

Locomoción de un robot hexápodo mediante osciladores neuronales

Vicente Flores Nicolás¹, Sebastián Martínez Yuri², Espinosa Burgos F. Javier³
, Espinosa Espinosa José Ismael⁴.

UNAM, Lab. de Cibernética, Depto. de Física, Fac. de Ciencias,
Ciudad Universitaria, México, D. F. CP 04510

1 heresiologo@yahoo.com

2 teckamx@yahoo.com.mx

3 spinfj@correo.unam.mx

4 espin@servidor.unam.mx

Resumen

El presente trabajo se enfoca en la implementación de la simulación de una red neuronal biológica que generara la locomoción de un robot hexápodo construido en basa el kit Lego MINDSTORMS. Se utiliza el simulador NEURORED del que se obtienen oscilaciones de redes neuronales que posteriormente son programadas en el lenguaje NQC. Se simularon redes de dos y tres neuronas, obteniéndose oscilaciones con características similares a los patrones de disparo de los sistemas de locomoción en insectos. Así mismo, se evidenciaron las ventajas de llevar a cabo la imitación de la locomoción biológica y el control neuronal en un sistema artificial bio-robótico.

Palabras clave: oscilador neuronal, robots autónomos, red neuronal artificial, LEGO Mindstorms, lenguaje NQC.

1. Introducción.

Construir robots que resuelvan tareas no rutinarias tales como navegación autónoma, reconocimiento del entorno, percepción, identificación de patrones, aprendizaje o toma de decisiones, todo esto en ambientes inestables implica problemas técnicos aun no resueltos por la ingeniería; problemas que han llegado a convertirse en verdaderos desafíos para el intelecto humano. La robótica académica contemporánea está inspirándose en los sistemas biológicos, busca imitar de la naturaleza los principios de operación y la forma en que ésta resolvió problemas, tales como: la navegación, la orientación y el control, de la misma forma en que el diseño de aviones se inspiró en el vuelo de los pájaros [1].

En la búsqueda de modelos biológicos para la construcción de robots autónomos se encontró que para la navegación terrestre los mejores modelos son los arácnidos y los insectos; en los años 90s el estudio de la robótica estuvo inspirada en el diseño y control de insectos caminadores y sus bases neuronales [2].

De esta forma al analizar los principios de la arquitectura y la organización neuronal que gobiernan sus eficientes sistemas de control, percepción y conducta, así como los patrones de actividad que generan las oscilaciones neuronales, enmarca la importancia de emularlos; esto garantiza un desarrollo eficiente y optimizado para el control de los robots móviles.

Dado que las oscilaciones neuronales son la base de los diferentes patrones de movimiento y mecanismos sensoriales [3], el poder reproducirlos e implementarlos junto con sensores y motores al sistema de control de locomoción de un robot hexápodo, es el objetivo central de este trabajo.

Para lograr lo anterior, se pueden reproducir y analizar las oscilaciones mediante simuladores neuronales basados en los modelos matemáticos de MacGregor [4] a partir del sistema de ecuaciones de Hodgkin y Huxley que explican la generación de potenciales de acción [5]. Entre la gran variedad de simuladores existentes NEURORED [6] nos permite de forma sencilla simular la conectividad entre neuronas, así como la generación de oscilaciones y patrones de actividad, que pueden ser empleados en sistemas experimentales de control.

Dadas las complicaciones y el alto costo que puede implicar la construcción de prototipos mecánicos, una buena alternativa es el uso del kit de construcción modular "Robotics Invention System" de la empresa de juguetes LEGO, inspirado en el proyecto "MIT Programmable Brick" desarrollado en el Media Laboratory del Instituto Tecnológico de Massachussets. Además de ser muy útil para el diseño de prototipos mediante bloques de construcción, cuenta con un módulo de control (*RCX Programmable Microcomputer Brick*), capaz de interactuar con sensores y motores mediante un microprocesador y una memoria donde es posible almacenar programas mediante una interfase a base de infrarrojos desde cualquier PC convencional.

