

Diseño e implementación de tele operación de un robot móvil diferencial programado con Python desde un dispositivo Android

Josué Cirilo Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, Av. San Pablo, Colonia Reynosa, Delegación Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5518064864
al210300218@alumnos.azc.uam.mx

Arturo Zuñiga López

Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, Av. San Pablo, Colonia Reynosa, Delegación Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5518064864
azi@correo.azc.uam.mx

Juan Villegas Cortez

Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, Av. San Pablo, Colonia Reynosa, Delegación Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5518064864
juanvc@correo.azc.uam.mx

Carlos Avilés Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana- Azcapotzalco, Av. San Pablo, Colonia Reynosa, Delegación Azcapotzalco, México D.F., Teléfono: 5518064864
caviles@correo.azc.uam.mx

Resumen

En el presente artículo se lleva a cabo el análisis, diseño y la tele operación de un dispositivo, en este caso un robot móvil diferencial (RMD), la programación del control de este se realizó desde un dispositivo móvil con sistema operativo Android, usando lenguaje Python, y de manera inalámbrica se envían ordenes al RMD para realizar

tareas dependiendo del comando (dato) que se le envía. La programación se realiza desde el dispositivo Android y no es necesaria una computadora de escritorio para compilar el código generado, sino un intérprete llamado Scripting Layer for Android (SL4A) en el dispositivo móvil. El RMD es tele operado, logrando un conjunto de 6 instrucciones realizadas sin problema y en tiempo real.

Palabra(s) Clave(s): Python, robot móvil diferencial, SL4A, tele operación.

1. Introducción

La robótica móvil se considera actualmente un área de la tecnología avanzada que estudia problemas de alta complejidad, sus productos se constituyen en aplicaciones de las áreas de control, programación, inteligencia artificial, percepción e instrumentación y sirven de base para el avance en diversos campos de la industria, aportando soluciones tecnológicas innovadoras, orientadas al desarrollo de mejores robots y a la ampliación del abanico de aplicaciones disponibles. Así, este campo de la investigación está desarrollándose en todo momento, quedando aún mucho por hacer [1].

En los últimos años, los robots móviles en comparación con los robots fijos, abren un gran abanico de posibilidades en la realización de tareas, sea de modo automático o siendo manipulados por medio de tele operación [2]. Desde tareas no tan complejas como las de seguridad [3], en el que se realiza la tele operación de un robot móvil para inspeccionar lugares de difícil acceso, robots móviles que realizan la exploración de terrenos como [4], con el objetivo de localizar alarmas de minas y simultáneamente determinar características de la superficie del terreno y el perfil de mismo, robot móviles utilizados en fábricas de armas y en plantas nucleares para el trabajo directo con material radiactivo en movimiento [5]. Robots usados para sistemas de sensado [6], hasta robots móviles tele operados para la exploración espacial, utilizados por la NASA [7,8,9].

Para hacer exitosa la navegación de un robot, se requiere de una selección adecuada en su arquitectura [10], es así que un robot móvil diferencial (ver figura 1) tiene una

configuración de las más sencillas. Consiste de dos ruedas con un eje en común, en donde cada rueda se controla independientemente y sus movimientos pueden ser: línea recta, en arco hacia la izquierda o la derecha y vuelta sobre su propio eje [11].

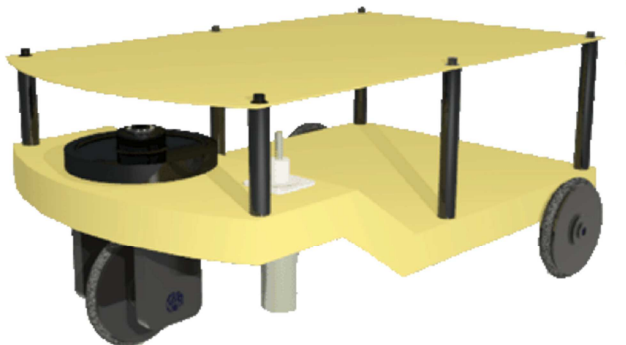


Fig. 1. Robot móvil diferencial.

