

Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agroindustria

J. Cedeño | M. Zambrano | C. Medina

Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá
{juan.cedeno2, maytee.zambrano, carlos.medina}@utp.ac.pa

Resumen: Una red de sensores inalámbrica permite medir ciertos parámetros y cambios en características físicas como la temperatura y la humedad, así como también controlar, de cierta forma, estos parámetros con el fin de mejorar y facilitar el manejo de cualquier actividad a la que sean aplicadas, entre ellas, la agroindustria. Una de las grandes limitantes en estas redes son sus fuentes de energía, ya que los sensores deben ser dispositivos pequeños, por lo que existe un gran interés en buscar técnicas para el uso eficiente de la energía, uso de energías renovables como medio de alimentación en los sensores y aplicación del muestreo compresivo, el cual permite obtener suficiente información utilizando menos sensores que con los métodos convencionales. Otras tecnologías como los bio-sensores, también pueden ser aplicadas para mejorar el uso de las redes de sensores en la agroindustria. En este artículo se ilustra como estas tecnologías presentan ventajas para diseñar o modificar sistemas de forma que resulten más eficientes y menos costosos, lo que mejoraría la producción agrícola y facilitaría cubrir la gran demanda alimenticia en la actualidad.

Palabras Claves: muestreo compresivo, WSN, eficiencia energética, agroindustria.

Title: Efficient wireless sensor networks for agroindustry

Abstract: A Wireless Sensor Network allows us to measure some changes in physical parameters like temperature and moisture, as well as control them in certain way, so they can improve the efficiency of any activity where applied, as is the case of agroindustry. One of the main constraints of these networks is their power source, because sensors must be small devices, so scientist are interested in methods for efficient use of energy, use of renewable energy as the sensors energy source and use of compressed sensing, which allows to obtain enough information using a lot less active sensors compared to traditional methods. Other technologies like biosensors can be used to improve the use of sensor networks in agroindustry. In this article we illustrate the advantages of these techniques to design and modify systems in order for them to be less expensive and more efficient, improving farming and helping to supply the actual high food demand.

Key words: Compressed sensing, WSN, energy efficiency, agroindustry

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 17 de septiembre de 2014

Fecha de aceptación: 8 de noviembre de 2014

1. Introducción

La agricultura supone una de las más importantes actividades económicas para el desarrollo de las naciones, ya que promueve el desarrollo económico y social. Poco a poco ha ido incrementando su valor gracias a la inclusión de equipos y técnicas que se han desarrollado para facilitar la siembra, riego y cultivo de los sembradíos, pero siguen siendo las personas las encargadas de velar por el estado de cada plantación y así evitar pérdidas mayores. Las redes inalámbricas de sensores WSN (Wireless sensor networks) han demostrado ser una herramienta útil para diversas aplicaciones, entre las cuales está la agricultura, ya que a grande y pequeña escala permiten monitorear, controlar y mantener el estado de cualquier objeto o área muestreada. En un campo de cultivo permitirían monitorear parámetros físicos de cada planta, como la temperatura y la humedad, permitiendo también modificar estos parámetros para mantener el estado ideal de cada planta y obtener el mejor producto final para el consumo humano. Sin embargo, cada uno de estos procedimientos consume cierta cantidad de energía en un sensor, y toda la información recopilada debe ser enviada de forma inalámbrica a un centro colector. El mayor problema energético de estas redes es que cada sensor cuenta con pequeñas baterías de poca duración, por lo que debemos encontrar métodos para reducir ese consumo de energía. Para una aplicación en la agroindustria, se necesitarían miles de sensores, lo que se podría pensar que resultaría en un bajo costo-beneficio, además de resultar difícil de monitorear por lo tedioso de la colocación y extracción de cada sensor durante cada temporada de cultivo y cosecha. Han surgido diversas ideas con el fin de mejorar la aplicación de WSN en la agroindustria, entre las que se encuentra el muestreo compresivo. Esta técnica de procesamiento de señales podría reducir la cantidad de sensores activos necesarios para monitorear una determinada área, lo que se traduce en menos información y menos tiempo de transmisión y recepción, lo que a su vez reduce el consumo de energía. El objetivo primordial de este artículo es presentar las ventajas de utilizar la tecnología de WSN vía censado compresivo conjuntamente con otras tecnologías como biosensores y mostrar como en su conjunto ambas tecnologías pueden dar resultados favorables en el campo de la agroindustria. Además, se indican las ventajas del avance de la tecnología en los sensores, específicamente en los biosensores. Este artículo en la Sección 2 presenta las nuevas tecnologías de redes inalámbricas y transmisión de datos utilizadas en la agroindustria y sus ventajas. En la Sección 3 se plantean ciertas aplicaciones ligadas con la agroindustria para las WSN. En la Sección 4 se realiza un enfoque en la técnica de CS aplicada a la agroindustria, en la Sección 5 se explica el concepto de bio-sensores y su utilidad en la agricultura y finalmente en la Sección 6 se indican algunas conclusiones y líneas futuras de trabajo en este tema.

