

# Alternativas Eficientes para Procesamiento y Comunicaciones en Sistemas de Tiempo Real

Fernando Romero, Mariano Mendez, Diego Encinas,  
Armando De Giusti<sup>1</sup>, Fernando G. Tinetti, Santiago Medina, Martín Pi Puig, Juan  
Manuel Paniego, Matías Dell'Oso.

Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI)  
Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata

Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

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

{fromero, mmendez, dencinas, degiusti, fernando, smedina, mpipuig, jmpaniego,  
mdelloso}@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, la planificación de tareas y la comunicación en Sistemas Distribuidos de Tiempo Real (SDTR), experimentando con microcontroladores y simulaciones para la adquisición y control de las variables del sistema.

## Contexto

Esta línea de Investigación forma parte del proyecto "Arquitecturas multiprocesador en HPC: software de base, métricas y aplicaciones" (11/F018) del Instituto de Investigación en Informática LIDI

## 1. Introducción

Los Sistemas de Tiempo Real (STR) interaccionan con su entorno físico y deben satisfacer restricciones de tiempo de respuesta [14] [7] [15] [8] [23], dependiendo del medio físico en el que está inmerso el sistema. El cumplimiento de dichos plazos pasa a tener radical importancia, considerándose un fallo su incumplimiento. La interacción con el sistema físico en el que están embebidos se lleva a cabo a través de sensores y detectores que proporcionan información sobre los valores actuales de las variables del sistema, permitiendo la elaboración de respuestas transmitidas a través de actuadores. Dentro de estos sistemas es

- 1) Los que elaboran la respuesta en forma puramente computacional, empleando algoritmos más o menos sofisticados, que pueden ir

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

<sup>1</sup> Investigador CONICET

de un simple cálculo hasta el empleo de complejas técnicas de inteligencia artificial.

- 2) Los que elaboran la respuesta a través de la intervención humana [34].

Dentro de los SDTR existen nodos (móviles y fijos) alimentados a batería, por lo cual supervisar el consumo es sumamente necesario. Esto requiere el uso de placas de bajo consumo energético, tales como los microcontroladores que, a pesar de tener una baja capacidad de cómputo, se ajustan a los requerimientos de la mayoría de los STR.

Otra característica a estudiar, es la latencia en la elaboración de las respuestas frente a señales externas, por lo general a través de interrupciones de hardware. Para ello se debe optimizar el software que interviene en el proceso. Generalmente, dichas latencias provienen de la utilización de SOTR (Sistemas Operativos de Tiempo Real), principalmente debido a la intervención del planificador de tareas.

Se experimenta sobre diferentes SOTR y sobre simulaciones de los mismos [20]. 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 que soporten o no un SOTR. Entre las placas de desarrollo utilizadas se encuentran Arduino, Raspberry PI y CIAA [27], 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] [17].

Luego, con respecto a los microrobots, se utilizan algunos de diseño y fabricación propia como también los sofisticados robots Khepera [24] [25] [26].

Estos sistemas permiten abordar el estudio del paradigma llamado “Internet of Things (IoT)” [22] [21] [3].

En las diferentes implementaciones que se llevan a cabo en esta línea de investigación, se trabaja de manera experimental con mini-robots y sobre diferentes SOTR (Linux RT-Preempt, FreeRTOS, MQX, OSEK-OS, etc.) [20] [10].

Se estudian sistemas de comunicación basados en los protocolos RS485, SPI, I2C, CANBUS [29] [30] [31] [32] [33] y MODBUS [28]. Los sistemas basados en microcontroladores [11] pueden conectarse de manera cableada o bien de forma inalámbrica (Radio Frecuencia, Bluetooth, WiFi).

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 [37]. En particular, con CANBUS se generan diferentes modelos de comportamiento y se realizan implementaciones con la herramienta de simulación Proteus [38].

## **2. Líneas de Investigación y Desarrollo**

Se plantean como temas de estudio:

- Estudiar los sistemas robóticos con intervención humana [5] [14] 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 [35] [36], 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 [9] [10].
- Construcción de redes de sensores sobre una determinada plataforma de microcontroladores, interactuando con un computador. Se utiliza MODBUS, RS485 o CANBUS como protocolo de comunicaciones, tanto a nivel físico como de simulación [1] [18].
- Odometría con navegadores, a través de robots Khepera [6] [16] [4] y otros de producción propia. Se enfoca principalmente en obtener vehículos autónomos [12] que puedan circular en un entorno de autopistas inteligentes y con capacidad de estacionamiento.

### 3. Resultados y Objetivos

De acuerdo con las tareas desarrolladas y a desarrollar, los resultados se enmarcarán en varias direcciones, todas relacionadas con los sistemas de tiempo real:

- Construcción y uso de robots tipo vehículo autónomo para el estudio de Odometría.
- Medición de consumo de diferentes tipos de microcontroladores bajo distintas condiciones de uso.
- Estudio de distintas plataformas de hardware: Arduino, Intel Galileo, CIAA, Freescale Kinetis, Raspberry Pi, entre otras.
- Construcción y estudio de dos redes de sensores, empleando Radio Frecuencia, CANBUS, MODBUS y RS485.
- Construcción de modelos de simulación de protocolos de comunicaciones en sistemas de tiempo real. Realización de pruebas de concepto utilizando herramientas de simulación.

### 4. Formación de Recursos Humanos

En base a estos temas se están desarrollando trabajos de varios alumnos encuadrados 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 se han concluido 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.

### 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] Atzori, L., A. Iera, G. Morabito. "The internet of things: A survey." *Computer networks* 54, no. 15 (2010): 2787-2805.
- [4] 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.

- [5] Bekey, George A. Robotics: state of the art and future challenges. Imperial College Press, 2008.
- [6] Borenstein, Johann, Liqiang Feng, "Gyrodometry: A new method for combining data from gyros and odometry in mobile robots." In Robotics and Automation, 1996. Proceedings., 1996 IEEE International Conference on, vol. 1, pp. 423-428. IEEE, 1996.
- [7] 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.
- [8] Buttazzo, G. C., "Hard RealTime Computing Systems", Third edition, Springer, 2011.
- [9] Eickhoff, J., Simulating Spacecraft Systems, Springer, 2009.
- [10] "FreeRTOS - market leading RTOS (real time operating system) for embedded systems supporting 34 microcontroller architectures". [http:// www.freertos.org/](http://www.freertos.org/).
- [11] 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.
- [12] Jones, J. L., A. M. Flynn, Bruce A. Seiger. Mobile robots: inspiration to implementation. Vol. 2. Wellesley MA: AK peters, 1999.
- [13] Kopetz. H., "Real-Time Systems, Design Principles for Distributed Embedded Applications". Second Edition. Springer. 2011.
- [14] Krishna, C. Mani. Real-Time Systems. John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- [15] Liu, J. W. S. Liu, "Real Time Systems", Integre Technical Publishing Co., Inc., 2000
- [16] Rekleitis, I. M., G. Dudek, E. E. Miliotis. "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.
- [17] 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.
- [18] Introduction to the Controller Area Network (CAN) Texas Instrument Application Report SLOA101A–August 2002–Revised July 2008.
- [19] Silberschatz, A., P. B. Galvin, G. Gagne, Operating System Concepts, 8th Edition, ISBN : 978-0-470-12872-5, Wiley, 2009.
- [20] The Cheddar project: A free real time scheduling analyzer, <http://beru.univbrest.fr/~singhoff/cheddar/>
- [21] Weber, Rolf H., and Romana Weber. Internet of Things. New York: Springer, 2010.
- [22] Xia, Feng, L. T. Yang, L. Wang, and Alexey Vinel. "Internet of things." International Journal of Communication Systems 25, no. 9 (2012): 1101.
- [23] 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.
- [24] <http://ftp.k-team.com/khepera/documentation/Kh2UserManual.pdf>

- [25] <http://ftp.k-team.com/khepera/documentation/Kh2ProgrammingManual.pdf>
- [26] <http://ftp.k-team.com/khepera/documentation/Kh2IRAN.pdf>
- [27] <http://www.proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=desarrollo:edu-ciaa:edu-ciaa-nxp>
- [28] <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>
- [29] [http://www.bosch-semiconductors.de/en/ubk\\_semiconductors/ip\\_modules\\_3/produkttable\\_ip\\_modules/can\\_literature\\_1/can\\_literature.html](http://www.bosch-semiconductors.de/en/ubk_semiconductors/ip_modules_3/produkttable_ip_modules/can_literature_1/can_literature.html)
- [30] <http://www.can-cia.de/can-knowledge/can/can-fd/>
- [31] [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=59165](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=59165)
- [32] [http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app\\_note/AN1798.pdf](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app_note/AN1798.pdf)
- [33] [http://www.can-cia.org/W\\_Scanner\\_Auto\\_OBD2\\_OBD1\\_2x2\\_E\\_OBD\\_20\\_PIN.html](http://www.can-cia.org/W_Scanner_Auto_OBD2_OBD1_2x2_E_OBD_20_PIN.html)
- [34] Chi-Pang Lam and Shankar Sastry, A POMDP Framework for Human-in-the-Loop System, University of California at Berkeley.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] D. Black, SystemC: From the Ground Up. Second Edition, Springer, 2010.
- [38] Proteus. <https://www.labcenter.com>. 2017