

Silla de ruedas robótica para dar más independencia a su usuario

J. González, C. Galindo, J.A. Fernández, J.L. Blanco, A. Muñoz, V. Arévalo

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga,
Campus de Teatinos, 29071 Málaga (España)

Resumen

En esta ponencia se presenta la silla robotizada SENA, que es el resultado de un proyecto de investigación desarrollado en el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga (España). SENA se basa en una silla eléctrica comercial a la que se ha integrado una serie de sensores y dispositivos que son gestionados mediante un ordenador portátil. Este prototipo se caracteriza por su capacidad para la navegación autónoma en interiores (oficinas, viviendas, centros comerciales, etc.), así como por su facilidad para interactuar y cooperar con el humano (integración Humano-Robot). Estas capacidades están soportadas por una arquitectura software desarrollada específicamente para robots asistentes. Las posibilidades actuales de SENA se ilustran en esta ponencia con un caso típico de utilización de SENA en un entorno real.

INTRODUCCIÓN

Los últimos años han sido testigos de esperanzadores avances en la robótica de servicios y especialmente en el desarrollo de robots para la asistencia de personas discapacitadas. Se han desarrollado prototipos de sillas eléctricas que incluyen mecanismos para la evitación automática de obstáculos y navegación semi-autónoma a lo largo de pasillos estrechos, puertas, etc. Estos mecanismos requieren que la silla esté dotada de sensores apropiados, gestionados y controlados mediante un ordenador a bordo. Así, la idea es

convertir a las sillas eléctricas en *sillas robóticas* capaces de operar con un alto grado de autonomía.

Nuestro grupo de investigación viene trabajando durante los últimos años en el desarrollo de una silla robótica robusta y fiable con capacidad para la comunicación de alto nivel, persiguiendo el máximo grado de aceptación del usuario. Como resultado de este proyecto se ha construido el robot de asistencia SENA, ideado para mejorar la movilidad de personas con problemas motrices. SENA (ver imagen en la figura 1) está basada en una silla eléctrica convencional dotada de múltiple sensores y dispositivos gestionados por un ordenador portátil.



Figura 1. La silla eléctrica de navegación autónoma SENA. Este vehículo es el resultado de varios años de investigación en el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga.

