



IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED NEURONAL EN UNA CALCULADORA HP 48GX PARA EL CONTROL DE UN-NITI, UN MINIROBOT CAMINADOR CON ALAMBRE NITINOL

Camilo Andrés Cortés G.¹, Juan Pablo Sáenz E.², Ing. Alberto Delgado³

¹camilokmi@ieee.org ²jpsaenz@ieee.org

³Profesor Facultad de Ingeniería adelgado@ieee.org
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

RESUMEN

El diseño y construcción de un robot móvil es un arte y una ciencia. Un diseñador de robots debe poseer un compendio de habilidades básicas de varios campos, como de ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ciencias de la computación e inteligencia artificial [9].

La calculadora Hewlett Packard 48G(X) es una herramienta que tiene gran acogida en el ámbito universitario, posee un procesador Saturn de 4 MHz, una memoria expandible hasta 4MB, un puerto infrarrojo y un puerto serial RS-232 [11], exhibiendo características deseables para utilizarse como controlador.

El desarrollo de programas de control secuencial ha sido ampliamente estudiado por los investigadores en robótica en el mundo, demostrando ser complejos, extensos, poco flexibles y de escasa robustez. Las nuevas técnicas de control basadas en los nuevos paradigmas en Inteligencia Artificial (IA) como las redes neuronales son simulables fácilmente en un PC, aportando mayor flexibilidad y robustez que los métodos tradicionales.

Una alternativa para producir movimiento mecánico utilizando una señal eléctrica sin utilizar motores es el nitinol (aleación de níquel y titanio que se contrae al aplicar en sus extremos una diferencia de potencial). Las investigaciones mundiales sobre este material han producido múltiples aplicaciones como robots, máquinas giratorias hasta de 1000 RPM, acoples de tuberías, conectores de tarjetas de computadores y displays de caracteres braile [6].

UN-NITI es un minirobot cuyo movimiento se produce mediante actuadores de nitinol acoplados a sus 8 patas. Su control electrónico se realiza gracias a cuatro módulos. La calculadora HP 48GX sirve como controlador secuencial o inteligente del movimiento del robot, todo mediante comunicación serial RS-232.

INTRODUCCIÓN

El proyecto «Diseño y construcción de un robot Caminador utilizando alambre NITINOL y una calculadora HP 48GX como plataforma de Inteligencia Artificial», UN-NITI (Universidad Nacional - NITInol), fue un trabajo de grado de ingeniería Eléctrica en el área de robótica y control inteligente, el cual tuvo por objetivo construir un minirobot caminador de ocho patas (tipo araña). El robot funciona con alimentación externa, su movimiento (sin motores) se produce con alambre nitinol y es controlado por una red neuronal implementada en una calculadora HP48GX utilizando el puerto serial para la comunicación (Figura 1).

ESTRUCTURA MECÁNICA DEL ROBOT

Físicamente el robot se elaboró con diferentes materiales, su cuerpo consiste en una lámina de balsa en la cual se encuentran acopladas las tarjetas correspondientes a los módulos de control, además se utilizaron dos piezas rectangulares de madera a las cuales se fijaron las patas del robot elaboradas con cuerda de piano de 0.95 mm de diámetro. Las patas tienen unos «zapatos» hechos con tubos capilares de cobre que facili-

