Exploiting Context in HCI Design for Mobile Systems.

First Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices. Department of Computer Science, University of Glasgow, Scotland, 21-23rd May 1998.

• C. Johnson.

A Case Study in Function Allocation for Computer Aided Learning in a Complex Organisation.

People and Computers XIV: Proceedings of HCI 2000.

• S. Jones and C. Johnson.

Papers From A Workshop On User Centred Requirements Engineering: Integrating Methods From Software Engineering And Human Computer Interaction.

GITS technical report, September 1996.

