

Interfaz Humano-Computador Aplicada en Robótica de Asistencia

Elisa Perez¹, Carlos Soria², Oscar Nasisi² y Vicente Mut²

¹Gabinete de Tecnología Médica, Facultad de Ingeniería, UNSJ

²Instituto de Automática, Facultad de Ingeniería, UNSJ

Av. Libertador Gral San Martín 1109(O), Capital, San Juan, Argentina.

E-mail: eperez@gateme.unsj.edu.ar

Resumen: En este trabajo se presenta una Interfaz Humano-computador aplicada a la robótica de asistencia. La interfaz, es una interfaz basada en visión que detecta y sigue la posición y orientación de la mano del usuario para comandar un robot móvil. El sistema desarrollado presenta las leyes de control utilizadas. Además el sistema interfaz-robot es evaluado con personas con discapacidad motora severa. Esta evaluación ha sido basada utilizando el modelo HAAT (Human Activity Assistance Technology, siglas en inglés) para obtener resultados cualitativos del desempeño usuario-interfaz-robot.

1. Introducción

La robótica se puede clasificar en tres grandes áreas: manipuladores robóticos, robots móviles y robots inspirados biológicamente. A pesar de sus diferencias, las tres áreas de investigación convergen en su uso actual y futuro: la robótica de servicio. Con la modernización del primer mundo, nuevos servicios han sido demandados, produciendo así, cambios en la robótica que requieren robots que satisfagan estas nuevas demandas sociales. Un nuevo sector por lo tanto está emergiendo en la robótica, un sector con gran futuro para dar servicio al ser humano. Entonces los robots manipuladores y los robots móviles están siendo modificados para direccionarse hacia este nuevo mercado. Las investigaciones han evolucionado para encontrar soluciones técnicas a las necesidades demandadas por la sociedad en el desarrollo de los robots de servicio [1].

Dentro de la robótica de servicio, existe el concepto de “robot de rehabilitación o de asistencia” que incluye un amplio espectro de dispositivos mecatrónicos desde miembros artificiales hasta robots para ayudar en la terapia de rehabilitación, o para proporcionar asistencia personal. Varios grupos de investigadores han estudiado y están estudiando la interacción entre robots y niños con autismo [2], [3]. Cada uno de estos estudios ha demostrado que los robots generan un alto grado de motivación en las personas, incluyendo aquellas que no quieren interactuar socialmente con terapeutas humanos.

Otra de las posibles aplicaciones de la robótica de asistencia es la de los dispositivos de locomoción [4], como sillas de ruedas robóticas o robots móviles, que ayudan en la locomoción de personas, traslado de objetos y asistencia. Los robots móviles o las sillas de ruedas robóticas son dispositivos de transporte automático, es decir, un sistema de locomoción capaz de navegar a través de un determinado ambiente de trabajo, con un cierto nivel de autonomía para su desplazamiento realizando tareas específicas. Por tal motivo estos dispositivos tienen gran aplicación como robots de asistencia. Esta área ha evolucionado en las últimas décadas y es hoy en día una temática en continua evolución. Se han desarrollado diversos sistemas de ayuda para el ser humano con la realización de diferentes

tareas, que van desde las tareas domésticas hasta la rehabilitación de personas que puedan sufrir alguna disminución motora o cerebral que les impida su total autonomía. En el caso puntual de las personas con discapacidades motoras severas, tales como cuadriplejía, parálisis cerebral, o esclerosis múltiple entre otras, experimentan muchas dificultades para desenvolverse en su vida diaria. Por lo tanto requieren dispositivos específicos y complejos que satisfagan sus necesidades. Las sillas de ruedas robóticas y los robots de asistencia son una alternativa que satisfacen las necesidades de este sector de la sociedad por sus características de navegación autónoma, seguridad y maniobrabilidad, mejorando su calidad de vida.

