

CONTROL DE UN ROBOT MÓVIL MEDIANTE EL USO DE UN GAME BOY ADVANCE (GBA) CON FINES PEDAGÓGICOS

Luis Fernando García^{}, Tatiana Marcela Sarmiento^{*}, Alberto Delgado⁺*

^{*} Estudiantes de Ingeniería Electrónica
⁺ Profesor Titular
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Universidad Nacional de Colombia

^{*}{lfgarciath, tmsarmientop}@unal.edu.co
⁺adelgado@ieee.org

ABSTRACT

La generalización de las consolas de entretenimiento nos ha permitido acceder a sistemas integrados altamente eficientes que pueden ser modificados para usos diferentes al del entretenimiento. En el presente artículo se expone el desarrollo y resultados del proyecto que busca la creación de un robot móvil controlado por Game Boy Advance, el cual esta en la capacidad no solo de ser programado, a través de su interfaz gráfica por el usuario utilizando algoritmos de aprendizaje (redes neuronales, algoritmos genéticos, lógica difusa), sino que a su vez pueda servir como plataforma pedagógica, interactuando con los estudiantes, en este caso, en el estudio de la asignatura “Robótica Evolutiva”.

1. INTRODUCCION

Actualmente la universidad, más específicamente la facultad de ingeniería, presenta índices de mortalidad académica importantes en los primeros semestres, lo cual se debe parcialmente a que los estudiantes ven algunas materias como ajenas a su realidad (no aplicables de forma inmediata), o monótonas por el modelo de clase magistral. Esta misma falta de motivación lleva a que el estudiante se limite a aprender un número determinado de ecuaciones con las cuales resuelve problemas, muchas veces sin entender el concepto que las soporta.

Por otra parte el Game Boy Advance (GBA) es un potente dispositivo que integra un procesador de 32 bits ARM7TDMI junto con un LCD gráfico de 240x160 pixeles y un excelente sistema de sonido, que desde su aparición en el mercado, ha tenido una amplia acogida entre la población juvenil, debido en gran medida, a su

portabilidad y precio, ya que les permite tener acceso al entretenimiento virtualmente en cualquier lugar. Por las características propias de su construcción (consola de entretenimiento), el GBA es ideal para crear una serie de interfaces con el usuario, proveyendo información a éste último de una forma agradable e interactiva.

El objetivo de éste artículo es mostrar el desarrollo de un robot móvil controlado por GBA, el cual puede ser guiado y programado por el usuario para la realización de diferentes recorridos. De la misma forma, el robot puede interactuar con el usuario haciendo uso de la versatilidad del GBA informando sobre el estado de la tarea a realizar, e incluso enseñarle por medio de una serie de tutoriales sobre los aspectos más relevantes de la robótica.

El artículo se divide en tres secciones. En la primera se hace una breve descripción sobre la arquitectura que maneja el GBA. En la segunda sección se describe la estructura física del robot móvil. Por último, en la tercera sección, se hace una descripción detallada del software elaborado así como las diferentes interfaces con las que se programó el GBA.

2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL GBA

El GBA es un dispositivo programable desarrollado como consola de entretenimiento portable, ver figura 1. Cuenta con un procesador ARM propio de 32 bits a 16.78 MHz basado en la arquitectura RISC, con una potencia suficiente para permitir el desarrollo de juegos utilizando el Lenguaje de programación C. El microprocesador ARM es capaz de ejecutar tanto un juego de instrucciones con un tamaño de instrucción de 32 bits, como un juego de instrucciones llamado "Thumb" de un tamaño de 16 bit [1].



