Un dibujo de una cara feliz

Descripción generada automáticamente con confianza baja

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TEMA: “SISTEMA DE MONITOREO DE CULTIVOS DE ARÁNDANOS BASADO EN Wi-SUN FAN MESH NETWORK”**

**Autora: JOHANNA ESTEFANÍA YÉPEZ VÁSQUEZ**

**Director: MSC. EDGAR MAYA**

**IBARRA - ECUADOR**

**2021**

Contenido

[Contenido 2](#_Toc122000635)

[Capítulo I 6](#_Toc122000636)

[Antecedentes 6](#_Toc122000637)

[1.1 Tema 6](#_Toc122000638)

[1.2 Planteamiento del Problema 6](#_Toc122000639)

[1.3 Objetivos de la Investigación 7](#_Toc122000640)

[1.3.1 Objetivo General. 7](#_Toc122000641)

[1.3.2 Objetivos Específicos 7](#_Toc122000642)

[1.4 Alcance 7](#_Toc122000643)

[1.5 Justificación 8](#_Toc122000644)

[Capítulo 2 10](#_Toc122000645)

[Fundamentación Teórica 10](#_Toc122000646)

[2.1 Red de Sensores 10](#_Toc122000647)

[2.1.1 Aplicaciones de WSN 10](#_Toc122000648)

[2.1.2 Problemas de diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN) 11](#_Toc122000649)

[2.2 Tipo de Topología 12](#_Toc122000650)

[2.2.1 Red en estrella 12](#_Toc122000651)

[2.2.2 Red de malla 13](#_Toc122000652)

[2.2.3 Híbrida Estrella - Red de malla 14](#_Toc122000653)

[2.3 Estructura de comunicación de una red de sensores inalámbricos 14](#_Toc122000654)

[2.4 Estándar IEEE 802.15.4 16](#_Toc122000655)

[2.4.1 Descripción General 16](#_Toc122000656)

[2.4.2 Campos del Formato 17](#_Toc122000657)

[2.4.3 Espacios de aplicación especiales 17](#_Toc122000658)

[2.4.4 Componentes de IEEE 802.15.4 WPAN 17](#_Toc122000659)

[2.4.5 Gestión de PHY múltiple (MPM) del SUN WPAN 18](#_Toc122000660)

[2.4.6 Arquitectura 18](#_Toc122000661)

[2.5 RIOT-OS 19](#_Toc122000662)

[2.6 Agricultura de Precisión 21](#_Toc122000663)

[2.6.1 Las ventajas de la agricultura de precisión 21](#_Toc122000664)

[2.6.2 Herramientas de recopilación de datos 22](#_Toc122000665)

[2.6.3 Análisis en agricultura de precisión 22](#_Toc122000666)

[2.7 Cultivo de Arándanos 24](#_Toc122000667)

[2.7.1 Plantación 24](#_Toc122000668)

[2.8 Cloud Computing 26](#_Toc122000669)

[2.8.1 Brokers de MQTT y guía de alojamiento en la nube 26](#_Toc122000670)

[2.8.2 Servidor propio instalado localmente 26](#_Toc122000671)

[2.8.3 Instalar Broker en un servidor virtual 27](#_Toc122000672)

[Capítulo 3 28](#_Toc122000673)

[Diseño de Hardware y Software 28](#_Toc122000674)

[3.1 Introducción 28](#_Toc122000675)

[3.2 Metodología 28](#_Toc122000676)

[3.2.1 Estudio de viabilidad (Feasibility Study) 28](#_Toc122000677)

[3.2.2 Análisis y especificación de requisitos (Requirements analysis and specification) 29](#_Toc122000678)

[3.2.3 Diseño (Design) 29](#_Toc122000679)

[3.2.4 Codificación y pruebas unitarias (Coding and Unit testing) 29](#_Toc122000680)

[3.2.5 Integración y prueba del sistema (Integration and System testing) 29](#_Toc122000681)

[3.2.6 Mantenimiento (Maintenance) 29](#_Toc122000682)

[3.3 Análisis 30](#_Toc122000683)

[3.3.1 Situación Actual del Invernadero 30](#_Toc122000684)

[3.4 Métodos y Técnicas de Investigación 30](#_Toc122000685)

[3.4.1 Método de la Investigación 30](#_Toc122000686)

[3.4.2 Técnica de la Investigación 30](#_Toc122000687)

[3.4.3 Resultados de la Entrevista 31](#_Toc122000688)

[3.5 Descripción General del Sistema 31](#_Toc122000689)

[3.5.1 Red de Sensores 31](#_Toc122000690)

[3.5.2 Centro de Administración 31](#_Toc122000691)

[3.5.3 Alerta y Control 31](#_Toc122000692)

[3.6 Determinación de los Stakeholders 32](#_Toc122000693)

[3.7 Requerimientos para el diseño 32](#_Toc122000694)

[3.7.1 Nomenclatura de requerimientos 32](#_Toc122000695)

[3.7.2 Stakeholders requeridos 33](#_Toc122000696)

[3.7.3 Requerimientos del funcionamiento del sistema 34](#_Toc122000697)

[3.7.4 Requerimientos de Arquitectura 34](#_Toc122000698)

[3.8 Hardware y Software del sistema 35](#_Toc122000699)

[3.8.1 Elección de Hardware 35](#_Toc122000700)

[3.8.2 Elección de Sensores 37](#_Toc122000701)

[3.8.3 Elección de Software 40](#_Toc122000702)

[3.9 Diseño del Prototipo 43](#_Toc122000703)

[3.10 Arquitectura General del Sistema 47](#_Toc122000704)

[3.10.1 Arquitectura de Internet of Things. 47](#_Toc122000705)

[3.11 Plataforma 48](#_Toc122000706)

[3.11.1 Interfaz de monitoreo 48](#_Toc122000707)

[3.11.2 Visualización de datos 48](#_Toc122000708)

[Capítulo 4 49](#_Toc122000709)

[Implementación y Pruebas 49](#_Toc122000710)

[4.1. Pruebas de Sensado 49](#_Toc122000711)

[4.1.1 Pruebas en invernadero 49](#_Toc122000712)

[4.2 Instalación de la Red De Sensores (ejemplo) 49](#_Toc122000713)

[4.2.1 Instalación Nodos Sensores 49](#_Toc122000714)

[4.2.2 Nodo Central 49](#_Toc122000715)

[4.3 Pruebas Previas a la Instalación del Riego por Goteo en Ambientes Diferentes. (ejemplo) 49](#_Toc122000716)

[4.4 Instalación de Riego por Goteo (ejemplo) 49](#_Toc122000717)

[Capítulo 5 50](#_Toc122000718)

[4.5 Conclusiones 50](#_Toc122000719)

[4.6 Recomendaciones 50](#_Toc122000720)

[Bibliografía 51](#_Toc122000721)

[Glosario de Términos 54](#_Toc122000722)

[Anexos (Hojas de Datos/ Código/ Encuesta/ Entrevista) 55](#_Toc122000723)

**Contenido**

Contenido autorización de uso y publicación a favor de la universidad técnica del norte

Constancias

Cesión de derechos de autor del trabajo de grado a favor de la universidad técnica del norte

Certificación

Dedicatoria

Agradecimiento

Contenido Índice de figuras / Índice de tablas/ Índice de ecuaciones

Resumen ejecutivo

Abstract (resumen ejecutivo en inglés)

Introducción

Capítulo I

Antecedentes

* 1. Tema

SISTEMA DE MONITOREO DE CULTIVOS DE ARÁNDANOS BASADO EN Wi-SUN FAN MESH NETWORK

* 1. Planteamiento del Problema

Se han realizado varios estudios dentro de la agricultura que han demostrado que ha media que el tiempo avanza se requiere más producción, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación reveló que para el 2050 se necesitarán más del 50% de la producción agrícola actual. El clima en Ibarra, así como en diferentes ciudades del Ecuador, es constantemente cambiante e impredecible, motivo por el cual es ideal para la producción de Arándanos y de esa forma se produzcan adecuadamente y en su totalidad. La Parroquia San José de Chaltura posee una zona con condiciones agroecológicas, que cuentan con ciertas ventajas climáticas, geográficas a más de la disponibilidad de terrenos para la siembra y vías de acceso en buen estado que la convierte en una zona apta para la producción agrícola, especialmente de arándanos. Por otro lado, debido a las condiciones y propiedades de los arándanos, se requieren muchos cuidados y un estricto control del estado de la planta, para de esa forma obtener una fruta de calidad y sin desperdicio de productos en ella.

Los arándanos son relativamente fáciles de cuidar, siempre y cuando se mantengan en el ambiente adecuado, asegurándose de que el suelo tenga un pH constante de 5,5 o menos, para evitar que las plantas desarrollen clorosis inducida por la cal y la deficiencia de hierro asociada.

En cuanto a la temperatura el arándano es un cultivo que requiere un determinado número de horas-frío (temperatura inferior a 7ºC) para salir de la latencia, que depende de la especie. Para el desarrollo del cultivo del arándano, el rango óptimo de temperatura oscila entre 16-25ºC., finalmente en el cultivo del arándano se requiere de humedad relativa alta. (Jing, y otros, 2017)

Es por eso por lo que con este proyecto se propone el monitoreo de las condiciones de dicho cultivo, censando variables como la temperatura del suelo, el PH del agua y la Humedad Relativa del suelo de dicho cultivo para lograr reducir el desperdicio de arándanos a menores riesgos y gastos, usando nuevas tecnologías como es Wi-SUN que se basa en el estándar IEEE 802.15.4g para la comunicación en recepción y transmisión de los datos, entre los distintos nodos de sensores y los nodos de procesamiento donde se administrará, analizará y monitoreará las condiciones de los cultivos de Arándanos, implementando así una comunicación óptima entre todos los dispositivo y un menor consumo de energía.

* 1. Objetivos de la Investigación
     1. Objetivo General.

Diseñar un sistema de monitoreo de las condiciones del cultivo usando redes de sensores (WSN) basados en Wi-SUN FAN Mesh para permitir el monitoreo los agentes ambientales que se presentan en cada zona de la plantación de Arándanos y se puedan tomar decisiones según sea el caso.

* + 1. Objetivos Específicos
* Definir y recopilar información sobre los agentes que intervienen en el sembrío y cosecha de los Arándanos y el entorno en cada bloque de plantación, pudiendo identificar la mejor ubicación para cada nodo de sensor y la cobertura de los mismos.
* Diseñar el esquema de las redes de sensores que contenga el hardware de monitoreo de todos los parámetros identificados, para que se permita la recolección de la información de cada sensor y activar un sistema de alerta.
* Proponer un software de monitoreo para temperatura del suelo, humedad relativa del suelo, y PH del cultivo de Arándanos en el invernadero utilizando herramientas web que posibilitan el almacenamiento en los datos en la Nube.
* Realizar todas las pruebas de funcionamiento y además analizar todos los indicadores de rendimiento de la arquitectura para demostrar la correcta transmisión y recepción de los datos entre la red de sensores.
  1. Alcance

Para el diseño de este sistema de monitoreo se centrará en obtener los mejores resultados tanto para el cultivo como para los servicios de la red de sensores y lograr el mejor resultado posible en ambas partes. Para ello se utilizará la metodología de Kanban y puede ser aplicada para este caso ya que se presentan situaciones impredecibles en los cultivos de los Arándanos que van a necesitarse revisar y solucionar en ese momento para que sea eficiente el sistema y se cumpla al 100% con los objetivos del mismo. Es por eso que se requieren diferentes fases a cumplir:

En primer lugar, se deberá comprender y analizar todos los factores que afectan a un cultivo de Arándanos y aquellos parámetros que no permiten la producción en su totalidad y de esa forma se pierden muchas plantaciones. Como segundo parámetro se requiere determinar todos los componentes y tecnologías que serán usadas dentro del diseño de la arquitectura, por ello se ha contemplado el uso de la tecnología Wi-SUN para la transmisión y recepción de los datos entre los nodos de comunicación. Se realiza la investigación de nodos compatibles con esta tecnología y que permitan la correcta adaptación al sistema de la manera óptima posible.

