

## **ARQUITECTURAS DE SISTEMAS EMBEBIDOS UTILIZABLES EN ROBOTICA AUTONOMA**

Azcurra, D., Rodriguez, D., Pytel, P., Santos, D., Giordano, V., Arboleya, H., García-Martínez, R.

Grupo Investigación en Sistemas de Información  
Departamento Desarrollo Productivo y Tecnológico. Universidad Nacional de Lanús.  
29 de Septiembre 3901 (1826) Remedios de Escalada, Lanús. Argentina. Tel +54 11 6322-9200 Ext. 194  
dazcurra@yahoo.com, rgarcia@unla.edu.ar

### **CONTEXTO**

Este proyecto de investigación comienza la línea de trabajo en aplicaciones de sistemas distribuidos en el Grupo de Investigación en Sistemas de Información (GISI) del Departamento de Desarrollo Productivo y Tecnológico de la Universidad Nacional de Lanús.

### **RESUMEN**

Un sistema embebido es un sistema informático diseñado para realizar un grupo de funciones dedicadas y específicas, empleando para ello una combinación de recursos de hardware y de software. Poseen características diferenciales (entre otras: procesamiento concurrente, paralelo y distribuido, robustez, fiabilidad, bajo consumo y bajo costo) que los hace altamente recomendables en la administración y control de robots autónomos móviles.

En este contexto, este proyecto se inscribe en una línea de investigación que busca desarrollar y sistematizar el cuerpo de conocimiento de las arquitecturas de sistemas embebidos utilizables en robótica autónoma, con focalización en su transferencia a la Industria, particularmente al sector PyMEs.

Utilizando las metodologías de investigación documental exploratoria, prototipado evolutivo y casos de estudio se plantea a través de objetivos específicos, el desarrollo de los siguientes artefactos conceptuales: [a] caracterizar las arquitecturas de sistemas embebidos utilizables en robótica autónoma; [b] caracterizar las aplicaciones de dichas arquitecturas y su uso potencial en la región de influencia de la UNLa (Municipios y PyMEs); y [c] identificar las tecnologías de acceso libre o de bajo costo utilizables para implementar

asociadas a sistemas embebidos utilizados en robótica autónoma que una PyME pueda implantar en sus procesos productivos.

### **AVANCES SOBRE EL TEMA**

Uno de los puntos involucrados en el problema de la modelización de Sistemas Autónomos [Fritz, 1984; 1992; Fritz et al; 1989] es lograr una base axiomática que describa formalmente los fenómenos que tienen lugar en este tipo de sistemas. Esta descripción formal apunta a proporcionar un instrumento para clasificar, medir y calcular en el campo de la inteligencia. Formalmente, no es relevante la clasificación en natural o artificial. El propósito del trabajo es abstraer los rasgos comunes, si los hay, de todos los procesos inteligentes. Luego, clasificar como inteligentes a los sistemas capaces de dar lugar a procesos inteligentes.

Un rasgo comúnmente asociado con la inteligencia es la capacidad de adquirir nuevos conocimientos. Esto se manifiesta en los procesos de aprendizaje, que aceptan ser descritos en términos de asimilación e incorporación de información extraída del contexto. Una forma de adquirir conocimiento nuevo es el llamado "método del ensayo-error"; esta técnica permite descubrir leyes simples cuya verdad se deduce a partir de la experiencia. En la teoría presentada por los autores citados, esta adquisición de conocimiento está centrada alrededor de la asimilación de experiencias, siendo las leyes empíricas las unidades de experiencia.

Los Sistemas Inteligentes tienen objetivos, que consisten en acceder a una situación que les conviene. Están capacitados además para elegir sus acciones según tales objetivos y son capaces de aprender qué acción es útil efectuar en cada

situación en relación a los mismos. La situación es el conjunto de los rasgos esenciales del estado de las cosas, en relación a los objetivos del sistema. Se elabora sobre la base de todas las entradas sensoriales del momento y sobre su conceptualización. Sobre la base de esta modelización se elige cada acción. Para lograr sus objetivos, los Sistemas Inteligentes actúan, y para poder elegir acciones adecuadas deben contar con una memoria en la cual archivan sus experiencias.

Una unidad de experiencia se compone (por lo menos) de la situación vivida, la acción realizada, la situación resultante y el hecho de que las consecuencias de la acción hayan sido beneficiosas o no para lograr el objetivo. Este beneficio, o la falta del mismo, se traduce en utilidad resultante. La decisión sobre la acción que conviene realizar se toma en función de las experiencias acumuladas, si es que están en relación con las circunstancias actuales (pueden ser tanto experiencias directas del sistema como también experiencias conocidas a través de lo que se verificó en otros). Si en lo archivado como experiencia tal relación existe y la acción elegida en aquél entonces resultó beneficiosa, habrá una tendencia de elegir nuevamente esa misma acción o a optar por alternativas distintas si la acción resultó perjudicial.

