

CONTROL Y ENSAMBLAJE DE UN ROBOT QUE EMULE UN PERRO DOMÉSTICO

Ing. Nelson G. Sotomayor O.

Ing. Juan Carlos Cueva R.
Ing. Mauricio G. Redroban M.

RESUMEN

En este proyecto se presenta el diseño y ensamblaje del sistema de control para un robot que emule a un perro doméstico.

El robot tiene movimientos autónomos además de un control manual. Los movimientos autónomos son preprogramados dentro del microcontrolador maestro. El control manual se realiza mediante comandos de voz con la ayuda del chip de reconocimiento de voz "VOICE DIRECT II". En ambos modos, si el robot encuentra obstáculos dentro de su ambiente de trabajo los evadirá utilizando un sensor de ultrasonido, el cual está ubicado en el pecho del robot.

El sistema de control esta constituido por una red de microcontroladores PIC distribuidos en un sistema maestro-esclavo, el maestro es quien recibe los comandos de voz procesadas por el chip de reconocimiento de voz para luego enviar las órdenes a los esclavos quienes controlan los actuadores finales.

1. PRESENTACIÓN

Hoy en día la ciencia ha puesto toda la atención en desarrollar robots capaces de emular los movimientos de seres vivos. Los robots mascotas son los más populares. Con un sistema de reconocimiento pueden actuar y moverse con independencia como un animal real. Ese ha sido nuestro interés por lo que hemos investigado y desarrollado el control de un perro robot basado en el juguete "i-cybe".

El robot tiene la capacidad de moverse con autonomía en el modo automático o recibir órdenes de voz en el modo manual.

2. RECONOCIMIENTO DE VOZ

Es el proceso automático de conversión de palabras habladas a una palabra digital. El objetivo del reconocimiento de voz es que las computadoras tengan la capacidad para comprender el lenguaje hablado y una vez entendido puedan ejecutar funciones específicas [3].

El reconocimiento de voz debe cumplir con tres tareas [4]:

- **Procesamiento:** Convierte las entradas de voz a una forma que el microcontrolador pueda procesar, es decir, convertir la señal análoga a digital.
- **Reconocimiento:** Identifica lo que se dijo.
- **Comunicación:** Envía lo reconocido a la aplicación.

Existe una comunicación bilateral en aplicaciones en las que la interfaz de voz esta íntimamente relacionada con el resto de la aplicación (Ver Figura 1). Esta puede guiar al procesador especificando las palabras o estructuras que el sistema puede utilizar. Otros sistemas solo tienen comunicación unilateral.



Figura 1 Componentes en una aplicación.

2.1 PROCESO DE RECONOCIMIENTO DE VOZ

El proceso de reconocimiento de voz consiste básicamente en transformar una señal a símbolos y darle algún significado a lo reconocido para realizar una acción; la Figura 2 muestra el proceso de reconocimiento [3].

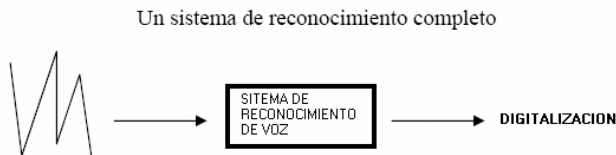


Figura 2 Sistema de Reconocimiento de Voz
Los pasos que debe llevar el reconocimiento son [4]:

- Obtener los archivos de voz (la señal de voz) y digitalizarlos.
- Extraer un conjunto de características esenciales de la señal introducir el conjunto de características a un clasificador para obtener probabilidades.
- Búsqueda para encontrar la secuencia permitida más probable.

Estos pasos describen de manera general como funciona un sistema de reconocimiento de voz independientemente de la tecnología que utilice. Existen varias tecnologías para desarrollar reconocedores de voz; los más importantes son las Redes Neuronales Artificiales y los Modelos Ocultos de Markov.