El siguiente parámetro es la alerta, una vez analizados los datos se procede a generar una alerta al agricultor o aplicar acciones según sea el caso. Este proceso se lo realiza en la plataforma AWS IoT en donde se procesan los datos y se envía al Servidor Web el cual será montado en la plataforma AWS Cloud generando así las alertas para el cultivo; con la ayuda del sistema el agricultor se recibirá notificaciones cualquier momento informando sobre el posible riesgo en el bloque de cultivo; es decir en la planta, y así se pueda tomar las acciones oportunas dentro del mismo así como sugerencias del mejor momento para fertilizar, además de obtener un registro completo de datos desde la siembra hasta la cosecha y optimizar el uso de fertilizante y recursos hídricos.

Por último, se requerirá analizar todas las métricas de calidad de servicios que comprobarán el funcionamiento así como las KPIs o Indicadores de Clave de Rendimiento que son Throughput, Latencia, Jitter y PER, según la Normativa expuesta en el Estándar IEEE 1900.2 y 1900.1 las cuales se enfocan en bloques de construcción arquitectónicos que permiten la toma de decisiones distribuida por dispositivos de red para el uso optimizado de recursos de radio en redes de acceso inalámbrico heterogéneas. (IEEE, 2019) Además, las basándose en la RFC 2544 la cual expone la metodología de evaluación comparativa para dispositivos de interconexión de red. (Bradner, 1999)

* 1. Justificación

En la búsqueda de un sustento económico y familiar, los agricultores en Chaltura han optado por la producción de Arándanos para la exportación del mismo y obtener beneficios económicos de ello, sin embargo la siembra y cosecha del mismo puede resultar en una inversión bastante alta teniendo en cuenta que requiere mucho cuidado para obtener los el producto en su totalidad y así mismo requiere implementar mucho tiempo para la cosecha del producto, es por estas razones que la mayoría de agricultores tienden a no realizar las plantaciones de Arándanos.

Es por ello que realizar un monitoreo del ambiente en el que se encuentran las plantaciones permite que su crecimiento sea adecuado además de evitar la proliferación de plagas en el cultivo y evadir que las plantas desarrollen clorosis inducida por la cal y la deficiencia de hierro asociada. Para ello se requiere control de temperatura, humedad y PH del suelo teniendo en cuenta todos estos parámetros se necesita también un método eficiente de recolección de estos datos y la transferencia de estos hacia un dispositivo capaz de computar y alertas al agricultor sobre las acciones que debe realizar dentro del cultivo para que no pierda producción del mismo.

Según el objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir el cual establece como prioridad Mejorar la calidad de vida de la población y con el desarrollo de proyectos que mejoren la calidad de los mismo, con el Sistema de Monitoreo y Control se espera mejorar la calidad de los Arándanos siendo cosechados de forma natural con condiciones ambientales adecuadas para dicho proceso estos a su vez mejorarán la calidad de vida de dichos beneficiarios. (República Del Ecuador Consejo Nacional De Planificación, 2013)

Por otro lado, se lleva a realizar este proyecto para el aporte al crecimiento de la economía del agricultor y del país, con la ayuda de tecnologías innovadoras aplicadas al sector agrícola implementando una red de sensores (WSN), motivando a dejar de lado las tecnología o metodologías obsoletas siendo las actuales más eficientes con respecto a la conservación de energía, protección del medio ambiente y optimización de recursos.

Capítulo 2

Fundamentación Teórica

En este capítulo se va a describir los conceptos, características, elementos y diferentes parámetros a tomar en cuenta para el desarrollo de la red de sensores, juntamente con las distintas topologías, en el cual se describirá el objetivo principal del uso del estándar de IEEE 802.15.4 que de la misma forma se presentarán todos sus componentes y características. Para posteriormente señalar todos los conceptos a usarse dentro de la agricultura de precisión, para optimizar la calidad de producción con la ayuda de dispositivos que nos permitan el cumplimiento de dicho objetivo.

* 1. Red de Sensores

Las redes inalámbricas de sensores a lo largo de cada año han ido en incremento y han sido incluidas tanto en el entorno industrial como social; sin embargo, aún existen varios retos de desarrollo para poder garantizar el funcionamiento de ambientes críticos.

Estas redes se pueden definir como autoconfiguradas y sin infraestructura para monitorear las condiciones físicas o ambientales; tales como, temperatura, sonido, vibración, presión movimiento, etc. Para posteriormente pasar los datos de manera cooperativa sus datos a través de la red a una ubicación principal donde se pueden analizar y visualizar dichos datos. (Lazarescu, 2013)

Comúnmente, una red de sensores inalámbrica contiene cientos de miles de nodos sensores, los cuales pueden comunicarse entre mediante el uso de señales de radio, y está equipado con dispositivos de detección y computación, transceptores de radio y componentes de energía

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) permiten nuevas aplicaciones y requieren paradigmas no convencionales para el diseño de protocolos debido a varias limitaciones. Debido al requisito de una baja complejidad del dispositivo junto con un bajo consumo de energía (es decir, una larga vida útil de la red), se debe encontrar un equilibrio adecuado entre las capacidades de comunicación y procesamiento de señales/datos. Esto motiva un gran esfuerzo en actividades de investigación, procesos de estandarización e inversiones industriales en este campo desde la última década. (Matin & Islam, 2012)

* + 1. Aplicaciones de WSN

Las redes de sensores inalámbricos han ganado una popularidad considerable debido a su flexibilidad para resolver problemas en diferentes dominios de aplicación y tienen el potencial de cambiar nuestras vidas de muchas formas diferentes. Las WSN se han aplicado con éxito en varios dominios de aplicación, tales como:

* *Aplicaciones Militares:* gran parte de los sistemas de comando, control, comunicación, computación, inteligencia, vigilancia en el campo de batalla, etc.
* *Áreas de monitoreo:* monitoreo de áreas de interés, pueden ser desplegadas sobre regiones donde se necesita el monitoreo de algún fenómeno, al detectar el evento se informa a una estación base.
* *Transporte:* La WSN puede recopilar información sobre el tráfico en tiempo real para alimentar los modelos de transporte y alertar a los conductores sobre la congestión de las vías y problemas de tráfico.
* *Aplicaciones en la Salud:* entre ellas interfaces de soporte para discapacitados, monitoreo integrado de pacientes, telemonitorización de datos fisiológicos humanos y seguimiento de médicos a pacientes dentro del hospital.
* Detección Ambiental: para cubrir muchas investigaciones de la ciencia hacia la tierra, esto incluye la detección de volcanes, océanos, glaciares, entre otros. (Herrera, Dien Tran, Egas, Pereira, & Sá Silva, 2016)
  + 1. Problemas de diseño de una red de sensores inalámbricos (WSN)

Se plantean muchos desafíos El despliegue de redes de sensores plantea muchos desafíos, que son un superconjunto de los que se encuentran en las redes inalámbricas ad hoc. Los nodos de sensores se van a comunicar a través de líneas inalámbricas sin infraestructura, adicionalmente se relaciona el suministro de energía limitado (Matin & Islam, 2012). Para maximizar la vida útil de la red, los protocolos deben diseñarse desde el principio con el objetivo de una gestión eficiente de los recursos energéticos, entre los mayores problemas se encuentran:

* *Tolerancia a fallas:* los nodos son vulnerables y suelen ser implementados en entornos peligrosos, pueden fallar debido a problemas de hardware, daños físicos o el agotamiento de suministro de energía.
* *Escalabilidad:* la escala varia de varios nodos hasta potencialmente varios cientos de miles; además, la densidad de implementación también es variable. Los protocolos implementados en las redes de sensores deben ser escalables a estos niveles y poder mantener un rendimiento adecuado.
* *Costo de producción:* debido a que muchos modelos de implementación consideran que los nodos de sensores son dispositivos desechables, las redes de sensores pueden competir con los enfoques tradicionales de recopilación de información solo si los nodos de sensores individuales se pueden producir a muy bajo costo. El precio objetivo previsto para un nodo sensor idealmente debería ser inferior a 1 dólar.
* *Restricciones de Hardware:* Cada nodo sensor debe tener una unidad de detección, una unidad de procesamiento, una de transmisión y una fuente de alimentación. Opcionalmente los nodos pueden tener varios sensores integrados o dispositivos adicionales.
* *Topología de red de sensores:* De estas limitaciones, el consumo de energía es de suma importancia, lo que se demuestra por la gran cantidad de algoritmos, técnicas y protocolos que se han desarrollado para ahorrar energía y, por lo tanto, extender la vida útil de la red. El mantenimiento de la topología es uno de los temas más importantes investigados para reducir el consumo de energía en las redes de sensores inalámbricos. (Herrera, Dien Tran, Egas, Pereira, & Sá Silva, 2016)
* *Medios de Transmisión:* entre nodos se suelen implementar normalmente mediante comunicación por radio a través de bandas ISM.
* *Consumo de Energía:* Muchos de los desafíos de las WSN gira en torno a los recursos de energía, el tamaño de los nodos limita el tamaño de la batería y debe ser cuidadosamente considerado el uso eficiente de la energía.
  1. Tipo de Topología

La estructura de una red de sensores inalámbricos incluye diferentes topologías para redes de comunicaciones por radio. A continuación, se describe una breve discusión de las topologías de red que se aplican a las redes de sensores inalámbricos:

* + 1. **Red en estrella**

Es una topología de comunicación en la que una sola estación base va a enviar y/o recibir mensajes de varios nodos remotos, los cuales no pueden enviarse mensajes entre ellos.

La principal ventaja de este tipo de red para WSN incluye la simplicidad, la capacidad de mantener al mínimo el consumo de energía del nodo remoto. También permite comunicaciones de baja latencia entre el nodo remoto y la estación base.

La principal desventaja es que la estación base deberá estar dentro del rango de transmisión de todos los nodos individuales y no es considerada tan robusta como otras redes debido a su dependencia de un solo nodo para la administración de la red.

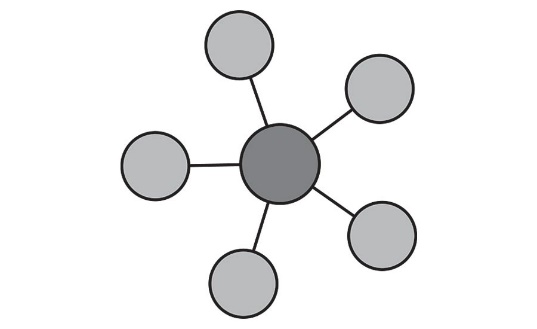


Figura 1. Red de Estrella. Fuente: (Matin & Islam, 2012).

* + 1. Red de malla

Esta red permite la transmisión de datos de nodo a nodo de la red que se encuentre dentro de su rango de transmisión. Permitiéndole que se conozca en cada uno de los múltiples saltos, es decir, si un nodo envía un mensaje hacia otro nodo fuera del alcance de las comunicaciones, usará un nodo intermedio para reenviar el mensaje al nodo deseado.

Esta topología de red tiene la principal ventaja de la redundancia y la escalabilidad. Si un nodo falla, un nodo remoto que aún puede comunicarse con otro nodo en su rango podrá reenviar el mensaje a la ubicación deseada. Por otro lado, el rango de la red no está limitado por el rango entre los nodos individuales; sino que se podrá ampliar agregando más nodos al sistema.

