

En qué consisten estas redes y sus principales aplicaciones en las explotaciones agrícolas

Redes de sensores inalámbricos en la agronomía

Durante los últimos años, el uso de redes de sensores inalámbricos se ha extendido de una manera creciente en muchos campos tecnológicos. En general, los sensores captan diversos tipos de señales para ser procesadas, posteriormente, en un ordenador central que permite gestionar o actuar sobre un determinado proceso. Concretamente, las redes de sensores inalámbricos están constituidas por un conjunto de dispositivos autónomos, o nodos de pequeño tamaño, de muy bajo consumo, que permiten una comunicación sin cables. Los sensores se conectan entre sí a través de una red y estos, a su vez, van conectados a un sistema central. Este sistema se encarga de recopilar la información recogida por cada uno de los sensores.

Molina Martínez, J. M¹; Soto Vallés, F²; Jiménez Buendía, M² y Ruiz Canales, A³.

¹ Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia).

² Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia).

³ Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández. Orihuela (Alicante).

Las redes de sensores inalámbricas (WSN, *wireless sensor networks*), inicialmente desarrolladas para usos militares, se han ido extendiendo a otros campos de aplicación y, actualmente, podemos encontrar aplicaciones en diferentes ámbitos de la agronomía: programación de riegos, control de plagas y enfermedades, control de granjas de ganadería de cría, industrias agroalimentarias, automatización de invernaderos, etc. (Proyecto Medwsa, 2009).

Las WSN consisten en un conjunto de dispositivos autónomos, o nodos, de pequeño tamaño, de muy bajo consumo y capaces de una comunicación sin cables, interconectados entre sí a través de una red y a su vez conectados a un sistema central encargado de recopilar la información recogida por cada uno de los sensores. Un tipo de WSN son las WSAN (*wireless sensor and actor networks*), que además de disponer de sensores inalámbricos incluyen actuadores (Proyecto Medusa, 2009).

Los nodos (también conocidos como motes o motas), que utilizan sensores para monitorizar condiciones físicas y ambientales (denominados nodos de medida o nodos sensores), son distribuidos geográficamente en los lugares estratégicos donde se pretende llevar a cabo la medida. Estos nodos de medida se comunican de forma inalámbrica con un dispositivo central (denominado, pasarela o *gateway*), el cual proporciona una conexión al entorno cableado (estación base, constituida por un ordenador o sistema embebido)



donde se pueden adquirir, procesar, analizar y presentar los datos. Para incrementar la distancia y la fiabilidad en una red de sensores inalámbrica, se pueden usar nodos enrutadores para lograr un enlace de comunicación adicional entre los nodos finales y el gateway.

Actualmente, los nodos integran un procesador, una pequeña memoria, sensores y comunicación inalámbrica. Al estar dotados con un procesador, estos nodos son capaces de llevar a cabo ciertas tareas de computación locales sobre los datos adquiridos, lo que supone una reducción del tráfico a través de la red y una descarga de trabajo al computador central.

Cuando se produce un evento (toma de medidas o cualquier actividad programada), los nodos envían la información a través de la red, hasta llegar a un sistema central de control que recoge los datos y los evalúa. Según los resultados obtenidos en dicha evaluación se ejecutarán una serie de acciones. También es posible programar acciones simples de modo local a un nodo o grupo de nodos.

Elementos del sistema WSN

Los elementos que, de forma general, componen una WSN son:

- ▶ Sensores. Toman información del medio y la convierten en señales eléctricas.
- ▶ Nodos de medida o nodos sensores. Adquieren los datos del sensor y los envían a la estación base. La mayoría de estos nodos también pueden funcionar como enrutadores, permitiendo así la retransmisión de datos de medida desde otros nodos.
- ▶ Pasarelas o *gateways*. Dispositivos que permiten la interconexión entre la red de sensores y otro tipo de red diferente. Generalmente utilizan TCP/IP.
- ▶ Estación base o *stargate*. Se encarga de adquirir, procesar, analizar y presentar los datos. Puede ser un ordenador o un sistema embebido.
- ▶ Red inalámbrica. Red de comunicación sin cables. Típicamente basada en el estándar 802.15.4-ZigBee (ZigBee, 2009).

