



Redes de Computadores I

Estudio del Estándar Zigbee

Universidad Técnica Federico Santa María

INTEGRANTES: Ricardo Albornoz
Eduardo Soto
PROFESOR: Agustín González
FECHA: 24 de Agosto de 2018

1. RESUMEN

Dentro del área de las redes, se ve un progresivo aumento en la cantidad y diversidad de dispositivos que pasan a formar parte de redes inteligentes donde se comparten mediciones y comandos. Dentro de las áreas que enmarcan estos cambios aparece la denominada internet de las cosas o IoT la cuál en esta etapa inicial busca consolidar estándares para su implementación. Zigbee se vislumbra como un conjunto de estándares ideal para esta área creciente de la tecnología, gracias a su implementación amigable y flexible de las capas de red y de aplicación, junto con su bajo consumo energético y gran cantidad de dispositivos permitidos por red. Todo esto apoyado por el estándar ya consolidado de las capas de enlace y física entrega la norma IEEE 802.15.4.

Se presenta acá un breve recorrido por las principales características de Zigbee. Su motivación, su implementación por capas, sus características de implementación y de sus topologías.

2. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas surgen por la necesidad de comunicar o transferir información entre dispositivos, donde no es posible interconectar el transmisor y receptor por un medio físico como cable o fibra óptica. Su avance en los últimos años hace que prácticamente se prefiera en cualquier entorno.

Si estas redes se clasifican por alcance, se puede encontrar el tipo que cubre menor área, WPAN (Wireless Personal Area Networks) o redes inalámbricas de área personal, donde se presenta la mayor competencia entre protocolos, ya que hasta ahora ninguno ha logrado cubrir las necesidades que se dan en entornos más reducidos.

Al crear una proyecto o aplicación que requiera comunicar dispositivos en una red de área personal se debe decidir que tecnología y protocolo utilizar, considerando lo que cada uno ofrece. Bluetooth por ejemplo, es uno de los estándares más utilizados en dispositivos como celulares, audífonos, computadoras, etc., donde las ultimas versiones proporcionan tasas de transferencias altas en comparación a otras tecnologías. Otro estándar aun más nuevo es NFC, el que presenta la ventaja de no necesitar aparear dispositivos como Bluetooth, tan solo con acercar los dispositivos éstos se conectan automáticamente, por lo que se está utilizando para transferencia de archivos en dispositivos móviles, en tarjetas de seguridad para reemplazar llaves o como billetera digital, acercando un smartphone para realizar pagos. Por último, Zigbee es otra posibilidad de estándar, que entrega características distintas, tales como un alcance mayor a los estándares mencionados, menor tasa de transferencia, una gran sencillez y muy bajo coste, tanto en implementación como en consumo energético; además de proporcionar una topología interesante para comunicación de varios dispositivos.

El centro de interés de este estudio es el estándar Zigbee, donde muestran las bases generales de su funcionamiento, estructura, ventajas y desventajas; se ahonda en las características antes mencionadas y se comentan sus aplicaciones comunes.

3. EL ESTÁNDAR ZIGBEE

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). IEEE.802.15.4 define las capas física y MAC, y Zigbee define las capas de red y aplicación. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Convirtiéndose en una alternativa ideal para redes de sensores, ya que además presenta la posibilidad de generar redes en malla para admitir la comunicación entre un gran número de dispositivos.

El estándar Zigbee fue desarrollado para abordar las necesidades de un estándar que sea:

- Seguro.
- Confiable y auto regenerativo (self healing).
- Flexible y extensible.
- Bajo costo.
- Bajo consumo de energía
- Fácil y económico de implementar.
- Global con uso de bandas de radio sin licencia.
- Inteligencia integrada para la configuración de la red y el enrutamiento de mensajes.

3.1 APLICACIONES TÍPICAS

Hay un gran número de aplicaciones para las capacidades de redundancia, auto configuración y auto regeneración que presentan las redes en malla de Zigbee. Entre éstas se encuentra:

- **Gestión y eficiencia energética**, para proporcionar mayor información y control de uso de energía.
- **Automatización de casas**, para proporcionar una administración flexible de iluminación, calefacción y refrigeración, seguridad, etc.
- **Automatización de edificios**, donde se puede integrar y centralizar la administración de luces, calefacción, refrigeración y seguridad.
- **Automatización industrial**, para ampliar la confiabilidad de los sistemas de control de procesos y fabricación existentes.

Adicionalmente, se pueden encontrar aplicaciones en periféricos para computación y electrónica de consumo. Sin embargo, Zigbee es ampliamente conocido por sus aplicaciones ya mencionadas en automatización de casas o *domótica*.