La principal desventaja de este tipo de red es que el consumo de energía de los nodos que usan múltiples saltos es mayor que para los nodos que no tienen esta capacidad, lo que a menudo limita la vida útil de la batería. Además, conforme aumenta los saltos de comunicación a un destino, también aumenta el tiempo para que se entregue el mensaje, teniendo en cuenta si se requiere un funcionamiento de baja potencia de los nodos.

Imagen que contiene Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2. Red de Malla. Fuente: (Matin & Islam, 2012).

* + 1. Híbrida Estrella - Red de malla

Un híbrido entre la red en estrella y en malla va a proporcionar una red de comunicaciones robusta y versátil, al tiempo que va a mantener la capacidad de consumo de energía al mínimo.

Los nodos de sensor con menor potencia no están habilitados con la capacidad de reenviar mensajes. Esto permite mantener un consumo de energía mínimo. Sin embargo, otros nodos de la red están habilitados con capacidad de múltiples saltos, lo que les permite reenviar mensajes desde los nodos de baja potencia a otros nodos de la red.

Generalmente, los nodos con la capacidad de múltiples saltos son de mayor potencia y, si es posible, a menudo están conectados a la línea de suministro eléctrico. Esta es la topología implementada por el nuevo estándar de redes de malla conocido como ZigBee. (Matin & Islam, 2012)

Imagen en blanco y negro

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Figura 3. Red de Híbrida Estrella- Malla. Fuente: (Matin & Islam, 2012).

* 1. Estructura de comunicación de una red de sensores inalámbricos

Los nodos sensores generalmente están dispersos en un campo sensor. Cada uno de estos nodos sensores dispersos tiene la capacidad de recopilar datos y enrutarlos de regreso al nodo principal y a los usuarios finales. Los datos se enrutan de regreso al usuario final mediante una arquitectura sin infraestructura de múltiples saltos a través del nodo principal. El nodo principal puede comunicarse con el nodo del administrador de tareas a través de Internet o satélite.

Los protocolos usados por el receptor y los nodos de sensores se muestran a continuación en la Fig. 4, donde se combina la energía y conocimiento del enrutamiento, integra los datos con protocolos de red, comunica energía de manera eficiente a través del medio inalámbrico y promueve los esfuerzos cooperativos de los nodos sensores.

Consta de la capa de aplicación, la capa de transporte, la capa de red, la capa de enlace de datos, la capa física, en el plano de administración de energía, plano de administración de movilidad y el plano de administración de tareas.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 4. Stack de Protocolos de WSN. Fuente: (Matin & Islam, 2012).

La capa aplicación hace que el hardware y el sofware de la capa más baja sea transparente para el usuario final, la capa transporte ayuda a mantener el flujo de datos si se requiere; por otro lado, la capa de red se encargará de enrutar los datos suministrados por la capa de transporte, usando protocolos específicos entre los nodos. La capa enlace de datos es responsable de la multiplexación de los datos, detección de tramas, control de acceso a medios (MAC) y control de errores. La capa física aborda las necesidades de una modulación simple pero robusta, selección de frecuencia, encriptación de datos, transmisión y técnicas de recepción.

Además, los planos de administración de energía, movilidad y administración de tareas van a monitorear la distribución de energía, movimiento y tareas entre cada uno de los nodos de sensores. Estos planos ayudan a los nodos sensores a coordinar la tarea de detección y reducir el consumo total de energía. (Seah, Eu, & Tan, 2009)

* 1. Estándar IEEE 802.15.4

Este estándar contiene las especificaciones de la capa física (PHY) y la subcapa de control de acceso al medio (MAC) usado para la conexión inalámbrica de velocidad de datos baja y con dispositivos fijos o móviles sin baterías o con requerimientos de consumo de batería limitada. Por otra parte, el estándar proporciona modos que permitirán precisión en donde los PHY son definidos para los dispositivos que operan en varias regiones geográficas. (IEEE Computer Society, 2020)

Este estándar proporciona conexión inalámbrica ultra baja, con costos bajos, poco complejos y baja velocidad de datos entre dispositivos en especial aquellos de requisitos de comunicación en el Internet de las cosas. Además, algunos PHY alternativos brindarán capacidades de rango de precisión a un metro, admitiendo una variedad de bandas de frecuencia.

* + 1. Descripción General

Una red de área personal inalámbrica de baja velocidad (LR-WPAN) es una red de comunicación simple y de bajo costo que permite la conectividad inalámbrica en aplicaciones con energía limitada y requisitos de rendimiento bajos. Los principales objetivos de un LR-WPAN son la facilidad de instalación, la transferencia de datos confiable, un costo extremadamente bajo y una duración razonable de la batería, mientras se mantiene un protocolo simple y flexible.

Este estándar define múltiples PHY que operan en una variedad de bandas de frecuencia.

Dos tipos de dispositivos diferentes pueden participar en una red IEEE 802.15.4: un dispositivo de función completa (FFD) y un dispositivo de función reducida (RFD). Un FFD es un dispositivo que puede servir como coordinador o coordinador (PAN). Un RFD es un dispositivo que no puede servir ni como coordinador PAN ni como coordinador. Un RFD está diseñado para aplicaciones que son extremadamente simples, como un interruptor de luz o un sensor de infrarrojos pasivo; no tiene la necesidad de enviar grandes cantidades de datos y solo se asocia con un solo FFD a la vez. En consecuencia, la RFD se puede implementar utilizando recursos y capacidad de memoria mínimos.

* + 1. Campos del Formato

El formato general de una estructura de datos se muestra en la Figura 5. Cada campo está representado por una columna en la figura que indica el tamaño del campo y el nombre y / o tipo del dato codificado en el campo. La convención de una estructura de datos es recursiva en el sentido de que un campo puede contener una estructura de datos que a su vez se compone de campos. Representa una estructura de datos con 3 campos de 2 octetos de longitud, 6 bits y 2 bits para un tamaño total de 3 octetos.

Tabla

Descripción generada automáticamente

Figura 5. Formato de Estructura de Datos General. Fuente: (IEEE Computer Society, 2020).

* + 1. Espacios de aplicación especiales
       1. Red de servicios inteligentes (SUN) Los SUN permiten que múltiples aplicaciones operen sobre recursos de red compartidos, proporcionando monitoreo y control de un sistema de servicios públicos. Los dispositivos SUN están diseñados para funcionar en aplicaciones inalámbricas de baja potencia y a gran escala y, a menudo, requieren el uso de la potencia de transmisión máxima disponible según las regulaciones aplicables, a fin de proporcionar conexiones punto a punto de largo alcance.
       2. Comunicaciones y control ferroviario (RCC) RCC se refiere a un intercambio de información inalámbrico y comunicaciones de sensor o control implementadas en aplicaciones como las siguientes
       3. Espacio en blanco de la televisión (TVWS) La operación de TVWS tiene el requisito de determinar qué asignaciones de frecuencia de TVWS están disponibles para su uso en un momento y ubicación geográfica determinados.
       4. Identificación por radiofrecuencia (RFID) Los dispositivos RFID activos se utilizan para identificar y, a menudo, localizar personas u objetos en entornos industriales o comerciales.
    2. Componentes de IEEE 802.15.4 WPAN

Un sistema conforme a esta norma consta de varios componentes. El más básico es el dispositivo. Un dispositivo tiene una única interfaz de radio que implementa un IEEE Std 802.15.4 MAC y PHY. Dos o más dispositivos que se comunican en el mismo canal físico constituyen una red de área personal inalámbrica (WPAN). Un WPAN incluye al menos un FFD, que opera como coordinador del PAN.

* + 1. Gestión de PHY múltiple (MPM) del SUN WPAN

Varias SUN PHY diferentes pueden operar en la misma ubicación y dentro de la misma banda de frecuencia. Con el fin de mitigar la interferencia, se especifica un esquema MPM para SUN para facilitar la coexistencia entre PHY. Para este propósito, el esquema MPM facilita la interoperabilidad y la negociación entre coordinadores potenciales con diferentes PHY al permitir que un coordinador potencial detecte una red operativa durante su fase de descubrimiento utilizando el modo de señalización común (CSM) apropiado para la banda que se está utilizando. El procedimiento MPM se puede utilizar junto con el mecanismo de evaluación de canal claro (CCA) para proporcionar coexistencia.

* + 1. Arquitectura

La arquitectura IEEE 802.15.4 se define en términos de varios bloques para simplificar el estándar. Cada capa es responsable de una parte del estándar y ofrece servicios a las capas superiores. Las interfaces entre las capas sirven para definir los enlaces lógicos que se describen en este estándar.

Un dispositivo LR-WPAN contiene al menos un PHY, que contiene el transceptor de radiofrecuencia (RF) junto con su mecanismo de control de bajo nivel, y una subcapa MAC que proporciona acceso al canal físico para todos los tipos de transferencia. La Figura 6 muestra estos bloques en una representación gráfica.

Las siguientes capas superiores consisten en una capa de red, que proporciona configuración de red, manipulación y enrutamiento de mensajes, y una capa de aplicación, que proporciona la función prevista del dispositivo. La definición de estas capas está fuera del alcance de esta norma.

* + - 1. PHY Las características del PHY son la activación y desactivación del transceptor de radio, detección de energía (ED), indicación de calidad de enlace (LQI), selección de canal, CCA, rango y transmisión, así como recepción de paquetes a través del medio físico. La PHY de banda ultra ancha (UWB) de frecuencia de repetición de pulso de alta frecuencia (HRP) también tiene la característica de rango de precisión.
      2. Subcapa MAC La subcapa MAC proporciona dos servicios: el servicio de datos MAC y el servicio de gestión MAC que se interconecta con el punto de acceso al servicio (SAP) de la entidad de gestión de la subcapa MAC (MLME) (conocido como MLME-SAP). El servicio de datos MAC permite la transmisión y recepción de unidades de datos de protocolo MAC (MPDU) a través del servicio de datos PHY.

Las características de la subcapa MAC son gestión de balizas, acceso al canal, gestión de intervalo de tiempo garantizado (GTS), validación de tramas, entrega de tramas reconocidas, asociación y disociación. Además, la subcapa MAC proporciona enlaces para implementar mecanismos de seguridad apropiados para la aplicación.

Diagrama, Tabla

Descripción generada automáticamente

Figura 6.Arquitectura del dispositivo LR-WPAN. Fuente: (IEEE Computer Society, 2020).

* 1. RIOT-OS

RIOT OS tiene como objetivo cerrar la brecha que observamos entre el sistema operativo para WSN y el sistema operativo tradicional completo que se ejecuta actualmente en hosts de Internet. Se basa en objetivos de diseño que incluyen eficiencia energética, pequeña huella de memoria, modularidad y acceso API uniforme, independientemente del hardware subyacente.

RIOT implementa una arquitectura de micronúcleo heredada de FireKernel, por lo que admite múltiples subprocesos con API estándar. Además de las características originales de FireKernel, RIOT agrega soporte para C ++, lo que permite bibliotecas poderosas como el marco del algoritmo Wiselib, y proporciona una pila de red TCP / IP.

Las ventajas de la arquitectura RIOT incluyen:

* Alta confiabilidad
* Una API amigable para el desarrollador.

La estructura modular de microkernel de RIOT lo hace robusto contra errores en componentes individuales. Las fallas en el controlador del dispositivo o el sistema de archivos, por ejemplo, no dañarán todo el sistema. RIOT permite a los desarrolladores crear tantos subprocesos como sea necesario y los sistemas distribuidos se pueden implementar fácilmente mediante el uso de la API de mensajes del kernel. La cantidad de subprocesos solo está limitada por la memoria disponible y el tamaño de la pila para cada subproceso, mientras que la sobrecarga computacional y de memoria es mínima. (Baccelli, Hahm, Günes, Wählisch, & Schmidt, 2013)

Para cumplir con los estrictos requisitos de tiempo real, RIOT impone períodos constantes para las tareas del kernel (por ejemplo, ejecución del programador, comunicación entre procesos, operaciones del temporizador). Un requisito previo importante para los tiempos de ejecución garantizados de O es el uso exclusivo de la asignación de memoria estática en el kernel. Sin embargo, se proporciona administración de memoria dinámica para las aplicaciones.