Los nodos sensores contienen varios componentes: radio, batería, microcontrolador, circuito analógico e interfaz de sensor (figura 1). Para aumentar la duración de la batería, la radio y el procesador de un nodo WSN deben consumir poca energía y ser capaces de encenderse y apagarse de modo eficiente. Ello obliga a utilizar procesadores de baja velocidad. Dependiendo del procesador utilizado, el consumo de potencia en modo *sleep* puede variar desde 1 a 50 μ W, mientras que en modo de encendido el consumo puede ser desde 8 a 500 mW.

En el mercado podemos encontrar nodos sensores con canales para adquirir señales de sensores analógicos, termopares y con canales digitales E/S (NI, 2009).

Los nodos sensores que podemos encontrar en el mercado no disponen de interfaz para el protocolo SDI-12 (Serial Data Interface-1200 baud) (SI-12, 2009). Dicho interfaz se está extendiendo a la mayoría de sensores utilizados en Agronomía. Para dar solución a esta necesidad, en la Universidad



Kverneland Group Ibérica S.A.
 Zona Franca, Sector C, Calle F nº28
 08040 Barcelona
 Tel.: 93.264.90.50 Fax: 93.336.19.63
 E-mail: kv.iberica@kvernelandgroup.com

UNA GAMA COMPLETA DE PRODUCTOS

Politécnica de Cartagena se han desarrollado nodos sensores que permiten conectar sensores con dicho protocolo (López et al., 2009).

Tipos de arquitecturas WSN

Según la distribución espacial de las comunicaciones entre los nodos de una WSN se pueden distinguir dos tipos principales de arquitecturas. (Meseguer, 2007).

Arquitectura centralizada

En este tipo de arquitectura los nodos sensores envían sus datos directamente a la pasarela más cercana, que dirige el tráfico de esta red en concreto. Esta arquitectura plantea dos grandes problemas: la posibilidad de que se produzca un cuello de botella en las pasarelas y mayor consumo de energía. Como resultado, el tiempo de vida de la red será relativamente corto.

Arquitectura distribuida

Los nodos sensores se comunican entre sus nodos vecinos y cooperan entre ellos ejecutando algoritmos distribuidos para obtener una única respuesta global, que un nodo conocido como *cluster head* se encargará de comunicar a la estación base a través de las pasarelas pertinentes. Esta arquitectura evita los problemas que planteaba la arquitectura centralizada y, además, mantiene las características que se trataron anteriormente.

Comunicación inalámbrica

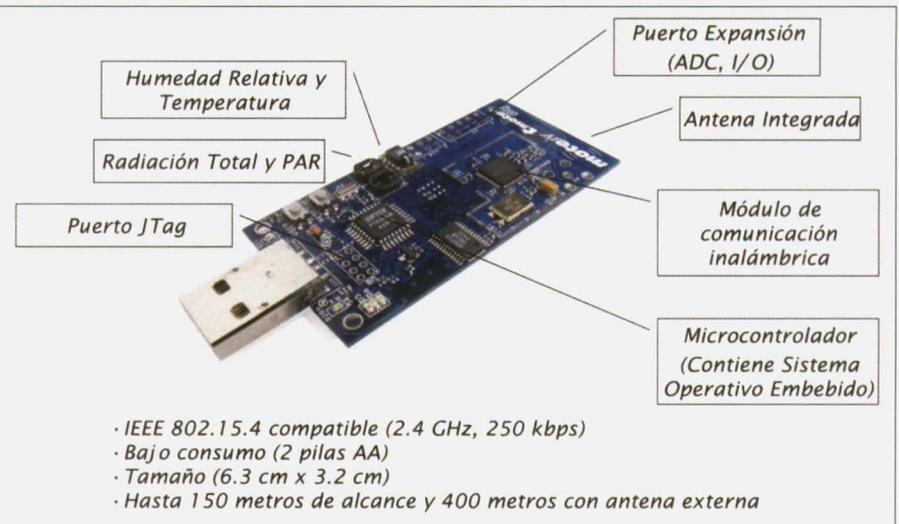
El enrutamiento consiste en determinar por dónde y cómo se enviarán los datos dentro de la red inalámbrica. Para ello se utilizarán algoritmos que sean capaces de calcular las rutas de transmisión de datos que minimicen el consumo de energía. La elección del camino determina y condiciona que topología de red se utilizará.

