

## CAPÍTULO X

### **INTERFAZ MULTIMODAL PARA UN ROBOT MÓVIL DE EXTERIOR BASADA EN BUS DE COMUNICACIONES CAN**

DAVID MARTÍN, MARÍA C.GARCÍA-ALEGRE, DOMINGO GUINEA

Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 28500 Arganda del Rey. Madrid. {david.martin, maria.garcia-alegre, domingo.guinea}@car.upm-csic.es

Este trabajo presenta el desarrollo de una interfaz multimodal que aglutina la visualización de señales sensoriales y el control de un robot de exterior. Se aborda en diferentes etapas con el objetivo de facilitar la operación de un robot móvil ante diferentes estrategias de navegación. La interfaz recoge los controladores diseñados para navegación teleoperada, semiautomática segura y autónoma segura guiada por DGPS. Se trata de una interfaz genérica para uso en diferentes entornos y tareas (mantenimiento y vigilancia de zonas verdes, forestales, viales, etc.), que facilita la interacción entre el operador humano y el robot. El flujo de datos que recibe la interfaz y las acciones de control dirigidas a los actuadores se realizan a través de un bus de comunicaciones CAN que constituye la arquitectura hardware de bajo nivel del robot móvil.

#### **1 Introducción**

En los últimos años se han dedicado grandes esfuerzos a la consecución de una navegación autónoma y segura de vehículos en exterior, tanto en entornos urbanos como de campo [6], [10]. En esta línea se sitúan los robots de servicios dedicados a tareas de mantenimiento de campo y labores agrícolas repetitivas [16], entre los que se encuentra el robot tractor DEDALO (Fig. 1). El robot está basado en un tractor articulado de tamaño pequeño o medio (AGRIA HISPANIA S.A.) que puede desplazarse en el intervalo de velocidades comprendido entre 1.3 km/h y 25 km/h. El tractor posee direc-

ción asistida integral con movimiento de la articulación de giro central. La articulación está localizada en el centro del tractor y divide al tractor en dos partes, girando una respecto a la otra. Esta articulación ocupa un espacio reducido y permite girar con mayor facilidad entre líneas de cultivo estrechas.

Las interfaces hombre-máquina facilitan la interacción entre los operadores humanos y los robots [2], [12], [7], con el objetivo de visualizar, supervisar o controlar una tarea, como es la navegación autónoma y segura de un robot móvil en un entorno de exterior. En la operación de un robot, la interfaz puede centrar la atención del operador humano debido a cambios instantáneos en los sensores o detecciones de obstáculos o información del objetivo del robot [4]. Además, las interfaces ofrecen al operador la visualización del proceso o estado del robot en tiempo real y permiten reducir gastos de desplazamiento al lugar de operación del robot o el riesgo humano [15]. Un ejemplo de interfaz multimodal es la interfaz del robot de campo ROBHAZ-DTZ [13], donde las características de la interfaz de usuario del robot se clasifican en: (1) control del robot, (2) información al operador humano de la situación del robot. Otro ejemplo es el robot multitarea de exteriores WOPA [17], que posee una interfaz diseñada para apoyar el aprendizaje y la cooperación continua con el operador humano en varias tareas de exteriores.

En este sentido, las interfaces multimodales y configurables por el usuario en función de la tarea específica de exterior, forman parte de un conjunto de herramientas que facilitan la interacción del robot con el humano y están dentro del paradigma de la percepción artificial y la robótica móvil.

Las interfaces deben de ser capaces de visualizar un gran volumen de datos, como es el caso de las cámaras de visión, que proporcionan información relevante del escenario. Las cámaras de visión integradas en un robot permiten interpretar la escena y tomar las decisiones de pilotaje necesarias para garantizar la seguridad del vehículo y del entorno [5], [8]. El flujo de datos en una interfaz de usuario se complica, al combinar dispositivos como una cámara de visión y un láser de barrido 2D, que son, por otro lado, componentes idóneos para la detección de objetos de interés u obstáculos imprevistos en la navegación de los robots [3], [9], [16]. En el caso de operación remota por un operador humano a través de una interfaz, la percepción en tiempo real de los objetos del entorno, constituye un reto debido a la gran variabilidad de las escenas.