Cuando se trata de una situación nueva, esto es, no existe experiencia previa de la misma, se efectúan acciones razonadas guiándose por los resultados obtenidos en actuaciones anteriores, o si no, por intuición, instinto o incluso al azar. Frente a situaciones conocidas, los Sistemas Inteligentes tienden a desarrollar una actuación que (por experiencia) consideran óptima (no necesariamente es la óptima). Esta tendencia se denomina hábito. Un mal hábito se da cuando el sistema persiste en un cierto actuar aun cuando éste ya no corresponde a la situación.

La arquitectura de sistema inteligente autónomo con aprendizaje basado en formación y ponderación de teorías puede ser descrita como un robot de exploración que percibe el entorno a través del sistema sensor, registra la situación, y arma una teoría local con la situación previa y la acción ejecutada [García-Martínez y Borrajo; 1997; 2000]. Si la teoría local es igual a alguna teoría registrada, ésta se refuerza. Si es similar,

se registra la teoría local, se pondera y se crean teorías mutantes. Si existe un plan en ejecución, se verifica que la situación obtenida sea la esperada; si no ocurre esto, se aborta el plan y el control es devuelto al planificador. Si no existe un plan en ejecución, el planificador genera uno, lo envía al ponderador y mediante un criterio heurístico, se determina si el plan es aceptable. En caso afirmativo, se pasa el control al controlador de planes en ejecución, cuya función es determinar la siguiente acción a ser ejecutada y establecer si las situaciones obtenidas son las situaciones esperadas.

La arquitectura de sistema inteligente autónomo con aprendizaje basado en intercambio de teorías percibe el entorno a través del sistema sensor. Antes de realizar cualquier acción se pregunta si es necesario intercambiar operadores con otro sistema inteligente autónomo [García-Martínez et al., 2006]. Este proceso se lleva a cabo mediante un módulo de intercambio de operadores. Luego, se registra la situación percibida del entorno, y arma una teoría local con la situación previa y la acción ejecutada. Una teoría es local, cuando todavía no tiene valores establecidos para su P, K y utilidad.

Si la teoría local es igual a alguna teoría registrada, ésta se refuerza, si no existe una teoría igual pero existen similares, éstas se ponderan y se generan teorías mutantes las cuales son registradas y ponderadas de la misma forma. Por último (luego del proceso de generar teoría mutantes o si no existen teorías similares) se incorpora la teoría local y se pasa el control al subsistema controlador.

Si existe un plan en ejecución, se verifica que la situación obtenida sea la esperada; si no ocurre esto, se aborta el plan y el control es devuelto al planificador. Si no existe un plan en ejecución, el planificador genera uno, lo envía al ponderador y mediante un criterio heurístico, se determina si el plan es aceptable. En caso afirmativo, el controlador de planes en ejecución determina la siguiente acción a ser ejecutada, la cual es pasada a la plataforma para que ésta la aplique en el entorno.

Los sistemas autónomos que funcionan bajo el modelo de ciclo de vida para el aprendizaje basado en compartición de conocimientos

[Ierache et al., 2008; 2009; 2010], distinguen los estados de evolución y niveles de actuación en el contexto de un ciclo de vida para el aprendizaje de Sistemas Autónomos de Robots (SAR). Sobre estas bases, resulta conveniente especificar mecanismos de aprendizaje por colaboración entre SARs, definiendo un ciclo de vida de aprendizaje que considere arquitecturas y modelos que caractericen al SAR y su actuación en el ambiente de operación, en particular SARs más evolucionados colaborando con SARs receptores menos evolucionados. Centrado en el mecanismo de aprendizaje especificado resulta conveniente estudiar experimentalmente la colaboración entre SARs, validando la tesis, que éstos tienen un mejor comportamiento utilizando colaboración que cuando no la usan.

### **OBJETIVOS E HIPOTESIS DE INVESTIGACION**

Este proyecto se inscribe en una línea de investigación que busca desarrollar y sistematizar el cuerpo de conocimiento de las arquitecturas de sistemas embebidos utilizables en robótica autónoma, con focalización en su transferencia a la Industria, particularmente al sector PyMEs. Entre los supuestos (o hipótesis) que guían el proyecto se encuentran:

*Hipótesis I:* Existen arquitecturas de sistemas informáticos que destacan en importancia en su utilización en robótica autónoma. Dentro de las mismas, las arquitecturas de sistemas embebidos poseen características específicas y diferenciales (entre otras: procesamiento concurrente, paralelo y distribuido, robustez, fiabilidad, bajo consumo y bajo costo) que las hacen sobresalir para ser empleadas en la administración y control de robots autónomos móviles.

