

RED DE SENSORES SIPIA

Avance del Proyecto

Gustavo Mercado*, Roberto Borgo[§], Francisco Gonzalez Antivilo[§], Gisela Ortiz Uriburu[§], Ana Diedrichs*, Sebastián Tromer*, Nicolás Ledezma*, Matías Aguirre*, Cristian Panella*, Germán Tabacchi*, Juan Martí*, Guillermo Grünwaldt*, Ignacio Rigoni*, Gabriel Antón*, Fernando Chamorro*, Rodrigo Moreno*, Santiago Pérez

*gridTICS – Grupo UTN de I&D en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Departamento de Electrónica - UTN Facultad Regional Mendoza
Rodríguez 273, Capital - Mendoza
{gustavo.mercado, ana.diedrichs, matias.aguirre}@gridtics.frm.utn.edu.ar

§ Cátedra de Fisiología Vegetal
Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo
Alte Brown 500, Chacras de Coria, Lujan de Cuyo - Mendoza
rborgo@fca.uncu.edu.ar, fgonzalezantivilo@gmail.com, gortiz@fca.uncu.edu.ar

Resumen

El proyecto consiste en el análisis, implementación y evaluación de una red de sensores inalámbricos basada en la norma IEEE 802.15.4, aplicada al entorno agropecuario en el ámbito de agricultura de precisión, con participación de tanto ingenieros electrónicos e informáticos como de ingenieros e investigadores agrónomos,

Se propone entonces el estudio de estas tecnologías en el contexto de un grupo de investigaciones que permita:

- La colaboración interinstitucional e interdisciplinaria entre especialistas de cada campo.
- El análisis, el estudio, el diseño y el desarrollo de las tecnologías en redes de sensores inalámbricas aplicadas a la agricultura de precisión; como herramienta instrumental en la investigación y producción agrícola.
- Comprobación de las prestaciones de hardware y software desarrollado con la meta de superar las limitaciones de productos actuales en el mercado.
- La verificación del impacto de estas tecnologías en el entorno agropecuario y
- La capacitación y difusión de los conocimientos adquiridos, como compromiso social en el ámbito empresarial y académico.

Durante el transcurso del primer año del proyecto se ha avanzado en las diferentes áreas, que lo componen, es decir, la red de sensores propiamente dicha, el dispositivo gateway, sondas de medición, servidor y software de gestión y análisis de datos e integración y pruebas del sistema. Se propone entonces, presentar dichos avances en el presente trabajo.

Palabras Clave

Redes de Sensores, IEEE 802.15.4, Agricultura de Precisión, Data Logger, Sensado remoto, Microclima

Contexto

El proyecto se enmarca en el convenio de cooperación científica/tecnológica entre la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo y la Facultad Regional Mendoza de la UTN, con financiamiento de ambas instituciones y

es llevado adelante por personal del GRIDTICS y la Cátedra de Fisiología Vegetal.

En la FRM se inserta en el proyecto PID 25/J072 “LIVRES: Análisis y evaluación de características relevantes de las redes de sensores inalámbricos aplicadas al manejo y sensado en agricultura de precisión”.

En la FCA se inserta en los siguientes proyectos:

-2010 - proyecto “Estudio del efecto de las altas temperaturas sobre la fisiología y la calidad de uva de *Vitis vinifera* var Malbec”. Doctorando: Ing. Agr. Ortiz Uriburu.

-2010 - proyecto “Mecanismo de resistencia a temperaturas subcero en tejidos leñosos de *Vitis vinifera* cv Malbec. Doctorando: Ing. Agr. González Antivilo.

Introducción

Gracias a los avances y reducción de costos en dispositivos electrónicos y de comunicación inalámbrica, es posible construir dispositivos sensores multifuncionales y multipropósito de bajo costo que operan con poca energía, de un tamaño pequeño, y de una capacidad de comunicación a corta distancia. Estos dispositivos se denominan motes [1], y constan de una unidad de procesamiento con un poder de cómputo mínimo, memoria, una unidad de comunicación inalámbrica y uno o varios dispositivos de sensado que capturan parámetros como temperatura, aceleración, humedad, etc. Un conjunto de motes comunicados entre sí es lo que conocemos como una red de sensores inalámbrica (Wireless Sensor Network o WSN).