Existen varios trabajos en la literatura donde se desarrollan diferentes modos de control para sillas de ruedas robóticas y robots móviles aplicados a la asistencia. En [5], se propone una arquitectura de control basada en agentes inteligentes que comanda una silla de ruedas robóticas en ambientes interiores. Estos agentes realizan la planificación de trayectoria, el control de movimiento basado en lógica borrosa y brindan al sistema la capacidad de evitar obstáculos. Sin embargo solo se presentan resultados en simulación. En [6] se presenta una silla de ruedas adaptada para niños con problemas cognitivos. Posee un sistema de navegación autónoma que detecta obstáculos con un sensor laser. El trabajo muestra un buen desempeño de la interfaz en personas con problemas cognitivos. La desventaja de este trabajo es que no muestra una ley de control que garantice que la silla de ruedas alcanza la velocidad de referencia establecida por la interface, y no se establece cuales son los comandos de entrada a la silla de ruedas. En el trabajo [7] se propone un sistema de control inteligente para una silla de ruedas para personas con diferentes discapacidades. El sistema involucra el uso de la inclinación de la cara del usuario para determinar la dirección de giro de la silla de ruedas y la información de la forma de la boca del usuario para determinar el avance o el frenado de la silla. El sistema de visión obtiene la región facial utilizando el algoritmo adaboost, y luego se detecta la región de la boca usando información de contorno. Mediante las características extraídas se reconoce la inclinación de la cabeza y la forma de la boca utilizando análisis estadístico y clasificación *k-mean* respectivamente. Finalmente, a partir de esta información se generan los comandos para controlar la silla de ruedas.

En este trabajo se propone un sistema para que personas con discapacidades motoras puedan comandar la navegación de un robot móvil pioneer 2DX. El objetivo principal en el desarrollo de este sistema es proponer herramientas alternativas de locomoción o de asistencia a personas con discapacidades motoras severas. Este sistema utiliza una interfaz basada en visión (VBI) que detecta la posición y orientación de la mano del usuario que, a través de algoritmos de control, se traducen en comandos de velocidades angular y lineal para el robot. El sistema propuesto incluye tanto la interfaz humano-computadora, que permite al usuario conducir el dispositivo de asistencia, como así también los algoritmos de control basados en el modelo cinemático del sistema robótico para regular sus velocidades, logrando una navegación más segura según establecen [8]. El hecho de presentar un sistema completo de asistencia constituye un avance significativo en el área ya que los trabajos que pueden encontrarse en la literatura actualmente focalizan en sólo uno de los dos aspectos: La interfaz con el usuario [7], [9], [10]; o el sistema de control para navegación autónoma [11], [12]. Los primeros presentan distintas interfaces sin asegurar una navegación suave y segura para el usuario ya que no se incluyen algoritmos de control que eviten los cambios bruscos de velocidad. Por otro lado, los trabajos que presentan sistemas de navegación autónoma no contemplan la intención del usuario respecto de qué camino tomar.

El trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se describirá el sistema desarrollado que incluye el algoritmo de procesamiento de imágenes y el algoritmo de control propuestos. En la Sección 3 se mostraran resultados experimentales y por último en la Sección 4 se presentan conclusiones al respecto del funcionamiento del sistema.

2. Robot Móvil Comandado por los Movimientos de la Mano

En esta Sección se presenta el desarrollo de una VBI que detecta la orientación de la mano para comandar la navegación de un robot móvil Pioneer 2DX en un pasillo virtual, y luego en entornos

reales de trabajo. El objetivo del desarrollo de la interfaz presentada en esta Sección es el de brindar una herramienta alternativa para que personas con discapacidades motoras severas guíen un robot móvil y evaluar la predisposición de las personas en la interacción con este tipo de tecnologías. Las funciones de este robot móvil pueden ser tanto de asistencia como de rehabilitación.

2.1. Interfaz basada en visión

La interfaz desarrollada usa la visión artificial como canal de comunicación desde el usuario a la computadora. Una cámara tipo webcam captura las imágenes de la mano del usuario y por medio de algoritmos de procesamiento de imágenes se detecta la presencia de la mano y se identifica su orientación. Esta información es utilizada para obtener ángulos de referencia a partir de los cuales se generan los comandos de entrada para guiar un robot móvil.

El primer paso es la segmentación de la imagen para la detección de la mano en el plano de la imagen capturada por la cámara. Esto se realiza trabajando en el espacio HSI (del inglés, Hue-Saturation-Intensity), ya que se sabe que el color de la piel se agrupa en regiones precisas de dicho espacio de color, [13], [14] y [15]. De esta forma se obtiene una imagen binaria en la que el color blanco representa la piel detectada.