*Hipótesis II:* Hay disponibilidad en el mercado (tanto local como internacional) de desarrollos de hardware de robótica que permiten construir prototipos de robots autónomos móviles.

La posibilidad de contar con una amplia gama de sensores, unidades de procesamiento programables, actuadores versátiles e interfaces de usuario que permiten la programación de los prototipos, así como el acceso y administración de sus recursos; allana los aspectos de

integración de hardware y controladores en la construcción de la mecánica del robot y permite focalizar el proyecto de investigación en los sistemas informáticos que los controlaran.

*Hipótesis III:* Uno de los vectores de modernización de las pymes es a través de la automatización de sus procesos. Automatización y robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia se puede entender a la robótica como una forma de automatización industrial.

Se puede decir que hay tres clases muy amplias de automatización industrial: [a] automatización fija, [b] automatización programable, y [c] automatización flexible. La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además del alto costo del diseño, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado. La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa informático (Software). La automatización flexible, por su parte, es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora. De los tres tipos de automatización, la robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

*Hipótesis IV:* La robótica educativa emerge como una promisoriosa rama en la que el alumno puede experimentar de manera concreta como la ejecución de un programa software desarrollado por él, se traduce en acciones de mecanismos robóticos que transforman una determinada realidad. De esta manera logra apropiarse de una nueva dimensión del software como uno de los componentes de los nuevos paradigmas de transformación de la materia

El objetivo general de este proyecto es el estudio de arquitecturas de sistemas embebidos para robótica autónoma, buscando: [a] caracterizar las arquitecturas de sistemas embebidos utilizables en robótica autónoma; [b] caracterizar las aplicaciones de dichas arquitecturas y su uso potencial en la región de influencia de la UNLa (Municipios y PyMEs); y [c] identificar las tecnologías de acceso libre o de bajo costo utilizables para implementar asociadas a sistemas embebidos utilizados en robótica autónoma que una PyME pueda implantar en sus procesos productivos, validando esta implantación a través de casos aceptados por la comunidad internacional.

Los objetivos específicos vinculados a la Hipótesis I:

1. Relevar las distintas arquitecturas de sistemas informáticos utilizadas en robótica autónoma, focalizando el estudio en las arquitecturas de sistemas embebidos, identificando características específicas y diferenciales, y determinando la aplicabilidad de las mismas en la administración y control de robots autónomos móviles.
2. Seleccionar las arquitecturas de sistemas embebidos, e implementar en éstas algoritmos de administración y control de robots autónomos.

Los objetivos específicos vinculados a la Hipótesis II:

3. Relevar los distintos desarrollos de hardware de robótica para construir prototipos de robots autónomos móviles disponibles en el mercado
4. Desarrollar prototipos de robots autónomos móviles para ser administrados y controlados por las arquitecturas de sistemas embebidos seleccionadas, y así poner a prueba a las mismas.

Los objetivos específicos vinculados a la Hipótesis III:

5. Desarrollar un Modelo de aplicación y uso potencial de arquitecturas de sistemas embebidos y de robótica autónoma en la región de influencia de la UNLa (Municipios y PyMEs)

Los objetivos específicos vinculados a la Hipótesis IV:

6. Desarrollar una metodología de trabajo con los alumnos de la carrera de Licenciatura en Sistemas, para que puedan experimentar y desarrollar capacidades en las áreas de arquitectura de computadoras, sistemas embebidos, robótica, automatización, comunicaciones, sistemas distribuidos, programación concurrente y procesamiento en tiempo real.

## **FUNDAMENTACION Y PERTINENCIA**

### *a) Planteamiento investigativo que se propone*

El presente proyecto se centra en el estudio de arquitecturas de sistemas embebidos para robótica autónoma, buscando: [a] caracterizar las arquitecturas de sistemas embebidos utilizables en robótica autónoma; [b] caracterizar las aplicaciones de dichas arquitecturas y algunos usos potenciales en la región de influencia de la UNLa (Municipios y PyMEs); y [c] identificar las tecnologías de acceso libre o de bajo costo asociadas a sistemas embebidos utilizados en robótica autónoma que una PyME pueda implantar en sus procesos productivos, validando esta implantación a través de casos aceptados por la comunidad internacional.

### *b) Relevancia asignada al estudio por su interés científico, social y educativo*

La necesidad de desarrollar avances en el campo metodológico surge del relevamiento efectuado, en el que se identifica la carencia de modelos y técnicas sistemáticas asociadas. En este contexto, el proyecto promueve el desarrollo y la validación de métodos, técnicas y herramientas, conllevando a una mejora en el campo de la arquitectura de sistemas embebidos utilizables en robótica autónoma. Los métodos con abordaje ingenieril permiten dotar al proceso de desarrollo de: objetividad, sistematicidad, racionalidad, generalidad y

fiabilidad, contribuyendo al avance del conocimiento científico mediante el uso de técnicas consistentes.