Una red de sensores está compuesta por varios motes que se encuentran esparcidos en un área determinada. La distribución de los mismos puede ser aleatoria o planeada, lo cual permite su uso en prácticamente en cualquier ambiente físico. Esta característica es provista por un conjunto de protocolos y algoritmos para redes de sensores. Otro de los beneficios que caracteriza a una red de sensores es que sus nodos pueden trabajar de modo cooperativo, aumentando sus posibilidades de aplicación. Además, gracias a la capacidad de cómputo de los mismos, más allá que sea mínima, éstos pueden

parcialmente, procesar los datos capturados antes de comunicarlos a la red.

La agricultura de precisión consiste en el uso de sistemas de información basados en diversas tecnologías aplicadas al ámbito de la producción agraria. Algunas de las tecnologías aplicables serían; Redes de Sensores Inalámbricos (WSN), Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), evaluación de espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR), Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sistemas que proporcionan medios de observación, evaluación y control de las prácticas agrícolas.

La búsqueda de modelos de cultivos, tanto protegidos (en invernaderos) como en campo abierto, ha sido tradicionalmente un reto puesto que la recolección de información de las diversas variables involucradas es un proceso complejo. Con el advenimiento de las redes de sensores la recolección de información puede precisarse arbitrariamente tanto en el tiempo como en el espacio.

Tradicionalmente estos modelos se han establecido de forma empírica, basados en la experiencia, observación visual e intuición de los agricultores [2], lo que usualmente implica que los modelos están lejos de ser óptimos, siendo una de las limitantes más importantes la escasa resolución espacial alcanzada. Las redes de sensores permiten recopilar información con nuevos niveles de resolución espacial y temporal que brinda el soporte para la elaboración de nuevos modelos o el perfeccionamiento de los existentes.

Ya en el año 2004 Beckwith et. al. [3] establecieron ventajas de utilizar redes de sensores, contra sensores aislados o recolectores de datos (data loggers) en aplicaciones agronómicas, particularmente en el caso de viñedos. Aún en pequeñas extensiones menores a una hectárea las redes requieren menos tiempo de instalación y de recolección de datos, y son además más fáciles de mantener. Estas proveen además capacidad de reaccionar en tiempo real, de acuerdo a los datos recolectados, ya sea disparando alarmas sobre situaciones que deben ser atendidas manualmente, o activando dispositivos que puedan compensar eventos no deseados, por medio de mecanismos de irrigación, sistemas de ventilación, iluminación, etc. Un año antes la Universidad de Carnegie Mellon desarrolló una red de sensores para facilitar las operaciones en un vivero [4], midiendo temperatura y humedad relativa del aire y del suelo y luz, activando actuadores dependiendo de los datos medidos para alterar la circulación de aire, la luminosidad y la temperatura.

En [5] se presenta un panorama de la tecnología de redes inalámbricas de sensores hasta el año 2006, aptas para ser aplicadas en aplicaciones agrícolas y de la industria alimentaria. Se presentan comparaciones entre estándares inalámbricos de transmisión (WiFi, Bluetooth y ZigBee). También se mencionan los estándares para transductores inteligentes (IEEE1451) y su enlace (IEEE1451.5). En el mencionado documento se clasifican las aplicaciones de redes de sensores en agricultura y la industria alimentaria en 5 grupos, incluyendo el que nos involucra, agricultura de precisión.

Líneas de investigación y desarrollo

El grupo de Redes de Sensores Inalámbricos, perteneciente al grupo UTN GridTICS, se forma por iniciativa de algunos de sus miembros en el año 2008 y comienza con el estudio de la tecnología para la capacitación de sus miembros, la adquisición de elementos y dispositivos para la conformación del laboratorio de WSN. Durante este periodo el grupo ha realizado publicaciones [6], presentación en congresos [7, 8], cursos de grado y postgrado y asistencia a tesinas de grado [9, 10] y tesis de posgrado.

