

# Proyecto NNGen: Aplicación de controladores neuronales a la navegación autónoma

Mg. Marcelo A. Tosini  
Grupo Inca/Intia  
Departamento de Computación y Sistemas  
Facultad de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

## CONTEXTO

La línea de trabajo presentada se encuentra inmersa dentro del proyecto de Incentivos *Sensores y Algoritmos Para Plataformas de Navegación* cuyo objetivo fundamental es la definición de una metodología y el desarrollo de las herramientas correspondientes, para asistir al diseño e implementación de sistemas empotrados a medida de la aplicación, que utilizan técnicas de Inteligencia Artificial para la detección de patrones en señales o imágenes, sistemas de control industrial, y navegación de vehículos autónomos. Estos sistemas pueden estar basados en plataformas tales como: microcontroladores, procesadores genéricos o circuitos a medida (en FPGA o ASIC). Como banco de prueba para validar la metodología y herramientas desarrolladas, se analizarán aplicaciones de uso industrial, tales como redes neuronales digitales, sistemas de control basados en lógica difusa, sistemas de navegación basados en esquemas deliberativos, sensores de variables imprecisas, giro-estabilización, cámaras inteligentes para reconocimiento, entre otras.

## RESUMEN

El proyecto Senyal Plana llevado adelante en el seno del grupo Inca/Intia persigue como objetivos fundamentales la creación

de herramientas y metodologías para el desarrollo de agentes robóticos autónomos. En el marco de dicho proyecto, la línea orientada a robótica evolutiva y redes neuronales digitales trabaja a partir de lineamientos específicos destinados a obtener materializaciones en hardware de controladores neuronales que minimicen el área *on chip* manteniendo alta la relación tiempo/eficiencia. Además de esto, se realizan estudios formales a nivel evolutivo de controladores robóticos en busca de relaciones entre parámetros que permitan implementar controladores minimales pero con aceptable comportamiento a fin de integrarlos en controladores más elaborados con estrategias integradas deliberativo/reactivas que soporten comportamientos más complejos.

**Palabras clave:** *inteligencia artificial, redes neuronales, robótica evolutiva*

## 1. INTRODUCCION

La robótica evolutiva, entendida como la aplicación de técnicas de evolución genética para entrenar controladores neuronales en determinadas tareas, se ha orientado en los últimos tiempos al aspecto teórico de la disciplina dejando de lado el punto de vista de la ingeniería [1]. Esta orientación de las investigaciones a dado buenos resultados manifestados sobre todo

en estudios teóricos en la complejidad de las tareas realizadas y en el ámbito de la aproximación simbólica a los problemas [2] [3].

Aún así, es de interés el estudio de las problemáticas asociadas a controladores aplicables a dispositivos robóticos reales en hardware. Justamente en este entorno se debe atender a factores asociados colateralmente al problema central que maneja el controlador y que están relacionados con interrupciones producidas por interferencias eléctricas (o de otra índole) en los sensores, en los actuadores (motores o circuitos de control de los mismos) o del propio ambiente (diferencias entre el comportamiento del ambiente real y el modelo simulado) [4] [5].

Desde el punto de vista del diseño del controlador los diferentes ruidos se incluyen en las ecuaciones que modelan la red neuronal de control en tres puntos diferentes: 1) como componente aditiva a los valores aportados por los sensores; 2) como factor (coeficiente de fricción de los motores, ruido mecánico o ruido eléctrico amplificado por los controladores de los motores) o 3) como ruido adicionado al modelo de cada neurona.

El ruido propio del ambiente se puede definir ya sea como perturbaciones del escenario real que no se pueden modelar correctamente en el entorno simulado o como ruido propio eventual del escenario real. En este último caso el modelo debe ser capaz de generar situaciones en las que no existe perturbación y otras en las que la perturbación puede aparecer eventualmente en algún momento del experimento.

Varios autores han trabajado el tema de la influencia del ruido (u otro tipo de incertezas) en el comportamiento intrínseco de controladores neuronales genéticamente evolucionados. Di Paolo en [6] plantea básicamente que para capturar todas las características del problema en un controlador es necesario considerar todos los aspectos subyacentes – ruidos, incertezas- puesto que la simplificación del

modelo al excluir alguno de ellos aumenta el riesgo de obtener controladores buenos pero más frágiles.