2. La tecnología en la agroindustria

La agroindustria, al igual que otras áreas de producción, se ha visto impactada por el amplio uso de tecnologías, entre ellas las WSN, que buscan mejorar la eficiencia en la producción agrícola mediante el reemplazo de la mano de obra por tecnología electrónica y automatizada para ciertas labores. Utilizando estas tecnologías, por ejemplo, el tiempo de inspección, cosecha o siembra en un campo agrícola se puede reducir considerablemente, además que se evita el agotamiento de los trabajadores, ya que se pueden monitorear cultivos a grandes distancias utilizando las ventajas de una WSN. Un ejemplo de esto se tiene en [1] donde se documenta el uso de las WSN para desplegar sensores cerca de cada planta en un maizal, y tomar mediciones de humedad del suelo, temperatura, iluminación y humectación de las hojas. También se organiza la red de tal manera que puedan hacerse mapas de temperatura del campo para combatir plagas, y también determinar y controlar el sistema de riego. Los sensores toman mediciones cada minuto y se aprovecha la energía evitando tener información en tiempo real. La implementación de esta red es poco costosa ya que cada sensor tiene un valor de un dólar, lo que permite ser accesible para cualquier tipo de aplicación en el campo y en todo tipo de cultivos. La tecnología utilizada es llamada LOFAR (Low Frequency Array) para lograr lo que se denomina agricultura de precisión. Un esquema de la red es mostrada en la Figura 1.

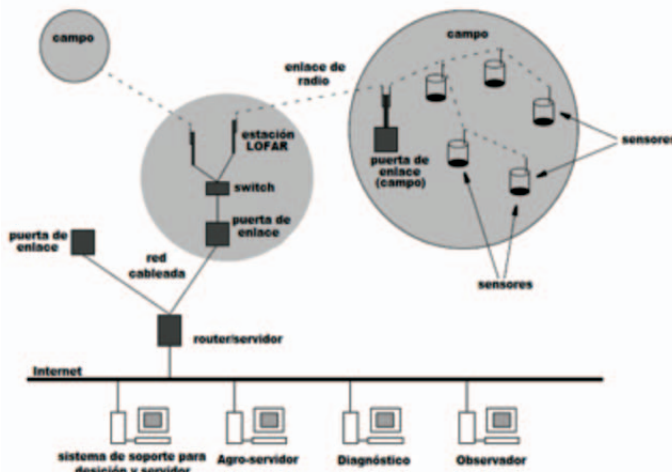


Figura 1. Esquema de LOFAR WSN para la agricultura de precisión.

*Figura modificada de la versión original, traducida al español [1]

Las WSN tienen diversas aplicaciones para la agricultura como lo son: medición de las condiciones climáticas, irrigación inteligente, monitorización y control de plagas, agricultura de precisión, entre otras. Un estudio de ciertas ventajas que tienen las WSN, así como algunos problemas que trae su uso se presenta en [2]. Entre las ventajas que mencionan están:

- Irrigación: permite el aprovechamiento de lugares con escasos recursos de agua controlando el riego mediante las WSN.
- Fertilización: se puede automatizar el proceso de dispersión de fertilizadores (cantidad, tiempo, lugar, etc.) para aprovechar el uso

de la tierra, afectando el crecimiento de las plantas y su calidad.