El sesgo previsto del proyecto para el sector PyMEs habilita que los resultados puedan ser transferidos a la industria con radicación en la zona de influencia de la UNLa, ya que busca identificar las tecnologías de acceso libre o de bajo costo asociadas a sistemas embebidos utilizados en robótica autónoma que una PyME pueda implantar en sus procesos productivos.

Se ha previsto la materia optativa "Diseño de Sistemas Embebidos" en la carrera de Licenciatura en Sistemas a partir del 2011. También se ofrecerán temas de Trabajos Finales de Licenciatura (a partir del 2012) en el área del proyecto donde los alumnos consolidarán de forma práctica los conocimientos básicos aprendidos en la carrera y desarrollarán un enfoque funcional y sistémico para la solución de problema. Se estima que los resultados parciales y finales tendrán de este proyecto tendrán impacto sobre la actualización de los contenidos de las asignaturas la carrera.

### **METODOLOGIA DE TRABAJO**

Para los Objetivos Específicos 1 y 3 se propone realizar una investigación documental exploratoria vinculada a los conceptos de interés, analizando, asimismo, las alternativas disponibles en la industria.

Para los Objetivos Específicos 2 y 4 se propone realizar pruebas de campo en las arquitecturas y prototipos seleccionadas.

Para el Objetivo Específico 5 se propone desarrollar mediante la metodología de prototipado evolutivo un modelo de de aplicación y uso potencial en la región de influencia de la UNLa (Municipios y PyMEs). El proceso se realizará de manera evolutiva y requerirá:

[a] Identificación de casos de estudio potencial en la región de influencia de la UNLa, [b] el desarrollo de prototipo inicial del modelo de aplicación. Identificación de información de prueba para la validación del modelo, [c] la validación del modelo desarrollado basados en las evaluaciones aplicadas a los casos de estudio identificados. Desarrollo de prototipos

evolutivos, [d] Desarrollo del modelo definitivo. El modelo de ciclo de vida de los artefactos desarrollados será Cascada Extendido. El proceso de desarrollo de software se realizara bajo los lineamientos de la norma IEEE 1074-1989.

### **FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS**

El grupo de trabajo se encuentra formado por cuatro investigadores formados, por dos investigadores en formación y un estudiante avanzado. En el marco de este proyecto se están desarrollando: una tesis de maestría y se prevén tres Trabajos Finales de Licenciatura. Se ha previsto la incorporación de dos becarios alumnos con beca de Universidad.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Fritz, W. (1984). "The Intelligent System." SIGART Newsletter, 90: 34-38. ISSN 0163-5719.
- Fritz, W. (1992). "World view and learning systems". Robotics and Autonomous Systems 10(1): 1-7. ISSN 0921-8890.
- Fritz, W., García Martínez, R., Rama, A., Blanqué, J., Adobatti, R. y Sarno, M.(1989). "The Autonomous Intelligent System". Robotics and Autonomous Systems, 5(2):109-125. ISSN 0921-8890.
- García Martínez, R. y Borrajo, D. (1997). "Planning, Learning and Executing in Autonomous Systems". Lecture Notes in Artificial Intelligence 1348: 208-210. ISBN 978-3-540-63912-1.
- García Martínez, R. y Borrajo, D. (2000). "An Integrated Approach of Learning, Planning and Executing". Journal of Intelligent and Robotic Systems 29(1): 47-78. ISSN 0921-0296.
- García-Martínez, R., Borrajo, D., Britos, P. y Maceri, P. (2006). "Learning by Knowledge Sharing in Autonomous Intelligent Systems". Lecture Notes in Artificial Intelligence, 4140: 128-137. ISBN 978-3-540-45462-5.
- Ierache, J., García-Martínez, R., De Giusti, A. (2008). Learning Life-Cycle in Autonomous Intelligent Systems. En Artificial Intelligence in Theory and Practice II, ed. M. Bramer, (Boston: Springer), pp 451- 455, ISSN 1571-5736.
- Ierache, J., Garcia-Martinez, R., De Giusti, A. (2009). A Proposal of Autonomous Robotic Systems Educative Environment. Communications in Computer and Information Science 44: 224-231. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISSN 1865-0929 / ISBN: 978-3-642-03985-0.
- Ierache, J., García-Martínez, R., De Giusti, A. (2010). Learning by Collaboration in Intelligent Autonomous Systems. En Artificial Intelligence in Theory and Practice III (Ed. Max Bramer). IFIP Advances in Information and Communication Technology, 321: 143-152. ISBN 978-3-642-15286-3