La tele operación es el conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano [12]. Por tanto, tele operar es la acción que realiza un sujeto de operar o gobernar a distancia un dispositivo; mientras que un sistema de tele-operación será aquel que permita tele operar un dispositivo, que se denominará dispositivo tele operado, mediante un enlace inalámbrico como en [13], donde se usa un medio inalámbrico para realizar la tele operación de un robot móvil, en nuestro caso utilizaremos el enlace Bluetooth.

Es necesario un lenguaje de programación apropiado según el tipo de aplicación, por lo que en este proyecto se eligió Python [14], que es un lenguaje de programación de alto nivel multiplataforma, debido a que soporta distintos tipos de programación, el más común es el orientado a objetos. Python nos provee de reglas de estilos, a fin de poder escribir código más legible y de manera estandarizado [14].

2. Desarrollo

El sistema en general consta de dos partes: hardware (HW) y software (SW). En el HW se consideran dos bloques, en el primero el RMD, y el segundo el dispositivo móvil con

el que se realizará la tele operación. En el SW se consideran: los módulos programados para el funcionamiento del robot móvil, y la aplicación desarrollada sobre Android en el dispositivo móvil.

La interfaz de comunicación entre ambos dispositivos vía Bluetooth, ver Figura 3, ahí se muestra el diagrama general del sistema propuesto. En el dispositivo Android, el módulo del "Algoritmo de procesamiento y sistema de transmisión" y en el robot móvil diferencial, el "Sistema de procesamiento de recepción y control", la "Interfaz visual", el "Sistema de control de motores" y "Motores", que en conjunto se usan para realizar la tele operación de un robot móvil diferencial.

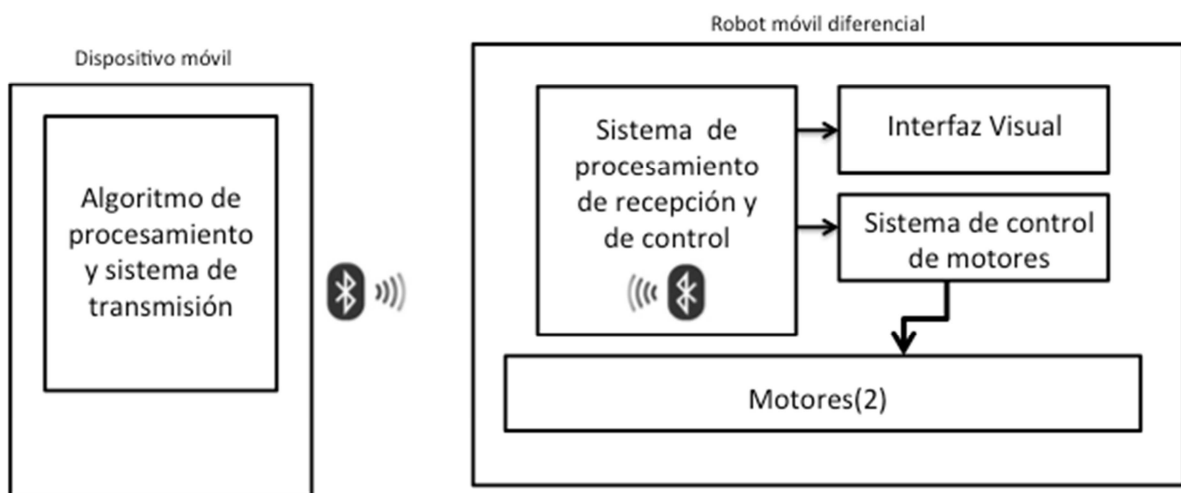


Fig. 2. Diagrama general del sistema propuesto.

Se describe a continuación cada una de las etapas propuestas en la metodología. En la figura 2, se muestra a detalle el sistema propuesto para el robot móvil diferencial, que consta de 2 sistemas y una interfaz visual.

a) Construcción del robot móvil diferencial

En este apartado se describe la construcción del sistema del robot móvil diferencial. Se divide en 3 partes (ver figura 2).

- i. **Sistema de recepción y control:** Constituido por un sistema embebido, y un módulo de Bluetooth, encargados de recibir el dato enviado desde el dispositivo Android y de traducirlo a una instrucción que es enviada al sistema de control de motores.
- ii. **Sistema de control de motores:** Conformado por un puente H. Este sistema es el encargado de habilitar los motores por medio de las decisiones tomadas por el sistema de procesamiento de recepción y control.
- iii. **Interfaz visual:** Constituido por una pantalla LCD en la que se observara el comando que el robot móvil diferencial recibe y ejecuta.