2.2 CHIP DE RECONOCIMIENTO DE VOZ (VOICE DIRECT II)[7]

Este chip de reconocimiento de voz utiliza la tecnología de los Modelos Ocultos de Markov. Se escogió este chip ya que los reconocedores de voz basados en redes neuronales están en etapa de desarrollo, además que su costo es elevado. El chip basado en los modelos ocultos de Markov que seleccionamos cumple con los requerimientos de este proyecto y su costo no es elevado.

Voice Direct II tiene diferentes modos de operación según los requerimientos que el usuario necesite.

2.3 SELECCIÓN DEL MODO

Hay 4 modos principales de operación para el módulo Voice Direct II, que pueden ser seleccionados dependiendo de cómo el reconocimiento de la voz va a interactuar con su aplicación. Éstos son el modo Edge-Triggered Single Recognition (ESR), el modo Single-Trigger Continuous Listening (SCL), el modo Multi-Trigger Continuous Listening (MCL), y el modo Single-Trigger Word-Spotting (SWS). Se usan los pines modo 1 y el modo 2 para seleccionar el modo de operación deseado. El modo de operación es seteado cuando el Voice Direct II se enciende o resetea de acuerdo con la siguiente Tabla 1:

Tabla 1 Configuración de los pines

CONFIGURACION	MODO DE OPERACIÓN
MODO 1 circuito abierto	Edge-Triggered Single Recognition
MODO 2 circuito abierto	Single-Trigger Continuous Listening
MODO 1 puesto a tierra	Multi-Trigger Continuous Listening
MODO 2 puesto a tierra	Single-Trigger Word-Spotting

2.4 Modo Edge-Triggered Single Recognition (ESR)

El módulo puede ser configurado por el modo ESR, cuando el pin –TRAIN es puesto a tierra al menos 100 mS.

Una palabra o frase entrenada no puede ser más larga de 2.5 segundos y no puede contener pausa de silencio más de 0.5 segundos. Por ejemplo, el nombre “Luis Santos” puede ser una frase aceptable larga siempre que las dos palabras no esten separadas por una pausa larga. Termina de entrenar cuando no se habla ninguna palabra durante un tiempo relativamente largo, cuando un pulsante es presionado una segunda vez durante el entrenamiento, cuando tres errores han ocurrido durante el entrenamiento o después que quince palabras han sido entrenadas.

Llevando el pin TRAIN a tierra una segunda vez se resume el entrenamiento. En cualquier momento se puede adherir al set nuevas palabras, hasta un máximo de quince palabras. El usuario dice la primera palabra a ser entrenada, el Voice Direct II retorna “Accepted” (aceptado) si la palabra ha sido satisfactoriamente entrenada, de otro modo, esto

podría indicar un error en el entrenamiento. Si un error ocurre durante el entrenamiento, entonces el error dirá "spoke too soon" (habló muy pronto), "please talk louder" (por favor hable más alto), etc. El usuario puede tomar tres intentos para entrenar cada palabra antes de que Voice Direct II desista el modo de entrenamiento, y diga "Training Complete" (entrenamiento completo).

El usuario puede salir del entrenamiento en cualquier momento poniendo en bajo el pin - TRAIN o el pin -RECOG, o por no responder pronto a una "say word x" (diga palabra x) o "repeat" (repetir), o cuando todas las quince palabras han sido entrenadas.

Ejemplo Modo ESR

ACCION: Poniendo en bajo el pin TRAIN Empezando el entrenamiento

Voice Direct II: "Say word one" Entrenando el primer comando de voz.

Usuario: "Camina"

Voice Direct II: "Repeat"

Usuario: "Camina"

Voice Direct II: "Say word two" Entrenando el segundo comando de voz.

Usuario: "Saluda"

Voice Direct II: "Repeat"

Usuario: "Saluda"

Voice Direct II: "Say word three" Entrenando el tercer comando de voz.

Usuario: "De cabeza"

Voice Direct II: "Repeat"

Usuario: "De cabeza"

ACCION: Poniendo en bajo el pin TRAIN Entrenamiento parado

Voice Direct II puede continuar entrenando nuevas palabras hasta que todas las quince localizaciones se hayan llenado. Para parar el entrenamiento se debe poner otra vez el pin TRAIN en bajo.

