

Resumen Tesis Doctoral

Título:

Plataforma de Desarrollo de Laboratorios Remotos de Redes de Sensores Inalámbricos basados en Cloud Computing

Autor: Dr. Ing. Pablo Daniel Godoy

Director: Dr. Carlos García Garino

Co-Director: Dr. Ricardo Cayssials

Universidad donde se desarrolló la tesis: Universidad de Mendoza.

Doctorado aprobado por Resolución Ministerial n° 8/93, y acreditado por CONEAU por Resolución 210/11.

Fecha de defensa y aprobación: 4/8/2016

Resumen

Las redes de sensores inalámbricos, o WSN por sus siglas en inglés, son sistemas formados por un gran número de dispositivos denominados nodos. Estos nodos poseen capacidad de procesamiento de datos, memoria, capacidad de comunicación inalámbrica y sensores de diferentes tipos. En algunos casos, estos nodos tienen la capacidad de actuar sobre el medio ambiente que los rodea. El desarrollo de estos dispositivos ha sido posible gracias a los avances en el campo de los MEMS (Sistemas Micro Electromecánicos), que han permitido el desarrollo de componentes electrónicos de pequeñas dimensiones y bajo costo.

Las WSN poseen actualmente un gran número de aplicaciones, por ejemplo: monitoreo del medio ambiente, agricultura, monitoreo de la salud, automatización de procesos y fábricas, automatización de edificios, aplicaciones militares, etc. Se espera que el número de aplicaciones crezca en los próximos años, como también el número de WSN y tipos de nodos. Frente a los métodos tradicionales de medición empleados en estas aplicaciones (instrumentos y estaciones meteorológicas), las WSN permiten una mayor densidad espacial de puntos de medición. Además permiten el acceso en tiempo real a los datos y monitoreos de larga duración.

Los laboratorios remotos son sistemas que

permiten el acceso de manera remota a laboratorios de distinta naturaleza. Generalmente el acceso es a través de Internet, aunque puede ser a través de redes LAN de organizaciones o universidades. Existen en la actualidad laboratorios remotos de distinto tipo, por ejemplo, laboratorios remotos de física, de circuitos analógicos, de circuitos digitales, de robótica, de redes de computadoras, de WSN, etc (Marianetti, 2006; Steyn and Hancke, 2011). En general, son sistemas complejos, que incluyen un número considerable de componentes y de recursos tecnológicos.

Los laboratorios remotos constituyen una valiosa herramienta en los campos de la investigación científica, desarrollo de aplicaciones, formación y entrenamiento de usuarios y tareas de enseñanza. Estos permiten a los usuarios acceder a laboratorios con un gran número de equipos o instrumentos, o con equipamiento de costo elevado, que pueden estar ubicados en distintos lugares del mundo, al cual el acceso sería difícil o imposible por otros medios. Por ejemplo, existen laboratorios remotos de redes de computadoras con miles de nodos, que los usuarios difícilmente podrían montar localmente, pero que pueden ser accedidos de manera remota.

Los laboratorios remotos pueden clasificarse en dos grandes grupos: orientados a tareas de investigación científica o desarrollo de aplicaciones y orientados a tareas de

formación y entrenamiento de usuarios. En el caso de laboratorios remotos orientados a investigación científica, el usuario posee un nivel de conocimientos muy elevado, y puede llevar a cabo los experimentos sin ninguna restricción. Un laboratorio remoto orientado a tareas de formación y entrenamiento de usuarios está destinado a usuarios con variados niveles de conocimientos, e incluye componentes que facilitan el acceso y la configuración de experimentos por parte de los usuarios. En el caso de un laboratorio remoto destinado a formación y entrenamiento de usuarios sin conocimientos elevados, los experimentos que los usuarios pueden realizar están predefinidos y restringidos, de modo que no tengan que configurar completamente el experimento. Además, para el caso de tareas de docencia, los profesores o entrenadores necesitan poder realizar el seguimiento de los estudiantes, con lo cual surge la necesidad de componentes adicionales que se encarguen de esta tarea (Jona and Uttal, 2013).

