

# Estimación de la capacidad efectiva de las redes IEEE 802.15.4 en interferencia de redes IEEE 802.11

Felipe García Sánchez, Antonio Javier García Sánchez, Joan García Haro  
Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena  
Campus Muralla de Mar. Edificio Antiguo Cuartel de Antigonos. Plza. Hospital, 1.  
30202 Cartagena  
E-mail: {felipe.garcia, antoniojavier.garcia, joang.haro}@upct.es

**Resumen.** Las redes IEEE 802.15.4 pueden constituirse como redes de sensores y clasificarse como WPAN (Wireless Personal Area Network) con el objetivo principal de proporcionar las comunicaciones en entornos geográficos reducidos, con bajo coste y bajo consumo energético. Estas redes comparten su banda espectral de operación con otras tecnologías como por ejemplo las redes WLAN 802.11. Las interferencias que pueden producirse junto con el mecanismo de la capa MAC de la red, hacen que la capacidad efectiva del canal disponible para los dispositivos 802.15.4 se reduzca significativamente sobre la máxima especificada de 250 Kbps. En este trabajo se realiza una estimación de la capacidad efectiva que puede ofrecerse a las aplicaciones que operan sobre las redes 802.15.4.

## 1 Introducción

La red IEEE 802.15.4 [1] es la tecnología seleccionada por la ZigBee Alliance [2] para la comunicación inalámbrica entre dispositivos autónomos a pequeñas distancias. Una de sus posibles aplicaciones son las redes de sensores para entornos personales (WPAN) tales como automatismos, hogar digital, sensorización de seguridad (alarmas, detectores de movimiento), etc. En función de la banda de frecuencias utilizada y de la potencia transmitida se espera que puedan alcanzar distancias entre 10 y 75 metros. Estos sistemas se suelen encontrar en entornos distribuidos, normalmente en interiores (*indoor*), en los que se imponen dos parámetros de diseño fundamentales, como son bajo coste y baja tasa de transmisión, hasta 250 Kbps ( $C_p$ ). Al igual que la tecnología IEEE 802.11 se opera bajo el protocolo CSMA/CA, y en este trabajo en modo ranurado (*slotted*).

La principal ventaja de IEEE 802.15.4 es el bajo coste de los dispositivos y la alta durabilidad energética de éstos frente a otras tecnologías, como las redes de sensores basadas en IEEE 802.11, lo que favorece que sea motivo de mayor atención. Ésta es la razón por la que dispositivos como cámaras, micrófonos, etc., que en un principio no usaban esta tecnología se platican migrar hacia ella. Sin embargo, la limitada capacidad de 802.15.4 hace, que hasta el momento, los sistemas desarrollados en este sentido sean todavía simples y de escasa utilidad práctica.

En este artículo se presenta una estimación teórico-empírica en la que se trata de valorar las prestaciones que puede ofrecer este tipo de redes. Para ello, el escenario de trabajo considera dos aspectos principales: (i) la capacidad efectiva de los canales 802.15.4, en los que hay que computar las limitaciones en cuanto a cabeceras MAC (*Medium*

*Access Layer*) y paquetes ACK (*Acknowledgement*) que hacen que los 250 Kbps especificados no sean efectivos, y (ii) el efecto que produce la posible interferencia de las señales WLAN 802.11 (*Wireless Local Area Network*), que operan en la misma banda de frecuencia. En este trabajo se trata de componer el escenario común de ambos aspectos, ofreciéndose resultados y consideraciones acerca de la utilización de este tipo de redes.

## 2 Efecto del protocolo MAC

El protocolo MAC 802.15.4 especifica dos características básicas en el diseño de estas redes:

- 802.15.4 está formado por supertramas generadas por un nodo denominado *PAN coordinator*. Cada una de estas supertramas está formada por 16 tramas de datos. En 802.15.4 es posible dos modos de funcionamiento: (i) *beacon* habilitado y (ii) *beacon* sin habilitar. El *beacon* es una cabecera de la supertrama MAC de 802.15.4, en la que se añade información relevante a la gestión de la comunicación. Su duración, junto con el tiempo de espera que lleva asociado, es equivalente a una de las tramas que conforman toda una supertrama.
- En tramas de 127 *bytes*, cada trama (con la opción ACK deshabilitada) está compuesta por 25 *bytes* de cabeceras MAC, que unidos a otros 6 *bytes* de la capa física, y de al menos 4 *bytes* de cabeceras de red, supone que el número de *bytes* destinados a datos es de 92 *bytes*. Cabe indicar que campos de datos de 20, 40 y 80 *bytes* son también válidos pero ofrecen una utilización inferior al caso de 127 *bytes*. A estos valores hay que añadir el tráfico generado para reconocimientos y tiempos de espera. Esta información permite calcular la capacidad efectiva  $C_{ef}$ .