2.5 SALIDAS EN EL MODO EDGE-TRIGGERED SINGLE RECOGNITION (ESR)

Cuando el pin RECOG es puesto a GND por al menos 100ms, el reconocimiento empezará. Voice Direct II dirá "word not recognized" y pronto "Say a word". Si la respuesta no es reconocida, Voice Direct II dirá "Word not recognized" y saldrá del modo de reconocimiento. Si una de las palabras dichas es igual a alguna de las palabras programadas, una o dos de las 8 salidas es activada y dará el mensaje de voz indicando la respuesta.

Si el set contiene 8 o menos elementos estos pines pueden ser usados para controlar acciones directamente. Si el set contiene más de 8 elementos, es necesario decodificar las salidas.

El formato lógico de las salidas es mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2 Formato lógico de las salidas en el modo ESR

Palabra Reconocida	OUT 1	OUT 2	OUT 3	OUT 4	OUT 5	OUT 6	OUT 7	OUT 8
Palabra de comando 01	A							
Palabra de comando 02		A						
Palabra de comando 03			A					
Palabra de comando 04				A				
Palabra de comando 05					A			
Palabra de comando 06						A		
Palabra de comando 07							A	
Palabra de comando 08								A
Palabra de comando 09	A							A
Palabra de comando 10		A						A
Palabra de comando 11			A					A
Palabra de comando 12				A				A
Palabra de comando 13					A			A
Palabra de comando 14						A		A
Palabra de comando 15							A	A

"A" indica que esta activa en alto la salida

3 ROBOTS CON PATAS

Potencialmente los robots con patas pueden superar con mayor facilidad que los otros los problemas de los terrenos irregulares. A pesar de que hay un gran interés en diseñar este tipo de robots, su construcción plantea numerosos retos. Estos retos se originan principalmente en el gran número de grados de libertad que requieren los sistemas con patas. Cada pata necesita como mínimo un par de motores lo que produce un mayor costo, así como una mayor complejidad y menor fiabilidad. Es más, los algoritmos de control se vuelven mucho más complicados por el gran número de movimientos a coordinar, los sistemas de patas son un área de investigación muy activa. A continuación se presentan algunos robots cuadrúpedos.

3.1 AIBO

Aibo es un robot mascota desarrollado y presentado en 1999 por la empresa Japonesa Sony; su nombre quiere decir "Robot (BO) con Inteligencia Artificial (AI)", al tiempo que el vocablo *aibou* en japonés quiere decir "compañero" y precisamente ésta es, según sus creadores, la principal característica que lo distingue de sus similares, ya que es capaz de

actuar de manera autónoma e incluso, pensar. Aibo cuesta algo más de 1.500 dólares y es capaz de reaccionar ante estímulos externos como el sonido, la luz o el tacto humano, como podría hacerlo un animal doméstico. Aibo expresa emociones y estados de ánimo, reconoce la voz de su amo y obedece órdenes habladas. El perro robot es capaz de quejarse si hace frío, asustarse si es movido muy bruscamente o reaccionar ante las caricias. Está dotado de un avanzado computador en su interior que es capaz de aprender a lo largo de su vida [8].

3.2 PUCHOBOT

Puchobot [9] es un robot desarrollado por D. Andrés Prieto-Moreno Torres en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) como proyecto de fin de carrera, está dotado de doce articulaciones controladas por una red maestro-esclavo de microcontroladores. El perro es autónomo (no necesita conectarse al PC para su funcionamiento), puede avanzar, girar, sentarse, dar la pata, etc. Las secuencias de movimiento se programan desde el PC y luego se envían a Puchobot para que las reproduzca. El entorno de desarrollo es excelente y pone de manifiesto lo compleja que es la coordinación de todas las articulaciones para conseguir el movimiento. Se trata de una plataforma ideal para probar diferentes secuencias de coordinación y estudiar con detenimiento el movimiento de los cuadrúpedos.