Topologías de red

La forma de realizar el enrutamiento da origen a distintos tipos de topologías (figura 2):

- ▶ Estrella. Es la topología más sencilla y utilizada, en la cual cada nodo mantiene una sola trayectoria de comunicación directa con el *gateway* y viceversa. La cantidad de tráfico que deberá soportar el *gateway* es grande, y aumentará a medida que se

Ejemplo de constitución de un nodo sensor (WiseConn).



agreguen más nodos sensores, lo que la hace poco recomendable para redes de gran tamaño. Además, un fallo en el *gateway* puede dejar inoperante a toda la red. También presenta como inconveniente que restringe la distancia total que la red puede alcanzar.

- ▶ Cluster, árbol o jerárquica. Para aumentar el área que una red puede cubrir, se puede implementar una topología de *cluster* o árbol. En esta arquitectura, cada nodo mantiene una sola trayectoria de comunicación directa al *gateway* pero puede usar otros nodos para encaminar sus datos dentro de esa trayectoria. Esta topología tiene un problema: si el nodo enrutador falla, todos los nodos que dependen de éste también pierden sus trayectorias de comunicación con el *gateway*. En esta topología jerárquica cada nodo en la red posee un padre y éste a su vez un padre, hasta llegar al nodo central.
- ▶ Malla. Esta topología soluciona el problema de la topología de árbol al usar trayectorias de comunicación redundante para aumentar la fiabilidad del sistema. En una red de malla, los nodos mantienen múltiples trayectorias de comunicación al *gateway*, así, si el nodo enrutador falla, la red automáticamente encamina los datos a través de una trayectoria diferente. La topología de malla, aunque es muy confiable, sufre de incremento de latencia de red ya que los datos deben hacer múltiples saltos antes de llegar al *gateway*. Es la to-

pología más compleja y de mayor gasto computacional, ya que cada nodo debe tener una tabla con las posibles rutas hacia los demás nodos. La sincronización para un uso mínimo de energía es más complicada. Este tipo de redes está enfocado a aplicaciones en donde los nodos tienen que comunicarse con cualquier otro de la red y compartir datos.

Tipos de encaminamiento

Las técnicas de encaminamiento (*routing*) se clasifican según el flujo de datos, en las siguientes categorías:

- ▶ Diseminación. Los datos fluyen desde el *gateway* hacia los nodos sensores.
- ▶ Recolección. Desde los nodos sensores hacia el *gateway*.
- ▶ Punto a punto. Desde un nodo a otro cualquiera de la red.

Protocolo ZigBee

Los sistemas WSN están basados en protocolos ZigBee o IEEE 802.15.4 debido a su bajo consumo de potencia, proporcionando, para la mayoría de aplicaciones, una duración de la batería de varios años. ZigBee es el estándar de la norma IEEE 802.15.4 que define el protocolo y la interconexión de dispositivos con comunicación vía radio para redes de área personal inalámbricas.

ZigBee opera en las bandas libres de los 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz con una velocidad de transmisión de datos hasta 250 kb/s. El rango

de transmisión puede superar los 100 metros, dependiendo de la potencia de transmisión y del entorno. Se emplea en aplicaciones con bajas tasas de datos y bajo consumo de potencia.