Fig.1 Vista del Game Boy Advance SP

La pantalla LCD es capaz de mostrar una retícula de 240x160 píxeles en color de 15 bits (32768 colores). Posee seis modos diferentes de imágenes (tiles o mapas de bit), así como características de efectos especiales como la capacidad de escalamiento y rotación de las imágenes. Por otra parte su sistema de sonido de 2 canales, permite seis diferentes modos, entre los que encontramos *los direct sound A y B* (que hacen uso de dos de los cuatro timers internos con que cuenta el GBA), al igual que la generación de ruido blanco. Por último su sistema de comunicación con el entorno (Control pad, UART, propósito general), nos permiten ingresar información al GBA (sensores, funciones a realizar), así como comunicarnos con dispositivos externos (control de motores), ver figura 2.



Fig.2 Diagrama de comunicación del robot

En general el diagrama de bloques de todo el sistema puede verse en la figura 3.

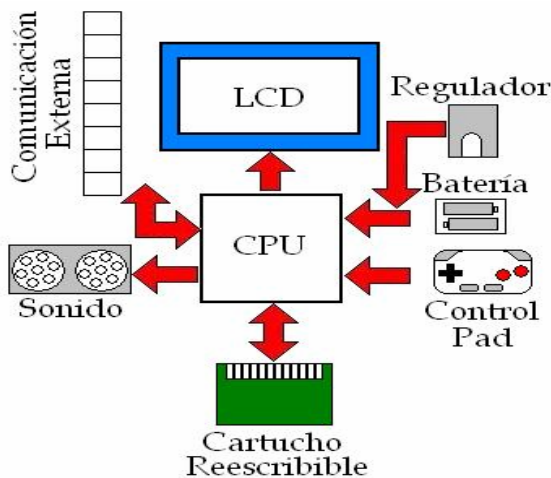


Fig.3 Diagrama general del GBA

3. DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT

Para el cumplimiento del proyecto fue necesario el diseño y construcción de una plataforma móvil, encargada de la movilidad del GBA, así como del movimiento de aquellos elementos adicionales como sensores y tarjetas de etapas de potencia, ver figura 4. A continuación se expone en forma detallada su constitución.



Fig.4 Vista lateral del robot

3.1 Estructura mecánica

Para simplificar la estructura mecánica de la plataforma móvil se ha partido de una configuración de tracción diferencial, ya que es la más sencilla y fácil de implementar, tanto a nivel mecánico como electrónico. Gracias a esta configuración, el robot puede ir recto, girar sobre sí mismo y trazar curvas. Esta configuración se obtiene con dos ruedas laterales y una rueda libre ubicada en la parte delantera del robot, para ayudar a mantener el equilibrio. Desde el punto de vista mecánico, el robot está conformado de una estructura en acrílico con tapa, donde se albergan seis baterías recargables AA de 1.2V/1800mAh (c/u), dos servomotores Hobbico CS-60 que manejan las ruedas, dos detectores de proximidad y la electrónica de control, potencia y comunicaciones. En la parte superior se sitúa la consola de video (Game Boy Advance SP).

3.2 Sensores

El robot puede evadir obstáculos próximos dentro de su trayectoria, por lo cual se diseñaron dos sensores infrarrojos de proximidad que están ubicados al frente del robot. El principio de funcionamiento de estos detectores es la emisión de una señal infrarroja hacia el frente esperando que ésta rebote en algún cuerpo y sea percibida por el receptor, dando entonces una señal lógica baja cuando se detecte la presencia de un objeto y una señal lógica alta cuando no hay detección. Para el diseño se utilizó el circuito integrado SHARP IS471F, que posee en

su encapsulado todo el circuito receptor, e incorpora un modulador/demodulador integrado en su carcasa. Como elementos adicionales, solo se necesita un diodo emisor IR y un potenciómetro para la calibración de la distancia de detección, ya que al aumentar o disminuir la corriente en el diodo, éste se vuelve más o menos sensible al sensor. En nuestro caso, después de realizar algunas pruebas, decidimos colocar una resistencia fija de 100 Ω . El uso de luz IR modulada tiene por objeto hacer al sensor relativamente inmune a las interferencias causadas por la luz normal de un bombillo o a la luz del sol, ver figura 5.