3.2 STACK DEL PROTOCOLO ZIGBEE

Para entender un poco mejor como está desarrollada esta tecnología, se puede observar el esquema de la arquitectura del Stack o Pila de Zigbee; en donde se pueden ver las diferentes capas que la componen y quien las define. Las capas inferiores (física y MAC), están definidas por la norma IEEE 802.15.4; mientras que las demás capas (red y aplicación), son especificadas por Zigbee Alliance; y solo los "Objetos de Aplicación", son definidos por el fabricante o desarrollador si se trabaja con perfiles de aplicación privados.

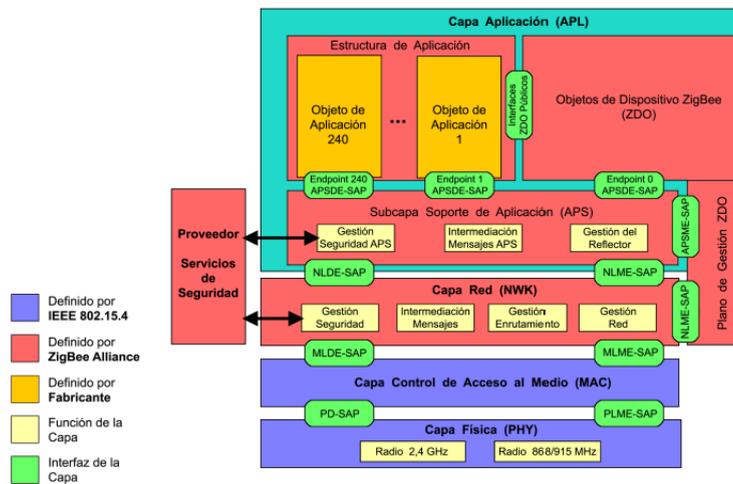


Figura 1: Arquitectura del Stack de Zigbee.

A continuación se describen brevemente los elementos del stack, donde se utiliza el lenguaje de la figura 1 para cada capa o elemento.

Zigbee

- Capa de aplicación (APL): La capa superior en la pila del protocolo ZigBee la cuál está orientada bajo el enfoque de programación orientado a objetos y consiste en la Estructura de Aplicación, el Objeto de Dispositivo ZigBee (ZDO) y la Subcapa de Soporte de Aplicación (APS).
 - Estructura de aplicación: Proporciona una descripción de cómo crear un perfil en la pila de ZigBee (para ayudar a garantizar que los perfiles se puedan generar de manera consistente). También especifica una gama de tipos de datos estándar para perfiles, formatos de frames para transportar datos y una construcción de par de valores clave para desarrollar rápidamente perfiles simples basados en atributos.
 - Objetos de aplicación: Software en un EndPoint que controla el dispositivo ZigBee. Un solo nodo ZigBee admite hasta 240 objetos de aplicación. Cada objeto de aplicación toma un identificador llamado EndPoints numerados entre 1 y 240 (con el punto final 0 reservado para el objeto de dispositivo ZigBee (ZDO)).
 - Objeto de dispositivo ZigBee (ZDO): Define el rol de un dispositivo dentro de la red (coordinador, enrutador o dispositivo final), inicia y / o responde a solicitudes de

enlace y descubrimiento, y establece una relación segura entre dispositivos de red. El ZDO siempre es punto cero.

- Subcapa de soporte de aplicaciones (APS): Responsable de proporcionar un servicio de datos para la aplicación y los perfiles del dispositivo ZigBee. También proporciona un servicio de administración para mantener los enlaces y el almacenamiento de la tabla de enlace.
- Plano de gestión ZDO: Facilita la comunicación entre las capas APS y NWK con ZDO. Permite que ZDO se encargue de las solicitudes de acceso a la red y seguridad mediante mensajes.
- Proveedor de servicios de seguridad (SSP): Proporciona mecanismos de seguridad para las capas que usan cifrado (NWK y APS). Inicializado y configurado a través de ZDO.
- Capa de red (NWK): Maneja la dirección de red y el enrutamiento al invocar acciones en la capa MAC. Sus tareas incluyen iniciar la red (coordinador), asignar direcciones de red, agregar y eliminar dispositivos de red, enrutar mensajes, aplicar seguridad e implementar el descubrimiento de rutas.