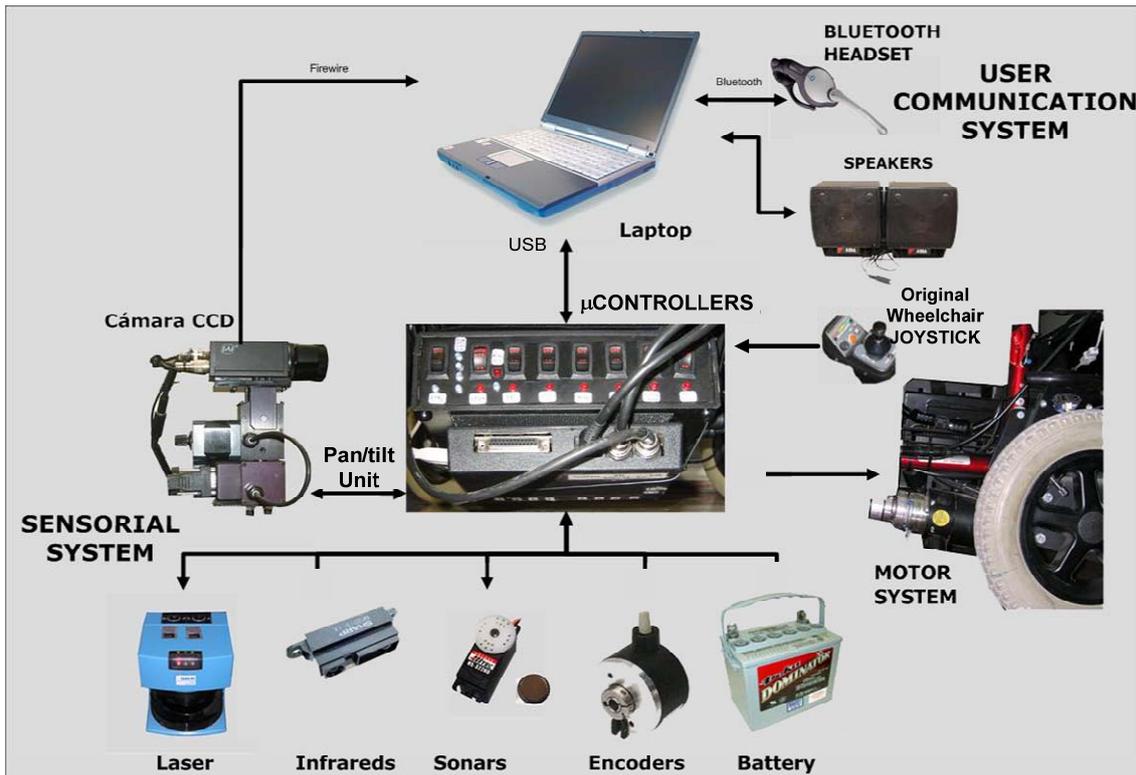


Figura 2. Esquema del hardware de SENA. El control de bajo nivel de los sensores y los motores es efectuado mediante un microcontrolador que proporciona un interfaz al software que se ejecuta en el portátil. Nuestro diseño proporciona gran flexibilidad, ya que el usuario puede estar trabajando en su ordenador personal al tiempo que éste se encarga de controlar la silla

Dejado claro que consideramos que los resultados alcanzados son mejorables en diversos aspectos, destacamos las siguientes cualidades de SENA:

-*Características HCR.* SENA alcanza un alto grado de confiabilidad e interacción con el humano mediante el uso de una arquitectura de control robótico denominada ACHRIN [6]. Una característica especial de ACHRIN es que permite la participación activa del usuario a todos los niveles (desde el nivel deliberativo hasta el nivel de actuación física) lo que implica unos requerimientos de comunicación también a varios niveles. En la sección 2.2 se proporcionan más detalles sobre ACHRIN.

-*Confort del usuario.* Desafortunadamente, una persona discapacitada pasa casi todo el día en su silla, así que cualquier elemento adicional en el vehículo se puede convertir en una molestia en su vida diaria. En nuestro diseño hemos puesto especial atención a este aspecto situando todos los componentes de SENA fuera del espacio del trabajo del usuario. Además, la navegación autónoma de la silla se controla mediante un ordenador portátil que puede ser utilizado también para su trabajo diario.

-*Modularidad.* El diseño de un sistema robótico debería considerar futuras extensiones y actualizaciones. Por esta razón, tanto el software como el hardware de SENA usan productos comerciales estandarizados: conexiones genéricas (USB, firewire), *middleware* de comunicaciones (CORBA), y sistema operativo Windows. Esto facilita la actualización y extensión de los componentes.

La siguiente sección describe en detalle los componentes de hardware y software de SENA. La sección 2.2 describe algunas experiencias reales del uso de SENA demostrando su idoneidad para operar en una variedad de situaciones. Finalmente presentamos las conclusiones de este trabajo y algunas de las mejoras futuras relacionadas con SENA y en general con la robótica asistencial, en las que estamos investigando actualmente.

2 DESCRIPCIÓN DE SENA

2.1 EL HARDWARE DE SENA

La silla robótica SENA (ver figura 1) se ha construido sobre una silla eléctrica comercial (Sunrise Powertec F40) a la cual se han integrado diversos dispositivos y sensores para realizar eficazmente tareas de alto nivel en entornos interiores.