Además de los requerimientos de larga duración, se debe considerar el tamaño, peso y disponibilidad de las baterías. El bajo costo y la amplia disponibilidad de las baterías de zinc-carbono y alcalinas las hace una opción muy común. Las técnicas para recolección de energía también se están volviendo más frecuentes en redes de sensores inalámbricas. La utilización de dispositivos que emplean celdas solares o colectan calor del ambiente como apoyo puede prolongar la autonomía de los nodos y reducir el tamaño o número de baterías necesarias.

Aplicaciones WSN para la agronomía

Las WSN pueden utilizar distintos tipos de sensores (temperatura, humedad, radiación solar, velocidad del viento, conductividad eléctrica,

presencia o ausencia de objetos, etc.), los cuales permiten monitorizar una gran cantidad de condiciones ambientales y procesos. Además, los nodos sensores pueden adoptar diversas formas de trabajo: pueden actuar en modo continuo, por detección de eventos, por identificación de eventos, toma de datos localizados o como control local de actuadores, abriendo su abanico de aplicaciones para ofrecer soluciones a las necesidades que se plantean en agronomía. En los siguientes epígrafes se muestran algunas aplicaciones de las WSN en agronomía.

Riego de cultivos

Las redes de sensores inalámbricos se utilizan en cultivos hortícolas para lograr una optimización del uso del agua.

Para introducir este tipo gestión utilizan do WSN, (López Riquelme *et al.* 2009), se dispone de tres subredes (**figura 3**), cada una de las cuales se encarga de medir diferentes parámetros, en diferentes medios. La primera subred está formada por cuatro no-

dos (motes-tierra). Cada uno de estos motes contiene dos sensores Hydra Probe II, ubicados a diferentes profundidades (20 y 40 cm). Con estos sensores se pueden medir diversas características del suelo (temperatura, humedad, etc.).

La segunda de las subredes está formada única y exclusivamente por un mote, recibiendo éste el nombre de mote-agua. Dicho mote se sitúa en un pantano con el objetivo de medir la conductividad eléctrica del agua y la temperatura, para así poder determinar la calidad del agua con que se abastece al pantano.

La tercera y última de las subredes se compone de cuatro nodos, llamados motes temperatura-humedad. Como su nombre indica, cada uno de los motes situados en puntos estratégicos del terreno, tomarán medidas periódicamente de la temperatura y de la humedad relativa del ambiente.

Las tres subredes descritas anteriormente están separadas entre sí y del ordenador central varios kilómetros siendo necesario asegu-

NOVEDAD CUBA 3.000 LITROS

Fructair

100% buenas prácticas

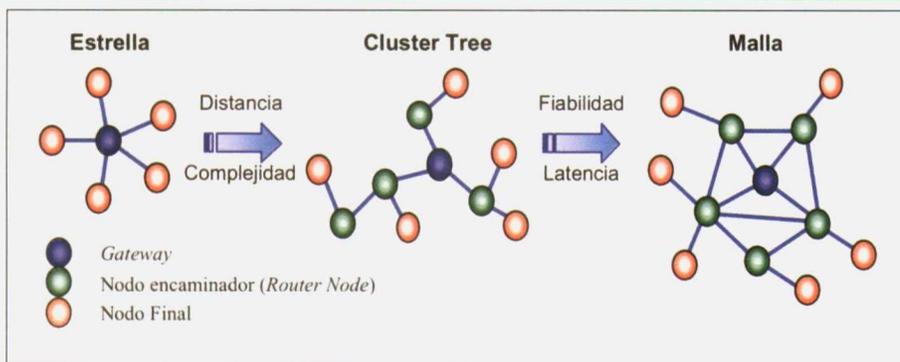
- Diseño ultra compacto que reúne facilidad de manejo y robustez.
- Equipamiento completo para una ergonomía máxima, seguridad y confort de utilización : tolva de incorporación, panel Berlogic...
- Nueva generación de ventiladores con aspiración trasera o invertida.
- 100% Buenas Prácticas : nuevo indicador de nivel, volumen residual mínimo, enjuague del circuito con agua limpia...

BERTHOUD®

LA TERRE NIKO - Crédit photo : Jean-Paul Bonincontro - 12/07

FIGURA 2.

