

Análisis del Protocolo MAC de 802.15.3 bajo Esquemas de Prioridades en Tiempo Real

Guillermo H. Reggiani
Dpto. Electrónica, UTN – FRBB
Bahía Blanca, Bs. As. 8000, Argentina
ghreggiani@frbb.utn.edu.ar

Omar R. Alimenti
Dpto. Electrónica/DIEC, UTN – FRBB/UNS
Bahía Blanca, Bs. As. 8000, Argentina
iealimen@uns.edu.ar

Ricardo L. Cayssials
DIEC, Universidad Nacional del Sur (UNS)
Bahía Blanca, Bs. As. 8000, Argentina
iecayss@criba.edu.ar

and

Ferro C. Edgardo
DIEC, Universidad Nacional del Sur (UNS)
Bahía Blanca, Bs. As. 8000, Argentina
eferro@uns.edu.ar

Resumen

La calidad de servicio (QoS) con requerimientos de tiempo real aplicado a diversas implementaciones como multimedia y manejo de sensores inteligentes, sobre redes inalámbricas (“wireless”) de área personal (WPANs-802.15.3), depende de muchos factores como el algoritmo de asignación de tiempo del canal y el tamaño de la supertrama (“superframe”) entre otros. En este trabajo se propone una metodología, basada en simulaciones, que permite estimar el tamaño de supertrama para brindar el mayor rendimiento al sistema en cada uno de los dos casos de asignación de prioridades estudiados: EDF y SRPT, sin modificar la estructura de la trama.

Palabras Claves: Supertrama, Wpan, Redes Inalámbricas, Diagramación, “Beacon”, Prioridades.

Abstract

The quality of service (QoS) with requirements of real time applied to diverse implementations like multimedia and handling of intelligent sensors, over wireless nets of personal area (WPANs-802.15.3), depends on many factors like the channel time allocation algorithm and the size of the superframe among others. In this paper we propose a methodology, based on simulations that allow estimating the superframe size to offer the biggest performance to the system for each one of the two studied cases of assignment: EDF and SRPT, without modifying the frame structure.

Keywords: Superframe, Wpan, Wireless Networks, Scheduling, Beacon, Priorities.

1 Introducción

El Standard 802.15.3 [4] especifica los requerimientos en la capa física (PHY) y el control de acceso a medio (MAC) en redes inalámbricas (“*wireless*”) de área personal (WPAN), que fueran capaces de transmitir datos a alta tasa de transferencia, de manera eficiente, con baja complejidad, bajo costo y mínimo consumo.

El Standard trabaja dentro de un sistema de comunicación inalámbrica de datos, denominado “*piconet*”, el cual permite que un número independiente de dispositivos (DEVs) se comuniquen unos con otros. El control de acceso al medio de un conjunto de DEVs es gobernado por un coordinador de la piconet (denominado PNC) que permite compartir los recursos inalámbricos de la red.

El PNC también provee el temporizado básico para la WPAN y administra los requerimientos de calidad de servicio (QoS). El temporizado en este estándar se basa en una estructura denominada “*supertrama*”. La supertrama está compuesta por tres partes: trama de señalización (“*beacon*”), período de contención de acceso (*CAP*) y periodo de asignación de canal de tiempo (*CTAP*). La figura 1 muestra un esquema de la supertrama.



Figura 1: Supertrama

El “*beacon*” sirve para fijar las asignaciones de tiempo y para comunicar la información de administración dentro de la piconet. Los DEVs utilizan el CAP para informar los requerimientos de uso del canal (el CAP es opcional). El CTAP esta compuesto por asignaciones de tiempo de uso del canal (CTAs). Los CTAs se emplean para enviar comandos, cadenas isocronicas y conexiones de datos asincrónicos. La asignación de las ranuras de tiempo es uno de los puntos esenciales para un buen aprovechamiento del uso del canal. En este trabajo se analizan las asignaciones de los CTAs para diferentes tamaños de supertrama, utilizando las técnicas de disciplinas de prioridades: SRPT (“Short Remaining Processing Time”) y EDF (“Earliest Deadline Firts”).

Además dentro de la estructura de la supertrama están los “*administradores CTA*” (MCTAs) que se utilizan para enviar pedidos de asignación de canal desde los DEVs al PNC entre otros. Los MCTA son asignados por el PNC y utilizan un mecanismo de acceso al medio denominado “*Slotted Aloha*”.