La cátedra de Fisiología de la UNCuyo posee una amplia trayectoria en la investigación de respuestas fisiológicas y ecofisiológica de cultivos de gran importancia económica para la región, como son, la vid, ajo y la cebolla. La cátedra y sus integrantes han contribuido al conocimiento de respuestas fisiológicas relacionadas a la calidad de los frutos de vid dependiendo de condiciones ambientales y culturales, y la participación de sus fotoasimilados. Los integrantes del grupo de trabajo acreditan presentaciones y asistencia a congresos [11, 12, 13, 14, 15, 16], y participación en estudios de posgrado [17, 18, 19] y publicaciones [20, 21, 22, 23, 24, 25].

Resultados y Objetivos

Objetivo principal

Diseñar y validar el comportamiento de una red de sensores inalámbricos en la adquisición de parámetros ambientales de parcelas agrícolas.

Para establecer los requerimientos para la aplicación de redes de sensores inalámbricos en investigación agrícola:

- Se plantearán escenarios típicos de uso de sensores inalámbricos..
- Se plantearán escenarios de condiciones ambientales a las cuales estarán sometidos los sensores. Se experimentarán las diferentes condiciones de temperatura, humedad, radiación, e incluso condiciones de pH (si estuviese dentro del vegetal) a los cuales podrían estar sometidos los cultivos.
- Se determinarán los requerimientos físicos y mecánicos de los sensores. En base a los escenarios planteados anteriormente determinar los requerimientos físicos para el correcto funcionamiento. Esto incluye aspectos de protección física contra factores como radiación, humedad, fauna, aunque también aspectos de fácil obtención de datos y uso del instrumental.
- Se determinarán los requerimientos del software para la recolección de datos. En base a la experiencia con software de adquisición de datos de sensores se analizarán los requerimientos para la obtención de un software de fácil uso, con funciones de análisis numérico y gráfico.
- Se realizará la especificación de la red. Para lo cual es necesario especificar con el máximo detalle la red de sensores prototipo que se utilizará. Se deberá especificar la cantidad de nodos, la topología, escalabilidad, autonomía,
- Se determinarán las especificaciones técnicas del instrumento de medición. Se requiere definir las

siguientes especificaciones técnicas referentes al instrumento: Rango operativo, Precisión, Error absoluto máximo permitido, etc

Para desarrollar un dispositivo pasarela o concentrador (Gateway) que proporcione un respaldo digital a los datos de la red:

- Se debe definir el tipo de dispositivo que proporcionará la interfaz entre la WSN y el aplicativo web. En primera instancia se propone el uso de un gateway desarrollado sobre una plataforma diferente que haga de pasarela entre la red y la computadora servidor.

Para desarrollar un aplicativo web que permita la recolección, histórico, clasificación y análisis de los datos obtenidos de la WSN

- Se debe especificar de requisitos del software. En primera instancia se deberá realizar un relevamiento de las funcionalidades principales y secundarias que el usuario, en este caso el investigador e Ing. agrónomo requiere y necesita que el sistema tenga, determinando los límites y el alcance de la aplicación. Se define la forma de procesar los datos, niveles de seguridad, diseño del esquema de datos de reportes.

- Se debe diseñar de la interfaz humana: determinación de requisitos de diseños gráficos principales, tipos de gráficos para mostrar los datos, mensajes de error, entre otros.

- De debe establecer los requisitos de instalación: especificar el hardware/software necesario para servidor web y los requisitos previos que tiene que tener la pc del usuario para que el sistema funcione correctamente.

- Se deben especificar y realizar las pruebas unitarias, de integración y de aceptación correspondientes.

- Se debe ensayar y evaluar el prototipo en pruebas de campo

Una vez diseñado el prototipo (red de sensores, gateway, servidor y aplicación) se debe llevar al ámbito de aplicación y realizar los ensayos pertinentes. Esto implica verificar que se cumplan las especificaciones propuestas para luego realizar mejoras y correcciones si así se requiera.

