

Mejora del Rendimiento para Mac 802.15.3 en Entornos Saturados y No Saturados

Guillermo Reggiani*, Omar Alimenti[^], Ricardo Cayssials[¶] and Ferro Edgardo[¶]

*Dpto. Electrónica, UTN – FRBB - ghreggiani@frbb.utn.edu.ar

[^] Dpto. Electrónica/DIEC, UTN – FRBB/UNS - iealimen@uns.edu.ar

[¶] DIEC, Universidad Nacional del Sur – iecayss.ieferro@criba.edu.ar

Bahía Blanca, Bs. As. 8000, Argentina

Resumen. El desarrollo de sistemas de tiempo real, utilizando pequeñas plataformas, aplicado a implementaciones como multimedia y manejo de sensores inteligentes, sobre redes inalámbricas (“wireless”) de área personal (WPANs-802.15.3) presenta limitaciones desde el punto de vista de la escasez de recursos. Por lo tanto, el algoritmo de asignación de tiempo del canal y el tamaño de la supertrama (“superframe”) son factores muy importantes a tener en cuenta, si se desea lograr una buena calidad de servicio (QoS). Algunos trabajos ([4], [3]) muestran la dependencia del rendimiento a los factores antes mencionados. El presente trabajo demuestra que un generador de supertramas sobre esquemas EDF y SRPT, que maneje la duración de la misma en forma dinámica, logra un rendimiento óptimo del sistema para entornos no saturados, ya que evita la generación de supertramas ociosas o subocupados y obtiene la mejor performance promedio para ambientes saturados.

Palabras Claves: Supertrama, Wpan, Redes Inalámbricas, Diagramación, Rendimiento, Prioridades. Saturado

1 Introducción

El Standard 802.15.3 [2] especifica los requerimientos en la capa física (PHY) y el control de acceso al 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 estándar 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. La estructura de una PICONET se muestra en la figura 1.

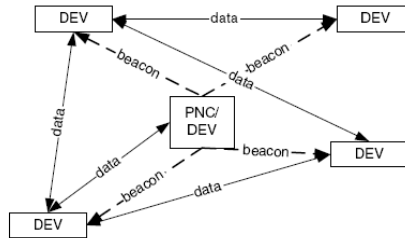


Fig. 1: Estructura de una WPAN

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” (SF). La estructura de la supertrama se muestra en la figura 2.



Fig. 2: Estructura de una supertrama

El “beacon” es una trama que 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 los “administradores CTA” (MCTAs) y las “asignaciones de tiempo de uso del canal” (CTAs). Los CTAs se emplean para enviar comandos, cadenas isocronicas y conexiones de datos asincrónicos.

Los MCTAs serán utilizados en este trabajo para realizar los pedidos de uso de canal por los DEVs, debido a que los mismos utilizan el protocolo ALOHA slotted para acceder al medio.

La longitud máxima de supertrama soportada por el estándar es 65535 μ seg. La capa PHY soporta 5 tasas de transferencia 11, 22, 33, 44 y 55 Mbps.

Un funcionamiento normal de la red se realiza empleando una supertrama de longitud fija. Esto implica, en algunos casos que existan SF subocupadas o vacías, desaprovechando el ancho de banda disponible del canal. En este trabajo se propone calcular en tiempo real el tamaño de la SF, variando su duración en forma dinámica (de aquí en adelante la llamaremos “supertrama dinámica”), de acuerdo a las solicitudes vigentes, con el objetivo de mejorar la calidad de servicio (QoS). Por último se evaluará al sistema con generación de SF dinámicas bajo las disciplinas de prioridades EDF (Earliest Deadline First) “Menor Tiempo al Vencimiento” y SRTP (Shortest Remaining Processing Time) “Menor Tiempo Remanente de Proceso”, realizando una comparación con el método de generación de SF estáticas (fijas) para tráficos sincrónicos sin saturar (factor de utilización menor a la unidad) y saturado (factor de utilización mayor a la unidad).