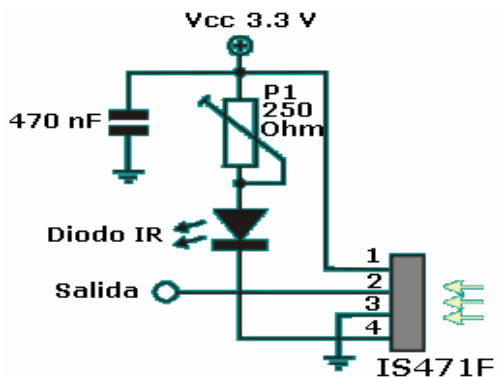


Fig. 5 Circuito acondicionador del sensor IS471F.

3.3 Servomotores

El control de los servomotores se realiza mediante una señal de control conformada por un pulso en '1' de 1.5ms y un período de 20ms. Al variar la duración del pulso en '1' de 1.5ms a otros valores es posible controlar la velocidad y el sentido de giro de los servomotores. Después de hacer algunas pruebas, se decidió fijar los valores del pulso en 1ms y 2ms respectivamente, dependiendo del sentido del giro que se le quiera dar a los servos., ver figura 6.

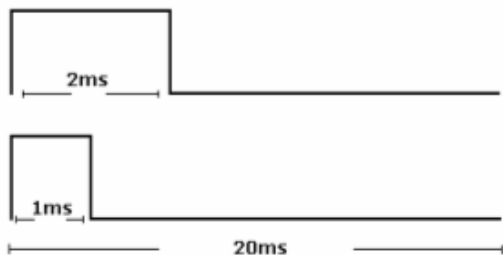


Fig. 6. Señales para el control de los servomotores.

Estos pulsos van a ser enviados a los servomotores por el GBA, a través de los dos puertos configurados como salida (cada puerto va asociado a un servo). Esto se logra configurando uno de los cuatro temporizadores (timers) del GBA y controlando los tiempos de alto y bajo de cada señal enviada por los puertos.

4. SOFTWARE IMPLEMENTADO SOBRE EL GBA

Para la implementación de programas sobre el GBA se utilizó el kit de desarrollo Ez-Flash II, el cual consta de un cartucho reescribible (memoria Flash de 256Mb) y un quemador de cartuchos. Los programas se desarrollaron utilizando el lenguaje de programación C, y fueron compilados mediante el programa DevKitAdv, el cual es gratuito y disponible en internet. Como se mencionó anteriormente se desarrollo una interfaz gráfica y sonora, la cual lleva al usuario a través de una serie de menús que le permiten ya sea controlar al robot en tiempo real, programarlo por trayectoria, ver su desempeño autónomo en ambientes desconocidos o acceder a la sección de tutoriales, en la cual el usuario puede aprender sobre diferentes temas orientados a la robótica. Los programas desarrollados se exponen a continuación:

4.1 Control en tiempo real

Este es el programa más sencillo que se implementó sobre el GBA, y busca familiarizar al usuario con el robot. En éste programa el usuario puede guiar el robot en tiempo real haciendo uso del gamepad del GBA. Las instrucciones obtenidas de los botones del GBA, son procesadas y enviadas a los servomotores los cuales cumplen con la acción seleccionada (adelante, giro a la derecha, giro a la izquierda y atrás). Cabe mencionar que si el usuario intencionalmente intenta chocar el robot, éste se detiene, muestra una pantalla y emite un mensaje de "obstáculo", con lo cual informa al usuario de la colisión.

4.2 Control por trayectoria

Este segundo programa permite que el usuario programe una trayectoria que el robot posteriormente desarrollará. La trayectoria es suministrada por el usuario utilizando nuevamente los botones propios del gamepad del GBA, con lo cual, los movimientos permitidos son adelante, giro de 90° a la derecha, giro de 90° a la izquierda y giro de 180°, ver figura 7. Estos movimientos son almacenados en un registro interno del GBA, el cual será leído para su posterior realización.