Este trabajo presenta una interfaz multimodal que permite la visualización de la información adquirida en tiempo real por sensores heterogéneos integrados en un vehículo comercial, mediante un bus de comunicaciones CAN. La interfaz multimodal se puede configurar en función de la aplicación debido a que todos los sensores y actuadores están conectados al

mismo bus CAN. El usuario de la interfaz puede supervisar los resultados de las estrategias de percepción y control implementadas, como son la navegación autónoma guiada por DGPS, y activar los actuadores del robot para realizar, paradas instantáneas o giros. El objetivo de la interfaz multimodal es facilitar la interacción entre un operador humano que supervisa una tarea específica y un robot que realiza una tarea de navegación teleoperada o autónoma guiada por DGPS.

El trabajo desarrollado se presenta en los siguientes apartados. En el apartado dos, se describen los sensores y actuadores integrados en el robot móvil. El bus de comunicaciones CAN se describe en el apartado tres. A continuación en el apartado 4, se detalla la funcionalidad de los diferentes modos de operación implementados en la interfaz, y finalmente, en el apartado cinco se muestra un caso de operación del robot móvil en una tarea de navegación y la supervisión que realiza el operador humano a través de la interfaz multimodal. Las conclusiones se presentan en el apartado seis.

## **2 Datos heterogéneos en el robot de exterior DEDALO**

La visualización de datos heterogéneos relativos al funcionamiento de un robot móvil de exterior es de gran utilidad en numerosas aplicaciones de servicio, tanto agrícolas y forestales, como de mantenimiento de parques, espacios de ocio y deporte y viales.

Las actuales interfaces ofrecen bajas prestaciones y se manejan con dificultad en los vehículos teleoperados o autónomos. Es decir, proporcionan poca información del dominio exterior y propio del robot. La supervisión remota permite prevenir “situaciones de riesgo”, ante fallos de los sensores a bordo, realizando una intervención remota de parada de emergencia del vehículo.

El robot DEDALO (Fig.1), dotado de sensores, actuadores y comunicaciones basadas en bus CAN, se ha automatizado en los talleres del CSIC en el campus de Arganda [11]. El conjunto de sensores y actuadores instalado en el robot tractor, está clasificado en función de los objetivos que persiguen:

1. Localización y posicionamiento del robot:
  - a. Un sistema DGPS (GPS con corrección diferencial): obtiene el posicionamiento del robot en cualquier parte del globo terrestre con precisión decimétrica.

- b. Una brújula digital: ofrece la orientación absoluta del vehículo.
- c. Un potenciómetro conectado al vástago del cilindro hidráulico de la dirección: permite conocer la posición del vástago, que ofrece una medida del ángulo de giro de la dirección.
- d. Dos odómetros: están basados en dos sensores inductivos, uno para cada rueda, que envían una señal digital cada vez que detectan uno de los 80 tornillos acoplados en cada disco solidario de las ruedas delanteras. El número de tornillos contados se utiliza para estimar el número de vueltas de la rueda y la distancia recorrida por el robot.

2. Seguridad en el robot:

- a. Sensor de contacto delantero o parachoques basado en fibra óptica: proporciona una señal digital ON/OFF, ante una ligera deformación del parachoques.
- b. Dos inclinómetros: proporcionan la inclinación del tractor, tanto en torno al eje longitudinal como al transversal del tractor, a través de señales digitales.
- c. Un láser de barrido 2D [14]: obtiene 180 medidas de profundidad en función del ángulo con una resolución de 1°.
- d. Una cámara de video [1]: facilita al operador humano la supervisión del entorno y permite la clasificación automática de obstáculos para navegación segura. La cámara está instalada en la parte delantera del robot y posee un sensor de 1,3 megapíxeles y alimentación a través de Ethernet (PoE).

El sistema de actuación diseñado e integrado en el robot tractor DEDALO está compuesto por tres electroválvulas que mueven tres cilindros hidráulicos, para actuar sobre el freno, el embrague y la dirección. Además están integradas otras dos electroválvulas, una dedicada a la recirculación del fluido hidráulico, y la segunda permite la operación del robot de forma manual o automática.



Fig. 1. Robot tractor DEDALO

El láser de barrido 2D se utiliza como dispositivo de seguridad y es fundamental para conseguir una navegación segura y eficiente en entornos de exterior [16], [9]. La imagen láser presenta los objetos localizados delante del robot en el intervalo seleccionado de 0-8 metros. El láser se ha configurado para enviar los datos en tiempo real, en coordenadas polares y con una resolución de 1° en un campo de 180°.

### **3 Bus de comunicaciones CAN e interfaz básica**

Los sensores y actuadores se comunican con el PC a bordo del robot a través de un bus de comunicaciones CAN. La integración de un bus CAN requiere un conjunto de dispositivos que convierten las señales originales de los sensores a señales de bus CAN. La Fig. 2. muestra un diagrama con la arquitectura del bus CAN para la comunicación de sensores y actuadores con tres estrategias de control de bajo nivel: PARAR, AVANZAR y EVITAR OBSTÁCULOS.