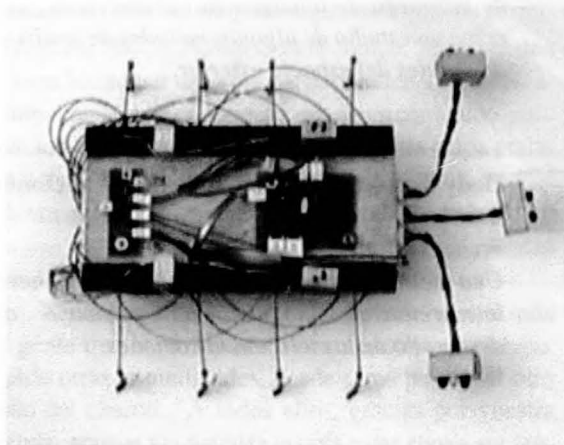


Figura 1a). UN-NITI. Vista superior

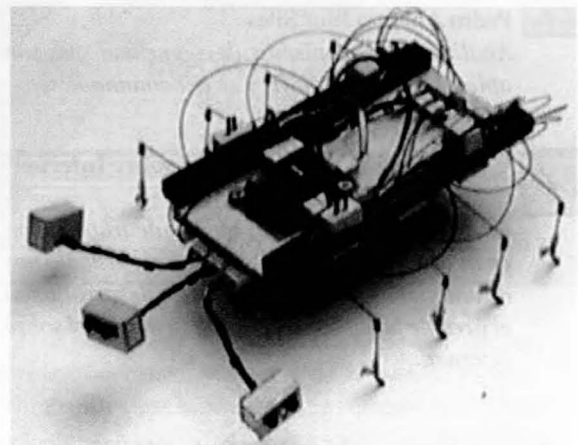


Figura 1b). UN-NITI. Perspectiva

tan el desplazamiento. En la figura 2 se observa la estructura mecánica del robot.

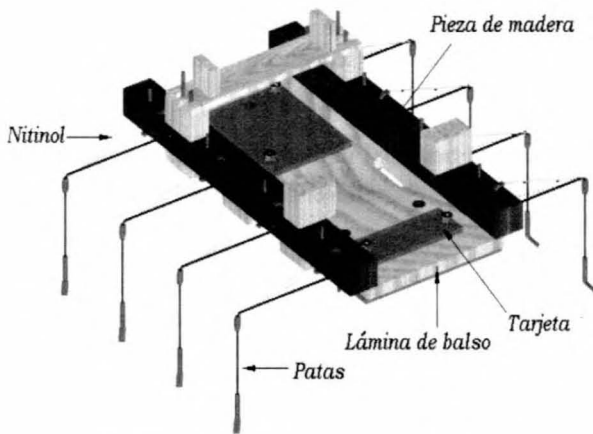


Figura 2. Diseño mecánico de UN-NITI.

El movimiento de las patas se realiza con alambre nitinol fijado a las patas y a las piezas de madera mediante presión mecánica ejercida sobre tubos capilares de cobre (esta técnica se implementó para no utilizar métodos calientes, como la soldadura, que pueden dañar la estructura cristalina del nitinol). En la figura 3 se ilustra la forma en que se encuentra acoplado el nitinol al cuerpo del robot.

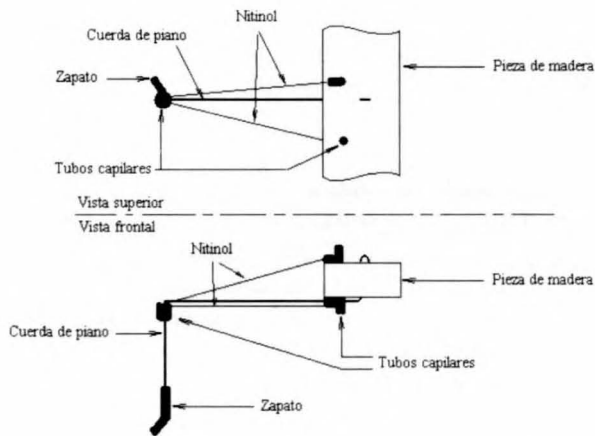


Figura 3. Detalles del acople del nitinol en UN-NITI.

Actuadores de Nitinol

El nitinol es un alambre hecho de una aleación entre níquel y titanio que presenta las características y propiedades de las aleaciones con memoria de forma (Shape Memory Alloys)[2]. El término SMA es aplicado a un grupo de materiales metálicos que han demostrado la habilidad de retornar a una forma o tamaño preestablecidos mediante un adecuado procedimiento térmico y mecánico.

Las ventajas de utilizar nitinol en cambio de motores son: tamaño y peso reducidos, bajo consumo de potencia, control preciso, operación con AC o DC, larga vida y capacidad de soportar gran peso [6].

En UN-NITI los actuadores de nitinol mueven las patas al contraerse debido a la circulación de corriente por ellos. Esta corriente origina un aumento en la temperatura del nitinol produciendo un cambio en la estructura cristalina que disminuye la longitud del alambre (figura 4).