El trabajo se organiza como sigue: sección 2 provee una descripción de trabajos relacionados. En la sección 3 se realiza el análisis del cálculo de las supertramas dinámicas. En la sección 4 se muestran los resultados de las evaluaciones efectuadas. En la sección 5 aparecen las conclusiones y en la última sección, las referencias.

2 Trabajos Relacionados

Esta sección describe algunos trabajos relacionados con el tema propuesto.

En [4] 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.

En [6] 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.

En [8] se propone un método de diagramación llamado Tráfico 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.

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.

En [7] se muestra un algoritmo de formación de supertramas jerárquico, similar al propuesto en [5]. En éste se combinan las ventajas de los algoritmos de formación de supertramas estáticos y dinámicos.

En [3] se analiza la asignación de canal de tiempo bajo distintos esquemas de prioridades en tiempo real, EDF y SRTP. Se trabaja sin modificaciones de la estructura de supertrama y la recolección de datos se realiza a través los MCTAs. Los resultados muestran que tamaño de supertrama es más conveniente para mejorar el tiempo de respuesta y la cantidad de tareas vencidas.

La propuesta de [1] es permitir la comunicación entre dispositivos ad-hoc sin la intervención de cualquier entidad central y, al mismo tiempo, asegurar los límites de retardo para tráfico isocrónico.

3 Cálculo de las Supertramas Dinámicas

En [3] se demostró la dependencia del tiempo de respuesta y el número de paquetes perdidos de la red en función de la duración de la supertrama. El presente trabajo pretende mejorar el rendimiento de la red modificando la estructura de supertrama fija por una que varía su longitud dinámicamente dependiendo de los parámetros de las tareas. Se realizarán diversas simulaciones para comparar los resultados y así poder evaluar el rendimiento en entornos saturados y no saturados.

3.1. Condiciones de Análisis

El modelo de sistema para el análisis de esta red considera que el flujo de datos a transmitir (tarea de aquí en adelante) de cada DEV tiene una generación sincrónica y

estará parametrizado por tres valores: duración de la tarea (C), período de la tarea (T) y vencimiento de la tarea (D). 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.

Evaluaremos el comportamiento del estándar bajo las disciplinas de prioridades dinámicas SRTP “menor tiempo remanente de proceso” y EDF “menor tiempo al vencimiento”, en entornos saturados y no saturados. SRTP ejecuta primero las tareas que tienen menor tiempo de proceso remanente, es decir menor C. EDF ejecuta primero aquella tarea que tenga menor tiempo al vencimiento, es decir menor D. Un entorno es saturado cuando el factor de utilización supera la unidad.

3.2. Cálculo del Tamaño de las Supertramas

El PNC es el encargado de asignar el tiempo de uso del canal dentro de una supertrama. Como ya se ha mencionado, al mantener fijo el tamaño de la misma, es posible que algunas supertramas estén ociosas o subocupadas. Este trabajo otorga al PNC la decisión de determinar la duración de la SF, calculando el tamaño de la próxima SF en base al tiempo de ejecución de las tareas (C) que tiene en cola y al tiempo de vencimiento de las mismas (D).

En el instante inicial, el PNC genera una supertrama que estará compuesta de la trama Beacon más las tramas MCTAs (una por cada uno de los nodos de la red). A esta supertrama la llamaremos supertrama mínima SF_{min} . Los DEVs podrán enviar los requerimientos en sus correspondiente MCTAs. Una vez que el PNC reconoce los requerimientos, arma la supertrama SF, tal como se muestra en la figura 3.