El diseño de este proyecto dispositivo Android-robot móvil solo está considerado para unir adecuadamente cada uno de los módulos propuestos. Los componentes que se utilizaron en el robot móvil diferencial se muestran en la figura 3.

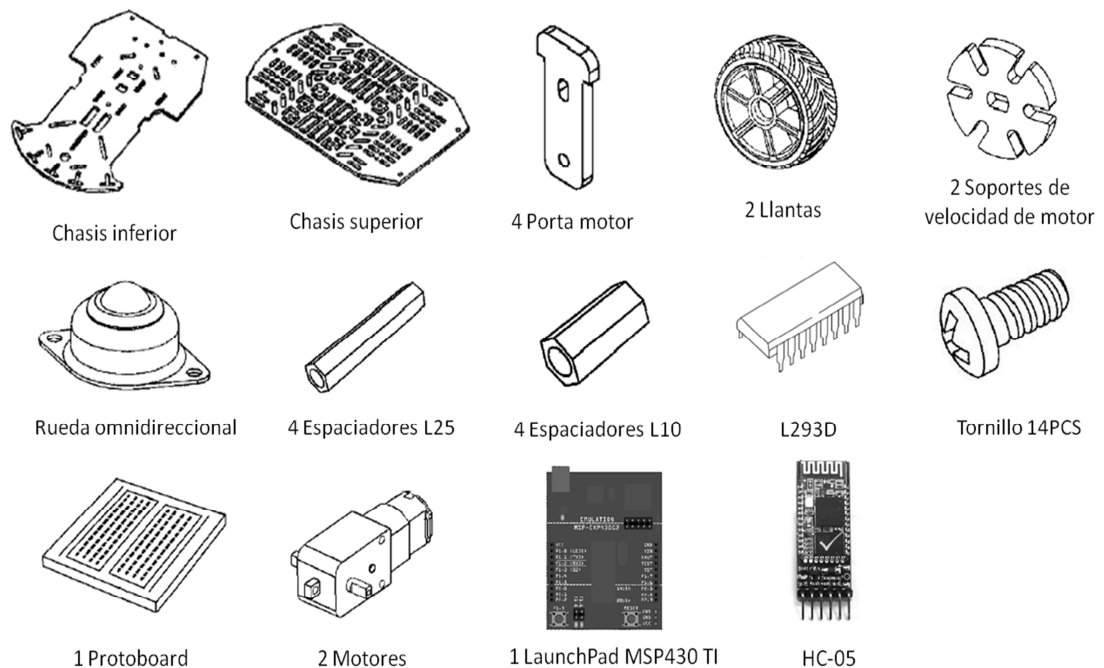


Fig. 3. Componentes del robot móvil diferencial.

Sistema de recepción y control-sistema de control de motores

Se realiza el montaje de los componentes mencionados anteriormente, y se arma el robot móvil diferencial y quedando como se muestra en la figura 4.

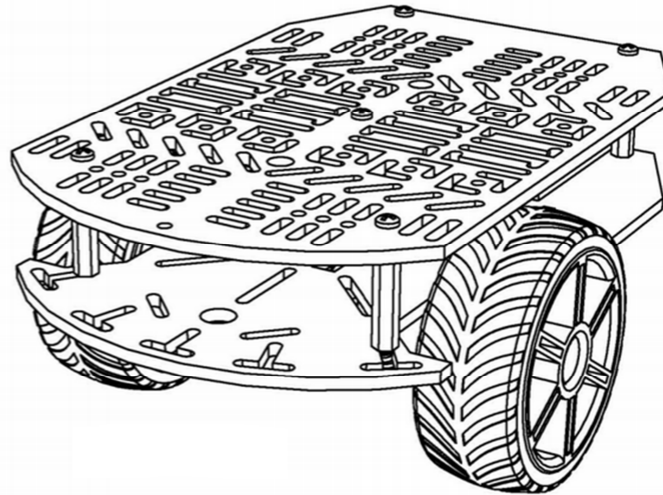


Fig. 4. Robot móvil diferencial.