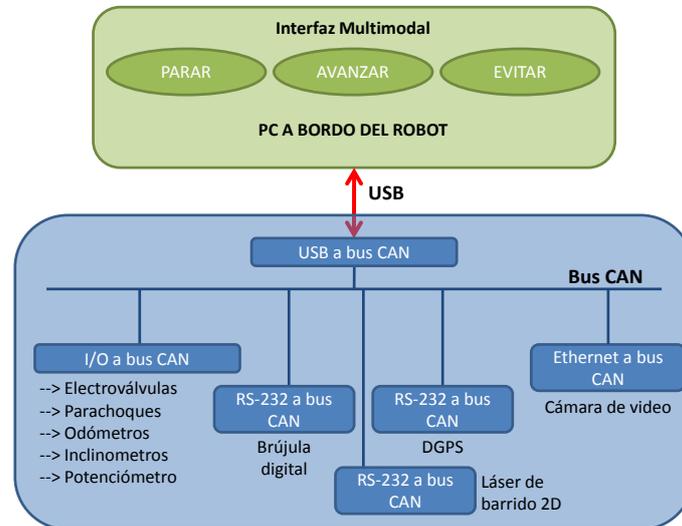


Fig. 2. Arquitectura del bus CAN para la comunicación de sensores y actuadores con tres estrategias de control de bajo nivel

El primer dispositivo es el “USB a CAN” que se emplea para convertir los datos enviados por el PC a través del puerto USB, a formato CAN y viceversa. Los segundos dispositivos se denominan CCRS (“RS-232 a bus CAN”) y convierten los datos enviados por los sensores con puertos serie a mensajes CAN. Este dispositivo copia los datos en una trama de bus CAN y su transmisión se realiza sin la interpretación por parte del CCRS. El dispositivo “Ethernet a bus CAN” permite comunicar una cámara de video con salida por puerto Ethernet con el PC a bordo, a través de bus CAN. El cuarto dispositivo de adaptación de señales a un único bus de comunicaciones CAN es un mini módulo MMCB2 (“I/O a bus CAN”). Este dispositivo envía las señales analógicas y digitales de los diferentes sensores al PC, y recibe las salidas digitales desde el PC para los actuadores, a través de bus CAN. Las señales analógicas y digitales conectadas a este modulo de entradas y salidas son:

- Dos entradas analógicas de tensión: permiten tensiones entre 0 y 10 V. La primera señal analógica proviene del potenciómetro y la segunda del inclinómetro que mide la inclinación correspondiente al eje transversal del tractor.
- Tres entradas digitales eléctricamente aisladas. En estas entradas se conectan la señal del parachoques y las señales de los dos odómetros.

- Seis salidas de relés con contactos libres de tensión. Estas salidas se utilizan para la activación y desactivación de las electroválvulas desde el PC a bordo del robot.

La integración del bus CAN en el robot ha requerido el desarrollo de una interfaz básica en C++ para probar cada uno de los sensores conectados al bus CAN. La interfaz establece comunicación en tiempo real vía bus CAN con todos los dispositivos conectados al mismo. La interfaz inicialmente configura las distintas entradas digitales (parachoques y odómetros) para asegurar su correcto funcionamiento. Es decir, configura el tipo de entrada digital: (i) entrada asíncrona tipo ON/OFF para el caso del parachoques, y (ii) entrada síncrona tipo contador por flanco de bajada para los odómetros. Además, se configura el tiempo antirrebote de las entradas de los odómetros.

La siguiente Fig. 3 muestra un ejemplo de esta interfaz básica para toma de datos de los sensores y actuación sobre las electroválvulas. En concreto, esta pantalla visualiza la adquisición de los datos del láser de barrido 2D.