- Control de plagas: en el artículo se menciona la implementación actual de las WSN para el control de plagas y hongos dañinos. Esto mejora a reducir enfermedades en las plantas modificando las condiciones del ambiente en ciertas aplicaciones para que sean apropiadas para la planta.
- Monitoreo de animales y pasto: mediante sensores GPS, que se pueden considerar como WSN a gran escala, se monitorea posición de animales, control de los límites de terrenos mediante emisión de sonidos alertando al animal de ellos. Al igual que con otras plantaciones se puede utilizar para el monitoreo de pasto.
- Invernaderos: ya que se trata de ambientes cerrados, se puede modificar temperatura del aire, intensidad de la luz, humedad y temperatura de la tierra.

En [3] se introduce el concepto de agricultura de precisión (PA – Precision Agriculture), mostrando todas las ventajas que trae consigo una forma de cultivo controlada, manejando la aplicación de semillas y sustancias químicas como fertilizantes y pesticidas solo donde sean necesarios y en la cantidad adecuada, lo que es beneficioso para el ambiente y la salud de los consumidores, además de generar ahorros económicos a los productores, menos pérdidas debido al mal uso de pesticidas, y la reducción de la resistencia de las plantas a estos químicos.

Otra aplicación práctica, con resultados experimentales, propuesta en [4] para el monitoreo de invernaderos de melón y repollo, analiza la posibilidad de utilizar esta tecnología a nivel doméstico. Se implementa una pequeña red utilizando redes de área local (LAN) y dispositivos inteligentes como PDAs para acceder a la información. De igual forma que en [2], se presentan los problemas que afronta una WSN al ser aplicadas en la agroindustria.

En general, el principal problema de las WSN es el consumo de energía, ya que en una red inalámbrica cada dispositivo debe tener una fuente de energía portátil o baterías, que le permitan realizar todos los procesos de adquisición de datos y comunicación que requiere la red. Otra forma de afrontar el problema energético de las WSN en la agroindustria es el uso de energías renovables. Por ejemplo, en [5], se ha estudiado la posibilidad de utilizar la energía eólica para recargar las baterías de los nodos en terreno. Este tipo de energía renovable es un sustituto para la energía solar, ya que a pesar de tener una gran capacidad de generación, para este campo no se necesita una gran cantidad de potencia, por lo que puede reducir los costos y tamaños de los aerogeneradores a lo necesario en los campos de agricultura. Algunos métodos como: baterías recargables, energía cinética, energías renovables y técnicas de procesamiento de datos también son utilizados para mejorar el uso de las baterías. Otro método propuesto es el modo de hibernación, el cual permite a cada sensor apagar los transmisores, los cuales sólo se encienden cuando la información está lista para ser transmitida. El transmisor solo envía cambios en los datos enviados anteriormente, esto reduce en gran cantidad el tamaño de los datos que deben ser enviados, ahorrando energía (transmisión inteligente).

Otro factor importante en la aplicabilidad de las WSN son los sensores, que deben ser resistentes a los efectos climatológicos y

de pequeño tamaño para su fácil despliegue en el campo de trabajo. Además, se deben colocar de tal forma que cubran todo el área de estudio, y se debe encontrar la distancia óptima entre cada sensor para no tener fallas ni desconexiones dentro de la red. El avance de la tecnología ha hecho posible la disminución en tamaño de los sensores y el aumento de funciones añadidas a estos, lo cual facilita su aplicabilidad en la agroindustria.