En este trabajo se utilizarán los MCTA para solicitar los requerimientos de canal en lugar del CAP.

La capa PHY soporta 5 tasas de transferencia 11, 22, 33, 44 y 55 Mbps.

El trabajo se organiza como sigue: Sección 2 provee una descripción de trabajos relacionados. En la Sección 4 se analiza el estándar para cierto tipo de tráfico con distintos tipos de diagramación. En la Sección 5 se muestran los resultados de las evaluaciones efectuadas. En la Sección 5 aparecen las conclusiones y en la Sección 6, las referencias.

2 Trabajos relacionados

Esta sección describe algunos trabajos relacionados con nuestro tema propuesto.

En [1] se presenta un algoritmo dinámico de asignación de canal de tiempo que provee garantías en el retardo de tráfico multimedial como cadenas MPEG sobre redes IEEE 802.15.3 WPANs. Este algoritmo permite a los DEVs enviar al PNC, los requerimientos de tiempo de uso del canal al final de la supertrama, usando la estructura de mini-paquetes.

La duración del tiempo de uso del canal varía dinámicamente dependiendo del tipo de trama MPEG, de la carga del tráfico, límite de retardo de la trama, etc.

El algoritmo de asignación dinámica de tiempo de uso del canal es llamado FACTA (Feedback-assisted channel time allocation) y los mini-paquetes son llamados FCTAs (Feedback control time allocation). La ubicación de los FCTAs dentro de la supertrama está en el final de la supertrama para que los requerimientos que aparecen en la supertrama n puedan ser atendidos en la supertrama $(n+1)$. Con esto se logra mejorar el rendimiento debido al incremento de las oportunidades de asignación de tiempo de uso del canal.

Aquí también se plantea cuan a menudo se asignan los FCTAs a los DEVs, dado que si estos no tienen nada para transmitir se estaría mal gastando el tiempo de uso del canal. Para esto utiliza un parámetro llamado NFTi (Next Feedback Time) el cual indica la instancia en el cual el PNC debe asignar un FCTA al DEVi.

En [2] se mejora el algoritmo de diagramación con señalización de estado de flujo y decisión de bloque elegible. La señalización de estado de flujo se realiza usando paquetes de control (CTRL). Estos son enviados por los nodos al PNC solamente cuando es necesario actualizar la información interna de estado de flujo.

La información que transporta el paquete CTRL es:

- Tiempo de Vida (Lifetime): es el tiempo de vida residual del primer bloque
- Número de paquetes: números de paquetes del primer bloque
- Tamaño de cola: tamaño total de la cola del flujo.

La asignación de la ranura de tiempo para paquetes de CTRL se realiza clasificando el flujo en diferentes estados:

- Estado ciego
- Estado inicial
- Estado medio

Dependiendo en que estado este el PNC otorgará una ranura de tiempo dentro de la supertrama para que el DEV correspondiente envíe sus requerimientos. Hasta el momento se consideraba un bloque por supertrama. Puede ocurrir que durante una supertrama se generan muchos bloques del mismo flujo. Para prevenir esto se plantea la sumatoria de los bloques.

También se ha tomado hasta el momento que los bloques se generaban después del vencimiento del previo. Pero puede ocurrir que estos tengan una alta tasa de arribo. Para esto se plantea el algoritmo decisión de bloque elegible (BTED).

En [3] se propone un método de diagramación llamado Trafico Máximo (MT). El algoritmo MT garantiza que el total de datos transmitidos es máximo en cualquier punto del tiempo y las ranuras de tiempo necesarios para la transmisión son mínimas. Los principales aportes de este trabajo son la determinación del límite superior de las ranuras de tiempo requeridas para una red de tráfico saturado y el análisis cuantitativo el cual es adoptado para determinar la longitud del CAP. Este último se logra a través de un modelo probabilístico.

En [5] se analiza un nuevo algoritmo de formación de supertramas que provee ahorro de energía, tratamiento apropiado de tráfico CBR, gran utilización del canal, mejor tolerancia a errores y estabilidad. Se diseña un algoritmo de formación gradual de supertramas. La idea principal es que éste se adapte dinámicamente a la carga de la red intentando optimizar la utilización del canal. Para optimizar el tamaño de la supertrama el algoritmo necesita alguna información acerca de la carga futura de la red. Por la tanto las técnicas de realimentación son usadas para obtener información acerca del estado interno de los nodos. Este algoritmo gradual intenta superar los problemas de ranuras de tiempos libres y mal gastadas modificando el tamaño de la supertrama.