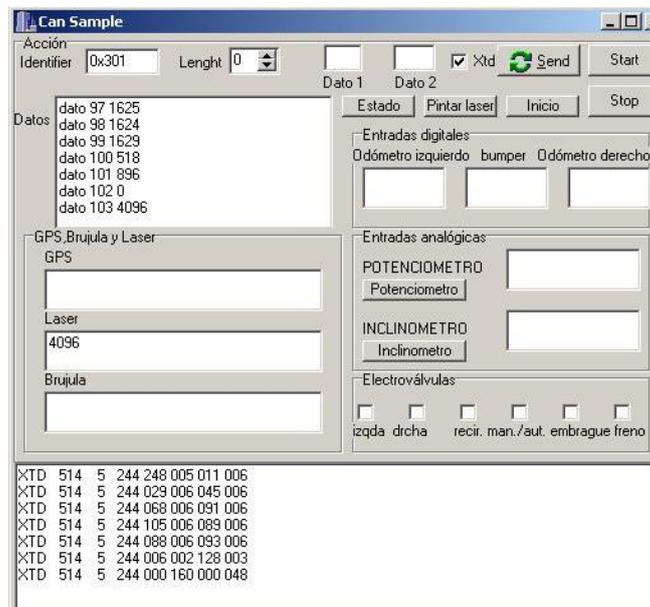


Fig. 3. Interfaz básica visualizando los datos obtenidos del laser vía bus CAN

Los datos mostrados en la interfaz de la Fig. 3, se visualizan en una nueva pantalla (Fig. 4) que puede fácilmente interpretar el operador humano. De esta forma, se comprueba la correcta recepción de los datos enviados por el láser, mediante su representación en una imagen que muestra el entorno delantero del robot.

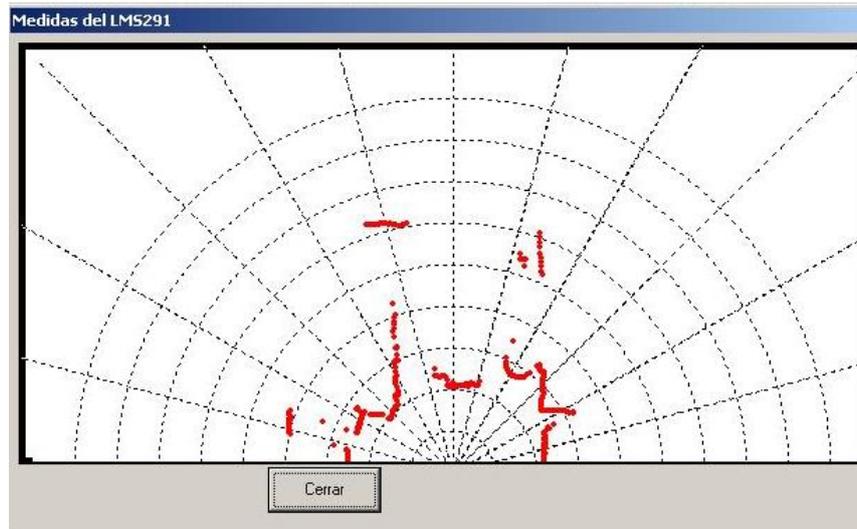


Fig. 4. Imagen láser de los objetos del entorno delantero del robot

Un segundo ejemplo que muestra el funcionamiento de la interfaz básica es la toma de los datos del DGPS (Fig. 5). El DGPS es uno de los dispositivos que mayor ancho de banda consume en el bus CAN. El DGPS permite conocer la posición del robot, y de esta forma se logra alcanzar los puntos objetivo indicados en un mapa georeferenciado, durante la navegación autónoma.

En la Fig. 5 se muestra los mensajes recibidos en el formato del protocolo bus CAN y la conversión de los mensajes CAN a coordenadas UTM. El DGPS envía las coordenadas en formato longitud y latitud, y mediante un algoritmo de conversión, la interfaz visualiza las coordenadas en formato UTM.

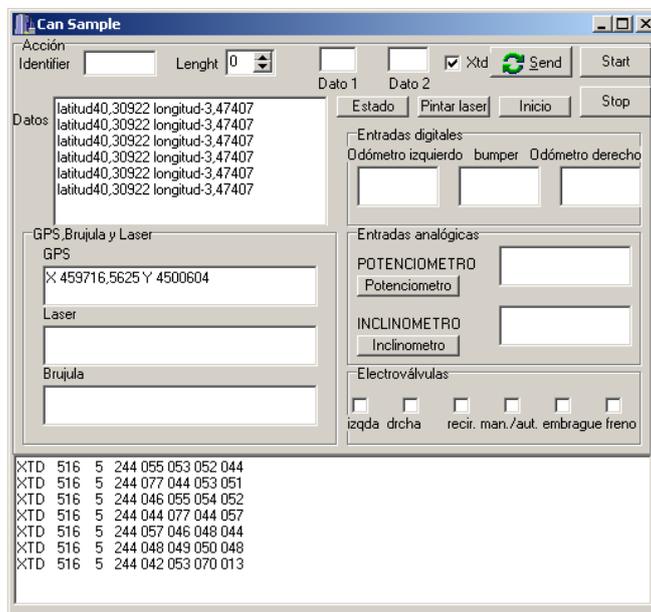


Fig. 5. Interfaz básica visualizando los datos obtenidos del DGPS vía bus CAN

#### 4 Modos de operación de la interfaz

La interfaz básica mostrada en el apartado anterior es la base para el desarrollo de una interfaz multimodal basada en bus de comunicaciones CAN. La configuración de la interfaz se puede seleccionar en función de la aplicación de exterior. Una vez configurada la interfaz el operador humano puede supervisar la tarea que realiza el robot.