En [7] Gallardo analiza el tema de la generación de trayectorias aplicando entrenamiento evolutivo y plantea soluciones al problema de la incertidumbre en el comportamiento de los sensores y actuadores reales mediante la incorporación de un factor de ruido gaussiano en las ecuaciones que manejan un controlador para la realización de trayectorias óptimas en un escenario con obstáculos. Los resultados muestran que las soluciones obtenidas en ambientes con ruido son menos óptimas que aquellas sin ruidos ya que los controladores se ven forzados a alejarse más de los obstáculos a fin de esquivarlos con seguridad. Aún así todos los controladores cumplen su objetivo primario de recorrer el escenario en un tiempo cercano al mínimo.

Beers [3] hace un extenso análisis del ruido en sistemas neuronales que reciben información sensorial para la toma de decisiones y la coordinación sensorimotora. En particular analiza la influencia de ruido en la interacción visual y motora (movimiento de la mano) para llegar al objetivo de tomar un objeto. Para esta problemática considera la existencia de varias fuentes de ruido o incertezas. Por un lado aquellas en el sistema de visión respecto de la posición real del objeto y por otro las propias del sistema propioceptivo que introducen errores propios del sistema motor. Estas últimas fuentes de incertezas deben entenderse como la diferencia entre la posición de la mano deseada (ordenada) por el sistema nervioso central (SNC) y la posición real de la mano debido a cualquier influencia que afecte al sistema muscular, sistema nervioso periférico, etc. Beers también analiza la influencia de un tercer tipo de incerteza que es la que surge de la captación que el sistema visual (con ruido) realiza de la posición de la mano (también con ruido). Esto genera un tipo de incerteza de mas alto nivel en el que la posición

exacta de la mano no se conoce exactamente debido a no se puede inferir directamente si los errores de posición de la misma provienen del sistema de visión o del sistema de propiocepción o, en último caso, de ambos.

En todos los casos el ruido está presente en el nivel inferior (nivel neuronal), mientras que la manera en que las tareas son realizadas se ve a alto nivel (nivel de comportamiento). Esto indica que es siempre necesario considerar los efectos a nivel neuronal a fin de entender su influencia sobre el nivel comportamental.

Por otro lado, La utilización de redes neuronales para la resolución de problemas complejos o no lineales ha inspirado la creación de varias soluciones tanto en software –sobre computadoras de propósito general-, como en hardware; con arquitecturas (en este último caso) que van desde la implementación de las redes en base a procesadores dedicados programados hasta materializaciones de alto rendimiento usando técnicas de segmentación de circuitos en configuraciones sistólicas de procesadores elementales simples [8].

En el caso particular de las redes neuronales multi etapa muchas propuestas en hardware implementan solamente la fase de prueba de la red usando pesos sinápticos obtenidos por entrenamiento *off line* realizado en computadora. Esto responde principalmente a dos razones: por un lado, la aplicación final de una red determinada en hardware no varía, por lo cual el entrenamiento *on line* no es necesario. Por otro lado, el entrenamiento *on chip* supone un aumento de la complejidad de los circuitos de la red neuronal que perjudican el rendimiento final o que en algunos casos son imposibles de materializar en determinados dispositivos de hardware.

La sub-línea de trabajo en este sentido busca analizar diversas alternativas en hardware dedicado para redes de varias capas ocultas orientado a su implementación final en FPGA. Las arquitecturas propuestas son básicamente

sistólicas con un diseño orientado a la interconexión de diversos componentes segmentados que implementan las distintas ecuaciones del algoritmo. Estas decisiones de diseño buscan lograr la generalidad necesaria para poder incorporar a futuro nuevas características a los circuitos que amplíen sus capacidades operativas al procesamiento de otras implementaciones de redes neuronales.

## **2. LINEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO**

El proyecto se puede dividir esencialmente en dos líneas a saber: Robótica evolutiva, que analiza comportamientos de controladores robóticos, su interacción con diversos escenarios experimentales y las estrategias para la obtención de controladores específicos para realizar determinadas tareas reactivas (reflejas). Arquitecturas hardware de controladores neuronales, que busca maneras de implementar circuitos de redes neuronales en distintas plataformas hardware como FPGAs o microcontroladores. Esta línea también analiza distintas variantes de implementación de los operadores necesarios para implementar la funcionalidad de la red con variantes como aritméticas de números con residuos.