Los componentes hardware de SENA se muestran en el esquema de la figura 2. Es importante resaltar que la silla original ha sufrido mínimas modificaciones: se han conectado dos codificadores de posición en los ejes de los motores

para estimar la odometría de la silla y un voltímetro en las baterías originales. La línea del joystick ha sido puenteada mediante un controlador situado en la parte inferior del vehículo. Un conmutador, que se activa manualmente o mediante comandos verbales, selecciona la entrada al sistema motor del vehículo, pudiendo ser ésta la señal del joystick (operación manual de la silla) o del ordenador (control autónomo del vehículo). Este conmutador permite al usuario desconectar la navegación autónoma de SENA cuando lo desee para iniciar su guiado manual.

Un sistema basado en microcontroladores a bordo de SENA opera como interfaz para todos los sensores y dispositivos, a la vez que implementa el control de bajo nivel del vehículo. Por otro lado, los algoritmos de alto nivel tales como planificación, localización, síntesis y reconocimiento de voz, etc., se ejecutan en el portátil conectado al microcontrolador a través de USB (ver figura 2).

A continuación se describen en detalle los diferentes sensores de los que dispone SENA:

-Una *cámara CCD* montada sobre una unidad motorizada con dos grados de libertad, utilizada para localizar a SENA. La cámara CCD se sitúa en una posición elevada, aproximadamente a 1.70 m., desde donde percibe elementos estáticos del entorno (paredes, ventanas, muebles, etc.).

-Un *escáner láser radial* de 180° montado sobre un mecanismo retráctil situado delante de la silla, entre las piernas del usuario, de modo que no le causa ningún tipo de molestia (ver figura 3). El empleo de este tipo de sensor está ampliamente extendido en robots móviles ya que proporciona alta precisión y un muestreo rápido del entorno. En nuestra aplicación, la información que proporciona el escáner láser se emplea para detectar obstáculos, para la construcción del mapa del entorno, y para localización ([2],[3],[7]).

-Un *anillo de trece sensores infrarrojos* que se sitúan alrededor de SENA para detectar obstáculos cercanos cuando la silla esta maniobrando (ver figura 4).

Los infrarrojos son sensores pequeños y baratos que proporcionan un rango operacional de 10 a 60 cm., permitiendo a la silla aproximarse de un modo seguro a objetos y muebles. Dos de ellos están situados en la parte inferior de la silla para detectar baches, bordillos, huecos de escalera, etc. Otros dos sensores infrarrojos están situados en la parte trasera para detectar situaciones peligrosas cuando la silla se mueve hacia atrás.



Figura 3. El escáner láser radial proporciona información valiosa del entorno que permite a SENA evitar obstáculos, localizarse, crear mapas, etc. Su emplazamiento delante de la silla le permite escanear la parte frontal sin molestar al usuario.

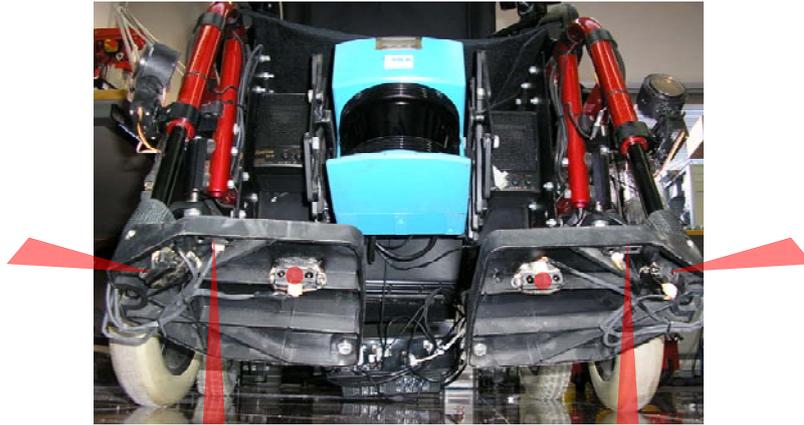


Figura 4. Porción del espacio escaneado por el anillo de sensores infrarrojos. Los sensores están situados en posiciones que complementan el espacio muestreado por el escáner laser radial.