La interfaz multimodal se diseña para operar con el robot en cuatro modos que poseen funcionalidades diferentes. La selección de cada modo en tiempo real por el operador humano se puede realizar debido a que todos los sensores y actuadores están conectados a un único bus de comunicaciones CAN. La disposición de los componentes que integran la interfaz se muestra en la Fig. 6.

La interfaz multimodal se ejecuta en el ordenador a bordo del robot, y se comunica mediante Wifi con el ordenador remoto que utiliza el operador humano. El ordenador remoto, que se conecta mediante escritorio remoto al ordenador a bordo del robot, visualiza la interfaz multimodal. Esta comunicación remota facilita: (i) la ejecución de la interfaz en tiempo real en

el ordenador a bordo del robot que está conectado directamente con el bus CAN y (ii) la supervisión de la interfaz multimodal por el operador humano como si la interfaz se estuviera ejecutando en su ordenador remoto.

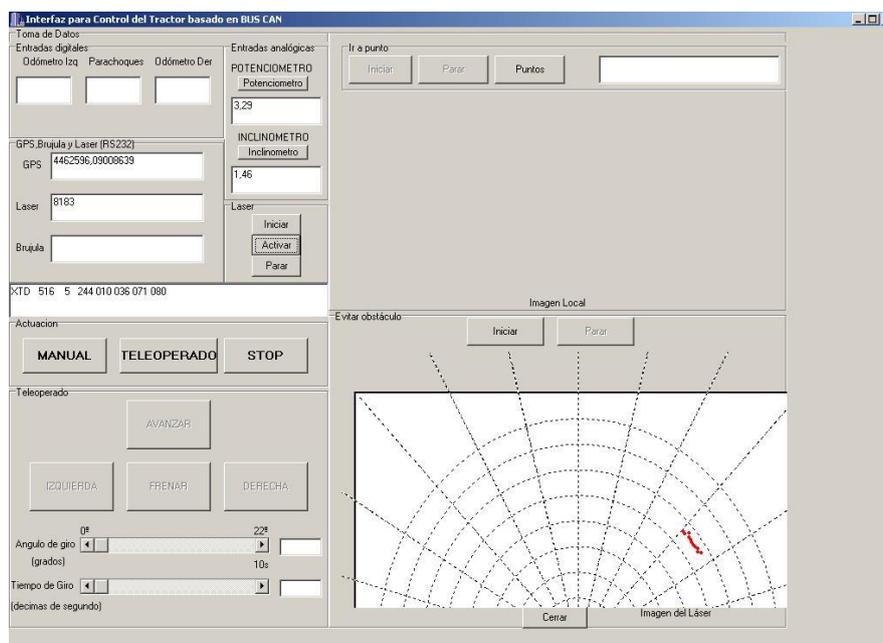


Fig. 6. Interfaz multimodal en modo de vagabundear evitando obstáculos

La interfaz multimodal de la Fig. 6 integra la toma de datos de los sensores de forma numérica (interfaz básica). Los datos se pueden observar en el módulo superior izquierdo de la interfaz. La operación manual y la parada del robot se puede seleccionar en el módulo intermedio izquierdo.

Los cuatro modos de operación que permite de la interfaz multimodal son: (i) teleoperado, (ii) vagabundear evitando obstáculos, (iii) ir a punto guiado por DGPS, y (iv) ir a punto guiado por DGPS evitando obstáculos.

El modo *teleoperado* está situado en la parte inferior izquierda y permite AVANZAR, PARAR, GIRO A LA IZQUIERDA Y GIRO A LA DERECHA. La activación de un giro de forma teleoperada utiliza el “ángulo de giro” y el “tiempo de giro” configurados en la interfaz.