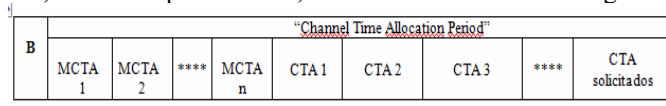


Fig. 3: Supertrama completa

Al finalizar cada supertrama, el PNC recalcula el tamaño de la próxima en base a los requerimientos que les enviaron los DEVs a través de los MCTAs. Si no tiene pedidos en espera para ser atendidos enviará supertramas mínimas hasta que aparezcan nuevas solicitudes. El PNC realiza el cálculo del tamaño de la SF de la siguiente manera:

$$SF = SF_{min} + \sum_{i=1}^j C_i \tag{1}$$

Como se indica en (1) primero se suman los tiempos de ejecución (C) de las tareas solicitantes, siendo j el número de pedidos, más el tiempo de supertrama mínima. Luego se suma SF al tiempo final de la supertrama actual ($t_{factual}$) obteniendo el tiempo de finalización de la siguiente supertrama, t_{final} .

$$t_{final} = t_{factual} + SF \tag{2}$$

El PNC compara el t_{final} con el tiempo de generación más próximo del grupo de tareas, t_{Pmin} . Si t_{final} es mayor que t_{Pmin} se debe recalculer el tamaño de la SF como sigue:

$$SF = t_{Pmin} - t_{factual} \tag{3}$$

Si el t_{final} es igual que el tiempo t_{Pmin} queda el tamaño como se calculó en (1)1. Si el t_{final} es menor que el tiempo t_{Pmin} se procede a hacer la diferencia entre estos dos valores ($t_{Pmin} - t_{final}$), que lo llamaremos t_{dif} :

$$t_{dif} = t_{Pmin} - t_{final} \tag{4}$$

Si $t_{dif} \geq SF_{min}$, entonces SF queda como se calculó en (1)1, caso contrario el tamaño de la supertrama será igual al valor calculado en (1)1 más el valor de t_{dif} :

$$SF = t_{dif} + SF \tag{5}$$

Si no hay requerimientos, el PNC envía supertramas mínimas (SF_{min}) para llenar el espacio hasta la próxima solicitud, sin embargo se debe tener en cuenta que el tamaño de la supertrama no debe superar el tiempo de generación más próximo al del grupo de tareas. Para determinar el valor de la próxima supertrama es necesario calcular SF de (3) y si $SF \geq 2 * SF_{min}$, el tamaño de la supertrama es SF_{min} , en caso contrario el valor es el calculado en (3). En cualquiera de los casos anteriores si los tiempos superaran los 65535 μ seg, la supertrama se ajusta al máximo permitido por la norma.

3.3. Asignación de las Tareas

Una vez calculado el tamaño de la supertrama el PNC asigna los CTAs a los diferentes dispositivos dependiendo del esquema de prioridades utilizado. Si se está trabajando con EDF, las tareas con menor tiempo al vencimiento serán las que se ejecuten primero, en el caso de SRTP serán las que tengan menor tiempo de proceso.

El PNC tendrá una cantidad de tareas a ejecutar en cola lo cual equivaldrá a un determinado tiempo. Si éste es menor o igual al t_{Pmin} todas las tareas pendientes se ejecutarán en el orden correspondiente, caso contrario puede ocurrir que alguna de estas pierda el vencimiento. El PNC al comienzo de la supertrama efectúa este cálculo y luego asigna los CTAs solo a aquellas que no pierden su vencimiento.

A continuación mostraremos dos ejemplos, uno con entorno no saturado y otro saturado:

Ejemplo con entorno no saturado:

Tarea 1: C = 2 [mseg], P = 5 [mseg] y D = 5 [mseg]

Tarea 2: C = 2 [mseg], P = 7 [mseg] y D = 7 [mseg]

Si aplicamos EDF, la resolución será como muestra la figura 4. En el instante inicial se envía una SF_{min} (1 que en el ejemplo tiene un valor 0.5 mseg). A continuación calcularemos el tamaño de la próxima supertrama.