Sobre la imagen binaria obtenida luego de la segmentación se buscan las características que representan correctamente la orientación de la mano para comandar el robot. Las características de la imagen elegidas son las coordenadas del centro de masa, el ángulo de orientación y los ejes (mayor y menor) de la mano. Para calcular el centroide y los ejes se utilizaron los momentos de la imagen. Si definimos $I(x,y)$ como la intensidad de la imagen en la posición (x,y) , se obtiene la siguiente expresión para el cálculo de los distintos momentos,

$$\begin{aligned} M_{00} &= \sum_x \sum_y I(x,y) & M_{11} &= \sum_x \sum_y xyI(x,y) \\ M_{10} &= \sum_x \sum_y xI(x,y) & M_{01} &= \sum_x \sum_y yI(x,y) \\ M_{20} &= \sum_x \sum_y x^2I(x,y) & M_{02} &= \sum_x \sum_y y^2I(x,y) \end{aligned} \quad (1)$$

Las coordenadas del centro de masas se calculan de la siguiente manera,

$$x_c = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}$$

Luego se considera a la mano como un rectángulo y se calculan su eje mayor L_1 y menor L_2 ,

$$\begin{aligned} L_1 &= \sqrt{6(a+c+\sqrt{b^2+(a-c)^2})} \\ L_2 &= \sqrt{6(a+c-\sqrt{b^2+(a-c)^2})} \end{aligned} \quad (2)$$

donde $a = \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2$; $b = 2\left(\frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c\right)$; $c = \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2$

Para obtener la orientación de la mano se utiliza la herramienta Análisis de Componentes Principales, (PCA, del inglés Principal Component Analysis) [16]. Para ello se considera a la imagen binaria obtenida previamente como una población bidimensional, es decir, cada pixel de la mano es tratado como un vector bidimensional $\mathbf{x} = (x,y)^T$, donde x y y son los valores de las coordenadas de ese punto con respecto a los ejes de referencia de la imagen. A continuación se calcula el vector medio de estos vectores de la siguiente manera,

$$\mathbf{M}_x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{X}_k \quad (3)$$

donde n es el número de vectores que se obtiene de la imagen binarizada. Luego se procede a calcular la matriz de covarianza,

$$\mathbf{C}_x = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T - \mathbf{M}_x \mathbf{M}_x^T \quad (4)$$

Una vez obtenida la matriz $C_x \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$ se calculan sus vectores propios, estableciendo un nuevo sistema de coordenadas cuyo origen queda en el centroide de la población y cuyos ejes están en las direcciones de los vectores propios de C_x . Por lo tanto, el ángulo de rotación entre este nuevo sistema de ejes y el sistema de coordenadas de la imagen establece la rotación de la mano respecto a los ejes de la imagen. El ángulo obtenido es la referencia de ángulo de rotación para el robot móvil.

Por otro lado, para activar la velocidad lineal, se utilizará el valor del eje menor L_2 definido en (3). Para ello se establece un valor de umbral para el eje menor $L_{min}=70$ pixeles tal que:

- Si $L_2 > L_{min}$ la mano se encuentra extendida con la palma hacia abajo (figura 1) y el robot debe detenerse.
- Si $L_2 < L_{min}$ la mano está de costado (figura 2) y el robot debe avanzar.



Figura 1. Imagen original capturada por la interfaz e imagen procesada con los ejes mayor y menor detectados (mano posicionada con la palma hacia abajo).

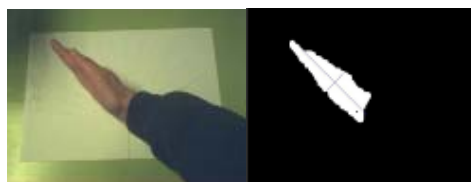


Figura 2. Imagen original capturada por la interfaz e imagen procesada con los ejes mayor y menor detectados (mano posicionada de costado).

El valor establecido para L_{min} se determinó experimentalmente.

La evaluación del desempeño del sistema de medición visual se realizó, en una primera etapa, mediante la obtención de los ángulos de orientación de la mano en posiciones estáticas. La orientación real de la mano en cada medición se obtuvo mediante un patrón semi-circular graduado (figura 1) sobre el que se apoyó la mano del usuario.