Al igual que en el control de tiempo real, se leerán constantemente las señales provenientes de los sensores, con lo cual si el robot detecta algún obstáculo en la trayectoria, informará al usuario del inconveniente y cancelará la trayectoria planeada. Con este programa, el usuario aprende a conocer las principales características de la tracción diferencial, así como sus desventajas (gran dependencia de las características del terreno), al introducir una serie de secuencias sobre superficies diferentes.

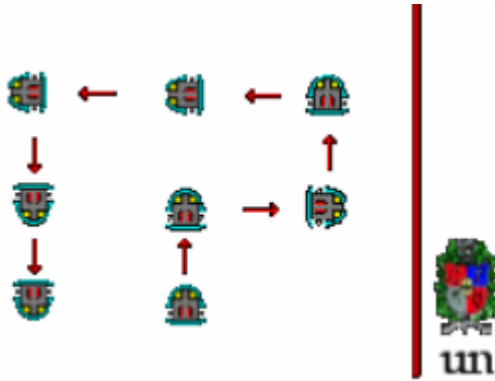


Fig.7 Visualización del control por trayectoria

4.3 Navegación autónoma con aprendizaje

Con este programa se busca la implementación de un sistema de navegación para un robot móvil, utilizando un modelo con arquitectura de comportamientos inspirado en el funcionamiento de una red neuronal perceptron [2-4]. Este modelo permite al robot desenvolverse libremente evitando obstáculos en un ambiente desconocido, aprendiendo así (de sus éxitos y fracasos), cuál es la acción más conveniente frente a una señal determinada de sus sensores, ver figura 8.

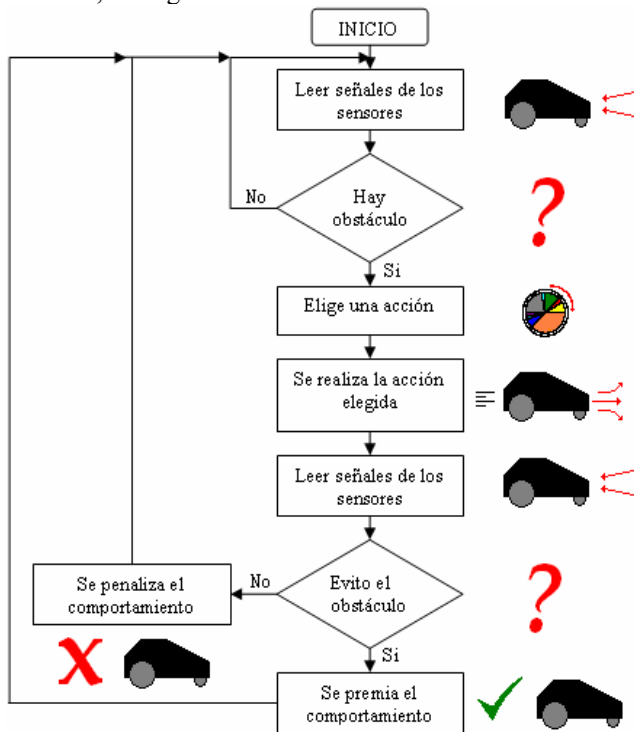


Fig.8 Algoritmo de aprendizaje

El primer paso es crear una base de conocimiento, conformada por las diferentes acciones que el robot puede realizar en presencia de un obstáculo (ir adelante, ir a la derecha, ir a la izquierda, detenerse). A cada una de éstas

acciones dentro de la base de reglas se les da un puntaje determinado (en un inicio todas tienen un puntaje de 10), el cual influirá mas adelante en la probabilidad de elección de la acción. En total necesitaremos 3 bases de conocimiento, una por cada situación de obstáculo (obstáculo a la derecha, obstáculo a la izquierda, obstáculo en ambos sensores). En el caso de ausencia de obstáculo no se incorporó una base de conocimiento, ya que el fin es que el robot navegue constantemente evitando obstáculos, por lo que se decidió aplicar el comportamiento de ir hacia delante.