En [6] se muestra un algoritmo de formación de supertramas jerárquico, similar a la propuesto en [5]. En éste se combinan las ventajas de los algoritmos de formación de supertramas estáticos y dinámicos. Se plantea el uso de dos tipos de supertramas: una supertrama normal con su “beacon” normal y una mini-supertrama con su mini-“beacon”. Se obtuvo un sistema con alto rendimiento, tolerancia al error y características de ahorro de energía.

3 Análisis de la Red con SRTP, EDF y RMS

El análisis para la asignación del tiempo de uso del canal a nivel del MAC, en el estándar IEEE 802.15.3 (WPANs), para un ambiente en tiempo real, será el enfoque principal de este trabajo. Evaluaremos el comportamiento del estándar bajo las disciplinas de prioridades SRTP “menor tiempo remanente de proceso”, EDF “menor tiempo al vencimiento” y RMS “períodos monotónicos crecientes”.

En este trabajo se tratará con la norma original, excepto que utilizaremos los MCTAs en vez del CAP (el uso del CAP es opcional) para tomar los requerimientos de tiempo de uso del canal de los distintos dispositivos. La figura 2 muestra la estructura de nuestra supertrama:

B	“Channel Time Allocation Period”								
	MCTA ₁	MCTA ₂	****	MCTA _n	CTA 1	CTA 2	CTA 3	****	CTA n

Figura 2: supertrama utilizada para este trabajo

donde B (“beacon”) es la trama de señalización de la supertrama que contendrá principalmente los valores de inicio y fin de cada ranura de tiempo que se le asigna al DEV, longitud en tiempo de la supertrama y todo lo relacionado a la calidad de servicio. La cantidad de nodos está representada por n.

El PNC asignará un tiempo de uso del canal para cada uno de los MCTA correspondiente a cada uno de los DEVs. Estos enviarán en los MCTA su pedido de tiempo de uso del canal de acuerdo a su tráfico de datos.

El flujo de datos a transmitir (tarea de aquí en adelante) de cada DEV estará parametrizado por tres valores: duración de la tarea (C), período de la tarea (T) y vencimiento de la tarea (D). El C es tiempo de utilización del canal que requiere un DEV para enviar sus datos por la red, T es el período mínimo de generación de datos en el DEV y D es el plazo máximo de tiempo en el cual se debe transmitir los datos del DEV, para cumplir con las condiciones de calidad del sistema.

En nuestro análisis tomaremos diversos flujos de datos con distintos parámetros para evaluar el rendimiento de la red utilizando los tres algoritmos de diagramación con el fin de poder apreciar cuál de ellos es más apropiado en ciertas circunstancias como así también que tamaño de supertrama es más acorde.

El tamaño máximo de supertrama según la norma es 65536 μ seg, pero como veremos más adelante se usaran tamaños de hasta 15000 μ seg para realizar las diversas ensayos. Parecería intuitivo pensar que cuanto mayor es la supertrama se mejora el rendimiento, pero eso dependerá de varios factores como la cantidad de DEVs, los parámetros de la tarea, algoritmos de diagramación entre otros. Una mala elección de estos valores podría originar un mal aprovechamiento del canal o que muchas tareas pierdan su vencimiento.

La disciplina SRTP ejecuta primero la tarea de menor duración (menor C), EDF ejecuta las tareas de que tengan menor tiempo al vencimiento (menor D) y RMS aquellas de menor Período (menor T).

La asignación de los períodos MCTA y CTA (“Channel Time Allocation Period”) se realiza por TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), técnica que permite compartir un canal de comunicaciones, libre de colisiones. Dentro de la supertrama hay periodos de tiempos importantes a tener en cuenta, que permiten respetar un tiempo suficiente entre transmisiones para asegurar las comunicaciones se realicen en una forma adecuada, como por ejemplo:

BIFS: espacio entre tramas de “backoff”

RIFS: espacio entre tramas de retransmisión

SIFS: espacio entre tramas más corto

MIFS: espacio entre tramas mínimo

Estos tiempos están incluidos en los parámetros temporales de las tareas. La relación del tiempo total de la supertrama respecto del “Beacon” y los MCTAs estará directamente vinculado con la cantidad de DEVs, ya que éstos utilizan dichos campos para realizar sus requerimientos. La influencia de la duración de los “Beacon” y los MCTAs será mayor cuanto menor sea la duración de la supertrama.

