

# Estudio de una Arquitectura Modular Neuronal para Control Robótico Autónomo

José A. Fernández León\*    Andrea S. Vulcano    Marcelo Tosini

Instituto de Investigación INTIA - Depto. Computación y Sistemas  
Facultad de Ciencias Exactas - Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
(7000) Tandil - Buenos Aires - Argentina  
{jleon, avulcano, mtosini}@exa.unicen.edu.ar

\*CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

**Resumen:** El presente trabajo trata de los problemas relacionados en la construcción de una arquitectura de control robótico mediante redes neuronales. Dicha arquitectura de control es aplicada a un modelo de robot tipo Khepera para llevar a cabo tareas dentro de un ambiente desconocido por el robot. Las tareas que el robot debe llevar a cabo, abarcan desde navegación con obstáculos hasta aprendizaje robótico. La arquitectura propuesta está basada en arquitecturas de redes del tipo perceptrón multicapa (MLP<sup>1</sup>), las cuales son estructuradas en una organización modular y entrenadas mediante backpropagation (BP). Diferentes trabajos con arquitecturas modulares neuronales, señalan que éste tipo de arquitecturas proveen un control apropiado de robots en tareas vinculadas a detección y evasión de obstáculos, y han sido frecuentemente utilizados en el mundo real.

**Palabras Claves:** *Redes Neuronales, Robótica Móvil Autónoma, Modularidad*

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen diferentes enfoques en la construcción de sistemas o máquinas inteligentes en el área de la Inteligencia Artificial (IA), dentro de los cuales se encuentran los vehículos o robots autónomos. Tales enfoques no solo abarcan cuestiones referidas a la forma de estructurar o controlar dichos sistemas [1, 2], sino que también contemplan la adquisición de conocimientos o aprendizaje (Machine Learning) [3, 4] y aspectos colaborativos entre los miembros de un sistema. En los años 80, Rodney Brooks [5, 6] inventó una arquitectura de control robótico<sup>2</sup>, con lo cual activó las actividades de investigación en el área de robótica basada en el comportamiento [7], aún vigente en la investigación robótica de la actualidad.

Una arquitectura basada en comportamiento está organizada en niveles, donde cada nivel es responsable de uno (o pocos) comportamientos. En adición, los niveles tienen un estricto orden vertical en el cual el nivel más alto siempre tiene precedencia sobre los niveles inferiores. Además, el comportamiento que modela los niveles superiores siempre es más complejo que aquellos que controlan los niveles inferiores. Un punto importante de señalar es que todos los niveles, excepto el nivel inferior, presupone la existencia de niveles inferiores, esto significa que conoce su funcionalidad, pero no la de los niveles superiores. De esta manera, el robot está capacitado para operar sin la necesidad de que existan niveles superiores. Ahora, en el caso que cada nivel tenga una red neuronal como controlador de una determinada tarea, dicha arquitectura se denomina *redes neuronales modulares* [1, 8]

En términos generales, el caso que nos interesa en este trabajo es el desarrollo de una arquitectura de control mediante controladores neuronales modulares, con el propósito de abordar temas vinculados con navegación de un robot móvil y aprendizaje robótico dentro de entornos no conocidos.

---

<sup>1</sup> Multilayer Perceptron

<sup>2</sup> Behavior-based Robotics. Subsumption architecture.

Se resumen, a continuación algunas de las características a considerar en el estudio de arquitecturas de control como la aquí señalada. La sección 2 presenta las características de las redes neuronales modulares. La sección 3 muestra cómo influyen las características de las arquitecturas modulares en ingeniería. En la sección 4, se detallan los pasos a seguir en el proyecto. Finalmente, en la sección 5 se enuncian los resultados que se esperan obtener del trabajo.

## **2. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES NEURONALES MODULARES**

Este trabajo estudia el desarrollo de una arquitectura de control aplicable a un robot autónomo tipo Khepera y simuladores de tales robots [9]. Las características vinculadas con una arquitectura como la aquí expuesta, permite llevar a cabo tareas de manera apropiada de diferente índole, las cuales han sido aplicadas por medio de diferentes trabajos en el mundo real [10, 3].

La organización de neuronas artificiales en capas y las interconexiones entre ellas, son las tareas a resolver al implementar una arquitectura neuronal modular. Concretamente, una red neuronal artificial puede consistir en una variedad de redes dentro de una estructura modular [11]. Según esto, uno de los grandes beneficios de desarrollar una red neuronal modular es obtener un mejor grado de generalización. Una convención dentro del área de redes neuronales, es la de utilizar una arquitectura tan pequeña como sea posible para obtener un mejor grado de generalización [1]. De esta manera, se mejora la generalización de la red modular debido a que cada uno de los módulos neuronales es fácilmente manejable, y por ende entrenable. Además, debido a la arquitectura modular, el número de conexiones sinápticas es menor que una red totalmente conectada. Por otra parte, existen diferentes tipos de redes modulares [1], pero todas presentan una división implícita de tareas, y difieren entre sí en la forma de interactuar entre los módulos.

## **3. ARQUITECTURAS MODULARES EN INGENIERÍA**

Desde el lado de ingeniería, existe la tendencia de dividir un problema en diferentes partes. Cada una de estas partes puede llevar a cabo una determinada tarea con diferentes criterios. Por lo tanto, si cada uno de los niveles consiste de una red neuronal conectada a un subconjunto de los sensores y actuadores del robot, obtendríamos que los niveles están conectados a una estructura simple modular, donde los niveles superiores pueden influir sobre los niveles inferiores.

Dentro de ingeniería, existen diferentes beneficios al dividir una arquitectura en módulos, entre los cuales es posible mencionar: reducción de la complejidad de cada tarea (y en caso de que cada nivel corresponda a una red neuronal, reducción del tamaño de cada red) y robustez a lesiones de los módulos del robot; pueden ser combinados diferentes tipos de redes neuronales artificiales de acuerdo a las características funcionales de cada una de ellas y a las características de la tarea a cumplimentar; finalmente, la división en módulos siempre ha sido un principio fundamental en ingeniería de software, por lo que una de las ventajas de la modularidad es la reusabilidad.

## **4. ACTIVIDADES A DESARROLLAR**

El proyecto está dividido en diferentes etapas. A continuación se detallan las tareas a realizar en cada una de ellas, así como los resultados esperados:

- *Etapa 1:* Diseño e implementación de diferentes topologías de redes neuronales para control de un robot simulado con múltiples sensores (Khepera). Realización de pruebas experimentales con el objetivo de obtener métricas sobre las características de cada red implementada. Inicialmente, se trabajará con redes del tipo Feed-Forward con variantes del algoritmo de Back-Propagation clásico. Como resultado de esta etapa se espera obtener un panorama detallado de la performance de cada red neuronal de manera independiente del simulador a utilizar.

- *Etapa 2:* Estudio de la aplicabilidad de aprendizaje on-line vs. aprendizaje off-line. Estudio de la conveniencia de aplicar algoritmos evolutivos en la dinámica de selección de los controladores más apropiados a la tarea a desarrollar en el ambiente.
- *Etapa 3:* Determinación de tareas a llevar a cabo por el robot. Principalmente, estas estarán vinculadas con la evasión de obstáculos y aprendizaje robótico dentro de un entorno no conocido previamente. La selección debe realizarse basada en dos fuentes principales: a) benchmarks disponibles para experimentación del Khepera y b) test-benches utilizados en otros experimentos aplicados a robótica evolutiva. Esto permitirá establecer parámetros confiables de comparación con otros trabajos.
- *Etapa 4:* Aplicación de las redes neuronales desarrolladas dentro del simulador. Transformación de las redes neuronales implementadas en controladores neuronales robóticos en función de la tarea a desarrollar. Estudio de las características particulares de los sensores y actuadores del robot.
- *Etapa 5:* Comparación de los resultados obtenidos en los diferentes tipos de controladores robóticos implementados en la realización de tareas.
- *Etapa 6:* Estudio del desarrollo de una arquitectura modular en función a los resultados obtenidos previamente. Análisis de la problemática de interconexión de los diferentes módulos. Determinación del tipo de red neuronal vinculada con cada uno de los niveles de la arquitectura, en función de la tarea a cumplir. Determinación del tipo de interconexión a los sensores y actuadores en forma grupal por cada controlador neuronal.
- *Etapa 7:* Implementación dentro del simulador de una arquitectura modular neuronal y obtención de resultados experimentales.
- *Etapa 8:* Comparación de los resultados obtenidos en las etapas 6 y 4. El análisis comparativo de estos resultados permitirá corroborar o refutar (en función de las pruebas específicas) hipótesis particulares acerca de las bondades y ventajas del diseño modular de controladores robóticos frente a grandes redes neuronales monolíticas.

## 5. RESULTADOS ESPERADOS

En este trabajo, se ha presentado brevemente los aspectos principales para el desarrollo de una arquitectura modular neuronal aplicada a robótica móvil. Los resultados esperados en éste trabajo están vinculados con aspectos ingenieriles de control robótico, y principalmente el desarrollo de controladores neuronales modularmente estructurados.

Finalmente, el enfoque de controladores como los mostrados aquí, pueden proporcionar tanto una herramienta con la cual probar hipótesis específicas sobre modularidad como también una posible solución para construir sistemas adaptativos.

## REFERENCIAS

- [1] Catarina Silva; Manuel Crisóstomo; Bernardete Ribeiro. *A Modular Neural Architecture for Navigating NOMAD Mobile Robot*, 8th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge Based Systems, pp 1199-1204, 3-7 July, Spain, 2000.
- [2] Julian Togelius. *Evolution of the Layers in a Subsumption Architecture Robot Controller*. Master of Science in Evolutionary and Adaptive Systems. University of Sussex, UK. 2003.
- [3] Nolfi S. and Floreano, D. *Evolutionary Robotics: The biology, Intelligence, and Technology of Self-Organizing Machines*. MA: MIT Press/Bradford Books. 2000.

- [4] D. Floreano and J. I. Urzelai. *Evolution and learning in autonomous robots*. In D. Mange and M. Tomassini, editors, Bio-Inspired Computing Systems. PPUR, Lausanne, 1998.
- [5] Brooks, R. A. *Intelligence without representation*. Artificial Intelligence, 47, 139-159. 1991.
- [6] Brooks, R. A. *Robot: the future of flesh and machines*. London: Penguin. Calabretta, R., Nolfi, S., Parisi, D. & Wagner, G. P. Duplication of modules facilitates functional specialization. Artificial Life, 6(1), 69-84. 2000.
- [7] Murphy, R. R. *Introduction to AI Robotics*. Cambridge, MA: MIT Press. 2000.
- [8] Calabretta, R., Nolfi, S., Parisi, D. & Wagner, G. P. *An artificial life model for investigating the evolution of modularity*. In Y. Bar-Yam, (ed.), Unifying Themes in Complex Systems, Reading, MA: Perseus Books. Also published by the New England Complex Systems Institute in the Interjournal of Complex Systems Manuscript Number: [97]. 2000.
- [9] Robot Khepera. <http://www.k-team.com>. 2004.
- [10] Elio Tuci, Inman Harvey, and Matt Quinn. *Evolving integrated controllers for autonomous learning robots using dynamic neural networks*. Proceedings of The Seventh International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior (SAB'02), 4-9, Edinburgh, UK, August 2002.
- [11] Simon Haykin. *Neural Networks. A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall. 1999.