La WSN exhibe una ventaja primordial, y es que permite la interconexión y cooperación entre los dispositivos, y esto permite el diseño en diferentes topologías de red y comunicación multi-saltos. Estas topologías reducen en gran medida ciertos parámetros como ancho de banda y la energía utilizada por cada sensor. Estudios presentados en [6] demuestran que ante otras tecnologías ZigBee (estándar de la IEEE 802.15.4) es el mejor estándar para el monitoreo de la agricultura e industria alimentaria por el bajo consumo de potencia para aplicaciones a gran escala. El estándar ZigBee para la comunicación inalámbrica de una WSN permite prolongar el tiempo de vida de las baterías en los dispositivos sensores, además de soportar distintas topologías permitiendo miles de nodos sensores. Al tener en cuenta estas características no hay duda de que este estándar es ideal para aplicaciones agroindustriales.

3. Aplicaciones de WSN en la agroindustria

Ya mencionadas anteriormente, las WSN en la agroindustria traen consigo muchas ventajas que las hacen una propuesta viable para cualquier tipo de procedimiento agrícola. Las aplicaciones para WSN en el área agroindustrial pueden clasificarse como en [7]: el sector agrícola, medioambiente, salud e industria. Esta clasificación la basan en factores como cómputo requerido, tamaño de memoria, tamaño de la red, ancho de banda, ubicación en los nodos, etc. La orientación principal de agricultura de precisión es el monitoreo de especies, tanto vegetal como animal, monitoreo de productos agrícolas relacionado con la logística de los mismos, automatización de cultivos, predicción de cosechas etc. de agricultura de precisión, que involucran el control y medición de toda práctica agrícola. Por ejemplo en [7] se presenta un estudio para combatir la fitóftora en los cultivos de papa se realizó a partir de 100 nodos sensores, además de un análisis de condiciones de temperatura, salinidad y humedad de suelo en los cultivos de repollo. De igual forma se presenta un ejemplo con un cultivo de champiñones, donde se determinó que la topología de estrella resulta de gran ayuda para cubrir espacialmente un cultivo. Estos estudios arrojan resultados importantes de control de riego de fungicidas. En especial se determinó la reducción de la cobertura de los dispositivos de comunicaciones debido al crecimiento de los cultivos, por lo que se implementaron métodos para controlarlo de manera efectiva en ciertos cultivos.

Las WSN pueden ser implementadas para estudiar el impacto del uso de los suelos y los cambios que esto trae en ecosistemas áridos [8]. El objetivo es poder brindarle al productor una forma eficiente y viable de mantener los cultivos en donde se puede evitar el desgaste del suelo y por ende que se convierte en un terreno árido e insostenible. De esta manera se logra analizar los suelos y así poder implementar distintas políticas de uso de suelo que hagan la actividad

agrícola una actividad sostenible.

De igual forma se puede utilizar de tecnología como GSM para la comunicación y monitoreo remoto desde un dispositivo móvil de campos agrícolas, como por ejemplo el expuesto en [9] para cultivos de maíz. El modelo en [9] es diseñado e implementado con el propósito de estudiar distinta situaciones ambientales evitando la exposición de trabajadores en el campo, por lo que se reducen los efectos secundarios del trabajador en la agroindustria, como daños causados por la radiación solar, condiciones climatológicas, etc.

Una aplicación un poco más compleja es el monitoreo del comportamiento animal utilizando una WSN geo-referenciada como el estudio en [10] basado en GPS. Específicamente en la cría de todo tipo de ganado mediante la colocación de collares GPS que permitan monitorear en todo momento el comportamiento animal y su interacción con el ambiente. Utilizando imágenes satelitales se puede lograr obtener información muy importante y de forma eficaz sobre la localización, por ejemplo, de todas las reses en un terreno. Esto traería un impacto en el costo y calidad de vida del personal dedicado a esta actividad ya que de forma remota puede obtener información necesaria sin tener que ir personalmente al terreno. Las complicaciones en esta aplicación surgen desde el punto de vista de las comunicaciones, ya que si se desea ver esta implementación como una gran WSN utilizando satélites y receptores GPS, involucraría costos elevados, así que valdría la pena tomar otras consideraciones para poder tener un sistema dinámico pero efectivo y fiable. Otros obstáculos como las fuentes de energía, rango de detección de los sensores y sincronización, de igual forma podrían afectar este tipo de implementaciones. La integración de una WSN con el sistema GPS, donde se puede utilizar una red en el terreno podría ser utilizada desde otra perspectiva como marcar puntos limitantes del terreno para evitar pérdidas de los animales, detección de proximidad para estudiar de mejor manera el comportamiento de cada uno de ellos, etc.