Avances y resultados preliminares

Dispositivo Gateway

Se diseñó y construyó el primer prototipo del Gateway entre la red de sensores y la red local de la Facultad de Ciencias Agrarias de UNC. Se utilizó un equipo embebido Rabbit RCM3710 de Digi [26], con conectividad Ethernet acoplado a un mote por conexión serial para proveer conectividad 802.15.4. El equipo se alimenta de la red eléctrica y debe tener acceso cableado a un Access Point de WiFi para cubrir la distancia apropiada. El software embebido en el Gateway permite que los datos provenientes de la red de sensores, sean transmitidos hasta la computadora que alberga el software servidor. También posee funciones de recuperación ya que gracias al uso de una memoria no volátil es posible almacenar hasta mil muestras de sensado en caso de que ocurra un problema de conectividad en el área de Red Local. Dispone de una

interfaz serial para depuración y configuraciones de manera que sea posible administrarlo e instalarlo en sitio.

Sondas de temperatura

Se diseñó un sistema de sonda de temperatura basadas en dispositivos sensores integrados de silicio, junto con un microcontrolador de gama baja por cada sonda. La comunicación entre sonda y mote se realiza utilizando un protocolo serial de cable único basado en el protocolo ASCII SDI-12 [27]. Esta implementación permite conectar varias sondas en el mismo bus, incrementando la resolución espacial por mote a un bajo costo. Cada sonda se identifica mediante una etiqueta única en el bus SDI.

Se realizaron ensayos de calibración para determinar la ecuación de corrección para cada sonda, esta ecuación está asociada a cada sonda en el equipo servidor y el software adecuado, de esta manera, es posible realizar correcciones en línea y con mínima dificultad.

Ubicación de las sondas y resolución espacial

Se ha optado por el uso de 3 sondas por mote, distribuidas verticalmente sobre la planta, dando lugar a una grilla tridimensional de tres capas con 4 puntos de medición en cada capa.

Se realiza una distribución única vertical en invernáculo con fines de contrastar los ambientes interior / exterior.

Red de sensores

Se desarrolló un prototipo de red basado en la norma IEEE 802.15.4 [28] para las capas física y enlace, y se prefirió el desarrollo propio para las capas superiores de desarrollo propio, tomando como prioridad optimizar la red para bajo consumo energético. El objetivo es por lo tanto disminuir el mantenimiento del sistema. Se diseñó e implementó un sistema de gestión que permite prever y determinar el tiempo de agotamiento de baterías, para ad mote en particular. En esto se usan como parámetros el hardware instalado, tipo de baterías y tipo de mote y el protocolo de administración de la energía utilizado.

Se diseñó un sencillo algoritmo de enrutamiento de datos específico para el prototipo, buscando maximizar el rendimiento energético del sistema y reducir el overhead. El método antedicho, permite minimizar el procesamiento necesario por parte del mote y reducir el consumo por la transmisión de paquetes pequeños.

Se implementó y ensayó un protocolo de propagación de sincronismo, determinando la mejor relación entre el bajo consumo y el menor error admisible. Se optó por un esquema centralizado, el cual se resincroniza la red de manera pasiva, habiendo determinado de manera experimental la cantidad mínima de tiempo necesaria entre sincronizaciones sucesivas.

Software de gestión en línea

Se estudiaron casos de aplicación y se realizó un relevamiento de requerimientos para el desarrollo de la interfaz humana y de carácter funcional. La versión

preliminar prototipo del software para los ensayos en campo tiene las siguientes características:

- Backend desarrollado sobre servidor Debian/Linux, base de datos relacional Mysql y tecnologías Java en el servidor web Apache Tomcat.
- Autenticación segura y conexión cifrada.
- Gestión de la conexión TCP/IP con el Gateway de la red de sensores inalámbricos proporcionando información sobre el estado de la conexión.
- Diseño y desarrollo de un protocolo de primitivas para la comunicación con el gateway que comprenden:
 - * información sobre los motes presentes en la red (MAC, dirección corta, cantidad de sensores, dirección SDI-12 del sensor).
 - * actualización del intervalo de muestreo de los sensores.
 - * recepción y pedido de datos a los sensores.