2. Métodos

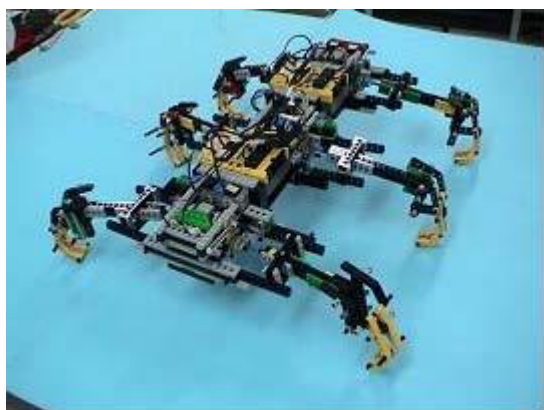
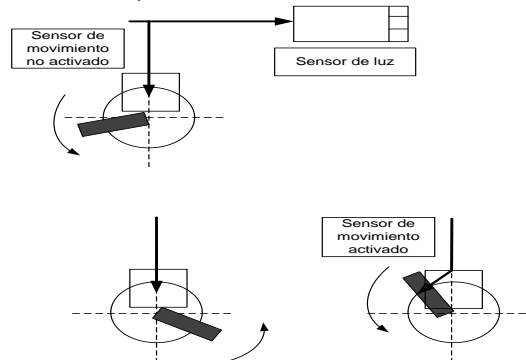


Fig. 1. Modelo final del robot hexápodo.

2.1. Mecanismo

El robot hexápodo (figura 1) imita el patrón de locomoción de los insectos que tienen seis patas. La construcción está hecha con el kit de LEGO "Robotics Invention System Ver. 2.0", con el cual se diseñaron seis patas idénticas. Estas tienen dos grados de libertad y son controladas por un motor de DC colocado en cada pata.



La potencia mecánica se transmite inicialmente a través de un tornillo sinfín colocado en el eje del motor. Este mecanismo permite mover eficientemente el robot con una potencia capaz de vencer el peso del mismo. La estructura se concibió de manera modular permitiendo tener de esta forma una simetría en el diseño. Para cada pata se cuenta con un sensor de toque que da una referencia de la posición de la pata de manera simple. En la parte frontal están colocados tres sensores de luz que permiten detectar obstáculos; ambos sensores a están colocados en un solo puerto de entrada (figura 2) funcionando conjuntamente. La lectura del valor del puerto en que se colocan ambos sensores se da en un intervalo de 0 850; sin embargo, cada sensor ocupa un espacio único dentro de esta gama de valores y no se sobreponen las lecturas. De esta forma se considera un intervalo de 0 a 100 para el sensor de toque y mayor a 100 para el sensor de luz. En general el puerto de sensores presenta un estado siempre menor a 10 cuando está leyendo el sensor de toque (Fig 2a y 2b), y alrededor de 850 cuando se lee el sensor de luz (Fig. 2c), dependiendo de la cantidad de luz presente. Los valores de intensidad luminosa indican la posición de la pata en 90° y al mismo tiempo si existe un obstáculo en el frente y tomar la decisión de ejecutar la oscilación adecuada.

El robot cuenta con dos microcontroladores (RCX), que forman parte del cuerpo del mismo. Cada uno de ellos controla tres patas a través de tres puertos de salida y mantienen una comunicación mutua por medio de un puerto infrarrojo. El microcontrolador es de la familia Hitachi serie H8/3292 con un tamaño de memoria ROM de 16K y una memoria RAM de 512K.

2.2. Software de Control

Los programas de control se elaboran desde una PC y posteriormente se envían a través de una interface infrarroja. Los programas instalados en el RCX se ejecutan sobre un sistema operativo incluido en el paquete LEGO llamado firmware. El lenguaje de programación NQC (no quit C) [7] que se utiliza, está basado sobre una plataforma de C.

2.3. Simulador Neuronal

NEURORED es un simulador de redes neuronales, basado en uno de los simuladores de McGregor: el SYSTM11. El programa contiene cinco módulos (Fig. 3). En el módulo FORMARED se implementa la red neuronal de una manera gráfica (Fig. 4). Aquí se genera la red alimentada por un bloque de excitación llamada fibra y también se definen los pesos de conexión neurona-neurona, y fibra-neurona. El modo gráfico genera un archivo que al compilarse se obtiene el archivo de salida *.SAL

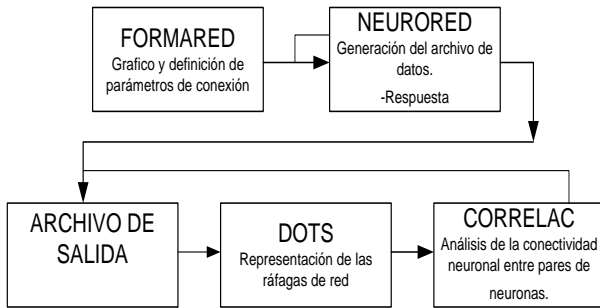


Fig. 3. Programas de Neurored.

Es posible obtener histogramas de correlación cruzada entre ráfagas con el bloque CORRELAC. Por medio de unos y ceros ejemplifica el comportamiento de la red. El módulo DOTS (Fig. 5), representa por medio de ráfagas de salvas el vector de salida del módulo NEURORED. Es posible obtener histogramas de correlación cruzada entre ráfagas con el bloque.

2.4. Simulación de Osciladores.

Se simularon configuraciones de redes oscilatorias de dos y tres neuronas (Fig. 4). Para obtener las oscilaciones se variaron los valores en los pesos de conexión entre cada neurona y la topología de la red. Las conexiones entre neuronas de manera inhibitoria permiten que la red oscile (Fig. 5) considerando una combinación entre el peso de la fibra que los alimenta. Para la red mostrada en el presente artículo, los pesos entre las neuronas en una sola dirección de inhibición es de 37 y 39 respectivamente, el valor de la fibra determina el ancho de disparo y tiene un valor de 40. De esta forma se obtuvieron distintos osciladores con tamaños y secuencias de disparo diferentes. Esto es semejante a los patrones de pasos observados en insectos y otros animales que tienen patas.

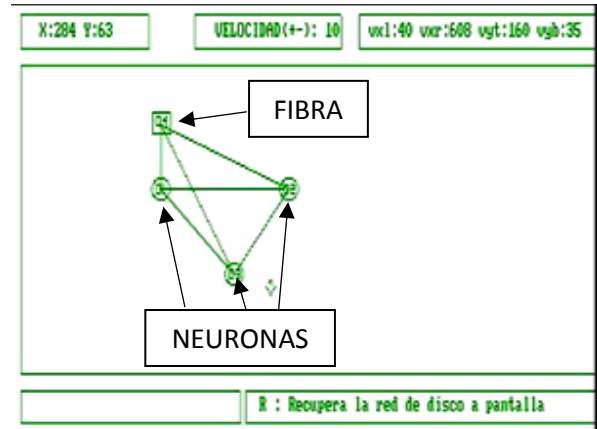


Fig. 4. Oscilador de tres Neuronas, módulo FORMARED.

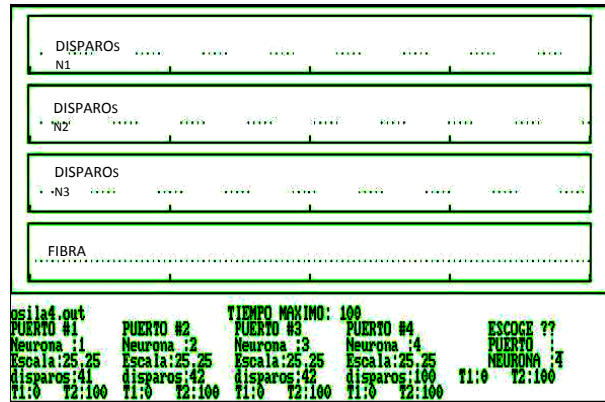


Fig. 5. Respuesta del oscilador de tres neuronas, neurona 1(N1), neurona 2 (N2), neurona 3 (N3), fibra (F). Tiempo de simulación de 100 mseg.

Se pudo observar que se presenta una oscilación más estable en redes oscilatorias de tres neuronas y con conexiones inhibitorias mutuas entre cada neurona. Así se conforman redes en malla cerrada y con doble lazo de conexión entre cada elemento. Las oscilaciones fueron simultáneas en cada neurona. Las topologías de red oscilatoria, pueden variar a más neuronas, sin embargo, por su carácter no lineal en la ecuación que las determina, éstas se hacen más complejas y menos estables en la manipulación de sus parámetros.

2.5. Locomoción con aspecto Biológico.

La implementación de la locomoción del robot hexápodo se basa en los patrones observados en insectos. El apego más claro es la generación de tales patrones mediante redes neuronales oscilatorias. En este sentido, se toma uno de los archivos de salida de NEURORED, en los cuales se representa una matriz de unos y ceros. Cada vector de la matriz representa el estado de la neurona en determinado

tiempo. Las simulaciones se realizaron en intervalos de 100 a 500 mseg. Los tiempos de simulación están comprendidos dentro del rango: 0 a 1000. Las oscilaciones se realizan en un rango de 100 mseg, considerando que existe un tiempo de adaptación en cada neurona y estos suceden en los primeros disparos. En tiempos más de 100 mseg, la red se mantiene oscilando infinitamente, de forma que no es necesario obtener oscilaciones mayores.

Para obtener un patrón de pasos que imite el tipe alternado (Fig. 6) formado en el caminar de los insectos, se ha implementado una red de tres neuronas, en la cual cada neurona de la red en su comportamiento de activación encenderá un motor de acuerdo a la pata que se desee mover. Sin embargo, es posible obtener cualquier patrón oscilatorio, cambiando los parámetros de la red. En la figura 6 las N's representan las neuronas, que son simbolizadas por los círculos; el círculo relleno ejemplifica el disparo de una neurona y el círculo en blanco el tiempo de inhibición.

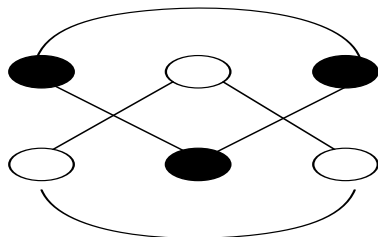


FIG. 6. Locomoción con tripode alterno.

Teniendo simulados los patrones de locomoción, se configura un programa que ejecuta el oscilador. Este mantiene el control y la coordinación de todos los sensores y el movimiento de cada pata.

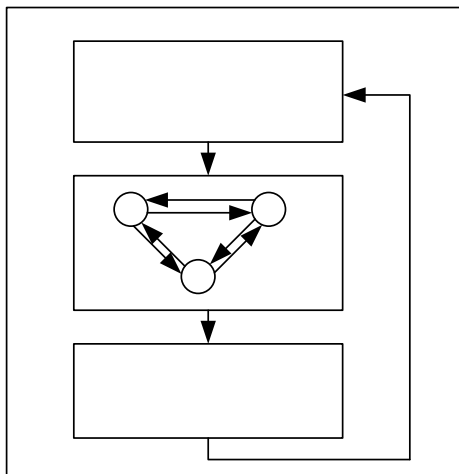


Fig7. Diagramas de locomoción del robot.

El programa estructurado en lenguaje NQC, busca al mismo tiempo una comunicación continua entre los dos microprocesadores y genera respuestas oscilatorias en las adecuaciones y los espacios de tiempo buscados. Los unos se definen como motor en marcha y los ceros con motor apagado. El oscilador programado hace una copia del archivo de salida de NEURORED y genera las ráfagas de disparo encendiendo y apagando el motor. El oscilador ejecutado por el robot depende de las condiciones que guardan los sensores de luz, esto es, el robot ejecuta subrutinas que detectan obstáculos y es capaz de evitarlos. En la figura 7 se define la ejecución del sistema de locomoción del robot. En el bloque 7a, se realiza una lectura del estado de los sensores y en una posición definida se realiza la lectura de los sensores de luz, el fin: determinar la existencia de obstáculos en su trayecto. Posteriormente se ejecuta la oscilación y con ello el patrón de locomoción adecuado. Esta rutina de movimiento se realiza cíclicamente, la característica esencial de estos comportamientos es la ejecución de osciladores en tales tareas.

Se ejecutaron distintos programas imitando diferentes movimientos para realizar de manera óptima la lectura de los sensores junto con la sincronía de los movimientos.

3. Análisis de Resultados.

Se hallaron los osciladores adecuados en el simulador de redes neuronales variando los pesos de conexión entre las neuronas y la fibra, de esta forma se obtuvieron distintos patrones de locomoción utilizando redes oscilatorias de menor número de neuronas. Para las oscilaciones de tres neuronas, los resultados obtenidos fueron muy estables respecto a redes de más neuronas, siempre que se utilicen inhibiciones mutuas. La estabilidad del oscilador se puede establecer a partir las variaciones en los pesos de conexión entre cada neurona, observando un transitorio que no se ve afectada grandemente. En cuanto al mecanismo del robot, existen inconvenientes en la colocación de los sensores, pues se hizo necesario colocar dos sensores en un mismo puerto y su control fue a partir de la programación; sin embargo, esto no dificulta la ejecución de los osciladores o patrones de locomoción.

4. Conclusiones

Imitar los comportamientos de locomoción naturales basados en patas, implica la convergencia de distintas tareas y un control que se hace complejo debido a sus características no lineales como lo demuestran los modelos

neuronales del potencial de acción del calamar gigante hechas por Hodgking y Huxley , desde donde parte el SYSTEM11, base del Simulador NEURORED.

La integración entre los sistemas de control de movimiento y los sistemas neuronales fue posible. Y aunque no resulta difícil la obtención de patrones de locomoción mediante los actuales simuladores, un problema que presenta el microcontrolador RCX es la limitación de sus capacidades de control ante el gran número de variables involucradas en un simple sistema de locomoción.

De esta forma, aunque correr, caminar y retroceder, son tareas que se hacen fáciles a simple vista, se tornan complejas al llevarlas a cabo en sistemas artificiales, debido al control y la sincronía que requiere cada articulación [9]. Con lo cual vemos que en la medida en que se incrementa el número de patas, la sincronización de los movimientos se hace más rigurosa y compleja, demandando la utilización de mayores recursos tanto de hardware como de software.

Las pretensiones de este trabajo siguen de una manera modesta, con los trabajos en los que se trata de mover o manipular mecanismos robóticos o prótesis por medio de neuronas vivas, ya sea directamente del cerebro de un animal o crecidas en un medio de cultivo adecuado [10]. Estos dos últimos métodos son difíciles y costosos, por lo que utilizar un simulador es una manera muy conveniente de iniciar una investigación en esta dirección que lleva la bio-robótica. Este trabajo da pauta a un posterior desarrollo en cuanto a la implementación dentro del microcontrolador del programa NEURORED. De esta manera variar las salidas de las redes neuronales a partir de los valores en tiempo real de los sensores, para que el robot sea capaz de tomar decisiones en condiciones del medio.

Se enfatiza que el presente trabajo es parte de los resultados de la referencia [8]. En términos sustanciales, el presente trabajo se basa en simulaciones previas modeladas en programas ya definidos, cercanas a un sistema biológico; esto diferencia de los trabajos de Chapin basados en el control en tiempo real de las condiciones de movimiento, aunado a esto las diferencias en recursos e infraestructura. Sin embargo este trabajo sigue los lineamientos de la robótica contemporánea de integrar sistemas biológicos y artificiales.

Reconocimiento

El desarrollo de este proyecto fue apoyado por
CONACYT 25 718-A y PAPIIT IN 104 398.

Referencias

- [1] Beer, R. D., Ritzmann, R. D. and McKenna, T., "Biological Neural Networks in Invertebrate Neuroethology and Robotics", Academic Press, USA, 1993.
- [2] Beer, R. D., Quinn, R. D., Chiel, H. J. and Ritzmann, R. E., "Biologically Inspired Approaches to Robotics", Communications of the ACM, Vol. 40, No. 3, pgs. 31-38, March 1997.
- [3] Contreras, D., Destexhe, A., Sejnowski, T. J. and Steriade, M., "Spatiotemporal Patterns of Spindle Oscillations in Cortex and Thalamus", The Journal of Neuroscience, Vol. 17, No. 3, pgs. 1179-1196, 1997.
- [4] MacGregor, R.J., "Neural and Brain Modeling", Academic Press, USA, 1987.
- [5] Hodgkin, A. L., Huxley, A. F. and Katz, B., "Measurement of current-voltage relations in the membrane of the giant axon of Loligo", Journal of Physiology, Vol. 116, pgs. 424-448, 1952.
- [6] Alcántara G., M. A., "NEURORED: Simulador y analizador de redes neuronales tipo biológico", Tesis de Ing. en Computación, Fac. de Ingeniería, UNAM, México, 1992.
- [7] Overmars M., "Programando Robots Lego usando NQC, version 3.03", Department of Computer Science, Utrecht University, pgs. 2-47, Oct. 2, 1999. <http://www.cs.uu.nl/people/markov/lego/>.
- [8] Sebastián M., Y., Vicente F., N. "Generación de la locomoción de un robot hexápodo LEGO MINDSTORMS por medio de osciladores inspirados en redes neuronales biológicas". Tesis de Ing. en Electrónica, Fac. de Ingeniería, UNAM, México, 2003.
- [9] Chiel H., Beer R., Quinn R., Espenschied K., "Robustness of a Distributed Neural Network Controller for Locomotion in Hexapod Robot", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 8, No. 3, pgs. 293-303, Junio 1992.
- [10] Chapin, K. K., Moxon, K. A., Markowitz, R. S., and Nicolelis, M. A. L., "Real-Time Control of a Robot Arm Using Simultaneously Recorded Neurons in the Motor Cortex", Nature Neurosciences, Vol. 2, pgs. 664-670, 1999.