Aceptando como valor de estudio sólo la comunicación directa entre el nodo *coordinator* y el nodo sensor (1 salto) [3], el valor de  $C_{ef}$  es el siguiente:

$$C_{ef} = \frac{T_{paquete}}{T_{paquete} + T_{ACK} + T_{cabeceras} + T_{espera}} \times \frac{T_{datos}}{T_{datos} + T_{beacon}} \times C_p \quad (1)$$

En esta expresión, los distintos valores temporales vienen dados por las ecuaciones:

$$T_{paquete} = \frac{\text{Tamaño}_{paquete}}{C_p} \quad T_{ACK} = \frac{\text{Tamaño}_{ACK}}{C_p}$$

$$T_{cabeceras} = \frac{T_{am_{cabRe d}} + T_{am_{cabMAC}} + T_{am_{cabFisica}}}{C_p}$$

Incluyendo los valores mencionados, obtenidos de la norma, en la expresión 1 se obtiene:

$$C_{ef} = \frac{2,972}{2,976+1,152+1,152} \times \frac{16}{16+1} \times 250Kbps = 13692Kbps \quad (2)$$

Este valor es realmente una cota superior, ya que se ha obtenido para tramas de 127 bytes. Para tramas más pequeñas, la capacidad es inferior. Los resultados han sido verificados experimentalmente en [4].

### 3 Interferencia de redes 802.11

Para alcanzar la máxima tasa de transmisión teórica es necesario utilizar uno de los canales existentes en la banda de 2.4 GHz, que coincide con la banda asignada a las redes 802.11. Además, el amplio despliegue de estas redes hace bastante probable la coexistencia de ambas tecnologías (IEEE 802.15.4 y 802.11) en un mismo entorno.

La interferencia de las redes 802.11 se puede caracterizar como una probabilidad de pérdida de paquetes 802.15.4 en esta última red [5]. Sin embargo, encontrar una expresión analítica que represente este factor es complicado, ya que depende de, entre otros factores, de la norma utilizada, 802.11b/g/n, de la distancia desde el origen de la interferencia, de la potencia de transmisión, e incluso de la dirección en la que se encuentra esta interferencia. Por ello, la alternativa más viable es la de realizar un muestreo experimental con diversas opciones en las que se conjuguen los aspectos mencionados. Los resultados se muestran en la Fig. 1. Al estar las portadoras de los canales 802.15.4 espaciadas 7 MHz se estima como interferencia el rango en el que la señal de otras portadoras 802.11 intercepta ancho de banda de estos canales.

Los resultados ofrecen, unos valores de pérdidas muy elevados en el caso de las redes 802.11n, llegando a ser prácticamente inhibidores de la red 802.15.4. También es muy negativa la presencia de la red 802.11g, siendo la más tolerable la red 802.11b, sobre todo cuando la interferencia supera la frecuencia de 3 MHz.

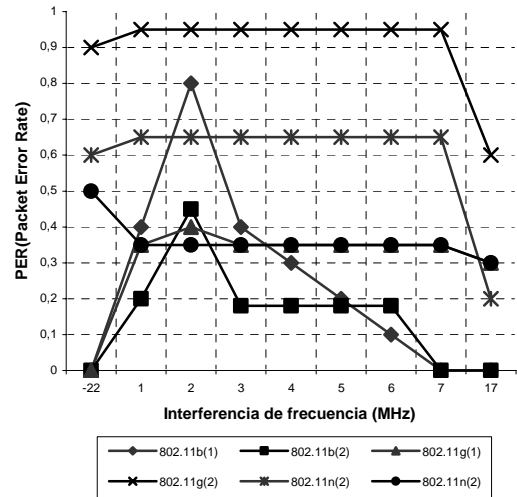


Fig. 1. Prob. error paquete experimentales de interferencia según la separación entre portadoras: (1) interferencia ortogonal, 30m, (2) interferencia oblicua, 30m.

Aplicando estos valores a la capacidad efectiva calculada anteriormente, se puede observar que la capacidad real en interferencia varía entre ausencia de conectividad cuando se encuentra en una red interferente 802.11g y tasas de hasta 110 Kbps con redes 802.11b.

### 4 Conclusiones

La capacidad efectiva de la red 802.15.4 en presencia interferente de redes 802.11 es bastante limitada, si no es posible mitigar esta interferencia de una manera predeterminada, diseñando (precalculando) la posición de los dispositivos. Sin embargo, la posibilidad de desarrollo más eficaz reside en la capacidad de evitar estas interferencias, habilitando y deshabilitando los canales de estas redes (IEEE 802.15.4) de forma apropiada.

### Referencias

- [1] IEEE Computer Society, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)", 2006.
- [2] ZigBee Alliance, "http://www.zigbee.org/", Specification: December 2006.
- [3] T. Sun, Chen L., Han C., Guang Y., Gerla M., "Measuring Effective Capacity of 802.15.4 Beaconless Mode", Technical Draft, UCLA, August 2005.
- [4] T. Sun et al. "Path Capacity Estimation in 802.15.4 Enables WSN via SenProbe", IEEE Consumer Communication and Networking Conference 2006, pp. 1301-1302.
- [5] Petrova M., Wu L., Mähönen P., Riihijärvi J., "Interference Measurements on Performance Degradation between Colocated IEEE 802.11 g/n and 802.15.4 Networks", IEEE International Conference on Networking 2007.