IEEE 802.15.4

- Capa de control de acceso medio (MAC): Responsable de proporcionar comunicaciones confiables entre un nodo y sus vecinos inmediatos, lo que ayuda a evitar colisiones y mejorar la eficiencia. La capa MAC también es responsable de ensamblar y descomponer paquetes de datos y frames.
- Capa física (PHY): Proporciona la interfaz para el medio de transmisión física (por ejemplo, radio). La capa PHY consta de dos capas que operan en dos rangos de frecuencia separados. La capa PHY de frecuencia más baja cubre tanto la banda europea de 868 MHz como la banda de 915 MHz utilizada en países como Estados Unidos y Australia. La capa PHY de frecuencia más alta (2.4GHz) se usa virtualmente en todo el mundo.

3.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS

Zigbee está estructurado de forma tal de darle a los fabricantes de dispositivos una elección respecto a las funcionalidades que tendrá el dispositivo dentro de la red. Dentro de los tipos de dispositivos en una red Zigbee se puede diferenciar entre dos grandes categorías:

- **Dispositivos de función completa (FFD):** Este tipo de dispositivos puede actuar como un *router* dentro de la red y si es que el fabricante lo desea, este puede además comportarse como el coordinador de la red de área personal (PAN).
- **Dispositivos de función reducida:** Estos dispositivos no poseen la capacidad de ruteo, pero si son capaces de conectarse a la red Zigbee como nodos finales comunicándose con su *router* padre. La ventaja de estos nodos es que pueden permanecer gran parte de su tiempo en estado de bajo consumo energético.

En una categorización más específica se puede diferenciar entre dispositivos **coordinadores**, **enrutadores** y **dispositivos finales**, siendo estos últimos de función reducida mientras

que los dos primeros de función completa. Además a esta lista se puede agregar los dispositivos **ZTC** (*Zigbee Trust Center*) encargados de autenticación y seguridad dentro de la red y dispositivos **Zigbee Gateway**, los cuales cumplen la función de interface entre la red Zigbee y otro tipo de red como LAN o Internet, siendo esenciales para una aplicación del tipo IoT.

3.4 TOPOLOGÍAS SOPORTADAS

Zigbee soporta topologías comunes en redes como los son topología estrella y árbol, aunque cabe destacar que estas últimas topologías deben ser implementadas manualmente por el usuario. En particular, Zigbee soporta por defecto una topología de malla o *Mesh* la cuál entrega las ventajas de ser calculada de forma algorítmica al momento de inicializar la red y de su capacidad autoregenerativa si es que un dispositivo enrutador sale de la red.

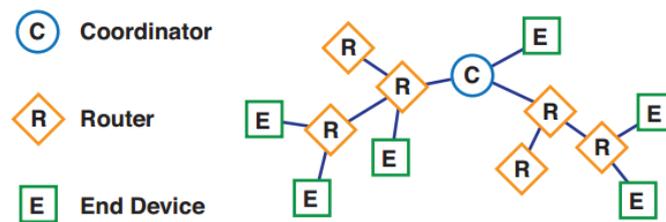


Figura 2: Topología Malla (Mesh Network).

3.5 DEMOSTRACIÓN

Para la demostración se buscó simular la inicialización y rastreo constante que un dispositivo coordinador realiza para armar la red mesh en Zigbee. Para esto se consideraron las alternativas de software de OPNET, OMNeT++ y ns2, decantándose por este último debido a su implementación de código abierto y su mayor facilidad de instalación respecto a las alternativas.

ns2 (**ns** de Network Simulator) es un software de código abierto el cuál a partir de un script de diferente origen y tipo (en este caso se utilizó .tcl) es capaz de construir una red a partir de parámetros especificados en el script y entregar como resultado un archivo de trazas especificando los tiempos y detalles de la comunicación entre los nodos creados.

Se hace uso además del software **nam** o *network animator* el cuál es capaz de leer el archivo de traza o .tr entregado por el simulador e implementarlo de forma gráfica. Se hace uso de un script tcl creado por Yongsen Ma para su trabajo de tesis.

En particular para esta implementación además de las especificaciones para el **network animator** y el inicio de la simulación, es importante destacar los comandos de script.

```
set val(netif) Phy/WirelessPhy/802_15_4
set val(mac) Mac/802_15_4
set val(rp) AODV
```

Los dos primeros implementan las características físicas del protocolo IEEE 802.15.4 y la tercera línea especifica el protocolo de enrutamiento, el cuál implementa en este caso el algoritmo AODV. (Zigbee implementa una variación de este último para la construcción de la red, pero el caso de esta simulación la diferencia práctica no existe)

Para la implementación de la topología se hace del archivo `zigbee_topology.scn` el cuál contiene el mapeo de los nodos en el plano virtual generado por el simulador. En este caso se construye una red tridimensional de filas de 10 nodos de profundidad, 2 de alto y 5 de largo totalizando 100 nodos.