4. CS para las WSN en la agroindustria

Una WSN se compone de muchos sensores, transmisores y receptores inalámbricos desplegados en un área determinada que deben enviar y recibir la información de manera efectiva y sin pérdidas de datos. Al estudiar una WSN en la agroindustria, vemos que su principal y mayor limitante es el consumo de energía. En [11] se hace énfasis en que un dispositivo sensor puede consumir igual o más energía en el proceso de muestreo, comparado con los demás procesos de procesamiento y transmisión de datos. Todos estos problemas energéticos pueden ser afrontados mediante técnicas de procesamiento de datos y mejoras en los métodos de transmisión. Así, el muestreo compresivo se presenta como un método de reducción del consumo de energía en el proceso de obtención de la información por parte del sensor. En [11,12] se presenta un análisis experimental de distintos dispositivos utilizados y su comparación con el resto de los procesos llevados a cabo en una WSN. El muestreo compresivo permite adquirir información con menos muestras que los sistemas tradicionales (basados en la razón de Nyquist) lo que ahorra tiempo de procesamiento y consumo de energía. El requerimiento para poder implementar muestreo compresivo es que la información captada

debe ser esparza en algún dominio. En [11] se ilustran diversas aplicaciones como mediciones de temperatura, sismos y CO₂, donde las señales se pueden representar de forma esparza, por lo que son compresibles, permitiendo usar CS en forma efectiva. Como resultado se logran ahorros en los procesos de muestreo y consumo de energía. CS se vale de algoritmos de optimización para reconstruir la información a partir de la poca información recolectada. Esta reconstrucción es eficaz, fiable y se utilizan mucho menos sensores activos y por lo tanto hay un menor consumo de energía [11,12].

5. Bio-sensores en la agroindustria

Un bio-sensor es una combinación de una parte biológicamente sensible con un sistema electrónico, de modo que la reacción de reconocimiento molecular que tiene lugar en la parte biológica se traduce en señal eléctrica que luego es amplificada, procesada y convertida en la forma deseada en el sistema electrónico. Estos sensores poseen un mercado establecido y creciente en laboratorios analíticos y clínicos, en procesos tecnológicos industriales, en tecnología militar y aeronáutica, en la terapia médica "in vivo" (monitoreo de pacientes), la agricultura, y el monitoreo y control del medio ambiente, en el control de la fermentación y en el análisis de los alimentos [13]. Específicamente sus usos pueden extenderse a aplicaciones como el estudio de maduración de frutos, estudios de contaminación y monitoreo de procesos de fermentación, detección de bacterias o parásitos [14,15]. En la agricultura además de un elemento de medición y muestreo, un bio-sensor puede representar un elemento fertilizante de la planta, o un elemento totalmente biodegradable para evitar su recolección una vez se alcance la época de cosecha de un cultivo.

La utilización de bio-sensores en la agroindustria incorporados dentro de una WSN eficiente en donde este dispositivo pueda ser integrado al crecimiento de la planta o animal, y que a pesar de ser un proceso invasivo sea beneficioso en residuos minerales al producto final. Otro beneficio que ofrece es no tener que retirar de la planta o animal el sensor después del proceso de monitoreo, medición o aplicación de medicación.

6. Consideraciones finales

Todas las técnicas descritas describen tecnologías y métodos aplicados a las WSN en la agroindustria. Una de las grandes ventajas de redes WSN es su fácil implementación e instalación y la reconfiguración remota. Por otro lado, la utilización de bio-sensores podría ser beneficiosa desde la perspectiva de que están hechos de materiales minerales que al degradarse pueden ser utilizados como nutrientes y porque no se necesitan retirarse del objeto de estudio.

