

# Robótica y Redes de Sensores en Sistemas de Tiempo Real

Fernando Romero, Mariano Mendez, Diego Encinas, Armando De Giusti<sup>1</sup>,  
Santiago Medina, Martín Pi Puig, Horacio Villagarcía, Juan Manuel Paniego,  
Fernando G. Tinetti<sup>2</sup>

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)<sup>3</sup>  
Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata

<sup>1</sup> CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>2</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

<sup>3</sup> Centro Asociado de la CIC

{fromero, mmendez, dencinas, degiusti, smedina, mpipuig, hvw, jmpaniego, fernando}@lidi.info.unlp.edu.ar

## Resumen

El objetivo de esta línea de investigación es el estudio y desarrollo de Sistemas de Tiempo Real (STR), en particular los que incumben a robots del tipo móvil y redes de sensores. Se llevan a cabo experimentos con microrrobots y con sistemas de microcontroladores. A fin de corroborar hipótesis se implementa en escenarios de sistemas reales y simulados.

## Contexto

Esta línea de Investigación forma parte del proyecto "Computación de Alto Desempeño: Arquitecturas, Algoritmos, Métricas de rendimiento y Aplicaciones en HPC, Big Data, Robótica, Señales y Tiempo Real" del Instituto de Investigación en Informática LIDI acreditado por la UNLP.

**Palabras Claves:** Tiempo Real, Simulación, Sistemas Embebidos, Comunicaciones, redes de Sensores, Robots, Microcontroladores.

## 1. Introducción

Los Sistemas de Tiempo Real (STR) tienen como característica principal que no solo elaboran una respuesta correcta ante una entrada determinada, sino que la misma debe ocurrir dentro de un plazo [5] [6] [11] [12] [16] [17], Ello es debido a que deben respetar los tiempos del sistema en el cual funcionan. Interaccionan con un entorno físico a partir de tomar datos del mismo a través de sensores y elaborar respuestas, que muchas veces llega al mismo entorno a través de actuadores. Es frecuente que estos STR realicen tareas emulando trabajo humano, lo que se conoce como robótica. Un tipo de robot de gran desarrollo son los móviles, que presentan capacidad de desplazamiento, basados en una plataforma con un sistema locomotor. Para elaborar su recorrido se utilizan diferentes tipos de sensores, entre ellos codificadores que miden el desplazamiento, y diferentes sistemas de radio que ayudan a calcular su posición. De ellos el más conocido es el GPS (Geo Posicionamiento Satelital). La señal de los satélites no es capaz de llegar con la intensidad necesaria a los espacios interiores. Además, si llegara, habría que

incluir mapas de edificios entendibles por un dispositivo móvil. Debido a ello, GPS debe complementarse con IPS (sistema de posicionamiento en interiores, en inglés indoor positioning system). Dentro de estos sistemas IPS tenemos los llamados fingerprinting, basados en WiFi o cualquier tipo de señal que pueda ser captado por el móvil: WiFi, campo magnético, GPS. Las señales se utilizan para obtener una referencia sobre un mapa, de manera similar a un GPS. Este mapa incluye un conjunto de puntos de posición, asociados a la lista de señales, por ejemplo redes WiFi, captadas por el móvil, con la intensidad de cada una. Para el posicionamiento, se compara el valor que mide el móvil a posicionar con el mapa de referencia.

Dentro de los robots móviles encontramos dos tipos: los que elaboran la respuesta en forma puramente computacional, y los que emplean intervención humana [21].

Dos características a estudiar en estos sistemas móviles son el consumo y la latencia en la elaboración de las respuestas frente a señales externas.

Se experimenta sobre diferentes SOTR y sobre simulaciones de los mismos. Además, se disponen de diversas plataformas de hardware y software para la construcción de sistemas de diferente grado de complejidad. Estos pueden estar basados en microcontroladores [9] que soporten o no un SOTR. Entre las placas de desarrollo utilizadas se encuentran Arduino, Raspberry PI, NodeMcu [27] y CIAA [19], entre otras.

