

## SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES

Héctor Hugo Mazzeo [hmgvm@yahoo.com](mailto:hmgvm@yahoo.com); José A. Rapallini [josrap@gmail.com](mailto:josrap@gmail.com);  
Omar E. Rodríguez [rodriguezomarlp@gmail.com](mailto:rodriguezomarlp@gmail.com); Marcelo Zabaljauregui [mzabaljauregui@gmail.com](mailto:mzabaljauregui@gmail.com);  
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata  
La Plata, Buenos Aires, Argentina

### RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el estudio de los protocolos de comunicación de las redes de sensores inalámbricos y sus aplicaciones en diversos ámbitos. Si bien en general estas redes utilizan Zigbee como protocolo de comunicación inalámbrico y módulos Xbee como nodos de red, buscamos investigar otras opciones más económicas para su implementación. La idea es utilizar la experiencia adquirida en el manejo de la plataforma Arduino con sus shields o módulos inalámbricos para implementar la comunicación a través de la red. A pesar de tener algunas limitaciones con respecto a la tecnología Zigbee, éstas pueden ser soslayadas en algunas aplicaciones prácticas donde el consumo de energía no sea un factor crítico o la cantidad de sensores sea baja. También habrá que tener en cuenta las distancias entre nodos, ya que uno de los fuertes de Zigbee es el alcance.

**Palabras clave:** sensores inalámbricos, nodos, motes, red WiFi, gateway.

### CONTEXTO

El proyecto está enmarcado dentro del PID SIUTNLP0005017, elaborado y en ejecución por parte del grupo de Codiseño hardware/software para Aplicaciones de Tiempo Real (CODAPLI), cuyo laboratorio pertenece al Departamento de Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, institución que financia íntegramente el proyecto, facilitando asimismo las instalaciones y equipamiento para su realización. Las tareas principales se orientan a la investigación y desarrollo de proyectos relacionados con los sistemas de tiempo real:

sistemas centralizados y distribuidos basados en computadoras personales, control y adquisición de datos, sistemas embebidos basados en placas con microcontrolador, autómatas programables, robótica, etc.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN) son redes inalámbricas formadas por dispositivos autónomos distribuidos espacialmente que utilizan sensores para monitorear condiciones físicas o ambientales. Un sistema WSN incorpora un gateway que provee conectividad inalámbrica con los nodos distribuidos haciendo de interfaz con una estación base recolectora de datos, normalmente conectada a una red TCP/IP (Fig. 1). El protocolo inalámbrico seleccionado depende de los requerimientos de la aplicación. Algunos de los estándares disponibles incluyen radios de 2.4 GHz basados en los estándares IEEE 802.15.4 o IEEE 802.11 (Wi-Fi) o radios propietarios, los cuales son regularmente de 900 Mhz [1].

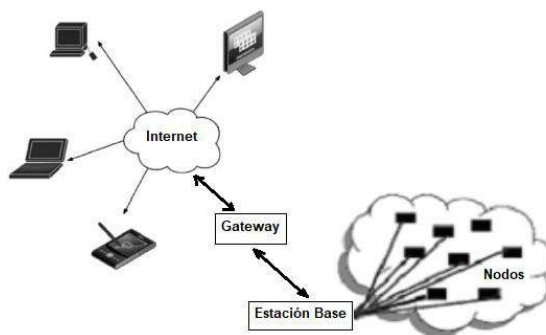


Fig. 1. Esquema básico de una WSN

El desarrollo de WSNs fue inspirado por aplicaciones militares, especialmente en la

vigilancia de las zonas de conflicto. Se componen de pequeños nodos de sensores equipados con interfaces de radio y están distribuidas sobre una región geográfica. La tarea de cada sensor es realizar mediciones y enviar datos a un nodo coordinador. El avance en la tecnología ha impulsado la implementación de redes de sensores compuestas por nodos de bajo costo (llamados comúnmente "motes"), los cuales están formados por el sensor propiamente dicho, la interfase para realizar las comunicaciones y, generalmente, un microprocesador. Estos nodos están diseñados para adquirir información del entorno, procesarla y transmitir los datos pertinentes a la estación base (de mucho mayor poder computacional que los nodos sensores). El campo de aplicación para esta tecnología es muy amplio. Algunos usos actuales son: control de procesos, alarmas, respuesta a emergencias, redes de transporte, investigación biológica, aplicaciones medicinales y estudios meteorológicos.