Como se ha comentado anteriormente, la selección y emplazamiento de los sensores de SENA están dirigidos a proporcionar tolerancia a fallos y operación robusta. Algunas tareas críticas como la evitación de obstáculos o la localización hacen uso de información redundante y complementaria proporcionada por varios sensores.

El vehículo también cuenta con dos pequeños altavoces y un set auricular-micrófono bluetooth para la comunicación verbal con el usuario a través de un software comercial de síntesis y reconocimiento de voz. Esta comunicación verbal utiliza información simbólica del entorno [5], tal y como se comentará en la siguiente sección, proporcionando una comunicación de alto nivel similar a la humana [4].

Finalmente es importante destacar que todos los componentes hardware considerados para SENA usan conexiones estándar que nos permiten fácilmente actualizar, extender, o modificar cuando sea necesario, la configuración de la silla con nuevos y más potentes dispositivos.

2.2 EL SOFTWARE DE SENA

Además del conjunto de sensores comentados en la sección anterior es necesaria una arquitectura software apropiada para interpretar la información sensorial y planificar las acciones más conveniente cuando se opera en entornos humanos.

Nuestra solución para superar el inconveniente de la falta de autonomía de los actuales robots asistentes se basa en una arquitectura software que incluye al usuario de la silla de ruedas como un componente extra que puede ayudar al sistema cuando sea necesario. Es decir, suponiendo que el usuario tiene suficientes habilidades cognitivas (por ejemplo para corregir la posición del vehículo) y habilidades físicas (para por ejemplo manipular objetos, abrir una puerta o llamar a un ascensor), su destreza puede mejorar o extender la del sistema robótico.

Esta participación del humano en el sistema impone una estrecha interacción humano-robot en la que la comunicación de alto nivel toma especial relevancia, ya que las personas que pueden extender la autonomía del robot (típicamente, el usuario o una persona de los alrededores) prefieren comunicarse e interactuar con el robot del mismo modo que lo hacen con otras personas. Por ejemplo, cuando los sensores de la silla de ruedas detectan una puerta cerrada, el robot debería poder solicitar ayuda de un modo entendible por los humanos, esto es, “por favor, ¿me abre alguien la puerta que está delante de nosotros?”. Es importante remarcar que la ayuda del humano es solicitada sólo cuando es realmente imprescindible, sin molestar continuamente al usuario, que debe sentir que la silla opera de un modo autónomo.

Por lo tanto, se ha diseñado e implementado una arquitectura software que permite al humano interactuar en este sentido con la silla robótica. Esta arquitectura, denominada Arquitectura para la Integración Cognitiva Humano-Robot ACHRIN (de los términos ingleses, *Architecture for Cognitive Human-Robot Integration*) [6], integra al humano dentro del sistema robótico para que pueda aportar habilidades no soportadas por el robot (por ejemplo, llamar un ascensor) o soportada por el robot pero de un modo diferente y (quizás) más seguro (por ejemplo, maniobrar en situaciones complejas).