Motivación

Existe un número considerable de publicaciones que reportan aplicaciones de las WSN en el campo de la agricultura. Por este motivo, en la provincia de Mendoza y la región, las WSN pueden llegar a convertirse en una valiosa herramienta en este campo. Pueden ser de utilidad en el estudio de diferentes fenómenos meteorológicos que afectan los cultivos, como ser heladas o eventos peligrosos para los cultivos, por ejemplo plagas. Prueba de ello es la existencia de una tesis de doctorado recientemente aprobada que emplea las WSN como herramienta en el estudio y predicción de heladas (Iacono, 2015). Las WSN pueden ser también de utilidad para el estudio del efecto de diferentes factores ambientales sobre la calidad de las frutas obtenidas, como también del efecto de los diferentes procesos de traslado, almacenamiento, procesamiento, etc. Además, ingenieros agrónomos o agricultores necesitan de datos espacial y temporalmente distribuidos para desarrollar sus tareas. Estos datos permiten aplicar de

manera correcta técnicas de cultivo (deshoje, estrés hídrico, etc) y maximizar sus beneficios. Para potenciar el uso de las WSN, de manera de permitir que éstas sean aplicadas ampliamente en la provincia y el país, nace la necesidad de contar con personal capacitado en el uso de las mismas. Por tanto, surge la necesidad de contar con herramientas que asistan en el proceso de formación y entrenamiento de los usuarios en el uso de las WSN.

El estudio del estado del arte de los laboratorios remotos de WSN permite ver que todos éstos han sido diseñados con propósitos de investigación científica. Éstos permiten a los usuarios acceder sin restricciones a los nodos de las WSN. Los usuarios pueden configurar el sistema operativo, los protocolos de comunicación, cargar componentes de software en los nodos, y realizar cualquier tipo de experimentos. Para realizar estas tareas, los usuarios necesitan contar con conocimientos elevados sobre WSN y programación.

Sin embargo, un usuario sin conocimientos avanzados necesitará realizar inicialmente experimentos simples, y luego, a medida que adquiera mayores conocimientos, podrá realizar experimentos más complejos. Por lo tanto, para este usuario será muy difícil realizar sus primeros experimentos y prácticas con WSN empleando los laboratorios de WSN disponibles actualmente. Se concluye que es de gran utilidad el estudio y desarrollo de laboratorios remotos de WSN destinado a usuarios que deseen formarse y entrenarse en el uso de las WSN, de fácil uso, destinados a usuarios sin conocimientos avanzados de WSN ni de programación. Por este motivo, esta tesis propone un modelo conceptual para laboratorios remotos de WSN que cumple estas características, y una implementación de dicho modelo.

Los mecanismos utilizados para permitir el acceso remoto a los equipos bajo prueba empleados por distintos laboratorios remotos son similares, diferenciándose fundamentalmente por el sistema bajo prueba. Por este motivo, las conclusiones y aportes que puedan realizarse en la implementación

de un laboratorio remoto de WSN, pueden ser útiles también para otro tipo de laboratorios remotos.

Pensando en los trabajos futuros que continuarán el trabajo presentado en esta tesis, se espera que el trabajo realizado sea el punto de partida de una línea de investigación más amplia y de largo plazo, destinada a estudiar la aplicación de laboratorios remotos y TIC en educación y desarrollo de aplicaciones. Un laboratorio remoto destinado a tareas de educación requerirá de herramientas especiales que permitan al docente realizar tareas de seguimiento y evaluación, no presentes en los laboratorios remotos de WSN existentes (Jona and Uttal, 2013). Esta tesis propone la implementación de módulos que sean de ayuda cuando este laboratorio remoto sea aplicado a tareas de docencia.

Como motivación adicional, se menciona el hecho de que los laboratorios remotos de WSN existentes actualmente emplean nodos sensores no disponibles en el mercado local. Por lo tanto, es de interés el desarrollo de un laboratorio remoto que emplee nodos sensores disponibles en el mercado local.