El software ha sido instalado en una computadora que posee conectividad de red local en la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo), mediante la misma se realiza la administración del sistema completo. El acceso a la red de sensores se implementa mediante un enlace WiFi hasta el dispositivo gateway y el acceso a Internet es provisto por la institución antes mencionada.

Formación de Recursos Humanos

Este proyecto de investigación posibilita la colaboración inter-institucional y la ejecución de proyectos conjunto entre grupos I+D de diferentes disciplinas y por lo tanto formar recursos humanos para la proyección académica, científica e industrial de los temas tratados.

En el proyecto participan dos doctorandos con becas ANCYT, un doctorando con beca UTN, dos investigadores graduados con becas BINID UTN y cuatro becarios alumnos con beca UTN

Referencias

- [1] D. Culler and W. Hong, Eds. Special issue on Wireless Sensor Networks. Communications of the ACM, 47(6):pag 30–34, June 2004
- [2] T. Wark, P. Corke, P. Sikka, L. Klingbeil, Y. Guo, C. Crossman, P. Valencia, D. Swain, , y G. Bishop- Hurley. Transforming agriculture through pervasive wireless sensor networks. Pervasive Computing, pags. 50-57, Abril-Junio 2008
- [3] R. Beckwith, D. Teibel, y P. Bowen. Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network. In 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pags. 471-478, November 2004.
- [4] W. Zhang, G. Kantor, y S. Singh. Integrated wireless sensor/actuator networks in an agricultural application. In Proceedings of the 2nd International Conference On Embedded Networked Sensor Systems, pag. 317, 2004.
- [5] N. Wang, N. Zhang, y M. Wang. Wireless sensors in agriculture and food industry recent development and future perspective. Computers and Electronics in Agriculture, 50(1):1{14, Enero 2006.
- [6] Aguirre M, Egea M, Godoy P, Martínez J, Generale S, Mercado G y Robles J, "Nota de Aplicación NA036: Alarma Anti – Robo inalámbrica ZIG BEE con transceiver MC 13192 contenido en módulo de radio (ANT – ZigBee)", Electrocomponentes SRL, Dic 2008.
- [7] G. Mercado, A. Diedrichs y M. Aguirre "The Wireless Embedded Internet", Annals of CASE 2011, ISBN 978-987-9374-69-6, Buenos Aires Marzo 2011
- [8] G. Mercado, R. Borgo, F. Gonzalez Antivilo, G. Ortiz Uriburu, A. Diedrichs, P. Farreras, M. Aguirre, F. Battaglia, G. Tabacchi, S. Tromer, "SIPIA Net: Wireless Sensor Network for Agronomical Research", Anales del WICC 2011. XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, ISBN 978-950-673-892-1, UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, 2011
- [9] J. Martínez, "Leistungsbewertung eines Lokalisierungsalgorithmus in drahtlosen Sensoren", tesina de diplomatura, Technische Universität Dresden - Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik - Institut für Nachrichtentechnik, 2009
- [10] G. Bloch, "Implementierung eines Lokalisierungsalgorithmus in drahtlosen Sensoren", tesina de diplomatura, Technische Universität Dresden - Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik - Institut für Nachrichtentechnik, 2009
- [11] Cambio climático en la Cordillera de los Andes. Dictado por CCT. Característica: curso de posgrado. Participación: asistente. Ing. Agr. Francisco Gonzalez Antivilo - Ing. Agr. Gisela Ortiz Uriburu
- [12] Workshop Ecofisiología de la Vid. Participación como Organizador. MSc Roberto Borgo
- [13] XI Congreso Latinoamericano de viticultura y enología, Tema: "Partición de fotoasimilados, en vides con diferente potencial vegetativo, con afecciones en la relación fuentes/destinos. Autores: Borgo, R; Gonzalez Antivilo, F; Gamboa, D; Cavagnaro, B; Perez Peña, J; Solanes, Lugar: Mendoza, Argentina.
- [14] SeCyT(U.N.Cuyo2007-2009) Tema: Aspectos fisiológicos y manejo de viñedos afectados por granizo. (Roberto Borgo:Co-Director).
- [15] SeCyT (ANPCyT) 2007 "Estudio exploratorio sobre el impacto del Cambio Climático en cultivos agrícolas de la Región Cuyo" del Programa de Recursos naturales, medio ambiente y Prevención de catástrofes (participante por INTA).
- [16] SeCTyP (UNCuyo). 2009/11. Efecto de altas temperaturas, estrés hídrico y ácido abscísico sobre el crecimiento, producción, composición de bayas y de los vinos obtenidos en Vitis vinífera L. cv Malbec
- [17] Proyecto "Estudio del efecto de las altas temperaturas sobre la fisiología y la calidad de uva de Vitis vinifera var Malbec". Doctorando: Ing. Agr. Ortiz Uriburu.
- [18] Proyecto "Mecanismo de resistencia a temperaturas subcero en tejidos leñosos de Vitis vinífera cv Malbec. Doctorando: Ing. Agr. González Antivilo.
- [19] Ajuste de un método colorimétrico para la determinación de almidón en tejidos leñosos (en evaluación Revista Enología).
- [20] GALMARINI, C.R.; R. BORGIO; J. GAVIOLA y R.M. TIZIO. 1988. "Efecto del ácido giberélico (AG3) sobre la producción de semillas de zanahoria (Daucus