Existen sensores de todas clases, es posible medir aceleración, temperatura, movimientos sísmicos, posición global, intensidad de luz, sonido, campos magnéticos, etc. La interconexión de los sensores se presenta como uno de los mayores problemas a la hora de implementar el sistema. Las limitaciones físicas y económicas imponen restricciones a la forma en la que se llevará a cabo. Anteriormente, las redes de sensores se interconectaban mediante cables (pares trenzados) que agregaban costo, complejidad de implementación y dificultad en la detección de fallas. Con la estandarización de las comunicaciones inalámbricas y la serialización de fabricación de dichos productos, ésta pasó a ser una de las formas preferenciales para interconectar sensores. Actualmente, los sensores inalámbricos son de amplio uso en aplicaciones distribuidas o que implican el seguimiento de objetivos móviles. La administración del consumo de energía para este tipo de sensores constituye un factor crítico en el diseño de dichos sistemas debido a que los mismos están generalmente alimentados mediante baterías.

Además del problema del consumo, existe la dificultad de su reemplazo. La energía es utilizada por los nodos sensores en tres funciones principales: sensado, procesamiento y comunicación. Los dispositivos modernos utilizan técnicas avanzadas de ahorro de energía como el apagado de periféricos en desuso (stand-by) o reducción de la frecuencia de operación. Se ha demostrado que el proceso que requiere mayor energía es la transferencia de datos, por lo que a veces se apunta a reducir la cantidad de comunicaciones a costa de mayor tiempo de procesamiento [2], [3].

Las redes de sensores se caracterizan por ser redes desatendidas (sin intervención humana), con alta probabilidad de fallo (en los nodos, en la topología), habitualmente construidas *ad hoc* para resolver un problema muy concreto (es decir, para ejecutar una única aplicación). Las comunicaciones inalámbricas son una solución eficaz y confiable en la automatización del hogar y la oficina, en tal sentido, varios medios de transmisión de señales podrían utilizarse, incluyendo la luz y el ultrasonido, pero haciendo una comparación entre ellos con respecto al posible tráfico de datos, los precios y el área de cobertura, terminan finalmente siendo más atractivos los enlaces de radio frecuencia (RF) [4].

Se han creado aplicaciones WSN para diferentes áreas incluyendo cuidado de la salud, servicios básicos y monitoreo remoto. En el cuidado de la salud, los dispositivos inalámbricos vuelven menos invasivo el monitoreo a pacientes. Para servicios básicos como electricidad, alumbrado público y agua corriente, los sensores inalámbricos ofrecen un método de bajo costo para un sistema de recolección de datos que ayude a reducir el uso de energía y mejor manejo de recursos. El monitoreo remoto cubre un amplio rango de aplicaciones donde los sistemas inalámbricos pueden complementar sistemas cableados reduciendo costos en cables y permitiendo nuevos tipos de aplicaciones de medición.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Las líneas de investigación se orientan principalmente en la búsqueda de alternativas más económicas y simples tanto en la comunicación inalámbrica entre los nodos como en su diseño y desarrollo. Una opción es el uso de la tecnología Arduino con sus placas de bajo costo y las posibilidades de interconexión vía WiFi a través de shields o módulos inalámbricos frente a las más costosas placas XBee que utilizan el standard Zigbee para la comunicación inalámbrica (Fig. 2). En aquellos sistemas que no requieran una gran cantidad de nodos ni el mayor consumo de energía sea un problema, puede resultar en una solución aceptable y de bajo costo [5], [6].



Fig. 2. Prototipo de sistema transmisor-receptor con módulos XBee desarrollado en el laboratorio

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

En CODAPLI hemos investigado gran parte de esta temática, desarrollado varios proyectos e informes técnicos los cuales, si bien no han desembocado en un sistema integral basado en el control por redes de sensores inalámbricos, incluyen elementos o partes de estos sistemas: sensores, sistemas embebidos, comunicaciones inalámbricas entre placas microcontroladas, sensado remoto y automatización de dispositivos.

Se ha experimentado y realizado prototipos de adquirentes de datos y comunicaciones inalámbricas utilizando diferentes tecnologías y plataformas: Arduino, Intel-Galileo, EDUCIAA (Fig. 3). Esto nos permite tener una cierta experiencia a la hora de evaluar diferentes implementaciones, especialmente en el tema de la comunicación inalámbrica sobre la red de sensores, tema principal del proyecto.



Fig. 3. Aplicación móvil para toma de datos y control de dispositivos físicos mediante combinación de placas Arduino-Intel Galileo.

A modo de ejemplo mencionamos algunos de los principales trabajos realizados por el grupo, varios de los cuales fueron presentados y expuestos en diversas jornadas y congresos afines a la temática:

- Plataforma remota para prácticas de laboratorio (WICC 2017).
- Sistema de Monitoreo Meteorológico utilizando la metodología de codiseño hardware/software (44 JAIIO 2015).
- Estación de medición para análisis y control de parámetros ambientales (46 JAIIO- CAI9 2017).
- Prototipo de Estación Meteorológica Automática utilizando EDUCIAA-NXP como plataforma (CNEISI 2016; Fig. 4).
- Comunicación por protocolo Zigbee, prestaciones, aplicación al mundo de domótica (informe técnico).

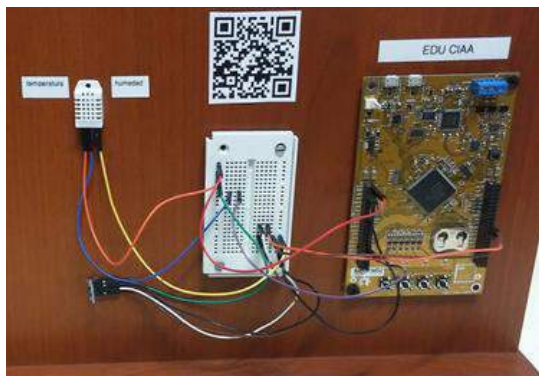


Fig. 4. Prototipo de estación meteorológica utilizando una placa EDU-CIAA para la adquisición de datos.

Basándonos en la experiencia obtenida en estos años de investigación, se espera desarrollar aplicaciones orientadas a la utilización de sistemas ciberfísicos (mecanismos controlados o monitoreados por algoritmos basados en computadoras y estrechamente integrados con Internet y sus usuarios) mediante el control y la adquisición de datos basados en la comunicación a través de redes inalámbricas de sensores. Se pretende que estas aplicaciones puedan interactuar con los sistemas físicos que lo rodean pudiendo ser monitorizadas en forma local y remota a través de los medios tradicionales como Internet, utilizando computadoras, tablets, PDA, etc. Los campos de aplicación son variados y extensos, siendo la idea principal poder orientarlo principalmente al ámbito industrial, pero no descartando otros como la salud, educación, agricultura, meteorología, Internet de las cosas, etc.

La propuesta es avanzar en distintos ejes de investigación, aprovechando la experiencia y los conocimientos adquiridos por los integrantes del grupo. Por ello se deberá encarar el proyecto a través de distintos frentes, abordados por uno o más integrantes, quienes se enfocarán en un tema particular, pero a su vez integrados en un todo con el resto. Podemos entonces identificar los principales temas o ramas sobre las cuales enfocar la investigación:

- estudio de distintos sensores;

- conexasión y comunicación mediante las interfaces y protocolos más utilizados;
- estudio de las comunicaciones inalámbricas entre motes de la red.

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El proyecto está orientado a la formación de recursos humanos particularmente escasos en nuestro país, en particular para esta temática. Se busca también lograr la transferencia de conocimientos a los alumnos que requieran una formación adicional a la recibida en las cátedras de especialidades afines al tema. En el plantel básico del grupo se incorporan periódicamente graduados noveles y estudiantes del último año. La propuesta a mediano y largo plazo es el dictado de seminarios y cursos de grado y posgrado para aumentar la capacitación en estos temas.

El equipo de trabajo que participa actualmente en el desarrollo de éste y otros proyectos de investigación relacionados a la temática de los sistemas de tiempo real está conformado por dos Ingenieros en Electrónica (director y codirector del grupo) y dos Ingenieros en Sistemas que también se desempeñan como docentes en el área de Sistemas de Información de la UTN-FRLP, uno de los cuales se encuentra realizando su tesis de postgrado. El grupo se completa con cuatro becarios, siendo tres de ellos alumnos y un graduado.

Colaboran también en forma *ad honorem* alumnos del último año de la carrera de Ingeniería en Sistemas realizando tesinas de grado que cubren aspectos relacionados con esta temática en particular y otros aspectos relacionados con los sistemas de tiempo real.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] William Stalling. Comunicaciones y Redes de Computadoras, Pearson 7<sup>a</sup> edición, 2016.
- [2] Chaudhari, Dharavath. "Study of Smart Sensors and their Applications".

- Proceedings on International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IJARCCE), Vol. 3, Issue 1, January 2014, ISSN (Online): 2278-1021.
- [3] IEC, 2014 “Internet of Things: Wireless Sensor Networks” Proceedings on International Electrotechnical Commission (IEC), ISBN 978-2-8322-1834-1.
- [4] Lutokhin. “Applications of Wireless Sensor Networks in Next Generation Networks”. Proceedings of International Telecommunication Union (ITU), 28 February 2014..
- [5] Shahin Farahani. Zigbee Wireless Networks and Transceivers. Elsevier,2008.
- [6] ZigBee Alliance. ZigBee Standards-<http://www.zigbee.org/Standards/Overview.aspx>, 2011.