El segundo modo es *vagabundear evitando obstáculos* y está situado en la parte inferior derecha de la interfaz. La Fig. 6 muestra un ejemplo, donde el operador humano puede observar un obstáculo que aparece en la parte delantera del robot. El algoritmo implementado en este modo se encarga de activar los actuadores para desviar el robot y evitar el obstáculo.

El tercer modo es *ir a punto guiado por DGPS*, en este caso el robot se desplaza entre un punto inicial y el punto indicado por el operador humano. Este modo está implementado en la parte superior derecha de la interfaz y muestra al operador humano la trayectoria seguida por el robot. Finalmente, el cuarto modo se denomina *ir a punto guiado por DGPS evitando obstáculos*, y engloba los dos modos anteriores, es decir, la parte derecha de la interfaz queda activada, y el operador humano puede supervisar la trayectoria del robot y los obstáculos que aparecen en la parte delantera del robot.

## **5 Resultados: Interacción humano-robot mediante interfaz multimodal**

La visualización, supervisión y control de las variables involucradas en la operación del robot DEDALO se realiza mediante la interfaz multimodal desarrollada. La Fig. 7 muestra la interfaz utilizada por el operador humano para supervisar el posicionamiento del robot, los obstáculos detectados delante del robot y los datos de los sensores en tiempo real vía bus CAN.

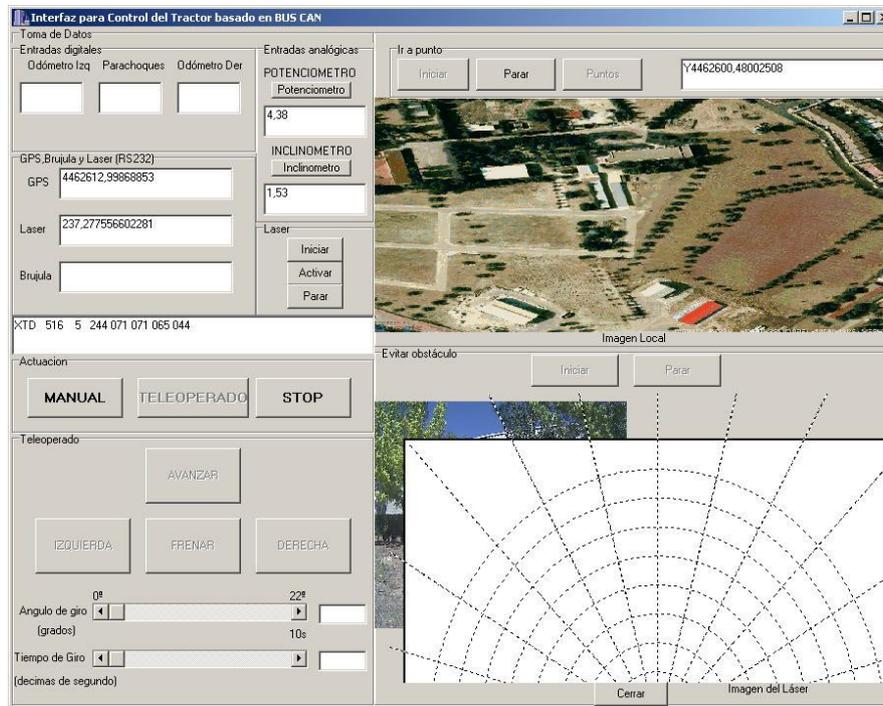


Fig. 7. Interfaz multimodal visualizando navegación segura

A continuación se muestra un ejemplo de utilización de la interfaz desarrollada en modo *teleoperado*, donde el operador humano supervisa la información visualizada en la interfaz, que corresponde a los datos de los sensores vía bus CAN durante la navegación del tractor en un campo de olivos. La trayectoria supervisada por el operador humano puede observarse en la Fig. 8, donde se muestran las coordenadas DGPS en una imagen georeferenciada.



cal (región 1), (ii) el giro entre la tercera y la cuarta línea roja vertical (región 2), y (iii) el giro indicado por los valores situados entre la quinta y sexta línea roja vertical (región 3).