4 Evaluación de Rendimiento

La evaluación de la capa MAC de una red “WPAN” fue realizada mediante la simulación de la asignación de tiempos de uso del canal de comunicaciones del estándar 802.15.3 bajo las disciplinas de prioridades EDF, SRTP y RMS. En la simulación se consideran distintas redes “piconet”, variando la cantidad de DEVs, el tamaño de supertrama y distintos tipos de tráfico (C, T y D). La simulación considera los tres tipos de disciplinas de prioridades sobre la base del estándar a una tasa de transferencia de 55 Mbps. Los parámetros del sistema (C, T y D) de la primer simulación se muestran en la tabla 1, donde el tamaño de supertrama se varió de 5000 μ seg a 15000 μ seg en saltos de 1000 μ seg y la cantidad de nodos se variaron de 2 a 10 nodos. El tiempo de simulación para cada caso es de 100000 μ seg y solo se simuló EDF dado que por el patrón de tráfico de la tabla 1, las otras disciplinas de prioridades, SRTP y RMS, darían los mismos resultados. Las principales medidas de evaluación realizadas fueron el tiempo de respuesta y el número de tareas vencidas, tal como se muestra en las figuras 3 y 4.

Nodo	C [μ seg]	T [μ seg]	D [μ seg]
2	3000	33000	33000
3	3000	33000	33000
⋮	⋮	⋮	⋮
10	3000	33000	33000

Tabla 1

El tiempo de respuesta fue tomado como el promedio de la diferencia entre los tiempos de generación de los datos en los nodos fuente y los tiempos de finalización de la transmisión de los datos en la red, incluyendo el tiempo de transmisión por la misma. En la figura 3 se puede apreciar que los tiempos de respuesta varían entre 12000 y 25000 μ seg., aumentando a medida que es mayor el número de nodos y el tamaño de supertrama.

Un menor valor de supertrama logra mejor tiempo de respuesta. Note que para una red con dos nodos el crecimiento del tiempo de respuesta es mayor, entre una supertrama de 5000 μ seg y una

supertrama de 15000 μseg , que para una red compuesta por 10 nodos. Además en el instante de simulación donde el tamaño de supertrama es de 11000 μseg , se produce una mejora del tiempo de respuesta debido a que ese valor es múltiplo de los periodos de arribo de información a los nodos (T). Esto significa que al momento de arribo de los nuevos pedidos se producirá el inicio de una nueva supertrama en donde los DEVs pedirán sus espacios de tiempos para transmitir y éstos serán asignados en la siguiente supertrama; en cualquier otro instante de tiempo los DEVs tendrán que esperar un tiempo mayor a una supertrama para poder transmitir. La figura 4 muestra el número de tareas vencidas que responde de la misma forma que el tiempo de respuesta, a menor tamaño de supertrama menor el número de tareas que pierden su vencimiento. En el punto de simulación donde la supertrama es 11000 μseg se observa una mejora (disminución de paquetes perdidos) debidos a los motivos explicados anteriormente.