El crecimiento de la población mundial y las problemáticas asociadas al cambio climático requieren que el mercado de la agroindustria sea eficiente y sostenible. Para esto se necesita que se propongan nuevas aplicaciones innovadoras para la producción agrícola. Una solución podría ser la combinación de la tecnología compresiva aplicada en las redes WSN conjuntamente con sensores o bio-sensores (incluyendo bioMEMs) eficientes que incorporen más funciones con un tamaño apropiado en el sector. Algunas de estas

aplicaciones pueden ser el monitoreo del producto final durante su traslado desde el productor al mercado, sensores desechables de bajo costo para evitar el proceso de recolección de cada uno de ellos en grandes cultivos, sensores aplicables directamente en las plantas, equipos sensores con químicos para alejar plagas, etc. Todas esas aplicaciones ofrecerían ventajas en cuanto a que mejoran la calidad de vida del productor, representan menos costos y mayor eficiencia para el cultivo de alimentos.

Referencias

- [1] A. Baggio, "Wireless sensor networks in precision agriculture". In *ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005)*, Stockholm, Sweden. June, 2005.
- [2] A. Abbasi, N. Islam & Z. Shaikh, "A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture". *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263-270. 2014.
- [3] R. Bongiovanni, J. Lowenber, "Precision Agriculture and Sustainability". In *Precision Agriculture*, 5(4), 359-387, 2004.
- [4] S. Yoo, J. Kim, T. Kim, S. Ahn, J. Sung & D. Kim, "A 2 S: automated agriculture system based on WSN". *IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2007)*, pp. 1-5, June, 2007.
- [5] A. Nayak, G. Prakash & A. Rao, "Harnessing wind energy to power sensor networks for agriculture". *2014 IEEE International Conference on Advances in Energy Conversion Technologies (ICAECT)*, pp. 221-226, January, 2014.
- [6] L. Ruiz-Garcia, L. Lunadei, P. Barreiro & I. Robla, "A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends". *Sensors*, 9(6), 4728-4750. 2009.
- [7] A. Murillo, M. Pen & D. Martínez, "Applications of WSN in health and agriculture". In *Communications Conference (COLCOM), 2012 IEEE Colombian*, pp. 1-6, May, 2012.
- [8] J. Romo-Leon, W. van Leeuwen & A. Castellanos-Villegas, "Using remote sensing tools to assess land use transitions in unsustainable arid agro-ecosystems". *Journal of Arid Environments*, 106, 27-35. 2014.
- [9] N. Sakthipriya, "An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network". *Middle-East Journal of Scientific Research*, 19(11), 1546-1548. 2014.
- [10] R. Handcock, D. Swain, G. Bishop-Hurley, K. Patison, T. Wark, P. Valencia & C. O'Neill, "Monitoring animal behavior and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing". *Sensors*, 9(5), 3586-3603. 2009.
- [11] M. Razzaque, S. Dobson, "Energy-Efficient Sensing in Wireless Sensor Networks Using Compressed Sensing". *Sensors*, 14(2), 2822-2859. 2014.
- [12] F. Fazel, M. Fazel & M. Stojanovic, "Random access compressed sensing for energy-efficient underwater sensor networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(8), pp. 1660-1670, 2011.
- [13] S. Mohanty, E. Kougioukos, "Biosensors: a tutorial review". *Potentials, IEEE*, 25(2), 35-40. 2014.
- [14] Y. Chai, et al. "Design of a surface-scanning coil detector for direct bacteria detection on food surfaces using a magnetoelastic biosensor." *Journal of Applied Physics* 114.10 (2013): 104504.
- [15] S. Li, Y. Li, H. Chen, S. Horikawa, W. Shen, A. Simonian & B. Chin, "Direct detection of *Salmonella typhimurium* on fresh produce using phage-based magnetoelastic biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 26(4), pp. 1313-1319, 2010.