Una característica fundamental de los SOTR es tener un alto grado de fiabilidad, por lo que el estudio de la detección y control de condiciones de falla es un aspecto de gran importancia [2] [14].

En las diferentes implementaciones que se llevan a cabo en esta investigación, se trabaja con mini-robots armados por alumnos y Khepera [18], sobre diferentes SOTR (Linux RT-Preempt, FreeRTOS, MQX, OSEK-OS, etc.) [8].

Se estudian redes de sensores basados en los protocolos cableados RS485, SPI, I2C, CANBUS [20] y MODBUS [1] e inalámbricos [28] [29] [30].

Se puede disminuir la complejidad y la probabilidad de errores en el diseño de sistemas, desarrollando una simulación específica a través de la utilización de diferentes frameworks [24]. En particular, con CANBUS se han realizado algunas implementaciones reales y simulaciones con la herramienta Proteus [25].

## 2. Líneas de Investigación y Desarrollo

Se plantean como temas de estudio:

- Sistemas robóticos con intervención humana [4] en el lazo de control a través de acciones e interfaces no convencionales. Son componentes de estos sistemas: el modelo de reconocimiento de comandos gestuales [22] [23], las interfaces, el modelo de observación, los modelos dinámicos y de realimentación de la máquina, el modelo de planificación y, eventualmente, los modelos de realimentación para el operador humano y el modelo de actuación humana (para interpretar acciones y distracciones).
- Verificación y validación del hardware por medio de simulaciones que permitan predecir posibles comportamientos y en consecuencia generar mayor eficiencia de diseño [7] [8].
- Implementación y simulación de redes cableadas de sensores interactuando con un computador. Se utiliza MODBUS, RS485 o CANBUS como

- protocolo de comunicaciones, tanto a nivel físico como de simulación [1] [15].
- Construcción de redes inalámbricas específicamente orientadas a sensores. En principio, se implementarán experimentos para caracterizar estas redes en términos de métricas como latencia y ancho de banda para el caso de rendimiento, distancia (alcance), confiabilidad (pérdida de paquetes), etc.
  - Evaluación de redes específicamente diseñadas para distancias mayores a los estándares de WiFi (ej: LoRa) [26]
  - Odometría a través de robots Khepera [13] [3] y otros de producción propia.
  - IPS a partir de fingerprinting WiFi. Se enfoca principalmente en obtener vehículos autónomos [10] que puedan circular en un entorno de autopistas inteligentes y con capacidad de estacionamiento.

### 3. Resultados y Objetivos

Se han desarrollado tareas sobre los temas antes expuestos tales como:

- Experimentos en Odometría.
- Medición de consumo de diferentes microcontroladores en distintas condiciones de uso y diferentes SOTR.
- Estudio de plataformas de hardware: Arduino, Intel Galileo, CIAA, Freescale Kinetis, Raspberry Pi.
- Construcción y estudio de redes de sensores cableadas, empleando CANBUS, MODBUS y RS485.
- Construcción y estudio de redes de sensores inalámbricas.

### 4. Formación de Recursos Humanos

En base a estos temas se desarrollan trabajos de varios alumnos en el marco de

la Convocatoria a Proyectos de Desarrollo e Innovación de la Facultad de Informática de la UNLP. Además, se encuentran en desarrollo y concluidas varias tesinas de grado de alumnos de la Licenciaturas de Informática y Sistemas, como así también Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS) con las que concluyen sus estudios los alumnos de Ingeniería en Computación. En cuanto a postgrado, se encuentra en desarrollo un trabajo final de especialización y una tesis de Magister.