Una vez con las bases de conocimiento conformadas, el robot se encuentra listo para iniciar su aprendizaje. El primer paso es revisar las señales de los sensores que se pueden considerar como una cadena binaria de 2 bits. En el caso de encontrarse un obstáculo, se elige una acción utilizando el método de ruleta, el cual asigna una probabilidad a cada una de éstas acciones, dependiendo del valor previo de estas. Una vez seleccionada se procede a ejecutar la acción, la cual tiene un rango de 0.69 segundos (el tiempo que le toma al robot girar 90°) para esquivar el obstáculo. De ser así el comportamiento es premiado y el registro que lleva la puntuación de la regla utilizada es incrementado, de lo contrario, se penaliza la acción tomada, con lo que el registro de calificación se disminuye en un valor superior al de la premiación, esto para acelerar el aprendizaje en el caso que el robot deba adaptarse a un nuevo entorno. Es así como las buenas decisiones son premiadas, y aquellas que por el contrario no vayan en beneficio de la navegación autónoma son penalizadas, al punto que es prácticamente imposible que sean elegidas como acciones.

Sin embargo cabe anotar, que el aprendizaje del robot no es estático es decir, si el ambiente sufre un cambio, en el que las acciones previamente aprendidas, ahora se tornan inconvenientes para la navegación autónoma, el robot rápidamente se adapta a éstas nuevas condiciones, cambiando el peso de las acciones en las bases de conocimiento a unas mas favorables.

4.4 Tutoriales

En este segmento se le propone al usuario explorar nuevos conocimientos (o afianzarlos si es el caso) mediante presentaciones a manera de diapositivas, que contienen información y fotografías acerca de algunos temas relacionados con la robótica. Con estos tutoriales el usuario puede aprender interactuando con el GBA, el cual servirá como herramienta pedagógica con la que el estudiante complementará los conocimientos aprendidos en la clase tradicional. Hasta el momento se han programado tres tutoriales, que son:

4.4.1. Robótica:

En este tutorial, se presenta al usuario la evolución de la robótica a través del tiempo, mostrando la importancia de los primeros autómatas, el concepto de automatización industrial y el concepto de revolución electrónica, hasta llegar a lo que hoy en día conocemos como robots modernos tales como ASIMO, los robots expuestos en la robocopa entre otros, ver figura 9.



Fig.9 Diapositiva del tutorial robótica

Del mismo modo se hace un recuento de los diferentes campos de la robótica (industrial, entretenimiento, rescate, etc.) en la sociedad actual, exponiendo sus principales características y aportes.

4.4.2. Plataformas mecánicas:

En este tutorial se describen las características, ventajas y desventajas de cada uno de los diseños mecánicos de robots [5], entre los que se pueden nombrar el diseño diferencial, sincrónico y el diseño de robots caminadores entre otros, ver figura 10.



Fig. 10 Diapositiva del tutorial plataformas mecánicas

Con éste tutorial, el alumno aprende a distinguir en que casos es conveniente el uso de una plataforma determinada, tomando en cuenta factores como el terreno y la viabilidad del control en la planificación de trayectorias.

4.4.3. Proyectos en robótica en el grupo CIS (Control Inteligente de Sistemas) de la Universidad Nacional de Colombia:

Se centra en los robots que se han construido como proyectos de tesis de pregrado y tesis de maestría [6-13], y se muestran sus principales características y principios de funcionamiento, ver figura 11.



Fig.11 Diapositiva del tutorial grupo CIS

Este es el caso de UN-VOZ, que reconoce cinco comandos de voz, UN-ADN que emula el principio biológico del chip ADN para navegar sin colisiones y muchos otros robots que se han desarrollado desde hace diez años.