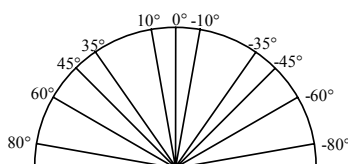


Figura 3. Patrón graduado usado para determinar la orientación real de la mano del usuario y verificar el sentido visual.

Un ejemplo de la imagen capturada de la mano con la palma hacia abajo y la imagen obtenida luego de los algoritmos de procesamiento de imágenes puede observarse en la figura 2, con los ejes mayor y menor ubicados en el centroide de la misma. Los ángulos estimados son comparados con los ángulos reales obteniéndose un error de medición en esta posición menor a $|5.5^\circ|$ (figura 4).

El resultado del procesamiento para la posición de la mano de costado, con sus características de imagen se observan en la figura 3. Luego, la comparación de los ángulos estimados en esta posición con los ángulos reales presenta un error menor a $|3.6^\circ|$, (figura 4).

La detección de la posición de la mano (con la palma hacia abajo o de costado) se realizó correctamente en el 100% de los casos.

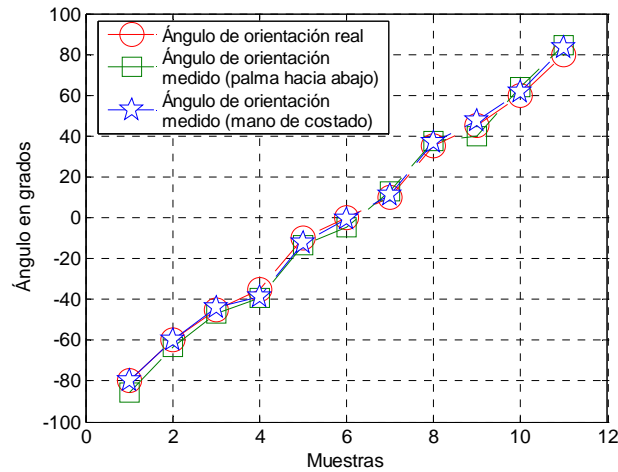


Figura 4. Comparación entre el ángulo de orientación real de la mano y el valor de ángulo estimado. Círculos: orientación real; Cuadrados: ángulo estimado con la mano posicionada con la palma hacia abajo; Estrellas: ángulo estimado con la mano posicionada de costado.

2.2. Modelo del Robot Móvil

El robot móvil tipo unicycle se puede describir mediante el siguiente modelo de movimiento restringido en el plano,

$$\dot{x}_r = v \cos \psi; \quad \dot{y}_r = v \sin \psi; \quad \dot{\psi} = \omega \quad (6)$$

donde x_r, y_r son las coordenadas cartesianas del robot en el marco de referencia; ψ es el ángulo de orientación; v y ω son las velocidades lineal y angular respectivamente (figura 5).

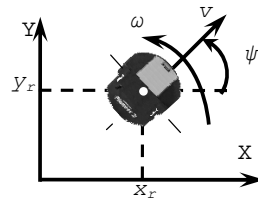


Figura 5. Descripción geométrica del modelo cinemático del robot móvil tipo unicycle.

La restricción no-holonomica para el modelo (6) es,

$$\dot{y}_r \cos \psi - \dot{x}_r \sin \psi = 0 \quad (7)$$

la cual especifica la trayectoria tangente a lo largo de cualquier trayectoria factible del robot. La suposición se hace en base a que el punto de referencia permanece en el centro de las dos ruedas motoras.

En el plano, el sistema unicycle tiene 3 grados de libertad, pero solo se puede controlar por medio de 2 acciones de control de entrada bajo la restricción no-holonomica (v y ω). Cuando se considera el vector de estado (x_r, y_r, ψ) , se puede demostrar que el sistema descrito matemáticamente en (6) es controlable tanto en posición y en orientación [17].

2.3. Diseño del Controlador

Ley de control de velocidad angular: La ley de control no lineal para la velocidad angular aquí propuesta está dada por:

$$\omega_{ref} = -k_{\omega l} \tan \tilde{\psi} \quad (8)$$

donde $k_{\omega l}$ es una constante positiva, $\tilde{\psi} = \psi_d - \psi$ es el error en la orientación del robot. La función $\tan(\cdot)$ se utiliza para prevenir la saturación de los comandos de velocidad angular ante errores de orientación elevados. El análisis de estabilidad de esta ley de control se encuentra desarrollado en [18].