Logramos un tiempo de ejecución constante del programador mediante el uso de una lista de subprocesos enlazados circular de tamaño fijo. El tiempo de ejecución constante de las operaciones del temporizador se obtiene aprovechando el hecho de que las MCU suelen proporcionar múltiples registros de comparación. (Trickey, 2020)

Es obligatorio maximizar la duración de los modos de sueño profundo, para implementar la eficiencia energética también para dispositivos IoT más potentes, por lo que RIOT presenta un programador que funciona sin eventos periódicos. Siempre que no haya tareas pendientes, RIOT cambiará al subproceso inactivo, que determina el modo de suspensión más profundo posible según los dispositivos periféricos en uso. Solo las interrupciones (externas o generadas por el kernel) despiertan el sistema desde el estado inactivo.

La baja complejidad de las funciones del kernel es un factor principal para la eficiencia energética de un sistema operativo. Por lo tanto, la duración y la ocurrencia del cambio de contexto deben minimizarse. En RIOT, el cambio de contexto se realiza en dos casos:

* Se llama a una operación del núcleo correspondiente, por ejemplo, un bloqueo mutex o la creación de un nuevo hilo
* Una interrupción provoca un cambio de hilo.

El primer caso ocurrirá raramente. Por ejemplo, cada hilo se crea normalmente una vez. Por lo tanto, es importante reducir el tiempo de procesamiento en caso de un cambio de hilo. Por lo tanto, el kernel de RIOT proporciona un programador minimizado, cuando se llama fuera de una rutina de servicio de interrupción. En ese caso, no es necesario guardar el contexto del hilo anterior y, por lo tanto, se puede realizar un cambio de tarea en muy pocos ciclos de reloj. (Trickey, 2020)

* 1. Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión es un enfoque de gestión que se centra en la observación (casi en tiempo real), la medición y las respuestas a la variabilidad en cultivos, campos y animales. Puede ayudar a aumentar el rendimiento de los cultivos y el rendimiento de los animales, reducir los costos, incluidos los costos de mano de obra, y optimizar los insumos del proceso. Todos estos pueden ayudar a aumentar la rentabilidad. Al mismo tiempo, la agricultura de precisión puede aumentar la seguridad laboral y reducir los impactos ambientales de la agricultura y las prácticas agrícolas, contribuyendo así a la sostenibilidad de la producción agrícola. (Wiangtong & Sirisuk, 2018)

El término agricultura de precisión significa una serie de estrategias y herramientas que permiten a los agricultores optimizar y aumentar la calidad y productividad del suelo poniendo en marcha una serie de intervenciones clave específicas, un resultado que se puede lograr gracias a la introducción de tecnologías cada vez más avanzadas.

Se denomina “precisión” porque gracias a las herramientas de última generación utilizadas, es posible realizar la intervención adecuada, en el lugar adecuado, en el momento adecuado, respondiendo a las demandas específicas de los cultivos y áreas individuales de terreno con niveles superiores de precisión. (Dolci, 2017)

Las tecnologías se utilizan, en primer lugar, para recopilar los datos y la información necesarios para tomar decisiones sobre cómo impulsar la producción y, en segundo lugar, para poner en marcha las acciones correctivas necesarias para lograr este objetivo. Hoy en día se habla cada vez más de Agricultura 4.0, que es la evolución del concepto de agricultura de precisión: este término se refiere a todas las herramientas y estrategias que utilizan tecnologías de punta de manera interconectada comenzando por el uso de datos para mejorar y optimizar la producción. (Ivanov, Bhargava, & Donnelly, 2015)

* + 1. Las ventajas de la agricultura de precisión

Producir más con menos recursos manteniendo estándares de calidad superiores: este es el objetivo final de la agricultura de precisión.

Este tipo de enfoque genera una doble ventaja:

* Para las empresas agrícolas, que pueden optimizar esfuerzos y recursos, reducir el consumo y el desperdicio e impulsar la productividad de la tierra. El trabajo también se vuelve más rentable para los agricultores y contratistas, ya que los procesos se gestionan de forma más rápida y eficaz, lo que lleva a una reducción de los costes por hora. Por último, pero no menos importante, aumentan el rendimiento al tiempo que reducen la fatiga de los recursos humanos.
* “Para el medio ambiente, dado que se reduce el desperdicio de fertilizantes y herbicidas, las emisiones y la compactación del suelo gracias a un uso más racional de los recursos” (Ivanov, Bhargava, & Donnelly, 2015).
  + 1. Herramientas de recopilación de datos

El seguimiento del estado sanitario de los cultivos requiere un gran esfuerzo, especialmente cuando se extienden por áreas muy extensas. La producción en los campos casi nunca es homogénea, algunas áreas son mucho más productivas que otras.

* El monitoreo de cultivos por satélite es una herramienta que permite a los agricultores monitorear constantemente la salud de sus campos gracias a un análisis de imágenes multiespectrales de imágenes de satélite de alta resolución y también activar rápidamente cualquier alarma.
* Una solución alternativa, que no implica el uso de satélites, son los drones agrícolas. Hoy en día se utilizan principalmente para cartografía terrestre, pero las versiones más avanzadas adoptan sensores infrarrojos y sistemas de imágenes para detectar problemas que no pueden ser detectados a simple vista, tal como lo hacen los satélites.
* “Otro instrumento importante para la agricultura de precisión, que no implica ninguna intervención desde arriba, son los sensores ambientales instalados en los campos, capaces de registrar datos climáticos e información sobre las necesidades hídricas del suelo” (Wiangtong & Sirisuk, 2018).
  + 1. Análisis en agricultura de precisión

Ya existen algunos sistemas de sensores agrícolas. En este artículo, describimos cómo los diseños y los niveles de inteligencia de estos sistemas varían según el área de aplicación.

* + - 1. Vigilancia

Kerry Taylor y sus colegas describen un sistema WSN implementado en Kirby Farm cerca de Armidale, Nueva Gales del Sur.1 La red incorpora varios sensores diferentes para la humedad del suelo, temperatura del aire, humedad y presión, lluvia y granizo. Los datos de monitoreo, proporcionados por los sensores, se envían a una entidad centralizada, donde los datos se enriquecen y analizan. Los resultados del análisis se comunican al personal de la granja a través de sus dispositivos móviles personales. De esta manera, el sistema presenta una solución ejemplar de apoyo a la toma de decisiones para el manejo de pastos.

Al mismo tiempo, C.J. Rutten y sus colegas han realizado una encuesta integral que muestra la falta de análisis e inteligencia en los sistemas de sensores para el manejo de la salud animal en una granja lechera.2 La encuesta presenta una clasificación de cuatro niveles de las soluciones de sensores existentes. El primer nivel está destinado a sistemas que miden aspectos específicos de la salud animal. Las lecturas obtenidas por dichos sistemas (por ejemplo, la composición de la leche) se presentan tal cual al personal de la granja, quien saca sus propias conclusiones. (Ivanov, Bhargava, & Donnelly, 2015)

Los sistemas de segundo nivel interpretan las lecturas. Por ejemplo, la conductividad eléctrica de la leche puede usarse para identificar mastitis (inflamación del tejido de la ubre y la glándula mamaria, que generalmente ocurre debido a una infección bacteriana), y la aceleración 3D se puede usar para detectar problemas de locomoción. Los sistemas de tercer nivel integran información procedente de diversas fuentes, incluidos otros sistemas de sensores y datos que no son de sensores. Un sistema de este tipo ayudaría al personal agrícola a comprender cantidades potencialmente grandes de datos, lo que podría resultar abrumador. Rutten y sus colegas han identificado una seria falta de tales sistemas. El cuarto nivel es para los sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

Aunque algunos de los sistemas de sensores se han identificado como de nivel cuatro, su funcionalidad se basa en alertar sobre eventos de segundo nivel, como mastitis o estro (un período de fertilidad y receptividad sexual en las hembras de mamíferos). (Ivanov, Bhargava, & Donnelly, 2015)

* + - 1. Automatización

El contexto y la conciencia del usuario son tendencias comunes en los sistemas modernos de automatización de procesos agrícolas. Por ejemplo, Fernando Auat Cheein y Ricardo Carelli encuestaron sistemas robóticos no tripulados propuestos para aplicaciones agrícolas.3 Este sistema típicamente intenta reemplazar el trabajo manual en tareas, como monitorear el entorno de la granja, mapear los resultados del monitoreo (como el mapeo de rendimiento) y tomar acciones particulares (por ejemplo, raleo de flores). El sistema puede incluir varios sensores diferentes (por ejemplo, para polen o nivel de CO2) y opera. (Ivanov, Bhargava, & Donnelly, 2015)

* 1. Cultivo de Arándanos

Los arándanos gruesos y jugosos no solo son deliciosos. Tienen un alto contenido de nutrientes, antioxidantes, fibra y vitaminas. Afortunadamente, con muy poco esfuerzo, los arándanos son fáciles de cultivar, si tiene las condiciones de suelo adecuadas. Antes de la década de 1900, la única forma de disfrutar de estos nativos norteamericanos era encontrarlos en la naturaleza. Luego, los científicos comenzaron a descubrir los secretos del cultivo de arándanos.

Un pariente del rododendro y la azalea, los arbustos de arándanos no son solo una gran planta fructífera, sino también una adición atractiva a su paisaje en general, ya que ofrecen follaje otoñal escarlata y flores primaverales de color blanco cremoso en forma de campana. Además, los arándanos son uno de los superalimentos de la naturaleza, repletos de nutrientes esenciales, minerales y polifenoles que mejoran la salud. (Xie & Wu, 2009)

* + 1. Plantación
       1. ¿Cuándo plantar arándanos?
* Los arándanos se pueden plantar en primavera o también a fines del otoño en todas las regiones excepto en las más frías. En las Zonas 5 e inferiores, es mejor esperar hasta principios o mediados de la primavera para plantar.
* “Si están disponibles, las plantas de 1 a 3 años son una buena opción. Estos se pueden comprar en contenedores o desnudos. En cualquier caso, asegúrese de comprar en un vivero o sitio web de buena reputación” (Ochmian, Błaszak, Lachowicz, & Piwowarczyk, 2020).
  + - 1. Elegir y preparar un lugar de plantación
* Seleccione un lugar soleado y protegido. Si bien los arándanos son tolerantes a la sombra, se obtienen mejores cosechas al sol. Al mismo tiempo, no deben exponerse a vientos fuertes y secos.
* No plante los arándanos demasiado cerca de los árboles, ya que los árboles no solo bloquearán la luz solar, sino que también absorberán la humedad del suelo.
* Si planta varios arbustos, es mejor plantarlos en un parche, en lugar de esparcirlos por todo el jardín. Esto reforzará la producción y la calidad de las berries.
* El arándano es una planta de raíces poco profundas. Por lo tanto, requiere un suelo que retenga la humedad, pero que también drene bien y no permanezca mojado. No plante arándanos en sitios que tengan suelos arcillosos pesados ​​que permanezcan húmedos.
* Los arándanos prosperan en suelos ácidos. El pH del suelo idealmente debería estar entre 4.0 y 5.0; el suelo que no es lo suficientemente ácido atrofiará el crecimiento. El suelo se puede acidificar mezclando una pequeña cantidad de azufre granulado en el suelo varios meses antes de plantar. La turba, así como la corteza de pino o las agujas, también son buenas adiciones que ayudarán a acidificar el suelo. (Ochmian, Grajkowski, Mikiciuk, Ostrowska, & Chelpinski, 2009)
* Mezcle materia orgánica en el suelo antes de colocar sus arbustos de arándanos.
  + - 1. ¿Cómo Plantar Arándanos?
* Consejo: tenga cuidado de no plantarlos demasiado profundamente. El cepellón debe estar justo debajo de la superficie (de un cuarto a media pulgada).
* Cava hoyos de aproximadamente 20 pulgadas de profundidad y 18 pulgadas de ancho (o aproximadamente el doble de ancho y el doble de profundo que las raíces de la planta).
* Separe los arbustos de 4 a 5 pies de distancia en una fila, con al menos 8 pies entre filas. Prepare una mezcla de siembra de 2 partes de marga y una parte de moho de hoja de roble, turba, aserrín envejecido o compost, y coloque una capa de esta mezcla en el fondo del hoyo.
* Coloque el arbusto en el agujero con el cepellón justo debajo de la superficie y sus raíces se extienden. Rellena el agujero con tierra.
* “Aplique fertilizante un mes después de plantar, no al momento de plantar. Aplique ½ onza de fertilizante 10-10-10 en una banda alrededor de la planta de 6 a 12 pulgadas de la corona” (Fang, Nunez, da Silva, Phillips, & Munoz, 2020).
  1. Cloud Computing

La computación en la nube se refiere a cualquier tipo de servicio alojado entregado a través de Internet. Estos servicios a menudo incluyen servidores, bases de datos, software, redes, análisis y otras funciones informáticas que se pueden operar a través de la nube.