La tesis

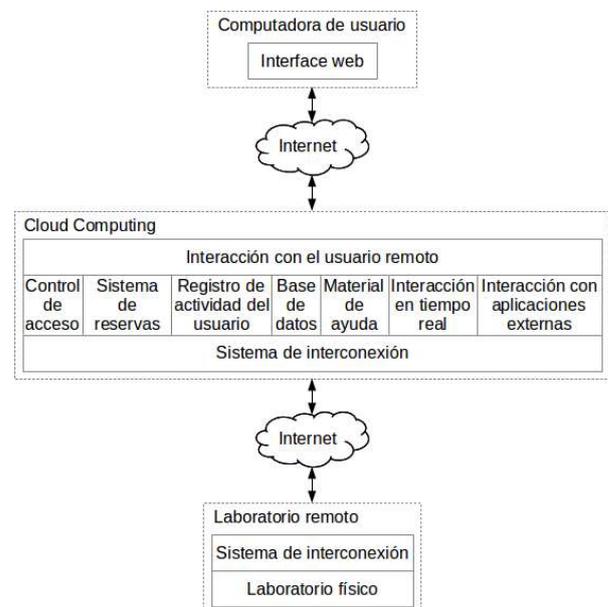
En esta tesis se propone un enfoque para la implementación de laboratorios remotos de WSN para ser empleados por usuarios que deseen formarse, entrenarse o experimentar en programación y funcionamiento de las WSN, que pueda ser empleado por usuarios con pocos conocimientos sobre WSN o programación, como también para la realización de experimentos o desarrollos. La hipótesis principal de esta tesis doctoral es: “Se pueden desarrollar laboratorios remotos de WSN, que puedan ser utilizados por usuarios que deseen formarse, entrenarse o experimentar en programación y funcionamiento de las WSN, o en desarrollo de aplicaciones que utilicen WSN, mediante el adecuado diseño e implementación de sus módulos de gestión”.

Para probar la hipótesis, se ha propuesto y desarrollado un modelo para laboratorios remotos de WSN que cumpla los requisitos planteados en la hipótesis. Como

componentes distintivos del modelo para laboratorios remotos de WSN propuesto respecto a los existentes, este modelo emplea una interface web que permite realizar experimentos de manera fácil y rápida, de manera que pueda ser empleado para poner a prueba conceptos básicos de las WSN, sin necesidad de poseer conocimientos avanzados en WSN o programación. Se ha realizado también una implementación y puesta en funcionamiento de un prototipo, empleando nodos de WSN disponibles en el mercado local.

Pensando en futuras aplicaciones del laboratorio remoto propuesto a tareas de educación, se ha planteado la incorporación de un módulo para seguimiento de los usuarios, basado en el almacenamiento de la actividad que realizan. Esta información debe almacenarse de manera segura y confiable, de modo que pueda ser utilizada para seguimiento y evaluación de la actividad que los usuarios realizan.

La siguiente figura muestra un esquema del modelo propuesto. Dicho modelo fue implementado para la realización de experimentos.



Experimentos realizados

Se realizaron experimentos de prueba de concepto, que son experimentos que los usuarios pueden realizar en el laboratorio

remoto. Se presentan estos experimentos en el formato en el cual los usuarios los realizarían, y una realización del experimento.

Estos experimentos incluyen:

- Tiempo de respuesta de la WSN
- 5.1.2 Potencia de RF recibida
- 5.1.3 Tiempo de respuesta en función de la ocupación del canal de comunicaciones

Además, se realizaron experimentos para evaluar las latencias introducidas por el laboratorio remoto, y se compara la latencia con y sin Cloud.

Aportes a la disciplina

Esta tesis presenta seis aportes en el campo de los laboratorios remotos de WSN y de laboratorios remotos en general, que se listan a continuación. Los dos primeros aportes son los aportes principales de esta tesis relacionados con la hipótesis enunciada en la sección. Los cuatro restantes, si bien no surgen directamente de la hipótesis planteada, también constituyen contribuciones al campo de los laboratorios remotos.