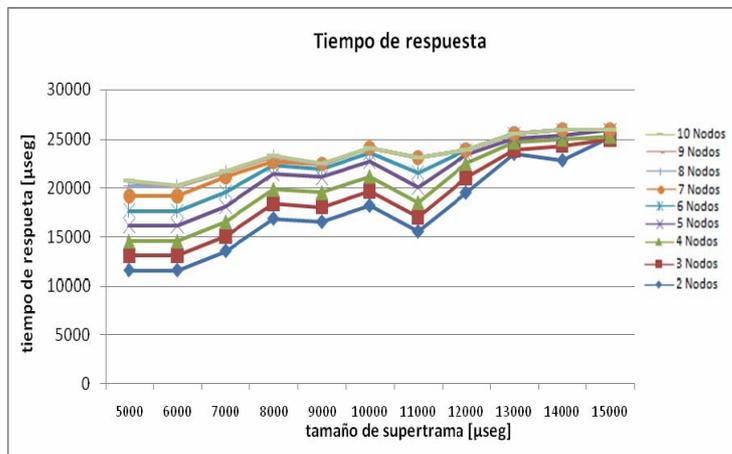


Figura 3: tiempo de respuesta

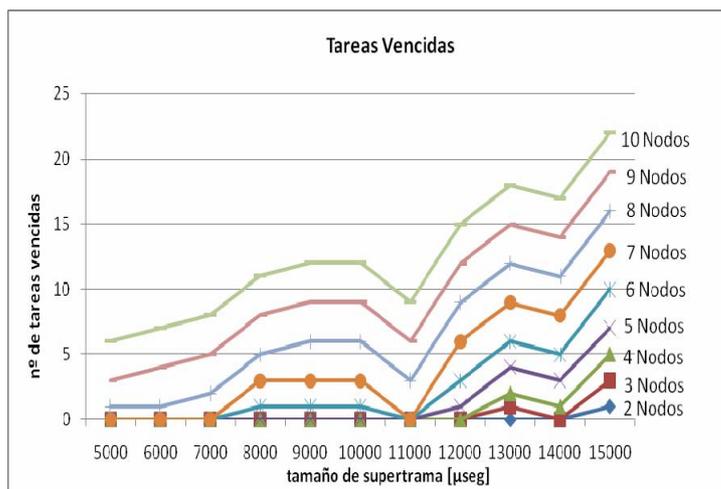


Figura 4: tareas vencidas

El segundo escenario de simulación se muestra en la tabla 2, donde se aprecia que los valores de la duración de los datos (C) y los tiempos de arribo (T) entre los distintos nodos son diferentes. En este escenario se tomó una “piconet” fija compuesta por 5 nodos y se simuló para distintos tamaños

de supertrama, variando la misma de 3000 μseg a 8000 μseg en pasos de 1000 μseg , manteniendo en 100000 μseg el tiempo de simulación. La figura 5 y 6 muestran el tiempo de respuesta y el número de tareas vencidas para este escenario.

Nodo	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	3000	12000	12000
2	2000	15000	15000
3	3000	15000	15000
4	3000	21000	21000
5	4000	24000	24000

Tabla 2

De las simulaciones se graficaron: el tiempo de respuesta y las pérdidas de vencimientos de las tareas del sistema en forma de diagrama de barra. El tiempo de respuesta, en forma análoga a las simulaciones anteriores, se tomó como el promedio de los tiempos de respuestas de los DEV dentro de los 100000 μseg . de tiempo de simulación. En este caso se realizaron las simulaciones utilizando las tres disciplinas de prioridades enunciadas: EDF, SRTP y RMS.

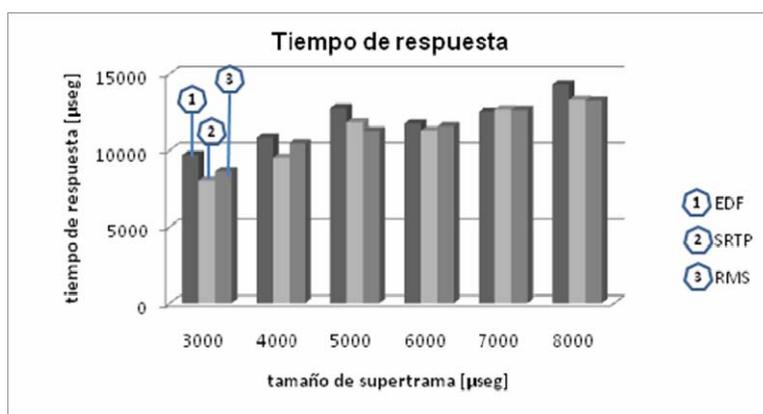


Figura 5: tiempo de respuesta

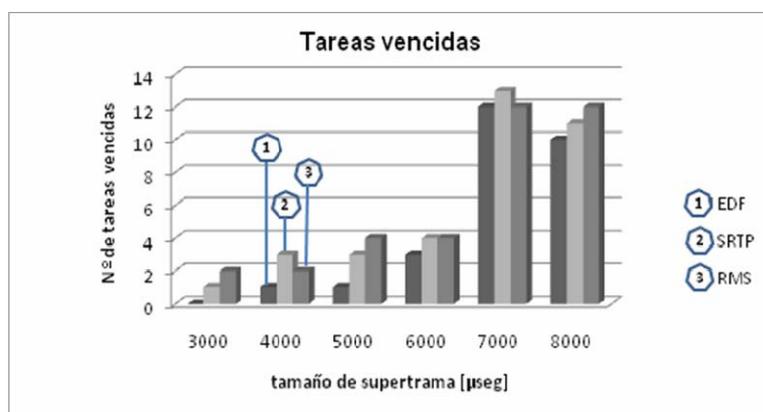


Figura 6: tareas vencidas

La figura 5 refleja el tiempo de respuesta comparativo entre las distintas disciplinas de prioridades, donde se aprecian las diferencias en los resultados obtenidos. Se puede observar que con la disciplina SRTP el tiempo de respuesta del sistema es, en general, menor que los otros dos esquemas de prioridades. Esto está ligado a la relación entre el C, T y D, ya que como SRTP ordena por tiempo de ejecución, ésta logrará los mejores tiempos de respuesta. En cambio EDF tendrá la menor cantidad de tareas vencidas, ya que su ordenamiento es por menor tiempo de vencimiento.

La figura 6 muestra que para los valores máximos de tamaño de supertrama simulados (7000 μseg y 8000 μseg), se produce un fuerte incremento en tareas vencidas, producto de la conjunción de los valores de los parámetros seleccionados en la tabla 2 y tamaño de supertrama.

El último escenario seleccionado se muestra en la tabla 3. Este patrón de datos se parametrizó con tareas de distinta duración (C), pero de igual períodos de arribo (T) y vencimientos (D)

Tarea	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	3000	33000	33000
2	2000	33000	33000
3	5000	33000	33000
4	3500	33000	33000
5	5500	33000	33000
6	6500	33000	33000
7	1000	33000	33000
8	1000	33000	33000
9	1000	33000	33000
10	1000	33000	33000

Tabla 3

Las simulaciones fueron realizadas para distintos tamaños de supertrama, las mismas fueron tomadas desde 400 μseg hasta 2000 μseg en pasos de a 400 μseg ., tal como se muestra en las figuras 7 y 8. El tiempo de cada simulación fue de 100000 μseg . para cada tamaño de supertrama, manteniendo en 10 a la cantidad de nodos de la "piconet".

De las simulaciones graficamos el tiempo de respuesta y la pérdidas de vencimientos de las tareas del sistema. El tiempo de respuesta fue tomado como el promedio de los tiempos de finalización de las tareas de los nodos que componen la piconet dentro de los 100000 μseg . Las simulaciones se realizaron sobre las disciplinas EDF y SRTP. De la figura 7, se puede observar como mejora el tiempo de respuesta si la disciplina de prioridades utilizada es SRTP. Asimismo, la figura 8, muestra a la disciplina SRTP como una mejor opción a la hora de seleccionar un esquema de prioridades. Esto se debe a que la disciplina SRTP ejecuta primero las tareas de menor C, mejorando el tiempo de respuesta y dado que existen muchas tareas con bajo valor de C, esto provoca una menor cantidad de tareas vencidas. EDF ejecuta primero las de menor vencimiento y en este caso son las de mayor C con lo cual origina un mayor tiempo de respuesta y la pérdida de vencimientos.

De la figura 8 se observa que EDF tiende a mejorar a medida que el tamaño de supertrama aumenta, tendiendo a igualar los resultados del esquema SRTP. Esto se debe a que a mayor tamaño de supertrama, la incidencia de los tiempos destinados al "beacon" y los MCTAs es menor.