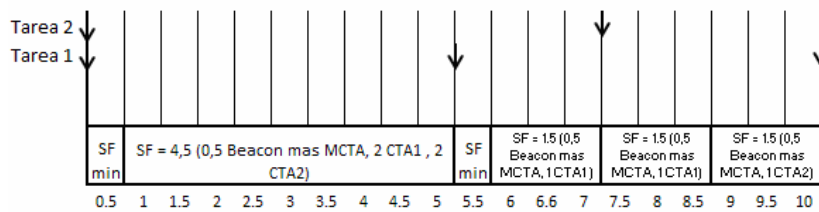


Fig. 4: Ejemplo de diagramación por EDF con entorno no saturado

Con los requerimientos de los DEVs, se calcula SF y el t_{final} aplicando (1) y (2):

$$SF = 0,5 + 4 = 4,5 \quad [\text{mseg}]$$

$$t_{\text{final}} = 0,5 + 4,5 = 5 \quad [\text{mseg}]$$

Comparando el t_{final} con el $t_{P_{\text{min}}}$ vemos que son iguales por lo tanto el tamaño de SF no se modifica.

En $t = 5$ mseg, dado que no hay tareas pendientes de ejecución, se envía una SF_{min} , donde se obtienen los nuevos requerimientos y se calcula la siguiente SF , (tarea 1). Entonces volvemos a calcular la próxima supertrama siguiendo los pasos anteriores:

$$SF = 0,5 + 2 = 2,5 \quad [\text{mseg}]$$

$$t_{\text{final}} = 5,5 + 2,5 = 8 \quad [\text{mseg}]$$

Como t_{final} es mayor que $t_{P_{\text{min}}}$ (7mseg), aplicando (3), se obtiene:

$$SF = 7 - 5,5 = 1,5 \quad [\text{mseg}]$$

En esta SF sólo se asignará 1 mseg a la tarea 1, quedando el resto para la siguiente SF .

Ejemplo con entorno saturado:

- Tarea 1: $C = 2$ [mseg], $P = 6$ [mseg] y $D = 6$ [mseg]
- Tarea 2: $C = 3$ [mseg], $P = 9$ [mseg] y $D = 9$ [mseg]
- Tarea 3: $C = 2$ [mseg], $P = 6$ [mseg] y $D = 6$ [mseg]
- Tarea 4: $C = 4$ [mseg], $P = 8$ [mseg] y $D = 8$ [mseg]

La figura 5, muestra la diagramación por EDF.

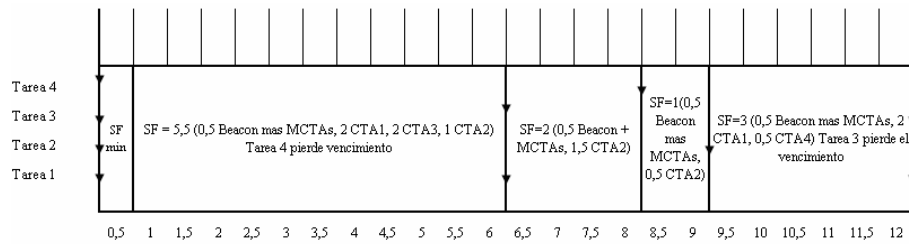


Fig. 5: Ejemplo de diagramación por EDF con entorno saturado

Como en el ejemplo anterior, se calcula SF y el t_{final} aplicando (1) y (2):

$$SF = 0,5 + 11 = 11,5 \quad [\text{mseg}]$$

$$t_{\text{final}} = 0,5 + 11,5 = 12 \quad [\text{mseg}]$$

Como t_{final} es mayor que $t_{P_{\text{min}}}$ entonces el tamaño de SF se calcula aplicando (3):

$$SF = 6 - 0,5 = 5,5 \quad [\text{mseg}]$$

En esa supertrama se tendrían que ejecutar las tareas 1, 3, 4 y 2, pero la 4 no se ejecuta porque pierde su vencimiento, ya que empezaría a ejecutarse en 4,5 mseg pero como su C es 4 mseg y su D es 8 mseg es abortada. El calculo de las siguientes supertramas y la asignación de los CTAs sigue el mismo procedimiento de la primer supertrama.