Para la ejecución se deben utilizar los comandos de consola situados en el directorio `/ns2_zigbee-master/` (una vez instalado `nam` y `ns2`):

```
1.. \ns2_zigbee-master\$ ns zigbee.tcl
```

El mismo script tcl hace un llamado al **nam** por lo que este se lanza una vez computada la simulación y arrojado el archivo **tr**.

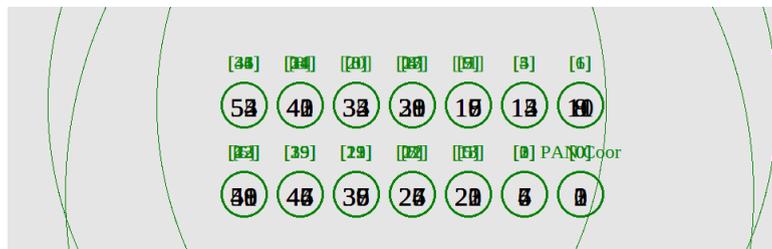


Figura 3: Simulación Nodos. Nodo coordinador en esquina inferior derecha

A medida que avanza la simulación se puede vislumbrar como el nodo coordinador (nodo 0 en esquina inferior derecha) sondea e identifica a los dispositivos uno por uno una vez que estos realizan un ACK. Luego la red se escanea periódicamente.

La implementación completa junto con más información y sus respectivos archivos puede encontrarse en el siguiente link

4. CONCLUSIÓN

Zigbee es un conjunto de estándares bastante apropiado para implementaciones de redes de sensores industriales y domótica, gracias a su gran cantidad de dispositivos permitidos como a su bajo consumo energético, sumada a su implementación inteligente y autoregenerativa en la construcción de su topología. Esto la vuelve ideal para aplicaciones de el campo creciente del internet de las cosas o IoT, por lo que esta tecnología debe ser atendida por quienes se enfoquen en esta área.

Su desventaja respecto a otros estándares es su baja tasa de transmisión de datos en comparación a WiFi o Bluetooth, pero dado que muchos dispositivos no requieren implementaciones del tipo transferencia audiovisual o de archivos, no se trata de una preocupación mayor para los usos en que Zigbee está pensado.

5. ANEXOS

5.1 SOBRE ZIGBEE ALLIANCE Y SUS PERFILES

El 2002 nace la asociación Zigbee Alliance por la necesidad de especificar un estándar global de comunicaciones inalámbricas que tuviera las características mencionadas en la subsección anterior. Actualmente Zigbee Alliance está compuesta por numerosas empresas, universidades y agencias gubernamentales de todo el mundo, convirtiéndose en el único estándar inalámbrico global de redes centrado en las aplicaciones de monitorización, control y sensores.



Figura 4: Logo Zigbee Alliance.

Por otro lado, Zigbee puede actuar mediante perfiles de aplicación públicos, garantizando así la interoperabilidad entre diferentes fabricantes, o con perfiles propios y privados que cualquier desarrollador puede definir.

El perfil de aplicación es simplemente una descripción de los dispositivos que van a formar una red, donde se define principalmente la interfaz entre los dispositivos y la forma de los mensajes que se utilizarán. Los perfiles públicos son definidos por Zigbee Alliance y son los que se muestran en la figura 6.



Figura 5: Perfiles de aplicación públicos.

5.2 CONSUMO ENERGÉTICO

Además de la cantidad de dispositivos que es capaz de soportar y su diseño inteligente de configuración de red, una de las grandes ventajas de Zigbee es su uso inteligente, en comparación a otras implementaciones en la misma banda de frecuencia, Zigbee consume varios órdenes de magnitud de potencia, aunque a cambio de una tasa de transmisión de datos menor que otros estándares como Bluetooth o WiFi.

Una implementación de Zigbee reciente, Zigbee Pro Green Power, diseñada para dispositivos de menor consumo, es capaz de tener un factor de ahorro energético de 100 veces respecto a Zigbee original.

Technology	Power use per hour	Device	Comparison
Wi-Fi	2 kilo Joule	Laptop	
ZigBee	20 milli Joule	Set top box	1/100,000 compared to Wi-Fi
Green Power	200 micro Joule	Light switch	1/100 compared to ZigBee

Figura 6: Comparación de consumo energético, WiFi, Zigbee y Zigbee Pro Green Power.

REFERENCIAS

- [1] ZigBee Alliance, *ZigBee 3.0 – The Open, Global Standard for the Internet of Things*, Zigbee alliance, 2014. (link)
- [2] *Getting Started with ZigBee and IEEE 802.15.4*, Daintree Networks Inc. 2010.
- [3] *Performance evaluation of Zigbee based on NS2*, Yonseng Ma. (link)