Ley de control de velocidad lineal: Para una navegación más suave es necesario que el robot cambie su velocidad lineal v en función del error de orientación $\tilde{\psi}$, disminuyendo su velocidad si el robot está maniobrando para orientarse en la dirección correcta, o alcanzando su velocidad máxima permitida V_{max} cuando no existen errores de orientación. Entonces, la ley de control propuesta es,

$$\begin{aligned} \text{si } L_2 > L_{min} &\Rightarrow v_{ref} = 0 \\ \text{si } L_2 < L_{min} &\Rightarrow v_{ref} = V_{max} \cos \tilde{\psi} \end{aligned} \quad (9)$$

V_{max} debe ser definida teniendo en cuenta los límites físicos del robot y la habilidad de usuario para guiar el robot a dicha velocidad. De esta manera queda descripto el sistema desarrollado que utiliza la orientación y posición de la mano para guiar a un robot móvil.

3. Resultados experimentales

A continuación se presentan los resultados experimentales obtenidos. El sistema fue evaluado con 4 personas con discapacidades motoras severas. Los usuarios, o sus padres en el caso de ser menores de edad, firmaron los consentimientos informados. Los usuarios que realizaron las tareas propuestas con el robot móvil son: Individuo A, masculino de 14 años, posee parálisis cerebral; Individuo B, femenino de 8 años, posee anomalía motora post tumor; Individuo C, masculino de 11 años de edad, posee distrofia muscular de Duchenne; Individuo D, femenino de 35 años, posee cuadriplejía.

La evaluación del desempeño del sistemas propuesto se basó en el modelo HAAT (del inglés Human Activity Assistive Technology) desarrollado por [19]. Siguiendo este modelo, el sistema a evaluar está integrado no solo por el dispositivo de asistencia sino que también por el usuario, la actividad a desarrollar y el contexto donde se realiza la actividad. Por lo tanto, el sistema resulta efectivo si logra que el usuario cumpla con los objetivos de la actividad propuesta. A continuación se detallan cómo se realizó la evaluación del desempeño de cada uno de los sistemas de tecnología de asistencia propuestos.

3.1. Resultados experimentales del sistema presentado

Para valorar el desempeño de la interfaz desarrollada y el control propuesto, se utiliza un entorno virtual con el modelo del robot móvil Pioneer 2DX y un entorno real, con el robot móvil real. El objetivo propuesto para esta actividad es que el usuario comande la navegación del robot en pasillos, tanto en el entorno virtual como en el real. La trayectoria consiste en maniobrar el robot para que navegue de un pasillo a otro, debiendo primero doblar a la izquierda y luego hacia la derecha. Los valores adoptados para las distintas constantes son: $k_{\omega l}=3.5$; $V_{max} = 70mm/seg$ y $L_{min}=70píxeles$. Se usó una cámara tipo webcam Creative para obtener las imágenes. Los experimentos se realizaron en entornos reales de trabajo, sin control de la iluminación, en la misma contribuyen tanto la iluminación artificial del ambiente como la iluminación natural. El entorno seleccionado plantea una dificultad media a los usuarios, ya que requiere comandar al robot por trayectorias con giros tanto a la derecha como a la izquierda pero sin la presencia de obstáculos en su camino. Una vez definido el objetivo de la actividad, se proponen seis experimentos por cada usuario, tres en entorno virtual y tres en entorno real. Así el entorno virtual es utilizado para que el usuario se entrene y familiarice con la nueva tecnología generando los comandos de entrada al modelo del robot pioneer de manera interactiva y en tiempo real. El simulador del robot Pioneer 2DX (figura 11) es del tipo de realidad virtual no inmersiva, y se programó en lenguaje C usando las librerías de diseño gráfico OpenGL. El tiempo de actualización de todo el entorno es de 100 ms., al igual que el periodo de muestreo del robot utilizado.

Por cada usuario se confeccionó una tabla (ver Tabla 1) donde se registra si alcanza (se indica con una X) o no (se indica con un -) el objetivo propuesto. Una vez finalizada la etapa de experimentación, cada usuario contesta un cuestionario emitiendo su opinión con preguntas concretas sobre su interacción con el sistema de tecnología de asistencia.