Se programa la tarjeta “Launchpad MSP 430” de Texas Instruments, en la que se pueden programar microcontroladores en lenguaje Wiring [15], consta de una IDE e instrucciones sencillas, sin necesidad de herramientas adicionales como programadores o modulo externos [16], basta con solo configurar la IDE para comenzar a escribir el código que regirá al programa de control y la descarga del código a la tarjeta.

b) Control manual del sistema de control de motores y la interfaz visual.

En esta etapa se realizan las conexiones físicas entre estos los bloques mencionados anteriormente, con el fin de establecer la comunicación entre el sistema de control de motores y el sistema “Sistema de recepción y control”. De manera alámbrica, mediante la computadora conectada a la tarjeta Launchpad MSP430 por puerto serial se envían señales digitales al “Sistema de control de motores”, que consta de un puente H-L293D

[17] con el que se activan o desactivan los motores, según sea el caso del dato enviado, con el fin de garantizar su correcta comunicación y conexión.

nterfaz Visual

Consta de Display LCD de 16 columnas por 2 filas (16x2), sobre la que se pueden mostrar mensajes formados por caracteres: letras, símbolos, números, etc. (ver figura 5) [18]. En esta se visualizarán los datos que la tarjeta Launchpad MSP 430 recibe, cuando el dispositivo Android envíe datos.

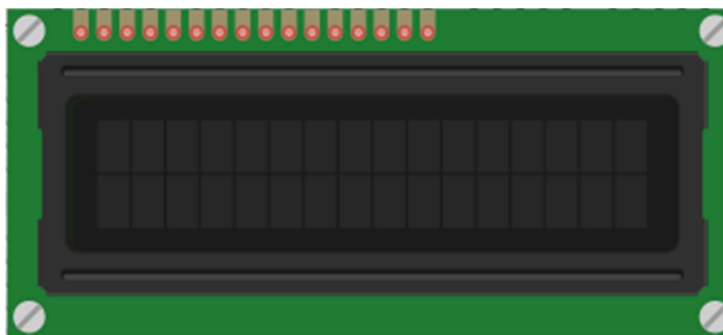


Fig. 5. Robot móvil diferencial.

c) Programa para realizar la tele operación del robot móvil diferencial

El código del programa para traducir las ordenes y tele operar el robot móvil diferencial, se realiza con el objetivo de traducir las ordenes que reciba del dispositivo Android (Algoritmo de procesamiento y sistema de transmisión), al robot móvil diferencial (Sistema de recepción y control de motores). Este programa contiene las diferentes órdenes que traducirá, específicamente qué hacer cuando reciba el dato recibido y qué hacer cuando no lo reciba el dato correctamente.

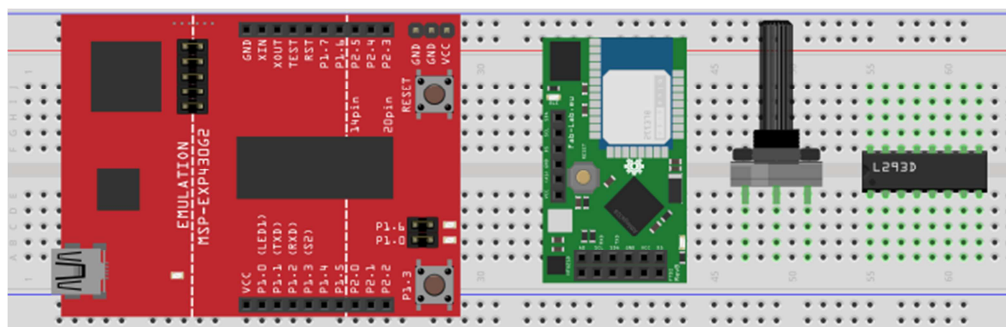


Fig. 6. Disposición y montaje de los componentes el sistema de recepción y el control de motores de nuestro robot móvil diferencial.

En la figura 6 se muestra una placa protoboard que es una placa de circuito perforada, conectada eléctricamente y la disposición de los componentes que forman el sistema de recepción y el control de motores, de nuestra propuesta de construcción del RMD, ésta placa se fija sobre el robot ya armado.

