

# Redes de Sensores, Vehículos móviles y Simulación en Sistemas de Tiempo Real

Fernando Romero<sup>1</sup>, Diego Encinas<sup>1</sup>, Armando De Giusti<sup>1,2</sup>, Santiago Medina<sup>1</sup>, Martín Pi Puig<sup>1</sup>, Horacio Villagarcía<sup>1,3</sup>, Juan Manuel Paniego<sup>1</sup>, Fernando G. Tinetti<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)<sup>3</sup>  
Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata – Centro Asociado CIC

<sup>2</sup> CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

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

## Resumen

El objetivo de esta línea de investigación es el estudio, desarrollo y aplicación de Sistemas de Tiempo Real (STR), en particular los que incumben a robots y redes de sensores, tanto inalámbricas como cableadas. Se llevan a cabo experimentos con diferentes tipos de robots y con plataformas basadas en microcontroladores, diseñados y armados en el laboratorio de Tiempo Real. Una parte importante de los trabajos se enfoca en las comparaciones de escenarios reales y simulados.

## Contexto

Esta línea de Investigación forma parte del proyecto 11/F024-Computación de Alto Desempeño: Arquitecturas, Algoritmos, Métricas de rendimiento y Aplicaciones en HPC, Big Data, Robótica, Señales y Tiempo Real SubProyecto CAD-3. Procesamiento para problemas de Tiempo Real / Robótica del Instituto de Investigación en Informática LIDI acreditado por la UNLP.

**Palabras Claves:** Tiempo Real, Simulación, Sistemas Embebidos, Comunicaciones, Redes de Sensores,

Robots, drones, Microcontroladores, Cloud Computing.

## 1. Introducción

Es una característica primordial de los Sistemas de Tiempo Real (STR) la existencia de plazos de tiempo para llevar a cabo sus acciones [5] [6] [11] [12] [16] [17]. Es debido a que siempre interactúan con el mundo físico y sus acciones deben ocurrir dentro de los límites temporales fijados por el medio al cual controlan. Para ejercer dicho control se utilizan sensores para la adquisición de datos y actuadores para las respuestas. Estos sensores pueden adquirir configuraciones complejas en red cuando la cantidad de variables a controlar sea grande y sobre todo estén situadas en forma remota. A menudo se recurre en estos sistemas a la utilización de robots móviles, terrestres y aéreos, que se combinan con los sensores y actuadores. Los sensores cumplen una doble funcionalidad: a) los que están sobre el móvil adquirir datos en el área que recorren, y b) proveer información sobre la posición de los móviles. Para este propósito se recurre a sistemas GPS en exteriores y técnicas de posicionamiento en interiores (*indoor*) utilizando para ello diferentes tipos de sensores de tecnología

de ultrasonido, infrarrojo como también los sistemas de comunicaciones wifi y bluetooth. Se utilizan robots móviles y drones [22] [23] armados por alumnos y los autores del trabajo, como también robots Khepera [18], y drones Parrot. En el desarrollo de robots propios y redes de sensores se utilizan placas de desarrollo basadas en microcontroladores (como, Arduino, NodeMCU, CIAA [19] [27]) y Computadoras de Placa Simple (como, Raspberry Pi), utilizando diferentes SOTR (Linux RT-Preempt, Free RTOS, MQX, OSEK-OS, etc.) [8]. Se ha experimentado con redes de redes de sensores basadas en los protocolos cableados RS485, SPI, I2C, CANBUS [15] [20] y MODBUS [1]. También se realizan pruebas de alcance, integridad y funcionalidad de redes de sensores e inalámbricas [28] [29] [30] principalmente utilizando módulos WiFi y LoRa [26]. Por otra parte, se trabaja en el campo del modelado y simulación con el fin de obtener simuladores que permitan predecir el comportamiento y la eficiencia de distintos sistemas ante diferentes escenarios. En particular, los sistemas analizados son los: redes de sensores [31], arquitecturas de cómputo en la nube y evacuación de edificios. Las herramientas utilizadas para los desarrollos son: Proteus [25], CloudSim [2], ABMS [14] y SystemC [24].