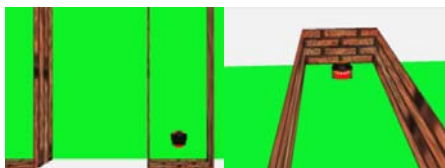


Figura 11. Entorno virtual del robot móvil Pioneer 2DX utilizado en el proceso de entrenamiento de los usuarios.

Tabla 1: Resultados de los experimentos con la interface basada en visión y el robot móvil pioneer 2DX.

Usuario	Exp.1 virtual	Exp. 2 virtual	Exp.3 virtual	Exp.1 real	Exp.1 real	Exp.1 real
A	X	-	X	-	X	X
B*	-	X	X	-	X	X
C	X	X	-	X	-	X
D	-	X	X	-	-	-

* Los experimentos reales del usuario B se corresponden con el 3°, 4° y 5° intento.

Navegación en un entorno virtual: Las gráficas que se muestran a continuación corresponden al primer experimento del Individuo C. La referencia angular dada por el movimiento de la mano para guiar al robot virtual y el ángulo girado efectivamente por el robot para cumplir con la referencia se observa en figura 12. En la figura 13 se muestra la trayectoria realizada por el robot en el entorno virtual; y en la figura 14 se muestran las evoluciones de las velocidades lineales y angulares del robot móvil virtual durante la navegación a través de los pasillos.

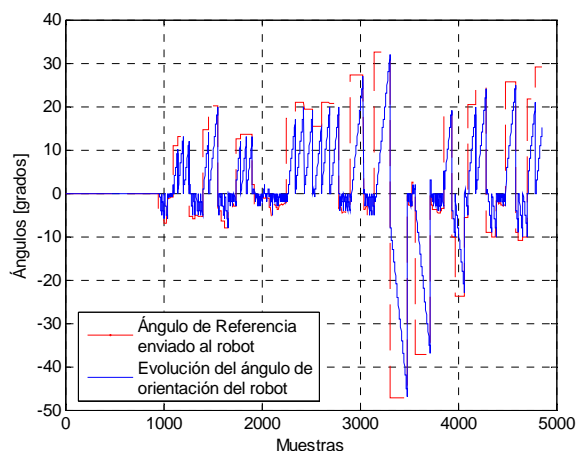


Figura 12. Evolución de los ángulos de referencia enviados por la interfaz al robot (línea de trazo) y evolución del ángulo de orientación del robot (línea continua).

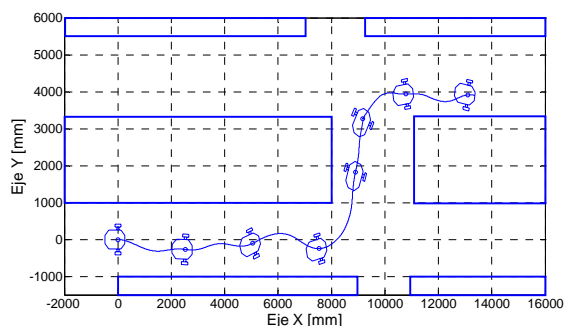


Figura 13. Trayectoria descrita por el robot móvil en el entorno virtual.

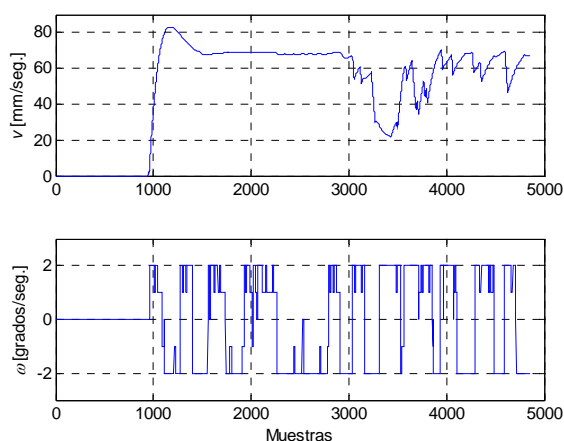


Figura 14. Evolución de las velocidades lineal y angular del robot móvil.