Programa de control y sistema de transmisión

El programa de control, que se desarrolla desde SL4A (Scripting Layer for Android), permite editar y ejecutar scripts e intérpretes interactivos para un dispositivo con sistema operativo Android y utiliza el lenguaje de programación Python [14,19], el cual por medio de intérpretes, es escrito y ejecutado desde el dispositivo sin la necesidad de haber una computadora de escritorio presente para compilar y ejecutar el código del programa. Este programa tiene como objetivo leer las ordenes escritas por el usuario y enviarlas al “Sistema de recepción y control”. Se utilizó un dispositivo LG L80 + Bello - D331, con sistema operativo Kit Kat 4.4.2, para realizar el programa de control y se utiliza como sistema de transmisión.

d) Sincronización del Bluetooth del dispositivo Android con el módulo Bluetooth

Se procede a verificar su funcionamiento, cuando se ejecuta el programa en SL4A, se realiza la sincronización entre el Bluetooth del dispositivo Android con el módulo Bluetooth HC-05 [20], el cual es un receptor de Bluetooth que recibirá los datos enviados desde el dispositivo móvil, así la sincronización se hace de manera

inalámbrica. Este módulo pertenece al sistema de recepción y control de motores. Una vez sincronizados el sistema está listo para realizar el envío y la recepción de datos.

d) Tele operación del robot móvil diferencial

Una vez realizada la sincronización del Bluetooth, el robot móvil diferencial se encuentra listo para recibir datos. La Tabla 1 contiene los diferentes comandos o instrucciones (datos) que se le pueden enviar al RMD.

f) Generar resultados y conclusiones

Se prueba el funcionamiento del robot móvil diferencial, enviando todos los comandos posibles y se generan conclusiones para su posible aplicación en los diferentes campos de la ingeniería.

g) Realizar mejoras al código del programa de tele operación y control

Si el robot móvil diferencial presenta fallas o respuestas muy lentas referentes a la recepción o ejecución de los comandos recibidos, se realiza un mejoramiento u optimización en el código del programa de control.

3. Resultados

A continuación se muestra el funcionamiento del sistema completo. Se enciende el robot móvil diferencial, pasados 5 segundos en la pantalla LCD, nos indica que se encuentra listo para recibir el dato con un “Esperando dato”. Ver Figura 8.



Fig. 7. Esperando dato.

Después encender el robot móvil diferencial, se ejecuta el programa en Python desde el dispositivo Android. Para ello se selecciona el archivo de interés, en este caso se ejecuta el archivo llamado “Robot_móvil.py” como puede verse en la siguiente figura 8.

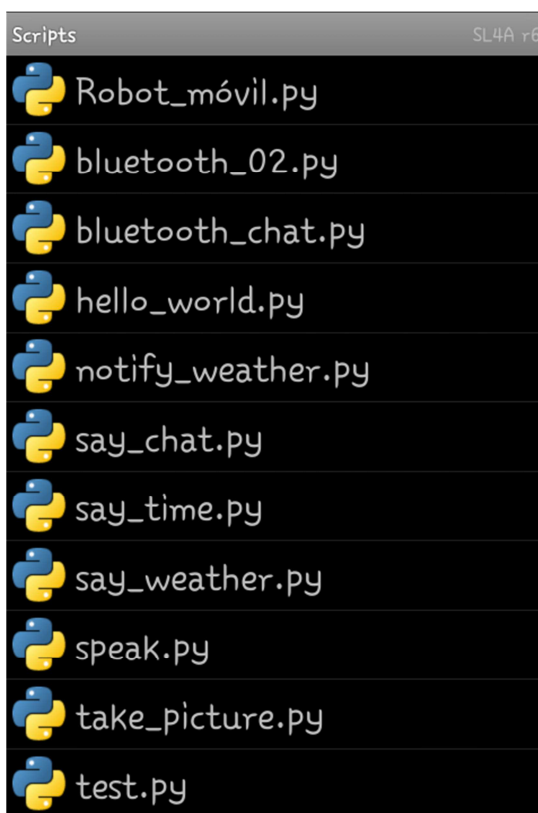


Fig. 8. Lista de programas en Python mostrados en la pantalla del dispositivo móvil, para ser seleccionados por el usuario.