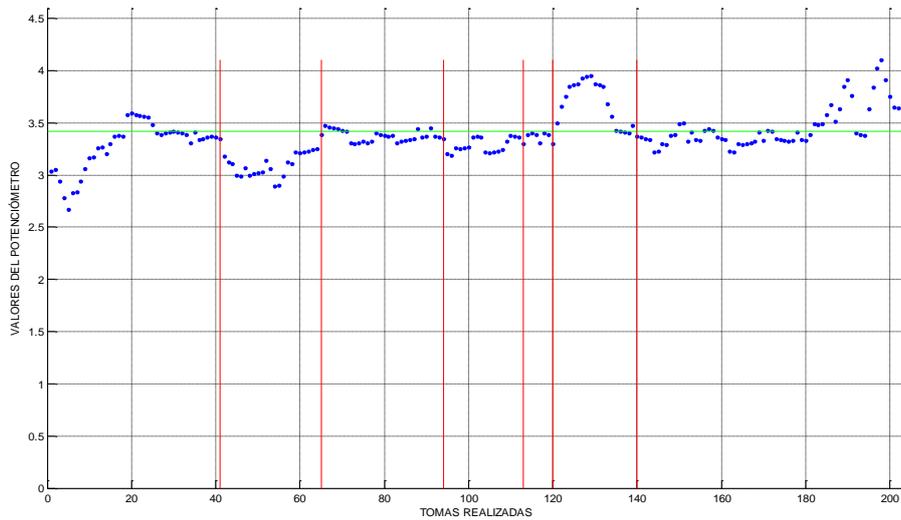


Fig. 9 Visualización del potenciómetro vía bus CAN en tiempo real, e intervalos en los que se analiza un cambio de dirección, en la trayectoria visualizada en la Fig. 8

El valor de tensión asociado a un giro de  $0^\circ$  en el robot, se representa mediante una línea horizontal verde. En la Fig. 8 se han marcado los giros mediante puntos sobre la trayectoria realizada por el robot.

La segunda evolución temporal, que supervisa el operador humano, son los datos obtenidos de la brújula vía bus CAN y se muestran en la siguiente Fig. 10.

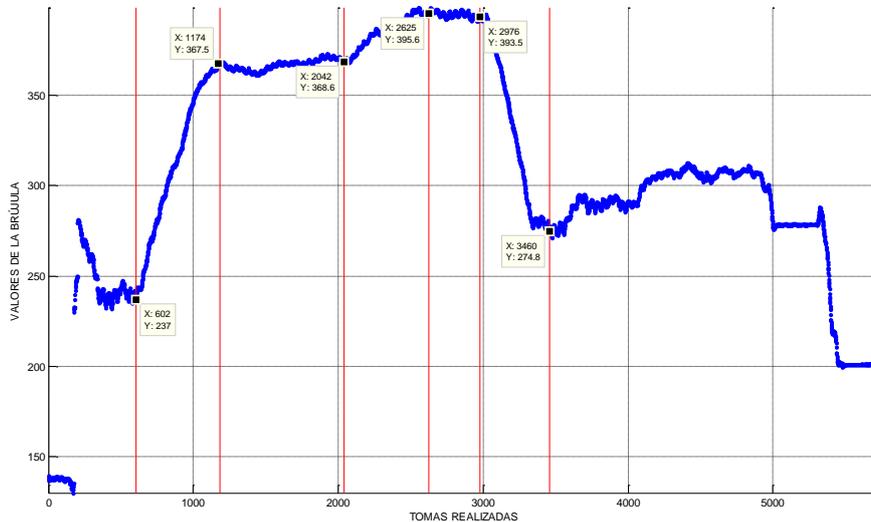


Fig. 10. Visualización de los datos de la brújula digital y representación de los intervalos analizados en la Fig. 9

Una vez visualizados los datos de los sensores, el operador humano supervisa la tarea realizada por el robot. Por ejemplo, en la región 1 se observa que los valores del potenciómetro se sitúan por debajo del límite de los 3.42 V, tratándose de un giro hacia la derecha. Este giro se supervisa también en la Fig. 8, donde se observa un giro hacia la derecha, y en la Fig. 10, donde se muestra que se ha producido un giro hacia la derecha debido a que el ángulo aumenta  $130^\circ$ . Por otro lado, en el tercer giro de la Fig. 9, se observa que se trata de un giro hacia la izquierda. La gráfica de la Fig. 10 muestra que se ha realizado un giro de  $118.7^\circ$  hacia la izquierda.

## 6 Conclusiones

Este trabajo muestra una interfaz multimodal para la operación de un robot móvil en un entorno de exterior. La interfaz multimodal ha permitido la visualización de las señales sensoriales que posteriormente son supervisadas por el operador humano, y ha facilitado el control del robot móvil DEDALO en un entorno de exterior. La interfaz es genérica y se puede configurar para uso en diferentes aplicaciones: agrícolas, mantenimiento y vigilancia de zonas verdes, forestales, viales, etc.

La solución propuesta integra diferentes modos para la navegación teleoperada, semiautomática segura y autónoma segura guiada por DGPS, y permite la interacción entre el operador humano y el robot en tiempo real.