Los usuarios del servicio pueden acceder a los archivos y programas almacenados en la nube desde cualquier lugar, lo que elimina la necesidad de estar siempre cerca del hardware físico. En el pasado, por ejemplo, los documentos y hojas de cálculo creados por el usuario tenían que guardarse en un disco duro físico, unidad USB o disco. Sin algún tipo de componente de hardware, los archivos eran completamente inaccesibles fuera de la computadora en la que se originaron. Gracias a la nube, pocas personas ya se preocupan por los discos duros dañados o las unidades USB perdidas o dañadas. La computación en la nube hace que los documentos estén disponibles en todas partes porque los datos en realidad viven en una red de servidores alojados que transmiten datos a través de Internet.

* + 1. Brokers de MQTT y guía de alojamiento en la nube

Cuando se trata de elegir un bróker MQTT, tiene tres opciones principales:

* Utilice su propio broker / servidor instalado localmente
* Utilice un servidor virtual o un servidor basado en la nube
* Útilice una aplicación de servidor compartido
  + 1. Servidor propio instalado localmente

Puede instalar un bróker MQTT en su propio hardware de servidor, incluida una Raspberry Pi. Hay muchos corredores / servidores para elegir, y la mayoría son gratuitos y de código abierto. Cada uno de estos corredores tendrá sus propios requisitos, por ejemplo, Aedes (formalmente Mosca) está basado en Node.js y, por lo tanto, requiere la instalación de node.js.

La siguiente tabla enumera los corredores más populares

Tabla 1. Brokers más populares.

|  |  |
| --- | --- |
| Broker | Descripción |
| Mosquitto | * Broker ligero de código abierto escrito en C. Probablemente el broker MQTT más popular. Admite MQTT v3.1.1 y v5. Es probable que este sea el intermediario predeterminado para las redes de borde. |
| Mosca- Now Aedes | * Mosca ahora Aedes se basa en Node.js y, por lo tanto, requiere la instalación de node.js. También se puede instalar como nodo en node-red. * Aedes reemplaza a Mosca y Mosca ya no se está desarrollando. * No tiene muchas funciones en comparación con mosquitto, pero es ideal para proyectos de automatización del hogar. * Actualmente es compatible con v 3.1.1 * Se ejecuta en Windows y Linux |
| emqttd | * Escrito en Erlang es de código abierto y se describe como enormemente escalable. * EMQ Implementa las especificaciones de protocolo MQTT V3.1 y V3.1.1 y es compatible con MQTT-SN, CoAP, WebSocket, STOMP. |

Fuente: (Steve, 2021)

* + 1. Instalar Broker en un servidor virtual

Están disponibles en muchos proveedores y actualmente se utilizan principalmente para el alojamiento de sitios web. Sin embargo, se pueden utilizar para alojar cualquier aplicación web y serán una opción popular para alojar Node.js y MQTT en la nube.

Con este tipo de alojamiento, usted no es responsable del hardware, pero la instalación y administración del software es su responsabilidad. Es probable que se utilicen servidores / corredores MQTT en línea o basados en la nube para conectar diferentes ubicaciones geográficas físicas. Google, Amazon, Microsoft, IBM y muchos otros ofrecen alojamiento basado en la nube.

Capítulo 3

Diseño de Hardware y Software

1. 1. Introducción

En este capítulo se detallará el proceso metodológico que se usó para el diseño y desarrollo de la propuesta de investigación. Inicialmente se presenta los requerimientos de Usuario o Stakeholders, luego se realiza un estudio de Benchmark para la elección adecuada de los equipos a usarse. A continuación, en la elaboración del prototipo se define el software que incluye la programación del sistema y finalmente se verificará cada fase usando como referencia el modelo de cascada.

* 1. Metodología

El modelo de cascada clásico es el modelo básico del ciclo de vida del desarrollo de software. Es muy simple pero idealista. El modelo de cascada clásico divide el ciclo de vida en un conjunto de fases. Este modelo considera que una fase puede iniciarse después de la finalización de la fase anterior. Esa es la salida de una fase que será la entrada a la siguiente fase. Por lo tanto, el proceso de desarrollo puede considerarse como un flujo secuencial en la cascada. Aquí las fases no se superponen entre sí. Las diferentes fases secuenciales del modelo de cascada clásico se muestran en la siguiente figura:

Gráfico, Gráfico en cascada

Descripción generada automáticamente

Figura 7. Modelo en Cascada. Fuente: (Adenowo & Adenowo, 2013)

Las fases se describen a continuación:

* + 1. Estudio de viabilidad (Feasibility Study)

El objetivo principal de esta fase es determinar si sería viable desde el punto de vista financiero y técnico desarrollar el software. El estudio de viabilidad implica comprender el problema y luego determinar las diversas estrategias posibles para resolver el problema. “Estas diferentes soluciones identificadas se analizan en función de sus beneficios e inconvenientes. Se elige la mejor solución y todas las demás fases se llevan a cabo según esta estrategia de solución” (Adenowo & Adenowo, 2013) .

* + 1. Análisis y especificación de requisitos (Requirements analysis and specification)

El objetivo de la fase de análisis y especificación de requisitos es comprender los requisitos exactos del cliente y documentarlos adecuadamente. Esta fase consta de dos actividades diferentes: Recopilación y análisis de requisitos, Especificación de requerimiento.

* + 1. Diseño (Design)

El objetivo de la fase de diseño es transformar los requisitos especificados en el documento SRS en una estructura que sea adecuada para su implementación en algún lenguaje de programación.

* + 1. Codificación y pruebas unitarias (Coding and Unit testing)

En la fase de codificación, el diseño del software se traduce al código fuente utilizando cualquier lenguaje de programación adecuado. “Por tanto, cada módulo diseñado está codificado. El objetivo de la fase de prueba unitaria es comprobar si cada módulo funciona correctamente o no” (Adenowo & Adenowo, 2013).

* + 1. Integración y prueba del sistema (Integration and System testing)

La integración de los diferentes módulos se lleva a cabo poco después de que se hayan codificado y probado en la unidad. La integración de varios módulos se lleva a cabo de forma incremental en una serie de pasos.

Durante cada paso de integración, los módulos previamente planificados se agregan al sistema parcialmente integrado y el sistema resultante se prueba. Finalmente, después de que todos los módulos se hayan integrado y probado con éxito, se obtiene el sistema de trabajo completo y se lleva a cabo la prueba del sistema. (Adenowo & Adenowo, 2013)

* + 1. Mantenimiento (Maintenance)

El mantenimiento es la fase más importante del ciclo de vida de un software. El esfuerzo dedicado al mantenimiento es el 60% del esfuerzo total dedicado a desarrollar un software completo. Básicamente, existen tres tipos de mantenimiento: Mantenimiento correctivo, Mantenimiento perfecto, Mantenimiento adaptativo.

* 1. Análisis
     1. Situación Actual del Invernadero
  2. Métodos y Técnicas de Investigación
     1. Método de la Investigación

A continuación, se definen los métodos de investigación usados para el desarrollo del prototipo

* + - 1. Método Inductivo deductivo. En este método se estudió los beneficios de la implementación de los dispositivos tecnológicos que van a censar detenidamente los cultivos obteniendo los datos de la maceta.
      2. Método Sistemático. Este método define todos los pasos a seguir para la implementación de un dispositivo electrónico de una manera lógica y sistemática determinando así el beneficio que puede otorgar.
      3. Método Descriptivo. Este método va a implicar la recopilación de información y datos mediante una verificación bibliográfica y una presentación ordenada de dichos datos recolectados y así poder tener una idea de la situación actual en la que se encuentra, detallando además todos los requerimientos a ser abordados en el diseño
    1. Técnica de la Investigación

A continuación, se definen las técnicas de recopilación de datos para la veracidad y definición del Diseño del Proyecto:

* + - 1. Observación Directa.

Se realiza una observación directa en el Sembrío evidenciando que existen pérdida de productos debido a la irregularidad del clima conociendo además las posibles causas que afecta a la calidad de los arándanos y su producción.

* + - 1. Entrevista

Las entrevistas generalmente se llevan a cabo en persona, es decir, cara a cara, pero también se pueden administrar por teléfono o utilizando tecnología informática más avanzada, como Skype, Zoom, Teams. A veces se llevan a cabo en la casa del entrevistado, a veces en un lugar más neutral. Es importante que los entrevistados decidan si se sienten cómodos al invitar al investigador a su hogar y si tienen una habitación o un área donde puedan hablar libremente sin molestar a otros miembros del hogar.

Esta entrevista es realizada al dueño del Terreno donde se encuentran los cultivos de Arándanos y en el cual se aplica el prototipo, gracias a la información presentada se puede conocer la situación actual de los cultivos y los principales problemas que se presentan en ellos, además se conoce el interés por parte del dueño recalcando que sería algo muy útil e innovador que facilitaría y beneficiaría a la producción de los Arándanos.

* + 1. Resultados de la Entrevista
  1. Descripción General del Sistema

El proyecto reúne 3 bloques indispensables para el funcionamiento del sistema inteligente, que permitirá a los cultivos producir Arándanos de buena calidad, implementando sensores que permitan detectar las condiciones del cultivo, un centro de administración donde los encargados podrán analizar las situaciones que se presenten, un sistema de Alerta y Control que se encargue de notificar a los granjeros para que puedan tomar acciones sobre los cultivos. Se detallan más a fondo a continuación:

* + 1. Red de Sensores

Donde se adquieren los datos, se envía a un nodo receptor especial, se recopilan y se envía al Gateway, se tendrán dos nodos de procesamiento que constarán de un microcontrolador OpenMote-B el cual es compatible con tecnología 802.15.4g. Y a este

se conectarán los sensores de Temperatura, Ph, Y Humedad, estos serán ubicados dentro de la plantación de Arándanos donde se recolectarán los datos.

* + 1. Centro de Administración

Donde se recopilan los datos y se analizan; al igual que los sensores, pueden obtener energía almacenada en una batería. Este Centro de Administración consta de un nodo Central representado por OpenMote-B Gateway el cual recibe los datos los envía hacia un Base de Datos Ubicada en la Nube donde se procesarán o computarán estos datos.