Después de ejecutar el programa, nos preguntará si desea habilitar el Bluetooth del dispositivo. Nos da dos opciones; “Si” y “No”, ver figura 9(a), en el caso de seleccionar “Si”, habilitara el Bluetooth de nuestro dispositivo Android y en el caso que se seleccione “No”, no lo habilitará y terminará el programa.



Fig. 9. a) Habilitación de Bluetooth, b) Confirmación de uso de Bluetooth.

Después de habilitar el Bluetooth del dispositivo Android, el programa preguntará si se desea enviar un comando (dato) con la pregunta: “Bluetooth?”, ver figura 9(b) y nos pedirá seleccionar alguna opción y después pedirá que se ingrese un comando para enviarlo al Robot móvil diferencial (Sistema de control y recepción, ver figura 10 y 11), por ejemplo, si enviamos un “4”, de acuerdo con el comando de la tabla 1 (Vista más adelante), el RMD encenderá el motor izquierdo. Y así para cada comando y su orden respectivamente.

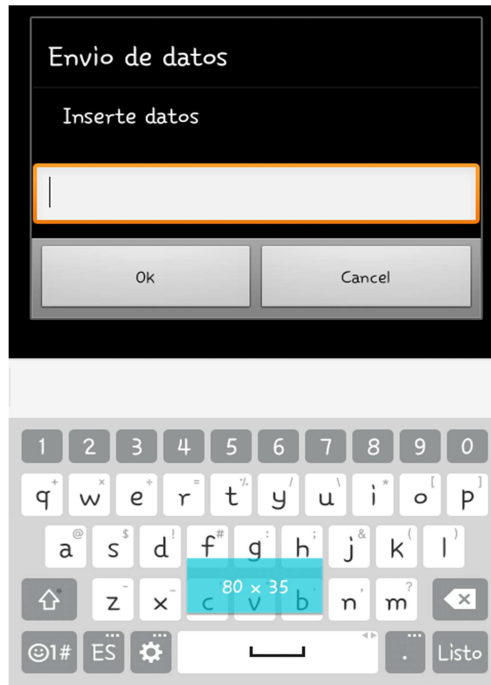


Fig. 10. Envío de datos.



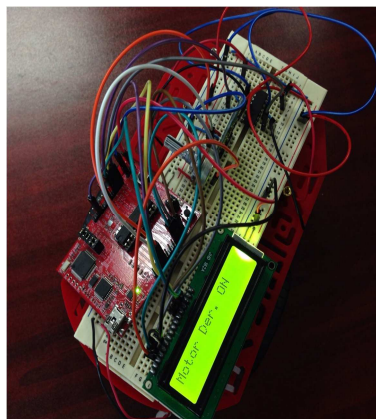
Fig. 11. Dato recibido

Cuando se envía el dato, el programa nos despliega un mensaje con la leyenda: “Se envió el número ingresado: 4”y en el modulo de la interfaz del robot móvil diferencial se muestra el dato recibido (ver figura 11) y pasado 1 segundo se muestra la descripción de la acción (ver figura 12a y 12b). A continuación en la tabla 1 se muestran los comandos posibles que se pueden enviar al RMD, así como una breve descripción de cada uno de ellos.

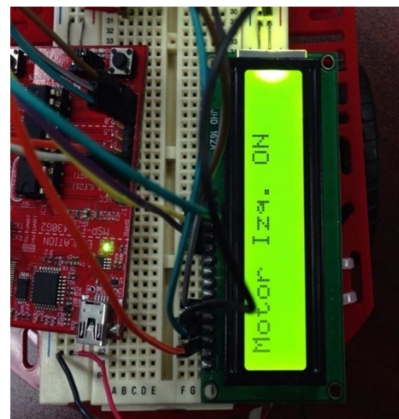
Dato	Comando	Descripción
1	Motor Izquierdo ON	Se enciende el motor izquierdo del robot
2	Motor Izquierdo OFF	Se apaga el motor izquierdo del robot
3	Motor derecho ON	Se enciende el motor derecho del robot
4	Motor derecho OFF	Se apaga el motor derecho del robot
5	Ambos motores encendidos	Se encienden ambos motores del robot
6	Ambos motores apagados	Se apagan ambos motores del robot

Tabla 1. Instrucciones del robot móvil diferencial.