Topologías de Red WSN.



rar la cobertura inalámbrica del despliegue completo. Para ello se han desarrollado motes gateway que incluyen módulos de larga distancia actuando alguno de ellos como repetidor de mensajes procedentes de los cuatro nodos que componen cada subred.

Los datos recolectados por los diferentes motes sensores eran analizados en las oficinas y en función de éstos, se planificaban los riegos.

Gestión de la calidad de la producción de uva para vino

Las redes de sensores inalámbricos se utilizan en viñedos para conseguir una homogeneización de la producción de vino. Los sensores son distribuidos por las parcelas para medir los principales parámetros ambientales involucrados en la calidad de la uva: temperatura, humedad y radiación solar. Estos, junto con la velocidad del viento, también permiten determinar la evapotranspiración del cultivo (Allen *et al.*, 1998).

La temperatura juega un papel importante en la producción de vino, principalmente en el mes previo a la maduración. Cuanto menor es la fluctuación de temperaturas alrededor de la media, mejores son las características en cuanto a sabor, aroma y pigmentación para un determinado nivel de maduración. Sin embargo, la utilización de temperaturas por sí solas para discriminar cómo afectan los climas locales al desarrollo de la vid puede conducir a conclusiones desafortunadas (Tonietto y Carboneau, 2004).

La humedad relativa del aire influye en la calidad de la uva, de manera que niveles muy altos o muy bajos afectan negativamente al desarrollo del fruto. Una humedad relativa baja origina un cierre estomático incluso

aunque la humedad del suelo sea suficiente, un aumento en la concentración de potasio en las uvas y, como consecuencia, una disminución de la acidez y, por tanto, de la calidad del mosto (Taylor, 2004).

En términos generales, a mayores niveles de radiación solar, tanto en intensidad como en duración, mayor rendimiento, acidez y/o contenido en azúcares, y menor cantidad de área foliar requerida para el cultivo. Sin embargo, frecuentemente los altos niveles de radiación vienen acompañados de variabilidad térmica y niveles bajos de humedad relativa, por lo que es conveniente un manejo apropiado de la cubierta para evitar la exposición excesiva o deficiente a la radiación solar (Hidalgo, 2002).

Para introducir gestión de cultivos de vid utilizando WSN, Montero *et al.*, 2007, llevaron a cabo, durante la campaña 2006, un diseño experimental que consistió en establecer una red de sensores basada en 22 puntos de muestreo distribuidos en tres niveles de altura: a 10 cm del suelo, sobre la cruz de la cepa (1 m) y por encima de la cubierta vegetal (1,60 m). Este experimento permitió mejorar la gestión del cultivo de la vid.

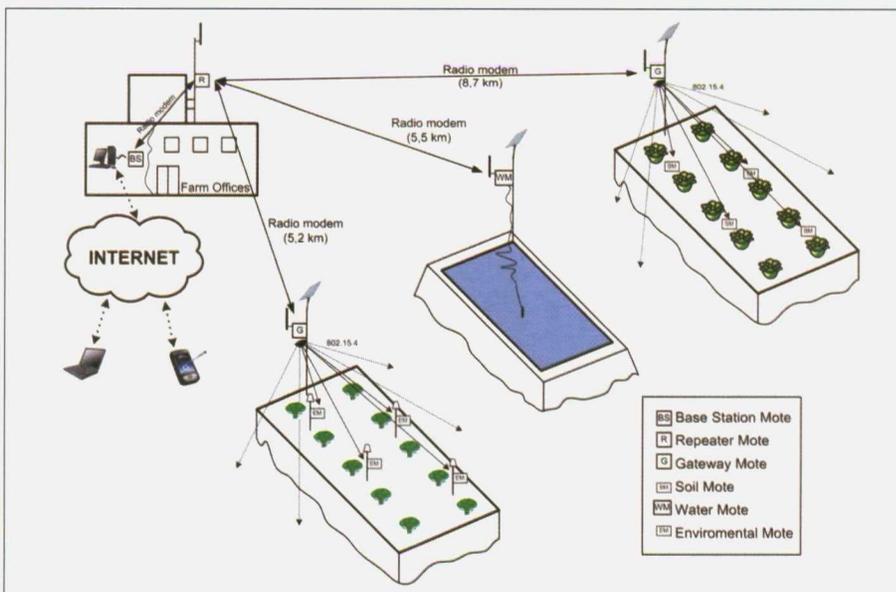
Otro factor importante a tener en cuenta para obtener una producción de uva que permita mantener la misma calidad del vino de un año a otro, es la gestión adecuada del riego y la fertilización. Para ello se pueden utilizar además de sensores de humedad y salinidad del suelo, dendrómetros y radiotermómetros, pero no existen publicaciones que indiquen que, de momento, se estén utilizando redes de sensores inalámbricos que midan estos parámetros en vid.