* + 1. Alerta y Control

Una vez analizados los datos se procede a generar una alerta al agricultor o aplicar acciones según sea el caso. Este proceso se lo realiza en la plataforma AWS IoT en donde se procesan los datos y se envía al Servidor Web el cual será montado en la plataforma AWS IAM Service Web perteneciente a la compañía de Amazon generando así las alertas para el control del cultivo.

* 1. Determinación de los Stakeholders

Los principales Stakeholders involucrados en el desarrollo electrónico, son aquellos que tienen interés en el diseño e implementación de este proyecto. Se definen los requerimientos específicos de los Stakeholders para poder realizar el diseño e implementación con el objetivo de beneficiar a la producción del Arándano y contribuir al monitoreo del cultivo. En la Tabla 2 se detallan los Stakeholders.

Tabla 2. Lista de Stakeholders.

|  |  |
| --- | --- |
| REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS | |
| Daniel Rosero | Usuario al que va dirigido el proyecto |
| Universidad Técnica del Norte | Entidad de respaldo |
| Msc. Edgar Maya | Docente Tutor |
| Msc. Fabián Cuzme | Asesor 1 |
| Msc. Marcelo Zambrano | Asesor 2 |
| Srta. Johanna Yépez | Desarrolladora del Proyecto |

*Fuente:* Criterios de diseño del proyecto.

* 1. Requerimientos para el diseño

Se detallarán los requerimientos del diseño siendo los siguientes: Requerimientos de Stakeholders, requerimientos del funcionamiento del sistema y Requerimientos de Arquitectura. Se seleccionarán para que el dispositivo cumpla con el objetivo planteado así poder satisfacer las necesidades de los usuarios ya que ayudarán a tomar los datos de sensores como temperatura, humedad y PH en los cultivos.

* + 1. Nomenclatura de requerimientos

Se definirán los requerimientos de forma abreviada para una mejor comprensión y síntesis y de esa forma poder entender de manera adecuada lo que se realizará, véase tabla 3.

Tabla 3. Nomenclatura de requerimientos.

|  |  |
| --- | --- |
| NOMENCLATURA | |
| Requerimiento | Nomenclatura |
| Stakeholders | RSSt |
| Funcionamiento del Sistema | RSFs |
| Arquitectura | RARa |

*Fuente:* Criterios de diseño del proyecto.

* + 1. Stakeholders requeridos

A continuación, se plantean los Stakeholders para que el sistema cumpla con la necesidad del usuario involucrado y se detallará en la tabla 4, para ser evaluado una vez se presente la implementación.

Tabla 4. Requerimientos de Stakeholders.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS (RSSt) | | |  |
| N° | Requerimientos | Prioridad | |
|  | Requerimientos del Sistema | Alta | Media |
| RSSt 1 | Sistema de bajo consume de energía | X |  |
| RSSt 2 | Deberá implementarse en el Invernadero de Arándanos | X |  |
| RSSt 3 | Adquirir datos para ser almacenados | X |  |
| RSSt 4 | Garantizar la conexión con la Nube | X |  |
|  | Requerimientos de Usuario |  |  |
| RSSt 5 | Sistema pequeño, que invada poco al cultivo |  | X |
| RSSt 6 | Sistema Fácil de Usar |  | X |
| RSSt 7 | Inmune a la Humedad | X |  |
| RSSt 8 | Mostrar los datos en una Interfaz Amigable | X |  |

*Fuente:* Criterios de diseño del proyecto.

* + 1. Requerimientos del funcionamiento del sistema

En los requisitos de funcionamiento se enumera las funciones específicas de este sistema, definiendo el comportamiento del mismo, la forma de uso, las conexiones inalámbricas e internas y finalmente los requerimientos físicos y se pueden observar en la tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos de Funcionamiento.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| REQUERIMIENTOS DE FUNCIONAMIENTO (RSFs) | | |  |
| N° | Requerimientos | Prioridad | |
|  | Requerimientos de Uso | Alta | Media |
| RSFs 1 | Equipos Pequeños que no interfieran en el crecimiento del cultivo | X |  |
| RSFs 2 | Dispositivos alimentados por baterías | X |  |
| RSFs 3 | Equipo completamente sellado para evitar daños por humedad |  | X |
| RSFs 4 | Interfaz de Usuario clara. Ordenada y comprensible. |  | X |
|  | Requerimientos de Conexión |  |  |
| RSFs 5 | Conexión Inalámbrica usando tecnología 802.15.4g | X |  |
| RSFs 6 | Envío y Recepción de datos entre los nodos en todo momento | X |  |
| RSFs 7 | Adaptable a la disposición del Usuario |  | X |
| RSFs 8 | Conexión con la Base de Datos en la Nube | X |  |

*Fuente:* Criterios de diseño del proyecto.

* + 1. Requerimientos de Arquitectura

Se detallan los requerimientos y los componentes necesarios ya sea en software como en hardware, el análisis se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos de Arquitectura.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA (RARa) | | |  |
| N° | Requerimientos | Prioridad | |
|  | Requerimiento Lógico | Alta | Media |
| RARa 1 | Entradas y Salidas Analógicas y Digitales | X |  |
| RARa 2 | Comunicación y Conexión en todo el sistema | X |  |
| RARa 3 | Calibración de Sensores | X |  |
|  | Requerimientos de Conexión |  |  |
| RSFs 5 | Conexión Inalámbrica usando tecnología 802.15.4g | X |  |
| RSFs 6 | Envío y Recepción de datos entre los nodos en todo momento | X |  |
| RSFs 7 | Adaptable a la disposición del Usuario |  | X |
| RSFs 8 | Conexión con la Base de Datos en la Nube | X |  |

*Fuente:* Criterios de diseño del proyecto.

* 1. Hardware y Software del sistema
     1. Elección de Hardware
        1. Placa Open Mote - B

El OpenMote B es la plataforma de creación de prototipos y desarrollo de hardware definitiva para el Industrial Internet of Things (IoT), específicamente para investigadores y desarrolladores que trabajan hacia redes inalámbricas de área de campo de baja potencia y largo alcance de última generación basadas en la pila IPv6.

Está construido alrededor del bien soportado Texas Instruments CC2538 ARMCortex-M3 microcontrolador, y cuenta con operación multibanda simultánea en el 2.4 GHz y bandas ISM de 868/915 MHz con soporte completo para el último IEEE 802.15.4 estándares, incluidas las modulaciones MR-OFDM de IEEE 802.15.4g-2012 (INDUSTRIAL SHIELDS, 2019).

Tabla 7. Características Técnicas del Open Mote - B

|  |  |
| --- | --- |
| Micro-Controller (Texas Instruments, CC2538) | |
| ARM Cortex-M3 with code pre-fetch | Funcionamiento a 16 MHz o 32 MHz |
| 32 Kbytes RAM |
| 512 Kbytes FLASH |
| Periféricos en chip | 4x propósito general, 1x temporizador de suspensión |
| 1x ADC de 12 bits con 8 canales |
| 2x SPI, 2x UART, 1x I2C |
| Aceleración de hardware de seguridad | Cifrado AES-128/256/SHA2 |
| Intercambio seguro de claves ECC-128/256 |
| Operación de baja potencia | Modo activo: 7/13mA (16/32 MHz) |
| LPM1: 600uA (retención completa, activación 4us) |
| LPM2: 1,3 uA (retención de RAM de 16 Kbyte, activación de 128 us, activación desde RTC) |
| LPM3: 0,4 uA (retención de RAM de 16 Kbyte, activación de 128us, activación desde GPIO) |
| Transceiver 1 (Texas Instruments, CC2538) | |
| Opera en la banda ISM de 2,4 GHz con soporte para IEEE 802.15.4-2006 | Modulación: OQPSK con DSSS |
| Velocidad de datos: 250 kbps |
| Sensibilidad del receptor: -97 dBm |
| Potencia de transmisión: 7 dBm |
| Corriente de transmisión: 24 mA a 0 dBm |
| Recibir corriente: 20 mA |
| Transceiver 2 (ATMEL, AT86RF215) | |
| Opera en las bandas ISM de 868/915 MHz y 2,4 GHz con soporte para IEEE  802.15.4g-2012 | Modulación: MR-FSK/OFDM/O-QPSK |
| Velocidad de datos: 6,25 kbps a 2400 kbps |
| Sensibilidad del receptor: -123 dBm |
| Potencia de transmisión: 14.5dBm |
| Corriente de transmisión: 62 mA a 14 dBm |
| Corriente de recepción: 28 mA |

Fuente: Datasheet de la placa. (INDUSTRIAL SHIELDS, 2019)

* + - 1. Arduino UNO

Arduino UNO es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden usarse como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador de cerámica de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. Puede jugar con su UNO sin preocuparse demasiado por hacer algo mal, en el peor de los casos, puede reemplazar el chip por unos pocos dólares y comenzar de nuevo.

Tabla 8. Especificaciones Arduino UNO.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Board** | **Arduino UNO R3** | |
| Microcontrolador | ATmega328P | |
| USB connector | USB-B | |
| Pins | Built-in LED Pin: 13 | |
| Digital I/O Pins: 14 | |
| Analog input pins: 6 | |
| PWM pins: 6 | |
| Communication | UART: Sí | |
| I2C: Sí | |
| SPI: Sí | |
| Power | I/O Voltage: 5 V. | |
| Input voltage (nominal): 7 – 12 V. | |
| DC Current per I/O Pin: 20 mA | |
| Power Supply Connector: Barrel Plug | |
| Clock speed | Main Processor: ATmega328P 16 MHz | |
| USB-Serial Processor: ATmega16U2 16 MHz | |
| Memory | 2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM | |
| Dimensiones | Peso: 25 g | Ancho: 53.4 mm |
| Longitud: 68.6 mm | |

*Fuente:* Datasheet del Arduino UNO. (Arduino, 2022).

* + 1. Elección de Sensores
       1. Sensor PH SEN0161

El medidor de pH analógico V2 está diseñado específicamente para medir el pH de la solución y reflejar la acidez o alcalinidad. Se usa comúnmente en diversas aplicaciones, como acuaponía, acuicultura y pruebas ambientales de agua.

Como una versión mejorada del medidor de pH V1, este producto mejora en gran medida la precisión y la experiencia del usuario. El chip regulador de voltaje incorporado admite un amplio suministro de voltaje de 3,3 ~ 5,5 V, que es compatible con la placa de control principal de 5 V y 3,3 V. La señal de salida filtrada por hardware tiene un jitter bajo. La biblioteca de software adopta el método de calibración de dos puntos y puede identificar automáticamente dos soluciones tampón estándar (4.0 y 7.0), de manera simple y conveniente (DFRobot Gravity, 2020).

Tabla 8. Características del Sensor de pH.

|  |  |
| --- | --- |
| **Placa de conversión de señal (transmisor) V2** | |
| Voltaje de suministro | 3.3 ~ 5.5 V |
| Voltaje de Salida | 0 ~ 3.0V |
| Conector de sonda | BNC |
| Conector de señal | PH2.0-3 P |
| Precisión de la medición | ± 0.1 @ 25 ℃ |
| Dimensión | 42mm\*32mm/1.66\*1.26in |
| **Sonda de pH** | |
| Tipo de sonda | Grado de laboratorio |
| Rango de detección | 0 ~ 14 |
| Rango de temperatura | 5 ~ 60 °C |
| Punto cero | 7 ± 0.5 |
| Tiempo de respuesta | < 2 min |
| Resistencia interna | < 250 MΩ |
| Vida útil de la sonda | >0.5 año (La vida útil está relacionada con la frecuencia de uso y la escena) |
| Longitud del cable | 100 cm |

*Fuente:* Datasheet del Sensor. (DFRobot Gravity, 2020).