1) Una arquitectura para laboratorios remotos de WSN orientados a usuarios que deseen formarse, entrenarse o experimentar en programación y funcionamiento de las WSN, o en desarrollo de aplicaciones que utilicen WSN: Se han documentado en la bibliografía laboratorios remotos de WSN de diferentes tipos, pero ningún laboratorio remoto de WSN con la arquitectura propuesta en este trabajo. Esta arquitectura es el aporte principal de la tesis.

2) Una propuesta para el despliegue de laboratorios remotos empleando servicios de Cloud Computing: Se propone un nuevo modelo de implementación de laboratorios remotos no documentado en la bibliografía, el despliegue de varios componentes propios de un laboratorio remoto empleando servicios de Cloud Computing. Como se muestra en esta tesis, el empleo de Cloud Computing brinda ventajas propias de esta tecnología a los laboratorios remotos.

3) Una propuesta para interconectar dispositivos o equipos electrónicos al Cloud: Se ha propuesto un sistema de interconexión

entre los equipos del laboratorio físico y los módulos de gestión desplegados en el Cloud no documentado en la bibliografía, basado en una aplicación cliente-servidor. Dicho sistema podría ser utilizado para conectar cualquier dispositivo o equipo electrónico a componentes de software desplegados en el Cloud.

4) Construcción de una interface web didáctica: Esta interface permite a los usuarios programar la WSN de manera fácil y didáctica, de modo que los usuarios no necesiten conocimientos avanzados de programación ni WSN.

5) Una nueva clasificación de los laboratorios remotos: Se ha esbozado en la literatura la existencia de laboratorios remotos destinados a tareas de investigación científica, desarrollo o educación, pero ningún autor ha propuesto una clasificación formal ni ha realizado una comparación exhaustiva. Por este motivo, se propone en esta tesis una clasificación de los laboratorios remotos, distinguiendo entre laboratorios remotos destinados a investigación científica o desarrollo, y destinados a formación, educación y entrenamiento de usuarios.

6) Construcción de un prototipo que emplea nodos disponibles en el mercado local: Existe un número grande de nodos sensores comerciales disponibles en el mercado. Los laboratorios remotos de WSN construidos típicamente emplean nodos de la familia TelosB, que permiten a los usuarios programar completamente los nodos. Sin embargo, estos nodos no están disponibles en el mercado local, ni son los más adecuados para usuarios que aún no poseen los conocimientos de programación necesarios para programar este tipo de nodo. Por ello, el prototipo emplea nodos de fácil programación y disponibles en el mercado local.

5. Trabajos futuros

Los trabajos futuros se dividen en dos: posibles mejoras al laboratorio remoto desplegado y profundizar la investigación en cuanto a la integración de laboratorios remotos al Cloud.

5.1 Posibles mejoras

Entre los trabajos futuros se incluyen algunas ideas para mejorar o agregar funcionalidades al laboratorio remoto, que han surgido durante el proceso de implementación del modelo propuesto, durante la realización de experimentos, y la lectura de recientes publicaciones (Orduna et al., 2015). Estas mejoras posibles se describen a continuación.

5.2 Profundizar la investigación en cuanto a la integración de laboratorios remotos al Cloud

Del estudio del estado del arte y los trabajos relacionados, pudo observarse que la integración de laboratorios remotos con tecnologías de Cloud Computing es un campo con pocas y muy recientes publicaciones. Sin embargo, como pudo verificarse en esta tesis, el paradigma de Cloud Computing puede brindar características beneficiosas a los laboratorios remotos. Por otro lado, también se llegó a la conclusión de que en este campo hay varios problemas por resolver, como proponer y analizar distintas arquitecturas para la interconexión de los equipos bajo prueba con los componentes del laboratorio remoto implementados en el Cloud, disminuir las latencias introducidas, etc. En este trabajo se propuso un mecanismo para lograr la interconexión, pero pueden proponerse y estudiarse otros mecanismos y otros esquemas de interconexión.