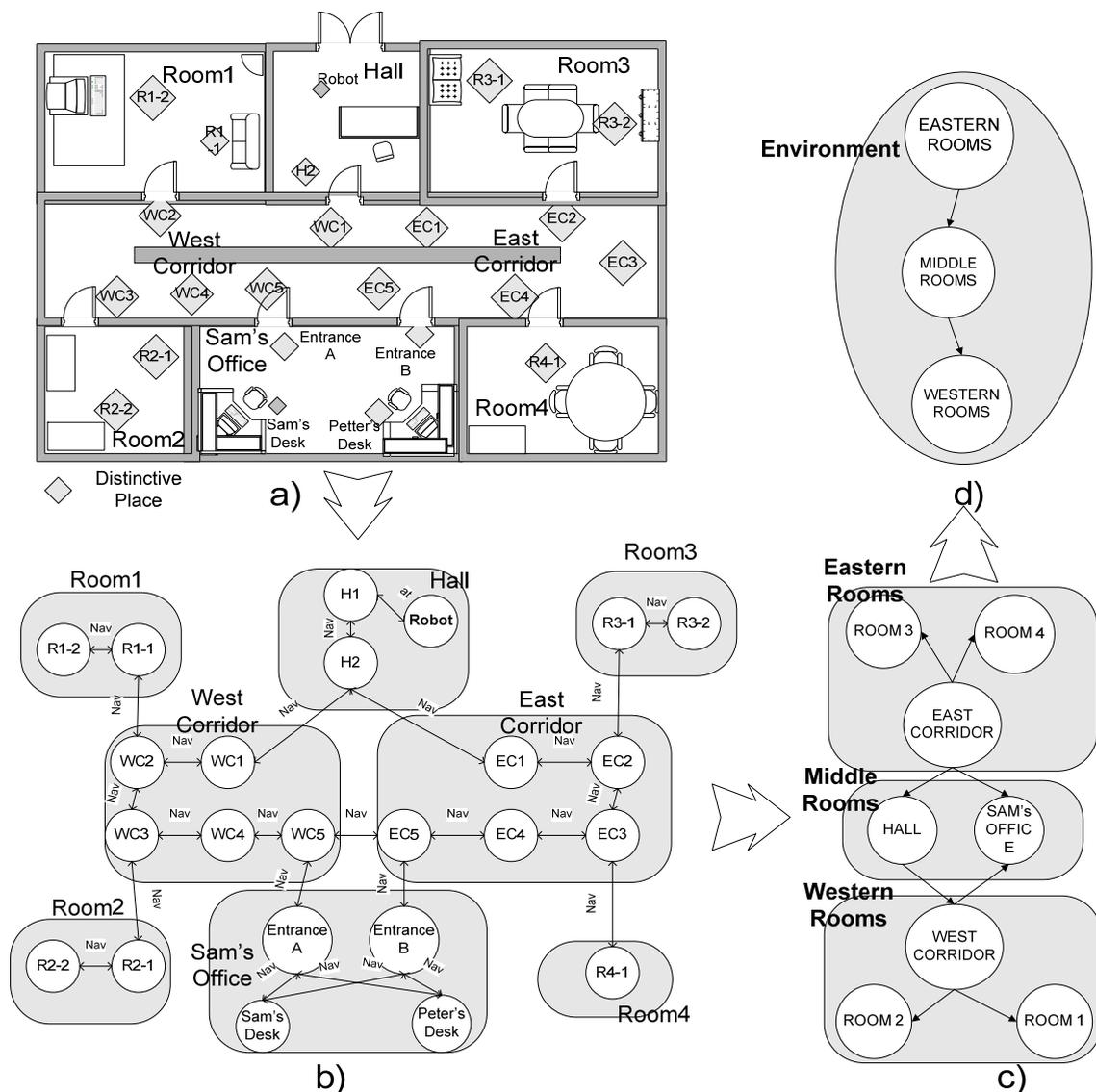


Figura 5. Ejemplo de una jerarquía de abstracciones. (a) Plan esquemático de un entorno de oficinas. Los lugares de interés para el usuario de la silla aparecen marcados con círculos. (b) Nivel básico de la jerarquía: mapa topológico de los lugares de interés. (c-d) Niveles superiores de la jerarquía.

Las regiones pintadas de gris contienen el conjunto de nodos que son abstraídos en un mismo concepto espacial en el nivel superior. Cada concepto, por ejemplo una habitación, puede llevar asociado una o varias etiquetas lingüísticas para mejorar la comunicación con el humano

ACHRIN (ver figura 6) es una arquitectura robótica híbrida [1] que permite la participación de un humano a todos los niveles, desde el nivel deliberativo al control de bajo nivel. Las características principales proporcionadas por ACHRIN son las siguientes:

-El humano y la silla se comunican mediante lenguaje común. A través de la integración cognitiva, el robot puede compartir parte del modelo simbólico que mantiene el humano de su entorno, y así, SENA y el usuario pueden referirse a los mismos conceptos espaciales (objetos, lugares, etc.) de forma inequívoca, usando sus nombres en un lenguaje común. Dicha integración cognitiva se logra a través del uso de un modelo jerárquico y simbólico [5].