En la Figura 12(a) y 12(b) se muestra el funcionamiento del robot móvil diferencial. Como se puede ver, se envían los comandos de encendido del motor izquierdo y el motor derecho y estos se ven reflejados en el display LCD.



a)



b)

Fig. 12. a) Motor derecho encendido, b) Motor izquierdo encendido.

4. Discusión

El presente trabajo se desarrolló bajo las siguientes condiciones:

1. La superficie en donde se probó el funcionamiento del RMD está libre de obstáculos.
2. Hay pocos obstáculos cuando se está tele operando, con el fin de evitar choques.
3. La distancia máxima de tele operación es la máxima del radio del alcance de la señal del Bluetooth con vista libre (aproximadamente 10m).
4. El programa se ejecuto en SL4A, probando su funcionamiento con diferentes versiones de sistema operativo Android (2.3, 4.3, 4.4.2) y se comprobó su operación correcta.

5. Si el modulo Bluetooth es apagado accidentalmente o por falta de batería, al encenderse nuevamente se debe de esperar un tiempo de recuperación aproximado de 10segundos para garantizar la sincronización correcta.
6. Si la tarjeta MSP 430 es apagada, al encenderse nuevamente debe presionarse el botón de reset de la misma, aproximadamente 4 segundos para garantizar su óptimo funcionamiento.
7. Al mandar un nuevo dato, el programa tarda dependiendo las características del dispositivo.

El sistema desarrollado presentó un funcionamiento estable bajo estas condiciones y se hicieron pruebas de laboratorio que mostraron su rapidez de respuesta, además de que la reconstrucción del sistema total es muy sencilla y rápida para estudiantes de ingeniería en nuestra universidad. Con todo esto se valida que el conjunto de instrucciones puede ser acoplado o traducido para otros propósitos acorde a una interfaz de entrada.

5. Conclusiones

Con el presente artículo se presentó un sistema de un robot móvil diferencial tele operado, siguiendo un diseño apropiado en sencillez para su ensamblado, y además de bajo costo ya que permite el uso de componentes electrónicos que están a la mano. El sistema propuesto muestra que podría ser llevado hacia la tele operación de dispositivos más complejos, o de tareas más complicadas, es decir, no sólo el encendido y apagado de los motores, sino el control de movimientos de brazos mecánicos, sensores, actuadores, etc.

Con el trabajo aquí presentado mostramos que es posible realizar la construcción de robots móviles que nos permiten desarrollar la implementación de algoritmos de navegación, y proporcionar soluciones a bajo costo con software de licenciamiento libre, con una operación suficiente y robusta.

Los trabajos a futuro que pueden realizarse serían: la tele operación de robots más complejos; programas que realicen el procesamiento de tareas complicadas a bajo costo y rápidas; desarrollo de programas que tengan diferentes aplicaciones, por ejemplo el graficado de señales, calculadoras complejas, programas de control de dispositivos industriales, etc., todo desde un dispositivo móvil, así también como poder

realizar interfaces con un conjunto de instrucciones con otro propósito, por ejemplo señales traducidas de movimiento en electro oculogramas.

6. Referencias

- [1] G. Bermúdez. Robots Móviles. "Teoría, Aplicaciones y experiencias". Revista Tecnura. Vol. 5. No. 10. Enero-Junio 2002. 101 pp.
- [2] J. I. Pérez Arreguín, S. Tovar Arriaga, U. G. Villaseñor Carrillo, E. Gorrostieta Hurtado, J. C. Pedraza Ortega, J. E. Vargas Soto, J. M. Ramos Arreguín, A. Sotomayor Olmedo, "Robot Móvil de Tracción Diferencial con plataforma de Control Modular para Investigación y Desarrollo Ágil de Proyectos". 10º Congreso Nacional de Mecatrónica, Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. Noviembre 3. 2011. Puerto Vallarta Jalisco.
- [3] F. A. Plata Torres, R. F. Serrano Rojas, N. Chio Cho, "Diseño y Construcción de un Prototipo de Robot Móvil Teleoperado para inspección Visual". Épsilon. Vol. 8. Enero-Junio 2007. 101-109 pp.
- [4] R. C. Ponticelli Lima, "Sistema de exploración de terrenos con robots móviles: aplicación en tareas de detección y localización de minas antipersonas". Memoria para optar por el grado de Doctor en Control Automático y Sistemas. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. 2011.
- [5] Robots móviles y sistemas remotos en aplicaciones nucleares. <http://www.inin.gob.mx/documentos/publicaciones/contridelinin/Cap%C3%ADtulo%2023.pdf>. 14 de Agosto de 2015.
- [6] J. Ureña, M. Mazzo, J. J. García, P. A. Revenga, J. L. Lazaro, J. C. García, F. J. Rodríguez, E. Santiso, Diseño y Utilización de un Sistema Sensorial para aplicaciones de Robots Móviles. Interface. Mayo, 1995. 8-13 pp.

