

Interfaz de usuario para un sistema móvil de ayuda a la navegación de sillas de ruedas autónomas en entornos estructurados

D. Cagigas, J. Abascal, N. Garay, L. Gardezabal

Laboratorio de Interacción Persona-Computador para Necesidades Especiales
Facultad de Informática. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea
Manuel Lardizabal 1. 20018. Donostia-San Sebastián
Teléfono: +34 943 018067, Fax: +34 943 219306
[acbcamud,julio,nestor,luisg]@si.ehu.es

Resumen. Este trabajo trata los problemas asociados al diseño de la interfaz de usuario del 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 (manejo 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.

1. Introducción

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 [1]. 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 de navegación en concreto 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 que sean más adecuadas y usables y que permitan una mejor integración con los dispositivos de entrada/salida estándar que estas sillas llevan incorporados. Dichas

* El proyecto TetraNauta ha sido parcialmente subvencionado por la CICYT (TER96-2056-C02-02) y el Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, dentro del Proyecto Integrado de Tecnología de la Rehabilitación (PITER).

interfaces han de permitir además cumplir una tarea rehabilitadora que en los sistemas que aparecen en la bibliografía hasta el momento no ha sido tenida en cuenta.

La interfaz que se va a describir en los próximos apartados está basada en el proyecto TetraNauta [2] (un sistema de navegación asistida para sillas de ruedas) aunque es fácilmente extensible a otros sistemas de navegación en entornos estructurados no necesariamente vinculados a la tecnología de la rehabilitación tales como grandes superficies comerciales, aeropuertos, etc.

2. 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.

2.1. Arquitectura del sistema

En la arquitectura del sistema TetraNauta las partes más importantes son el módulo de control y el de planificación de trayectorias. Ambos se descomponen a su vez en varios sub-módulos interconectados entre sí y que están encargados 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).

2.2. 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). El sistema usa mapas para planificar y supervisar a trayectoria. Los robots móviles utilizan dos tipos de mapas: métricos y topológicos. Los primeros dividen el espacio en celdas (generalmente cuadrangulares) etiquetándolas 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 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 los 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. [3], por ejemplo, analizan los problemas que tienen los *displays* pequeños y proponen métodos para abordar estas dificultades. Toub [4] 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. [5] 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. 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. [6], es necesario tener muy en cuenta el contexto en el que se va a utilizar el dispositivo móvil. 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.

3.1 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 utilizan *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 información 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 la capacidad del usuario y permitirle intervenir en el guiado tanto como pueda.

La interfaz hace un seguimiento personalizado del usuario, que incluye sus preferencias, gustos y su nivel de aprendizaje/progreso. Esto, unido a la posibilidad de configuración de la interfaz (colores, formato,...) permite adecuar el sistema [7] a los requisitos impuestos por los usuarios o sus asistentes (terapeutas, familia, etc.).

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 sin disminuir la usabilidad [8] y el buen diseño de la interfaz de usuario.

3.2 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 el que participe activamente en seguir de una ruta.

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 la silla de ruedas (en el caso de no llegar a disponer 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 (la interfaz de muchos teléfonos móviles constituye un buen ejemplo de este tipo de menús). En la figura 1 se puede ver un ejemplo de selección de un punto de destino a través de los menús de un *display*. El sistema de navegación no necesita obtener el punto de origen desde el cual se empieza la trayectoria ya que lo detecta 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 (concretamente, mediante *Transponders*) situado en el suelo.

Una posibilidad es que el módulo de seguimiento de trayectorias defina la trayectoria a seguir desde el origen al destino seleccionado e indique al usuario los giros y pasos a realizar en cada cruce por el que circula la silla. Así, es el propio usuario el que decide el próximo movimiento a efectuar por la silla. Si decide conducir la silla por otro camino, el módulo de planificación de rutas propone una nueva trayectoria y le va sugiriendo nuevas acciones basadas en ella, como se verá más en detalle en un apartado posterior.

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. Como ya se ha indicado anteriormente, es el usuario entonces el que ha de seleccionar el movimiento propuesto u otro. Nuevamente se podrá elegir entre utilizar un sistema de barrido o el *joystick*. En el supuesto caso de que el usuario seleccione otro movimiento alternativo al propuesto, rápidamente se le propone otra trayectoria alternativa con nuevos movimientos. En la figura 2 se muestra un ejemplo de esta funcionalidad. 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.

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 podría ser un teclado virtual en el *display* mediante el cual el usuario escribiría los puntos de origen y/o destino.