Aplicando esta metodología para el cálculo del tamaño de la supertrama, es posible asegurar la obtención de los requerimientos de las tareas ni bien se produce la generación de las mismas y así poder ejecutarlas en la próxima supertrama. En [3] se demuestra que la generación invocada durante una supertrama, tenía que esperar dos

supertramas para ser atendida. Esto significa que es posible ahorrar una supertrama por solicitud, disminuyendo así el tiempo de respuesta del sistema.

Este método requiere una carga computacional (CC) extra que representa aproximadamente un 25 % del valor de una SF_{\min} , respecto a la asignación de SF de períodos fijos. Por lo tanto, si la SF enviada por el PNC es una SF_{\min} , entonces el valor de la SF será:

$$SF = SF_{\min} + CC \quad (6)$$

En cambio si la SF contiene CTA para el envío de datos por parte de los DEVs, el tiempo CC será absorbido por los tiempos asignados a los CTA. Por lo tanto esta carga no influye en los cálculos anteriores, dado que el sistema nos interesa cuando tiene carga, ya que de lo contrario está ocioso el canal, y en consecuencia no afecta al cálculo de los tiempos de respuesta ni de de las tareas vencidas.

4 Evaluación de Rendimiento

La evaluación del comportamiento de la asignación dinámica del tamaño de la supertrama bajo las disciplinas de prioridades dinámicas EDF y SRTP se realizó mediante simulaciones de distintos escenarios. En las simulaciones se consideran distintas redes “piconet”, variando la cantidad de DEVs y distintos tipos de tráficos con generación sincrónica (C, T y D), para una asignación dinámica del tiempo de duración de la supertrama con entornos saturados y no saturados. Las simulaciones consideran los dos 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, para una “piconet” fija compuesta por 5 nodos, con un factor de utilización menor a la unidad. La figura 6 muestra el tiempo de respuesta para este escenario.

El tiempo de respuesta se tomó como el promedio de los tiempos de respuestas de los DEV dentro de los 200000 μ seg. del tiempo de simulación. En este caso se realizaron las simulaciones utilizando las disciplinas: EDF y SRTP. Se puede observar que con SRTP el tiempo de respuesta del sistema es menor que con EDF, debido a que la relación entre C, T y D en la disciplina SRTP se ordena por tiempo de ejecución. En esta simulación el número de tareas vencidas fue 0, pues el tamaño de las SFs se ajusta dinámicamente a las necesidades de los dispositivos.



Fig. 6: Tiempo de respuesta comparativo EDF y SRTP

Tabla 1. Escenario N° 1

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

El segundo escenario seleccionado se muestra en la tabla 2. Este patrón de datos se parametrizó valores de C y T con un factor de utilización muy alto cercano a la unidad. Luego se realizaron comparaciones del funcionamiento de asignación de supertramas dinámicas con las asignaciones estáticas y se graficaron el tiempo de respuesta y el número de tareas vencidas, para las disciplinas EDF y SRTP.

Tabla 2. Escenario N° 2

Nodo	C [μseg]	T [μseg]	D [μseg]
1	600	3500	3500
2	600	3800	3800
3	800	4000	4000
4	800	4000	4000
5	1100	5000	5000

La figura 7 y 8 muestran el tiempo de respuesta para la disciplina EDF y SRTP con los dos tipos de asignaciones.

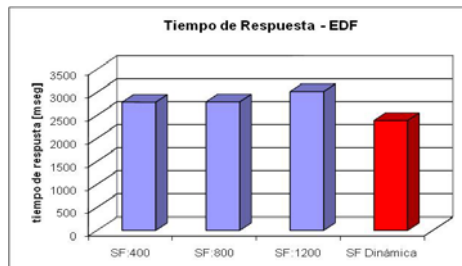


Fig. 7: Tiempo de respuesta comparativo entre supertrama dinámica y estáticas para EDF.

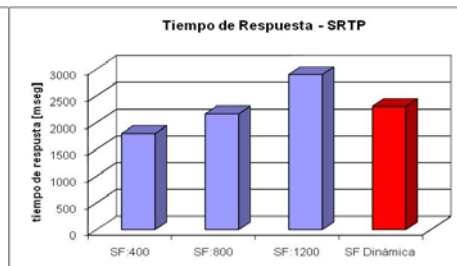


Fig. 8: Tiempo de respuesta comparativo entre supertrama dinámica y estáticas para SRTP.