### 5. Referencias

- [1] Jordi Bartolomé "El protocolo MODBUS", 2011. En <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>
- [2] Andersen, B. L. "Method of detecting systemic fault conditions in an intelligent electronic device." U.S. Patent 6,434,715, issued August 13, 2002.
- [3] Azizi, F., N. Houshangi. "Mobile robot position determination using data from gyro and odometry." In Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on, vol. 2, pp. 719-722. IEEE, 2004.
- [4] Bekey, George A. Robotics: state of the art and future challenges. Imperial College Press, 2008.
- [5] Burns, A, A, Wellings. "Real-Time Systems and Programming Languages: Ada, Real-Time Java and C/Real-Time POSIX", Addison-Wesley Educational Publishers Inc., 2009.
- [6] Buttazzo, G. C., "Hard RealTime Computing Systems", Third edition, Springer, 2011.
- [7] Eickhoff, J., Simulating Spacecraft Systems, Springer, 2009.
- [8] "FreeRTOS - market leading RTOS (real time operating system) for embedded systems supporting 34 microcontroller architectures". <http://www.freertos.org/>.

- [9] Jenkins, T., I. Bogost. "Designing for the internet of things: prototyping material interactions." In CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 731-740. ACM, 2014.
- [10] Jones, J. L., A. M. Flynn, Bruce A. Seiger. Mobile robots: inspiration to implementation. Vol. 2. Wellesley MA: AK peters, 1999.
- [11] Kopetz. H., "Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications". Second Edition. Springer. 2011.
- [12] Liu, J. W. S. Liu, "Real Time Systems", Integre Technical Publishing Co., Inc., 2000
- [13] Rekleitis, I. M., G. Dudek, E. E. Milios. "Multi-robot exploration of an unknown environment, efficiently reducing the odometry error." In International Joint Conference on Artificial Intelligence, vol. 15, pp. 1340-1345. Lawrence Erlbaum Associates Ltd, 1997.
- [14] Rohani, A., H. R. Zarandi. "An analysis of fault effects and propagations in AVR microcontroller ATmega103 (L)." In Availability, Reliability and Security, 2009. ARES'09. International Conference on, pp. 166-172. IEEE, 2009.
- [15] Introduction to the Controller Area Network (CAN) Texas Instrument Application Report SLOA101A–August 2002–Revised July 2008.
- [16] Silberschatz, A., P. B. Galvin, G. Gagne, Operating System Concepts, 8th Edition, ISBN : 978-0-470-12872-5, Wiley, 2009.
- [17] PHILLIP A. LAPLANTE, SEPPO J. OVASKA. REAL-TIME SYSTEMS DESIGN AND ANALYSIS Tools for the Practitioner Fourth Edition. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. IEEE PRESS. 2012.
- [18] <http://ftp.k-team.com/khepera/documentation/Kh2IRAN.pdf>
- [19] <http://www.proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=desarrollo:edu-ciaa:edu-ciaa-nxp>
- [20] <http://www.can-cia.de/can-knowledge/can/can-fd/>
- [21] Chi-Pang Lam and Shankar Sastry, A POMDP Framework for Human-in-the-Loop System, University of California at Berkeley.
- [22] Mitra S., Acharya T." Gesture recognition: A survey". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol 37(3). pp 311–324. 2007.
- [23] Murthy G. R. S., Jadon R. S. "A Review of Vision Based Hand Gestures Recognition". International Journal of Information Technology and Knowledge Management. Vol.2-2. pp 405-410. 2009.
- [24] D. Black, SystemC: From the Ground Up. Second Edition, Springer, 2010.
- [25] Proteus. <https://www.labcenter.com>. 2017
- [26] LoRa <https://www.lora-alliance.org/> 2017
- [27] NodeMcu <http://www.nodemcu.com/> 2017
- [28] Akyildiz, Ian F., and Mehmet Can Vuran. "Wireless sensor networks" Vol. 4. John Wiley & Sons, 2010.
- [29] Lewis, Franck L."Wireless sensor networks." Smart environments: technologies, protocols, and applications 11 (2004): 46.
- [30] Raghavendra, Cauligi S., Krishna M. Sivalingam, and Taieb Znati, eds. "Wireless sensor networks" Springer, 2006.