-El humano puede extender las habilidades de la silla. Estas habilidades van desde complejos movimientos de bajo nivel a toma de decisiones de alto nivel, por ejemplo abrir una puerta, advertir al sistema de situaciones de riesgo indetectables por los sensores del robot, planificar el camino más conveniente para llegar al destino, etc. Es destacable que no sólo el usuario de la silla puede extender las habilidades del sistema, sino cualquier persona de su entorno.

-El humano puede mejorar algunas habilidades de la silla. El humano puede realizar las acciones asignadas inicialmente a la silla, por ejemplo el guiado hasta un punto determinado. De la misma forma, el usuario o cualquier persona del entorno puede completar acciones encomendadas a la silla que ocasionalmente hayan fallado. Por ejemplo, el usuario puede recuperar al vehículo de un fallo de navegación guiando manualmente a localizaciones bien conocidas donde éste podría continuar navegando autónomamente.

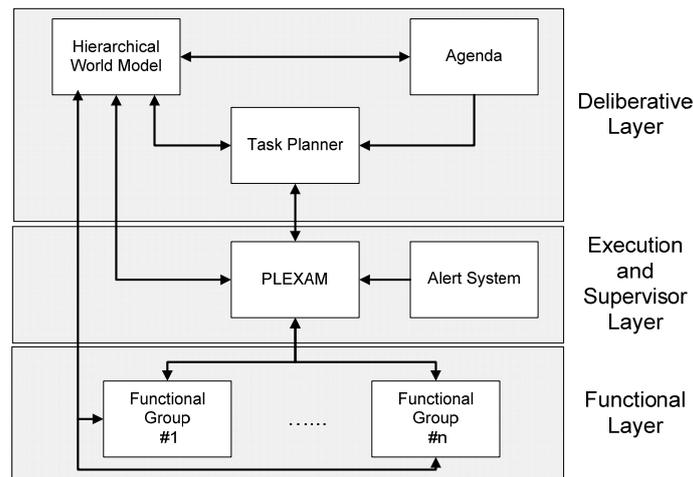


Figura 6. Visión general de ACHRIN. ACHRIN puede considerarse como una arquitectura robótica híbrida, sin embargo no presenta la disposición jerárquica típica ya que el modelo del mundo es accesible por la mayoría de sus componentes (una excepción es el Sistema de Alerta).

Como se ha comentado anteriormente, ACHRIN habilita al humano con para interactuar en todos los niveles de la arquitectura con objeto de extender y/o mejorar la funcionalidad proporcionada por cualquier módulo. Los módulos de ACHRIN tienen en cuenta las capacidades humanas a través de las llamadas *unidad de habilidad*. Cada módulo de la arquitectura se puede componer de diversas unidades de habilidad que ejecutan una cierta acción, como producir un plan, comprobar situaciones arriesgadas, moverse entre dos localizaciones, etc. Tales acciones pueden ser resueltas bien por el humano o por el vehículo, seleccionando las correspondientes unidades de habilidad. En el caso del robot, las unidades de habilidad son implementadas mediante algoritmos software, mientras que en el caso del humano permiten realizar y comunicar acciones a través de los interfaces adecuados, por ejemplo mediante comandos de voz [6].

3. EXPERIENCIAS CON SENA

En los últimos años se han realizado múltiples demostraciones y apariciones en televisión (algunas de ellas en programas emitidos en directo) poniendo de manifiesto la utilidad de nuestro prototipo como robot asistente a la movilidad de personas discapacitadas (ver figura 7).



Figura 7. Algunas de las demostraciones llevadas a cabo con SENA. Nuestra silla de ruedas ha sido utilizada en una variedad de situaciones y con diferentes personas (algunas de ellas en programas de televisión emitidos en directo).