Otras aplicaciones

Una de las aplicaciones más interesantes de las redes de sensores inalámbricos es el control de plagas y enfermedades. Por medio de sensores estratégicamente situados se pueden monitorizar parámetros tales como la temperatura o la humedad de las hojas, con el fin de detectar rápidamente situaciones adversas y desencadenar los trata-

FIGURA 3.

Red WSN para la gestión del riego en cultivos hortícolas.





Una de las aplicaciones más interesantes de las redes de sensores inalámbricos es el control de plagas y enfermedades, por medio de sensores estratégicamente situados.

mientos apropiados. La gran ventaja del uso de esta tecnología es la detección a tiempo y la aplicación óptima de los pesticidas, únicamente en aquellas zonas donde resulta realmente necesario.

Un sistema WSN es ideal para aplicaciones de monitorización ambiental. Adicionalmente, pueden alertar sobre la llegada de heladas, así como ayudar en el trabajo de las cosechadoras.

También resultan de utilidad para el mantenimiento y cuidado de espacios y parques naturales. Los sensores, de pequeño tamaño, pueden disimularse con el entorno, procesando los datos de diversos parámetros ecológicos y transmitiendo la información de forma inalámbrica hasta un centro de control, situado normalmente en la caseta de los guardias forestales. De este modo, se evita en la medida de lo posible la circulación de personas y vehículos por el parque.

En la ganadería de cría, la red de sensores permite mantener bajo control los parámetros en el interior de las granjas, como temperatura, humedad, intensidad de luz y presencia de gases (especialmente amoníaco NH₃).

La red de sensores inalámbricos también se emplea para flexibilizar la automatización en invernaderos.

Conclusiones y recomendaciones

Los sistemas de medida inalámbricos ofrecen menores costes y mayor flexibilidad que los sistemas cableados de medidas tradicionales.

La agronomía constituye una de las áreas donde se prevé que pueda implantarse con mayor rapidez las redes de sensores inalámbricos, permitiendo una reducción en el consumo de agua y pesticidas, y contribuyendo a la preservación del entorno.

En este artículo se han presentado desarrollos de nuevos montes para constituir redes de sensores inalámbricos para la gestión y programación de riego, consiguiendo un control del crecimiento vegetativo de la planta y una cosecha de óptima calidad uniforme año tras año. ●

Bibliografía ▼

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores que pueden solicitar por e-mail: redaccion@eumedia.es

CABEZALES



CABEZAL DE MAÍZ



CABEZAL DE GIRASOL BANDEJAS

RECOLECCIÓN DE OLIVAR



BUGGY VIBRADOR

RECOGEDORA DE ACEITUNAS CIMA 500

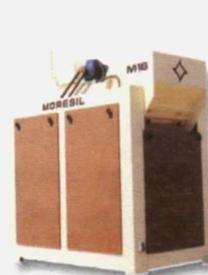


LIMPIEZA CEREALES

M-50



M-16



FÁBRICA:

Ctra. Córdoba - Palma del Río, s/n
14730 Posadas - Córdoba - ESPAÑA
Tel. (+34) 957 630 243
Fax (+34) 957 631 477
e-mail: moresil@moresil.com
web: www.moresil.com