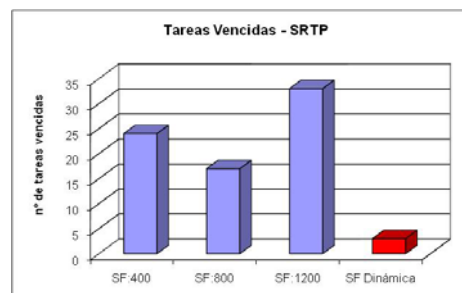


Fig. 9: Tiempo de respuesta comparativo entre supertrama dinámica y estáticas para SRTP.

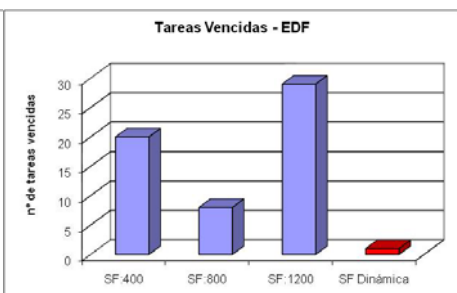


Fig. 10: Tareas vencidas comparativo entre supertrama dinámica y estáticas para EDF.

Como se ve las respuestas fueron bastantes similares en ambos tipos obteniéndose mejoras en los resultados con supertramas dinámicas. La figuras 9 y 10 muestran las tareas vencidas para las disciplinas EDF y SRTP, donde se aprecia una notable mejoría al aplicar la asignación dinámica.

El último escenario se muestra en la tabla 3 para un factor de utilización de 1,175.

Tabla 3. Escenario N° 3

Nodo	C [useg]	T[useg]	D[useg]
1	850	3300	3300
2	675	3600	3600
3	940	4100	4100
4	825	3900	3900
5	1330	4600	4600

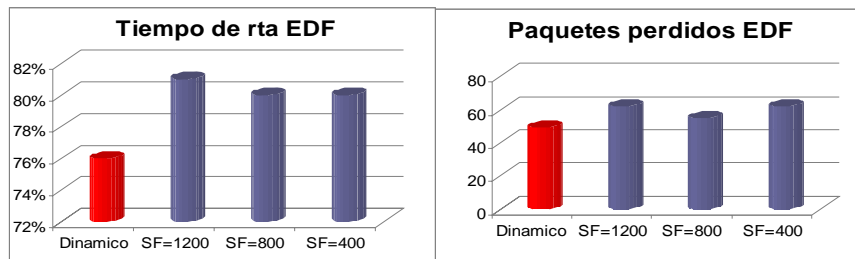


Fig. 11: Tiempo de respuesta: supertrama dinámica vs estáticas para EDF.

Fig. 12: Tareas vencidas: supertrama dinámica vs estáticas para EDF.

Las figuras 11, 12, 13 y 14 muestran el tiempo de respuesta y cantidad de paquetes perdidos para EDF y SRTP, donde se observa que si trabajamos con asignación de tamaño de supertramas en forma dinámica tenemos un mejor rendimiento para un sistema saturado. En la figura 13 se nota que el tiempo de respuesta es levemente mejor en SRTP con supertramas fijas (SF=400 mseg) que con supertramas dinámicas. Esto se debe a que al perder más paquetes (figura 14) mejora el tiempo de respuesta.