A continuación se describe un escenario típico que ilustra la utilidad y prestaciones del prototipo SENA. Supongamos que un usuario de SENA que trabaja en un entorno de oficina típico, envía un documento a una impresora remota y quiere ir a la habitación donde la impresora está situada para recoger su copia. Este simple ejemplo puede presentar dificultades complejas como, por ejemplo, qué hacer si la puerta de la habitación está cerrada o el sistema de navegación de SENA falla debido a la dificultad de maniobrar dentro de la habitación. Para el primer problema, la ayuda del humano es inevitable ya que

SENA no es capaz de abrir puertas. En este caso, el sistema de planificación de ACHRIN advierte de la necesidad de participación del humano en el plan, que es solicitada y aceptada a través de los comandos verbales mostrados en la tabla de la figura 8. Para el segundo problema, presente en cualquier aplicación robótica real, el usuario puede detectar que la navegación automática falla y notificar al control de SENa que necesita del usuario para solventar manualmente esta situación¹.

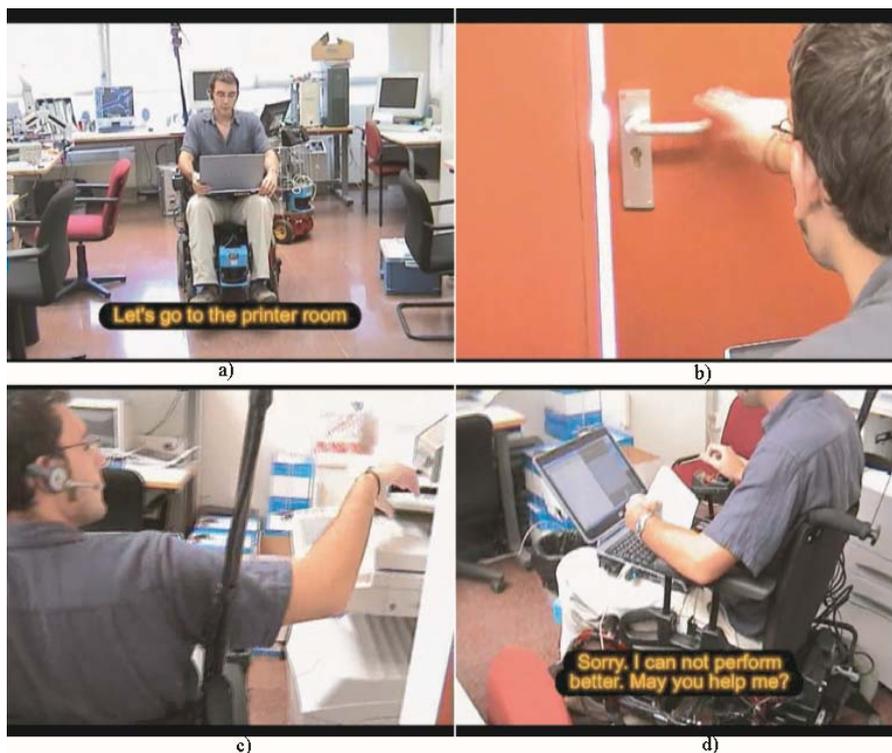


Figure 8. Integración SENa-humano. Cuando SENa opera dentro de un escenario complejo y dinámico, la ayuda del humano puede ser necesaria para resolver situaciones complejas (b,d). En este sentido, SENa y el usuario cooperan: el vehículo proporciona movilidad al usuario mientras el/ella supe las limitaciones de la silla de ruedas.

La figura 8 muestra algunas instantáneas de un usuario desarrollándose en este escenario. Un video de este experimento, y de algunos otros experimentos, puede ser descargado desde <http://www.isa.uma.es/research/sena>.

¹ Las capacidades de navegación de bajo nivel empleadas en SENa no son abordadas en este artículo, pero pueden ser encontradas en [2].