## 2. Líneas de Investigación y Desarrollo

Se plantean como temas de estudio:

- Sistemas robóticos autónomos y con intervención humana [4] en el lazo de control [21]. En particular en lo relativo a seguir trayectorias predefinidas, evitando colisiones. Es de gran importancia saber la ubicación del móvil a fin de asociar los datos relevados con la posición en el entorno.

- Análisis y desarrollo de modelos de sistemas de tiempo real.
- Herramientas para implementación de modelado y simuladores.
- Utilización de simulaciones para comprobación de defectos de diseño en etapas tempranas de desarrollo [7].
- Armado de redes inalámbricas específicamente orientadas al control de variables físicas con 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, confiabilidad (pérdida de paquetes), etc. [26] [9].
- 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.
- Sistemas de posicionamiento en interiores utilizando técnicas que involucran señales WiFi, bluetooth y ultrasonido. Se enfoca principalmente en obtener vehículos autónomos [10] que puedan circular tanto en depósitos utilizados para tareas de logística, como 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:

- Desarrollo de un robot con codificadores (*encoders*) para odometría.
- Medición de consumo energético de diferentes microcontroladores en distintas condiciones de uso y corriendo diferentes SOTR.
- Estudio de plataformas de hardware: Arduino, Intel Galileo, CIAA, Freescale Kinetis, Raspberry Pi, NodeMCU.
- Construcción y estudio de redes de sensores cableadas, empleando CANBUS, MODBUS y RS485.

- Construcción y estudio de redes de sensores inalámbricas basadas en WiFi y LoRa.
- Desarrollo de interfaces para el control de drones.
- Modelado y simulación de arquitecturas de cómputo en la nube para comparar con arquitecturas de HPC.
- Modelado y simulación de sistemas orientado a aplicaciones sociales.

#### 4. Formación de Recursos Humanos

Se desarrollan trabajos de alumnos en la Convocatoria a Proyectos de Desarrollo e Innovación de la Facultad de Informática de la UNLP. Además, se encuentran en desarrollo y concluidas tesinas de grado de alumnos de Licenciaturas de Informática y Sistemas, como así también Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS) con las que concluyen sus estudios los alumnos de Ingeniería en Computación y Analista en TICs. De postgrado, investigadores del grupo están desarrollando un trabajo final de especialización, tres tesis de Maestría y una tesis de Doctorado.

#### 5. Referencias

[1] Jordi Bartolomé "El protocolo MODBUS", 2011. En <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>

[2] R. Calheiros, R. Ranjan, A. Beloglazov, C. De Rose and R. Buyya "CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms" Published online 24 August 2010 in Wiley Online Library ([wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)). DOI: 10.1002/spe.995.

[3] Azizi, F., N. Houshangi. "Mobile robot position determination using data from gyro and odometry.", Canadian Conf. On Electrical and Computer Engineering, 2004, 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] C. Macal, M. North, Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: how to model with agents, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2006.

[15] Introduction to the Controller Area Network (CAN) Texas Instrument Appli-

cation 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, SEPO 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 and Shankar S, A POMDP Framework for Human in the Loop System, Univ. of California at Berkeley.

[22] F. G. Tinetti and O. C. Valderrama Riveros, "Unmanned Vehicles: Towards Heterogeneous Hardware Approaches," 2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), Las Vegas, NV, USA, 2018, pp. 919-924.

[23] Fernando G. Tinetti, Oscar C. Valderrama Riveros, Fernando L. Romero, "Unmanned Vehicles: Real Time Problems in Drone Receivers", Conf. on Computational Science & Computational Intelligence (CSCI'19), Las Vegas, Nevada, USA, 2019, pp. 1081-1085.

[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.

[31] M. Pi Puig; S. Medina; A. Batista; D. Encinas; F. Romero; F. Tinetti; A. De Giusti. Design of a CAN Simulation Device for Communications in Sensor Networks. Computer Science & Technology Series - XXII Argentine Congress of Computer Science. Selected Papers. 2017.

ORCID autores:

Fernando Romero: 0000-0002-1498-3752

Diego Encinas: 0000-0002-6948-9786

A. De Giusti: 0000-0002-6459-3592

Santiago Medina: 0000-0001-6852-7165

Martín Pi Puig: 0000-0002-7202-7638

Horacio Villagarcía:

Juan Manuel Paniego: 0000-0001-6721-9822