4 DISEÑO DEL PROTOTIPO

En el presente proyecto se utiliza una red de microcontroladores PIC, sensor de ultrasonido, chip de reconocimiento de voz y manejadores de motores de corriente continua. Estos elementos requieren de un adecuado acondicionamiento que permita su función conjunta para lograr el funcionamiento adecuado del prototipo.

Una de las cosas que se tubo muy en cuenta en el presente proyecto fue la optimización en el hardware electrónico utilizado debido a que no se cuenta con mucho espacio físico para la ubicación del mismo, ya que para la realización del proyecto se tomo como base la estructura mecánica del juguete i-cybe, que es un perro con movimiento de cabeza, cola y patas en base a motores de corriente continua y potenciómetros

acoplados a los ejes para controlar la posición de los movimientos.

4.1 CHIP DE RECONOCIMIENTO DE VOZ

El chip de reconocimiento de voz esta diseñado para operar con voltajes menores a 3.3 V por este motivo fue necesario diseñar la fuente de alimentación.

Además, para el funcionamiento fue necesario conectar un micrófono, un pulsante para el inicio del reconocimiento y el parlante para saber si la orden fue o no reconocida, esto se muestra en la Figura 3.

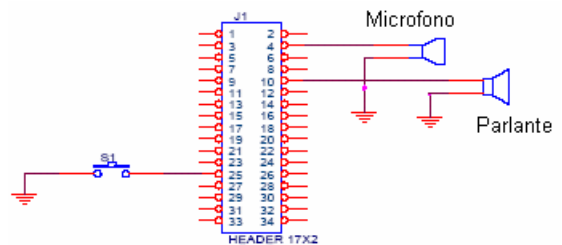


Figura 3 Elementos complementarios del Chip

4.2 MICROCONTROLADOR MAESTRO

En la Figura 4 se muestra al microcontrolador maestro con los elementos básicos para su funcionamiento, así como los pines empleados para colocar los periféricos.

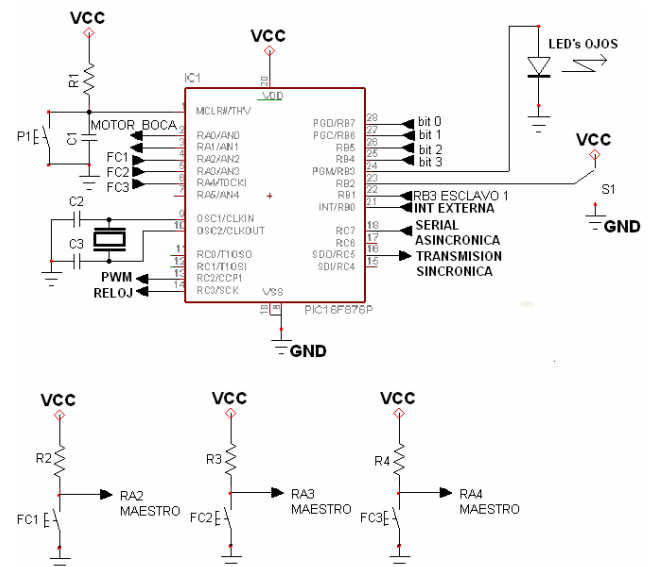


Figura 4 Microcontrolador PIC Maestro

4.3 MICROCONTROLADOR ESCLAVO 1

Desde este microcontrolador se genera las señales para la activación de los diferentes motores que este controla, que son los de las patas 2 y 3, y los motores de la cabeza. En la Figura 5 se la distribución de las que patas que se hizo para el presente proyecto.

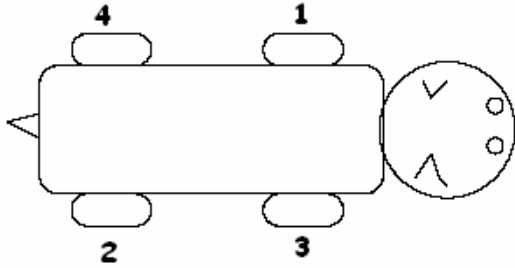


Figura 5 Distribución de las Patas del Robot

En la Figura 6 se muestra al microcontrolador esclavo 1 con los elementos básicos para su funcionamiento, así como los pines empleados para colocar los periféricos.