## **3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS**

Algunos resultados parciales del trabajo realizado se plasmaron en publicaciones en congresos como [9] y [10].

Los objetivos de la línea plantean la obtención de los siguientes resultados: a) cuantificación de perturbaciones (ruido eléctrico) en el funcionamiento de un controlador neuronal, ya sea en fase de entrenamiento o de prueba del mismo; b)

desarrollo de arquitecturas neuronales de distintas topologías de redes en circuitos electrónicos programables como por ejemplo FPGAs o microcontroladores; c) aplicación de aritméticas no usuales para la obtención de circuitos de cálculo mas rápidos como por ejemplo RNS (Residue Number System) o aritmética decimal; d) estudio de comportamientos complejos basados en esquemas deliberativos y reactivos que permitan abstraer conocimientos de más alto nivel en capas superiores de decisión; e) combinación de diferentes estrategias reactivas tales como redes neuronales, lógica difusa o control humano en esquemas deliberativos controlados por algoritmos a tal fin; f) implementación de redes de sensores inteligentes partiendo de grupos de sensores de distintas características que permita la inferencia de conocimiento de nivel más abstracto que la información concreta que reporta cada sensor en particular.

#### 4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

En el área de robótica evolutiva se está trabajando con un becario de esta casa de estudios con residencia en la Universidad de Sussex (Inglaterra) en el estudio de comportamientos simples y complejos de agentes genéticamente evolucionados. Esta relación dio como fruto reciente la presentación de una tesina de grado que aborda el estudio del control deliberativo/reactivo en agentes simulados probados en escenarios simples como fototaxis o evasión [11].

Paralelamente se trabaja con integrantes del grupo de la línea de desarrollo de unidades aritméticas en la elaboración de módulos aritméticos para operaciones matriciales en RNS y decimal. En este sentido, el grupo tiene una estrecha vinculación con investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid que trabajan en el área de

aritméticas en FPGA y con los cuales se han realizado varias publicaciones conjuntas.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Nolfi, S.; Adaptation as a more powerful than decomposition and integration: Experimental evidences from evolutionary robotics. In P.K. Simpson (Ed.), Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 98), New York: IEEE Press, 141-146, 1998.
- [2] Nolfi, S., Floreano, D.; Learning and evolution. *Autonomous Robots*, 7(1): 89-113, 1999
- [3] Van Beers, R. J., Baraduc, P. and Wolpert, D.; Role of uncertainty in sensorimotor control. *Philosophy Transaction, The Royal Society*, 357, 1137-1145, July 2002.
- [4] Ott, H.; Noise reduction techniques in electronic systems, John Wiley & Sons, 1998.
- [5] Balcells, J. et al.; Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos, Macrombo, 1992.
- [6] Di Paolo, E. and Harvey, I.; Decisions and noise: The scope of evolutionary synthesis and dynamical analysis, *International society for Adaptive Behavior*, Vol 11 (4): 284-288, 2003.
- [7] Gallardo, D., Colomina, O., Flórez, F., Rizo, R.; Generación de trayectorias robustas mediante computación evolutiva. SCETA 97, Seminario sobre computación evolutiva: teoría y aplicaciones. Torremolinos (Malaga), Noviembre 1997.
- [8] Sundarajan, N., Saratchandran, P., "Parallel Architectures for Artificial Neural Networks", *IEEE Computer*

Society Press, ISBN: 0-8186-8399-6, 1998.

- [9] Tosini, M., “Análisis de comportamiento de agentes neuronales evolutivos ante perturbaciones externas e internas”, XIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Chilesito, La Rioja, 6 al 10 de octubre de 2008
- [10] Tosini, M., “Diseño de un procesador neuronal orientado a redes multi-etapa entrenado con backpropagation”, XV Workshop Iberchip, Buenos Aires, Argentina, 25 al 27 de marzo de 2009.
- [11] Goñi, E., “Estrategias de navegación evolutiva para robots autónomos”, tesina de grado para la obtención del título de Ingeniero de Sistemas, Director: Mg. Marcelo Tosini, codirector: Mg. José Fernández León