* + - 1. Sensor Temperatura DHT22

El sensor de temperatura utiliza tecnología exclusiva de recolección de señales digitales y tecnología de detección de humedad, lo que garantiza su confiabilidad y estabilidad.

Sus elementos de detección están conectados con una computadora de un solo chip de 8 bits. Cada sensor de este modelo está compensado por temperatura y calibrado en una cámara de calibración precisa y la calibración- El coeficiente se guarda en el tipo de programa en la memoria OTP, cuando el sensor está detectando, citará el coeficiente de la memoria (Aosong Electronics Co, 2020).

El tamaño pequeño, el bajo consumo y la larga distancia de transmisión (20 m) permiten que DHT22 se adapte a todo tipo de ocasiones de aplicación difíciles. Empaquetado de una sola fila con cuatro pines, lo que hace que la conexión sea muy conveniente.

Tabla 9. Características del Sensor DHT22.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Modelo** | **DHT22** | | |
| Fuente de Alimentación | 3.3-6V DC | | |
| Señal de salida | Señal digital a través de un solo bus | | |
| Elemento de detección | Condensador de polímero | | |
| Rango de operación | Humedad 0-100%RH | Temperatura -40 ~ 80 Celsius | |
| Precisión | Humedad +-2%RH (Max +-5%RH) | Temperatura <+-0.5Celsius | |
| Resolución o sensibilidad | Humedad 0.1%RH | Temperatura 0.1Celsius | |
| Repetibilidad | Humedad +-1%RH | Temperatura +-0.2Celsius | |
| Histéresis de humedad | +-0.3%RH | | |
| Estabilidad a largo plazo | +-0.5%RH/año | | |
| Período de detección | Promedio: 2s | | |
| Intercambiabilidad | Totalmente Intercambiable | | |
| Dimensiones | Talla pequeña 14\*18\*5.5mm | | Tamaño Grande 22\*28\*5mm |

*Fuente:* Datasheet del Sensor. (Aosong Electronics Co, 2020).

* + - 1. Sensor Humedad del Suelo

Este es un sensor de humedad del suelo capacitivo analógico que mide los niveles de humedad del suelo mediante detección capacitiva, es decir, la capacitancia varía según el contenido de agua presente en el suelo. La capacitancia se convierte en nivel de voltaje básicamente de 1,2 V a 3,0 V como máximo. La ventaja del sensor de humedad del suelo capacitivo es que están hechos de un material resistente a la corrosión que le da una larga vida útil (DFRobot, 2020).

Tabla 10. Características del Sensor de Humedad de Suelo.

|  |  |
| --- | --- |
| **Sensor capacitivo de humedad del suelo: SEN0193** | |
| Voltaje de funcionamiento | 3.3 ~ 5.5 VDC |
| Voltaje de salida | 0 ~ 3.0 VDC |
| Corriente de funcionamiento | 5mA |
| Interfaz | PH2.0-3P |
| Dimensiones | 3.86 x 0.905 inches (L x W) |
| Peso | 15g |

*Fuente:* Datasheet del Sensor. (DFRobot, 2020).

* + 1. Elección de Software
       1. Software para programación de Nodos
* **RIOT-OS**

RIOT es un sistema operativo de código abierto basado en microkernel, diseñado para cumplir con los requisitos de los dispositivos de Internet de las cosas (IoT) y otros dispositivos integrados. “Estos requisitos incluyen una huella de memoria muy baja (kilobytes), alta eficiencia energética, capacidades en tiempo real, soporte para una amplia gama de hardware de bajo consumo, pilas de comunicación para redes inalámbricas y pilas de comunicación para redes cableadas” (Baccelli, Hahm, Günes, Wählisch, & Schmidt, 2013).

El código base de RIOT está estructurado en cinco grupos.

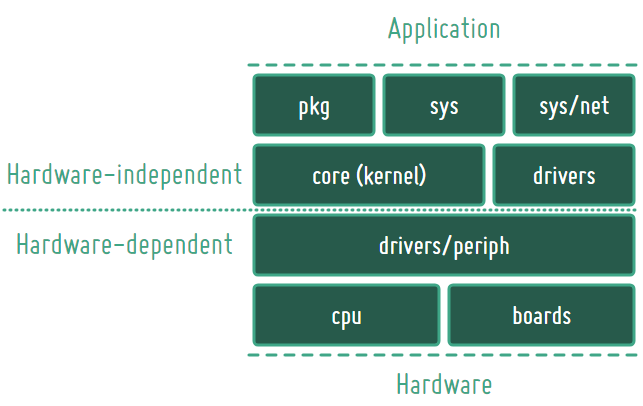


Figura 1. Estructura de RIOT-OS. Fuente: (Baccelli, Hahm, Günes, Wählisch, & Schmidt, 2013).

* + El núcleo (core)
  + Código específico de la plataforma (cpu; boards)
  + Controladores de dispositivos (drivers)
  + Bibliotecas y código de red (sys; pkg)
  + Aplicaciones para demostrar características y para probar (examples; test)

Además, RIOT incluye una colección de scripts para varias tareas (dist), así como un entorno predefinido para generar esta documentación (doc).

Este Software fue seleccionado principalmente por su diseño hacia las aplicaciones IoT así como su compatibilidad y soporte para placas OpenMote-b.

OpenMote es una placa delgada que viene con un SoC de TI que combina un microcontrolador ARM Cortex-M3 con una radio IEEE802.15.4. Actualmente, RIOT admite la actualización del OpenMote mediante un adaptador Segger JLink JTAG o mediante USB, mediante el cargador de arranque de la placa (Baccelli, Hahm, Günes, Wählisch, & Schmidt, 2013).

Tabla . Características de la placa compatible en RIOT.

|  |  |
| --- | --- |
| **MCU** | **CC2538SF53** |
| Familia | ARM Cortex-M3 |
| Vendedor | Texas Instruments |
| RAM | 32Kb |
| Flash | 512Kb |
| Frecuencia | 32MHz |
| FPU | no |
| Timers | 4 |
| ADCs | 1x 12-bit (8 channels) |
| UARTs | 2 |
| SPIs | 2 |
| I2Cs | 1 |
| Vcc | 2V - 3.6V |

*Fuente:* Documentación RIOT-OS. (Baccelli, Hahm, Günes, Wählisch, & Schmidt, 2013).

* **Arduino IDE**

Es una aplicación de software libre desarrolla en el lenguaje de programación de Java, enfocada para placas diseñadas por la misma compañía y las cuales son compatibles con una variedad amplia de Sensores, en dicho caso tiene compatibilidad precisa con los Sensores DHT22, SEN0193 y SEN0161 los cuales son de Temperatura, Humedad de Suelo y PH del Agua, respectivamente.

Otra característica principal es que nos permite usar el Serial como método de comunicación entre el Arduino y OpenMote-b. Se utiliza para la comunicación entre la placa Arduino y una computadora u otros dispositivos. Todas las placas Arduino tienen al menos un puerto serie (también conocido como UART o USART), y algunas tienen varios.

“En Uno, Nano, Mini y Mega, los pines 0 y 1 se utilizan para la comunicación con la computadora. Puede utilizar el monitor serie integrado del entorno Arduino para comunicarse con una placa Arduino” (ARDUINO, 2022).

Tabla . Características Comunicación Serial en Arduino.

|  |  |
| --- | --- |
| **BOARD** | **SERIAL PINS** |
| Uno, Nano, Mini | 0(RX), 1(TX) |

*Fuente:* Documentación Arduino. (ARDUINO, 2022).

* + - 1. DataBase as a service (DaaS)
* **MongoDB**

Los datos como servicio (DaaS) son un modelo de negocio en el que los datos están disponibles bajo demanda e independientemente de la ubicación o la infraestructura del consumidor. Para habilitar DaaS, las organizaciones proporcionan software basado en la nube para analizar y administrar los datos a los que se accede.

DaaS se adapta perfectamente para generar una vista única de su negocio. Cuando unifica los datos de su empresa y los pone a disposición como datos como servicio, el siguiente paso es crear una aplicación para exponer una vista única de esos datos a quienes los necesitan. Una mejor visibilidad en tiempo real en todo el negocio, un mejor servicio al cliente y una perspectiva para oportunidades más inteligentes de ventas cruzadas y ventas adicionales están al alcance de la mano (MongoDB, 2022).

MongoDB almacena datos en documentos en lugar de tablas rígidas. Los documentos se reúnen en colecciones. El modelo de documento está diseñado para ser flexible y fácil de usar.

* + - 1. Infraestructure as a Service (IaaS)
* **Google Cloud**

La infraestructura como servicio (también conocida como IaaS) es la disponibilidad bajo demanda de recursos de computación muy escalables como servicios a través de Internet. De este modo, se elimina la necesidad de aprovisionar, configurar o gestionar los recursos y solo se paga por el uso que se hace de estos recursos.

Las principales Ventajas son:

Económico: Como los recursos de IaaS se usan bajo demanda y las empresas solo tienen que pagar por los recursos de computación, almacenamiento y redes que se usan.

Eficaz: Los recursos de IaaS suelen estar disponibles para las empresas cuando los necesitan.

Aumenta la productividad: Como el proveedor de nube es responsable de la configuración y el mantenimiento de la infraestructura física subyacente, los departamentos de TI de las empresas pueden ahorrar tiempo y dinero.

Fiable: El modelo de IaaS no tiene ningún punto único de fallo. Si un componente de los recursos de hardware falla, en la mayor parte de los casos el servicio seguirá estando disponible (Google Cloud, 2022).

* + - 1. Framework del Navegador Web
* **Node JS**

Como tiempo de ejecución de JavaScript asíncrono basado en eventos, Node.js está diseñado para crear aplicaciones de red escalables. En el siguiente ejemplo de "hola mundo", se pueden manejar muchas conexiones al mismo tiempo. En cada conexión, se activa la devolución de llamada, pero si no hay trabajo por hacer, Node.js se suspenderá.

Node.js es similar en diseño e influenciado por sistemas como Event Machine de Ruby y Twisted de Python. Node.js lleva el modelo de eventos un poco más allá. Presenta un bucle de eventos como una construcción en tiempo de ejecución en lugar de como una biblioteca. En otros sistemas, siempre hay una llamada de bloqueo para iniciar el bucle de eventos.

* 1. Diseño del Prototipo

Ya que se han identificado los parámetros a medir en la planta y los equipos necesarios para el mismo se procederá a realizar el diseño de los Nodos de Sensores que recolectarán todos los datos del cultivo y esos a su vez serán enviados a través de comunicación Serial hacia el equipo OpenMote-b que enviará los datos usando el protocolo MQTT-SN hacia el Gateway en el Borde Route donde se recopilarán todos los datos de cada Estación. Véase la figura 2 en el siguiente apartado donde se identificará este proceso en un diagrama de bloques.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 2. Diagrama de Bloques Nodo Sensor 1. Fuente: Autora.

Por otro lado, el Borde Router será el encargado de la recepción de estos datos y el enrutamiento de los mismos hacia el Cloud para su posterior visualización en la siguiente figura 3 se puede observar el diagrama de bloques del funcionamiento del Router de Borde.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 3. Diagrama de Bloques Borde Router. Fuente: Autora.

Una vez se conoce el funcionamiento interno del sistema se puede proceder con el diseño de este, para dicho caso se presentan el diagrama de flujo para poder describir el proceso de cada etapa de la programación la cual se efectúa con un Arduino UNO. Primeramente, se inicia con los Nodos Sensores; quienes, como se mencionó anteriormente, recopilarán toda la información. Véase figura 4.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 4. Diagrama de Flujo Nodo de Sensores 1. Fuente: Autora.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 5. Diagrama de Flujo Nodo Sensor 2. Fuente: Autora.