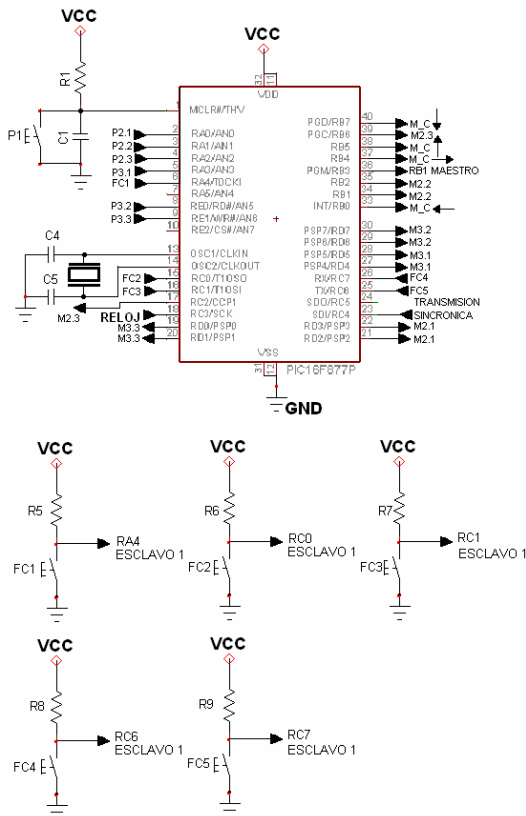


Figura 6 Microcontrolador PIC Esclavo 1

4.4 MICROCONTROLADOR ESCLAVO 2

Desde este microcontrolador se genera las señales para la activación de los motores que controlan las patas 1 y 4, y el motor de la cola (ver Figura 5).

En la Figura 7 se muestra al microcontrolador esclavo 2

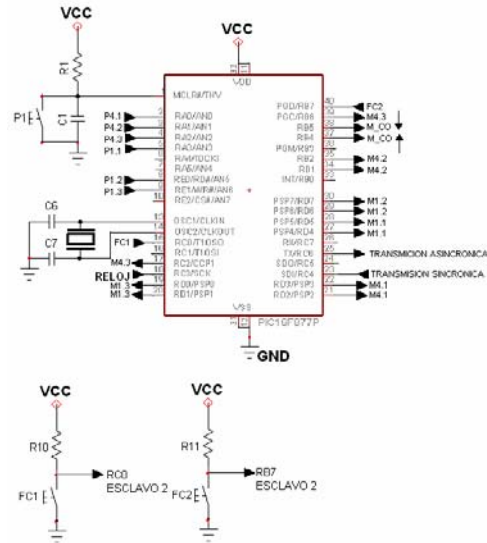


Figura 7 Microcontrolador PIC Esclavo 2

4.5 CONTROL DE MOTORES DE DC MEDIANTE EL IC L293

Este control se basa en la utilización del IC L293, el cual es un "motor driver" cuya alimentación es de 5V DC y es capaz de controlar dos motores de hasta 24V DC.

El L293 es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 1A por canal. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL (ver Figura 8) y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos la cual se encuentra siempre habilitada. Dispone de un pin para la alimentación de las cargas que se están controlando, de manera que dicha alimentación es independiente de la lógica de control.

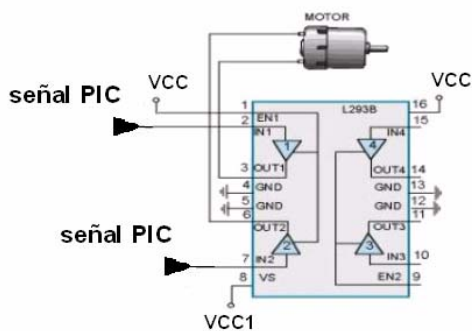


Figura 8 Esquema del montaje para el control de motores con el driver L293.