5.3 Estudio de los aspectos pedagógicos para su aplicación a tareas de docencia

Como se mencionó anteriormente en las limitaciones, el laboratorio remoto ha sido diseñado de manera que una de sus aplicaciones futuras sea en tareas de docencia. Pero previo a emplear y presentar el laboratorio remoto como apto para esta aplicación, es necesario realizar un estudio de su aplicabilidad a tareas de docencia desde el punto de vista pedagógico.

Se propone como trabajo futuro realizar este

análisis, partiendo de un estudio del estado del arte sobre condiciones a cumplir y métodos para evaluar la aptitud de un laboratorio remoto, o herramienta tecnológica en general, para ser aplicado a docencia. Dicho estudio del estado del arte permitirá conocer las mejoras a implementar y los experimentos a realizar para poder aplicar el laboratorio remoto a tareas de docencia.

5.4 Aplicación del laboratorio remoto a tareas de docencia

Una vez realizado el trabajo futuro mencionado en el punto, se espera que el laboratorio remoto implementado pueda emplearse como una herramienta de enseñanza en la carrera de licenciatura en ciencias de la computación de la Universidad Nacional de Cuyo, la cual cuenta con una materia relacionada con las WSN. Además, luego de estudiar la aplicación del laboratorio remoto a otro tipo de equipos bajo prueba, se espera que el laboratorio remoto pueda ser empleado para su aplicación en enseñanza y docencia de otro tipo de equipo bajo prueba.

5.5 Implementación de un modelo simulado para interactuar con el laboratorio remoto

Las WSN tienen un gran número de aplicaciones, algunas de las cuales fueron descritas en la sección. Cada aplicación tiene características de funcionamiento diferentes en cuanto a aspectos como: tipos de datos, frecuencias de muestreo de datos, requisitos respecto a la forma de sensar datos, tipos de posibles fallas, tiempos de procesamiento de datos, acciones a tomar según los datos sensados, etc. Esto hace imposible que un laboratorio remoto de WSN pueda adaptarse a todas las aplicaciones posibles. Por otro lado, de acuerdo al estudio del estado del arte realizado en los capítulos [cha:Antecedentes] y [cha:RelatedWork], puede afirmarse que casi todos los laboratorios remotos de WSN presentados en la bibliografía están diseñados para realizar investigación sobre la programación y desarrollo de software para las WSN, y no sobre el comportamiento de las

WSN en distintas aplicaciones.

Se propone implementar diferentes tipos de modelos que interactúen con el laboratorio remoto a través de aplicaciones creadas para tal fin. Con este propósito fue incorporado en el modelo de capas del laboratorio remoto el módulo de interacción con aplicaciones externas. Este módulo permite la interacción con aplicaciones que pueden realizar diferentes acciones en función del comportamiento de modelos simulados. Estos modelos estarán implementados en software y serán ejecutados en el Cloud, para aprovechar una de las características constructivas más importantes del laboratorio remoto, el uso de servicios de Cloud Computing, que provee grandes capacidades de cómputo y almacenamiento de datos.

Referencias

- Jona, K. and Uttal, D. (2013). Don't forget the teacher: New tools to support broader adoption of remote labs. In Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2013 10th International Conference on, pages 1–2.
- Marianetti, O. (2006). Laboratorios remotos, un aporte para su diseño y gestión. Universidad de Mendoza, Facultad de Ingeniería, Maestría en Teleinformática.
- Orduna, P., Gomez-Goiri, A., Rodriguez-Gil, L., Diego, J., Lopez-de Ipina, D., and Garcia-Zubia, J. (2015). wCloud: Automatic generation of WebLab-Deusto deployments in the Cloud. In Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2015 12th International Conference on, pages 223–229.
- Steyn, L. P. and Hancke, G. P. (2011). A survey of wireless sensor network testbeds. In IEEE Africon'11.