Siguiendo el diagrama de bloques visto en la figura 2 ahora que recolectamos los datos de los sensores en el Arduino UNO se enviarán por Comunicación Serial hacia la placa OpenMote-b para el envío posterior de los datos, y se describe este proceso en la figura 5 mostrada a continuación.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 6. Diagrama de Flujo de los Nodos Sensores en OpenMote-B. Fuente: Autora.

Podremos observar el diagrama de conexiones para cada uno de los Sensores y se observa en las figuras 7 y 8.

Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamente

Figura 7. Diagrama Circuital Nodo Sensor 1. Fuente: Autora.

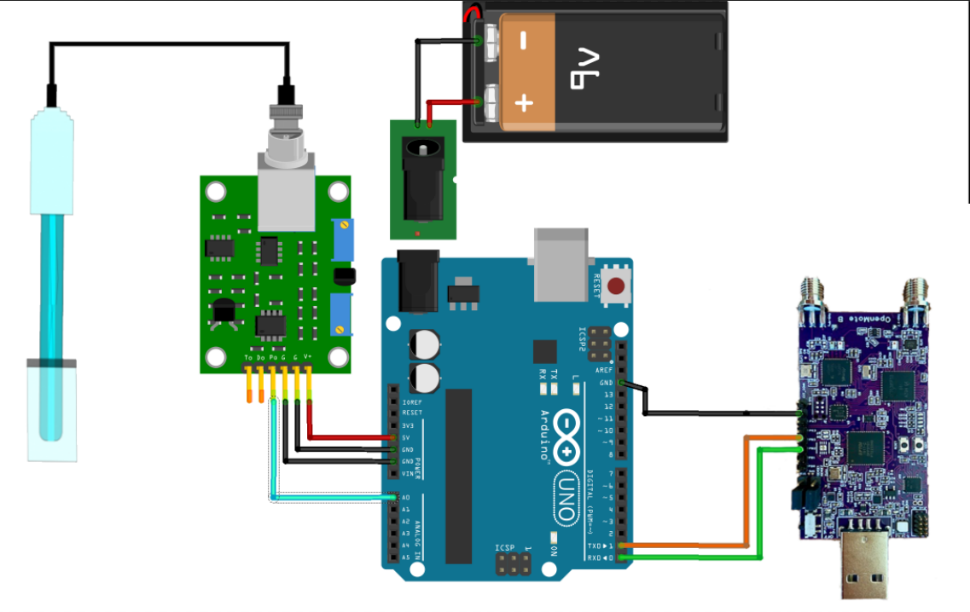


Figura 8. Diagrama Circuital Nodo Sensor 2. Fuente: Autora.

A continuación, se recibirán estos datos en el Borde Router que será el encargado de enviarlos al Broker que es efectuado en Mosquitto RSMB, los valores que serán publicados sobre MQTT-SN, y luego necesitan llegar a la nube vía MQTT, a través de un puente entre ambos protocolos, este proceso podemos observarlo en la figura 9.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 9. Diagrama de Flujo Borde Router. Fuente: Autora.

Con los datos listos para ser analizados lo primero que podemos hacer es configurar el intermediario MQTT-SN. Se ha utilizado Mosquitto Really Small Message Broker (RSMB) como Broker en el lado de los sensores y a su vez la conexión de un Puente Transparente que realice el cambio de MQTT-SN hacia MQTT, como lo explica el disgrama de bloques en la figura 10.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 10. Diagrama de Bloques Broker MQTTSN y Puente MQTT. Fuente: Autora.

Como se mencionó anteriormente dado que no es posible el puente directo entre el RSMB y el servicio en la nube se creará un puente que cumplirá el objetivo de recibir los mensajes con la conexión a temas deseados y enviarlos a Google Cloud Service y posteriormente ingresarlos en una base de Datos, en la figura 11 se puede observar la lógica de programación representada en un Diagrama de Flujo.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 11.Diagrama de Flujo Broker MQTTSN y Puente MQTT. Fuente: Autora.

* 1. Arquitectura General del Sistema

Mapa

Descripción generada automáticamente

Figura 10. Arquitectura.

Capítulo 4

Implementación y Pruebas

Capítulo 5

* 1. Conclusiones
  2. Recomendaciones

Bibliografía

Adenowo, A. A., & Adenowo, B. A. (2013). Software Engineering Methodologies: A Review of the Waterfall Model and Object-Oriented Approach. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, V4-I7.

Aosong Electronics Co. (2020). *DHT22 Datasheet.* Obtenido de Aosong Electronics Co.,Ltd: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html

Arduino. (2022). *Arduino UNO R3 Overview* . Obtenido de UNO R3: https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3

ARDUINO. (2022). *Serial [Communication]*. Obtenido de Arduino Documentation, Functions: https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/

Baccelli, E., Hahm, O., Günes, M., Wählisch, M., & Schmidt, T. (2013). RIOT OS: Towards an OS for the internet of things. *ResearchGate*.

Bradner, S. &. (1999). *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices.* IETF.

DFRobot. (2020). *Capacitive Soil Moisture Sensor: SEN0193.* Obtenido de DFRobot Website: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0193\_Web.pdf

DFRobot Gravity. (2020). *Gravity: Analog pH Sensor/Meter Kit V2 SKU:SEN0161-V2.* Obtenido de Sigma Electronica Website: https://www.sigmaelectronica.net/wp-content/uploads/2019/02/SEN0161-v2.pdf

Dolci, R. (2017). IoT Solutions for Precision Farming and Food Manufacturing: Artificial Intelligence Applications in Digital Food. *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, 384-385.

Fang, Y., Nunez, G. H., da Silva, M. N., Phillips, D. A., & Munoz, P. R. (2020). A Review for Southern Highbush Blueberry Alternative Production Systems. *Agronomy*, 10.

Google Cloud. (2022). *¿Qué es la IaaS?* Obtenido de Google Cloud - Documentation: https://cloud.google.com/learn/what-is-iaas?hl=es

Herrera, C., Dien Tran, T., Egas, C., Pereira, V., & Sá Silva, J. (2016). Reliability in Wireless Sensor Networks for Environment Monitoring. *Revista Politécnica*, 37 (1).

IEEE. (2019). *1900.1-2019 - IEEE Standard for Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management.* IEEE.

IEEE Computer Society. (2020). *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks.* Carleton University: IEEE.

INDUSTRIAL SHIELDS. (2019). *Open Mote B User Guide .* Obtenido de INDUSTRIAL SHIELD Website: https://www.industrialshields.com/es\_ES/shop/product/is-omb-001-openmote-b-721#attr=

Ivanov, S., Bhargava, K., & Donnelly, W. (2015). Precision Farming: Sensor Analytics. *IEEE Intelligent Systems*, 76-80.

Jing, Y., Yuzhi, Z., Dan, D., Xiao, W., Ping, Y., Lingfang, C., . . . Zetao, L. (2017). *An early warning system of diseases and pests for blueberry based on WSN.* Dalian: IEEE.

Lazarescu, M. (2013). Design of a WSN Platform for Long-Term Environmental Monitoring for IoT Applications. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 45-54.

Matin, M., & Islam, M. M. (2012). Overview of Wireless Sensor Network. *Wireless Sensor Networks - Technology and Protocols*, 3-5.

MongoDB. (2022). *Data as a Service (DaaS) Explained*. Obtenido de MongoDB - Documentation: https://www.mongodb.com/initiatives/data-as-a-service

Ochmian, I., Błaszak, M., Lachowicz, S., & Piwowarczyk, R. (2020). The impact of cultivation systems on the nutritional and phytochemical content, and microbiological contamination of highbush blueberry. *scientific reports*, 16.

Ochmian, I., Grajkowski, J., Mikiciuk, G., Ostrowska, K., & Chelpinski, P. (2009). Mineral composition of high blueberry leaves and fruits depending on substrate type used for cultivation. *Journal of Elementology*, 509-516.

República Del Ecuador Consejo Nacional De Planificación. (2013). *PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR.* Quito, Ecuador: SENPLADES.

Seah, W. K., Eu, Z. A., & Tan, H.-P. (2009). Wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting (WSN-HEAP) - Survey and challenges. *2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace Electronic Systems Technology*, 1-5.

Steve. (27 de Septiembre de 2021). *Steve's Internet Guide*. Obtenido de MQTT Brokers and Cloud Hosting Guide: http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-hosting-brokers-and-servers/

Trickey, D. G. (2020). An investigation into RIOT-OS for use in 6LoWPAN sensor networks. *BSc Computer Science*, 79-80.

Wiangtong, T., & Sirisuk, P. (2018). IoT-based Versatile Platform for Precision Farming. *2018 18th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 438-441.

Xie, Z.-S., & Wu, X.-C. (2009). STUDIES ON SUBSTRATES FOR BLUEBERRY CULTIVATION. *International Society for Horticultural Science*.

802.15 WG - Wireless Specialty Networks (WSN) Working Group. (2020). *IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks.* IEEE.

Bradner, S., & McQuaid, J. (1999). *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices.* IETF.

BURBANO GARCIA, J. L. (2014). *Red WSN para el control y monitoreo de una sistema de riego por goteo de una plantación de fresas en la granja experimental Yuyucocha - UTN.* Yuyucocha: UTN.

CARDENAS DELGADO, J. E. (2021). *Sistema de adquisición de variables climáticas para invernaderos: Manejo de datos.* Ibarra: UTN.

CASTILLO IMBAQUINGO, D. X. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de alarma comunitaria a base de módulos inalámbricos utilizando tecnología ZIGBEE.* Ibarra: UTN.

GAVILANEZ ZUMARRAGA, L. A. (2021). *Medidor de CO2 y Temperatura para invernadero UTN.* Ibarra: UTN.

IEEE. (2019). *1900.1-2019 - IEEE Standard for Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management.* IEEE.

Jing, Y., Yuzhi, Z., Dan, D., Xiao, W., Ping, Y., Lingfang, C., . . . Zetao, L. (2017). *An early warning system of diseases and pests for blueberry based on WSN.* Dalian: IEEE.

Junjalearnvong, T., Habara, T., Okumura, R., Mizutani, K., & Harada, H. (2017). *A dynamic routing protocol supporting mobile nodes in Wi-SUN FAN systems.* Bali, Indonesia: IEEE.

Mizutani, K., Okumura, R., Mizutani, K., & Harada, H. (2020). *A Home Area Heterogeneous Wireless Management Scheme by Wi-SUN FAN and Wi-Fi Systems.* Las Vegas, NV, USA: IEEE.

Mochizuki, K., Obata, K., Mizutani, K., & Harada, H. (2016). *Development and field experiment of wide area Wi-SUN system based on IEEE 802.15.4g.* Reston, VA, USA: IEEE.

PALACIOS ECHEVERRIA, J. A. (2017). *Diseño de una red de sensores (WSN) con tecnología 802.15.4, basado en el concepto agricultura de precisión para el control y monitoreo de cultivos de hortalizas bajo invernadero en la granja la pradera de la Universidad Técnica del Norte.* Ibarra, Ecuador: UTN.

República Del Ecuador Consejo Nacional De Planificación. (2013). *PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR.* Quito, Ecuador: SENPLADES.

Shahid, A., Fontaine, J., Camelo, M., Haxhibeqiri, J., Saelens, M., Khan, Z., & Moerman, I. (2019). *A Convolutional Neural Network Approach for Classification of LPWAN Technologies: Sigfox, LoRA and IEEE 802.15.4g.* Boston, MA, USA: IEEE.

Simões Martins, N., Calado, M. d., Pombo, J. A., & Mariano, S. J. (2016). *Blueberries field irrigation management and monitoring system using PLC based control and wireless sensor network.* Florence, Italy: IEEE.

Glosario de Términos

Anexos (Hojas de Datos/ Código/ Encuesta/ Entrevista)