El resultado es una interfaz multimodal sencilla y de fácil manejo por el operador humano, donde puede seleccionar diferentes modos de operación en tiempo real. Los cuatro modos implementados de forma intuitiva, facilitan la rápida adaptación del operador humano a tareas de supervisión remota de un robot móvil en exterior.

Los diferentes modos de operación implementados en la interfaz están conectados directamente con la arquitectura hardware de bajo nivel del robot móvil, que está constituida por el bus de comunicaciones CAN y los sensores y actuadores del robot. El bus CAN y la interfaz multimodal han permitido optimizar la toma de datos y de decisiones en tiempo real, para garantizar la operación eficiente del robot DEDALO en un entorno de exterior.

## **Agradecimientos**

El trabajo ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) del Ministerio de Educación y Ciencia y por el Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica (PRICIT) de la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM), proyectos: CICYT- DPI-2006-14497 y ROBOCITY2030 I y II: Robots de Servicios-PRICIT-CAM- P - DPI-000176-0505

## **Referencias**

- [1] Axis Communications AB, Lund, Sweden, <http://www.axis.com/>
- [2] Cancela, J. 2009. Desarrollo de una interfaz multimodal para un robot doméstico móvil. Control por voz y mando a distancia. Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid.
- [3] DARPA. 2007. Continental Automotive Systems to support Carnegie Mellon's Tartan Racing in 2007 DARPA Urban Challenge, PRNewsWire.
- [4] Fielding, M., Mullins, J., Horan, B., Nahavandi, S. 2007. OzBot™ - Haptic augmentation of a teleoperated robotic platform for search and res-

cue operations. SSRR 2007, Proceedings of the 2007 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, Rome, Italy.

[5] García-Alegre, M. C., Recio, F. 1998. Basic Visual and Motor Agents for Increasingly Complex Behavior Generation. *Autonomous Robots* 5: 1–10.

[6] García-Pérez, L., García-Alegre, M.C., Ribeiro, A., Guinea, D. 2008. An agent of behaviour architecture for unmanned control of a farming vehicle. *Computers and Electronics in Agriculture* 60: 39–48.

[7] Kayama, K., Yairi, I. E., Igi, S. 2007. Outdoor environment recognition and semi-autonomous mobile vehicle for supporting mobility of the elderly and disabled people. *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology* 54: 113–123

[8] Keicher, R., Seufert, H. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 169–194.

[9] Kelly, A., Stentz, A., Amidi, O., Bode, M., Bradley, D., Díaz-Calderón, A., Happold, M., Herman, H., Mandelbaum, R., Pilarski, T., Rander, P., Thayer, S., Vallidis, N., Warner R. 2006. Toward Reliable Off Road Autonomous Vehicles Operating in Challenging Environments. *Intern. J. Robotics Research* 25: 449–483.

[10] Martín, D., Garcia-Alegre, M.C., Piva, A., Guinea, D. 2009. Camera and laser vision fusion for safe navigation of a commercial tractor. *Proc. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009)*, Kobe, Japan.

[11] Martín, D., Guinea, D. M., López-Campos, J., García-Alegre, M. C., Guinea, D. 2010. CAN-bus communication for sensor data acquisition and actuator control in the automation of a commercial tractor. *International workshop ROBOTICS2010. Mobile Robotics for Environment/Agriculture*, Clermont-Ferrand, Francia.

[12] O'Brien, B. J., Sadler, L. 2009. Implementation of small robot autonomy in an integrated environment. *Proc. of SPIE Vol. 7332, 73321U, Unmanned Systems Technology XI*, doi: 10.1117/12.818494.

- [13] Ryu, D., Kang, S., Kim, M., Song, J.-B. 2004. Multi-modal user interface for teleoperation of ROBHAZ-DT2 field robot system. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 168–173
- [14] SICK AG. Erwin-Sick-Str. 1, 79183 Waldkirch, Germany, <http://www.sick.com/>
- [15] Song, D., Hu, Q., Qin, N., Goldberg, K. 2005. Automating inspection and documentation of remote building construction using a robotic camera. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, pp. 172–177, Edmonton, Canada.
- [16] Stentz, A., Dima, C., Wellington, C., Herman, H., Stager, D. 2002. A system for Semi-Autonomous Tractor Operations. *Autonomous Robots* 13: 83–104.
- [17] Suomela, J., Halme, A. 2004. Human robot interaction - Case work-partner. Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Sendai, Japan, pp. 3327–3332