5 PROGRAMA DE CONTROL

El perro robot depende del programa de control ejecutado por tres microcontroladores PIC, un microcontrolador maestro (PIC16F876) y dos microcontroladores esclavos (PIC16F877A) se empleará la arquitectura que se muestra en la Figura 9.

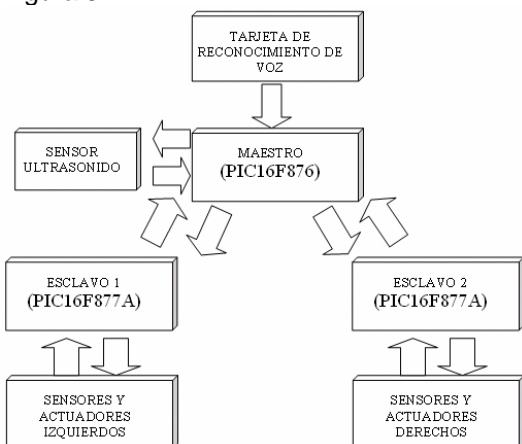


Figura 9 Arquitectura de software

El microcontrolador maestro (PIC16F876) se comunica con los microcontroladores esclavos por medio de comunicación serial sincrónica MSSP y asincrónica. El microcontrolador esclavo 1 responde por medio del cambio del BIT 3 del puerto B, mientras que el microcontrolador esclavo 2 responde enviando el número 10 decimal por comunicación serial asincrónica a una velocidad de 1200 Kbs con 8 bits de transmisión

6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas de funcionamiento del proyecto primero se lo puso a funcionar de modo manual, en este modo las órdenes son dadas vocalmente.

Las órdenes programadas son: camina, siéntate, de cabeza, saluda, en guardia, levanta la pata trasera.

6.1 CAMINA

Para realizar esta prueba se dio la orden de voz "camina" luego de la cual el perro se colocó en una posición inicial para luego empezar a caminar (ver Figura 10). Cabe aclarar que el perro se ubica en esta posición inicial cada vez que va a realizar una nueva orden. Cuando se le a dado la orden "camina" y después de que este haya realizado la orden se le vuelve a dar nuevamente la misma orden este ya no tiene que ubicarse en la posición inicial.



Figura 10 Perro caminando

6.2 SIENTATE

Para realizar esta prueba se dio la orden de voz "siéntate" luego de la cual el perro se colocó en una posición inicial para luego proceder a sentarse (ver Figura 11).



Figura 11 Perro sentado.

6.3 DE CABEZA

Para realizar esta prueba se dio la orden de voz "DE CABEZA" luego de la cual el perro se colocó en una posición inicial para luego proceder a pararse de cabeza (ver Figura 12).



Figura 12 Perro parado de cabeza.

6.4 SALUDA

Para realizar esta prueba se dio la orden de voz "SALUDA" luego de la cual el perro se colocó en una posición inicial para luego proceder a sentarse y mover la pata (ver Figura 13).

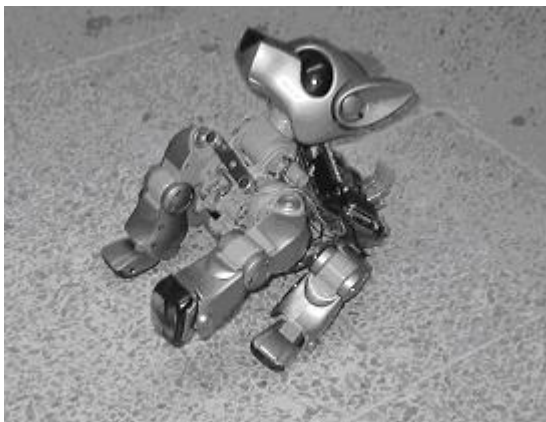


Figura 13 Perro saludando.

6.5 EN GUARDIA

Para realizar esta prueba se dio la orden de voz "EN GUARDIA" luego de la cual el perro se colocó en una posición inicial para luego proceder a ubicarse en esta posición (ver Figura 14).



Figura 14 Perro en guardia.