Navegación en un entorno real: En las gráficas que se muestran corresponden al tercer experimento del individuo C. En la figura 15 se muestra la referencia angular dada por el movimiento de la mano para guiar al robot real y el ángulo girado efectivamente por el robot para cumplir con la referencia. En la figura 16 se muestra la trayectoria realizada por el robot móvil sobre el pasillo real. En la figura 17 se muestran las evoluciones de las velocidades lineales y angulares del robot móvil real durante la navegación a través de los pasillos.

En el análisis de los resultados se observa que, después del breve entrenamiento (tres experimentos en el entorno virtual), 3 de los 4 usuarios lograron la destreza suficiente como para completar 2 de los 3 experimentos realizados con el robot real. Esto muestra que la interface resulta sencilla de usar abriendo la posibilidad de su utilización en el manejo de robots de asistencia.

4. Conclusiones

Se ha desarrollado e implementado un sistema como herramienta alternativa de movilidad o asistencia para personas con discapacidades motoras severas. El sistema ha sido evaluado por personas que poseen discapacidad motora y no pueden caminar.

El sistema implementado brinda la posibilidad de comandar la navegación de un robot móvil utilizando una interfaz basada en visión que detecta y sigue la posición y orientación de la mano. La navegación del robot se realizó tanto en entornos virtuales como reales. El entorno virtual sirve para que el usuario se familiarice con la interfaz ya que en este entorno el usuario experimenta las respuestas del robot en tiempo real ante las diferentes orientaciones y posiciones de su mano. Una vez

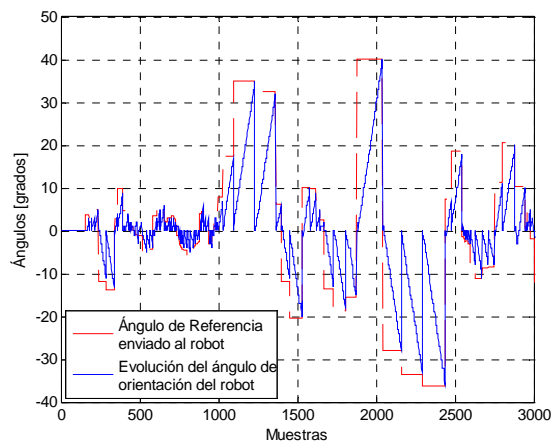


Figure 15. Evolución de los ángulos de referencia enviados por la interfaz al robot (línea de trazo) y evolución del ángulo de orientación del robot (línea continua).

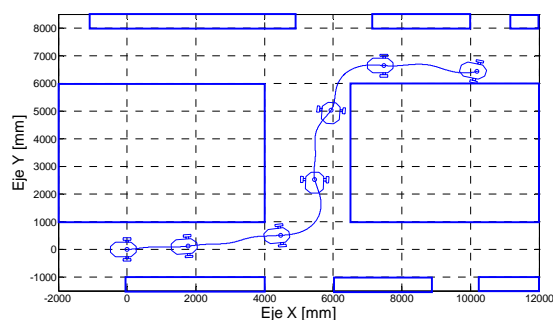


Figure 16. Trayectoria descrita por el robot móvil en el entorno real.

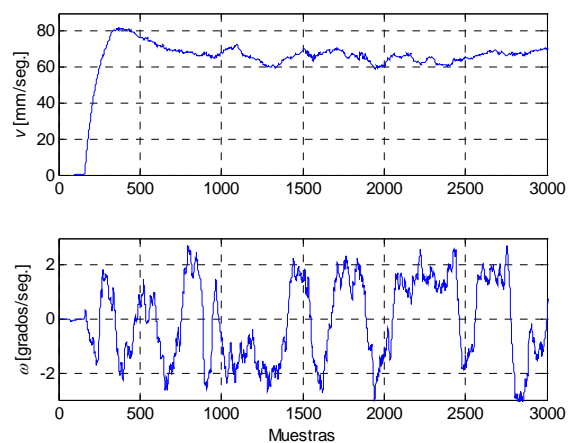


Figure 17. Evolución de las velocidades lineal y angular del robot móvil.