- carota L.) cv. Flackkeé. I- Efecto de diferentes concentraciones y épocas de aplicación sobre la duración del ciclo vegetativo, rendimiento y calidad de semilla.
- [21] BORGIO, R.; O.M.S. de FERNANDEZ; J.B. CAVAGNARO y G. ESTEVEZ 1992. "DESCANUTADO: Comentarios sobre posibles causas de la disparidad de resultados experimentales". INFORAJIO Suplemento 1 setiembre-diciembre 1992.
- [22] MAKUCH, M.A. y R. BORGIO. 1994 "Influencia del estado de madurez y almacenamiento de frutos de Cucurbita moschata (Dutch.) cv Paquito-INTA, sobre la calidad de la semilla". Revista RIA, Vol 25 (1): 97-106.
- [23] STAHLSHMIDT, O.M.; J.B. CAVAGNARO y R. BORGIO. 1994. "Influence of planting date and seed cloves size on leaf area and yield of two garlic cultivars (*Allium sativum* L.)". In Proceedings of the International Symposium on Edible Alliaceae ACTA HORTICULTURAE Nro 433 519-527. 1998
- [24] STAHLSCHMID, O.M.; J.B.CAVAGNARO y R. BORGIO" Growth- analysis of three garlic (*Allium sativum* L.) cultivars with differences in yield". Agosto 1994. In Proceedings of the International Symposium on Edible Alliaceae ACTA HORTICULTURAE Nro 433 427-435. 1998
- [25] CAVAGNARO, J.B.; O.M. STAHLSHMIDT, y R. BORGIO Leaf area and assimilate partitioning as determinants of yield in three garlic cultivars (*Allium sativum* L.). En fase de Publicación SCIENTIAE HORTICULTURAE (1999).
- VALENTINE AJ, MORTIMER PE, LINTNAAR M, BORGIO R (2006) Photosynthetic and nutritional responses of drought stressed arbuscular mycorrhizal grapevines. SYMBIOSIS JOURNAL Vol. 41, No. 3 (2006), pp. 127-134
- [26] Rabbit Semiconductors <http://www.digi.com>
- [27] SDI-12 Support Group <http://www.sdi-12.org/>
- [28] IEEE 802.15 Working Group for WPAN. <http://www.ieee802.org/15/>