6.6 LEVANTA LA PATA TRASERA

Para realizar esta prueba se dio la orden de voz "levanta la pata trasera" luego de la cual el perro se colocó en una posición inicial para luego proceder a levantar la pata trasera derecha para simular que esta orinando (ver Figura 15).

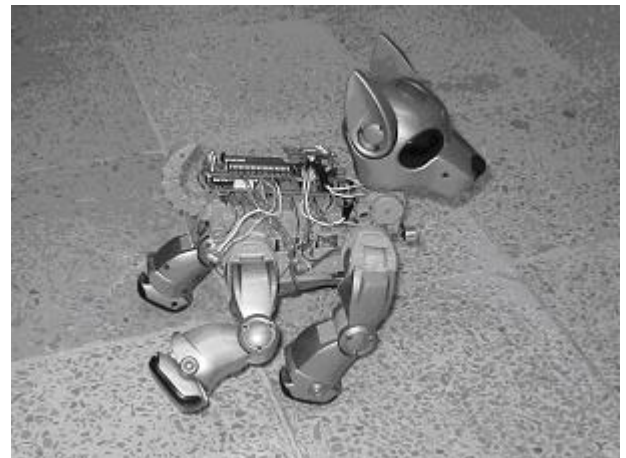


Figura 14 Perro levantando la pata trasera.

En el modo automático el perro realiza las funciones preprogramadas las cuales fueron caminar, sentarse, pararse de cabeza y saludar.

Después de las pruebas realizadas se comprobó el buen funcionamiento del perro robot de acuerdo con los objetivos planteados para la realización de este proyecto.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del robot perro y a partir de las pruebas realizadas se pudo determinar que:

Si alguna parte móvil del perro queda atascada en algún obstáculo se debe resetear al perro o retirar la batería, y luego liberar al perro, para que de esta manera se le pueda ayudar a reiniciar su funcionamiento.

En las señales de ultrasonido no se registran cambios por el uso de luz natural o luz artificial y las variaciones en la velocidad del sonido con los cambios de la temperatura del ambiente son mínimas y no afectan la determinación de la distancia.

Al conducir la señal de activación de los transmisores y al llevar la señal generada en los receptores de ultrasonido se debe considerar que se trata de una señal de alta frecuencia que se puede ver afectada por ruido; para eliminar el ruido se puede emplear par trenzado, o mejor aun cable blindado.

El perro reconoce los comandos pronunciados por cualquier persona siempre y cuando se los pronuncie fuerte y claro.

Al igual que los sentidos en los seres vivos, los sensores facilitan la información necesaria para que los robots interpreten el mundo real. Todo robot debe tener al menos un sensor con el que interactúa con el medio en el que desenvuelve.

La mayoría de los sistemas robóticos incluyen al menos sensores de obstáculos (bumpers) y algún sensor de guiado por infrarrojo o ultrasonido, este prototipo no ha sido la excepción, ya que por tratarse de una MASCOTA-ROBOT debe esquivar obstáculos para que de esta forma se asemeje más a un ser real, por lo que en el presente proyecto se utilizó un sensor de ultrasonido. De esta manera se logró una mejor interacción ROBOT-MEDIO, ya que el robot es capaz de detectar obstáculos y evadirlos.

La batería del perro debe estar cargada completamente para su mejor funcionamiento, ya que así se obtendrá la corriente necesaria para el movimiento del robot y no se produzca errores en el control por bajos niveles de voltaje.

El perro, para su movimiento, se lo debe colocar en una superficie plana y horizontal para que no sufra tropiezos en la ejecución de las instrucciones.

El perro detecta de mejor manera obstáculos planos de una altura mínima, desde el piso, de 10 cm. como paredes o cajas en el piso.

Para evitar errores en el reconocimiento del comando de voz, se le debe hablar fuerte y claro directamente al micrófono ubicado en la frente del perro.

Para un mejor reconocimiento de voz en ambientes ruidoso se puede adaptar un filtro al micrófono para eliminar el ruido externo.