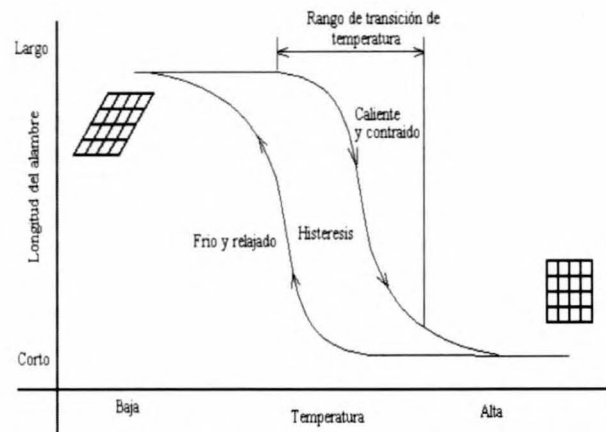


Figura 4. Longitud del alambre de nitinol sometido a una fuerza constante como función de su temperatura

Cuando la corriente cesa y la temperatura disminuye, el alambre recupera su longitud al ser aplicada una fuerza contraria ejercida por la pata. El nitinol utilizado en UN-NITI fue de 100 mm de diámetro (marca flexinol 100).

EL CONTROL ELECTRÓNICO

El sistema de control del robot está dividido en 4 módulos dedicados a tareas específicas (figura 5) con el fin de dar mayor flexibilidad al diseño del robot .

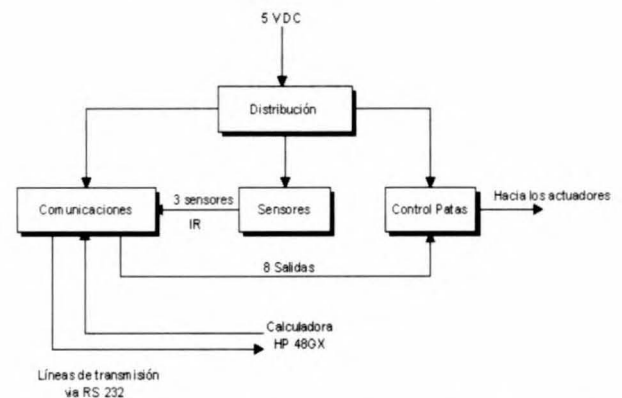


Figura 5. Diagrama de bloques ilustrativo del sistema de control de UN-NITI

Módulo de Distribución

Debido a la magnitud elevada de corriente para el movimiento del robot (aproximadamente 2.5 A para el funcionamiento de todos los módulos) fue necesario utilizar una fuente de alimentación externa de 5V DC. Este módulo tiene por función distribuir la energía con el



propósito de utilizar sólo un cable externo para permitir el movimiento libre del robot.

Módulo de Sensores

La habilidad de un robot para identificar su mundo por medio de sensores y cambiar su comportamiento es lo que hace a un robot una cosa interesante de construir y un artefacto útil cuando es terminado [4].

En UN-NITI se encuentran tres sensores infrarrojos (IR) que detectan la proximidad de obstáculos con un rango variable de detección de 3 a 30 cm dependiendo de la calibración de la tarjeta y del tipo de superficie del obstáculo. Cada sensor consta de dos LEDs emisores IR y un fotodiodo receptor. La señal de recepción es tratada por un Amplificador operacional y cada salida es comparada con el nivel de luz IR en el ambiente obtenido por un fotodiodo detector adicional, el diagrama esquemático de un sensor se presenta en la figura 6, este diseño es una modificación del propuesto para el detector de proximidad IR de SCORPIO [2].

Módulo de Control de Patas

Es el encargado de suministrar la corriente necesaria para mover los actuadores de nitinol dependiendo de la orden enviada por la tarjeta de comunicaciones, esta tarjeta es capaz de manejar 8 salidas cada una de las cuales mueve 2 actuadores conectados en paralelo.

Módulo de Comunicaciones

Es el más importante de todos por servir de interfaz entre la computadora y el robot. Recibe las señales de los sensores enviando su estado a la HP 48GX, y traduce la orden enviada por la computadora hacia el módulo de control de patas. Para estos fines se utiliza un convertidor de señales TTL - RS 232 (ICL 232) y un microcontrolador PIC 16F84 [8] programado con rutinas especiales para permitir la comunicación serial de UN-NITI.

ALGORITMOS DE CONTROL

La computadora permite la implementación de software de control de diversos tipos (secuencial, inteligente, etc.). En la actualidad se encuentra implementado un algoritmo de control secuencial y una red Neuronal multicapa.

La red neuronal implementada en el software de control inteligente es la red multicapa 3-N-3 mostrada en la figura numero 7.

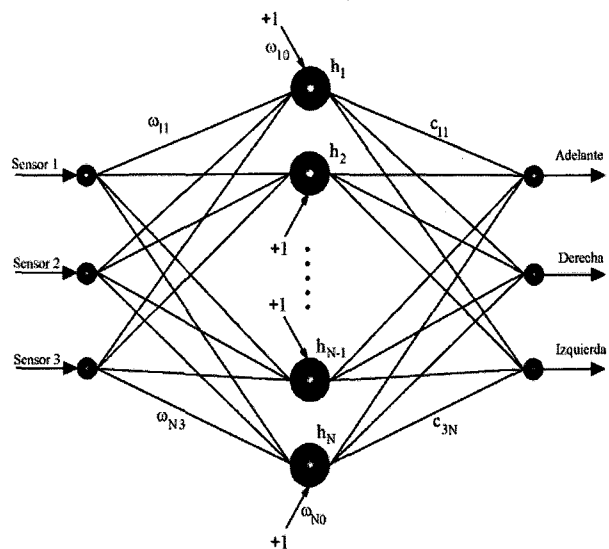


Figura 7. Red neuronal 3-N-3 usada en el software de control de UN-NITI

Es una RNA estática, con entrenamiento fuera de línea (Offline), que utiliza como algoritmo de entrenamiento el de propagación inversa (backpropagation) [3]. La capa de entrada y la de salida tienen función de activación lineal, la capa oculta cuenta con función de activación Tanh. La red fue entrenada con los patrones mostrados en la tabla 1.

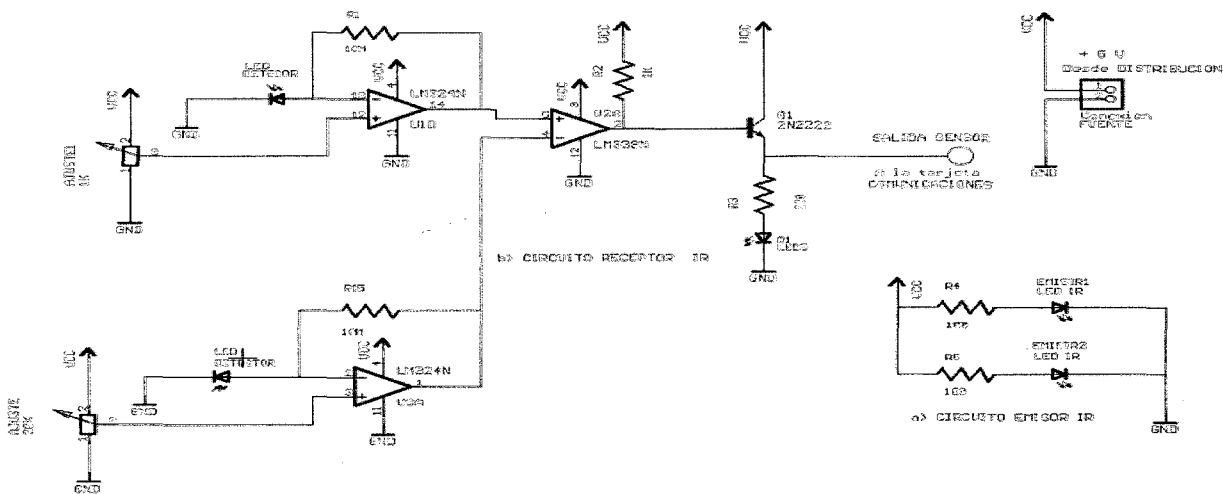


Figura 6. Diagrama esquemático de un sensor. a) Circuito Emisor b) Circuito receptor y comparador

Estado de los sensores			Acción a realizar		
Sensor 3	Sensor 2	Sensor 1	Adelante	Giro Der.	Giro Izq.
-0.9	-0.9	-0.9	0.9	-0.9	-0.9
-0.9	-0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9
-0.9	0.9	-0.9	-0.9	0.9	-0.9
-0.9	0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9
0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	0.9
0.9	-0.9	0.9	0.9	-0.9	-0.9
0.9	0.9	-0.9	-0.9	-0.9	0.9
0.9	0.9	0.9	-0.9	-0.9	0.9

Tabla 1. Patrones de entrenamiento de la red neuronal.

En la aplicación con la HP 48 (figura 8) se utilizaron 4 neuronas ocultas y una tasa de aprendizaje de 0.015 con el fin de lograr mayores velocidades a la hora de propagar la red y poder utilizar la calculadora como controlador en tiempo real.

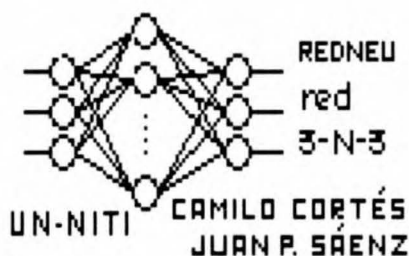


Figura 8. Programa REDNEU en la HP48, para una red multicapa 3-N-3

La implementación de programas de control en la HP 48GX usando User RPL [7] (lenguaje de programación de más alto nivel de la HP 48GX) busca establecer la utilidad de la calculadora como controlador en tiempo real, además de analizar las facilidades que brinda al programador. Este lenguaje cuenta con estructuras de información, como pilas, listas y matrices, que permiten desarrollar programas complejos de manera rápida. Estas características del User RPL permitieron desarrollar los programas de control y en especial el de la RNA de forma



Figura 9. Control de UN-NITI desde un PC utilizando un emulador de la HP48.

más fácil que en los lenguajes tradicionales de programación para PC.

El software de control puede implementarse también desde un PC, utilizando para ello una interfaz adecuada (ej. Visual Basic, MATLAB, entre otros), o utilizando una versión emulada de la calculadora [1] como se ilustra en la figura 9. El uso del emulador tiene la ventaja de trabajar con velocidades de procesamiento mayores a las de la calculadora, por ejemplo, según pruebas con el entrenamiento de la red neuronal, se pudo observar que operaciones que toman 1 minuto en la calculadora (4MHz), en un computador Pentium III de 450MHz se reducen a 4 o 5 segundos.

Una de las aplicaciones futuras de UN-NITI es la programación inspirada en modelos biológicos para el estudio del comportamiento adaptativo utilizándolo como un ANIMAT [10], esta nueva tendencia de programación es una modificación de la Inteligencia Artificial (IA) tradicional en donde se simula el comportamiento animal (Inteligencia Artificial basada en el comportamiento).

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

El movimiento de las patas de UN-NITI se basó en el estudio de la forma y secuencia de caminar de las arañas [5] para obtener un movimiento más eficiente. Hasta la fecha, se han realizado diferentes experimentos, algunos de los cuales se exponen a continuación:

Al medir la velocidad de UN-NITI, se encontró que en línea recta avanza 12 cm/min sin cargar la calculadora y 7.5 cm/min cargándola. Esta velocidad es buena debido a que la velocidad del robot más conocido con nitinol, Stiquito [2], es de 3 a 10 cm/min con cargas hasta de 50 gr.

Se descubrió que la superficie óptima para UN-NITI depende del peso cargado, por ejemplo, cuando no carga la calculadora ni otro peso se desplaza muy bien sobre cartón paja. Las pruebas de giro mostraron que para

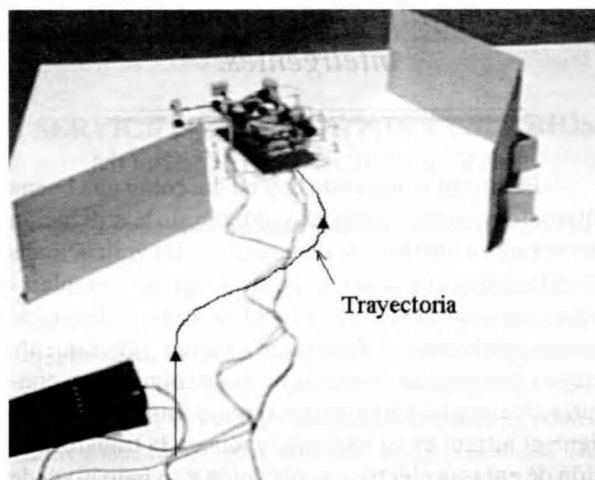


Figura 10. Configuración de obstáculos para la prueba de control inteligente.

realizar un giro de 90° en cualquier dirección el robot demora 6 min utilizando un radio de giro de 25 cms.

Para probar el comportamiento del control por medio de la RNA se dispuso de 3 obstáculos cuya disposición se puede apreciar en la figura 10. El minirobot sorteó los obstáculos en 12 min de manera exitosa siguiendo la trayectoria mostrada en la figura. Esta prueba demostró la viabilidad de usar la HP 48GX como controlador de sistemas físicos usando algoritmos inteligentes.

Actualmente UN-NITI ha funcionado con cargas hasta de 400 gr aproximadamente (264 de la calculadora y 140 de los módulos de control). Es un peso aceptable pues iguala las máximas capacidades obtenidas con las variaciones de Stiquito.

CONCLUSIONES

La calculadora HP 48GX demostró ser un adecuado controlador en tiempo real de un sistema físico (UN-NITI) mediante algoritmos secuenciales e inteligentes. Al ver la popularidad de esta calculadora entre los estudiantes de ingeniería en el mundo surge como una buena herramienta en la enseñanza del control y robótica, de fácil manejo y gran accesibilidad.

El lenguaje de programación utilizado, User RPL, es de fácil aprendizaje y cuenta con características propias de programación orientada a objetos. Además cuenta con estructuras de datos predefinidas (ej. listas) que ayudan en la programación de redes neuronales y cuenta con acceso a todas las funciones matemáticas de una calculadora científica (manejo de matrices, funciones hiperbólicas, etc).

La calculadora HP 48GX demostró ser un adecuado controlador en tiempo real de un sistema físico (UN-NITI) mediante algoritmos secuenciales e inteligentes.

El nitinol se presenta hoy en día como una buena alternativa para producir movimiento sin la utilización de motores u otro tipo de dispositivos, las aplicaciones de este material pueden ir desde áreas tan complejas como la electromedicina y el control, hasta el diseño de avisos publicitarios dinámicos, siendo seguramente menos costosos en términos de mantenimiento y consumo de energía, sin embargo algunas limitaciones que tiene el nitinol es su baja eficiencia en la transformación de energía eléctrica a mecánica y su bajo nivel de deformación (8% máximo), lo cual posiblemente sea superado gracias a investigaciones en esta área.

La flexibilidad del sistema de control del minirobot permite conectarlo a la HP 48GX, a un PC o a la reciente HP 49G dependiendo de la disponibilidad de hardware de la persona que desee utilizar a UN-NITI. Estas características son deseables para nutrir con plantas los laboratorios de control e inteligencia artificial de universidades con recursos físicos limitados.

REFERENCIAS

[1] Carlier, Sébastien; GieBelink, Christoph (1999): «EMU 48 Ver. 1.09». URL: <http://www.gulftel.com/~pattersc/win48/>

[2] Conrad, James M.; Mills, Jonathan W. (1998): «STIQUITO, advanced experiments whit a simple and inexpensive robot». Los Alamitos, CA., IEEE computer Society.

[3] Delgado, Alberto. (1988): «Inteligencia Artificial y Minirobots». Santafé de Bogotá, Colombia, Ecoe Ediciones.

[4] Everett, H. R. (1995): «Sensors for Mobile Robots, theory and application». Wellesley, Massachusetts, A K Peters.

[5] Foelix, Rainer F. (1982): «Biology of spiders». London, England, Harvard University Press.

[6] Gilbertson, Roger G. (1994): «Muscle Wires, Project Book». San Anselmo, CA., Mondo-Tronics, Inc.

[7] Hewlett Packard. (1994): «HPG series, Advanced User's reference manual». Corvallis, OR, U.S.A., Hewlwt Packard.

[8] Hurtado, Jaime. (1996): «Aplicaciones con Microcontroladores». Santafé de Bogotá, Colombia, Proyecto de grado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional.

[9] Jones, Joseph L.; Flynn, Anita M. (1993): «Mobile Robots, inspiration to implementation». Wellesley, Massachusetts, A K Peters.

[10] Rojas, Sergio A. (1998): «Disertación teórica sobre simulaciones inspiradas biológicamente para el estudio del comportamiento adaptativo». Santafé de Bogotá, Colombia, Proyecto de grado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional.

[11] Teuwen, Philippe (1997): «Guide to the HP48G/GX Hardware». Version 0.90.

URL: <http://freezone.exmachina.net/doegox/Default.html>,
e-mail:Philippe.Teuwen@student.ulg.ac.be