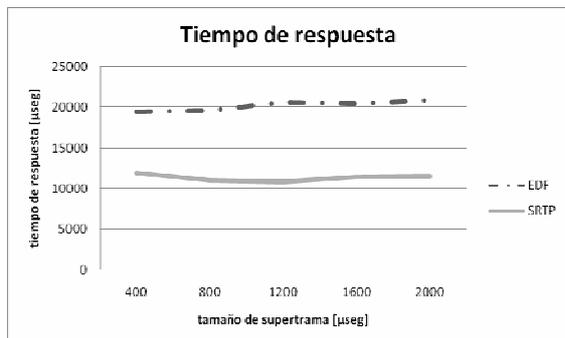


Figura 7: tiempo de respuesta

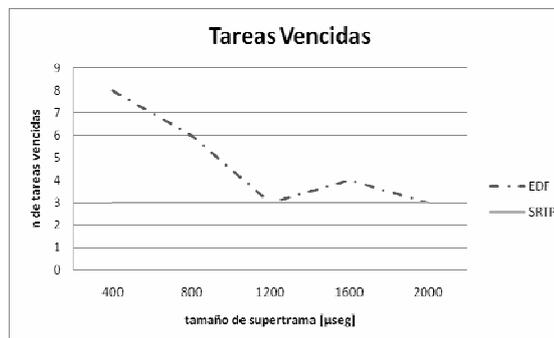


Figura 8: tareas vencidas

5 Conclusiones

El Estándar 802.15.3 especifica la capa física (PHY) y el control de acceso a medio (MAC) en redes inalámbricas de área personal, que permite transmitir datos a alta tasa de transferencia y mínimo consumo.

En este trabajo se analizó, mediante simulaciones, el comportamiento de la capa MAC del estándar 802.15.3 bajo distintas disciplinas de prioridades como EDF, SRTP y RMS, con el fin de evaluar la mejor alternativa de tamaño de supertrama, utilizando como métrica el tiempo de respuesta y el número de tareas vencidas (datos perdidos).

El análisis se realizó variando el tamaño de supertrama, pero se mantuvieron fijos para cada una de las corridas de las simulaciones. Además se utilizó los MCTAs para solicitar el tiempo de uso del canal, en lugar del CAP, como alternativa de la norma.

Para la evaluación, se ensayaron tres tipos de escenarios, donde se variaron tamaños de supertrama, cantidad de nodos y tipo de tráfico para las disciplinas de prioridades EDF, SRTP y RMS.

Del primer escenario, al tener las tareas el mismo tiempo de duración y el mismo tiempo de generación, no hubo diferencias entre las distintas disciplinas de prioridades. Si se pudo notar que la elección de un valor de supertrama menor da un mejor rendimiento tanto en el tiempo de respuesta con el número de tareas vencidas.

Del segundo, al tener tareas de distintos valores de duración y tiempo de generación, podemos comparar los tres esquemas de disciplinas obteniendo que, eligiendo un valor adecuado de la supertrama podemos mejorar sustancialmente el rendimiento de la red.

Por último se tomó tareas de distinto tiempo de duración e igual tiempo de generación donde vimos que SRTP obtuvo mejor tiempo de respuesta para cada uno de los tamaños de supertrama y el menor número de tareas vencidas.

Podemos concluir que una de las consideraciones más importante a tener en cuenta es el tamaño de supertrama que se seleccione, el cual estará vinculado al tipo de tráfico de cada caso en particular.

Mantener una estructura de supertrama fija en redes con tráfico variable, implica que se desperdicia el ancho de banda disponible, pues puede suceder que quede tiempo ocioso en la supertrama.

En los futuros trabajos se planteará trabajar con tamaños de supertrama que varíen dinámicamente durante el proceso de transmisión dependiendo de diversos parámetros de la red. Por otra parte se trabajará en la elaboración de un algoritmo que permite la recolección de los parámetros de los DEVs de tal forma que no se malgaste la utilización del tiempo del canal.

6 Referencias

- [1] Sun-Myeng Kim, Young-Jong Cho, “Scheduling Scheme for providing QoS to Real-Time Multimedia Traffics in High-Rate Wireless PANs”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1160 . 4, NOVEMBER 2005.
- [2] Attila Torok, Lorant Vajda, Attila Vidacs, Rolland Vida, “Techniques to improve Scheduling Perfomance in IEEE 802.15.3 based ad hoc networks”, IEEE GLOBECOM 2005 proceedings.
- [3] Yi-Hsien Tseng, Eric Hsiao-kuang Wu, Gen-Huey Chen, “Maximun Traffic Scheduling and Capacity Analysis for IEEE 802.15.3 High Data Rate Mac Protocol”, IEEE VTC 2003-Fall, vol. 3, pp. 1678-1682, Oct. 2003.
- [4] IEEE, “Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)”, IEEE std 802.15.3 – 2003, Sept. 2003.
- [5] A. Török, L. Vajda, Y. Kyu-Jung, J. Sun-Do, “Superframe formation algorithms in 802.15.3 networks”, Proc., IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Atlanta, Georgia, USA, 2004.
- [6] L. Vajda, A. Török, L. Kyu-Jung, J. Sun-Do, “Hierarchical superframe formation in 802.15.3 networks”, Proc., IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France, 2004.