5. RESULTADOS

La plataforma mecánica del robot móvil que finalmente se estableció, tiene 16.5cm de largo por 16cm de ancho, con una altura de 10cm con GBA y de 8cm sin éste. Las ruedas son de caucho con lo que su desempeño en terrenos lisos es óptimo. La velocidad de marcha medida en los laboratorios de la universidad es de 17cm/s aproximadamente cuando se desplaza en línea recta, con una autonomía de 4 horas sin necesidad de recarga.

Respecto a la navegación autónoma con aprendizaje, el robot se probó en un laberinto construido en las instalaciones de la universidad, y se encontró que al cabo de unos minutos, acciones como detenerse e ir adelante, habían sido prácticamente anuladas de las diferentes bases de conocimiento, con lo que el robot lograba navegar sin colisiones.

Para la realización de este proyecto solo fue necesario desarrollar dos tarjetas, la primera de ellas encargada de la potencia de los motores y la segunda encargada de acondicionar los sensores, ya que el control PWM de los servomotores y la recepción de las señales de los sensores la realiza directamente el Game Boy Advance.

6. CONCLUSIONES

La utilización de una consola de video como el Game Boy Advance no solo como instrumento de entretenimiento sino también como plataforma de control de un robot móvil demostró ser muy práctico, ya que éste integra un poderoso microcontrolador, un potente sistema de sonido y un LCD gráfico por un precio muy accesible, ya que si se compraran estos mismos componentes por separado el precio sería muy superior.

Con este proyecto también se introdujo la idea de utilizar consolas de video como herramientas educativas, resultando muy útil debido a la familiarización del público objetivo (niños y jóvenes) con dichos elementos. Se observó una gran motivación en aquellos estudiantes que utilizaron el GBA con este software, afianzando los conocimientos que exploran estos tutoriales.

Como trabajo futuro, se pretende la implementación de asignaturas completas a modo de tutoriales en el GBA, que les permitan a los estudiantes conocer no sólo sobre robótica, sino también de otros temas como matemáticas, física, y probabilidad entre otros.

7. REFERENCES

- [1] Nintendo of America, Inc, "AGB Programming Manual", pp. 14-18, 2001.
- [2] R. Brooks, "Cambrian Intelligence", The MIT Press, Cambridge, Massachussets, 1999.
- [3] M.L. Misnky y S.A . Papert, "Perceptrons", The MIT Press, Cambridge, Massachussets., 1990.
- [4] C. Bohórquez, J.C. Devia, y A. Delgado, "Aprendizaje en línea de comportamientos con robot móvil", VI Congreso Asociación Colombiana de Automática, Ibagué - Colombia, Noviembre 11 - 13, 2004.
- [5] A. Ollero, "Robótica, Manipuladores y robots móviles", Alfaomega, Barcelona, España, pp. 28-38, 2001.
- [6] F. Blanco y J. Cardenas, "Control de un Equipo de Fútbol Robótico según Especificaciones de la Categoría Small Size de Robocup", Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional, Bogotá, 2005.
- [7] G. Rodríguez, y G. Dallos, "Robot Lancha Teleoperado para Medición de Profundidad", Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional, Bogotá, 2004.

[8] A. Rojas, "Robot Móvil Controlado con Chip ADN en FPGA", Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004.

[9] D. Alvarado, y E. Gómez, "Telepresencia con robot móvil controlado por enlace de RF", Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional, Bogotá, 2003.

[10] J. Jimenez, E. Malagon, "Diseño y construcción de un minirobot controlado mediante la voz", Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional, Bogotá, 2002.

[11] E Peña, Y. Yermanos e I. Mondragón, "Construcción de un robot móvil didáctico para trabajo con niños de básica primaria", Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional, Bogotá, 2002.

[12] P. Sáenz y C. Cortes, "Diseño y construcción de un robot caminador usando NITINOL y la calculadora HP48GX", Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional, Bogotá, 2000.

[13] O. Sánchez y P. Hernández, "Diseño y construcción de un minirobot neurocontrolado por radio", Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional, Bogotá , 2000.