- [7] Robotic Exploration Rover, Mars Curiosity Rover. http://www.nasa.gov/audience/foreducators/robotics/home/#.Vc6Kqu1_Okp. 14 de Agosto de 2015.
- [8] La NASA tiene grandes planes para un robot humanoide. http://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2010/29apr_r2/. 14 de Agosto de 2015.
- [9] A Palm-sized Spiderbot. <http://spaceplace.nasa.gov/space-robots/en/>. 14 de Agosto de 2015.
- [10] Arquitectura de Robots. <http://www.iit.upcomillas.es/~alvaro/teaching/Clases/Robots/teoria/arquitecturas%20de%20robots.pdf>. 14 de Agosto de 2015.
- [11] C. Villanueva Escudero, Implementación de algoritmo de navegación para robot móvil diferencial con sistema operativo Android. Tesis para título de Maestría en Ciencias de la Computación. México, DF: Universidad Autónoma Metropolitana. 2014.
- [12] Technology Demonstration Missions. http://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/telerobotics/telerobotics_overview.html#.VWzr9lx_PV0. 1 de Junio de 2015.
- [13] C. Vargas Cabrera, C. A. Ramos Arreguin, J. C. Moya Morales, M. C. García López, "Sistema de Telemando Multiplataforma para robot Móvil". *La Mecatrónica en México*. Vol. 2. No. 1. Enero 2013. 11-20 pp.
- [14] E. Bahit. Curso: Python para principiantes. Primera Edición. 2012. Creative Commons Atribución. Buenos Aires, Argentina. 136 pp.
- [15] Wiring. <http://wiring.org.co/>. 05 de Junio de 2015.
- [16] MSP-EX430G2. Texas Instruments. Julio 2010.
- [17] L293D. ST. Julio 2003.

- [18] Cómo gobernar un display LCD alfanumérico basado en controlador HD44780. http://eii.unex.es/profesores/jisuarez/descargas/ip/lcd_alfa.pdf. 05 de Junio de 2015.
- [19] Scripting Layer for Android. <https://github.com/damonkohler/sl4a>. 05 de Junio de 2015.
- [20] HC Serial Bluetooth Products, User Instructional Manual. http://www.tec.reutlingen-university.de/uploads/media/DatenblattHC-05_BT-Modul.pdf. 05 de Junio de 2015.

7. Autores

C. Josué Cirilo Cruz es estudiante de ingeniería electrónica en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, su área de especialización es Instrumentación y control. Actualmente trabaja en su Proyecto Terminal orientado al Diseño e implementación de dispositivos móviles y el Procesamiento digital de señales.

M. en C. Arturo Zuñiga López es Profesor–Investigador del Departamento de Electrónica, en el área de Instrumentación, en la UAM Azcapotzalco. Actualmente realiza investigación en el área de Redes de computadoras, Sistemas embebidos y Procesamiento digital de imágenes.

Dr. Juan Villegas Cortezes Profesor–Investigador del Departamento de Electrónica, en el área de Instrumentación, en la UAM Azcapotzalco. Actualmente realiza investigación en el área de Memorias Asociativas, Visión por computadora y Procesamiento digital de imágenes.

Dr. Carlos Avilés Cruz es Profesor–Investigador del Departamento de Electrónica, en el área de Instrumentación, en la UAM Azcapotzalco. Actualmente trabaja en las áreas de investigación del Reconocimiento de Patrones, Visión por computadora y análisis de señales.