

Navegación autónoma: Estudio de comportamientos en controladores evolutivos y arquitecturas hardware de controladores neuronales

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

Tandil – Buenos Aires - Argentina

mtosini@exa.unicen.edu.ar

CONTEXTO

La línea del proyecto está incluida dentro del proyecto de Incentivos *Plataformas Digitales de Sistemas de Entradas-Salidas Complejos*, continuación del proyecto *Sensores y Algoritmos Para Plataformas de Navegación*, cuyo objetivo fundamental es la definición de metodologías y el desarrollo de herramientas 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). Además se dedica un esfuerzo conjunto del grupo al estudio de tecnologías para el desarrollo de redes de sensores inteligentes. En este contexto, las redes de sensores han cobrado gran importancia recientemente como una manera de estudiar e interactuar con el mundo físico y están ampliamente desplegadas en instituciones académicas, campus y residencias [Sho06, Liu07, Jur07]. Están empezando a ser usadas para el monitoreo colectivo y para diseminar información acerca de una variedad de fenómenos de interés [Li08]. Generalmente, una red de sensores consiste de un elevado número de diminutos nodos sensores y posiblemente de unos pocos nodos con

poder de control (también llamados estaciones bases) [Bak08]. Cada nodo tiene uno o unos pocos componentes de censado para censar condiciones (temperatura, humedad, presión, etc). Normalmente, los nodos están desplegados aleatoriamente en un ambiente y comunicados entre sí [Liu07, Sto05]. Dichas redes están conformadas por sensores inteligentes capaces de adquirir, procesar y comunicar los resultados de sus mediciones. Al momento de la implementación en el mundo real, existen muchos obstáculos. Entre ellos, el consumo de energía, la comunicación entre pares, el procesamiento y almacenaje de resultados parciales, la disponibilidad y fiabilidad de los sensores, la redundancia introducida para brindar confiabilidad, entre otros.

Como banco de prueba para validar las metodologías 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 *Plataformas Digitales de Sistemas de Entradas-Salidas Complejos* llevado adelante en el seno del grupo

Inca/Intia tiene como objetivo fundamental el estudio de diferentes técnicas software / hardware, y la implementación de algunas de ellas para asistir en la toma de decisiones en redes de sensores y el control de actuadores. Como objetivo particular se puede mencionar la implementación de algoritmos de tiempo real que permitan: proveer integridad y seguridad de valores leídos, a pesar de que sean contradictorios, oscilantes, imprecisos o escasos. Esta información permitirá entre otras cosas un manejo más adaptativo de vehículos autónomos controlados por redes neuronales

Dentro del proyecto base, la línea orientada a robótica evolutiva y redes neuronales digitales (NNGen) busca analizar diferentes alternativas, tanto a nivel de software como de hardware, a fin de obtener materializaciones (en hardware) de controladores neuronales que minimicen el área *on chip* manteniendo alta la relación tiempo/eficiencia. En el área de la computación evolutiva de controladores robóticos se trabaja en la definición de relaciones entre parámetros estructurales que permitan la materialización de controladores sencillos de comportamiento aceptable para las tareas a desarrollar integrables en sistemas estructurados con estrategias integradas deliberativo/ reactivas que soporten comportamientos más complejos.

Palabras clave: *controladores neuronales, robótica evolutiva, control.*

INTRODUCCION

El estudio 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 aspectos más prácticos del problema tales como las

formas de implementación de los algoritmos obtenidos. 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.

Desde el punto de vista del hardware es de interés para el grupo el estudio de las problemáticas asociadas a controladores aplicables a dispositivos robóticos reales. En ese aspecto se debe prestar especial atención a factores relacionados errores por interferencias eléctricas en los sensores y actuadores o del propio ambiente (diferencias entre el comportamiento del ambiente real y el modelo simulado).

Los experimentos se centran en la generación de controladores en los cuales el factor ruido se incluye en las ecuaciones que modelan la red de control: 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.