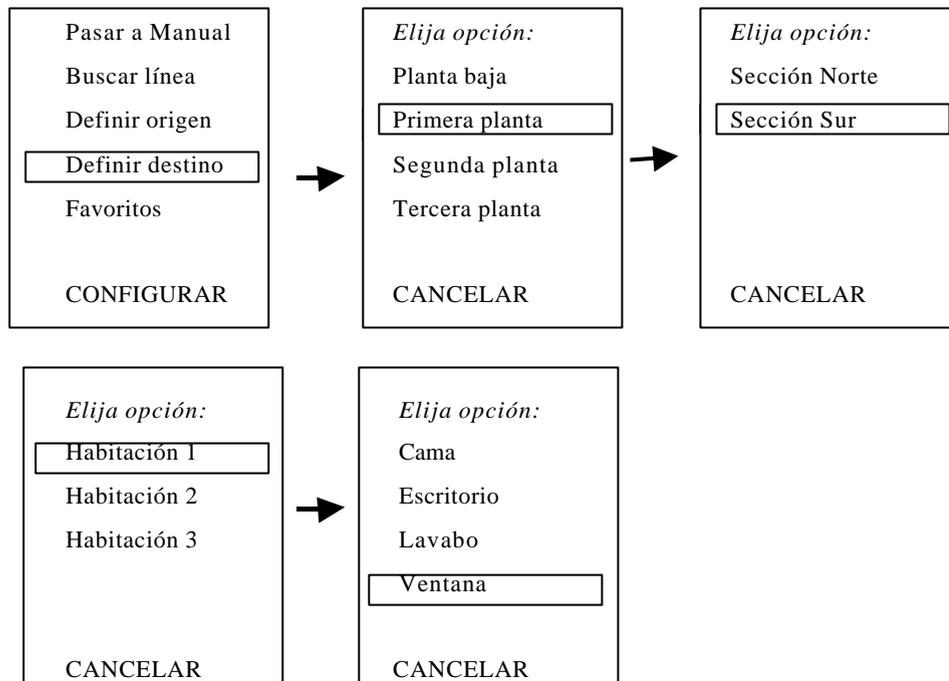


Fig. 1. Ejemplo de selección de un nodo destino en un *display* de 8 filas y 16 columnas mediante barrido o utilización del *joystick* de la silla de ruedas. Los textos en cursiva se supone que no son seleccionables.

4. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha descrito y analizado una interfaz de usuario para sillas de ruedas autónomas. Se ha visto 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 visto 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. 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.

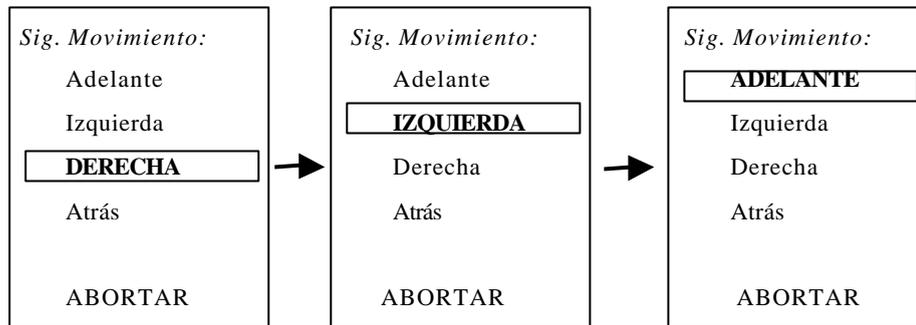


Fig. 2. Ejemplo de interacción del usuario con el sistema de navegación de la silla. En los dos primeros pasos del ejemplo el usuario selecciona mediante barrido o el *joystick* el siguiente movimiento aconsejado por el sistema de navegación. En el último paso debido a un error o de forma intencionada el usuario escoge otro movimiento al aconsejado.

Referencias

- [1]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.
- [2]J. Abascal, D. Cagigas, N. Garay, L. Gardeazabal. Interfacing Users with Severe Mobility Restrictions with a Semi-Automatically Guided Wheelchair. ACM Press. SIGCAPH. N.63. 1999.
- [3]Ken Pier, James A. Landay. Issues for Proximate User Interfaces. Unpublished. 1993.
- [4]Ronald Toub. The importance of Usability Studies and Experimental Design Evaluations for Wearable Computers. Workshop on Wearable Computer Systems, Seattle, August 19-21, 1996.
- [5]James A. Landay, Todd R. Kaufmann. User Interface Issues in Mobile Computing. Proceedings of the Fourth Workshop on Workstation Operating Systems, Napa, CA, October 1993.
- [6]Tom Rodden, Keith Chervest, Nigel 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.
- [7]Johnson, Chris. A Case Study in Function Allocation for Computer Aided Learning in a Complex Organisation. People and Computers XIV: Proceedings of HCI 2000.
- [8]Jones, Sara and Johnson, Chris. Papers From A Workshop On User Centred Requirements Engineering: Integrating Methods From Software Engineering And Human Computer Interaction. GITS technical report, September 1996.