

Resumen

La introducción de soluciones tecnológicas en la agricultura permite reducir el uso de recursos y aumentar la producción de los cultivos. Además, la calidad del agua de riego se puede monitorizar para asegurar la seguridad de los productos para el consumo humano. Sin embargo, la localización remota de la mayoría de los campos presenta un problema para proveer de cobertura inalámbrica a los nodos sensores y actuadores desplegados en los campos y los canales de agua para riego. El trabajo presentado en esta tesis aborda el problema de habilitar la comunicación inalámbrica entre los dispositivos electrónicos desplegados para la monitorización de la calidad del agua y el campo a través de un protocolo de comunicación y arquitectura heterogéneos. La primera parte de esta tesis introduce los sistemas de agricultura de precisión (PA) y la importancia de la monitorización de la calidad del agua y el campo. Asimismo, las tecnologías que permiten la comunicación inalámbrica en sistemas PA y el uso de soluciones alternativas como el internet de las cosas bajo tierra (IoUT) y los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se introducen también. Después, se realiza un análisis en profundidad del estado del arte respecto a los sensores para la monitorización del agua, el campo y las condiciones meteorológicas, así como sobre las tecnologías inalámbricas más empleadas en PA. Además, las tendencias actuales y los desafíos de los sistemas de internet de las cosas (IoT) para riego, incluyendo las soluciones alternativas introducidas anteriormente, han sido abordados en detalle. A continuación, se presenta la arquitectura propuesta para el sistema, la cual incluye las áreas de interés para las actividades de monitorización que incluye las áreas de los canales y el campo. A su vez, la descripción y los algoritmos de operación de los nodos sensores contemplados para cada área son proporcionados. El siguiente capítulo detalla el protocolo de comunicación heterogéneo propuesto, incluyendo los mensajes y alertas del sistema. Adicionalmente, se presenta una nueva topología de árbol para redes híbridas LoRa/WiFi multihop. Las funcionalidades específicas adicionales concebidas para la arquitectura propuesta están descritas en el siguiente capítulo. Éstas incluyen algoritmos de agregación de datos para la topología propuesta, un esquema de las amenazas de seguridad para los sistemas PA, algoritmos de ahorro de energía y tolerancia a fallos, comunicación bajo tierra para IoUT y el uso de drones para adquisición de datos. Después, los resultados de las simulaciones para las soluciones propuestas anteriormente son presentados. Finalmente, se tratan las pruebas realizadas en entornos reales para el protocolo heterogéneo presentado, las diferentes estrategias de despliegue de los nodos empleados, el consumo energético y la función de cuantificación de fruta. Estas pruebas demuestran la validez de la arquitectura y protocolo de comunicación heterogéneos que se han propuesto.