que el usuario se familiarizó con la interfaz y el robot en el entorno virtual, se evaluó la interfaz en la generación de comandos para la navegación del robot en el entorno real. La navegación se realizó de manera eficaz en pasillos. La ley de control de velocidad angular propuesta, garantiza que los cambios necesarios en la orientación del robot de tal manera que se pueda realizar la navegación a través de los pasillos. La ley de control para la velocidad lineal logra una navegación segura cuando el usuario está

generando una velocidad angular elevada. Los resultados son alentadores, ya que la mayoría de los usuarios han podido realizar la navegación. La interacción entre los usuarios y el robot resultó sencilla e intuitiva. En cuanto a la tecnología de asistencia en sí, la interfaz resultó de bajo costo, trabaja en tiempo real y es una herramienta alternativa para comandar robots móviles o sillas de ruedas robóticas por poseer ambos un modelado matemático similar.

5. Referencias

- [1] García E., Jimenez M., De Santos P. and Armada M 2007 The evolution of robotics research; *Robotics & Automation Magazine, IEEE*. **14**(1), 90.
- [2] Werry I, and Dautenhahn K 1999 Applying mobile robot technology to the rehabilitation of autistic children. *Proc. of the Int. Symp. Intelligent Robotics Systems*. Coimbra, Portugal.
- [3] Michaud F, and Clavet A 2001. Robotoy contest—designing mobile robotic toys for autistic children. *Proc. of the American Society for Engineering Education*. Alberqueque, USA.
- [4] Cipriano G, Gonzalez J and Fernández-Madrigal J 2006 Control Architecture for Human–Robot Integration: Application to a Robotic Wheelchair. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, **36**(5), 1053.
- [5] Kuo C, Hunag H and Lee M 2003 Development of agent-based autonomous robotic wheelchair control systems. *Biomed. Eng. Appl. Basis. Comm*; **15**, 223
- [6] Montesano L., Minguez J., Alcubierre J. and Montano L 2006 Towards the adaptation of a robotic wheelchair for cognitive disabled children. *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijin, China.
- [7] Ju J., Shin Y. and Kim E 2009 Vision based interface system for hands free control of an intelligent wheelchair. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. **6** (33).
- [8] Ding, D. and R. Cooper. 2005. Electric powered wheelchairs. *Control Systems Magazine IEEE*. **25**, (2), 22–34.
- [9] Bauckhage C., Käster T., Rotenstein A. and Tsotsos J 2006. Fast Learning for Customizable Head Pose Recognition in Robotic Wheelchair Control. *Proc of Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, Southampton, UK.
- [10] Bailey M., Chanler A., Maxwell B., Micire M., Tsui K and Yanco H 2007. Development of Vision-Based Navigation for a Robotic Wheelchair. *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Rehabilitation Robotics*, Noordwijk, The Netherlands.
- [11] De la Cruz C., Freire Bastos T, Auat F. and Carelli R 2010 SLAM-Based Robotic Wheelchair Navigation System Designed for Confined Spaces, *Proc. of the IEEE Int. Symp. on Industrial Electronics*, Bari, Italy.
- [12] Zhou L., Teo C. and Burdet E 2008 A Nonlinear Elastic Path Controller for a Robotic Wheelchair, *Proc. of the IEEE Conf. on Industrial Electronics and Applications*, Singapore.
- [13] Triesch, J. and Von der Malsburg C 2001. A System for Person-Independent Hand Posture Recognition against Complex Backgrounds. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. **23**(12), 1449.
- [14] Imai A., Shimada N. and Shirai Y 2004 3-D hand posture recognition by training contour variation. *Proc. of IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition*, 895-900.
- [15] Zarit B., Super B. and Quek F 1999 Comparison of five color models in skin pixel classification. *Proc. of the Int. Workshop on Recognition, Analysis and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems*, Corfu, Greece.
- [16] Trucco E. and Verri A 1998. *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice Hall.
- [17] Canudas de Wit C., Siciliano B. and Bastin G 1997. *Theory of Robot Control*, Springer-Verlag, NJ, USA.
- [18] Soria C., Carelli R. and Sarcinelli M 2006. Using Panoramic Images and Optical Flow to Avoid Obstacles in Mobile Robot Navigation, *Proc. of International Symposium on Industrial Electronics*, Canada.
- [19] Cook A. M. and Hussey S.M. 2002. *Assistive Technologies: Principles and Practice*. Mosby. St Louis