Id	Comandos emitidos por el Humano
(0)	Añade este lugar llamado <nombre de lugar> al modelo
(1)	Agrupar los lugares anteriores en una habitación llamada <nombre de habitación>
(2)	Abre la puerta que conecta <lugar 1> y <lugar 2>
(3)	Cierra la puerta que conecta <lugar 1> y <lugar 2>
(4)	Detente
(5)	Cancela la última orden
(6)	Continúa
(7)	Llévame a <nombre de lugar>
(11)	Quiero guiarte
(12)	Selecciona otro método de navegación
(13)	Quiero llamar por teléfono a <entrada en agenda>
(14)	Por favor pon música de ambiente
(15)	Por favor apaga la música de ambiente
(16)	Por favor consulta el tiempo para hoy//mañana
Comando emitidos por el Robot	
(17)	Por favor, me puedes guiar hasta <nombre de lugar>?
(18)	Por favor puedes abrir la puerta que está delante?
Comunicación de los resultados de las acciones realizadas por el usuario	
(19)	Te he guiado hasta <nombre de lugar>
(20)	No pude guiarte hasta <nombre de lugar>
(21)	He abierto la puerta
(22)	No pude abrir la puerta

Figure 9. Comunicación verbal entre el usuario y el robot asistente SENA. Con el objetivo de mejorar la comunicación, esta gramática se ha extendido con variaciones de los comandos. Así por ejemplo, “Vamos a <nombre de lugar>” es reconocido como una variante del comando (7).

Este escenario muestra la necesidad de integración humano-vehículo que proponemos, para la cual consideramos la interacción verbal mediante los comandos/respuestas mostrados en la figura 9.

4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este artículo hemos presentado el robot asistente SENA, una silla eléctrica de navegación autónoma destinada a facilitar la movilidad a personas discapacitadas y personas ancianas. Tras años de investigación y sin que el trabajo pueda considerarse concluido, nuestro grupo ha desarrollado un prototipo razonablemente robusto y eficaz que proporciona a las personas la posibilidad de operar dentro de entorno complejos.

El futuro de nuestra investigación va en la línea de mejorar y extender la funcionalidad del hardware/software de SENA. De igual forma y haciendo uso de nuestra experiencia en el desarrollo de ésta estamos diseñando y construyendo otros robots de asistencia para el guiado y asistencia a personas en ferias, museos y exposiciones.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el inestimable esfuerzo y dedicación de un gran número de investigadores, alumnos y doctorandos que han trabajado en el desarrollo de SENA. Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Educación, mediante los proyectos de investigación CICYT-DPI2005-01391 y CICYT-DPI2002-01319.

Bibliografía

- [1] Arkin, R.C., E.M. Riseman and A.Hansen (1987). Aura: An architecture for vision-based robot navigation. In: DARPA Image Understanding Workshop, Los Angeles, CA}. pp. 417-431.
- [2] Blanco, J.L., J.Gonzalez and J.A. Fernández-Madrigal (2006). The trajectory parameter space (tp-space): A new space representation for non-holonomic mobile robot reactive navigation. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Beijing (China).
- [3] Blanco, J.L., J.A. Fernández-Madrigal and J.Gonzalez (2006). An entropy-based measurement of certainty in rao-blackwellized particle filter mapping. In: Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). Beijing (China).
- [4] Fernández-Madrigal, J.A. and J.Gonzalez (2000). Multi-Hierarchical Representation of Large-Scale Space. Kluwer Academic Publishers.
- [5] Fernández-Madrigal, J.A., C.Galindo and J.Gonzalez (2004). Assistive navigation using a hierarchical model of the environment. Integrated Computer-Aided Engineering (4), 309-322.
- [6] Galindo, C., J.Gonzalez and J.A. Fernández-Madrigal (2006). A control architecture for human-robot integration: Application to a robotic wheelchair. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B (5),1053-1067.
- [7] Reina A. and J.Gonzalez (2000). A two-stage mobile robot localization method by overlapping segment-based maps. Robotics and Autonomous Systems. Elsevier Science.