Debido a que en nuestro idioma los comandos que utilizamos, en cuanto a su pronunciación es similar la tarjeta de reconocimiento de voz comete algunos errores al momento de dar las órdenes. Para un mejor reconocimiento de voz es aconsejable que los comandos sean entrenados en ingles.

8 TRABAJO FUTURO

Para mejorar el prototipo se sugiere incrementar el número de sensores de ultrasonido para de este modo no tener ningún problema en la detección de obstáculos.

Se sugiere investigar un poco más como controlar robots cuadrúpedos en terrenos muy irregulares y hacer que inclusive pueda subir y bajar gradas, lo que le daría al robot mayor libertad de movimiento.

Se sugiere realizar el control de posición del prototipo, aumentando su grado de inteligencia, como por ejemplo el poder definir metas a las que el robot debe llegar evadiendo los obstáculos que encuentre a su paso.

Finalmente, se recomienda que se realice más trabajos de investigación en este fascinante campo, ya que este tipo de robots pueden ser muy útiles en diversas actividades como son por ejemplo en exploración de terrenos irregulares donde vehículos con ruedas no pueden acceder fácilmente y algo que es muy importante podrían servir de compañía a personas al ser parecidos a una mascota.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] AGRANAT B. DUBROVIN M; JAVSKY N, ESQUIN G. Fundamentos de la física de los ultrasonidos” Editorial MIR, PRIMERA EDICION, MOSCU 1990.
- [2] NEYDY ÑIACASHA, Desarrollo de un Dispositivo que mida la Distancia a un Objeto Emulando el Efecto de un Bastón Blanco para Personas Invidentes, EPN, Quito, 2004
- [3] MOCHALES LOPEZ SOLEDAD, Ciegos en Internet. Discapacidad visual y Acceso a la Información. Casi Nada-Web Magazine.
<http://usuarios.iponet.es/casinada/25ciegos.htm>
- [4] KIRSCHNING ALBERS INGRID, TLATOA, grupo de investigación en tecnologías del habla. Universidad de Las Ameritas Puebla.
<http://mailweb.udlap.mx/~ingrid>
- [5] WASSERMAN PHILIP, Neuronal Computing: Theory and Practice, Van Nostrand Reinhold. New York, 1989
- [6] RABINER, J.L., JUANG B.H., An introduction to hidden Markov Models, IEEE ASSP Magazine, 3, 1, p. 4-16, 1986
- [7] SENSORY, Voice Direct II Speech Recognition Kit, 2004
- [8] SONY, Proyecto AIBO.
<http://www.aibo.com>
- [9] PRIETO MORENO ANDRES, Diseño, Construcción y Control de un Robot Articulado Mediante una Red de Microcontroladores, UPM, Madrid, 2001
<http://www.iearobotic.com>
- [10] JAMECO, “Sensores de Ultrasonido 136653”,
<http://www.jameco.com>

10 BIOGRAFIAS

Juan Carlos Cueva R.



Nació en Machachi el 14 de Mayo de 1980. Sus estudios secundarios los realizo en el Instituto Nacional Mejía. Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela

Politécnica Nacional de Quito.

Áreas de interés: Automatización, Microcontroladores PIC, PLCs



Mauricio G. Redrobán Matute

Nace el 09 de marzo de 1980, en la ciudad de Quito. Ingeniero en Electrónica y Control, de la “Escuela Politécnica Nacional” de Quito.

Entre los proyectos que ha desarrollado están el control de un ascensor, control del movimiento de una cámara por computadora, acondicionamiento e interfaz de un ECG, control de temperatura de un motor trifásico. Actualmente se encuentra trabajando en diseño e instalación de sistemas de seguridad en la empresa “Vidal Equipamiento”, la cual presta su servicio para los departamentos de seguridad de importantes mutualistas y bancos del País.



Nelson G. Sotomayor Orozco

Nació en Quito el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999.

Egresado de la Maestría en Ingeniería industrial en diciembre del 2001. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Agregado 2 en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Además es miembro de Subcomisión académica permanente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control.

Areas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial