

CONTROLADORES NEURONALES EN ROBÓTICA EVOLUTIVA

José A. Fernández León*

Gerardo G. Acosta*

Instituto INTIA - Dept. Computación y Sistemas
Facultad de Ciencias Exactas - Universidad Nacional del
Centro de la Provincia de Buenos Aires
(7000) Tandil - Buenos Aires - Argentina
jleon@exa.unicen.edu.ar

Grupo INTELYMEC - Dept. de Electromecánica
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires
(B7400JWI) Olavarría - Buenos Aires - Argentina
ggacosta@fio.unicen.edu.ar

*CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

Resumen: *Este trabajo consiste en el estudio de las características más relevantes de la metodología denominada Robótica Evolutiva, en cuanto a la construcción de controladores neuronales evolutivos genéticamente determinados. Dichos controladores son aplicados a un robot tipo Khepera para llevar a cabo tareas (por ejemplo, planificación de trayectorias en navegación de robots) dentro de un entorno no conocido previamente. Los controladores propuestos están basados en controladores neuronales de tiempo discreto tipo plásticos (PNN) o variantes del tipo Feed-Forward. Diferentes trabajos en el área de Robótica Evolutiva, muestran que los controladores adaptativos evolutivos pueden ajustarse en forma on-line sin entrenamiento adicional a cambios del entorno, permitiendo un control apropiado de los robots.*

Palabras Claves: *Robótica Evolutiva, Redes Neuronales, Algoritmos Genéticos*

1. INTRODUCCIÓN

Robótica Evolutiva¹ es una nueva metodología para la creación automática de robots autónomos² [3]. Inspirado en el principio Darwiniano de la reproducción selectiva del más apto, es posible ver a los robots como organismos artificiales que pueden desarrollar sus propias habilidades sin la intervención humana. Por otra parte, basado principalmente en aspectos biológicos, son utilizadas redes neuronales, algoritmos genéticos, sistemas dinámicos, e ingeniería computacional para llevar a cabo el proceso de control robótico. Algunas de las características presentes en los robots desarrollados con dicha metodología, al igual que los sistemas biológicos simples, involucran características de robustez, simplicidad, flexibilidad y modularidad [3]. Además, dentro de este contexto, los modelos vinculados con el comportamiento adaptativo autónomo pueden ser estudiados bajo el concepto de agentes, conjuntamente con la dinámica del ambiente con el cual interaccionan [2].

En los últimos años, en la mayoría de los experimentos en Robótica Evolutiva son utilizados sistemas de control robótico mediante redes neuronales artificiales [1, 3, 4, 5]. La arquitectura de dichas redes incluyen desde conexiones recurrentes, las cuales permiten que la red contemple aspectos de dinámica temporal, como así también la posibilidad de capturar y procesar eventos temporales [6, 7], hasta arquitecturas simples del tipo Feed-Forward [3]. Estudios sobre la combinación de algoritmos evolutivos y aprendizaje senso-motor puede ser encontrados en [8, 9].

¹ Evolutionary Robotics

² El presente trabajo está relacionado únicamente con la parte software de control de robots. En otras palabras, dicho trabajo se refiere a los problemas presentes al tratar diseñar controles por medio de software dentro de Robótica Evolutiva, sin considerar la parte hardware del problema.

En términos generales, el objetivo de este trabajo es el desarrollo de controladores neuronales genéticamente determinados aplicados a robótica móvil autónoma, principalmente, con la finalidad de llevar a cabo tareas de navegación adaptativa dentro de entornos no conocidos. En otras palabras, el objetivo es el desarrollo de controladores neuronales en Robótica Evolutiva.

Se resume a continuación algunas de las características a considerar en el estudio propuesto. En la sección 2 se describe brevemente la metodología empleada. La sección 3 muestra las consideraciones en el desarrollo de los controladores señalados. Finalmente, en la sección 4 se enuncian los resultados que se esperan obtener del trabajo.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

En robótica evolutiva, una población de cromosomas artificiales es creada aleatoriamente y probada dentro del entorno del robot. Concretamente, cada elemento de la población codifica el sistema de control de un robot. Además, cada robot es libre de actuar (moverse, manipular objetos, etc.) según al controlador utilizado, el cual fue genéticamente determinado, mientras es evaluado su desempeño al realizar varias tareas. Este proceso de generación de controladores robóticos y su evaluación en el entorno del robot, es llevado a cabo hasta satisfacer un criterio preestablecido vinculado a la tarea a desarrollar por el robot [3].

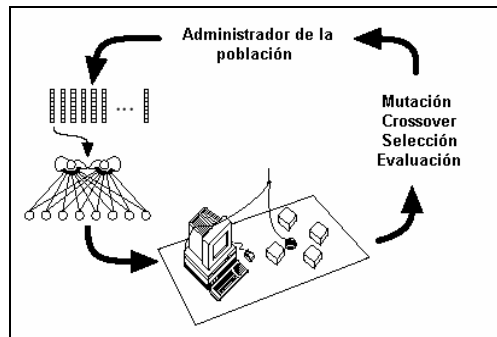


Figura 1 - Metodología operativa utilizada en Robótica Evolutiva [20]

Cabe aclarar que el proceso antes descrito (Figura 1), puede ser llevado a cabo tanto en entornos físicos como simulados para realizar tareas vinculadas, por ejemplo, con aprendizaje robótico [3, 4] y evasión de obstáculos [3, 20].

3. CONSIDERACIONES EN EL DESARROLLO DE LOS CONTROLADORES

El proyecto aquí expuesto, contempla algunas de las particularidades de los principales trabajos realizados en el área en cuestión [6, 8, 10, 11, 16, 17, 18, 19]. Por lo tanto, es de interés señalar que el desarrollo de tales controladores neuronales presupone la consideración de distintos temas, como los que a continuación se describen:

- *Tipo de controlador neuronal:* por lo general, el tipo de controlador utilizado en diferentes experimentos es una red neuronal recurrente de tiempo discreto. Si bien pueden ser utilizadas redes neuronales continuas (por ejemplo, CTRNN³ [14, 15]), son utilizadas redes del tipo plásticas (Plastic Neural Networks ó PNN [8, 13, 16]), o variantes de las redes del tipo Feed-Forward [21], ambas del tipo discreto, debido a que es posible realizar simples implementaciones de software pese a que poseen un potencial limitado en cuanto a cuestiones dinámicas en comparación con redes del tipo continuo [12, 19].

³ Continuous Time Recurrent Neural Networks

- *Codificación genética de los controladores*: principalmente, existen tres tipos de codificaciones genéticas de los controladores: *controladores genéticamente determinados* (los pesos sinápticos son determinados genéticamente), *controladores con sinapsis adaptativas* (los pesos sinápticos son siempre aleatorios y posteriormente modificados según reglas de adaptación de las sinapsis, las cuales son determinadas genéticamente), y *controladores con sinapsis perturbadas* (presenta características similares a la codificación anterior pero incluyen valores de ruido que serán considerados luego de cada ciclo de sensado).
- *Modelo del robot*: el tipo de robot a utilizar debe poseer un conjunto de sensores, los cuales permitan la navegación autónoma basada en ellos. En su mayoría, los trabajos presentados dentro del área que nos incumbe, utilizan un mini-robot denominado Khepera [11]. A su vez, y como paso anterior a la realización de las pruebas sobre robots reales, se utilizan modelos simulados del robot empleado. Por lo tanto, los resultados obtenidos luego del proceso de simulación, pueden ser probados luego en robots reales [17, 18].
- *Tarea a realizar por el robot*: diferentes clases de problemas pueden ser afrontados al momento de evaluar un controlador como el aquí expuesto. Principalmente, algunos de estos problemas se enmarcan en Aprendizaje por Refuerzo⁴, análisis de las capacidades de adaptación a los cambios, estudio de la influencia de cambios en el entorno, navegación autónoma, etc. [3]
- *Hipótesis a probar*: Existe un amplio espectro de áreas de investigación que pretenden ser estudiadas con el enfoque aquí presentado. Dichas áreas involucran desde aspectos ingenieriles hasta científicos [3, 21], algunos de los cuales son: controladores bio-inspirados, modularidad y plasticidad neuronal, la perspectiva comportamental, aprendizaje, etc.

En conclusión, al momento de realizar un estudio del desarrollo de controladores dentro del área de Robótica Evolutiva, es necesario considerar cuestiones vinculadas con el ambiente en el cual el robot operará, la tarea que éste realizará, la arquitectura específica del robot, el tipo de arquitectura neuronal y, finalmente, la codificación genética a utilizar. Cabe aclarar que uno de los principales inconvenientes a superar es determinar de manera apropiada, y en relación con la tarea a realizar, la función de evaluación o *función de fitness*, la cual determinará el grado de aceptación de cada controlador neuronal en el proceso evolutivo [3].

4. RESULTADOS ESPERADOS

En este trabajo, se han presentado brevemente los aspectos principales para el desarrollo de controladores neuronales evolutivos aplicados a robótica móvil, dentro del área de estudio de la denominada Robótica Evolutiva.

Los resultados reportados en la literatura con los controladores evolutivos aquí resumidos, han demostrado que es posible su desarrollo, principalmente, a partir de redes del tipo CTRNN y PNN. Dichos controladores pueden ser implementados en ámbitos simulados o reales, y en distintas clases de problemas. Los resultados esperados en este trabajo están vinculados con aspectos científico-tecnológicos de control robótico, y especialmente en el desarrollo de controladores neuronales genéticamente determinados.

Finalmente, y como uno de los resultados a alcanzar a largo plazo, se espera que el enfoque de construcción de controladores neuronales evolutivos, pueda proporcionar tanto una herramienta con la cual probar hipótesis específicas sobre aspectos evolutivos de aprendizaje, como así también proporcionar una posible solución para construir sistemas ingenieriles de control adaptativo.

⁴ Reinforcement Learning Tasks.

REFERENCIAS

- [1] Joseba Urzelai and Dario Floreano. *Evolutionary Robotics: Coping with Environmental Change*. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference. 2000.
- [2] Di Paolo, E. A. *Evolving spike-timing dependent plasticity for robot control*. EPSRC/BBSRC International Workshop: Biologically-inspired Robotics, The Legacy of W. Grey Walter, WG'2002. HP Labs, Bristol, 14 - 16 August 2002.
- [3] Nolfi S. and Floreano, D. *Evolutionary Robotics: The biology, Intelligence, and Technology of Self-Organizing Machines*. MA: MIT Press/Bradford Books. 2000.
- [4] 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 August 2002, Edinburgh, UK
- [5] Di Paolo, E. A. *Evolving robust robots using homeostatic oscillators*. Cognitive Science Research Paper 548, COGS, University of Sussex. 2002.
- [6] Jesper Blynel and Dario Floreano. *Levels of Dynamics and Adaptive Behavior in Evolutionary Neural Controllers*. In B. Hallam, D. Floreano, J. Hallam, G. Hayes, and J.-A. Meyer, editors. Recompilation de papers. 2002.
- [7] Beer, R. D. and Gallagher, J. C. *Evolving dynamical neural networks for adaptive behaviour*. *Adaptive Behavior*, 1(1):91-122. 1992.
- [8] 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.
- [9] S. Nolfi and D. Floreano. *Learning and Evolution*. *Autonomous Robots*, 7(1): forthcoming, 1999.
- [10] Dario Floreano and Joseba Urzelai.. *Evolution of Neural Controllers with Adaptive Synapses and Compact Genetic Encoding*. ECAL 1999: 183-194. 1999.
- [11] Khepera. <http://www.k-team.com/robots/khepera/index.html>
- [12] D. Floreano and F. Mondada. *Evolutionary Neurocontrollers for autonomous Mobile Robots*. *Neural Networks*, 11:1461-1478, 1998.
- [13] D. Floreano and F. Mondada. *Evolution of Plastic neurocontrollers for situated agents*. In P. Maes, M. Mataric, J.-A. Meyer, J. Pollack, H. Roitblat, and S. Wilson, editors. From Animals to Animats IV: Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Pages 402-410. MIT Press-Bradford Books, Cambridge, MA. 1996.
- [14] B. M. Yamauchi and R. D. Beer. *Sequential behavior and learning in evolved dynamical neural networks*. *Adaptive Behaviour*, 2(3):219-246, 1994.
- [15] Beer, R. D. *Intelligence as Adaptive Behavior: An Experiment in Computer Neuroscience*. San Diego: Academic Press. 1990.
- [16] Urzelai, J. and Floreano, D. *Evolution of adaptive synapses: Robots with fast adaptive behavior in new environments*. *Evolutionary Computation*, 9:495-524. 2001.
- [17] Webots. <http://www.k-team.com/software/webots.html>
- [18] WSU Java Khepera Simulator 5.0. John Gallagher, Wright State University.
- [19] E. Tuci, M. Quinn. *Behavioural plasticity in autonomous agents: a comparison between two types of controller*. Proceedings of The Second European Workshop on Evolutionary Robotics EvoROB2003, 14-16 April 2003, Essex, UK, pp. 661-672.
- [20] Floreano, D. *Ago Ergo Sum*. In Mulhauser, G., editor, *Evolving Consciousness*. Benjamins Press, New York. 1997.

- [21] Togelius, J. *Evolution of the Layers in a Subsumption Architecture Robot Controller*. Master of Science in Evolutionary and Adaptive Systems. University of Sussex, UK. 2003.