Varios autores han trabajado el tema de la influencia del ruido en el comportamiento de controladores genéticamente evolucionados. En *“Generación de trayectorias robustas mediante computación evolutiva”* 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. Di Paolo en *“Decisions and noise: The scope of evolutionary synthesis and dynamical analysis”* plantea 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.

Los resultados obtenidos en experimentos realizados confirman 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.

Un segundo aspecto de estudio en el grupo se relaciona a la utilización de redes neuronales para la resolución de problemas no lineales complejos que ha motivado la creación de varias soluciones tanto en software –sobre computadoras de propósito general-, como en hardware; con arquitecturas 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.

Para el caso de redes *feed-forward* muchas soluciones implementan solamente la fase de prueba de la red usando valores sinápticos *off line* (obtenidos por entrenamiento en fases previas y fuera del chip). Por otro lado, el entrenamiento *on chip* supone un aumento de la complejidad de los circuitos que implementan la red y que afectan negativamente el rendimiento final.

La línea de trabajo de implementación de arquitecturas estudia diversas alternativas en hardware dedicado para redes de varias capas ocultas orientado a su implementación final en FPGA. Las arquitecturas obtenidas son básicamente sistólicas con un diseño orientado a la interconexión de diversos componentes segmentados que implementan las distintas ecuaciones del algoritmo buscando lograr la generalidad necesaria para poder incorporar a futuro nuevas características a los circuitos que amplíen sus capacidades

operativas al procesamiento de otras implementaciones.

LÍNEAS DE TRABAJO

El proyecto de base se estructura en dos líneas principales de trabajo: 1) *robótica evolutiva*, abocada al estudio de distintas variantes estructurales de controladores robóticos desde el punto de vista comportamental; 2) Implementación en hardware de controladores neuronales en distintas plataformas como FPGAs y microcontroladores. Esta línea también analiza distintas variantes de implementación de los operadores necesarios para realizar la funcionalidad de la red con variantes como aritméticas de números con residuos y 3) Estudio de comportamientos emergentes en conjuntos de controladores entrenados para tareas simples.

RESULTADOS

Los objetivos de la línea plantean la obtención de los siguientes resultados: a) cuantificación de perturbaciones 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 FPGAs o microcontroladores; c) aplicación de aritméticas no usuales para la obtención de circuitos de cálculo mas rápidos (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 (comportamientos emergentes); e) combinación de 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.

Algunos resultados parciales del trabajo realizado se encuentran “Análisis de comportamiento de agentes neuronales evolutivos ante perturbaciones externas e internas” y “Diseño de un procesador neuronal orientado a redes multi-etapa entrenado con backpropagation”.

RECURSOS HUMANOS

El proyecto *Plataformas Digitales de Sistemas de Entradas-Salidas Complejos* consta de ocho investigadores y cuatro becarios de postgrado que trabajan activamente en tareas de investigación y desarrollo en la temática del proyecto: robótica, sistemas autónomos, inteligencia artificial, aritméticas, arquitecturas de hardware, etc.

En el área de robótica evolutiva se trabaja en la actualidad en el estudio de comportamientos simples y complejos de agentes genéticamente evolucionados.

Consecuencia natural de estos trabajos fue la presentación de una tesina de grado acerca del control deliberativo/reactivo en agentes simulados.

Asimismo, 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.

BIBLIOGRAFIA

- 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
- 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
- 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.
- 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.
- Nolfi, S., Floreano, D.; Learning and evolution. *Autonomous Robots*, 7(1): 89-113, 1999
- 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.
- Ott, H.; Noise reduction techniques in electronic systems, John Wiley & Sons, 1998.
- Balcells, J. et al.; Interferencias electromagnéticas en sistemas

electrónicos, Macrombo, 1992.

- 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.
- 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.
- Sundarajan, N., Saratchandran, P., “Parallel Architectures for Artificial Neural Networks”, IEEE Computer Society Press, ISBN: 0-8186-8399-6, 1998.