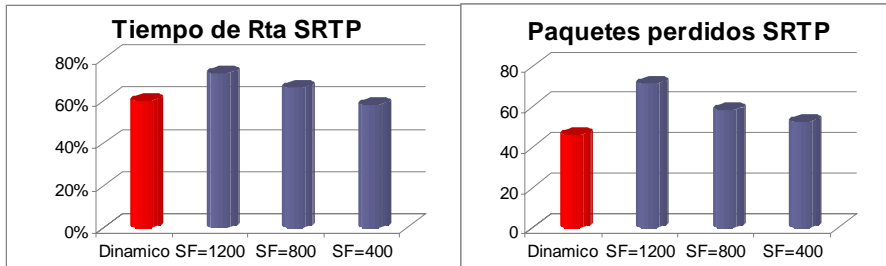


Fig. 13: Tiempo de respuesta: supertrama dinámica vs. estáticas para SRTP.

Fig. 14: Tareas vencidas: supertrama dinámica vs. estáticas para EDF.

5 Conclusiones

El Estándar 802.15.3 especifica la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) en redes inalámbricas de área personal que permite transmitir datos a alta tasa de transferencia y mínimo consumo. Este trabajo propone un método de asignación del tamaño de la supertrama en tiempo de ejecución, donde se analizó, mediante

simulaciones, el comportamiento de la capa MAC del estándar 802.15.3. El análisis se llevó a cabo bajo distintas disciplinas de prioridades como EDF y SRTP, con el fin de evaluar el rendimiento, utilizando como métrica el tiempo de respuesta y las tareas vencidas, para entornos saturados y no saturados.

Las respuestas obtenidas en todos los escenarios simulados, reflejan una sustancial mejora tanto en el tiempo de respuesta como en el número de tareas vencidas.

Los sistemas con un factor de utilización cercano a la unidad, muestran un mejor rendimiento con supertramas dinámicas logrando bajar en forma considerable (entre un 70% y 90%) el número de tareas vencidas.

En entornos saturados se nota que una leve mejora tanto en tiempo de respuesta (3%) como en la cantidad de tareas vencidas (10%).

Por último, el manejo dinámico del tamaño de la supertrama en tiempo de ejecución en virtud de las tareas próximas a diagramar, asegura un mejor uso del tiempo del canal de comunicaciones logrando minimizar el tiempo ocioso.

La complejidad computacional para lograr estas mejoras representa un 25 % del valor de la SF_{min} , sin embargo, como se mencionó, éste incremento será absorbido durante el período de uso del canal (CTA), no provocando tiempos extras.

El procedimiento presentado requiere que en todas las supertramas se generen los MCTA, uno para cada nodo, aunque éstos no tengan solicitudes, provocando una disminución del ancho de banda disponible. Futuros trabajos estarán dedicados a mejorar los mecanismos de solicitud de uso del recurso.

Referencias

1. Datta S., Seskar L., Dermirhan M., Mau S-C and Raychaudhuri D.: Ad-hoc Extensions to the 802.15.3 MAC Protocol. In: Proceedings of the Sixth IEEE International Symposium WoWMoM'05.
2. 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.
3. Reggiani G., Alimenti O., Cayssials C. y Ferro E.: Análisis del Protocolo MAC de 802.15.3 bajo Esquemas de Prioridades en Tiempo Real. In: XIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computacion - CACIC 2007, Octubre 2007, Corrientes y Resistencia, Argentina.
4. Sun-Myeng Kim and Young-Jong Cho: Scheduling Scheme for providing QoS to Real-Time Multimedia Traffics in High-Rate Wireless PANs. In: IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1160. 4, NOVEMBER 2005.
5. Török A., Vajda L., Kyu-Jung Y., Sun-Do J.: Superframe formation algorithms in 802.15.3 networks. In: Proc., IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Atlanta, Georgia, USA, 2004.
6. Torok A., Vajda L., Vidacs A., Vida R.: Techniques to improve Scheduling Perfomance in IEEE 802.15.3 based ad hoc networks. In: IEEE GLOBECOM 2005 proceedings.
7. Vajda L., Török A., Kyu-Jung Y., Sun-Do J.: Hierarchical superframe formation in 802.15.3 networks. In: Proc., IEEE International Conference on Communications (ICC), Paris, France, 2004.
8. 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. In: IEEE VTC 2003-Fall, vol. 3, pp. 1678-1682, Oct. 2003.